

ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ (DEM) ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΓΕΩΜΟΡΦΩΝ. ΕΝΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΙΝΑΧΟ ΠΟΤΑΜΟ, ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΟ ΤΟΥ ΣΠΕΡΧΕΙΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ

Παράσχου Θ., Βουβαλίδης Κ.

*Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας,
Τομέας Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας*

Περίληψη

Η ανάλυση των ψηφιακών υψομετρικών δεδομένων είναι μια σύγχρονη μέθοδος για την μελέτη των χαρακτηριστικών του μορφολογικού αναγλύφου, την αναγνώριση γεωμορφών και γενικότερα την κατανόηση της εξέλιξης της περιοχής. Για την εφαρμογή της μεθοδολογίας ανάλυσης του ψηφιακού μοντέλου υψομέτρων (DEM) επιλέχθηκε η υδρολογική λεκάνη του Ίναχου ποταμού, παραπόταμου του Σπερχειού. Οι μέθοδοι ανάλυσης του ψηφιακού μοντέλου υψομέτρων (DEM) για την δημιουργία παραγώγων του χωρίστηκε σε δυο μέρη, στην ανάλυση των μονομεταβλητών και των διμεταβλητών μορφολογικών δεδομένων. Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων έδειξε ότι η συσχέτιση συγκεκριμένων παραγώγων του DEM (κλίση- προσανατολισμού πρηνών) μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για τον εντοπισμό χαρακτηριστικών γεωμορφών.

DIGITAL ELEVATION MODEL COMPUTERIZED ANALYSIS FOR LOCALIZATION OF LINEAR GEOMORPHIC STRUCTURES. AN EXAMPLE OF INACHOS RIVER, TRIBUTARY OF SPERCHIOS RIVER

Parashou T., Vouvalidis K.

*Aristotle University of Thessaloniki, School of Geology,
Department of Physical and Environmental Geography*

Abstract

Digital Elevation Model analysis is a modern method for the geomorphological study of the landscape, for the recognition of specific geomorphic features, and generally for the understanding of the landscape evolution of an area. The application of this methodology adjusted on the drainage basin of the Inachos River, tributary of the Sperchios River of Fthiotida. Digital elevation models (DEMs) provide an opportunity to quantify land surface geometry in terms of elevation and its derivatives, with the use of univariate or bivariate data analysis. The interpretation of the results showed that the correlation of specific derivatives of DEM could be used as a useful tool for the localization of characteristic geomorphic features.

Λέξεις κλειδιά: ψηφιακό μοντέλο υψομέτρων, γεωμορφολογία, Ίναχος ποταμός.

Key words: digital elevation model, geomorphology, Inachos River.

1. Εισαγωγή

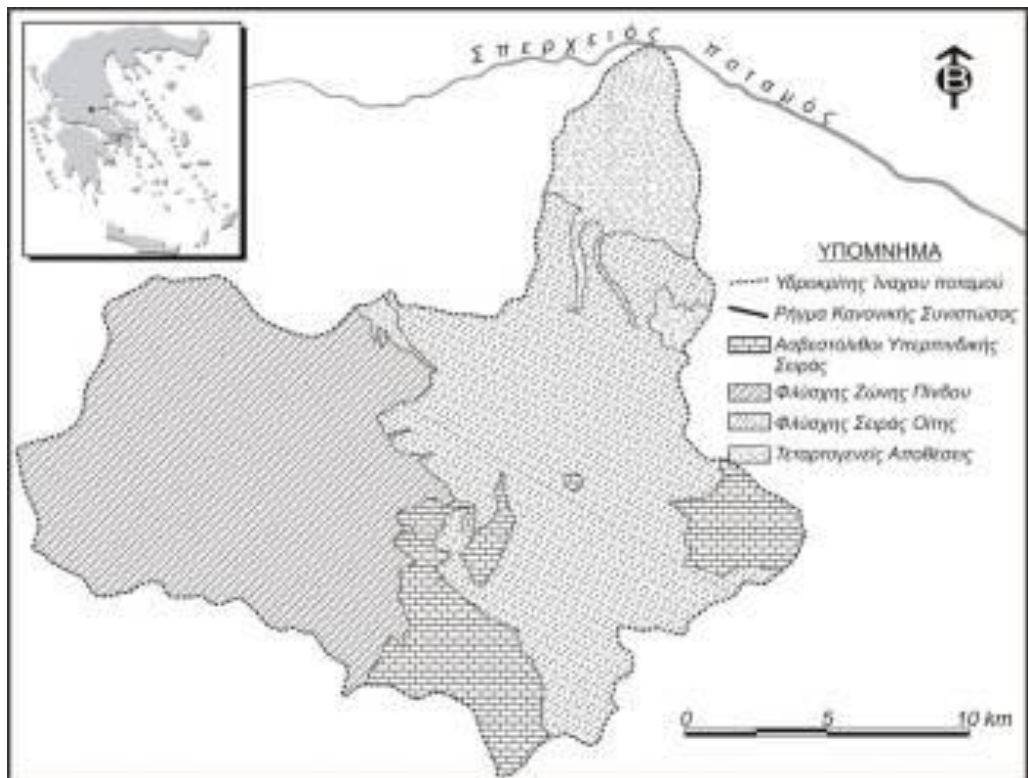
Στην παρούσα εργασία έγινε προσπάθεια εφαρμογής αυτοματοποιημένων μεθόδων ανάλυσης του ψηφιακού μοντέλου υψομέτρων (DEM) ώστε να εντοπιστούν γραμμικές γεωμορφές. Για αυτό το λόγο επιλέχθηκε η περιοχή της λεκάνης απορροής του Ίναχου ποταμού. Η υδρολογική λεκάνη του Ίναχου ποταμού αποτελεί να οριοθετημένη

γεωμορφολογική ενότητα και επιλέχθηκε με βάση λιθολογικά μορφολογικά και γεωλογικά κριτήρια. Γεωγραφικά τοποθετείται στον κεντρικό ορεινό κορμό της Ελλάδας όπου επικρατούν έντονες συνθήκες διαμόρφωσης του επιφανειακού αναγλύφου.

Η εν λόγω λεκάνη είναι λιθολογικά ομοιόμορφη, αφού στο μεγαλύτερο μέρος της αποτελείται από φλύσχη. Έτσι το μορφολογικό ανάγλυφο διαμορφώνεται σχεδόν αποκλειστικά από την ποτάμια δράση χωρίς να επηρεάζεται από την λιθολογία. Επίσης, η μεγάλη επιδεκτικότητα στην διάβρωση των σχηματισμών του φλύσχη δημιουργεί συνθήκες έντονου αναγλύφου και αποτυπώνει στην επιφανειακή μορφολογία τον έλεγχο της τεκτονικής στην ποτάμια δράση. Τέλος η δράση της τεκτονικής στην περιοχή μελέτης είναι εντονότατη, όπως φαίνεται τόσο από τα χαρτογραφημένα ρήγματα όσο και από το γενικότερο τεκτονικό καθεστώς που επικρατεί στην κεντρική Ελλάδα (ρηξιγενής ζώνη λεκάνης Σπερχειού ποταμού).

1.1 Γεωγραφικά στοιχεία

Ο Ίναχος ποταμός βρίσκεται στην Στερεά Ελλάδα, στο Νομό Φθιώτιδας. Αποστραγγίζει το δυτικό τμήμα του όρους Οίτη και τη βόρεια πλευρά των Βαρδουσιών. Η υδροκριτική γραμμή του τοποθετείται στην κορυφογραμμή των Βαρδουσιών, όπου βρίσκονται και οι πηγές του ποταμού κοντά στα χωριά Νεοχώρι, Πλάτανο και Γαρδίκι. Ο Ίναχος ποταμός, αφού διαρρέυσει τις αλλουβιακές του προσχώσεις, εκβάλει στον ποταμό Σπερχειό. Η λεκάνη απορροής του Ίναχου ποταμού έχει έκταση 338,3 km², ενώ η περιμέτρος της είναι 101,4km και καλύπτει το νοτιοδυτικό τμήμα του νομού Φθιώτιδας (σχήμα 1).



Σχήμα 1. Γεωλογικός χάρτης της υδρολογικής λεκάνης του Ίναχου ποταμού.

1.2 Γεωλογικά στοιχεία

Η περιοχή μελέτης οριοθετείται από τρεις, κυρίως γεωλογικές δομές. Στα ανατολικά-νοτιοανατολικά βρίσκεται η Υπερπινδική σειρά που περιλαμβάνει μεταβατικά ιζήματα της ζώνης Πίνδου προς την Υποπελαγονική. Ο «δεύτερος φλύσχος της Πίνδου» είναι το πέτρωμα που επικρατεί στη λεκάνη του Ίναχου ποταμού και αποτελείται, κυρίως, από φαμμιτοπηλιτικά στρώματα, με εναλλαγές κροκαλοπαγών στο ανατολικό τμήμα της ζώνης και ασβεστόλιθους. Το πάχος του κυμαίνεται από 1500 μέτρα μέχρι 4000 μέτρα, (Κατσικάτσος, 1992). Στα δυτικά-νοτιοδυτικά υπάρχει η σειρά Οίτης-Γκιώνας, της Ζώνης Παρνασσού που στην υπό μελέτη λεκάνη απαντάται με την εμφάνιση του τελικού φλύσχη Παλαιοκαίνου-Πριαμπονίου (ανώτερο Ηωκαίνου), της ζώνης. Το πάχος του είναι περίπου 1500 μέτρα. Στα κατώτερα στρώματα είναι ασβεστομαργακός και εξελίσσεται κυρίως σε φαμίτες και κροκαλοπαγή (Μουντράκης, 1985). Στα βόρεια η λεκάνη του Ίναχου ποταμού ορίζεται από το μεγάλο ρήγμα του Σπερχειού, που με διεύθυνση Ανατολή-Δύση τέμνει εγκάρσια το Ελληνικό τόξο με αποτέλεσμα τη δημιουργία της ομώνυμης λεκάνης. Το ρήγμα άρχισε να λειτουργεί από το Τριαδικό-Ιουραϊκό, είναι δεξιόστροφο με κανονική συνιστώσα και έχει βυθίσει σημαντικά το βόρειο ρηξιγενές τέμαχος του ως προς το νότιο (Κατσικάτσος, 1992).

Η χωρική κατανομή των παραπάνω σχηματισμών φαίνεται στο σχήμα 1. Ο φλύσχος της Πίνδου καταλαμβάνει 131,8km², ο φλύσχος της Οίτης 133,3 km², οι ασβεστόλιθοι της Υπερπινδικής σειράς καταλαμβάνουν 41,1 km² και οι τεταρτογενείς αποθέσεις 32,1km².

2. Μέθοδοι ανάλυσης

Η ανάλυση των χαρακτηριστικών του εδάφους βοηθάει στην αναγνώριση διαφόρων γεωμορφών και στην κατανόηση της εξέλιξης της περιοχής. Για αυτό το σκοπό κατασκευάστηκε και αναλύθηκε το ψηφιακό μοντέλο υψομέτρων (DEM) της περιοχής μελέτης. Για την εξαγωγή των παραγόντων και των χαρακτηριστικών του ψηφιακού μοντέλου υψομέτρων (DEM) χρησιμοποιήθηκαν τοπογραφικοί χάρτες της Γ.Υ.Σ. κλίμακας 1:50.000, φύλλα Λαμία (Μαρίνος & Παπασταματίου, 1967), Σπερχειάδα (Καλλέργης et al., 1970), Καρπενήσιον (Καλλέργης et al., 1970) και Λιδορίκιον. Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε σε λογισμικό των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.).

Αρχικά, ψηφιοποιήθηκαν οι ισοϋψείς των 20m, στη συνέχεια, κατά προσέγγιση ψηφιοποιήθηκαν ισοϋψείς των 10m και τελικά χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος παρεμβολής φυσικής γειτονίας (natural neighbor interpolation) που διαιρεί το κάθε εικονοστοιχείο (pixel) σε τέσσερα με παρόμοιες ιδιότητες. Ο κάναβος (grid) που κατασκευάστηκε έχει μέγεθος κελιού 20m που είναι το καταλληλότερο ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της ψηφιοποίησης (χάρτες κλίμακας 1:50.000), την πολυπλοκότητα του ανάγλυφου και τις παραγώγους του εδάφους που αναλύθηκαν (Kienzie, 2004).

2.1 Ταξινόμηση υψομέτρων και κλίσεων ανάγλυφου

Η παραμετροποίηση και η ποσοτικοποίηση των ιδιοτήτων της υδρολογικής λεκάνης είναι θέματα με τα οποία έχουν ασχοληθεί πολλοί επιστήμονες. Ο Dikau, το 1989, πρότεινε μια ταξινόμηση των υψομέτρων των λεκανών ώστε να τις χαρακτηρίσει. Χρησιμοποιώντας το ψηφιακό μοντέλο υψομέτρων (DEM) κατασκευάστηκε ο χάρτης υψομέτρων, σύμφωνα με την ταξινόμηση του Dikau, 1989. Στον πίνακα 1 παρουσιάζεται η κατανομή των υψομέτρων σε σχέση με την επιφάνεια που καταλαμβάνουν.

Μια άλλη παράμετρος που μπορεί να υπολογιστεί και να ποσοτικοποιηθεί από την περαιτέρω ανάλυση του ψηφιακού μοντέλου υψομέτρων (DEM) είναι η κλίση του ανάγλυφου. Ο Demek (1972) πρότεινε μια ταξινόμηση των κλίσεων κάθε λεκάνης με τη χρήση της οποίας χαρακτηρίζει τις περιοχές που εμφανίζουν την ίδια τιμή κλίσης. Η ταξινόμηση αυτή ακολουθείται επίσης από την International Geographical Union και χωρίζει τις τιμές της μέσης κλίσης του ανάγλυφου σε έξι ομάδες. Χρησιμοποιώντας ως παράγωγο

του ψηφιακού μοντέλου υψομέτρων (DEM) την κλίση, κατασκευάστηκε ο χάρτης κλίσεων με περιοχές που έχουν εύρος κλίσεων ανάλογα με την ταξινόμηση του Demek. Στον πίνακα 2 φαίνεται η κατανομή των κλίσεων ανά επιφάνεια.

2.2 Ανάλυση μονομεταβλητών μορφολογικών δεδομένων

2.2.1 Χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου

Παρατηρείται ότι μερικές φορές τα όρια των χρωματικών μεταβολών στο χάρτη του ψηφιακού μοντέλου ανάγλυφου (DTM) είναι αρκετά έντονα. Αυτό συμβαίνει γιατί οι τιμές που παίρνουν τα εικονοστοιχεία (pixel) που βρίσκονται το ένα κοντά στο άλλο, ή και δίπλα, μπορεί να διαφέρουν αρκετά (περισσότερο από 100m) σύμφωνα με την ανάλυση του μοντέλου. Η θέση τους στην εικόνα μπορεί να εντοπιστεί εύκολα, αφού ταιριάζει με έντονες μεταβολές στην κλίση, που θεωρείται δείκτης τοποθέτησης και εντοπισμού ρηγμάτων (Ganas et al., 2004).

Το DEM που κατασκευάστηκε διαμορφώθηκε με τέτοια χρωματική διαβάθμιση του μαύρου τόνου, ώστε θέσεις με χαμηλό υψόμετρο να αναπαριστώνται με σκούρο μαύρο και περιοχές με μεγάλο υψόμετρο με λευκό. Ο χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου (shaded relief) χρησιμοποιήθηκε για να αποτυπωθούν οι έντονες μεταβολές των χρωματικών τόνων, δηλαδή οι έντονες μεταβολές στις τιμές των υψομέτρων των εικονοστοιχείων. Έτσι κατέστη δυνατό να οπτικοποιηθούν και να αναπαρασταθούν διευθύνσεις ανάπτυξης ρηγμάτων, αφού όπως προτείνουν οι Ganas et al. (2004) θέσεις όπου γειτονικά εικονοστοιχεία έχουν μεγάλη διαφορά τιμών και εκτείνονται γραμμικά, ταιριάζουν με πρηνή ρηγμάτων.

2.2.2 Χάρτης κλίσεων

Μετά την επεξεργασία και την ανάλυση των υψομέτρων και των χαρτών που προκύπτουν από αυτά, θεωρείται απαραίτητο να αναλυθούν οι παράγωγοί του. Η πρώτη παράγωγος του υψομέτρου είναι η γωνία κλίσης. Απότομες αλλαγές της γωνίας κλίσης, μέσα σε μια περιοχή, είναι ένδειξη δράσης ρηγμάτων. Επίσης, χαρακτηριστική είναι η ταύτιση επιμηκών περιοχών με απότομη μεταβολή της κλίσης, στο χάρτη κλίσεων, με τοποθεσίες πρηνών ρηγμάτων (Ganas et al, 2004).

Η χωρική ανάλυση της κλίσης, καθώς και η κατασκευή της αθροιστικής καμπύλης κλίσεων μπορούν να δείξουν ποιες είναι οι κρίσιμες γωνίες κλίσης ώστε ένα πρηνές- επιφάνεια απόξυσης (scarp) να θεωρηθεί πρηνές ρήγματος (Jordan, 2003). Επίσης, όπως ήδη έχει αναλυθεί, ο χάρτης κλίσεων βοηθάει στην πρόβλεψη των διεργασιών διάβρωσης. Άλλωστε η τιμή της κλίσης είναι απαραίτητη και στην παγκόσμια εξίσωση διάβρωσης (Universal Soil Loss Equation) (Dunn and Hickey, 1998).

Όπως προτείνουν οι Dunn and Hickey, (1998), η πρόβλεψη της κλίσης, ως παράγωγος υψομέτρων ψηφιακού μοντέλου, μπορεί να γίνει με διάφορες μεθόδους. Οι περισσότερες χρησιμοποιούμενες είναι η μέθοδος γειννίας (Neighborhood Method), η μέθοδος μέγιστης κλίσης (Maximum slope Method) και η μέθοδος κλίσης μέγιστης κατωφέρειας (Maximum Downhill slope Method). Για την κατασκευή του χάρτη κλίσεων της λεκάνης του Ίναχου ποταμού χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος γειννίας.

Τέλος υπολογίστηκε η αθροιστική καμπύλη κλίσης για την λεκάνη του Ίναχου ποταμού. Ο Jordan, 2003, προτείνει ότι από αυτό το διάγραμμα είναι δυνατό να εντοπιστούν οι κρίσιμες κλίσεις, δηλαδή τα σημεία εκείνα όπου η εφαιπόμενη της καμπύλης μεταβάλλεται, ώστε αυτές να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του χάρτη κλίσεων και την καλύτερη αναπαράσταση των μεταβολών.

2.2.3 Χάρτης προσανατολισμού

Ο προσανατολισμός (aspect) όλων των πρηνών της λεκάνης του Ίναχου ποταμού

υπολογίστηκε και χαρτογραφήθηκε ως πρώτη παράγωγος των παρατάξεων των μέγιστων κλίσεων. Για την κατασκευή του χάρτη αυτού χρησιμοποιήθηκε ως υπόβαθρο ο χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου της περιοχής μελέτης ώστε να τονιστεί η θέση των κοιλάδων και των ραχών. Βέβαια από τον χάρτη προσανατολισμού και μόνο, είναι δυνατόν να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την ακριβή τοποθέτηση επιμηκυμένων κοιλάδων, απότομων πρανών και ραχών (Jordan, 2003).

Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν για την ταξινόμηση του χάρτη προσανατολισμού προέκυψαν από την αθροιστική καμπύλη προσανατολισμού πρανών, από το διάγραμμα διασποράς προσανατολισμού πρανών- επιφάνειας και από το ροδοδιάγραμμα προσανατολισμού πρανών .

2.2.4 Χάρτης κατανομής τοπογραφικού δείκτη

Ο τοπογραφικός δείκτης (topographic index), ή τοπογραφικός δείκτης υγρασίας (topographic wetness index), είναι η πιο ευρέως διαδεδομένη δεύτερη παράγωγος των ψηφιακών μοντέλων υψομέτρων (DEM) και χρησιμοποιείται για να περιγράψει την επίδραση της τοπογραφίας στη κατανομή της υγρασίας του εδάφους σε μια περιοχή. Ο υπολογισμός του τοπογραφικού δείκτη βασίζεται στην ιδέα της κίνησης του νερού στα πρανή και της συγκέντρωσης του νερού στην βάση των πρανών. Παρόλο που η προσέγγιση του τοπογραφικού δείκτη είναι απλή, οι υπολογισμοί περιέχουν την τοπογραφία που φαίνεται να κατέχει κύρια θέση ως παράγοντας ρύθμισης της συμπεριφοράς του νερού του εδάφους. Όσο μεγαλύτερη είναι η έκταση της τοπικής υδρολογικής λεκάνης και όσο μικρότερη είναι η γωνία κλίσης, τόσο υψηλότερη είναι η τιμή του δείκτη, τόσο μικρότερο το βάθος του υδροφορέα και συνεπώς μπορεί να αναμένεται υγρό έδαφος (Beven and Kirkby, 1979, Quinn et al, 1991).

Η μελέτη της χωρικής κατανομής του τοπογραφικού δείκτη σε συσχέτιση με τις διάφορες γεωμορφές βοήθησε στην ταξινόμηση του και στην ερμηνεία των τιμών του. Οι ράχες χαρακτηρίζονται από χαμηλές τιμές, ενώ τα χαμηλότερα σημεία των πρανών, ιδιαίτερα οι κοίλες περιοχές και οι βάσεις των κοιλάδων έχουν υψηλές τιμές (Rodhe and Seibert, 1999).

2.3 Ανάλυση διμεταβλητών μορφολογικών δεδομένων

Η ανάλυση διμεταβλητών δεδομένων εξετάζει τη σχέση μεταξύ των μεταβλητών, ποια στοιχεία παράγονται και ποια είναι η σημασία τους. Η σύγκριση του χάρτη κλίσεων σε σχέση με τον χάρτη προσανατολισμών και του αζιμουθίου των γραμμώσεων που προκύπτουν σε σχέση με το αζιμούθιο των ρεμάτων του υδρογραφικού δικτύου του Ίναχου ποταμού μπορούν να ενισχύσουν και να επιβεβαιώσουν την ύπαρξη συγκεκριμένων γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών του ανάγλυφου, όπως ραχών ή απότομων πρανών.

2.3.1 Σύγκριση χαρτών κλίσεων - προσανατολισμών

Η ανάλυση διμεταβλητών δεδομένων, δηλαδή κλίσης και προσανατολισμού, σε διαγράμματα, ροδοδιαγράμματα και στερεοδιαγράμματα (stereo net) σε συνδυασμό με τη χωρική κατανομή των δεδομένων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα εργαλείο για τον εντοπισμό γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών και τεκτονικών στοιχείων στην περιοχή μελέτης (Jordan, 2003). Τα διαγράμματα που αναφέρθηκαν μπορούν να δείξουν αν τα πρανή, για κάποια ή κάποιες συγκεκριμένες διευθύνσεις, έχουν μεγαλύτερη κλίση. Η χωρική κατανομή των δεδομένων κλίσης- προσανατολισμού δημιουργεί χάρτη στον οποίο απεικονίζονται οι περιοχές όπου οι μεταβολές αυτές είναι ταυτόχρονα έντονες.

2.3.2 Σύγκριση μορφής υδρογραφικού δικτύου-γραμμώσεων και αζιμουθίου ρεμάτων - αζιμουθίου γραμμώσεων.

Η ασύμμετρη ανάπτυξη ενός υδρογραφικού δικτύου πολλές φορές οφείλεται στην αλλαγή της διεύθυνσης ροής ορισμένων κλάδων εξαιτίας ρηγμάτων κάθετων στην ροή τους. Έτσι, η ανάπτυξη και η μορφή που αποκτά το υδρογραφικό δίκτυο εξαρτάται άμεσα από την

τεκτονική που επικρατεί. Η μελέτη του υδρογραφικού δικτύου καθώς και σύγκριση υδρογραφικού δικτύου-γραμμώσεων και αζιμουθίου ρεμάτων - αζιμουθίου γραμμώσεων προτείνεται για να εντοπιστεί αν η τεκτονική επιδρά στην ανάπτυξη του δικτύου (Deroin et al., 1995, Mayer et al., 2003). Συνολικά, οι διευθύνσεις των γραμμώσεων που αποτυπώθηκαν στο χάρτη κλίσεων χαρτογραφήθηκαν σε ροδιοδιάγραμμα, ώστε να συγκριθούν με το αζιμουθιο των ρεμάτων του υδρογραφικού δικτύου του Ίναχου ποταμού.

3. Αποτελέσματα

3.1 Ταξινόμηση υψομέτρων και κλίσεων ανάγλυφου

Όπως φαίνεται στον πίνακα 1, το 56,29% της λεκάνης απορροής χαρακτηρίζεται ως ορεινή περιοχή. Οι περιοχές που κατατάσσονται στις λοφώδεις (14,52%) και ημιορεινές (22,16%) είναι ουσιαστικά τα πρανή της κοιλάδας του ποταμού, εκατέρωθεν της κοίτης του. Η περιοχή που χαρακτηρίζεται ως πεδινή, καταλαμβάνοντας το 7,03% της λεκάνης του Ίναχου ποταμού, ανήκει στο ριπίδιο που δημιουργεί το ποτάμι μετά την έξοδο του από τα στενά.

Ο πίνακας 2 διατυπώνει την χωρική κατανομή της κλίσης στη λεκάνη του Ίναχου ποταμού. Παρατηρείται ότι στο 62,40% της επιφάνειας της λεκάνης, δηλαδή 211,10 km², τα πρανή αναπτύσσονται με κλίση μεταξύ 15ο-35ο γεγονός που συνεπάγεται έντονες διεργασίες απογύμνωσης, ερπυσμοί εδαφών, λασπορροές, έντονη αυλακωτή και γραμμική διάβρωση. Η έκταση της περιοχής με κλίσεις 15ο-35ο είναι αρκετά μεγάλη και τυχαία διανεμημένη μέσα στη λεκάνη, ώστε να θεωρηθεί ότι οι έντονες διαβρωτικές διεργασίες είναι ένα γενικότερο χαρακτηριστικό της λεκάνης.

Πίνακας 1. Χωρική κατανομή των υψομέτρων στη λεκάνη του Ίναχου ποταμού σύμφωνα με την ταξινόμηση του Dikau, 1989.

Εύρος υψομέτρων	Τύπος ανάγλυφου	Έκταση (km ²)	Ποσοστό έκτασης
<150	Πεδινό	23,78	7,03%
150-600	Λοφώδεις	49,12	14,52%
600-900	Ημιορεινό	74,97	22,16%
>900	Ορεινό	190,43	56,29%

Πίνακας 2. Χωρική κατανομή των κλίσεων στη λεκάνη του Ίναχου ποταμού σύμφωνα με την ταξινόμηση του Demek, 1972

Κλίσεις σε μοίρες	Επιφάνεια σε km ²	Ποσοστό έκτασης
0-2	25,17	7,44%
2-5	12,58	3,72%
5-15	83,59	24,71%
15-35	211,10	62,40%
35-55	5,82	1,72%
55<	0,04	0,01%

3.2 Ανάλυση μονομεταβλητών μορφολογικών δεδομένων

3.2.1 Χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου

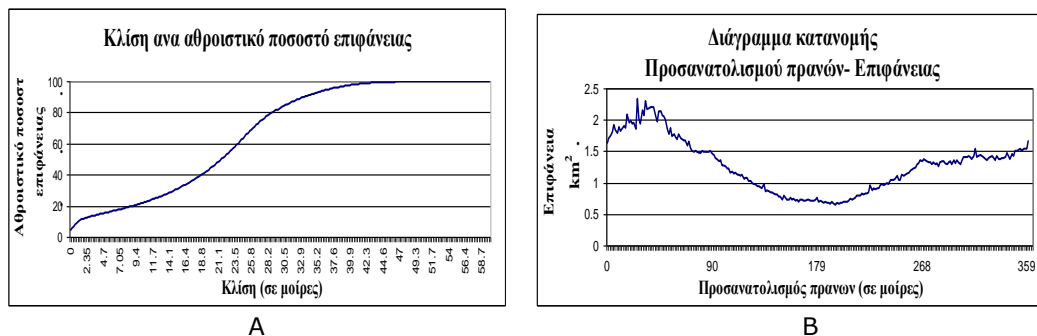
Με υπόβαθρο το χάρτη σκιασμένου ανάγλυφου, που κατασκευάστηκε με χαμηλή γωνία ηλίου

ώστε οι μεταβολές των υψομέτρων να είναι εντονότερες, ψηφιοποιήθηκαν οι χαρακτηριστικές γραμμώσεις που εντοπίστηκαν. Παρατηρείται η ύπαρξη περιοχών όπου παρουσιάζεται γραμμική ανάπτυξη και παραλληλία των πρηνών και των κοιλάδων. Επίσης υπάρχουν περιοχές όπου κατά μήκος γραμμικών κοιλάδων αναπτύσσονται τριγωνικά πρηνή (triangular facets), που είναι γεωμορφολογικό χαρακτηριστικό δράσης κανονικών ρηγμάτων (σχήμα 3Α).

3.2.2 Χάρτης κλίσεων

Στο σχήμα 2Α το αθροιστικό ποσοστό της επιφάνειας εμφανίζεται σε αριθμητική κλίμακα. Από την ανάλυση των τιμών των κλίσεων διαπιστώνεται ότι το 13% της λεκάνης έχει κλίσεις μικρότερες από 2ο, το 18% έχει κλίσεις 2ο-15ο και το μεγαλύτερο ποσοστό της λεκάνης, δηλαδή το 60% έχει κλίσεις 15ο-30ο. Η παρατήρηση αυτή συμφωνεί με την ανάλυση της κλίσης της λεκάνης με βάση την ταξινόμηση των κλίσεων του Demek (1972).

Σύμφωνα, με τη ταξινόμηση των κλίσεων που προέκυψε από την ανάλυση της αθροιστικής καμπύλης των τιμών της, κατασκευάστηκε ο χάρτης κλίσεων ως παράγωγος των υψομέτρων. Χρησιμοποιώντας ως μεθοδολογία ότι απότομες κλίσεις εμφανίζονται σε θέσεις όπου γειτονικά εικονοστοιχεία του χάρτη κλίσεων έχουν μεγάλη διαφορά τιμών, ψηφιοποιήθηκαν οι θέσεις όπου η έντονη αυτή αριθμητική μεταβολή γειτονικών εικονοστοιχείων αναπτύσσεται γραμμικά. Στο σχήμα 3Β παρουσιάζονται οι γραμμώσεις που προέκυψαν τοποθετημένες πάνω στον χάρτη κλίσεων.



Σχήμα 2. Α: Αθροιστική καμπύλη κλίσης της λεκάνης του Ίναχου ποταμού. Β: Διάγραμμα κατανομής του προσανατολισμού των πρηνών ανάλογα με την επιφάνεια που καταλαμβάνουν.

3.2.3 Χάρτης προσανατολισμού

Στο δυτικό τμήμα της λεκάνης παρατηρείται ομοιόμορφη γραμμική ανάπτυξη πρηνών με προσανατολισμό (aspect) βορειοανατολικό. Αντίθετα, στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης οι προσανατολισμοί των πρηνών λαμβάνουν μεγαλύτερη ποικιλία τιμών. Γενικά, διαπιστώνεται απουσία πρηνών με νότιο προσανατολισμό όπως φαίνεται και από το σχήμα 3Γ.

Η καμπύλη του σχήματος 2Β δείχνει ότι κρίσιμες τιμές όπου μεταβάλλεται η κλίση τους είναι η τιμή 75ο και η τιμή 265ο, στοιχείο που φαίνεται και από την αθροιστική καμπύλη του προσανατολισμού. Αυτή η μεταβολή είναι ιδιαίτερα αισθητή στη λογαριθμική αθροιστική καμπύλη και σε ροδοδιάγραμμα. Παρατηρείται μέγιστη συγκέντρωση τιμών στο διάστημα 0ο-75ο, δηλαδή βορειοανατολικού προσανατολισμού πρηνή. Επίσης, ένα δεύτερο διάστημα με έντονη παρουσία τιμών είναι 265ο-360ο.

Στη λεκάνη απορροής του Ίναχου ποταμού το μεγαλύτερο ποσοστό πρηνών έχει προσανατολισμό (aspect) βορειοανατολικό. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην ανάπτυξη των πρηνών σε μια κύρια διεύθυνση (αζιμούθιο) βορειοδυτική- νοτιοανατολική. Επίσης, μια

δεύτερη ομάδα πρικών, με βορειοδυτικό προσανατολισμό αναπτύσσεται σε αζιμούθιο βορειοανατολικό- νοτιοδυτικό.

3.2.4 Χάρτης κατανομής τοπογραφικού δείκτη

Στο σχήμα 3Δ παρουσιάζεται ο χάρτης κατανομής του τοπογραφικού δείκτη. Στον χάρτη αυτό παρατηρούνται περιοχές με διαφορετική κατανομή των τιμών, αφού με σκούρο χρώμα απεικονίζονται θέσεις με χαμηλό τοπογραφικό δείκτη και με ανοιχτό χρώμα θέσεις με υψηλό τοπογραφικό δείκτη. Στην περιοχή Α οι θέσεις με υψηλή τιμή τοπογραφικού δείκτη καταλαμβάνουν αρκετή έκταση. Η αιτία είναι η ύπαρξη ασβεστόλιθων σε αυτή την περιοχή, οι οποίοι έχουν καρστικοποιηθεί ως ένα βαθμό. Ο δείκτης δείχνει μια περιοχή με ομαλό ανάγλυφο στην οποία το έδαφος μπορεί να αποκτήσει μεγάλη ποσότητα υγρασίας.

Στην περιοχή Β οι μέσες τιμές του τοπογραφικού δείκτη είναι αρκετά μειωμένες με αποτέλεσμα η περιοχή να φαίνεται πιο σκουρόχρωμη, ανάλογα με το υπόμνημα του χάρτη. Η περιοχή αυτή αντιστοιχεί στη θέση όπου ο Ίναχος ποταμός διαμορφώνει στην κοιλάδα του απότομα πρική σχήματος V, και η κατά βάθος διάβρωση είναι εντονότερη. Άλλωστε, φαίνεται ότι η κοίτη του ποταμού στη θέση αυτή δεν έχει υψηλές τιμές τοπογραφικού δείκτη σε μεγάλη έκταση.

Στην περιοχή Γ, το πλάτος της περιοχής με υψηλές τιμές τοπογραφικού δείκτη μεγαλώνει. Οι τιμές του δείκτη κατά μήκος της κοίτης είναι χαρακτηριστικές δίνοντας μια τοπογραφία επίπεδη, με μικρές κλίσεις, όπου το νερό μπορεί να συσσωρευτεί εύκολα λόγω της τοπογραφίας αυτής. Εκατέρωθεν του κλάδου του ποταμού παρατηρείται διαφορετικός τρόπος διασποράς των τιμών. Στο βόρειο τμήμα οι τιμές είναι μειωμένες δείχνοντας έντονο ανάγλυφο, αντίθετα από ότι στο νότιο τμήμα της κοιλάδας όπου εμφανίζονται αυξημένες τιμές και συνεπώς αρκετά επίπεδα τμήματα του ανάγλυφου.

Στην περιοχή Δ, σε μια θέση όπου θα αναμενόταν χαμηλές τιμές τοπογραφικού δείκτη, αφού η τοπογραφία ταιριάζει περισσότερο με ράχη, παρατηρούνται ψηλές τιμές. Φαίνεται ότι σε μια περιοχή με αρκετά μεγαλύτερο υψόμετρο από την γειτονική της (σχήμα 3Α) αναπτύσσονται επίπεδες επιφάνειες που μπορούν να συγκεντρώσουν και να διατηρήσουν νερό.

Στην περιοχή Ε, κυρίως στα νοτιοανατολικά της, διαπιστώνονται μικρές τιμές τοπογραφικού δείκτη. Σε αυτή την περιοχή η δυνατότητα συγκέντρωσης και συγκράτησης νερού από το έδαφος είναι περιορισμένη εξαιτίας της τοπογραφίας. Επίσης, παρατηρείται ότι στην περιοχή αυτή αναπτύσσονται πολλές επιμήκεις ράχες (χαμηλές τιμές τοπογραφικού δείκτη) που μπορούν, με τη βοήθεια του χάρτη του σχήματος 3Δ ή τον γεωλογικό χάρτη, κάποιες από αυτές να συσχετιστούν με πρική ρηγμάτων.

Τέλος η περιοχή ΣΤ, που καταλαμβάνει τις αλλουβιακές αποθέσεις του ποταμού, εμφανίζεται με πολύ ψηλές τιμές τοπογραφικού δείκτη σχεδόν σε όλη την περιοχή. Η δυνατότητα συγκέντρωσης νερού στις αλλουβιακές αποθέσεις είναι γνωστή και οφείλεται τόσο στην τοπογραφία των ριπιδίων όσο και στα υλικά που αποτελούνται αυτά. Η θέση ΣΤ είναι ένδειξη της σωστής εφαρμογής του τοπογραφικού δείκτη στην κοιλάδα του Ίναχου ποταμού.

3.3 Ανάλυση διμεταβλητών μορφολογικών δεδομένων

3.3.1 Σύγκριση χάρτη κλίσεων- χάρτη προσανατολισμών

Για την χαρτογράφηση των δεδομένων και την καλύτερη αναπαράσταση των αποτελεσμάτων χωρίστηκε η κλίση σε 5 διαστήματα. Στο σχήμα 4 φαίνονται τα ροδοδιαγράμματα πλήθους τιμών προσανατολισμού για τις 5 τάξεις κλίσεων. Όπως ήταν αναμενόμενο από τα παραπάνω, το πλήθος των τιμών προσανατολισμού για την πέμπτη τάξη τιμών κλίσης ($170 < κλίση$) είναι το μεγαλύτερο, $n=32.736$ τιμές. Συνεπώς, αυτή η τάξη είναι η κρίσιμη και πρέπει να εξετασθεί η συσχέτισή της με τον προσανατολισμό. Το ροδοδιάγραμμα της Ε τάξης του σχήματος 4 δείχνει ότι τα σημεία με κλίση >170

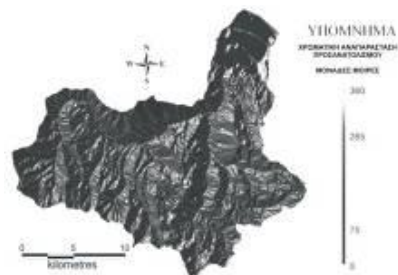
αναπτύσσονται σε δυο κυρίως προσανατολισμούς, έναν κύριο βορειοανατολικό και ένα δευτερεύοντα βορειοδυτικό. Συνεπώς, οι τιμές αυτές πρέπει να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του χάρτη συσχέτισμού (correlation) της κλίσης (slope) με τον προσανατολισμό (aspect) των πρηνών.



A



B



Γ



Δ

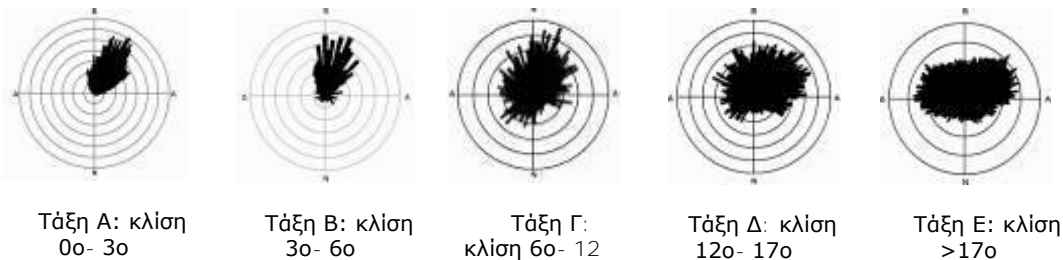
A: Χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου (shaded relief) της λεκάνης του Ίναχου ποταμού. Με άσπρες γραμμές απεικονίζονται οι γραμμώσεις που εντοπίστηκαν στον χάρτη σκιασμένου ανάγλυφου από τη διαφορά των τιμών των γειτονικών εικονοστοιχείων (pixels).

B: Χάρτης κλίσεων (slope map) της λεκάνης του Ίναχου ποταμού. Με άσπρες γραμμές απεικονίζονται οι γραμμώσεις που εντοπίστηκαν στο χάρτη σκιασμένου ανάγλυφου και χάρτη κλίσεων από τη διαφορά των τιμών των γειτονικών εικονοστοιχείων (pixels).

Γ: Χάρτης προσανατολισμού των πρηνών (aspect map) της λεκάνης του Ίναχου ποταμού. Ως υπόβαθρο έχει χρησιμοποιηθεί το σκιασμένο ανάγλυφο.

Δ: Χάρτης κατανομής του τοπογραφικού δείκτη στη λεκάνη απορροής του Ίναχου ποταμού. Τα γράμματα Α, Β, Γ, Δ, Ε και ΣΤ ορίζουν περιοχές όπου ο τοπογραφικός δείκτης αποκτά διαφορετικές τιμές.

Σχήμα 3. Χάρτες κατανομής μονομεταβλητών μορφολογικών δεδομένων.



Σχήμα 4. Ροδοδιαγράμματα συσχέτισης κλίσης προσανατολισμού πρανών στη λεκάνη του Ίναχου ποταμού.

Το σχήμα 5Α παρουσιάζει τον χάρτη που προέκυψε από τη συσχέτιση κλίσης-προσανατολισμού πρανών για τιμές κλίσης >17ο και για τιμές προσανατολισμού 25ο-75ο και 275ο-300ο. Τα μαύρα βέλη δείχνουν τις θέσεις όπου η κλίση και ο προσανατολισμός των πρανών αποκτούν, στις συγκεκριμένες τιμές, γραμμική ανάπτυξη.

Η σύγκριση του χάρτη σκιασμένου ανάγλυφου (σχήμα 3Α), του χάρτη κλίσεων (σχήμα 3Β) και του χάρτη συσχέτισης κλίσης- προσανατολισμού πρανών οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι θέσεις που δείχνουν τα βέλη στο σχήμα 5Α ταυτίζονται με θέσεις ρηγμάτων. Η παρατήρηση αυτή επαληθεύεται με τη γεωλογία και την τεκτονική της λεκάνης του Ίναχου ποταμού. Τα ρήγματα που έχουν ψηφιοποιηθεί από τους γεωλογικούς χάρτες του ΙΓΜΕ, που αναφέρονται στην εισαγωγή (σχήμα 1), τοποθετήθηκαν πάνω στους χάρτες σκιασμένου ανάγλυφου, κλίσεων και συσχέτισης κλίσεων- προσανατολισμού πρανών. Τα περισσότερα από τα ρήγματα των γεωλογικών χαρτών ταυτίζονται με αυτά που προκύπτουν από τους χάρτες που παράχθηκαν (σχήμα 5Β).



A: Χάρτης συσχέτισης των επικρατέστερων κλίσεων (κλίση >17) και προσανατολισμών (25ο-75ο και 275ο-300ο). Με μαύρα βέλη φαίνονται θέσεις όπου οι δύο παράμετροι συσχετίζονται, για συγκεκριμένες τιμές, σε γραμμική διεύθυνση

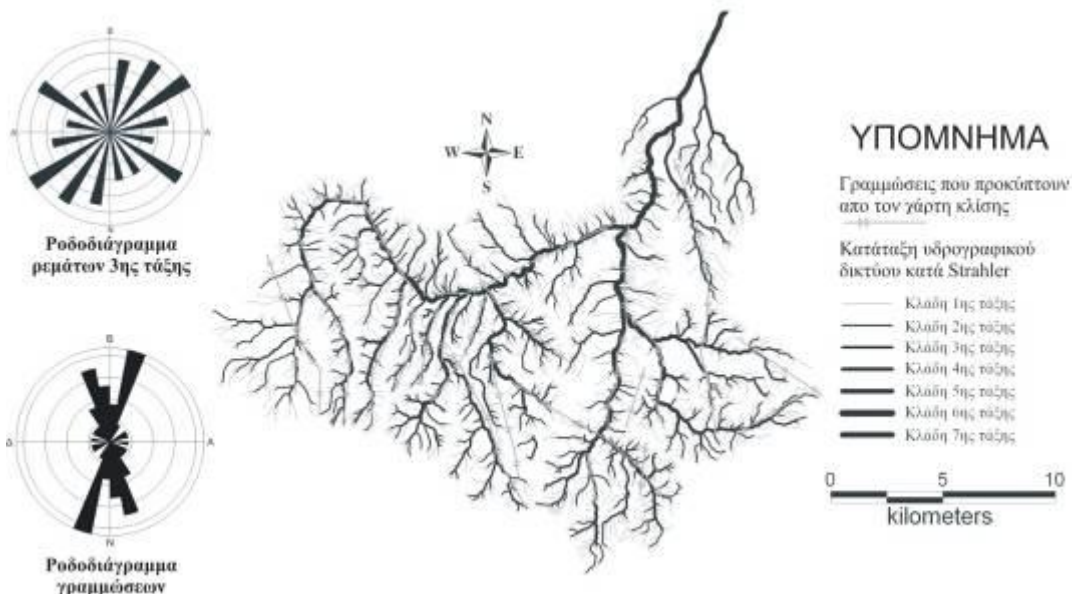
B: Χάρτης συσχέτισης κλίσεων (κλίση >17) και προσανατολισμών (25ο-75ο και 275ο-300ο) με υπέρθεση των κανονικών ρηγμάτων από τον γεωλογικό χάρτη.

Σχήμα 5. Χάρτες συσχέτισης των διαφόρων γεωμορφολογικών στοιχείων της λεκάνης του Ίναχου ποταμού.

3.3.2 Σύγκριση μορφής υδρογραφικού δικτύου-γραμμώσεων και αζιμουθίου ρεμάτων - αζιμουθίου γραμμώσεων.

Χαρακτηριστική απόδειξη της επίδρασης της τεκτονικής στο υδρογραφικό δίκτυο είναι η σχεδόν κάθετη στρέψη του πιο επιμήκη κλάδου 6ης τάξης του δικτύου σε τέσσερα σημεία και σε απόσταση μικρότερη των 7,5 km (σχήμα 6). Στο σχήμα 6 έχουν τοποθετηθεί οι γραμμώσεις που προέκυψαν από το χάρτη κλίσεων. Είναι εμφανής η επίδρασή τους στο υδρογραφικό δίκτυο. Σε ορισμένες θέσεις, ιδιαίτερα στο νότιο τμήμα της λεκάνης, παρατηρούνται κλάδοι του δικτύου που τέμνουν τις γραμμώσεις χωρίς να τις ακολουθούν, γεγονός που πιθανόν οφείλεται στην νεότερη ηλικία των κλάδων αυτών από τη συγκεκριμένη γράμμωση. Οι μακροσκοπικές παρατηρήσεις του υδρογραφικού δικτύου επιβεβαιώνονται και από τα ροδοδιαγράμματα των αζιμουθίων παρακάτω. Παρατηρείται ότι τα ρέματα 6ης τάξης επηρεάζονται άμεσα από την παρουσία των γραμμώσεων στη λεκάνη. Στα ροδοδιαγράμματα του σχήματος 6 συγκρίνεται ο προσανατολισμός των γραμμώσεων με τον προσανατολισμό των ρεμάτων 3ης τάξης, που θεωρείται η πιο αντιπροσωπευτική τάξη ρεμάτων για το υδρογραφικό δίκτυο του Ίναχου ποταμού, σύμφωνα με τον έλεγχο X2.

Από τη σύγκριση του αζιμουθίου των γραμμώσεων που προέκυψαν από τους χάρτες κλίσεων και σκιασμένου ανάγλυφου σε σχέση με το αζιμουθιο των ρεμάτων προκύπτει ότι η ανάπτυξη ρεμάτων και γραμμώσεων με κοινή, βόρεια- νότια διεύθυνση είναι χαρακτηριστική. Επίσης μια δεύτερη ομάδα ρεμάτων και γραμμώσεων αναπτύσσεται σε διεύθυνση ανατολή-δύση. Συνεπώς, η σύγκριση αυτών των παραμέτρων οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η ανάπτυξη των ρεμάτων της λεκάνης του Ίναχου ποταμού επηρεάζεται έντονα από τη ρηξιγενή τεκτονική, που στη συγκεκριμένη περίπτωση εκφράζεται από τις γραμμώσεις.



Σχήμα 6. Τοποθέτηση γραμμώσεων πάνω στο τοπογραφικό δίκτυο του Ίναχου ποταμού και ροδοδιαγράμματα παρατάξεων γραμμώσεων και διευθύνσεων ρεμάτων 3ης τάξης.

4. Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας τα παραπάνω επισημαίνονται τα εξής:

- Είναι χαρακτηριστική η πολύ καλή συσχέτιση των παραγώγων του DEM με την εμφάνιση κυρίως γραμμικών γεωμορφών στην υδρολογική λεκάνη του Ίναχου ποταμού. Η παραπάνω μεθοδολογία μπορεί να βοηθήσει στην γεωμορφολογική χαρτογράφηση περιοχών με έντονη επίδραση της τεκτονικής, τα σημάδια της οποίας λόγω των επιδεκτικών στη διάβρωση πετρωμάτων δεν είναι ικανοποιητικά εμφανή κατά θέσεις.
- Ο Ίναχος ποταμός αναπτύσσεται σε μια περιοχή με ορεινό ανάγλυφο όπου η διαβρωτική δράση είναι εντονότατη. Ο μεγάλος όγκος των υλικών που μεταφέρονται, από το ορεινό τμήμα, αποτίθενται μετά την έξοδο του ποταμού στο πεδινό τμήμα της λεκάνης του, δημιουργώντας ένα εκτεταμένο αλλουβιακό ριπίδιο.
- Παρατηρείται ότι στο 62,40% της επιφάνειας της λεκάνης, δηλαδή 211,10km², τα πρηνή αναπτύσσονται με κλίση μεταξύ 15ο-35ο γεγονός που συνεπάγεται έντονες διεργασίες απογύμνωσης, ερπυσμοί εδαφών, λασπορροές, έντονη αυλακωτή και γραμμική διάβρωση.
- Από τον χάρτη κλίσεων μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι οι πιο απότομες κλίσεις, που εμφανίζονται σε θέσεις που γειτονικά εικονοστοιχεία έχουν έντονη διαφορά τιμών, ταυτίζονται με τις γραμμώσεις που εντοπίστηκαν από το χάρτη του ψηφιακού μοντέλου υψομέτρων και από το χάρτη του σκιασμένου ανάγλυφου. Επίσης, στο χάρτη κλίσεων διαπιστώνεται η παρουσία γραμμώσεων που δεν ήταν ευδιάκριτες στο χάρτη σκιασμένου ανάγλυφου.
- Χαρακτηριστική είναι η περιορισμένη ανάπτυξη πρηνών με προσανατολισμό βόρειο και κυρίως νότιο, παρατήρηση που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η ανάπτυξη κοιλάδων ή ραχών με ανατολικό- δυτικό αζιμουθιο είναι περιορισμένη. Τα πρηνή με κλίση 0ο-3ο αναπτύσσονται μόνο με βορειοανατολικό προσανατολισμό, δηλαδή ο άξονας ανάπτυξης του ριπιδίου είναι βορειοανατολικός.
- Η παρατήρηση του χάρτη κατανομής του τοπογραφικού δείκτη δείχνει πως η περιοχή Γ που βρίσκεται ανάντη της περιοχής Β έχει υψηλότερες τιμές τοπογραφικού δείκτη και συνεπώς η τοπογραφία της περιοχής επιτρέπει την συγκέντρωση νερού. Αντίθετα στην περιοχή Β ο ποταμός εγκιβωτίζεται μέσα σε μια στενή και χαραδρωτή κοιλάδα, η μορφολογία της οποίας αντανακλάται άμεσα στις χαμηλές τιμές του δείκτη.
- Η συσχέτιση κλίσης- προσανατολισμού πρηνών και ο χάρτης που προκύπτει από αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για τον εντοπισμό γεωμορφών που αναπτύσσονται με χαρακτηριστικό γραμμικό τρόπο. Παράλληλα η σύγκριση ρεμάτων - γραμμώσεων οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η ανάπτυξη των ρεμάτων της λεκάνης του Ίναχου ποταμού επηρεάζεται έντονα από τη ρηξιγενή τεκτονική.

Βιβλιογραφία

Beven, K.J., Kirkby, M.J. (1979). A physically based variable contribution area model of basin hydrology. Hydrological Science Bulletin 24, 43-69.

Demek, J. (1972). Manual of detailed geomorphological mapping. Academia, Prague, 344.

Deroin, J.P., Deffontaines, O., Deffontaines, B. (1995). Morphostructural analysis for linking streamflow, lithology, and structure: comparison with remote sensing data on the Cevennes (French Massif Central). *Z. Geomorph. N. F.*, Berlin-Stuttgart, 39, 97-116

Dikau, R. (1989). The application of a digital relief model to landform analysis. Taylor and Francis, London, 51-77.

Dunn, M. and Hickey, R. (1998). The Effect of Slope Algorithms on Slope Estimates within a GIS. *Cartography*, 27 (1), 9-15.

Ganas, A., Pavlides, S., Karastathis, V. (2004). DEM-based morphometry of range-front escarpments in Attica, central Greece, and its relation to fault slip rates. *Geomorphology*, 65, 301-319.

Jordan, G. (2003). Morphometric analysis and tectonic interpretation of digital terrain data: a case study. *Earth surface processes and landforms*, 28, 807-822.

Καλλέργης Γ., Koch, K., Nicolaus H. (1970). Γεωλογικός Χάρτης κλίμακας 1:50.000 – Φύλλο Καρπενήσιον. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.), Αθήνα.

Καλλέργης Γ., Koch, K., Nicolaus H. (1970). Γεωλογικός Χάρτης κλίμακας 1:50.000 – Φύλλο Σπερχειάς. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.), Αθήνα.

Κατσικάτσος, Γ.Χ. (1992). Γεωλογία της Ελλάδας. Αθήνα.

Kienzle, S.W. (2004). The Effect of Grid Cell Size on Major Terrain Derivatives. WDCAG 2005, The Canadian association of geographers.

Mayer, L., Menichetti, M., Nesci, O., Savelli, D. (2003). Morphotectonic approach to the drainage analysis in the North Marche region, central Italy. *Quaternary International*, 101-102, 157-167.

Μαρίνος Γ., και Παπασταματίου Ι. (1967). Γεωλογικός Χάρτης κλίμακας 1:50.000 – Φύλλο Λαμία. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.), Αθήνα.

Μουντράκης, Δ. (1985). Γεωλογία της Ελλάδος. University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

Quinn, P.F., Beven, K.J., Chevallier, P., Planchon, O. (1991). The prediction of hillslope flowpaths for distributed modelling using digital terrain models. *Hydrolog. Processes*, 5, 59-80.

Rodhe, A. and Seibert, J. (1999). Wetland occurrence in relation to topography: a test of topographic indices as moisture indicators. *Agricultural and Forest Meteorology*, 98-99, 325-340.