

Ποσοτική ανάλυση των υδρογραφικών και μορφοτεκτονικών στοιχείων της λεκάνης απορροής του Ίναχου ποταμού της Φθιώτιδας, παραποτάμου του Σπερχειού ποταμού.

ΠΑΡΑΣΧΟΥ Θ.⁽¹⁾, ΒΟΥΒΑΛΙΔΗΣ Κ.⁽¹⁾

ABSTRACT

In this study, the quantitative parameters of the drainage basin and the drainage network of the Inachos River have been studied. Quantitative measurements of the landscape shape and drainage network characteristics allowed us to compare different landforms and to calculate the geomorphic indices that are useful to identify the landscape evolution of the Inachos drainage basin. For this purpose digital elevation, hydrographic, and geological data have been used. These different kinds of digital data have been originated from DEMs, topographic and geological maps with a scale of 1:50.000, and images.

Inachos River is a tributary of the Sperchios River and situated in the central part of Greece. The drainage basin of the Inachos River is formed by Vardousia Mountains on the south and Ili Mountains on the east. The total area of the basin is 338 km². The landmass of the basin is mainly composed of flysch (78%), while there are also small appearances of limestones and quaternary deposits. Tectonic activity is dominant in the area forming normal faults and thrust blocks.

The calculation of the factors and the spatial distribution of the drainage network parameters showed a change in the central and western part of the basin. Due to geological homogeneity of the basement (78% flysch) this change on the hydrographic factors (density D_u , frequency F_u , circularity, R_c) is highly influenced by the tectonic control. The estimation of the asymmetry factor ($A_f \approx 73$) of the drainage basin of the Inachos River revealed a tilt to a NE direction. The direction of the axis of the tilting is WNW-ESE, which is parallel to the main rupture zone of the normal faults forming the half-graben of the Sperchios valley. In addition, the low values of the mountain front sinuosity in the northern part of the Inachos valley showed high uplift rates. This uplift is the result of the footwall back-tilting of the master normal fault formed the Spercheios valley. Finally the analysis of the streams' orientation indicates their selected development in two major NE-SW and NNW-SSE directions.

Keywords: geomorphology, Inachos river, geomorphological index, morphotectonic index, Sperchios river, Greece.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία έγινε μελέτη των ποσοτικών παραμέτρων της λεκάνης απορροής και του υδρογραφικού δικτύου του Ίναχου ποταμού. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν ψηφιακά δεδομένα τόσο του υδρογραφικού δικτύου και των λεκανών απορροής, όσο και των υψομέτρων που προήλθαν από τους τοπογραφικούς χάρτες της Γ.Υ.Σ., κλίμακας 1:50.000.

Ο Ίναχος ποταμός, παραπόταμος του Σπερχειού ποταμού, διαμορφώνει την υδρολογική του λεκάνη μεγέθους 338 km² αποστραγγίζοντας το νότιο τμήμα των Βαρδουσιών Όρεων και το ανατολικό τμήμα της Οίτης. Από γεωλογικής άποψης, η λεκάνη του Ίναχου ποταμού, αποτελείται κατά 78% από φλύσχη, ενώ υπάρχει μικρή εμφάνιση ασβεστόλιθων και τεταρτογενών αποθέσεων. Η τεκτονική είναι αρκετά έντονη τόσο με μορφή επιπτώσεων όσο και με την παρουσία κανονικών ρηγμάτων.

QUANTITATIVE ANALYSIS OF HYDROGRAPHIC AND MORPHOTECTONIC FACTORS IN THE DRAINAGE BASIN OF INACHOS RIVER, TRIBUTARY OF SPERCHIOS RIVER (FTHIOTIDA, CENTRAL GREECE)

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

¹Τομέας Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας, Α.Π.Θ., thodoris.parashou@gmail.com . youbal@geo.auth.gr

Η ποσοτικοποίηση και η χωρική κατανομή των παραμέτρων του δικτύου αποκάλυψαν ότι στο κεντρικό και δυτικό τμήμα της υδρολογικής λεκάνης του Ίναχου ποταμού οι υδρογραφικές παράμετροι (Πυκνότητας Du, Συχνότητας Fu, Κυκλικότητας Rc) επηρεάζονται από τη δράση της ρηξιγενούς τεκτονικής. Ο παράγοντας ασυμμετρίας Af της λεκάνης απορροής ενδεικνύει την περιστροφή της προς ΒΑ, γύρω από ένα άξονα ΒΔ – ΝΑ διεύθυνσης. Η διεύθυνση αυτή ταυτίζεται με την διεύθυνση ανάπτυξης της κοιλάδας του Σπερχειού και του ρήγματος που την διαμορφώνει. Επιπρόσθετα, η χαμηλή τιμή δαντέλωσης Smf υποδηλώνει έντονη ανυψωτική κίνηση του βόρειου τμήματος της κοιλάδας. Τέλος, η ανάλυση των διευθύνσεων των ρεμάτων του υδρογραφικού δικτύου έδειξε την επιλεκτική ανάπτυξη τους σε δυο κύριες διευθύνσεις μια ΒΑ - ΝΔ και μια ΒΒΔ – ΝΝΑ διεύθυνσης.

Λέξεις κλειδιά: γεωμορφολογία, Ίναχος ποταμός, γεωμορφολογικοί δείκτες, μορφοτεκτονικοί δείκτες, Σπερχειός ποταμός, Ελλάς.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

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, Πλάτανος και Γαρδίκι. Ο Ίναχος ποταμός πριν από την συμβολή του με τον Σπερχειό ποταμό δημιουργεί έναν εκτεταμένο κώνο αλλουβιακών αποθέσεων. Η λεκάνη απορροής του Ίναχου ποταμού έχει έκταση 338,3 km², ενώ η περίμετρος της είναι 101,4 km και καλύπτει το νοτιοδυτικό τμήμα του νομού Φθιώτιδας.

Η υδροκριτική γραμμή αποτελεί σύνορο ανάμεσα στους νομούς Φθιώτιδας και Φωκίδας, στα νότια και Φθιώτιδας και Ευρυτανίας, στα δυτικά. Η λεκάνη απορροής του Ίναχου ποταμού ανήκει σε δυο δήμους, στο δήμο Σπερχειάδας και στο δήμο Μακρακώμης. Στα όρια της λεκάνης υπάρχουν περισσότερα από 20 χωριά, τα γνωστότερα από τα οποία είναι τα Μάρμαρα, σε υψόμετρο 900 m που χρησίμευαν στο παρελθόν ως παραθεριστικό θέρετρο, το Περιβόλι και ο Άγιος Ζώσης, που είναι χτισμένο στην έξοδο της κοιλάδας του ποταμού πάνω στις αλλουβιακές αποθέσεις του.

1.2 Γεωλογικά στοιχεία

Η περιοχή μελέτης οριοθετείται από τρεις επικρατούσες γεωλογικές δομές. Στα ανατολικά-νοτιοανατολικά από τη ζώνη της Πίνδου, στα

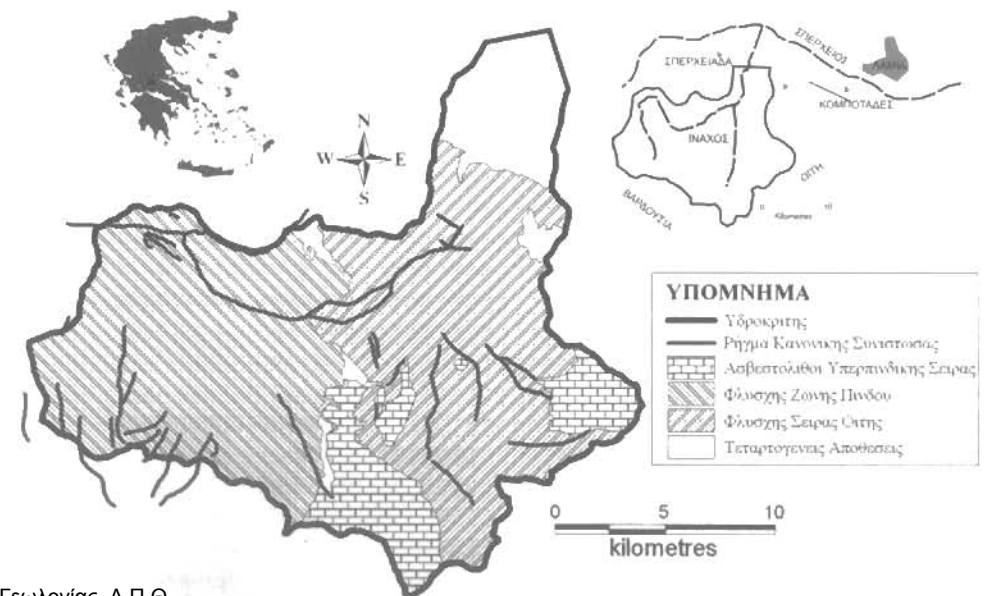
δυτικά-νοτιοδυτικά από τη ζώνη Παρνασσού και στα βόρεια από το μεγάλο ρήγμα της λεκάνης του Σπερχειού ποταμού διεύθυνσης ανατολής-δύσης.

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στην Εσωτερική Πίνδο (Υπερπινδική υποζώνη) και περιλαμβάνει μεταβατικά ιζήματα της ζώνης Πίνδου προς την Υποπελαγονική (Κασικάτσος, 1992). Ο «δευτερος φλύσχος της Πίνδου», όπως ονομάζεται από τους γεωλόγους για να διαχωρίζεται από τον παλαιότερο πρώτο φλύσχη της Πίνδου, είναι το πέτρωμα που επικρατεί στη λεκάνη του Ίναχου ποταμού. Η απόθεση του ξεκινάει στα τέλη του Κρητιδικού και συνεχίζεται στο Τριτογενές. Ο φλύσχος αυτός αποτελείται, κυρίως, από ψαμμιτοπηλικά στρώματα, με εναλλαγές κροκαλοπαγών στο ανατολικό τμήμα της ζώνης και ασβεστόλιθους. Το πάχος του κυμαίνεται από 1500 m μέχρι 4000 m, (Κασικάτσος, 1992). Ακόμη, στην περιοχή μελέτης υπάρχουν εμφανίσεις ασβεστόλιθων, κυρίως πελαγικής φάσης, ηλικίας Κρητιδικού της Υπερπινδικής σειράς. Χαρακτηρίζονται από πλακώδη στρώση με πυριτικές ενστρώσεις. Το πάχος τους κυμαίνεται από 200 μέτρα έως 500 μέτρα. Η απόθεση τους ξεκινά στο Κονιάσιο-Σαντώνιο και συνεχίζει αδιάκοπα έως το Μαιστρίχτιο. Η Ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας εντοπίζεται στα νοτιοδυτικά της λεκάνης του Ίναχου ποταμού με την εμφάνιση φλύσχη. Ο φλύσχος αυτός είναι ηλικίας Παλαιοκαίνου-Πριαμπονίου (άνωτερο Ηώκαινο) και το πάχος του είναι περίπου 1500 m. Στα κατώτερα στρώματα είναι ασβεστομαργαϊκός και εξελίσσεται κυρίως σε ψαμίτες και κροκαλοπαγή (Μουντράκης, 1985).

1.3 Γεωμορφολογικά – μορφοτεκτονικά στοιχεία

Η γεωμορφολογική – μορφοτεκτονική κατάσταση της ευρύτερης περιοχής της λεκάνης του Ίναχου ποταμού, επηρεάζεται έντονα από τη γεωμετρία του ρήγματος του Σπερχειού, που διαμορφώνει το βόρειο όριο της περιοχής μελέτης. Το ρήγμα του Σπερχειού με διεύθυνση Ανατολή-Δύση τέμνει εγκάρσια το Ελληνικό τόξο με αποτέλεσμα τη δημιουργία της ομώνυμης λεκάνης. Το ρήγμα άρχισε να λειτουργεί από το Τριαιδικό-Ιουρασικό, είναι δεξιόστροφο με κανονική συνιστώσα και έχει βυθίσει σημαντικά το βόρειο ρηξιγενές τέμαχος του ως προς το νότιο, με αποτέλεσμα την αύξηση του βάθους και του εύρους του βορείου τμήματος (Κασικάτσος, 1992).

Το ρήγμα του Σπερχειού εμφανίζεται στο νότιο όριο της λεκάνης του και χωρίζεται σε επιμέρους τμήματα. Το τμήμα που επηρεάζει την γεωμορφολογική και μορφοτεκτονική διαμόρφωση της λεκάνης του Ίναχου ποταμού είναι το δυτικό σκέλος του ρήγματος των Κομποτάδων. Το ρήγμα των Κομποτάδων αποτελεί ένα τμήμα 20 km της ρηξιγενούς ζώνης του Σπερχειού (Elite & Gawthorpe, 1995). Όπως υπολογί-



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

ζουν οι Zovoili et al, 2004, που μελέτησαν την τεκτονική γεωμορφολογία του ρήγματος χρησιμοποιώντας γεωμορφολογικούς δείκτες, το ρήγμα σχετίζεται με υψηλούς ρυθμούς ανύψωσης στο τμήμα των Κομποτάδων.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Επεξεργασία ψηφιακών δεδομένων

Για την εξαγωγή των παραγόντων και των χαρακτηριστικών της υδρολογικής λεκάνης του Ίναχου ποταμού χρησιμοποιήθηκαν τοπογραφικοί χάρτες της Γ.Υ.Σ. κλίμακας 1:50.000, φύλλα Λαμία, Σπερχειάδα, Καρπενήσιον και Λιδορίκιον και οι αντίστοιχοι γεωλογικοί χάρτες του ΙΓΜΕ με τα ίδια ονόματα. Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε σε λογισμικό των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.). Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό πρόγραμμα MapInfo 6.0, ώστε να ψηφιοποιηθούν το υδρογραφικό δίκτυο και οι λεκάνες απορροής. Η ψηφιοποίηση έγινε στους τοπογραφικούς χάρτες της Γ.Υ.Σ. με κλίμακα 1:50.000 και ισοδιάσταση 20 m. Τα δεδομένα που

προέκυψαν από τους χάρτες της Γ.Υ.Σ. διορθώθηκαν με βάση το διορθωμένο γεωμετρικά σε ΕΓΣΑ 87 φωτομωσαϊκό του Ελληνικού χώρου από το GEOSSETTM του LANDSAT7/ETM της NASA (Βουβαλιδής & Αλμπανάκης, 2004).

Κατασκευάστηκαν χάρτες κατανομής της υδρογραφικής πυκνότητας, της υδρογραφικής συχνότητας και της κυκλικότητας μέσα στη λεκάνη απορροής (σχήμα 3). Οι χάρτες αυτοί προέκυψαν από την επεξεργασία του ψηφιακού υδρογραφικού δικτύου με τη βοήθεια του λογισμικού προγράμματος VerticalMapper 3.1. Για να μετατραπούν τα δεδομένα από σημειακά, γραμμικά ή επιφανειακά σε ενιαίο κλίμακα εφαρμόστηκε η μέθοδος παρεμβολής αντίστροφης απόστασης βάρους (Inverse Distance Weighting interpolation method). Η μέθοδος αυτή είναι μια τεχνική παρεμβολής (interpolation technique) κινούμενου μέσου και χρησιμοποιείται κυρίως για έντονα μεταβαλλόμενα δεδομένα, όπως αυτά που μελετώνται. Η τεχνική αυτή δεν ακολουθεί πιστά τις τοπικές μεταβολές των τιμών αλλά δίνει μια χαρακτηριστική εκτίμηση της τάσης (trend) του παράγοντα σε μια περιοχή (VerticalMapper Tutorial, 2001). Για την εφαρμογή της μεθόδου χρησιμοποιήθηκε κελί με μέγεθος 150 m, ώστε τα σημεία χωρίς τιμές να είναι όσο το δυνατόν λιγότερα.

Επίσης, με σκοπό να εντοπιστούν οι περιοχές που έχουν ταυτόχρονα υψηλή πυκνότητα και συχνότητα έγινε συσχέτιση (correlation) των αντίστοιχων χαρτών κατανομής. Πραγματοποιήθηκαν πράξεις μεταξύ των διαφορετικών επιπέδων (layers) που αναπαριστούν οι δυο εικόνες και προέκυψε η εικόνα στο σχήμα 4Α. Για την κατασκευή του χάρτη επιλέχθηκαν τιμές πυκνότητας μεγαλύτερες από 5km^{-1} και τιμές συχνότητας μεγαλύτερες από 15. Οι τιμές αυτές επιλέχθηκαν γιατί περιγράφουν εκείνες τις περιοχές όπου η ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου ελέγχεται από έντονη γεωλογική δομή (Σωτηριάδης και Ψιλοβίκος, 1984, Φουρνιάδης, 2002, Καρύμπαλης κ.α., 2004, Reddy et al, 2004).

Με σκοπό να συσχετιστούν οι χάρτες κατανομής πυκνότητας και κυκλικότητας κατασκευάστηκε ο χάρτης του σχήματος 4Β. Πραγ-

ματοποιήθηκαν πράξεις μεταξύ των διαφορετικών επιπέδων (layers) που αναπαριστούν οι δυο εικόνες των σχημάτων 3Α και 3Γ. Χρησιμοποιήθηκαν τιμές πυκνότητας μεγαλύτερες από 5 για τους λόγους που προαναφέρθηκαν και τιμές κυκλικότητας μικρότερες από 0,4, αφού οι λεκάνες που χαρακτηρίζονται από τέτοια κυκλικότητα είναι αρκετά επιμήκεις (Καρύμπαλης, 1999, Lykoudi and Angelaki, 2004).

Τέλος, η ανάλυση των διευθύνσεων των ρεμάτων του υδρογραφικού δικτύου του Ίναχου ποταμού παρέχει την δυνατότητα να διαπιστωθεί αν η ανάπτυξη του είναι ομαλή ή αν είναι επιλεκτική προς κάποια κατεύθυνση και συνεπώς εξαρτάται από την τοποθέτηση συγκεκριμένων γεωλογικών δομών. Για το σκοπό αυτό κατασκευάστηκαν ροδιογράμματα παρατάξεων των ρεμάτων. Στα ροδιογράμματα παρουσιάζεται, πολύ παραστατικά, η διεύθυνση ροής των ρεμάτων κάθε τάξης (1° έως 6° τάξης) για το υδρογραφικό δίκτυο του Ίναχου ποταμού (σχήμα 5). Με σκοπό να διαπιστωθεί αν η κατανομή των τιμών των διευθύνσεων των ρεμάτων είναι τυχαία ή επηρεάζεται από κάποιον παράγοντα, έγινε στατιστική ανάλυση των δεδομένων. Η στατιστική μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι η δοκιμασία χ^2 σαν τεστ προσρμογής (Κολύβα-Μαχαίρα & Μπόρα-Σέβινα, 1999, Τσάντας και άλλοι, 1999). Η μηδενική υπόθεση H_0 που ελέγχθηκε, ορίστηκε «για την μη ύπαρξη σημαντικών διαφορών, με επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας $\alpha = 0,05$, μεταξύ των παρατηρούμενων συχνοτήτων n_i των ρεμάτων κάθε τάξης του υδρογραφικού δικτύου και των θεωρητικών συχνοτήτων θ_i του ιδανικού, δενδριτικού τύπου, υδρογραφικού δικτύου» (Αστάρης, 1980).

2.2 Μορφομετρικές παράμετροι υδρογραφικού δικτύου

Ποσοτική ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου ορίζεται η μαθηματική-αριθμητική έκφραση των μορφολογικών χαρακτηριστικών του. Η ποσοτική ανάλυση παρέχει την δυνατότητα συγκρίσεων μεταξύ υδρογραφικού δικτύου, ενός υδρογραφικού δικτύου, δηλαδή των κλάδων του, των λεκανών απορροής του και των

μεσολεκάνιων περιοχών. Επίσης, η ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου βοηθάει στον προσδιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, στην πρόβλεψη της εξέλιξης και στον προσδιορισμό της υδρολογικής συμπεριφοράς των υδρογραφικών δικτύων.

Σημαντικές παράμετροι που χαρακτηρίζουν τα υδρογραφικά δίκτυα και αναλύθηκαν στην παρούσα εργασία είναι η υδρογραφική πυκνότητα (D_u), η υδρογραφική συχνότητα (F_u) και η κυκλικότητα (R_c). Η υδρογραφική πυκνότητα, D_u , εξαρτάται άμεσα από τις γεωλογικές δομές που διαμορφώνουν το ανάγλυφο μιας περιοχής. Η υδρογραφική πυκνότητα αυξάνεται όσο πιο νέα είναι η τεκτονική δραστηριότητα σε μια περιοχή (Han et al, 2003, Reddy et al, 2004). Η διαμόρφωση του μεγέθους της υδρογραφικής συχνότητας, F_u , εξαρτάται από τους ίδιους παράγοντες που εξαρτάται και η υδρογραφική πυκνότητα, δηλαδή από το είδος των γεωλογικών δομών, από το κλίμα και από τη βλάστηση (Σωτηριάδης και Ψιλοβίκος, 1984). Συνεπώς, η αυξημένη συχνότητα οφείλεται σε έντονες γεωλογικές δομές. Η κυκλικότητα, $R_c = 4\pi A_u/P_u^2$ είναι η παράμετρος που χαρακτηρίζει τη μορφή και το σχήμα που έχει αποκτήσει μια λεκάνη λόγω της δράσης του νερού και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μια ποσοτική παράμετρος ώστε να διακριθούν μεταξύ τους λεκάνες που έχουν υποστεί ανύψωση ή όχι (Reddy et al, 2004).

Αφού υπολογίστηκαν οι μορφομετρικές παράμετροι κατασκευάστηκαν χάρτες γεωγραφικής κατανομής της υδρογραφικής πυκνότητας, της υδρογραφικής συχνότητας και της κυκλικότητας (σχήμα 3Α, 3Β και 3Γ). Οι χάρτες αυτοί δίνουν παραστατικά τον τρόπο διασποράς της υδρογραφικής πυκνότητας, συχνότητας και κυκλικότητας των λεκανών 6° , 5° , 4° και 3° τάξης, μέσα στην επιφάνεια της υδρολογικής λεκάνης ενός ποταμού (Φουρνιάδης, 2002, Καρύμπαλης κ.α., 2004, Reddy et al, 2004). Επίσης έγινε συσχέτιση αυτής της κατανομής με την γεωλογία – λιθολογία της περιοχής μελέτης.

2.3 Μορφοτεκτονικοί παράγοντες της λεκάνης απορροής

Η γεωμετρία ενός υδρογραφικού δικτύου μπορεί να περιγραφεί με διάφορους ποσοτικούς τρόπους. Στις τεκτονικά ενεργές περιοχές, τις

περισσότερες φορές η γεωμετρία των υδρολογικών λεκανών παρουσιάζει ιδιαίτερη εικόνα. Με σκοπό την ποσοτικοποίηση αυτών των μεταβολών χρησιμοποιήθηκε ο παράγοντας ασυμμετρίας (asymmetry factor),

$$AF=100(A_r/At),$$

που ελέγχει την τεκτονική περιστροφή (tectonic tilting) εγκάρσια στη ροή του συστήματος και είναι ευαίσθητος μόνο σε περιστροφές κάθετες στην ανάπτυξη του κύριου ρέματος. Όπως και οι περισσότεροι μορφομετρικοί δείκτες, ο παράγοντας AF λειτουργεί καλύτερα όταν η λεκάνη απορροής αναπτύσσεται σε λιθολογικά ομοιομορφο υπόβαθρο (Keller and Pinter, 2002).

Μια άλλη μορφομετρική παράμετρος που χρησιμοποιήθηκε είναι η δαντέλωση του μέτωπου των βουνών (mountain-front sinuosity),

$$S_{mf}=Lmf/Ls.$$

Με το δείκτη αυτόν προσδιορίζεται η ισορροπία που υπάρχει μεταξύ των δυνάμεων διάβρωσης που τείνουν να ομαλοποιήσουν τις εγκοπώσεις στο μέτωπο του βουνού (mountain front) και στις τεκτονικές δυνάμεις που τείνουν να παράγουν ευθύγραμμο ανάγλυφο στο μέτωπο του βουνού. Τα πρηνή που σχετίζονται με τεκτονικές κινήσεις, και είναι σχετικά ευθύγραμμα, συνδέονται με χαμηλές τιμές του S_{mf} , ενώ αν μειωθεί ή σταματήσει η ανύψωση τότε οι διαδικασίες διάβρωσης δρουν εντονότερα με αποτέλεσμα η τιμή του S_{mf} να αυξάνεται (Keller and Pinter, 2002).

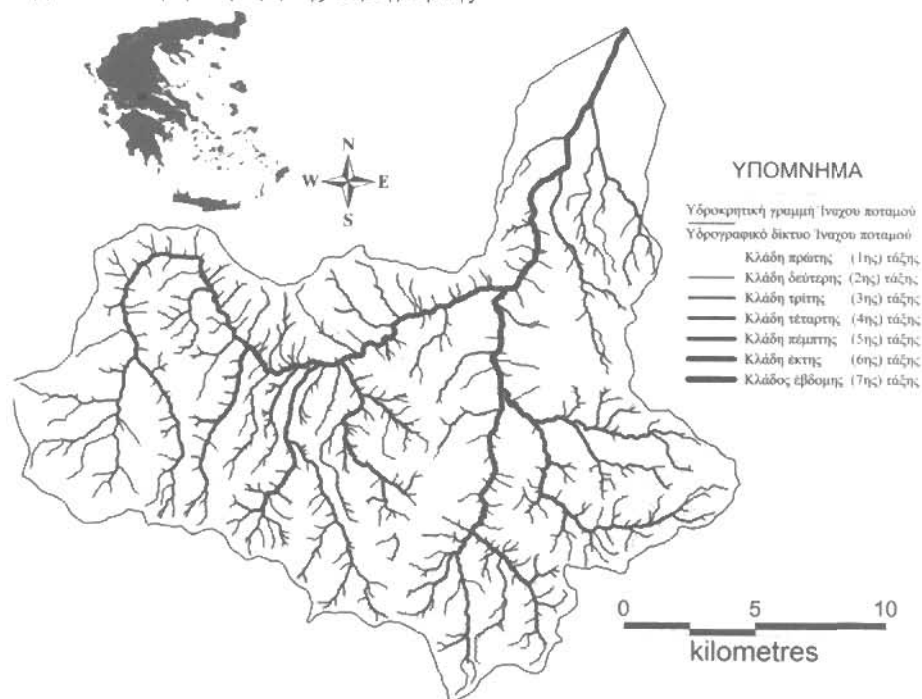
Σύμφωνα με τους Burbank και Anderson (2001), ο τρόπος που τοποθετούνται τα τριγωνικά πρηνή (triangular facets) κατά μήκος του μέτωπου των βουνών σχετίζεται με την εξέλιξη του υδρογραφικού δικτύου. Η επιμήκης ή η κυκλική μορφή των υδρολογικών λεκανών σχετίζεται με τη θέση και το σχήμα των μεσολεκάνιων περιοχών. Όσο πιο επιμήκης είναι μια λεκάνη, τόσο πιο απότομες και συμπυκνωμένες είναι οι μεσολεκάνιες περιοχές, ενώ όσο πιο κυκλική είναι μια λεκάνη τόσο ομαλότερες και διευρυμένες είναι αυτές. Γρήγορη τεκτονική ανύψωση συνδέεται με μεγάλα, ελαφρώς διαβρωμένα τριγωνικά πρηνή (triangular facets) στο μέτωπο του βουνού, ενώ αργές τεκτονικές κινήσεις συνδέονται με διαβρωμένα πρηνή στο μέτωπο του βουνού.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

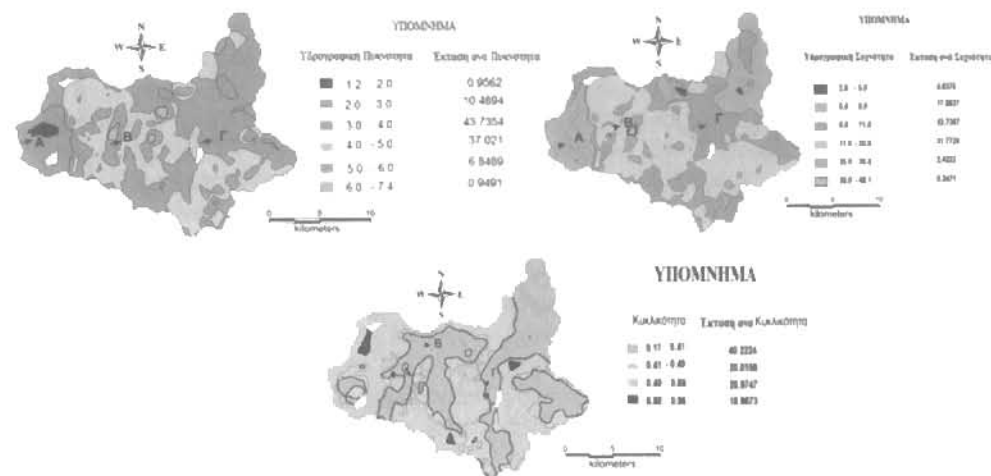
Το υδρογραφικό δίκτυο του Ίναχου ποταμού παρουσιάζεται στο σχήμα 2. Η επεξεργασία των ψηφιακών δεδομένων του δικτύου οδήγησε στον υπολογισμό των μορφομετρικών παραμέτρων του. Η κατασκευή χαρτών κατανομής και η συσχέτιση των χαρτών αυτών, μεταξύ τους φανέρωσαν συγκεκριμένες περιοχές όπου οι μορφομετρικές παράμετροι αναπτύσσονται με ιδιαίτερο τρόπο.

Στο σχήμα 3Α φαίνεται η κατανομή της υδρογραφικής πυκνότητας μέσα στη λεκάνη απορροής. Η εικόνα προέκυψε από την επεξεργασία του ψηφιακού αρχείου των λεκανών απορροής και του ψηφιακού υδρογραφικού δικτύου με τη βοήθεια του λογισμικού Vertical Mapper 3.1. Η μέγιστη τιμή της υδρογραφικής

πυκνότητας που αναπαριστάται στο χάρτη είναι 7.453 km^{-1} και η ελάχιστη 1.275 km^{-1} . Στο σχήμα 3Α παρατηρούμε ότι η λεκάνη χωρίζεται σε τρεις περιοχές, με βάση τη διασπορά της υδρογραφικής πυκνότητας. Στην περιοχή Α η υδρογραφική πυκνότητα είναι αρκετά χαμηλή, γεγονός που οφείλεται στην ομαλή ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου και στην απουσία έντονης γεωλογικής δομής. Στην περιοχή Β η υδρογραφική πυκνότητα είναι αρκετά αυξημένη, σε αυτό το χώρο η πυκνότητα λαμβάνει τις μέγιστες τιμές της, γεγονός που είναι αποτέλεσμα της παρουσίας έντονης γεωλογικής δομής, που επηρεάζει τον τρόπο ανάπτυξης του υδρογραφικού δικτύου. Τέλος, στην περιοχή Γ η πυκνότητα λαμβάνει μέσες τιμές.



Σχήμα 2: Το υδρογραφικό δίκτυο του Ίναχου ποταμού της Φθιώτιδας.



Σχήμα 3: Α: Χάρτης κατανομής της υδρογραφικής πυκνότητας των λεκανών 3ης, 4ης, 5ης και 6ης τάξης.
Β: Χάρτης κατανομής της υδρογραφικής συχνότητας των λεκανών 3ης, 4ης, 5ης και 6ης τάξης.
Γ: Χάρτης κατανομής της κυκλικότητας των λεκανών 3ης, 4ης, 5ης και 6ης τάξης.

Στο σχήμα 3B παρουσιάζεται η διασπορά της υδρογραφικής συχνότητας στη λεκάνη του Ίναχου ποταμού. Από το σχήμα αυτό εντοπίζονται τρεις περιοχές (Α, Β και Γ) με διακριτά διαφορετικές τιμές υδρογραφικής συχνότητας που ταυτίζονται με τις τρεις περιοχές Α, Β και Γ που φαίνονται στο σχήμα 3Α και αφορούν στην υδρογραφική πυκνότητα της λεκάνης.

Με σκοπό να εντοπιστούν οι περιοχές που έχουν ταυτόχρονα υψηλή πυκνότητα και συχνότητα έγινε συσχέτιση (correlation) των χαρτών των σχημάτων 3Α και 3Β και προέκυψε ο χάρτης συσχέτισης του σχήματος 4Α. Η ζώνη των κοινών τιμών πυκνότητας ($>5 \text{ km}^{-1}$) και συχνότητας ($>15 \text{ km}^{-2}$) αναπτύσσεται κυρίως στην περιοχή Α. Φαίνεται ότι αυτή η ζώνη έχει επιμήκη ανάπτυξη εκατέρωθεν ενός κλάδου 5ης τάξης.

Η χωρική ανάλυση της κυκλικότητας βοηθάει στον εντοπισμό των περιοχών όπου αναπτύσσονται επιμήκεις λεκάνες αποτέλεσμα τεκτονικής δραστηριότητας. Για το σκοπό αυτό κατασκευάστηκε χάρτης κατανομής της κυκλικότητας στη λεκάνη του Ίναχου ποταμού που προβάλλεται στο σχήμα 3Γ. Η συσχέτιση της κατανομής της πυκνότητας και της κυκλικότητας παρουσιάζεται στον χάρτη του σχήματος 4Β.

Η περιοχή Α εμφανίζει κοινές τιμές πυκνότητας ($>5 \text{ km}^{-1}$) και κυκλικότητας ($< 0,4$). Παρατηρώντας το σχήμα 4Α διαπιστώνεται ότι η περιοχή Α των κοινών τιμών υδρογραφικής πυκνότητας και συχνότητας ταυτίζεται με την περιοχή Α των κοινών τιμών υδρογραφικής πυκνότητας και κυκλικότητας του σχήματος 4Β. Η παρατήρηση αυτή οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η περιοχή Α είναι ζώνη ανάπτυξης έντονων, γραμμικών κυρίως, γεωλογικών δομών που επηρεάζουν τη διαμόρφωση των υδρογραφικών παραμέτρων. Συγκεκριμένα, δεδομένης της λιθολογικής ομοιομορφίας στη λεκάνη απορροής του Ίναχου ποταμού, οι γεωλογικές δομές που επηρεάζουν τη διαμόρφωση των μορφολογικών παραγόντων της υδρογραφικής πυκνότητας, συχνότητας και κυκλικότητας, μπορούν να ταυτιστούν με ρήγματα.

Η ανάλυση των διευθύνσεων των ρεμάτων του υδρογραφικού δικτύου του Ίναχου ποταμού έδωσε την δυνατότητα να διαπιστωθεί αν η ανάπτυξη του είναι ομαλή ή αν είναι επιλεκτική προς κάποια κατεύθυνση και συνεπώς εξαρτάται από την τοποθέτηση συγκεκριμένων γεωλογικών δομών.

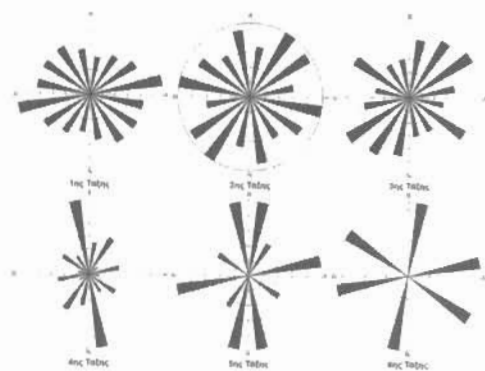


Σχήμα 4: Α: Χάρτες συσχέτισης υδρογραφικής πυκνότητας- συχνότητας για τιμές $>5\text{km/km}^2$ και >15 αντίστοιχα. Β: Χάρτες συσχέτισης υδρογραφικής πυκνότητας- κυκλικότητας $>5\text{km/km}^2$ και $<0,4$ αντίστοιχα.

Στο σχήμα 5 απεικονίζονται τα ροδιοδιαγράμματα διευθύνσεων των ρεμάτων 1ης, 2ης, 3ης, 4ης, 5ης και 6ης τάξης του υπό μελέτη δικτύου. Παρατηρείται ότι τα ρέματα 1ης τάξης συγκεντρώνονται σε διεύθυνση Α ΒΑ – Δ ΝΔ. Τα ρέματα 2ης τάξης ακολουθούν δυο διευθύνσεις, μια ΒΑ – ΝΔ και μια Β ΒΔ – Ν ΝΑ. Τα ρέματα 3ης τάξης αναπτύσσονται σε δυο διευθύνσεις, μια Β – Ν έως ΒΑ – ΝΔ και μια ΒΔ – ΝΑ. Τα ρέματα 4ης τάξης δείχνουν την εντονότερη επιλογή ανάπτυξης σε μια συγκεκριμένη διεύθυνση που είναι Β ΒΔ – Ν ΝΑ.

Από το τεστ χ^2 καλής προσαρμογής η υπόθεση H_0 ελέγχθηκε συγκρίνοντας την τιμή του χ^2 , όπως υπολογίστηκε για της παρατηρούμενες τιμές n_i (τάξης ρεμάτων) με την θεωρητική τιμή $\chi^2_{15,0.05}$ που υπολογίζεται από τον αντίστοιχο πίνακα, για $k-1=15$ βαθμούς ελευθερίας και $\alpha=0.05$ διάστημα εμπιστοσύνης. Το χ^2 υπολογίστηκε $\chi^2=190.0619$, για 1η τάξη, $\chi^2=46.69384$, για 2η τάξη, $\chi^2=36.17431$, για 3η τάξη, $\chi^2=29.33333$, για 4η τάξη ενώ από τον πίνακα των $\chi^2_{k-1,\alpha}$ βρέθηκε ότι $\chi^2_{15,0.05}=24.9958$. Παρατηρείται ότι $\chi^2 > \chi^2_{15,0.05}=24.9958$, για όλες τις περιπτώσεις. Συνεπώς απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση H_0 και συμπεραίνεται ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των παρατηρούμενων συχνοτήτων n_i των ρεμάτων 1ης, 2ης, 3ης και 4ης τάξης του υδρογραφικού δικτύου και των θεωρητικών συχνοτήτων θ_i του ιδανικού, δένδριτικού τύπου, υδρογραφικού δικτύου.

Έτσι διαπιστώνεται ότι οι διευθύνσεις αυτών των ρεμάτων δεν ακολουθούν τη θεωρητική κατανομή αλλά η ανάπτυξη τους επηρεάζεται από γεωλογικούς παράγοντες, που συνήθως είναι διευθύνσεις ρηγμάτων (Deroin et al, 1995, Mayer et al, 2003). Το πλήθος των ρεμάτων 5ης και 6ης τάξης είναι μικρό με αποτέλεσμα τα ροδιοδιαγράμματα να αναπαριστούν κάθε κλάδο ξεχωριστά, γεγονός που στερεί τη δυνατότητα ερμηνείας των διευθύνσεων των ρεμάτων.



Σχήμα 5: Ροδιοδιαγράμματα διευθύνσεων ρεμάτων 1ης – 6ης τάξης του υδρογραφικού δικτύου του Ίναχου ποταμού.

Η γεωμετρία των λεκανών, όπως αυτή παρουσιάζει ιδιαίτερη ανάπτυξη, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να προσδιοριστούν τα αίτια που τη διαμόρφωσαν. Για αυτό το σκοπό υπο-

λογίστηκε ο παράγοντας ασυμμετρίας (AF) λεκανών που αναπτύσσονται με χαρακτηριστικό τρόπο.

Στο σχήμα 6Α φαίνεται η λεκάνη απορροής και ο κύριος κλάδος, 7ης τάξης, που προκύπτει από την αρίθμηση κατά Strahler, 1952. Υπολογίστηκε ο παράγοντας AF, δηλαδή το πηλίκο του εμβαδού της περιοχής Α, δυτικά από τον κύριο κλάδο (κατά Strahler) προς το εμβαδόν όλης της λεκάνης. Το εμβαδόν της περιοχής Α είναι 246.2km^2 και το εμβαδόν όλης της λεκάνης είναι 338.8km^2 . Συνεπώς, $AF = (246.2/338.8) \cdot 100 = 72.67$. Η τιμή του παράγοντα ασυμμετρίας, δηλώνει ότι έχει ανυψωθεί η δυτική πλευρά της περιοχής μελέτης. Δηλαδή, η λεκάνη απορροής του Ίναχου ποταμού έχει περιστραφεί (tilted) προς τα ανατολικά, κατά μήκος του άξονα συμμετρίας της που ταυτίζεται με τον κύριο κλάδο 7ης τάξης, κατά Strahler, 1952.

Εξαιτίας της ιδιόμορφης ανάπτυξης του υδρογραφικού δικτύου και της έντονης ασυμ-

τρίας του η μελέτη του παράγοντα AF συνεχίστηκε. Έτσι αριθμήθηκε το δίκτυο με την μέθοδο του Horton. Στο σχήμα 6Β απεικονίζεται ο κύριος κλάδος 7ης τάξης του δικτύου, κατά Horton. Παρατηρείται ότι η ασυμμετρία της λεκάνης είναι εντελώς διαφορετική από αυτή που προκύπτει από την αρίθμηση του Strahler. Το εμβαδόν της περιοχής Β είναι 249.9km^2 και το εμβαδόν όλης της λεκάνης είναι 338.8km^2 . Δηλαδή, $AF = (249.9 / 338.8) \cdot 100 = 73.76$. Συνεπώς έχοντας αριθμήσει το δίκτυο με τη μέθοδο του Horton, η τιμή του παράγοντα AF δηλώνει ότι το νότιο τμήμα της περιοχής έχει ανυψωθεί. Με άλλα λόγια, η λεκάνη του Ίναχου ποταμού έχει περιστραφεί (tilt) προς τα βόρεια, κατά μήκος του άξονα συμμετρίας της που ταυτίζεται με τον κύριο κλάδο 7ης τάξης, κατά Horton.

Στη συνέχεια, από το σχήμα 6Γ και με τη βοήθεια των ψηφιακών δεδομένων των λεκανών απορροής και του υδρογραφικού δικτύου εντοπίστηκαν υδρολογικές λεκάνες που να έχουν



Σχήμα 6: Α: Υδρολογική λεκάνη του Ίναχου ποταμού με άξονα συμμετρίας τον κύριο κλάδο 7ης τάξης κατά Strahler (1952).

Β: Υδρολογική λεκάνη του Ίναχου ποταμού με άξονα συμμετρίας τον κύριο κλάδο 7ης τάξης κατά Horton (1945).

Γ: Υπολεκάνες του Ίναχου ποταμού που παρουσιάζουν ασύμμετρη ανάπτυξη.

περιστραφεί. Στον πίνακα 1 δίνεται ο παράγοντας ασυμμετρίας που υπολογίστηκε για κάθε λεκάνη του σχήματος 6Γ.

Από τις τιμές του παράγοντα AF που φαίνονται στον πίνακα 2 προκύπτει ότι το νοτιοδυτικό τμήμα της λεκάνης του Ίναχου ποταμού έχει περιστραφεί προς τα ανατολικά, κυρίως, κατά μήκος ενός άξονα διεύθυνσης βορρά - νότου. Η περιοχή, άλλωστε, αυτή μπορεί να ταυτιστεί με τις περιοχές Α των σχημάτων 4Α και 4Β, στις οποίες όπως προαναφέρθηκε η ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου επηρεάζεται από έντονη γεωλογική δομή. Σε αυτή την περίπτωση η δομή αυτή πρέπει να συσχετίζεται με την ύπαρξη ρηγμάτων που υπάρχουν στην περιοχή.

Κατά μήκος της κοιλάδας του ποταμού, στο βόρειο πρηνές παρατηρήθηκε ότι οι υπολεκάνες σχηματίζουν χαρακτηριστικές μορφές τριγωνικών πρηνών. Στο σχήμα 7 παρουσιάζεται η περιοχή της λεκάνης στην οποία υπολογίστηκε ο παράγοντας της δαντέλωσης του μετώπου των προπόδων, S_{mf} . Για το βόρειο πρηνές ο παράγοντας S_{mf} υπολογίστηκε ίσος με $S_{mf} = 1,96$ τιμή που χαρακτηρίζεται αρκετά χαμηλή (Keller and Pinter, 2002) ώστε να οφείλεται στη δράση κανονικού ρήγματος. Επίσης, υπολογίστηκε ο παράγοντας S_{mf} για το νότιο πρηνές και βρέθηκε ίσος με 7,12. Η σύγκριση των δυο τιμών του παράγοντα S_{mf} για το νότιο και βόρειο πρηνές αποδεικνύει ότι το βόρειο ανυψώνεται σε σχέση με το νότιο. Στα αποτελέσματα του



Σχήμα 7: Βορειοδυτικό τμήμα της λεκάνης του Ίναχου ποταμού όπου παρατηρείται η διαμόρφωση τριγωνικών πρηνών, ο κύριος κλάδος 7^{ης} τάξης κατά Horton στρέφεται 90° και υπολογίστηκε ο παράγοντας S_{mf} .

Πίνακας 2.: Παράγοντες ασυμμετρίας των λεκανών που απεικονίζονται στο σχήμα 6Γ.

Κωδικός αριθμός λεκάνης	Παράγοντας ασυμμετρίας AF
6.3	75.79
5.3	76.57
5.4	80.44
5.6	80.02
5.8	70.12
4.1	87.99
4.11	64.88
4.12	72.79
4.16	71.97
4.19	64.16
4.22	81.11
4.23	67.58
4.24	73.01

S_{mf} συνηγορούν επίσης η γεωμετρία των λεκανών απορροής και η τοποθέτηση των τριγωνικών πρηνών (triangular facets) που συνάδουν με την παρουσία ρήγματος. Επιμήκεις λεκάνες που καταλήγουν σε κοιλάδα μεταξύ των οποίων παρεμβάλλονται απότομα τριγωνικά πρηνή οφείλονται σε έντονες ανυψωτικές κινήσεις της περιοχής που αναπτύσσονται (Burbank, 2001). Σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του ανάγλυφου της περιοχής παίζει η παρουσία του φλύσχη, που αποτελεί το 78% της λεκάνης, αφού είναι ένα πέτρωμα εύπλαστο και εύκολα διαβρούμενο που βοηθάει να αποτυπωθούν πάνω

στο υδρογραφικό δίκτυο οι όποιες τεκτονικές μεταβολές λαμβάνουν χώρα. Άλλωστε η περιοχή που βρίσκονται οι εν λόγω λεκάνες ταυτίζεται με την περιοχή Β του χάρτη διασποράς της κυκλικότητας (σχήμα 3Γ).

Οι παραπάνω παρατηρήσεις αποδεικνύουν την ύπαρξη ρήγματος με διεύθυνση παράλληλη σε αυτή της κοιλάδας του Ίναχου ποταμού. Η αλλαγή της ροής του ποταμού κατά 90°, όπως φαίνεται στο σχήμα 2, οφείλεται στη δράση του ρήγματος αυτού. Ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής επιβεβαιώνει την ομογενή λιθολογία της περιοχής μελέτης, όπου επικρατεί ο φλύσχος και την ύπαρξη ρήγματος με διεύθυνση ανατολή- δύση. Σχετικά με τη δράση του ρήγματος, το βόρειο τέμαχος ανυψώνεται γρήγορα με αποτέλεσμα την επιμήκη τοποθέτηση των λεκανών κάθετα στον κύριο κλάδο του δικτύου.

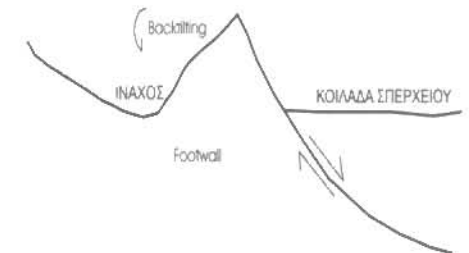
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η λεκάνη απορροής του Ίναχου ποταμού καταλαμβάνει μια μεγάλη, επιμέρους έκταση στο Νότιο τμήμα της υδρολογικής λεκάνης του Σπερχείου ποταμού. Από τη μελέτη και την επεξεργασία ψηφιακών δεδομένων της λεκάνης απορροής του, που εξήχθησαν από τοπογραφικούς χάρτες και δορυφορικές εικόνες με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.), προέκυψαν τόσο κάποιες μορφομετρικές παράμετροι, όσο και μορφοτεκτονικοί παράγοντες για την εν λόγω υδρολογική λεκάνη. Ο υπολογισμός των παραμέτρων και παραγόντων αυτών βοήθησε στην κατανόηση της συμπεριφοράς και της εξέλιξης της κοιλάδας του Ίναχου ποταμού.

Η ανάλυση των μορφομετρικών παραμέτρων του υδρογραφικού δικτύου απέδειξε ότι αυτό δεν αναπτύσσεται με ομαλό τρόπο. Τόσο η υδρογραφική πυκνότητα, D_u , και συχνότητα, F_u , όσο και η κυκλικότητα, R_c , των λεκανών απορροής εξαρτώνται από τις γεωλογικές δομές που επηρεάζουν τη διαμόρφωση του ανάγλυφου, γεγονός που διαπιστώνεται από τους επιμέρους χάρτες κατανομής της κάθε παραμέτρου και από τους χάρτες συσχέτισης. Αυτές οι δομές μπορεί να οφείλονται είτε στην έντονη λιθολογική ανομοιομορφία, είτε στην πρόσφατη τεκτονική δραστηριότητα. Γνωρίζοντας, όμως, ότι η λεκάνη απορροής του Ίναχου

ποταμού αποτελείται κατά 78% από φλύσχη, δηλαδή είναι λιθολογικά ομοιομορφή, μπορεί να ειπωθεί ότι η πιθανότερη αιτία διαμόρφωσης των μορφομετρικών παραμέτρων είναι η τεκτονική.

Από τον υπολογισμό της δαντέλωσης του μετώπου του βουνού αποδείχθηκε ότι το βόρειο τμήμα της λεκάνης απορροής ανυψώνεται. Το γεγονός αυτό συμφωνεί με την παρουσία επιμήκων λεκανών που καταλήγουν στην κοιλάδα μεταξύ των οποίων παρεμβάλλονται απότομα τριγωνικά πρηνή. Η ανύψωση αυτή έρχεται σε συμφωνία με την δράση ενός κύριου κανονικού ρήγματος (Burbank and Anderson, 2001) που διαμορφώνει το ασύμμετρο βύθισμα (half-graben) της λεκάνης του Σπερχείου ποταμού. Όπως φαίνεται στο σχήμα 8 το τέμαχος βάσης του ρήγματος (footwall) περιστρέφεται (back-tilting) και ταυτόχρονα ανυψώνεται.



Σχήμα 8: Μοντέλο ανάπτυξης κανονικών ρηγμάτων κατά Burbank, 2001

Είναι λοιπόν προφανές ότι ένα μεγάλο μέρος της τεκτονικής που αποτυπώνεται στο υδρογραφικό δίκτυο του Ίναχου ποταμού έχει άμεση σχέση με την τεκτονική της ευρύτερης περιοχής που έχει διαμορφώσει το βύθισμα του Σπερχείου ποταμού. Τόσο η ασύμμετρη ανάπτυξη της υδρολογικής λεκάνης του Ίναχου ποταμού, όσο και η συγκεκριμένες τιμές των μορφομετρικών παραμέτρων, που υπολογίστηκαν, οφείλονται στην τεκτονική δραστηριότητα που λαμβάνει χώρα σε περιοχές πίσω από μεγάλες ρηζιγενείς ζώνες που διαμορφώνουν την κοιλάδα του Σπερχείου ποταμού. Άλλωστε, το γεγονός ότι η κοιλάδα του Ίναχου ποταμού είναι πιο διευρυμένη στα ανάντη της λεκάνης του σε σχέση με τα κατόντη, μπορεί να αποδοθεί στη πρόσφατη τεκτονική δραστηριότητα του

βυθίσματος του Σπερχειού, αφού η λεκάνη του Ίναχου είναι λιθολογικά ομοιόμορφη.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αστάρης, Θ.Α. (1980). Ποσοτική γεωμορφολογική μελέτη τμήματος των δ. πλευρών του όρους Βερτισκόν (Κ. Μακεδονία) (Με 4 χάρτες εντός κειμένου). *Διδακτορική διατριβή*, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Βουβαλίδης, Κ., Αλμπανάκης, Κ., (2004). Δημιουργία γεωμετρικά διορθωμένου σε ΕΓΣΑ 87 φωτομωσαϊκού του Ελληνικού χώρου από το GEOSAT™ του LANDSAT7/ETM της NASA. *Πρακτικά 14ης Συνάντησης Ελλήνων Χρηστών ARCGIS*, Αθήνα.
- Burbank, D.W. and Anderson, R.S. (2001). Tectonic Geomorphology. *Blackwell Science*.
- Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (Γ.Υ.Σ.), Τοπογραφικοί χάρτες, Φύλλο Λαμία, Σπερχιάδα, Καρπενήσιον και Λιδορίκιον (κλίμακα 1:50.000)
- 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
- Elite P.P. & Gawthorpe R.L. (1995). Drainage development and sediment supply within rifts, examples from the Sperchios basin, central Greece. *Journal of the Geological Society, London*, 152, 883-893.
- Han, Z., Wu, L., Ran, Y., Ye, Y. (2003). The concealed active tectonics and their characteristics as revealed by drainage density in the North China plain (NCP). *Journal of Asian Earth Sciences*, 21, 989-998.
- Horton, R.E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basin: an hydro-physical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*, 56, 275-370.
- <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>
- Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.), Γεωλογικοί χάρτες, Φύλλο Λαμία, Σπερχιάδα, Καρπενήσιον και Λιδορίκιον (κλίμακα 1:50.000)

- Καρύμπαλλης, Ε. (1999). Γεωμορφολογική μελέτη του υδρογραφικού δικτύου του Εύηνου ποταμού. *Ελληνική Γεωγραφική Εταιρία, Πρακτικά 5ου Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου*, Αθήνα, 1999, 59-71
- Καρύμπαλλης, Ε., Κοντής, Ε., Ζούρος, Ν. (2004). Ποσοτικές γεωμορφολογικές παρατηρήσεις στη λεκάνη απορροής του χειμάρρου Τσικνιά (Κεντρική Λέσβος). *7ο Πανελλήνιο συνέδριο της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας, Μυτιλήνη*, 503-511.
- Κατσικάτσος, Γ.Χ. (1992). Γεωλογία της Ελλάδας. Αθήνα.
- Keller, E.A. and Pinter N. (2002). Active tectonics: Earthquakes, uplift, and landscape. *2nd Ed. Prentice Hall Inc., New Jersey*
- Κολύβα-Μαχαίρα, Φ., Μπόρα-Σέντα, Ε. (1999). Στατιστική, θεωρία, Εφαρμογές. *Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη*.
- Lykoudi, E. and Angelaki, M. (2004). The contribution of the morphometric parameters of an hydrographic network to the investigation of the neotectonic activity: an application of the upper Acheloos river. *Bulletin of the Geological Society of Greece vol. XXXVI, 2004. Proceedings of the 10th International Congress, Thessaloniki, April 2004, 1084-1092.*
- 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.
- Μουντράκης, Δ. (1985). Γεωλογία της Ελλάδος. *University Studio Press, Θεσσαλονίκη*.
- Reddy, G.P.O., Maji, A.K., Gajbhiye, K.S. (2004). Drainage morphometry and its influence on landform characteristics in a basaltic terrain, Central India – a remote sensing and GIS approach. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 6, 1-16.
- Strahler, A.N. (1952) Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Bulletin Geolog. Societ. Americ.*, 63, 1117-1142.
- Σωτηριάδης, Λ., Ψιλοβίκος, Α. (1984). Ασκήσεις γεωμορφολογίας. Α.Π.Θ. Υπηρεσία Δημοσιευμάτων, Θεσσαλονίκη.
- Τσάντας, Ν., Μωυσιάδης, Χ., Μπαγιάνης, Ν., Χατζηπαντελής, Θ. (1999). Ανάλυση δεδομέ-

- νων με τη βοήθεια στατιστικών πακέτων. *Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη*.
- Φουρνιάδης, Ι. (2002). Γεωμορφολογική και περιβαλλοντική εξέλιξη της κοιλάδας του Ανθεμούντα, με τη χρήση μεθόδων GIS και τηλεπισκόπησης. *Διατριβή ειδίκευσης, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη*.
- Vertical Mapper Spatial analysis and display software. Tutorial (2001) *Northwood Technologies Inc. and Marconi Mobile Limited Canada*.
- Zovoili E., Konstantinidi E. and Koykoyvelas I.K. (2004). Tectonic geomorphology of escarpments: the cases of Kompotades and Nea Anchialos faults. *Bulletin of the Geological Society of Greece vol. XXXVI, 2004. Proceedings of the 10th International Congress, Thessaloniki, April 2004, 1716-1725.*