

ΜΕΛΕΤΗ ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΗΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΦΑΡΑΓΓΙΟΥ ΤΗΣ ΑΓΙΑΣ ΕΙΡΗΝΗΣ ΣΤΑ ΔΥΤΙΚΑ ΤΟΥ ΕΘΝΙΚΟΥ ΔΡΥΜΟΥ ΣΑΜΑΡΙΑΣ, ΔΥΤΙΚΗ ΚΡΗΤΗ

Μπιζούρα Αικατερίνη^{1,*}, Λυκούδη Ευδοξία², Μανούτσογλου Εμμανουήλ³

¹Δασολόγος, Υποψήφιος Διδάκτορας, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Κουνουπιδιανά-Χανιά 73100, Τηλ. 2821041929, Email:katbizou@gmail.com

² Δρ. Γεωλόγος, Ε. Μ. Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών, Ηρώων Πολυτεχνείου 7–Ζωγράφου, Αθήνα 15780, Τηλ. 2107722091, Email: elykoudi@metal.ntua.gr

³Αναπληρωτής Καθηγητής, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Κουνουπιδιανά-Χανιά 73100, Τηλ. 2821037650, Email:emanout@mred.tuc.com

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία με την χρήση ΓΣΠ οργανώθηκε ένα πληροφοριακό σύστημα για το φαράγγι της Αγίας Ειρήνης και μελετήθηκαν οι μορφομετρικές παράμετροι που αφορούν την ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου, όπως ο αριθμός, το μήκος των κλάδων και οι λόγοι διακλάδωσης αυτών. Με εφαρμογή των νόμων του Horton υπολογίστηκαν οι αποκλίσεις των τιμών των παραμέτρων και εξήχθησαν συμπεράσματα σε σχέση με την ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου. Υπολογίστηκε η υδρογραφική συχνότητα και πυκνότητα των υπολεκανών απορροής 3^{ης} και 4^{ης} τάξης και για όλους τους κλάδους του δικτύου μετρήθηκε η διεύθυνση (αζιμούθιο), η οποία απεικονίστηκε με ροδοδιαγράμματα και συγκρίθηκε με την γενική διεύθυνση των ρηγμάτων της περιοχής. Από το σύνολο των ανωτέρω στοιχείων εξήχθησαν συμπεράσματα για την μορφοτεκτονική εξέλιξη του φαραγγιού.

Abstract

In this study, using GIS, an information system for the gorge of Agia Eirini is organized and the morphometric parameters of the drainage network, were studied. Quantitative analysis of the channel network was performed. The morphometric parameters, concerning the creation and growth of the drainage network i.e. the deviations of the stream number and length according to Horton laws, the drainage frequency and density and finally the direction (azimuth) of the channels, were studied and evaluated. The direction of channels was represented in rose-diagrams and compared with the general direction of the faults in the region. Important conclusions were reached about the geomorphologic and morpotectonic evolution of the gorge.

Λέξεις Κλειδιά: ΓΣΠ, Υδρογραφικό δίκτυο, Μορφομετρικοί παράμετροι, Φαράγγι Αγίας Ειρήνης
Key words: GIS, Drainage network, Morphometric parameters, Agia Eirini gorge

1. Εισαγωγή

Το φαράγγι της Αγίας Ειρήνης είναι ένα από τα γνωστότερα της Κρήτης. Βρίσκεται στις δυτικές παρυφές των Λευκών Ορέων, στην επαρχία Σελίνου του Νομού Χανίων (Σχήμα 1). Το φαράγγι της Αγίας Ειρήνης έχει μήκος 7,5 χιλιομέτρων, βρίσκεται δυτικά του φαραγγιού της Σαμαριάς και αποτελεί τμήμα του Εθνικού Δρυμού Σαμαριάς. Πέραν της προστασίας του ως Εθνικού Δρυμού το φαράγγι ανήκει στο Ευρωπαϊκό Οικολογικό δίκτυο Φύση 2000 (Natura 2000), είναι Σημαντική Περιοχή για τα Πουλιά (Important Bird Area), Ζώνη Ειδικής Προστασίας (Special Protection Area) για την διατήρηση των πτηνών καθώς και τμήμα του Ευρωπαϊκού μονοπατιού E4.

Στα πλαίσια της μελέτης ενός προστατευόμενου φυσικού πόρου και με στόχο την παροχή στοιχείων για την ορθολογική διαχείριση αυτού, οργανώθηκε ένα πληροφοριακό σύστημα για το φαράγγι της Αγίας Ειρήνης. Από το πληροφοριακό σύστημα που δομήθηκε μελετήθηκαν οι μορφομετρικές παράμετροι του υδρογραφικού δικτύου και έγινε ποσοτική ανάλυση αυτών. Οι Horton

(1945) και Strahler (1964) μετέτρεψαν την κλασική περιγραφή των υδρογραφικών δικτύων σε ποσοτική μελέτη. Τελικός στόχος αυτής της ποσοτικής ανάλυσης είναι να εντοπισθούν οι υπάρχουσες αποκλίσεις των τιμών των μορφομετρικών χαρακτηριστικών, από εκείνες ενός υδρογραφικού δικτύου που εξελίσσεται κατά ιδανικό τρόπο διαρκώς πάνω σ' ένα ενιαίο λιθολογικό υπόβαθρο, χωρίς τεκτονικές επιδράσεις, κλιματικές αλλαγές, ανθρωπογενείς επεμβάσεις κ.ά. Από τις αποκλίσεις αυτές προσεγγίζονται και καθορίζονται οι αιτίες που ελέγχουν την εξέλιξη του υδρογραφικού δικτύου σε συνάρτηση πάντα με το χρόνο.

2. Δεδομένα και μεθοδολογία

Για την γεωμορφολογική ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου και της λεκάνης απορροής του φαράγγιου της Αγίας Ειρήνης δημιουργήθηκε μια βάση δεδομένων με τα παρακάτω πρωτογενή στοιχεία:

- γεωλογικός χάρτης κλίμακας 1:50.000 (φύλλο Αλικιανός), του Ινστιτούτου Γεωλογίας και Ερευνών Υπεδάφους,
- τοπογραφικός χάρτης κλίμακας 1:50.000 (φύλλο Βατόλακκος), της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού,
- ψηφιακός χάρτης των ισοϋψών καμπυλών με ισοδιάσταση 20 μέτρα της περιφέρειας Κρήτης,
- χάρτες των ορίων του Εθνικού Δρυμού και των περιοχών Natura του Νομού Χανίων κλίμακας 1:50.000 της Δ/σης Δασών Χανίων.
- στοιχεία και καταγραφές από εργασίες πεδίου που έλαβαν χώρα στην περιοχή μελέτης.

Το πληροφοριακό σύστημα δομήθηκε με το λογισμικό πακέτο ArcGIS 9.2 της εταιρείας ESRI. Πριν από την μετατροπή της πληροφορίας σε διανυσματική για όλους τους χάρτες έγινε γεωαναφορά στο σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ '87. Ψηφιοποιήθηκε ο υδροκρίτης της λεκάνης απορροής του φαράγγιου, το υδρογραφικό δίκτυο, οι υπολεκάνες 4ης και 3ης τάξης, ενώ με ψηφιοποίηση παρήχθησαν και μια σειρά άλλων θεματικών χαρτών όπως ο γεωλογικός χάρτης (Σχήμα 1).



Σχήμα 1. Γεωγραφική θέση της περιοχής μελέτης και ενοποιημένος γεωλογικός χάρτης αυτής

Οι μορφομετρικές παράμετροι του υδρογραφικού δικτύου που μετρήθηκαν είναι η τάξη κλάδων u - χρησιμοποιήθηκε το σύστημα ταξινόμησης κατά Strahler (1954) -, ο αριθμός κλάδων τάξης u (N_u), το μήκος κλάδου τάξης u (L_u), το εμβαδό των λεκανών απορροής (A_u) και το αζιμούθιο ή διεύθυνση των κλάδων (α_u). Με βάση τα παραπάνω υπολογίστηκαν το συνολικό μήκος κλάδων ίδιας τάξης u (ΣL_u), το μέσο μήκος κλάδων τάξης u (\bar{L}_u), ο συνολικός αριθμός κλάδων εντός λεκάνης τάξης u (ΣN_u) και η υδρογραφική πυκνότητα (D_u) και συχνότητα (F_u)

Οι μορφομετρικές παράμετροι που υπολογίστηκαν και που απαιτούνται για την εφαρμογή των νόμων του Horton (Horton, 1945) είναι ο λόγος διακλάδωσης (R_b) και ο λόγος μήκους κλάδων (R_L).

2.1 Γεωλογία της περιοχής μελέτης

Αν και μια σειρά επιστημόνων έχουν εργαστεί και δημοσιεύσει στην ευρύτερη περιοχή, ειδικά για την περιοχή του φαράγγιού της Αγίας Ειρήνης και της ευρύτερης περιοχής του Εθνικού Δρυμού Σαμαριάς υπάρχει μόνο ο χάρτης του Ι.Γ.Μ.Ε., φύλλο Αλικιανός (Τάταρης & Χριστοδούλου 1969). Κατά τους ανωτέρω ερευνητές στην περιοχή που καλύπτει ο χάρτης διακρίνονται εκτός των σχηματισμών του Τεταρτογενούς, των νεογενών ακολουθιών και των ενόπητων του Φυλλιτικού καλύμματος, τμήματα της σειράς της Τρίπολης που αντιπροσωπεύονται από ιουρασικής και κρητιδικής ηλικίας ασβεστολιθικά πετρώματα που εμφανίζονται ανατολικότερα από την νότια έξοδο του φαράγγιού. Στο βόρειο και ανατολικό τμήμα της περιοχής, με εμφανή τεκτονική επαφή προς το υποκείμενο εμφανίζονται γκρίζα και λευκά δολομιτικά μάρμαρα που εμπεριέχουν ένα χαρακτηριστικό βιτουμενιούχο δολομιτικό ορίζοντα, πάχους 2-3 μέτρων. Τα μάρμαρα προσομοιάζουν κατά θέσεις προς τους πλακώδεις κρυσταλλικούς ασβεστολίθους, χωρίς όμως να εμπεριέχουν πυριτολίθους. Πρόκειται για τους ασβεστολίθους της ενότητας Τρυπαλίου (Creutzburg & Seidel 1975), των οποίων η γεωτεκτονική θέση είναι γνωστή (πάντα επωθημένοι πάνω σε τμήματα της Ομάδας των Πλακωδών Ασβεστολίθων) αλλά η παλαιογεωγραφική τους θέση άγνωστη. Την υποκείμενη ενότητα στην περιοχή δομούν τα πετρώματα της Ομάδας των Πλακωδών Ασβεστολίθων.

Στον υπάρχοντα γεωλογικό χάρτη (Τάταρης & Χριστοδούλου 1969) φαίνεται ότι το φαράγγι έχει δημιουργηθεί αποκλειστικά μέσα στα μεταμορφωμένα πετρώματα της Ενότητας του Τρυπαλίου. Εργασίες πεδίου όμως έδειξαν ότι μέσα στο φαράγγι εμφανίζονται και μεταμορφωμένα πετρώματα της Ομάδας των Πλακωδών Ασβεστολίθων, που πιθανώς λόγω κλίμακας δεν αποδίδει ο υπάρχων γεωλογικός χάρτης. Η εμφάνιση της τεκτονικά κατώτερης ενότητας έχει μεγάλη σημασία για την ερμηνεία της δημιουργίας του φαράγγιού, που εξελίχθηκε κατά μήκος απλά μιας ρηξιγενούς ζώνης. Κατά την διάρκεια των εργασιών πεδίου διαπιστώθηκε η ύπαρξη τεκτονικών στοιχείων που συνυπολογίστηκαν και καταγράφηκαν. Χαρακτηριστικές είναι οι πολυπληθείς πτυχές δύο χαρακτηριστικών διευθύνσεων. Η πρώτη διεύθυνση, με άξονες πτυχών BBA/NNΔ αντιπροσωπεύεται από μεγάλων διαστάσεων ανοιχτές πτυχές που υποβυθίζονται NNΔ. Μια δεύτερη γενεά πτυχών, μικρότερων διαστάσεων έχει άξονες με διεύθυνση BBΔ/NNΑ και υποβύθιση BBA. Το σύστημα αυτό των συζυγών πτυχών είναι ευρέως διαδεδομένο σε όλες τις καλυμματικές ακολουθίες και έχει ερμηνευθεί σαν αποτέλεσμα της κίνησης των τεκτονικών καλυμμάτων.

2.2 1^{ος} Νόμος HORTON

Ο πρώτος νόμος του Horton αναφέρεται στη σχέση του αριθμού των κλάδων κάθε τάξης ενός υδρογραφικού δικτύου (Horton, 1945 και Shreve, 1964). Ειδικότερα δηλώνει ότι υπάρχει μία γεωμετρική σχέση μεταξύ του αριθμού των κλάδων, N_u , μίας τάξης u και του απόλυτου αριθμού που αντιστοιχεί στην τάξη u . Ο γεωμετρικός λόγος αυτής της σχέσης είναι ο λόγος διακλάδωσης, \bar{R}_b , που χαρακτηρίζει το υδρογραφικό δίκτυο. Αν k είναι η μέγιστη τάξη κλάδων του δικτύου τότε ο πρώτος νόμος του Horton δίδεται από τον τύπο

$$N_u = \bar{R}_b^{(k-u)} \quad (1.1)$$

Ο λόγος διακλάδωσης \bar{R}_b που χαρακτηρίζει το δίκτυο, μπορεί να προσεγγισθεί ως ο μέσος των λόγων διακλάδωσης μεταξύ διαδοχικών τάξεων κλάδων του δικτύου, $R_{b_{u,u+1}}$, λόγοι οι οποίοι υπολογίζονται από τη σχέση:

$$Rb_{u,u+1} = N_u / N_{u+1} \quad (1.2)$$

όπου με $Rb_{u,u+1}$ συμβολίζεται ο λόγος διακλάδωσης των τάξεων u και $u+1$ και με N_u συμβολίζεται ο αριθμός κλάδων τάξης u .

Για τον καθορισμό της σχέσης του αριθμού κλάδων των υδρογραφικών δικτύων της λεκάνης, μετρήθηκε ο αντίστοιχος αριθμός κλάδων, N_u , κάθε τάξης u . Στη συνέχεια υπολογίστηκε ο λόγος διακλάδωσης $Rb_{u,u+1}$, μεταξύ των διαφορετικών τάξεων κλάδων και ο μέσος λόγος διακλάδωσης για το υδρογραφικό δίκτυο \bar{Rb} , από την τιμή του οποίου και με χρήση του πρώτου νόμου του Horton, σχέση (1.1), υπολογίστηκε ο ιδανικός αριθμός των κλάδων κατά τάξη, δηλαδή ο αριθμός κλάδων που αντιστοιχεί στο νόμο Horton. Τέλος υπολογίστηκαν οι αποκλίσεις του πραγματικού αριθμού των κλάδων από τις αντίστοιχες ιδανικές τιμές. Τα αριθμητικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στο πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Σχέσεις πραγματικών και ιδανικών αριθμών κλάδων κατά τάξη στη λεκάνη απορροής

Τάξη	Αριθμός κλάδων από μέτρηση	Λόγος διακλάδωσης	Μέσος λόγος διακλάδωσης	Ιδανικός αριθμός κλάδων κατά τάξη	Απόκλιση από την ιδανική τιμή %
u	N_u	Rb	\bar{Rb}	$Nu = \bar{Rb}^{(k-u)}$	
1	515	-	4,82	540	-4,62
2	131	3,93		112	16,95
3	29	4,52		23	24,80
4	6	4,83		5	24,47
5	1	6,00		1	0,00

Στο πίνακα με k συμβολίζεται η μέγιστη τάξη της λεκάνης απορροής.

2.3 2^{ος} Νόμος HORTON

Ο δεύτερος νόμος αναφέρεται στο μέσο μήκος κλάδων κάθε τάξης σε ένα υδρογραφικό δίκτυο (Horton, 1945 και Shreve, 1964). Και αυτός έχει τη μορφή μίας γεωμετρικής σχέσης μεταξύ του μέσου μήκους των κλάδων μίας τάξης, \bar{L}_u , και της αντίστοιχης τάξης, u . Η μαθηματική έκφραση του νόμου είναι:

$$\bar{L}_u = \bar{L}_1 \cdot \bar{RL}^{(u-1)} \quad (1.3)$$

όπου με \bar{L}_1 συμβολίζουμε το μέσο μήκος των κλάδων πρώτης τάξης και με \bar{RL} το μέσο λόγο μήκους για όλους τους κλάδους του δικτύου, χαρακτηριστικό μέγεθος του δικτύου και το οποίο αποτελεί το λόγο της γεωμετρικής προόδου.

Το μέσο μήκος των κλάδων μίας τάξης, \bar{L}_u , υπολογίζεται διαιρώντας το μετρούμενο μήκος των κλάδων μίας τάξης, L_u , με το πλήθος των κλάδων σε αυτή τη τάξη, N_u . Ο μέσος λόγος μήκους όλων των κλάδων, \bar{RL} , προσεγγίζεται ως μέσος των μέσων λόγων μήκους μεταξύ διαδοχικών τάξεων, RL_u . Το τελευταίο μέγεθος υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$RL_u = \bar{L}_u / \bar{L}_{u-1} \quad (1.4)$$

Για τη χρήση του δεύτερου νόμου του Horton στο υδρογραφικό δίκτυο, μετρήθηκε το αντίστοιχο μήκος κλάδων κάθε τάξης, και υπολογίστηκαν τα μέσα πραγματική μήκη των κλάδων για κάθε τάξη, ο λόγος μήκους μεταξύ διαδοχικών τάξεων και ο μέσος λόγος μήκους που χαρακτηρίζει το δίκτυο. Στη συνέχεια από τη σχέση (1.3) υπολογίστηκαν οι τιμές μήκους των κλάδων κατά τάξη που αντιστοιχούν στο δεύτερο νόμο του Horton και ακολούθως η απόκλιση του πραγματικού μήκους των κλάδων από το αντίστοιχο ιδανικό μήκος κλάδων, κατά τάξη. Στο πίνακα 2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αυτής της διαδικασίας.

Πίνακας 2. Σχέσεις καθαρών πραγματικών & ιδανικών μηκών κλάδων κατά τάξη στη λεκάνη απορροής

Τάξη	Αριθμός κλάδων κατά τάξη	Καθαρό μήκος κλάδων κατά τάξη (Km)	Μέσο πραγματικό μήκος κλάδων τάξης u (Km)	Λόγος μήκους	Μέσος λόγος μήκους	Μέσο ιδανικό μήκος κλάδων τάξης u	Απόκλιση πραγματικών τιμών από ιδανικές (%)
u	N_u	L_u	$\bar{L}_u = L_u / N_u$	$RL_u = \bar{L}_u / \bar{L}_{u-1}$	\bar{RL}	$\bar{L}_u = \bar{L}_1 \cdot \bar{RL}^{(u-1)}$	
1	515	147,82	0,29	-	2,64	0,29	0,00
2	131	72,15	0,55	1,92		0,76	-27,20
3	29	28,31	0,98	1,77		1,99	-51,04
4	6	27,14	4,52	4,63		5,25	-13,91
5	1	10,03	10,03	2,22		13,85	-27,59

2.4 Υδρογραφική υφή

Η υφή σε ένα υδρογραφικό δίκτυο καθορίζεται από την ανάπτυξη των κλάδων της υδρογραφικής λεκάνης και εξαρτάται από δύο παραμέτρους, την υδρογραφική συχνότητα (F_u) και την πυκνότητα (D_u).

Ως υδρογραφική συχνότητα (F_u) ενός υδρογραφικού δικτύου τάξης u ορίζεται “ο λόγος του συνολικού αριθμού των κλάδων μιας λεκάνης απορροής τάξης u, προς το εμβαδόν της λεκάνης αυτής” (Horton, 1945). Ο υπολογισμός της υδρογραφικής συχνότητας γίνεται βάση της σχέσης:

$$F_u = \frac{(\Sigma N)_u}{A_u} \quad (1.5)$$

$(\Sigma N)_u$ = το άθροισμα των κλάδων των λεκανών τάξης u.

A_u = το εμβαδόν της λεκάνης τάξης u σε Km².

Η υδρογραφική συχνότητα είναι μια συμπληρωματική ποιοτική παράμετρος της υφής του αναγλύφου, και δείχνει το διαμελισμό του και είναι ανεξάρτητη της D_u , γιατί εξαρτάται μόνο από τον αριθμό των κοιτών και όχι από το μήκος τους (Σχήματα 2, 3 και 4).

Ως υδρογραφική πυκνότητα (D_u) ενός υδρογραφικού δικτύου τάξης u, ορίζεται “ο λόγος του συνολικού μήκους όλων των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου μιας λεκάνης απορροής τάξης u, προς το εμβαδό της λεκάνης αυτής” (Horton, 1945). Ο υπολογισμός της υδρογραφικής πυκνότητας γίνεται βάση της σχέσης:

$$D_u = \frac{(\Sigma L)_u}{A_u} \quad (1.6)$$

$(\Sigma L)_u$ = το άθροισμα των μηκών όλων των κλάδων της λεκάνης τάξης u σε Km.

A_u = το εμβαδόν λεκάνης τάξης u σε Km².

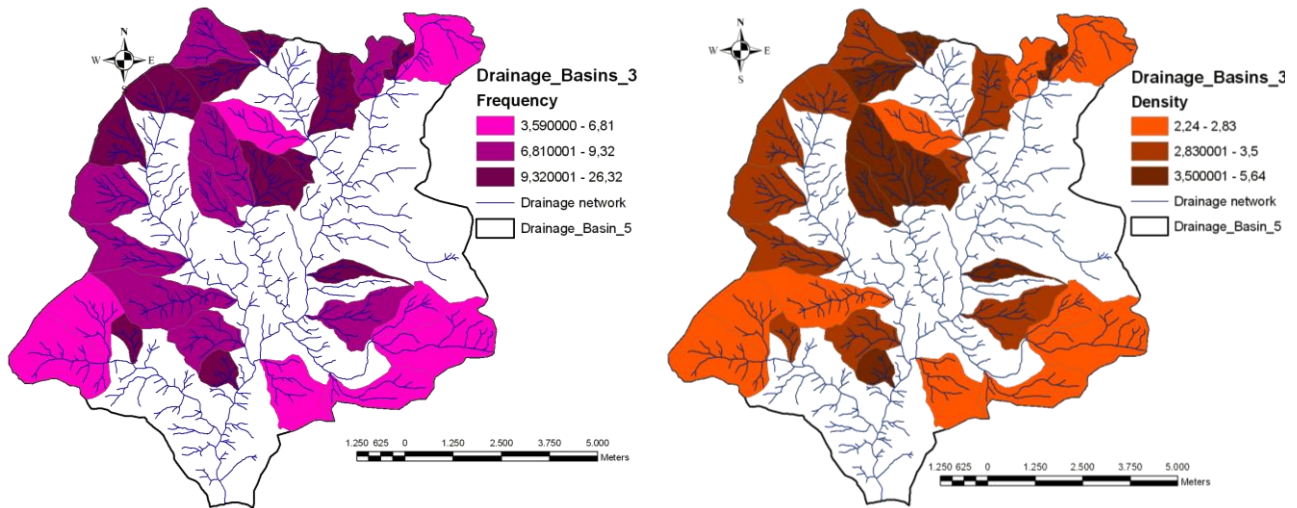
Η υδρογραφική πυκνότητα είναι η αριθμητική έκφραση της λεπτότητας της υφής του αναγλύφου της λεκάνης, αλλά και η ποιοτική έκφραση όλων εκείνων των παραγόντων από τους οποίους εξαρτάται, όπως είναι το κλίμα της περιοχής, οι φυσικές ιδιότητες του πετρώματος και του υπερκείμενου εδαφικού καλύμματος, η βλάστηση και το ανάγλυφο σε μια λεκάνη απορροής (Σχήματα 2, 3 και 4).

3. Αποτελέσματα

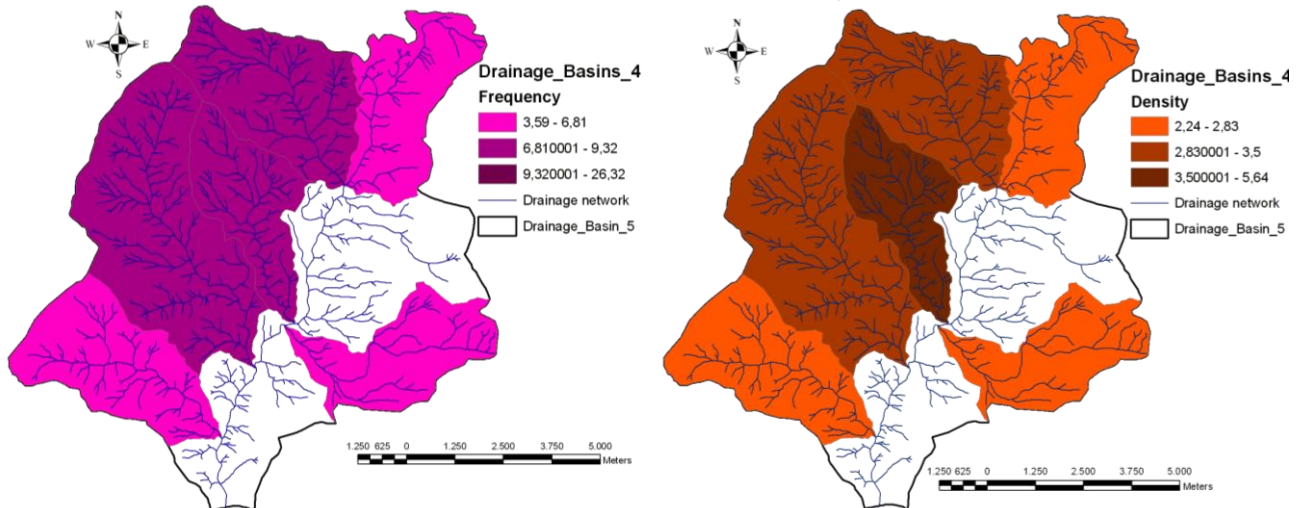
Από τη σύγκριση μεταξύ του πραγματικού και ιδανικού αριθμού κλάδων κατά τάξη του υδρογραφικού δικτύου (Πίνακας 1) προκύπτει ότι το υδρογραφικό δίκτυο, βρίσκεται ως προς την εξέλιξή του σε πρώιμο στάδιο ωριμότητας.

Οι μικρές θετικές τιμές των αποκλίσεων μεταξύ πραγματικών και ιδανικών αριθμών κλάδων, εκτός αυτής της πρώτης τάξης, η οποία είναι αρνητική (-4,62), είναι ενδεικτικές του πρώιμου σταδίου ωριμότητας των λεκανών απορροής. Οι μικρές θετικές τιμές των αποκλίσεων μεταξύ του πραγματικού και ιδανικού αριθμού κλάδων οφείλονται κυρίως στον ρηξιγενή τεκτονισμό της περιοχής έρευνας, όπου οι κλάδοι ακολουθούν πολυάριθμες διευθύνσεις ρηγματίων, αξόνων πτυχών κ.ά., σε σκληρούς

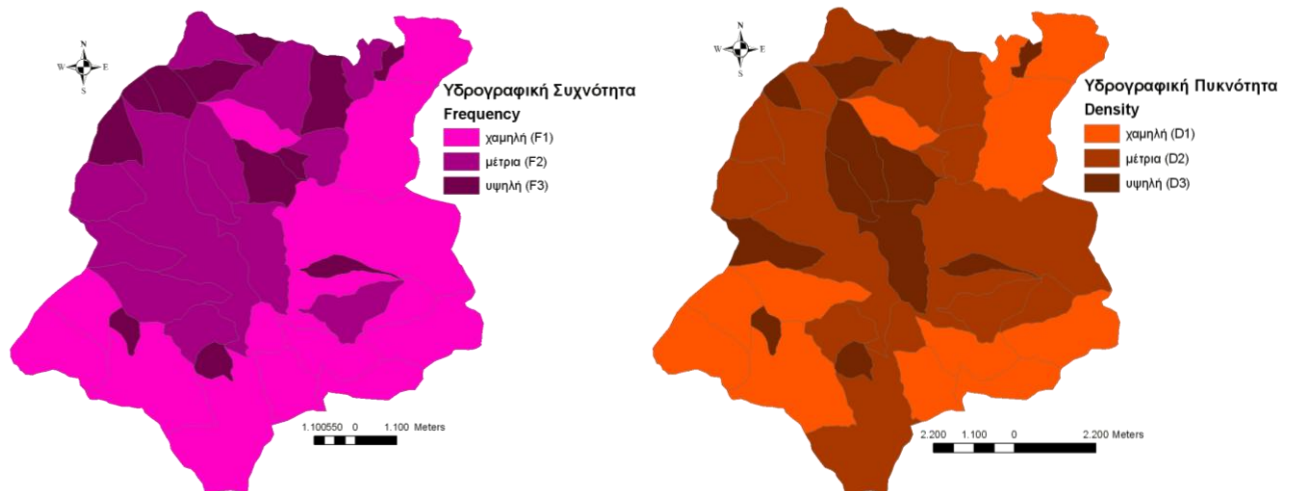
κυρίως σχηματισμούς όπου η επίδραση της νεοτεκτονικής δράσης διατηρείται για μεγάλα χρονικά διαστήματα.



Σχήμα 2. Χάρτης υδρογραφικής συχνότητας (F) και πυκνότητας (D) για τις λεκάνες απορροής 3^{ης} τάξης



Σχήμα 3. Χάρτης υδρογραφικής συχνότητας (F) και πυκνότητας (D) για τις λεκάνες απορροής 4^{ης} τάξης

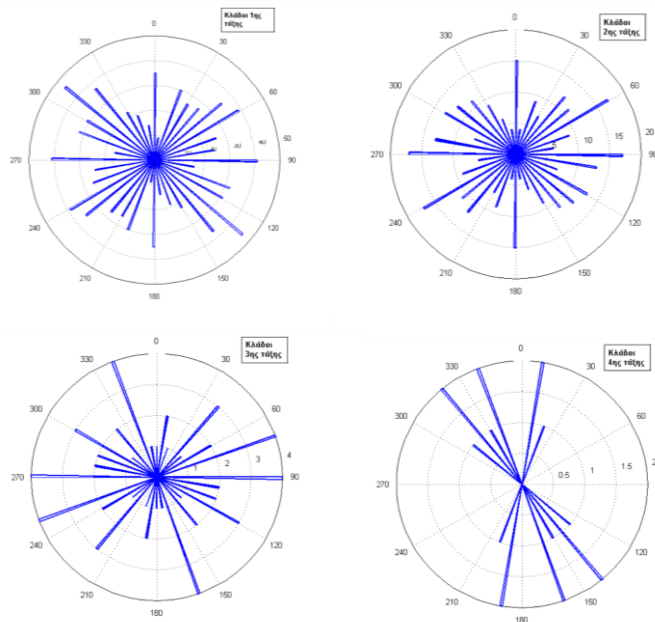


Σχήμα 4. Χάρτης υδρογραφικής συχνότητας (F) και πυκνότητας (D) συνολικά για την λεκάνη απορροής του φαραγγιού

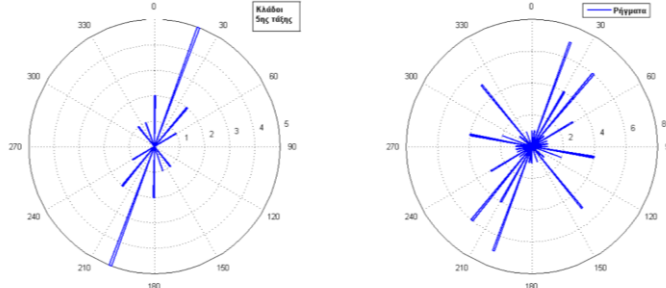
Από τη σύγκριση μεταξύ του πραγματικού και ιδανικού μήκους κλάδων κατά τάξη του υδρογραφικού δικτύου (Πίνακας 2) ενισχύεται η άποψη ότι το υδρογραφικό δίκτυο βρίσκεται σε ελαφρώς ασταθή δυναμική κατάσταση ισορροπίας. Οι αρνητικές τιμές των αποκλίσεων μεταξύ πραγματικών και ιδανικών μηκών κλάδων ανά τάξη δείχνουν την έλλειψη μήκους ικανού να επιτρέψει την ομαλή αποστράγγιση. Οι αρνητικές τιμές των αποκλίσεων του μήκους των κλάδων οφείλονται στην νεοτεκτονική δράση (ανυψωτικές κινήσεις) η οποία σε συνδυασμό με ευδιάβρωτους σχηματισμούς (φυλλίτες) ευνοεί την κατά βάθος διάβρωση. Δημιουργείται δηλαδή εκβάθυνση των κοιλάδων όπου παρατηρούνται κοιλάδες τύπου V (αυξάνονται οι κλίσεις των κλιτύων). Επίσης οι αρνητικές τιμές του μήκους των κλάδων οφείλονται και στην λιθολογική δομή της περιοχής έρευνας. Κυρίως στην περιοχή όπου απαντώνται καρστικοί ασβεστόλιθοι, όπου και ευνοείται η κατείσδυση σε βάρος της επιφανειακής απορροής, οι κλάδοι συναντώντας στη διαδρομή τους τέτοιους σχηματισμούς, διακόπτουν την ροή τους μη μπορώντας να αποκτήσουν μεγάλα μήκη. Λόγω της υψηλής τιμής του μέσου λόγου διακλάδωσης ($R_b=4,82$), η οποία είναι σχεδόν διπλάσια από αυτήν της ιδανικής τιμής ($R_b=2,00$) (Strahler, 1952) και ελαφρώς μεγαλύτερη από τη “θεωρητική τιμή” ($R_b=4,00$) (Leopold & Langbein, 1962 και Shreve, 1966) ενός υδρογραφικού δικτύου που βρίσκεται σε κατάσταση δυναμικής ισορροπίας, μπορούμε να πούμε ότι το υδρογραφικό μας δίκτυο βρίσκεται σε ασταθή δυναμική ισορροπία. Αυτό σημαίνει ότι το σύστημα βρίσκεται υπό την επίδραση έντονης νεοτεκτονικής δράσης (ανυψωτικών κινήσεων). Στον ευρύτερο Ελλαδικό χώρο όχι μόνο δεν έχει περάσει ο χρόνος ώστε να εξομαλυνθεί η τεκτονική αποτύπωση αλλά οι συνεχόμενες τεκτονικές δράσεις δημιουργούν τεκτονικές δομές τις οποίες το νερό ακολουθεί και ως εκ τούτου δεν συναντάμε ποτάμια σε στάδιο γήρατος στην χώρα μας. Επιπλέον ο λόγος διακλάδωσης μπορεί να συσχετισθεί και με την στερεοπαροχή (Roehl, 1962 και Zarris et al., 2007). Η τιμή $R_b=6$ του λόγου διακλάδωσης μεταξύ των κλάδων 4ης και 5ης τάξης δείχνει ότι στην κύρια κοίτη του ποταμού (κλάδος πέμπτης τάξης) πέφτουν περισσότεροι κλάδοι από αυτούς που σε ιδανική κατάσταση η κοίτη θα μπορούσε να παροχετεύσει και αν λάβουμε υπόψη μας ότι ο κλάδος αυτός ευθύνεται κύρια για την στερεοπαροχή τότε αυτό αποτελεί ένα ιδιαίτερα σημαντικό στοιχείο. Το στοιχείο αυτό έχει μια επιπλέον βαρύτητα από την στιγμή που στο φαράγγι υπάρχει μονοπάτι το οποίο ακολουθεί την κύρια κοίτη του ποταμού και χρησιμοποιείται για τουρισμό. Ένα ακόμη στοιχείο που αναδείχτηκε και αφορά την ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου είναι η άνιση ανάπτυξη αυτού εκατέρωθεν του κλάδου 5^{ης} τάξης. Το ανατολικό τμήμα είναι μικρότερο σε έκταση σε σχέση με το δυτικό και παρουσιάζει μικρότερο αριθμό κλάδων αλλά και μήκους αυτών όπως φαίνεται και στους χάρτες υδρογραφικής συχνότητας και πυκνότητας (Σχήματα 2, 3 και 4). Αυτό εξηγείται από την λιθολογία αλλά και το ανάγλυφο της περιοχής. Το ανατολικό κομμάτι που καλύπτεται από την Ενότητα Τρυπαλίου είναι έντονα καρστικοποιημένο με αποτέλεσμα να ευνοείται η κατείσδυση και όχι η επιφανειακή απορροή, ενώ στο δυτικό κομμάτι η Ενότητα των φυλλιτών –χαλαζιτών ευνοεί την αποστράγγιση εις βάρος της κατείσδυσης. Ακόμη οι διαφορές στην υδρογραφική συχνότητα μπορούν να εξηγηθούν και από το έντονο ανάγλυφο στο ανατολικό τμήμα. Επειδή οι κλίσεις σ’ αυτό το τμήμα είναι πολύ πιο μεγάλες, το μετρούμενο μήκος των κλάδων έχει σημαντική διαφορά σε σχέση με το πραγματικό λόγω του ότι μετράται η προβολή αυτού. Η διεύθυνση (αζιμούθιο) όλων των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου απεικονίστηκε με ροδοδιαγράμματα (σχήματα 5, 6), συγκρίθηκε με την γενική διεύθυνση των ρηγμάτων της περιοχής και κατέδειξε ότι ο έλεγχος του υδρογραφικού δικτύου από την τεκτονική δράση είναι εμφανής. Αυτό διαπιστώνεται από τις διευθύνσεις των κλάδων, κυρίως των μεγαλύτερων τάξεων, οι οποίες ακολουθούν κατά κύριο λόγο τις διευθύνσεις των ρηγμάτων αλλά και των αξόνων των πτυχών και άλλων τεκτονικών γραμμών.

4. Συμπεράσματα

Η δημιουργία βάσης δεδομένων των μορφομετρικών παραμέτρων ενός υδρογραφικού δικτύου και η δυνατότητα παρακολούθησης της εξέλιξης αυτών στο χρόνο μέσω της καταγραφής των αλλαγών τους αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο διαχείρισης του υδρογραφικού δικτύου ιδιαίτερα σε περιπτώσεις προστατευόμενων περιοχών. Δίνεται η δυνατότητα να εκτιμηθούν τόσο οι επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον που μπορεί να υπάρξουν από την μεταβολή του υδρογραφικού δικτύου όσο και η επίδραση μελλοντικών περιβαλλοντικών αλλαγών (π.χ. πυρκαγιές) στην εξέλιξη αυτού καθώς και στην συμπεριφορά του στη διάρκεια πλημμυρικών φαινομένων.



Σχήμα 5. Ροδοδιαγράμματα των κλάδων (από αριστ. προς δεξιά) 1^{ης}, 2^{ης} τάξης επάνω και 3^{ης}, 4^{ης} κάτω.



Σχήμα 6. Ροδοδιαγράμματα (από αριστ. προς δεξιά) των κλάδων 5^{ης} τάξης και των ρηγμάτων.

Βιβλιογραφία

- Τάταρης, Α. & Γ. Χριστοδούλου, 1969: *Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδος, 1:50.000, φύλλο Αλικιανός - Βατόλακκος*, Αθήνα, Ι.Γ.Ε.Υ.
- Greutzburg, N. & E. Seidel, 1975. "Zum Stand der Geologie des Praeneogens auf Kreta", *N. Jb. Geol. Palaeont. Abh.*, 149, pp. 363-383.
- Horton, R., 1945. "Erosional development of streams and their drainage basins: hypsographical approach to quantitative morphology". *Geol. Soc. Amer. Bul.* 54, pp. 275-370.
- Leopold, L. B., & W.B. Langbein, 1962. "The concept of entropy in landscape evolution", *U.S.G.S. Prof. Paper* 500-A, p. 1-20.
- Roehl, J.W., 1962. "Sediment source areas, delivery ratios and influencing morphological factors", *International Association of Hydrological Sciences Publication*, no. 59, pp. 202-213.
- Shreve, L., 1964. "Analysis of Horton's law of stream numbers", (Abstract). *Trans. Amer. Geophys. Union*, 45, pp.50-1.
- Shreve, L., 1966. "Statistical law of stream numbers", *Jour. Geol.*, v. 74, pp. 17-37.
- Strahler, A., 1952. "Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography", *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 63, pp. 1117-1142.
- Strahler, A., 1964. "Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks". In: Chow, V. (ed.) *Handbook of applied hydrology*, Section 4-II, pp. 39-76, McGraw-Hill Book Co., New York.
- Zarris, D., E. Lykoudi and D. Panagoulia, 2007: "Sediment yield estimations in north-western Greece and analysis with hydrological and geomorphologic factors", 11ο Διεθνές. Συνέδριο., *Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας*, Αθήνα.