Η ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΚΟΙΛΑΔΑΣ ΤΟΥ ΙΝΑΧΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΤΗΣ ΦΘΙΩΤΙΔΑΣ, ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΟΥ ΤΟΥ ΣΠΕΡΧΕΙΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ

ΘΕΟΔΩΡΟΣ ΠΑΡΑΣΧΟΥ



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ



ΘΕΟΔΩΡΟΣ ΠΑΡΑΣΧΟΥ

ΓΕΩΛΟΓΟΣ

Η ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΚΟΙΛΑΔΑΣ ΤΟΥ ΙΝΑΧΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΤΗΣ ΦΘΙΩΤΙΔΑΣ, ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΟΥ ΤΟΥ ΣΠΕΡΧΕΙΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ

ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2005

ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

ΤΟΥ ΓΕΩΛΟΓΟΥ

ΘΕΟΔΩΡΟΥ ΠΑΡΑΣΧΟΥ

 $\text{ME}\ \Theta\text{EMA}$

Η ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΚΟΙΛΑΔΑΣ ΤΟΥ ΙΝΑΧΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΤΗΣ ΦΘΙΩΤΙΔΑΣ, ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΟΥ ΤΟΥ ΣΠΕΡΧΕΙΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ

ΥΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΒΛΕΨΗ ΤΟΥ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΒΟΥΒΑΛΙΔΗ, ΛΕΚΤΟΡΑ

ΚΑΙ ΤΩΝ ΜΕΛΩΝ ΤΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

ΘΕΟΔΩΡΟΥ ΑΣΤΑΡΑ, ΚΑΘΗΓΗΤΗ

ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΥ ΒΑΒΛΙΑΚΗ, ΚΑΘΗΓΗΤΗ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2005

Ευχαριστίες

Η παρούσα Διατριβή Ειδίκευσης εκπονήθηκε στο τμήμα Γεωλογίας, στον Τομέα Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας, κατά το ακαδημαϊκό έτος 2004-2005.

Ολοκληρώνοντας τη συγγραφή της εργασίας θα ήθελα κατ' αρχάς, να ευχαριστήσω τον κύριο επιβλέποντα της διατριβής μου, Λέκτορα του Τμήματος Γεωλογίας κ. Κωνσταντίνο Βουβαλίδη, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου τη συγκεκριμένη εργασία, την ουσιαστική του επιστημονική καθοδήγηση, τις πολύτιμες συμβουλές του αλλά και τη γενικότερη συμβολή του στη διεξαγωγή της Διατριβής. Η συνεχής παρουσία του αποδείχθηκε σημαντική για την ολοκλήρωση της εργασίας.

Πολλές ευχαριστίες οφείλω στους κ. Θεόδωρο Αστάρα και κ. Ελευθέριο Βαβλιάκη, μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, για το καθημερινό ενδιαφέρον τους για την πορεία της δουλειάς μου και τη σημαντική συμβολή τους στην ολοκλήρωσή της.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα τους κ. Αντώνιο Ψιλοβίκο και κ. Κωνσταντίνο Αλμπανάκη για την άψογη καθοδήγηση της εκπαίδευσής μου και τις επιστημονικές γνώσεις που μου πρόσφεραν στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών.

Οφείλω, τέλος, να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα του Τμήματος Γεωλογίας κ. Μιχάλη Στύλλα καθώς και τους μεταπτυχιακούς φοιτητές του εργαστηρίου κ. Δαυίδ Ψωμιάδη και κ. Αντώνη Μουρατίδη, για την άψογη συνεργασία μας. την επίλυση πολλών αποριών μου, αλλά και την ηθική υποστήριξή τους καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησής μου στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών.

Τέλος, οι θερμότερες ευχαριστίες ανήκουν στην **οικογένειά μου**, η οποία με υποστήριξε και με βοήθησε να ξεπεράσω όλες τις δυσκολίες που αντιμετώπισα ως σήμερα. Η συνεχής ηθική και υλική υποστήριξή τους συνέβαλε ουσιαστικά στην εκπόνηση της διατριβής μου.

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη των ποσοτικών παραμέτρων της λεκάνης απορροής και του υδρογραφικού δικτύου του Ίναχου ποταμού, ο εντοπισμός θέσεων ανάπτυξης ρηγμάτων με την ανάλυση των τοπογραφικών υψομετρικών δεδομένων και η επεξήγηση της εξέλιξης της κοιλάδας και των μορφολογικών χαρακτηριστικών των αποθέσεων του ποταμού στα πεδινά.

Για τον υπολογισμό των παραμέτρων 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. Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με τη χρήση λογισμικού Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Ο υπολογισμός των υδρογραφικών παραμέτρων ακολούθησε τους τύπους που πρότεινε ο Horton (1945), ενώ οι μορφοτεκτονικοί παράμετροι αναλύθηκαν σύμφωνα με τους Keller & Pinter (2002). Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε για τον εντοπισμό των ρηγμάτων βασίζεται στο γεγονός ότι οι τιμές γειτονικών εικονοστοιχείων (pixels) μπορεί να διαφέρουν σημαντικά επιτρέποντας τον εύκολο εντοπισμό τους στην εικόνα. Οι θέσεις μέγιστης μεταβολής του χρωματικού τόνου των εικονοστοιχείων συμπίπτει με ρήγματα (Ganas et al, 2004).

Ο Ίναχος ποταμός, παραπόταμος του Σπερχειού ποταμού, διαμορφώνει την υδρολογική του λεκάνη, μεγέθους 338km², που αποστραγγίζει το νότιο τμήμα των Βαρδουσίων 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 επωθήσεων όσο και με την παρουσία κανονικών ρηγμάτων.

Η ποσοτικοποίηση και η χωρική κατανομή των παραμέτρων του δικτύου αποκάλυψαν ότι στο κεντρικό και δυτικό τμήμα της υδρολογικής λεκάνης του Ιναχου ποταμού οι μορφομετρικές 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 BA, γύρω από ένα άξονα BΔ – NA 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 της βόρειας πλευράς της κοιλάδας, αποτέλεσμα δράσης κανονικού ρήγματος που τέμνει τη λεκάνη παράλληλα με τον βόρειο κλάδο του ποταμού. Η ανάλυση της διεύθυνσης των ρεμάτων έδειξε την επιλεκτική ανάπτυξή τους σε δυο, κυρίως, διευθύνσεις μια BA - NΔ και μια BBΔ - NNA.

Η ανάλυση των υψομετρικών δεδομένων της λεκάνης, των πρώτων και δεύτερων παράγωγών τους, οδήγησε στον εντοπισμό του τρόπου διάβρωσης σε συγκεκριμένες θέσεις μέσα στη λεκάνη. Επίσης, ο χάρτης συσχέτισης μεταξύ κλίσης και προσανατολισμού κλιτύων αποκάλυψε γραμμώσεις που τόσο από βιβλιογραφικές αναφορές, όσο και από υπαίθριες παρατηρήσεις και παρατηρήσεις γεωλογικών χαρτών μπορούν να ταυτιστούν με διευθύνσεις ρηγμάτων. Με βάση αυτά τα ρήγματα εντοπίστηκαν φαινόμενα πειρατείας κλάδων, ενώ αποδείχτηκε ότι η κύρια διεύθυνση ανάπτυξης των ρεμάτων συμφωνεί με την κύρια διεύθυνση ανάπτυξης των ρεμάτων

Ο υπολογισμός και η χωρική κατανομή του υψομετρικού ολοκληρώματος απέδειξαν ότι η λεκάνη απορροής βρίσκεται στο στάδιο ωριμότητας και ότι σε συγκεκριμένη θέση αναπτύσσεται επιφάνεια επιπέδωσης. Η ανώτερη τεκτονική επιφάνεια βρίσκεται στα 1300m, από την οποία εκτιμήθηκε ότι έχουν διαβρωθεί 101km³ υλικών. Από την ανάλυση της μορφολογίας και της στρωματογραφίας του σύνθετου αλλουβιακού ριπιδίου προκύπτει η έντονη δράση της τεκτονικής, όπως αντανακλάται από το πάχος ρυθμικών ποτάμιων αποθέσεων. Η τεκτονική δράση φαίνεται επίσης από την περιστροφή του ριπιδίου. Ο συνδυασμός στρωματογραφικών και υψομετρικών στοιχείων αποκαλύπτει την πλήρωση λεκάνης με ελάχιστο βάθος 128m, με σημαντικό όγκο υλικών (101km³) λόγω της συνεχούς βύθισης του ρήγματος του Σπερχειού.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	1
1.1 Σκοπός	1
1.2 Υλικά και μέθοδοι	1
1.3 Γεωγραφικά στοιχεία	2
1.4 Γεωλογικά στοιχεία	4
1.5 Κλιματικά στοιγεία	9
2. Υδρογραφία	12
2.1 Εισαγωγή-Θεωρητική περιγραφή	12
2.2 Αποτελέσματα ανάλυσης των νόμων του Horton	18
2.3 Ανάλυση υδρογραφικής πυκνότητας, συχνότητας και κυκλικότητας	20
2.4 Γεωμορφολογικοί δείκτες στην ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου	30
2.5 Ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου με ροδοδιαγράμματα και ιστογράμμα	τα 38
3. Ψηφιακά υψομετρικά δεδομένα	46
3.1 Εισαγωγή	46
3.2 Ταξινόμηση ανάγλυφου	46
3.3 Κλίση ανάγλυφου	49
3.4 Ανάλυση μονομεταβλητών μορφολογικών δεδομένων	52
3.4.1 Χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου	52
3.4.2 Χάρτης κλίσεων	56
3.4.3 Χάρτης προσανατολισμού	59
3.4.4 Χάρτης κατανομής τοπογραφικού δείκτη	63
3.5 Ανάλυση διμεταβλητών μορφολογικών δεδομένων	66
3.5.1 Σύγκριση υδρογραφικού δικτύου-γραμμώσεων	67
3.5.2 Σύγκριση αζιμουθίου γραμμώσεων- αζιμουθίου ρεμάτων	68
3.5.3 Σύγκριση μέσης κλίσης πρανών- υδρογραφικής πυκνότητας	69
3.5.4 Σύγκριση χάρτη κλίσεων- χάρτη προσανατολισμών	71
4. Υψομετρική ανάλυση	76
4.1 Υψομετρική καμπύλη και Υψομετρικό ολοκλήρωμα	76
4.2 Σύγκριση σχετικού υψομέτρου- υδρογραφικής πυκνότητας	80
5. Εξελικτικές διαδικασίες στη λεκάνη απορροής του ΙΝΑΧΟΥ ποταμού	82
5.1 Αναβαθμίδες και επιφάνειες επιπέδωσης στην κοιλάδα του Ίναχου ποταμοι	ú82
5.1.1 Αναβαθμίδες και επιφάνειες επιπέδωσης	82
5.1.2 Συσχέτιση των επιφανειών, ερμηνεία γένεσης και εξέλιξής τους	95
5.2 Αλλουβιακό ριπίδιο	102
5.2.1 Μορφολογικά χαρακτηριστικά του ριπιδίου	102
5.2.2 Στρωματογραφία και υλικά του ριπιδίου	112
5.2.3 Ταξινόμηση και εξέλιξη του ριπιδίου	118
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	122
7. Βιβλιογραφία	126
7.1 Διεθνή βιβλιογραφία	126
7.2 Ελληνική βιβλιογραφία	128
7.3 Ηλεκτρονικές διευθύνσεις	130
Παράρτημα	131

Σχήμα 1: Δορυφορική εικόνα που δείχνει την γεωγραφική τοποθέτηση της	
υδρολογικής λεκάνης του Ίναχου ποταμού	3
Σχήμα 2: Οι δήμοι του Νομού Φθιώτιδας που βρίσκονται μέσα στα όρια της	
υδρολογικής λεκάνης του Ίναχου ποταμού	4
Σχήμα 3: Λιθοστρωματογραφική στήλη της ζώνης Πίνδου, 1: δολομίτες, 2:	
πλακώδεις ασβεστόλιθοι, 3: αργιλοψαμίτες, 4: ηφασιτειοϊζηματογενή υλικά, 5:	
κερατόλιθοι, 6: ασβεστόλιθοι με πυριτικές ενστρώσεις, 7: λατυποπαγή, 8:	
ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι, 9: σχηματισμός φλύσχη (Μουντράκης, 1985)	6
Σχήμα 4: Γεωλογικός χάρτης της υδρολογικής λεκάνης του Ίναχου ποταμού	8
Σχήμα 5: Ομβροθερμικό διάγραμμα για τον μετεωρολογικό σταθμό της Λαμίας, γι την περίοδο 1931- 1940 και 1956- 1973	ια 11
Σγήμα 6: Σγηματική αναπαράσταση του τρόπου υπολογισμού του παράγοντα	
$\alpha \sigma \mu \mu \epsilon \tau \sigma (\alpha c AF AF = 100 (Ar / At) (Keller and Pinter 2002)$	15
Σχήμα 7 [·] Σχηματική αναπαράσταση του τρόπου υπολογισμού δανδέλωσης του	
$\mu_{\rm E}$ μετώπου των βουνών S _{mf} = L _{mf} / L _e (Keller and Pinter 2002)	15
Σχήμα 8 : Σχηματική απεικόνιση των τοινωνικών μεσολεκανωδών πεοιοχών σε	
νοήνορα ανυψούμενούς ποόποδες βουνού (Burbank 2001)	16
Σχήμα 9· Λιάνοαμμα του νόμου του ασιθμού των κλάδων νια την λεκάνη του Ίναν	/01)
ποταμού	18
Σχήμα 10: Διάνοαμμα του νόμου του μήκος των κλάδων για την λεκάνη του Ίναγο	
	19
Σχήμα 11 . Χάοτης κατανομής υδρογραφικής πυκνότητας στη λεκάνη του Ίναγου	
	2.2
Σχήμα 13. Χάοτης της λεκάνης του Ίναχου ποταιιού που αναπαριστά τις περιοχές	
ποι) έχουν ταυτόχοονα υψηλή υδοογοαφική πυκνότητα και συγγότητα	24
Σ χήμα 12 : Χάρτης καταγομής υδρογραφικής συχνότητας στη λεκάνη του Ίναγου	
$\pi 0 \tau \alpha \mu 0 \dot{0}$	
Σχήμα 14 : Διάνοαμμα πυκνότητας – συγγότητας για το υδρογραφικό δίκτυο του	
-χημα - τι	
Σχήμα 16: Χάοτης της λεκάνης του Ίναγου ποταμού που αναπαριστά τις περιογές	
που έγουν ταυτόγρονα υψηλή υδρογραφική πυκνότητα και γαμηλή κυκλικότητα	28
Σγήμα 15: Χάρτης κατανομής κυκλικότητας στη λεκάνη του Ίναγου ποταμού	
Σγήμα 17 : Διάνραμμα πυκνότητας – κυκλικότητας για το υδρογραφικό δίκτυο του)
Ίναγου ποταμού.	30
Σγήμα 18 : Τοπογραφικός γάρτης της περιογής μελέτης με απεικόνιση του	
υδρογραφικού δικτύου και των λεκανών απορροής $7^{\eta\varsigma}$, $6^{\eta\varsigma}$, $5^{\eta\varsigma}$, $4^{\eta\varsigma}$ και $3^{\eta\varsigma}$ τάξης,	32
Σγήμα 19α : Υπολογισμός AF=72.67. Λεκάνη απορροής Ίναγου ποταμού με άξονα	χ
συμμετρίας τον κύριο κλάδο $7^{\eta\varsigma}$ τάξης (αρίθμηση κατά Strahler, 1952)	
Σγήμα 198 : Υπολογισμός AF=73.76. Λεκάνη απορροής Ίναγου ποταμού με άξονα	χ
συμμετρίας τον κύριο κλάδο 7 ^{ης} τάξης (αρίθμηση κατά Horton, 1945)	33
Σγήμα 20 : Χάρτης υδρογραφικού δικτύου και λεκανών που παρουσιάζουν	
ασύμμετρη ανάπτυξη	35
Σχήμα 21 : Βορειοδυτικό τμήμα της λεκάνης του Ίναχου ποταμού, όπου ο κύριος	
κλάδος $7^{\eta\varsigma}$ τάξης κατά Horton στρέφεται 90°	37
Σχήμα 22: Ροδοδιαγράμματα διευθύνσεων ρεμάτων $1^{η\varsigma}$, $2^{η\varsigma}$, $3^{η\varsigma}$, $4^{η\varsigma}$, $5^{η\varsigma}$ και $6^{η\varsigma}$ τάδ	ξης
του υδρογραφικού δικτύου του Ίναχου ποταμού	
Σχήμα 23: Ροδοδιαγράμματα διευθύνσεων ρεμάτων 1 ^{ης} , 2 ^{ης} , 3 ^{ης} , 4 ^{ης} και 5 ^{ης} τάξης τ	της
λεκάνης 6.1	40

Σχήμα 24 : Ροδοδιαγράμματα διευθύνσεων ρεμάτων 1 ^{ης} , 2 ^{ης} , 3 ^{ης} , 4 ^{ης} και 5 ^{ης} τάξης της λεκάνης 6.2
Σχήμα 25 : Ροδοδιαγράμματα διευθύνσεων ρεμάτων 1 ^{ης} , 2 ^{ης} , 3 ^{ης} , 4 ^{ης} και 5 ^{ης} τάξης της λεκάνης 6.3
Σχήμα 26 : Ιστογράμματα αζιμουθίων και μέσων μήκων ρεμάτων 1 ^{ης} τάξης
Σχήμα 27: Χάρτης υψομέτρων της υδρολογικής λεκάνης του Ίναγου ποταμού
σύμφωνα με την ταξινόμηση του Dikau, 1989
Σχήμα 28: Χάρτης κλίσεων της υδρολογικής λεκάνης του Ίναγου ποταμού σύμφωνα
με την ταξινόμηση του Demek, 1972
Σγήμα 29: Ψηφιακό μοντέλο υψομέτοων (DEM) της υδρολονικής λεκάνης του
Ίναχου ποταμού.
Σγήμα 30 : Χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου (shaded relief) της λεκάνης του Ίναγου
ποταμού. Με άσπρες γραμμές απεικονίζονται οι γραμμώσεις που εντοπίστηκαν στον χάρτη σκιασμένου ανάγλυφου από τη διαφορά των τιμών των γειτονικών
εικονοστοιχείων (pixels)54
Σχήμα 31: α: Περιοχή της λεκάνης που αναπτύσσονται παράλληλες μεταξύ τους γραμμώσεις, β: Περιοχή της λεκάνης με έντονη ανάπτυξη τριγωνικών πρανών
εζαιτίας της δραση του ρηγματός
2χ ημα 32: Αθροιστική καμπυλή κλισής των πρανών ανα επιφανεία
Σχημα 33 : Χαρτης κλισεών (slope map) της λεκανής του Ιναχου ποταμού. Με
ασπρες γραμμες απεικονιζονται οι γραμμωσεις που εντοπιστηκαν στο χαρτη
σκιασμενου αναγλυφου και με κιτρινες γραμμες αυτες που εντοπιστηκαν στον χαρτη
κλισεων απο τη οιαφορα των τιμων των γειτονικων εικονοστοιχειων (pixels)
2χ ημα 34: Αθροιστική καμπυλή προσανατολισμού πρανών ανα επιφανεία. Το
αθροιστικό ποσοστό της επιφανείας σε αριθμητική κλιμακά (A). Το αθροιστικό
ποσοστο της επιφανείας σε λογαριθμική κλιμακά (B)
2χημα 35: Διαγραμμα και ροσοσιαγραμμα της διασπορας του προσανατολισμου των
πρανων αναλογα με την επιφανεία που καταλαμβανουν61
Σχημα 36 : Χαρτης προσανατολισμου των πρανών (aspect map) της λεκανης του
Ιναχου ποταμου. Ως υποβαθρο εχει χρησιμοποιηθει το σκιασμενο αναγλυφο62
Σχημα 37: Χαρτης κατανομης του τοπογραφικου δεικτη στη λεκανη απορροης του
Ιναχου ποταμού. Τα γραμματά Α, Β, Ι, Δ, Ε και ΣΙ οριζούν περιοχές όπου ο
τοπογραφικος δεικτης αποκτα διαφορετικες τιμες
Σχήμα 38: Τοποθέτηση γραμμώσεων πάνω στο τοπογραφικό δίκτυο του Ιναχου
ποταμού και εντοπισμός θέσεων πειρατείας κλάδων
Σχήμα 39: Ροδοδιαγράμματα παρατάξεων γραμμώσεων με βάση τον χάρτη κλίσεων
(α) και ροδοδιαγράμματα διευθύνσεων ρεμάτων 3 ⁴⁵ τάξης του υδρογραφικού δικτύου
του Ίναχου ποταμού (β)69
Σχήμα 40: Διάγραμμα συσχέτισης μέσης κλίσης πρανών- υδρογραφικής πυκνότητας
υπολεκανών 3 ^{ης} τάξης της υδρολογικής λεκάνης του Ίναχου ποταμού
Σχήμα 41: Διαγράμματα και ροδοδιαγράμματα συσχέτισης κλίσης προσανατολισμού
πρανών στη λεκάνη του Ίναχου ποταμού72
Σχήμα 42: Χάρτης συσχέτισης των επικρατέστερων κλίσεων (κλίση >17) και
προσανατολισμών (25°-75° και 275°-300°). Με μαύρα βέλη φαίνονται θέσεις όπου οι
δύο παράμετροι συσχετίζονται, για συγκεκριμένες τιμές, σε γραμμική διεύθυνση73
Σχήμα 43: Χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου με υπέρθεση των κανονικών ρηγμάτων
από τον γεωλογικό χάρτη (Κεφάλαιο 1)74
Σνήμα 14: Υάρτης κλίσεων με υπόρθεση των καυριμέων οποιράτων από του
2χ μ μ 44 . Aupting Knoew μ ϵ in sport of two knows phythetics and to

Σχήμα 45 : Χάρτης συσχέτισης κλίσεων (κλίση >17) και προσανατολισμών (25°-75° και 275°-300°) με υπέρθεση των κανονικών ρηγμάτων από τον γεωλογικό χάρτη (Κεφάλαιο 1)
(Κεφαλαίο Τ)
Σχήμα 47: Χάρτης χωρικής κατανομής του υψομετρικού ολοκληρώματος στην υδρολογική λεκάνη του Ίναχου ποταμού. Τα συμπαγή βέλη δείχνουν περιοχές με χαμηλή τιμή υψομετρικού ολοκληρώματος και τα στικτά περιοχές με υψηλή τιμή79 Σχήμα 48: Διάγραμμα συσχέτισης σχετικού υψομέτρου- υδρογραφικής πυκνότητας
υπολεκανών 3 ^{ης} τάξης της υδρολογικής λεκάνης του Ίναχου ποταμού
ποταμου και τοποθετηση μορφολογικών τομών. Σχήμα 50: Μορφολογική τομή 1 στη συμβολή των δυο κύριων κλάδων κατά Horton και Strahler
Σχήμα 51: Μορφολογική τομή 2 από το χωριό Κυριακοχώριον μέχρι την τοποθεσία Αλογοβούνι με διεύθυνση Α-Δ
Μάρμαρα με διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ
Σχήμα 54: Μορφολογική τομή 8 στο χωριό Περιβόλι με διεύθυνση Α-Δ90 Σχήμα 55: Τομή 6, παράλληλη στον βόρειο κλάδο του Ίναχου ποταμού91 Σχήμα 56: Μορφολογικές τομές Α, Β, Γ και Δ που δείχνουν την επιρροή των
ρηγμάτων και της τεκτονικής παραμόρφωσης πάνω στις επίπεδες επιφάνειες92 Σχήμα 57: Σχηματική απεικόνιση και μορφολογική τομή του βόρειου κλάδου της κοιλάδας του Ίναχου ποταμού, 2500m πριν τη συμβολή των δυο κλάδων
Νεοχώριον με διεύθυνση Δ-Α94 Σχήμα 59: Μορφολογική τομή 7 από τη θέση Ψηλιανού μέχρι το χωριό Περιστέριον με διεύθυνση ΔΝΔ-ΑΒΑ95
Σχήμα 60: Μορφολογικές καμπύλες της βόρειας και νότιας κοίτης του Ίναχου ποταμού και θέσεις των επίπεδων επιφανειών που εντοπίστηκαν στις δυο κοιλάδες. 96 Σχήμα 61: Χάρτης κλίσεων (Β) όπου με κύκλους ορίζονται οι περιοχές που έχουν άσπρο χρώμα, δηλαδή κλίση 1° -10°. Χάρτης υψομέτρων (Α) όπου με κύκλους τοποθετούνται οι ίδιοι κύκλοι ώστε να βρεθεί το υψόμετρο των επίπεδων επιφανειών.
Σχήμα 62: Τρισδιάστατη απεικόνιση της περιοχής μεταξύ 200m και 1300m (A). Υψομετρική καμπύλη της περιοχής μεταξύ 200m και 1300m (B)101 Σχήμα 63: δορυφορική εικόνα που δείχνει το αλλουβιακό ριπιδίο που διαμορφώνεται από τον Ίναχο ποταμό και η θέση των μορφολογικών τομών του σχήματος 64 και 66.
Σχήμα 64: Μορφολογικές τομές του ριπιδίου που βρίσκεται στην έξοδο του Ίναχου ποταμού στα πεδινά. Στο ανώτερο τμήμα του προφίλ αποτυπώνονται υψομετρικά δεδομένα, ενώ στο κατώτερο τμήμα δεδομένα κλίσεων
Δχημα 66 : Μορφολογικες τομες στα ριπιδια που βρίσκονται δυτικά του κύριου κλάδου του ποταμού

Σχήμα 67 : Χάρτης υψομέτρων (A) και χάρτης κλίσεων (B) για την περιοχή του
ριπιδιού του Ιναχού ποταμού
Σχήμα 68: Μορφολογική τομή 3. Τα τρία τμήματα στα οποία χωρίζεται το προφίλ
του ριπιδίου και η σχετική χρονολόγησή τους110
Σχήμα 69: Ο τοπογραφικός χάρτης της περιοχής του ριπιδίου και η θέση της
θεωρητικής έλλειψης που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της περιστροφής (β).
Σχήμα 70: Τοποθέτηση των γεωτρήσεων στον τοπογραφικό χάρτη της περιοχής του ριπιδίου
Σχήμα 71: Σχετική τοποθέτηση των προφίλ των γεωτρήσεων σε μορφολογική τομή
του ριπιδίου114
Σχήμα 72: Θέσεις δειγματοληψίας κροκάλων στο ριπίδιο του Ίναχου ποταμού116
Σχήμα 73: Τριγωνικό διάγραμμα σφαιρικότητας κροκάλων Sneed και Folk, 1958. Η
τοποθέτηση των δειγμάτων δείχνει το χερσοποτάμιο χαρακτήρα των υλικών117
Σχήμα 74: Ιστόγραμμα καμπύλη συχνότητας του δείκτη στρογγυλότητας για κάθε
ένα από τα δείγμα κροκάλων του ριπιδίου του Ίναχου ποταμού118
Σχήμα 75: Διάγραμμα σχέσης εμβαδού δέλτα και μήκους κύριων κλάδων (Α) και
διάγραμμα σχέσης εμβαδού δέλτα και εμβαδού λεκάνης απορροής (B) (Ψιλοβίκος και
Χαχαμίδου, 1987)

1. Εισαγωγή

1.1 Σκοπός

Σκοπός της παρούσας διατριβής ειδίκευσης είναι η γεωμορφολογική μελέτη του Ίναχου ποταμού της Φθιώτιδας, παραπόταμου του Σπερχειού ποταμού. Με στόχο να μελετηθούν οι γεωμορφολογικοί παράγοντες που επηρέασαν και επηρεάζουν τη μορφή και την εξέλιξη της κοιλάδας του Ίναχου ποταμού, εξετάστηκαν χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής και ποσοτικές παράμετροι που εξαρτώνται από την υδρογραφία. Με σκοπό τον εντοπισμό γεωλογικών δομών με έντονη χαρακτηριστική εμφάνιση, όπως οι θέσεις ανάπτυξης των ρηγμάτων, έγινε ανάλυση των τοπογραφικών υψομετρικών δεδομένων με τη μεθοδολογία των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.). Τέλος, για να υπάρξει ολοκληρωμένη παρουσίαση της κοιλάδας του Ίναχου ποταμού, μελετήθηκε τόσο η εξελικτική διαδικασία κοιλαδογένεσης στη λεκάνη απορροής του, όσο και τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των αποθέσεων του ποταμού στα πεδινά.

1.2 Υλικά και μέθοδοι

Για εξαγωγή την των παραγόντων και των χαρακτηριστικών χρησιμοποιήθηκαν τοπογραφικοί χάρτες της Γ.Υ.Σ. κλίμακας 1:50.000, φύλλα Λαμία, Σπερχιάδα, Καρπενίσιον και Λιδορίκιον και οι αντίστοιχοι γεωλογικοί χάρτες του ΙΓΜΕ. Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε σε λογισμικό των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.). Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό πρόγραμμα MapInfo 6.0, ώστε να ψηφιοποιηθεί το υδρογραφικό δίκτυο και οι λεκάνες απορροής. Η ψηφιοποίηση έγινε στους τοπογραφικούς χάρτες της Γ.Υ.Σ. με κλίμακα 1:50.000. Τα δεδομένα που προέκυψαν από τους χάρτες της Γ.Υ.Σ. διορθώθηκαν με βάση δορυφορικές εικόνες Landsat, που ελήφθησαν το 2000 (ορατό). Το προβολικό σύστημα που χρησιμοποιήθηκε κατά την ψηφιοποίηση, διόρθωση και επεξεργασία των δεδομένων είναι το Ε.Γ.Σ.Α. 87 και το ελλειψοειδές αναφοράς το GRS'80.

Για την κατασκευή των κανάβων και των χαρτών κατανομής των παραγόντων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό πρόγραμμα VerticalMapper 3.1. Για να μετατραπούν τα δεδομένα από σημειακά, γραμμικά ή περιοχικά σε ενιαίο κάναβο εφαρμόστηκε η μέθοδος παρεμβολής αντίστροφης απόστασης βάρους (Inverse Distance Weighting interpolation method).

Το ψηφιακό μοντέλο υψομέτρων (DEM) προέκυψε από την ψηφιοποίηση τοπογραφικών χαρτών της Γ.Υ.Σ. με κλίμακα 1:50.000. Αρχικά, ψηφιοποιήθηκαν οι ισοϋψείς των 20m, στη συνέχεια, κατά προσέγγιση ψηφιοποιήθηκαν οι ισοϋψείς των 10m και τελικά χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος παρεμβολής φυσικής γειτονίας (natural neighbor interpolation). Ο κάναβος (grid) που κατασκευάστηκε έχει μέγεθος κελιού 20m που είναι κατάλληλο για τα χαρακτηριστικά της ψηφιοποίησης (χάρτες κλίμακας 1:50.000), την πολυπλοκότητα του ανάγλυφου και τις παραγώγους του εδάφους που αναλύθηκαν.

1.3 Γεωγραφικά στοιχεία

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

Είναι σημαντικό να αναφερθεί η έντονη παρουσία της χλωρίδας σε όλη την έκταση της περιοχής μελέτης. Στα χαμηλότερα σημεία της λεκάνης υπάρχουν φυλλοβόλες δρύες και σκληρόφυλλα είδη όπως πουρνάρια, κουμαριές, κέδροι και πικροδάφνες. Ψηλότερα, τα κεφαλλονίτικα έλατα καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής, ενώ παρατηρείται μεγάλη ποικιλία από πλατύφυλλα δέντρα και θάμνους όπως μελιό, σφεντάμι, ίταμο και προύνο τα οποία αποτελούν χαρακτηριστικά ενός τυπικού μεσογειακού οικοσυστήματος Η πανίδα είναι αρκετά πλούσια στα πυκνά δάση των μεγάλων υψομέτρων. Η περιοχή χρησιμεύει ως ενδιαίτημα πολλών πουλιών και θηλαστικών. Ο πληθυσμός της περιοχής ασχολείται κυρίως με την αγροτική οικονομία. Τρεις τομείς αυτής, παρουσιάζουν την μεγαλύτερη οικονομική δραστηριότητα η γεωργία, η κτηνοτροφία και η εκμετάλλευση των δασών. Η γεωργία είναι αναπτυγμένη στις αποθέσεις του ποταμού. Στα υψηλότερα σημεία της λεκάνης εκτρέφονται κυρίως αιγοπρόβατα. Η υλοτομία, τέλος αποτελεί φυσική πηγή πλούτου για τους κατοίκους της περιοχής (http://www.oreivatein.com/page/mountains/m_o/oiti/oiti.html).

Το όνομα Ίναχος προέρχεται από τον πρώτο βασιλιά του Άργους. Ο Ίναχος ήταν γιος του Ωκεανού και της Τέθητος. Η βασιλεία του χρονολογείται το 1986 π.Χ. Σύμφωνα με τον μύθο, μετά τις πλημμύρες του Δευκαλίωνος, ο Ίναχος οδήγησε αυτούς που επέζησαν, από τα βουνά στις πεδιάδες. Όταν η Ήρα και ο Ποσειδών διαμάχησαν για την κυριαρχία του τόπου, ο Ίναχος έλαβε το μέρος της Ήρας και για αυτό ο Ποσειδώνας τον τιμώρησε, στερεύοντας όλους τους ποταμούς του Άργους (http://www.sikyon.com/Argos/history_gr.html).



Σχήμα 1: Δορυφορική εικόνα που δείχνει την γεωγραφική τοποθέτηση της υδρολογικής λεκάνης του Ίναχου ποταμού.

Διοικητική υπαγωγή

Η υπό μελέτη υδρολογική λεκάνη, βρίσκεται στο 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 (σχήμα 2). Στα όριο 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 Σώστης, που είναι χτισμένο στην έξοδο του ποταμού από τα στενά, στις αλλουβιακές αποθέσεις του.



Σχήμα 2: Οι δήμοι του Νομού Φθιώτιδας που βρίσκονται μέσα στα όρια της υδρολογικής λεκάνης του Ίναχου ποταμού.

1.4 Γεωλογικά στοιχεία

Η περιοχή μελέτης οριοθετείται από τρεις, κυρίως γεωλογικές δομές. Στα ανατολικά-νοτιοανατολικά βρίσκεται η Υπερπινδική σειρά. Στα δυτικά-νοτιοδυτικά υπάρχει η σειρά Οίτης-Γκιόνας, της Ζώνης Παρνασσού. Στα βόρεια η λεκάνη του Ιναχου ποταμού φτάνει έως το μεγάλο ρήγμα του Σπερχειού, διεύθυνσης ανατολής-δύσης.

Στη συνέχεια, περιγράφονται οι ενότητες, οι σειρές καθώς και άλλες γεωλογικές δομές που περικλείονται στα όρια της υδρολογικής λεκάνης του Ιναχου ποταμού.

Η ζώνη της Πίνδου έχει χωριστεί σε τρεις υποζώνες με διάφορα ονόματα, ανάλογα με τον ερευνητή που τις μελέτησε. Την υποζώνη του ανατολικού Φλύσχη της Πίνδου ή Εσωτερική Πίνδο, την υποζώνη των Ασβεστόλιθων της Πίνδου ή Αξονική Πίνδο και την υποζώνη του Δυτικού Φλύσχη της Πίνδου ή Εξωτερική Πίνδο. Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στην Εσωτερική Πίνδο (Υπερπινδική υποζώνη) και περιλαμβάνει μεταβατικά ιζήματα της ζώνης Πίνδου προς την Υποπελαγονική (Κατσικάτσος, 1992).

Η ζώνη της Πίνδου παλαιογεωγραφικά τοποθετείται μέσα στον ευρύτερο χώρο της Νεοτυθίος. Συγκεκριμένα, θεωρείται μια βαθιά αύλακα μεταξύ των υβωμάτων της ζώνης Γαβρόβου-Τρίπολης και της Πελαγονικής ζώνης. Η ζώνη της Πίνδου είναι επωθημένη, με μορφή τεκτονικού καλύμματος, από τα ανατολικά προς τα δυτικά, πάνω στη ζώνη Γαβρόβου- Τρίπολης. Οι σχηματισμοί της, εξαιτίας της πλαστικότητας που παρουσιάζουν, βρίσκονται έντονα λεπιωμένοι και πτυχωμένοι, κυρίως στο μέτωπο του τεκτονικού καλύμματος. Τα τεκτονικά λέπια εμφανίζονται επωθημένα το ένα πάνω στο άλλο, με κατεύθυνση όμοια του τεκτονικού καλύμματος. Τα παλαιότερα στρώματα της ζώνης της Πίνδου που έχουν βρεθεί είναι ηλικίας μέσου Τριαδικού. Δεν έχει βρεθεί το προαλπικό υπόβαθρο της ζώνης, ενώ τα πρώτα αλπικά ιζήματα, που εκτείνονται σε όλη την ζώνη, είναι δολομίτες και ασβεστόλιθοι Μέσου Τριαδικού (Μουντράκης, 1985).

Οι σχηματισμοί της ζώνης της Πίνδου χαρακτηρίζονται από ιζήματα βαθιάς θάλασσας. Το συνολικό τους πάχος, σε πολλές περιπτώσεις, ξεπερνά τα 4000 μέτρα (σχήμα 3). Το χαρακτηριστικό της ζώνης είναι η παρουσία δυο σειρών φλύσχη, ο πρώτος ηλικίας κάτω Κρητιδικού και ο δεύτερος ηλικίας Μαιστριχτίου- κάτω Ολιγοκαίνου (Μουντράκης, 1985). Ο «δεύτερος φλύσχης 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 Ιναχου ποταμού. Η απόθεση του ξεκινάει στα τέλη του Κρητιδικού (Μαιστρίχτιο-Δάνιο) και συνεχίζεται στο Τριτογενές μέχρι το άνω Ηώκαινο- κάτω Ολιγόκαινο. Ο φλύσχης αυτός αποτελείται, κυρίως, από ψαμμιτοπηλιτικά στρώματα, με εναλλαγές κροκαλοπαγών στο ανατολικό τμήμα της ζώνης και ασβεστόλιθους. Το πάχος του κυμαίνεται από 1500 μέτρα μέχρι 4000 μέτρα, στο συγκλινόριο της Αιτωλίας (Κατσικάτσος, 1992). Ο «δεύτερος φλύσχης της Πίνδου» είναι ο πιο τυπικός και αντιπροσωπευτικός του Ελληνικού χώρου. Σχετικά με τη ζώνη της Πίνδου, στην περιοχή μελέτης υπάρχει εμφάνιση ασβεστόλιθων Κριτιδικού της Υπερπινδικης σειράς. Είναι ασβεστόλιθοι, κυρίως πελαγικής φάσης. 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.



Σχήμα 3: Λιθοστρωματογραφική στήλη της ζώνης Πίνδου, 1: δολομίτες, 2: πλακώδεις ασβεστόλιθοι, 3: αργιλοψαμίτες, 4: ηφασιτειοϊζηματογενή υλικά, 5: κερατόλιθοι, 6: ασβεστόλιθοι με πυριτικές ενστρώσεις, 7: λατυποπαγή, 8: ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι, 9: σχηματισμός φλύσχη (Μουντράκης, 1985).

Η ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας συναντάται στους ορεινούς όγκους του Παρνασσού, της Γκιώνας (από όπου πήρε το όνομά της), της Οίτης και του Ελικώνα. Η ζώνη παλαιογεωγραφικά χαρακτηρίζεται ως τοπικό ύβωμα που εκτείνονταν ανάμεσα στην αύλακα της Πίνδου και την κατωφέρεια της Υποπελαγονικής ζώνης. Το υποθαλάσσιο ύβωμα εκτείνονταν προς τα βόρεια έως το ρήγμα του Σπερχειού, ενώ το νότιο όριο του ήταν το μεγάλο ρήγμα του Κορινθιακού κόλπου (Κατσικάτσος, 1992). Τα στρώματα της ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας βρίσκονται επωθημένα πάνω σε αυτά της ζώνης της Πίνδου με κατεύθυνση από τα ανατολικά προς τα δυτικά. Πάνω

στη ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας επωθούνται η Υποπελαγονική ζώνη και κυρίως, η ενότητα Βοιωτίας. Η πτυχογώνος τεκτονική είναι αυτή που διαμορφώνει κυρίως το χώρο της ζώνης. Ανοιχτές και μεγάλου μήκους κύματος πτυχές διαπιστώνονται στα στρώματά της με αποτέλεσμα να σχηματισθεί μια σειρά από μέγα-αντίκλινα και μέγα-σύγκλινα που κυριαρχούν στα βουνά Παρνασσός και Γκιώνα (Μουντράκης, 1985).

Τα παλαιότερα στρώματα που έχουν παρατηρηθεί στη ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας είναι δολομίτες του ανώτερου Τριαδικού. Το προαλπικό υπόβαθρο της ζώνης δεν είναι ορισμένο. Βασικό χαρακτηριστικό της ζώνης Παρνασσού- Γκιώνας είναι η ύπαρξη τριών βωξιτικών οριζόντων που παρεμβάλλονται στη συνεχή ασβεστολιθική σειρά.

Οι σχηματισμοί της ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας είναι ασβεστολιθικοί, νηριτικού περιβάλλοντος. Η ιζηματογένεση ξεκινάει από το Νόριο (άνω Τριαδικό) με απόθεση ασβεστόλιθων και φτάνει ως το Ηώκαινο με την τελική απόθεση φλύσχη. Ο τελικός αυτός φλύσχης Παλαιοκαίνου-Πριαμπονίου (ανώτερο Ηωκαίνου) είναι που απαντάται στην υπό μελέτη λεκάνη του Ίναχου ποταμού. Το πάχος του είναι περίπου 1500 μέτρα. Στα κατώτερα στρώματα είναι ασβεστομαργαϊκός και εξελίσσεται κυρίως σε ψαμμίτες και κροκαλοπαγή (Μουντράκης, 1985).

Το ρήγμα του Σπερχειού είναι 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 Τριαδικό-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 (Κατσικάτσος, 1992).

Παρακάτω αναφέρονται οι σχηματισμοί που απαντώνται στη λεκάνη του Ιναχου ποταμού, όπως αυτοί περιγράφονται από το γεωλογικό χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε., φύλλο Σπερχειάς, με κλίμακα 1:50000, έκδοσης του 1970.

Φλύσχης ανατολικής Πίνδου: Η απόθεση του φλύσχη έλαβε χώρα από το Δάνιο ως το Ηώκαινο. Αποτελείται από αργιλίτες και ιλυόλιθους με συνεχείς εναλλαγές στρωμάτων γραουβάκων. Επίσης, υπάρχουν γραουβάκες, ψαμμίτες και λεπτομερή κροκαλοπαγή με παρεμβολές σχιστόλιθων.

Φλύσχης Οίτης- Γκιώνας: Η απόθεση αυτών των σχηματισμών αρχίζει στο Παλαιόκαινο και φτάνει ως το Ηώκαινο. Ο φλύσχης αποτελείται από αργιλίτες και συμπαγείς μάργες με εναλλαγές σχιστόλιθων, γραουβάκες, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή όπου παρεμβάλλονται νουμουλιτοφόροι ασβεστόλιθοι. Στη βάση του φλύσχη υπάρχουν σχιστόλιθοι και συμπαγείς μάργες ερυθρού χρώματος.

Υπερπινδική σειρά: Η απόθεση των σχηματισμών ξεκινάει στο Ιουρασικό και φτάνει στο ανώτερο Κρητιδικό. Στο ανώτερο Κρητιδικό αποτίθενται πελαγικοί και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, κλαστικοί ασβεστόλιθοι με θραύσματα ρουδιστών και κροκαλοπαγή. Από το Ιουρασικό ως το κάτω Κρητιδικό αποτίθενται ασβεστόλιθοι άστρωτοι και πλακώδεις, ραδιολαρίτες, κερατόλιθοι, σχιστόλιθοι, ασβεστόλιθοι με ενστρώσεις ραδιολαριτών και σχιστόλιθοι. Στη βάση των παραπάνω υπάρχουν ασβεστόλιθο με Ellipsactinia (μέσο- ανω Ιουρασικό).

Η χωρική κατανομή των παραπάνω σχηματισμών φαίνεται στο σχήμα 4. Ο φλύσχης της Πίνδου καταλαμβάνει 131,8km², ο φλύσχης της Οίτης 133,3 km², οι ασβεστόλιθοι της Υπερπινδικής σειράς καταλαμβάνουν 41,1 km² και οι τεταρτογενείς αποθέσεις 32,1km².



Σχήμα 4: Γεωλογικός χάρτης της υδρολογικής λεκάνης του Ίναχου ποταμού.

1.5 Κλιματικά στοιχεία

Ο προσδιορισμός του κλιματικού τύπου της περιοχής και η ανάλυση των μετεωρολογικών στοιχείων θεωρούνται απαραίτητα ώστε να υπάρχει μια συνολική εικόνα των στοιχείων που δρουν και επηρεάζουν την γεωμορφολογική εξέλιξη της περιοχής. Άλλωστε η βροχόπτωση και η θερμοκρασία είναι από τους σημαντικότερους παράγοντες διάβρωσης.

Τα κλιματικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν, αντλήθηκαν από το βιβλίο «Κλιματικά στοιχεία του Ελληνικού δικτύου (περίοδος 1930- 1975)» και αναφέρονται για το μετεωρολογικό σταθμό της Λαμίας (πίνακας 1) που εποπτεύεται από την Ε.Μ.Υ.. Η χρονική περίοδος και η απόσταση του σταθμού από την περιοχή μελέτης θεωρούνται ικανοποιητικά αν δεχτούμε ότι δεν υπήρξαν κλιματικές αλλαγές στην περιοχή.

Μήνες	Μέση θερμοκρασία	Μέσο ύψος υετού σε χιλιοστά	
Ιανουάριος	7,6	79,5	
Φεβρουάριος	8,8	70,1	
Μάρτιος	11,2	72,5	
Απρίλιος	15,8	41,9	
Μάιος	20,6	49,8	
Ιούνιος	25,2	36,4	
Ιούλιος	27,8	23,1	
Αύγουστος	27,5	13,5	
Σεπτέμβριος	23,0	42,6	
Οκτώβριος	18,0	73,9	
Νοέμβριος	13,7	64,3	
Δεκέμβριος	9,3	105,0	
Έτος	17,4	672,6	

Πίνακας 1. Κλιματικά στοιχεία από τον μετεωρολογικό σταθμό Λαμίας (38° 54′, 22° 24′) για τις περιόδους 1931-1940 και 1956-1973

Από τα κλιματικά στοιχεία του παραπάνω πίνακα, που αναφέρονται για τις περιόδους 1931- 1940 και 1956- 1973, χρησιμοποιήθηκαν το μέσο ύψος βροχής και η μέση θερμοκρασία ώστε να υπολογιστεί ο κλιματικός τύπος της περιοχής μελέτης. Η κατάταξη του κλίματος της περιοχής βασίστηκε στην ταξινόμηση του Koppen, η οποία είναι απλή, εύχρηστη, δίνει τα γενικά χαρακτηριστικά του κλίματος όλου του πλανήτη αρκετά ικανοποιητικά και έχει γίνει αποδεκτή από την πλειοψηφία των κλιματολόγων (Μπαλαφούτης, 1999).

Σύμφωνα με την κατάταξη του Koppen προέκυψε ότι ο κλιματικός τύπος είναι Csa ή μεσογειακός με θερμό και ξηρό θέρος, αφού η μέση θερμοκρασία του θερμότερου μήνα είναι μεγαλύτερη των 22° C και η μέση θερμοκρασία του θερμότερου μήνα είναι 27,8° C.

Ο De Martonne προτείνει μια πιο εξειδικευμένη κατάταξη του κλίματος, βασισμένη στη διάρκεια της ξηρής περιόδου ενός έτους. Σύμφωνα με τον Moisselin, 2002, ο τύπος του κλίματος, ανάλογα με την κατάταξη De Marton, υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$I = \frac{P}{T+10}$$

Όπου P είναι το μέσο ετήσιο άθροισμα των κατακρημνισμάτων σε mm και T η μέση ετήσια θερμοκρασία σε °C. Ο δείκτης Ι εκφράζεται σε mm/ °C.

Σύμφωνα με τον δείκτη του De Martonne ο τύπος του κλίματος χαρακτηρίζεται ημίξηρος Μεσογειακός (I=14,44mm/°C).

Ακολούθως, κατασκευάσθηκε το ομβροθερμικό διάγραμμα ώστε να περιγραφεί η μεταβολή της θερμοκρασίας και των κατακρημνισμάτων κατά τη διάρκεια του έτους. Από το σχήμα 5 παρατηρούμε ότι η μέγιστη θερμοκρασία εμφανίζεται τον Ιούλιο και η ελάχιστη τον Ιανουάριο. Το μεγαλύτερο ποσοστό των κατακρημνισμάτων παρατηρείται τον Δεκέμβριο, ενώ το ελάχιστο τον Αύγουστο.

Οι κλιματικές συνθήκες που επικρατούν σε μια περιοχή αποτελούν τους σημαντικότερους παράγοντες για το σχηματισμό και την διάβρωση του εδάφους. Η εδαφογένεση, η μηχανική και η χημική αποσάθρωση ελέγχονται από το ύψος των κατακρημνισμάτων και τη μεταβολή της θερμοκρασίας. Δεδομένου ότι το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται ημίυγρο, μέχρι υγρό για τον Δεκέμβριο, η επιφανειακή απορροή και η διάβρωση από το νερό αναμένεται αυξημένη.



Σχήμα 5: Ομβροθερμικό διάγραμμα για τον μετεωρολογικό σταθμό της Λαμίας, για την περίοδο 1931- 1940 και 1956- 1973.

2. Υδρογραφία

2.1 Εισαγωγή-Θεωρητική περιγραφή

Ποσοτική ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου ορίζεται η μαθηματικήαριθμητική έκφραση των μορφολογικών χαρακτηριστικών του. Η ποσοτική ανάλυση παρέχει την δυνατότητα συγκρίσεων μεταξύ των δομικών στοιχείων ενός υδρογραφικού δικτύου, δηλαδή των κλάδων του, των λεκανών απορροής του και των μεσολεκανοδών 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.

Οι επιστήμονες, από τα μέσα του προηγούμενου αιώνα, θέσπισαν κανόνες και νόμους που καθορίζουν τη σχέση μεταξύ των κλάδων και των λεκανών ενός δικτύου. Πρώτος ο Horton, το 1945, πρότεινε μια αριθμητική έκφραση για τον προσδιορισμό και την ομαδοποίηση των χαρακτηριστικών των κλάδων ενός δικτύου. Επίσης ο Horton διατύπωσε δυο σημαντικούς νόμους για την σύνθεση των υδρογραφικών δικτύων, το Νόμο του αριθμού των κλάδων (1^{ος} νόμος του Horton) και το Νόμο του μήκους των κλάδων.

Ακολουθώντας τον Horton (1945), ο Strahler (1952), πρότεινε το δικό του σύστημα ταξινόμησης. Ο Strahler θεώρησε ότι τα ρέματα που δεν δέχονται τα νερά μικρότερων κλάδων ρεμάτων ονομάζονται ρέματα 1^{ης} τάξης. Σύνδεση δυο κλάδων ίσης τάξης δημιουργεί ένα νέο κλάδο της αμέσως μεγαλύτερης τάξης. Στην περίπτωση που συνδέονται δυο κλάδοι διαφορετικής τάξης, ο νέος κλάδος που προκύπτει έχει την τάξη του μεγαλύτερου από τους δυο συμβαλλόμενους κλάδους. Η μέθοδος του Strahler θεωρείται η πλέον ορθόδοξη για να ερμηνεύσει τους νόμους της υδρογραφικής σύνθεσης (Σωτηριάδης και Ψιλοβίκος, 1984, Αστάρας, 1980). Για την ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου του Ιναχου ποταμού χρησιμοποιήθηκε η αρίθμηση κατά Strahler (1952), ενώ η αρίθμηση του Horton (1945) χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της ασυμμετρίας της λεκάνης απορροής του ποταμού.

Για την ανάλυση των μορφομετρικών παραμέτρων του υδρογραφικού δικτύου χρησιμοποιήθηκαν ο πρώτος και ο δεύτερος νόμος του Horton, όπως ορίζονται παρακάτω (Horton, 1945, από Βουβαλίδη, 2004). Ο Νόμος του αριθμού των κλάδων (1^{ος} νόμος Horton) του ορίζει ότι ο αριθμός των διαδοχικώς μικρότερων τάξεων κλάδων ενός υδρογραφικού δικτύου, τείνει να σχηματίσει μια αύξουσα γεωμετρική ακολουθία, της οποίας πρώτος όρος είναι η μονάδα (ο απλός κλάδος της μεγαλύτερης τάξης) και λόγος, ο λόγος διακλάδωσης Rb. Ο πρώτος Νόμος του Horton εκφράζεται από τη σχέση $N_u=Rb^{(k-u)}$. Ο λόγος διακλάδωσης δίνεται από τη σχέση $Rb=N_u/N_{(u+1)}$, όπου N_u ο αριθμός των κλάδων **u** τάξης, **K** η μέγιστη τάξη, **u** η ζητούμενη τάξη και **Rb** ο λόγος διακλάδωσης.

Ο Νόμος του μήκος των κλάδων (2°ς νόμος Horton τροποποιημένος από τον Brescae, 1959, από Αστάρα, 1980) ορίζει ότι τα αθροιστικά μήκη των διαδοχικώς μεγαλύτερων τάξεων κλάδων ενός υδρογραφικού δικτύου, τείνουν να σχηματίσουν μια αύξουσα γεωμετρική ακολουθία, της οποίας πρώτος όρος είναι το μέσο μήκος των κλάδων 1^{ης} τάξης και λόγος, ο λόγος του μήκους **R**_L. Ο Νόμος του μήκος των κλάδων εκφράζεται από τη σχέση $\Sigma L_u = L_1 R_L^{(u-1)}$. Ο λόγος του μήκους δίνεται από τη σχέση **R**_L = $\Sigma L_u / \Sigma L_{(u-1)}$, όπου Lu το μέσο μήκος των κλάδων u τάξης, L₁ το μέσο μήκος του κλάδου 1^{ης} τάξης, u η ζητούμενη τάξη και **R**_L ο λόγος του μήκους.

Επίσης σημαντικοί παράμετροι που χαρακτηρίζουν τα υδρογραφικά δίκτυα και αναλύθηκαν στην παρούσα εργασία είναι η υδρογραφική πυκνότητα (Du), η υδρογραφική συχνότητα (Fu) και η κυκλικότητα (Rc). Υδρογραφική πυκνότητα, D_u ορίζεται ο λόγος του συνολικού μήκους των κοιτών όλων των τάξεων σε μια λεκάνη απορροής δια του εμβαδού της λεκάνης απορροής και ισχύει η σχέση D_u = $\Sigma L_u / A_u$ (Horton, 1945). Υδρογραφική συχνότητα, F_u είναι ο λόγος του συνολικού αριθμού των κλάδων των κοιτών όλων των τάξεων σε μια λεκάνη απορροής δια του εμβαδού της λεκάνης αυτής και ισχύει ο τύπος F_u = $\Sigma N_u / A_u$ (Horton, 1945). Κυκλικότητα της λεκάνης απορροής **Rc** ορίζεται το πηλίκο του εμβαδού A_u μιας λεκάνης προς την περίμετρό P_u της. Η κυκλικότητα μιας λεκάνης δίνεται από τον τύπο **Rc** = $4πA_u/P_u^2$.(Miller, 1953 από Gregory and Walling, 1973).

Αφού υπολογίστηκαν οι μορφομετρικοί παράμετροι κατασκευάστηκαν χάρτες γεωγραφικής κατανομής της υδρογραφικής πυκνότητας, της υδρογραφικής συχνότητας και της κυκλικότητας. Οι χάρτες αυτοί δίνουν παραστατικά τον τρόπο διασποράς της υδρογραφικής πυκνότητας, συχνότητας και κυκλικότητας των λεκανών 6^{ης}, 5^{ης}, 4^{ης} και 3^{ης} 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. Με βάση τις τιμές της υδρογραφικής πυκνότητας, που υπολογίστηκαν με την παραπάνω διαδικασία κατασκευάστηκαν διαγράμματα κλίσης (slope) πρανών– υδρογραφικής πυκνότητας και σχετικού υψομέτρου (relative height) – υδρογραφικής πυκνότητας.

Κατόπιν, υπολογίστηκαν μορφοτεκτονικοί παράγοντες που σχετίζονται με την ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου. 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)που ελέγχει την τεκτονική περιστροφή (tectonic tilting) εγκάρσια στη ροή του συστήματος. Ο παράγοντας ασυμμετρίας (AF) ορίζεται από τη σχέση AF = 100 (Ar / At), όπου Ar είναι το εμβαδόν της περιοχής της λεκάνης δεξιά από την γραμμή ανάπτυξης του κύριου κλάδου, κοιτώντας προς τα κατάντη, και At είναι το συνολικό εμβαδόν της λεκάνης απορροής (σχήμα 6). Για τα περισσότερα υδρογραφικά δίκτυα που δημιουργούν και αναπτύσσουν τη ροή τους σε σταθερές συνθήκες ο παράγοντας ασυμμετρίας AF είναι 50. Τιμές σημαντικά μεγαλύτερες ή μικρότερες από το 50 οφείλονται σε περιστροφή λόγω τεκτονικών αιτιών. Όπως και οι περισσότεροι μορφομετρικοί δείκτες, ο παράγοντας AF λειτουργεί καλύτερα όταν η λεκάνη απορροής αναπτύσσεται σε λιθολογικά ομοιόμορφο υπόβαθρο. Βέβαια, πρέπει να παρατηρηθεί ότι ο παράγοντας AF είναι ευαίσθητος μόνο σε περιστροφές κάθετες στην ανάπτυξη του κύριου ρέματος και θεωρείται ότι η λιθολογία και το κλίμα δεν επηρεάζουν τη διαμόρφωση του (Keller and Pinter, 2002).

Μια άλλη μορφομετρική παράμετρος που χρησιμοποιήθηκε είναι η δαντέλωση του μετώπου των βουνών (mountain- front sinuosity). Η παράμετρος S_{mf} ορίζεται από τη σχέση $S_{mf} = L_{mf} / L_s$, όπου S_{mf} είναι η δαντέλωση του μετώπου των βουνών (mountain- front sinuosity), L_{mf} είναι το μήκος του μετώπου του βουνού κατά μήκος των προπόδων του και L_s είναι το μήκος της ευθείας γραμμής των προπόδων του βουνού (σχήμα 7). Με το δείκτη αυτόν προσδιορίζεται η ισορροπία που υπάρχει μεταξύ των δυνάμεων διάβρωσης που τείνουν να ομαλοποιήσουν τις εγκολπώσεις στο μέτωπο του βουνού (mountain front) και στις τεκτονικές δυνάμεις που τείνουν να παράγουν ευθύγραμμο ανάγλυφο στο μέτωπο του βουνού. Τα πρανή 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. Η τάξη της τιμής του παράγοντα δαντέλωση του μετώπου των βουνών (mountain- front sinuosity) εξαρτάται από την κλίμακα του χάρτη που χρησιμοποιείται για να προκύψει αυτός. Ο χάρτης που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία είναι κλίμακας 1:50000, με ισοδιάσταση 20m, η οποία χαρακτηρίζεται ικανοποιητική για τον ορθό υπολογισμό του παράγοντα S_{mf} (Keller and Pinter, 2002).



Σχήμα 6: Σχηματική αναπαράσταση του τρόπου υπολογισμού του παράγοντα ασυμμετρίας AF, AF = 100 (Ar / At) (Keller and Pinter, 2002).



Σχήμα 7: Σχηματική αναπαράσταση του τρόπου υπολογισμού δανδέλωσης του μετώπου των βουνών, $S_{mf} = L_{mf} / L_s$ (Keller and Pinter, 2002).

Η γεωμορφολογική εξέλιξη μιας περιοχής αντικατοπτρίζεται άμεσα στη μορφή του υδρογραφικού δικτύου, για αυτό το λόγο η μορφή των υδρογραφικών δικτύων ποικίλει. Αντίστοιχα, η μορφή των υδρολογικών λεκανών, μικρότερης τάξης καθώς και των μεσολεκανοδών περιοχών αναπτύσσεται με ιδιαίτερο τρόπο, εξαρτώμενο από την εξέλιξη της περιοχής. Με βάση την παραπάνω γενική αρχή μελετήθηκε διεξοδικά ολόκληρη η περιοχή μελέτης με σκοπό να εντοπιστούν ιδιαίτερες μορφές και μορφολογικά χαρακτηριστικά που να συνδέονται με κάποια συγκεκριμένη διαδικασία εξέλιξης. Σύμφωνα με τον Burbank, 2001, ο τρόπος που τοποθετούνται τα τριγωνικά πρανή (triangular facets) κατά μήκος του μετώπου 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 μεσολεκανωδών περιοχών. Όσο πιο επιμήκης είναι μια λεκάνη τόσο πιο απότομες και συμπτυγμένες είναι οι μεσολεκανώδεις περιοχές, ενώ όσο πιο κυκλική είναι μια λεκάνη τόσο ομαλότερες και διευρυμένες είναι αυτές (σχήμα 8). Ο ίδιος συγγραφέας χαρακτηρίζει ενεργές τεκτονικά τις περιοχές στις οποίες οι λεκάνες είναι στενές και απότομες, ενώ θεωρεί λιγότερο τεκτονικές τις περιοχές όπου οι λεκάνες έχουν σύνθετη μορφή, φαρδύτερη και ακανόνιστη. Γρήγορη τεκτονική ανύψωση συνδέεται με μεγάλα, ελαφρώς διαβρωμένα τριγωνικά πρανή (triangular facets) στο μέτωπο του βουνού, ενώ αργές τεκτονικές κινήσεις συνδέονται με διαβρωμένα πρανή στο μέτωπο του βουνού (σχήμα 8). Λεκάνες απορροής και μεσολεκανώδεις περιοχές με παρόμοια μορφή και διάταξη, όπως περιγράφηκε παραπάνω, εντοπίστηκαν στην περιοχή μελέτης.



Σχήμα 8: Σχηματική απεικόνιση των τριγωνικών μεσολεκανωδών περιοχών σε γρήγορα ανυψούμενούς πρόποδες βουνού (Burbank, 2001).

Με σκοπό να προσδιοριστεί μια ποσοτική σχέση κατασκευάστηκαν διαγράμματα κυκλικότητας των λεκανών απορροής σε σχέση με την υδρογραφική πυκνότητα τους και διαγράμματα εμβαδού των λεκανών σε σχέση, επίσης με την υδρογραφική πυκνότητα. Οι σχέσεις που προκύπτουν καθώς επίσης τα διαγράμματα και τα ιστογράμματα παρουσιάζονται παρακάτω.

Τέλος, κατασκευάστηκαν ιστογράμματα διεύθυνσης – μήκους ρεμάτων και ροδοδιαγράμματα διευθύνσεων ανάπτυξης ρεμάτων. Με τη βοήθεια αυτών των διαγραμμάτων είναι δυνατό να διαπιστωθεί η ανάπτυξη των ρεμάτων σε σχέση με το αζιμούθιο τους και σε σχέση με το μήκος τους και τελικά να βρεθεί αν υπάρχει επιλεκτική ανάπτυξη των ρεμάτων σε κάποια συγκεκριμένη διεύθυνση. Επίσης αποδείχτηκε με το στατιστικό έλεγχο X² καλής προσαρμογής αν η τοποθέτηση των ρεμάτων σε συγκεκριμένη διεύθυνση ακολουθεί ομαλή δενδριτική ανάπτυξη ή όχι. Στις περιπτώσεις που τα ρέματα, συγκεκριμένης τάξης αναπτύσσονται σε ορισμένη διεύθυνση και ελέγχονται από το στατιστικό τεστ είναι πολύ πιθανό η τεκτονική να έχει επηρεάσει την ανάπτυξη αυτή.

Για την εξαγωγή των παραγόντων και των χαρακτηριστικών που αναφέρθηκαν χρησιμοποιήθηκαν τοπογραφικοί χάρτες της Γ.Υ.Σ. κλίμακας 1:50.000, φύλλα Λαμία, Σπερχιάδα, Καρπενίσιον 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 ψηφιοποιηθεί το υδρογραφικό δίκτυο και οι λεκάνες απορροής. Η ψηφιοποίηση έγινε στους τοπογραφικούς χάρτες της Γ.Υ.Σ. με κλίμακα 1:50.000 και ισοδιάσταση 20m. Χρησιμοποιώντας τη διαδικασία της μεγέθυνσης (zoom) επιτεύχθηκε η αλλαγή της τελικής κλίμακας των ψηφιοποιημένων δεδομένων (ρέματα και λεκάνες). Τέλος, τα δεδομένα που προέκυψαν από τους γάρτες της Γ.Υ.Σ. διορθώθηκαν με βάση δορυφορικές εικόνες Landsat, που ελήφθησαν το 2000 και διανέμονται από την Ν.Α.S.Α. (https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/). Το προβολικό σύστημα που χρησιμοποιήθηκε κατά την ψηφιοποίηση, διόρθωση και επεξεργασία των δεδομένων είναι το Ε.Γ.Σ.Α. 87 και το ελλειψοειδές αναφοράς το GRS'80. Η δορυφορική εικόνα είναι ορθοδιορθωμένη από αργικό προβολικό σύστημα το WGS84 σε Ε.Γ.Σ.Α. 87 (Βουβαλίδης, 2004).

Για την κατασκευή των κανάβων και τελικά των χαρτών κατανομής των παραγόντων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό πρόγραμμα VerticalMapper 3.1. Για να μετατραπούν τα δεδομένα από σημειακά, γραμμικά ή επιφανειακά σε ενιαίο κάναβο 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).

2.2 Αποτελέσματα ανάλυσης των νόμων του Horton

Εφαρμόζοντας τον νόμο του αριθμού των κλάδων για την λεκάνη απορροής του Ιναχου ποταμού προέκυψε ο πίνακας 2, που από τα δεδομένα του κατασκευάστηκε το διάγραμμα του σχήματος 9.

1/0/00 1000000			
u	Nu	Rb	
1	2328	4.628231	
2	503	4.614679	
3	109	4.541667	
4	24	3	
5	8	2.666667	
6	3	3	
7	1		
	•	Μέσο Rb = 3.741	

Πίνακας 2. Εφαρμογή του νόμου του αριθμού των κλάδων για την λεκάνη του Ιναχου ποταμού



Σχήμα 9: Διάγραμμα του νόμου του αριθμού των κλάδων για την λεκάνη του Ίναχου ποταμού.

Μελετώντας το διάγραμμα του σχήματος 9 παρατηρείται ότι η διασπορά των τιμών είναι πολύ μικρή με αποτέλεσμα να μη διακρίνεται κάποια τιμή (τάξη κλάδου) να αποκλίνει ιδιαίτερα από την ευθεία που περιγράφει την κατανομή. Επίσης η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού R² τείνει στο 1, γεγονός που υποδηλώνει τη γραμμική συμμεταβολή των δυο τιμών (Τσάντας, 1999). Συνεπώς, το διάγραμμα δείχνει ότι η ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου του Ίναχου ποταμού είναι κανονική, δηλαδή ο νόμος του αριθμού των κλάδων δείχνει ότι η ανάπτυξη όλων των τάξεων ρεμάτων δεν επηρεάζεται από κάποια δομή.

Ακολούθως, εφαρμόστηκε ο νόμος του μήκος των κλάδων για την υπό μελέτη λεκάνη. Προέκυψαν ο πίνακας 3 και το διάγραμμα του σχήματος 10.

1100,000					
u	Nu	Lu	Lu	ΣLu	RL
1	2328	680.9	0.292483	0.292483	
2	503	250.3	0.497614	0.790097	2.701345
3	109	127.5	1.169725	1.959822	2.480482
4	24	56.22	2.3425	4.302322	2.195262
5	8	36.76	4.595	8.897322	2.068028
6	3	20.52	6.84	15.73732	1.768771
7	1	16.4	16.4	32.13732	2.042109

Πίνακας 3. Εφαρμογή του νόμου του μήκος των κλάδων για την λεκάνη του Ιναχου ποταμού



Σχήμα 10: Διάγραμμα του νόμου του μήκος των κλάδων για την λεκάνη του Ίναχου ποταμού.

Τα συμπεράσματα που εξάγονται από την παρατήρηση του διαγράμματος του νόμου του μήκους των κλάδων συμφωνούν με αυτά του νόμου του αριθμού των κλάδων, αφού η τιμή του R² τείνει στη μονάδα. Δηλαδή, δεν φαίνεται η ανάπτυξη του δικτύου να επηρεάζεται από κάποια γεωλογική δομή.

Στον πίνακα 4 παρουσιάζονται οι συντελεστές προσαρμογής όλων των υπολεκανών 6^{ης} και 5^{ης} τάξης του Ίναχου ποταμού των τιμών τάξης κλάδων - αριθμού κλάδων, για τον νόμο του αριθμού των κλάδων (1° νόμο του Horton) και τάξης κλάδων - αθροιστικού μέσου μήκους κλάδων, για το νόμο του μήκους των κλάδων (2° νόμο του Horton τροποποιημένος από τον Brescae, 1959, από Αστάρα, 1980). Στο Παράρτημα παρατίθενται αναλυτικά οι δυο νόμοι για όλες τις υπολεκάνες 3^{ης}, 4^{ης}, 5^{ης} και 6^{ης} τάξης του Ίναχου ποταμού. Παρατηρείται ότι σε όλες τις περιπτώσεις, του πίνακα 4, η τιμή του R² τείνει στο 1.

	R^2 - Νόμος του αριθμού των	R^2 - Νόμος του μήκος των
Λεκανη	κλάδων	κλάδων
6.1	0.9851	0.9731
6.2	0.97	0.9867
6.3	0.9969	0.9982
5.1	0.981	0.9585
5.2	0.9968	0.9845
5.3	0.9848	0.9895
5.4	0.9748	0.9545
5.5	0.9978	0.9937
5.6	0.991	0.9976
5.7	0.9758	0.9947
5.8	0.9956	0.9967

Πίνακας 4. Συντελεστές προσδιορισμού \mathbb{R}^2 για τις λεκάνες 5^{ης} και 6^{ης} τάξης, για το νόμο του αριθμού των κλάδων και το νόμο του μήκος των κλάδων.

2.3 Ανάλυση υδρογραφικής πυκνότητας, συχνότητας και κυκλικότητας

Παρόλα αυτά, μια προσεκτικότερη παρατήρηση στις μορφές των υπολεκάνων της κύριας λεκάνης του Ίναχου ποταμού (σχήμα 18), δείχνει αρκετές από αυτές να αναπτύσσονται ασύμμετρα, να είναι έντονα επιμήκεις και να δημιουργούν χαρακτηριστικής μορφής τριγωνικά πρανή (triangular facets). Για αυτό το λόγο κρίθηκε απαραίτητη η περαιτέρω ανάλυση των υπολεκανών της λεκάνης του Ίναχου ποταμού.

Η πρώτη παράμετρος που υπολογίστηκε είναι η υδρογραφική πυκνότητα. Η υδρογραφική πυκνότητα 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, 2002, Reddy et al, 2004). Στην περιοχή μελέτης η υδρογραφική πυκνότητα δεν παίρνει πολύ μεγάλες τιμές, γεγονός που οφείλεται στην ύπαρξη πολύ έντονης βλάστησης. Όμως η διαπίστωση αυξημένων τιμών πυκνότητας σε συγκεκριμένες ζώνες, σε συνδυασμό με άλλες παραμέτρους, όπως η κυκλικότητα και η συχνότητα που αναλύονται παρακάτω, δίνει μια ενδεικτική εικόνα της κατάστασης που επικρατεί στην περιοχή μελέτης.

Στο σχήμα 11 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 προγράμματος VerticalMapper 3.1. Χρησιμοποιήθηκε κελί με μέγεθος 150 m, ώστε τα σημεία χωρίς τιμές να είναι όσο το δυνατόν λιγότερα. Η μέθοδος παρεμβολής (interpolation method) που εφαρμόστηκε είναι της αντίστροφης απόστασης βάρους (Inverse Distance Weighting) (VerticalMapper tutorial, 2001). Η μέγιστη τιμή της υδρογραφικής πυκνότητας που αναπαριστάται στην εικόνα είναι 7.453km/km² και η ελάχιστη 1.275 km/km².

Στο σχήμα 11 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. Στο Κεφάλαιο 4 γίνεται σύγκριση της υδρογραφικής πυκνότητας με το σχετικό υψόμετρο (διαγράμματα, χάρτες) ώστε να αποδειχτεί η σχέση τους με τις γεωλογικές δομές που αναπτύσσονται στη λεκάνη.

Κατανομή της υδρογραφικής πυκνότητας στη λεκάνη απορροής του Ίναχου ποταμού



Σχήμα 11: Χάρτης κατανομής υδρογραφικής πυκνότητας στη λεκάνη του Ιναχου ποταμού.

Ακολούθως, αναλύθηκε η παράμετρος της υδρογραφικής συχνότητας. Η διαμόρφωση του μεγέθους της υδρογραφικής πυκνότητας εξαρτάται από τους ίδιους παράγοντες που εξαρτάται και η υδρογραφική συχνότητα, 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. Στην περιοχή μελέτης αυτές έχουν δημιουργηθεί εξαιτίας της τεκτονικής δραστηριότητας.

Στο σχήμα 12 παρουσιάζεται η διασπορά της υδρογραφικής συχνότητας στη λεκάνη του Ίναχου ποταμού. Η εικόνα, όπως και στην περίπτωση της πυκνότητας, προέκυψε από την επεξεργασία του ψηφιακού αρχείου των λεκανών απορροής 6^{ης}, 5^{ης}, 4^{ης}, και 3^{ης} τάξης και του ψηφιακού υδρογραφικού δικτύου. Χρησιμοποιήθηκε κελί με μέγεθος 150m, ώστε τα σημεία χωρίς τιμές να είναι όσο το δυνατόν λιγότερα. Η μέθοδος παρεμβολής (interpolation method) που εφαρμόστηκε είναι της αντίστροφης απόστασης βάρους (Inverse Distance Weighting) (VerticalMapper tutorial, 2001).

Από το σχήμα 12 διαπιστώνουμε ότι 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 11 και αφορούν στην υδρογραφική πυκνότητα της λεκάνης.

Με σκοπό να εντοπιστούν οι περιοχές που έχουν ταυτόχρονα υψηλή πυκνότητα και συχνότητα έγινε συσχέτιση (correlation) των εικόνων των σχημάτων 11 και 12. Πραγματοποιήθηκαν πράξεις μεταξύ των διαφορετικών επιπέδων (layers) που αναπαριστούν οι δυο εικόνες και προέκυψε η εικόνα στο σχήμα 13. Για την κατασκευή του χάρτη επιλέχθηκαν τιμές πυκνότητας μεγαλύτερες από 5km/km² 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).

Η ζώνη των κοινών τιμών πυκνότητας (>5km/km²) και συχνότητας (>15) αναπτύσσεται κυρίως στην περιοχή Α. Φαίνεται ότι αυτή η ζώνη έχει επιμήκη ανάπτυξη εκατέρωθεν ενός κλάδου 5^{ης} τάξης. Παρακάτω, με τη βοήθεια και άλλων υδρογραφικών παραμέτρων, γίνεται προσπάθεια να ταυτιστεί η διεύθυνση ροής αυτού του κλάδου με την διεύθυνση ανάπτυξης συγκεκριμένης γεωλογικής δομής.



Σχήμα 13: Χάρτης της λεκάνης του Ίναχου ποταμού που αναπαριστά τις περιοχές που έχουν ταυτόχρονα υψηλή υδρογραφική πυκνότητα και συχνότητα.

24
Κατανομή της υδρογραφικής συχνότητας στη λεκάνη απορροής του Ίναχου ποταμού



Σχήμα 12 : Χάρτης κατανομής υδρογραφικής συχνότητας στη λεκάνη του Ίναχου ποταμού.

Στο διάγραμμα του σχήματος 14 έχουν χαρτογραφηθεί οι τιμές της υδρογραφικής πυκνότητας σε σχέση με τις τιμές της υδρογραφικής συχνότητας για τη λεκάνη του Ίναχου ποταμού. Διαπιστώνεται ότι οι δυο παράμετροι μεταβάλλονται ανάλογα. Θέλοντας να εκφραστεί ποσοτικά η σχέση μεταξύ των δυο παραμέτρων κατασκευάστηκε η γραμμή τάσης. Το είδος της γραμμής τάσης που εκφράζει καλύτερα την συμμεταβολή των δυο παραμέτρων είναι το γραμμικό. Η εξίσωση που αναπαριστά από τη γραμμή τάσης είναι y = 0,0341x + 2,7472. Συνεπώς, αύξηση της υδρογραφικής πυκνότητας στην λεκάνη του Ίναχου ποταμού.



Σχήμα 14: Διάγραμμα πυκνότητας – συχνότητας για το υδρογραφικό δίκτυο του Ιναχου ποταμού.

Η κυκλικότητα είναι η παράμετρος που χαρακτηρίζει τη μορφή και το σχήμα που έχει αποκτήσει μια λεκάνη λόγω της δράσης του νερού. Συνεπώς, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μια ποσοτική παράμετρος ώστε να διακριθούν μεταξύ τους λεκάνες που έχουν υποστεί ανύψωση ή όχι. Οι τιμές που μπορεί να λάβει η παράμετρος της κυκλικότητας είναι από 1 έως 0. Τιμές κοντά στο 1 δείχνουν κυκλικές λεκάνες που είναι αποτέλεσμα μακρόχρονης δράσης του ρέοντος νερού και ασθενούς τεκτονικής δραστηριότητας. Τιμές που τείνουν στο 0 δείχνουν επιμήκεις λεκάνες, με προσανατολισμένη διεύθυνση ροής, αποτέλεσμα πρόσφατης τεκτονικής δράσης (Reddy et al, 2004).

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 Ιναχου ποταμού που προβάλλεται στο σχήμα 15. Η εικόνα του σχήματος προέκυψε από την επεξεργασία του ψηφιακού αρχείου των λεκανών απορροής 6^{ης}, 5^{ης}, 4^{ης}, και 3^{ης} τάξης και του ψηφιακού υδρογραφικού δικτύου. Χρησιμοποιήθηκε κελί με μέγεθος 150m, ώστε τα σημεία χωρίς τιμές να είναι όσο το δυνατόν λιγότερα. Η μέθοδος παρεμβολής (interpolation method) που εφαρμόστηκε είναι της αντίστροφης απόστασης βάρους (Inverse Distance Weighting) (VerticalMapper tutorial, 2001).

Παρατηρώντας το σχήμα 15 διαπιστώνουμε ότι με βάση την κυκλικότητα η λεκάνη απορροής χωρίζεται σε τρεις περιοχές. Στην περιοχή Α που φαίνεται να ταυτίζεται με τις αντίστοιχες περιοχές Β των χαρτών κατανομής πυκνότητας και συχνότητας. Στην περιοχή Β, η οποία αναπτύσσεται πλευρικά και κατά μήκος ενός κλάδου 6^{ης} τάξης του δικτύου. Τέλος, στην περιοχή Γ την οποία διαρρέει ο κύριος κλάδος 7^{ης} τάξης (αρίθμηση κατά Strahler) του υδρογραφικού δικτύου του Ιναχου ποταμού. Σε αυτές τις ζώνες οι υπολεκάνες αναπτύσσονται γραμμικά, γεγονός που οφείλεται σε τοπικές γεωλογικές δομές, κυρίως ρήγματα (Reddy et al, 2004).

Με σκοπό να συνδυαστούν οι χάρτες κατανομής πυκνότητας και κυκλικότητας κατασκευάστηκε ο χάρτης του σχήματος 16. Πραγματοποιήθηκαν πράξεις μεταξύ των διαφορετικών επιπέδων (layers) που αναπαριστούν οι δυο εικόνες των σχημάτων 11 και 15. 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).



Σχήμα 16: Χάρτης της λεκάνης του Ίναχου ποταμού που αναπαριστά τις περιοχές που έχουν ταυτόχρονα υψηλή υδρογραφική πυκνότητα και χαμηλή κυκλικότητα.

Η περιοχή Α εμφανίζει κοινές τιμές πυκνότητας (>5) και κυκλικότητας (< 0,4 Παρατηρώντας το σχήμα 13 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 16. 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.



Σχήμα 15: Χάρτης κατανομής κυκλικότητας στη λεκάνη του Ιναχου ποταμού.

Στο διάγραμμα του σχήματος 17 παρουσιάζεται ποσοτικά η σχέση μεταξύ της πυκνότητας και της κυκλικότητας. Από το διάγραμμα, διαπιστώνεται ότι οι τιμές της πυκνότητας μεταβάλλονται ανεξάρτητα από τις τιμές της κυκλικότητας. Μπορεί, δηλαδή να ειπωθεί πως οι δύο παράμετροι είναι ανεξάρτητοι μεταξύ τους για την λεκάνη του Ίναχου ποταμού. Η αριθμητική σχέση που εκφράζει το διάγραμμα πυκνότητας–κυκλικότητας του σχήματος 17 είναι y =6•10⁻⁴x + 4,5108 που ουσιαστικά επιβεβαιώνει την παραπάνω παρατήρηση. Η ανεξάρτητη μεταβολή των τιμών πιθανών να οφείλεται στο μέγεθος της υπό μελέτη λεκάνης ή στην έντονη βλάστηση που καλύπτει την λεκάνη.



Σχήμα 17: Διάγραμμα πυκνότητας – κυκλικότητας για το υδρογραφικό δίκτυο του Ιναχου ποταμού.

2.4 Γεωμορφολογικοί δείκτες στην ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου

Η γεωμετρία των λεκανών, όταν αυτή παρουσιάζει ιδιαίτερη ανάπτυξη, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να προσδιοριστούν τα αίτια που τη διαμόρφωσαν. Για αυτό το σκοπό υπολογίστηκε ο παράγοντας ασυμμετρίας (AF) λεκανών που αναπτύσσονται με χαρακτηριστικό τρόπο. Στο σχήμα 18 απεικονίζεται η περιοχή μελέτης. Επίσης, έχει προβληθεί το ψηφιακό υδρογραφικό δίκτυο καθώς και το ψηφιακό αρχείο των λεκανών 7^{ης}, 6^{ης}, 5^{ης}, 4^{ης} και 3^{ης} τάξης. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω ο παράγοντας ασυμμετρίας AF είναι το πηλίκο του εμβαδού της περιοχής της λεκάνης δεξιά ή αριστερά από την γραμμή ανάπτυξης του κύριου κλάδου προς το συνολικό εμβαδόν της λεκάνης απορροής. Αρχικά, υπολογίστηκε ο παράγοντας AF για όλη τη λεκάνη απορροής του Ιναχου ποταμού.

Στο σχήμα 19α φαίνεται η λεκάνη απορροής και ο κύριος κλάδος, 7^{ης} τάξης, που προκύπτει από την αρίθμηση κατά Strahler. Υπολογίστηκε ο παράγοντας AF, δηλαδή το πηλίκο του εμβαδού της περιοχής A, δυτικά από τον κύριο κλάδο (κατά Strahler) προς το εμβαδόν όλης της λεκάνης. Το εμβαδόν της περιοχής A είναι 246.2km² και το εμβαδόν όλης της λεκάνης είναι 338.8km². Συνεπώς, AF = (246.2/338.8)*100=72,67. Η τιμή του παράγοντα ασυμμετρίας, δηλώνει ότι έχει ανυψωθεί η δυτική πλευρά της περιοχής μελέτης. Δηλαδή, η λεκάνη απορροής του Ιναχου ποταμού έχει περιστραφεί προς τα ανατολικά, κατά μήκος του άξονα συμμετρίας της που ταυτίζεται με τον κύριο κλάδο 7^{ης} τάξης (κατά Strahler, 1952).

Εξαιτίας της ιδιόμορφης ανάπτυξης του υδρογραφικού δικτύου και της έντονης ασυμμετρίας του η μελέτη του παράγοντα AF συνεχίστηκε. Έτσι αριθμήθηκε το δίκτυο με την μέθοδο του Horton. Στο σχήμα 19β απεικονίζεται ο κύριος κλάδος 7^{ης} 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 B είναι 249,9km² και το εμβαδόν όλης της λεκάνης είναι 338,8km². Δηλαδή, AF = (249,9 / 338,8) *100 = 73,76. Συνεπώς έχοντας αριθμήσει το δίκτυο με τη μέθοδο του Horton, η τιμή του παράγοντα AF δηλώνει ότι το νότιο τμήμα της περιοχή έχει ανυψωθεί. Με άλλα λόγια, η λεκάνη του Ιναχου ποταμού έχει περιστραφεί προς τα βόρεια, κατά μήκος του άξονα συμμετρίας της που ταυτίζεται με τον κύριο κλάδο 7^{ης} τάξης (κατά Horton).



Σχήμα 18: Τοπογραφικός χάρτης της περιοχής μελέτης με απεικόνιση του υδρογραφικού δικτύου και των λεκανών απορροής 7^{ης}, 6^{ης}, 5^{ης}, 4^{ης} και 3^{ης} τάξης.





Σχήμα 19α: Υπολογισμός AF=72,67. Λεκάνη απορροής Ίναχου ποταμού με άξονα συμμετρίας τον κύριο κλάδο 7^{ης} τάξης (αρίθμηση κατά Strahler, 1952).

Σχήμα 19β: Υπολογισμός AF=73,76. Λεκάνη απορροής Ίναχου ποταμού με άξονα συμμετρίας τον κύριο κλάδο 7^{ης} τάξης (αρίθμηση κατά Horton, 1945).

Συνδυάζοντας τους παράγοντες ασυμμετρίας AF που προκύπτουν από τα σχήματα 19α και 19β, όπως περιγράφηκαν παραπάνω και με δεδομένο ότι ο παράγοντας AF υπολογίζει την ασυμμετρία που οφείλεται σε περιστροφή κάθετη στον άξονα συμμετρίας, συμπεραίνεται περιστροφή της λεκάνης του Ιναχου ποταμού προς τα βορειοανατολικά, κατά μήκος ενός άξονα συμμετρίας με διεύθυνση βορειοδυτική – νοτιοανατολική. Οι περιστροφές συμβαίνουν συνήθως, εξαιτίας της δράσης κανονικών ρηγμάτων (Keller and Pinter, 2002).

Στη συνέχεια, από το σχήμα 18 και με τη βοήθεια των ψηφιακών αρχείων των λεκανών απορροής και του υδρογραφικού δικτύου εντοπίστηκαν περιοχές που να έχουν περιστραφεί. Στο σχήμα 20 απεικονίζονται μόνο οι λεκάνες που παρουσιάζουν ασυμμετρία. Ο παράγοντας AF προέκυψε από την διαίρεση του εμβαδού της περιοχής της λεκάνης στην οποία αναγράφεται ο κωδικός αριθμός της προς το συνολικό της εμβαδόν. Στον πίνακα 5 δίνεται ο παράγοντας ασυμμετρίας που υπολογίστηκε για κάθε λεκάνη του σχήματος 20.

Κωδικός αριθμός λεκάνης	Παράγοντας ασυμμετρίας ΑF
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

Πίνακας 5. Παράγοντες ασυμμετρίας των λεκανών που απεικονίζονται στο σχήμα 20.

Από τις τιμές του παράγοντα AF που φαίνονται στον πίνακα 5 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 A των σχημάτων 13 και 16, 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.

Μια άλλη ιδιαιτερότητα που παρατηρείται στην ανάπτυξη του δικτύου είναι η γωνία που σχηματίζεται από τον κύριο κλάδο 7^{ης} τάξης κατά Horton (1945), του υδρογραφικού δικτύου του Ίναχου ποταμού. Από τα ανάντη προς τα κατάντη, αρχικά η διεύθυνση του κλάδου είναι βορρά – νότου. Σε ένα συγκεκριμένο σημείο η ροή του στρέφεται αποκτώντας διεύθυνση δύσης – ανατολής. Τα αίτια της στροφής της ροής του ποταμού μπορούν να αποδοθούν σε κάποιο ρήγμα που άλλαξε τη διεύθυνση ροής αφού η περιοχή είναι λιθολογικά ομογενής (φλύσχης).



Σχήμα 20 : Χάρτης υδρογραφικού δικτύου και λεκανών που παρουσιάζουν ασύμμετρη ανάπτυξη.

Κατά μήκος της κοιλάδας του ποταμού, στο βόρειο πρανές παρατηρήθηκε ότι οι υπολεκάνες σχηματίζουν χαρακτηριστικές μορφές. Για το λόγο αυτό στο χώρο αυτό υπολογίστηκε ο παράγοντας της δαντέλωσης του μετώπου των βουνών (mountainfront sinuosity), **S**_{mf}. Ο παράγοντας **S**_{mf}, όπως αναφέρθηκε, εκφράζει το πηλίκο του μήκους του μετώπου του βουνού κατά μήκος των προπόδων του προς το μήκος της ευθείας γραμμής των προπόδων του βουνού. Στο σχήμα 21 παρουσιάζεται η περιοχή της λεκάνης στην οποία πραγματοποιήθηκε (σος 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 πρανές και βρέθηκε (σος με 7,12. Η σύγκριση των δυο τιμών του παράγοντα σχέση με το νότιο. Το συμπέρασμα αυτό συμφωνεί με τις παρατηρήσεις που περιγράφονται παρακάτω.

Η γεωμετρία των λεκανών απορροής και η τοποθέτηση των τριγωνικών πρανών (triangular facets) συνάδει με την παρουσία ρήγματος. Επιμήκεις λεκάνες που καταλήγουν σε κοιλάδα μεταξύ των οποίων παρεμβάλλονται απότομα τριγωνικά πρανή οφείλονται σε έντονες ανυψωτικές κινήσεις της περιοχής που αναπτύσσονται (Burbank, 2001). Άλλωστε η περιοχή που βρίσκονται οι εν λόγω λεκάνες ταυτίζεται με την περιοχή Β του χάρτη διασποράς της κυκλικότητας (σχήμα 15).

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 21, οφείλεται στη δράση του ρήγματος αυτού. Ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής επιβεβαιώνει την ομογενή λιθολογία της περιοχής μελέτης, όπου επικρατεί ο φλύσχης 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.



Σχήμα 21 : Βορειοδυτικό τμήμα της λεκάνης του Ίναχου ποταμού, όπου ο κύριος κλάδος $7^{\eta\varsigma}$ τάξης κατά Horton στρέφεται 90° .

2.5 Ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου με ροδοδιαγράμματα και ιστογράμματα

Η ανάλυση των διευθύνσεων των ρεμάτων του υδρογραφικού δικτύου του Ιναχου ποταμού παρέχει την δυνατότητα να διαπιστωθεί αν η ανάπτυξή του είναι ομαλή ή αν είναι επιλεκτική προς κάποια κατεύθυνση και συνεπώς εξαρτάται από την συγκεκριμένων γεωλογικών δομών. Για τοποθέτηση το σκοπό αυτό κατασκευάστηκαν ροδοδιαγράμματα παρατάξεων των ρεμάτων και ιστογράμματα παρατάξεων – μέσου μήκους ρεμάτων. Στα ροδοδιαγράμματα παρουσιάζεται, πολύ παραστατικά, η διεύθυνση ροής των ρεμάτων κάθε τάξης $(1^{\eta_s} \epsilon \omega_s 6^{\eta_s} \tau \alpha \xi \eta_s)$ για το υδρογραφικό δίκτυο του Ίναχου ποταμού (σχήμα 22). Στα ιστογράμματα γίνεται σύγκριση μεταξύ των διευθύνσεων ροής των ρεμάτων και των μέσων μήκων των ρεμάτων.

Στο σχήμα 22 απεικονίζονται τα ροδοδιαγράμματα διευθύνσεων των ρεμάτων 1^{ης}, 2^{ης}, 3^{ης}, 4^{ης}, 5^{ης} και 6^{ης} τάξης του υπό μελέτη δικτύου. Παρατηρείται ότι τα ρέματα 1^{ης} τάξης συγκεντρώνονται σε διεύθυνση A BA – Δ NΔ. Τα ρέματα 2^{ης} τάξης ακολουθούν δυο διευθύνσεις, μια BA – NΔ και μια B BΔ – N NA. Τα ρέματα 3^{ης} τάξης αναπτύσσονται σε δυο διευθύνσεις, μια B – N έως BA – NΔ και μια BΔ – NA. Τα ρέματα 3^{ης} τάξης τάξης δείχνουν την εντονότερη επιλογή ανάπτυξης σε μια συγκεκριμένη διεύθυνση που είναι B BΔ – N NA. Το πλήθος των ρεμάτων 5^{ης} και 6^{ης} τάξης είναι μικρό με αποτέλεσμα τα ροδοδιαγράμματα να αναπαριστούν κάθε κλάδο ξεχωριστά, γεγονός που στερεί τη δυνατότητα ερμηνείας των διευθύνσεων των ρεμάτων.

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 (Αστάρας, 1980). Η στατιστική μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι η δοκιμασία X² σαν τεστ προσαρμογής. Η μέθοδος αυτή αναφέρεται σε κατηγορικά δεδομένα, δηλαδή παρατηρήσεις χωρισμένες σε κ κατηγορίες, ενώ οι μετρήσεις που προκύπτουν είναι οι συχνότητα της κάθε κατηγορίας. Ο χωρισμός των δεδομένων σε κατηγορίες γίνεται ως προς ένα ποιοτικό χαρακτηριστικό.



Σχήμα 22: Ροδοδιαγράμματα διευθύνσεων ρεμάτων $1^{\eta\varsigma}$, $2^{\eta\varsigma}$, $3^{\eta\varsigma}$, $4^{\eta\varsigma}$, $5^{\eta\varsigma}$ και $6^{\eta\varsigma}$ τάξης του υδρογραφικού δικτύου του Ιναχου ποταμού.

Το τεσ
τ X^2 καλής προσαρμογής συνοψίζεται στον πίνακα 6 (Κολυβα-Μαχαίρα, 1999).

Τύπος	$X^{2} = \sum^{\kappa} (n_{i} - \theta_{i})^{2} / \theta_{i}.$
Υπόθεση	$H_0: p_i = p_{i0}$ για κάποιο i.
	H_1 : $p_i \neq p_{i0}$ για κάποιο i.

Πίνακας 6. Τεστ X^2 καλής προσαρμογής (Κολυβα-Μαχαίρα, 1999)

Για την καλύτερη επεξήγηση της παραπάνω μεθοδολογίας παρατίθεται ένα παράδειγμα της εφαρμογής του X^2 τεστ καλής προσαρμογής, για τα ρέματα $1^{η_{\varsigma}}$ τάξης της λεκάνης του Ιναχου ποταμού ($7^{\eta_{\varsigma}}$ τάξης κατά Strahler) καθώς και το θεωρητικό μέρος του τεστ στο Παράρτημα.

Στον πίνακα 7 δίνονται τα αποτελέσματα του στατιστικού τεστ X^2 προσαρμογής που πραγματοποιήθηκε για όλες τις τάξεις των ρεμάτων των λεκανών 6^{ης} και 7^{ης} τάξης. Η μηδενική υπόθεση H₀ που ελέγχθηκε, ορίστηκε «για την μη ύπαρξη σημαντικών διαφορών, με επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας a= 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» (Αστάρας, 1980). Το στατιστικό $X^2_{15,0.05}$ = 14,0671 για όλα τα τεστ που πραγματοποιήθηκαν. Στις περιπτώσεις του πίνακα 7 που $X^2 > X^2_{15,0.05}$ απορρίπτεται η υπόθεση H₀, δηλαδή η ανάπτυξη των ρεμάτων είναι διάφορη της δενδριτικής μορφής και συνεπώς επηρεάζεται από άλλους παράγοντες, ενώ όταν $X^2 < X^2_{15,0.05}$ τότε η υπόθεση H₀ γίνεται αποδεκτή. Η μεθοδολογία που περιγράφηκε παραπάνω, δηλαδή η κατασκευή ροδοδιαγραμμάτων και ο στατιστικός έλεγχος των αζιμουθίων των ρεμάτων που απεικονίζονται στα ροδοδιαγράμματα, εφαρμόστηκε εκτός από τη λεκάνη 7^{ης} τάξης, λεκάνη απορροής του Ίναχου ποταμού και για τις λεκάνες 6^{ης} τάξης. Στα σχήματα 23, 24 και 25 απεικονίζονται τα ροδοδιαγράμματα των λεκανών 6^{ης} τάξης



Σχήμα 23: Ροδοδιαγράμματα διευθύνσεων ρεμάτων $1^{\eta\varsigma}$, $2^{\eta\varsigma}$, $3^{\eta\varsigma}$, $4^{\eta\varsigma}$ και $5^{\eta\varsigma}$ τάξης της λεκάνης 6.1



Σχήμα 24: Ροδοδιαγράμματα διευθύνσεων ρεμάτων 1^{ης}, 2^{ης}, 3^{ης}, 4^{ης} και 5^{ης} τάξης της λεκάνης 6.2



Σχήμα 25: Ροδοδιαγράμματα διευθύνσεων ρεμάτων $1^{\eta\varsigma}, 2^{\eta\varsigma}, 3^{\eta\varsigma}, 4^{\eta\varsigma}$ και $5^{\eta\varsigma}$ τάξης της λεκάνης 6.3

Δποροίπτεται
Anoppinierai
Απορρίπτεται
Απορρίπτεται
Απορρίπτεται
Απορρίπτεται
Ισχύει
Απορρίπτεται
Απορρίπτεται
Απορρίπτεται
Απορρίπτεται
Ισχύει
Απορρίπτεται
Απορρίπτεται
Απορρίπτεται
Ισχύει
Ισχύει
Απορρίπτεται

Πίνακας 7. Αποτελέσματα στατιστικού ελέγχου X² προσαρμογήα

Συνδυάζοντας τα αποτελέσματα του πίνακα 7 με τη μορφή των ροδοδιαγραμμάτων των λεκανών 6^{ης} και 7^{ης} τάξης, από τα σχήματα 22, 23, 24 και 25 μπορεί να οριστεί σε ποιες περιπτώσεις τα αζιμούθια των ρεμάτων αναπτύσσονται επηρεαζόμενα από κάποιον παράγοντα και πότε αναπτύσσονται ακολουθώντας ομαλή δενδριτική ανάπτυξη. Παρατηρείται ότι όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά των τιμών $X^2 - X^2$, τόσο οι τιμές των αζιμουθίων των ρεμάτων συγκεντρώνονται σε μια συγκεκριμένη διεύθυνση. Η περιγραφή των διευθύνσεων των ρεμάτων 1^{ης}, 2^{ης}, 3^{ης} και

 $4^{\eta\varsigma}$ τάξης για την λεκάνη $7^{\eta\varsigma}$ τάξης έγινε στο σχήμα 22. Από το τεστ X^2 διαπιστώνεται ότι οι διευθύνσεις αυτών των ρεμάτων δεν ακολουθούν τη θεωρητική κατανομή αλλά η ανάπτυξή τους επηρεάζεται από γεωλογικούς παράγοντες, που συνήθως είναι διευθύνσεις ρηγμάτων (Deroin, 1995, Mayer, 2003).

Τα ρέματα των λεκανών 6^{ης} τάξης ακολουθούν άλλοτε διευθύνσεις που επηρεάζονται από γεωλογικές γραμμώσεις και άλλοτε όχι. Βέβαια το πλήθος των μετρήσεων, σε κάποιες περιπτώσεις δεν είναι ικανοποιητικό για να λειτουργήσει σωστά ο στατιστικός έλεγχος. Στις περιπτώσεις που η υπόθεση H₀ απορρίπτεται (πίνακας 7) το πλήθος των τιμών είναι αποδεκτό για να δεχτούμε το αποτέλεσμα. Παρακάτω περιγράφονται οι περιπτώσεις που το πλήθος των τιμών είναι αποδεκτό και η υπόθεση H₀ απορρίπτεται, συνεπώς το αζιμούθιο των ρεμάτων επηρεάζεται από κάποια γεωλογική δομή. Στη λεκάνη 6.1 τα ρέματα 1^{ης} τάξης ακολουθούν διεύθυνση A BA- Δ NΔ και τα ρέματα 2^{ης} τάξης διεύθυνση BA- ΝΔ. Στη λεκάνη 6.8 Α. Δ ΝΔ και ΒΔ- ΝΑ, τα ρέματα 2^{ης} τάξης κατανέμονται σε αρκετές διευθύνσεις, οι σημαντικότερες των οποίων είναι Α- Δ, B- Ν και BA- ΝΔ. Τέλος τα ρέματα 3^{ης} τάξης ακολουθούν διεύθυνση BΔ- ΝΑ.

Τέλος, κατασκευάστηκαν ιστογράμματα που δείχνουν την κατανομή των συχνοτήτων των τιμών των αζιμουθίων των ρεμάτων, στις 16 κατηγορίες, σε σχέση με το μέσο μήκος των ρεμάτων αυτών, για τις λεκάνες 6.1, 6.2, 6.3 και 7. Στο σχήμα 26 παρουσιάζονται τα ιστογράμματα των κλάδων 1^{ης} τάξης των λεκανών. Από τα ιστογράμματα παρατηρείται ότι το πιο συχνά εμφανιζόμενο αζιμούθιο δεν ταυτίζεται με το μεγαλύτερο εμφανιζόμενο μέσο μήκος των ρεμάτων.



Σχήμα 26: Ιστογράμματα αζιμουθίων και μέσων μήκων ρεμάτων 1^{ης} τάξης.

Στη λεκάνη 7 το συχνότερα εμφανιζόμενο αζιμούθιο των ρεμάτων είναι το BBΔ ενώ το μέγιστο μέσο μήκος ρεμάτων εμφανίζεται σε διεύθυνση ABA. Στη λεκάνη 6.1 το μεγαλύτερο πλήθος τιμών συγκεντρώνεται στη BBΔ διεύθυνση, ενώ το μέγιστο μήκος ρεμάτων στη ΔΝΔ διεύθυνση. Στη λεκάνη 6.2 τα ρέματα δείχνουν ANA διεύθυνση και το μέσο μήκος ABA διεύθυνση. Τέλος στη λεκάνη 6.3 το επικρατέστερο αζιμούθιο είναι το NNA, ενώ το μέγιστο μέσο μήκος των ρεμάτων αναπτύσσεται σε ABA διεύθυνση.

Οι κατανομές των αζιμουθίων των ρεμάτων και τα ροδοδιαγράμματα συγκρίνονται με την γεωλογία της περιοχής και με τα αποτελέσματα από την ανάλυση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους σε παρακάτω κεφαλαία.

3. Ψηφιακά υψομετρικά δεδομένα

3.1 Εισαγωγή

Η ανάλυση των χαρακτηριστικών του εδάφους βοηθάει στην αναγνώριση διαφόρων γεωμορφών και στην κατανόηση της εξέλιξης της περιοχής. Για αυτό το σκοπό έγινε ανάλυση του ψηφιακού μοντέλου υψομέτρων (DEM) της περιοχής μελέτης. Το ψηφιακό μοντέλο υψομέτρων (DEM) προέκυψε από την ψηφιοποίηση τοπογραφικών χαρτών της Γ.Υ.Σ. με κλίμακα 1:50.000. 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 (Kienzle, 2004).

3.2 Ταξινόμηση 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. Χώρισε την κάθε λεκάνη σε περιοχές με συγκεκριμένο εύρος υψομέτρων πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, ώστε να αποδώσει στην κάθε περιοχή ορισμένο χαρακτηρισμό. Έτσι περιοχές με υψόμετρο:

- <150m χαρακτηρίζονται πεδινές,
- 150-600m χαρακτηρίζονται λοφώδεις,
- 600-900m χαρακτηρίζονται ημιορεινές, με βουνά και ψηλούς λόφους,
- >900m χαρακτηρίζονται ορεινές.

Χρησιμοποιώντας το ψηφιακό μοντέλο υψομέτρων (DEM) κατασκευάστηκε ο χάρτης υψομέτρων, σύμφωνα με την ταξινόμηση του Dikau, 1989 (από Φουρνιάδη, 2002, Κούλα, 2003). Ο χάρτης υψομέτρων παρουσιάζεται στο σχήμα 27. Στον πίνακα 8 παρουσιάζεται η κατανομή των υψομέτρων σε σχέση με την επιφάνεια που καταλαμβάνουν. Από τη χωρική κατανομή των υψομέτρων διαπιστώνεται ότι 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 Ιναχου ποταμού, ανήκει στο ριπίδιο που δημιουργεί το ποτάμι μετά την έξοδό του από τα στενά.

Συνεπώς, 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.

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

Πίνακας 8. Χωρική κατανομή των υψομέτρων στη λεκάνη του Ίναχου ποταμού σύμφωνα με την ταξινόμηση του Dikau, 1989



Σχήμα 27: Χάρτης υψομέτρων της υδρολογικής λεκάνης του Ίναχου ποταμού σύμφωνα με την ταξινόμηση του Dikau, 1989.

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

3.3 Κλίση ανάγλυφου

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, το 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 κλήσης του ανάγλυφου σε έξι ομάδες (από Φουρνιάδη, 2002). Η κάθε μια από τις έξι ομάδες κλίσεων χαρακτηρίζει το είδος των επιφανειών και τον τρόπο διάβρωσης ως εξής :

Κλίση 0°-2°: Επίπεδο έως ελαφρώς κεκλιμένο ανάγλυφο. Έναρξη διάβρωσης τύπου καλύμματος.

Κλίση 2°-5°: Ελαφρώς κεκλιμένο ανάγλυφο. Διάβρωση καλύμματος
και έναρξη αυλακωτής διάβρωσης.

Κλίση 5°-15°: Ισχυρώς κεκλιμένο ανάγλυφο. Κινήσεις μαζών, ισχυρή διάβρωση τύπου καλύμματος και αυλακωτή, έντονες διαβρωτικές διεργασίες.

Κλίση 15°-35°: Απότομο έως εξαιρετικά απότομο ανάγλυφο. Έντονες διεργασίες απογύμνωσης, ερπυσμοί εδαφών, λασπορροές, έντονη αυλακωτή και γραμμική διάβρωση.

Κλίση 35°-55°: Απόκρημνο ανάγλυφο. Πολύ λεπτό ασυνεχές στρώμα εδάφους, έντονη απογύμνωση του μητρικού πετρώματος.

 Κλίση > 55°: Κάθετο ανάγλυφο. Απουσία εδάφους, απογύμνωση πετρωμάτων και κατάρρευση βράχων.

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. Ο χάρτης κλίσεων παρουσιάζεται στο σχήμα 28. Ο πίνακας 9 διατυπώνει την χωρική κατανομή της κλίσης στη λεκάνη του Ίναχου ποταμού. Παρατηρείται ότι στο 62,40% της επιφάνειας της λεκάνης, δηλαδή 211,10km², τα πρανή αναπτύσσονται με κλίση μεταξύ 15°-35° γεγονός που συνεπάγεται έντονες διεργασίες απογύμνωσης, ερπυσμοί εδαφών, λασπορροές, έντονη αυλακωτή και γραμμική διάβρωση. Η έκταση της περιοχής με κλίσεις 15°-35° είναι αρκετά μεγάλη και τυχαία διανεμημένη μέσα στη λεκάνη, ώστε να θεωρηθεί ότι οι έντονες διεβρωτικές διεργασίες είναι ένα γενικότερο χαρακτηριστικό της λεκάνης.

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%

Πίνακας 9. Χωρική κατανομή των κλίσεων στη λεκάνη του Ιναχου ποταμού σύμφωνα με την ταξινόμηση του Demek, 1972



Σχήμα 28: Χάρτης κλίσεων της υδρολογικής λεκάνης του Ίναχου ποταμού σύμφωνα με την ταξινόμηση του Demek, 1972.

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

3.4 Ανάλυση μονομεταβλητών μορφολογικών δεδομένων

3.4.1 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).

Στο σχήμα 29 αναπαρίσταται το ψηφιακό μοντέλο υψομέτρων (DEM), που κατασκευάστηκε όπως περιγράφηκε στην αρχή του κεφαλαίου. Με ανάλογη χρωματική διαμόρφωση δημιουργήθηκε το σχήμα 30, όπου τα υψόμετρα αναπαριστώνται με τόνους του μαύρου. Ο χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου (shaded relief), όπως φαίνεται στο σχήμα 30, χρησιμοποιήθηκε για να αποτυπωθούν οι έντονες μεταβολές των χρωματικών τόνων, δηλαδή οι έντονες μεταβολές στις τιμές των υψομέτρων των εικονοστοιχείων. Ο χάρτης του σκιασμένου ανάγλυφου επέτρεψε να οπτικοποιηθούν και να αναπαρασταθούν διευθύνσεις ανάπτυξης ρηγμάτων, αφού όπως προτείνει οι Ganas et al, 2004, θέσεις όπου γειτονικά εικονοστοιχεία έχουν μεγάλη διαφορά τιμών και εκτείνονται γραμμικά, ταιριάζουν με πρανή ρηγμάτων.



Σχήμα 29: Ψηφιακό μοντέλο υψομέτρων (DEM) της υδρολογικής λεκάνης του Ίναχου ποταμού.

Με υπόβαθρο το χάρτη σκιασμένου ανάγλυφου, που κατασκευάστηκε με χαμηλή γωνία ηλίου ώστε οι μεταβολές των υψομέτρων να είναι εντονότερες (manual VerticalMapper 3.1), ψηφιοποιήθηκαν οι γραμμώσεις που εμφανίζονται (σχήμα 30). Παρατηρείται η ύπαρξη περιοχών όπου παρουσιάζεται γραμμική ανάπτυξη και παραλληλία των πρανών των κοιλάδων. Επίσης υπάρχουν περιοχές όπου κατά μήκος γραμμικών κοιλάδων αναπτύσσονται τριγωνικά πρανή (triangular facets), που όπως αναφέρθηκε είναι γεωμορφολογικό χαρακτηριστικό δράσης κανονικών ρηγμάτων. Οι περιοχές αυτές παρουσιάζονται στο σχήμα 31 και συμφωνούν με τα σχήματα 20 και 21 του Κεφαλαίου 2.



Σχήμα 30: 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).

Συνεπώς, τα τριγωνικά πρανή που παρατηρούνται στο σχήμα 31β οφείλουν τη δημιουργία τους στο μεγάλο ρήγμα που διαμορφώνει την κοιλάδα του Ιναχου ποταμού, ενώ η περιστροφή (tilt) που έχουν υποστεί οι λεκάνες του σχήματος 20 μπορεί να αποδοθεί στη δράση των παράλληλων γραμμώσεων που απεικονίζονται στο σχήμα 31α.



Σχήμα 31: α: Περιοχή της λεκάνης που αναπτύσσονται παράλληλες μεταξύ τους γραμμώσεις, β: Περιοχή της λεκάνης με έντονη ανάπτυξη τριγωνικών πρανών εξαιτίας της δράση του ρήγματος.

Το αζιμούθιο των γραμμώσεων που απεικονίζονται στα παραπάνω σχήματα συγκρίθηκε με αυτό των ρεμάτων και της τεκτονικής που επηρεάζει την περιοχή μελέτης. Για την καλύτερη σύγκριση των διευθύνσεων κατασκευάστηκε ροδοδιάγραμμα των αζιμουθίων των γραμμώσεων. Τα αποτελέσματα της σύγκρισης παρουσιάζονται στη παράγραφο 3.5.4.

3.4.2 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 πρανών ρηγμάτων (Ganas et al, 2004).

Η χωρική ανάλυση της κλίσης, καθώς και η κατασκευή αθροιστικής καμπύλης κλίσεων μπορεί να δείξει ποιες είναι οι κρίσιμες γωνίες κλίσης ώστε ένα πρανέςεπιφάνεια απόξυσης (scarp) να θεωρηθεί πρανές ρήγματος (Jordan, 2003). Επίσης, όπως ήδη έχει αναλυθεί, ο χάρτης κλίσεων βοηθάει στην πρόβλεψη των διαδικασιών διάβρωσης. Άλλωστε 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 περισσότερο χρησιμοποιούμενες είναι η μέθοδος γειτνίασης (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 Ιναχου ποταμού χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος γειτνίασης ως η πιο απλή και γιατί χρειαζόταν απλά η οπτικοποίηση των κλίσεων της περιοχής. Οι θεωρητικές περιγραφές και η ανάλυση της κάθε μεθόδου παρουσιάζονται στο Παράρτημα.

Στο σχήμα 32α παρουσιάζεται η αθροιστική καμπύλη κλίσης για την λεκάνη του Ίναχου ποταμού. Στο σχήμα 32α το αθροιστικό ποσοστό της επιφάνειας εμφανίζεται σε αριθμητική κλίμακα, ενώ στο σχήμα 32β σε λογαριθμική. Ο Jordan, 2003, θεωρεί ότι από αυτό το διάγραμμα είναι δυνατό να εντοπιστούν οι κρίσιμες κλίσεις, δηλαδή τα σημεία εκείνα όπου η εφαπτομένη της καμπύλης μεταβάλλεται, ώστε αυτές να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του χάρτη κλίσεων και την καλύτερη αναπαράσταση των μεταβολών. Στο σχήμα 32β, όπου το αθροιστικό ποσοστό της επιφάνειας χαρτογραφείται σε λογαριθμική κλίμακα, οι μεταβολές της εφαπτομένης είναι πιο εμφανείς. Έτσι παρατηρείται ότι το 13% της λεκάνης έχει κλίσεις μικρότερες από 2°, το 18% έχει κλίσεις 2°-15° και το μεγαλύτερο ποσοστό της λεκάνης, δηλαδή το 60% έχει κλίσεις 15°-30°. Η παρατήρηση αυτή συμφωνεί με την

το

σε

το

σε

ανάλυση της κλίσης της λεκάνης, που έγινε στην αρχή του κεφαλαίου, με βάση την ταξινόμηση των κλίσεων του Demek (1972).



Σχήμα 32: Αθροιστική καμπύλη κλίσης των πρανών ανά επιφάνεια.



Σχήμα 33: Χάρτης κλίσεων (slope map) της λεκάνης του Ίναχου ποταμού. Με άσπρες γραμμές απεικονίζονται οι γραμμώσεις που εντοπίστηκαν στο χάρτη σκιασμένου ανάγλυφου και με κίτρινες γραμμές αυτές που εντοπίστηκαν στον χάρτη κλίσεων από τη διαφορά των τιμών των γειτονικών εικονοστοιχείων (pixels).

Σύμφωνα, λοιπόν με τη ταξινόμηση των κλίσεων που περιγράφηκε παραπάνω κατασκευάστηκε ο χάρτης κλίσεων ως παράγωγος των υψομέτρων (σχήμα 33). 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 του σχήματος 33 διαπιστώνεται η παρουσία γραμμώσεων που δεν ήταν ευδιάκριτες στο χάρτη σκιασμένου ανάγλυφου, και αναπαρίστανται με κίτρινο χρώμα.

3.4.3 Χάρτης προσανατολισμού

Ο προσανατολισμός (aspect) όλων των πρανών της λεκάνης του Ίναχου ποταμού υπολογίστηκε και χαρτογραφήθηκε ως πρώτη παράγωγος των παρατάξεων των μέγιστων κλίσεων. Στο σχήμα 36 παρουσιάζεται ο χάρτης χωρικής κατανομής του προσανατολισμού των πρανών. 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). Στο δυτικό τμήμα της λεκάνης παρατηρείται ομοιόμορφη γραμμική ανάπτυξη πρανών με προσανατολισμό (aspect) βορειοανατολικό. Αντίθετα, στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης οι προσανατολισμοί των πρανών λαμβάνουν μεγαλύτερη ποικιλία τιμών. Γενικά, διαπιστώνεται απουσία πρανών με νότιο προσανατολισμό.

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 (σχήμα 34 και 35). Οι αθροιστικές καμπύλες του σχήματος 34 δείχνουν ότι κρίσιμες τιμές όπου μεταβάλλεται η κλίση τους είναι η τιμή 75° και η τιμή 265°. Αυτή η μεταβολή είναι ιδιαίτερα αισθητή στη λογαριθμική αθροιστική καμπύλη του σχήματος 34β. Στο σχήμα 35α παρατηρείται

μέγιστη συγκέντρωση τιμών στο διάστημα 0°-75°, δηλαδή βορειοανατολικού προσανατολισμού πρανή. Επίσης, ένα δεύτερο διάστημα με έντονη παρουσία τιμών είναι 265°-360°. Οι διαπιστώσεις αυτές ταιριάζουν με τη μορφή του ροδοδιαγράμματος, στο σχήμα 35β.





Στη λεκάνη απορροής του Ίναχου ποταμού το μεγαλύτερο ποσοστό πρανών έχει προσανατολισμό (aspect) βορειοανατολικό. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην ανάπτυξη των πρανών σε μια κύρια διεύθυνση (αζιμούθιο) βορειοδυτικήνοτιοανατολική. Επίσης, μια δεύτερη ομάδα πρανών, με βορειοδυτικό προσανατολισμό αναπτύσσεται σε αζιμούθιο βορειοανατολικό- νοτιοδυτικό. Τέλος,
χαρακτηριστική είναι η περιορισμένη ανάπτυξη πρανών με προσανατολισμό βόρειο και κυρίως νότιο, παρατήρηση που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η ανάπτυξη κοιλάδων ή ραχών με ανατολικό- δυτικό αζιμούθιο είναι περιορισμένη.





προσανατολισμού πρανών του των ανάλογα με την επιφάνεια που καταλαμβάνουν. 0 κύριος προσανατολισμός πρανών είναι βορειοανατολικός.

Σχήμα 35: Διάγραμμα και ροδοδιάγραμμα της διασποράς του προσανατολισμού των πρανών ανάλογα με την επιφάνεια που καταλαμβάνουν.



Σχήμα 36: Χάρτης προσανατολισμού των πρανών (aspect map) της λεκάνης του Ιναχου ποταμού. Ως υπόβαθρο έχει χρησιμοποιηθεί το σκιασμένο ανάγλυφο.

3.4.4 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.

Όταν το προφίλ της υδραυλικής αγωγιμότητας και ο ρυθμός της επαναφόρτισης του υπόγειου υδροφορέα είναι ομοιόμορφα σε όλη την περιοχή, το ύψος του υδροφόρου ορίζοντα κάτω από ένα συγκεκριμένο βάθος, θα είναι ανάλογο με a/tan β και ln(a/tan β), αντίστοιχα για τα δυο προφίλ. Αυτή η τελευταία σχέση είναι βασική για τον υπολογισμό του τοπογραφικού δείκτη (topographic index) (Beven and Kirkby, 1979, Quinn et al, 1993), που δίνεται από τη σχέση:

$$I = \ln\!\left(\frac{\alpha}{\tan\beta}\right)$$

Όπου η κλίση tanβ υπολογίζεται ως η μέση κλίση όλων των κλίσεων κατάντη του σημείου που υπολογίζεται (cell). Η περιοχή ανάντη ανά μήκος ισοϋψούς υπολογίζεται ως α=A/L, όπου η ανάντη επιφάνεια Α και το μήκος των ισοϋψών καμπύλων L υπολογίζεται με τη βοήθεια των γειτονικών εικονοστοιχείων (neighboring cells) του ψηφιακού αρχείου υψομέτρων.

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. Η χρήση του δείκτη σε αυτή τη μορφή για τον υπολογισμό της χωρικής αποτύπωσης του επιπέδου του υπόγειου υδροφορέα σε μια λεκάνη απορροής βασίζεται στην υπόθεση ότι οι διαδικασίες ροής είναι σταθερές, ο ρυθμός επαναφόρτισης του υπόγειου υδροφορέα κλίσης δεν υπάρχουν πλευρικές ροές, η υπόγεια ροή είναι παράλληλη, η γωνία κλίσης του υδροφορου στρώματος είναι ίση με αυτή της επιφάνειας του εδάφους, η καμπύλη αγωγιμότητας είναι εκθετική και ιδανική σε όλη

την περιοχή και δεν υπάρχουν εμπόδια ή απορροές στα πρανή (Beven and Kirkby, 1979, Quinn et al, 1993).

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).

Στο σχήμα 37 παρουσιάζεται ο χάρτης κατανομής του τοπογραφικού δείκτη. Στον χάρτη αυτό παρατηρούνται περιοχές με διαφορετική διασπορά, αφού με σκούρο μπλε χρώμα απεικονίζονται θέσεις με χαμηλό τοπογραφικό δείκτη και με ανοιχτό χρώμα (άσπρο και κίτρινο) θέσεις με υψηλό τοπογραφικό δείκτη. Στην περιοχή A οι τιμές του τοπογραφικού δείκτη με υψηλή τιμή καταλαμβάνουν αρκετή έκταση. Η αιτία είναι η ύπαρξη ασβεστόλιθων σε αυτή την περιοχή, οι οποίοι έχουν καρστικοποιήθεί 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 πρανή σχήματος V, και η κατά βάθος διάβρωση είναι εντονότερη (Κεφάλαιο 4). 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.



Σχήμα 37: 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.

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 29) 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 33 ή τον γεωλογικό χάρτη, κάποιες από αυτές να συσχετιστούν με πρανή 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 Ιναχου ποταμού.

Στο Κεφάλαιο 5 γίνεται προσπάθεια να συσχετιστεί ο τοπογραφικός δείκτης και η ερμηνεία της κατανομής των τιμών του σε σχέση με την εξέλιξη της κοιλάδας του Ίναχου ποταμού. Μια παρατήρηση που προκύπτει από τον χάρτη του σχήματος 37 είναι 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. Αποτέλεσμα αυτού είναι η περιοχή Γ να φαίνεται περισσότερο επίπεδη από την περιοχή Β.

3.5 Ανάλυση διμεταβλητών μορφολογικών δεδομένων

Η ανάλυση διμεταβλητών δεδομένων εξετάζει τη σχέση μεταξύ των μεταβλητών, ποια στοιχειά παράγονται και ποια είναι η σημασία τους. Η σύγκριση του αζιμουθίου των γραμμώσεων που προκύπτουν από το σχήμα 35 σε σχέση με το αζιμούθιο των ρεμάτων (Κεφάλαιο 2), της μέσης κλίσης σε σχέση με την

υδρογραφική πυκνότητα των λεκανών και του χάρτη κλίσεων σε σχέση με τον χάρτη προσανατολισμών μπορούν να ενισχύσουν και να επιβεβαιώσουν την ύπαρξη συγκεκριμένων γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών του ανάγλυφου, όπως ραχών ή απότομων πρανών (Jordan, 2003).

3.5.1 Σύγκριση υδρογραφικού δικτύου-γραμμώσεων

Η ασύμμετρη ανάπτυξη ενός υδρογραφικού δικτύου πολλές φορές οφείλεται στην αλλαγή της διεύθυνσης ροής ορισμένων κλάδων εξαιτίας της πειρατείας τους (stream piracy) από άλλους κλάδους του δικτύου. Ο πιο συνηθισμένος τύπος πειρατείας κλάδων υδρογραφικού δικτύου οφείλεται στην εντονότερη διαβρωτική δράση ενός κλάδου ο οποίος διαβρώνει προς τα ανάντη και στρέφει τα νερά του υπό σύλληψη κλάδου προς τη διεύθυνση της κοίτης του (Αστάρας, 1980, Zaprowski et.al., 2002). Όταν η πειρατεία πραγματοποιηθεί τα νερά και τα υλικά του κλάδου στρέφονται προς άλλη κατεύθυνση, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η υδραυλική δράση στο κατάντη της σύλληψης τμήμα του αρχικού κλάδου. Έτσι οι συνθήκες διάβρωσης διαφοροποιούνται με αποτέλεσμα την ασυμμετρία της ευρύτερης υδρολογικής λεκάνης σε βάθος χρόνου (από Βουβαλίδη, 2005).



Σχήμα 38: Τοποθέτηση γραμμώσεων πάνω στο τοπογραφικό δίκτυο του Ιναχου ποταμού και εντοπισμός θέσεων πειρατείας κλάδων.

Αναφερόμενοι σε φαινόμενα πειρατείας του υδρογραφικού δικτύου του Ίναχου ποταμού, το οποίο αναπτύσσεται σε πετρώματα του υποβάθρου, γίνεται αντιληπτό ότι για να αποκτήσουν οι κλάδοι του τη δυναμική εντονότερης διαβρωτικής δράσης συνήθως ακολουθούν ίχνη τεκτονικών διαρρήξεων. Οι διαρρήξεις αυτές δίνουν τη δυνατότητα δημιουργίας ενός αρχικού ίχνους ανεξάρτητο των κλίσεων του ανάγλυφου και της γενικότερης μορφολογίας, το οποίο ακολουθεί η κατά βάθος διάβρωση διευρύνοντάς το. Χαρακτηριστική απόδειξη της επίδρασης της τεκτονικής στο υδρογραφικό δίκτυο είναι η σχεδόν κάθετη στρέψη του πιο επιμήκη κλάδου 6^{ης} τάξης του δικτύου σε τέσσερα σημεία και σε απόσταση μικρότερη των 7,5 km (σχήμα 38). Στο σχήμα 38 έχουν τοποθετηθεί οι γραμμώσεις που προέκυψαν από το χάρτη κλίσεων. Είναι εμφανής η επίδρασή τους στο υδρογραφικό δίκτυο και η ταύτισή τους με φαινόμενα πειρατείας (πράσινα βέλη σχήματος 38). 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 υδρογραφικού δικτύου επιβεβαιώνονται από του και τα ροδοδιαγράμματα των αζιμουθίων παρακάτω.

3.5.2 Σύγκριση αζιμουθίου γραμμώσεων- αζιμουθίου ρεμάτων

Συνολικά, οι διευθύνσεις των γραμμώσεων που αποτυπώνονται στο χάρτη κλίσεων του σχήματος 33 χαρτογραφήθηκαν σε ροδοδιάγραμμα, ώστε να συγκριθούν με το αζιμούθιο των ρεμάτων του υδρογραφικού δικτύου του Ιναχου ποταμού. Παρατηρείται ότι τα ρέματα 6^{ης} τάξης (σχήμα 22) επηρεάζονται άμεσα από την παρουσία των ρηγμάτων στη λεκάνη. Στο σχήμα 39 συγκρίνεται ο προσανατολισμός των γραμμώσεων με τον προσανατολισμό των ρεμάτων 3^{ης} τάξης, που θεωρείται η πιο αντιπροσωπευτική τάξη ρεμάτων για το υδρογραφικό δίκτυο του Ιναχου ποταμού, σύμφωνα με τον έλεγχο X² (μεγαλύτερη διαφορά X²-X²). 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 Ιναχου ποταμού

επηρεάζεται έντονα από τη ρηγματογενή τεκτονική, που στη συγκεκριμένη περίπτωση εκφράζεται από τις γραμμώσεις.



Σχήμα 39: Ροδοδιαγράμματα παρατάξεων γραμμώσεων με βάση τον χάρτη κλίσεων (α) και ροδοδιαγράμματα διευθύνσεων ρεμάτων 3^{ης} τάξης του υδρογραφικού δικτύου του Ιναχου ποταμού (β)..

3.5.3 Σύγκριση μέσης κλίσης πρανών- υδρογραφικής πυκνότητας

Στο Κεφάλαιο 2. υπολογίστηκε η υδρογραφική πυκνότητα όλων των υπολεκανών 6^{ης}, 5^{ης}, 4^{ης} και 3^{ης} τάξης της υδρολογικής λεκάνης του Ίναχου ποταμού. Η σχέση μεταξύ υδρογραφικής πυκνότητας και κλίσης, για κάθε λεκάνη, εξετάστηκε στη συνέχεια. Ο Howard, 1997, αποδεικνύει ότι αυξημένος ρυθμός διάβρωσης συνδέεται με μειωμένη υδρογραφική πυκνότητα και επιμηκυμένα προφίλ κλιτίων. Δηλαδή, η υδρογραφική πυκνότητα και η μέση κλίση πρανών μιας λεκάνης συσχετίζονται αρνητικά για περιοχές όπου η διαβρωτική δράση είναι γρήγορη, ενώ θετικά για αργά διαβρούμενες περιοχές. Γενικά, ο Howard δέχεται ότι η αύξηση της κλίσης των πρανών σε μια λεκάνη οδηγεί στη μείωση της υδρογραφικής της πυκνότητας (από Lin and Oguchi, 2004).

Στο σχήμα 40 παρουσιάζεται το διάγραμμα υδρογραφικής πυκνότητας- κλίσης των λεκανών 3^{ης} τάξης. Το διάγραμμα φανερώνει την αρνητική συμμεταβολή των δυο τιμών. Η πολυωνυμική γραμμή τάσης, που παρουσιάζεται με πράσινο χρώμα και εκφράζει εξίσωση τετάρτου βαθμού, μειώνεται έντονα μέχρι την τιμή υδρογραφικής πυκνότητας 3,7, ενώ από αυτή την τιμή μέχρι την τιμή 5,1 παραμένει σχεδόν αμετάβλητη. Για τιμές υδρογραφικής πυκνότητας μεγαλύτερες από 5,1 η μέση κλίση των λεκανών μειώνεται χαρακτηριστικά.

Η γραμμική γραμμή τάσης, γραμμή κόκκινου χρώματος, εκφράζει με απλούστερο τρόπο την αρνητική συσχέτιση της κλίσης με την υδρογραφική πυκνότητα. Η πρωτοβάθμια εξίσωση που την περιγράφει είναι y = -0,038x + 19,381. Η έντονη διασπορά των σημείων, η λιθολογική ομοιομορφία του ορεινού ανάγλυφου καθώς επίσης και η έντονη παρουσία βλάστησης, αφενός δεν επιτρέπουν να γίνουν ομαδοποιήσεις σημείων κλίσης- υδρογραφικής πυκνότητας, αφετέρου επηρεάζουν την απόλυτη τιμή του συντελεστή του x (-0,038) ώστε να είναι αρκετά μικρή (Lin and Oguchi, 2004).



Σχήμα 40: Διάγραμμα συσχέτισης μέσης κλίσης πρανών- υδρογραφικής πυκνότητας υπολεκανών 3^{ης} τάξης της υδρολογικής λεκάνης του Ίναχου ποταμού.

Η γενική τάση μεταβολής της κλίσης με την υδρογραφική πυκνότητα για την υδρολογική λεκάνη του Ίναχου ποταμού είναι αρνητική. Η παρατήρηση αυτή οδηγεί στο συμπέρασμα ότι στη λεκάνη απορροής του Ίναχου ποταμού, γενικά, οι διαβρωτικές διαδικασίες είναι έντονες. Το συμπέρασμα αυτό ταιριάζει απόλυτα με το χάρτη κλίσεων όπου η ταξινόμηση τους έγινε σύμφωνα με του Demek. Η ποσοτικοποίηση της διάβρωσης σε κάθε υπολεκάνη μπορεί να συνδεθεί με το

συντελεστή του x (-0,038) της γραμμικής γραμμής τάσης του διαγράμματος του σχήματος 40. Το πρόβλημα που προκύπτει στη συγκεκριμένη συσχέτιση είναι ότι οι τιμές του συντελεστή του x που βρίσκουν ο Howard, 1997, και οι Lin and Oguchi, 2004, έχουν αρκετά μεγαλύτερη απόλυτη τιμή. Βέβαια οι δυο προαναφερθείσες εργασίες έχουν πραγματοποιηθεί για άγονες περιοχές (badlands), χωρίς έντονη βλάστηση όπως είναι η λεκάνη του Ιναχου ποταμού. Συνεπώς, η βλάστηση εισέρχεται ως παράγοντας που επηρεάζει τη διάβρωση και τη συσχέτιση των διαφόρων παραμέτρων.

3.5.4 Σύγκριση χάρτη κλίσεων- χάρτη 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.

Για την χαρτογράφηση των δεδομένων και την καλύτερη αναπαράσταση των αποτελεσμάτων χωρίστηκε η κλίση σε 5 διαστήματα. Τα δεδομένα κλίσηςπροσανατολισμού παρουσιάζονται στο σχήμα 41. Στο σχήμα 41α φαίνονται τα διαγράμματα πλήθους τιμών- προσανατολισμού για τις 5 τάξεις, ενώ στο σχήμα 41β τα ροδοδιαγράμματα για τα ίδια δεδομένα. Όπως ήταν αναμενόμενο από τα παραπάνω, το πλήθος των τιμών για την πέμπτη τάξη τιμών κλίσης (17°< 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 41β δείχνει ότι τα σημεία με κλίση >17° αναπτύσσονται σε δυο κυρίως προσανατολισμούς, έναν κύριο βορειοανατολικό και ένα δευτερεύοντα βορειοδυτικό. Συνεπώς, οι τιμές αυτές πρέπει να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του χάρτη συσχετισμού (correlation) της κλίσης (slope) με τον προσανατολισμό (aspect) των πρανών.





Σχήμα 41α : Διαγράμματα συσχέτισης κλίσης προσανατολισμού πρανών. Τα χρώματα και τα κεφαλαία γράμματα αντιστοιχούν στις 5 τάξης που χωρίστηκε η κλίση και περιγράφονται στα ροδοδιαγράμματα του β σχήματος.



Σχήμα 41: Διαγράμματα και ροδοδιαγράμματα συσχέτισης κλίσης προσανατολισμού πρανών στη λεκάνη του Ίναχου ποταμού.

Το σχήμα 42 παρουσιάζει τον χάρτη που προέκυψε από τη συσχέτιση κλίσηςπροσανατολισμού πρανών για τιμές κλίσης >17° και για τιμές προσανατολισμού 25°-75° και 275°-300°. Τα μαύρα βέλη δείχνουν τις θέσεις όπου η κλίση και ο προσανατολισμός των πρανών αποκτούν, στις συγκεκριμένες τιμές, γραμμική ανάπτυξη.



Σχήμα 42: Χάρτης συσχέτισης των επικρατέστερων κλίσεων (κλίση >17) και προσανατολισμών (25°-75° και 275°-300°). Με μαύρα βέλη φαίνονται θέσεις όπου οι δύο παράμετροι συσχετίζονται, για συγκεκριμένες τιμές, σε γραμμική διεύθυνση.

Η σύγκριση του χάρτη σκιασμένου ανάγλυφου (σχήμα 30), του χάρτη κλίσεων (σχήμα 33) και του χάρτη συσχέτισης κλίσης- προσανατολισμού πρανών οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι θέσεις που δείχνουν τα βέλη στο σχήμα 42 ταυτίζονται με θέσεις ρηγμάτων. Η παρατήρηση αυτή επαληθεύεται με τη γεωλογία και την τεκτονική της λεκάνης του Ιναχου ποταμού. Τα ρήγματα που έχουν ψηφιοποιηθεί από τους γεωλογικούς χάρτες του ΙΓΜΕ, που αναφέρονται στο κεφάλαιο 1, τοποθετήθηκαν πάνω στους χάρτες σκιασμένου ανάγλυφου, κλίσεων και συσχέτισης κλίσεωνπροσανατολισμού πρανών. Τα περισσότερα από τα ρήγματα των γεωλογικών χαρτών ταυτίζονται με αυτά που προκύπτουν από τους χάρτες που παράχθηκαν (σχήματα 43, 44 και 45). Συνεπώς, η συσχέτιση κλίσης- προσανατολισμού πρανών και ο χάρτης που προκύπτει από αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για τον εντοπισμό γεωμορφών που αναπτύσσονται με χαρακτηριστικό τρόπο.

Ένα άλλο στοιχείο που είναι χαρακτηριστικό και πρέπει να προσεχθεί είναι η διεύθυνση προσανατολισμού των πρανών που έχουν κλίση 0°-3°. Παρατηρείται ανομοιόμορφη αύξηση του πλήθους των τιμών από την τάξη Α στην τάξης B (σχήμα 41β). Το αυξημένο πλήθος τιμών για την πρώτη τάξη οφείλεται στο γεγονός ότι κλίσεις μεταξύ 0°-3° εμφανίζονται κυρίως στο αλλουβιακό ριπίδιο, που σχηματίζει ο Ίναχος ποταμός, που είναι αρκετά εκτεταμένο. Τα πρανή με κλίση 0°-3° αναπτύσσονται μόνο με βορειοανατολικό προσανατολισμό, δηλαδή ο άξονας ανάπτυξης του ριπιδίου είναι βορειοανατολικός.



Σχήμα 43: Χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου με υπέρθεση των κανονικών ρηγμάτων από τον γεωλογικό χάρτη (Κεφάλαιο 1).

ΥΠΟΜΝΗΜΑ



Σχήμα 44: Χάρτης κλίσεων με υπέρθεση των κανονικών ρηγμάτων από τον γεωλογικό χάρτη (Κεφάλαιο 1).



Σχήμα 45: Χάρτης συσχέτισης κλίσεων (κλίση >17) και προσανατολισμών ($25^{\circ}-75^{\circ}$ και 275°-300°) με υπέρθεση των κανονικών ρηγμάτων από τον γεωλογικό χάρτη (Κεφάλαιο 1).

4. Υψομετρική ανάλυση

4.1 Υψομετρική καμπύλη και Υψομετρικό ολοκλήρωμα

Η υψομετρική καμπύλη περιγράφει την κατανομή των υψομέτρων σε μια περιοχή. Η καμπύλη κατασκευάζεται χαρτογραφώντας την αναλογία του συνολικού υψομέτρου της λεκάνης (h/H σχετικό υψόμετρο) σε σχέση με την αναλογία της συνολικής επιφάνειας της λεκάνης (α/A σχετική επιφάνεια). Η σημασία του υπολογισμού της έγκειται στο γεγονός ότι είναι ανεξάρτητη από τις διαφορές στο μέγεθος της λεκάνης και στο ανάγλυφο.

Ένας απλός τρόπος να χαρακτηριστεί η μορφή της υψομετρικής καμπύλης για μια δεδομένη λεκάνη είναι να υπολογιστεί το υψομετρικό της ολοκλήρωμα. Το ολοκλήρωμα θεωρείται η περιοχή κάτω από της υψομετρική καμπύλη (γραφική παράσταση). Ένας τρόπος για να υπολογισθεί το ολοκλήρωμα είναι ο ακόλουθος:

$$Hi = \frac{\mu \epsilon \sigma \sigma \psi \phi \mu \epsilon \tau \rho \sigma - \epsilon \lambda \dot{\alpha} \chi \sigma \sigma \psi \phi \mu \epsilon \tau \rho \sigma}{\mu \epsilon \gamma \sigma \sigma \sigma \psi \phi \mu \epsilon \tau \rho \sigma - \epsilon \lambda \dot{\alpha} \chi \sigma \sigma \sigma \psi \phi \mu \epsilon \tau \rho \sigma}$$
(4.1) (Keller and Pinter, 2002)

Σύμφωνα με τον παραπάνω τύπο μόνο τρεις τιμές είναι απαραίτητες για να υπολογιστεί το υψομετρικό ολοκλήρωμα. Οι δύο από αυτές είναι απλό να βρεθούν και από τον τοπογραφικό χάρτη (Keller and Pinter, 2002).

Η σχέση μεταξύ του υψομετρικού ολοκληρώματος και του βαθμού απογύμνωσης επιτρέπει την χρήση του ως δείκτη του σταδίου, που βρίσκεται το τοπίο, μέσα στον Κύκλο της Διάβρωσης. Ο Κύκλος της Διάβρωσης περιγράφει την θεωρητική εξέλιξη του τοπίου μέσα από τρία στάδια. Ο Strahler (1952, 1957, 1964) ορίζει τις τιμές του υψομετρικού ολοκληρώματος ώστε να γίνεται εύκολα ο διαχωρισμός των σταδίων στον Κύκλο της Διάβρωσης. Έτσι, ορίζεται ότι η μετάβαση από το στάδιο της νεότητας, που το τοπίο χαρακτηρίζεται από βαθιές χαραδρώσεις και τραχύ ανάγλυφο, στο στάδιο της ωριμότητας, όπου όλες οι γεωμορφολογικές διαδικασίες λαμβάνουν χώρα δημιουργώντας σχεδόν ισοζύγιο, πραγματοποιείται για τιμή υψομετρικού ολοκληρώματος 60% και από το στάδιο της ωριμότητας στο στάδιο του γήρατος, που το ανάγλυφο πλησιάζει στο βασικό επίπεδο με πολύ ήπιο ανάγλυφο, για τιμή 35%.

Αναλύοντας τα υψομετρικά δεδομένα του Ίναχου ποταμού, κατασκευάστηκαν οι υψομετρικές καμπύλες των υπολεκανών 6^{ης} τάξης και της κυρίας λεκάνης του ποταμού. Στο σχήμα 46 φαίνεται η κατανομή του σχετικού υψομέτρου ως προς την σχετική επιφάνεια (υψομετρική καμπύλη) για τις υπολεκάνες 6.1, 6.2 και 6.3 καθώς επίσης για ολόκληρη την υδρολογική λεκάνη. Από το σχήμα των καμπύλων μπορεί να γίνει κατανοητό πως όλες οι λεκάνες βρίσκονται στο στάδιο ωριμότητας του Κύκλου Διάβρωσης. Παρατηρείται ότι η καμπύλη 7 δείχνει την πιο ώριμη λεκάνη, ενώ η καμπύλη 6.1 την λιγότερο ώριμη. Ερμηνεύοντας τις παρατηρήσεις αυτές η μορφή της καμπύλης 7 μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι αυτή εκφράζει ολόκληρη την έκταση της λεκάνης, δηλαδή εμπεριέχονται περιοχές που βρίσκονται στα κατάντη, με χαμηλό σχετικό υψόμετρο που δεν περιλαμβάνονται στις τρεις λεκάνες 6^{ης} τάξης. Για τον υπολογισμό της υψομετρικής καμπύλης της λεκάνης του Ίναχου ποταμού δεν συνυπολογίστηκε η έκταση του αλλουβιακού ριπιδίου, αλλά μόνο αυτή ανάντη της εξόδου του ποταμού στο πεδινό του τμήμα. Επίσης, η καμπύλη 6.1 εκφράζει μια λεκάνη με έντονη διαβρωτική δράση και με εντονότερο ανάγλυφο.

Η ποσοτικοποίηση των υψομετρικών καμπύλων του σχήματος 46 πραγματοποιήθηκε με τον υπολογισμό του υψομετρικού τους ολοκληρώματος, με τον τρόπο που προτείνει οι Keller and Pinter, 2002 (τύπος 4.1). Το υψομετρικό ολοκλήρωμα της λεκάνης απορροής του Ίναχου υπολογίστηκε 40,5%, ενώ της υπολεκάνης 6.1 ίσο με 52,64%, της 6.2 ίσο με 45,16% και της 6.3 ίσο με 44,69%. Έτσι, η μαθηματική έκφραση του βαθμού απογύμνωσης των λεκανών, με βάση την κατάταξη του Strahler, 1952, 1957, 1964 (από Ασταρα, 1980), επιβεβαιώνει τις ποιοτικές παρατηρήσεις των υψομετρικών καμπυλών.

Συγκρίνοντας τις τιμές του υψομετρικού ολοκληρώματος που προκύπτουν από την μέθοδο του Keller με αυτές που υπολογίζονται ολοκληρώνοντας την υψομετρική καμπύλη παρατηρείται ότι η διαφορά είναι μικρότερη του 0,5%. Συγκεκριμένα, από τον υπολογισμό του ολοκληρώματος της υψομετρικής καμπύλης με μαθηματικό τρόπο βρέθηκε για την λεκάνη του Ιναχου ποταμού τιμή ίση με 40,3%, για τη λεκάνη 6.1 ίσο με 52,38%, για τη λεκάνη 6.2 ίσο με 45,07% και για τη λεκάνη 6.3 ίσο με 44,42%. Ο λόγος της πολύ καλής προσέγγισης των τιμών είναι ότι το μέσο υψόμετρο υπολογίστηκε με τη βοήθεια λογισμικού προγράμματος, ως μέση τιμή όλων των



υψομέτρων της λεκάνης, ενώ ο Keller προτείνει τη χρήση μέσης τιμής 50 τυχαίων σημείων στη λεκάνη.

Σχήμα 46: Υψομετρικές καμπύλες της λεκάνης του Ίναχου ποταμού και των υπολεκανών $6^{\eta\varsigma}$ τάξης.

Το υψομετρικό ολοκλήρωμα ή σχετικό υψόμετρο, όπως αναφέρεται από κάποιους επιστήμονες (Lin and Oguchi, 2004), χαρακτηρίζει γενικά όλη τη λεκάνη απορροής για την οποία υπολογίζεται. Έτσι, όπως έχει ειπωθεί για τη λεκάνη του Ιναχου ποταμού είναι 40,5%. Ο γενικός αυτός χαρακτηρισμός της λεκάνης ως ώριμη, δεν επιτρέπει την κατανόηση της μεταβολής του υψομετρικού ολοκληρώματος μέσα στην έκταση της. Η μελέτη της κατανομής του υψομετρικού ολοκληρώματος βοηθάει στον εντοπισμό διάφορων μορφολογικών στοιχείων της λεκάνης που είναι χρήσιμα για την κατανόηση της εξέλιξης της. Η παρουσία πλατώματος (υψομετρικό ολοκλήρωμα> 35%), για παράδειγμα δείχνει μια περιοχή όπου οι διαδικασίες διάβρωσης υπερισχύουν, για μεγάλο χρονικό διάστημα, των διαδικασιών ανύψωσης

και συνεπώς τεκτονική αδράνεια. Για το σκοπό αυτό υπολογίστηκαν τα υψομετρικά ολοκληρώματα των υπολεκανών 5^{ης}, 4^{ης} και 3^{ης} τάξης του υδρογραφικού δικτύου του Ιναχου ποταμού. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 14 του Παραρτήματος.

Χαρακτηριστική είναι η κατανομή των τιμών του υψομετρικού ολοκληρώματος. Από το πίνακα 14 (Παράρτημα) παρατηρούμε ότι οι περισσότερες τιμές κατατάσσουν τις λεκάνες, στο στάδιο ωριμότητας. Σημαντικό είναι το γεγονός ότι μόλις 7 λεκάνες έχουν τιμή υψομετρικού ολοκληρώματος μικρότερη από 35%, δηλαδή βρίσκονται στο στάδιο του γήρατος, ενώ 23 λεκάνες έχουν τιμή μεγαλύτερη από 60%, δηλαδή χαρακτηρίζονται από χαραδρώσεις και τραχύ ανάγλυφο.

Για την καλύτερη κατανόηση της κατανομής των τιμών του υψομετρικό ολοκλήρωμα κατασκευάστηκε ο χάρτης χωρικής κατανομής της τιμής (σχήμα 47). Όπως αναφέρθηκε η οπτικοποίηση της κατανομής είναι σημαντική γιατί μπορεί να δείξει τη θέση χαρακτηριστικών γεωμορφών.



Σχήμα 47: Χάρτης χωρικής κατανομής του υψομετρικού ολοκληρώματος στην υδρολογική λεκάνη του Ίναχου ποταμού. Τα συμπαγή βέλη δείχνουν περιοχές με χαμηλή τιμή υψομετρικού ολοκληρώματος και τα στικτά περιοχές με υψηλή τιμή.

Στο σχήμα 47 με έντονο κόκκινο χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές που έχουν υψηλή τιμή υψομετρικού ολοκληρώματος, βρίσκονται δηλαδή στο στάδιο νεότητας. Με μπλε χρώμα απεικονίζονται οι θέσεις όπου η τιμή του σχετικού υψομέτρου είναι χαμηλή και συνεπώς βρίσκονται στο στάδιο γήρατος. Συγκρίνοντας το χάρτη αυτό με τους χάρτες των Κεφαλαίων 2 και 3 μπορεί να ερμηνευθεί η παρουσία των μεταβολών αυτών. Στις θέσεις Α, Β, Γ, Δ και Ε παρατηρώντας τα σχήματα 43, 44 και 45 εντοπίζονται γραμμώσεις- ρήγματα η παρουσία και η δράση των οποίων μπορεί να ευθύνεται για τις αυξημένες τιμές σχετικού υψομέτρου. Επίσης, όπως θα συζητηθεί και παρακάτω, η τιμή της υδρογραφικής πυκνότητας και κυκλικότητας στις θέσης Α, Γ, Δ και Ε εμφανίζεται αρκετά αυξημένη. Στη θέση Β η έντονη μεταβολή του σχετικού υψομέτρου αναπαριστά την έντονη διαβρωτική δράση του ποταμού με αποτέλεσμα την δημιουργία βαθιάς επιγενετικής κοιλάδας πριν να φτάσει στο πεδινό τμήμα του (Κεφάλαιο 4).

Σχετικά με την παρουσία χαμηλών τιμών σχετικού υψομέτρου στο νότιο τμήμα της λεκάνης (θέσεις ΣΤ και Ζ) αποδίδονται σε μια από τις υπολεκάνες 5^{ης} τάξης, η οποία έχει μέγιστο υψόμετρο 2033m. Η παρουσία τέτοιων τιμών σε μεγάλο μάλιστα υψόμετρο μπορεί να αποδοθεί σε μια παλαιότερη επιφάνεια επιπέδωσης που σήμερα βρίσκεται σε υψόμετρο μεγαλύτερο από 1000m. Στο γεγονός αυτό συνηγορεί και η παρατήρηση στο Κεφάλαιο 3, ότι δηλαδή στη θέση αυτή ο κύριος κλάδος της λεκάνης 5^{ης} τάξης τέμνει μια από τις γραμμώσεις-ρήγματα χωρίς να επηρεάζεται από την παρουσία της. Δηλαδή, επιφάνεια και ρήγματα είναι παλαιότερα του σημερινού δικτύου που διαμορφώνει το ανάγλυφο. Στο επόμενο Κεφάλαιο αποδεικνύεται η ύπαρξη επιφάνειας σε υψόμετρο μεγαλύτερο από 1000m. Άλλωστε, η λεκάνη αυτή διαρρέει δυο διαφορετικούς γεωλογικούς σχηματισμούς, όπως φαίνεται από το σχήμα 4. Η επαφή του φλύσχη με τον ασβεστόλιθο και η καρστικποίηση του δευτέρου είναι μια πιθανή αιτία για τις χαμηλές τιμές σχετικού υψομέτρου.

4.2 Σύγκριση σχετικού υψομέτρου- υδρογραφικής πυκνότητας

Στη προσπάθεια να υπολογιστεί μια ποσοτική σχέση μεταξύ των δυο παραμέτρων εξετάστηκε η σχέση υψομετρικού ολοκληρώματος και υδρογραφικής πυκνότητας για κάθε υπολεκάνη 3^{ης} τάξης. Υπολογίστηκαν επίσης, η πολυωνυμική



και η γραμμική εξίσωση τάσης που περιγράφουν τη συμμεταβολή με αριθμητικό τρόπο (σχήμα 48).

Σχήμα 48: Διάγραμμα συσχέτισης σχετικού υψομέτρου- υδρογραφικής πυκνότητας υπολεκανών 3^{ης} τάξης της υδρολογικής λεκάνης του Ιναχου ποταμού.

Από το διάγραμμα του σχήματος 48 φαίνεται ότι η συμμεταβολή του σχετικού υψομέτρου και της υδρογραφικής πυκνότητας είναι αρνητική. Βέβαια, παρατηρείται ότι αφενός η πολυωνιμική γραμμή τάσης (εξίσωση 4^{ου} βαθμού) τείνει στην ευθεία, αφετέρου ο συντελεστής του x της γραμμικής γραμμής τάσης τείνει στο μηδέν. Δηλαδή, η μεταβολή της μιας τιμής εξαρτάται ελάχιστα από τη μεταβολή της άλλης. Παρόλα αυτά, η αρνητική συσχέτιση των δυο αυτών τιμών σε σχέση με την επίσης αρνητική συσχέτιση μέσης κλίσης- υδρογραφικής πυκνότητας οδηγεί στο συμπέρασμα που παρατήρησε ο Schumm (1956). Δηλαδή, κοινά τοπογραφικά χαρακτηριστικά μιας λεκάνης, όπως απότομα πρανή, εμφανίζονται στα ανώτερα σημεία της όπου οι κλάδοι μικρότερης τάξης είναι πιο συχνοί (από Lin and Oguchi,2004).

5. Εξελικτικές διαδικασίες στη λεκάνη απορροής του INAXOY ποταμού

5.1 Αναβαθμίδες και επιφάνειες επιπέδωσης στην κοιλάδα του Ίναχου ποταμού

5.1.1 Αναβαθμίδες και επιφάνειες επιπέδωσης

Η ενέργεια του ποταμού (stream power) είναι ο ρυθμός κατανάλωσης της δυνητικής ενέργειας προς τη μονάδα μήκους του ρέματος και είναι ανάλογη με την κλίση της επιφάνειας του νερού και της εκροής του ποταμού. Όσο η ενέργεια του ποταμού αυξάνει, δηλαδή η περιεχόμενη ενέργεια στην κοίτη του ποταμού αυξάνει, τόσο περισσότερη ενέργεια είναι διαθέσιμη ώστε να αυξηθεί η τριβή, η διάβρωση της κοίτης ή η μεταφορά ιζημάτων. Πολλές παράμετροι, όπως το στερεό φορτίο, το σχήμα των υλικών ή η τραχύτητα της κοίτης μπορούν να επηρεάσουν την ενέργεια του ποταμού και κατά συνέπεια το διαβρωτικό ή αποθετικό περιβάλλον. Έτσι λοιπόν, για ένα ποτάμι που ούτε διαβρώνει ούτε αποθέτει, βρίσκεται δηλαδή σε ισοζύγιο, η ενέργεια (stream power) τοποθετείται σε ένα κρίσιμο όριο (threshold of critical power). Αυτό το κρίσιμο όριο της ενέργειας είναι χρήσιμο για την ερμηνεία της γένεσης των αναβαθμίδων του ποταμού, γιατί δείχνει τη δυνητική σύνδεση μεταξύ διαφορετικών παραμέτρων και προσδιορίζει πως οι κλιματικές ή οι τεκτονικές μεταβολές μπορούν να επηρεάσουν τη διαβρωτική ή αποθετική δράση του ποταμού.

Οι ποτάμιες αναβαθμίδες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, στις αναβαθμίδες απόθεσης και στις αναβαθμίδες διάβρωσης. Οι αναβαθμίδες απόθεσης δημιουργούνται όταν προηγηθεί μια περίοδος πρόσχωσης της κοίτης του ποταμού με φερτά υλικά και στην συνέχεια ακολουθήσει μια περίοδος απομάκρυνσής τους με ταυτόχρονη κατά βάθος διάβρωση. Αναβαθμίδες διάβρωσης δημιουργούνται όταν οι παράγοντες που προκαλούν την κατά βάθος διάβρωση ενεργοποιούνται σταδιακά. Για παράδειγμα ένα ποτάμι το οποίο διαβρώνει παλαιότερες αλλουβιακές αποθέσεις, όταν δημιουργήσει ένα προφίλ ισορροπίας της κοίτης του σταματά την κατά βάθος διάβρωση και αρχίζει να διαβρώνει πλευρικά διευρύνοντάς την. Αν στην συνέχεια μεταβληθεί η κατάσταση ισορροπίας της κοίτης και αρχίσει μια νέα κατά βάθος διάβρωση, τότε το πλάτος της κοίτης του ποταμού περιορίζεται με αποτέλεσμα οι μορφολογικοί σχηματισμοί της παλιάς διεύρυνσης να παραμένουν στα περιθώρια της κοίτης ως αναβαθμίδες.

Όταν η κατά βάθος διάβρωση οφείλεται στην επιγενετική δράση ενός ποταμού σε μια κοιλάδα, τότε ο ποταμός διαβρώνει τα σκληρά πετρώματα του υποβάθρου δημιουργώντας μικρών διαστάσεων αναβαθμίδες. Οι μικρές διαστάσεις των αναβαθμίδων οφείλονται στην ανθεκτικότητα των σκληρών πετρωμάτων του υποβάθρου που απαιτούν μεγαλύτερους χρόνους διεύρυνσης της ποτάμιας κοιλάδας. Στις περιπτώσεις αυτές οι αναβαθμίδες καλύπτονται από ένα λεπτό στρώμα χονδρόκοκκων υλικών. Η εκβάθυνση χαρακτηρίζεται από μικρές περιόδους ισοζυγίου και η κατασκευή της κοιλάδας χωρίζεται από περιόδους χαραδρώσεων. Αντίθετα, αναβαθμίδες με χονδρό ιζηματογενές κάλυμμα ανταποκρίνονται σε μακρές περιόδους που υπήρχε άφθονη προμήθεια ιζημάτων, όπως κατά τη διάρκεια κλιματικών μεταβολών (Keller and Pinter, 2002).

Έτσι, κάθε ποτάμια αναβαθμίδα αναπαριστά τη διαμήκη τομή του ποταμού την εποχή που ήταν ενεργή κοίτη. Η επιφάνεια μιας αναβαθμίδας μπορεί να παραμείνει ανεπηρέαστη για μεγάλο χρονικό διάστημα, ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν. Έτσι λοιπόν, η μελέτη της μορφολογίας της επιφάνειάς της μπορεί να δείξει μικρής χρονικής διάρκειας γεγονότα που παραμόρφωσαν την επιφάνεια αυτή ή δημιούργησαν χαραδρωτή διάβρωση. Συνεπώς, η μορφολογία των αναβαθμίδων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης για τον προσδιορισμό της εξέλιξης μιας κοιλάδας και την σχετική χρονολόγηση των γεγονότων που μπορούν να παρατηρηθούν.

Με σκοπό να εξεταστεί η εξελικτική πορεία και να ερμηνευτούν τα στάδια από τα οποία πέρασε η κοίτη του Ιναχου ποταμού κατασκευάστηκαν μορφολογικές τομές, με τη βοήθεια των οποίων εντοπίστηκαν οι επιφάνειες επιπέδωσης και οι αναβαθμίδες του. Για την κατασκευή των τομών χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από το ψηφιακό μοντέλο υψομέτρων (DEM), η δημιουργία του οποίου περιγράφηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Στο σχήμα 49 όπου φαίνεται η τρισδιάστατη απεικόνιση του ανάγλυφου της περιοχής με υπέρθεση του τοπογραφικού χάρτη, έχουν τοποθετηθεί οι μορφολογικές τομές που μελετήθηκαν.



Σχήμα 49: Τρισδιάστατη απεικόνιση τοπογραφικού χάρτη της λεκάνης του Ίναχου ποταμού και τοποθέτηση μορφολογικών τομών.

Η πρώτη μορφολογική τομή κατασκευάστηκε στη συμβολή των δυο κλάδων του ποταμού, αυτού που χαρακτηρίζεται ως κύριος σύμφωνα με την κατάταξη του Strahler και αυτού που χαρακτηρίζεται ως κύριος κατά Horton (σχήμα 50). Η τομή αυτή είναι σημαντική γιατί δείχνει τη σχέση των μεταβολών στις δυο γειτονικές κοιλάδες.



Σχήμα 50: Μορφολογική τομή 1 στη συμβολή των δυο κύριων κλάδων κατά Horton και Strahler.

Από τη μελέτη της τομής 1 παρατηρείται ότι και στις δυο κοιλάδες, στα εξωτερικά πρανή τους, εμφανίζεται μια επιφάνεια σε υψόμετρο περίπου 1100m. Στο ίδιο υψόμετρο συναντάται και η κορυφή του ενδιάμεσου όγκου της Σεληνοράχης. Στο επίπεδο αυτό, είναι πιθανό κατά το παρελθόν να υπήρχε μια ενιαία επιφάνεια η οποία αντιστοιχεί στη βάση της κοιλάδας ενός ποταμού (πράσινη γραμμή σχήματος 50). Από εκεί και κάτω βλέπουμε ότι οι δυο κοιλάδες χωρίζονται και ακολουθούν διαφορετική εξελικτική πορεία.

Στη βόρεια κοιλάδα, μεταξύ Γουλινά και Σεληνοράχης, διαπιστώνεται η ύπαρξη μιας αναβαθμίδας σε υψόμετρο περίπου 950m. Το πλάτος της παλαιοκοιλάδας, η βάση της οποίας αντιστοιχεί σε υψόμετρο 950m, είναι αρκετά μεγάλο περίπου 4000m (μπλε γραμμή σχήματος 50). Αντίθετα, στη νότια κοιλάδα, μεταξύ Σεληνοράχης και Αετού, δεν παρατηρείται αναβαθμίδα σε αυτό το υψόμετρο, ενώ και το πλάτος της κοιλάδας είναι αρκετά μικρότερο από αυτό της βόρειας κοιλάδας, περίπου 2500m (στικτή μπλε γραμμή του σχήματος 50). Συνεπώς, από το υψόμετρο των 1100m και κάτω οι δυο κοιλάδες ακολουθούν τελείως διαφορετική πορεία με τη βόρεια να αποκτά μεγάλο πλάτος ενώ στη νότια η διάβρωση να προχωράει κυρίως σε βάθος. Σημαντική παρατήρηση που πρέπει να τονιστεί είναι ότι από την υπαίθρια έρευνα διαπιστώθηκε ότι η αναβαθμίδα τόσο των 1100m, όσο και των 950m δεν αποτελείται από ποτάμια ιζήματα, συνεπώς είναι αναβαθμίδες διάβρωσης οι οποίες θα καλούνται και ως επίπεδες τεκτονικές επιφάνειες (Keller and Pinter, 2002), ή απλά επιφάνειες (φωτογραφία 1). Δηλαδή, στις δυο κοιλάδες επικρατεί η διάβρωση διος.



Φωτογραφία 1: Η τοποθέτηση της ανώτερης τεκτονικής επιφάνειας των 1200m και η τομή του ανώτερου τμήματός της που αποτελείται από το πέτρωμα του υποβάθρου (φλύσχης).

Σε υψόμετρο περίπου 750m συναντάται μια τρίτη επιφάνεια και στις δυο κοιλάδες (φωτογραφία 2). Από το υψόμετρο αυτό και μετά, παρατηρείται από την τομή 1, ότι η βόρεια κοιλάδα αποκτά έντονο σχήμα V γεγονός που σημαίνει ότι η ανύψωση που υφίσταται η κοιλάδα αυτή είναι πολύ μεγαλύτερη από τη δυνατότητα διάβρωσης του ποταμού. Το σχήμα της νότιας κοιλάδας είναι πιο ανοιχτό, αποτέλεσμα μικρότερου ρυθμού ανύψωσης. Οι υπαίθριες παρατηρήσεις έδειξαν ότι η τρίτη αυτή επιφάνεια αναπτύσσεται στα πετρώματα του υποβάθρου. Συνεπώς, η δημιουργία τους οφείλεται σε τεκτονικά αίτια που επηρέασαν συνολικά τη λεκάνη του Ιναζου ποταμού.

Με σκοπό να επιβεβαιωθούν οι παλαιοεπιφάνειες που αναγνωρίστηκαν από την τομή 1 και να γίνει πιο αναλυτική μελέτη της λεκάνης απορροής του Ίναχου ποταμού κατασκευάστηκαν τομές (σχήμα 49) ξεχωριστά για τον βόρειο και τον νότιο κλάδο. Οι τομές 2, 3, 4, 6, 8 και A, B, Γ, Δ αφορούν το βόρειο κλάδο, ενώ οι τομές 5 και 7 το νότιο.



Φωτογραφία 2: Η τοποθέτηση τεκτονικής επιφάνειας των 750m και η τομή του ανώτερου τμήματός της που αποτελείται από το πέτρωμα του υποβάθρου (φλύσχης).

Στην τομή 2 (σχήμα 51), στο δυτικό πρανές του Αλογοβουνίου παρατηρείται η ύπαρξη δυο επιφανειών, μια σε υψόμετρο 1300m και μια δεύτερη σε υψόμετρο 1000m. Στο ανατολικό, όπου βρίσκεται το χωριό Κυριακοχώριον δεν παρατηρούνται αντίστοιχες αναβαθμίδες, όμως το ίδιο το Κυριακοχώριο είναι χτισμένο σε μια επιφάνεια υψομέτρου 1100m. Η απουσία συζυγών αναβαθμίδων οφείλεται στους έντονους ρυθμούς διάβρωσης, αφού σε αυτή τη θέση η βόρεια κοιλάδα είναι αρκετά διευρυμένη.



Σχήμα 51: Μορφολογική τομή 2 από το χωριό Κυριακοχώριον μέχρι την τοποθεσία Αλογοβούνι με διεύθυνση Α-Δ.

Στη τομή 3 (σχήμα 52), που έχει γίνει με διεύθυνση από τα νοτιοδυτικά στα βορειοανατολικά, μπορεί εύκολα να διαπιστωθεί στο βόρειο πρανές επιφάνεια σε υψόμετρο λίγο μικρότερο από 850m. Στο ίδιο υψόμετρο, στο νότιο πρανές εντοπίζεται η συζυγής επιφάνεια της προηγούμενης. Στην τομή αυτή, όπου η κοίτη του ποταμού είναι πλέον στα 550m, μπορεί να παρατηρηθεί η εμφάνιση μιας τέταρτης επιφάνειας στα 650m περίπου, η οποία αναπτύσσεται στο πέτρωμα του υποβάθρου (φλύσχη).



Σχήμα 52: Μορφολογική τομή 3 από το χωριό Κυριακοχώριον μέχρι την τοποθεσία Μάρμαρα με διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ.

Στην τομή 4 (σχήμα 53) παρατηρείται ότι δεν εμφανίζεται καμία επιφάνεια στο βόρειο πρανές. Το γεγονός αυτό είναι αποτέλεσμα της δράσης του ρήγματος που αναπτύσσεται κατά μήκος του βόρειου κλάδου του Ίναχου ποταμού. Η έντονη διαβρωτική δράση και οι παραμορφώσεις έχουν αλλοιώσει τις αναβαθμίδες με αποτέλεσμα να είναι αδύνατος ο εντοπισμός τους από το υψόμετρο των 900m και κάτω. Αντίθετα, στο νότιο πρανές διαπιστώνεται η ύπαρξή τους σε υψόμετρο περίπου 750m και μια δεύτερη σε υψόμετρο 580m.



Σχήμα 53: Μορφολογική τομή 4 από την τοποθεσία Ψηλοράχη μέχρι την τοποθεσία Κρεβατά με διεύθυνση ΝΝΑ-ΒΒΔ.

Στην τομή 8 (σχήμα 54), που έχει γίνει σε απόσταση 1450m από το χωριό Περιβόλι προς τα κατάντη, εντοπίζεται αναβαθμίδα απόθεσης σε υψόμετρο 460m. Η υψομετρική διαφορά της με τη σύγχρονη κοίτη του βόρειου κλάδου είναι 30m. Οι υπαίθριες παρατηρήσεις απέδειξαν ότι το χωριό Περιβόλι βρίσκεται χτισμένο πάνω σε μια ποτάμια αναβαθμίδα υψομέτρου 460m. Επίσης, στην θέση του χωριού υπάρχει και συζυγής αναβαθμίδα αυτής (φωτογραφία 3). Τα υλικά από τα οποία αποτελούνται οι αναβαθμίδες αυτές, στην περιοχή του Περιβολίου, είναι χερσοποτάμιας προέλευσης. Η υψομετρική διαφορά της ανώτερης επιφάνειας των αναβαθμίδων είναι περιορισμένη με αποτέλεσμα η ακρίβεια του ψηφιακού μοντέλου υψομέτρων, που χρησιμοποιείται, να μην επιτρέπει την ακριβή μελέτη των κλίσεων και της εξάπλωσής τους.





Φωτογραφία 3: Η θέση ποτάμιων αναβαθμίδων στην περιοχή του χωριού Περιβόλι, η τομή και τα υλικά της αναβαθμίδας. Η υψομετρική διαφορά των ποτάμιων αναβαθμίδων με τη βάση της κοιλάδας είναι 15-30m.

Για την επιβεβαίωση της θέσης των παραπάνω αναβαθμίδων διάβρωσης, εξετάσθηκαν οι επιφάνειες που έχουν δημιουργηθεί στις κοιλάδες των υπολεκανών του βόρειου κλάδου. Η τομή 6 (σχήμα 55), που κατασκευάστηκε παράλληλα στη διεύθυνση ανάπτυξης του κύριου κλάδου, ώστε να τμηθούν οι κοιλάδες των υπολεκανών, δείχνει παρόμοιες επιφάνειες με αυτές που έχουν περιγράφει. Δηλαδή, παρατηρείται μια επιφάνεια σε υψόμετρο περίπου 800m (μπλε γραμμή στην τομή 6), που ταιριάζει με την τρίτη επιφάνεια που περιγράφηκε και φαίνεται ότι έχει μεγάλη εξάπλωση στην περιοχή. Επίσης σε υψόμετρο, περίπου 670m διαπιστώνεται μια άλλη επιφάνεια (κόκκινη γραμμή στην τομή 6) που ταυτίζεται με την κατώτερη, τέταρτη επιφάνεια με πιο περιορισμένη έκταση από την προηγούμενη.



Σχήμα 55: Τομή 6, παράλληλη στον βόρειο κλάδο του Ίναχου ποταμού.

Σημαντική παρατήρηση που πρέπει να αναφερθεί είναι ότι η τεκτονική, με τα πολλά ρήγματα που υπάρχουν στη λεκάνη, έχει επηρεάσει και παραμορφώσει αρκετά τη μορφή, ίσως και τη θέση των επιφανειών. Στην τομή 2 (σχήμα 51), στο δυτικό πρανές, παρατηρείται η ύπαρξη σκαλοπατιού στη θέση της επιφάνειας που βρίσκεται μεταξύ 900 και 1000m. Επίσης, στο σχήμα 56 παρατίθενται τομές σε διάφορα σημεία της βόρειας κοιλάδας του Ιναχου ποταμού που είναι εμφανής η δράση των ρηγμάτων πάνω στις επιφάνειες. Η μελέτη ενός πιο αναλυτικού ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DTM) ή οι περαιτέρω υπαίθριες μετρήσεις μπορούν να δώσουν αποτελέσματα για την επιμέρους μορφοτεκτονική κατάσταση των θέσεων αυτών (Keller and Pinter, 2002).



Σχήμα 56: Μορφολογικές τομές Α, Β, Γ και Δ που δείχνουν την επιρροή των ρηγμάτων και της τεκτονικής παραμόρφωσης πάνω στις επίπεδες επιφάνειες.

Η υπαίθρια μελέτη έδειξε τις τεκτονικές επιφάνειες που περιγράφονται από τις τομές. Στη φωτογραφία 4, που πάρθηκε από το Κυριακοχώριον προς το Περιβόλι, φαίνεται καθαρά η ύπαρξη επιφανειών σε διαφορετικά υψόμετρα. Οι επιφάνειες αυτές έχουν διαβρωθεί από την δράση των χειμάρρων και παραμορφωθεί από την τεκτονική σε διαφορετικό βαθμό. Παρόλα αυτά είναι ξεκάθαρη η τοποθέτηση τους στην κοιλάδα του Ίναχου ποταμού.



Φωτογραφία 4 : Επίπεδες επιφάνειες στη κοιλάδα του Ίναχου ποταμού.

Η σημερινή κοίτη του ποταμού στη θέση της τομής 2 βρίσκεται σε υψόμετρο 770m, ενώ στη συμβολή της με το νότιο κλάδο σε υψόμετρο 320m δίνοντας μια κλίση της κοίτης ίση με 2,2%. Χαρακτηριστικό για την σύγχρονη κοίτη είναι ότι 4500m πριν τη συμβολή των δυο κλάδων η κλίση της αυξάνεται και φτάνει να είναι ίση με 3,4% γεγονός που δείχνει την αυξανόμενη τάση του ισοζυγίου προς τη διάβρωση. Άλλωστε, σε αυτή τη θέση η κοιλάδα αναπτύσσεται με αρκετά απότομα πρανή, η τομή της οποίας δίνει σχήμα V (σχήμα 57).



Σχήμα 57: Σχηματική απεικόνιση και μορφολογική τομή του βόρειου κλάδου της κοιλάδας του Ίναχου ποταμού, 2500m πριν τη συμβολή των δυο κλάδων.

Όσο αφορά το νότιο κλάδο του Ίναχου ποταμού, στην τομή 5, που κατασκευάστηκε 6300m από την συμβολή των δυο κλάδων προς τα ανάντη, εντοπίζεται η ανώτερη επιφάνεια υψομέτρου περίπου 1200m. Στη δυτικότερη από τις κοιλάδες παρατηρείται η ύπαρξη επιφάνειας σε υψόμετρο 850m περίπου, ενώ στην

κεντρική φαίνεται να υπάρχει μια επιφάνεια σε υψόμετρο περίπου 900m (σχήμα 58). Η τοποθέτηση τους σε διαφορετικό υψόμετρο είναι πιθανό να οφείλεται στη ρηγματογενή τεκτονική που είναι έντονη στην περιοχή. Έτσι, δεχόμαστε την ύπαρξη επιφάνειας σε υψόμετρο περίπου 850m αφού η δυτική κοιλάδα φαίνεται να είναι κυριότερη της κεντρικής.



Σχήμα 58: Μορφολογική τομή 5 από την τοποθεσία Ξεροβούνι μέχρι το χωριό Νεοχώριον με διεύθυνση Δ-Α.

Η τομή 7 κατασκευάστηκε 3500m από την τομή 5, στα κατάντη της νότιας κοιλάδας και αφού όλα τα ρέματα της έχουν ενωθεί σε έναν κλάδο (σχήμα 59). Είναι χαρακτηριστική η εμφάνιση επιφάνειας σε υψόμετρο περίπου 760m, στην περιοχή του χωριού Περιστέριον. Η συσχέτιση αυτής της αναβαθμίδας με την αναβαθμίδα των 850m της τομής 5 μπορεί να δείξει μια επιφάνεια που αντιστοιχεί σε παλαιά κοίτη της κοιλάδας.



Σχήμα 59: Μορφολογική τομή 7 από τη θέση Ψηλιανού μέχρι το χωριό Περιστέριον με διεύθυνση ΔΝΔ-ABA.

Η σημερινή κοίτη της νότιας κοιλάδας του Ίναχου ποταμού είναι αυτή που χαρακτηρίζεται μεγαλύτερης, $7^{\eta\varsigma}$, τάξης σύμφωνα με την ταξινόμηση του Strahler. Το μήκος του κλάδου $7^{\eta\varsigma}$ τάξης στη νότια κοιλάδα εκτείνεται 4237m ανάντη της συμβολής των δυο κλάδων. Η μέση κλίση της κοίτης για αυτό το τμήμα του ποταμού είναι 3,47%, τιμή μεγαλύτερη από αυτή που εμφανίζει ο βόρειος κλάδος. Η σύγκριση των τιμών αυτών επιβεβαιώνει την εντονότερη δυναμική που αναπτύσσει ο νότιος κλάδος, γεγονός που οδηγεί στην μεγαλύτερη διαβρωτική και μεταφορική ικανότητα του κλάδου αυτού καθώς επίσης και σε χαρακτηριστικές μορφές που αναπτύσσονται στη λεκάνη του, όπως απότομα πρανή και κοιλάδα σχήματος V.

5.1.2 Συσχέτιση των επιφανειών, ερμηνεία γένεσης και εξέλιξής τους

Προκειμένου να συσχετιστούν οι διάφορες επιφάνειες που εντοπίστηκαν από τις μορφολογικές τομές κατασκευάστηκε το διάγραμμα του σχήματος 60. Στο διάγραμμα αυτό απεικονίζονται το βόρειο τμήμα της σύγχρονης κοίτης του Ίναχου ποταμού (μπλε κουκίδες), το νότιο τμήμα της σύγχρονης κοίτης (σκούρο-κόκκινες κουκίδες) και οι θέσεις των αναβαθμίδων στη βόρεια (πράσινες κουκίδες) και στη νότια (κόκκινες κουκίδες) κοιλάδα. Από το διάγραμμα προσδιορίστηκαν πέντε επιφάνειες στη βόρεια κοιλάδα (πράσινες γραμμές) και δυο στη νότια κοιλάδα (κόκκινες γραμμές).



Σχήμα 60: Μορφολογικές καμπύλες της βόρειας και νότιας κοίτης του Ίναχου ποταμού και θέσεις των επίπεδων επιφανειών που εντοπίστηκαν στις δυο κοιλάδες.

Αναφορικά με τη βόρεια κοιλάδα, οι επιφάνειες Α, Β, Γ και Δ, του σχήματος 60, χαρακτηρίζονται ως αναβαθμίδες διάβρωσης που αντιστοιχούν σε τεκτονικές επιφάνειες αφού από αυτές απουσιάζουν τα ποτάμια ιζήματα, ενώ η επιφάνεια Ε αποτελεί ποτάμια αναβαθμίδα. Η επιφάνεια Α αναπτύσσεται από 1100m έως 1300m υψόμετρο με μια μέση κλίση 1,07%, η επιφάνεια Β από 950m έως 1100m υψόμετρο με μέση κλίση 0,8%, η επιφάνεια Γ από 750m έως 920m υψόμετρο με μέση κλίση 1,8%, η επιφάνεια Δ από 620m έως 750m υψόμετρο με μέση κλίση 3,0% και η αναβαθμίδα Ε από 460m έως 650m υψόμετρο με μέση κλίση 2,19%. Η σύγχρονη κοίτη του ποταμού στη βόρεια κοιλάδα, 22,5km ανάντη της συμβολής των δυο κλάδων και μέχρι αυτή έχει κλίση 2,18%.

Σχετικά με τη νότια κοιλάδα, εντοπίστηκαν οι επιφάνειες Α΄ και Γ΄. Η επιφάνεια Α΄ ορίζεται μεταξύ 1000m και 1300m με μέση κλίση 3,69%, ενώ η Γ΄ από 760m έως 900m με μέση κλίση 3,64%. Η σύγχρονη κοίτη του νότιου κλάδου είναι σαφώς πιο απότομή με μέση κλίση 6,33% από την συμβολή των δυο κλάδων και μέχρι 10,5km στα ανάντη. Η παρατήρηση αυτή επιβεβαιώνει την δυναμική υπεροχή του νότιου κλάδου και αιτιολογεί απόλυτα γιατί αυτός χαρακτηρίζεται ως κύριος.

Ο συσχετισμός των επιφανειών με τη βοήθεια του σχήματος 60 σε συνδυασμό με τις υπαίθριες παρατηρήσεις, μπορεί να προσδιορίσει την εξελικτική πορεία του Ιναχου ποταμού. Σε υψόμετρο 1000m έως 1300m, εντοπίζεται μια εκτεταμένη
επιφάνεια αρκετά επίπεδη που αντιστοιχεί σε μια παλαιότερη κατάσταση ισορροπίας του ποταμού. Η ανώτερη αυτή επιφάνεια παρουσιάζεται τόσο στη βόρεια όσο και στη νότια κοιλάδα του Ίναχου ποταμού, ενώ στο σχήμα 60 φαίνεται με πράσινη γραμμή (A) για την βόρεια και με κόκκινη γραμμή (A') για την νότια κοιλάδα. Αντίστοιχες επιφάνειες έχουν εντοπιστεί από τους Ψιλοβίκο, (1981) και Βαβλιάκη, (1981) σε διάφορα βουνά της βορείου Ελλάδος, όπως στον Όλυμπο, στο Μενοίκιο, στη μάζα της Ροδόπης και στο Φαλακρό. Το υψόμετρό της θεωρείται από 900-1300m. Ο Ψιλοβίκος, (1981), τη χαρακτηρίζει ως επιφάνεια πανεπιπέδωσης και την κατατάσσει χρονικά στο Μέσο Πλειόκαινο. Η περίοδος αυτή χαρακτηρίζεται από κατάσταση τεκτονικής ηρεμίας και οι κλιματικές συνθήκες που επικρατούσαν σε ολόκληρο τον ελλαδικό χώρο ήταν θερμές και υγρές, γεγονός που φαίνεται τόσο από την παρουσία λιγνιτικών στρωμάτων σε διάφορες λεκάνες (Αξιού- Θερμαϊκού, Σερρών, Πτολεμαΐδας- Κοζάνης κ.τ.λ.), όσο και από τα λιμναία ιζήματα της περιόδου αυτής (Ψιλοβίκος, 1981)

Από αυτό το σημείο και μετά το ισοζύγιο μεταβάλλεται με αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας δεύτερης κοιλάδας η οποία στα ψηλότερα σημεία του ποταμού έχει τη βάση της σε υψόμετρο 1100m, ενώ στα κατάντη φτάνει μέχρι το υψόμετρο των 950m. Η κοιλάδα αυτή έχει μεγάλο εύρος (στα κατάντη περίπου 4000m) αποτέλεσμα ήπιας και μακροχρόνιας διαβρωτικής δράσης, που επιβεβαιώνεται και από το γεγονός ότι η κλίση της παλαιοκοίτης είναι 0,8%. Χαρακτηριστικό που πρέπει να ειπωθεί είναι ότι η επιφάνεια αυτή εντοπίζεται μόνο στη βόρεια κοιλάδα και απουσιάζει από τη νότια. Η γένεση της είναι πιθανό να οφείλεται σε τοπική μεταβολή της τεκτονικής κατάστασης. Η επαναδραστηριοποίηση του ρήγματος που διαμορφώνει τη ροή του κλάδου αυτού ή κάποιο από τα κάθετα σε αυτό ρήγματα, είναι πιθανό να είναι υπεύθυνο για τη μεταβολή του τοπικού βασικού επιπέδου στο βόρειο κλάδο.

Μεταβολή του βασικού επιπέδου, πιθανόν τεκτονική ανύψωση, ανάγκασε το ποτάμι να εντείνει τη διαβρωτική του δράση. Αποτέλεσμα ήταν η δημιουργία μιας τρίτης κοιλάδας. Η βάση αυτής της κοιλάδας ξεκινάει από υψόμετρο 750m και φτάνει μέχρι υψόμετρο 920m περίπου. Το εύρος της είναι μικρότερο από της ανώτερης και η κλίση της μεγαλύτερη, ίση με 1,8%. Η επιφάνεια των 750m έως 920m εντοπίζεται τόσο στη βόρεια κοιλάδα όσο και στη νότια. Στο σχήμα 60 οι δυο επιφάνειες σημειώνονται ως Γ (πράσινη γραμμή) και Γ΄ (κόκκινη γραμμή), αντιστοίχως. Η επιφάνεια αυτή, με χρήση περισσότερων στρωματογραφικών τη και γεωχρονολογικών στοιχείων, θα μπορούσε να συσχετιστεί με τη δραστηριοποίηση

του ρήγματος του Σπερχειού, γεγονός που θα μπορούσε να επιφέρει μεγάλης έκτασης αλλαγές, που επηρέασαν όλη την λεκάνη του Ίναχου ποταμού.

Μια τέταρτη επιφάνεια εντοπίζεται σε υψόμετρο 620m έως 650m περίπου. Η κλίση της είναι μεγαλύτερη, ίση με 3,0%, ενώ το εύρος της κοιλάδας έχει περιοριστεί τείνοντας να αποκτήσει έντονο σχήμα V, δηλαδή η διάβρωση είναι η σημαντικότερη διαδικασία που επικρατεί. Η τέταρτη αυτή επιφάνεια απουσιάζει από τη νότια κοιλάδα, αφού οι συνθήκες που προκάλεσαν τον σχηματισμό της είχαν τοπικό χαρακτήρα. Η δραστηριοποίηση ρήγματος που βρίσκεται μέσα στα όρια της λεκάνης του βόρειου κλάδου, πιθανόν να ευθύνεται για τον σχηματισμό της τέταρτης αυτής επιφάνειας.

Σε υψόμετρο 460m, στην περιοχή του χωριού Περιβόλι, εντοπίστηκε ποτάμια αναβαθμίδα που φτάνει σε υψόμετρο 650m και έχει κλίση 2,19%, παρόμοια με αυτή της σύγχρονης κοίτης.. Η δημιουργία της οφείλεται στις αποθετικές διαδικασίες που έλαβαν χώρα για ένα διάστημα στο βόρειο κλάδο του ποταμού και στην εκ νέου εκβαθυντική δράση του, που πιθανόν να αποτελεί συνέπεια τεκτονικών αιτιών.

Στο σχήμα 61α, όπου φαίνεται ο χάρτης κλίσεων, ορίζονται με κύκλους οι περιοχές με κλίση 1°-10° (άσπρο χρώμα ταξινόμησης). Μέσα στους κύκλους ορίζεται και το υψόμετρο της κάθε επιφάνειας. Στο σχήμα 61β παρουσιάζονται με διαφορετικό χρώμα οι επιφάνειες που αναφέρθηκαν ώστε να είναι παραστατικότερη η τοποθέτηση τους. Είναι χαρακτηριστική η εξάπλωση της επιφάνειας των 1200m (μπλε χρώμα) σε όλη την έκταση της λεκάνης καθώς επίσης και η απουσία εκτεταμένης επιφάνειας των 1000m στη νότια κοιλάδα.

Τέλος η σημερινή κοίτη του ποταμού φαίνεται να έχει διαφορετική κλίση και μορφή στο νότιο και το βόρειο κλάδο. Η μορφή της βόρειας κοιλάδας είναι πιο ανοιχτή, ιδιαίτερα προς τα ανάντη, ενώ η κλίση της είναι 2,18%. Αντίθετα, η νότια κοιλάδα έχει μορφή V, δήγμα νεότερων διεργασιών και εντονότερης διάβρωσης. Η κλίση του τμήματος αυτού της κοίτης είναι μεγαλύτερη από ότι στο βόρειο κλάδο, ίση με 6,33%. Το τμήμα του ποταμού που δείχνει να έχει υποστεί τις πιο πρόσφατες μεταβολές είναι το τμήμα του βόρειου κλάδου από τη συμβολή του με το νότιο και για 4500m προς τα ανάντη. Η μορφή του είναι έντονα V και η κλίση της κοίτης 3,4%. Σε αυτή τη θέση η δράση του ποταμού σε συνδυασμό με τα πρόσφατα τεκτονικά γεγονότα έχουν οδηγήσει στην έντονη χαραδρωτή διάβρωση και στη δημιουργία φαραγγιού.



Σχήμα 61: Χάρτης κλίσεων (B) όπου με κύκλους ορίζονται οι περιοχές που έχουν άσπρο χρώμα, δηλαδή κλίση 1° - 10° . Χάρτης υψομέτρων (A) όπου με κύκλους τοποθετούνται οι ίδιοι κύκλοι ώστε να βρεθεί το υψόμετρο των επίπεδων επιφανειών.

Συνολικά, η λεκάνη του Ίναχου ποταμού φαίνεται να έχει επηρεαστεί έντονα από τεκτονικά φαινόμενα που προκάλεσαν μεταβολές στο βασικό επίπεδο. Η

σύγχρονη κοίτη του ποταμού από τα στενά, πριν αρχίσει να διαρρέει το αλλουβιακό ριπίδιο, μέχρι το σημείο που χωρίζεται σε δυο μεγάλους κλάδους, ένα βόρειο κι ένα νότιο, έχει μήκος μόλις 3700m. Από τη μελέτη των επίπεδων τεκτονικών επιφανειών διαπιστώθηκε μια ανώτερη επιφάνεια σε υψόμετρο 1000m έως 1300m, που αναπτύσσεται σε όλη την έκταση της λεκάνης. Σύμφωνα με στοιχεία από όλη την Ελλάδα, βρέθηκε επιφάνεια επιπέδωσης που εντοπίζεται στο ίδιο υψόμετρο διαμορφώθηκε κατά το Μέσο Πλειόκαινο (Ψιλοβίκος, 1981, Βαβλιάκης, 1981). Επίσης, η επιφάνεια αυτή μπορεί να ερμηνευτεί είτε ως μια παλαιά επιφάνεια επιπέδωσης του ποταμού, πριν αυτός χωριστεί σε δυο κλάδους, είτε ως ένα κλιματικό ή τεκτονικό γεγονός που επηρέασε όλη την περιοχή. Σίγουρη απάντηση μπορεί να δοθεί μόνο μετά τη συσχέτιση αυτής της επιφάνειας της λεκάνης του Ιναχου ποταμού με άλλες λεκάνες της ευρύτερης περιοχής.

Γνωρίζοντας ότι η επιφάνεια αυτή των 1000m έως 1300m δημιουργήθηκε ενιαία, σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή, είναι δυνατό υπολογίζοντας το υψομετρικό ολοκλήρωμα για τη λεκάνη του ποταμού από υψόμετρο 1300m και κάτω, μέχρι την έξοδο του στις αλλουβιακές αποθέσεις, να βρεθεί ο όγκος των υλικών που έχουν διαβρωθεί και απομακρυνθεί. Χρησιμοποιώντας τον τύπο που προτείνουν οι Keller and Pinter, 2002, για τον υπολογισμό του υψομετρικού ολοκληρώματος, που αναφέρθηκε στην παράγραφο 4.1, υπολογίστηκε η τιμή του για την έκταση της λεκάνης από 1300m έως 200m, ίση με 61%. Στο σχήμα 62 απεικονίζεται η εξεταζόμενη περιοχή (A) και η υψομετρική καμπύλη που αφορά αυτή (B). Ο συνολικός όγκος που αντιστοιχεί σε ένα κύβο με έκταση ίση με της εξεταζόμενης περιοχής (235,58km²) και ύψος ίσο με 1100m, δηλαδή το 100% της υψομετρικής καμπύλης, ισούται με 259,14km³. συνεπώς τα υλικά που έχουν απομακρυνθεί έχουν όγκο :

39%*259,14km³ = 101km³



Σχήμα 62: Τρισδιάστατη απεικόνιση της περιοχής μεταξύ 200m και 1300m (A). Υψομετρική καμπύλη της περιοχής μεταξύ 200m και 1300m (B).

5.2 Αλλουβιακό ριπίδιο

5.2.1 Μορφολογικά χαρακτηριστικά του ριπιδίου

Με τον όρο αλλουβιακά ριπίδια χαρακτηρίζονται αποθέσεις μηχανικών ιζημάτων που σχηματίζονται στις παρυφές των βουνών και εντοπίζονται στις εξόδους των ποταμών προς τις πεδιάδες. Το σχήμα τους έχει τη μορφή ανοιγμένης βεντάλιας όπου η κορυφή είναι το υψηλότερο σημείο και η επιφάνεια κλίνει ακτινωτά προς την περιφέρεια. Η κλίση της επιφάνειας είναι συνήθως μικρότερη από 10° και μειώνεται σταδιακά από την κορυφή προς την περιφέρεια. Οι μέσες τιμές κλίσεις που εντοπίζονται στα ριπίδια είναι 2° -5°. Συνήθως, συμβαίνει πολλά αλλουβιακά ριπίδια να βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους στις παρυφές των βουνών, ώστε να ενώνονται σε ένα σχηματισμό γνωστό με τον όρο σύνθετα αλλουβιακά ριπίδια (Ψιλοβίκος, 1981).

Ένα αλλουβιακό ριπίδιο μπορεί να θεωρηθεί ως το ενδιάμεσο σημείο μεταξύ συστήματος διάβρωσης- απόθεσης, όπου τα υλικά προέρχονται από την ορεινή περιοχή και μεταφέρονται στους πρόποδες. Στους πρόποδες τα υλικά αποτίθενται σχηματίζοντας αποθέσεις τμήματος κώνου. Ο συνδετικός κρίκος μεταξύ του διαβρωτικού και αποθετικού τμήματος του συστήματος είναι το ποτάμι. Η μορφολογία ενός αλλουβιακού ριπιδίου εξαρτάται από διάφορους παράγοντες περιλαμβανομένου του μεγέθους της λεκάνης απορροής που συνεισφέρει στο ριπίδιο, της γεωλογίας και του ανάγλυφου της περιοχής που προμηθεύει το ριπίδιο με υλικά, κλιματικών παραγόντων, βλάστησης και φυσικά της τεκτονικής δραστηριότητας. Η μορφολογία των αλλουβιακών ριπιδίων σε μια μορφολογική τομή είναι γενικά κοίλη αλλά συχνά περιλαμβάνει σημαντικά σημεία μεταβολής της κλίσης που σημειώνονται ως όρια μεταξύ σχετικά ευθύγραμμων τμημάτων του ριπιδίου. Γενικά, τα περισσότερα αλλουβιακά ριπίδια χωρίζονται σε τμήματα, όπου τα νεότερα τμήματα μπορούν να διαπιστωθούν από τα παλαιότερα με βάση τη σχετική μορφολογική ανάπτυξη του εδάφους.

Το ριπίδιο του Ίναχου ποταμού έχει την κορυφή του σε ύψος 178m και καταλαμβάνει έκταση περίπου 40km². Στον πίνακα 10 αναφέρονται τα κυριότερα μορφολογικά χαρακτηριστικά του ριπιδίου που μπορούν να μετρηθούν με την βοήθεια των χαρτών. Τα χωριά Άγιος Σώστης, Κάτω Καλλιθέα, Μεσοποταμιά,

Ροδανιά και Βασιλικά καθώς επίσης και η κωμόπολη Σπερχειάδα βρίσκονται χτισμένα πάνω στις αποθέσεις του. Με σκοπό να εντοπιστούν ο σύνθετος χαρακτήρας του και οι διάφορες μεταβολές που αποτυπώνονται στη μορφολογία του ριπιδίου κατασκευάστηκαν μορφολογικές τομές όπως φαίνονται στο σχήμα 63. Ο χαρακτηρισμός του ως σύνθετο αλλουβιακό ριπίδιο προέρχεται είτε από την υπαίθρια παρατήρηση, είτε από την ανάλυση των επιμηκών τομών του. Στο σχήμα 64 αποτυπώνονται έξι μορφολογικές τομές του ριπιδίου που βρίσκεται στους πρόποδες του βουνού και διαμορφώνεται από τον Ίναχο ποταμό. Στα σχήματα 64 Α έως ΣΤ, στο πάνω μέρος των τομών δίνεται η κατανομή των υψομέτρων, ενώ στο κάτω μέρος παρουσιάζεται η κατανομή των κλίσεων του ριπιδίου για τις αντίστοιχες τομές. Σε όλες τις μορφολογικές τομές παρατηρούνται τμήματα διαφορετικής κλίσης να αποτελούν την ανώτερη επιφάνεια του ριπιδίου.

\mathbf{H}				
Κορυφή ριπιδίου Ίναχου ποταμού.	178m			
Έκταση σύνθετου ριπιδίου.	40,44km ²			
Μέγιστο μήκος μεγάλου άξονα.	5,78km			
Μέση κλίση.	1,69°			
Όγκος.	5,12km ³			
Μήκος μέγιστου κλάδου τροφοδοσίας.	16,4km			
Έκταση λεκάνης τροφοδοσίας.	310,3km ²			
Ελάχιστο υψόμετρο σύνθετου ριπιδίου.	84,5m			
Μέγιστο υψόμετρο σύνθετου ριπιδίου.	306m			



Σχήμα 63: δορυφορική εικόνα που δείχνει το αλλουβιακό ριπιδίο που διαμορφώνεται από τον Ίναχο ποταμό και η θέση των μορφολογικών τομών του σχήματος 64 και 66.

Όλες οι τομές ξεκινούν από υψόμετρο περίπου 260m. Η κορυφή του ριπιδίου σε όλες τις τομές θεωρείται εκείνο το σημείο όπου η κλίση του πρανούς τείνει να γίνει μικρότερη των 7°.



Σχήμα 64: Μορφολογικές τομές του ριπιδίου που βρίσκεται στην έξοδο του Ίναχου ποταμού στα πεδινά. Στο ανώτερο τμήμα του προφίλ αποτυπώνονται υψομετρικά δεδομένα, ενώ στο κατώτερο τμήμα δεδομένα κλίσεων.

Μελετώντας τις κλίσεις που εμφανίζονται στις έξι τομές διαπιστώνεται η ύπαρξη επιφανειών (τμημάτων), στην έκταση όλου του σχηματισμού, με παρόμοιες κλίσεις. Οι τομές 2, 3, 4 και 5 είναι αυτές που τέμνουν την μεγαλύτερη έκταση του ριπιδίου. Από την μελέτη αυτών προκύπτει η μέση κλίση των επιμέρους τμημάτων (σχήμα 65). Αναλύοντας τις κλίσεις της τομής 2 (σχήμα 63),όπως φαίνεται στο σχήμα 65 παρατηρείται ότι η επιφάνεια του ριπιδίου που βρίσκεται κοντά στους πρόποδες έχει μέση κλίση 3,78°, το ενδιάμεσο τμήμα έχει κλίση 1,35°, ενώ η υπόλοιπη επιφάνεια του ριπιδίου δ,84°. Στην τομή 3 το τμήμα της που είναι κοντά στους πρόποδες έχει κλίση 4,1°, το επόμενο 1,33° και 0,84° το υπόλοιπο. Στην τομή 4, όπως φαίνεται στο σχήμα 65, το πρώτο τμήμα που είναι κοντά στους πρόποδες έχει κλίση 5,9°, το ενδιάμεσο 1,26° και το υπόλοιπο 0,67°. Τέλος, στην πέμπτη τομή η επιφάνεια του ριπιδίου που είναι κοντά στους πρόποδες έχει κλίση 4,11°, το ενδιάμεσο 1,71° και η υπόλοιπη 0,95°.

Οι τρεις διακριτές επιφάνειες που αποτελούν το προφίλ του ριπιδίου είναι η πρώτη, με μέση κλίση 4,0°, που βρίσκεται κοντά στους πρόποδες. Η δεύτερη πιο ομαλή με μέση κλίση 1,5°. Και η τρίτη με μέση κλίση 0,7° που καταλαμβάνει την περισσότερο απομακρυσμένη από τους πρόποδες περιοχή (σχήμα 65). Στο Παράρτημα, στους πίνακες 15, 16, 17 και 18 παρουσιάζονται οι κλίσεις των διαφορετικών τμημάτων των τεσσάρων τομών των κλίσεων που περιγράφονται παραπάνω. Στο σχήμα 64 αποτυπώνονται οι επιφάνειες αυτές στις έξι μορφολογικές τομές που κατασκευάστηκαν για το ριπίδιο του Ίναχου ποταμού.



Σχήμα 65: Η διασπορά των κλίσεων στις τέσσερις μορφολογικές τομές στο ριπίδιο του Ιναχου ποταμού. Στα κόκκινα πλαίσια οριοθετούνται τα διάφορα τμήματα των τομών με βάση την ομαδοποίηση των τιμών των κλίσεων.

Παρατηρώντας τις τομές 5 και 6 στο σχήμα 64 διαπιστώνεται η ύπαρξη και άλλων ριπιδίων δυτικά του κύριου όγκου του ριπιδίου του Ίναχου ποταμού. Για αυτό το σκοπό κατασκευάστηκαν έξι μορφολογικές τομές (σχήμα 66, τομές 7, 8, 9, 10, 11 και12) δυτικά του κύριου κλάδου του ποταμού ώστε να ερευνηθεί ο σύνθετος χαρακτήρας του ριπιδίου. Στο σχήμα 66 παρουσιάζονται οι τομές αυτές. Στις τομές 7, 8 και 9 παρατηρείται πως σε απόσταση 500m περίπου από την κορυφή του ριπιδίου υπάρχει μια επίπεδη επιφάνεια (μαύρος κύκλος με χαμηλές κλίσεις, στο σχήμα 66) που διαχωρίζει τα τμήματα Α, Β, και Γ από τα Δ και Ε. Η παρατήρηση αυτή επιβεβαιώνει την ύπαρξη ενός αλλουβιακού σχηματισμού, με χαρακτηριστικά ριπιδίου (τμήματα Δ και Ε) τοποθετημένου επάνω στο ριπίδιο του Ίναχου ποταμού (τμήματα Α, Β και Γ). Στις τομές Δ, Ε και ΣΤ του σχήματος 66 δεν εντοπίζονται παρόμοια χαρακτηριστικά γιατί το ριπίδιο που αντιπροσωπεύουν είναι αρκετά απομακρυσμένο από την κορυφή του ριπιδίου του Ίναχου ποταμού με αποτέλεσμα οι νεότερες αποθέσεις του να έχουν καλύψει αυτές του κύριου ριπιδίου.



Σχήμα 66: Μορφολογικές τομές στα ριπίδια που βρίσκονται δυτικά του κύριου κλάδου του ποταμού.

Οι μορφολογικές τομές, η ανάλυση των υψομέτρων και των κλίσεων του ριπιδίου επέτρεψαν την μορφολογική ανάλυσή του και την αναγνώριση των επιμέρους τμημάτων που αποτελείται το ριπίδιο. Σημαντική είναι όμως και η ακριβής τοποθέτηση του σχηματισμού. Για αυτό το σκοπό κατασκευάστηκε ο χάρτης κατανομής των υψομέτρων και ο χάρτης κατανομής των κλίσεων που απεικονίζονται στο σχήμα 67 A και B, αντιστοίχως, για την περιοχή του ριπιδίου του Ιναχου ποταμού. Από τον χάρτη υψομέτρων διαπιστώνεται το γεγονός ότι όλη η έκταση από την έξοδο του Ιναχου ποταμού από τα στενά του μέχρι τη συμβολή του με το Σπερχειό ποταμό, μορφολογικά καταλαμβάνεται από τον σχηματισμό του ριπιδίου. Ο χάρτης κλίσεων προσδιορίζει τη θέση (ισοκλινής των 7°) κατάντη της οποία ορίζεται μορφολογικά το αλλουβιακό ριπίδιο.



Σχήμα 67: Χάρτης υψομέτρων (Α) και χάρτης κλίσεων (Β) για την περιοχή του ριπιδίου του Ιναχου ποταμού.

Η μορφολογία ενός τμήματος αλλουβιακού ριπιδίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης ενεργής τεκτονικής, γιατί στην μορφή του ριπιδίου μπορούν να αποτυπωθούν ποικίλοι ρυθμοί τεκτονικών διαδικασιών όπως ρηγματώσεις, ανυψώσεις, περιστροφές και πτυχώσεις που συμβαίνουν κατά μήκος και στις γειτονικές περιοχές των προπόδων των βουνών. Στην απλούστερη περίπτωση, αν ο ρυθμός ανύψωσης κατά μήκος των προπόδων είναι υψηλός σε σχέση με τη εκβαθυντική δράση του ποταμού στο βουνό και στις αποθέσεις στο ριπίδιο, τότε οι αποθέσεις τείνουν να συγκεντρωθούν στην περιοχή της κορυφής του (Bull, 1977). Το νεότερο τμήμα του ριπιδίου βρίσκεται κοντά στην κορυφή του. Επίσης, αυτοί οι πρόποδες βουνών σχετίζονται με χαμηλές τιμές S_{mf} (η δαντέλωση του μετώπου των βουνών (mountain- front sinuosity), Κεφάλαιο 2) και V_f (σχέση πλάτους ύψους κοιλάδας).

Σύμφωνα με τους Keller and Pinter (2002) ο δείκτης V_f εκφράζει τη σχέση μεταξύ του πλάτους της κοιλάδας στους πρόποδες του βουνού και του ύψους των πρανών. Η μαθηματική έκφραση του δίνεται από τον τύπο:

$$\mathbf{V}_{\rm f} = \frac{2V_{fw}}{(\mathbf{E}_{\rm ld} - \mathbf{E}_{\rm sc}) + (\mathbf{E}_{\rm rd} - \mathbf{E}_{\rm sc})}$$
(Keller and Pinter, 2002)

Όπου V_{fw} είναι το πλάτος της βάσης της κοιλάδας, E_{rd} και E_{ld} είναι το υψόμετρο του δεξιού και αριστερού πρανούς και E_{sc} είναι το υψόμετρο της βάσης της κοιλάδας. Χαμηλές τιμές του δείκτη V_f σχετίζονται με βαθιές κοιλάδες, με ποτάμι έντονα ενεργό και γενική ανύψωση. Το αντίθετο συμβαίνει με ψηλές τιμές V_f (Keller and Pinter, 2002).

Οι Keller and Pinter, 2002, θεωρεί ότι στις περιπτώσεις όπου το νεότερο τμήμα του ριπιδίου βρίσκεται κοντά στους πρόποδες του βουνού οι δείκτες S_{mf} και V_f αποκτούν χαμηλές τιμές. Υπολογίζοντας τις τιμές των παραγόντων αυτών, κατά μήκος των προπόδων του βουνού βρέθηκε S_{mf}=13,78km/9,808km=1,405 και V_f=2(961-868)/[(386-190)+(293-190)]= 0,622 τιμές που χαρακτηρίζονται αρκετά χαμηλές ώστε η θέση του νεότερου τμήματος του προφίλ του ριπιδίου να τοποθετείται κοντά στους πρόποδες. Στο σχήμα 68 φαίνεται η μορφολογική τομή 3 του σχήματος 64 και η σχετική χρονολόγηση των τμημάτων του προφίλ του ριπιδίου.



Σχήμα 68: Μορφολογική τομή 3. Τα τρία τμήματα στα οποία χωρίζεται το προφίλ του ριπιδίου και η σχετική χρονολόγησή τους.

Ένα ακόμη στοιχείο που συνηγορεί στην άποψη ότι η ενεργός τεκτονική είναι η κύρια αιτία διαμόρφωσης και εξέλιξης του ριπιδίου είναι η αποτύπωση της περιστροφής (tilt) πάνω στον σχηματισμό αυτό. Το αρχικό σχήμα των αλλουβιακών ριπιδίων είναι σχεδόν κωνικό με αποτέλεσμα η τοπογραφική αποτύπωση των ισοϋψών του να είναι ομόκεντροι κύκλοι (Ψιλοβίκος, 1981, Keller and Pinter, 2002). Στις περιπτώσεις που το ριπίδιο δεν είναι απλό και έχει υποστεί τεκτονική περιστροφή, οι ισοϋψείς απεικόνισης του αποκτούν μορφή τμήματος έλλειψης, αφού η τομή ενός στραμμένου κώνου με το επίπεδο δίνει έλλειψη. Το μέγεθος της περιστροφής που έχει υποστεί το ριπίδιο μπορεί να υπολογιστεί θεωρώντας μια ιδανική έλλειψη, ώστε να ταιριάζει με τις ισοϋψείς του ριπιδίου, και μετρώντας το μήκος του μεγάλου (a) και του μικρού (b) άξονά της. Σύμφωνα με τους Keller and Pinter (2002) η μαθηματική έκφραση της περιστροφής (β) δίνεται από τον τύπο:

$$\boldsymbol{\beta} = \arccos\left(\left(\left(\frac{b}{a}\right)^2 \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha\right)^{0,5}\right)$$
 (Keller and Pinter 2002)

Όπου α είναι η κλίση του ριπιδίου κατά μήκος του μικρού άξονα της έλλειψης. Εφαρμόζοντας τον τύπο αυτό υπολογίστηκε η περιστροφή κάθετα στη διεύθυνση ανάπτυξης του ρήγματος που την προκαλεί, η οποία ταυτίζεται με την διεύθυνση ανάπτυξης των προπόδων του βουνού.

Στο σχήμα 69 απεικονίζεται ο τοπογραφικός χάρτης της περιοχής (τρισδιάστατη απεικόνιση) και η θέση της θεωρητικής έλλειψης που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της περιστροφής. Η περιστροφή β που υπολογίστηκε ίση με 2,33°, αφορά όλη την έκταση του ριπιδίου. Η περιστροφή που έχει συμβεί στο κάθε τμήμα του ριπιδίου ξεχωριστά είναι δύσκολο να υπολογιστεί αφού η ακρίβεια των υψομετρικών δεδομένων δεν επιτρέπει λεπτομερέστατη μορφολογική ανάλυση σε τμήματα με μικρή έκταση.



Σχήμα 69: Ο τοπογραφικός χάρτης της περιοχής του ριπιδίου και η θέση της θεωρητικής έλλειψης που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της περιστροφής (β).

5.2.2 Στρωματογραφία και υλικά του ριπιδίου

Προσπαθώντας να εξηγηθεί η εξελικτική πορεία του αλλουβιακού ριπιδίου του Ίναχου ποταμού, μελετήθηκαν τα διαθέσιμα στοιχεία γεωτρήσεων που έχουν γίνει στο χώρο του από την Διεύθυνση Εγγείων Βελτιώσεων της Λαμίας. Η ακριβής θέση των γεωτρήσεων που μελετήθηκαν διαπιστώθηκε με τη χρήση GPS. Στο σχήμα 70 φαίνεται η τοποθέτηση των γεωτρήσεων αυτών στον τοπογραφικό χάρτη της περιοχής του ριπιδίου. Η ονομασία που χρησιμοποιείται για κάθε γεώτρηση προέρχεται από το τοπωνύμιο της περιοχής που βρίσκεται. Στον πίνακα 11 ορίζεται η ακριβής θέση (συντεταγμένες) της κάθε γεώτρηση, σε Ε.Γ.Σ.Α. 87.



Σχήμα 70: Τοποθέτηση των γεωτρήσεων στον τοπογραφικό χάρτη της περιοχής του ριπιδίου.

Ονομασία γεώτρησης	Γεωγραφικό μήκος	Γεωγραφικό πλάτος		
Πυροστέϊκα 1	341,362.90	4,307,254.60		
Πυροστέϊκα 2	341,396.77	4,307,311.64		
Γουρνολίβαδα	339,575.64	4,310,548.91		
Μπακάδες	339,942.94	4,309,715.30		
Σαΐτες	340,565.22	4,308,806.46		
Κουλουριώτισσα	341,337.91	4,309,614.47		

Πίνακας 11. Γεωγραφική τοποθέτηση (Ε.Γ.Σ.Α. 87) των γεωτρήσεων που βρίσκονται στο αλλουβιακό ριπίδιο του Ίναχου ποταμού

Από την τοποθέτηση των γεωτρήσεων στον τοπογραφικό χάρτη διαπιστώνεται ότι οι γεωτρήσεις Πυροστέϊκα, Σαΐτες, Μπακάδες και Γουρνολίβαδα βρίσκονται πάνω σε μια νοητή γραμμή εγκάρσια στην ανάπτυξη του ριπιδίου. Για αυτό το σκοπό έγινε προσπάθεια να συσχετισθούν στρωματογραφικά αυτές οι γεωτρήσεις. Στο σχήμα 71 παρουσιάζεται η σχετική τοποθέτηση των προφίλ των γεωτρήσεων σε μορφολογική τομή του ριπιδίου, που περνάει από τις θέσεις των γεωτρήσεων αυτών.

Από το προφίλ της στρωματογραφικής τομής της γεώτρησης Πυροστέϊκα διαπιστώνεται ότι το υπόβαθρο (φλύσχης), στη θέση αυτή βρίσκεται σε βάθος 128m ή σε απόλυτο υψόμετρο 16m. Σε καμία άλλη γεώτρηση δεν εντοπίζεται το υπόβαθρο, ενώ το μικρότερο απόλυτο υψόμετρο που μπορεί να ελεγχθεί από τις γεωτρήσεις είναι -47m, στη γεώτρηση Μπακάδες. Η απόσταση της γεώτρησης Πυροστέϊκα από το υπόβαθρο, στους πρόποδες του βουνού, είναι 1200m, ενώ το υψόμετρο της θέσης που συναντάται το υπόβαθρο είναι 190m. Συνεπώς το πρανές, που αποτελείται από το πέτρωμα του υπόβαθρου (φλύσχη), έχει κλίση 14,5%.



Σχήμα 71: Σχετική τοποθέτηση των προφίλ των γεωτρήσεων σε μορφολογική τομή του ριπιδίου.

Παρατηρώντας τα προφίλ των γεωτρήσεων μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τη γένεση των διαφόρων στρωμάτων. Στη γεώτρηση Πυροστέϊκα, που είναι η κοντινότερη στη κορυφή του ριπιδίου και τέμνει την επιφάνεια με κλίση 4,0° (σχήμα 71), στο ανώτερο τμήμα της, κόβονται υλικά χονδρόκοκκα, κυρίως κροκαλοπαγή. Το μεγάλο πάχος των κροκαλοπαγών αυτών (περίπου 60m) οφείλεται στο γεγονός ότι το τμήμα αυτό του ριπιδίου έχει τα νεότερα υλικά (Παράγραφος 5.2.1). Από το βάθος αυτό και κάτω διαπιστώνεται η εναλλαγή στρώσεων χονδρόκοκκων και λεπτόκοκκων υλικών, κροκάλων και αργίλου αντιστοίχως. Οι εναλλαγές υλικών ανταποκρίνονται στη μεταβολή της μεταφορικής ικανότητας του ποταμού, δηλαδή μεταβολή του βασικού επιπέδου, που είναι πιθανό να οφείλεται σε τεκτονικά ή κλιματικά αίτια (Burbank and Anderson, 2001).

Στη γεώτρηση Γουρνολίβαδα υπάρχουν εναλλαγές κροκάλων και αργίλου, σε μικρό βάθος. Τα διάφορα στρώματα φαίνεται να μην είναι συμπιεσμένα σε μεγάλο βαθμό, για αυτό άλλωστε το αντλειτικό συγκρότημα των γεωτρήσεων έχει τοποθετηθεί σε βάθος 50m (φύλλο τομής γεώτρησης από Διεύθυνση Εγγείων Βελτιώσεων της Λαμίας). Η θέση της γεώτρησης αυτής στη περιφέρεια του ριπιδίου οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η προέλευση των εναλλαγών των υλικών πιθανό να οφείλεται στα υλικά τόσο του ριπιδίου του Ινάχου ποταμού, όσο της κοίτης του Σπερχειού ποταμού.

Συμπερασματικά, οι γεωτρήσεις που μελετήθηκαν και βρίσκονται στην περιοχή του ριπιδίου του Ίναχου ποταμού, μπορούν να προσδιορίσουν την ένταση της μεταφορικής ικανότητας του ποταμού κατά το παρελθόν και συνεπώς τις μεταβολές της. Η γεώτρηση που βρίσκεται στην έξοδο του ποταμού από το ορεινό τμήμα (γεώτρηση Πυροστέϊκα) και κόβει όλα τα υλικά του ριπιδίου μέχρι το υπόβαθρο, δείχνει ότι το βασικό επίπεδο μεταβλήθηκε αρκετές φορές. Όσο η απόσταση των γεωτρήσεων απομακρύνεται από την κορυφή του ριπιδίου, τόσο η σύσταση των στρωμάτων επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως δημιουργία νέων κοιτών ή πλημμυρικά φαινόμενα του Ίναχου ή του Σπερχειού.

Με σκοπό να ποσοτικοποιηθεί ο ιζηματολογικός χαρακτήρας του ριπιδίου υπολογίστηκαν το σχήμα (σφαιρικότητα) και η μορφή (στρογγυλότητα) των κροκάλων σύμφωνα με τη μέθοδο που προτείνουν οι Gailleux, Sneed και Folk(από Ψιλοβίκο, 1984). Ο υπολογισμός των παραμέτρων έγινε σε τρία δείγματα που πάρθηκαν μέσα από την κοίτη του ποταμού, στην περιοχή του ριπιδίου. Οι θέσεις

116

δειγματοληψίας φαίνονται στον χάρτη του σχήματος 72. Οι μετρήσεις έγιναν στο ύπαιθρο και παρουσιάζονται στο Παράρτημα (πίνακες 19 και 20).



Σχήμα 72: Θέσεις δειγματοληψίας κροκάλων στο ριπίδιο του Ίναχου ποταμού.

Αφού υπολογίστηκαν οι παράμετροι : $\frac{a}{c}$, $\frac{a-b}{a-c}$ και $\sqrt[3]{\frac{c^2}{ab}}$ για κάθε κροκάλα

του δείγματος (a είναι ο μεγάλος άξονας της κροκάλας, b είναι ο μεσαίος άξονας της κροκάλας και c είναι ο μικρός άξονας της κροκάλας) τοποθετήθηκαν αυτοί στο τριγωνικό διάγραμμα σφαιρικότητας κροκάλων, Sneed και Folk, 1958. Έτσι προσδιορίστηκε το σχήμα (πλατυσμένο, λεπιδοειδές, επίμηκες, σφαιρικό) και η ταχύτητα καθίζησης που έχει η κροκάλα μέσα σε ένα υγρό μέσο σε σχέση με μια σφαίρα ίσου όγκου και ειδικού βάρους με την κροκάλα. Στο σχήμα 73 απεικονίζεται το τριγωνικό διάγραμμα που προέκυψε, που σύμφωνα με τον Ψιλοβίκο, 1984, επιβεβαιώνεται η χερσοποτάμια προέλευση των κροκάλων που έχουν μεικτά σχήματα με τάση προς τα σφαιρικά.



Σχήμα 73: Τριγωνικό διάγραμμα σφαιρικότητας κροκάλων Sneed και Folk, 1958. Η τοποθέτηση των δειγμάτων δείχνει το χερσοποτάμιο χαρακτήρα των υλικών.

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση του δείκτη στρογγυλότητας των κροκάλων είναι αυτή του Gailleux που βασίζεται στον τύπο : $P = \frac{2r_1}{L}$, όπου P είναι ο δείκτης στρογγυλότητας, r₁ είναι η ακτίνα καμπυλότητας της μικρότερης γωνίας της κροκάλας και L είναι ο μεγάλος άξονας της κροκάλας. Αφού υπολογίστηκε ο δείκτης κυκλικότητας P και στοιχεία όπως P% και το P σε τάξεις (Παράρτημα, πίνακας 20) κατασκευάστηκε η καμπύλη συχνότητας προκύπτει από το ιστόγραμμα που κατασκευάζεται με βάση τις τιμές P% και την ένωση των μέσων τιμών κάθε εκατοντάδας. Έτσι λοιπόν, για το δείγμα 1 η στρογγυλότητα είναι 300, για το δείγμα 2 είναι 350 και για το δείγμα 3 είναι 250.



Σχήμα 74: Ιστόγραμμα καμπύλη συχνότητας του δείκτη στρογγυλότητας για κάθε ένα από τα δείγμα κροκάλων του ριπιδίου του Ίναχου ποταμού

5.2.3 Ταξινόμηση και εξέλιξη του ριπιδίου

Στο παρελθόν έχουν γίνει πολλές προσπάθειες να ταξινομηθούν οι διάφορες ποτάμιες αποθέσεις, κυρίως οι δελταϊκές στο χώρο της Ελλάδας. Οι Ψιλοβίκος και Χαχαμίδου, 1987, προτείνει έναν τρόπο ταξινόμησης και σχετικής χρονολόγησης των δέλτα μεγάλων ποταμών σύμφωνα με το μέγεθος της λεκάνης απορροής, την έκταση των αποθέσεων και το μήκος του κύριου κλάδου του ποταμού. Το μέγεθος τόσο της λεκάνης απορροής και του κύριου κλάδου, όσο και η έκταση του αλλουβιακού ριπιδίου καθιστά των Ίναχο ποταμό συγκρίσιμο με τα υπόλοιπα ποτάμια της Ελλάδας.

Στον πίνακα 12 υπάρχουν τα μορφομετρικά στοιχεία των Ελληνικών Ολοκαινικών δέλτα, όπως τα κατέγραψαν οι Ψιλοβίκος και Χαχαμίδου, (1987). Στα διαγράμματα A και B, του σχήματος 75, απεικονίζεται η σχέση μεταξύ έκτασης των Ολοκαινικών δέλτα και του μήκους των κύριων κλάδων των ποταμών καθώς και η σχέση μεταξύ έκτασης των δέλτα και των λεκανών απορροής που τα τροφοδοτούν αντιστοίχως (μπλε κουκίδες). Η θέση που καταλαμβάνει ο Ίναχος ποταμός της Φθιώτιδας στα διαγράμματα A και B σημειώνεται με κόκκινη κουκίδα. Παρατηρείται ικανοποιητική ταύτιση των στοιχείων του Ίναχου ποταμού σε σχέση με τα υπόλοιπα Ολοκαινικά δέλτα της Ελλάδας.

Δέλτα ποταμών	$E_{\Delta} (km^2)$	$A_u(km^2)$	L (km)
Έβρος	188	52500	410
Φιλιούρης	58	1941	70
Κομψάτος	150	700	63
Ξανιώτικος	212	325	51
Νέστος	434	10760	215
Γαλλικός	80	911	60
Αξιός	393	23750	275
Αλιάκμωνας	10	8362	240
Πηνειός Θεσ.	69	16125	175
Σπερχειός	196	3700	70
Ασωπός Βοιοτ.	7	796	60
Βαθύ Αυλίδας	9	81	19
Λήλας Ευβ.	22	273	35
Χ. Ιστιαίας Ευβ.	41	309	25
Μόρνος	29	1090	65
Σελινούς	5	311	39
Βουραϊκός	7	228	40
Ασωπός Πελ.	21	524	53
Εύηνος	90	1086	81
Αχελώος	269	6718	210
Άραχθος	109	2500	115
Λούρος	244	3831	75
Βουβός	13	181	25
Αχέροντας	16	491	35
Θύαμις (Καλαμάς)	78	1731	115
Πηνειός Πελ.	83	878	82
Αλφειός	113	3551	90
Νέδας	6	256	25
Πάμισσος	34	731	39
Ευρώτας	53	1800	85
Ίναχος Πελ.	49	446	35

Πίνακας 12: Μορφομετρικά γνωρίσματα των Ελληνικών ποταμών και δέλτα (Ψιλοβίκος και Χαχαμίδου, 1987)



Συμπερασματικά, από την μορφολογία του σύνθετου αλλουβιακού ριπιδίου του Ίναχου ποταμού μπορεί να θεωρηθεί ότι η σχέση απόθεσης- διάβρωσης για τον ποταμό διαταράχτηκε τουλάχιστον τρεις φορές κατά τον γεωλογικό χρόνο, αφού σε όλη την έκταση του ριπιδίου εντοπίζονται τμήματα με διαφορετική κλίση. Η διαταραχή αυτή οφείλεται στην ανυψωτική κίνηση που πραγματοποιήθηκε στο τέμαχος που διαρρέει ο ποταμός εξαιτίας της έντονης τεκτονικής. Πολύ πιθανή είναι η τεκτονική δραστηριότητα που επηρέασε τη μορφή του ριπιδίου να σχετίζεται με τη δράση του ρήγματος της κοιλάδας του Σπερχειού που περνάει κατά μήκος των προπόδων του βουνού από όπου ρέει ο Ίναχος ποταμός.

Γενικότερα, τόσο από τον τοπογραφικό χάρτη και την δορυφορική εικόνα, όσο και από τα υψομετρικά δεδομένα φαίνεται το ριπίδιο του Ιναχου ποταμού να επηρεάζει έντονα τη θέση και τη μορφή της κοίτης του Σπερχειού ποταμού. Το μεγάλης έκτασης (40km²) ριπίδιο που σχηματίζεται από τον Ιναχο ποταμό έχει μετατοπίσει την κοίτη του Σπερχειού ποταμού προς τα βόρεια. Επίσης, σημαντικό ρόλο στο γεγονός αυτό κατέχει και ο όγκος του ριπιδίου. Ο φλύσχης του υποβάθρου συναντάται σε βάθος 128m στη γεώτρηση Πυροστέικα. Οι συνεχείς μεταπτώσεις του βορείου τμήματος του ρήγματος του Σπερχειού, κατά τη διάρκεια του Ολόκαινου, που αναλογούν στις μεταβολές των υλικών όπως διαπιστώθηκε από τις γεωτρήσεις, συνέβαλε στην εκβάθυνση της λεκάνης απόθεσης των υλικών του ποταμού (ριπίδιο) και διατήρησε ένα υψηλό βαθμό ιζηματαπόθεσης με αποτέλεσμα ο όγκος τον υλικών να είναι αρκετά μεγάλος, μεγέθους 5,12km³. Σημαντικό είναι να συγκριθεί ο όγκος των υλικών του ριπιδίου με τον όγκο των υλικών που έχουν διαβρωθεί από την λεκάνη του Ίναχου ποταμού από το υψόμετρο των 1300m και κάτω. Ο όγκος αυτός υπολογίστηκε ίσος με 101km³, ενώ ο όγκος των υλικών που παγιδεύτηκαν μπροστά στην έξοδο του ποταμού και δημιούργησαν το μεγάλης έκτασης αλλουβιακό ριπίδιο είναι 5,12km³, όπως προαναφέρθηκε. Η μεγάλη διαφορά στην τιμή των δύο όγκων οφείλεται, αφενός στην απομάκρυνση μεγάλου μέρους των υλικών από τον Σπερχειό ποταμό, αφετέρου η παγιδευτική ικανότητα της λεκάνης που διαμορφώνεται από το κανονικό ρήγμα του Σπερχειού είναι κατά πολύ μεγαλύτερη και φιλοξενεί, συνολικά, υλικά μεγαλύτερου όγκου από αυτόν που έχει υπολογιστεί έπειτα από περαιτέρω μελέτη στην περιοχή, εφαρμογή γεωτρήσεων ή γεωφυσικών μεθόδων διασκόπησης.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ανάλυση ψηφιακών γεωγραφικών δεδομένων, με την ανάπτυξη των κατάλληλων μεθοδολογιών, μπορεί να δώσει ένα αξιόλογο εργαλείο, που σε συνδιασμό με την υπαίθρια έρευνα οδηγούν στην επίλυση γεωμορφολογικών θεμάτων. Για αυτό το σκοπό συλλέχθηκαν τα κατάλληλα δεδομένα, υψομετρικά, υδρογραφικά και γεωλογικά, που επεξεργάστηκαν με τις κατάλληλες μεθόδους βασισμένες σε διεθνείς μεθοδολογίες, ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα που συμφωνούν με τις υπαίθριες παρατηρήσεις. Οι μεθοδολογίες αυτές, που περιγράφηκαν παραπάνω, εφαρμόστηκαν στην υδρολογική λεκάνη του Ίναχου ποταμού και είχαν ως αποτέλεσμα την κατασκευή χαρτών και διαγραμμάτων που βοηθούν στην κατανόηση της γεωμορφολογικής εξέλιξης και ανάπτυξης της κοιλάδας του.

Αφενός η διαμόρφωση των επίπεδων τεκτονικών επιφανειών, που βρίσκονται στην κοιλάδα του Ίναχου, και αφετέρου η περιστροφή και η στρωματογραφία του αλλουβιακού ριπιδίου του ποταμού, δείχνουν την έντονη επιρροή της τεκτονικής στην εξέλιξη των γεωμορφών. Στο γεγονός αυτό συνηγορούν πολλά από τα δεδομένα που προέκυψαν, τόσο από την μορφομετρική ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου του Ίναχου ποταμού, όσο και από την ανάλυση των υψομετρικών δεδομένων.

Η ανάλυση και η συσχέτιση των μορφομετρικών παραμέτρων της λεκάνης του Ιναχου ποταμού, δηλαδή της υδρογραφικής πυκνότητας, της υδρογραφικής συχνότητας και της κυκλικότητας, έδειξε συγκεκριμένες περιοχές που η ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου έχει επηρεαστεί από την ύπαρξη γεωλογικών δομών, κυρίως τεκτονικών. Έτσι, τόσο στα κεντρικά-δυτικά της λεκάνης, όσο και στα δυτικά φαίνεται ότι υπάρχουν περιοχές που οι μορφομετρικές παράμετροι αποκτούν τιμές που οφείλονται στη γεωλογία της περιοχής. Με δεδομένο ότι η λεκάνη του Ιναχου ποταμού είναι λιθολογικά ομοιόμορφη, οι αυξημένες τιμές υδρογραφικής πυκνότητας, υδρογραφικής συχνότητας και κυκλικότητας πιθανόν να οφείλονται στη δράση της ρηγματογενούς τεκτονικής. Επίσης, χαρακτηριστικό για το υδρογραφικό δίκτυο του Ιναχου ποταμού είναι ότι η μεταβολή της υδρογραφικής πυκνότητας είναι ανεξάρτητη από τη μεταβολή της κυκλικότητας, δηλαδή το σχήμα των λεκανών είναι ανεξάρτητο από το πλήθος των κλάδων που βρίσκονται σε αυτές.

Η ανάλυση των μορφοτεκτονικών παραμέτρων απέδειξε ότι η τεκτονική δραστηριότητα στην κοιλάδα του Ίναχου ποταμού έχει επηρεάσει έντονα τη μορφή του ανάγλυφου. Βρέθηκε ότι συνολικά η λεκάνη απορροής του Ίναχου ποταμού έχει περιστραφεί προς βορειοανατολικά, γύρο από ένα βορειοδυτικό-νοτιοανατολικό άξονα που μπορεί να ταυτιστεί με τον άξονα ανάπτυξης της κοιλάδας του Σπερχειού ποταμού ή του ρήγματος που την διαμορφώνει. Επίσης, σε πολλές θέσεις μέσα στην έκταση της λεκάνης, κυρίως στα νοτιοδυτικά, οι υπολεκάνες έχουν υποστεί έντονη παραμόρφωση, αποτέλεσμα τεκτονικής περιστροφής. Η περιστροφή αυτή έχει διεύθυνση κυρίως ανατολική και έχει συμβεί γύρο από ένα άξονα βορρά-νότου, αποτέλεσμα παράλληλων κανονικών ρηγμάτων. Επιπρόσθετα, αποδείχτηκε η έντονη ανυψωτική κίνηση του βορείου πρανούς της κοιλάδας, αποτέλεσμα δράσης του κανονικού ρήγματος που τέμνει την λεκάνη παράλληλα με τον βόρειο κλάδο του ποταμού. Στο γεγονός αυτό συνηγορούν τόσο η ύπαρξη τριγωνικών μεσολεκανοδών περιοχών στο βόρειο πρανές, όσο και η τιμή της δαντέλωσης μπροστά στο πρανές αυτό.

Η ανάλυση του αζιμουθίου των ρεμάτων έδειξε την επιλεκτική ανάπτυξή του σε δυο, κυρίως, διευθύνσεις μια βορειοανατολική-νοτιοδυτική και μια βορειοβορειοδυτική-νοτιονοτιοανατολική. Το γεγονός ότι τα ρέματα αναπτύσσονται διαφορετικά από την ομαλή δενδριτική μορφή αποδείχτηκε με τη βοήθεια στατιστικού ελέγχου.

Η επεξεργασία μονομεταβλητών μορφολογικών ψηφιακών δεδομένων, δηλαδή των υψομέτρων, των κλίσεων, των προσανατολισμών και του τοπογραφικού δείκτη, έδειξε ότι η λεκάνη απορροής του Ίναχου ποταμού βρίσκεται σε ορεινό ανάγλυφο, ενώ η μέση κλίση των πρανών βοηθάει τις έντονες διαβρωτικές διεργασίες. Η κύρια διεύθυνση προσανατολισμού των πρανών είναι η βορειοανατολική-νοτιοδυτική, ενώ χαρακτηριστικό είναι η περιορισμένη ανάπτυξη κοιλάδων με διεύθυνση ανατολής-δύσης. Χαρακτηριστική είναι, άλλωστε, η τοποθέτηση γειτονικών εικονοστοιχείων, με έντονες διαφορές στις τιμές υψόμετρου και κλίσης, ώστε να μπορούν να αναγνωριστούν γραμμώσεις που ανταποκρίνονται σε πρανή που προήλθαν από τη δράση ρηγμάτων.

Σε δεύτερη φάση αναλύθηκαν διμεταβλητά μορφολογικά ψηφιακά δεδομένα. Η σύγκριση και η συσχέτιση δυο διαφορετικών μεταβλητών, ταυτόχρονα, έδειξε την έντονη επιρροή των γραμμώσεων-ρηγμάτων στην ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου. Σε πολλές περιπτώσεις εντοπίστηκαν φαινόμενα πειρατείας κλάδων, ενώ αποδείχτηκε ότι η κύρια διεύθυνση ανάπτυξης των ρεμάτων ταιριάζει με την κύρια διεύθυνση ανάπτυξης των γραμμώσεων-ρηγμάτων. Επίσης, χαρακτηριστική είναι η αρνητική συσχέτιση της υδρογραφικής συχνότητας με την μέση κλίση πρανών των υπολεκάνων της λεκάνης απορροής του Ιναχου ποταμού, αποτέλεσμα των έντονων διαβρωτικών διεργασιών. Τέλος, κατασκευάστηκε ο χάρτης συσχέτισης μέγιστης παρατηρούμενης κλίσης και μέγιστου παρατηρούμενου προσανατολισμού πρανών. Ο χάρτης αυτός αποκάλυψε γραμμώσεις που τόσο από βιβλιογραφικές αναφορές, όσο και από υπαίθριες παρατηρήσεις και παρατηρήσεις γεωλογικών χαρτών μπορούν να ταυτιστούν με διευθύνσεις ρηγμάτων.

Η υψομετρική ανάλυση και η υψομετρική καμπύλη της λεκάνης του Ίναχου ποταμού απέδειξε ότι βρίσκεται στο στάδιο ωριμότητας του Κύκλου Απογύμνωσης. Η χωρική κατανομή του υψομετρικού ολοκληρώματος, στα όρια της λεκάνης, οδήγησε στο συμπέρασμα ότι υπάρχουν συγκεκριμένες θέσεις μέσα στη λεκάνη με αρκετά αυξημένη ή αρκετά μειωμένη τιμή. Οι θέσεις αυτές ταιριάζουν με θέσεις ρηγμάτων ή επίπεδων επιφανειών, αντιστοίχως.

Η εξέταση των επίπεδων τεκτονικών επιφανειών και των αναβαθμίδων έδειξε ότι το ισοζύγιο μεταξύ διάβρωσης και απόθεσης μεταβλήθηκε αρκετές φορές, από το τέλος του Πλειόκαινου ως σήμερα. Οι μεταβολές αυτές οφείλονται, πιθανότατα, σε τεκτονικά αίτια, αφού οι τέσσερις επίπεδες επιφάνειες που διαπιστώνονται στην κοιλάδα του Ίναχου ποταμού φαίνεται να έχουν τεκτονικά αίτια γένεσης. Άλλωστε, σε κάποιες περιπτώσει τοπικοί λόγοι επέβαλαν τη μεταβολή του βασικού επιπέδου, που ταιριάζουν με την επαναδραστηριοποίηση κάποιου από τα πολλά ρήγματα που βρίσκονται μέσα στα όρια της λεκάνης του Ίναχου ποταμού. Η γεωμορφολογία των επιφανειών αυτών ελέγχεται τόσο με τη βοήθεια των ψηφιακών υψομετρικών δεδομένων, όσο και από υπαίθριες παρατηρήσεις. Από την ανώτερη τεκτονική επιφάνεια που εντοπίστηκε έχουν διαβρωθεί και απομακρυνθεί 101km³ υλικών. Η μεγάλη αυτή τιμή αντανακλά τις έντονες διαβρωτικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στην κοιλάδα του Ίναχου ποταμού και οφείλονται στην ανύψωσή της.

Τέλος, σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη της κοιλάδας του Ίναχου ποταμού διαδραμάτισε το αλλουβιακό ριπίδιο που βρίσκεται στους πρόποδες του βουνού. Η μορφολογία και η στρωματογραφία του φανερώνουν την έντονη δράση της τεκτονικής και το κατατάσσουν στους Ολοκαινικούς αποθετικούς σχηματισμούς. Η

ανύψωση που υφίσταται στους πρόποδες του βουνού και συνεπώς στην υδρολογική λεκάνη του Ιναχου ποταμού είναι αποτυπωμένη στη μορφή του ριπιδίου, αφού η διάβρωσή του είναι περιορισμένη. Άλλωστε, η τεκτονική δράση φαίνεται από την περιστροφή που έχουν υποστεί οι σχηματισμοί του ριπιδίου. Τέλος, από την μελέτη των στρωματογραφικών στοιχείων είναι χαρακτηριστική η πλήρωση λεκάνης 128m βάθους από τα υλικά του ποταμού, όγκου πολύ μεγαλύτερου από 5,78km³. Οι εναλλαγές λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων υλικών, φανερώνουν ότι οι διεργασίες απόθεσης φερτών υλών του ποταμού διαφοροποιήθηκαν από την έντονη δράση της τεκτονικής. Η λεκάνη που φιλοξενεί τα υλικά του ριπιδίου πρέπει να είναι πολύ μεγαλύτερη αφού αφενός το ρήγμα του Σπερχειού την βυθίζει συνεχώς, αφετέρου πρέπει να φιλοξενεί ένα μέρος των υλικών που απομακρύνθηκαν από τη λεκάνη του Γναχου ποταμού, όγκου 101km³.

7. Βιβλιογραφία

7.1 Διεθνή βιβλιογραφία

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

Broscoe, A., (1959). Quantitative analysis of longitudinal stream profiles of small watersheds. *Techn. Report, No 18, Office of Naval Research, Geogr. Branch*, Depart. Of Geology, Columbia University, New York

Bull, W.B., (1977). Tectonic geomorphology of the Mojave Desert. U.S. Geological Survey Contract Report 14-08-001-G-394. Menlo Park, CA: Office of Earthquakes, Volcanoes, and Engineering

Burbank, D.W. and Anderson, R.S. (2001). Tectonic Geomorphology. *Blackwell Science*.

- Demek, J. (1972). Manual of detailed geomorphological mapping. *Academia, Prague,* pp. 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, pp.97-116
- Dikau, R. (1989). The application of a digital relief model to landform analysis. *Taylor and Francis, London*, pp. 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 rangefront escarpments in Attica, central Greece, and its relation to fault slip rates. *Geomorphology*, 65: 301-319.
- 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.
- Hickey, R., Smith, A., Jankowski, P. (1994). Slope length calculations from a DEM within Arc/Info GRID. *Computing, Environment and Urban Systems*, 18(5): 365-380.

- Horton, R.E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basin: an hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*, 56: 275-370.
- Howard, A.D. (1997). Badland morphology and evolution: interpretation using a simulation model. *Earth surface processes and landforms*, 22: 211-227.
- Jordan, G. (2003). Morphometric analysis and tectonic interpretation of digital terrain data: a case study. *Earth surface processes and landforms*, 28: 807-822.
- Keller, E.A. and Pinter N. (2002). Active tectonics: Earthquakes, uplift, and landscape. 2nd Ed. Prentice Hall Inc., New Jersey
- Kienzle, S.W. (2004). The Effect of Grid Cell Size on Major Terrain Derivatives. *WDCAG 2005, The Canadian association of geographers.*
- Lin, Z. and Oguchi, T. (2004). Drainage density, slope angle, and relative basin position in Japanese bare lands from high-resolution DEMs. *Geomorphology*, 63:159–173.
- Likoudi, 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. Proceeding of the 10th International Congress, Thessaloniki, April 2004.*
- 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.
- Moisselin, J.M., Schneider, M., Canellas, C., Mestre, O. (2002). Les changements climatiques en France au XXe siècle Étude des longues séries homogénéisées de données de température et de précipitations. *La Météorologie*, 38: 45-56.
- 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.
- 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.
- 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.
- Schumm, S.A. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geological Society of America Bulletin*, 67: 597-646.

- Shanoltz, V.O., Desai, C.J., Zhang, N., Kleene, J.W., Metz, C.D. (1990). Hydrological/Water quality modeling in a GIS environment. *ASAE Paper 90-3033*, St Joseph, MI: ASAE.
- Strahler, A.N. (1952) Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Bulletin Geolog. Societ. Americ.*, 63: 1117-1142.
- Strahler, A.N. (1957) Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions, American Geophysical Union*, 38 (6): 913-920.
- Strahler, A.N. (1964) Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In CHOW, V. T., (Ed.) *Handbook of Applied Hydrology, Section* 14:54, New York.
- Vertical Mapper Spatial analysis and display software. Tutorial (2001) Northwood Technologies Inc. and Marconi Mobile Limited Canada.
- Zaprowski, B.J., Evenson, E.B. and Epstein, J.B. (2002) Stream piracy in the Black Hills: A geomorphology lab exercise. *Journal of Geoscience Education*, 50, (4): 380-388.

7.2 Ελληνική βιβλιογραφία

- Αστάρας, 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.
- Αστάρας, Θ.Α. (1980). Μια «σύλληψη» μεταξύ των παραποτάμων του Γαλλικού ποταμού «Μεγάλο ποτάμι» και «Ξηροπόταμος» γεωμορφολογική σημασία των συλλήψεων στη μελέτη των προσχωματικών πεδίων και γενικά στην εξέλιξη του ανάγλυφου μιας περιοχής. Annales geologiques des pays Helleniques, 1^{er} serie, T. XXX/2-1980.
- Βαβλιάκης, Ε. (1981). Μελέτη των επιφανειών διάβρωσης, καρστικών, παγετωδών και περιπαγετωδών μορφών του όρους Μενοικίου στην Ανατ. Μακεδονία, από γεωμορφολογικής και μορφογενετικής πλευράς. Διδακτορική Διατριβή, Α.Π.Θ.
- Βουβαλίδης, Κ., Σφέικος, Α., Παράσχου, Θ., Κεχαγιά, Χ., Ψωμιάδης, Δ., (2005). Η επίδραση της γεωλογίας και της τεκτονικής στην εξέλιξη του υδρογραφικού δικτύου και της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Πάμισου της Θεσσαλίας. (υπό δημοσίευση).
- Βουβαλίδης, Κ., Αλμπανάκης, Κ., (2004). Δημιουργία γεωμετρικά διορθωμένου σε ΕΓΣΑ 87 φωτομωσαϊκού του Ελληνικού χώρου από το GEOSETTM του LANDSAT7/ETM της NASA. Πρακτικά 14^{ης} Συνάντησης Ελλήνων Χρηστών ARCGIS, Αθήνα.

- Βουβαλίδης, Κ. (2004). Μαθήματα φυσικής γεωγραφίας. Τμήμα εκδόσεων, Πανεπιστημιακό τυπογραφείο, Θεσσαλονίκη
- Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (Γ.Υ.Σ.), Τοπογραφικοί χάρτες, Φύλλο Λαμία, Σπερχιάδα, Καρπενίσιον και Λιδορίκιον (κλίμακα 1:50.000)
- Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.), Γεωλογικοί χάρτες, Φύλλο Λαμία, Σπερχιάδα, Καρπενίσιον και Λιδορίκιον (κλίμακα 1:50.000)
- Καρύμπαλλης, Ε., Κοντής, Ε., Ζούρος, Ν. (2004). Ποσοτικές γεωμορφολογικές παρατηρήσεις στη λεκάνη απορροής του χειμάρρου Τσικνιά (Κεντρική Λέσβος). 7° Πανελλήνιο συνέδριο της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας, Μυτιλήνη.
- Καρύμπαλλης, Ε. (1999). Γεωμοφολογική μελέτη του υδρογραφικού δικτύου του Εύηνου ποταμού. Ελληνική Γεωγραφική Εταιρία, Πρακτικά 5^{ου} Πανελλήνιου Γεωγραφικού Συνεδρίου, Αθήνα, 1999.

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

- Κολύβα-Μαχαίρα, Φ., Μπόρα-Σέντα, Ε. (1999). Στατιστική, θεωρία, εφαρμογές. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Κούλας, Ν. (2004). Φυσικό περιβάλλον και στοιχεία διαχείρισης του χειμάρρου Ολυνθίου της Χαλκιδικής. Διατριβή ειδίκευσης, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Μουντράκης, Δ. (1985). Γεωλογία της Ελλάδος. University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- Μπαλαφούτης, Χ.Ι. (1999). Γενική κλιματολογία. Τμήμα εκδόσεων, Πανεπιστημιακό τυπογραφείο, Θεσσαλονίκη.
- Σωτηριάδης, Λ., Ψιλοβίκος, Α. (1984). Ασκήσεις γεωμορφολογίας. Α.Π.Θ. Υπηρεσία Δημοσιευμάτων, Θεσσαλονίκη.
- Τσάντας, Ν., Μωυσιάδης, Χ., Μπαγιάτης, Ν., Χατζηπαντελής, Θ. (1999). Ανάλυση δεδομένων με τη βοήθεια στατιστικών πακέτων. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Υπουργείο Εθνικής Άμυνας, Γενικό Επιτελείο Αεροπορίας, Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, Διεύθυνση Κλιματολογίας. Κλιματικά στοιχεία του Ελληνικού δικτύου (περίοδος 1930-1975), Αθήνα, 1978.
- Φουρνιάδης, Ι. (2002). Γεωμορφολογική και περιβαλλοντική εξέλιξη της κοιλάδας του Ανθεμούντα, με τη χρήση μεθόδων GIS και τηλεπισκόπισης. Διατριβή ειδίκευσης, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Ψιλοβίκος, Α. (1981). Γεωμορφολογικές, μορφοτεκτονικές, τεκτονικές, ιζηματολογικές και κλιματικές διεργασίες που οδήγησαν στον σχηματισμό και στην εξέλιξη σύνθετων αλλουβιακών ριπιδίων στον Όλυμπο. Τμήμα εκδόσεων, Πανεπιστημιακό τυπογραφείο, Θεσσαλονίκη.

- Ψιλοβίκος, Α. (1984). Στοιχεί εφαρμοσμένης ιζηματολογίας. Τμήμα εκδόσεων, Πανεπιστημιακό τυπογραφείο, Θεσσαλονίκη.
- Ψιλοβίκος, Α., Χαχαμίδου, Ε. (1987). Συμβολή στην έρευνα των Ολοκαινικών Ελληνικών δέλτα. 2° Πανελλήνιο Συμπόσιο Ωκεανογραφίας Ιχθιολογίας, Αθήνα.

7.3 Ηλεκτρονικές διευθύνσεις

http://www.oreivatein.com/page/mountains/m_o/oiti/oiti.html

http://www.sikyon.com/Argos/history_gr.html

https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/

Παράρτημα

$1^{\circ\varsigma}$ και $2^{\circ\varsigma}$ νόμος του Horton για τις υπολεκάνες $3^{\eta\varsigma}$, $4^{\eta\varsigma}$, $5^{\eta\varsigma}$ και $6^{\eta\varsigma}$ τάξης της λεκάνης απορροής του Ιναχου ποταμού.

Για την ανάλυση των μορφομετρικών παραμέτρων του υδρογραφικού δικτύου χρησιμοποιήθηκαν ο πρώτος και ο δεύτερος νόμος του Horton, όπως ορίζονται παρακάτω (Horton, 1945, από Βουβαλίδη, 2004). Ο Νόμος του αριθμού των κλάδων (1^{ος} νόμος Horton) του ορίζει ότι ο αριθμός των διαδοχικώς μικρότερων τάξεων κλάδων ενός υδρογραφικού δικτύου, τείνει να σχηματίσει μια αύξουσα γεωμετρική ακολουθία, της οποίας πρώτος όρος είναι η μονάδα (ο απλός κλάδος της μεγαλύτερης τάξης) και λόγος, ο λόγος διακλάδωσης Rb. Ο πρώτος Νόμος του Horton εκφράζεται από τη σχέση $N_u = Rb^{(k-u)}$. Ο λόγος διακλάδωσης δίνεται από τη σχέση $Rb = N_u/N_{(u+1)}$, όπου N_u ο αριθμός των κλάδων **u** τάξης, **K** η μέγιστη τάξη, **u** η ζητούμενη τάξη και **Rb** ο λόγος διακλάδωσης.

Ο Νόμος του μήκος των κλάδων (2°ς νόμος Horton τροποποιημένος από τον Brescae, 1959, από Αστάρα, 1980) ορίζει ότι τα αθροιστικά μήκη των διαδοχικώς μεγαλύτερων τάξεων κλάδων ενός υδρογραφικού δικτύου, τείνουν να σχηματίσουν μια αύξουσα γεωμετρική ακολουθία, της οποίας πρώτος όρος είναι το μέσο μήκος των κλάδων 1^{ης} τάξης και λόγος, ο λόγος του μήκους **R**_L. Ο Νόμος του μήκος των κλάδων εκφράζεται από τη σχέση $\Sigma L_u = L_1 R_L^{(u-1)}$. Ο λόγος του μήκους δίνεται από τη σχέση **R**_L = $\Sigma L_u / \Sigma L_{(u-1)}$, όπου Lu το μέσο μήκος των κλάδων **u** τάξης, L₁ το μέσο μήκος του κλάδου 1^{ης} τάξης, **u** η ζητούμενη τάξη και **R**_L ο λόγος του μήκους.

Παρακάτω παρατίθενται ενδεικτικά τα διαγράμματα της ανάλυσης του υδρογραφικού δικτύου σύμφωνα με τον Νόμος του μήκος των κλάδων.





Σχήμα 76: Διαγράμματα του 2^{ov} νόμου του Horton για τις υπολεκάνες $6^{η_{\varsigma}}$ τάξης.




Σχήμα 77: Διαγράμματα του 2^{ου} νόμου του Horton για τις υπολεκάνες $5^{η_{\rm S}}$ τάξης.









Σχήμα 78: Διαγράμματα του 2^{ov} νόμου του Horton για τις υπολεκάνες $4^{η\varsigma}$ τάξης.

Εφαρμογή της στατιστικής μεθόδου X^2 σαν τεστ προσαρμογής με την παράθεση παραδείγματος για τα ρέματα 1^{η_5} τάξης της λεκάνης του Ιναχου ποταμού

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 (Αστάρας, 1980). Η στατιστική μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι η δοκιμασία X² σαν τεστ προσαρμογής. Η μέθοδος αυτή αναφέρεται σε κατηγορικά δεδομένα, δηλαδή παρατηρήσεις χωρισμένες σε κ κατηγορίες, ενώ οι μετρήσεις που προκύπτουν είναι οι συχνότητα της κάθε κατηγορίας. Ο χωρισμός των δεδομένων σε κατηγορίες γίνεται ως προς ένα ποιοτικό χαρακτηριστικό.

Το είδος των τεστ που περιγράφεται ασχολείται με κατηγορικά δεδομένα..Ειδικότερα αναφέρεται σε πολυωνυμικά πειράματα με κ δυνατά αποτελέσματα. Το ενδιαφέρον εστιάζεται στον έλεγχο των πιθανοτήτων p₁, p₂, ... p_κ όπου p_i η πιθανότητα της i – κατηγορίας. Το στατιστικό που χρησιμοποιείται σε αυτούς τους ελέγχους προσεγγίζει την κατανομή X^2 . Γενικότερα, γίνεται αναφορά σε «πολυωνυμικές δόκιμες», δηλαδή ανεξάρτητες δοκιμές (πλήθους n) με κ δυνατά αποτελέσματα σε κάθε δοκιμή. Με p_i i= 1,, κ συμβολίζεται η πιθανότητα της i – κατηγορίας, ($\sum^{\kappa} p_i = 1$ και η πιθανότητα p_i παραμένει η ίδια σε όλες τις δοκιμές). Με n_i συμβολίζεται η συχνότητα της i- κατηγορίας και το άθροισμα \sum^{κ} n_i θα πρέπει να είναι ίσο με n. Οι n₁, n₂,, n_κ είναι τυχαίες μεταβλητές που ακολουθούν πολυωνυμική κατανομή με παραμέτρους n, p₁, p₂, ... p_κ. Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι η αναλογία p_i = n_i / n είναι καλός εκτιμητής της πιθανότητας p_i της διωνυμικής κατανομής B(n, p_i).

Συγκεκριμένα, το τεστ που χρησιμοποιήθηκε και ελέγχει αν κάποια δεδομένα προσαρμόζονται σε κάποια θεωρητική κατανομή είναι το τεστ X² καλής προσαρμογής.

Η μηδενική υπόθεση που ελέγχει τις πιθανότητες των κατηγοριών είναι της μορφής : H_0 : $p_1 = p_{10}$, $p_2 = p_{20}$, ..., $p_{\kappa} = p_{\kappa 0}$, όπου p_{i0} δοσμένες πιθανότητες, τέτοιες ώστε $p_{10} + p_{20} + \ldots + p_{\kappa 0} = 1$, ενώ η εναλλακτική υπόθεση είναι H_1 : $p_i \neq p_{i0}$ για κάποιο i.

Στο σημείο αυτό πρέπει να οριστεί ότι παρατηρούμενο μέγεθος είναι η παρατηρούμενη συχνότητα n_i της i- κατηγορίας ενώ η αντίστοιχη αναμενόμενη

συχνότητα, ονομάζεται θεωρητικό μέγεθος θ_i . Η αναμενόμενη συχνότητα της iκατηγορίας υπολογίζεται $E(n_i) = np_i = \theta_i$.

Μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ παρατηρούμενης και θεωρητικής συχνότητας για τις i- κατηγορίες, i= 1, 2,, κ, υποδηλώνουν ότι η H₀ δεν είναι σωστή. Ένα στατιστικό που ελέγχει τις αποκλίσεις είναι το «σταθμισμένο άθροισμα τετράγωνων των αποκλίσεων» που δίνεται από τον τύπο $X^2 = \sum^{\kappa} (n_i - \theta_i) / \theta_i$.

Το παραπάνω στατιστικό, αποδεικνύεται ότι για $\theta_i \ge 5 i= 1, 2, ..., \kappa$ ακολουθεί την κατανομή X^2 με κ-1 βαθμούς ελευθερίας. Οι βαθμοί ελευθερίας είναι κ-1 γιατί οι μεταβλητές $n_1, n_2, ..., n_{\kappa}$ πληρούν τη συνθήκη $\sum^{\kappa} n_i = n$. Έτσι, αν είναι γνωστές οποιεσδήποτε κ-1, μπορεί να υπολογιστεί η κ-οστή. Το τεστ X^2 καλής προσαρμογής συνοψίζεται στον πίνακα 8 (Κολυβα-Μαχαίρα, 1999).

Πίνακας 8. Τεστ X^2 καλής προσαρμογής (Κολυβα-Μαχαίρα, 1999)

Τύπος	$X^{2} = \sum^{\kappa} (n_{i} - \theta_{i}) / \theta_{i}.$
νπόθεση	$H_0: p_i = p_{i0}$ για κάποιο i.
1 //00001	$H_1: p_i \neq p_{i0}$ για κάποιο i.

Για την καλύτερη επεξήγηση της παραπάνω μεθοδολογίας παρατίθεται ένα παράδειγμα της εφαρμογής του X^2 τεστ καλής προσαρμογής, για τα ρέματα 1^{ης} τάξης της λεκάνης του Ίναχου ποταμού (7^{ης} τάξης κατά Strahler). Υπολογίστηκε το αζιμούθιο των ρεμάτων 1^{ης} τάξης (πλήθος n= 2328 ρέματα) και χωρίστηκε σε 16 κατηγορίες (κ= 8), όπως φαίνεται στον πίνακα 13. Μετρήθηκε η n_i παρατηρούμενη συχνότητα της κάθε i- κατηγορίας και υπολογίστηκε η θ_i θεωρητική συχνότητα της κάθε i- κατηγορίας. Η θ_i για όλες τις i- κατηγορίες ισούται με θ_i= 291. Η μηδενική υπόθεση H₀ που ελέγχθηκε, ορίστηκε «για την μη ύπαρξη σημαντικών διαφορών, με a= 0,05, μεταξύ των παρατηρούμενων συχνοτήτων n_i των ρεμάτων 1^{ης} τάξης του υδρογραφικού δικτύου και των θεωρητικών συχνοτήτων θ_i του ιδανικού, δενδριτικού τύπου, υδρογραφικού δικτύου» (Αστάρας, 1980). Η υπόθεση H₀ ελέγχθηκε συγκρίνοντας την τιμή του X² (πίνακας 13), όπως υπολογίστηκε για τις παρατηρούμενες τιμές ni με την θεωρητική τιμή $X^2_{15,0.05}$ που υπολογίζεται από τον αντίστοιχο πίνακα, για κ-1= 7 βαθμούς ελευθερίας και a= 0,05 διάστημα εμπιστοσύνης.

DN	BBA-	BA-	ABA-	Α-Δ	ANA-	NA-	NNA-
B-N	NNΔ	NΔ	$\Delta N\Delta$		$\Delta N\Delta$	ВΔ	BBΔ
228	227	282	351	341	295	318	286
220	221	202	551	511	275	510	200
291	291	291	291	291	291	291	291
271	291	291	291	291	291	291	291
-63	-64	-9	60	50	4	27	-5
	B-N 228 291 -63	B-N BBA- NNΔ 228 227 291 291 -63 -64	BBA- BA- NNΔ NΔ 228 227 282 291 291 291 -63 -64 -9	B-N BBA- NNΔ BA- NΔ ABA- ΔNΔ 228 227 282 351 291 291 291 291 -63 -64 -9 60	B-N $BBA-$ $NN\Delta$ $BA-$ $N\Delta$ $ABA-$ $\Delta N\Delta$ $A-\Delta$ 228227282351341291291291291291-63-64-96050	B-N BBA- NNA BA- NA ABA- $\Delta N\Delta$ A-A $\Delta N\Delta$ ANA- $\Delta N\Delta$ 228 227 282 351 341 295 291 291 291 291 291 291 -63 -64 -9 60 50 4	B-N BBA- NNA BA- NA ABA- ΔNA A-A ΔNA ANA- ΔNA NA- BA 228 227 282 351 341 295 318 291 291 291 291 291 291 291 291 -63 -64 -9 60 50 4 27

Πίνακας 13. Αζιμούθια ρεμάτων $1^{\eta\varsigma}$ τάξης της λεκάνης του Ιναχου ποταμού που χρησιμοποιήθηκαν για το τεστ X^2 προσαρμογής

Το X^2 υπολογίστηκε X^2 = 51,60137, ενώ από τον πίνακα των $X^2_{\kappa-1,a}$ βρέθηκε ότι $X^2_{15,0.05}$ = 14,0671.

Παρατηρείται ότι $X^2 = 190,0619 > X^2_{15,0.05} = 14,0671$, συνεπώς απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση H₀ και συμπεραίνεται ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των παρατηρούμενων συχνοτήτων n_i των ρεμάτων 1^{ης} τάξης του υδρογραφικού δικτύου και των θεωρητικών συχνοτήτων θ_i του ιδανικού, δενδριτικού τύπου, υδρογραφικού δικτύου.

Θεωρητική περιγραφή και ανάλυση των τριών κύριων μεθόδων κατασκευής του χάρτη κλίσεων ως πρώτη παράγωγος των υψομέτρων

Μέθοδος γειτνίασης (neighborhood method) (Dunn and Hickey, 1998)

Αυτή η τεχνική χρησιμοποιεί ένα πλαίσιο τρία επί τρία για όλο το ψηφιακό μοντέλο υψομέτρων (DEM) ώστε να προβλέψει την κλίση για το κεντρικό κελί από τα οχτώ γειτονικά του. Η εξίσωση για την κλίση του κεντρικού κελιού (ποσοστό κλίσης) είναι :

$$S = (\sqrt{(S_{e-w}^2 + S_{n-s}^2)}) \times 100$$

H kligh anatolýc- dúský dínetai apó :
$$S_{e-w} = \frac{(z_3 + 2z_4 + z_5) - (z_1 + 2z_8 + z_7)}{4 \times 2 \times d}$$

H kligh borá-nótou dínetai apó :
$$S_{n-s} = \frac{(z_1 + 2z_2 + z_3) - (z_7 + 2z_6 + z_5)}{4 \times 2 \times d}$$

Όπου S είναι η κλίση επί τις εκατό, z_1 μέχρι z_9 είναι το υψόμετρο των κελιών 1 ως 9 και d είναι η ανάλυση του κάθε κελιού.

Η μέθοδος γειτνίαση δεν υπολογίζει το υψόμετρο στο κέντρο του τρία επί τρία πλαισίου, γεγονός που οδηγεί σε μη ακριβή εκτίμηση της κλίσης αν τα υψομετρικά δεδομένα έχουν κάποια μικρά εξάρματα ή κοιλότητες ή αν το πλαίσιο είναι κεντραρισμένο κατά μήκους κοιλάδας ή ράχης. Για αυτό το λόγω χρησιμοποιείται το φίλτρο εξομάλυνσης πριν από τον υπολογισμό της κλίσης για να εξαλείφονται τα μικρά εξάρματα ή οι κοιλότητες. Παρόλο που αυτό οδηγεί στην απώλεια τοπικών μεταβολών στον παραγόμενο χάρτη κλίσεων, μπορεί να είναι χρήσιμο σε περιπτώσεις που το ψηφιακό μοντέλο υψομέτρων δεν είναι ακριβές. Επιπρόσθετα, κάθε σημαντική αλλαγή στη ροή του νερού κατά μήκος ενός κελιού μπορεί να δώσει παραπλανητικές τιμές κλίσης, κυρίως γιατί μια τέτοια επιφάνεια δεν μπορεί πλέων να περιγράφει ικανοποιητικά από ένα αεροπλάνο που σαρώνει την επιφάνεια της γης.

Μέθοδος μέγιστης κλίσης (maximum slope method) (Dunn and Hickey, 1998)

Αυτή η μέθοδος σε αντίθεση με την προηγούμενη, λαμβάνει υπόψη το υψόμετρο του κεντρικού κελιού (z₉) όταν υπολογίζει την κλίση. Ο Shanholtz, 1990, προτείνει ότι η μέγιστη κλίση μεταξύ του κεντρικού κελιού (z₉) και των 8 γειτονικών του (z₁-z₈) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να υπολογιστεί η κλίση στο κεντρικό κελί στο 3x3 πλαίσιο. Για την χρήση αυτού του αλγόριθμού χρησιμοποιούνται μόνο 4 συνεχόμενα κελιά. Η έκφραση της μεθόδου μέγιστης κλίσης (σε ποσοστό) είναι:

$$S = \max \frac{\left| (z_9 - z_i) \right|}{L_c} \times 100$$

Όπου, S είναι η κλίση επί τοις εκατό, L_c είναι η απόσταση μεταξύ γειτονικών κελιών και i=1,2,3,...,8.

Το μειονέκτημα της μεθόδου μέγιστης κλίσης είναι η υπερεκτίμηση της κλίσης. Όταν το πλαίσιο κινείται κατά μήκος του καννάβου των υψομέτρων, τιμές κλίσης ίσες σε μέγεθος αλλά με αντίθετο πρόσημο, θα υπολογιστούν για διπλανά κελιά καθώς το καθένα θα βρίσκεται στο κέντρο του πλαισίου. Ως αποτέλεσμα, μια απότομη κλίση θα μετρηθεί δυο φορές, μια για το κελί με κλίση προς τα ανάντη και ξανά για το γειτονικό κελί με κλίση προς τα κατάντη. Έτσι, οι γωνίες κλίσης θα υπερεκτιμηθούν για αυτή την περιοχή. Μέθοδος κλίσης μέγιστης κατωφέρειας (maximum downhill slope method) (Dunn and Hickey, 1998)

Αυτή η μέθοδος είναι παρόμοια με τη μέθοδο μέγιστης κλίσης αλλά δεν υπολογίζει τις απόλυτες τιμές της διαφοράς μεταξύ των γειτονικών κελιών (z_9) και των 8 γειτονικών του (z_1 - z_8). Αντίθετα, ο Hickey et al, 1994, υπολογίζει τη μέγιστη, προς τα κατάντη, τιμή κλίσης από το 3x3 πλαίσιο χρησιμοποιώντας τον ακόλουθο τύπο:

$$S = \max \frac{(z_9 - z_i)}{L_c} \times 100$$

Όπου, S είναι η κλίση επί τοις εκατό, L_c είναι η απόσταση μεταξύ γειτονικών κελιών και i=1,2,3,...,8.

Η μέθοδος κλίσης μέγιστης κατωφέρειας διορθώνει τα σφάλματα της μεθόδου μέγιστης κλίσης γιατί δεν υπάρχει υπερεκτίμηση της κλίσης που προκαλείται από την απόλυτη τιμή της διαφοράς μεταξύ των κελιών υψομέτρου. Το κύριο πλεονέκτημα είναι ότι οι τοπικές μεταβολές παραμένουν, εξαιτίας του υπολογισμού του υψομέτρου μόνο του κεντρικού κελιού και ενός γειτονικού. Έτσι, συνολικά, τοπικές μεταβολές παραμένουν χωρίς υπερεκτίμηση των κλίσεων. Ο τύπος για να υπολογισθεί το ολοκλήρωμα είναι ο ακόλουθος:

υψομέτρου) στις υπολεκάνες της υδρολογικής λεκάνης του Ίναχου ποταμού.

 $Hi = \frac{\mu \epsilon \sigma o \, \psi \phi \mu \epsilon \tau \rho o - \epsilon \lambda \delta \chi i \sigma \tau o \, \psi \phi \mu \epsilon \tau \rho o}{\mu \epsilon \gamma i \sigma \tau o \, \psi \phi \mu \epsilon \tau \rho o - \epsilon \lambda \delta \chi i \sigma \tau o \, \psi \phi \mu \epsilon \tau \rho o}$ (Keller and Pinter, 2002)

Σύμφωνα με τον παραπάνω τύπο μόνο τρεις τιμές είναι απαραίτητες για να υπολογιστεί το υψομετρικό ολοκλήρωμα. Οι δύο από αυτές είναι απλό να βρεθούν και από τον τοπογραφικό χάρτη. Η σχέση μεταξύ του υψομετρικού ολοκληρώματος και του βαθμού απογύμνωσης επιτρέπει την χρήση του ως δείκτη του σταδίου, που βρίσκεται το τοπίο, μέσα στον Κύκλο της Διάβρωσης.

Πίνακας 14. Διασπορά των τιμών του υψομετρικού ολοκληρώματος					
Κωδικός λεκάνης	Υψομετρικό ολοκλήρωμα				
7	0.401503				
6.1	0.526417				
6.2	0.451576				
6.3	0.446896				
5.1	0.534297				
5.2	0.488816				
5.3	0.298098				
5.4	0.457975				
5.5	0.504563				
5.6	0.540171				
5.7	0.431996				
5.8	0.388567				
4.01	0.301496				
4.02	0.511857				
4.03	0.6067				
4.04	0.401755				
4.05	0.401755				
4.06	0.487044				
4.07	0.690237				
4.08	0.565963				
4.09	0.585059				
4.1	0.280588				
4.11	0.498382				
4.12	0.499198				
4.13	0.490691				
4.14	0.383291				
4.15	0.432373				
4.16	0.589176				
4.17	0.502681				

4.18	0.55086
4.19	0.330373
4.2	0.441149
4.21	0.536657
4.22	0.603317
4.23	0.423727
4.24	0.466061

3.3	0.580199
3.001	0.287139
3.002	0.296392
3.003	0.601216
3.004	0.483685
3.005	0.590744
3.006	0.521791
3.007	0.45673
3.008	0.529501
3.009	0.539145
3.01	0.648841
3.011	0.582909
3.012	0.450905
3.013	0.534338
3.014	0.618501
3.015	0.606596
3.016	0.437337
3.017	0.418378
3.018	0.352993
3.019	0.452336
3.02	0.556964
3.021	0.464629
3.022	0.594986
3.023	0.540842
3.024	0.54142
3.025	0.578241
3.026	0.603223
3.027	0.628447
3.028	0.591209
3.029	0.621692
3.03	0.558754
3.031	0.549356
3.032	0.42711
3.033	0.452106
3.034	0.394049
3.035	0.489435
3.036	0.56387
3.037	0.594559
3.038	0.470393
3.039	0.498369

3.04	0.57268
3.041	0.42665
3.042	0.550342
3.043	0.571049
3.044	0.631536
3.045	0.62
3.046	0.54676
3.047	0.532775
3.048	0.550216
3.049	0.50749
3.05	0.551069
3.051	0.532383
3.052	0.562367
3.053	0.498422
3.054	0.620526
3.055	0.516558
3.056	0.519833
3.057	0.420795
3.058	0.510758
3.059	0.439266
3.06	0.429578
3.061	0.386239
3.062	0.342709
3.063	0.381179
3.064	0.64021
3.065	0.565924
3.066	0.531121
3.067	0.626881
3.068	0.577863
3.069	0.553365
3.07	0.496923
3.071	0.524777
3.072	0.572298
3.073	0.544314
3.074	0.541175
3.075	0.609692
3.076	0.443046
3.077	0.628656
3.078	0.426259
3.079	0.429014
3.08	0.45589
3.081	0.481267
3.082	0.588921
3.083	0.537051
3.084	0.583652
3.085	0.606694
3.086	0.614238
2 0 8 7	0 586562

3.088	0.496809
3.089	0.541773
3.09	0.598777
3.091	0.522492
3.092	0.447359
3.093	0.483876
3.094	0.50376
3.095	0.714487
3.096	0.588627
3.097	0.507631
3.098	0.486828
3.099	0.526236
3.1	0.583889
3.101	0.508368
3.102	0.479072

Διασπορά των κλίσεων των διαφορετικών τμημάτων του ριπιδίου

Η στατιστική ανάλυση των τιμών κλίσης των εικονοστοιχείων επέτρεψε την ταξινόμηση των κλίσεων που οδήγησε στη κατανόηση των διαφορετικών τμημάτων (επιφανειών διαφορετικής κλίσης). Οι τρεις διακριτές επιφάνειες που αποτελούν το προφίλ του ριπιδίου είναι η μια με μέση κλίση 4,0°, που βρίσκεται κοντά στους πρόποδες. Η δεύτερη πιο ομαλή με μέση κλίση 1,5°. Και η τρίτη με μέση κλίση 0,7° που καταλαμβάνει την περισσότερο απομακρυσμένη από τους πρόποδες περιοχή.

Τμήμα 1		 Τμήμα 2		Τμήμα 3		
				Απόσταση		
Απόσταση από		Απόσταση από		από την αρχή		
την αρχή	Κλίση	την αρχή	Κλίση	της		
της γεώτρησης	(μοίρες	της γεώτρησης	(μοίρες	γεώτρησης Κλίση		
(μέτρα))	(μέτρα))	(μέτρα) (μοίρες)		
0	5.327	1201.152	2.248	4994.263 0.8		
63.2185	4.029	1264.37	2.601	5057.481 0.777		
126.437	4.104	1327.589	1.947	5120.7 0.283		
189.6555	3.755	1390.807	1.577	5183.918 0.87		
252.8741	3.148	1454.026	2.251	5247.137 0.66		
316.0926	3.524	1517.244	1.274	5310.355 0.780		
379.3111	4.106	1580.463	1.368	5373.574 0.571		
442.5296	4.302	1643.681	1.419	5436.792 0.461		
505.7481	4.004	1706.9	1.296	5500.011 0.833		
568.9666	3.902	1770.118	1.831	5563.229 0.734		
632.1851	3.755	1833.337	2.161	5626.448 1.118		
695.4037	3.463	1896.555	1.204	5689.666 1.337		
758.6222	3.105	1959.774	1.732	5752.885 0.78		
821.8407	3.876	2022.993	2.516	5816.103 0.36		
885.0592	4.014	2086.211	2.373	5879.322 1.09		
948.2777	2.553	2149.43	1.380	6195.414 1.591		
1011.496	3.254	2212.648	0.389	6258.633 1.22		
1074.715	4.190	2275.867	0.908			
				Μέση κλίση		
1137.933	3.416	2339.085	0.918	τμήματος 0.839		
		2402.304	1.094			
Μέση κλίση						
τμήματος	3.780	2465.522	0.792			
<u> </u>	•	2528.741	0.675			
	F	2591.959	1.502			
	F	2655.178	1.034			
	F	2718.396	1.5			
	F	2781.615	1.2			
	F	2844.833	1.267			
	F	 2908.052	1.843			
	-	2971.27	1.015	1		

Πίνακας 15. Κλίσεις της τομής 2 στην περιοχή του ριπιδίου

0.858
1.44
1.3
0.761
1.72
1.417
1.281
0.754
1.423
1.065
0.815
1.58
0.869
1.329
1.897
1.398
1.206
1.06
0.588
0.637
1.76
1.206
1.4
1.27
0.653
1.134
0.8
1.175
1.381
1.986
1.406
ļ
1.348

Πίνακας 16. Κλίσεις της τομής 3 στην περιοχή του ριπιδίου

Τμήμα 1		Τμήμα 2		Τμήμα 3	
				Απόσταση	
Απόσταση από		Απόσταση από		από την αρχή	
την αρχή	Κλίση	την αρχή	Κλίση	της	
της γεώτρησης	(μοίρες	της γεώτρησης	(μοίρες	γεώτρησης	Κλίση
(μέτρα))	(μέτρα))	(μέτρα)	(μοίρες)
133.7009	8.5037	1203.309	2.1106	3743.626	0.6843
200.5514	4.8402	1270.159	1.5445	3810.477	0.5031
267.4019	4.2347	1337.009	1.5311	3877.327	1.0711
334.2524	3.6114	1403.86	1.9548	3944.178	0.5734
401.1028	3.1177	1470.71	1.5079	4011.028	0.6894
467.9533	4.3979	1537.561	1.0293	4077.879	1.1587

534.8038	4.2954	1604.411	0.8001	4144.729	1.1563
601.6542	3.4996	1671.262	0.7197	4211.58	0.6236
668.5047	4.2545	1738.112	0.2553	4278.43	0.5761
735.3552	4.2631	1804.963	1.0765	4345.281	1.0783
802.2057	3.7484	1871.813	1.8351	4412.131	0.8871
869.0561	3.2138	1938.664	1.8727	4478.982	1.08
935.9066	3.2634	2005.514	1.698	4545.832	0.7818
1002.757	3.6544	2072.365	1.7332	4612.683	0.2912
1069.608	3.6596	2139.215	1.2254	4679.533	0.83
1136.458	3.0362	2206.066	1.0603	4746.383	0.6967
		2272.916	1.9104	4813.234	0.5228
Μέση κλίση	4.0996				
τμήματος	2	2339.767	1.444	4880.084	0.87
		2406.617	1.811	4946.935	0.4223
		2473.467	1.3754	5013.785	0.1515
		2540.318	0.8249	5080.636	0.6655
		2607.168	0.6293	5147.486	1.2635
		2674.019	0.7356	5214.337	1.2597
		2740.869	1.5251	5281.187	0.9688
		2807.72	1.8084	5348.038	0.5601
		2874.57	1.4295	5414.888	0.8831
		2941.421	1.1038	5481.739	1.3207
		3008.271	1.2107	5548.589	1.3469
		3075.122	1.5459	5615.44	1.0282
		3141.972	1.216	5682.29	0.5595
		3208.823	1.0893	5749.141	0.9652
		3275.673	1.6568	5815.991	1.3475
		3342.524	1.058	5882.841	0.6833
		3409.374	1.0383	5949.692	1.1363
		3476.225	1.0864	6016.542	1.16
		3543.075	1.2725	6083.393	0.75
	Γ	3609.925	1.6853	6150.243	0.3679
		3676.776	1.1583	6217.094	0.8091
				6283.944	0.95
		Μέση κλίση	1.33077		
		τμήματος	4	6350.795	0.9198
	Γ			6417.645	0.8128
	Γ		Ē	6484.496	1.0122
	Γ		Ē	6551.346	0.4869
				6618.197	0.6997
		7	Ē	6685.047	1.3942
		7			
		7	Ē	Μέση κλίση	0.84441
				τμήματος	3

Πίνακας 17. Κλίσεις της τομής 4 στην περιοχή του ριπιδίου

Τμήμα 1		Τμήμα 2		Τμήμα 3		
				Απόσταση		
Απόσταση από		Απόσταση από		από την αρχή		
την αρχή	Κλίση	την αρχή	Κλίση	της		
της γεώτρησης	(μοίρες	της γεώτρησης	(μοίρες	γεώτρησης	Κλίση	
(μέτρα))	(μέτρα))	(μέτρα)	(μοίρες)	
361.8838	7.6576	603.1397	2.6132	4041.036	0.8402	
422.1978	6.4442	663.4537	2.359	4101.35	0.849	
482.5118	6.0115	723.7677	0.3624	4161.664	0.4403	
542.8258	3.4869	784.0817	0.4021	4221.978	0.3918	
		844.3956	0.7254	4282.292	0.8588	
Μέση κλίση	5.9000					
τμήματος	5	904.7096	1.0922	4342.606	0.17	
<u> </u>		965.0236	1.4845	4402.92	0.6473	
	F	1025.338	2.071	4463.234	0.3951	
	F	1085.652	1.5691	4523.548	0.5267	
	F	1145.966	1.3748	4583.862	0.7419	
	F	1206.28	1.3475	4644.176	1.0418	
	F	1266.594	0.7105	4704.49	0.5	
	F	1326.907	0.7251	4764.804	0.29	
	F	1387.221	1.4366	4825.118	0.7525	
	F	1447.535	1.3811	4885.432	0.4839	
	ŀ	1507.849	1.264	4945.746	0.8605	
	ŀ	1568.163	1	5006.06	1.1564	
	ŀ	1628.477	0.518	5066.374	0.6	
	ŀ	1688.791	1.0916	5126.688	1.1073	
	F	1749.105	1.6575	5187.002	0.6674	
	F	1809.419	1.9942	5247.316	0.6397	
	F	1869.733	2.1178	5307.63	1.0117	
	F	1930.047	1.2751	5367.944	0.5251	
	F	1990.361	0.7383	5428.258	0.6603	
	F	2050.675	1.131	5488.572	1.1659	
	F	2110.989	0.9041	5548.886	0.205	
	F	2171 303	0.8882	5609 2	0.6557	
	F	2231 617	2.0596	5669 514	1.0269	
	F	2291.931	1.5149	5729.828	0.9546	
	F	2352 245	1.24	5790 142	0.6963	
	F	2412 559	0.7051	5850 456	0.363	
	F	2472.873	0.8995	5910 77	0.2618	
	F	2533 187	1 2393	5971 083	0.2296	
	F	2593 501	0.9125	5711.005	0.2270	
	F	2075.001	0.7120	Μέση κλίση	0.65807	
		2653 815	1 4882	τιήματος	6	
	F	2714 129	1 2896	- inipatos	v	
	F	2774 443	1 1484	-		
	F	2834 757	1.1.104	-		
	F	2895 071	1 3406	-		
	ŀ	2955 385	1 2508	-		
		4100.000	1.4000	1		

3015.699	1.53	
3076.013	1.6118	
3136.327	2.0172	
3196.641	1.6651	
3256.955	0.6652	
3317.269	0.786	
3377.583	1.6524	
3437.897	1.2494	
3498.211	0.7176	
3558.525	1.3203	
3618.839	0.7013	
3679.152	0.2382	
3739.466	1.275	
3799.78	1.2114	
3860.094	0.2239	
3920.408	0.9265	
3980.722	1.3046	
Μέση κλίση	1.22576	
τμήματος	7	

Πίνακας 18. Κλίσεις της τομής 5 στην περιοχή του ριπιδίου

Τμήμα Ι		Τμήμα 2		Τμήμα 3	
				Απόσταση	
Απόσταση από		Απόσταση από		από την αρχή	
την αρχή	Κλίση	την αρχή	Κλίση	της	
της γεώτρησης	(μοίρες	της γεώτρησης	(μοίρες	γεώτρησης	Κλίση
(μέτρα))	(μέτρα))	(μέτρα)	(μοίρες)
957.3794	7.3417	1633.177	1.7446	4111.1	1.0194
1013.696	7.131	1689.493	1.5861	4167.416	0.6207
1070.012	4.917	1745.809	2.13	4223.733	0.6429
1126.329	3.6341	1802.126	1.6378	4280.049	1.1
1182.645	2.3144	1858.442	1.5701	4336.365	1.3516
1238.962	2.3542	1914.759	1.5799	4392.682	0.5481
1295.278	3.3975	1971.075	1.87	4448.998	1.0125
1351.594	4.26	2027.392	0.7786	4505.315	0.9501
1407.911	3.68	2083.708	1.2665	4561.631	0.8
1464.227	3.48	2140.025	1.8701	4617.948	1.0078
1520.544	3.35	2196.341	2.3049	4674.264	1.0679
1576.86	3.42	2252.657	2.4306	4730.58	1.3125
		2308.974	1.9787	4786.897	0.6287
Μέση κλίση	4.1066				
τμήματος	5	2365.29	1.9072	4843.213	1.5357
		2421.607	2.0605	4899.53	1.1156
		2477.923	1.3833	4955.846	0.9938
		2534.24	1.1348	5012.163	1.2314
		2590.556	1.9493	5068.479	0.9586
		2646.872	2.217	5124.795	1.1226

2703.189 2.1916 5181.112 1.1469 2759.505 2.1327 5237.428 0.9914 2815.822 1.7803 5293.745 1.1689 2872.138 1.195 5350.061 1.3308 2928.455 1.0265 5406.378 0.6109 2984.771 1.8071 5462.694 0.5646 3041.087 2.0545 5519.011 0.4069 3097.404 1.7182 5575.327 0.4057 3153.72 1.5882				
2759.505 2.1327 5237.428 0.9914 2815.822 1.7803 5293.745 1.1689 2872.138 1.195 5350.061 1.3308 2928.455 1.0265 5406.378 0.6109 2984.771 1.8071 5462.694 0.5646 3041.087 2.0545 5519.011 0.4069 3097.404 1.7182 5575.327 0.4057 3153.72 1.5882 3210.037 1.6927 τμήματος 2 3266.353 2.0548 3322.67 1.6264 3491.619 1.94 3547.935 1.5133 3660.568 1.8795 3716.885 1.3894 3773.201 0.5033 3985.834 1.6755 3998.467 1.9792 4054.783 1.9654	2703.189	2.1916	5181.112	1.1469
2815.8221.78035293.7451.16892872.1381.1955350.0611.33082928.4551.02655406.3780.61092984.7711.80715462.6940.56463041.0872.05455519.0110.40693097.4041.71825575.3270.40573153.721.5882 $$	2759.505	2.1327	5237.428	0.9914
2872.138 1.195 5350.061 1.3308 2928.455 1.0265 5406.378 0.6109 2984.771 1.8071 5462.694 0.5646 3041.087 2.0545 5519.011 0.4069 3097.404 1.7182 5575.327 0.4057 3153.72 1.5882	2815.822	1.7803	5293.745	1.1689
2928.455 1.0265 5406.378 0.6109 2984.771 1.8071 5462.694 0.5646 3041.087 2.0545 5519.011 0.4069 3097.404 1.7182 5575.327 0.4057 3153.72 1.5882	2872.138	1.195	5350.061	1.3308
2984.771 1.8071 5462.694 0.5646 3041.087 2.0545 5519.011 0.4069 3097.404 1.7182 5575.327 0.4057 3153.72 1.5882 3153.72 1.5882 3153.72 1.5882 3153.72 1.5882 3210.037 1.6927 τμήματος 2 3266.353 2.0548 3322.67 1.6264 3378.986 0.3582 3435.302 1.68 3604.252 2.247 3660.568 1.8795 3716.885 1.3894 3773.201 0.5033 3885.834 1.6755 3998.467 1.9792 4054.783 1.9654 Μάση κλίση τμήματος 9	2928.455	1.0265	5406.378	0.6109
3041.087 2.0545 5519.011 0.4069 3097.404 1.7182 5575.327 0.4057 3153.72 1.5882 3153.72 1.5882 3210.037 1.6927 Mέση κλίση τμήματος 2 3266.353 2.0548 2 3266.353 2.0548 2 3322.67 1.6264 3 2 3435.302 1.68 4 3547.935 1.5133	2984.771	1.8071	5462.694	0.5646
3097.404 1.7182 5575.327 0.4057 3153.72 1.5882 Mέση κλίση 0.94985 3210.037 1.6927 τμήματος 2 3266.353 2.0548 3322.67 1.6264 3378.986 0.3582 3435.302 1.68 3491.619 1.94 3547.935 1.5133 3604.252 2.247 3660.568 1.8795 3716.885 1.3894 3773.201 0.5033 3829.518 2.06 3885.834 1.6755 3942.15 1.9149 3998.467 1.9792 4054.783 1.9654 4054.783 9	3041.087	2.0545	5519.011	0.4069
3153.72 1.5882 Μέση κλίση 0.94985 3210.037 1.6927 τμήματος 2 3266.353 2.0548 3322.67 1.6264 3378.986 0.3582 3435.302 1.68 3435.302 1.68 3491.619 1.94 3547.935 1.5133 3604.252 2.247 3660.568 1.8795 3716.885 1.3894 3773.201 0.5033 3829.518 2.06 3885.834 1.6755 3942.15 1.9149 3998.467 1.9792 4054.783 1.9654 Μέση κλίση 1.71303 9 9	3097.404	1.7182	5575.327	0.4057
3210.037 1.6927 Μέση κλίση τμήματος 0.94985 3266.353 2.0548 3322.67 1.6264 3378.986 0.3582 3435.302 1.68 3491.619 1.94 3547.935 1.5133 3604.252 2.247 3660.568 1.8795 3716.885 1.3894 3773.201 0.5033 3829.518 2.06 3885.834 1.6755 3942.15 1.9149 3998.467 1.9792 4054.783 1.9654	3153.72	1.5882		
3210.037 1.6927 τμήματος 2 3266.353 2.0548 3322.67 1.6264 3378.986 0.3582 3435.302 1.68 3491.619 1.94 3547.935 1.5133 3604.252 2.247 3660.568 1.8795 3716.885 1.3894 3773.201 0.5033 3829.518 2.06 3885.834 1.6755 3942.15 1.9149 3998.467 1.9792 4054.783 1.9654 4 Μέση κλίση 1.71303 9			Μέση κλίση	0.94985
3266.3532.05483322.671.62643378.9860.35823435.3021.683491.6191.943547.9351.51333604.2522.2473660.5681.87953716.8851.38943773.2010.50333829.5182.063885.8341.67553942.151.91493998.4671.97924054.7831.9654Μέση κλίση1.71303τμήματος9	3210.037	1.6927	τμήματος	2
3322.67 1.6264 3378.986 0.3582 3435.302 1.68 3491.619 1.94 3547.935 1.5133 3604.252 2.247 3660.568 1.8795 3716.885 1.3894 3773.201 0.5033 3829.518 2.06 3885.834 1.6755 3942.15 1.9149 3998.467 1.9792 4054.783 1.9654 M έση κλίση 1.71303 $τμήματος$ 9	3266.353	2.0548		
3378.986 0.3582 3435.302 1.68 3491.619 1.94 3547.935 1.5133 3604.252 2.247 3660.568 1.8795 3716.885 1.3894 3773.201 0.5033 3829.518 2.06 3885.834 1.6755 3942.15 1.9149 3998.467 1.9792 4054.783 1.9654 Μέση κλίση 1.71303 τμήματος 9	3322.67	1.6264		
3435.302 1.68 3491.619 1.94 3547.935 1.5133 3604.252 2.247 3660.568 1.8795 3716.885 1.3894 3773.201 0.5033 3829.518 2.06 3885.834 1.6755 3942.15 1.9149 3998.467 1.9792 4054.783 1.9654 Μέση κλίση 1.71303 τμήματος 9	3378.986	0.3582		
3491.6191.943547.9351.51333604.2522.2473660.5681.87953716.8851.38943773.2010.50333829.5182.063885.8341.67553942.151.91493998.4671.97924054.7831.9654Μέση κλίση1.71303τμήματος9	3435.302	1.68		
3547.935 1.5133 3604.252 2.247 3660.568 1.8795 3716.885 1.3894 3773.201 0.5033 3829.518 2.06 3885.834 1.6755 3942.15 1.9149 3998.467 1.9792 4054.783 1.9654 Μέση κλίση 1.71303 τμήματος 9	3491.619	1.94		
3604.252 2.247 3660.568 1.8795 3716.885 1.3894 3773.201 0.5033 3829.518 2.06 3885.834 1.6755 3942.15 1.9149 3998.467 1.9792 4054.783 1.9654 Μέση κλίση 1.71303 τμήματος 9	3547.935	1.5133		
3660.568 1.8795 3716.885 1.3894 3773.201 0.5033 3829.518 2.06 3885.834 1.6755 3942.15 1.9149 3998.467 1.9792 4054.783 1.9654 Μέση κλίση 1.71303 τμήματος 9	3604.252	2.247		
3716.885 1.3894 3773.201 0.5033 3829.518 2.06 3885.834 1.6755 3942.15 1.9149 3998.467 1.9792 4054.783 1.9654 Μέση κλίση 1.71303 τμήματος 9	3660.568	1.8795		
3773.201 0.5033 3829.518 2.06 3885.834 1.6755 3942.15 1.9149 3998.467 1.9792 4054.783 1.9654 Μέση κλίση 1.71303 τμήματος 9	3716.885	1.3894		
3829.518 2.06 3885.834 1.6755 3942.15 1.9149 3998.467 1.9792 4054.783 1.9654 Μέση κλίση 1.71303 τμήματος 9	3773.201	0.5033		
3885.834 1.6755 3942.15 1.9149 3998.467 1.9792 4054.783 1.9654 Μέση κλίση 1.71303 τμήματος 9	3829.518	2.06		
3942.15 1.9149 3998.467 1.9792 4054.783 1.9654 Μέση κλίση 1.71303 τμήματος 9	3885.834	1.6755		
3998.467 1.9792 4054.783 1.9654 Μέση κλίση 1.71303 τμήματος 9	3942.15	1.9149		
4054.783 1.9654 Μέση κλίση 1.71303 τμήματος 9	3998.467	1.9792		
Μέση κλίση 1.71303 τμήματος 9	 4054.783	1.9654		
Μέση κλίση 1.71303 τμήματος 9				
τμήματος 9	 Μέση κλίση	1.71303		
	τμήματος	9		

Ιζηματολογικά στοιχεία του ριπιδίου. Υπαίθρια μελέτη.

Με σκοπό να ποσοτηκοποιηθεί ο ιζηματολογικός χαρακτήρας του ριπιδίου υπολογίστηκε το σχήμα (σφαιρικότητα) και η μορφή (στρογγυλότητα) των κροκάλων σύμφωνα με τη μέθοδο που προτείνει ο Ψιλοβίκος, 1984. Ο υπολογισμός των παραμέτρων έγινε σε τρία δείγματα που πάρθηκαν μέσα από την κοίτη του ποταμού, στην περιοχή του ριπιδίου. Οι μετρήσεις έγιναν στο ύπαιθρο και παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

Υπολογίστηκαν οι παράμετροι : $\frac{a}{c}$, $\frac{a-b}{a-c}$ και $\sqrt[3]{\frac{c^2}{ab}}$ για κάθε κροκάλα του

δείγματος (a είναι ο μεγάλος άξονας της κροκάλας, b είναι ο μεσαίος άξονας της κροκάλας και c είναι ο μικρός άξονας της κροκάλας) τοποθετήθηκαν αυτοί στο τριγωνικό διάγραμμα σφαιρικότητας κροκάλων Sneed και Folk, 1958.

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση του δείκτη στρογγυλότητας των κροκάλων είναι αυτή του Gailleux που βασίζεται στον τύπο : $P = \frac{2r_1}{L}$, όπου P είναι ο δείκτης στρογγυλότητας, r₁ είναι η ακτήνα καμπυλότητας της μικρότερης

γωνίας της κροκάλας και L είναι ο μεγάλος άξονας της κροκάλας. Έτσι, υπολογίστηκε ο δείκτης κυκλικότητας P και στοιχεία όπως P% και το P σε τάξεις.

, J II					
Άξονα	Άξονα	Άξονα	Παράμετρος	Παράμετρο	Παράμετρος
ςa	ςb	ςc	c/a	ς a-b/a-c	$(c^{2}ab)^{1/3}$
217.8	98.59	58.47	0.268457	0.748196	0.54199068
177.55	116.7	86.17	0.485328	0.665901	0.71029739
150.86	109.98	31.32	0.20761	0.341978	0.38956975
145.91	86.67	34.07	0.2335	0.529685	0.45109028
116.79	98.11	46.17	0.395325	0.264514	0.57086525
180.07	113.8	57.97	0.32193	0.542752	0.5473616
205.61	110.14	66.08	0.321385	0.684226	0.57771936
148.44	79.47	65.87	0.443748	0.835291	0.71648492
212.03	99.6	73.65	0.347357	0.812473	0.63566693
162.07	135.24	31.1	0.191892	0.204856	0.3533765
173.11	100.79	42.8	0.247242	0.554984	0.47175442
163.42	145.27	53.94	0.33007	0.165784	0.49672221
240.73	92.44	75.82	0.314959	0.899218	0.63688224
140.48	99.55	21.48	0.152904	0.34395	0.32072853
274.02	154.07	97.38	0.355376	0.679065	0.6078733
165.39	83.42	72.23	0.436725	0.879884	0.7231337
178.09	109.75	31.81	0.178618	0.467186	0.37270146
253.57	130.65	116.02	0.457546	0.893639	0.740661
124.64	96.88	91.09	0.730825	0.827422	0.88243612
138	79.49	45.82	0.332029	0.634736	0.57628794
89.11	52.67	26.85	0.301313	0.585288	0.53554948
102.4	66.04	31.95	0.312012	0.516111	0.53244927
51.7	44.23	12.7	0.245648	0.191538	0.41317432
	$Aξova$ ςa 217.8 177.55 150.86 145.91 116.79 180.07 205.61 148.44 212.03 162.07 173.11 163.42 240.73 140.48 274.02 165.39 178.09 253.57 124.64 138 89.11 102.4 51.7	Αξονα ς aΑξονα ς bζ aζ b217.898.59177.55116.7150.86109.98145.9186.67116.7998.11180.07113.8205.61110.14148.4479.47212.0399.6162.07135.24173.11100.79163.42145.27240.7392.44140.4899.55274.02154.07165.3983.42178.09109.75253.57130.65124.6496.8813879.4989.1152.67102.466.0451.744.23	Aξονα ςa Αξονα ςb Αξονα ςc 217.898.5958.47177.55116.786.17150.86109.9831.32145.9186.6734.07116.7998.1146.17180.07113.857.97205.61110.1466.08148.4479.4765.87212.0399.673.65162.07135.2431.1173.11100.7942.8163.42145.2753.94240.7392.4475.82140.4899.5521.48274.02154.0797.38165.3983.4272.23178.09109.7531.81253.57130.65116.02124.6496.8891.0913879.4945.8289.1152.6726.85102.466.0431.9551.744.2312.7	Aξονα ς k ς k Αξονα ς ς c Παράμετρος c/a 217.898.5958.470.268457177.55116.786.170.485328150.86109.9831.320.20761145.9186.6734.070.2335116.7998.1146.170.395325180.07113.857.970.32193205.61110.1466.080.321385148.4479.4765.870.443748212.0399.673.650.347357162.07135.2431.10.191892173.11100.7942.80.247242163.42145.2753.940.33007240.7392.4475.820.314959140.4899.5521.480.152904274.02154.0797.380.355376165.3983.4272.230.436725178.09109.7531.810.178618253.57130.65116.020.457546124.6496.8891.090.73082513879.4945.820.33202989.1152.6726.850.301313102.466.0431.950.31201251.744.2312.70.245648	$A\xi_{0}va$ $A\xi_{0}va$ $A\xi_{0}va$ $A\xi_{0}va$ $\Piapá\mu \epsilon \tau \rho o$ $\Piapá\mu \epsilon \tau \rho o$ ς ς ς c c/a ς $a-b/a-c$ 217.898.5958.470.2684570.748196177.55116.786.170.4853280.665901150.86109.9831.320.207610.341978145.9186.6734.070.23350.529685116.7998.1146.170.3953250.264514180.07113.857.970.321930.542752205.61110.1466.080.3213850.684226148.4479.4765.870.4437480.835291212.0399.673.650.3473570.812473162.07135.2431.10.1918920.204856173.11100.7942.80.2472420.554984163.42145.2753.940.330070.165784240.7392.4475.820.3149590.899218140.4899.5521.480.1529040.34395274.02154.0797.380.3553760.679065165.3983.4272.230.4367250.879884178.09109.7531.810.1786180.467186253.57130.65116.020.4575460.893639124.6496.8891.090.7308250.82742213879.4945.820.3013130.585288102.466.0431.950.3120120.516111 <t< td=""></t<>

Πίνακας 19. Ιζηματολογικοί παράμετροι για τον υπολογισμό της σφαιρικότητας.

	92.07	71.95	37.46	0.406864	0.368431	0.59611338
	82.05	56.18	17.09	0.208288	0.398245	0.39866484
	109.27	72.74	31.65	0.289649	0.470626	0.50136929
	86.36	37.91	23.42	0.27119	0.769781	0.55127604
	75.64	35.9	23.62	0.312269	0.763937	0.59007145
	123.98	58.69	27.12	0.218745	0.674066	0.4658233
	113.42	57.08	21.25	0.187357	0.611262	0.41163733
	82.41	48.99	23.57	0.286009	0.567981	0.51627045
	144.15	39.88	42.45	0.294485	1.02527	0.67930039
	66.85	36.74	22.3	0.333583	0.67587	0.58720497
	77.34	54.88	26.84	0.347039	0.444752	0.55366735
	66.72	51.6	33.67	0.504646	0.457489	0.69054741
	68.18	67.77	44.98	0.659724	0.017672	0.75936074
	216.17	133.77	96.74	0.447518	0.689944	0.68657187
	260.15	137.17	66.15	0.254276	0.633918	0.49681219
	155.29	139.74	105.42	0.678859	0.311811	0.80006867
	257.24	83.39	49.39	0.192	0.83642	0.48447926
	176.38	103.41	68.12	0.386212	0.674025	0.63364469
	112.42	72.12	26.12	0.232343	0.466976	0.43821007
	98.22	63.12	29.78	0.303197	0.512858	0.52299093
	72.39	38.12	19.22	0.265506	0.644536	0.51155433
2	231.85	84.01	53.54	0.230925	0.829118	0.52796632
	133.98	59.32	36.66	0.273623	0.76716	0.55298659
	96.45	62.38	34.29	0.355521	0.548102	0.58031321
	77.34	76.21	59.78	0.772951	0.064351	0.84637968
	112.37	103.18	62.4	0.555308	0.18391	0.69509008
	90.17	58.34	39.2	0.434734	0.624485	0.66351062
	173.12	132.61	47.57	0.27478	0.32266	0.46193506
	142.68	65.14	46.38	0.325063	0.805192	0.61397433
	218.69	55.13	86.5	0.395537	1.23731	0.85297918
	68.33	43.56	23.91	0.34992	0.557632	0.57697007
	217.92	130.71	113.46	0.52065	0.834865	0.7674084
	151.62	61.74	62.73	0.413732	1.011137	0.74910464
	244.13	126.21	102.68	0.420596	0.833651	0.6994429
	135.31	75.06	51.94	0.383859	0.722682	0.64281867
	306.67	128.14	100.84	0.328823	0.867366	0.63724028
	96.37	81.41	37.8	0.392238	0.255421	0.56683239
	283.68	131.12	63.91	0.225289	0.69418	0.47886525
	154.06	119.69	54.75	0.355381	0.346088	0.54576644
	123.65	72.35	46.65	0.377275	0.666234	0.6242476
	95.91	60.9	18.28	0.190595	0.450985	0.38532194
	95.12	46.35	31.89	0.335261	0.771311	0.6132852
	61.12	54.42	22.78	0.372709	0.174752	0.53833818
	61	49.72	45.83	0.751311	0.743573	0.88473441
	93.12	52.63	31.25	0.335588	0.654437	0.584083
	63.38	24.94	22.97	0.362417	0.95125	0.69367776
	112.91	76.21	28.81	0.255159	0.436385	0.45861408

	23.47	16.25	12.32	0.524925	0.647534	0.73556037
	32.83	23.03	15.3	0.466037	0.559042	0.6765076
	36.16	35.21	9.85	0.2724	0.036108	0.42396109
	29.25	19.23	11.12	0.380171	0.552675	0.60353363
	46.21	29.19	16.01	0.346462	0.563576	0.57491574
	311.07	123.19	123.19	0.39602	1	0.73435453
	78.48	35.88	14.68	0.187054	0.667712	0.42456764
	13.01	11.42	9.84	0.756341	0.501577	0.86699302
	47.13	38.13	23.05	0.489073	0.373754	0.66618145
	31.99	20.25	19.27	0.602376	0.922956	0.8306946
	38.71	23.12	13.92	0.359597	0.628883	0.60046702
	29.12	23.22	16.1	0.552885	0.453149	0.7264394
	44.59	31.61	17.63	0.39538	0.481454	0.60415386
	252.43	127.05	81.67	0.323535	0.734247	0.59247472
	203.21	197.14	116.02	0.570936	0.069618	0.69520886
	242.39	144.7	68.52	0.282685	0.561857	0.51154498
	293.35	22.67	96.31	0.328311	1.373731	1.11729636
	97.26	42.74	37.85	0.389163	0.917691	0.70111242
3	138.75	76.04	55.44	0.399568	0.752731	0.66291388
	118.82	74.14	39.27	0.3305	0.561659	0.55940528
	109.37	41.7	26.09	0.238548	0.81256	0.53044207
	148.96	57.63	42.68	0.28652	0.859334	0.59645385
	88.82	60.16	38.39	0.432222	0.568313	0.65093738
	220.12	142.07	72.15	0.327776	0.527472	0.55009403
	255.5	124.07	50.87	0.1991	0.642281	0.43379905
	136.72	89.31	35.12	0.256875	0.466634	0.46572079
	320.11	308.1	232.08	0.725001	0.136431	0.81738782
	287.12	129.01	98.73	0.343863	0.83927	0.64082161
	68.01	44.31	31.52	0.463461	0.649493	0.69082169
	259.58	142.59	97.83	0.376878	0.723277	0.63708093
	174.29	97.8	52.3	0.300075	0.627019	0.54341383
	262.21	129.17	105.03	0.400557	0.846418	0.68802667
	153.17	114.59	30.7	0.200431	0.315016	0.37726986
	129.36	99.77	48.02	0.371212	0.363782	0.56322438
	134.31	55.88	59.75	0.444866	1.051905	0.78061524
	108.42	40.98	27.22	0.251061	0.830542	0.55042518
	150.96	75.34	50.81	0.336579	0.755067	0.61001001
	61.01	42.54	34.31	0.562367	0.69176	0.76832974
	100.79	66.98	34.01	0.337434	0.506289	0.55541409
	81.33	38.66	29.75	0.365794	0.827259	0.65537083
	105.21	40.82	30.58	0.290657	0.86279	0.60160991
	60.83	44.65	23.12	0.380076	0.429064	0.58167285
	90.4	66.15	57.23	0.633075	0.731082	0.81818165
	87.3	66.19	49.17	0.56323	0.553632	0.74793628
	68.99	52.59	33.46	0.484998	0.461582	0.67575228
	62.57	39.95	37.41	0.59789	0.899046	0.82419661
	122.72	97.31	76.67	0.624756	0.551792	0.78957375

32.85	19.4	17.21	0.523896	0.859974	0.77459534
76.61	46.48	41.47	0.541313	0.857427	0.78458288
37.34	22.43	10.37	0.277718	0.552836	0.50448854
69.5	46.86	37.32	0.536978	0.703543	0.75341118
54.38	40.01	14.85	0.273078	0.363521	0.46624593
39.64	26.27	15.9	0.40111	0.563184	0.62383084
78.32	35.61	27.72	0.353933	0.844071	0.65069969
39.16	37.47	16.06	0.410112	0.07316	0.56017222
35.84	26.75	20.31	0.566685	0.585319	0.75493464
25.25	20.63	12.59	0.498614	0.364929	0.67261046
171.3	53.2	36.47	0.212901	0.875918	0.52650299
57.87	30.88	17.65	0.304994	0.671059	0.55862395
73.9	59.18	21.14	0.286062	0.278999	0.46751641
52.18	29.75	17.3	0.331545	0.643062	0.57769737
74.2	16.31	11.04	0.148787	0.916561	0.46525755

Πίνακας 20. Ιζηματολογικοί παράμετροι για τον υπολογισμό της στρογγυλότητας.

	211	· · · ·				
Δείγμα	Μεγάλος	Ακτίνα	Παράγοντας	Τάξεις	Συχνότητα/Τάξη	Συχνότητα/Τάξη%
	άξονας	r	Pi=2r/L			
	L					
1	217.8	7	64.27916	0-99	3	6.81818182
	177.55	19	214.0242	100-199	13	29.5454545
	150.86	5	66.28662	200-299	13	29.5454545
	145.91	22	301.5558	300-399	6	13.6363636
	116.79	36	616.4911	400-499	3	6.81818182
	180.07	19	211.029	500-599	2	4.54545455
	205.61	14	136.1801	600-699	3	6.81818182
	148.44	38	511.9914	700-799	1	2.27272727
	212.03	14	132.0568	800-899	0	0
	162.07	37	456.5928	900-999	0	0
	173.11	12	138.6402			100
	163.42	15	183.5761			
	240.73	26	216.0096			
	140.48	16	227.7904			
	274.02	27	197.0659			
	165.39	10	120.9263			
	178.09	28	314.4478			
	253.57	34	268.1705			
	124.64	46	738.1258			
	138	23	333.3333			
	89.11	16	359.1067			
	102.4	8	156.25			
	51.7	10	386.8472			

	92.07	8	173.7808			
	82.05	20	487.5076			
	109.27	32	585.7051			
	86.36	16	370.5419			
	75.64	8	211.5283			
	123 98	9	145 1847			
	113 42	14	246.87			
	82.41	2	48 5378			
	144.15	18	249 7399			
	66.85	6	179 5064			
	77 34	17	439 6173			
	66 72	23	689 4484			
	68.18	21	616 0164			
	216.17	27	249 8034			
	260.15	17	130 6938			
	155.29	21	270 4617			
	257.24	14	108 8478			
	176.38	19	215 4439			
	112 42	11	195 6947			
	08.22	13	264 7110			
	72.30	13	2/18 6531			
	12.57)	240.0331			
Δείνμα	Μενάλος	Διστίνα	Παράγοντας	Τάξεις	Συναιότητα/Τάξη	Συναότητα/Τάξη%
Δειγμα	άξονας	r	$P_i=2r/I$	Iugoig		
	T	1	1 1-21/12			
2	231.85	36	310 5456	0_00	0	0
2	133.08	30	110/208	100_100	7	
	96.45	10	303 0865	200_200	15	3/ 000001
	77 34	22	568 9165	300-399	11	25
	112 37	16	284 7735	100-100	1	<u>23</u> 9 0000000
	00.17	23	510 1475	500-499		13 6363636
	173.12	18	207 9482	600 600	0	15.0505050
	1/3.12	10	266 3302	700 700	0	0 דרדרדרר ר
	218.60	19	200.3302	200 200	1	2.2/2/2/2/
	68.33	43	351 2366	000-000	0	0
	217.02	31	284 5081	900-999	0	100
	151.62	15	107 8621			100
	21.02	13	278 5401			
	125 21	26	278.3401			
	206.67	20	176.025			
	04 27	21	1/0.083			
	90.3/	33	/20.30/1			
	283.08	33	240./309			
	154.06	27	530.5128			
	123.03	52	517.59			
	95.91	1/	354.499			
	95.12	13	2/3.3389			
	61.12	10	327.2251			
	61	17	557.377			

	93.12	21	451.0309			
	63.38	8	252.4456			
	112.91	11	194.8455			
	23.47	6	511.291			
	32.83	5	304.5995			
	36.16	4	221.2389			
	29.25	8	547.0085			
	46.21	5	216.4034			
	311.07	21	135.0178			
	78.48	9	229.3578			
	13.01	3	461.1837			
	47.13	9	381.9223			
	31.99	7	437.6368			
	38.71	7	361.6637			
	29.12	4	274.7253			
	44.59	9	403.678			
	252.43	18	142.6138			
	203.21	21	206.6827			
	242.39	33	272.2885			
	293.35	15	102.2669			
	97.26	12	246.7613			
Δείγμα	Μεγάλος	Ακτίνα	Παράγοντας	Τάξεις	Συγνότητα/Τάξη	Συχνότητα/Τάξη%
	άξονας	r	Pi=2r/L	5 5	70 1 51	
	L					
3	138.75	22	317.1171	0-99	1	2.3255814
	118.82	26	437.6368	100-199	14	32.5581395
	109.37	7	128.0059	200-299	10	23.255814
	148.96	12	161.1171	300-399	7	16.2790698
	88.82	16	360.2792	400-499	5	11.627907
	220.12	25	227.1488	500-599	2	4.65116279
	255.5	33	258.317	600-699	2	4.65116279
	136.72	28	409.5963	700-799	2	4.65116279
	320.11	40	249.9141	800-899	0	0
	287.12	16	111.4517	900-999	0	0
	68.01	24	705.7786			100
	259.58	20	154.0951			
	174.29	6	68.85077			
	262.21	17	129.6671			
	153.17	14	182.8034			
	129.36	81	1252.319			
	134.31	9	134.0183			
	108.42	9	166.021			
	150.96	13	172.2311			
	61.01	20	655.6302			
	100.79	20	396.8648			
	81.33	7	172.1382			
	105.21	13	247.1248			

60.83	22	723.3273
90.4	19	420.354
87.3	22	504.0092
68.99	8	231.9177
62.57	4	127.8568
122.72	14	228.1617
32.85	4	243.5312
76.61	14	365.4875
37.34	6	321.3712
69.5	18	517.9856
54.38	13	478.117
39.64	4	201.8163
78.32	11	280.8989
39.16	12	612.8703
35.84	3	167.4107
25.25	5	396.0396
171.3	15	175.1313
57.87	9	311.042
73.9	18	487.1448
52.18	5	191.6443
74.2	10	269.5418