

## Η επίδραση της γεωλογίας και της τεκτονικής στην εξέλιξη του υδρογραφικού δικτύου και της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Πάμισου της Θεσσαλίας.

ΒΟΥΒΑΛΙΔΗΣ Κ.<sup>1</sup>, ΣΦΕΙΚΟΣ Α.<sup>2</sup>, ΠΑΡΑΣΧΟΥ Θ.<sup>1</sup>, ΚΕΧΑΓΙΑ Χ.<sup>1</sup>, ΨΩΜΙΑΔΗΣ Δ.<sup>1</sup>

### ABSTRACT

River Pamisos is a main tributary of Pinios River, draining the SW part of the Thessaly catchment area. The river's drainage basin comprises part of the plain as well as of the mountainous terrain that bounds the broader Thessaly Plain. In this paper we present the results of both qualitative and quantitative analyses of the drainage network and morphology through processing of digitized data with GIS software. Quantitative measurements allowed objectively to compare different landforms and to calculate less straightforward parameters (geomorphic indices) that may be useful for the identifying particular characteristics of the area, such as the level of tectonic activity and geologic control. From the analysis of the hydrographic network values for the D and F parameters were calculated. In addition, terrain analysis resulted in useful conclusions about morphologic indices, derivation of hypsographic curves and integrals for the entire study area. Similarly, the morphological study of fluvial terraces together with that of sub-basins resulted in determination of erosive activity of the river. Finally, the analysis of certain morphometric indices obtained from the hydrographic network and morphology subsequent analyses was used to define the influence of geologic formations and tectonics upon the evolution of the river system.

One of the major results of this paper is that the shape of the hypsometric curve and the calculation of the hypsometric integral indicate a mature stage of development for the Pamisos River drainage basin. It is generally known that the landscape in recently developed - active orogens is shaped mainly by two factors, tectonic activity and surface erosion. If we accept that the denudation - erosion rates in Hellenic orogen are approximately the same, then the lack of landmass (indicated by hypsometric integral) should implicate a basin expansion due to tectonic control.

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο ποταμός Πάμισος αποτελεί παραπόταμο του Πηνειού ποταμού αποστραγγίζοντας μέρος του ΝΔ τμήματος της λεκάνης της Θεσσαλίας. Η υδρολογική του λεκάνη εκτείνεται τόσο στο πεδινό τμήμα της πεδιάδας όσο και στον ορεινό όγκο των περιθωρίων της λεκάνης. Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ποιοτικής και ποσοτικής ανάλυσης του υδρογραφικού δικτύου και της μορφολογίας της λεκάνης απορροής του. Η επεξεργασία του συνόλου των ψηφιακών δεδομένων έγινε με τη χρήση λογισμικού Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S). Η ανάλυση αυτή επιτρέπει τη σύγκριση διαφορετικών γεωμορφών μεταξύ τους καθώς και τον υπολογισμό λιγότερο εμφανών γεωμορφικών δεικτών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αναγνώριση συγκεκριμένων χαρακτηριστικών της υδρολογικής λεκάνης.

Έτσι έγινε υδρογραφική ανάλυση του δικτύου και προσδιορίστηκαν οι τιμές D και F. Ακόμη, πραγματοποιήθηκε ανάλυση του μορφολογικού αναγλύφου και προσδιορισμός των υψομετρικών καμπυλών και ολοκληρωμάτων για το σύνολο της λεκάνης. Παράλληλα μελετήθηκε η μορφολογία των λεκανών απορροής, οι ποτάμιες αναβαθμίδες και προσδιορίστηκε η εξελικτική πορεία και κατανομή του μορφολογικού αναγλύφου από τη διαβρωτική δράση του Πάμισου. Τέλος, με την ποσοτική ανάλυση μορφοτεκτονικών παραμέτρων στο υδρογραφικό δίκτυο και στις λεκάνες προσδιορίστηκε ο βαθμός επίδρασης της γεωλογίας και της τεκτονικής στην εξέλιξη του ποτάμιου συστήματος.

### CONTROLS OF REGIONAL GEOLOGY AND TECTONICS ON THE EVOLUTION OF THE DRAINAGE NETWORK AND BASIN OF RIVER PAMISOS IN THESSALY, CENTRAL GREECE.

<sup>1</sup> Τομέας Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας, Α.Π.Θ., [vouval@geo.auth.gr](mailto:vouval@geo.auth.gr)

<sup>2</sup> ΕΥΔΕ Αχελώου, ΥΠΕΧΩΔΕ, [aris3kala@yahoo.gr](mailto:aris3kala@yahoo.gr)

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η λεκάνη απορροής του Πάμισου ποταμού καλύπτει το Δ-ΝΔ τμήμα του δυτικού βυθίσματος της Θεσσαλίας και υπάγεται στο Νομό Καρδίτσας. Τα δυτικά της όρια βρίσκονται στο ορεινό τμήμα του κεντρικού ηπειρωτικού κορμού της Πίνδου, ενώ τα ανατολικά της στο πεδινό τμήμα της Θεσσαλίας δυτικότερα της συμβολής του Πάμισου με τον Πηνειό ποταμό. Έχει έκταση 311 km<sup>2</sup> από τα οποία τα 151,3 km<sup>2</sup> καταλαμβάνουν το ορεινό ανάγλυφο του δυτικού τμήματος ενώ τα υπόλοιπα αναπτύσσονται στο πεδινό τμήμα των αλλουβιακών αποθέσεων του ποταμού και στο χαμηλό λοφώδες ανάγλυφο δυτικά της οροσειράς του Κόζιακα.

Το υδρογραφικό δίκτυο του Πάμισου ποταμού είναι καλά ανεπτυγμένο ιδιαίτερα στο ορεινό τμήμα της λεκάνης και έχει συνολικό μήκος 680,2 km. Κατά την έξοδο του ποταμού προς την πεδιάδα της Θεσσαλίας διέρχεται από τον ορεινό όγκο του Κόζιακα σχηματίζοντας μια επιγενετική (διαβρωσιγενή) κοιλάδα με απότομες κλιτύς (Στενά). Το σημαντικότερο χωριό που βρίσκεται στην έξοδο αυτής της κοιλάδας προς την πεδιάδα, είναι το Μουζάκι. Το μήκος της κοίτης του ποταμού κατάντη των Στενών μέχρι τη συμβολή του με τον Πηνειό ποταμό είναι 19,43 km.

## 2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η λεκάνη απορροής του Πάμισου ποταμού αναπτύσσεται στο γεωτεκτονικό όριο των ιστοπικών ζωνών της Πίνδου και των σχηματισμών της Δυτικής Θεσσαλίας (ή σειρά Κόζιακα).

Ειδικότερα το δυτικό τμήμα της υδρολογικής λεκάνης του Πάμισου δομείται από τους σχηματισμούς της ζώνης Πίνδου. Στρωματογραφικά από τα ανώτερα μέρη προς τα κατώτερα συναντάμε:

τον *Φλύσχη της Πίνδου* (Αν. Κρητιδικό – Ανώτερο *Ηώκαινο*). Αποτελείται από εναλλαγές ιλυολίθων, αργιολίθων και ψαμμιτών με συνεχώς μεταβαλλόμενο πάχος στρώσης και διαδοχή. Τοπικά το πάχος των ιζημάτων του φλύσχη αγγίζει τα 1.200 m (Jacobshagen, 1986).

*Εναλλαγές στρώσεων από ασβεστολίθους, ιλυολίθους και ψαμμίτες* (Κρητιδικό). Αποτε-

λούν τα μεταβατικά στρώματα των υποκειμένων Κρητιδικών ασβεστολίθων, προς τον στρωματογραφικά ανώτερο φλύσχη. Οι ασβεστόλιθοι είναι μέσο- έως παχυστρωματώδεις με αραιές λεπτές ενστρώσεις ιλυολίθων και κερατολίθων.

τον *Σχηματισμό του πρώτου φλύσχη* (Κ. Κρητιδικό). Εμφανίζεται υπό μορφή αποσφηνωμένων ενστρώσεων. Οι ρυθμικές εναλλαγές ψαμμιτών και αργίλων με λεπτές παρεμβολές μαργαϊκών ασβεστολίθων. Ερμηνεύονται σαν μία πρώιμη ορογενετική δραστηριότητα που επηρέασε τις Ελληνίδες.

*σχηματισμούς ιζημάτων βαθιάς θάλασσας* (Τριαδικό – Ιουρασικό). Αποτελούνται από ραδιοαρίτες αργιλο- ιλυο- λίθους και πυριτιωμένους αργιλο-ιλυόλιθους.

Το Ανατολικό τμήμα της λεκάνης του Πάμισου δομείται από σχηματισμούς της σειράς Κόζιακα (Δυτ. Θεσσαλίας). Σύμφωνα με τους Fertiere (1974, 1982) & Jaeger (1980), η ιζηματογενής ακολουθία ξεκινά με ερυθρούς ασβεστολίθους του Μέσου Τριαδικού, ακολουθούνε ωλιθικοί ασβεστόλιθοι και εναλλαγές ωλιθικών ασβεστολίθων με ραδιοαρίτες και κερατόλιθους (Δογγέριο – Μάλμιο) και η σειρά Κόζιακα τελειώνει με ραδιοαρίτες και πυριτιωμένους ασβεστολίθους του Τιθωνίου. Η μετάβαση προς τους επωθημένους οφειολίθους χαρακτηρίζεται από τον σχηματισμό λατυποπαγών με την συμμετοχή ασβεστολίθων και οφειολιθικών τεμαχίων.

Η παραπάνω κανονική στρωματογραφική διαδοχή έχει διαταραχθεί ισχυρά από την επίδραση πολλαπλών τεκτονικών γεγονότων κατά την αλπική ορογένεση. Αποτέλεσμα είναι η εμφάνιση των σχηματισμών σε επαναλαμβανόμενες σειρές (λέπια), διαχωριζόμενες από επωθητικά ρήγματα ή ζώνες ισχυρής διάτμησης.

## 3. ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Στην ευρύτερη περιοχή της δυτικής Θεσσαλίας, κυρίαρχα τεκτονικά στοιχεία μεγάλης κλίμακας είναι οι επωθησεις και τα ανάστροφα ρήγματα που δημιουργούν τη λεπιοειδή ανάπτυξη των Ελληνίδων ζωνών. Τα επωθητικά αυτά ρήγματα εμφανίζονται με παρατάξεις ΒΒΔ - ΝΝΑ και διευθύνσεις κλίσεων προς τα Δυτικά. Παράλληλα στην περιοχή αναπτύσσεται ένα

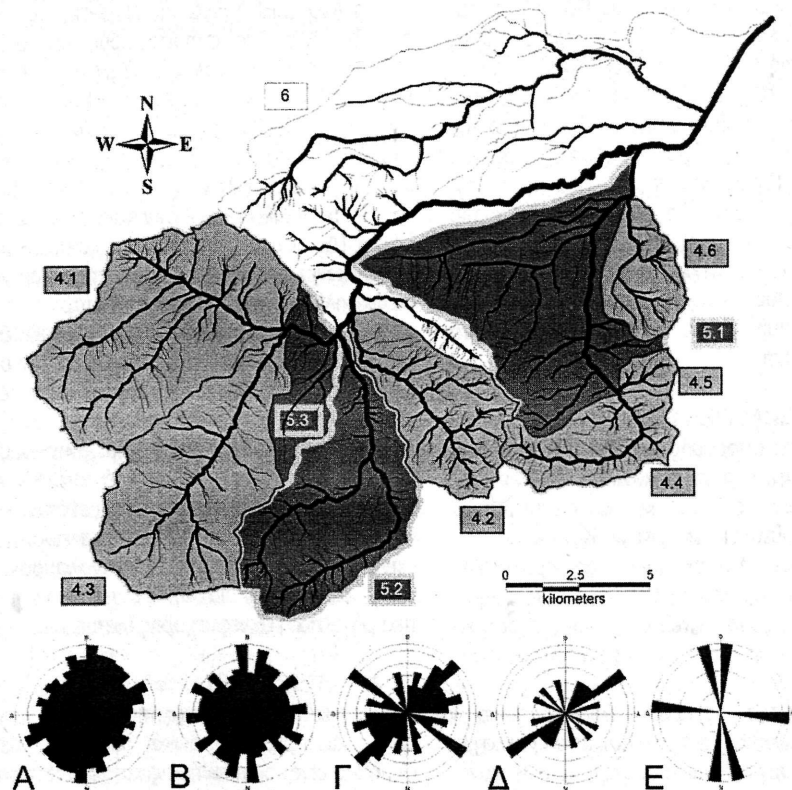
σύστημα κανονικών ρηγμάτων κλίμακας φλοιού, μεγάλου μήκους με παρατάξεις ΒΒΔ - ΝΝΑ περίπου παράλληλες προς τις παρατάξεις των επωθητικών ρηγμάτων. Τέλος, ένα νεότερο σύστημα ρηγμάτων με παρατάξεις ΒΒΑ - ΝΝΔ, περίπου κάθετες προς τις προηγούμενες αναγνωρίζεται τόσο στην υδρολογική λεκάνη του Πάμισου όσο και στην ευρύτερη περιοχή.

Στο ανατολικό περιθώριο της λεκάνης απορροής του Πάμισου ποταμού εμφανίζεται το επωθητικό ρήγμα που τοποθετεί την σειρά Κόζιακα (Δυτ. Θεσσαλίας) πάνω στη ζώνη Πίνδου και συγκεκριμένα στον φλύσχη. Στο δυτικό περιθώριο της λεκάνης απορροής εμφανίζονται επωθητικά και ανάστροφα ρήγματα μεγάλης κλίμακας που αναπτύσσονται εσωτερικά της ζώνης Πίνδου και διαταράσσουν την αρχική στρωματογραφική ακολουθία των σχηματι-

σμών, δημιουργώντας λεπιοειδή ανάπτυξη και επανάληψη τους.

Οι παραπάνω δομές αναπτύσσονται με ΒΒΔ - ΝΝΑ παράταξη και 50° - 70° κλίση προς δυτικά.

Οι κύριες ορογενετικές και τεκτονικές δράσεις στην περιοχή μελέτης τοποθετούνται στην Νεοελληνική ορογενετική φάση (Ολιγόκαινο) (Jacobshagen, 1986). Κατά τη φάση αυτή δημιουργούνται τα επωθητικά και ανάστροφα ρήγματα μαζί με τις σύνοδες τους δομές. Στο εξελικτικό στάδιο της ορογένεσης η εφελευστική δράση που αναπτύσσεται στο πίσω τμήμα του ορογενετικού πρίσματος (Αιγαίο και Εσωτ. Ελληνίδες) επαναδραστηριοποίησε τις επωθήσεις σαν κανονικά ρήγματα ενώ δημιούργησε και νεότερα ρήγματα με παράταξη κάθετη στα παλαιότερα.



Σχήμα 1: Το υδρογραφικό δίκτυο του Πάμισου ποταμού και οι υδρολογικές λεκάνες 4ης, 5ης και 6ης τάξης που μελετήθηκαν.

Α,Β,Γ,Δ,Ε Ροδιοδιαγράμματα διευθύνσεων κλάδων υδρογραφικού δικτύου 1ης, 2ης, 3ης, 4ης, 5ης τάξης αντίστοιχα.

Σε μέσο- και μικρο- κλίμακα στην περιοχή αναπτύσσονται πτυχές και ένα σύστημα διαρρήξεων. Οι πτυχές αυτές παρουσιάζουν ανάπτυξη των  $b$  αξόνων τους παράλληλη προς τα επωθητικά ρήγματα, ενώ αντίστοιχα τα αξονικά τους επίπεδα αναπτύσσονται σχεδόν υποπαράλληλα προς τα επίπεδα των ρηγμάτων.

Μια δεύτερη ομάδα ρηγμάτων τα οποία τέμνουν όλες τις προϋπάρχουσες δομές, φέρνουν σε επαφή τους Αλπικούς σχηματισμούς με σύγχρονες αποθέσεις, δημιουργούν έντονες μορφολογικές ανωμαλίες, καλύπτονται συχνά από πλευρικά κορήματα και έχουν εν γένει όλα τα χαρακτηριστικά πρόσφατων διαρρήξεων. Η ηλικία τους πρέπει να είναι Πλειοκαινική – Τεταρτογενής και η διεύθυνσή τους ΒΑ –ΝΔ (Λέκας, 1988).

#### 4. ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

##### 4.1 Νόμοι υδρογραφικής σύνθεσης

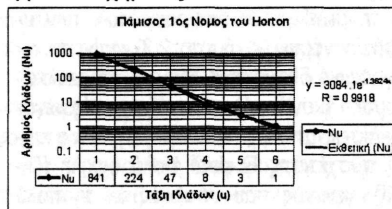
Η ανάλυση των μορφομετρικών παραμέτρων του υδρογραφικού δικτύου, έγινε με την εφαρμογή των νόμων του Horton (Horton, 1945). Υπολογίστηκαν ο λόγος διακλάδωσης  $R_b$  και ο λόγος του μήκους των κλάδων  $R_L$ .

Για την μορφομετρική ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου του Πάμισου χρησιμοποιήθηκαν οι τοπογραφικοί χάρτες της Γ.Υ.Σ. κλίμακα 1:50.000, φύλλα Μουζάκιον (ΓΥΣ, 1970) και Καρδίτσα (ΓΥΣ, 1970). Η ανάλυση και επεξεργασία των παραμέτρων του δικτύου έγινε με την χρησιμοποίηση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.). Ειδικότερα χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά MapInfo 6.0 και Vertical Mapper 3.1..

Η ψηφιοποίηση του υδρογραφικού δικτύου έγινε από τους τοπογραφικούς χάρτες της Γ.Υ.Σ. με κλίμακα 1:50.000. Στη συνέχεια έγιναν διορθώσεις σε ορισμένους κλάδους με βάση το ορθοδιορθωμένο σε ΕΓΣΑ87 φωτομωσαϊκό δορυφορικών εικόνων LANDSAT7/ETM της NASA (Βουβαλιδής & Αλμπανάκης 2004). Η τελική διορθωμένη απεικόνιση του υδρογραφικού δικτύου παρουσιάζεται στο σχήμα 1.

Εφαρμόζοντας τον 1<sup>ο</sup> νόμο του αριθμού των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου (Horton, 1945) για την λεκάνη απορροής του Πάμισου ποταμού προέκυψε ο Πίνακας I, ενώ από τα

δεδομένα του Πίνακα I κατασκευάστηκε το διάγραμμα του σχήματος 2.

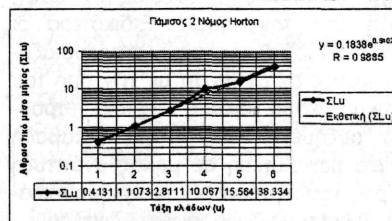


Σχήμα 2: Διάγραμμα πρώτου νόμου του Horton για την λεκάνη του Πάμισου.

Πίνακας I: Εφαρμογή του πρώτου νόμου του Horton για την λεκάνη του Πάμισου.

| u (τάξη) | Nu  | Rb   |
|----------|-----|------|
| 1        | 841 | 3.75 |
| 2        | 224 | 4.76 |
| 3        | 47  | 5.87 |
| 4        | 8   | 2.66 |
| 5        | 3   | 3    |
| 6        | 1   |      |

Μέσο Rb = 4.012



Σχήμα 3: Διάγραμμα δεύτερου νόμου του Horton για την λεκάνη του Πάμισου.

Ακολούθως, για τον 2<sup>ο</sup> νόμο του μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου (Horton, 1945) προέκυψαν ο Πίνακας II και το διάγραμμα του σχήματος 3.

Πίνακας II: Εφαρμογή του δεύτερου νόμου του Horton για την λεκάνη του Πάμισου.

| u (τάξη) | S'Lu     | RL   |
|----------|----------|------|
| 1        | 0.41308  |      |
| 2        | 1.107276 | 2.68 |
| 3        | 2.811106 | 2.54 |
| 4        | 10.06736 | 3.58 |
| 5        | 15.56402 | 1.55 |
| 6        | 38.33402 | 2.46 |

Μέσο RL = 2.56



## 4.2 Αποτελέσματα της υδρογραφικής ανάλυσης.

Από τη μελέτη των διαγραμμάτων των υδρογραφικών νόμων (σχήματα 2,3) φαίνεται ότι το υδρογραφικό δίκτυο του Πάμισου παρουσιάζει μια ομαλή (κανονική) ανάπτυξη χωρίς μεγάλες αποκλίσεις από την ευθεία. Η τιμή του συντελεστή συσχέτισης R είναι πολύ υψηλή (Πίνακας III), γεγονός που υποδηλώνει τη πολύ καλή συμμεταβολή των δυο τιμών.

Πίνακας III: Συντελεστές συσχέτισης R για τις λεκάνες 5<sup>ης</sup> και 6<sup>ης</sup> τάξης, για τον 1<sup>ο</sup> και 2<sup>ο</sup> Νόμο του Horton.

| Λεκάνη | R - 1 <sup>ος</sup> Νόμος Horton | R - 2 <sup>ος</sup> Νόμος Horton |
|--------|----------------------------------|----------------------------------|
| 6      | 0.9918                           | 0.9885                           |
| 5.1    | 0.9971                           | 0.9948                           |
| 5.2    | 0.9693                           | 0.9709                           |
| 5.3    | 0.9865                           | 0.9708                           |

Εξαίρεση αποτελούν οι τιμές των κλάδων 4<sup>ης</sup> τάξης οι οποίες παρουσιάζουν σαφή απόκλιση από την ευθεία. Ειδικότερα οι τιμές του αριθμού των κλάδων παρουσιάζονται μειωμένες σε αντίθεση με την τιμή του αθροιστικού μέσου μήκους η οποία παρουσιάζεται αυξημένη. Μια τέτοια μεταβολή δείχνει μια μεγαλύτερη σε μήκος ανάπτυξη μικρότερου του αναμενόμενου αριθμού κλάδων 4<sup>ης</sup> τάξης του υδρογραφικού δικτύου.

Η επιλεκτική αυτή επιμήκυνση, επειδή έγινε πάνω σε σκληρά πετρώματα του υποβάθρου χωρίς τη μέγιστη ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου (χαμηλές τιμές D & F) σχετίζεται άμεσα με τη δράση της τεκτονικής. Οι κλάδοι αναπτύχθηκαν ακολουθώντας τον ευκολότερο δρόμο μέσα από διαρρήξεις που αποτέλεσαν το αρχικό επιφανειακό ίχνος από το οποίο ξεκίνησε η κατά βάθος διάβρωση.

## 4.3 Υδρογραφική πυκνότητα και συχνότητα.

Δύο σημαντικοί παράμετροι που χαρακτηρίζουν τα υδρογραφικά δίκτυα και αναλύθηκαν στην παρούσα εργασία είναι η υδρογραφική πυκνότητα και η υδρογραφική συχνότητα. Οι τιμές της υδρογραφικής πυκνότητας και της υδρογραφικής συχνότητας για την υδρολογική

λεκάνη του Πάμισου καθώς επίσης και για τις υπολεκάνες 5<sup>ης</sup> τάξης 5.1, 5.2 και 5.3. παρουσιάζονται στον πίνακα 4.

Οι τιμές της υδρογραφικής πυκνότητας και συχνότητας τόσο για την υδρολογική λεκάνη του Πάμισου όσο και για τις κύριες υπολεκάνες 5<sup>ης</sup> τάξης χαρακτηρίζονται ως μικρές. Τέτοιες τιμές υποδηλώνουν την ανάπτυξη ενός υδρογραφικού δικτύου πάνω σε σκληρά αδιαπέρατα πετρώματα του υποβάθρου. Η επιφανειακή απορροή ευνοείται αναπτύσσοντας τους κύριους κεντρικούς κλάδους του δικτύου.

Πίνακας IV: Υδρογραφική πυκνότητα και υδρογραφική συχνότητα

| Λεκάνη | Υδρογραφική πυκνότητα | Υδρογραφική συχνότητα |
|--------|-----------------------|-----------------------|
| 6      | 2.19                  | 3.61                  |
| 5.1    | 2.58                  | 4.68                  |
| 5.2    | 2.54                  | 5.08                  |
| 5.3    | 2.05                  | 3.17                  |

Όμως αν μελετηθούν οι τιμές D και F (Πίνακας V) για τις υπολεκάνες 4<sup>ης</sup> τάξης (Σχήμα 4) τότε υπάρχει μια σαφής διαφοροποίηση των τιμών μεταξύ τους. Η διαφοροποίηση αυτή οφείλεται στη μικρότερη επιφάνεια των λεκανών οι οποίες αναπτύσσονται πάνω σε επιφάνειες διαφορετικού μορφολογικού αναγλύφου και λιθολογίας.

Οι μεγαλύτερες τιμές D και F παρουσιάζονται στις λεκάνες 4.5 και 4.6. Οι λεκάνες αυτές αναπτύσσονται σε ένα χαμηλό και ήπιο ανάγλυφο σκληρών οφειολιθικών πετρωμάτων. Η επιφανειακή απορροή ευνοείται σημαντικά εξαιτίας των αδιαπέρατων σχηματισμών δημιουργώντας ένα μεγάλο μήκος και πολυάριθμων κλάδων υδρογραφικό δίκτυο.

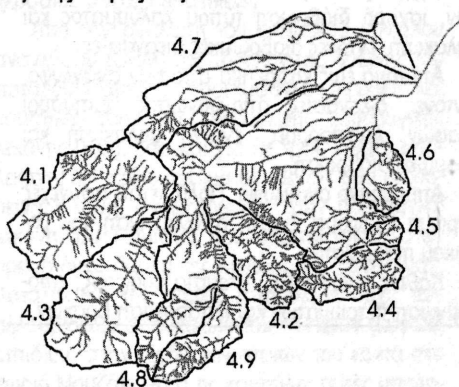
Αντίστοιχα υψηλότερες τιμές D και F παρουσιάζονται και στις λεκάνες 4.4 και 4.2. Στη λεκάνη 4.4 το ανατολικό τμήμα του δικτύου αναπτύσσεται πάνω στους οφειολίθους ενώ το δυτικό επάνω στα ανθρακικά πετρώματα της σειράς του Κόζιακα. Οι κλάδοι του δικτύου της 4.2 αναπτύσσονται ανατολικά του κύριου κλάδου πάνω στη σειρά Κόζιακα και δυτικά στον φλύσχη της Πίνδου. Υψηλές τιμές D και F όμως έχουν παρατηρηθεί και σε επιφάνειες ίδιες λιθολογίας βορειότερα του χωριού Πύλη στην

υδρολογική λεκάνη του Πορταϊκού ποταμού (Βρουχάκης κ.α., 2004).

Πίνακας V: Τιμές υδρογραφικής πυκνότητας και συχνότητας για τις υπολεκάνες 4<sup>ης</sup> τάξης του Πάμισου ποταμού

| a/a | Au (km <sup>2</sup> ) | D    | F     |
|-----|-----------------------|------|-------|
| 4.1 | 43,12                 | 2.21 | 3.59  |
| 4.2 | 20,22                 | 3.23 | 7.17  |
| 4.3 | 35,85                 | 1.79 | 2.65  |
| 4.4 | 13,13                 | 3.29 | 8.22  |
| 4.5 | 2,375                 | 3.38 | 12.21 |
| 4.6 | 9,76                  | 3.8  | 5.84  |
| 4.7 | 54,78                 | 1.58 | 1.64  |
| 4.8 | 11,38                 | 2.29 | 4.92  |
| 4.9 | 12,83                 | 2.97 | 6.08  |

Οι υψηλότερες τιμές δικαιολογήθηκαν από μια πιθανή κληρονομημένη δομή ενός υπερκείμενου υδρογραφικού δικτύου πιθανά πάνω σε οφειόλιθους. Όμως κάτι τέτοιο δεν μπορεί να δικαιολογήσει τις αντίστοιχα υψηλότερες τιμές του δικτύου (λεκάνη 4.2) που βρίσκονται στο εσωτερικό του ορεινού όγκου της Πίνδου δυτικά της κορυφογραμμής του Κόζιακα. Παράλληλα έχουμε σημαντική δράση της τεκτονικής στην ανάπτυξη αυτού του δικτύου (παράγραφος 6). Είναι λοιπόν εξαιρετικά πιθανό οι υψηλότερες τιμές D και F να οφείλονται στην ανάπτυξη ενός υδρογραφικού δικτύου πάνω σε μια τεκτονικά καταπονημένη, λιγότερο πλαστική από τους σχηματισμούς της Πίνδου, μη αμιγή ασβεστολιθική μάζα της σειράς Κόζιακα.



Σχήμα 4: Υπολεκάνες 4<sup>ης</sup> τάξης και το υδρογραφικό δίκτυο του ποταμού Πάμισου

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι χαμηλές τιμές D και F των λεκανών 4.1 και 4.3 που αναπτύσσονται στα μαλακά επιδεδεικτικά στην διάβρωση πετρώματα του Φλύσχη της ζώνης της Πίνδου. Αντίθετα οι λεκάνες 4.8 και 4.9 που αναπτύσσονται πάνω στους ίδιους σχηματισμούς έχουν τιμές αρκετά υψηλότερες. Φαίνεται ότι αυτή η σημαντική διαφοροποίηση οφείλεται στο διαφορετικό μορφολογικό ανάγλυφο και στη δράση της τεκτονικής.

## 5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟΥ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ

Η ανάλυση του μορφολογικού αναγλύφου σχετίζεται άμεσα με την μορφομετρία δηλαδή τον ποσοτικό προσδιορισμό του σχήματος του αναγλύφου (Strahler, 1952, Harlin, 1978, Mayer, 1990). Με ποιο απλά λόγια το ανάγλυφο μπορεί να κατηγοριοποιηθεί και να συγκριθεί ανάλογα με το μέγεθος, το υψόμετρο (μέγιστο, μέσο, ελάχιστο) και τις κλίσεις του.

Για την πραγματοποίηση τέτοιων μετρήσεων σ' όλη την υδρολογική λεκάνη του Πάμισου ποταμού χρησιμοποιήθηκαν τα υψομετρικά δεδομένα των χαρτών της ΓΥΣ (φύλλα Μουζάκι & Καρδίτσα, 1970) τα οποία επεξεργάστηκαν σε πρόγραμμα Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S). Ειδικότερα χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό MapInfo v6.0 και Vertical Mapper v3.1. Από τα υψομετρικά δεδομένα στη συνέχεια δημιουργήθηκε το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (DEM) της λεκάνης. Ο κλίμακός του έχει διάσταση 45 m και δημιουργήθηκε με την χρησιμοποίηση της μεθόδου παρεμβολής του τριγωνισμού με εξομάλυνση (triangulation with smoothing).

### 5.1 Υψομετρικά δεδομένα

#### 1. Κατανομή επιφανειακού αναγλύφου

Η μελέτη της κατανομής του επιφανειακού αναγλύφου γίνεται για να διερευνηθεί η εξέλιξη της κοιλιάδας του ποταμού Πάμισου. Ποσοτικές μετρήσεις μας επιτρέπουν να συγκρίνουμε αντικειμενικά διαφορετικές μορφές αναγλύφου στις οποίες μπορούμε να προσδιορίσουμε συγκεκριμένα μορφολογικά χαρακτηριστικά όπως ρυθμός διάβρωσης, τεκτονική δράση κλπ. (Keller & Pinter, 2002). Για αυτό το σκοπό ήταν απαραίτητο να γίνει η ανάλυση συγκεκριμένων

γεωμορφολογικών παραμέτρων - δεικτών. Έτσι μελετήθηκαν οι κλίσεις του επιφανειακού αναγλύφου, η υψομετρική καμπύλη και το υψομετρικό ολοκλήρωμα καθώς και οι αναβαθμίδες που έχουν δημιουργηθεί σε διάφορα σημεία της λεκάνης του ποταμού ως συνδυασμός ποτάμιας δράσης, γεωλογίας και τεκτονικής.

## II. Κλίσεις επιφανειακού αναγλύφου

Με τη χρήση του λογισμικού Vertical Mapper v3.1 από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους κατασκευάστηκε ο παρακάτω χάρτης κλίσεων (Σχήμα 5). Στον χάρτη αυτό με λευκό χρώμα παρουσιάζονται οι πολύ μικρές κλίσεις. Οι διαβαθμίσεις των ανοιχτών τόνων του γκρι προς το μαύρο αντιστοιχούν στην αύξηση των κλίσεων του αναγλύφου.

Όπως λοιπόν φαίνεται στο σχήμα 5 ο ποταμός Πάμισος κατά την έξοδό του στην πεδιάδα της Θεσσαλίας δημιουργεί ένα εκτεταμένο πολύ μικρών κλίσεων αλλουβιακό ριπίδιο μέχρι την συμβολή του με τον Πηνειό ποταμό. Οι αποθέσεις του δεν παρουσιάζουν τη χαρακτηρι-

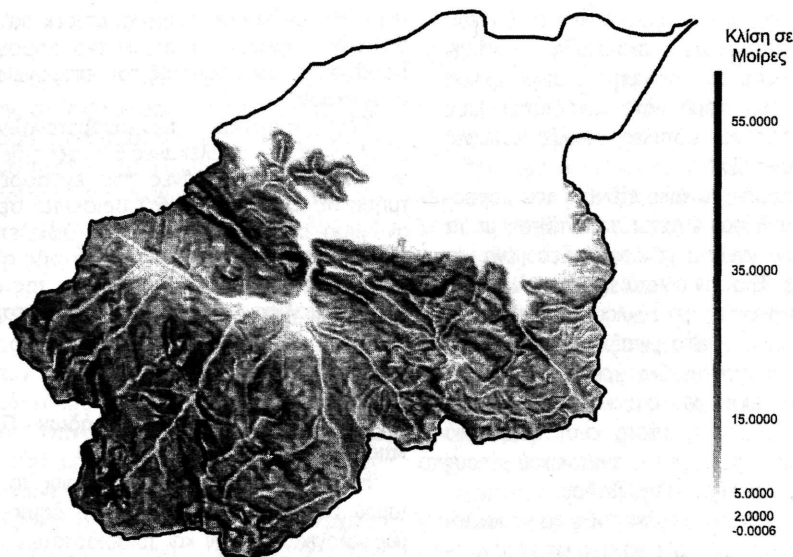
στική μορφή βεντάλιας αφού σχηματίζει ένα σύνθετο αλλουβιακό ριπίδιο με τις αποθέσεις του Πορταϊκού ποταμού στα ΒΔ.

Παράλληλα οι αποθέσεις του ποταμού που αποτελούν και το όριο της χαμηλής ζώνης της Θεσσαλίας διαχωρίζονται από το ΝΔ ορεινό όγκο με μια σαφή ζώνη μεγάλων κλίσεων του μορφολογικού αναγλύφου. Η ζώνη αυτή αποτελεί το τεκτονικό του δυτικού βυθίσματος της Θεσσαλίας. Μοναδικές προεξοχές προς το εσωτερικό της λεκάνης αποτελούν οι λοφώδεις οφειολιθικοί σχηματισμοί που επικαθόνται στη σειρά Κόζιακα.

Με βάση το χάρτη κλίσεων έγινε η ταξινόμηση των κλίσεων του αναγλύφου σε έξι ομάδες σύμφωνα με την International Geographical Union (Πίνακας 5). Η κάθε μια από αυτές τις έξι ομάδες κλίσεων χαρακτηρίζει το είδος της επιφάνειας και τον τρόπο διάβρωσής της (Demek 1969).

Πίνακας VI: Η κατανομή των επιφανειακών κλίσεων στην υδρολογική λεκάνη του ποταμού Πάμισου

| Κλίσεις | Επιφάνεια σε km <sup>2</sup> | Ποσοστό % επιφάνειας με κλίση | Μορφολογικά χαρακτηριστικά επιφανειών και τρόπος διάβρωσης (Demek.1969):  |
|---------|------------------------------|-------------------------------|---|
| 0-2     | 97,03                        | 31,2                          | Επίπεδο έως ελαφρώς κεκλιμένο ανάγλυφο. Έναρξη διάβρωσης τύπου καλύμματος.  |
| 2-5     | 13,06                        | 4,2                           | Ελαφρώς κεκλιμένο ανάγλυφο. Διάβρωση καλύμματος και έναρξη αυλακωτής διάβρωσης  |
| 5-15    | 66,55                        | 21,4                          | Ισχυρώς κεκλιμένο ανάγλυφο. Κινήσεις μαζών, ισχυρή διάβρωση τύπου καλύμματος και αυλακωτή, έντονες διαβρωτικές διεργασίες.                  |
| 15-35   | 126,27                       | 40,6                          | Απότομο έως εξαιρετικά απότομο ανάγλυφο. Έντονες διεργασίες απογύμνωσης, ερπυσμοί εδαφών, λασποροές, έντονη αυλακωτή και γραμμική διάβρωση. |
| 35-55   | 8,09                         | 2,6                           | Απόκρημνο ανάγλυφο. Πολύ λεπτό ασυνεχές στρώμα εδάφους, έντονη απογύμνωση του μητρικού πετρώματος.  |
| 55<     | 0                            | 0                             | Κάθετο ανάγλυφο. Απουσία εδάφους, απογύμνωση πετρωμάτων και κατάρρευση βράχων.  |



Σχήμα 5: Οι κλίσεις του μορφολογικού αναγλύφου στην υδρολογική λεκάνη του Πάμισου ποταμού της Θεσσαλίας.

### III. Υψομετρική καμπύλη και Υψομετρικό ολοκλήρωμα

Η υψομετρική καμπύλη της λεκάνης απορροής ενός ποταμού εκφράζει την κατανομή των υψών της υδρολογικής λεκάνης σε διάγραμμα και είναι ανεξάρτητη από το μέγεθος της. Αντίστοιχα το υψομετρικό ολοκλήρωμα ( $H_i$ ) είναι η απλουστευμένη μαθηματική έκφραση αυτής της κατανομής. Η τιμή του υψομετρικού ολοκληρώματος εκφράζει τον βαθμό απογύμνωσης της χερσαίας μάζας (land mass).

Από την ανάλυση του ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου (DEM) της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Πάμισου, προέκυψαν οι υψομετρικές καμπύλες τόσο της ενδοορεινής υδρολογικής λεκάνης (ΕΟ), όσο και για τις τρεις κύριες υπολεκάνες 5<sup>ης</sup> τάξης (σχήμα 6). Με τον όρο ενδοορεινή λεκάνη, αναφερόμαστε στην υδρολογική λεκάνη του Πάμισου που αναπτύσσεται στον ορεινό όγκο δυτικά της λεκάνης της Θεσσαλίας. Καταληκτικό της σημείο αποτελεί η αρχή των αλλουβιακών αποθέσεων του ποταμού (κεφαλή ριπιδίου) στην έξοδο των στενών του κοντά στο χωριό Μουζάκι. Από τις καμπύλες αυτές υπολογίστηκε το υψομετρικό ολοκλήρωμα σε ποσοστό %. Παράλληλα χρησιμοποιήθηκε και ο μαθημα-

τικός τρόπος υπολογισμού του υψομετρικού ολοκληρώματος ( $H_i$ ) (Pike et al., 1971, Mayer, 1990) που είναι ο ακόλουθος:

$$H_i = \frac{\text{μέσο υψόμετρο} - \text{ελάχιστο υψόμετρο}}{\text{μέγιστο υψόμετρο} - \text{ελάχιστο υψόμετρο}}$$

Σύμφωνα με τον παραπάνω τύπο μόνο τρεις τιμές είναι απαραίτητες για να υπολογιστεί το υψομετρικό ολοκλήρωμα, από τις οποίες οι δύο είναι απλό να βρεθούν και από τον τοπογραφικό χάρτη (Keller & Pinter, 2002:122).

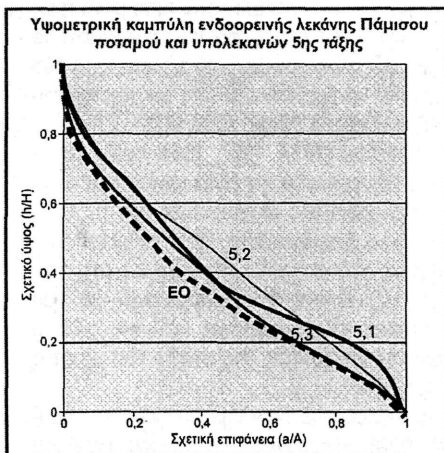
Ο Strahler (1952, 1957, 1964) ορίζει τις τιμές του υψομετρικού ολοκληρώματος έτσι ώστε να γίνεται εύκολα ο διαχωρισμός των σταδίων στον Κύκλο Απογύμνωσης. Έτσι, ορίζεται ότι η μετάβαση από το στάδιο της νεότητας στο στάδιο της ωριμότητας πραγματοποιείται για τιμή υψομετρικού ολοκληρώματος 60% και από το στάδιο της ωριμότητας στο στάδιο του γήρατος για τιμή 35%.

Το υψομετρικό ολοκλήρωμα για την ενδοορεινή (ΕΟ) υδρολογική λεκάνη του Πάμισου υπολογίστηκε σε 35% περίπου. Το ποσοστό αυτό δείχνει σαφώς ότι η υδρολογική λεκάνη βρίσκεται στο όριο μεταξύ των σταδίων **ωριμό-**

τητας και γήρατος. Παραπάνω μείωση του επιφανειακού αναγλύφου στο στάδιο του γήρατος δεν θα μεταβάλει την τιμή του υψομετρικού ολοκληρώματος, παρά μόνο εάν διατηρηθούν από τη διάβρωση κάποιες υψηλές κορυφές (Keller & Pinter, 2002).

Το παραπάνω στάδιο εξέλιξης του μορφολογικού αναγλύφου έρχεται σε αντίθεση με τα μέχρι σήμερα γνωστά γεωλογικά δεδομένα για την περιοχή. Έτσι αν η λεκάνη είχε εξελιχθεί με βάση τις διεργασίες του κύκλου απογύμνωσης, θα βρισκόταν στο όριο μεταξύ ωριμότητας και γήρατος μετά από μεγάλο χρονικό διάστημα. Φυσικά κάτι τέτοιο δεν ισχύει για μια περιοχή ανυψωμένη τόσο πρόσφατα στον γεωλογικό χρόνο, όπως η περιοχή του ανατολικού μέρους του ηπειρωτικού κορμού της Πίνδου.

Είναι γενικότερα αποδεκτό ότι το μορφολογικό ανάγλυφο σε πρόσφατα ανεπτυγμένα – ενεργά ορογενή διαμορφώνεται κυρίως από δύο παράγοντες, την τεκτονική και την ποτάμια διάβρωση. Εάν δεχθούμε ότι οι μικρές τιμές υδρογραφικής πυκνότητας και συχνότητας που αναλύθηκαν παραπάνω περιγράφουν διεργασίες διάβρωσης πάνω σε σκληρά πετρώματα του υποβάθρου, τότε το έλλειμμα χερσαίας μάζας (landmass) πρέπει να οφείλεται στην διεύρυνση της κοιλάδας εξαιτίας της τεκτονικής δράσης τουλάχιστον σε κάποιο αρχικό στάδιο σχηματισμού της. Παράλληλα και η γεωλογική δομή της



Σχήμα 6: Υψομετρικές καμπύλες της κύριας λεκάνης και των υπολεκάνων 5<sup>ης</sup> τάξης του Πάμισου ποταμού

περιοχής με τον υποκείμενο, επιδεκτικό στη διάβρωση, φλύσχη αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα διαμόρφωσης του επιφανειακού αναγλύφου.

Τέλος, η σύγκριση των υψομετρικών καμπυλών για τις υπολεκάνες 5<sup>ης</sup> τάξης δείχνει ότι από τις υπολεκάνες του ενδοορεινού τμήματος (5.2 & 5.3) η 5.2 βρίσκεται σε πιο ανώριμο στάδιο. Επίσης στην υψομετρική καμπύλη της λεκάνης 5.1 είναι σαφής η επίδραση του τεκτονικού περιθωρίου της δυτικής Θεσσαλίας καθώς επίσης και η παρουσία των οφειλοθικών σχηματισμών στα χαμηλότερα υψόμετρα.

## 5.2 Εξέλιξη ποτάμιων κοιλάδων - Παλαιοκοιλιάδες

Η εξέλιξη της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Πάμισου μελετήθηκε με τη δημιουργία μορφολογικών τομών και τρισδιάστατων απεικονίσεων (3D) με τη χρήση του ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου (D.E.M).

Οι τομές αυτές (Σχήμα 7) έγιναν στους κύριους κλάδους του υδρογραφικού δικτύου του Πάμισου. Είναι σχεδόν ευθείες τομές γιατί ακολουθήθηκε η διεύθυνση της μέγιστης κλίσης, έτσι ώστε να εμφανιστούν καλύτερα τα μορφολογικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται με την ποτάμια δράση. Η τομή Α αποτελεί την μορφολογική τομή του υδροκρίτη που χωρίζει την υδρολογική λεκάνη του Πάμισου με αυτή του Πορταϊκού βορειότερα. Οι τομές Β και Γ είναι μορφολογικές τομές στον κύριο κλάδο της υπολεκάνης 5.3 και η τομή Δ στο ΝΔ της τμήμα τέμνει τον κύριο κλάδο της υπολεκάνης 5.2 και στη συνέχεια φτάνει μέχρι την κορυφογραμμή του Κόζιακα στο όριο της ενδοορεινής ζώνης.

Η συγκριτική μελέτη των μορφολογικών στοιχείων που παρουσιάζονται στις τομές του σχήματος 7 καθιστά δυνατή τη σύνθεση των σταδίων εξέλιξης της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Πάμισου. Η σημαντικότερη μορφολογική τομή η οποία προσδιορίζει εξελικτικά τη διαβρωτική δράση του ποταμού Πάμισου, είναι η τομή στα στενά που σχηματίζει ο ποταμός κοντά στο χωριό Μουζάκι (Στενά Μουζακίου). Την ευρεία κοιλάδα με ομαλές κλίσεις που έχουν τα στενά πάνω από το υψόμετρο των 580 – 600 m τη διαδέχεται μια στενή και απότομων τοιχωμάτων κοιλάδα μέχρι τη σημερινή βάση



της κοίτης του ποταμού σε υψόμετρο 200 m περίπου.

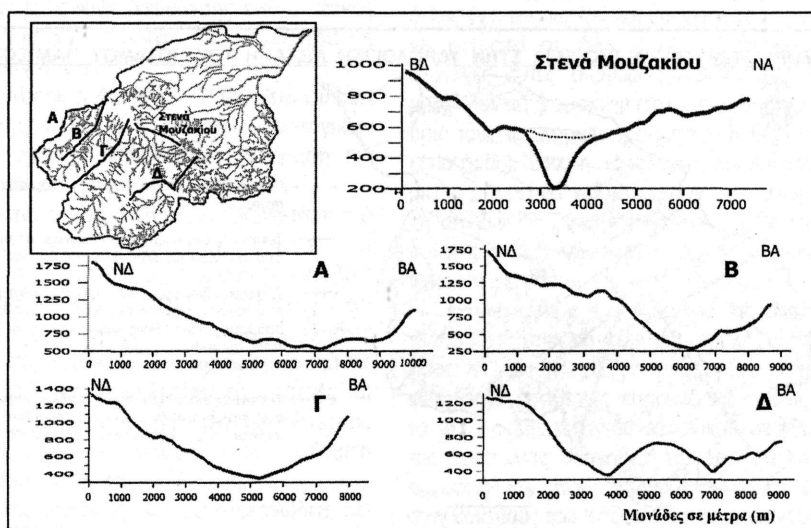
Φαίνεται λοιπόν ότι η δημιουργία αυτής της απότομης στενής κοιλάδας σχετίζεται άμεσα με μια μεταβολή στην εξελικτική πορεία του ποτάμιου συστήματος του Πάμισου. Η επαναδραστηριοποίηση της διαβρωτικής δράσης του ποταμού οφείλεται στη μεταβολή του βασικού επιπέδου στο δυτικό βύθισμα της Θεσσαλίας. Σύμφωνα με τον Ψιλοβίκο 1991, μετά τη βύθιση της Αιγίδος και το σχηματισμό του Αιγαίου πελάγους αρχίζει μια φάση ταχείας αποστράγγισης των Θεσσαλικών βυθισμάτων προς το Θερμαϊκό κόλπο. Έτσι η ταχεία κατά βάθος διάβρωση αναγκάζει το υδρογραφικό δίκτυο να εγκιβωπισθεί μέσα στα στενά πετρώματα του υποβάθρου σχηματίζοντας στενές κοιλάδες.

Το υψόμετρο των 600 – 580 μέτρων έρχεται σε συμφωνία με αντίστοιχα υψόμετρα δημιουργίας άλλων στενών κοιλάδων που βρίσκονται προς τα κατάντη του υδρογραφικού δικτύου του Πηνειού. Τέτοιες είναι η κοιλάδα του Καλαμακίου στα 450-480 m και η κοιλάδα του Τιρνάβου στον παραπόταμο του Πηνειού Τιταρήσιο στα 470-500 m (Ψιλοβίκος 1991). Επίσης και ο Πορταϊκός στα βόρεια σχηματίζει επίσης στενή κοιλάδα στα 650 – 700 m (Βρουχάκης 2003). Είναι λοιπόν σαφές ότι διαβρωτική δράση του Πηνειού και των παραποτάμων του δεν περιο-

ρίστηκε στα σημεία επικοινωνίας των επιμέρους βυθισμάτων αλλά επεκτάθηκε και δυτικότερα στο εσωτερικό του ορεινού ηπειρωτικού όγκου διαβρώνοντας κατά βάθος του σχηματισμούς της σειράς Κόζιακα.

Στην τομή Α αν και πρόκειται για μορφολογία του υδροκρίτη της λεκάνης βλέπουμε να μοιάζει με τομή κοιλάδας. Ειδικότερα, πρέπει να προσεχθεί το ότι τα ελάχιστα υψόμετρα που συναντάμε είναι περίπου 600 m. Πρέπει λοιπόν αυτή η υδροκριτική γραμμή η οποία μάλιστα δημιουργεί σαφή ανισοτροπία στα υδρογραφικά δίκτυα των ποταμών Πορταϊκού (Βρουχάκης κ.α., 2004) και Πάμισου να σχετίζεται άμεσα με την εξέλιξη τους και χρήζει περαιτέρω διερεύνησης.

Παράλληλα οι τομές Β και Γ παρουσιάζουν μια πολύ διευρυμένη υδρολογική λεκάνη. Τόσο από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους όσο και από επιτόπιες παρατηρήσεις διαπιστώθηκε ότι το πολύ επιδεκτικό στην διάβρωση υλικό του φλύσχη της Πίνδου δεν επιτρέπει την παρουσία, για μεγάλο χρονικό διάστημα, των ιχνών της ποτάμιας δράσης (αναβαθμίδων). Είναι όμως σαφές και από τις δύο μορφολογικές τομές ότι η κοιλάδα είναι ιδιαίτερος διευρυμένη σε ένα άξονα ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνσης. Κάτι τέτοιο άλλωστε φαίνεται και από το υψομετρικό



Σχήμα 7: Μορφολογικές τομές στην υδρολογική λεκάνη του ποταμού Πάμισου.

ολοκλήρωμά της που δείχνει ότι ένας σημαντικός όγκος υλικού έχει διαβρωθεί και απομακρυνθεί.

Αντίθετα η τομή Δ στο ΝΔ τμήμα της λεκάνης δείχνει κάποιες λιγότερο διευρυμένες κοιλάδες με μεγαλύτερες κλίσεις. Κάτι τέτοιο είναι αναμενόμενο και από το υψομετρικό ολοκλήρωμα τουλάχιστον για την λεκάνη 5.2 που δείχνει το μικρότερο εύρος απογύμνωσης του αναγλύφου.

## 6. ΜΟΡΦΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

### 6.1 Υδρογραφικό δίκτυο

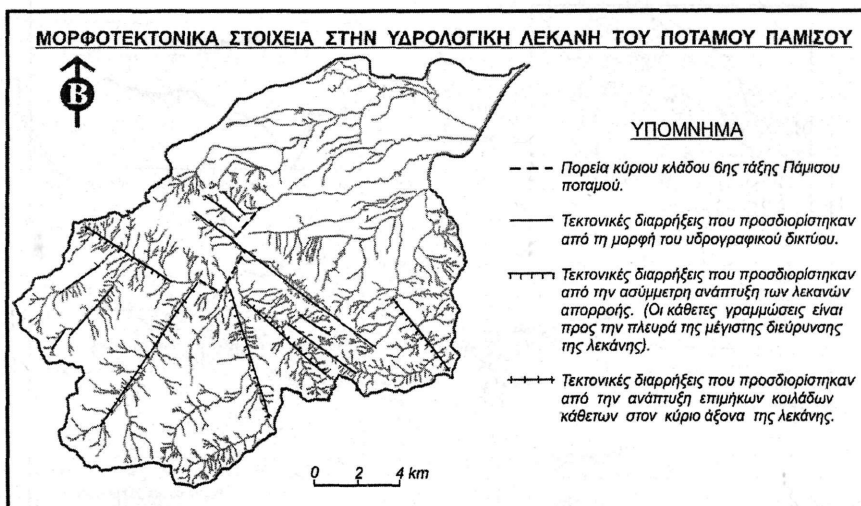
Η ασύμμετρη ανάπτυξη ενός υδρογραφικού δικτύου, πολλές φορές οφείλεται στην αλλαγή της διεύθυνσης ροής ορισμένων κλάδων του, εξαιτίας συγκεκριμένων γεωλογικών αιτιών. Ειδικότερα τέτοια φαινόμενα ασύμμετρης ανάπτυξης εμφανίζονται στο υδρογραφικό δίκτυο του Πάμισου και σχετίζονται άμεσα με την τεκτονική δράση.

Επειδή το υδρογραφικό δίκτυο αναπτύσσεται πάνω σε σκληρά πετρώματα του υποβάθρου, γίνεται αντιληπτό ότι για να αποκτήσουν ορισμένοι κλάδοι του δικτύου μια δυναμική εντονότερης διαβρωτικής δράσης συνήθως ακολουθούν ίχνη τεκτονικών διαρρήξεων. Οι

διαρρήξεις αυτές δίνουν τη δυνατότητα δημιουργίας ενός αρχικού ίχνους ανεξάρτητο των κλίσεων του αναγλύφου και της γενικότερης μορφολογίας, το οποίο ακολουθεί η κατά βάθος διάβρωση διευρύνοντάς το (Σχήμα 8).

Μια ακόμη απόδειξη της επίδρασης της τεκτονικής στο υδρογραφικό δίκτυο του Πάμισου είναι η σχεδόν κάθετη στέψη του κύριου κλάδου 6ης τάξης του δικτύου σε τρία σημεία και σε απόσταση μικρότερη των 3,5 km (Σχήμα 8). Η στροφή του ποταμού παρουσιάζει ακόμα μεγαλύτερο ενδιαφέρον από το γεγονός ότι πραγματοποιείται πολύ κοντά και μέσα στα στενά του ποταμού πριν από την έξοδό του στην πεδιάδα της Θεσσαλίας.

Εκτός από την μακροσκοπική παρατήρηση του υδρογραφικού δικτύου, η σαφής προτίμησή του να ακολουθεί τεκτονικές δομές φαίνεται και από τη στατιστική επεξεργασία. Στα ροδιογράμματα διευθύνσεων κλάδων του δικτύου (Σχήμα 1) υπάρχει σαφής προτίμηση ανάπτυξης κλάδων παράλληλα με τις δύο κύριες διευθύνσεις (ΒΒΔ-ΝΝΑ και ΑΒΑ-ΔΝΔ) τεκτονικών διαρρήξεων που επηρέασαν την ευρύτερη περιοχή. Ειδικότερα οι κλάδοι 4ης τάξης παρουσιάζουν την μέγιστη ανάπτυξή τους κατά την διεύθυνση ΔΝΔ-ΑΒΑ. Αυτή η διεύθυνση ταυτίζεται με την πιο πρόσφατη ρηξιγενή δράση ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης ηλικίας Πλειόκαινου – Τεταρτογενούς.



Σχήμα 8. Η επίδραση της τεκτονικής στην ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου του Πάμισου.

## 6.2 Υδρολογικές λεκάνες

Στην υδρολογική λεκάνη του ποταμού Πάμισου υπάρχουν υπολεκάνες που δείχνουν μια σαφή ασύμμετρη ανάπτυξη. Για αυτό το σκοπό υπολογίστηκε η περιστροφή (tilt) των λεκανών 5.2, 4.1 και 4.2 (σχήματα 1 & 4), που εμφανίζουν σαφή ασύμμετρία. Η περιστροφή υπολογίζεται μέσω του παράγοντα ασύμμετρίας AF που ορίζεται από τη σχέση  $AF = 100(Ar/At)$ , όπου Ar είναι το εμβαδόν της περιοχής της λεκάνης δεξιά (κοιτώντας προς τα κατόντη) από την γραμμή ανάπτυξης του κύριου κλάδου και At είναι το συνολικό εμβαδόν της λεκάνης απορροής (Hare & Gartner, 1985, Cox, 1994). Για τα περισσότερα υδρογραφικά δίκτυα που δημιουργούν και αναπτύσσουν τη ροή τους σε σταθερές συνθήκες ο παράγοντας ασύμμετρίας AF είναι 50. Τιμές σημαντικά μεγαλύτερες ή μικρότερες από το 50 οφείλονται σε τεκτονικά αίτια (Keller & Pinter 2002:123). Για την λεκάνη 5.2 υπολογίστηκε σε  $(AF=74,90)$ , για την λεκάνη 4.1 σε  $(AF=71,68)$  και για την λεκάνη 4.2 σε  $(AF=66,91)$ .

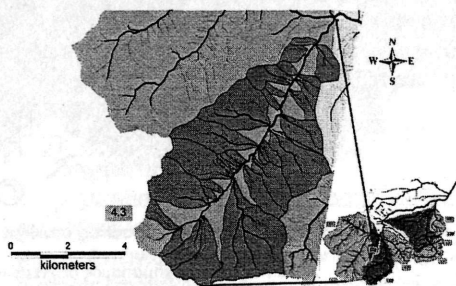
Έτσι, οι ασύμμετρες λεκάνες απορροής έχουν περιστραφεί γύρω από έναν άξονα που ταυτίζεται με γραμμή τεκτονικής διάρρηξης. Η διεύθυνση αυτών των αξόνων για τις λεκάνες 4.1 και 4.2 ταυτίζεται με το παλαιότερο σύστημα ρηγμάτων BBD-NNA διεύθυνσης ενώ ο άξονας της λεκάνης 5.2 αποκλίνει λίγο βορειότερα σε μια διεύθυνση B-N.

Οι Burbank & Anderson (2001) θεωρούν ότι η επιμήκης ή κυκλική μορφή των υδρολογικών λεκανών σχετίζεται άμεσα με την δράση της τεκτονικής.

Όσο πιο επιμήκης είναι μια λεκάνη τόσο πιο απότομες και συμπυκνωμένες είναι οι μεσολεκανώδεις περιοχές, ενώ όσο πιο κυκλική είναι μια λεκάνη τόσο ομαλότερες και διευρυμένες είναι αυτές (Mayer, 1986). 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.

Λεκάνες απορροής και μεσολεκανώδεις περιοχές με παρόμοια μορφή και διάταξη, όπως περιγράφηκε παραπάνω, εντοπίστηκαν στη

υπολεκάνη 4.3 (Σχήμα 9). Διαπιστώνεται δηλαδή ότι η λεκάνη 4.3 αναπτύσσεται κατά μήκος ενός άξονα με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ στον οποίο συμβάλλουν επιμήκεις λεκάνες σχεδόν κάθετων κλάδων. Ο βαθμός επιμήκυνσης (μήκος/πλάτος) είναι στις περισσότερες από αυτές μεγαλύτερος του 2,5.



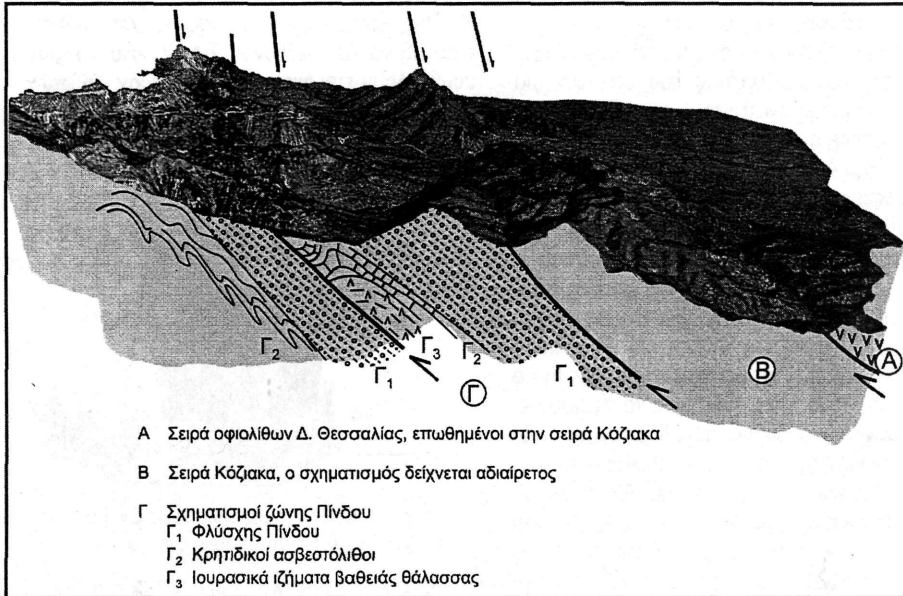
Σχήμα 9. Επιμήκης ανάπτυξη λεκανών και μεσολεκανωδών περιοχών στην υπολεκάνη 4.3.

Από τα παραπάνω μπορούμε να συμπεράνουμε ότι ο κύριος άξονας της λεκάνης με ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση έχει επηρεαστεί από την πιο πρόσφατη τεκτονική ηλικίας Πλειοκαίνου – Τεταρτογενούς της ευρύτερης περιοχής.

## 6.3 Εξέλιξη αναγλύφου

Το μορφολογικό ανάγλυφο της υδρολογικής λεκάνης του Πάμισου ποταμού της Θεσσαλίας, όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως μπορεί να χωριστεί σε δύο επιμέρους περιοχές. Οι περιοχές αυτές διαφοροποιούνται από σαφή μορφολογικά χαρακτηριστικά με φυσιογραφικό όριο τους την κορυφογραμμή του Κόζιακα (Κερκέτιο όρος). Έτσι η υδρολογική λεκάνη του Πάμισου μπορεί να χωριστεί στην ανατολική πεδινή και λοφώδη ζώνη της λεκάνης της Θεσσαλίας και στη δυτική ενδοορεινή περιοχή του ορεινού όγκου της Πίνδου.

Αναλυτικότερα η μορφολογία στο ανατολικό τμήμα δεν παρουσιάζει μια ομαλή μετάβαση προς τα χαμηλότερα, με ήπιες κλίσεις αναγλύφου, αλλά αντιθέτως επηρεάζεται σαφώς από τα μεγάλα ρήγματα του τεκτονικού περιθωρίου της Θεσσαλίας. Μοναδική εξαίρεση αποτελούν οι οφειόλιθοι που επωθούνται πάνω στους σχηματισμούς του Κόζιακα και δημιουργούν ένα χαμηλό λοφώδες ανάγλυφο στο δυτικό περιθώριο αυτής της χαμηλής ζώνης (Σχήμα 10).



Σχήμα 10: Τρισδιάστατη απεικόνιση της μορφολογίας και της γεωλογικής δομής της υδρολογικής λεκάνης του Πάμισου ποταμού της Θεσσαλίας

Το ενδοορεινό τμήμα της λεκάνης φαίνεται να διαμορφώνεται κατά μήκος ενός άξονα παράλληλου της κορυφογραμμής του Κόζικα. Ο άξονας αυτός έχει διεύθυνση BBA-NNA και είναι παράλληλος με τα παλαιότερα μεγάλης κλίμακας τεκτονικά στοιχεία που δημιουργούν τη λεπιοειδή ανάπτυξη των ελληνίδων ζωνών. Ο άξονας αυτός μορφολογικά ταυτίζεται με την μεγαλύτερη κατά πλάτος διεύρυνση των κοιλάδων και δεν αποτελεί άξονα συμμετρίας της λεκάνης. Αντιθέτως υπάρχει μια σαφής ασύμμετρη ανάπτυξη της υδρολογικής λεκάνης προς τα δυτικά. Φαίνεται λοιπόν ότι τα μεγάλα αναστροφα ρήγματα με κλίση προς τα δυτικά δημιούργησαν μια ζώνη διάρρηξης στο εσωτερικό του ορεινού όγκου. Έτσι αποκαλύφθηκαν οι πολύ επιδεκτικοί στη διάβρωση σχηματισμοί του Φλύσχη, με τους ασβεστολίθους που είναι λιγότερο επιδεκτικοί στη διάβρωση, να αποτελούν καπέλα που εμποδίζουν την παραπάνω διεύρυνση της λεκάνης στον κύριο άξονά της (Σχήμα 10).

Η κατά βάθος διάβρωση των ιζηματογενών σχηματισμών του Φλύσχη έγινε σε γρήγορους

ρυθμούς με αποτέλεσμα τη δημιουργία μικρής έκτασης αναβαθμίδων.

Κάθετα στον κύριο άξονα BBA-NNA διεύθυνσης δημιουργήθηκαν επιμήκεις κοιλάδες που φτάνουν μέχρι τα μεγαλύτερα υψόμετρα της υδρολογικής λεκάνης. Όπως αποδείχτηκε παραπάνω οι κοιλάδες αυτές έχουν επηρεαστεί από τη νεότερη τεκτονική ΔΝΔ-ΑΒΑ διεύθυνσης. Το ανάγλυφο σε αυτές της κοιλάδες είναι λιγότερο ώριμο εξαιτίας της πιο πρόσφατης δημιουργίας τους καθώς και ότι αυτές αναπτύσσονται πάνω στον κύριο ορεινό όγκο μικρότερης ηλικίας. Οι Κρητιδικοί ασβεστολίθοι αποτελούν πετρώματα με μικρή διαβρωσιμότητα με αποτέλεσμα την σημαντική κατά βάθος διάβρωση χωρίς την αντίστοιχη πλευρική διεύρυνση των κοιλάδων.

## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη συγκριτική μελέτη των στοιχείων που παρουσιάζονται στην εργασία αυτή, μπορεί να γίνει δυνατή η σύνθεση της εξέλιξης της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Πάμισου, του υδρογραφικού δικτύου και του αναγλύφου. Σε αυτή τη σύνθεση θα πρέπει να λάβουμε υ-

πόψη μας εκτός από τις φυσικές διεργασίες καταστροφής και διαμόρφωσης του επιφανειακού αναγλύφου και άλλα γεωλογικά και τεκτονικά στοιχεία που συνέβαλαν στη διαμόρφωση της λεκάνης του Πάμισου.

Η υδρολογική λεκάνη του ποταμού Πάμισου της Θεσσαλίας, όπως αποδεικνύεται από την εκτεταμένη ανάλυση των ψηφιακών δεδομένων αναγλύφου, δείχνει να βρίσκεται στο όριο μεταξύ του σταδίου **ωριμότητας και γήρατος**. Τα αίτια που διαμόρφωσαν αυτό το εξαιρετικά ώριμο ανάγλυφο πρέπει να αναζητηθούν στην τεκτονική και την ποτάμια διάβρωση. Εάν δεχθούμε ότι οι μικρές τιμές υδρογραφικής πυκνότητας και συχνότητας που αναλύθηκαν περιγράφουν διεργασίες διάβρωσης πάνω σε σκληρά πετρώματα του υποβάθρου, τότε το έλλειμμα χερσαίας μάζας πρέπει να οφείλεται στην διεύρυνση της κοιλάδας εξαιτίας και της τεκτονικής δράσης τουλάχιστον σε κάποιο αρχικό στάδιο σχηματισμού της.

Επειδή το υψομετρικό ολοκλήρωμα εκφράζει τον όγκο των υλικών που απομακρύνθηκαν από μια λεκάνη, φαίνεται ότι οι διεργασίες της διάβρωσης στο ανατολικό τμήμα του ορεινού όγκου της Πίνδου, άρχισαν και αυτές αρκετά νωρίς με αποτέλεσμα όχι μόνο την κατά βάθος διάβρωση αλλά και την κατά πλάτος διεύρυνση των κοιλάδων. Οι διεργασίες διάβρωσης σχετίζονται άμεσα με την μεταβολή του βασικού επιπέδου στο δυτικό βύθισμα της Θεσσαλίας. Από τη μορφή της κοιλάδας φαίνεται ότι η επαναστρατηριοποίηση της διαβρωτικής δράσης του ποταμού σε ένα υψόμετρο 580-600 m, ανάγκασε το υδρογραφικό δίκτυο να εγκιβωτισθεί μέσα στα σκληρά πετρώματα του υποβάθρου σχηματίζοντας μια στενή κοιλάδα πριν από την έξοδο του στην πεδιάδα της Θεσσαλίας.

Η μορφή και η ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου όπως αυτές προκύπτουν από την ποιοτική και ποσοτική ανάλυσή του, δείχνουν ένα υδρογραφικό δίκτυο που αναπτύχθηκε πάνω σε αδιαπέρατα πετρώματα του υποβάθρου. Σε πολλά σημεία του υδρογραφικού δικτύου αποτυπώθηκαν ασυμμετρίες σε κλάδους που οφείλονται στη δράση ρηγμάτων καθώς και ορθογώνιες στρέψεις της πορείας της κύριας κοίτης του ποταμού.

Η εξέλιξη του μορφολογικού αναγλύφου χαρακτηρίζεται από μια διαφοροποίηση στο ορεινό σε σχέση με το πεδινό της τμήμα στην πεδιάδα της Θεσσαλίας. Οι ίδιοι παράγοντες που επηρέασαν την ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου οδήγησαν και στη δημιουργία τόσο ασύμμετρων όσο και ιδιαίτερα επιμήκων λεκανών απορροής. Τόσο οι κλάδοι όσο και οι υδρολογικές λεκάνες φαίνεται να έχουν αναπτυχθεί – επηρεαστεί από τις δύο κύριες σχεδόν κάθετες διευθύνσεις ρηγμάτων της ευρύτερης περιοχής.

#### Ευχαριστίες

Οι συγγραφείς αυτής της εργασίας νιώθουν την ανάγκη να ευχαριστήσουν θερμά τον καθηγητή κ. Αντώνιο Ψιλοβίκο για την κριτική και τις εύστοχες επισημάνσεις του που συνέβαλαν στο καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Burbank, D.W. & Anderson, R.S. (2001) *Tectonic Geomorphology*. Blackwell, p.202
- Cox, R.T., (1994) *Analysis of drainage basin symmetry as a rapid technique to identify areas with possible Quaternary tilt-block tectonics: an example from the Mississippi Embayment*. Geological Society of America Bulletin, 106:571-581.
- Demek, J. (ed.) (1972) *Manual for Detailed Geomorphological Mapping*. IGU Commission on Geomorphic Survey and Mapping, Academia, Prague, 320 pp.,
- Ferriere (1974) *Nouvelles données stratigraphiques sur le massif du Koziakas*. C.R.Acad. Sci. Paris (D) 278, 995-998.
- Ferriere (1982) *Paleogeographies et tectoniques superposes dans les Hellenides internes: Les Massifs de Othrys et du Pelion ( Grece Continentale)*. Soc. Geol Nord Publ. 8 970s.
- Hare, P.W., Gardner, T.W., (1985) *Geomorphic indicators of vertical neotectonism along a verging plate margins, Nicoya Peninsula, Costa Rica*. In M. Morisawa & J.T. Hack (eds), *Tectonic Geomorphology: Proceedings of the 15<sup>th</sup> Annual Binghamton Geomorphology Symposium, September 1984*. Boston: Allen & Unwin, 75-104.



- Harlin, J.M., (1978) *Statistical moments of the hypsometric curve and its density function*. *Mathematical Geology*, 10:59-72.
- Jacobshagen, V. (1986) *Geologie von Griechenland*. Berlin.
- Jaeger, (1980) *Novelles donnees sur la géologie de la région de Mouzaki, province de Karditsa (Grèce Continentale). Relations entre les series pindique, beotinne et ultra pindique*. *Bull. Soc. Geol. France VII*, 22, 135-143.
- Mayer, L. (1986) *Tectonic geomorphology of escarpments and mountain fronts*. *Active Tectonics: Washington D.C., National Academy Press*, 125-135
- Mayer, L. (1990) *Introduction to Quantitative Geomorphology: An Exersice Manual*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Keller, E.A. & Pinter, N. (2002) *Active Tectonics: earthquakes uplift, and landscape*. 2<sup>nd</sup> Ed. Prentice-Hall Inc. New Jersey.
- Pike, R.J., Wilson, S.E., (1971) *Elevation – relief ratio, hypsometric intergral and geomorphic area-altitude analysis*. *Geological Society of America Bulletin*, 82:1079-1083.
- 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, no 6, 913-920.
- Strahler, A. N. (1964) *Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks*. In CHOW, V. T., (Ed.) *Handbook of Applied Hydrology*, New York, Section 14, 54p.
- Βουβαλίδης, Κ., Αλμπανάκης Κ., 2004. Δημιουργία γεωμετρικά διορθωμένου σε ΕΓΣΑ 87 φωτομωσαϊκού του Ελληνικού χώρου από το GEOSET™ του LANDSAT7/ETM της NASA. Πρακτικά 14<sup>ης</sup> Συνάντησης Ελλήνων Χρηστών ARCGIS, Αθήνα.
- Βρουχάκης, Ι., Βουβαλίδης, Κ., Σφέικος, Α. & Μαργωνη, Σ. (2004) *Η ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου του Πορταϊκού ποταμού της Θεσσαλίας*. *Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας* τομ, XXXVI, 978-987
- Γ.Υ.Σ (1970) *Τοπογραφικός χάρτης κλίμακας 1:50.000 Φύλλο Καρδίτσα*. Αθήνα.
- Γ.Υ.Σ (1970) *Τοπογραφικός χάρτης κλίμακας 1:50.000 Φύλλο Μουζάκιον*. Αθήνα.
- Λεκκας, Ε. (1988) *Γεωλογική δομή και γεωδυναμική εξέλιξη της οροσειράς του Κόζιακα (Δυτική Θεσσαλία)*. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. 21-25
- Ψιλοβίκος, Α. (1991) *Η εξέλιξη του Πηνειού ποταμού της Θεσσαλίας*. 2<sup>ο</sup> Συμπόσιο Τρικαλινών Σπουδών. Τρίκαλα.