

Ποσοτική ανάλυση – μορφοτεκτονικοί δείκτες για τις περιοχές των ρηγμάτων Στρατωνίου – Βαρβάρας και Γοματίου – μεγάλης Παναγιάς (Ανατολική Χαλκιδική)

ΜΙΧΑΗΛΙΔΟΥ Α¹., ΧΑΤΖΗΠΕΤΡΟΣ Α¹., ΠΑΥΛΙΔΗΣ Σ¹.

ABSTRACT

The study area is located at the NE part of Chalkidiki peninsula. Geologically it belongs at Servomacedonian mass. The faults of Stratoni - Barbara and Gomati - M. Panagia have an important role at the surface morphology of the area. These are typically active faults and they are the most important neotectonic structures at Eastern Chalkidiki. For the study of surface morphology a quantitative morphotectonic analysis has been done with the contribution of Geographical Information Systems G.I.S. The morphological indicators we have studied are: hypsometric curve and hypsometric integral, drainage basin asymmetry, mountain - front sinuosity, stream length - gradient index, transverse topographic symmetry, radio of valley - floor width to valley height and fault scarp morphology. This morphotectonic analysis has confirmed the field observations. Major role in this research had the use of satellite pictures and 3D models (Digital Elevation Model - D.E.M.).

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο Α -ΒΑ τμήμα της χερσονήσου της Χαλκιδικής. Γεωλογικά ανήκει στη Σερβομακεδονική μάζα και δομείται από λιθολογικούς σχηματισμούς της ενότητας των Κερδυλίων και του Βερτίσκου. Τα ρήγματα Στρατωνίου -Βαρβάρας και Γοματίου -Μεγάλης Παναγιάς διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του αναγλύφου της. Πρόκειται για τυπικά ενεργά ρήγματα, τα σπουδαιότερα της Ανατολικής Χαλκιδικής. Για τη μελέτη της συμπεριφοράς των ρηγμάτων και της επίδρασής τους στην επιφανειακή γεωμορφολογία, έγινε ποσοτική ανάλυση συγκεκριμένων μορφοτεκτονικών δεικτών με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Geographical Information Systems - G.I.S.). Οι μορφολογικοί δείκτες που αναλύθηκαν είναι οι ακόλουθοι: υψομετρική καμπύλη και υψομετρικό ολοκλήρωμα, ασυμμετρία λεκάνης απορροής, δαντέλωση στους πρόποδες των ρηγιγώνων πρηνών, μήκος ρέματος - δείκτης κλίσης, ο παράγοντας εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας και ο λόγος πλάτους κοιλάδας προς ύψος. Η μορφοτεκτονική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε βοήθησε στην επιβεβαίωση των υπαίθριων παρατηρήσεων. Σημαντικό ρόλο στην έρευνα είχε η χρήση της δορυφορικής εικόνας και η τρισδιάστατη απεικόνιση του αναγλύφου (Digital Elevation Model - D.E.M.).

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην εργασία αυτή γίνεται ανάλυση μορφοτεκτονικών δεικτών σε δύο μεγάλα ρήγματα της Ανατολικής Χαλκιδικής, το ρήγμα Στρατωνίου - Βαρβάρας και το ρήγμα Γοματίου - Μεγάλης Παναγιάς. Οι μορφοτεκτονικοί δείκτες αποτελούν ένα χρήσιμο εργαλείο για την εξαγωγή ποσοτικών συμπερασμάτων σχετικά με την επίδραση ενός ρήγματος στη μορφολογία, και ο υπολογισμός τους βασίζεται σε μετρήσεις γεωμορφολογικών στοιχείων. Ορισμένοι από αυ-

τούς εύκολα μπορούν να μετρηθούν απευθείας από έναν απλό τοπογραφικό χάρτη, όμως στις περισσότερες περιπτώσεις απαιτούνται στοιχεία τα οποία μπορούν να υπολογιστούν με μεγαλύτερη ακρίβεια με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.).

Για την κατασκευή των μορφοτεκτονικών και γεωλογικών χαρτών και την ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ArcGIS Desktop 8.3 και πιο συγκεκριμένα οι εφαρμογές ArcMap και ArcCatalog, καθώς επίσης και τα υποπρογράμματα 3D Analyst και

QUANTITATIVE ANALYSIS -TECTONIC GEOMORFOLOGY INDICATORS OF THE FAULTS AT THE REGION OF STRATONI - VARVARA GOMATI - M. PANAGIA IN THE EASTERN CHALKIDIKI

¹ Τομέας Γεωλογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ. 541 24 Θεσσαλονίκη, anamich@geo.auth.gr, ac@geo.auth.gr, pavliades@geo.auth.gr

Spatial Analyst. Για την εισαγωγή των τοπογραφικών και άλλων δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν πληθώρα πηγών.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ

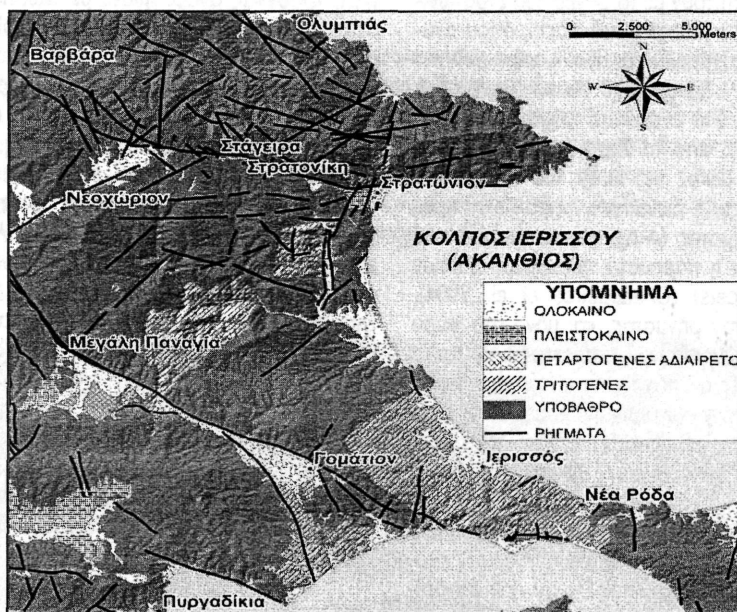
Η περιοχή μελέτης γεωλογικά ανήκει στην Σερβομακεδονική μάζα, δομείται από lithολογικούς σχηματισμούς της ενότητας των Κερδυλλίων και του Βερτίσκου (Μουντράκης 1985).

Η σειρά των Κερδυλλίων αποτελείται από βιοτιπικό γνεύσιο με παρεμβολές βιοτιπικών – κεροστιλβικών γνευσίων, αμφιβολιτών και λεπτών ενστρώσεων μαρμάρων και από τρεις οριζόντες μαρμάρου (Δημητριάδης 1974).

Η σειρά του Βερτίσκου συνίσταται από μια ακολουθία γνευσίων, μαρμαρυγιακών σχιστολίθων και λεπτών στρωμάτων μαρμάρων, ενώ στους ανώτερους οριζόντες της επικρατούν οι

μεταγάρβροι – μεταδιαβάσες και αμφιβολίτες, που προήλθαν από μεταμόρφωση βασικών πυριγενών πετρωμάτων (Ι.Γ.Μ.Ε. 1978). Συχνά επίσης παρεμβάλλονται με τεκτονικές επαφές μέσα στα άλλα πετρώματα σερπεντινικά σώματα.

Τα μεγάλα ρήγματα που δεσπόζουν ευρύτερο χώρο της ΒΑ Χαλκιδικής παρουσιάζουν τρεις γενικές διευθύνσεις ανάπτυξης (Pavlidis & Kiliias 1987, Χατζηπέτρος 1998, Capeta 1999, Οικονομίδης 2000): ένα μεγάλο μέρος από αυτά προσανατολίζονται σε μία ΒΔ-ΝΑ ως ΒΒΔ-ΝΝΑ κατεύθυνση, ένα δεύτερο σύστημα έχει διεύθυνση περίπου Α-Δ ως ΔΒΔ-ΑΝΑ και ένα τρίτο σύστημα έχει μία ΒΑ-ΝΔ κατεύθυνση, ενώ μερικά ρήγματα τείνουν περίπου σε μία Β-Ν κατεύθυνση (Σχήμα 1).



Σχήμα 1: Συνοπτικός γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης. Τόσο τα πετρώματα όσο και τα ρήγματα προέρχονται από ψηφιοποίηση των 1:50.000 γεωλογικών χαρτών του Ι.Γ.Μ.Ε. (φύλλα: Αρναία, Ιερισσός, Σταυρός, Στρατονίκη, Ι.Γ.Μ.Ε., 1978) και των γεωλογικών χαρτών από τους Pavlidis & Kiliias (1987), Capeta (1999) και Pavlidis & Tranos (1991).

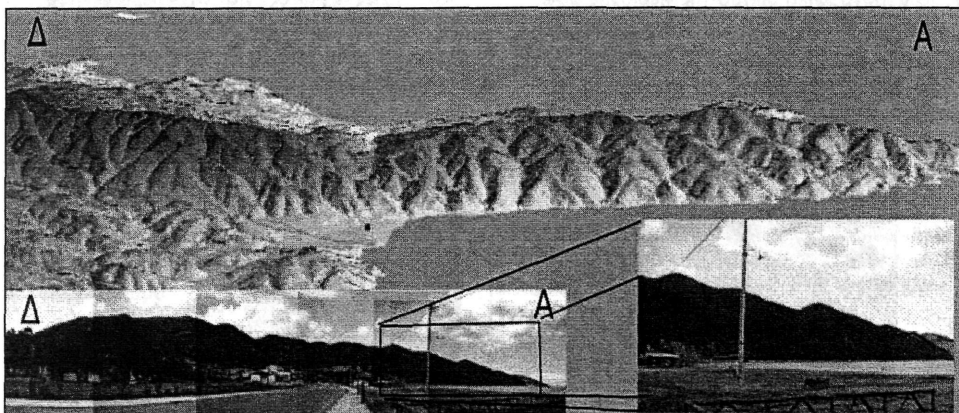
2.1 Ρήγμα Στρατωνίου – Βαρβάρας

Το ρήγμα Στρατωνίου – Βαρβάρας είναι γενικά δυνατό να διαχωριστεί σε δύο μεγάλα τμήματα με βάση την γεωμετρία του: το ρήγμα

του Στρατωνίου και το ρήγμα της Βαρβάρας. Το ρήγμα Στρατωνίου είναι μία Α-Δ (Σχήμα 2) γενικής διεύθυνσης μεγάλη ρηξιγενής γραμμή μήκους μεγαλύτερου των περίπου 25 km (εκ των οποίων 15 km στην ξηρά), που αποτελεί σε

σημαντικό μήκος και το χαρτογραφικό όριο της κατώτερης ενότητας Κερδυλλίων με την ανώτερη ενότητα Βερτίσκου της Σερβομακεδονικής μάζας και με το οφειολιθικό σύμπλεγμα Βόλβης – Γοματίου (Dixon & Dimitriadis 1984). Το ρήγμα διέρχεται από τα χωριά Στάγειρα, Στρατονίκη και Στρατώνι και στα Δυτικά φαίνεται να ενώνεται με το ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης ρήγμα Βαρβάρας, το οποίο λόγω αυτής της αλλαγής στην παράταξη διαφοροποιείται ως ένα ανεξάρτητο τμήμα ρήγματος (Pavlidis & Tranos 1991). Το ρήγμα του Στρατωνίου παρουσιάζει μετάπτωση του νότιου τεμάχου του και αποτελεί το προς Βορρά φυσικό όριο του Ακάνθιου κόλπου (κόλπος Ιερισσού), αφού διαχωρίζει γεωμορφολογικά την περιοχή σε δύο τμήματα: το βόρειο (footwall block) χαρακτηρίζεται από το υψηλό ανάγλυφο του Στρατωνικού όρους, του οποίου οι νότιες πλευρές συμπίπτουν με το ρήγμα του Στρατωνίου, και το νότιο (hangingwall block), όπου αναπτύσσεται ένα χαμηλό και ομοιόμορφο ανάγλυφο με εκτενές υδρογραφικό δίκτυο (Pavlidis & Tranos 1991). Στο ανατολικό τμήμα του ρήγματος (Σχήμα 2), από το Στρατώνι έως τη θέση Λιβάδι, κατά μήκος της ακτής του Στρατωνίου και σε μία γενική διεύθυνση παράλληλη προς αυτή του ρήγματος (Α-Δ), χαρακτηριστικό του πρσανούς είναι η παρουσία τριγωνικών κλιτύων (triangular facets) (Chatzipetros et al. 2004). Κατά μήκος του ρήγματος, και μόνο στο χώρο της άμεσης ζώνης αυτού, παρατηρούνται αρκετές, σημαντικές σε πάχος, τεταρτογενείς αποθέσεις συνεκτικών πλευρικών κορημάτων ερυθρού χρώματος με γωνιώδη τεμάχη από τα πετρώματα του υποβάθρου. Τέτοιες αποθέσεις όπως αυτές στο χώρο των οικισμών Σταγείρων και Στρατωνίου είναι πιθανό να δημιουργήθηκαν λόγω της νεοτεκτονικής δράσης του ρήγματος. Άλλωστε το ρήγμα του Στρατωνίου συνδέεται με τη σεισμική ακολουθία της Ιερισσού του 1932, με μέγεθος κύριου σεισμού M 7.0 (Μαραβελάκης, 1933; Georgalas & Galanopoulos, 1953; Pavlidis & Tranos, (1991). Τα ίχνη της νέας δραστηριοποίησης του ρήγματος στο σεισμό της Ιερισσού εντοπίστηκαν και χαρτογραφήθηκαν από τους Μαραβελάκη (1933), Georgalas & Galanopoulos (1953) και πιο πρόσφατα από τους Pavlidis & Tranos (1991).

Το ρήγμα της Βαρβάρας αποτελεί την προς τα ΒΔ συνέχεια του ρήγματος Στρατωνίου, δυτικά του οικισμού Στάγειρα μέχρι και τον οικισμό Βαρβάρα. Παρουσιάζει όμως ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση γεγονός που μας επιτρέπει να το θεωρήσουμε ως ένα ιδιαίτερο ρήγμα ή τουλάχιστον τμήμα ρήγματος (fault segment) στη συνολική ρηξιγενή γραμμή, η οποία έχει ένα μήκος περί τα 25 km από το χωριό Βαρβάρα στα δυτικά έως τη νησίδα Ελευθερόνησος στα ανατολικά (Pavlidis & Tranos 1991). Το ρήγμα της Βαρβάρας με μήκος περίπου 6 km και μετάπτωση προς τα ΝΔ, διαμορφώνει μια μεγάλη κοιλάδα ή χαράδρα (ρέμα Ξηρόλακος), παραμορφώνοντας μάρμαρα και γνεύσιους της ενότητας των Κερδυλλίων, αλλά οριοθετώντας στα βόρεια το οφειολιθικό σύμπλεγμα της Βόλβης. Σε επιφάνειες του ρήγματος εντός του μαρμάρου εντοπίστηκαν ασβεστικές τεκτονικές αναβαθμίδες με ινώδεις ασβεστικές γραμμώσεις ολίσθησης, οι οποίες αντιστοιχούν σε δύο φάσεις τεκτονικής παραμόρφωσης: μία αριστερόστροφης οριζόντιας μετατόπισης και μία νεότερη μεταπτωτική (Τρανός 1998). Παρατηρήθηκαν επίσης και γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης που προσδιόριζαν μια δεξιόστροφη κίνηση οριζόντιας μετατόπισης (νεότερη της αριστερόστροφης και παλαιότερη της κανονικής), όμως οι γραμμώσεις αυτές είναι ισχνές σε παρουσία και με μικρό μήκος ανάπτυξης, μην επιτρέποντας έτσι ασφαλή και γενικά συμπεράσματα. Οι γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης που προσδιορίζουν την αριστερόστροφη κίνηση είναι κυρίαρχες και χαρακτηρίζονται από μεγάλο μήκος ανάπτυξης. Οι γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης αυτές επικαλύπτονται από τις κανονικές γραμμώσεις ολίσθησης, γεγονός που με ασφάλεια τις προχρονολογεί σε σχέση με τις τελευταίες (Τρανός 1998).

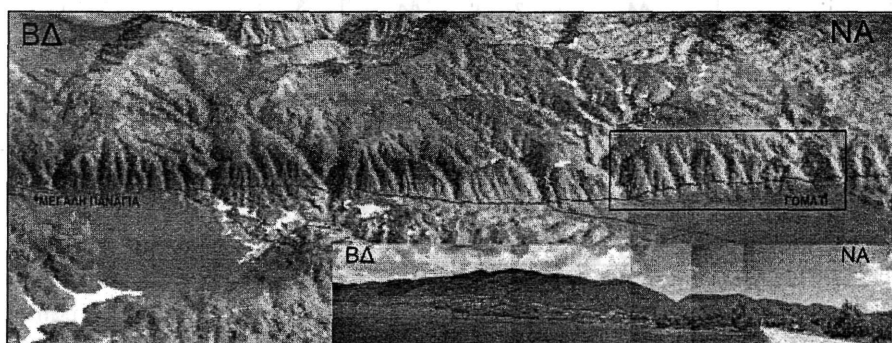


Σχήμα 2: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους και φωτογραφίες υπαίθρου του ανατολικού τμήματος του ρήγματος Στρατωνίου. Είναι ιδιαίτερα εμφανείς οι τριγωνικές κλιτύες (triangular facets) κατά μήκος της ακτογραμμής.

2.2 Ρήγμα Γοματίου - Μεγάλης Παναγίας

Το ρήγμα Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας είναι μία ΒΔ–ΝΑ γενικής διεύθυνσης μεγάλη ρηξιγενής γραμμή μήκους περίπου 15,5 km και μετάπτωση προς τα ΝΔ (Σχήμα 3). Συγκεκριμένα, η παράταξη του ρήγματος είναι Β130° με κλίση 65°ΝΔ, ενώ παρουσιάζει πλαγιοκανονικές

αριστερόστροφες ολισθογραμμώσεις με γωνία pitch 50°ΝΑ. Η συνολική ρηξιγενής γραμμή ξεκινάει από τον οικισμό Μεγάλη Παναγία με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, διέρχεται από τον οικισμό Γομάτι και ένα τμήμα του ρήγματος (fault segment) καταλήγει στην περιοχή Ξηροποτάμι με μήκος περίπου 15,5 km.



Σχήμα 3: Τρισδιάστατο μοντέλο αναγλύφου (ΤΙΝ) της περιοχής Μεγάλη Παναγία – Γοματίου.

3. ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

Το υδρογραφικό δίκτυο αποτελεί θεμελιώδη γεωμορφολογικό παράγοντα. Ως υδρογραφικό δίκτυο νοείται το σύνολο των ρεμάτων τα οποία αποστραγγίζουν μια λεκάνη απορροής.

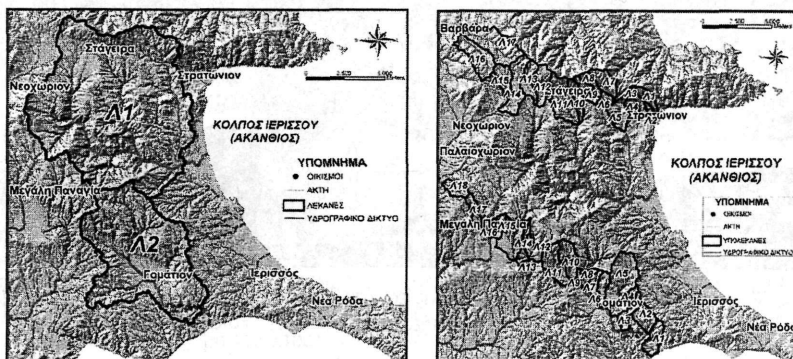
Στην περιοχή μελέτης, το υδρογραφικό δίκτυο ψηφιοποιήθηκε από τους τοπογραφικούς χάρτες της Γ.Υ.Σ., φύλλα Αρναία, Ιερισσός, Σταυρός, Στρατονίκη σε κλίμακα 1:50.000, καθώς και δορυφορικών εικόνων και αεροφωτογραφιών.

Η ταξινόμηση των κλάδων του δικτύου έγινε με τη μέθοδο του Strahler, αυτή έδειξε πως το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής μελέτης είναι παροδικής αλλά και μόνιμης ροής και κάποια από τα ρέματα αυτά είναι 6^{ης} τάξης.

Το δίκτυο παρουσιάζεται πολύ καλά ανεπτυγμένο σε όλη την περιοχή μελέτης, η δε

μορφή του είναι, σύμφωνα με την ταξινόμηση του Howard, δενδρική.

Οι κύριες λεκάνες για την περιοχή του Στρατωνίου και Γοματίου είναι 6^{ης} τάξης (Σχήμα 4) σύμφωνα με τη μέθοδο Strahler και οι τάξεις των υπολεκανών φαίνονται στον Πίνακα 1.



Σχήμα 4: Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (hillshade) με την κατανομή του υδρογραφικού δικτύου στην περιοχή μελέτης και τις κύριες λεκάνες για την περιοχή του Στρατωνίου και Γοματίου (πάνω) και τις υπολεκάνες για τις περιοχές του Στρατωνίου και Γοματίου (κάτω).

| ΥΠΟ-ΛΕΚΑΝΕΣ ΣΤΡΑΤΩΝΙΟΥ | ΤΑΞΗ | ΥΠΟ-ΛΕΚΑΝΕΣ ΓΟΜΑΤΙΟΥ | ΤΑΞΗ |
|------------------------|------|----------------------|------|
| Λ1 | 2 | Λ1 | 4 |
| Λ2 | 1 | Λ2 | 3 |
| Λ3 | 3 | Λ3 | 2 |
| Λ4 | 2 | Λ4 | 3 |
| Λ5 | 4 | Λ5 | 4 |
| Λ6 | 3 | Λ6 | 2 |
| Λ7 | 4 | Λ7 | 2 |
| Λ8 | 2 | Λ8 | 2 |
| Λ9 | 2 | Λ9 | 2 |
| Λ10 | 3 | Λ10 | 4 |
| Λ11 | 4 | Λ11 | 4 |
| Λ12 | 3 | Λ12 | 3 |
| Λ13 | 2 | Λ13 | 4 |
| Λ14 | 2 | Λ14 | 4 |
| Λ15 | 2 | Λ15 | 3 |
| Λ16 | 4 | Λ16 | 2 |
| Λ17 | 3 | Λ17 | 3 |
| | | Λ18 | 3 |

Πίνακας 1. Οι τάξεις των υπολεκανών με τη μέθοδο Strahler.

4. ΜΟΡΦΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Για τον υπολογισμό των μορφοτεκτονικών δεικτών χρειάστηκε η ψηφιοποίηση της περιο-

χής μελέτης και η απεικόνισή τους σε τρισδιάστατα μοντέλα εδάφους (Digital Elevation Models) DEM. Για την ψηφιοποίηση χρησιμοποιήθηκαν οι χάρτες της ΓΥΣ με κλίμακα

1:50.000 καθώς και οι αντίστοιχοι χάρτες του ΙΓΜΕ. Για την επεξεργασία τους στον υπολογιστή χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ArcGIS 8.3 και τα υποπρογράμματα 3D-Analyst, Topology και Spatial Analyst.

5. ΜΟΡΦΟΤΕΚΤΟΝΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ

Οι κυριότεροι ποσοτικοί μορφοτεκτονικοί δείκτες που μελετήθηκαν περιγράφονται και αναλύονται στη συνέχεια.

5.1 Υψομετρική καμπύλη και υψομετρικό ολοκλήρωμα

Πολύ σπουδαίο μορφομετρικό στοιχείο του αναγλύφου είναι η υψομετρική καμπύλη και το υψομετρικό ολοκλήρωμα. Η υψομετρική καμπύλη εκφράζει την κατανομή των υψομέτρων σε μια περιοχή (Keller & Pinter 2000). Αυτή υπολογίζεται με δύο τρόπους:

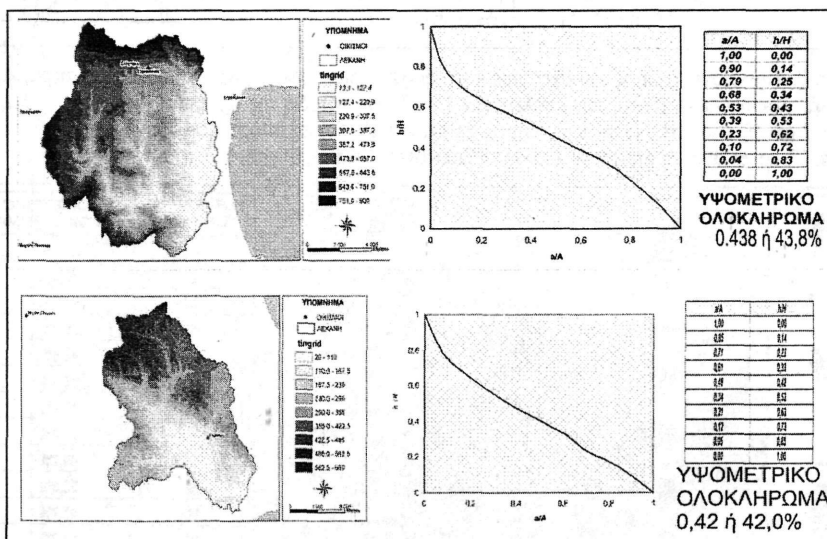
Ως μαθηματική έκφραση είναι το εμβαδόν της υψομετρικής καμπύλης.

Από τον παρακάτω τύπο, όπου το ελάχιστο και το μέγιστο υψόμετρο μπορούν να υπολογιστούν απευθείας από το χάρτη:

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

Η μετάβαση από το «στάδιο της νεότητας» στο «στάδιο της ωριμότητας» ανταποκρίνεται κατά προσέγγιση στο υψομετρικό ολοκλήρωμα, $\int=60\%$ και από το «στάδιο της ωριμότητας» στο «στάδιο του γήρατος» στο $\int=35\%$ (Strahler 1957, Αστάρας 1980). Υψηλές τιμές του ολοκληρώματος δείχνουν ότι η τοπογραφία είναι υψηλή σε σχέση με τη μέση τιμή υψομέτρου της περιοχής. Μέσες έως και χαμηλές τιμές σχετίζονται με περισσότερο ομαλές περιοχές.

Αυτή η υψομετρική ανάλυση αποτελεί ένα ισχυρό δείκτη για το διαχωρισμό τεκτονικά ενεργών και μη ενεργών περιοχών.



Σχήμα 5. Κύριες λεκάνες της περιοχής μελέτης. Υψομετρικές καμπύλες των λεκανών 1 και 2 (σχετίζονται με τα ρήγματα Στρατωνίου – Βαρβάρας και Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας αντίστοιχα). Και οι δύο λεκάνες βρίσκονται στο «στάδιο της ωριμότητας».

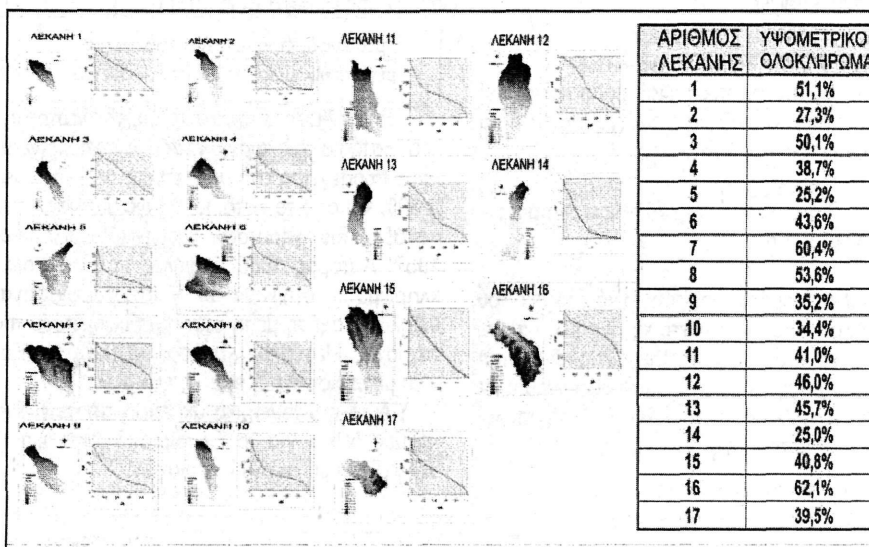
Για την περιοχή του Στρατωνίου η κύρια λεκάνη 1 βρίσκεται στο στάδιο της ωριμότητας (Σχήμα 5). Με βάση τα υψομετρικά ολοκληρώματα των υπολεκανών 1 – 17 (Σχήμα 6), συμπεραίνεται ότι στο «στάδιο της νεότητας» βρίσκονται οι λεκάνες απορροής 7 και 16, στο

«στάδιο της ωριμότητας» βρίσκονται οι λεκάνες απορροής 1, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, και 17, ενώ οι λεκάνες απορροής 2, 5 και 14 βρίσκονται «στο στάδιο του γήρατος».

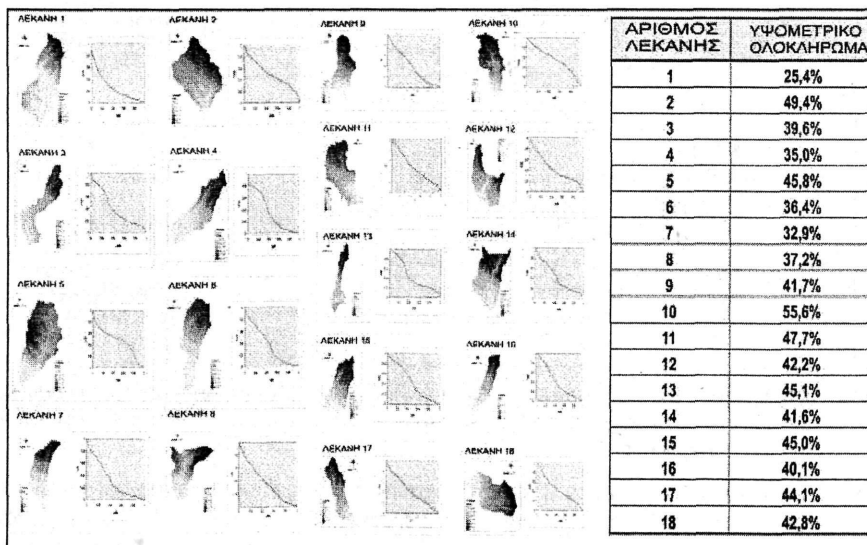
Για την περιοχή του Γοματίου η κύρια λεκάνη 2 βρίσκεται στο στάδιο της ωριμότητας

(Σχήμα 5), ενώ λαμβάνοντας υπόψη τα υψομετρικά ολοκληρώματα των υπολεκανών 1 – 18 (Σχήμα 7), οι λεκάνες απορροής από 2 έως και

18 βρίσκονται στο «στάδιο της ωριμότητας» και η λεκάνη απορροής 1 βρίσκεται «στο στάδιο του γήρατος».



Σχήμα 6. Υπολεκάνες μελέτης του σχήματος 4 και οι αντίστοιχες υψομετρικές καμπύλες (αριστερά) και τα υψομετρικά ολοκληρώματα (δεξιά) των υπολεκανών 1 – 17. Στο «στάδιο της νεότητας» βρίσκονται οι λεκάνες απορροής 7 και 16, στο «στάδιο της ωριμότητας» βρίσκονται οι λεκάνες απορροής 1, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, και 17, και οι λεκάνες απορροής 2, 5 και 14 βρίσκονται «στο στάδιο του γήρατος».



Σχήμα 7. Υπολεκάνες μελέτης του σχήματος 4 και οι αντίστοιχες υψομετρικές καμπύλες (αριστερά) και τα υψομετρικά ολοκληρώματα των υπολεκανών 1 – 18 (πάνω δεξιά). Στο «στάδιο της ωριμότητας» βρίσκονται οι λεκάνες απορροής από 2 έως και 18, και η λεκάνη απορροής 1 βρίσκεται «στο στάδιο του γήρατος».

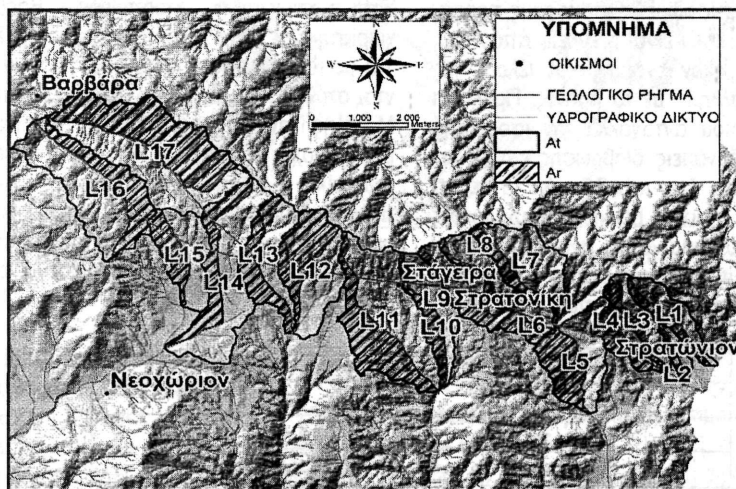
5.2 Ασυμμετρία λεκάνης απορροής

Ο παράγοντας ασυμμετρίας (Asymmetry Factor AF) δείχνει την τεκτονική περιστροφή ή κλίση (tilting) μιας λεκάνης απορροής ή γενικότερα μιας οποιαδήποτε περιοχής (Keller & Pinter 2000) και υπολογίζεται από το τύπο $AF = 100 (A_r / A_t)$. Με A_r συμβολίζεται το εμβαδό της υπολεκάνης δεξιά (κοιτάζοντας προς τα κάτω) του κύριου ποταμού και με A_t το συνολικό εμβαδό της λεκάνης. Όταν το ποτάμιο σύστημα δημιουργείται και παραμένει σε σταθερή θέση, τότε ο AF είναι περίπου 50. Περιστροφή (Tilt) προς τα αριστερά του κύριου ποταμού δίνει τιμές μεγαλύτερες από 50. Η εφαρμογή της μεθόδου προϋποθέτει ότι η μορφολογική εξέλιξη και η συμμετρία της λεκάνης δεν επηρεάζεται από λιθολογικούς παράγοντες ή από το τοπικό κλίμα, τα οποία θεωρούνται αμετάβλητα, παρά μόνο από την τεκτονική περιστροφή (tilting).

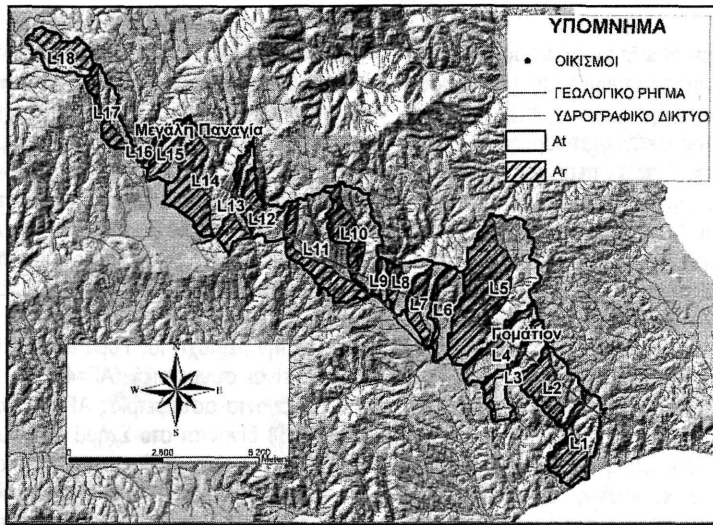
Για την περιοχή του Στρατωνίου η κύρια λεκάνη 1 είναι ασύμμετρη με βάση την τιμή του δείκτη AF η οποία είναι 33,81 και δείχνει μια

περιστροφή προς τα δεξιά του κύριου ποταμού, η οποία δε σχετίζεται με τεκτονική περιστροφή (tilting). Οι τιμές του παράγοντα ασυμμετρίας AF για τις υπολεκάνες 1-17 δίνονται στο Σχήμα 8. Οι υπολεκάνες 5, 12, 13 και 17 είναι συμμετρικές, στις υπολεκάνες 1 - 3, 6 - 16 παρατηρείται μια περιστροφή προς τα δεξιά του κύριου ποταμού, ενώ μια μικρή περιστροφή προς τα αριστερά παρατηρείται στην υπολεκάνη 4. Με τεκτονική περιστροφή (tilting) σχετίζονται οι υπολεκάνες 4, 7, 8, 9, 16 και 17.

Για την περιοχή του Γοματίου η μεγάλη λεκάνη 2 είναι συμμετρική ($AF=47,24$). Οι τιμές του παράγοντα ασυμμετρίας AF για τις υπολεκάνες 1-18 δίνονται στο Σχήμα 9. Οι υπολεκάνες 12 και 17 είναι συμμετρικές, οι υπολεκάνες 2 - 4, 6, 8 - 11, και 13 - 16 παρουσιάζουν μία δεξιόστροφη περιστροφή του κύριου ποταμού, ενώ μια μικρή αριστερόστροφη περιστροφή παρατηρείται στις υπολεκάνες 1, 5, 7 και 18. Με τεκτονική περιστροφή (tilting) σχετίζονται οι υπολεκάνες 2, 11, 17 και 18.



Σχήμα 8. Ρήγμα Στρατωνίου - Βαρβάρας. Χάρτης με την ασυμμετρία των υπολεκανών απορροής 1 - 17 και οι αντίστοιχοι παράγοντες ασυμμετρίας AF.



Σχήμα 9. Ρήγμα Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας. Χάρτης με την ασυμμετρία των υπολεκανών απορροής 1 – 18 και οι αντίστοιχοι παράγοντες ασυμμετρίας AF.

5.3 Δαντέλωση στους πρόποδες των τεκτονικών πρανών

Η δαντέλωση (Keller & Pinter 2000) εκφράζεται με τη σχέση $S=L/l$, όπου, L είναι το μήκος μίας επιλεγμένης ισοϋψούς στους τους πρόποδες του βουνού και l είναι η ευθεία απόσταση μεταξύ των σημείων έναρξης και τέλους της ισοϋψούς παράλληλα με το πρανές. Πρόκειται για το δείκτη που αντανακλά την ισορροπία ανάμεσα στις δυνάμεις διάβρωσης και τις τεκτονικές δυνάμεις. Διαπιστώθηκε ότι τα περισσότερα ενεργά πρανή βουνών έχουν μικρές τιμές του S που κυμαίνονται ανάμεσα στο 1.0 και 1.6, εκείνα με μικρότερη ενεργό δράση τιμές από 1.4-3.0 και τα μη ενεργά τιμές από 1.8 μέχρι και μεγαλύτερες από 5.0. Η δαντέλωση απο-

τελεί ένα πολύ καλό κριτήριο για την αναγνώριση ενεργών ρηγμάτων.

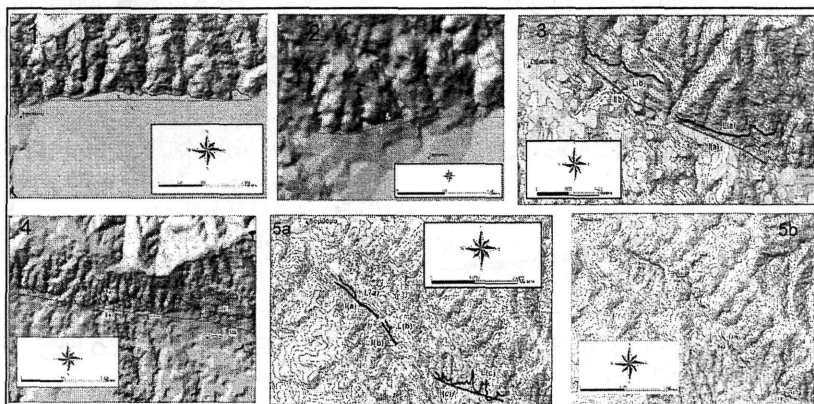
Για τον υπολογισμό του δείκτη της δαντέλωσης τους πρόποδες των βουνών οι περιοχές μελέτης χωρίστηκαν σε μικρότερες περιοχές. Έτσι η περιοχή του Στρατωνίου – Βαρβάρας χωρίστηκε σε πέντε μικρότερες περιοχές (Σχήμα 10) με τα αποτελέσματα του δείκτη S να δίνονται στον Πίνακα 2, ενώ η περιοχή Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας χωρίστηκε σε τρεις μικρότερες περιοχές (Σχήμα 11) και τα αποτελέσματα του δείκτη S δίνονται στον Πίνακα 3. Από τις τιμές του δείκτη S τόσο το ρήγμα του Στρατωνίου – Βαρβάρας όσο και το ρήγμα Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας χαρακτηρίζονται ως ενεργά ρήγματα.

| ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ | ΤΙΜΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ S |
|-----------------|---------------------------------------|
| 1 | 1,11 |
| 2 | 1,43 |
| 3 | 1,25 ΚΑΙ 1,17 |
| 4 | 1,45 ΚΑΙ 1,22 |
| 5A | 1,11 1,14 ΚΑΙ 2,13 |
| 5B | 1,13, 1,38, 1,54, 1,37, 1,26 ΚΑΙ 1,36 |

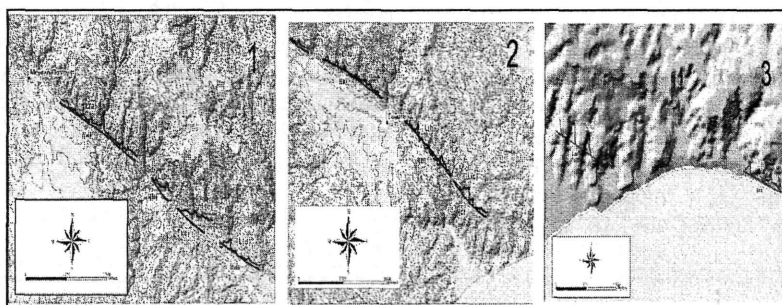
Πίνακας 2. Οι τιμές του δείκτη δαντέλωσης κατά μήκος του ρήγματος Στρατωνίου – Βαρβάρας.

| ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ | ΤΙΜΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ S |
|-----------------|---------------------------|
| 1 | 1,53, 1,31, 1,17 ΚΑΙ 1,42 |
| 2 | 1,31, 1,59 ΚΑΙ 1,32 |
| 3 | 1,35 ΚΑΙ 1,85 |

Πίνακας 3. Οι τιμές του δείκτη δαντέλωσης κατά μήκος του ρήγματος Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας.



Σχήμα 10. Η δαντέλωση στους πρόποδες βουνών για την περιοχή Στρατωνίου – Βαρβάρας, η περιοχή χωρίστηκε σε 5 μικρότερες περιοχές για την μελέτη του δείκτη S.



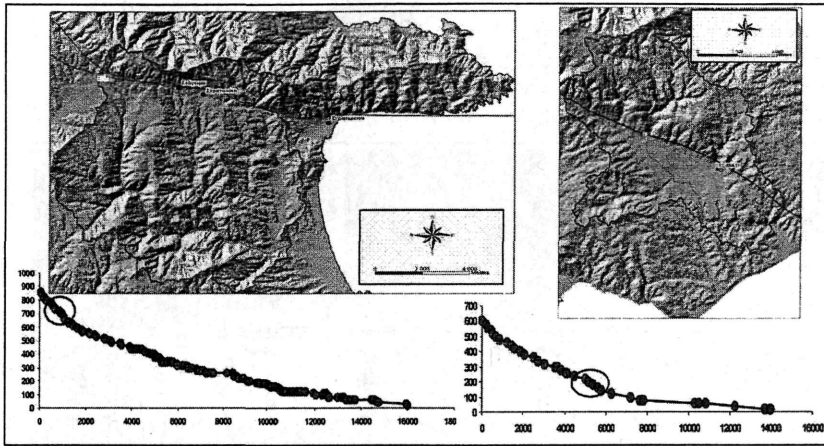
Σχήμα 11. Η δαντέλωση στους πρόποδες βουνών για την περιοχή Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας, η περιοχή χωρίστηκε σε 3 μικρότερες περιοχές για την μελέτη του δείκτη S.

5.4 Μήκος ρέματος (κλάδος υδρογραφικού δικτύου – δείκτης κλίσης)

Η σχέση (Keller & Pinter 2002); $SL = (\Delta H / \Delta L) * L$, όπου ο λόγος $\Delta H / \Delta L$ είναι η κλίση του ρέματος (ΔH είναι η υψομετρική διαφορά και ΔL είναι το αντίστοιχο μήκος του) και το L : είναι το συνολικό μήκος του ποταμού από το σημείο που μας ενδιαφέρει, προς τα ανάντι,

εκφράζει το λόγο του μήκους ενός υδρογραφικού κλάδου ως προς το μήκος του.

Ο δείκτης κλίσης (SL) για την περιοχή του Στρατωνίου – Βαρβάρας έχει τιμή $SL = 128,35$ ($\Delta H = 600 \text{ m} - 580 \text{ m} = 20 \text{ m}$, $\Delta L = 243,97 \text{ m}$, $L = 1565,81 \text{ m}$, (Σχήμα 12) και η τιμή του δείκτη κλίσης για την περιοχή Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας είναι $SL = 253,82$ ($\Delta H = 140 \text{ m} - 120 \text{ m} = 20 \text{ m}$, $\Delta L = 472,18 \text{ m}$, $L = 5992,61 \text{ m}$ (Σχήμα 12).



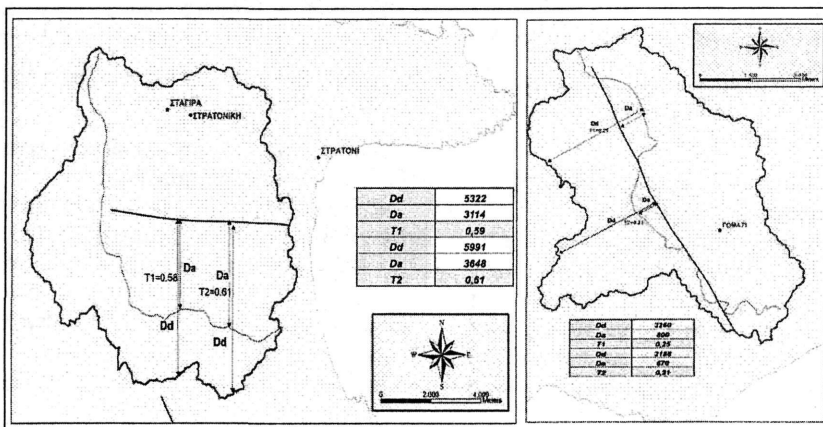
Σχήμα 12. Ο δείκτης κλίσης (SL) για τις περιοχές των ρηγμάτων Στρατωνίου – Βαρβάρας (αριστερά) και Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας (δεξιά).

5.5 Ο παράγοντας εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας

Ο παράγοντας εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας δίνεται από τη σχέση $T = D_a/D_d$, κατά Keller & Pinter (2002), όπου D_a : η απόσταση από τη (μέση) γραμμή που χωρίζει τη λεκάνη σε δύο ίσα μέρη έως την αντίστοιχη μέση γραμμή που χωρίζει σε ίσα μέρη τη ζώνη του ενεργού μαιανδρισμού (ουσιαστικά ίδιος ο ποταμός) και D_d η απόσταση από τη μέση γραμμή της λεκάνης έως τον υδροκρίτη. Για

ιδανική συμμετρία προκύπτει, $T = 0$. Όσο η ασυμμετρία αυξάνει το T πλησιάζει την τιμή 1.

Ο παράγοντας εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας για τη λεκάνη Στρατωνίου – Βαρβάρας έχει τιμές περίπου 0,6 και έτσι χαρακτηρίζεται ως ασύμμετρη. Αντίθετα, ο παράγοντας εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας για τη λεκάνη Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας έχει τιμές περίπου 0,2 και χαρακτηρίζεται έτσι τη λεκάνη ως συμμετρική (Σχήμα 13).



Σχήμα 13. Ο παράγοντας εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας για τις περιοχές του Στρατωνίου – Βαρβάρας (αριστερά) και Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας (δεξιά).

5.6 Λόγος πλάτους κοιλάδας προς ύψος

Ο λόγος πλάτους κοιλάδας προς ύψος δίνεται από τη σχέση (Keller & Pinter 2002): $V_f = 2\pi / [(h_1 \cdot h_3) + (h_2 \cdot h_3)]$, όπου π είναι το πλάτος της κοιλάδας, h_1 , h_2 τα υψόμετρα του αριστερού και δεξιού υδροκρήτη και h_3 το υψόμετρο της κοιλάδας. Αυτός ο δείκτης διαφοροποιεί τα μεγάλα σε πλάτος φαράγγια (canyons) δίνοντας σχετικά υψηλές τιμές, από τις κοιλάδες σχήματος V με χαμηλές τιμές όπου εκεί παρατηρούμε και ανύψωση

(έντονη διάβρωση σε ενεργά τεκτονικές περιοχές). Οι τομές σε κάθε λεκάνη, με τη βοήθεια των οποίων μετρήθηκαν οι δείκτες V_f , επιλέχθηκαν (όπου ήταν δυνατόν) σε τοπογραφικά ανώτερες θέσεις από αυτές των ρηγμάτων.

Οι πολύ μικρές τιμές που παρατηρούνται στις υπολεκάνες Στρατωνίου – Βαρβάρας 8, 13, 16 και 17 (Πίνακας 4) και στις υπολεκάνες Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας 12 και 14 (Πίνακας 5) δείχνουν μια μεγάλη κατά βάθος διάβρωση λόγω ανύψωσης (uplift).

| ΑΡΙΘΜΟΣ ΛΕΚΑΝΗΣ | ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΑΡΙΣΤΕΡΟΥ ΥΔΡΟΚΡΗΤΗ | ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΔΕΞΙΟΥ ΥΔΡΟΚΡΗΤΗ | ΠΛΑΤΟΣ ΛΕΚΑΝΗΣ | ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΜΙΣΓΑΓΓΕΙΑΣ | V_f |
|-----------------|------------------------------|---------------------------|----------------|----------------------|-------|
| 1 | 124 | 110 | 52 | 80 | 1.41 |
| 2 | 110 | 130 | 77 | 100 | 3.85 |
| 3 | 150 | 170 | 65 | 112 | 1.35 |
| 4 | 240 | 240 | 80 | 180 | 1.33 |
| 5 | 300 | 287 | 85 | 277 | 5.15 |
| 6 | 350 | 310 | 50 | 300 | 1.67 |
| 7 | 440 | 470 | 80 | 380 | 1.07 |
| 8 | 460 | 475 | 65 | 390 | 0.84 |
| 9 | 510 | 500 | 60 | 495 | 6.00 |
| 10 | 540 | 540 | 77 | 530 | 7.70 |
| 11 | 660 | 620 | 90 | 600 | 2.25 |
| 12 | 680 | 670 | 43 | 640 | 1.23 |
| 13 | 700 | 740 | 40 | 650 | 0.57 |
| 14 | 713 | 710 | 50 | 700 | 4.35 |
| 15 | 640 | 650 | 40 | 636 | 4.44 |
| 16 | 700 | 670 | 30 | 600 | 0.35 |
| 17 | 720 | 700 | 25 | 620 | 0.28 |

Πίνακας 4. Ο δείκτης V_f στις υπολεκάνες Στρατωνίου – Βαρβάρας.

| ΑΡΙΘΜΟΣ ΛΕΚΑΝΗΣ | ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΑΡΙΣΤΕΡΟΥ ΥΔΡΟΚΡΗΤΗ | ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΔΕΞΙΟΥ ΥΔΡΟΚΡΗΤΗ | ΠΛΑΤΟΣ ΛΕΚΑΝΗΣ | ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΜΙΣΓΑΓΓΕΙΑΣ | V_f |
|-----------------|------------------------------|---------------------------|----------------|----------------------|-------|
| 1 | 190 | 190 | 50 | 180 | 5.00 |
| 2 | 260 | 270 | 60 | 240 | 2.40 |
| 3 | 240 | 270 | 60 | 240 | 4.00 |
| 4 | 250 | 260 | 80 | 230 | 3.20 |
| 5 | 210 | 200 | 82 | 140 | 1.26 |
| 6 | 260 | 270 | 53 | 220 | 1.18 |
| 7 | 230 | 240 | 70 | 200 | 2.00 |
| 8 | 220 | 230 | 115 | 160 | 1.77 |
| 9 | 220 | 230 | 56 | 210 | 3.73 |
| 10 | 260 | 280 | 110 | 230 | 2.75 |
| 11 | 340 | 330 | 73 | 310 | 2.92 |
| 12 | 440 | 480 | 76 | 390 | 1.09 |
| 13 | 510 | 500 | 55 | 470 | 1.57 |
| 14 | 600 | 600 | 37 | 480 | 0.31 |
| 15 | 550 | 560 | 80 | 520 | 2.29 |

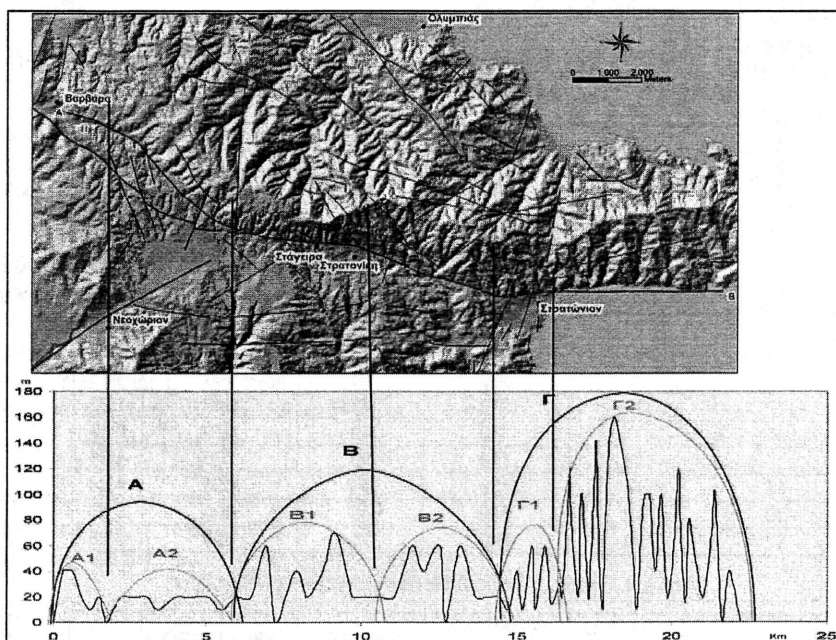
| | | | | | |
|----|-----|-----|----|-----|------|
| 16 | 565 | 570 | 38 | 560 | 5.07 |
| 17 | 630 | 640 | 45 | 610 | 1.80 |
| 18 | 700 | 700 | 47 | 690 | 4.70 |

Πίνακας 5. Ο δείκτης V_f στις υπολεκάνες Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας.

5.7 Μορφολογία των τεκτονικών πρανών

Το ρήγμα Στρατωνίου – Βαρβάρας έχει μήκος περίπου 25 km. Ωστόσο, το ύψος του πρανού δεν είναι το ίδιο σε ολόκληρο το μήκος του,

πράγμα που είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την τμηματοποίησή του (segmentation). Το καθαρό ύψος του πρανού φαίνεται στο Σχήμα 14 και οι θεωρητικές μορφολογίες των πρανών σημειώνονται στο ως τόξα έλλειψης.

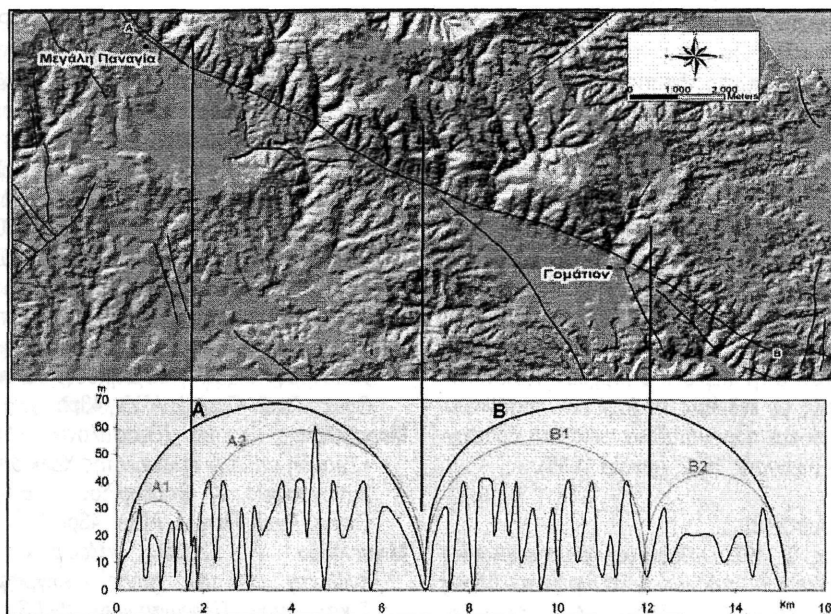


Σχήμα 14. Ύψος του πρανού του ρήγματος Στρατωνίου - Βαρβάρας και οι αντίστοιχες θεωρητικές μορφές του πρανού, όπως προκύπτει από τα μοντέλα ενεργοποίησης των κανονικών ρηγμάτων (κάτω).

Με βάση τα παραπάνω, το ρήγμα Στρατωνίου – Βαρβάρας χωρίστηκε σε τρία τμήματα (segments), ενώ το καθένα από αυτά μπορεί να χωριστεί περαιτέρω σε δύο άλλα μικρότερα τμήματα (Σχήμα 14). Έτσι το τμήμα Α μπορεί να υποδιαιρεθεί σε άλλα δύο, το Α1 και το Α2 τα οποία ανήκουν ανήκουν στο ρήγμα της Βαρβάρας. Αντίστοιχα, τα τμήματα Β και Γ υποδιαιρούνται σε άλλα δύο υποτμήματα το καθένα (Β1-Β2 και Γ1-Γ2 αντίστοιχα). Το τμήμα Β είναι η συνέχεια του ρήγματος της Βαρβάρας έως το Στρατώνι και το τμήμα Γ είναι το τμήμα του ρή-

ματος του Στρατωνίου που ξεκινά από το οικισμό Στρατώνι και συνεχίζει υποθαλάσσια.

Αντίστοιχα, το ρήγμα Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας μπορεί να διαιρεθεί σε δύο τμήματα (segments) σύμφωνα με το Σχήμα 15. Το τμήμα Α ξεκινάει από τη Μεγάλη Παναγία και έχει μήκος περίπου 7 km ενώ το τμήμα Β είναι το τμήμα του ρήγματος του Γοματίου με μήκος περίπου 8,5 km. Τα τμήματα Α και Β μπορούν να υποδιαιρεθούν σε άλλα δυο μικρότερα τα Α1-Α2 και Β1-Β2 αντίστοιχα.



Σχήμα 15. Ύψος του πρσανούς του ρήγματος Γοματίου - Μεγάλης Παναγίας και η αντίστοιχη θεωρητική μορφή του πρσανούς, όπως προκύπτει από τα μοντέλα ενεργοποίησης των κανονικών ρηγμάτων (κάτω).

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην περιοχή μελέτης εμφανίζονται πλήθος νεοτεκτονικών ρηγμάτων τα οποία έχουν ιδιαίτερα σημαντική μορφολογική έκφραση. Τα ρήγματα αυτά διαδραματίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση του ανάγλυφου, ιδιαίτερα τα ρήγματα του Στρατωνίου - Βαρβάρας και Γοματίου - Μεγάλης Παναγίας, τα οποία θεωρούνται τυπικά ενεργά ρήγματα και είναι τα σπουδαιότερα της Ανατολικής Χαλκιδικής.

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε ανάλυση μορφοτεκτονικών δεικτών, με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.).

Οι τιμές των μορφοτεκτονικών δεικτών δείχνουν ότι τόσο το ρήγμα Στρατωνίου - Βαρβάρας όσο και το ρήγμα Γοματίου - Μεγάλης Παναγίας είναι ενεργά. Οι τιμές του δείκτη δαντέλωσης κυμαίνονται από 1,1 έως 1,4 και χαρακτηρίζονται ως ενεργά ρήγματα, παρόλο που το ρήγμα Γοματίου - Μεγάλης Παναγίας δε συνδέεται με κάποιο γνωστό μεγάλο σεισμό.

Από τα υψομετρικά ολοκληρώματα των λεκανών απορροής στην περιοχής μελέτης διαπιστώνεται ότι οι περισσότερες υπολεκάνες βρί-

σκονται στο "στάδιο της ωριμότητας" και οι τιμές υψομετρικού ολοκληρώματος κυμαίνονται από 45% - 55% (Strahler 1952,1957,1964).

Για το δείκτη τις ασυμμετρίας λεκανών, οι συνηθισμένες τιμές κυμαίνονται από 30% - 40%, δηλαδή παρατηρείται μια δεξιόστροφη περιστροφή του κύριου ποταμού, ενώ σε τέσσερις λεκάνες απορροής παρατηρείται μια μικρή αριστερόστροφη περιστροφή του κύριου ποταμού με τιμές περίπου ~60%. Στις περισσότερες περιπτώσεις η ασυμμετρία των λεκανών απορροής που παρατηρείται δεν οφείλεται σε τεκτονική περιστροφή (tilting).

Για τον δείκτη λόγου πλάτους κοιλάδας προς ύψος, οι τιμές κυμαίνονται από ~ 0,2 έως ~8,0. Σε αρκετές όμως λεκάνες απορροής παρατηρούνται πολύ μικρές τιμές και δείχνουν μια μεγάλη κατά βάθος διάβρωση λόγω ανύψωσης (uplift).

Η μορφοτεκτονική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε βοήθησε στην επιβεβαίωση των υπαίθριων παρατηρήσεων. Σημαντικό ρόλο στην έρευνα είχε η χρήση της δορυφορικής εικόνας και η τρισδιάστατη απεικόνιση του αναγλύφου (DEM).

Από την ποσοτική ανάλυση των μορφοτεκτονικών δεικτών που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή μελέτης διαπιστώθηκε ότι το ρήγμα Στρατωνίου - Βαρβάρας μαζί αποτελείται από τρία κύρια τμήματα, ενώ το ρήγμα Γοματίου-Μεγάλης Παναγίας αποτελείται από δύο κύρια τμήματα.

Η υπαίθρια παρατήρηση των ρηγμάτων, τα αποτελέσματα της ανάλυσης των μορφοτεκτονικών δεικτών που έγινε σε τμήμα της μεγάλης ρηγιγενούς επιφάνειας του κυρίου ρήγματος του Στρατωνίου - Βαρβάρας, συγκλίνουν στην άποψη ότι στην περιοχή υπάρχουν νεοτεκτονικές δομές με ενδείξεις πρόσφατων τεκτονικών κινήσεων και παρουσιάζουν σεισμική δραστηριότητα (Ιερισσός 1932, Αρναία 1995).

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Αστάρας, Θ., 1980. «Ποσοτική γεωμορφολογική μελέτη τμήματος των Δ. πλευρών του όρους Βερτισκον (Κ.Μακεδονία)», Διδ. Διατριβή, Θεσσαλονίκη, Σελ. 40-43,50-54.
- Cepeda, A., 1999. "General Geological Map of *Kassandra*". T. V. X. HELLAS EXPLORATION GEOLOGY AND MINING PROPERTY Dept. Scale, 1: 20000 Revision Date: 24/07/1999.
- Chatzipeiros A., Keramydas D., Michailidou A., Tsapanos Th. and Pavlides S., 2004. «Morphotectonics and seismic potential of Straton active fault (Chalkidiki, Northern Greece)», 4th National Geophysical Conference, Sofia. pp.58-60.
- Γ. Υ. Σ., (1983, 1982, 1970, 1982). *Τοπογραφικοί χάρτες, Φύλλα: Αρναία, Ιερισσός, Σταυρός, Στρατονίκη, κλίμακα: 1:50.000*, Αθήνα.
- Georgalas, G. and Galanopoulos, A. (1953). «Das Grosse Erdbeben Der Chalkidike Vom 26 September 1932». Bull. Geol. Soc. Greece, 1, (1953-58).
- Δημητριάδης, Σ. 1974. «Πετρολογική μελέτη των μγματιτικών γενεσιών και αμφιβολιτών των περιοχών Ρενίνας - Ασπροβάλτας, Σταυρού - Ολυμπιάδος», Διδ. Διατριβή, Θεσσαλονίκη.
- Dixon, J. E. & S. Dimitriadis. 1984. «Metamorphosed ophiolitic rocks from the Serbomacedonian Massif, near Lake Volvi, North-east Greece». Geol. Soc. Lond. Spec. Publ., 17, 603-618.
- Ι. Γ. Μ. Ε., 1978. *Γεωλογικοί χάρτες, Φύλλα: Αρναία, Ιερισσός, Σταυρός, Στρατονίκη, κλίμακα: 1:50.000*, Αθήνα.
- Keller, a. E., Pinter, N., (1996). *ACTIVE TECTONICS, Earthquakes, Uplift and Landscape*. Prentice Hall (ISBN 0-02-304601-5) N. Jersey -pp. 377. (Second Edition 2002).
- Μαραβελάκης, Ι. Μ. (Θεσσαλονίκη 1933). «Οι Γεωλογικοί και Μακροσεισμικοί Χαρακτήρες Των Σεισμών Της Χαλκιδικής». Τυπογραφείο Ο. Θεοδωρίδου. Εργαστ. Ορυκτ.-Γεωλ.-Πετρολ. ΑΠΘ, 43pp.
- Μαραβελάκης, Ι. Μ. (Θεσσαλονίκη 1936). «Σπουδή επί των σεισμών της Χαλκιδικής». Τυπογραφείο Κ Θεωδορίδου. Εργαστ. Ορυκτ.-Γεωλ.-Πετρολ. ΑΠΘ, 43pp.
- Μιχαηλίδου Α (2005). «Μορφοτεκτονική ανάλυση με την χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.) και μικροτεκτονική των ρηγμάτων Στρατωνίου - Βαρβάρας και Γοματίου (Ανατολική Χαλκιδική)». Α.Π.Θ. Διατριβή Ειδίκευσης.
- Μουντράκης, Δ. 1985. «Γεωλογία της Ελλάδας», University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- Οικονομίδης, Δ. 2000. «Συμβολή της τηλεπισκόπησης και των γεωγραφικών πληροφοριών (G.I.S.) στη γεωλογική, κοιτασματολογική και περιβαλλοντική έρευνα της Β.Α. Χαλκιδικής», Διδ. Διατριβή, Θεσσαλονίκη. Σελ. 3-20.
- Pavlides, S. B. & M. D. Tranos. 1991. «Structural characteristics of two Strong earthquakes in the North Aegean: Ierissos (1932) and Agios efstratios (1968)». J. Struct. Geol. 13, 2:205-214.
- Pavlides, S. - Kiliias, A. 1987. «Neotectonic and active faults along the Serbomacedonian zone (SE Chalkidiki, northern Greece)», *Annales Tectonic*, Vol. 1- n. 2: 97-104.
- Strahler, A., 1952. «Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography». Geol. Soc. Amer. Bull., 63.
- Strahler, A., 1957. «Quantitative analysis of watershed geomorphology». Amer. Geophys. Union. Trans. 38(6), 279-300.

- Strahler, A., 1964. «*Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks*». Section 14, 54, New York.
- Τρανός, Μ. 1998. «Συμβολή στη μελέτη της νεοτεκτονικής παραμόρφωσης στο χώρο της κεντρικής Μακεδονίας και του βόρειου Αιγαίου», Διδ. Διατριβή, Θεσσαλονίκη. Σελ.15-20, 212-226.
- Χατζηπέτρος, Α. 1998. «Παλαιοσεισμολογική-Μορφοτεκτονική μελέτη και Μηχανική συμπεριφορά των συστημάτων ενεργών διαρρήξεων, Μυγδονίας, Ανατολικής Χαλκιδικής, Κοζάνης-Γρεβενών», Διδ. Διατριβή, Θεσσαλονίκη. Σελ. 118-128.