

Μορφοτεκτονική μελέτη της ευρύτερης περιοχής Θεσ/νίκης για τη χαρτογράφηση νεοτεκτονικών ρηγμάτων.

ΖΕΡΒΟΠΟΥΛΟΥ Α.¹, ΠΑΥΛΙΔΗΣ Σ.¹

ABSTRACT

At this paper studied the neotectonic active faults of the broader area of Thessaloniki with morphotectonic criteria. We have studied three main faults of Anthemounta, Asvestophori and Pylaia - Panorama with the contribution of cartography, digital elevation models, drainage patterns, and the morphotectonic indices like drainage basin asymmetry, mountain front sinuosity, knick points and stream length-gradient index. Those faults show elements of activity.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή μελετώνται με μορφοτεκτονικά κριτήρια, τα νεοτεκτονικά ρήγματα της ευρύτερης περιοχής της πόλης της Θεσσαλονίκης. Με την βοήθεια της χαρτογράφησης του υδρογραφικού δικτύου και των μορφοτεκτονικών δεικτών, όπως η ασυμμετρία της λεκάνης απορροής, η δαντέλωση στους πρόποδες των βουνών, τα σημεία κάμψης ρέματος και ο παράγοντας εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας, εντοπίστηκαν, χαρτογραφήθηκαν και εξετάστηκαν τρία κυρίως ρήγματα αυτά του Ανθεμούντα, του Ασβεστοχωρίου και της Πυλαίας – Πανοράματος. Από την παραπάνω μελέτη διαπιστώθηκε ότι τα ρήγματα αυτά είναι εμφανίζονται στοιχεία ενεργότητας.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με την παρούσα εργασία γίνεται μία προσπάθεια εκτίμησης του φυσικού κινδύνου των σεισμών αλλά και της σεισμικής τρωτότητας για το Πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης. Αρχικά εντοπίστηκαν πιθανά ενεργά ρήγματα στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης τα οποία είναι ήδη χαρτογραφημένα σε δημοσιευμένες εργασίες (Tranos et al 2003, Goldsworthy et al 2002, Parazachos et al 2000, Μουντράκης et al 1996, Paradisopolou et al 2004) και τα οποία θα μπορούσαν να επηρεάσουν σε πιθανή ενεργοποίησή τους το πολεοδομικό συγκρότημα. Το έναυσμα για την εργασία αυτή δόθηκε από το ερευνητικό πρόγραμμα SRM-LIFE με θέμα την "Ανάπτυξη ολοκληρωμένης μεθοδολογίας εκτίμησης της σεισμικής τρωτότητας δικτύων κοινής ωφελείας, υποδομών, κτιρίων στρατηγικής σημασίας για την διαχείριση του σεισμικού κινδύνου σε πολεοδομικά συγκροτήματα. Εφαρμογή στο πολεοδομικό συγκρότημα Θεσσαλονίκης".

Η πρώτη προσέγγιση των ρηγμάτων έγινε με την αποτύπωση του ανάγλυφου της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης (Πολεοδομικό

συγκρότημα, λεκάνη Ανθεμούντα, περιοχή Ασβεστοχωρίου και Πανοράματος), την χαρτογράφηση του υδρογραφικού δικτύου και τέλος έγινε αξιολόγηση της μορφολογίας με βάση μορφοτεκτονικούς ποσοτικούς δείκτες.

Πιο αναλυτικά, ερευνήθηκε η γεωλογία της περιοχής, όπως αυτή εξάγεται από γεωλογικούς χάρτες, επιτόπια χαρτογράφηση αλλά και γεωτρήσεις όπου η σύγχρονη κάλυψη του αστικού περιβάλλοντος κάνει αδύνατη την χαρτογράφηση των σχηματισμών. Αποτυπώθηκε το υδρογραφικό δίκτυο, το οποίο στην περιοχή μας επηρεάζεται και από ρήγματα, από τοπογραφικούς χάρτες, δορυφορικές εικόνες και αεροφωτογραφίες νεότερων αλλά και παλαιότερων εποχών. Για την αποτύπωση των ρεμάτων κυρίως μέσα στο πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης όπως αυτό ήταν πριν τις ανθρωπογενείς επεμβάσεις χρησιμοποιήθηκαν αεροφωτογραφίες του 1939 και του 1945, ιστορικά στοιχεία αλλά και τοπογραφικοί χάρτες του 1900.

Το ανάγλυφο, οι γεωλογικοί σχηματισμοί, το υδρογραφικό δίκτυο και τα ρήγματα τοποθετήθηκαν ως επίπεδα (layers) σε Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών G.I.S. και σε τρισδιά-

MORPHOTECTONIC STUDY OF THE BROADER AREA OF THESSALONIKI FOR THE CARTOGRAPHY OF NEOTECTONIC FAULTS

¹ Τομέας Γεωλογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ. 541 24 Θεσσαλονίκη, annzervo@geo.auth.gr, pavlides@geo.auth.gr

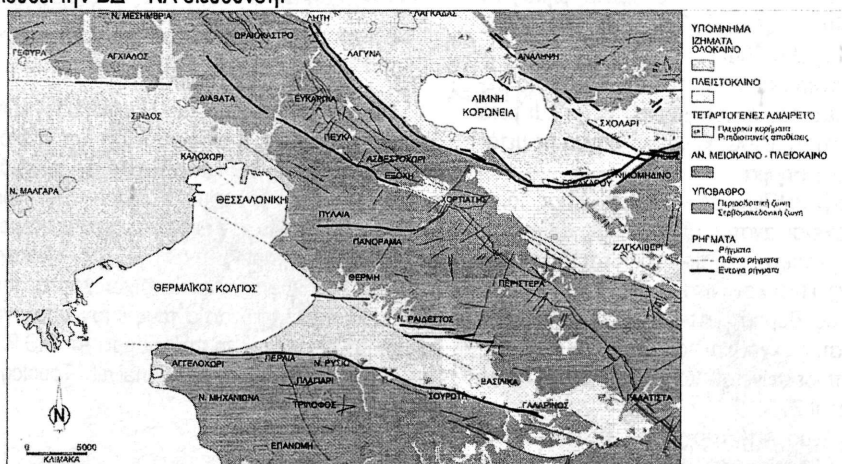
στατα μοντέλα εδάφους (Digital Elevation Models - DEM). Από τα DEM χωρίστηκαν για την περιοχή μελέτης τρεις κύριες υδρολογικές λεκάνες του Ανθεμούντα, του Δενδροποτάμου και των ρεμάτων του Πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης. Τα κύρια ρήγματα που εντοπίστηκαν στις λεκάνες αυτές είναι του Ανθεμούντα, του Ασβεστοχωρίου και της Πυλαίας – Πανοράματος αντίστοιχα. Στην συνέχεια μελετήθηκαν τα ρήγματα αυτά με τη βοήθεια των μορφοτεκτονικών δεικτών όπως: την ασυμμετρία της λεκάνης απορροής (Δείκτης AF), την δαντέλωση στους πρόποδες των βουνών (Δείκτης S), τα σημεία κάμψης ρέματος και τον παράγοντα εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας (Δείκτης Σ).

2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Η πόλη της Θεσσαλονίκης και γενικότερα η περιοχή μελέτης, ανήκει γεωλογικά κυρίως στην Περιοδοτική Ζώνη και μερικώς στη Σερβομακεδονική Μάζα (Σχ. 1). Πιο συγκεκριμένα για την Περιοδοτική εμφανίζονται οι ενότητες Άσπρης Βρύσης – Χορτιάτη με την μαγματική σειρά Χορτιάτη, και Μελισσοχωρίου – Χολομώντα. Στην Σερβομακεδονική εμφανίζεται ο σχηματισμός Βερτίσκου. Το υπόβαθρο καλύπτουν νεογενείς με τεταρτογενείς αποθέσεις. Η διάταξη των ζωνών και των πετρωμάτων υποβάθρου ακολουθεί την ΒΔ – ΝΑ διεύθυνση.

Πιο αναλυτικά το υπόβαθρο αποτελούν: οι διμαρμαρυγικοί γνεύσιοι και σχιστόλιθοι της Σερβομακεδονικής ζώνης, οι αμμούχοι αργιλικό σχιστόλιθοι και ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι της ενότητας Άσπρης Βρύσης – Χορτιάτη με χαλαζίτες, φυλλίτες και ασβεστόλιθους της ενότητας Μελισσοχωρίου – Χολομώντα. Στα παραπάνω πετρώματα εμφανίζονται ως παρεμβολές εκρήξηγενή πετρώματα όπως οι γνεύσιοι, πρασινοσχιστόλιθοι και οι περιδοτίτες της οφειολιθικής σειράς (Μουντράκης 1985, χάρτες ΙΓΜΕ).

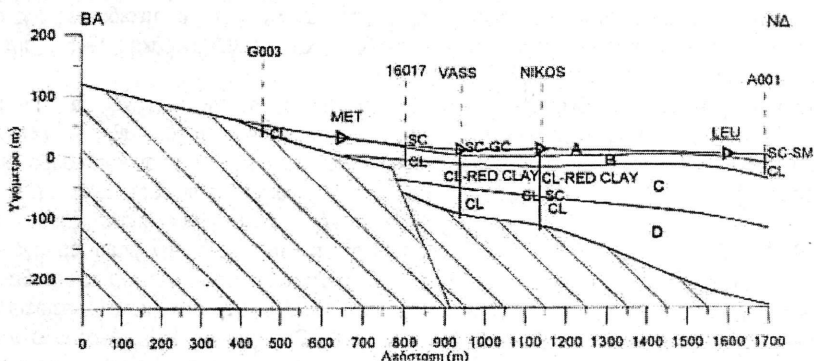
Τα πετρώματα της περιοχής μελέτης τα οποία και καλύπτουν το υπόβαθρο με έκταση πολύ μεγαλύτερη από αυτή που καταλαμβάνουν τα μεταμορφωμένα πετρώματα είναι τα Άνω Μειοκαινικά – Κάτω Πλειοκαινικά ιζήματα τα οποία αποτελούνται από την φαμμοτομαργαϊκή σειρά βαθύτερα και από την σειρά των ερυθρών αργίλων στα ανώτερα στρώματα (Anastasiadis et al 2001, Ρόζος et al 1998). Ακολουθούν οι Πλειστοκαινικές σειρές αναβαθμίδων στην περιοχή του Ανθεμούντα και τα Ολοκαινικά ιζήματα (άμμοι, άργιλοι, ιλύες, χαλαρές αποθέσεις, αλλουβιακά και ιστορικά ιζήματα στο κέντρο της Θεσσαλονίκης), κατά μήκος των αναβαθμίδων παρατηρείται σειρά κώνων κορημάτων χειμάρων και πλευρικών ριπιδίων.



Σχήμα 1: Συνοπτικός γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης (Χάρτες ΙΓΜΕ)

Η έκταση που καταλαμβάνουν τα Ολοκαινικά ιζήματα γίνεται περισσότερο κατανοητή στο Πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης, αλλά και σε κατοικημένες περιοχές γενικότερα, από τις γεωτρήσεις και τις γεωφυσικές διασκοπήσεις (Θανάσουλας 1983). Στο Σχ. 2 φαίνεται τομή η οποία προήλθε από την καταγραφή μικροθωρύβου και από δειγματοληπτικές

γεωτρήσεις, από το κέντρο της Θεσσαλονίκης, όπου φαίνεται το υπόβαθρο αλλά και η διαστρωμάτωση των νεότερων αποθέσεων. Επίσης γίνεται ορατή η ύπαρξη του ρήγματος κατά μήκος της οδού Αγ. Δημητρίου, το οποίο γεωμετρικά ανήκει στην ομάδα των παλιών μη ενεργών ρηγματίων.



Σχήμα 2: Τομή του κέντρου της Θεσσαλονίκης κατά μήκος των ανατολικών Τειχών (Αποστολίδης, 2002)

Τα ρήγματα τα οποία μελετήθηκαν είναι:

Το ρήγμα του Ανθεμούντα, το οποίο βρίσκεται νότια και νοτιοανατολικά της πόλης της Θεσσαλονίκης (απέχει περίπου 14 km), έχει γενική διεύθυνση Α-Δ και συνολικό μήκος 32 km περίπου (Μουντράκης et al 1996, Goldsworthy et al 2002).

Το ρήγμα εκτείνεται από την θαλάσσια περιοχή βόρεια του Αγγελοχωρίου μέχρι και μετά το Γαλαρινό. Αποτελεί κανονικό ρήγμα με μετάπτωση προς Βορρά.

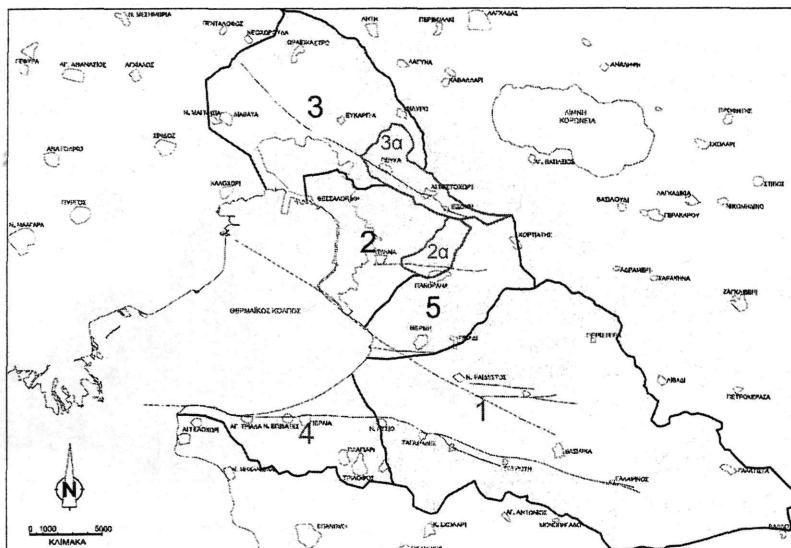
Το ρήγμα Πυλαίας – Πανοράματος το οποίο βρίσκεται ανατολικά της πόλης της Θεσσαλονίκης (απέχει περίπου 6 km από το κέντρο της πόλης), είναι κανονικό με διεύθυνση Α-Δ και κλίση προς Βορρά. Εκτείνεται ανατολικά του Πανοράματος μέχρι και τον Δήμο της Πυλαίας, πιθανά προεκτείνεται και μέσα στην πόλη (Tranos et al 2003).

Το ρήγμα Ασβεστοχωρίου που βρίσκεται βόρεια και βορειοανατολικά και απέχει από την

πόλη της Θεσσαλονίκης 6 km περίπου. Η διεύθυνσή του είναι ΑΝΑ-ΔΒΔ με μετάπτωση προς ΒΒΑ. Είναι κανονικό ρήγμα με αριστερόστροφη συνιστώσα κίνησης (Tranos et al 2003, Papazachos et al 2000).

3. ΜΟΡΦΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Για τον υπολογισμό των μορφοτεκτονικών δεικτών χρειάστηκε η ψηφιοποίηση της περιοχής 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 9.1 και τα υποπρογράμματα 3D-Analyst, Topology και Spatial Analyst.

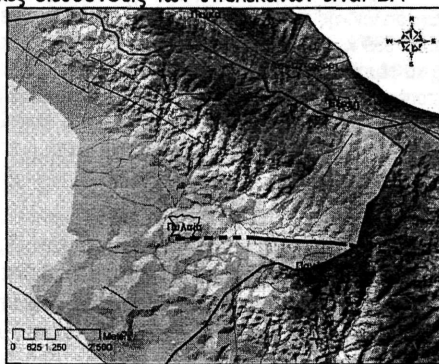


Σχήμα 3: Υδρολογικές λεκάνες περιοχής μελέτης, από τις οποίες μελετήθηκαν με μορφοτεκτονικούς δείκτες οι λεκάνες 1 και 4 και οι υπολεκάνες 2α και 3α, λόγω του συσχετισμού τους με ενεργά ρήγματα.

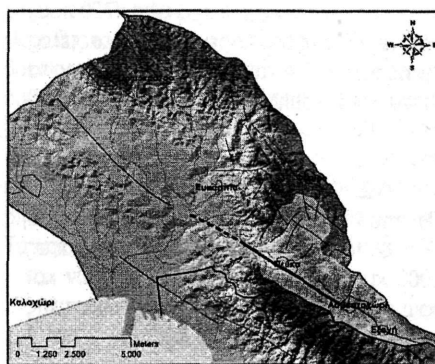
Η περιοχή μελέτης έχει χωριστεί, για την επεξεργασία των μορφοτεκτονικών δεικτών, με βάση το υδρογραφικό δίκτυο, σε πέντε υδρολογικές λεκάνες (Σχ. 3). Η πρώτη (1) είναι η λεκάνη του Ανθεμούντα με έκταση 318 km² και ανάπτυξη ΒΔ-ΝΑ και η τρίτη (3) του Δενδροποτάμου με έκταση 175 km² και ανάπτυξη κατά πρώτο λόγο ΒΔ-ΝΑ και κατά δεύτερο Β-Ν. Η δεύτερη (2) υδρολογική λεκάνη είναι του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης με έκταση 66 km² η οποία αποτελείται από μικρότερης έκτασης υπολεκάνες που αντιπροσωπεύουν τους χείμαρρους ή ρέματα της Θεσσαλονίκης. Οι γενικές διευθύνσεις των υπολεκανών είναι ΒΑ-

ΝΔ και Α-Δ. Η τέταρτη (4) υδρολογική λεκάνη με έκταση 54,5 km², αποτελείται επίσης από μικρότερες, οι οποίες αντιπροσωπεύουν τα ρέματα των περιοχών από Ν. Ρύσιο έως Αγγελοχώρι. Η διεύθυνση των υπολεκανών αυτών είναι Β-Ν. Ενώ τέλος η πέμπτη (5) είναι η λεκάνη της Θέρμης με έκταση 58,3 km² και γενική διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ.

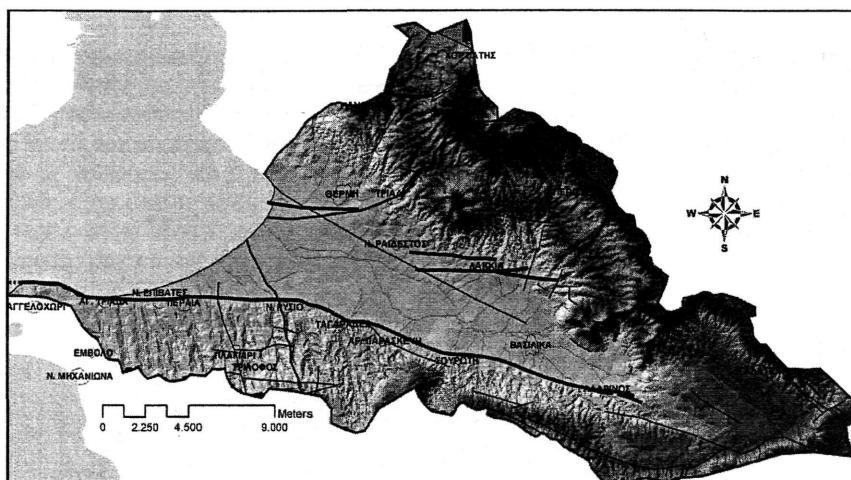
Τα μοντέλα εδάφους DEM που προέκυψαν για τις υδρολογικές αυτές λεκάνες φαίνονται στο σχ. 4 (με έντονο μαύρο χρώμα σημειώνονται τα ενεργά ρήγματα):



Σχήμα 4α: Υδρολογική λεκάνη Θεσσαλονίκης (2)



Σχήμα 4β: Υδρολογική λεκάνη Δενδροποτάμου (3)



Σχήμα 4γ: Ευρύτερη υδρολογική λεκάνη Ανθεμούντα (1, 4 & 5)

Από την επεξεργασία των τρισδιάστατων μοντέλων προκύπτουν συμπεράσματα για το ανάγλυφο των υδρολογικών λεκανών. Έτσι για την ευρύτερη υδρολογική λεκάνη του Ανθεμούντα (λεκάνες 1 & 4) παρατηρούνται στο βόρειο τμήμα του υψόμετρα μέχρι 1.210 m με έντονες κλίσεις (15-35° στο μεγαλύτερο ποσοστό), ενώ στο νότιο τμήμα οι κλίσεις είναι ηπιότερες (<15°) και τα υψόμετρα φτάνουν μέχρι τα 900 m. Το μέσο υψόμετρο όλης της λεκάνης είναι 540 m ενώ το μέσο υψόμετρο του βόρειου και νότιου τμήματος αντίστοιχα είναι 605 m και 450 m. Γενικά η λεκάνη του Ανθεμούντα μπορεί να χαρακτηριστεί ως πεδινή – λοφώδης με το μεγαλύτερο ποσοστό να βρίσκεται κάτω των 600 m (Φουρνιάδης 2002).

Για την υδρολογική λεκάνη του Δενδροποτάμου παρατηρούνται υψόμετρα μέχρι 720 m με εντονότερες κλίσεις στο βόρειο τμήμα. Και τέλος για την υδρολογική λεκάνη της Θεσσαλονίκης τα υψόμετρα είναι χαμηλότερα με μέγιστο τα 560 m.

4. ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

Η αποτύπωση του υδρογραφικού δικτύου έγινε από τους χάρτες της Γ.Υ.Σ. κλίμακας 1:50.000 καθώς και δορυφορικών εικόνων και αεροφωτογραφιών. Λόγω της έντονης οικιστικής ανάπτυξης των υδρολογικών λεκανών 2 και 4 (Θεσσαλονίκης και Περαιάς) χρησιμοποιήθηκαν επίσης χάρτες 1:5.000 των οποίων η αποτύπω-

ση έγινε το 1938 και 1980 αντίστοιχα, καθώς και αεροφωτογραφιών λήψης 1939 και 1945 για το πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης κυρίως.



Σχήμα 5: Η υδρολογική λεκάνη της πόλης της Θεσσαλονίκης όπου φαίνονται οι αεροφωτογραφίες του 1939 και 1945 (φωτομοσαϊκό) καθώς και τα αρχικά ρέματα της πόλης πριν την πυκνή δόμηση όπως προέκυψαν ύστερα από βιβλιογραφική έρευνα (Vitti 1990, Δημητριάδης 1983, Λεβεντάκης 2003, Μπλιώνης 1996, Στεφανίδης 2000). Επίσης φαίνεται η παλιά ακτογραμμή της πόλης ανατολικότερα στην νέα παραλία (Vouvalidis et al. 2005).

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν (Σχ. 3) σε σχέση με τους μορφοτεκτονικούς δείκτες και τα ενεργά ρήγματα, οι υδρολογικές λεκάνες του Ανθεμούντα (1) και της Περαιάς (4) καθώς και οι υπολεκάνες του Ελαιορέματος (2α) (υδρολογική λεκάνη Θεσσαλονίκης, περιοχή Πυ-

λαίας - Πανοράματος) και του Ξηροποτάμου (3α) (υδρολογική λεκάνη Δενδροποτάμου, περιοχή Ασβεστοχωρίου).

Το υδρογραφικό δίκτυο της υδρολογικής λεκάνης του Ανθεμούντα είναι 6ης τάξεως κατά Strahler (1952) (Αστάρης 1980) με πυκνό δίκτυο

ρεμάτων σε περίπου 18 υπολεκάνες (Sotiriadis 1974). Η μορφή του υδρογραφικού δικτύου (σχ. 6) χαρακτηρίζεται ως δενδριτική και τα μήκη των κλάδων του φαίνονται στον πίνακα 1:

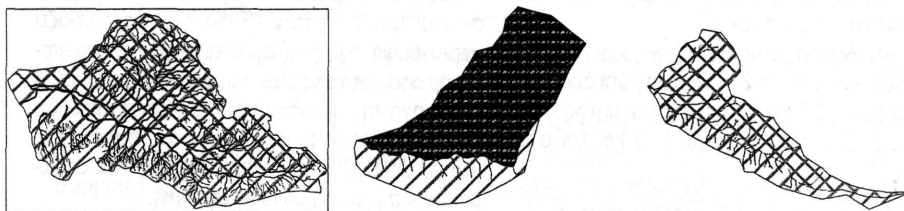
Κλάδοι Ανθεμούντα	Μήκος (m)
1 ^{ης} τάξης	338.382
2 ^{ης} τάξης	185.406
3 ^{ης} τάξης	88.610
4 ^{ης} τάξης	69.862
5 ^{ης} τάξης	12.138
6 ^{ης} τάξης	17.770
Σύνολο Μήκους Κλάδων	712.168
Ποταμός Ανθεμούντας	37.933

Πίνακας 1. Μήκη των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης Ανθεμούντα.

Συγκρίνοντας τα μήκη των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου στο βόρειο τμήμα της λεκάνης του Ανθεμούντα και στο νότιο παρατηρείται μία ανισοκατανομή. Δηλαδή ενώ στο σύνολο το μήκος των κλάδων είναι 712 km, στο βόρειο τμήμα κατανέμεται το μεγαλύτερο ποσοστό με 444 km σε μια έκταση 191,6 km² και στο νότιο τμήμα σχεδόν το μισό με 268 km σε έκτα-

ση 126,5 km². Το μήκος του κυρίου ποταμού είναι 38 km.

Γενικότερα για την υδρολογική λεκάνη έχουμε συνολικό εμβαδόν: EA=318,1 km². Όπου το βόρειο τμήμα είναι EN=191,6 km² και το νότιο τμήμα ES=126,5 km². Δηλαδή παρουσιάζεται μία άνιση κατανομή έκτασης EN>ES.



Σχήμα 6: Η υδρολογική λεκάνη του Ανθεμούντα (α), και οι υπολεκάνες του Ελαιορέματος (β) και του Ξηροποτάμου (γ).

Η υδρολογική λεκάνη της Περαίας αποτελείται από υπολεκάνες με χείμαρρους κυρίως 3ης τάξης κατά Strahler, αλλά κυμαίνονται από 1ης στην περιοχή του Αγγελοχωρίου μέχρι και 4ης τάξης στο Ν. Ρύσιο (χάρτες ΓΥΣ, 1:5.000). Οι χείμαρροι εμφανίζουν κυρίως παράλληλη μορφή με ανάπτυξη από τον νότο προς τον βορρά όπως φαίνεται και στο Σχ. 3.

Για την υδρολογική λεκάνη της Θεσσαλονίκης επελέγη η υπολεκάνη του Ελαιορέματος, κατά μήκος του οποίου εμφανίζεται το ίχνος του

ρήγματος Πυλαίας - Πανοράματος, η οποία είναι 3ης τάξης όπως φαίνεται και στο σχ. 6. Στο βόρειο τμήμα η ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου είναι δενδριτική ενώ στο νότιο εμφανίζει παράλληλη μορφή με κοίτες μικρότερου μήκους. Είναι εμφανής η άνιση ανάπτυξη της λεκάνης, καθώς το βόρειο τμήμα της έχει πολύ μεγαλύτερη έκταση με 7,2 km² και το νότιο με 2,7 km². Τα μήκη των κλάδων φαίνονται στον πίνακα 2.

Κλάδοι Ελαιορέματος	Μήκος (m)
1 ^{ης} τάξης	16.791
2 ^{ης} τάξης	8.445
3 ^{ης} τάξης	3.168
Σύνολο Μήκους Κλάδων	28.404
<i>Ελαιόρεμα</i>	<i>4.813</i>

Πίνακας 2. Μήκη των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου της υπολεκάνης Ελαιορέματος.

Διαχωρίζοντας τα μήκη των κλάδων στο βόρειο και στο νότιο τμήμα της υπολεκάνης παρατηρούμε μία ανισοκατανομή με μήκος κλάδων στο βόρειο τμήμα ίσο με 18,5 km και στο νότιο με 5 km μόνο.

Για την υδρολογική λεκάνη του Δενδροποτάμου εξετάστηκε η υπολεκάνη του Ξηροποτάμου κατά μήκος του οποίου εμφανίζεται το ίχνος του ρήγματος Ασβεστοχωρίου (σχ. 6), η οποία είναι 4ης τάξης και αποτελεί την τελευταία υπολεκάνη του προς τα ανατολικά. Στο βόρειο τμήμα της με έκταση 15 km² το υδρογραφικό δίκτυο εμφανίζει δενδρική ανάπτυξη ενώ στο νότιο με έκταση πολύ μικρότερη (5,6 km²) η μορφή του είναι κυρίως παράλληλη. Φαίνεται δηλαδή μία άνιση ανάπτυξη της λεκάνης. Τα μήκη των κλάδων φαίνονται στον πίνακα 3.

Διαχωρίζοντας επίσης τα μήκη των κλάδων στο βόρειο και στο νότιο τμήμα της υπολεκάνης παρατηρούμε μία ανισοκατανομή με μήκος κλάδων στο βόρειο τμήμα ίσο με 26,2 km και στο νότιο με 10,8 km.

Κλάδοι Ξηροποτάμου	Μήκος (m)
1 ^{ης} τάξης	23.806
2 ^{ης} τάξης	12.174
3 ^{ης} τάξης	9.567
4 ^{ης} τάξης	583
Σύνολο Μήκους Κλάδων	46.130
<i>Ξηροπόταμος</i>	<i>9.101</i>

Πίνακας 3. Μήκη των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου της υπολεκάνης Ξηροποτάμου.

5. ΜΟΡΦΟΤΕΚΤΟΝΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ

Οι μορφοτεκτονικοί δείκτες αποτελούν ποσοτικές μετρήσεις της γεωμορφολογίας των περιοχών και χρησιμοποιούνται για να μελετηθούν και να συγκριθούν μεταξύ τους οι παράμετροι που χαρακτηρίζουν μία περιοχή όπως π.χ. η ενεργότητα (Keller & Pinter 2002). Στην εργα-

σία αυτή μελετήθηκαν τέσσερις μορφοτεκτονικοί δείκτες: η ασυμμετρία της λεκάνης απορροής (Δείκτης AF), η δαντέλωση στους πρόποδες των βουνών (Δείκτης S), τα σημεία κάμψης ρέματος και ο παράγοντας εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας (Δείκτης Z).

5.1. Ασυμμετρία λεκάνης απορροής

Ο παράγοντας ασυμμετρίας μιας λεκάνης AF (Asymmetry Factor) δείχνει την τεκτονική περιστροφή (tilting) ή κλίση της (Hare & Gardner 1985, Cox 1994). Ο τύπος που την εκφράζει είναι: $AF=100 (A_r/A_t)$ όπου: A_r είναι το εμβαδό της υπολεκάνης δεξιά (κοιτάζοντας προς τα κατάντι) και A_t το ολικό εμβαδό της λεκάνης. Το ποτάμιο σύστημα δημιουργείται και παραμένει σε σταθερή θέση όταν $AF=50$, ενώ παρουσιάζει περιστροφή προς τα αριστερά του κυρίου ποταμού όταν οι τιμές είναι μεγαλύτερες από 50. Η εφαρμογή της μεθόδου βασικά προϋποθέτει ότι δεν μεταβάλλονται οι lithολογικοί παράγοντες (όπως αλλαγή πετρώματος, κλίσεις των στρωμάτων κ.ά.), παρά μόνο η τεκτονική.

Για την υδρολογική λεκάνη του Ανθεμόντα παρατηρείται περιστροφή του κύριου ποταμού του Ανθεμόντα (σχ. 6) προς τα αριστερά ή προς το νότο και ο παράγοντας ασυμμετρίας είναι $AFA=100*(191,6/318,1)=60>50$. Η λεκάνη αυτή καλύπτεται στο μεγαλύτερο τμήμα της από ιζήματα, ενώ το υπόβαθρο εμφανίζεται κυρίως στο βόρειο τμήμα της.

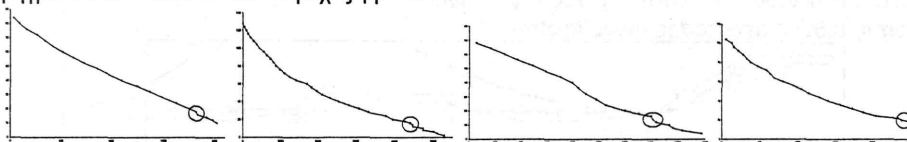
Για την υδρολογική λεκάνη του Δενδροποτάμου με συνολικό εμβαδόν $EΔ=175$ km² επελέγη η υπολεκάνη του ρέματος Ξηροποτάμου με εμβαδόν $EΔ1=20,8$ km². Ο παράγοντας ασυμμετρίας είναι ίσος με $AFΞ = 100*(15,1/20,8) = 73>50$. Παρουσιάζεται δηλαδή μία ασυμμετρία προς τα αριστερά (σχ. 6). Η υπολεκάνη αυτή καλύπτεται στο μεγαλύτερο τμήμα της από το υπόβαθρο ενώ ιζήματα εμφανίζονται σε μικρή

έκταση μόνο παράλληλα στο ρήγμα και κατά μήκος του ποταμού.

Τέλος, από την υδρολογική λεκάνη της Θεσσαλονίκης με συνολικό εμβαδόν $E\theta=66\text{km}^2$ επελέγη η υπολεκάνη του Ελαιορέματος με εμβαδόν $E\theta 1=10\text{km}^2$. Ο παράγοντας ασυμμετρίας είναι ίσος με $AFE=100 \cdot (7,2/10)=72 > 50$. Παρουσιάζεται επίσης ασυμμετρία προς τα αριστερά (σχ. 6). Στην υπολεκάνη αυτή το ρέμα βρίσκεται στα Μειοκαινικά ιζήματα, ενώ το υπόβαθρο εμφανίζεται στα υψηλότερα τμήματά της εκατέρωθεν του ρέματος.

5.2. Σημεία κάμψης ρέματος

Τα τοπογραφικά σημεία κάμψης ρέματος αποτελούν μορφολογικές εξάρσεις κατά μήκος της έκτασης του ρέματος. Μπορούν να δημιουργηθούν από ευστατικές κινήσεις, διαφορετική διάβρωση του υποβάθρου του ρέματος ή τεκτονισμό (Burbank & Anderson 2001). Τα κανονικά ρήγματα στα οποία το άνω τέμαχος βρίσκεται



Σχήμα 7: Διαγράμματα υψομέτρου (x) και αποστάσεων (y) τομής ρέματος με την αντίστοιχη ισοϋψή (χάρτης ΓΥΣ 1:5.000). Στους κύκλους τα σημεία κάμψης ρέματος.

5.3. Δείκτης εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας

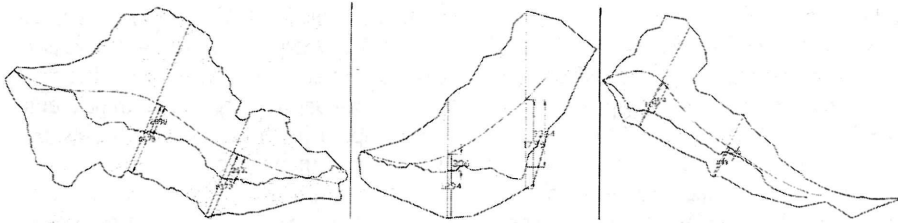
Αυτός ο δείκτης δίνει αποτελέσματα για την αναγνώριση πρόσφατης πιθανής τεκτονικής περιστροφής και κατά συνέπεια ύπαρξη ενεργών ρηγμάτων. Ο παράγοντας εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας δίνεται από τη σχέση (Transverse Topographic Symmetry, Keller & Pinter 2002): $T=Da/Dd$ όπου: Da η απόσταση, από τη (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 ο ίδιος ο ποταμός), και Dd η απόσταση από τη μέση γραμμή της

στον κάτω ρου του ρέματος, προκαλούν σ' αυτό ένα σημείο κάμψης (step - knickpoint). Στη συνέχεια η διάβρωση ανάλογα με τα υποκείμενα πετρώματα μπορεί να προκαλέσει μετανάστευση αυτού του σημείου κάμψης. Τα σημεία αυτά γίνονται ορατά με τα διαγράμματα υψομέτρου και οριζόντιας απόστασης.

Για τα ρήγματα Ασβεστοχωρίου και Πυλαίας - Πανοράματος ο δείκτης σημείου κάμψης ρέματος δε δίνει αποτελέσματα μια και τα ρήγματα βρίσκονται παράλληλα στην κοίτη τους και δεν τέμνουν κάθετα κάποιο ρέμα. Για το ρήγμα του Ανθεμούντα και ειδικότερα για το τμήμα του στην περιοχή Περαίας, το μήκος ρέματος σε τέσσερα διαδοχικά ρέματα (σχ. 7) κάθετα στο ίχνος του ρήγματος εμφανίζει μία απότομη διαφοροποίηση στα υψόμετρα από 12 έως 18 μέτρα.

λεκάνης έως τον υδροκρήτη. Για ιδανική συμμετρία προκύπτει, $T=0,0$ ενώ όσο η ασυμμετρία αυξάνει, το T πλησιάζει την τιμή 1,0.

Έτσι για την υδρολογική λεκάνη του Ανθεμούντα (λεκάνη 1) ο παράγοντας εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας είναι: 0,40-0,44, για την υπολεκάνη του Ελαιορέματος 0,76-0,26 και για την υπολεκάνη του Ξηροποτάμου 0,17-0,66. Παρατηρούμε ότι την μεγαλύτερη τοπογραφική ασυμμετρία με τιμή 0,76 την έχει το Ελαιόρεμα και την μικρότερη 0,17 ο Ξηροπόταμος (Σχ. 8).

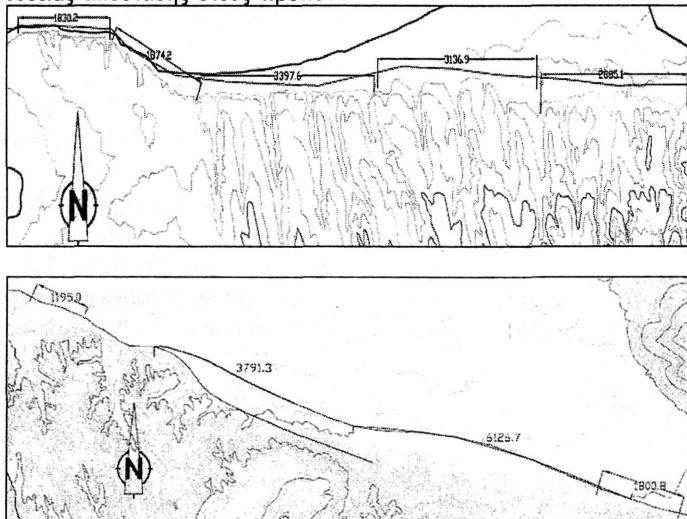


Σχήμα 8: Δείκτης εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας για τις λεκάνες του Ανθεμόντα, του Ελαιορέματος και του Ξηροποτάμου.

5.4. Δαντέλωση στους πρόποδες βουνών

Πρόκειται για το δείκτη που εκφράζει την ισορροπία ανάμεσα στις δυνάμεις διάβρωσης και τις τεκτονικές δυνάμεις. Η δαντέλωση (Mountain – Front Sinuosity, Bull 1977, 1978) εκφράζεται με τη σχέση: $S=L/l$, όπου L είναι το μήκος μίας συγκεκριμένης ισοϋψούς στους πρόποδες του βουνού, και l είναι το μήκος της αντίστοιχης ευθείας απόστασης στους πρόπο-

δες. Πρόποδες βουνών που δημιουργήθηκαν από ρήγματα με ενεργό δράση και πρόσφατη ανύψωση είναι σχετικά ευθείς και έχουν χαμηλές τιμές του S (1,0-1,6). Αν η ανύψωση μειώνεται (μικρός ρυθμός ανύψωσης) ή σταματά τότε οι διεργασίες διάβρωσης δημιουργούν μια περισσότερο ανώμαλη όψη στους πρόποδες και ο S αυξάνεται (1,4-3,0). Για μη ενεργό δράση οι τιμές του S παίρνουν τιμές από 1,8 μέχρι και $>5,0$.



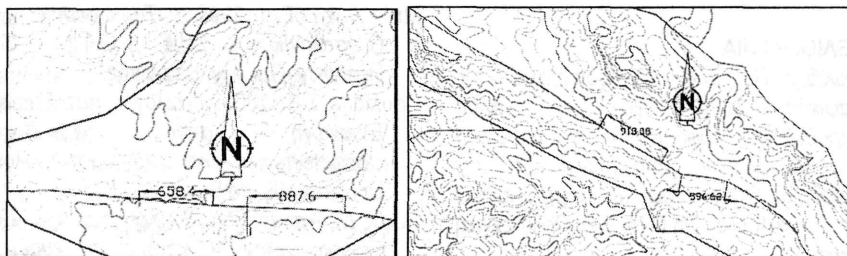
Σχήμα 9: Μετρήσεις δαντέλωσης κατά μήκος του ρήγματος Ανθεμόντα στην περιοχή Αγγελοχωρίου – Περαίας και Ν. Ρυσίου έως Γαλαρινού.

Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας 4 με τις τιμές του δείκτη δαντέλωσης σε ενδεικτικές περιοχές για τα τρία ρήγματα. Από τον πίνακα 4 ως πιο ενεργό ρήγμα εμφανίζεται το ρήγμα του

Ανθεμόντα στο τμήμα του από Αγγελοχώρι έως Ν. Ρύσιο με μικρές τιμές δαντέλωσης από 1,03-1,23 για μεγάλα τμήματα κατά μήκος του.

ΔΕΙΚΤΗΣ ΔΑΝΤΕΛΩΣΗΣ ΣΤΟΥΣ ΠΡΟΠΟΔΕΣ ΒΟΥΝΩΝ				
α/α	ΙΣΟΥΨΕΙΣ	L	I	S
ΡΗΓΜΑ ΑΝΘΕΜΟΥΝΤΑ				
1	0	1.880,78	1.830,20	1,03
2	20	2.067,60	1.874,20	1,10
3	20	5.499,80	3.397,64	1,62
4	20	3.861,80	3.136,95	1,23
5	40	4.735,39	2.885,14	1,64
6	40	2.883,03	1.194,97	2,41
7	60	3.900,42	3.791,29	1,03
8	100	11.009,95	6.126,69	1,80
9	120	2560,33	1.800,75	1,42
ΡΗΓΜΑ ΠΥΛΑΙΑΣ - ΠΑΝΟΡΑΜΑΤΟΣ				
1	220	1.020,63	658,40	1,55
2	280	1.132,78	887,60	1,28
ΡΗΓΜΑ ΑΣΒΕΣΤΟΧΩΡΙΟΥ				
1	360	659,41	596,62	1,11
2	320	996,06	918,08	1,08

Πίνακας 4. Τιμές του δείκτη δαντέλωσης κατά μήκος των ρηγμάτων.



Σχήμα 10: Μετρήσεις δαντέλωσης κατά μήκος των ρηγμάτων Πυλαίας – Πανοράματος και Ασβεστοχωρίου.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη μελέτη της μορφολογίας, του υδρογραφικού δικτύου και των μορφοτεκτονικών δεικτών, προκύπτει ότι το ρήγμα του Ανθεμούντα (υδρολογικές λεκάνες 1&4) είναι ενεργό. Πιο συγκεκριμένα η λεκάνη του Ανθεμούντα εμφανίζει ασυμμετρία ως προς το ρήγμα, σύμφωνα με τον δείκτη ασυμμετρίας ($AF=60$) και τον παράγοντα εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας ($T=0,4$), με άνιση κατανομή των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου. Η δαντέλωση στους πρόποδες βουνών δηλώνει επίσης ενεργότητα με τιμές κυρίως κάτω του 1,4. Πιο ενεργό τμήμα παρουσιάζεται αυτό στην περιοχή Αγγελοχωρίου – Περαίας όπου και ο δείκτης των σημείων κάμψης ρέματος δίνει ενδείξεις ενεργότητας (activity).

Στην υπολεκάνη του Ελαιορέματος οι μορφοτεκτονικοί δείκτες δίνουν επίσης θετικά αποτελέσματα για την ενεργότητα του ρήγματος Πυλαίας – Πανοράματος. Η υπολεκάνη εμφανίζει ασυμμετρία σύμφωνα με τον δείκτη ασυμμετρίας ($AF=72$) και τον παράγοντα εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας ($T=0,26-0,76$) προς το ρήγμα αλλά και άνιση κατανομή των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου. Ο δείκτης δαντέλωσης στους πρόποδες των βουνών δηλώνει επίσης ενεργότητα με τιμές 1,28 έως 1,55.

Τέλος το ρήγμα του Ασβεστοχωρίου εμφανίζει επίσης στοιχεία ενεργότητας με ασυμμετρία της υπολεκάνης απορροής του Ξηροποτάμου σύμφωνα με τον δείκτη ασυμμετρίας ($AF=73$) και τον παράγοντα εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας ($T=0,17-0,66$) προς το ρήγμα αλλά και άνιση κατανομή των κλάδων

του υδρογραφικού δικτύου. Ο δείκτης δαντέλωσης στους πρόποδες των βουνών δηλώνει επίσης ενεργότητα με τιμές κάτω του 1,2.

Η χαρτογράφηση των τριών αυτών ρηγμάτων ως ενεργών δηλώνει την ανάγκη για περαιτέρω μελέτη και ακριβή αποτύπωσή τους μέσα στο δομημένο περιβάλλον, έτσι ώστε να συμβάλουν στην εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας για το πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι συγγραφείς θα ήθελαν να ευχαριστήσουν τον Αλέξη Χατζηπέτρο για τις πολλές και ουσιαστικές διορθώσεις του στο κείμενο και κατά την διάρκεια εκπόνησης της μελέτης. Επίσης το ερευνητικό πρόγραμμα SRM-LIFE που χρηματοδοτείται από την Γ.Γ.Ε.Τ. με κωδικό έργου ΔΠ19-ΕΕ10168

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αποστολίδης Π.Ι. 2002. Προσδιορισμός της εδαφικής δομής με τη χρήση μικροθρύβου. Εφαρμογή στην εκτίμηση των δυναμικών ιδιοτήτων και της γεωμετρίας των εδαφικών σχηματισμών στη Θεσσαλονίκη, Ph.D. Α.Π.Θ. Πολυτεχνική Σχολή.
- Ασάρας Θ.Α. 1980. Ποσοτική γεωμορφολογική μελέτη τμήματος των Δ. πλευρών του όρους Βερτίσκον (Κ. Μακεδονία). Διδ. Διατριβή, Α.Π.Θ.
- Γ.Υ.Σ. Φύλλα Χαρτών, Κλίμακας 1:50.000 (Θεσσαλονίκη, Θέρμης, Επανομής, Ζαγκλιβερίου, Πολυγύρου, Βασιλικών) και Κλίμακας 1:5.000.
- Δημητριάδης Β. 1983. Τοπογραφία της Θεσσαλονίκης κατά την εποχή της Τουρκοκρατίας 1430-1912. Εταιρεία μακεδονικών Σπουδών.
- Θανάσουλας Κ. 1983. Γεωφυσική μελέτη περιοχής Ανθεμούνα (Γεωηλεκτρικά). ΙΓΜΕ.
- Ι.Γ.Μ.Ε. Φύλλα Χαρτών, Κλίμακας 1:50.000, Θεσσαλονίκης, Θέρμης, Επανομής, Ζαγκλιβερίου, Πολυγύρου, Βασιλικών.
- Λεβεντάκης Γ.-Α.Ν. 2003. Μικροζωνική μελέτη της πόλης της Θεσσαλονίκης. Διδ. Διατριβή, Α.Π.Θ.
- Μουντράκης Δ., Κίλιας Α., Παυλίδης Σ., Σωτηριάδης Λ., Ψιλοβίκος Α., Ασάρας Θ., Βαβλιάκης Ε., Κουφός Γ., Δημόπουλος Γ., Σούλιος Γ., Χρηστάρας Β., Σκορδύλης Μ., Τρανός Μ., Σπυρόπουλος Μ., Πάτρας Δ., Συρίδης Γ., Λαμπρινός Ν., Λαγγάλη Θ. 1996. Νεοτεκτονικός Χάρτης της Ελλάδας. Κλίμακας 1:100.000, Φύλλα: Θεσσαλονίκη, Λαγκαδά. Ο.Α.Σ.Π.
- Μουντράκης Δ., Συρίδης Γ., Πολυμενάκος Λ., Παυλίδης Σ. 1993. Η νεοτεκτονική δομή του ανατολικού περιθωρίου του Βυθίσματος Αξιού - Θερμαϊκού στην περιοχή Δυτικής Χαλκιδικής (Κ. Μακεδονία). Bull. Geol. Soc. Greece, Vol. XXVIII/1, pp.379-395, Αθήνα.
- Μουντράκης Δ.Μ. 1985. Γεωλογία της Ελλάδας. University Studio Press.
- Μπλιώνης Γ. 1996. Τα ρέματα της Θεσσαλονίκης. Σύνδ. Ο.Τ.Α. Μειζ. Θεσ/νίκης-Οικ. Κίν. Θεσ/νίκης.
- Παυλίδης Σ.Β. 2003. Γεωλογία των Σεισμών, Εισαγωγή στην νεοτεκτονική, μορφοτεκτονική και παλαιοσεισμολογία. University Studio Press.
- Ρόζος Δ., Αποστολίδης Ε., Χρηστάρας Β. 2000. Τεχνικογεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής της πόλης της Θεσσαλονίκης. Θωράκιση της Θεσσαλονίκης από Φυσικές Καταστροφές. Ημερίδα 24-2-2002.
- Ρόζος Δ., Χατζηνάκος Ι., Αποστολίδης Ε. 1998. Τεχνικογεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής πόλης Θεσσαλονίκης. Κλίμακας 1:25.000, Ι.Γ.Μ.Ε.
- Στεφανίδης Π. 2000. Η αντιπλημμυρική προστασία του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης. Θωράκιση της Θεσσαλονίκης από Φυσικές Καταστροφές. Ημερίδα 24-2-2002.
- Συρίδης Γ.Ε. 1990. Λιθοστρωματογραφική, βιοστρωματογραφική και παλαιογεωγραφική μελέτη των Νεογενών - Τεταρτογενών ιζηματογενών σχηματισμών της χερσονήσου Χαλκιδικής. Διδ. Διατριβή, Α.Π.Θ.
- Τ.Ε.Ε. Τμ. Κεντρ. Μακεδονίας 1994. Τα Ρέματα του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης. Ημερίδα 15-12-1994, ΤΕΕ.

- Φουρνιάδης Ι. 2002. *Γεωμορφολογική και περιβαλλοντική εξέλιξη της κοιλάδας του Ανθεμούντα, με τη χρήση μεθόδων GIS και τηλεπισκόπησης*. Διατριβή Ειδικεύσης, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.
- Burbank D.W., Anderson R.S. 2001. *Tectonic Geomorphology*. Blackwell Science USA.
- Hare P.W., Gardner T.W. 1985. *Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins*. Tectonic Geomorphology: Proceedings 15th Annual Binghamton Geomorphology Symposium, Boston: Allen & Unwin, pp. 75-104.
- Goldsworthy M., Jackson J. 2001. *Migration of activity within normal fault systems: examples from the Quaternary of mainland Greece*. Journal of Structural Geology 23 pp.489-506.
- Goldsworthy M., Jackson J., Haines J. 2002. *The continuity of active fault systems in Greece*. Geophys. J. Int. 148, pp.596-618.
- Keller E.A., Pinter N. 2002. *Active Tectonics, Earthquakes, Uplift and Landscape*. Second Edition, USA.
- Massimo Vitti 1990. *Το πολεοδομικό σχέδιο της Αρχαίας Θεσσαλονίκης και η εξέλιξη του*. Διδ. Διατριβή, Ρώμη – Θεσσαλονίκη.
- Papazachos C., Soupios P., Savaidis A., Roumelioti Z. 2000. *Identification of small-scale active faults near metropolitan areas: An example from the Asvestochori fault near Thessaloniki*. XXVII General Assembly of the European Seismological Commission (ESC) 10-15/9/2000.
- Paradisopoulou P.M., Karakostas V.G., Papadimitriou E.E., Tranos M.D., Papazachos C.B., Karakaisis G.F. 2004. *Microearthquake study of the broader Thessaloniki area*, 5th Int. Symp. On Eastern Mediterranean Geology, Vol.2, pp. 623-626, Thessaloniki.
- Sotiriadis L.D. 1974. *Die Geomorphologie des Tales von Anthemous (Griechisch Makedonien)*. Ann. Mus. Goulandris 2: 141-163.
- Strahler A. 1952. *Hypsometric (area – altitude) analysis of erosional topography*. Geol. Soc. Amer. Bull., 63, pp.1117-42.
- Tranos M.D., Papadimitriou E.E., Kiliass A.A. 2003. *Thessaloniki-Gerakarou fault zone (TGFZ): the western extension of the 1978 Thessaloniki earthquake fault (northern Greece) and seismic hazard assessment*. Journal of Structural Geology, 25, pp.2109-2123.
- Vouvalidis K.G., Syrides G.E., Albanakis K.S. 2005. *Holocene morphology of the Thessaloniki Bay: Impact of sea level rise*. Z. Geomorph. N.F., Suppl.-Vol.137, pp.147-158.