



# ΜΟΡΦΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (GIS) ΤΩΝ ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΒΟΙΩΤΙΑΣ

Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης του Σωτήρη Π. Σμπόρα



# ΜΟΡΦΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (GIS) ΤΩΝ ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΒΟΙΩΤΙΑΣ

Σωτήριος Π. Σμπόρας

Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης Τμήμα Γεωλογίας Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Υπεύθυνος Καθηγητής: Παυλίδης Σπύρος

3μελής επιτροπή: Παυλίδης Σπ., Μουντράκης Δημ., Γκανάς Αθ.

Θεσσαλονίκη

2005

Αφιερωμένο στους γονείς μου Παναγιώτη & Μαρία

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Σελ.
Abstract	6
Summary	161
Πρόλογος	7
Κεφάλαιο 1	9
Εισαγωγή	
1.1 Σκοπός της εργασίας, μέθοδοι προσέγγισης & γενικές έννοιες	9
1.2 Νεοτεκτονική Χαρτογράφηση	11
1.3 Ενεργά ρήγματα	11
1.4 Μορφοτεκτονική	12
1.5 Χρήση δορυφορικών εικόνων και αεροφωτογραφιών	17
Κεφάλαιο 2	19
Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) και το	
ArcGIS Desktop	
2.1 Τα ΓΣΠ γενικά	19
2.2 Τα συστατικά μέρη ενός ΓΣΠ	21
2.3 Η δομή των δεδομένων στα ΓΣΠ	21
2.4 To ArcGIS Desktop	22
Κεφάλαιο 3	25
Γεωλογία και Τεκτονική	

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης Σ	] Σωτήριος Π. Σμπόρας
3.1 Γενική Γεωλογία της ευρύτερης περιοχής μελέτης	25
3.2 Νεοτεκτονική εξέλιξη του ελλαδικού χώρου	28
3.3 Νεοτεκτονικό καθεστώς Κεντρικής Ελλάδος - Ανατολικής Σ	Δτερεάς 32
3.4 Γεωγραφική θέση και μορφολογία της περιοχής μελέτης	40
3.5 Νεοτεκτονικό καθεστώς της Αττικής – Βοιωτίας	45
3.5.1 Τα ρήγματα του Αυλώνα και της Μάλιζας	
3.5.2 Το ρήγμα του Καπαρελλίου	
3.5.3 Το ρήγμα της Φυλής	
3.6 Λιθοστρωματογραφία της περιοχής Τανάγρας – Αυλώνα – Α	Ασωπίας 63
3.7 Ιστορική σεισμικότητα	68
Κεφάλαιο 4	80
Μεθοδολογία έρευνας	
4.1 Νεοτεκτονική χαρτογράφηση	80
4.2 Τεκτονικές Μετρήσεις και Παρατηρήσεις	83
<b>4.3</b> Η χρήση του ArcGIS Desktop	103
4.3.1 Κατασκευή χάρτη δεδομένων	
4.3.2 Τρισδιάστατη απεικόνιση αναγλύφου (DEM)	
4.4 Μορφοτεκτονική ανάλυση	107
4.4.1 Υπολογισμός λεκανών απορροής	
<b>4.4.2</b> Πρώιμες παρατηρήσεις	
4.5 Μορφοτεκτονικοί δείκτες	110
4.5.1 Υπολογισμός μέσης γωνίας κλίσης των λεκανών απ	ορροής
4.5.2 Παράγοντας Ασυμμετρίας Λεκάνης Απορροής (Asy	mmetry
Factor)	
4.5.3 Παράγοντας εγκάρσιας συμμετρίας (Transverse	
Topographic Symmetry)	
4.5.4 Υψομετρική Καμπύλη (Hypsometric Curve)	

4.5.5 Υψομετρικό Ολοκλήρωμα (Hypsometric Integral)	
4.5.6 Λόγος πλάτους κοιλάδας προς ύψος (Ratio of Valley -	
Floor Width to Valley Height)	
<b>4.5.7</b> Δαντέλωση στους πρόποδες βουνών (Mountain-front sinuosity)	
<b>4.5.8</b> Μήκος Ρέματος – Δείκτης κλίσης (Stream Length –	
Gradient Index)	
4.6 Εκτίμηση Σεισμικού Δυναμικού των ρηγμάτων	156
Κεφάλαιο 5	158
Συμπεράσματα	
Παράρτημα	164
Βιβλιογραφία	179

### ABSTRACT

The northern area of Parnitha Mountain is an eastern part of a broader, tectonically active, region (the Oropos – Erithres – Kaparelli fault zone) that lies between the active fault zone of Corinthian Gulf to the west and the South Evoikos gulf to the east. The active faults mainly dip to the north and have created the E -W trending valley of Asopos river which follows the active fault system. The main purpose of this dissertation, was to study the morphological effects of the neotectonic faults in the area which includes the northern foothills of Parnitha mountain and a part of the valley of Asopos river. In order to accomplish that, the active faults had to be mapped at 1:50,000 scale (and 1:25,000 locally). Five major faults were recognized striking WNW - ESE (Tanagra, Kallithea-Mavrovouni, Asopia-Asopos, Armakas and Avlonas faults) and one striking SW - NE (Dafni fault). There are also many minor faults that affect the course of Asopos river. In general, the tectonic regime is represented by subsequent tectonic horns that mainly consist of limestone and grabens that are filled with Neogene sediments. Afterwards, digital processing followed with the use of G.I.S. software dividing the area into 59 valleys according to major streams of Asopos valley. A Digital Elevation Model was produced so as to calculate a series of morphotectonic indices such as Asymmetry Factor, Hypsometric Integral, mountain-front sinuosity etc. that correlate active tectonics with morphology. The results suggest that most of the faults can be characterized as active and are responsible for several ground tilting and changes in the pattern of the drainage system. Although Tanagra fault is a major tectonic feature, it seems that there is not any recent significant movement present especially at its east end. Very strong effects in morphology have the Kallithea-Mavrovouni, Asopia-Asopos and Armakas faults, where streams either follow faults' direction or being traversed by them.

### ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διατριβή ειδίκευσης εκπονήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών, του τμήματος Γεωλογίας (ειδίκευση Τεκτονικής και Στρωματογραφίας), του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, μετά από την ανάθεση της υπ' αριθμόν 102/22-10-2004 συνεδρίασης της Γ.Σ.Ε.Σ.. Το θέμα της εργασίας επιλέχθηκε στο πλαίσιο της συμμετοχής στο ερευνητικό πρόγραμμα του Οργανισμού Αντι-Σεισμικής Προστασίας  $(O.A.\Sigma.\Pi.)$ зц τίτλο «Παλαιοσεισμολογική έρευνα στα ενεργά ρήγματα της Βόλβης (Μυγδονία – Κεντρική Μακεδονία) Ωρωπού – Αυλώνας – Καπαρελλίου (Αττική – Βοιωτία – Στερεά Ελλάδα)» του οποίου επιστημονικός υπεύθυνος ήταν ο καθηγητής Σπύρος Παυλίδης. Στα πλαίσια του προγράμματος μελετήθηκαν και τα ρήγματα της Φυλής, το οποίο προκάλεσε το σεισμό της 7<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου 1999, και των Θρακομακεδόνων στην Πάρνηθα. Από τις έρευνες αυτές προέκυψε μια επιστημονική εργασία που εκδόθηκε από το επιστημονικό περιοδικό Journal of Structural Geology, τεύχος 26 (2004) με τίτλο "Active fault geometry and kinematics in Parnitha Mountain, Attica, Greece". Οι συγγραφείς που συμμετείχαν στην εργασία ήταν οι: A. Ganas, S.B. Pavlides, S. Sboras, S. Valkaniotis, S. Papaioannou, G.A. Alexandris, A. Plessa, G.A. Papadopoulos.

Για την ολοκλήρωση της εργασίας πραγματοποιήθηκαν παρατηρήσεις και μετρήσεις υπαίθρου (νεοτεκτονική χαρτογράφηση) καθώς και ψηφιακή επεξεργασία και υπολογισμοί σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Οι εμπειρίες και οι γνώσεις που αποκτήθηκαν όλο αυτό το διάστημα ήταν σημαντικές και ελπίζω να

σταθούν αφορμή για περαιτέρω προσωπικές έρευνες και μελέτες στην ευρύτερη περιοχή και όχι μόνο.

Από τη στιγμή που ξεκίνησε η εκπόνηση της διατριβής και μέχρι την ολοκλήρωσή της, είναι σημαντικό να αναφέρω ότι είγα την αμέριστη συμπαράσταση του επιβλέποντα καθηγητή μου Παυλίδη Σπύρο και του καθοδηγητή μου και συνεργάτη Δρα Γκανά Αθανάσιο. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον πρώτο για την υπομονή που έδειξε και τις σημαντικές επιστημονικές (και μη) συμβουλές που μου έδωσε και τον δεύτερο για τις αξέχαστες στιγμές, προβληματισμούς και συζητήσεις που είχαμε κατά τη διάρκεια των χαρτογραφήσεων και τη μορφοτεκτονική ανάλυση. Επίσης, ευχαριστώ και τον καθηγητή Μουντράκη Δημοσθένη για τις εύστοχες και χρήσιμες παρατηρήσεις του κατά την εκπόνηση της εργασίας. Σημαντική ήταν και η βοήθεια της συναδέλφου Μιχαηλίδου Αναστασίας, ειδικά σε θέματα που αφορούσαν το χειρισμό των προγραμμάτων GIS. Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους γονείς μου Παναγιώτη και Μαρία για την υπομονή τους και την ανεκτίμητη ψυχική και ηθική συμπαράσταση που μου έδειξαν καθ' όλη τη προσπάθειά μου.

# κεφαλαίο 1

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ρηξιγενής ζώνη Ωρωπού – Θήβας – Καπαρελλίου αποτελεί μια μεγάλη τεκτονική δομή που κατά καιρούς έχει παρουσιάσει σημαντική σεισμική δραστηριότητα. Ο σεισμός των Αλκυονίδων του 1981 ήταν ο πρώτος μεγάλος σεισμός των νεότερων χρόνων που ανησύχησε την πρωτεύουσα αν και το επίκεντρο βρισκόταν αρκετά χιλιόμετρα μακριά (περίπου 55km). 18 χρόνια αργότερα ακολούθησε ο σεισμός της Αθήνας (7<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου 1999), ο οποίος αυτή τη φορά με επίκεντρο κοντά στο λεκανοπέδιο, έδωσε ξανά κίνητρο για την πιο λεπτομερή και ουσιαστική μελέτη αστικών και πλησίον αυτών περιοχών.

Η εργασία αυτή αναφέρεται σε ένα τμήμα της παραπάνω ρηξιγενούς ζώνης όπου δεν υπάρχει η πληθώρα των εκτεταμένων μελετών όπως συμβαίνει στα υπόλοιπα σημεία της. Τα σεισμολογικά δεδομένα επίσης είναι ελλιπή εφόσον στα στενά περιθώρια της περιοχής έχει καταγραφεί με όργανα ένας μόνο σεισμός (1914), ενώ έχει αναφερθεί μόνο ένας (1785) για το διάστημα του 18<sup>ου</sup> και 19<sup>ου</sup> αιώνα (Papadopoulos et al., 2002).

### 1.1 Σκοπός της εργασίας, μέθοδοι προσέγγισης και γενικές έννοιες

Βασικός σκοπός της εργασίας αυτής είναι η ανάλυση των νεοτεκτονικών δομών και οι επιδράσεις αυτών στην επιφάνεια της γης. Για την υλοποίηση όμως

του σκοπού αυτού χρειάστηκε να τεθούν μια σειρά στόχων. Η νεοτεκτονική χαρτογράφηση και η μορφοτεκτονική ανάλυση αποτέλεσαν τα δύο βασικά στάδια έρευνας. Η εργασία υπαίθρου είχε τον πρωταρχικό ρόλο στην ολοκλήρωση της εργασίας. Οι παραπέρα αναλύσεις, που υπήρξαν και οι πιο χρονοβόρες, αποτέλεσαν τη δουλειά γραφείου.

Η μορφοτεκτονική ανάλυση αποτελεί ένα βασικό εργαλείο που βοηθάει στην κατανόηση της νεοτεκτονικής δομής και εξέλιξης μιας περιοχής. Ουσιαστικά επιτυγχάνεται μια ανάδρομη προσέγγιση, από το αποτέλεσμα, που είναι η μορφή του αναγλύφου, προς την αιτία που είναι η τεκτονική δραστηριότητα. Για να γίνει ο συσχετισμός αυτός, χρησιμοποιήθηκαν μια σειρά δεικτών (μορφοτεκτονικοί δείκτες). Οι δείκτες αυτοί είναι:

- Παράγοντας Ασυμμετρίας Λεκάνης Απορροής (Asymmetry Factor)
- Παράγοντας εγκάρσιας συμμετρίας (Transverse Topographic Symmetry)
- Υψομετρική Καμπύλη (Hypsometric Curve)
- Υψομετρικό Ολοκλήρωμα (Hypsometric Integral)
- Λόγος πλάτους κοιλάδας προς ύψος (Ratio of Valley Floor Width to Valley Height)
- Δαντέλωση στους πρόποδες βουνών (Mountain-front Sinuosity)
- Μήκος Ρέματος Δείκτης κλίσης (Stream Length Gradient Index)

Αναλυτική περιγραφή των δεικτών θα γίνει σε επόμενο κεφάλαιο.

Ο υπολογισμός των δεικτών βασίζεται σε μετρήσεις μορφολογικών στοιχείων. Ορισμένα από αυτά εύκολα μπορούν να μετρηθούν απευθείας από έναν απλό τοπογραφικό χάρτη. Στις περισσότερες περιπτώσεις όμως χρειάζονται στοιχεία τα οποία μπορούν να υπολογιστούν πιο εύκολα και με μεγαλύτερη ακρίβεια από τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (*GIS*). Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το πακέτο εφαρμογών ArcInfo.

### 1.2 Νεοτεκτονική Χαρτογράφηση

Ως πρώτος στόχος τέθηκε η νεοτεκτονική χαρτογράφηση της περιοχής. Σύμφωνα με τον Παυλίδη (2003), η νεοτεκτονική χαρτογράφηση αποτελεί μια εξειδικευμένη γεωλογική χαρτογράφηση που χαρακτηρίζεται από τα παρακάτω:

Ιδιαίτερη βαρύτητα δίνεται στην ανάλυση και αποτύπωση των ενεργών ρηγμάτων. Παλαιότερες τεκτονικές δομές παρουσιάζονται απλουστευμένες. Η παρουσίαση δομών του υποβάθρου πρέπει να ελαχιστοποιείται (αλπικά – παλαιοτεκτονικά στοιχεία). Συνήθως γίνεται ενοποίηση των παλαιότερων γεωλογικών σχηματισμών (όπως Κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα, αλπικοί σχηματισμοί κλπ) και δίνεται έμφαση στην αποτύπωση των νεότερων (πλειοπλειστοκαινικές – ολοκαινικές αποθέσεις, νέα γεωλογικά ηφαιστειακά πετρώματα κλπ). Εφόσον οι νεοτεκτονικοί χάρτες περιλαμβάνουν γεωμορφολογικά – μορφοτεκτονικά στοιχεία μπορούν να χαρακτηρισθούν μορφοτεκτονικοί, και όταν συνδυάζουν γεωλογικά με σεισμολογικά δεδομένα σεισμοτεκτονικοί.

### 1.3 Ενεργά ρήγματα

Ποια ρήγματα όμως ονομάζονται ενεργά; Οι βιομηχανικά ανεπτυγμένες που αντιμετωπίζουν συχνά προβλήματα από έντονη χώρες σεισμική δραστηριότητα (Ιαπωνία, δυτικές ΗΠΑ) έδωσαν ορισμούς των ενεργών ρηγμάτων που συμπεριλαμβάνονται στις αυστηρές οδηγίες – νομοθεσίες για την κατασκευή μεγάλων τεχνικών έργων και ιδιαίτερα πυρηνικών εργοστασίων. Επιλεκτικά αναφέρεται ο ορισμός που δόθηκε από τη Διεθνή Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας: «Ένα ρήγμα μπορεί να θεωρηθεί ενεργό αν παρουσιάζει τεκμήρια κίνησης στο ύστερο (ανώτερο) Τεταρτογενές, τοπογραφικές γεωμορφολογικές αποδείξεις για πρόσφατη επιφανειακή διάρρηξη, αν συνδέεται άμεσα με σεισμούς καταγραμμένους με σεισμολογικά όργανα και αν παρουσιάζει ασεισμική ολίσθηση ή έχει μια αποδεδειγμένα δομική σχέση με ένα γνωστό ενεργό ρήγμα, έτσι ώστε η κίνηση του ενός να μπορεί να προκαλέσει την κίνηση του

άλλου». Τα κριτήρια αναγνώρισης των ρηγμάτων στην εργασία αυτή είναι μορφοτεκτονικά, στρωματογραφικά και σεισμολογικά.

### 1.4 Μορφοτεκτονική

Η μορφοτεκτονική, αποτελεί τον συνδετικό κρίκο της τεκτονικής με την γεωμορφολογία, προσπαθώντας να εξηγήσει τον τρόπο επίδρασης της πρώτης στη δεύτερη. Η μορφή του αναγλύφου είναι το αποτέλεσμα της επίδρασης των εξωγενών δυνάμεων – διάβρωση – και των ενδογενών – τεκτονική. Ο ρυθμός και ο τρόπος διάβρωσης είναι συνάρτηση, αφενός μεν των τοπικών κλιματολογικών συνθηκών, αφετέρου δε των γεωλογικών σχηματισμών και των τεκτονικών δομών που χαρακτηρίζουν την περιοχή. Επειδή όμως η περιοχή σ' αυτή τη περίπτωση είναι μια μικρή σχετικά λεκάνη, ουσιαστικά δεν παρατηρούνται σημαντικές κλιματολογικές διαφοροποιήσεις στην έκτασή της. Γεωλογικά, η ποικιλία των πετρωμάτων στην περιοχή δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλη. Τα ανθρακικά πετρώματα και οι Νεογενείς – Τεταρτογενείς αποθέσεις είναι οι κυρίαρχοι σχηματισμοί. Τα ανθρακικά πετρώματα (δολομιτικοί ασβεστόλιθοι, κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι) καταλαμβάνουν κυρίως τις εξάρσεις του αναγλύφου ενώ οι νεότερες αποθέσεις αποτελούν το υλικό πλήρωσης των λεκανών και των ταπεινωμένων περιοχών. Η διάβρωση αποτελεί τη γενεσιουργό αιτία του υδρογραφικού δικτύου αλλά συμβάλλει επίσης και στην εξέλιξή του.

Η τεκτονική δραστηριότητα δεν είναι συνεχής όπως η διάβρωση. Σε πολλές περιοχές μάλιστα (κυρίως στις ενδοκρατονικές) είναι σχεδόν ανύπαρκτη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την διαρκή ταπείνωση και εξομάλυνση του αναγλύφου, εφόσον η μόνη δύναμη που απομένει να επιδρά είναι η διάβρωση. Στις ενεργά τεκτονικές περιοχές όμως τα πράγματα παρουσιάζονται διαφορετικά. Η μορφολογία της περιοχής γίνεται πιο απότομη και σύνθετη. Μεγάλες μετατοπίσεις κατά μήκος των ρηγμάτων είναι ικανές να προκαλέσουν σημαντικές ανυψώσεις ή

υδρογραφικό δίκτυο. Απότομες αλλαγές στις κοίτες των ρεμάτων (όπως αλλαγή διεύθυνσης), δημιουργία γραμμικής και παράλληλης διάταξης του υδρογραφικού δικτύου και απότομές μεταβάσεις κατά μήκος ποταμών από το στάδιο ωριμότητας ή γήρανσης προς το στάδιο νεότητας, είναι μερικές από τις πιο συχνές επιδράσεις της τεκτονικής.



Σχ. 1: Μερικές από τις μορφές διάταξης του υδρογραφικού δικτύου (Σωτηριάδης & Ψιλοβίκος, 1984). Α. Δενδριτική, Β. Παράλληλη και C. Ρηξιγενής κλιμακωτή.

Σε περιοχές με εφελκυσμό που παρουσιάζουν δομή ημι-τάφρου, το ποτάμιο σύστημα συμπεριφέρεται με τρεις βασικούς τρόπους ως προς την πλευρική περιστροφή (*lateral tilting*), σύμφωνα με τους Peakall et al. (2000). Ο 1<sup>ος</sup> είναι να αποκοπεί ξαφνικά η κοίτη του ποταμού σχηματίζοντας μια νέα προς τη πλευρά που ταπεινώνεται (downtilt), δηλαδή προς το ρήγμα που οριοθετεί και τη λεκάνη. Ο 2<sup>ος</sup> τρόπος είναι η κοίτη να μετατοπίζεται πλευρικά αλλά σταδιακά προς την ίδια κατεύθυνση. Ο 3<sup>ος</sup> είναι να παραμείνει η κοίτη ως έχει στο κατώτερο συνήθως σημείο της λεκάνης, πληρώνοντας σταδιακά την ταπείνωση. Σε μία διαρκώς εξελισσόμενη λεκάνη, η μορφή και το σχήμα που αποκτά το ποτάμι από τους δύο πρώτους τρόπους μετακίνησης είναι διαφορετικά. Στη πρώτη περίπτωση σχηματίζονται απομονωμένες λωρίδες από εγκαταλειμμένες κοίτες ενώ στη δεύτερη πλατιά στρώματα (σχήμα 2). Ποια είναι όμως η διαδικασία σχηματισμού και των δύο περιπτώσεων σύμφωνα με τους ίδιους συγγραφείς;



**Σχ. 2:** Ιδεατές περιπτώσεις της απόκρισης του υδρογραφικού δικτύου στη τεκτονική πλευρική περιστροφή (Peakall et al., 2000). Α: Αποκοπή και εγκατάλειψη της κοίτης στην ανερχόμενη πλευρά, όπου Ι το αρχαιότερο παλαιορέμα και ΙΙΙ το πιο πρόσφατο κανάλι. Χαρακτηριστική η δομή των παράλληλων λωρίδων. Β. Προοδευτική πλευρική μετατόπιση με αποκοπή μαιάνδρων. Εδώ παρατηρούνται πλατιά στρώματα.

Στην περίπτωση της προοδευτικής μετατόπισης ενός ποταμού με καλοσχηματισμένη κοίτη, όπως συμβαίνει συνήθως στον κάτω ρου (στάδιο γήρατος – *floodplains*), και με αρκετούς μαιάνδρους, αρχικά μετατοπίζεται προς την πλευρά που ταπεινώνεται ενώ οι μαίανδροι διαβρώνουν επιλεκτικά στα σημεία κάμψης (σχήμα 3A). Στη συνέχεια είναι πολύ πιθανό να ενωθεί με παλαιοκοίτες

δημιουργώντας έτσι συνεχόμενες κάμψεις με ενδιάμεσες οξείες γωνίες (point-bar formations) στην κατερχόμενη πλευρά (downtilt) και κοιλότητες (concave benches) στην ανερχόμενη πλευρά (uptilt) (σχήμα 3B&C). Καθώς η διαδικασία αυτή συνεχίζεται οι κάμψεις των μαιάνδρων στην ανερχόμενη πλευρά θα εγκαταλείπονται αφήνοντας πίσω παλαιοκοίτες (σχήμα 3D). Όσο το ποτάμι πλησιάζει τα όρια της κοιλάδας ο ρυθμός μετατόπισης μειώνεται, ενώ οι μαίανδροι αρχίζουν να διαβρώνουν το πρανές της κοιλάδας (πιθανώς το τεκτονικό πρανές) σχηματίζοντας αιχμές (cusps) (σχήμα 3E). Οι αιχμές αυτές μειώνουν την επέκταση στις κάμψεις των μαιάνδρων, όπου εμφανίζονται απότομες πλαγιές, οδηγούν στην εγκατάλειψή τους, και μειώνουν τη μεταφορική ικανότητα του ποταμού. Η συνεχιζόμενη ταπείνωση προκαλεί έπειτα την παρατεταμένη επεξεργασία του υλικού απόθεσης. Ωστόσο, οι οξείες γωνίες που είναι προσανατολισμένες προς την ανερχόμενη πλευρά δείχνουν μια αντίθεση, μια ανεμπόδιστη και συνεχόμενη μετατόπιση.



Σχ. 3: Εξελικτικό μοντέλο της προοδευτικής μετατόπισης λόγω περιστροφής (Peakall et al., 2000). (Α) Η μορφή της ποτάμιας ζώνης πριν την περιστροφή. (Β) Τα πρώτα στάδια της περιστροφής. (C) Συνέχιση της μετατόπισης και ένωση των μαιάνδρων. (D) Το ποτάμι εξακολουθεί να μετακινείται ελεύθερα πέρα από τα αρχικά όριά του. (Ε) Το ποτάμι φτάνει στα όρια της κοιλάδας.

Στην περίπτωση των αποκομμένων παλαιοκοιτών, οι περιοχές που μελετήθηκαν από τους Peakall et al. (2000) έδωσαν παρόμοια αποτελέσματα. Οι αποκοπές φαίνονταν ότι έγιναν είτε στιγμιαία, είτε με χρονική διάρκεια ετών έως και αιώνων όταν το μεσοδιάστημα της δραστηριοποίησης των ρηγμάτων ήταν πολύ μικρό. Επίσης, στην περίπτωση των ποταμών Carson και Walker στην πολιτεία της Nevada (ΗΠΑ), ο επανασχηματισμός της κοίτης τους μετά τη δραστηριοποίηση των ρηγμάτων γινόταν προς το ρήγμα ενώ στις περιόδους τεκτονικής ησυχίας η κοίτη μεταφερόταν μακριά από το ρήγμα ίσως λόγω της

μεγάλης μέσης κλίσης των ποταμών και συνεπώς της αυξημένης δύναμης του νερού.



**Σχ. 4:** Σχηματικό μοντέλο της επιρροής της πλευρικής και κατά μήκος της ροής (αξονικής) κλίσης του ποταμού στην μετατόπιση της κοίτης του, σε μια ημι-τάφρο (Peakall et al., 2000). Μεγάλες πλευρικές κλίσεις ως προς τις αξονικές (πχ (h<sub>1</sub>-h<sub>2</sub>)/L<sub>2</sub>>(h<sub>1</sub>-h<sub>3</sub>)/L<sub>1</sub>, όπου h<sub>x</sub>=ύψος και L<sub>x</sub>=απόσταση) συμβάλλουν στην μετακίνηση του ποταμού προς το ρήγμα. Ωστόσο τέτοια μετακίνηση προκαλεί μικρότερη μέση κλίση και συνεπώς μειωμένη ορμή του νερού από αυτή που θα υπήρχε αν το ρέμα ακολουθούσε την αξονική διεύθυνση (πχ (h<sub>1</sub>-h<sub>3</sub>)/(L<sub>2</sub>+L<sub>3</sub>)<(h<sub>1</sub>-h<sub>3</sub>)/L<sub>1</sub>). Άρα το ποτάμι έχει την τάση να ακολουθεί την αξονική διεύθυνση, μακριά από το ρήγμα, κατά τη διάρκεια τεκτονικής ηρεμίας.

Οι Peakall et al. (2000) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο ρυθμός της περιστροφής είναι ο καθοριστικός παράγοντας για το πώς θα αντιδράσει το ποτάμι σε τεκτονική περιστροφή του εδάφους. Η ακαριαία αποκοπή και μετατόπιση της κοίτης συμβαίνει σε μεγάλες τιμές ρυθμού περιστροφής και η προοδευτική μετατόπιση σε μικρές τιμές του ρυθμού περιστροφής. Η διαχωριστική τιμή βρίσκεται κατά προσέγγιση μεταξύ των τιμών  $7.5 \times 10^{-4}$  και  $7.5 \times 10^{-3}$  radians/kyr.

### 1.5 Χρήση δορυφορικών εικόνων και αεροφωτογραφιών

Οι δορυφορικές εικόνες και οι αεροφωτογραφίες δίνουν μια πιο εποπτική εικόνα μιας περιοχής. Η χρήση τους βοηθά στην αναγνώριση γεωμορφολογικών

και τεκτονικών δομών και λιθολογικών σχηματισμών. Στη παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για την επιβεβαίωση των ρηξιγενών δομών που συναντήθηκαν στην ύπαιθρο αλλά και για την τρισδιάστατη απεικόνιση του αναγλύφου (*DEM*) μέσω των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.

# κεφαλαίο 2

# ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (GIS) ΚΑΙ ΤΟ ArcGIS Desktop

### 2.1 Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών γενικά

Η ανάγκη για την καταγραφή και διαχείριση πληροφοριών που αφορούν οτιδήποτε έχει να κάνει με την κατανομή τους στο χώρο, ήταν η αιτία για την δημιουργία των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ). Όπως αναφέρει και ο τίτλος τους, πρόκειται για προγράμματα ηλεκτρονικών υπολογιστών που αποθηκεύουν και κατανέμουν πληροφορίες στο χώρο. Βασίζονται, δηλαδή, σε βάσεις δεδομένων που μπορούν να καλύψουν πληροφοριακές ανάγκες. Η πρόοδος της τεχνολογίας αλλά και η αυξανόμενη παροχή πληροφοριών προκάλεσε την ευρεία διάδοση των ΓΣΠ, τα οποία πλέον θεωρούνται απαραίτητα σε πολλές επιστήμες επιχειρήσεις και υπηρεσίες.

Σημαντικά στοιχεία των ΓΣΠ είναι ότι οι πληροφορίες και τα δεδομένα μπορούν να ομαδοποιηθούν και να συσχετισθούν. Δημιουργούνται, δηλαδή επίπεδα (ή βάσεις δεδομένων) το καθένα από τα οποία περιέχει μια ομογενή ομάδα δεδομένων. Παραδείγματος χάρη, ένας αστικός χάρτης θα μπορούσε να περιέχει τα κτήρια, τους δρόμους, το δίκτυο παροχής ηλεκτρικού ρεύματος και ότι άλλο ενδιαφέρει τον χρήστη. Η κάθε ομάδα αποτελεί ξεχωριστό επίπεδο ή αλλιώς βάση δεδομένων (πχ οι δρόμοι) που μπορεί να περιέχει όλες τις πληροφορίες που θέλουμε (πχ αν ο δρόμος είναι λεωφόρος, τι μήκος έχει, πως ονομάζεται κλπ). Αυτό που κάνει όμως τα ΓΣΠ ακόμα πιο εύχρηστα είναι η δυνατότητα που έχουν στο να βοηθούν στη λήψη αποφάσεων. Για παράδειγμα, θα μπορούσαν να μας υποδείξουν την περιοχή που θα μπορούσε να κατασκευαστεί ένας οικισμός έχοντας καταχωρήσει διάφορες βάσεις δεδομένων, όπως οι γεωλογικοί σχηματισμοί, η μορφολογία (ισοϋψείς), σεισμικά ρήγματα, κλπ. Δίνοντας λοιπόν τις παραμέτρους που εμείς θέλουμε (πχ ο οικισμός να μη βρίσκεται σε περιοχή με κλίση αναγλύφου >30° με χαλαρά ιζήματα και εντός μιας ζώνης 5km από πιθανά ενεργά ρήγματα) το λογισμικό μπορεί να συνδυάσει τα χαρακτηριστικά όλων των επιπέδων και να δώσει απάντηση στο ερώτημά μας.

Σε γενικές γραμμές, τα πλεονεκτήματα των ΓΣΠ είναι (Αστάρας & Οικονομίδης 2003):

- Τα δεδομένα διατηρούνται σε ψηφιακή μορφή ώστε να καταλαμβάνουν ελάχιστο χώρο και να είναι εύκολα προσβάσιμα.
- Γεωγραφικές βάσεις δεδομένων είναι δυνατόν να δημιουργηθούν για οποιοδήποτε αντικείμενο, χαρακτηριστικό, ιδιότητα ή συνδυασμούς αυτών.
  Τα δεδομένα μπορούν να ενσωματωθούν στη βάση δεδομένων με ή χωρίς αλλαγές και επεξεργασία, εφόσον είναι προσανατολισμένα στο χώρο.
- Τα προγράμματα με διάφορους αλγόριθμους μπορούν να κάνουν διάφορες μορφές επεξεργασίας, όπως μετρήσεις, μετατροπές κλπ.
- Τα αποτελέσματα εξάγονται γρήγορα και μπορεί να αποτελούνται από μεμονωμένα ή σύνθετα θέματα, για οποιαδήποτε γεωγραφική θέση της βάσης δεδομένων και σε οποιαδήποτε κλίμακα.
- Εύκολη πρόσβαση στη βάση δεδομένων για ενημέρωση ή περεταίρω αλλαγές.
- Η ανάλυση πραγματοποιείται με πολύ μικρότερο κόστος και σε λιγότερο χρόνο απ' ότι με τις κλασσικές μεθόδους (πχ στην περίπτωση συνδυασμού πολλών θεματικών χαρτών).

Τα μειονεκτήματα των ΓΣΠ είναι πολύ λιγότερα σε σύγκριση με τα πλεονεκτήματα:

- Το αρχικό κόστος απόκτησης του συστήματος είναι υψηλό.
- Η αποτελεσματική χρήση του συστήματος προϋποθέτει την άρτια εκπαίδευση του κατάλληλου προσωπικού.

### 2.2 Τα συστατικά μέρη ενός ΓΣΠ

Τα ΓΣΠ αποτελούνται κυρίως από τον υλικό εξοπλισμό (*hardware*) και τα λογισμικά πακέτα (*software*).

Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας (Central Processing Unit) του ηλεκτρονικού υπολογιστή αποτελεί την καρδιά του εξοπλισμού. Με αυτή συνδέονται διάφορες περιφερειακές μονάδες, όπως αποθηκευτικές μονάδες για την φύλαξη των δεδομένων και των αποτελεσμάτων, εκτυπωτές ή αυτόματοι σχεδιαστές (plotters), ψηφιοποιητές (digitizers) ή σαρωτές (scanners) για την εισαγωγή πληροφοριών σε μορφή vector ή raster αντίστοιχα. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει ψηφιοποιητής, η ψηφιοποίηση μπορεί να γίνει από την οθόνη του Η/Υ (heads up digitizing).

Τα λογισμικά πακέτα χρησιμοποιούνται για την εισαγωγή, επεξεργασία, ανάλυση, αποτύπωση των πληροφοριών.

### 2.3 Η δομή των δεδομένων στα ΓΣΠ

Τα δεδομένα μπορούν να διακριθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες όσον αφορά τον χαρακτήρα των πληροφοριών (Αστάρας & Οικονομίδης 2003, ESRI 2002, Κουτσόπουλος & Ανδρουλακάκης 2003): i) τα χωρικά δεδομένα (ή γεωγραφική πληροφορία), τα οποία περιγράφονται από τη θέση τους στο χώρο και μπορεί να είναι σημειακά, γραμμικά, επιφανειακά ή τρισδιάστατα, και ii) τα μη χωρικά δεδομένα (ή περιγραφική πληροφορία), που περιγράφουν χαρακτηριστικά ή ιδιότητες της υπόψη χωρικής θέσης. Έτσι π.χ. η θέση μιας ισοϋψούς καμπύλης πάνω στο χάρτη είναι χωρική πληροφορία, ενώ ο χαρακτηρισμός της με βάση το υψόμετρο είναι μη χωρική.

Σχετικά με την ψηφιακή τους μορφή, τα δεδομένα χωρίζονται σε διανυσματικά (vector) και σε δεδομένα με τη μορφή κανάβου ή αλλιώς ψηφιδωτά (raster).

Τα διανυσματικά δεδομένα έχουν ακριβή θέση στο χώρο και διατηρούν το σχήμα τους ανεξαρτήτου μεγέθυνσης ή σμίκρυνσης. Έτσι μπορούμε να αναπαράγουμε τον ίδιο θεματικό χάρτη σε ότι κλίμακα θέλουμε χωρίς να «αλλοιώνεται» η εικόνα. Επίσης στο ίδιο επίπεδο μπορούμε να έχουμε αλληλοεπικάλυψη αντικειμένων (γραμμών, πολυγώνων κλπ) χωρίς το ένα να επηρεάζει το άλλο. Ο συσχετισμός των περιγραφικών δεδομένων (μη χωρικών) με ένα αντικείμενο είναι πιο εύκολος, και τέλος τα αρχεία που δημιουργούνται καταλαμβάνουν μικρό χώρο στη μνήμη του ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Τα ψηφιδωτά δεδομένα αποτελούνται από φατνία ή αλλιώς εικονοστοιχεία (pixels), δηλαδή σαν ένας πίνακας χωρισμένος σε γραμμές και στήλες. Τέτοια δεδομένα αποτελούν οι απλές εικόνες, αεροφωτογραφίες, δορυφορικές εικόνες κλπ. Το μέγεθος κάθε φατνίου δηλώνει τη διακριτική ικανότητα της εικόνας με αποτέλεσμα η απεικόνιση να μην είναι καλή σε μικρές κλίμακες.

### 2.4 To ArcGIS Desktop

Το ArcGIS Desktop ήταν το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των χαρτών, των τρισδιάστατων απεικονίσεων του αναγλύφου και για την ανάλυση και επεξεργασία δεδομένων. Αν και η αναλυτικότερη διαδικασία που πραγματοποιήθηκε για την εκπόνηση της εργασίας αυτής θα ακολουθήσει στα επόμενα κεφάλαια, εδώ θα γίνει μια σύντομη περιγραφή της βασικής δομής και των δυνατοτήτων του προγράμματος. Ξεκινώντας κάποιος τη χρήση του προγράμματος θα πρέπει να έχει ήδη επιλέξει το είδος και τον τρόπο εισαγωγής των δεδομένων, καθώς επίσης και τον στόχο που θέλει να πετύχει.

Το πακέτο προγραμμάτων ArcGIS Desktop υπάρχει σε τρεις εκδόσεις ανάλογα με τις απαιτήσεις του χρήστη. Η πληρέστερη με τα περισσότερα εργαλεία είναι το ArcInfo. Και οι τρεις εκδόσεις διαθέτουν τις εξής βασικές εφαρμογές:

- ArcCatalog. Το ArcCatalog είναι το κομμάτι του ArcInfo Desktop που παρέχει όλα τα εργαλεία για την οργάνωση και διαχείριση των πληροφοριών. Ο χρήστης μπορεί να δει, να αντιγράψει, να διαγράψει τα δεδομένα του, να δει πληροφορίες (*Metadata*) γι' αυτά, κ.α.. Επίσης σημαντικό είναι ότι σ' αυτή την εφαρμογή γίνεται η δημιουργία των βάσεων δεδομένων με τα επιμέρους χαρακτηριστικά τους (προβολικό σύστημα συντεταγμένων, ποσότητα περιγραφικών πεδίων κ.α.). Η μορφή των αρχείων που μπορούν να δημιουργηθούν είναι Shapefile, Coverage, Geodatabase και CAD.
- ArcMap. Με την εφαρμογή αυτή γίνεται ουσιαστικά η κατασκευή ενός θεματικού χάρτη δημιουργώντας, προσθέτοντας ή διορθώνοντας πληροφορίες στις βάσεις δεδομένων και ρυθμίζοντας διάφορες παραμέτρους που αφορούν την επιλογή και απεικόνισή τους.
- ArcToolbox. Το ArcToolbox αποτελείται από μια σειρά εργαλείων που χρησιμοποιούνται για διάφορες μετατροπές, όπως αλλαγή των χωρικών δεδομένων (*data format*) σε άλλη μορφή ή αλλαγή προβολικού συστήματος.

Στο πρόγραμμα μπορούν να προστεθούν επιπλέον και άλλες προαιρετικές εφαρμογές όπως το 3D analyst που χρησιμοποιείται για την κατασκευή και ανάλυση των χωρικών δεδομένων σε τρεις διαστάσεις (*Digital Elevation Models*) ή το Spatial Analyst που χρησιμοποιείται για την τρισδιάστατη απεικόνιση των γεωγραφικών δεδομένων χρησιμοποιώντας ποικίλες παραμέτρους.

Συνοψίζοντας, το ArcGIS στηρίζεται στα παρακάτω βασικά χαρακτηριστικά:

- Εισαγωγή χωρικών και περιγραφικών δεδομένων και δημιουργία του ψηφιακού χάρτη.
- Διόρθωση και ενημέρωση του ψηφιακού χάρτη.

- Διαχωρισμός του ψηφιακού χάρτη σε επίπεδα ομοιογενούς πληροφορίας (βάσεις δεδομένων) και δημιουργία επικαλυπτόμενων ψηφιακών χαρτών διαφορετικών περιεχομένων.
- Αναζήτηση χαρακτηριστικών (γραφικών και μη γραφικών, τοπολογικά δομημένων και μη δομημένων).
- Επεξεργασία και ανάλυση των στοιχείων των ψηφιακών χαρτών.

Το σημαντικότερο βέβαια, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα του κεφαλαίου, είναι η δυνατότητα του προγράμματος να «απαντάει» σε ερωτήσεις που του θέτουμε και η μεγάλη ποικιλία εφαρμογών και εργαλείων που διαθέτει για την ανάλυση των δεδομένων.

# κεφαλαίο 3

## ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

### 3.1 Γενική Γεωλογία της ευρύτερης περιοχής μελέτης

Η περιοχή μελέτης ανήκει στην γεωτεκτονική ζώνη της Υποπελαγονικής. Βρίσκεται όμως πολύ κοντά στο όριό της με την Αττικοκυκλαδική. Τα όρη Πάρνηθα και Αιγάλεω αποτελούν τα φυσικά όρια μετάβασης της Υποπελαγονικής προς την Αττικοκυκλαδική, που παρουσιάζουν τη γενική διεύθυνση ΝΔ – ΒΑ.



Σχ. 5: Οι γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδος (Mountrakis et al., 1983). Στο σχήμα σημειώνεται η περιοχή μελέτης.

Η Υποπελαγονική ζώνη σήμερα θεωρείται ότι κατά την αλπική ορογένεση αποτέλεσε την κατωφέρεια του ηπειρωτικού τεμάχους της Πελαγονικής προς τον ωκεανό της Νέο-Τηθύος (Μουντράκης 1985). Όλη η ζώνη απαρτίζεται από τους ακόλουθους σχηματισμούς (Μουντράκης 1985):

Προαλπικό υπόβαθρο:

- Κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα Κάτω Παλαιοζωικού (γνεύσιοι, μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι, αμφιβολίτες και παρεμβολές μαρμάρων.
- Παλαιοζωικούς σχηματισμούς ιζηματογενείς ή ημιμεταμορφωμένους.

Αλπική σειρά:

- Κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, ασβεστόλιθους και παρεμβολές τοφφικών υλικών
  Κατώτερου Τριαδικού.
- Ασβεστόλιθους πελαγικούς νηριτικούς Κάτω Μέσου Τριαδικού.
- Τεφρούς ασβεστόλιθους και δολομίτες Ανώτερου Τριαδικού.
- Κατά το Ιουρασικό ακολούθησε εναλλακτική στρωματογραφική τεκτονική διαδοχή των πετρωμάτων:
  - Σχιστοκερατολιθική διάπλαση με οφειόλιθους Άνω Τριαδικού Κατώτερου Κρητιδικού, αποτελούμενη από λεπτόκοκκα ιζήματα (αργιλικοί σχιστόλιθοι, ραδιολαριτικοί κερατόλιθοι, μάργες, ψαμμίτες, πηλίτες, παρεμβολές λεπτόκοκκων πελαγικών ασβεστολίθων). Ο κύριος όγκος των οφειολίθων βρίσκεται στην ανώτερη στάθμη της σχιστοκερατολιθικής διάπλασης με σχηματισμό στη βάση τους τεκτονικών οφειολιθικών μιγμάτων (mélanges).
  - Ασβεστόλιθοι Ιουρασικοί πελαγικοί ή νηριτικοί, τυπικοί ηπειρωτικού περιθωρίου. Εναλλάσσονται με αλλεπάλληλες ενστρώσεις κερατόλιθων, πηλιτών και πυριτικών μαργών. Θεωρούνται η συνέχεια της απόθεσης των Τριαδικών ασβεστολίθων.
- Επικλυσιγενή ιζήματα Μέσου Άνω Κρητιδικού, που ξεκινάνε από κροκαλοπαγές βάσης και συνεχίζουν με Άνω Κρητιδικούς ασβεστόλιθους

(νηριτικούς – πελαγικούς) με μικρές παρεμβολές ψαμμιτικών και μαργαϊκών στρωμάτων, καταλήγοντας στο φλύσχη Άνω Μαιστρίχτιου (Ανώτερο Κρητιδικό) – τέλος Ηωκαίνου.

Σύμφωνα με τον Μουντράκη (1985), η ζώνη της Υποπελαγονικής χαρακτηρίζεται από πτυχές του Κάτω Κρητιδικού που ανήκουν στην ορογενετική περίοδο Ανώτερου Ιουρασικού – Κάτω Κρητιδικού, όταν ο χώρος των Εσωτερικών Ελληνίδων χέρσευσε. Πρόκειται για πτυχές κλειστές ή ανοιχτές που συχνά συνοδεύονται με σχιστότητα ολίσθησης. Οι άξονές τους έχουν διεύθυνση BBA – NNΔ. Επίσης διακρίνονται τρεις φάσεις πτυχώσεων του Τριτογενούς. Οι δύο έλαβαν χώρα μετά το τέλος του Κρητιδικού και πριν το Μέσο Ηώκαινο, χωρίς να έχει διαπιστωθεί ποια συνέβη πρώτη. Απ' αυτές, η μια προκάλεσε πτυχές ανοιχτές, ισοπαχείς, γενικής αξονικής διεύθυνσης  $B\Delta$  – NA και απόκλισης προς τα NΔ, ενώ η άλλη δημιούργησε πτυχές κλειστές ή ανοιχτές, αξονικής διεύθυνσης BA – NΔ και απόκλισης προς τα NA. Η τρίτη φάση έγινε κατά την περίοδο Ολιγοκαίνου – Μειοκαίνου και προκάλεσε πτυχές κάμψης πολύ ανοιχτές και τύπου knick, γενικής διεύθυνσης B – N.

Το όριο της Υποπελαγονικής με την Αττικοκυκλαδική ζώνη δεν είναι ξεκάθαρο. Η επικρατέστερη άποψη είναι ότι αποτελεί μια ζώνη επώθησης των ανθρακικών πετρωμάτων της Υποπελαγονικής πάνω στα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα της Αττικοκυκλαδικής (Lekkas, 2001).

Η Αττικοκυκλαδική ζώνη δεν είναι σαφής σε όλη την έκτασή της. Μερικοί έχουν προτείνει ότι αποτελεί τεκτονικό παράθυρο λόγω της ομοιότητάς της ως προς την τεκτονική θέση της ενότητας Αττικής με τη σειρά του Ολύμπου, με τη διαφορά ότι τα αντίστοιχα αλπικά ιζήματα εμφανίζονται μεταμορφωμένα (από Μουντράκης 1985). Η θεωρία αυτή όμως δεν έχει ισχυρά στοιχεία για να καθιερωθεί.

### 3.2 Νεοτεκτονική εξέλιζη του ελλαδικού χώρου

Ο ελλαδικός χώρος παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον μιας και βρίσκεται στην περιοχή σύγκλισης των λιθοσφαιρικών πλακών της Αφρικής και της Ευρασίας, όπου η πρώτη βυθίζεται κάτω από την δεύτερη. Ωστόσο το φαινόμενο αυτό δεν είναι τόσο απλό. Τα περιθώρια των πλακών δεν αποτελούν μια ενιαία, αδιαίρετη μονάδα, αλλά διαιρούνται σε μικρά τεμάχη που συμπεριφέρονται σχετικά ανεξάρτητα προκαλώντας αλλαγές στο γεωδυναμικό καθεστώς της περιοχής. Πρώτος ο McKenzie (1972) ήταν αυτός που χώρισε την ανατολική μικρότερες πλάκες. Γενικότερα, στην ευρύτερη Μεσόγειο σε περιογή παρατηρούνται εκτός των δύο μεγάλων λιθοσφαιρικών πλακών και δύο μικρότερες: της Αραβίας και της Μικράς Ασίας ή Τουρκική μικροπλάκα (Ανατολία). Οι Kahle et al (1998) θεωρούν τον ευρύτερο χώρο του Αιγαίου ως μια τρίτη μικροπλάκα. Οι μικροπλάκες αυτές μετακινούνται μεταξύ τους με διαφορετικές διευθύνσεις, επηρεάζοντας άμεσα η μία την άλλη. Η πρώτη, που αποτελεί αποσπασθέν κομμάτι της Αφρικανικής, κινείται βόρεια και σγετικά γρηγορότερα από την Αφρικανική. Επειδή η ανατολική πλευρά της Αραβικής μικροπλάκας (Ερυθρά Θάλασσα) κινείται προς τα βόρεια (Le Pichon & Angelier 1979, Papazachos et al. 1992, Papazachos & Kiratzi 1996 κ.α.) με μεγαλύτερη ταχύτητα από τη δυτική (15mm/yr και 10mm/yr αντίστοιχα), ταυτόχρονα παρουσιάζει και μια περιστροφή (Kahle et al., 1998). Η μικροπλάκα της Ανατολίας με τη σειρά της, εφόσον δέχεται από νότια την πίεση της Αραβικής, βρίσκει διέξοδο προς τα νοτιοδυτικά διαμέσου του μεγάλου δεξιόστροφου ρήγματος της Βόρειας Ανατολίας (Lyberis 1984, Le Pichon & Angelier 1979, Papazachos et al. 1992, Papazachos & Kiratzi 1996 κ.α.). Ο μέσος ρυθμός της προς τα δυτικά κίνησης της πλάκας της Ανατολίας στη θάλασσα του Μαρμαρά είναι 22mm/yr (Kahle et al, 1998). Τη ταχύτερη μετατόπιση παρουσιάζει η ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου με τιμές της τάξης των 35mm/yr και διεύθυνση προς τα νοτιοδυτικά. Το αποτέλεσμα όλων αυτών των μετακινήσεων είναι να παρουσιάζεται μια μεγάλη σεισμική ζώνη που περικλείει την ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου και γενικότερα του ελλαδικού χώρου.



**Σχ. 6:** Η τεκτονική δομή της ευρύτερης περιοχής της ανατολικής Μεσογείου από τους Kahle et al. (1998). AEMP: μικροπλάκα Αιγαίου, AP: μικροπλάκα Ανατολίας, BS: Μαύρη θάλασσα, BSZ: ρηξιγενής ζώνη Bitlis, CA: τόξο Καλαβρίας, CS: Κασπία θάλασσα, DSR: τάφρος Νεκράς θάλασσας, EAF: ρήγμα ανατολικής Ανατολίας, GA: κόλπος Aquaba, KTJ: 3πλός κόμβος Karliova, LS: θάλασσα Λιβύης, MS: θάλασσα Μαρμαρά, NAFZ: ρηξιγενής ζώνη βόρειας Ανατολίας, RP: Ρωσική πλατφόρμα, SP: χερσόνησος Σινά, WHA: δυτικό ελληνικό τόξο.

Ο χώρος του Αιγαίου, σύμφωνα με τους Le Pichon & Angelier (1979, 1981), περιστράφηκε δεξιόστροφα τα τελευταία 13.5 εκατομμύρια χρόνια γύρω από ένα πόλο που βρίσκεται στη νότια Αδριατική. Η Kondopoulou (2000), μετά από παλαιομαγνητικές έρευνες, μείωσε το χρονικό διάστημα περιστροφής στα 5 εκατομμύρια χρόνια με αποτέλεσμα οι ταχύτητες περιστροφής να είναι μεγαλύτερες.







**Σχ. 8:** Κατανομή της παραμόρφωσης στις βασικές ρηξιγενείς ζώνες όπως παρατηρήθηκαν από διαστημικές γεωδαιτικές μεθόδους (όπως GPS) (Kahle et al., 1998). ΑΡ: μικροπλάκα Ανατολίας, CA: τόξο Καλαβρίας, KFZ: ρηξιγενής ζώνη Κεφαλλονιάς, CG: κεντρική Ελλάδα, WHA: δυτικό ελληνικό τόξο.

### 3.3 Νεοτεκτονικό καθεστώς της Κεντρικής Ελλάδος – Ανατολικής Στερεάς

Η περιοχή Τανάγρας – Αυλώνα – Ασωπίας αποτελεί ένα τμήμα της ενεργούς ρηξιγενούς ζώνης Ωρωπού - Ερυθρών - Καπαρελλίου, διεύθυνσης Α-Δ. Εκατέρωθεν της ζώνης βρίσκονται ο Κορινθιακός κόλπος στα δυτικά και ο Ευβοϊκός κόλπος στα ανατολικά, περιοχές που τεκτονικά χαρακτηρίζονται ως ταχύτατα εξελισσόμενες. Και οι δύο κόλποι έχουν κοινά χαρακτηριστικά. Είναι αμφότεροι τεκτονικές τάφροι (ο Κορινθιακός ουσιαστικά αποτελεί ημι-τάφρο εφόσον η ρηξιγενής ζώνη εμφανίζεται κυρίως από τη νότια πλευρά μόνο) που σχηματίστηκαν σε έντονο εφελκυστικό πεδίο τάσεων. Οι ρηξιγενείς τους δομές είναι σχεδόν παράλληλες (διεύθυνσης ΔΒΔ – ΑΝΑ) όπως και οι μεγάλοι άξονες των τάφρων. Ωστόσο, ο Κορινθιακός κόλπος εμφανίζεται πιο δραστήριος σεισμικά. Ο ρυθμός έκτασής του είναι ανομοιόμορφος: μεγαλύτερος στα δυτικά (περίπου 12 - 14 mm/yr) και μικρότερος προς τα ανατολικά (περίπου 6 - 8 mm/yr) ως προς την διεύθυνση B–N (Clarke et al. 1997, Briole et al. 2000). Αντιθέτως, στο βόρειο Ευβοϊκό κόλπο παρατηρείται έκταση περίπου 1-2mm/yr ως προς την ίδια διεύθυνση (Clarke et al. 1997). Επόμενο είναι λοιπόν και η σεισμική δραστηριότητα να είναι μεγαλύτερη. Ο Jackson (1999) δίνει τη δικιά του εξήγηση για την μειωμένη δραστηριότητα (ίσως και μόνιμα) του Βόρειου Ευβοϊκού: θεωρεί ότι η τάση έχει επηρεαστεί από την ψύξη και την αύξηση της συνοχής της πλαστικής λιθόσφαιρας καθώς αυτή ανέρχεται προς την επιφάνεια, κυρίως λόγω της μεγάλης καταβύθισης και λέπτυνσης της λιθόσφαιρας στο χώρο του Αιγαίου. Οι δύο τάφροι τέμνονται με μικρή γωνία (περίπου 30°) από τη ζώνη Ωρωπού – Ερυθρών – Καπαρελλίου.

Έχουν γίνει αρκετές έρευνες βασισμένες σε μετρήσεις δικτύων GPS για τον προσδιορισμό μετατοπίσεων και εν συνεχεία για τον υπολογισμό των τάσεων που επικρατούν στην Κεντρική Ελλάδα. Τα αποτελέσματα είναι παραπλήσια (Billiris et al. 1991, Clarke et al. 1998, Kahle et al. 1998) και δείχνουν την επικράτηση εφελκυστικού πεδίου διεύθυνσης B - N στην Κεντρική Ελλάδα (Mercier et al. 1989, Ambraseys & Jackson, 1990).



**Σχ. 9:** Διανύσματα ρυθμού μετατόπισης των τελευταίων περίπου 100 ετών, βασισμένα σε τριγωνομετρικές και GPS μετρήσεις (γκρι βέλη) ή μόνο σε GPS μετρήσεις (μαύρα βέλη) (Clarke et al., 1998).



**Σχ. 10:** Κατανομή των κύριων αξόνων παραμόρφωσης από τους Clarke et al. (1998). Οι χοντρές γραμμές αντιστοιχούν σε εφελκυσμό ενώ οι λεπτές σε συμπίεση.

#### ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης Σωτήριος Π. Σμπόρας



Σχ. 11: Κατανομή του ρυθμού περιστροφής από γεωδαιτικά στοιχεία (Clarke et al., 1998).

Οι Goldsworthy et al. (2002) δίνουν τη δική τους ερμηνεία για το πώς συνδέονται οι ρηξιγενείς ζώνες μεταξύ τους και ποια είναι η θέση τους στον ευρύτερο Ελληνικό χώρο. Υποστηρίζουν λοιπόν, ότι τα ενεργά ρήγματα στον ηπειρωτικό ελληνικό χώρο και στο βόρειο Αιγαίο σχηματίζουν επιμήκεις ζώνες που βρίσκονται στα όρια συμπαγών (άκαμπτων) τεμαχών που κινούνται σχετικά μεταξύ τους. Όπως φαίνεται στο σχήμα 12, η λεκάνη της Μυγδονίας, η νότια Θεσσαλία, ο βόρειος Ευβοϊκός κόλπος με τη κοιλάδα του Σπερχειού και ο Κορινθιακός κόλπος με τον νότιο Ευβοϊκό αποτελούν τις ρηξιγενείς εφελκυστικές ζώνες της ηπειρωτικής Ελλάδος που στα ανατολικά άκρα τους ενώνονται με τις διατμητικές ζώνες του βορείου Αιγαίου. Οι ενδιάμεσες περιοχές αποτελούν ενιαία συμπαγή τμήματα. Με τη βοήθεια δεδομένων από GPS διαπίστωσαν τα εξής (σχήμα 14).



**Σχ. 12:** Η σεισμικότητα του τέλους του Τεταρτογενούς συγκεντρώνεται κυρίως στις γκρίζες ζώνες σύμφωνα με τους Goldsworthy et al. (2002). (a) Χάρτης σεισμικότητας όπου με μαύρους κύκλους είναι οι σεισμοί των οποίων οι μηχανισμοί γένεσης φαίνονται στο σχήμα 13 και με γκρι κύκλους είναι η σεισμικότητα της περιόδου 1964–1998 από τους Engdahl et al. 1998 (οι μεγαλύτεροι κύκλοι έχουν  $m_b > 5$ ). (b) Ρηξιγενείς ζώνες του Τεταρτογενούς. KFZ-ρηξιγενής ζώνη Κεφαλλονιάς, HSZ-ζώνη υποβύθισης, CC-ζώνη ηπειρωτικής σύγκρουσης, GC-Κορινθιακός κόλπος, NGE-βόρειος Ευβοϊκός κόλπος, V-Βόλος, C-Χαλκιδική, A-Αλιάκμονας, LPT-τάφρος Λέσβου-Ψαρών, KXF-ρήγμα Καβάλας-Ξάνθης.


**Σχ. 13:** Σεισμοτεκτονικός χάρτης κεντρικής Ελλάδας και Αιγαίου από τους Goldsworthy et al. (2002). Οι μηχανισμοί γένεσης είναι από τον κατάλογο του Harvard CMT και με μαύρα αστέρια είναι οι ιστορικοί σεισμοί.

Θεωρώντας την ανατολική Στερεά Ελλάδα ως σημείο αναφοράς (ελαχιστοποιώντας δηλαδή τα διανύσματα της ταχύτητας) δείχνει πως συμπεριφέρεται ως ενιαία άκαμπτη μάζα νότια της οποίας η Πελοπόννησος περιστρέφεται αριστερόστροφα γύρω από ένα πόλο που βρίσκεται 38.30°N 23.70°E και με ρυθμό 6.75° ανά εκατομμύριο χρόνια. Η περιστροφή αυτή δικαιολογεί το ασύμμετρο άνοιγμα του Κορινθιακού κόλπου και τις ήπιες δομές στα ανατολικά του (ζώνη Ωρωπού – Ερυθρών – Καπαρελλίου). Διαπίστωσαν και υπολόγισαν επίσης την αριστερόστροφη περιστροφή της κυρίως ηπειρωτικής Ελλάδας ως προς την ανατολική Στερεά στις 4.2° ανά εκατομμύριο χρόνια γύρω από έναν άξονα ο πόλος του οποίου βρίσκεται 38.69°N 22.32°E.

Συνυπολογίζοντας την σχετική κίνηση της Ελλάδος ως προς την Ευρασία τότε φαίνεται η ανατολική Στερεά να περιστρέφεται δεξιόστροφα ως προς την Ευρώπη.



**Σχ. 14:** Χάρτης διανυσμάτων των ρυθμών μετατόπισης από τους Goldsworthy et al. (2002) με δεδομένα από μετρήσεις GPS από τους Clarke et al. (1998) και McClusky et al. (2000). (a) Οι λευκοί κύκλοι αποτελούν την ελαχιστοποίηση των τιμών μετατόπισης μεταξύ του Κορινθιακού και Ευβοϊκού κόλπου ώστε η περιοχή αυτή να χρησιμοποιηθεί ως σημείο αναφοράς και για να φανεί ότι συμπεριφέρεται σαν ενιαίο συμπαγές κομμάτι. Οι σταθμοί που αναπαρίστανται με τετράγωνα χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του πόλου περιστροφής (λευκό αστέρι) μεταξύ της συμπαγούς περιοχής και της Πελοποννήσου. (b) Η ελαχιστοποίηση των ταχυτήτων αυτή τη φορά έγινε στη Πελοπόννησο (λευκά τετράγωνα) και φαίνεται η ομοιότητα με τις Κυκλάδες με αποτέλεσμα και οι δύο περιοχές να συμπεριφέρονται σαν ενιαίο κομμάτι. Χαρακτηριστικές είναι και οι μετατοπίσεις από το νότιο έως το βόρειο άκρο της Εύβοιας όπου η ρηξιγενής ζώνη του βόρειο ευβοϊκού κόλπου συναντά τη θαλάσσια ζώνη οριζόντιας μετατόπισης.

Οι διαπιστώσεις και οι μετρήσεις αυτές, χρησιμοποιήθηκαν από τους Goldsworthy et al (2002) για να φτιάξουν ένα μοντέλο εξέλιξης (σχήμα 14a). Σύμφωνα με αυτό, τα ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης της ζώνης του βορείου Αιγαίου καταλήγουν στον βόρειο Ευβοϊκό κόλπο με αποτέλεσμα το τέμαχος στα νότια (ανατολική Στερεά) να περιστραφεί δεξιόστροφα. Όμως, εφόσον η Πελοπόννησος και το νότιο Αιγαίο αποτελούν ενιαίο συμπαγές τμήμα που κινείται νοτιοδυτικά, προκαλείται το άνοιγμα του Κορινθιακού κόλπου με μικρότερες τιμές του ρυθμού έκτασης από τα δυτικά προς τα ανατολικά. Εξηγούν έτσι, γιατί η ρηξιγενής δομή της κοιλάδας του Σπερχειού χάνεται προς τα δυτικά και η ασάφεια των τεκτονικών δομών ανατολικά του Κορινθιακού. Η χρησιμότητα του μοντέλου αυτού (σύμφωνα πάντα με τους Goldsworthy et al, 2002) έγκειται στο γεγονός ότι μπορεί να αναπαρασταθεί με ένα κομμάτι χαρτί όπως φαίνεται και στο σχήμα 15. Οι τσακίσεις που θα παρατηρηθούν στο χαρτί, στα άκρα του περιστρεφόμενου τμήματος, πιστεύουν ότι αντιπροσωπεύονται από σκορπισμένα δευτερεύοντα ρήγματα. Στα σχήματα 15c και 15d προσθέσανε και τις υπόλοιπες ζώνες με αποτέλεσμα να φαίνεται η μεγαλύτερη ανάπτυξη της Κορινθιακής τάφρου. Όσον αφορά λοιπόν τα συμπεράσματά τους για τη συγκεκριμένη περιοχή Ωρωπού – Θήβας – Καπαρελλίου, θεωρούν ότι βρίσκεται στα άκρα ενός σχεδόν συμπαγούς τμήματος όπου προκαλούνται μέτριου μεγέθους σεισμοί από μεμονωμένα ρήγματα.



**Σχ. 15:** Σχηματική αναπαράσταση της νεοτεκτονικής εξέλιξης της Κεντρικής Ελλάδος χρησιμοποιώντας ένα φύλλο χαρτί (επεξήγηση στο κείμενο) (Goldsworthy et al., 2002).

Ωστόσο η ερμηνεία αυτή δεν φαίνεται ικανή να υπερισχύσει της άποψης ότι η ζώνη Ωρωπού – Ερυθρών – Καπαρελλίου αποτελεί την προέκταση του ρηξιγενούς συστήματος του Κορινθιακού κόλπου προς τα ανατολικά.

Οι Mattei et al. (2004) μετά από παλαιομαγνητικές έρευνες και δεδομένα από GPS κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η λεκάνη των Μεγάρων και της γειτονικής περιοχής (γραμμοσκιασμένη περιοχή στο χάρτη του σχήματος 16) περιστρεφόταν με τη φορά των δεικτών του ρολογιού (δεξιόστροφα) κατά το Πλειόκαινο – Πλειστόκαινο, όπως η Εύβοια. Έπειτα όμως άλλαξε φορά και εναρμονίστηκε με την περιστροφή της Πελοποννήσου.



**Σχ. 16:** Το τέμαχος της Πελοποννήσου έχει αντίστροφη περιστροφή από αυτό της Βοιωτίας – Εύβοιας. Η γραμμοσκιασμένη περιοχή κατά το Πλειόκαινο – Πλειστόκαινο πιθανών περιεχόταν στο τέμαχος της Βοιωτίας – Εύβοιας αφού περιστρεφόταν παρόμοια. Σήμερα όμως φαίνεται ότι έχει προσαρτηθεί στην Πελοπόννησο εφόσον άλλαξε φορά περιστροφής (Mattei et al. 2004).

## 3.4 Γεωγραφική θέση και Μορφολογία της περιοχής μελέτης

Η περιοχή, την οποία μελετά η εργασία αυτή, μορφολογικά περιλαμβάνει τη χαμηλού υψομέτρου (περίπου 100 – 200m) λεκάνη του Σχηματαρίου και τη βόρεια πλευρά του όρους Πάρνηθα (ΒΔ Αττική). Η λεκάνη του Σχηματαρίου είναι όμορη της λεκάνης της Θήβας, από την οποία χωρίζεται από το Κηρύκιο όρος (377m), ένα επίμηκες ύψωμα στους πρόποδες του οποίου είναι χτισμένος ο οικισμός της Τανάγρας. Το βόρειο όριο της λεκάνης περιγράφεται από ένα επίσης επίμηκες χαμηλό ύψωμα που αποτελεί και τον υδροκρίτη της λεκάνης και κατά μήκος του οποίου διέρχεται η εθνική οδός Αθηνών – Λαμίας.

Παρατηρώντας την ευρύτερη περιοχή από τον Ευβοϊκό κόλπο έως τον Κορινθιακό, δίνεται η εντύπωση ότι υπάρχει μια γραμμική διάταξη οροσειρών από ανατολικά προς δυτικά. Το όρος Πάρνηθα (1413m) είναι το ανατολικότερο, ενώ δυτικότερα ακολουθούν τα όρη Πάστρα (1025m) και Κιθαιρώνας (1407m). Το τελευταίο καταλήγει στον Κορινθιακό κόλπο και πιο συγκεκριμένα στον κόλπο των Αλκυονίδων. Στο δυτικό όριο της περιοχής και βόρεια των προαναφερθέντων οροσειρών, η λεκάνη που σχηματίζεται διαρρέεται από τον Ασωπό ποταμό, ο οποίος ξεκινάει αποστραγγίζοντας τη βόρεια πλευρά του όρους Κιθαιρώνα και τα ανατολικά πρανή των όρεων Ελικώνα και Κορομπίλι στο δυτικό περιθώριο της λεκάνης. Η διεύθυνση ροής του ποταμού ακολουθεί τη διάταξη των νότιων οροσειρών, δηλαδή ανατολή – δύση. Ο ποταμός εκβάλλει ανατολικά της περιοχής μελέτης, στο νότιο Ευβοϊκό κόλπο, κοντά στον οικισμό Χαλκούτσι. Παρατηρώντας μακροσκοπικά τη διαδρομή του ποταμού, φαίνεται ότι ο Ασωπός «τεμαχίζει» τη χερσόνησο της Αττικής. Σύμφωνα με τους Mariolakos et al. (1997), ο σχηματισμός της λεκάνης του Ασωπού πρέπει να ξεκίνησε κατά το Μειόκαινο (σύμφωνα με τις ηλικίες των ιζημάτων που υπολογίστηκαν από τον Μέττο 1992).



**Σχ. 17:** Τοπογραφικός χάρτης της Αττικοβοιωτίας όπως προκύπτει από την ένωση των φύλλων Θήβας και Χαλκίδας της Γ. Υ. Σ. κλίμακας 1:100,000.

## ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης Σωτήριος Π. Σμπόρας



Σχ. 18: Μορφολογικός χάρτης της Αττικής – Βοιωτίας.

Επικεντρώνοντας το ενδιαφέρον στη περιοχή μελέτης και πιο συγκεκριμένα στη πλευρά της βόρειας Πάρνηθας, διακρίνονται ψηλές κορυφές με απότομα πρανή, βαθιές κοιλάδες και μεμονωμένα υψίπεδα. Η μορφολογία ανέρχεται ταχέως προς τα νότια και σε απόσταση 8km από τον οικισμό Αυλώνα έως την ψηλότερη κορυφή της Πάρνηθας έχει ήδη φτάσει τα 1250m. Κατά μήκος της οροσειράς και σε διεύθυνση από δυτικά προς ανατολικά διακρίνεται ένας άξονας στον οποίο βρίσκονται οι ψηλότερες κορυφές (Παλιόκαστρο, Μεγάλο Βουνό, Μονγκουλτός, Ξεροβούνι και Κατσιμίδι). 5 – 8km βορειότερα διακρίνεται ένας δευτερεύων παράλληλος άξονας που συγκροτείται από χαμηλότερου υψομέτρου κορυφές. Χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτού είναι ο εγκάρσιος διαμελισμός του από βαθιές χαράδρες και κοιλάδες. Η έκταση μεταξύ των δύο ραχών χαρακτηρίζεται από ομαλές μεταβάσεις. Λόγω της έντονης ασβεστολιθικής παρουσίας η διάβρωση που παρατηρείται είναι κυρίως καρστική. Αρκετά χαρακτηριστική επίπεδη μορφολογία παρουσιάζει η λεκάνη – πόλγη των Σκούρτων, που βρίσκεται σε υψόμετρο 500m περίπου.



**Σχ. 19:** Το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης του Ασωπού (η μεγαλύτερη περιοχή που περικλείεται από τη διακεκομμένη γραμμή) με ταξινόμηση κατά Strahler (Παπανικολάου κ.α., 1988).

Η λεκάνη του Σχηματαρίου είναι ο κύριος αποδέκτης των διαβρωσιγενών υλικών της βορειοδυτικής πλευράς της Πάρνηθας. Οι Δούνας κ.α. (1978), με στοιχεία γεωτρήσεων, υποστηρίζουν ότι η κοίτη του Ασωπού στον κάμπο του Αγ. Θωμά κατά το Νεογενές βρισκόταν 500 – 800m νοτιότερα από τη σημερινή της θέση.

#### Στρωματογραφική στήλη Σχηματαρίου-Οινόης



Ποταμοχερσαία ξήματα, καστανόχρωμα, της περιοχής Χαλκουτσίου-Δήλεσι(Τουρώλιο).

Λεπτομερή υλικά γκριζοπράσινου χρώματος.

Μεγάλου πάχους λεπτομεσόκοκκους άμμους με ενστρώσεις ψαμμιτών και αμμούχων μαργών. Προς τα πάνω έχουμε τις γκριζοπράσινες αμμούχες μάργες με τον ορίζοντα ξυλίτη.

Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι που προς τα πάνω μεταβαίνουν σε γκριζοπράσινες μάργες μέσα στις οποίες αναπτύσσεται ξυλιτικός λιγνίτης πάχους περίπου 2 m..

Στρώματα κροκαλοπαγών που εναλλάσσονται με άμμους, συνεκτικούς πηλούς πηλοψαμμίτες και μη συνεκτικά κροκαλοπαγή γκρι χρώματος που μεταβαίνουν πλευρικά στις μάργες και τους μαργαϊκούς ασβεστολίθους. Πάχος ορίζοντα περίπου 60 μέτρα.

Συνολικό πάχος μαργαϊκών υλικών και μαργαϊκών ασβεστολίθων ίσο με 350m. (και πάνω).Η-

#### Στρωματογραφική στήλη Τανάγρας



Λεπτομερέστερα υλικά: αμμούχους μαργαϊκούς ττηλούς και αμμούχες μάργες χακί χρώματος.

Δελταϊκες αποθέσεις: άμμων, κροκαλοπαγών με άμμους πηλούχων άμμων και ενοτρώσεων ψαμμιτών.

Αργιλλούχα και πηλομαργούχα υλικά.

Λευκές πλακώδεις μάργες σε εναλλαγές με χακί πηλούς και γκρι μάργες.

•Οι δελταϊκές αποθέσεις έχουν μορφή γλώσσας μεγάλου πάχους το οποίο ελαττώνεται προς τα ανατολικά έως την εξαφάνηση των αποθέσεων αυτών.

**Σχ. 20:** Στρωματογραφικές στήλες των περιοχών Σχηματαρίου-Οινόης και Τανάγρας (Μεττός, 1992)

Η παλαιογεωγραφική εξέλιξη της ευρύτερης περιοχής κατά το Νεογενές -Τεταρτογενές, σύμφωνα με τους Mettos et al. (2000), χωρίζεται σε τέσσερα διαδοχικά στάδια με βάση τις ιζηματογενείς αποθέσεις: Βαλλεζίου (Μειόκαινο), Τουρολίου – Κάτω Πλειοκαίνου, Ανώτερου Πλειοκαίνου – Κατώτερου Πλειστοκαίνου και τέλος Κάτω Πλειστοκαίνου. Οι αποθέσεις των λεκανών Τανάγρας και Μαλακάσας έχουν ηλικία από το Βαλλέζιο έως σήμερα. Αρχικά συνέβη η ιζηματογένεση Βαλλεζίου (Μειόκαινο) στις λεκάνες Τανάγρας και Μαλακάσας. Στη περιοχή της Μαλακάσας επικράτησε η απόθεση γκρι αργίλλων και μαργών με ενδιάμεσους δύο λιγνιτικούς ορίζοντες. Έπειτα ακολούθησε η ιζηματογένεση μαργών και μαργαϊκών ασβεστολίθων που πλευρικά και προς τα πάνω μετάβηκαν στις αποθέσεις των περιοχών Τανάγρας – Σχηματαρίου (σχήμα 20) και Καπανδριτίου. Ταυτόχρονα το νότιο τμήμα της λεκάνης ανυψωνόταν με αποτέλεσμα το υπόβαθρο και τα ιζήματα Βαλλεζίου να διαβρωθούν. Τα υλικά αυτά πλήρωναν τα χαμηλότερα τμήματα της λεκάνης (προς τα βόρεια) έτσι ώστε να δημιουργηθούν οι αποθέσεις Τουρολίου στον Ωρωπό και στο Χαλκούτσι – Δήλεσι. Άρα το στάδιο μετάβασης είναι αποθέσεις λιμναίας φάσης (Βαλλέζιο) που προς τα πάνω γίνονται ποταμοχερσαίες (Τουρόλιο). Οι ποταμοχειμάριες αποθέσεις του Τεταρτογενούς κάλυψαν τελικά τις περιοχές του Αγ. Θωμά, Κλειδιού, Τανάγρας, Χαλκουτσίου, Αυλώνα κ.α.

## 3.5 Νεοτεκτονικό καθεστώς της Βόρειας Αττικής – Βοιωτίας

Η ζώνη Ωρωπού – Ερυθρών – Καπαρελλίου, απαρτίζεται από ρήγματα κανονικά με κατεύθυνση κλίσης από Β έως BBA. Συχνά, παράλληλα των ρηγμάτων αυτών παρατηρούνται και τα αντιθετικά τους. Χαρακτηριστική είναι ωστόσο, η πορεία της κοίτης του Ασωπού ποταμού, ο οποίος ακολουθεί την τεκτονική δομή από δύση προς ανατολή σχηματίζοντας μια μεγάλη επιμήκη λεκάνη ο μεγάλος άξονας της οποίας έχει και αυτός διεύθυνση Α – Δ. Η προέλευση της λεκάνης είναι τεκτονική και πιο συγκεκριμένα έχει τα χαρακτηριστικά της τεκτονικής τάφρου (πχ Παπανικολάου κ.α., 1988). Η ηλικία τοποθετείται στο Μειόκαινο βάσει μεταλπικών σχηματισμού της των σχηματισμών που συναντιόνται στο εσωτερικό της (Παπανικολάου κ.α., 1988). Σύμφωνα πάλι με τους Παπανικολάου κ.α. (1988), η εξέλιξη της λεκάνης διαφοροποιήθηκε κατά το Τεταρτογενές με το μεγαλύτερο τμήμα της να υπόκειται σε διάβρωση λόγω ανύψωσης της περιοχής. Αυτό υποστηρίζεται με τη διατήρηση υπολειμματικών χερσαίων λεκανών. Κατέγραψαν επίσης επιφάνειες επιπέδωσης τις οποίες διαχώρισαν σε δύο κατηγορίες: τις επιφάνειες που προέρχονται από

απόθεση υλικών και αυτές που προέρχονται από διάβρωση (σχήμα 21). Τα περιθώριά τους, όπου παρουσιάζονται μεγάλες μορφολογικές κλίσεις, πιστεύεται ότι είναι τεκτονικά. Τα ρήγματα μάλιστα, ακολουθούν την γενικότερη διεύθυνση και διάταξη των λεκανών, δηλαδή Α-Δ και ΒΔ-ΝΑ. Σε ορισμένες περιπτώσεις παρατήρησαν ότι οι επιφάνειες κλίνουν προς σταθερές περίπου διευθύνσεις (N – NA) και με την ίδια περίπου συστηματικότητα στη τιμή, γεγονός που προφανώς οφείλεται σε τεκτονικές περιστροφές (tilting). Όμοιες επιφάνειες επιπέδωσης με παρόμοιες διευθύνσεις ανάπτυξης περιγράφουν οι Μαριολάκος κ.α. (2001) στη βορειοδυτική πλευρά της Πάρνηθας, από το βουνό της Φυλής ως τον Αυλώνα (σχήμα 23).



Σχ. 21: Μορφοτεκτονικός χάρτης από τους Παπανικολάου κ.α. (1988). Επιφάνειες επιπέδωσης λόγω διάβρωσης: 1. 200m, 2. 300m, 3. 400m, 4. 500m, 5. 600m, 6. 800m, 7. 900m, 8. 1000m. Επιφάνειες ισοπέδωσης λόγω απόθεσης: 9. 0-50m, 10. 100m, 11. 200m, 12. 300m, 13. Ρήγμα και πιθανή προέκταση, 14. Μορφολογική ασυνέχεια, 15. Φορά κλίσης επιφανειών ισοπέδωσης, 16. Κατά βάθος διάβρωση σε αλπικούς σχηματισμούς, 17. Κατά βάθος διάβρωση σε μεταλπικούς σχηματισμούς, 18. Στρέψεις κλάδων υδρογραφικού δικτύου, 19. Ανοδική ή μεθοδική κίνηση τεμαχών, 20. Κατολισθήσεις, 21. Όρια περιοχής.



**Σχ. 22 (προηγούμενη σελίδα):** Σχηματικό στερεοδιάγραμμα της περιοχής μελέτης από τους Παπανικολάου κ.α. (1988), με άποψη από B-BA, που δείχνει τις ζώνες των ενεργών ρηγμάτων.



**Σχ. 23:** Χάρτης επιφανειών επιπέδωσης και υδρογραφικού δικτύου από τους Μαριολάκος κ.α. (2001).



**Σχ. 24:** (a) Χάρτης των κύριων ρηγμάτων και σεισμών στη περιοχή Ωρωπού – Αυλώνα (Νότιος Ευβοϊκός κόλπος). Με UL συμβολίζονται οι θέσεις που έχει παρατηρηθεί ανύψωση με την παρουσία Lithophaga. (b, c) Τοπογραφικές τομές εγκάρσια των ρηγμάτων Ωρωπού, Αυλώνα και Κατσιμιδίου (b) και Κάλαμου (c). Goldsworthy et al., 2002



Σχ. 25: Α. Ισαπέχουσες τοπογραφικές τομές διευθύνσεως ΒΔ-ΝΑ, επιμήκεις ως προς το ανάγλυφο. Β. Προοπτική εικόνα των τοπογραφικών τομών (Α) με άποψη από ΒΑ. Γ. Ισαπέχουσες τοπογραφικές τομές διευθύνσεως ΝΔ-ΒΑ, εγκάρσιες ως προς το ανάγλυφο. Δ. Γεωλογική-τεκτονική ερμηνεία με βάση τις εγκάρσιες τοπογραφικές τομές (Γ) του αναγλύφου. (Παπανικολάου κ.α., 1988)

Η σεισμική δραστηριότητα της ζώνης δεν είναι ενιαία, αλλά κάθε φορά διαφορετικά τμήματά της ενεργοποιούνται, δίνοντας κατά καιρούς σημαντικά σεισμικά γεγονότα. Μερικά ρήγματα που ξεχωρίζουν περιγράφονται περιληπτικά παρακάτω.

## 3.5.1 Τα ρήγματα Αυλώνα και Μάλιζας

Τα ρήγματα του Αυλώνα και της Μάλιζας καταλαμβάνουν ένα σημαντικό κομμάτι της ζώνης λίγο πριν αυτή καταλήξει στον Ευβοϊκό κόλπο.

Mε παράταξη  $\Delta B\Delta - ANA$ , το ρήγμα του Αυλώνα παρουσιάζει χαρακτηριστική τεκτονική μορφολογία στους πρόποδες βόρεια της Πάρνηθας. Από τα τοπογραφικά δεδομένα της περιοχής (ΓΥΣ, 1978) φαίνεται η απότομη διαφορά της μορφολογίας από το ανυψωμένο τέμαχος (foot-wall) νότια του ρήγματος (υπόβαθρο) στο επικρεμάμενο τέμαχος (hanging-wall) βόρεια του ρήγματος (Ganas et al, 2004). Έτσι, στο πρώτο, το ανάγλυφο είναι απότομο με υψόμετρα που φτάνουν τα 933m, ενώ στο δεύτερο το ανάγλυφο είναι ομαλό και χαμηλό με μέσο υψόμετρο ανάμεσα στα 150 με 200m. Υποθέτοντας ότι η λεκάνη έχει πληρωθεί με συντεκτονικά ιζήματα πάχους 600m κοντά στον Αυλώνα, τότε το ελάχιστο κατακόρυφο άλμα είναι περίπου 1500m (Ganas et al, 2004). Θεωρώντας ότι η περιοχή προ-τεκτονικά ήταν επίπεδη και ότι το ρήγμα του Αυλώνα έχει γωνία κλίσης 50°, το ολικό άλμα του ρήγματος (ολική μετατόπιση) υπολογίζεται περίπου στα 2000m. Χρησιμοποιώντας την τιμή αυτή του άλματος και το παλαιότερο συρρηξιγενές στρώμα που είναι ηλικίας Άνω Μειόκαινου (Βαλλέζιου: 10 εκατ. χρόνια), υπολογίζεται ένας μέσος ρυθμός ολίσθησης περίπου 0.2mm/yr (Ganas et al, 2004).



Σχ. 26: Επάνω: Φωτογραφία του ρήγματος του Αυλώνα όπως λόφο της φαίνεται από το Μάλιζας (γράμμα M). f1 και f2 είναι διαβρωμένες τριγωνικές επιφάνειες (triangular facets) του ανθρακικού υποβάθρου. To μαύρο βέλος δείχνει την άκρη του ρήγματος και το γράμμα Α υποδεικνύει τη θέση του οικισμού του Αυλώνα. Κάτω: Χάρτης του δικτύου υδρογραφικού στη περιοχή του Αυλώνα που δείχνει πως αλλάζει η διεύθυνση ροής (μαύρα βέλη) κατά μήκος του ρήγματος. Το ρήγμα νότια της Μάλιζας είναι ανενεργό από το Μέσο Πλειστόκαινο. Οı ανοιχτόχρωμες γραμμές γκρι συμβολίζουν τον υδροκρίτη. Το μαύρο πλαίσιο ανταποκρίνεται στο σχήμα 24. Ganas et al., 2004

Βόρεια του ρήγματος του Αυλώνα, στο επικρεμάμενο τέμαχος (hangingwall), και σχεδόν παράλληλα μ' αυτό, βρίσκεται το ρήγμα της Μάλιζας (Ganas et al, 2004). Το ρήγμα καταλαμβάνει τη βάση του λόφου της Μάλιζας δημιουργώντας ένα τεκτονικό πρανές (scarp) ύψους 2 – 5m και μήκους 4.7km. Η ρηξιγενής επιφάνεια (καθρέπτης) είναι αρκετά επίπεδη και λεία, ενώ παρατηρούνται γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης κανονικού ρήγματος. Το ανυψωμένο τέμαχος (footwall) αποτελείται από παχυστρωματώδη Κρητιδικό ασβεστόλιθο με μικρές εμφανίσεις άνω-Παλαιοζωικών σχιστόλιθων. Από την άλλη πλευρά, συναντώνται συν-ρηξιγενείς αποθέσεις του Νεογενούς κυρίως από λιμναίες μάργες, πηλούς και ποτάμια κροκαλοπαγή. Και στις δύο πλευρές επικάθονται Τεταρτογενείς αποθέσεις με ασυμφωνία πάνω στα Νεογενή ιζήματα και το ανθρακικό υπόβαθρο. Το ύψος του πρανούς του ρήγματος αποκτά τη μέγιστη τιμή του στη μέση περίπου του μήκους του, ενώ μειώνεται ομοιόμορφα προς τα άκρα του φτάνοντας το ύψος του 1m. Η μορφολογία της περιοχής κατά μήκος του ρήγματος (ένθετο σχήματος 24) παρουσιάζει ελλειπτική γεωμετρία όπως σε πολλές περιοχές ρηγμάτων μεταπτωτικού χαρακτήρα στη Κεντρική Ελλάδα. Σχετικά με τον καθρέπτη του ρήγματος, σε ορισμένες θέσεις είναι επικαλυμμένος με μία λεπτή κρούστα ανθρακικού υλικού που μάλλον είναι χημική αλλοίωση της επιφάνειας. Επίσης, σε αρκετά σημεία η τραχύτητα της επιφάνειας μειώνεται σταδιακά προς τη βάση. Παρατηρήθηκε μια ζώνη πάχους 30cm περίπου στην οποία το χρώμα του ασβεστόλιθου είναι πιο ανοιχτό και η επιφάνεια αρκετά στιλπνή. Η προέλευση της ζώνης αυτής οφείλεται πιθανόν στην τελευταία δραστηριοποίηση του ρήγματος. Όσον αφορά την έκταση και δυναμικότητα του ρήγματος, δείχνει ότι προεκτείνεται δυτικά του λόφου προς την πόλη του Αυλώνα όπου ενδεχομένως συνδέεται με το ρήγμα του Αυλώνα. Ανατολική προέκταση δεν υπάρχει εφόσον το υδρογραφικό δίκτυο έχει διεύθυνση προς το Βορρά (σχήμα 26). Δεδομένου αυτού του μήκους το ρήγμα της Μάλιζας θα μπορούσε να προκαλέσει σεισμό μεγάλου (Mw≥5.8).





Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - ₹<del>β</del>ήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

# 3.5.2 Το ρήγμα του Καπαρελλίου

Ο σεισμός των Αλκυονίδων ουσιαστικά αποτελείται από δύο σεισμικές ακολουθίες (Jackson et al. 1982, King et al. 1985) δείχνοντας έτσι ότι η τεκτονική κατάσταση της περιοχής δεν είναι απλή. Τα ρήγματα που δραστηριοποιήθηκαν και στις δύο ακολουθίες οριοθετούν τα όρια των Τριαδικών ασβεστολίθων και των αλλουβιακών αποθέσεων. Η ζώνη, στο νότιο περιθώριό της (βόρεια ακτή της χερσονήσου της Περαχώρας), αποτελείται από ρήγματα παράταξης ABA–ΔΝΔ που κλίνουν προς τα βόρεια και δραστηριοποιήθηκαν κατά τη πρώτη σεισμική ακολουθία (M=6.4 – 6.7). Στο βόρειο τμήμα της ζώνης παρατηρείται το αντιθετικό ρήγμα του Καπαρελλίου ίδιας παράταξης αλλά αντίθετης γωνίας βύθισης (προς νότο) στο οποίο καταλογίζεται η δεύτερη σεισμική ακολουθία (M=6.4). Οι Hubert et al. (1996) πιστεύουν ότι οι δύο σεισμοί προέρχονται από ρήγματα που βρίσκονται όχι στο θαλάσσιο χώρο, αλλά στη ξηρά (σχήμα 42). Αυτά είναι (με σειρά δραστηριοποίησης) το ρήγμα στα Πίσια και το ρήγμα του Αλεποχωρίου. Μορφολογικά, τα ρήγματα της νότιας πλευράς του Κορινθιακού κόλπου είναι πιο καλά ανεπτυγμένα από τα αντιθετικά τους στη βόρεια πλευρά.

Στο ρήγμα του Καπαρελλίου αποδίδεται το 3° γεγονός (Ms=6.4) από τη σεισμική ακολουθία του Φεβρουαρίου – Μαρτίου του 1981. Από τα τρία επιμέρους τμήματα που απαρτίζουν το ρήγμα Καπαρελλίου, τα δύο μόνο ενεργοποιήθηκαν. Το ίχνος τους αποτυπώνεται στην επιφάνεια με συνεχόμενα σχεδόν τεκτονικά πρανή (*scarps*) σχηματίζοντας έτσι μια en echelon δομή, ενώ το τρίτο (που δεν δραστηριοποιήθηκε) είναι υποπαράλληλο με τα προηγούμενα και αποτελεί την προέκτασή τους προς τα δυτικά (Morewood & Roberts, 2001). Η εδαφική μετατόπιση που παρατηρήθηκε ήταν περίπου 70cm ενώ υπήρξαν περιπτώσεις που ξεπέρασε το 1m. Το διάνυσμα ολίσθησης μετρήθηκε κυμαίνεται περίπου στις 200-220°/60-70° (αζιμούθιο/γωνία βύθισης).

## ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης Σωτήριος Π. Σμπόρας



**Σχ. 28:** (a) Σεισμοτεκτονικός χάρτης του κόλπου των Αλκυονίδων που δείχνει τα κύρια ρήγματα και τους μηχανισμούς γένεσης των τριών κύριων σεισμών και ορισμένων μετασεισμών της ακολουθίας του 1981. Χαρακτηριστική είναι η συστηματική μεταβολή της διεύθυνσης ολίσθησης κατά μήκος του ρηξιγενούς τμήματος των Νότιων Αλκυονίδων (SAFS): από κάθετη στο κέντρο έως αρκετά πλάγια στα άκρα. KF: ρήγμα Καπαρελλίου, EFS: ρήγμα Ερυθρών. Το μεγάλο πλαίσιο στο ανατολικό περιθώριο του κόλπου αντιστοιχεί στο σχήμα 29. (b) Διάγραμμα απόστασης – άλματος για τη ζώνη SAFS όπου το μέγιστο άλμα εμφανίζεται στο κέντρο της ζώνης ενώ προς τα άκρα μειώνεται. Φαίνεται επίσης το αντίστοιχο διάγραμμα του σεισμικού άλματος της ακολουθίας του 1981 και η θέση του ως προς το συνολικό απ' όπου προκύπτει ότι δεν δραστηριοποιήθηκε όλη η ζώνη. Morewood & Roberts (2001)

## ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης Σωτήριος Π. Σμπόρας



**Σχ. 29:** Γεωλογικός χάρτης της περιοχής Καπαρελλίου – Αλεποχωρίου (Morewood & Roberts, 2001). KF: ρήγμα Καπαρελλίου, SAFS: ρηξιγενές τμήμα Νότιων Αλκυονίδων. Οι γραμμές A-A΄ και B-B΄ αντιστοιχούν στις τομές (b) και (c) του σχήματος 30.



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



**Σχ. 31:** (a) Πλάγια άποψη της δορυφορικής εικόνας της Αττικοβοιωτίας όπου με σκούρο γκρι διακρίνονται τα βουνά και με ανοιχτό γκρι οι λεκάνες. Οι λευκές γραμμές είναι τα ρήγματα της Φυλής (F), του Αυλώνα (A) και των Θρακομακεδόνων (T). (b) Τρισδιάστατο μοντέλο αναγλύφου (DEM) με φωτισμό χαμηλής γωνίας από BA. Διακρίνονται ο μηχανισμός γένεσης του σεισμού του 1999 (USGS), το επίκεντρο (λευκό αστέρι) και οι μετασεισμοί. (c) Χάρτης που υποδεικνύει τη περιοχή μελέτης. (Ganas et al., 2004)

Ο σεισμός της 7<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου 1999 προκλήθηκε από ένα ρήγμα, το ρήγμα της Φυλής, που βρίσκεται εντός του λεκανοπεδίου των Αθηνών στους ΝΔικούς πρόποδες της Πάρνηθας. Την περίοδο 2000 – 2002 πραγματοποιήθηκε έρευνα στην περιοχή στα πλαίσια προγράμματος του Ο.Α.Σ.Π. του «Παλαιοσεισμολογική έρευνα στα ενεργά ρήγματα της Βόλβης (Μυγδονία – Κεντρική Μακεδονία) Ωρωπού – Αυλώνας – Καπαρελίου (Αττική – Βοιωτία - Στερεά Ελλάδα)» (Παυλίδης Σπ. - επιστημονικός υπεύθυνος, Γκανάς Αθ., Σμπόρας Σωτ. και Αλεξανδρής Γεωρ.-Αν.) όπου κι έγινε νεοτεκτονική χαρτογράφηση. Η έκταση της έρευνας κατέλαβε τέσσερα φύλλα χάρτη κλίμακας 1:5,000 που περιλαμβάνονται στον 1:50,000 κλίμακας χάρτη της Γ.Υ.Σ. «Αθήνα – Ελευσίς». Αυτό που τελικά διαπιστώθηκε είναι ότι το ρήγμα της Φυλής αποτελείται από 4 τμήματα - κλάδους (segments) σε en echelon δομή με γενική παράταξη ΒΔ-ΝΑ (σχήμα 32). Όλα τα τμήματα προκαλούν χαρακτηριστική τοπογραφία στους χάρτες σχηματίζοντας γραμμικά πρανή με υψομετρική διαφορά 20 – 400m. Το πρώτο τμήμα του ρήγματος, που είναι και το κύριο, έχει μήκος 4.5km και οριοθετεί στα BΔ τη μικρή λεκάνη της Φυλής (όπου είναι χτισμένος ο ομώνυμος οικισμός). Το ρήγμα πιθανόν να προεκτείνεται 2km προς τα NA, στον οικισμό δηλαδή των Άνω Λιοσίων, αν και δεν εντοπίστηκαν τεκτονικά πρανή. Το τμήμα αυτό πάντως δείχνει να κόβει παλαιότερες τεκτονικές δομές (σχήμα 32). Το δεύτερο τμήμα βρίσκεται BΔ του προηγούμενου και έχει μήκος 1.2km. Ανάμεσά τους και σχεδόν κάθετα προς αυτά διέρχεται η απότομη κοιλάδα του ρέματος Γιαννούλας (το οποίο στη συνέχεια καταλήγει στο Θριάσσιο Πεδίο). Το τρίτο τμήμα έχει μήκος 900m. Παρουσιάζει ωστόσο καλά ανεπτυγμένες τεκτονικές επιφάνειες (καθρέπτες) στις οποίες παρατηρούνται ζωνώσεις στη βάση τους ύψους από 30 έως 50cm. Οι ζώνες δείχνουν ότι έχουν αποκαλυφθεί προσφάτως (ανοιχτοί τόνοι χρώματος, μεγάλη στιλπνότητα) λόγω σεισμικής κίνησης. Δεν είναι ξεκάθαρο όμως αν οφείλεται σε ένα γεγονός ή είναι το άθροισμα πολλαπλών ολισθήσεων. Το τελευταίο τμήμα έχει μήκος 1.5km και παρουσιάζει παρόμοιες λωρίδες όπως στο προηγούμενο με ύψος περίπου 10cm κατά μέσο όρο. Το άλμα

στο σύνολο του ρήγματος δεν μπορεί να προσδιοριστεί λόγω της απουσίας της επαφής ασβεστόλιθου – φλύσχη στο ανυψωμένο τέμαχος. Παρόλα αυτά, μια εκτίμηση ελάχιστου άλματος της τάξης των 350m μπορεί να γίνει λαμβάνοντας υπόψη την υψηλότερη εμφάνιση του ασβεστόλιθου βόρεια του οικισμού Φυλή. Με την προϋπόθεση ότι η τα ιζήματα της λεκάνης έχουν πάχος περίπου 300m και ότι η περιοχή προ-τεκτονικά ήταν επίπεδη, το αθροιστικό άλμα ολόκληρου του ρήγματος είναι περίπου 600m και 715m το αθροιστικό άλμα για το πρώτο τμήμα (θεωρώντας γωνία κλίσης 60° προς ΝΔ). Αυτό σημαίνει ότι η μέση τιμή ολίσθησης είναι 0.18mm/yr.



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

Σχ. 32: Νεοτεκτονικός χάρτης της περιοχής του ρήγματος της Φυλής (Αττική). Οι αριθμοί αντιστοιχούν στα τέσσερα τμήματα του ρήγματος που κλίνουν προς νοτιοδυτικά.. Οι δύο μαύρες γραμμές (A-A΄ και B-B΄) αντιστοιχούν στις τομές του σχήματος 30.



**Σχ. 33:** Γεωλογικές τομές Α-Α΄ και Β-Β΄ όπως φαίνονται στο χάρτη του σχήματος 32 (Πράσινο: ασβεστόλιθος, Καφέ: φυλλίτης, Κίτρινο: Νεογενείς-Τεταρτογενείς αποθέσεις).



**Σχ. 34:** (a) Φωτογραφία κατά μήκος του 4<sup>ου</sup> κλάδου (segment) του ρήγματος της Φυλής, με άποψη προς ανατολικά. (b) Λεπτομέρεια από το πρανές της παραπάνω φωτογραφίας όπου διακρίνεται η φρέσκια επιφάνεια στη βάση. (c) Φωτογραφία με άποψη προς τα βορειοδυτικά του  $2^{ov}$ κλάδου του ρήγματος της φυλής. Στον μαύρο κύκλο φαίνεται το κάστρο της Φυλής. Ganas et al., 2004

# 3.6 Λιθοστρωματογραφία της περιοχής Τανάγρας – Αυλώνα – Ασωπίας

Στα πλαίσια της νεοτεκτονικής χαρτογράφησης ο διαχωρισμός των πετρωμάτων ήταν πολύ γενικός. Αυτό που βασικά προείχε και επιτεύχθηκε με αρκετή ακρίβεια ήταν η διάκριση του αλπικού υποβάθρου από τους μετα-αλπικούς σχηματισμούς. Αν και ο περεταίρω διαχωρισμός των μετα-αλπικών σχηματισμών δεν ήταν εφικτός λόγω των μεγάλων καλλιεργήσιμων εκτάσεων και της έλλειψης τεχνητών πρανών, ωστόσο μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε βιβλιογραφικά δεδομένα (κυρίως από Δούνας κ..α., 1978, Μέττος 1992 και χάρτες του Ι.Γ.Μ.Ε.).

Οι Δούνας κ.α. (1978) στα πλαίσια μιας υδρογεωλογικής έρευνας που έκαναν για τη λεκάνη του Ασωπού ποταμού παρέθεσαν και το γεωλογικό χάρτη της περιοχής (σχήμα 35) στην οποία αναφέρονται οι εξής σχηματισμοί (από τους παλαιότερους προς τους νεότερους).

- Ασβεστόλιθοι Τριαδικοί που καλύπτουν το μεγαλύτερο τμήμα της ευρύτερης περιοχής και παρατηρούνται στην οροσειρά της Πάρνηθας και στο υπόβαθρο της λεκάνης Οινόφυτων Μαλακάσας σε διαφορετικά βάθη. Διακρίνονται στις παρακάτω ομάδες:
- Ασβεστόλιθοι και δολομίτες Μέσου Ανώτερου Τριαδικού. Πρόκειται για παχυστρωματώδεις έως άστρωτους, κυρίως δολομιτικούς ασβεστόλιθους, που παρουσιάζουν ισχυρή διάρρηξη και κερματισμό.
- Ασβεστόλιθοι και δολομίτες Ανώτρου Τριαδικού Ιουρασικού. Είναι σκούροι τεφροί, λεπτοπλακώδεις ως μεσοπλακώδεις, με κονδύλους και ενστρώσεις κερατόλιθων. Συχνά είναι δολομιτικοί. Παρουσιάζουν μεγάλη ανάπτυξη ιδιαίτερα στη περιοχή Ασπροχωρίου, Αυλώνα και Αγίου Θωμά.
- Σχιστοκερατολιθική διάπλαση που παρουσιάζει ελάχιστη ανάπτυξη.
   Πρόκειται για σύμπλεγμα σχιστόλιθων, ψαμμιτών, οφιόλιθων, κερατόλιθων και ραδιολαριτών. Οι σχιστοψαμμίτες παρατηρούνται στη περιοχή του Αυλώνα.
- Ασβεστόλιθοι Άνω Κρητιδικής ηλικίας. Οι ασβεστόλιθοι αυτοί παρουσιάζουν ποικιλία χαρακτηριστικών.

- Νεογενή ιζήματα. Το Νεογενές αντιπροσωπεύεται από δύο συστήματα πετρωμάτων. Το κατώτερο αποτελείται από λιμναία και λιμνοθαλάσσια ιζήματα (στρώματα μαργών, αργίλων, μαργαϊκών ασβεστόλιθων σε εναλλαγές με ψαμμίτες, λευκότεφρα). Παρατηρούνται στη λεκάνη Οινόφυτων Μαλακάσας και Ωρωπού με σημαντικό πάχος. Το ανώτερο σύστημα συνίσταται από χερσαία χειμάρρεια χαλαρά υλικά (άργιλοι, κροκαλοπαγή και σπανιότερα μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι).
- Τεταρτογενή ιζήματα που διαιρούνται σε διλουβιακές και αλλουβιακές αποθέσεις. Οι διλουβιακές αποθέσεις αποτελούνται από υλικά κλειστών λεκανών, ριπίδια χειμάρρων και πλευρικά κορήματα (αμμοαργιλώδη υλικά, κροκάλες, λατύπες, με ασβεστοαργιλικό συνδετικό υλικό) και πληρώνουν την πόλγη των Σκούρτων και τη λεκάνη Οινόφυτων – Μαλακάσας. Οι αλλουβιακές αποθέσεις απαρτίζονται από κροκάλες, άμμους και αργίλους που καταλαμβάνουν τις κοίτες των χειμάρρων ή καλύπτουν τις ομαλές ταπεινωμένες εκτάσεις της περιοχής.



#### тпомннма

GAOKAINO LAAAG TBIO)		Ευγχρονοι ποταμοχαμαρώδεις αποθέα εις άμμων κρο- καλών και άργίλων Γενικά ύδροπερατοί, τοπικά ήμι- περατοί σχηματιομοί πάγους δως 50 m
		Πλευρικά χορρήματα και κώνοι κορρημάτων. Γενικά υδροπερατοί σχηματισμοί μικιρού κατά κανό- να πάχους.
GAEISTOKAINO	00000	Διλουβιακά κροκαλοπαγῆ έρυδροχώματα και άργιλοι. Ημιπερατοί ἕως ύδατοστεγανοί σχιματισμοί.
RUE ODVETETOKA	0000	Πλειστιλειστοκαινικά λατυποκροκαλοπαγή και φαμμώ- χοι μαργες. Ημιπερατοι έως ύδατοστεγανοί σχημα- τιαιοί
NEOFENEL		Ασβεστόλιδοι μαργαϊκοί τράβερτινοειδείς συμπαγείς Τοχυρό διαερηγμένοι και αποκαρστωμένοι Υδροπερατοι Κως λίαν ύδροπερατοί σχηματισμοί.
	00000	Μάργες φαιμίτες κροκαλοπαγή. Ύδατοστεγανοί δως ήμιπεραπό σχημιατισμοί.
		MH METAMOPOOMENO EYETHMA
AND KPHTIDIKO MEIOKAINO		όλύσχης Εναλλαγός λεπτών στρωμάτων φαμμιτών και άργιλων με στρύματα άσβαπολίδων πρακτικά. "Υδατοστεγανοί πρακτικοί ήμιπερατοί σχηματισμοί.
KPHTIAIRO	angen hanne beker an enten beker bit Geben ansen bitten af beker bitten att	Ασβεστάλιδοι λεπτοπλακώδεις Έως παχυπλακώδεις διαρρηγμένοι καί άποχαρστωμένοι Λίαν ύδροπερατοί σχηματισμοί
ISTPALIKO		Εχιστοφαμμιτοκερατολιδική διάπλαση: κερατολιδοι δρό- λιδοι, σχιστολιδοι καί φαιμίτας με φαιχούς δαθεστολιδιών Ημιπερατοί σχηματισμέ, κυρίως γιά τό άνδρακικά καί φαιμίτικά μέλη Τοπικά πρακτικά στογγονά.
AND KPHTISIKO- TPLASIKO		Βωξίτες, περιορισμένες έκτάσεως. Υδατοστεγανοί σχεματισμοί
TPIALIKO		-λοματαλιδο. Αιπταπλαγώδες δας παχισλαφώδες, κά- ποτε δατρωτοι και δαβατολού δολομπικοί. Τόσταπροτοί δας λίου υδατοπεροπό σχηματοριοί, κα- ρως τοθ Μεσου-Άλματρου Ιριοδικού Ι Κύρια - λεκάνη τροφόδετατρις πηγών Καλαριοι.) ΜΕΤΑΜΟΡΦΟΜΕΝΟ ΕΤΕΤΗΜΑ
NEO MAAAS- OZQIKO		Σχιστόλιδος άργιλικοί σχιστοφαμμίτας και γραουβάχες με παρεμβολός άσβιστολίδων (α) "δοτοστεγανοί σχηματισμοί. Τοπικοί (άσβεστολιδοι) ήμε- περατοί.
	۵ م ۲ م ۲ م	Μέτωπο έφιππεύσεως. Άξονας ἀντικλίνου Διούδυνση καί κλίση στρωμάτων Άνεστραμένα στρώματα. Πηγές: Παροχξς 0,1=10 x.μ/ώρα
	0	καρατικές μέλαγές παροχές.
		Σημεία δέατος προγράμματος ίδοταπικής έρευνας.
1		View furthers and approximate lations
		Date Station of yourself down
		III and a service ball address and an address
		<ul> <li>Επιφανείκας υσροκρίτης μεσού ρου πουπού.</li> <li>Υπογείος ύδροκρίτης λεκάνης τροφοδοσίας πηγών</li> <li>Καλάνιαι και μιδινά έπεντασά του (κάτιο δηγώ)</li> </ul>
	TT TT	Κύριο μέτωπο διελιτύσεως καρατικών ύδάτων πρός
	•	Representation and another approximation and
		W E

Σχ. 35: Γεωλογικός – υδρολογικός χάρτης της περιοχής μελέτης από τους Δούνας κ.α. (1978).



**Σχ. 36:** Γεωλογικός χάρτης της νότιας πλευράς της περιοχής μελέτης από το Ι.Γ.Μ.Ε. (φύλλο Αθήνα-Ελευσίνα, 1:50,000). Στο σχήμα 38 που ακολουθεί βρίσκεται το υπόμνημα.

Σωτήριος Π. Σμπόρας



**Σχ. 37:** Υπόμνημα του γεωλογικού χάρτη του σχήματος 36 και η αντίστοιχη στρωματογραφική στήλη (Ι.Γ.Μ.Ε., φύλλο Αθήνα-Ελευσίνα, 1:50,000)

# 3.7 Ιστορική σεισμικότητα

Η σεισμική δραστηριότητα της ζώνης Ωρωπού – Ερυθρών – Καπαρελλίου είναι γνωστή τον τελευταίο αιώνα. Οι σημαντικότεροι σεισμοί που έχουν αναφερθεί ή καταγραφεί περιγράφονται παρακάτω (οι πληροφορίες έως και τον σεισμό των Αλκυονίδων (1981) είναι κυρίως από Παπαζάχο & Παπαζάχου (1989) και Ambraseys & Jackson (1990)).

Θήβα, 1321 (38.3 °N 23.3 °E).

Αναφορές για βλαβερό ή καταστροφικό σεισμό (από Παπαζάχο & Παπαζάχου, 1989) με υπολογιζόμενο μέγεθος Μ=6.3 και ένταση VIII. Μαραθώνας, 1694 (38.1°N 24.1°E).

Στις 16 Σεπτεμβρίου 1694 (χωρίς μεγάλη βεβαιότητα για το έτος) συνέβη σεισμική δόνηση υπολογιζόμενου μεγέθους Μ=6.4, ενώ η ένταση στην πόλη της Αθήνας υπολογίστηκε VII (από Παπαζάχο & Παπαζάχου, 1989).

Θήβα, 1853 (38.3 °N 23.3 °E).

Σύμφωνα με τους Παπαζάχο & Παπαζάχου (1989), στο σεισμό της 18<sup>ης</sup> Αυγούστου 1853, μεγέθους M=6.8 και έντασης X, προηγήθηκαν προσεισμικές δονήσεις συμπεριλαμβανομένης και μιας δυνατής. Ο κύριος σεισμός ήταν τόσο ισχυρός που κατάστρεψε σχεδόν ολοσχερώς τη πόλη της Θήβας προκαλώντας το θάνατο 13 ανθρώπων. Σημειώθηκαν μεγάλες πτώσεις βράχων από τις γύρω ορεινές περιοχές, που μερικές φορές κατρακυλούσαν μέσα από τις κοιλάδες και κατέληγαν στην πεδιάδα. Επίσης εμφανίστηκε και παλιρροϊκό κύμα. Η μετασεισμική δραστηριότητα συνεχίστηκε για 6 μήνες, με αποκορύφωμα τρεις μετασεισμικές δονήσεις στα μεσάνυχτα από τις 29 προς τις 30 Σεπτεμβρίου που καταστρέψανε τα εναπομείναντα στεκούμενα κτήρια της Θήβας και προκάλεσαν περεταίρω ζημιές και στη Χαλκίδα.

Θήβα, 1893 (38.3 °N 23.4 °E).

Στις 23 Μαΐου 1893 συνέβη η κύρια σεισμική δόνηση μεγέθους M=6.2 (Ms=6.0 από Ambraseys & Jackson (1990)) και έντασης, στην πόλη της Θήβας, VIII (Παπαζάχος & Παπαζάχου, 1989). Από τον Ιανουάριο του προηγούμενου

έτους είχαν ήδη αρχίσει ελαφριές δονήσεις. Δύο δονήσεις στις 26 και 27 Μαρτίου 1893 έγιναν αισθητές στην Αθήνα, ενώ το προηγούμενο βράδυ του κύριου γεγονότος (22 Μαΐου) έγινε δυνατός σεισμός, ο οποίος έγινε αισθητός μέχρι τη Λάρισα και τη Ζάκυνθο και προκάλεσε ρωγμές στα σπίτια της Θήβας (Παπαζάχος & Παπαζάχου, 1989 και Ambraseys & Jackson, 1990). Οι υλικές ζημιές από τον κύριο σεισμό ήταν μεγάλες. Από τα 1200 σπίτια της Θήβας γκρεμίστηκαν 100, ενώ 800 έγιναν ακατοίκητα (Παπαζάχος & Παπαζάχου, 1989, Ambraseys & Jackson, 1990). Μετασεισμικές δονήσεις σύμβαιναν για αρκετό χρονικό διάστημα.



**Σχ. 38α:** Χάρτης ισόσειστων καμπύλων του σεισμού στη Θήβα στις 23 Μαΐου 1893 (Ambraseys & Jackson, 1990)

Πληροφορίες για εδαφικές παραμορφώσεις δεν υπήρξαν παρά μόνο για κάποιες εδαφικές ρωγμές στην περιοχή της Θήβας και κοντά στους βάλτους της λίμνης Κοπαΐδας η οποία είχε ήδη αποξηραθεί. Ως σεισμογόνο ρήγμα, οι Ambraseys & Jackson (1990) πρότειναν ένα κανονικό ρήγμα παράταξης A – Δ (270:45: – 090) με διεύθυνση προς νότια μεταξύ των χωριών Λεοντάρι και Αμπελοχώρι.



**Σχ. 38β:** Χάρτης των σεισμικών φαινομένων που παρατηρήθηκαν από το σεισμό του 1893 (Ambraseys & Jackson, 1990). (1) Θέσεις με αρκετές πληροφορίες για τον υπολογισμό της έντασης (2) Θέσεις με ελλιπή στοιχεία για τον υπολογισμό της έντασης (3) Θέσεις όπου ο σεισμός δεν έγινε αισθητός (4) Μικροί οικισμοί και μοναστήρια που επηρεάστηκαν από το σεισμό (5) Βλάβες υποβρυχίων καλωδίων (6) Θέσεις κατολισθήσεων, καταπτώσεων και εδαφικών παραμορφώσεων (7) Θέσεις εδαφικών ρευστοποιήσεων (8) Μεταβολές ακτών (9) Εκτιμώμενο επίκεντρο της κυρίας δόνησης (10) Προτεινόμενο επίκεντρο της κυρίας δόνησης (11) Σεισμικά θαλάσσια κύματα (12) Τεκτονικές εδαφικές παραμορφώσεις (13) Αριθμοί που δείχνουν την αναλογία (σε δέκατα) των σπιτιών που καταστράφηκαν. Το 0 αντιστοιχεί στο 1-9% των σπιτιών.

## Θήβα, 1914 (38.3 °N 23.4 °E).

Για μια ακόμη φορά η περιοχή της Θήβας πλήγηκε από μεγάλο σεισμό. Το κύριο γεγονός έγινε στις 06:22:32 της 17<sup>ης</sup> Οκτωβρίου, είχε μέγεθος M=6.0 (Ms=6.2 από Ambraseys & Jackson (1990)) και ένταση στην Θήβα VIII (Παπαζάχος & Παπαζάχου, 1989). 20 σπίτια γκρεμίστηκαν και τα υπόλοιπα χαρακτηρίστηκαν ακατοίκητα. Ακολούθησαν μετασεισμοί που διήρκησαν περίπου ένα χρόνο. Ο μεγαλύτερος απ' αυτούς έγινε 4 ώρες μετά τον κύριο σεισμό και είχε μέγεθος M=5.6 (Παπαζάχος & Παπαζάχου, 1989). Ο μετασεισμός αυτός

προκάλεσε μεγάλες καταστροφές σε όλη την περιοχή από την Παλαιοπαναγιά έως τις Ερυθρές και ειδικά στο Καπαρέλλι, με εξαίρεση τα Βάγια (Ambraseys & Jackson, 1990). Από τις μακροσεισμικές αναφορές παρατηρήθηκε μια μετακίνηση των επικέντρων προς τα δυτικά. Οι Ambraseys & Jackson (1990) τοποθετούν το ρήγμα στη περιοχή μεταξύ της Καλλιθέας (Μουσταφάδες) και της Ασωπίας (Χλεμποτσάρι) με παράταξη  $A - \Delta$ .



Σχ. 39α: Χάρτης ισόσειστων καμπύλων του σεισμού στη Θήβα στις 17 Οκτωβρίου 1914 (Ambraseys & Jackson, 1990)


**Σχ. 39β:** Χάρτης των σεισμικών φαινομένων που παρατηρήθηκαν από το σεισμό του 1914 (Ambraseys & Jackson, 1990). Υπόμνημα όπως στο σχήμα 38β.

#### Ωρωπός, 1938 (38.3 °N 23.8 °E).

Ο σεισμός συνέβη στις 00:23:35 της 20<sup>ης</sup> Ιουλίου 1938, είχε μέγεθος M=6.0 και ένταση στη πόλη του Ωρωπού VIII. Το αποτέλεσμα ήταν 18 άνθρωποι να σκοτωθούν και 8000 να μείνουν άστεγοι. Καταστροφές υπήρξαν σε σπίτια, δημόσια κτήρια και στις φυλακές. Οι ρηξιγενείς δομές που παρουσιάστηκαν ήταν κατολισθήσεις στο δρόμο της Μαλακάσας, εδαφικές ρωγμές στη περιοχή της Μαλακάσας και φαινόμενα ρευστοποίησης εδάφους στη Σκάλα Ωρωπού, στα Νέα Παλάτια και στο Χαλκούτσι. Εδαφικές ρωγμές πλάτους μέχρι και 1m σημειώθηκαν κατά τη διάρκεια των μετασεισμικών δονήσεων. Ρωγμές σε σπίτια προκλήθηκαν στην Ερέτρια και το Καπανδρίτι (Παπαζάχος & Παπαζάχου, 1989). Οι Ambraseys & Jackson (1990) τοποθετούν το σεισμογόνο ρήγμα παράλληλα μεταξύ αυτών του Ωρωπού και Μήλεσι και με στοιχεία (290:45: -070).



Σχ. 40α: Χάρτης ισόσειστων καμπύλων του σεισμού στον Ωρωπό στις 20 Ιολίου 1938 (Ambraseys & Jackson, 1990)



Σχ. 40β: Χάρτης των σεισμικών φαινομένων που παρατηρήθηκαν από το σεισμό του 1938 (Ambraseys & Jackson, 1990). Υπόμνημα όπως στο σχήμα 38β.

## Περαχώρα (Αλκυονίδες), 1981 (38.1 °N 22.9 °E).

Ο σεισμός στον κόλπο των Αλκυονίδων ήταν ο πρώτος που ανησύχησε και επηρέασε τόσο πολύ την πόλη της Αθήνας. Η κύρια σεισμική δόνηση συνέβη στις 20:53:37 της 24<sup>ης</sup> Φεβρουαρίου, είχε μέγεθος M=6.7 και μέγιστη ένταση στη περιοχή της Περαχώρας ΙΧ. Έπειτα ακολούθησαν δύο μεγάλοι μετασεισμοί, ο ένας την επόμενη μέρα (M=6.4) και ο άλλος στις 24 Μαρτίου (M=6.3). Η καταστροφή στη πόλη της Αθήνας ήταν μεγάλη: 20 άνθρωποι σκοτώθηκαν, 22'554 οικοδομές καταστράφηκαν ή έπαθαν ανεπανόρθωτες βλάβες, 11,745 έπαθαν σοβαρές ζημιές και 50,222 ελαφρότερες. (Παπαζάχος & Παπαζάχου (1989), Ambraseys & Jackson (1990))



**Σχ. 41:** Σεισμοτεκτονικός χάρτης του κόλπου των Αλκυονίδων από τους Hubert et al., 1996 όπου φαίνονται τα ρήγματα που προκάλεσαν τον σεισμό και οι μηχανισμοί γένεσης. Οι γαλάζιοι αριθμοί υποδηλώνουν την ανύψωση στις ακτές. Η χρωματική κλίμακα του αναγλύφου διαφέρει ανά 300m.

## Φυλή (Αθήνα), 1999 (38.8° Ν, 23.58° Ε)

Ο σεισμός της 7<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου ήταν εντελώς απρόσμενος. Η απουσία μεγάλων σεισμικών γεγονότων αλλά και η μεγάλη περίοδος επανάληψης είχε προκαλέσει εφησυχασμό στους επιστήμονες και κατοίκους της πρωτεύουσας. Το ρήγμα της Φυλής που βρίσκεται εντός του λεκανοπεδίου, δίπλα σε μια τόσο μεγάλη αστική περιοχή, είχε περάσει εντελώς απαρατήρητο μέχρι που συνέβη ο σεισμός της 7<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου. Παρά τις πολύ μικρές τιμές μετατόπισης και παραμόρφωσης, το γεγονός κατάφερε να προκαλέσει αρκετές υλικές ζημιές και απώλειες ανθρώπινων ζωών: 143 νεκροί και 1500 κτήρια μη κατοικήσιμα (90 κατέρρευσαν). Το βασικό χαρακτηριστικό του σεισμού δεν ήταν τόσο το μέγεθός του (Ms=5.9 και βάθος 16.7km από Pavlides et al., 2002) αλλά οι υψηλές τιμές επιτάχυνσης (Peak Ground Acceleration – PGA) που καταγράφηκαν κυρίως στην πλειόσειστη ζώνη: έως 0.51g (Gazetas et al 2002, Bouckovalas & Kouretzis 2001, Bouckovalas et al 2002). Σημαντικό ρόλο στη διακύμανση των τιμών έπαιξαν βέβαια και οι τοπικές εδαφικές συνθήκες. Μεγάλη διαφορά στην κατανομή των βλαβών προκάλεσε η κατευθυντικότητα (directivity) της διάρρηξης. Έτσι, ενώ ο Ασπρόπυργος που βρίσκεται δίπλα στο επίκεντρο υπέφερε ελάχιστα, στα Λιόσια, το Μενίδι και τους Θρακομακεδόνες που βρίσκονται στην προέκταση του ρήγματος της Φυλής προς τα ανατολικά σημειώθηκαν οι σοβαρότερες βλάβες. Μερικές ενδεικτικές τιμές έντασης (κλίμακα Mercalli) είναι ΙΧ στα Άνω Λιόσια και τις Αγαρνές, V+ στον Αυλώνα και VII+ στον Ασπρόπυργο.



**Σχ. 42:** Χάρτης κατανομής των εντάσεων για τιμές από 6 (VI) και πάνω (Papadopoulos et al., 2004). Με αστέρι και μαύρη γραμμή συμβολίζονται το επίκεντρο του σεισμού της 7<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου 1999 και η θέση του ρήγματος αντίστοιχα.



**Σχ. 43:** Η ενεργή τεκτονική ζώνη Θήβας – Ωρωπού και η σεισμικότητα της γύρω περιοχής. Με κύκλο συμβολίζονται οι ενόργανες καταγραφές, με τετράγωνα τα ιστορικά γεγονότα (Papadopoulos et al., 2002).







#### ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης Σωτ

Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - 78ήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Σωτήριος Π. Σμπόρας

**Σχ. 44** (σελ. 77): Χάρτης σεισμικών επικέντρων της περιόδου 1/1/2000 - 24/1/2005 που περιέχονται σε μια κυκλική περιοχή με κέντρο 38°25', 23°50' και ακτίνα 33km, σύμφωνα με δεδομένα από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών. Τα εστιακά βάθη κυμαίνονται από 2km έως 67km. Η γραμμικότητα των επικέντρων οφείλεται στο ότι η ακρίβεια των συντεταγμένων τους φτάνει ως το 2° δεκαδικό ψηφίο. Το ανάγλυφο του σχήματος προέρχεται από δεδομένα τοπογραφικού χάρτη 1:250,000 της Γ.Υ.Σ. Το πλαίσιο υποδεικνύει την περιοχή του σχήματος 45.

Σχ. 45 (σελ. 78): Σεισμοτεκτονικός χάρτης της περιοχής μελέτης. Χρησιμοποιήθηκαν τα σεισμικά δεδομένα του σχήματος 44, ενώ για το ανάγλυφο χρησιμοποιήθηκαν οι τοπογραφικοί χάρτες 1:50,000 της Γ.Υ.Σ. όπως αναφέρονται στο 4° κεφάλαιο για την κατασκευή του χάρτη δεδομένων. Τα ρήγματα του σχήματος σχεδιάστηκαν σύμφωνα με τις υπαίθριες και μορφολογικές παρατηρήσεις που έγιναν στην παρούσα εργασία (κεφάλαιο 4).



# ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ

#### 4.1 Νεοτεκτονική χαρτογράφηση

Η νεοτεκτονική χαρτογράφηση πραγματοποιήθηκε με την επίβλεψη του Δρα Αθανάσιου Γκανά σε τρεις χρονικές περιόδους: Μάιος & Ιούνιος του 2003 και Ιούνιος του 2004. Ο εξοπλισμός που συνόδευε την υπαίθρια μελέτη, εκτός του σημειωματάριου και της φωτογραφικής μηχανής, ήταν μια πυξίδα τύπου CLAR και μια φορητή συσκευή GPS GARMIN 12XL. Η χαρτογράφηση των νεοτεκτονικών και μορφοτεκτονικών δομών έγινε στο φύλλο χάρτη Χαλκίς (κλίμακας 1:50,000) της Γ.Υ.Σ. όπως επίσης καταγράφηκαν οι θέσεις στις οποίες πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις τεκτονικών στοιχείων. Όμοια διαδικασία ακολουθήθηκε κατά τη χαρτογράφηση των γεωλογικών σχηματισμών.

Λιθολογικά, η περιοχή χαρτογράφησης αποτελείται από το ασβεστολιθικό υπόβαθρο και τα Νεογενή – Τεταρτογενή ιζήματα τα οποία χαρτογραφήθηκαν αδιαίρετα.

Το σημαντικότερο κομμάτι της χαρτογράφησης ήταν η αποτύπωση των τεκτονικών δομών στο χάρτη και η μέτρηση τους. Στην αναγνώριση τους στην ύπαιθρο σημαντικό ρόλο έπαιξε η παρατήρηση της περιοχής μακροσκοπικά, και συγκεκριμένα η χρήση της δορυφορικής εικόνας SPOT 1. Στην εξακρίβωση των στοιχείων το τρισδιάστατο μοντέλο DEM συνέβαλε σημαντικά. Επίσης, υπήρξαν περιπτώσεις (προεκτάσεις ρηγμάτων Τανάγρας, Μαυροβουνίου και Προφήτη Ηλία προς δυτικά, ρήγμα Καλλιθέας και ρήγμα Δάφνης) στις οποίες η αναγνώριση ρηγμάτων βασίστηκε σχεδόν αποκλειστικά στο DEM.



**Σχ. 46:** Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης. Η περιοχή ανήκει στο φύλλο χάρτη της Γ.Υ.Σ. Χαλκίδα (κλίμακας 1:50,000). Με κόκκινα γράμματα υποδεικνύονται τα ρήγματα: T=Τανάγρας, Ms=Μεγάλου Σχίνου, As=Ασωπίας, Ar=Αρμακά, K=Κορυφούλας, Av=Αυλώνα.



#### ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης Σωτήριος Π. Σμπόρας

Σχ. 47: Χάρτης ενεργών ρηγμάτων.

Στη περιοχή μελέτης υπάρχουν αρκετά μικρά ρήγματα. Ο κύριος προσανατολισμός τους ακολουθεί την γενική παράταξη των μεγαλύτερων δομών, δηλαδή  $B\Delta$  – NA. Επίσης, παρατηρούνται και ελάχιστες συζυγείς δομές με παράταξη NΔ – BA. Η πιο χαρακτηριστική είναι το ρήγμα της Δάφνης. Η κύρια διεύθυνση κλίσης των ρηγμάτων είναι προς BBA. Εντούτοις, συχνά συναντιούνται αντιθετικές δομές, οι μικρότερες συνήθως, που καταλαμβάνουν τις βάσεις ασβεστολιθικών κυρίως εξαρμάτων. Όλες αυτές οι δομές έχουν ως αποτέλεσμα να επηρεάζουν τη διαδρομή της κοίτης του Ασωπού.

Οι μεγάλες τεκτονικές δομές περιγράφονται παρακάτω, ενώ το σύνολο των μετρήσεων και παρατηρήσεων αναφέρονται περιληπτικά στο παράρτημα, στο τέλος της εργασίας.

## 4.2 Τεκτονικές μετρήσεις και παρατηρήσεις

Το **ρήγμα της Τανάγρας** αποτελεί το νοτιοδυτικό περιθώριο της λεκάνης Σχηματαρίου. Με συνολικό μήκος περίπου 16.5km, ακολουθεί τη μορφολογία στους πρόποδες των υψωμάτων Κηρύκιο και Τευμησσός. Έτσι, στα υψώματα Κηρύκιο και Τευμησσός, το ρήγμα παρουσιάζει παράταξη ΒΔ – ΝΑ, ενώ στο ενδιάμεσο τμήμα του παρουσιάζει παράταξη Β-Ν. Κατά μήκος του ρήγματος σπάνια παρουσιάζονται χαρακτηριστικά τεκτονικά πρανή. Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιήθηκαν άλλοι παράγοντες αναγνώρισης, όπως μορφολογικοί, λιθολογικοί κ.α., ενώ όπου δεν υπάρχουν σαφείς ενδείξεις ο συμβολισμός των πιθανών ρηγμάτων στο χάρτη έγινε με διακεκομμένη γραμμή.

Κοντά στο αντλιοστάσιο του Ασωπού (Ψηλή Ράχη) και κατά μήκος του αγωγού της ΕΥΔΑΠ, που ακολουθεί το ίχνος του ρήγματος, βρέθηκαν ορισμένες τεκτονικές επιφάνειες που οι διευθύνσεις τους βασικά τέμνουν τη μορφολογική διεύθυνσή του. Οι θέσεις αυτές είναι οι Ν5, Ν6 και Ν7 του χάρτη (σχήμα 49). Επίσης στο λατομείο της Τανάγρας βρέθηκε μια μικρή τεκτονική επιφάνεια (θέση Ν9 – σχήμα 49) στους Νεογενείς ψαμμίτες που βρίσκονται παραπλεύρως των ασβεστόλιθων.

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι				
Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης	Άξονας καμπύλωσης		
N5				
153	64			
170	59			
175	43			
148	68			
169	56	$44\Delta$		
N6				
073	67			
071	70			
067	71			
070	69			
N7				
154	31			
N9				
012	64			
015	78			



 Α Σχ. 48: Στερεογραφικές προβολές Schmidt, νότιου ημισφαιρίου όπως προέκυψαν με τη χρήση του προγράμματος StereoNett. Οι επιφάνειες των ρηγμάτων αναπαρίστανται με μέγιστους κύκλους ενώ οι πόλοι τους με κουκίδες. Διακρίνονται επίσης τα διαγράμματα πυκνότητας των μετρήσεων. (A) N5,6,7 και (B) N9.



**Σχ. 49:** Το ρήγμα της Τανάγρας εμφανίζει μικρές αλλαγές στη διεύθυνση της παράταξής του (από Α-Δ έως ΑΝΑ-ΔΒΔ). Με μήκος περίπου 16.5km αποτελεί τη μεγαλύτερη τεκτονική δομή που παρατηρήθηκε κατά τη χαρτογράφηση. Η διπλή κίτρινη γραμμή συμβολίζει την Εθνική οδό Αθηνών Λαμίας και η διακεκομμένη μαύρη το επαρχιακό οδικό δίκτυο.



**Σχ. 50:** Φωτογραφίες στις θέσεις N5 (A) και N6 (B) του ρήγματος της Τανάγρας. Η επιφάνεια N6 φαίνεται ότι τέμνει το βασικό πρανές του ρήγματος.

Το **ρήγμα του Μεγάλου Σχίνου** βρίσκεται στη νότια πλευρά του Κηρύκιου όρους και αποτελεί μια μικρότερη αντιθετική δομή του ρήγματος της Τανάγρας.

Καθώς το ρήγμα φαίνεται να προεκτείνεται ανατολικότερα ακολουθώντας τους πρόποδες του υψώματος και σε συνδυασμό με το ρήγμα της Τανάγρας, το Κηρύκιο όρος παρουσιάζεται με τη μορφή τεκτονικού κέρατος. Το ρήγμα σχηματίζει τεκτονικό πρανές με καθρέπτη ύψους 6 – 8m, μικρή τραχύτητα, καμπυλώσεις και χαρακιές παράλληλες με την κλίση (θέση N19 – σχήμα 52).

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙ		
Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης	
N19		
179	76	
190	64	
188	62	
175	61	
186	62	
191	64	
183	66	
193	64	
204	66	
202	64	
30m ανατολικότερα		
179	71	
178	69	
177	70	



**Σχ. 51:** Στερεογραφικές προβολές και διαγράμμα πυκνότητας της μέτρησης N19.



**Σχ. 52:** Το ρήγμα του Μεγάλου Σχίνου (παράταξης ΔΒΔ-ΑΝΑ) σε συνδυασμό με το ρήγμα της Τανάγρας σχηματίζει ένα τεκτονικό κέρας. Παρόμοια αλλά μικρότερη δομή σχηματίζεται από το ρήγμα της Ασωπίας νοτιότερα.



Σχ. 53: (a) Πανοραμική άποψη του ρήγματος του Μεγάλου Σχίνου (η ρηξιγενής επιφάνεια συμβολίζεται με τη διακεκομμένη κόκκινη γραμμή). Η μαύρη διακεκομμένη αποτελεί παλαιότερη δομή. (b) «Καθρέπτης» του ρήγματος (θέση Ν19) ύψους 4m περίπου. (c) Λεπτομέρεια του καθρέπτη όπου διακρίνονται αυλακώσεις.

1.5km νοτιότερα εμφανίζεται μια παρόμοια παράλληλη δομή τεκτονικού κέρατος σε μικρότερη όμως κλίμακα (σχήμα 52). Το ύψωμα του Προφήτη Ηλία (422m) περιβάλλεται από δύο αντιθετικά ρήγματα από βόρεια και νότια. Αυτό που είναι καλά ανεπτυγμένο βρίσκεται στη νότια πλευρά, το **ρήγμα της Ασωπίας**, στου οποίου το επικρεμάμενο τέμαχος (hanging-wall) είναι χτισμένο το χωριό Ασωπία. Ο «καθρέπτης» του ρήγματος παρουσιάζει μια αρκετά λεία επίπεδη επιφάνεια μεγάλου ύψους. Η μικρή γωνία κλίσης όμως διατηρεί έντονες αμφιβολίες για την ενεργότητα του ρήγματος. Οι μετρήσεις της θέσης Ν4 φαίνονται στον παρακάτω πίνακα και στο σχήμα 54.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙΙ				
Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης	Γράμμωση (pitch)		
N4				
235	41			
241	41			
249	51			
250	51			
251	51			
255	50			
208	43	88Δ		
220	56	67A		
214	47	73A		



Σχ. 54: Στερεογραφικές προβολές και διαγράμμα πυκνότητας της μέτρησης N4.



**Σχ. 55:** Πανοραμική φωτογραφία και μια πιο λεπτομερής του ρήγματος της Ασωπίας όπου διακρίνεται το τεκτονικό πρανές στη βάση του ασβεστολιθικού εξάρματος.



**Σχ. 56:** Η διεύθυνση του ποταμού Ασωπού ελέγχεται τεκτονικά. Χαρακτηριστική είναι η παράκαμψη σχήματος Λ που πραγματοποιεί ο ποταμός λόγω του ρήγματος Ασωπού.

Ανατολικότερα, προς το χωριό Κλειδί, εντοπίστηκε ένα χαρακτηριστικό ασβεστολιθικό τεκτονικό πρανές μεγάλου ύψους (20 – 30m) και μικρού μήκους (~300m). Το **ρήγμα του Ασωπού**, όπως ονομάστηκε, παρουσιάζει μια σχετικά τραχιά επιφάνεια με αυλακώσεις κατά μήκος της κλίσης του και ορισμένες γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης. Η διεύθυνση κλίσης του είναι ΝΝΔ. Ο Ασωπός ποταμός ακολουθεί την παράταξη του ρήγματος (ΔΒΔ–ΑΝΑ) και βρίσκεται πολύ κοντά στη βάση του πρανούς (σχήμα 56). Στα άκρα όμως του ρήγματος η διεύθυνση του ποταμού αλλάζει σημαντικά. Στα δυτικά (ανάντη), ο ποταμός ρέει με διεύθυνση από ΔΝΔ προς ΑΒΑ. Έπειτα κάμπτεται 90° αριστερά (ως προς τα κατάντη) ακολουθώντας πορεία προς ΒΒΔ για 200m περίπου. Λίγο πριν συναντήσει το πρανές του ρήγματος κάμπτεται σημαντικά (περίπου 135°) και

ενώνεται με το ρέμα Χαρουπιάς που έρχεται από βόρεια. Έπειτα ακολουθεί τη διεύθυνση του ρήγματος δίπλα στο πρανές και όταν φτάνει στο ανατολικό άκρο, μετά από 400m περίπου στρέφεται ξανά προς ABA. Η παράκαμψη σχήματος Λ που πραγματοποιεί ο ποταμός είναι πολύ πιθανό να οφείλεται στη δράση του ρήγματος. Στον παρακάτω αναγράφονται οι μετρήσεις της θέσης N10 (σχήμα 56).

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙV				
Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης	Γράμμωση (pitch)		
N10				
222	85	70Δ		
217	85	$76\Delta$		
200	88	82Δ (καμπύλωση)		
202	86	89A		
225	75			
197	76			
196	77			
193	79	81Δ		
194	80	86Δ		
191	89	83A		
185	76	72A		



**Σχ. 57:** Στερεογραφικές προβολές και διαγράμμα πυκνότητας της μέτρησης N10

Από μορφολογικές όμως ενδείξεις, φαίνεται ότι το ρήγμα του Ασωπού προεκτείνεται δυτικότερα και συναντά το ρήγμα της Ασωπίας. Η άποψη αυτή ενισχύεται από την παράλληλη με την παράταξη του ρήγματος πορεία του ρέματος που βρίσκεται νότια της πιθανής προέκτασης και καταλήγει στον Ασωπό ποταμό (σχήμα 58). Επομένως, το συνολικό μήκος του ρήγματος αυξάνεται στα 5km.



**Σχ. 58:** Το ρήγμα του Ασωπού είναι πιθανό να προεκτείνεται δυτικότερα προς το ρήγμα της Ασωπίας σύμφωνα με μορφολογικές ενδείξεις. Το κίτρινο πλαίσιο αναφέρεται στο επόμενο σχήμα.



**Σχ. 59:** 3διάστατο μοντέλο αναγλύφου (DEM), όπως προέκυψε από τη σύνθεση του αρχείου ΤΙΝ και αεροφωτογραφίας της Γ.Υ.Σ., όπου διακρίνονται το τεκτονικό πρανές του ρήγματος του Ασωπού (σχήμα 60) και η αλλαγή της πορείας του ομώνυμου ποταμού.



Σχ. 60: (a) Πανοραμική φωτογραφία, με άποψη προς τα ανατολικά, του ρήγματος Ασωπού. Το μήκος του δεν ξεπερνά τα 350m ενώ το ύψος του φτάνει τα 30m. (b) Κοντινή φωτογραφία της ρηξιγενούς επιφάνειας του ρήγματος. (c) Λεπτομέρεια της ρηξιγενούς επιφάνειας στην οποία διακρίνονται ορισμένες γραμμώσεις ολίσθησης.

Το **ρήγμα του Αρμακά**, νότια του χωριού Άγ. Θωμάς, ακολουθεί προς τα ανατολικά τη μορφολογία του ομώνυμου υψώματος (390m) και του υψώματος

Πυργάρι (503m) σε υψόμετρο 300m περίπου. Έπειτα, διασχίζει εγκάρσια τα ρέματα Μαυρόρρεμα και Καμαρά λίγο πριν αυτά ενωθούν και σχηματίσουν το μεγάλο ρέμα Κουκκίστρα και συνεχίζει ανεβαίνοντας μορφολογικά ως τα 400m λίγο πριν το ρέμα Πλατανάκι. Το μήκος του είναι περίπου 6km ενώ υπάρχει πιθανότητα να προεκτείνεται δυτικότερα και να ξεπερνά τα 7km. Το ανυψωμένο τέμαχος, το οποίο αποτελείται από τα υψώματα Αρμακάς, Πυργάρι και Μεγάλο Σούμπασι (608m), είναι ασβεστολιθικής σύστασης, ενώ στο επικρεμάμενο τέμαχος σχηματίζεται μια επιμήκης ζώνη (λεκάνη) πλάτους 500m κατά μήκος του ρήγματος που απαρτίζεται από ιζήματα του Νεογενούς, όπως μάργες, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή. Η ζώνη αυτή από το σχήμα της φαίνεται ότι ελέγχεται τεκτονικά από το ρήγμα, εφόσον στο βόρειο όριό της υπάρχει ένα αντιθετικό ρήγματος παρατηρείται ασβεστολιθικό τεκτονικό πρανές με λίγες όμως κατοπτρικές ρηξιγενείς επιφάνειες. Δύο από αυτές (θέσεις N15 και N16) έχουν τις παρακάτω τιμές:

ΠΙΝΑΚΑΣ V			
Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης		
N15			
062	70		
051	67		
050	79		
056	68		
055	71		
052	77		
084	70		
081	69		
094	79		
080	82		
N16			
024	75		
015	73		
002	80		
012	76		
012	73		
026	83		
032	83		

#### ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης Σωτήριος Π. Σμπόρας



Σχ. 61: Το ρήγμα Αρμακά έχει μήκος περίπου 7km και κλίνει προς BA.



Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - 95ήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.



**Σχ. 63:** Φωτογραφίες του ρήγματος Αρμακά στις θέσεις N15 (a) και N16 (b).

Από το ανυψωμένο τέμαχος (foot-wall) ξεκινούν αρκετά μικρά ρέματα που τέμνουν εγκάρσια το ρήγμα και αφού τα περισσότερα ενωθούν μεταξύ τους,

καταλήγουν στη λεκάνη Σχηματαρίου. Τα δύο μεγάλα ρέματα έχουν σχηματίσει βαθιές κοιλάδες σχήματος V στο ανυψωμένο τέμαχος και αφού διασχίσουν το ρήγμα ενώνονται σχεδόν αμέσως (σε λιγότερο από 200m) στο ρέμα Κουκκίστρα. Η λεκάνη που αποστραγγίζουν είναι η λεκάνη 56 του σχήματος 71 η οποία είναι η μεγαλύτερη της περιοχής μελέτης. Τα ρέματα που βρίσκονται δυτικά του Κουκκίστρα αφού διασχίσουν το ρήγμα συνεχίζουν την πορεία τους χωρίς καμιά ουσιαστική αλλαγή. Ανατολικά όμως του Κουκκίστρα, υπάρχουν τρία ρέματα που ενώ τέμνουν εγκάρσια κι αυτά το ρήγμα, αμέσως μετά στρίβουν περίπου 90° προς τα δυτικά, ενώνονται, και ακολουθώντας το ρήγμα καταλήγουν στο ρέμα Καμαρά. Επίσης, το ρέμα Πλατανάκι στο ανατολικό άκρο του ρήγματος παρουσιάζει και αυτό όμοια αλλαγή στη διεύθυνση της κοίτης του αλλά με μικρότερη γωνία. Οι ενδείξεις αυτές δείχνουν ότι το ρήγμα Αρμακά είναι ενεργό.

Οι Mariolakos et al. (1997) θεωρούν ότι το ρέμα Κουκκίστρα χωρίζει το ρήγμα Αρμακά και το αντιθετικό του, που οριοθετεί το βόρειο όριο των Νεογενών ιζημάτων. δύο μέρη που παρουσιάζουν διαφορετική νεοτεκτονική σε παραμόρφωση. Οι διαφορές των δύο περιοχών (δυτική και ανατολική) εντοπίζονται κυρίως στη μορφολογία και στη στρωματογραφία των Νεογενών. Σύμφωνα με τους παραπάνω μελετητές, η δυτική περιοχή παρουσιάζει μορφολογικές κλίσεις από 3° έως 7° και τοπικά 25°, η κλίση των Νεογενών στρωμάτων είναι γενικά 45° προς τα νότια (>60° στο νότιο τμήμα) και υπάρχουν αρκετά ρήγματα παράταξης Α-Δ και ΑΝΑ-ΔΒΔ το ανατολικό άκρο των οποίων συναντά το ρέμα Κουκκίστρας. Στην ανατολική περιοχή, οι μορφολογικές κλίσεις είναι μικρότερες μεταξύ των 3° και 5° ενώ τοπικά φτάνουν τις 11°. Η κλίση των Νεογενών στρωμάτων είναι αντίθετη, δηλαδή προς τα βόρεια, και η γωνία κλίσης κυμαίνεται από 35° έως 45°. Τέλος, τα ρήγματα είναι λίγα (μόλις δύο) με παράταξη B-N. Τα συμπεράσματα που έβγαλαν για την κινηματική κατάσταση των δύο περιοχών είναι ότι η δυτική περιοχή παρουσιάζει περιστροφή προς τα νότια γύρω από έναν άξονα διεύθυνσης Α-Δ, ενώ η ανατολική περιστρέφεται προς τα βόρεια γύρω από έναν άξονα παρόμοιας διεύθυνσης.



**Σχ. 64:** Γεωλογικός χάρτης του Αυλώνα από τους Mariolakos et al. (1997). 1: Ολοκαινικές αποθέσεις, 2: Τεταρτογενείς αποθέσεις, 3: Νεογενή λιμναία ιζήματα, 4: Μεσοζωικά ανθρακικά πετρώματα, 5: οφειόλιθοι, 6: Σιδηρονικελιούχα πετρώματα, 7: γεωλογικά όρια, 8: ρήγματα, 9: ρήγματα καλυμμένα, 10: επωθήσεις.

Μια άλλη μεγάλη τεκτονική δομή που βρίσκεται παράλληλα και βορειότερα του ρήγματος του Αρμακά, είναι η προς τα δυτικά προέκταση (;) του **ρήγματος του Αυλώνα**. Παρόλο που οι τεκτονικές επιφάνειες απουσιάζουν, η μορφολογική αποτύπωση του ρήγματος είναι ορατή. Ακολουθεί το ασβεστολιθικό πρανές (ανυψωμένο τέμαχος – *foot-wall*), δυτικά του Αυλώνα, με παράταξη από Α-Δ έως ABA-ΔΝΔ, φτάνοντας το μήκος των περίπου 4km. Το κατερχόμενο τέμαχος παρουσιάζει πιο ήπια μορφολογία και αποτελείται από Νεογενή κυρίως ιζήματα. Το ρήγμα τέμνεται εγκάρσια από ρέματα σε όλο το μήκος του. Ο κύριος κλάδος του Ασωπού ρέει παράλληλα, κατά μήκος της δυτικής προέκτασης, σε απόσταση περίπου 5km βόρεια του ρήγματος. Στον Αυλώνα όμως στρέφεται νότια και ακολουθεί παράλληλα το ρήγμα του Αυλώνα (προς τα ανατολικά) σε απόσταση 500m περίπου.



**Σχ. 65:** Τα ρήγματα Αρμακά, Κορυφούλας και Αυλώνα σχηματίζουν μια κλιμακωτή δομή. Ανάμεσα στα ρήγματα Αρμακά και Κορυφούλας πιθανών να υπάρχει ένα αντιθετικό ρήγμα.

Ανάμεσα και παράλληλα στα δύο μεγάλα ρήγματα του Αρμακά και του Αυλώνα, βρίσκεται ένα μικρότερου μήκους ρήγμα, το **ρήγμα Κορυφούλα**, το οποίο επίσης έχει κατεύθυνση κλίσης προς B-BBA. Το ρήγμα καταλαμβάνει τους βόρειους πρόποδες μιας επιμήκης ασβεστολιθικής σύστασης ράχης (Κορυφούλα). Νότια της ράχης, σύμφωνα με τους Mariolakos et al. (1997), υπάρχει αντιθετικό ρήγμα με αποτέλεσμα να σχηματίζεται τεκτονική τάφρος μεταξύ του ρήγματος αυτού και του Αρμακά (όπως έχει αναφερθεί προηγούμενα), και τεκτονικό κέρας (Κορυφούλα) μεταξύ του ίδιου ρήγματος και του ρήγματος Κορυφούλα (σχήμα 65, τομή 1). Στις θέσεις Σ19, Σ20 και Σ21 βρέθηκαν Νεογενή ιζήματα που κλίνουν προς ΝΔ, ΝΑ και ΝΔ (μέσες τιμές 211/36, 156/36 και 217/47) αντίστοιχα. Η κλίση τους, δηλαδή, είναι προς τα ρήγματα Κορυφούλας και Αρμακά παρόλο που βρίσκονται ανασηκωμένα στο ανυψωμένο τέμαχος του ρήγματος Αυλώνα. Φαίνεται λοιπόν, ότι τα ρήγματα αυτά έχουν χωρίσει τη περιοχή σε μπλοκ που περιστρέφονται παράλληλα προς τα νότια γύρω από έναν άξονα διεύθυνσης Α-Δ, όπως πράγματι επισήμαναν οι Mariolakos et al. (1997).



**Σχ. 66:** Τα ρήγματα Καλλιθέας και Μαυροβουνίου έχουν την ίδια παράταξη (ΒΔ-ΝΑ) και πιθανώς να αποτελούν το ίδιο ρήγμα

Κατά μήκος του νοτιοδυτικού πρανούς του όρους (τεκτονικού κέρατος) Τευμησσός, εκεί που αλλάζει απότομα κλίση το ανάγλυφο (στη βάση του πρανούς), διέρχεται το **ρήγμα της Καλλιθέας** με κατεύθυνση κλίσης προς ΝΔ, και 2km νοτιοανατολικά της προέκτασής του το **ρήγμα Μαυροβούνι**. Είναι πιθανό τα δύο ρήγματα στην πραγματικότητα να είναι ένα ή δύο κλάδοι του ίδιου ρήγματος. Η υπόθεση αυτή μπορεί να βασιστεί στο γεγονός ότι τα ίχνη των δύο ρηγμάτων βρίσκονται στην ίδια ευθεία, και ότι το Σκληρόρρεμα ρέει παράλληλα και κοντά στα δύο ρήγματα (σε απόσταση περίπου 450-800m) χωρίς καμιά αλλαγή στη διεύθυνσή του. Η έλλειψη ωστόσο τεκτονικού πρανούς και η κάλυψη της ενδιάμεσης περιοχής με ιζήματα δεν επιτρέπει την αποδοχή της πρότασης αυτής με σιγουριά.

Οι Goldsworthy et al. (2002) θεωρούν ότι οι ενεργές τεκτονικές δομές καταλαμβάνουν κυρίως τις νότιες πλευρές των ασβεστολιθικών συνήθως ράγεων, έχοντας κατεύθυνση κλίσης προς ΝΝΔ. Τα ρήγματα είναι μικρά σε μήκος, εκτός των ρηγμάτων Καλλιθέας και Σχηματαρίου (σχήμα 67), παράλληλα με απόσταση 1-2km μεταξύ τους, που έχουν προκαλέσει μικρές ταπεινώσεις – ανυψώσεις (100-200m). Κατά μήκος της Εθνικής οδού Αθηνών – Λαμίας, από το Σχηματάρι και για 15km προς τα δυτικά υπάρχει ένα χαμηλό επίμηκες ύψωμα, βόρεια του οποίου παρατηρείται σημαντική αλλαγή στη διάταξη του υδρογραφικού δικτύου (σχήμα 48). Οι ίδιοι μελετητές τοποθέτησαν στο νότιο πρανές ένα κανονικό, προς τα ΝΝΔ βυθιζόμενο κανονικό ρήγμα, μήκους 20km περίπου (ρήγμα Σχηματαρίου). Βασιζόμενοι στον Smith (1994), ο οποίος αναφέρει την ύπαρξη παράκτιων πετρωμάτων (beachrocks) με ίχνη από Lithophaga εκεί όπου το βόρειο πρανές συναντά τη θάλασσα, υποστηρίζουν ότι η ανύψωση αυτής της περιοχής οφείλεται κυρίως στο ρήγμα του Σχηματαρίου και αποτελεί το κάτω (ανυψωμένο) τέμαχος (foot-wall). Σε αντίθεση με τους παραπάνω μελετητές, πιστεύεται ότι η γεωμετρία και ο προσανατολισμός του ρήγματος δεν είναι απόλυτα σωστά. Παρόλο που το συγκεκριμένο ρήγμα δεν μελετήθηκε, τα αποτελέσματα των δεικτών Ασυμμετρίας Λεκάνης Απορροής Εγκάρσιας Τοπογραφικής Συμμετρίας και (όπως παρουσιάζονται στη συνέχεια) δείχνουν την απουσία τεκτονικής περιστροφής (*tilting*) για τη λεκάνη 17.



**Σχ. 67:** (a) Τα κύρια ρήγματα της περιοχής μελέτης σύμφωνα με τους Goldsworthy et al. (2002) και τα επίκεντρα ιστορικών σεισμών (αστέρια). Με UL και ΕΒ συμβολίζονται οι θέσεις που έχει παρατηρηθεί ανύψωση με την παρουσία Lithophaga και παράκτιων πετρωμάτων (beachrocks) αντίστοιχα. (b) Χάρτης του ρηξιγενούς συστήματος της Καλλιθέας σύμφωνα με τους ίδιους μελετητές. Τα αριθμημένα αστέρια δείχνουν τις θέσεις ρηξιγενών επιφανειών. (c) Τοπογραφική τομή εγκάρσια στα ρήγματα Καλλιθέας και Σχηματαρίου.



**Σχ. 68:** Φωτογραφίες υπαίθρου από τους Goldsworthy et al. (2002) στις ασβεστολιθικές ρηξιγενείς επιφάνειες του ρηξιγενούς συστήματος της Καλλιθέας, στις θέσεις 1 και 5 του σχήματος 67b.

## 4.3 Η χρήση του ArcGIS Desktop

#### 4.3.1 Κατασκευή χάρτη δεδομένων

Για την κατασκευή του χάρτη δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το ArcGIS Desktop 8.x και πιο συγκεκριμένα οι εφαρμογές ArcMap και ArcCatalog. Την πρώτη ύλη για την εισαγωγή των τοπογραφικών δεδομένων (ισοϋψών, ρεμάτων, οδικού δικτύου και τοποθεσία πόλεων – οικισμών) συνέστησαν τέσσερα φύλλα χάρτη, κλίμακας 1:50,000, της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού: φύλλο «Χαλκίς» έκδοσης 1988, φύλλο «Θήβαι» έκδοσης 1988, φύλλο «Αθήναι – Ελευσίς» έκδοσης 1992 και φύλλο «Ερυθραί» έκδοσης 1989. Η μορφή εισαγωγής τους ήταν ως πίνακας (raster) αφού πρώτα σαρώθηκαν. Το προβολικό σύστημα συντεταγμένων που επιλέχθηκε για την γεωαναφορά είναι το ΕΓΣΑ 87 (GCS GGRS 1987), και τα σημεία αναφοράς (rectify points) είναι 20 – 26 ανά φύλλο χάρτη. Για το τελευταίο στάδιο της γεωαναφοράς χρησιμοποιήθηκε το πολυώνυμο 1<sup>ης</sup> τάξης (*I<sup>st</sup> Order Polynomial – Affine*). Με την ολοκλήρωση της γεωαναφοράς οι σαρωμένοι χάρτες απέκτησαν προσανατολισμό και πραγματικές συντεταγμένες στο χώρο.

Οı δεδομένων εισήχθησαν Geodatabase. βάσεις μορφή με τη Δημιουργήθηκαν τέσσερις Geodatabase με υποομάδες, μία για κάθε φύλλο χάρτη. Τα επίπεδα (οι βάσεις – layers) που τις απαρτίζουν είναι τα εξής (κάποια από αυτά δεν υφίστανται σε όλες τις Geodatabase): ισοϋψείς (contours), ρέματα (drainage), δρόμοι (roads), πόλεις (towns), ρήγματα (faults), γεωλογικοί σχηματισμοί (formations) και υπαίθριες γεωλογικές παρατηρήσεις (field observations) νεοτεκτονικού περιεχομένου (neotectonic) και στρωματογραφικού περιεχομένου (stromatographic). Το περιεχόμενο και το είδος των πληροφοριών αναλύονται ως εξής:

## ισοϋψείς (contours)

Γεωγραφική μορφή πληροφορίας: γραμμική Πεδία πληροφοριών: τιμή ισοϋψούς (υψόμετρο)

## ρέματα (drainage)

Γεωγραφική μορφή πληροφορίας: γραμμική Πεδία πληροφοριών: ταξινόμηση κατά Strahler

## δρόμοι (roads)

Γεωγραφική μορφή πληροφορίας: γραμμική

Πεδία πληροφοριών: κατηγορία δρόμου

## πόλεις (towns)

Γεωγραφική μορφή πληροφορίας: πολύγωνο

Πεδία πληροφοριών: ονομασία πόλης

## ρήγματα (faults)

Γεωγραφική μορφή πληροφορίας: γραμμική

Πεδία πληροφοριών: είδος ρήγματος (κανονικό, ανάστροφο, πιθανό, ενεργό),

κατεύθυνση κλίσης (μέση), γωνία κλίσης (μέση)

## γεωλογικοί σχηματισμοί (formations)

Γεωγραφική μορφή πληροφορίας: πολύγωνο

Πεδία πληροφοριών: είδος πετρώματος – σχηματισμού (ασβεστόλιθος, Νεογενή)

υπαίθριες γεωλογικές παρατηρήσεις (field observations), νεοτεκτονικές – στρωματογραφικές

Γεωγραφική μορφή πληροφορίας: σημειακή

Πεδία πληροφοριών: αριθμός μετρήσεων, ημερομηνία μετρήσεων, χαρακτηρισμός θέσης

## 4.3.2 Τρισδιάστατη απεικόνιση αναγλύφου (DEM)

Για την τρισδιάστατη απεικόνιση της περιοχής μελέτης χρησιμοποιήθηκε η επέκταση 3D Analyst που αποτελεί τον πυρήνα της εφαρμογής ArcScene. Το πρώτο βήμα ήταν η κατασκευή ενός τριγωνικού δικτύου TIN (*Triangulated Irregular Network*). Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η τρισδιάστατη απεικόνιση του αναγλύφου δίνοντας σε κάθε καθορισμένη υψομετρική ζώνη μία χρωματική απόχρωση. Στην τρισδιάστατη εικόνα μπορούμε να προσθέσουμε όποια βάση δεδομένων θέλουμε (πχ ρήγματα, ρέματα κλπ.) και να την παρατηρήσουμε από οποιαδήποτε γωνία. Μετά την κατασκευή του ΤΙΝ είναι στη διάθεσή μας οποιαδήποτε μορφολογική ανάλυση.

Η ρεαλιστική όμως τρισδιάστατη απεικόνιση του χώρου γίνεται με τη χρήση δορυφορικών εικόνων και αεροφωτογραφιών. Για σκοπό το αυτό χρησιμοποιήθηκε η δορυφορική εικόνα που αποκτήθηκε για το ερευνητικό πρόγραμμα του Ο.Α.Σ.Π. με τίτλο «Παλαιοσεισμολογική έρευνα στα ενεργά ρήγματα της Βόλβης (Μυγδονία – Κεντρική Μακεδονία) και Ωρωπού – Αυλώνα – Καπαρελλίου (Αττική – Βοιωτία – Στερεά Ελλάδα)» (επιστημονικός υπεύθυνος: Παυλίδης Σπύρος). Η εικόνα λήφθηκε από δορυφόρο SPOT 1 (Path/Row 091/273, ημερομηνία και ώρα λήψης 22 Φεβρουαρίου 1997 - 09:17). Η γεωμετρική διόρθωσή της έγινε από τον Δρα Γκανά Αθανάσιο ο οποίος και επέλεξε το προβολικό σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ 1987. Επίσης, αγοράστηκαν αεροφωτογραφίες από τη Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού, κλίμακας 1:15,000 και ημερομηνίας λήψης 1990. Το γεωγραφικό σύστημα προβολής που επιλέχθηκε ήταν επίσης ΕΓΣΑ 1987, χρησιμοποιώντας πολυώνυμο 2<sup>ου</sup> βαθμού. Οι πληροφορίες που χρειάζονται οι εικόνες (δορυφορικές και αεροφωτογραφίες) για να αποκτήσουν τιμές ως προς τον άξονα Ζ (κατακόρυφος) λαμβάνονται από το αρχείο ΤΙΝ.



Σχ. 69: Τρισδιάστατη απεικόνιση αναγλύφου DEM (προσανατολισμένη και σε κάτοψη) της ευρύτερης περιοχής μελέτης από τη δορυφορική εικόνα SPOT 1. Στην εικόνα έχουν προστεθεί οι τεκτονικές δομές (κόκκινες γραμμές) και το βασικό οδικό δίκτυο (κίτρινη γραμμή: Εθνική οδός, μαύρες γραμμές: επαρχιακό δίκτυο).

Στο παράρτημα, στο τέλος της εργασίας, παρατίθενται μια σειρά πλάγιων απόψεων της περιοχής μελέτης.

## 4.4 Μορφοτεκτονική ανάλυση

#### 4.4.1 Υπολογισμός λεκανών απορροής

Οι βάσεις δεομένων που χρησιμοποιήθηκαν στον υπολογισμό των λεκανών απορροής είναι δύο: τα ρέματα και το τριγωνικό δίκτυο ΤΙΝ που περιέχει τις πληροφορίες του υψομέτρου. Το πρώτο βήμα ήταν η μετατροπή του ΤΙΝ σε μορφή Raster (καννάβου) με την ονομασία tingrid (σχήμα 70). Έπειτα ήταν απαραίτητη η χρήση της εφαρμογής Hydro Tools, η οποία είναι επέκταση στις βασικές λειτουργίες του ArcMap. Με τη χρήση λοιπόν της παραπάνω εφαρμογής έγιναν μια σειρά υπολογισμών που αναφέρονται ως Terrain Processing (επεξεργασία αναγλύφου). Αυτοί είναι:

- 1. DEM Reconditioning. Εδώ γίνεται μια περεταίρω επεξεργασία του DEM.
- Fill Sinks. Στη φάση αυτή, διαχωρίζονται τα κελιά (ψηφία) που περικλείονται από γειτονικά μεγαλύτερου υψομέτρου κατακρατώντας έτσι το νερό, αφού δεν έχει άλλη διέξοδο.
- 3. Flow Direction. Η κατεύθυνση της ροής υπολογίζεται βάσει των πιο απότομης διαδρομής.
- 4. Flow Accumulation. Η λειτουργία αυτή υπολογίζει τη συγκέντρωση ροής.
- 5. Stream Definition. Σ' αυτό το στάδιο γίνεται ο καθορισμός των ρεμάτων.
- 6. Stream Segmentation. Εδώ διαχωρίζονται τα ρέματα.
- 7. Catchment Grid Delineation, Catchment Polygon Processing και Adjoint Catchment Processing. Στα τρία αυτά διακριτά βήματα γίνεται αρχικά ο διαχωρισμός των λεκανών απορροής κάθε ρέματος, έπειτα η μετατροπή τους σε πολύγωνα σε μια ξεχωριστή βάση δεδομένων και τέλος ο υπολογισμός της μεγάλης συνολικής λεκάνης.


**Σχ. 70:** Το επόμενο βήμα μετά την κατασκευή του ΤΙΝ για τον υπολογισμό των λεκανών απορροής ήταν η μετατροπή του ΤΙΝ σε μορφή καννάβου (raster) με την ονομασία tingrid. Στην εικόνα που προέκυψε οι ανοιχτοί χρωματισμοί αντιστοιχούν σε μεγάλα υψόμετρα.

Όπως είναι φανερό, για τον τελικό υπολογισμό των λεκανών απορροής χρειάζονται όλα τα ενδιάμεσα στάδια, εφόσον ο υπολογισμός κάθε σταδίου βασίζεται στον υπολογισμό του προηγούμενού του. Για την ακριβέστερη απεικόνιση των λεκανών απορροής έγιναν χειροκίνητα οι απαραίτητες διορθώσεις.

# 4.4.2 Πρώιμες παρατηρήσεις

Η ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου και εν συνεχεία των λεκανών απορροής παρουσιάζουν ανομοιόμορφη κατανομή. Οι λεκάνες νότια του Ασωπού

ποταμού είναι πιο ανεπτυγμένες με πυκνότερο υδρογραφικό δίκτυο. Στη συνέχεια, η περιοχή θα μπορούσε να χωρισθεί (κόκκινη διακεκομμένη γραμμή του σχήματος 71) σε δύο μέρη. Στο δυτικό τμήμα ο Ασωπός ποταμός δείχνει ότι διαρρέει την περιοχή στο μέσο περίπου των εκατέρωθεν υδροκριτών σε αντίθεση με το ανατολικό όπου ο Ασωπός ρέει πλησιέστερα του βορινού υδροκρίτη. Η περιοχή που περιβάλλεται από την πράσινη διακεκομμένη γραμμή (σχήμα 71) παρουσιάζει πυκνό δενδριτικό υδρογραφικό δίκτυο. Έξω όμως από τον κύκλο, προς τα κατάντη των ρεμάτων, το δίκτυο αλλάζει μορφή και γίνεται πιο αραιό και παράλληλο.



**Σχ. 71:** Υδρογραφικό δίκτυο και διαχωρισμός λεκανών απορροής της περιοχής μελέτης. Οι διακεκομμένες γραμμές δηλώνουν αλλαγές στη μορφή του υδρογραφικού δικτύου (επεξήγηση στο κείμενο).

Το σχήμα της λεκάνης 48 φαίνεται ότι ελέγχεται τεκτονικά. Το ρήγμα του Αρμακά στο βορειοανατολικό όριο της λεκάνης και πιθανώς ένα αντιθετικό του

ρήγμα στο νοτιοδυτικό όριο, προκαλούν την επιμήκη ανάπτυξη της λεκάνης με διεύθυνση NA-BΔ που στη συνέχεια κάμπτεται κατά 90°. Ιδιόρρυθμο σχήμα παρουσιάζει και η λεκάνη 47. Παρόλο που η κύρια διεύθυνση ανάπτυξής της είναι B-N, στο μέσο της περίπου αναπτύσσεται ένα εγκάρσιο, επίμηκες υδρογραφικό δίκτυο προς τα δυτικά. Ο κύριος κλάδος του ρέματος αυτού ρέει πολύ κοντά στον υδροκρίτη αφήνοντας υπόνοιες για την ύπαρξη πιθανού ρήγματος στη περιοχή αυτή που η παράταξή του είναι παράλληλη με τη διεύθυνση του ρέματος (ΔΝΔ-ABA) και η κλίση του προς τα νότια.

# 4.5 Μορφοτεκτονικοί δείκτες

# 4.5.1 Υπολογισμός μέσης γωνίας κλίσης των λεκανών απορροής

Μια πρώτη προσέγγιση στη μορφοτεκτονική ανάλυση έγινε με τον υπολογισμό της μέσης γωνίας κλίσης των λεκανών. Η μέθοδος που ακολουθήθηκε ήταν η κατασκευή ενός χάρτη κλίσεων (slope) από την εντολή slope της εφαρμογής 3D Analyst. Η ψηφίδα δειγματοληψίας (output cell size) επιλέχτηκε στα 20m. Έπειτα, με τη χρήση και του επιπέδου των λεκανών απορροής (Catchments) υπολογίσθηκε ο πίνακας στατιστικών κάθε λεκάνης από την εντολή zonal statistics της εφαρμογής Spatial Analyst, αφού χρησιμοποιήθηκε ως επίπεδο δειγματοληψίας ο χάρτης κλίσεων (Slope) και ορίστηκε ως πεδίο τιμών η καθεμιά λεκάνη. Έτσι, προέκυψαν ο χάρτης μέσης γωνίας κλίσης του σχήματος 73 και το γράφημα του σχήματος 74.

Οι παρατηρήσεις και τα συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν είναι τα εξής:

Στη περιοχή των Οινοφύτων παρουσιάζονται οι μικρότερες τιμές μέσης κλίσης (λεκάνες 18 – 23 και 49 – 55). Οι λεκάνες που βρίσκονται νότια της κοίτης του Ασωπού ποταμού παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές απ' ότι οι βόρειες.



**Σχ. 72:** Χάρτης κλίσεων της περιοχής μελέτης. Η μέση κλίση εντός των λεκανών υπολογίζεται στις 9° περίπου.

Τα απότομα πρανή χαρακτηρίζουν ένα υδρογραφικό που βρίσκεται στο στάδιο νεότητας. Η παρουσία ενεργών τεκτονικών δομών είναι πολύ πιθανή.



### ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης Σωτήρ

Σωτήριος Π. Σμπόρας

Σχ. 73: Χάρτης μέσης κλίσης των λεκανών απορροής.



Σχ. 74: Διάγραμμα μέσης γωνίας κλίσεως ανά λεκάνη απορροής.

**4.5.2 Παράγοντας Ασυμμετρίας Λεκάνης Απορροής** (Drainage Basin Asymmetry Factor) (Hare & Gardner 1985, Cox 1994, Keller & Pinter 1996, 2003)

Ο παράγοντας ασυμμετρίας είναι το επί τοις εκατό ποσοστό της επιφάνειας που καταλαμβάνει το τμήμα της λεκάνης που βρίσκεται δεξιά από τον κύριο κλάδο του ποταμού ή ρέματος (ως προς τα κατάντη), προς όλη την επιφάνεια της λεκάνης:

$$AF = 100 \frac{Ar}{At}$$

όπου Ar το εμβαδό του δεξιού τμήματος της λεκάνης και At το συνολικό εμβαδό της λεκάνης.

Η σημασία του παράγοντα ασυμμετρίας είναι ότι μας δείχνει αν υπάρχει τεκτονική περιστροφή ή κλίση (*tilting*) σε μια λεκάνη ή στην ευρύτερη περιοχή. Αν σε μια λεκάνη δεν υπάρχει περιστροφή τότε η τιμή του παράγοντα ασυμμετρίας θα είναι 50, αφού το ποτάμι ανεπηρέαστο θα διασχίζει τη λεκάνη στο μέσο της χωρίζοντάς την ισομερώς. Για τιμές μεγαλύτερες του 50 τότε η λεκάνη περιστρέφεται προς τα αριστερά κοιτώντας προς τα κατάντη. Τα αποτελέσματα

της μεθόδου αντανακλούν τεκτονικές διεργασίες όταν οι λιθολογικοί παράγοντες (πετρώματα, κλίσεις στρωμάτων κλπ.) και το τοπικό κλίμα δεν μεταβάλλονται.



**Σχ. 75:** Για τον υπολογισμό του παράγοντα ασυμμετρίας λεκάνης απορροής, επιλέχτηκαν ο κύριος κλάδος των ρεμάτων κάθε λεκάνης (main streams). Έπειτα διαχωρίστηκε το δεξιό τμήμα (Ar), ως προς τα κατάντη, από κάθε λεκάνη.

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου, επιλέχθηκαν οι κύριοι κλάδοι των ρεμάτων και στις 59 λεκάνες όπου βάσει αυτών χωρίστηκαν οι λεκάνες σε δύο μέρη. Εφόσον το εμβαδό κάθε τμήματος υπολογίζεται αυτόματα από το ArcMap και περιέχεται ως χαρακτηριστικό πεδίο στη βάση δεδομένων, ακολούθησε ο υπολογισμός του παράγοντα ασυμμετρίας κάθε λεκάνης. Τα 59 αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα VII και στο σχήμα 76.



**Σχ. 76:** Χάρτης αποτελεσμάτων του υπολογισμού του παράγοντα ασυμμετρίας των λεκανών απορροής.

Αριθμός λεκάνης	Εμβαδό δεξιού τμήματος λεκάνης (Ar)	Ολικό εμβαδό λεκάνης (At)	Παράγοντας ασυμμετρίας (AF)
1	4469139,15811	11686594,81860	38,24
2	988440,94467	2498574,66517	39,56
3	4779422,48845	24090943,89470	19,84
4	390923,23602	1116727,45743	35,01
5	1947967,61797	3896316,46286	50,00
6	134796,52797	217889,85392	61,86
7	363647,68276	826247,96536	44,01
8	1229845,14059	2365270,79971	52,00
9	53004,30407	141355,67153	37,50
10	62732,80193	147869,07344	42,42
11	92724,95991	307762,19753	30,13
12	1530388,40959	2738361,31332	55,89
13	5447615,47717	14009580,08310	38,88
14	2230161,44145	3423656,34213	65,14
15	675262,92573	1730715,35138	39,02
16	898379,30262	1512189,82214	59,41
17	21695317,28870	42147455,86780	51,47
18	497687,43841	865696,52293	57,49
19	394924,69294	1017465,15910	38,81
20	1319025,31911	4052175,00877	32,55
21	602776,72235	2041936,95909	29,52
22	472902,26132	1318477,45818	35,87
23	362589,26045	930177,63223	38,98
24	323221,54503	1277776,95294	25,30
25	130638,58075	250943,15127	52,06
26	96463,68101	330551,93458	29,18
27	102257,63709	289663,79876	35,30
28	148912,46486	266523,16467	55,87
29	3503166,64269	7356736,11829	47,62
30	5698186,98621	15710689,77290	36,27
31	312784,43918	571409,71443	54,74
32	347726,84138	1103718,71221	31,51
33	1635621,93316	2470072,94539	66,22
34	2199796,63817	3141938,57167	70,01
35	2267352,22332	4272284,28599	53,07
36	3346918,91612	7143103,98646	46,86
37	2891504,26695	7580581,93294	38,14
38	252020,34890	679132,73267	37,11
39	343924,22280	607430,10614	56,62
40	381507 86517	546096 94860	69.86

### ΠΙΝΑΚΑΣ VII

41	347145,17895	531874,08582	65,27
42	4017157,72932	10407895,08410	38,60
43	49561,70934	98642,16471	50,24
44	168898,30962	292664,92556	57,71
45	110618,95844	230121,36687	48,07
46	77335,27510	168810,03644	45,81
47	20372789,73110	42116497,08230	48,37
48	3436996,56731	11566591,98470	29,71
49	2856958,35325	7752832,06069	36,85
50	6817497,02676	11664511,83670	58,45
51	701246,11320	1301933,74215	53,86
52	425090,64034	965864,66544	44,01
53	878830,92097	1208585,31577	72,72
54	518866,93032	1102094,94580	47,08
55	378461,89215	944548,81183	40,07
56	43136511,71870	75805832,78490	56,90
57	13056620,09240	48282815,47760	27,04
58	519917,01845	919896,13759	56,52
59	525973,11889	669139,02886	78,60

Από τις λεκάνες που βρίσκονται βόρεια του Ασωπού ποταμού, η 3 εμφανίζει δεξιόστροφη περιστροφή προς ΝΔ που οφείλεται στην ανύψωση του όρους Τευμησσός από τα ρήγματα Καλλιθέας – Μαυροβουνίου και Τανάγρας. Παρόμοια κίνηση εμφανίζει και η λεκάνη 13 που οφείλεται όμως σε λιθολογικά αίτια. Η όμορή της λεκάνη όμως (λεκάνη 14) παρουσιάζει αντίστροφη περιστροφή προς BA. Φαίνεται δηλαδή, πως επηρεάζεται από την ανατολική προέκταση του ρήγματος του Μεγάλου Σχίνου. Μεγάλες τιμές δεξιόστροφης περιστροφής προς ΝΔ εμφανίζουν οι ανατολικές λεκάνες 20,21,22,23 και 24 που πιθανώς οφείλονται στην ύπαρξη ρήγματος βόρειά τους με παράταξη ΔΒΔ-ΑΝΑ. Αξιοσημείωτο είναι ότι η λεκάνη που περιλαμβάνει το ρήγμα Τανάγρας δεν παρουσιάζει κάποια περιστροφή.

Στη νότια πλευρά του Ασωπού, οι λεκάνες 48 και 57 δείχνουν ότι έχουν περιστραφεί δεξιόστροφα προς BBA αποτέλεσμα που δεν συμβαδίζει με τον προσανατολισμό των ρηγμάτων Αρμακά και Αυλώνα αντίστοιχα. Αυτό ίσως σημαίνει ότι υπάρχουν αντιθετικές ρηξιγενείς δομές που προκαλούν αυτή την αντίστροφη περιστροφή. Επίσης το αποτέλεσμα μπορεί να έχει επηρεαστεί από άλλους παράγοντες μη τεκτονικούς, όπως λιθολογικούς.

Ο υπολογισμός του παράγοντα ασυμμετρίας για την λεκάνη που υπερκαλύπτει τις προηγούμενες 59 και έχει ως κύριο ποταμό τον Ασωπό είναι

AF = 65.1,

Παρουσιάζει, δηλαδή, περιστροφή προς τα βόρεια γύρω από έναν άξονα με διεύθυνση Α-Δ.



**Σχ. 77:** Διαχωρισμός της συνολικής λεκάνης του Ασωπού στη περιοχή μελέτης σε δύο τμήματα εκατέρωθεν του ποταμού. Το γραμμοσκιασμένο τμήμα αποτελεί το δεξιό ως προς τα κατάντη.

**4.5.3 Παράγοντας εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας** (Transverse Topographic Symmetry) (Cox 1994, Keller & Pinter 1996, 2003)

Ο παράγοντας εγκάρσιας συμμετρίας είναι ο λόγος της κάθετης απόστασης του κύριου κλάδου ανάπτυξης του υδρογραφικού δικτύου από μια νοητή γραμμή συμμετρίας που βρίσκεται κατά μήκος και στο μέσον της λεκάνης, προς την εγκάρσια απόσταση του υδροκρίτη από την νοητή γραμμή συμμετρίας.

#### $\Sigma = \Delta \alpha / \Delta d$

Ουσιαστικά μας περιγράφει ποσοστιαία πόσο έχει αποκλίνει ο ποταμός ή το ρέμα από την θέση που θα είχε αν η περιοχή είχε μείνει τεκτονικά ανεπηρέαστη. Η όποια μετατόπιση προσδιορισθεί, με την προϋπόθεση βέβαια ότι δεν υπεισέρχονται άλλοι παράγοντες όπως αλλαγή λιθολογίας, θα οφείλεται σε τεκτονική περιστροφή υποδεικνύοντας έτσι την ύπαρξη ενεργού ρήγματος στη περιοχή. Οι τιμές που μπορεί να λάβει ο παράγοντας κυμαίνονται από 0.0 στην περίπτωση απουσίας τεκτονικής δραστηριότητας (θέση ποταμού στη μέση της λεκάνης), έως 1.0 όταν υπάρχει έντονη τεκτονική δραστηριότητα στη περιοχή (θέση ποταμού κοντά στον υδροκρίτη).

Για τον υπολογισμό του παράγοντα εγκάρσιας συμμετρίας απομονώθηκαν οι κύριοι κλάδοι των λεκανών και επιλέχθηκε το πιο αντιπροσωπευτικό σημείο αυτών ώστε να μετρηθούν οι αποστάσεις Δα και Δd. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων φαίνονται στον χάρτη του σχήματος 78 και στον πίνακα VIII.



**Σχ. 78:** Χάρτης των αποτελεσμάτων υπολογισμού του παράγοντα εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας.

# ΠΙΝΑΚΑΣ VIII

Αριθμός	Παράγοντας εγκάρσιας
λεκάνης	συμμετρίας
1	0,233
2	0,514
3	0,493
4	0,407
5	0,053
6	0,241
7	0,437
8	0,345
9	0,076
10	0,150
11	0,394
12	0,310
13	0,080
14	0,236
15	0,247
16	0,237
17	0,237
18	0,294
19	0,183
20	0,299
21	0,367
22	0,539
23	0,304
24	0,415
25	0,230
26	0,479
27	0,363
28	0,121
29	0,114
30	0,666
31	0,425
32	0,311
33	0,240
34	0,528
35	0,351
36	0,195
37	0,280
38	0,215
39	0,342
40	0,357

41	0,398
42	0,323
43	0,070
44	0,349
45	0,183
46	0,101
47	0,382
48	0,310
49	0,407
50	0,536
51	0,417
52	0,200
53	0,344
54	0,405
55	0,382
56	0,363
57	0,232
58	0,232
59	0,345

Η λεκάνη 3 εμφανίζει μεγάλη τιμή λόγω της παρουσίας των ρηγμάτων Καλλιθέας και Μαυροβουνίου, ενώ οι υψηλές τιμές των λεκανών 30, 34 και 50 πιθανώς να οφείλονται σε μη τεκτονικά αίτια λόγω του διαφορετικού προσανατολισμού των κύριων κλάδων των ρεμάτων με τις παρατάξεις των ρηγμάτων Δάφνης και Αρμακά.

### 4.5.4 Υψομετρική Καμπύλη (Hypsometric Curve)

Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης

### (Strahler 1952, Mayer 1990, Keller & Pinter 1996, 2003)

Η υψομετρική καμπύλη εκφράζει την κατανομή των υψομέτρων σε μια περιοχή. Για τον υπολογισμό της χρειάζεται ο υπολογισμός του σχετικού υψομέτρου h/H και του σχετικού εμβαδού a/A. Ο τρόπος έκφρασης της υψομετρικής καμπύλης φαίνεται στο σχήμα 79. Σ' αυτό, η λεκάνη απορροής χωρίζεται σε 7 ίσα μέρη ως προς το υψόμετρο (8 ισοϋψείς). Το υψόμετρο H είναι η υψομετρική διαφορά της λεκάνης (από τη βάση της ως το υψηλότερο σημείο). Το υψόμετρο h είναι το ύψος της βάσης κάθε τμήματος από τη βάση της λεκάνης. Το εμβαδό Α είναι το συνολικό εμβαδό της λεκάνης και το εμβαδό a είναι το εμβαδό της επιφάνειας που βρίσκεται από το υψόμετρο h μέχρι το ανώτερο σημείο της λεκάνης. Επομένως, το σχετικό εμβαδό θα κυμαίνεται από 1.0 στο κατώτερο σημείο της λεκάνης έως 0.0 στο ανώτερο (όπου h/H=1.0). Η υψομετρική καμπύλη μας βοηθάει στην αντικειμενική σύγκριση λεκανών εφόσον είναι ανεξάρτητη του μεγέθους των λεκανών, του αναγλύφου και της κλίμακας του χάρτη.



**Σχ. 79:** Τρόπος υπολογισμού της υψομετρικής καμπύλης (Keller & Pinter 1996 τροποποιημένο από Παυλίδης 2003).

Για τη κατασκευή της υψομετρικής καμπύλης κάθε λεκάνης πραγματοποιήθηκαν τα παρακάτω βήματα:

Από την εφαρμογή 3D Analyst δημιουργήθηκαν αρχεία TIN, ένα για κάθε λεκάνη (tin1-59), τα οποία μετατράπηκαν σε tingrid (δηλαδή raster). Η περιοχή δειγματοληψίας (Cell size) κάθε φορά ήταν η μικρότερη δυνατή σύμφωνα πάντα με τις δυνατότητες του ηλεκτρονικού υπολογιστή που χρησιμοποιήθηκε. Έπειτα για κάθε grid έγινε κατηγοριοποίηση (classification) ανά 20m, δηλαδή έγινε η τμηματοποίηση της λεκάνης βάσει της ισοδιάστασης των 20m του χάρτη (σχήμα 81). Επόμενο βήμα ήταν η εξαγωγή των στατιστικών αποτελεσμάτων για κάθε ζώνη κάθε λεκάνης μέσω της εφαρμογής Spatial Analyst και την εντολή Zonal Statistics. Με τον τρόπο αυτό υπολογίστηκε το εμβαδό κάθε ζώνης. Έτσι φτιάχτηκαν τα διαγράμματα του εμβαδού κάθε ζώνης ανά 20m (σχήμα 82) και τέλος οι υψομετρικές καμπύλες (σχήμα 83).



Σχ. 80: Παραδείγματα από τρία διαφορετικά σχήματα υψομετρικής καμπύλης και συνεπώς διαφορετικών τιμών υψομετρικού ολοκληρώματος (Keller & Pinter 1996, 2003). Στην περίπτωση (a) η υψηλή τιμή του ολοκληρώματος δείχνει επίπεδο μορφολογικό ανάγλυφο που κόβεται από απότομες βαθιές κοιλάδες σχήματος V. Στην περίπτωση (c) όπου το ολοκλήρωμα έχει χαμηλή τιμή, η κοιλάδα έχει σχήμα U.



**Σχ. 81:** Ο διαχωρισμός – κατηγοριοποίηση (classification) κάθε λεκάνης σε ζώνες ανά 20m υψομέτρου, έγινε για τη κατασκευή της υψομετρικής καμπύλης.













n 160 180 200 220 240 260 280 300 320 340 360 380 400 420 440 Εμβαδό ανά 20m









Λεκάνη 10

Εμβαδό ανά 20m

















Λεκάνη 11

Εμβαδό ανά 20m

160 180

220 240 260

150000-

Λεκάνη 13

é

g









Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης



Εμβαδό ανά 20m

613,312

 380 420 460

240 280 320 360 400 440 480 520

Εμβαδό ανά 20m







5675



220 260 300 340 380 420 460 500 540

Εμβαδό ανά 20m

140 180















Σχ. 82: Διαγράμματα εμβαδού κάθε ζώνης ανά 20m υψομέτρου.



Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" 175 μημα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.



Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" 1 Αμμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.



Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" 1 βμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

0,8

0,8

0,8

0,8

8,0



Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" 17βημα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.



Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" 1 Αθημα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.



Σχ. 83: Οι υψομετρικές καμπύλες για τις 59 λεκάνες.

Με παρόμοιο τρόπο κατασκευάστηκαν το διάγραμμα εμβαδού κάθε ζώνης και η υψομετρική καμπύλη (σχήμα 85) για τη συνολική λεκάνη, με τις παρακάτω διαφορές:

- η μετατροπή του TIN σε Raster έγινε χρησιμοποιώντας μέγεθος ψηφίου
δειγματοληψίας τα 8m (Cell size = 8)

- ο χωρισμός της λεκάνης έγινε σε 20 ίσα τμήματα βάσει του υψομέτρου.



**Σχ. 84:** Κατηγοριοποίηση της λεκάνης του Ασωπού στη περιοχή μελέτης σε ζώνες ανά 20m υψομέτρου.



**Σχ. 85:** (A) Διάγραμμα εμβαδού κάθε ζώνης ανά 20m υψομέτρου της λεκάνης του Ασωπού στη περιοχή μελέτης, και (B) η υψομετρική καμπύλη της ίδιας λεκάνης.

### 4.5.5 Υψομετρικό Ολοκλήρωμα (Hypsometric Integral)

(Strahler 1952, Pike & Wilson 1971, Mayer 1990, Keller & Pinter 1996, 2003)

Το υψομετρικό ολοκλήρωμα, ως μαθηματική έκφραση, είναι το εμβαδό της υψομετρικής καμπύλης. Μπορεί να υπολογιστεί όμως και από τον τύπο

Η= (μέσο υψόμετρο - ελάχιστο υψόμετρο) / (μέγιστο υψόμετρο - ελάχιστο υψόμετρο)

Όλα τα παραπάνω στοιχεία υπολογίστηκαν από τα δεδομένα που προκύπτουν από την εκτέλεση της εντολής Zonal Statistics (εφαρμογή Spatial Analyst), χρησιμοποιώντας το grid που δημιουργήθηκε για όλες τις λεκάνες και την κατηγοριοποίηση ανά λεκάνη. Οι υψηλές τιμές του ολοκληρώματος αντιπροσωπεύουν υψηλή τοπογραφία σε σχέση με τη μέση τιμή υψομέτρου της περιοχής, όπως συμβαίνει σε περιοχές με ομαλό ανάγλυφο που κόβονται από βαθιές και απότομες κοιλάδες (χαράδρες), ενώ οι χαμηλές αντιπροσωπεύουν περιοχές με ακόμα περισσότερες χαράδρες και βαθιές χαράδρες (πίνακας ΙΧ και σχήμα 86). Το υψομετρικό ολοκλήρωμα αποτελεί και δείκτη για τα στάδια εξέλιξης μιας κοιλάδας. Υψηλές τιμές δείχνουν ότι η κοιλάδα βρίσκεται σε στάδιο νεότητας, ενδιάμεσες σε στάδιο ωρίμανσης, ενώ το στάδιο γήρανσης δεν προκαλεί περεταίρω αλλαγές στη τιμή του ολοκληρώματος. Άρα λοιπόν, έμμεσα μπορεί να γίνει διαχωρισμός τεκτονικά ενεργών και ανενεργών περιοχών.

Αριθμός λεκάνης	Ελάχιστο υψόμετρο	Μέγιστο υψόμετρο	Μέσο υψόμετρο	Τιμή υψομετρικού ολοκληρώματος
1	240,00	540,00	306,780	0,223
2	240,00	340,00	284,960	0,450
3	180,00	600,00	325,474	0,346
4	237,70	300,00	266,958	0,470
5	200,00	320,00	260,303	0,503
6	180,00	360,00	259,312	0,441
7	180,00	440,00	277,781	0,376
8	160,00	440,00	288,008	0,457
9	160,00	280,00	218,810	0,490
10	160,00	280,00	220,319	0,503
11	160,00	260,00	202,824	0,428
12	120,00	360,00	205,951	0,358
13	120,00	460,00	273,938	0,453
14	100,00	320,00	193,668	0,426
15	100,00	360,00	221,600	0,468
16	100,00	340,00	206,967	0,446
17	100,00	440,00	190,567	0,266
18	80,00	140,00	115,158	0,586
19	80,00	140,00	110,352	0,506
20	60,00	160,00	112,601	0,526
21	60,00	160,00	103,096	0,431
22	60,00	140,00	98,775	0,485
23	60,00	140,00	108,936	0,612
24	49,85	140,00	110,996	0,678
25	40,00	140,00	89,491	0,495
26	40,00	140,00	97,563	0,576
27	40,00	140,00	94,404	0,544
28	40,00	120,00	79,366	0,492
29	20,00	140,00	77,831	0,482
30	240,00	900,00	533,812	0,445
31	240,00	360,00	280,711	0,339
32	240,00	441,45	314,826	0,371
33	220,00	540,00	371,579	0,474
34	220,00	612,90	428,227	0,530
35	220,00	680,00	466,689	0,536
36	180,00	680,00	374,749	0,389
37	180,00	680,00	403,448	0,447

### ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΧ
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜ	ΙΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης	Σωτήριος Π. Σμπόρας

38	160,00	360,00	282,662	0,613
39	120,00	340,00	264,355	0,656
40	120,00	340,00	251,424	0,597
41	120,00	300,00	230,487	0,614
42	120,00	540,00	325,936	0,490
43	120,00	220,00	172,400	0,524
44	120,00	240,00	189,132	0,576
45	120,00	240,00	196,080	0,634
46	120,00	240,00	165,375	0,378
47	100,00	925,00	499,618	0,484
48	80,00	580,00	312,616	0,465
49	80,00	452,48	176,092	0,258
50	80,00	500,00	194,877	0,274
51	80,00	120,00	94,396	0,360
52	60,00	120,00	99,066	0,651
53	60,00	120,00	94,050	0,568
54	60,00	100,00	79,239	0,481
55	40,00	117,43	69,612	0,382
56	45,72	1400,00	610,794	0,417
57	48,17	920,00	261,541	0,245
58	40,00	280,00	149,181	0,455
59	20,00	320,00	170,579	0,502

Οι λεκάνες 1,3,17,49,50,56 και 57, σύμφωνα με τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα, παρουσιάζουν χαμηλές τιμές υψομετρικού ολοκληρώματος. Σύμφωνα με τα παραπάνω, αυτό σημαίνει ότι οι περιοχές αυτές παρουσιάζουν ομαλό ανάγλυφο που κόβεται από πολλές απότομες κοιλάδες. Οι λεκάνες αυτές περιλαμβάνουν σχεδόν όλες τις μεγάλες τεκτονικές δομές (ρήγματα Τανάγρας, Καλλιθέας – Μαυροβουνίου, Αρμακά, Κορυφούλας και Αυλώνα) που παρουσιάζονται ως ενεργές.

Ομοίως υπολογίστηκε το υψομετρικό ολοκλήρωμα της μεγάλης λεκάνης:

#### H = 0.234

Η χαμηλή τιμή του υψομετρικού ολοκληρώματος οφείλεται στις μεγάλες πεδινές εκτάσεις των Άνω-Μειοκαινικών λεκανών Σχηματαρίου και Αυλώνα.

## ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης Σωτήριος Π. Σμπόρας



**Σχ. 86:** Χάρτης απεικόνισης των αποτελεσμάτων του υψομετρικού ολοκληρώματος κάθε λεκάνης.

**4.5.6** Λόγος πλάτους κοιλάδας προς ύψος (Ratio of Valley – Floor Width to Valley Height) (Bull 1977, 1978, Keller & Pinter 1996, 2003)

Ο δείκτης αυτός προκύπτει από τη δημιουργία τοπογραφικής τομής εγκάρσια στο μήκος ενός ποταμού ή ρέματος (σχήμα 87) και από τον υπολογισμό της σχέσης

$$V_{\rm f} = \frac{2\Pi}{(h_1 - h_3) + (h_2 - h_3)},$$

όπου Πείναι το πλάτος της κοιλάδας,  $h_1$ ,  $h_2$  τα υψόμετρα του υδροκρίτη εκατέρωθεν της κοίτης και  $h_3$  η τοπογραφική διαφορά της κοιλάδας.



Σχ. 87: Αριστερά: παράδειγμα τοπογραφικού χάρτη βαθειάς κοιλάδας με τη θέση μιας εγκάρσιας τομής. Δεξιά: τοπογραφική τομή AB. (Keller & Pinter 1996 τροποποιημένο από Παυλίδης 2003)

Από τα αποτελέσματα του δείκτη μπορούν να διαφοροποιηθούν τα πλατιά σε σχήμα φαράγγια (*canyons*) τα οποία παρουσιάζουν σχετικά υψηλές τιμές, από τις κοιλάδες σχήματος V που παρουσιάζουν τιμές χαμηλότερες. Επίσης, μεγάλες τιμές του λόγου συνδέονται με μικρούς ρυθμούς ανύψωσης (*uplift rates*) σε αντίθεση με τις μικρές τιμές που αντιπροσωπεύουν απότομες κοιλάδες που συνδέονται συνήθως με ανύψωση (*uplift*).

Οι τομές σε κάθε λεκάνη, με τη βοήθεια των οποίων μετρήθηκαν οι συντελεστές του λόγου, επιλέχθηκαν (όπου ήταν δυνατόν) σε τοπογραφικά ανώτερες θέσεις απ' αυτές των ρηγμάτων. Με αυτόν τον τρόπο τα αποτελέσματα έγιναν πιο αντιπροσωπευτικά εφόσον τα ενεργά ρήγματα στην περιοχή είναι μεταπτωτικά (κανονικά) και τα ανερχόμενα τεμάχη (footwall) καταλαμβάνουν κυρίως τα βουνά και τα εξάρματα. Επίσης, έγινε προσπάθεια επιλογής του κυρίου κλάδου και μάλιστα σε τέτοιο σημείο ώστε να έχουν ενωθεί οι επιμέρους κλάδοι. Ωστόσο υπάρχει η πιθανότητα σφάλματος σε αρκετές λεκάνες, ιδίως στις πολύ μικρές. Αυτό συμβαίνει διότι τα πλάτη και τα υψόμετρα δεν ήταν δυνατόν να μετρηθούν με μεγάλη ακρίβεια λόγω της έλλειψης πληροφοριών που οφείλονται στην κλίμακα του πρωτογενούς χάρτη (1:50000). Τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα X και στο σχήμα 88.

Αριθμός λεκάνης	Υψόμετρο αριστερού υδροκρίτη	Υψόμετρο δεξιού υδροκρίτη	Πλάτος λεκάνης	Υψόμετρο μισγάγγειας	Vf
1	290	290	492,0	250	12,30
2	310	285	177,9	257	4,39
3	450	282	87,0	220	0,60
4	297	268	140,5	236	3,02
5	295	304	118,0	210	1,32
6	250	254	57,7	232	2,89
7	283	273	58,0	213	0,89
8	240	280	55,8	173	0,64
9	200	220	102,8	172	2,71
10	220	200	60,0	168	1,43
11	160	150	45,0	147	5,63
12	186	250	89,0	135	1,07
13	208	202	200,0	154	3,92
14	174	182	94,0	118	1,57
15	207	173	68,8	134	1,23
16	200	200	69,0	136	1,08
17	142	283	723,0	108	6,92
18	85	84	60,0	77	8,00
19	105	102	140,0	92	12,17
20	100	94	194,0	75	8,82
21	104	104	86,0	88	5,38
22	115	94	55,0	78	2,08
23	130	104	78,0	74	1,81
24	128	120	98,0	68	1,75
25	70	100	44,0	58	1,63
26	122	70	62,0	66	2,07
27	86	80	79,0	54	2,72

### ΠΙΝΑΚΑΣ Χ

28	58	70	40,0	38	1,54
29	44	42	89,0	18	3,56
30	604	388	42,2	336	0,26
31	280	283	92,0	253	3,23
32	367	383	36,0	337	0,95
33	383	349	60,3	312	1,12
34	380	380	37,7	317	0,60
35	462	405	270,0	362	3,78
36	382	410	43,5	257	0,31
37	304	299	38,0	218	0,46
38	278	267	92,0	203	1,32
39	220	181	61,0	150	1,21
40	200	220	52,0	154	0,93
41	191	205	32,0	155	0,74
42	294	244	105,0	215	1,94
43	150	158	36,0	134	1,80
44	150	210	46,0	135	1,02
45	165	150	59,0	130	2,15
46	180	148	35,0	130	1,03
47	244	254	121,0	174	1,61
48	248	230	58,0	190	1,18
49	245	210	201,0	156	2,81
50	180	218	128,0	156	2,98
51	84	100	107,0	82	10,70
52	107	103	134,0	97	16,75
53	83	85	115,0	70	8,21
54	65	64	110,0	57	14,67
55	80	60	89,0	56	6,36
56	322	384	49,0	215	0,36
57	446	512	40,0	316	0,25
58	80	80	84,0	50	2,80
59	140	160	53,0	112	1,39

Οι πολύ μικρές τιμές που παρατηρούνται στις λεκάνες 30,56 και 57 δείχνουν μια μεγάλη κατά βάθος διάβρωση λόγω ανύψωσης (uplift) που οφείλεται στο ρήγμα Δάφνης (λεκάνη 30) και στα παράλληλα ρήγματα Αρμακά, Κορυφούλας και Αυλώνα για τις λεκάνες 56 και 57. Το ρήγμα Αρμακά, παρόλο που διέρχεται και από τις λεκάνες 49 και 50, φαίνεται ότι δεν τις επηρεάζει. Αυτό ίσως οφείλεται στο ότι το ρήγμα βρίσκεται πολύ κοντά στα ανώτερα επίπεδα των λεκανών (ανάντη) όπου το υδρογραφικό δίκτυο δεν έχει αναπτυχθεί.



**Σχ. 88:** Χάρτης απεικόνισης των αποτελεσμάτων του δείκτη του λόγου πλάτους κοιλάδας προς ύψος

# 4.5.7 Δαντέλωση στους πρόποδες βουνών (Mountain-front Sinuosity) (Bull 1977, 1978, Keller & Pinter 1996, 2003)

Ο δείκτης της δαντέλωσης αντιπροσωπεύει την σχέση μεταξύ της διάβρωσης και των τεκτονικών δυνάμεων. Όταν τα ρήγματα είναι ενεργά, το ανάγλυφο στους πρόποδες των βουνών παρουσιάζεται ευθύγραμμο και αρκετά επίπεδο χωρίς ιδιαίτερες ανωμαλίες. Αυτό φαίνεται στους τοπογραφικούς χάρτες εύκολα, όταν οι ισοϋψείς είναι αρκετά ευθύγραμμες δημιουργώντας μια ομαλή επιφάνεια. Μετά τη δραστηριοποίηση του ρήγματος όμως, η διάβρωση αρχίζει να διαβρώνει το ομαλό πρανές που έχει δημιουργηθεί, σχηματίζοντας συνήθως μικρές εγκάρσιες κοιλάδες. Η ευθύγραμμη μορφή, λοιπόν, των ισοϋψών αλλάζει. Όσο το ρήγμα παραμένει αδρανές (μικρή ή μηδενική ανύψωση, μεγάλο διάστημα επαναδραστηριοποίησης) τόσο οι κοιλάδες μεγαλώνουν και βαθαίνουν με αποτέλεσμα οι ισοϋψείς να απέχουν πολύ από την ευθύγραμμη μορφή τους.



**Σχ. 89:** Απεικόνιση του τρόπου υπολογισμού της δαντέλωσης στους πρόποδες βουνών (Keller & Pinter 1996 τροποποιημένο από Παυλίδης 2003).

Το αποτέλεσμα της παραπάνω διεργασίας μπορεί να εκφραστεί με τον τύπο της δαντέλωσης:

$$S = \frac{L}{l}$$
,

όπου L είναι το μήκος μιας χαρακτηριστικής ισοϋψούς στους πρόποδες του βουνού και l είναι το μήκος του ευθύγραμμου τμήματος που συνδέει τα άκρα της ισοϋψούς (σχήμα 89). Οι μετρήσεις είναι πιο ακριβείς όταν χρησιμοποιούνται χάρτες μεγάλης κλίμακας.

Τα πεδία τιμών της δαντέλωσης είναι 1.0 έως 1.6 στην περίπτωση που υπάρχουν ενεργά ρήγματα, 1.6 έως 3.0 στα λιγότερο ενεργά ρήγματα, και 1.8 έως >5 όταν τα ρήγματα είναι ανενεργά (Παυλίδης 2003). Ωστόσο οι τιμές επηρεάζονται σημαντικά από την κλίμακα του χάρτη.

Η μέτρηση της δαντέλωσης στην υπό μελέτη περιοχή δεν ήταν εφικτή σε όλα τα ρήγματα, λόγω αφενός της θέσης τους (μακριά από πρόποδες βουνών) και αφετέρου του μεγέθους τους (για τη πρωτογενή κλίμακα χαρτών που χρησιμοποιήθηκαν – 1:50,000). Σχετικά με τη μεθοδολογία υπολογισμού, επιλέχθηκαν οι ισοϋψείς που βρίσκονταν όσο το δυνατόν πλησιέστερα στο χαρτογραφημένο ρήγμα. Έπειτα μετρήθηκε το μήκος αυτών (από το πεδίο SHAPE\_LENGTH που αυτόματα δημιουργεί το ArcMap για κάθε αντικείμενο που εισάγεται) χρησιμοποιώντας ως άκρα τα άκρα του ρήγματος. Αφού μετρήθηκε και η ευθεία που ενώνει τα δύο αυτά σημεία, έγινε ο υπολογισμός της δαντέλωσης και τα αποτελέσματα τοποθετήθηκαν στους χάρτες των σχημάτων 91 και 92.

Όλα τα αποτελέσματα ανήκουν στο πεδίο τιμών 1.0 – 1.6, οπότε μπορούν να χαρακτηρισθούν ενεργά. Τα ρήγματα Ασωπίας, Μαυροβουνίου, Μεγάλου Σχίνου και Καλλιθέας παρουσιάζουν τις μικρότερες τιμές.



Σχ. 90: Χάρτης κύριων ρηγμάτων και του δείκτη δαντέλωσης (ανατολική πλευρά περιοχής μελέτης). Τ=ρήγμα Τανάγρας, Κα=ρήγμα Καλλιθέας, Μν=ρήγμα Μαυροβουνίου, Ms=ρήγμα Μεγ. Σχίνου, Αs=ρήγμα Ασωπίας.



Σχ. 91: Χάρτης κύριων ρηγμάτων και του δείκτη δαντέλωσης (δυτική πλευρά περιοχής μελέτης). Τ=ρήγμα Τανάγρας, Αr=ρήγμα Αρμακά, Κ=ρήγμα Κορυφούλας, Αv=ρήγμα Αυλώνα.

## 4.5.8 Μήκος Ρέματος – Δείκτης κλίσης (Stream Length – Gradient Index) (Hack 1973, Keller & Pinter 1996, 2003)

Ο δείκτης κλίσης του ρέματος δείχνει την αλλαγή στην κλίσης που μπορεί να υπάρχει κατά μήκος ενός ποταμού και εκφράζεται από τη σχέση:

$$SL = \frac{\Delta H}{\Delta L} \cdot L$$
,

όπου ΔΗ/ΔL είναι η κλίση σε ένα τμήμα του ρέματος (ΔΗ είναι η υψομετρική διαφορά και ΔL το αντίστοιχο μήκος), και L είναι το μήκος του ρέματος (ή ποταμού) από το μέσο του τμήματος ως το υψηλότερο σημείο στα ανάντη. Μεγάλη διαφορά τιμών κατά μήκος του ρέματος (ουσιαστικά αλλαγή στη κλίση) μπορεί να σημαίνει πιθανή τεκτονική δράση. Οι πιο χρήσιμες κλίμακες είναι οι μικρές (1:250'000) που καλύπτουν μεγάλες περιοχές και ποταμούς μεγάλου μήκους. Γι' αυτό στην περίπτωση της περιοχής μας ο δείκτης χρησιμοποιήθηκε κυρίως για τον Ασωπό ποταμό. Λόγω όμως της έκτασης του ποταμού πέρα από τα όρια της περιοχής, υπολογίστηκε μόνο για το μήκος του που βρίσκεται μέσα σ' αυτή.

Η μέθοδος υπολογισμού βασίστηκε στην εφαρμογή επέκτασης Easy Profiler. Με την εφαρμογή αυτή κατασκευάζεται τοπογραφική τομή χρησιμοποιώντας δεδομένα για το υψόμετρο από το επίπεδο των ισοϋψών (contours Feature Class). Όσο για το μήκος (x άξονας) χρησιμοποιήθηκε ο ίδιος ο Ασωπός ποταμός (η γραμμή ψηφιοποιήσης από το επίπεδο δεδομένων του υδρογραφικού δικτύου – Drainage Feature Class) που σημαίνει ότι το μήκος αποδίδεται με μεγάλη ακρίβεια. Το χαρακτηριστικό της εφαρμογής Easy Profiler είναι ότι για την κατασκευή της τομής δημιουργεί ένα shapefile με τα σημεία όπου η διαδρομή συναντά τις πληροφορίες υψομέτρου (δηλαδή στην προκειμένη περίπτωση τις ισοϋψείς) (σχήμα 92). Οι πληροφορίες που περιέχει το shapefile για τα σημεία είναι οι συντεταγμένες τους, το υψόμετρο και η απόστασή τους από την αρχή της διαδρομής. Αξιοποιώντας τα δεδομένα αυτά υπολογίστηκε (με τη βοήθεια της εφαρμογής Excel του πακέτου προγραμμάτων Microsoft Office) ο δείκτης για κάθε τμήμα μεταξύ των σημείων και προέκυψαν οι τιμές που φαίνονται στο σχήμα 93.

Όλα σχεδόν τα τμήματα του ποταμού παρουσιάζουν τιμές μέχρι 200. Ένα τμήμα όμως, περίπου στο μέσο της διαδρομής, έχει πολύ μεγάλη τιμή (1250) (σχήματα 92, 93). Στο σημείο αυτό η κοιλάδα στενεύει σημαντικά. Αυτό πιθανώς να οφείλεται σε τεκτονική δράση. Παρόλο που στη συγκεκριμένη περιοχή δεν εντοπίστηκε κάποια μεγάλη τεκτονική δομή, παρατηρήθηκαν μικρές δομές που βρίσκονται στην προέκταση του ρήγματος Μαυροβουνίου προς τα ΝΑ και ίσως επηρεάζονται από αυτό.



**Σχ. 92:** Παράδειγμα υπολογισμού του δείκτη κλίσης σε ένα τμήμα του Ασωπού ποταμού χρησιμοποιώντας την εφαρμογή Easy Profiler. Η τοπογραφική τομή δεν είναι ευθεία γραμμή αλλά ακολουθεί πιστά την πορεία του ποταμού. Γι' αυτό το λόγο επιλέχτηκε το επίπεδο πληροφοριών του ίδιου του ποταμού (μπλε γραμμή), ενώ για τη δειγματοληψία του υψομέτρου χρησιμοποιήθηκε το επίπεδο πληροφοριών των ισοϋψών, δηλαδή ανά 20μ υψομέτρου. Δημιουργείται με τον τρόπο αυτό ένας συνδυαστικός πίνακας πληροφοριών του ποταμού και των ισοϋψών, με αποτέλεσμα να γνωρίζουμε κάθε φορά τις συντεταγμένες, το υψόμετρο και την απόσταση (έντονα μαύρα γράμματα) των σημείων τομής ποταμού – ισοϋψών (κόκκινες τελείες) από την αρχή της δειγματοληψίας. Η 2<sup>η</sup> και 3<sup>η</sup> τελεία οριοθετούν το τμήμα στο οποίο παρουσιάζεται μεγάλη διαφορά τιμής του δείκτη κλίσης.



**Σχ. 93:** Τοπογραφική τομή κατά μήκος του Ασωπού ποταμού και η τιμή του δείκτη κλίσης για κάθε τμήμα του. Η περιοχή στην οποία εμφανίζεται η υψηλή τιμή 1250 φαίνεται στο σχήμα 92.

## 4.6 Εκτίμηση σεισμικού δυναμικού των ρηγμάτων

Για την εκτίμηση του σεισμικού δυναμικού των ρηγμάτων που καταγράφηκαν στη περιοχή, χρησιμοποιήθηκαν οι εμπειρικές σχέσεις μήκους ρήγματος – μέγεθος σεισμού των Wells & Coppersmith (1994), Ambraseys & Jackson (1998) και Pavlides & Caputo (2004). Τα μήκη ρηγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν αφορούν τα επιφανειακά μήκη, όπως αυτά καταγράφηκαν κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Στις παρενθέσεις αναφέρονται οι ακραίες τιμές.

ΠΙΝΑΚΑΣ Χ
-----------

	Μήκος ρήγματος σε km	Wells & Coppersmith (1994)	Ambraseys & Jackson (1998)	Pavlides & Caputo (2003)
ρήγμα Τανάγρας	16.5	6.5 (± 0.6)	6.5	6.6 (± 0.5)
ρήγμα Μεγάλου Σχίνου	6.5	5.9 (± 0.5)	6.1	6.2 (± 0.7)
ρήγμα Ασωπίας	1.2	5.0 (± 0.3)	5.2	5.6 (± 0.5)
ρήγμα Ασωπού	<b>5.0</b> (?)	5.8 (± 0.5)	5.9	6.1 (± 0.3)

ρήγμα Αρμακά	7.0	6.0 (± 0.6)	6.1	6.2 (± 0.3)
ρήγμα	2.7	<b>5.4 (± 0.5)</b>	5.6	5.9 (± 0.5)
Κορυφούλα				
ρήγμα	4.8	5.8 (± 0.6)	5.9	6.1 (± 0.5)
Καλλιθέας				
ρήγμα	3.9	5.6 (± 0.5)	5.8	6.0 (± 0.5)
Μαυροβουνίου				
ρήγμα	10.8	6.2 (± 0.6)	6.3	6.4 (± 0.4)
Καλλιθέας &				
Μαυροβουνίου				

(?) Το μήκος του ρήγματος του Ασωπού συμπεριλαμβάνει και την πιθανή προέκτασή του προς τα δυτικά.

Wells & Coppersmith:  $Mw = 4.86 + 1.32 \log L$  ( $Mw = 4.52 + 1.06 \log (L) \kappa \alpha Mw$ )

= 5,20 + 1,58log(L))

## Ambraseys & Jackson: Ms = 5.13 + 1.14logL

**Pavlides & Caputo:**  $Ms = 5.48 + 0.9 \log L$  ( $Ms = 1,42 \log(L) + 4,36 \kappa \alpha Ms = 1,21$ 

log(L) + 5,48)

## κεφαλαίο 5

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η αναγνώριση και καταγραφή των τεκτονικών δομών στη περιοχή Τανάγρας – Ασωπίας – Αυλώνα επιτεύχθηκε με τη χαρτογράφηση υπαίθρου. Η μορφοτεκτονική ανάλυση που ακολούθησε βοήθησε στην επιβεβαίωση των υπαίθριων παρατηρήσεων και στην κατανόηση των τεκτονικών κινήσεων. Σημαντικό ρόλο στην έρευνα είχε και η χρήση της δορυφορικής εικόνας στην τρισδιάστατη απεικόνιση του αναγλύφου

Η υπαίθρια παρατήρηση των ρηγμάτων και τα αποτελέσματα της ανάλυσης των μορφοτεκτονικών δεικτών συγκλίνουν στην άποψη ότι στην περιοχή υπάρχουν νεοτεκτονικές δομές με ενδείξεις σχετικά πρόσφατων τεκτονικών κινήσεων χωρίς όμως να παρουσιάζουν συχνή σεισμική δραστηριότητα. Τα κανονικά ρήγματα με παράταξη ΔΒΔ-ΑΝΑ προκάλεσαν τον σχηματισμό παράλληλων τεκτονικών τάφρων και κεράτων. Τα τεκτονικά κέρατα συνίστανται από ασβεστόλιθους ενώ τα πρόσφατα ιζήματα καταλαμβάνουν τις ταπεινές περιοχές των τάφρων. Μικρά εξάρματα μέσα στις τάφρους πιθανώς να οφείλονται σε διαφορές λιθολογικής σύστασης. Το υδρογραφικό δίκτυο έχει επηρεαστεί κυρίως από τα ρήγματα και λιγότερο από λιθολογικούς παράγοντες. Ο Ασωπός ποταμός παρουσιάζει πολλές αλλαγές στη διεύθυνση κοίτης του, ενώ η περιοχή που διαρρέει από τη Δάφνη έως τον Αγ. Θωμά παρουσιάζει έντονο ανάγλυφο.

Το σύστημα ρηγμάτων Αυλώνα – Κορυφούλας – Αρμακά, το ρήγμα Καλλιθέας – Μαυροβουνίου και το ρήγμα Ασωπίας – Ασωπού εμφανίζουν

στοιχεία πρόσφατης τεκτονικής δραστηριότητας. Οι τιμές των μορφοτεκτονικών δεικτών ενισχύουν την άποψη αυτή. Τα ρήγματα Τανάγρας και Μεγάλου Σχίνου παρουσιάζουν ήπιες ενδείξεις πρόσφατης τεκτονικής δραστηριότητας. Ιδιαίτερα για το ρήγμα της Τανάγρας, οι παράγοντες Ασυμμετρίας λεκάνης απορροής και Εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας δείχνουν ότι στη περιοχή δεν έχει συμβεί εδαφική περιστροφή με αποτέλεσμα το κύριο ρέμα να διασχίζει τη σχετική λεκάνη συμμετρικά. Επίσης, πρόσφατες ρηξιγενείς επιφάνειες απουσιάζουν. Τα αποτελέσματα όμως του δείκτη της Δαντέλωσης παρουσιάζουν το δυτικό τμήμα του ρήγματος της Τανάγρας ως την πιο ενεργή δομή έναντι των υπολοίπων ρηγμάτων. Το ρήγμα Ασωπίας θα μπορούσε οριακά να χαρακτηρισθεί ενεργό παρά το γεγονός ότι εμφανίζει μεγάλες κατοπτρικές ρηξιγενείς επιφάνειες. Στη περίπτωση όμως που το ρήγμα αυτό είναι συνέχεια του ρήγματος του Ασωπού, περίπτωση που ίσως είναι και η πιθανότερη, τότε οι μορφολογικές ενδείξεις, τα αποτελέσματα των δεικτών και η παρουσία όχι πολλών αλλά μεγάλων ρηξιγενών κατοπτρικών επιφανειών καθιστούν το ρήγμα Ασωπίας – Ασωπού ως ενεργό ρήγμα.

Μελετώντας τα αποτελέσματα των δεικτών και τις υπόλοιπες μορφολογικές ενδείξεις για τη συνολική λεκάνη της υπό μελέτης περιοχής, φαίνεται η βόρεια Πάρνηθα ανυψώνεται. Σ' αυτό συγκλίνουν και τα αποτελέσματα των μορφοτεκτονικών δεικτών Ασυμμετρίας λεκάνης απορροής και Εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας τα οποία δείχνουν ότι η λεκάνη παρουσιάζει εδαφική περιστροφή προς τα βόρεια με τον Ασωπό ποταμό να τη διαρρέει κοντά στο βόρειο όριό της.

Στο σύνολό τους, τα προαναφερθέντα ρήγματα θεωρούνται ενεργά εκτός από μερικά (Τανάγρας και Μεγάλου Σχίνου) που θεωρούνται πιθανώς ενεργά. Ο προσανατολισμός τους και η κινηματική τους συμπίπτουν με τη γενική διεύθυνση εφελκυσμού στην ευρύτερη περιοχή γεγονός που ενισχύει την άποψη αυτή. Ωστόσο είναι σημαντικό να γίνει μορφοτεκτονική ανάλυση και στην υπόλοιπη

περιοχή της ρηξιγενούς ζώνης για να υπάρξει μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα της περιοχής.

## **SUMMARY**

The region of Northern Parnitha is part of a broader tectonically active area that extends from Gulf of Corinth at the East to Southern Evoikos Gulf to the West. The whole area seems to be the eastern, but less active, extension of Corinthiakos Gulf. Although direction of extension is the same (N – S) the amount of lithospheric extension ( $\sigma_3$ ) is lower implying that seismicity is also diminished. Despite some strong seismic events (especially near the vicinity of Thebes), the broader region shows rare seismic activity.

The tectonic effects in morphology can be clearly observed on topographic maps. Three mountain chains in a straight line (Kitheron Mt, Pastra Mt and Parnitha Mt in order from the west to the east) represent the footwall while the Asopos valley represents the hangingwall. Asopos river flows parallel to the main fault system while secondary faults are responsible for small changes in its course.

The drainage system's pattern of the eastern part of Asopos valley at the northern foothills of Parnitha Mt, is affected by major active faults. In order to defend this assumption, research was divided in two different but necessary objectives: field mapping and calculation of some morphotectonic indices. Methodology is shortly described below.

Firstly, faults and general formations (alpine and post-alpine formations) had to be recognized and analyzed in field mapping in 1:50,000 scale. The following faults were searched and studied:

Tanagra fault, striking E-W to ESE-WNW and dipping to the north Kallithea – Mavrovouni fault, striking NW-SE and dipping to the southwest Megalos Skinos fault, striking WNW-ESE and dipping to the south Dafni fault, striking WSW-ENE and dipping to the north Asopia – Asopos fault, striking NW-SE and dipping to the southwest Avlonas fault, striking E-W and dipping to the north Armakas fault, striking WNW-ESE and dipping to the north

Korifoula fault, striking E-W and dipping to the north

After field mapping, all data were digitized using the GIS software ArcInfo (by ESRI). Topography digitization and basin separation followed so as to produce a Digital Elevation Model (59 basins were separated from river branches that are all flow down to Asopos river). One SPOT satellite image and several aerial photographs from the Hellenic Military Geographic Service were used to produce a DEM. Some more observations were made when DEM was completed which was helpful in making more conclusions about the region's geomorphology. However, the most important task was to calculate and interpret the following morphotectonic indices for each and total basin:

- Mean slope
- Asymmetry Factor
- Transverse Topographic Symmetry
- Hypsometric Curve
- Hypsometric Integral
- Ratio of Valley Floor Width to Valley Height
- Mountain-front sinuosity
- Stream Length Gradient Index

Results correspond to the initial assumptions about the faults' activity. Only the Tanagra fault seems to show low recent activity as there is no evidence for any ground tilting or stream direction change (basin no 17). On the other hand, the rest of the faults have a great impact to local morphology. However, in the case of Armakas and Avlonas faults, Asymmetry Factor implies the presence of antithetic structures dipping to the south at the southern side (basins 48 and 57 respectively). The shape of basin 48 is an other evidence as regards the Armakas fault. The possible presence of a fault is also suggested using the results from the same factor at the northern side of basins 20 - 24 which is parallel to sub-parallel to the local direction of Asopos river. The most characteristic values due to tectonic activity (table VII) where calculated in basin 3 (AF=19.84 which means leftward tilting) probably because of the uplifting of the footwall of Tanagra fault and the combined activity of Kallithea-Mavrovouni fault, basin 14 (AF=65.14 which means rightward tilting) because of the Megalos Skinos fault and basin 13 (AF=38.88 which means leftward tilting) because of the Asopia-Asopos fault. The total basin's value (AF=65.1) shows a northward tilting of the whole area.

Basin 3 also shows a great value of the Transverse Topographic Symmetry (0.493 – table VIII) since Sklirorema river is flowing near the southern margin of the basin. The reasons that caused this are the same with the ones explained before. The total basin's asymmetry is obvious where Asopos river flows parallel to its northern side.

As long as it concerns the hypsometric integral, basins 1,3,17,49,50,56 and 57 which are associated with Tanagra, Kallithea-Mavrovouni, Armakas, Korifoula and Avlonas faults (fig. 86) show low values, that indicate a smooth upland surface cut by deeply incised streams. This is a characteristic topography of tectonically active regions.

Strong evidence of faults' activity was provided by Mountain-Front Sinuosity (fig 90-91). All faults have values greater than 1. Tanagra fault has the highest values (1.25 to 1.38) indicating high and recent activity contrary to the Asymmetry Factor's results. Similar results show Avlonas fault (1.35) and Armakas fault (1.27). Rest of the faults shows lower values although they are high enough to be characterized as active.

The drainage network is well developed to the south indicating that the northern part of Parnitha Mt is being uplifted. In conclusion, faults have created a pattern of parallel tectonic horns and grabens, affecting the drainage network and Asopos' main course.

## ПАРАРТНМА

### Νεοτεκτονικές μετρήσεις (οι θέσεις των οποίων φαίνονται στο σχήμα 46)

Ν1: Πρανές ύψους ~5m, παρουσία ρηξιγενούς επιφάνειας (καθρέπτη) με ρυτιδώσεις.

Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης	Γράμμωση
		(pitch)
046	85	$74\Delta$
038	84	$75\Delta$
041	82	
046	83	
043	81	
028	78	
039	80	72Δ
	L.	L.



Ν2: Ρηξιγενής επιφάνεια με γραμμώσεις ολίσθησης.

Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης	Γράμμωση (pitch)
241	70	11B
245	67	10B
242	65	14B
237	71	4B

Ν4: Ρήγμα Ασωπίας. Ρηξιγενής επιφάνεια με γραμμώσεις.

Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης	Γράμμωση (pitch)
235	41	
241	41	
249	51	
250	51	
251	51	
255	50	
208	43	88Δ
220	56	67A
214	47	73A

**Ν5:** Κανονικό ρήγμα παράταξης  $B\Delta - NA$  στο Κυρίκιο όρος (Τανάγρα) (φωτ 9).

Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης	Άξονας καμπύλωσης
153	64	
170	59	
175	43	
148	68	
169	56	$44\Delta$

Ν6: Ρηξιγενής επιφάνεια του ρήγματος της Τανάγρας.

Σωτήριος Π. Σμπόρας

Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης
073	67
071	70
067	71
070	69



Μικρή εμφάνιση ρηξιγενούς επιφάνειας του ρήγματος της Τανάγρας, πάνω από την οποία εμφανίζονται κροκαλοπαγή.

Ν7: Τεκτονική επαφή στο όριο της λεκάνης Τανάγρας με κλίση 154/31.

Ν9: Ρήγμα εντός των Νεογενών δίπλα στο λατομείο της Τανάγρας.

Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης
012	64
015	78

N10: Ρηξιγενής επιφάνεια ρήγματος «Ασωπού» με παρουσία γραμμώσεων ολίσθησης.

Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης	Γράμμωση (pitch)
222	85	$70\Delta$
217	85	$76\Delta$
200	88	82Δ (καμπύλωση)
202	86	89A
225	75	
197	76	
196	77	
193	79	81Δ
194	80	86Δ
191	89	83A
185	76	72A

Ν11: Διαβρωμένη ρηξιγενής επιφάνεια στο Κλειδί.

Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης
193	72
194	69
192	69

N12: Δευτερεύον ρήγμα δίπλα στο γήπεδο του Αγ. Θωμά με κατεύθυνση και γωνία κλίσης 048/69.

**N13:** Ρήγμα πιθανώς ενεργό με διαβρωμένο καθρέπτη σε επαφή με Νεόγενή βόρεια του Κλειδιού.

Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης
067	78
066	81
034	62

N14: Παρουσία τεκτονικού λατυποπαγούς (breccia) χωρίς την παρουσία ρηξιγενούς επιφάνειας.

Γενική κατεύθυνση και γωνία κλίσης πρανούς 038/52.

**N15:** Ρήγμα Αρμακά. Ρηξιγενής ασβεστολιθική επιφάνεια ύψους 6 – 8m με τραχύτητα και τεκτονικό λατυποπαγές.

Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης
062	70
051	67
050	79
056	68
055	71
052	77
084	70
081	69
094	79
080	82

Ν16: Ρήγμα Αρμακά (φωτ 34,35).

Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης
024	75
015	73
002	80
012	76
012	73
026	83
032	83

**N17:** Ρηξιγενής ασβεστολιθική επιφάνεια ύψους 1 – 2m με τεκτονικό λατυποπαγές (breccia), δυτικά του αντλιοστασίου του Αγ. Ιωάννη.

Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης	Γράμμωση (pitch)
324	54	
319	55	
329	60	
324	45	83Δ

309	40	84Δ
335	58	85Δ
348	55	
331	56	
330	52	
342	50	
326	56	
345	50	

**N19:** Ρήγμα Μεγάλου Σχίνου. Πρανές ύψους 6 – 8m με ρηξιγενή επιφάνεια μικρής τραχύτητας και καμπυλώσεις (φωτ 2,3,4,5,6).

Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης
179	76
190	64
188	62
175	61
186	62
191	64
183	66
193	64
204	66
202	64
30m ανατολικότερα	
179	71
178	69
177	70

N20: Ρήγμα «Μαυροβούνι – Χτένα» (φωτ. 43).

#### Στρωματογραφικές μετρήσεις (όπως φαίνονται στο σχήμα 46)

Σ1: Στρώση ασβεστόλιθου στη θέση παλαιού λατομείου.

Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης
252	14
265	19
253	15

Σ2: Ασβεστόλιθος κερματισμένος με επιφάνεια στρώσης: 329/51

Σ3: Παρουσία Νεογενών.

Σ4: Ασβεστόλιθος με στρώση:

Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης
334	45
319	32
327	42

Σ5: Ασβεστόλιθος στο λατομείο της Τανάγρας με στρώση: Κατεύθυνση κλίσης Γωνία κλίσης

Σωτήριος Π. Σμπόρας

327	45
323	42
334	41
321	56

Σ7: Στρώση Νεογενών στο «πέταλο»

Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης
024	43
035	32
009	18

Σ8: Στρώση Ασβεστόλιθου σε παλαιό λατομείο δίπλα στον δρόμο

Κατεύθυνση	κλίσης	Γωνία κλίσης
304		34
307		34
305		33

Σ9: Στρώση Ασβεστόλιθου (σκέλος πτυχής): 022/67

Σ10: Στρώση ασβεστόλιθου:

Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης
148	25
140	26

Σ11: Στρώση λεπτοπλακώδους Ασβεστόλιθου (8-22 εκ πάχος)

Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης
326	23
317	24

**Σ12:** Νεογενή με στρώση 320/32 και διακλάσεις με γενική διεύθυνση 330°

Σ13: Πρανές κροκαλοπαγούς με στρώση 168/19.

Σ14: Στρώση Νεογενών

Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης
334	16
339	19

Σ15: Στρώση Νεογενών

Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης
251	25
245	28

Σ16: Στρώση Νεογενών: 205/11

Σ17: Στρώση Ασβεστόλιθου κοντά στο γήπεδο του Αγ. Θωμά

Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης
306	30
305	30

**Σ20:** Στρώση Νεογενών (εναλλαγές μαργών, μαργαϊκών ασβεστόλιθων, ψαμμιτών)

Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης
154	36
155	45
160	31



Σ21: Νεογενή σε ασυμφωνία με υποκείμενο ασβεστόλιθο. Κλίση μαργαϊκού ασβεστόλιθου:

Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης
232	47
205	39
215	55
223	50

Σ22: Στρώση υποβάθρου (ασβεστόλιθου)

Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης

Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης
054	17
026	15
034	14

Σ23: Στρώση ασβεστολιθικού υποβάθρου

Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης
295	34
291	35

**Σ24:** Λεπτοπλακώδεις μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι Νεογενούς πάχους 1 – 5cm με κλίση προς BBΔ (354/51)

Σ25: Ασβεστόλιθος με συνιζηματογενή ρήγματα (περιοχή Κοκκινόβραχος).



Σ26: Κατακόρυφη στρώση Νεογενών, 30m από το πρανές του ρήγματος της Ασωπίας.



Κατακόρυφη στρώση Νεογενών ιζημάτων 30m περίπου από το πρανές του ανατολικού άκρου του ρήγματος της Ασωπίας (Σ26).

**Σ27:** Κροκαλοπαγές Νεογενούς, με ασβεστολιθικές κροκάλες διαμέτρου <1εκ.

Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης
343	47
351	48
002	45
350	50



Κροκαλοπαγές στη θέση Σ27.

Σ28: Νεογενή ιζήματα (ψαμμίτες).

Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης
051	37
053	30
036	32

#### Σ29: Ασβεστόλιθος με στρώση:

Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης
302	36
303	31
306	33

Σ30: Νεογενή. ιζήματα αποτελούμενα από εναλλαγές άμμων και αργίλλων.

Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης
196	36
181	44
185	42
	Εναλλαγές άμμων και αργίλλων στη θέση Σ30.

**Σ31:** Νεογενής ιζηματογενής ακολουθία μεγάλου πάχους παραπλεύρως της βιομηχανίας «Cardico» αποτελούμενη κυρίως από μάργες και μικρότερες εμφανίσεις άμμου. Εμφανίζεται κανονικό ρήγμα με κατεύθυνση κλίσης 220/69 και μετατόπιση περίπου 1m.

Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης
357	24
032	20
007	38



Σ32: Στρώση ασβεστόλιθου στο νότιο πρανές του Ασωπού (περιοχή Χτένα).

Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης
271	39
262	38
268	40



Ασβεστολιθικό πρανές στη βόρεια πλευρά της κοίτης του Ασωπού ποταμού (περιοχή Χτένα). Στην οροφή διακρίνεται μια ζώνη πάχους περίπου 2m η οποία φαίνεται να βρίσκεται σε ασυμφωνία με τον υπόλοιπο ασβεστολιθικό όγκο. Άποψη προς βορρά.

Φωτογραφικό παράρτημα πανοραμικών λήψεων.



S Πανοραμική λήψη από το γήπεδο του Αγ. Θωμά προς τα ανατολικά. Στο βάθος διακρίνεται ο Αυλώνας.

Η πόλη του Αυλώνα όπως φωτογραφήθηκε από βορά προς νότο. Από τους πρόποδες διέρχεται το ρήγμα του Αυλώνα.



Πανοραμική άποψη προς ΒΔ της κάμψης της πορείας του Ασωπού ποταμού κοντά στη θέση όπου εμφανίζεται η μεγαλύτερη τιμή του δείκτη κλίσης (σχήμα 92).

Κάμψη του Ασωπού ποταμού στη περιοχή Χτένα (ανατολικό άκρο του ρήγματος Μαυροβουνίου).



Ασβεστολιθικό πρανές στη νότια πλευρά της κοίτης του Ασωπού ποταμού (περιοχή Χτένα – ανατολικό άκρο του ρήγματος Μαυροβουνίου). Στην οροφή διακρίνεται μια ζώνη πάχους περίπου 2m η οποία φαίνεται να βρίσκεται σε ασυμφωνία με τον υπόλοιπο ασβεστολιθικό όγκο. Άποψη προς νότο (βλ. επίσης Παραρτημα Σ32, σελ 172).

## Τρισδιάστατες απεικονίσεις αναγλύφου (DEM)

Με τη χρήση της δορυφορικής εικόνας SPOT 1 (β<br/>λ. κεφ. 4.3.2)



Προσανατολισμός BBΔ, συντελεστής ανύψωσης 3x, φωτισμός 315°-30°



Προσανατολισμός NNΔ, συντελεστής ανύψωσης 3x, φωτισμός 315°-30°



Προσανατολισμός Α, συντελεστής ανύψωσης 3x, φωτισμός 315°-30°



Ρήγμα Τανάγρας: Προσανατολισμός Ν, συντελεστής ανύψωσης 3x, φωτισμός 315°-30°



Ρήγμα Καλλιθέας-Μαυροβουνίου: Προσανατολισμός Β, συντελεστής ανύψωσης 3x, φωτισμός 315°-30°



Ρήγμα Αρμακά: Προσανατολισμός Ν, συντελεστής ανύψωσης 3x, φωτισμός 315°-30° Με τη χρήση αεροφωτογραφιών κλίμακας περίπου 1:15,000 της Γ.Υ.Σ. (βλ. κεφ. 4.3.2)



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης Σωτήριος Π. Σμπόρας



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

#### Ξενόγλωσση

- AMBRASEYS N. & JACKSON J. (1990): Seismicity and associated strain of Central Greece between 1890 and 1988. Geophys. J. Int. 101, 663-708
- AMBRASEYS N. & JACKSON J. (1998): Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean region. Geophys. J. Int., 133, 390-406
- BILLIRIS H., et al. (1991): Geodetic determination of tectonic deformation in central Greece from 1900 to 1988. Nature 350, 124-129
- BOUCKOVALAS G.D. & KOURETZIS G.P. (2001): Stiff soil amplification effects in the 7 September 1999 Athens (Greece) earthquake. Soil Dynamics and earthquake engineering 21, 671-687
- BOUCKOVALAS G.D., KOURETZIS G.P., KALOGERAS I.S. (2002): Site-Specific Analysis of Strong Motion Data from the September 7, 1999 Athens, Greece Earthquake. Natural Hazards 27, 105–131
- BRIOLE P. et al. (2000): Active deformation of the Corinth rift, Greece: Results from repeated Global Positioning System surveys between 1990 and 1995. J. Geophys. Res., 105, 25605–25625.
- BULL W. B. (1977): Tectonic geomorphology of the Mojave Desert. U. S. Geological Survey Contract Report 14-08-001-G-394. Menlo Park, CA: Office of earthquakes, Volcanoes and Engineering
- BULL W. B. (1978): Geomorphic tectonic classes of the south front of the San Gabriel Mountains, California. U. S. Geological Survey Contract Report 14-08-001-G-394. Menlo Park, CA: Office of earthquakes, Volcanoes and Engineering
- CLARKE P. et al. (1997a): Geodetic estimate of seismic hazard in the Gulf of Korinthos. Geophys. Res. Lett., 24, 1303–1306
- CLARKE P. et al. (1998): Crustal strain in central Greece from repeated GPS measurements in the interval 1989 1997. Geophys. J. Int., 135, 195-214
- COX R. T. (1994): Analysis of drainage basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible Quaternary tilt-block tectonics: an example from the Mississippi Embayment. Geological Society of America Bulletin, 106, 571-581
- ESRI (2002): What is ArcGIS? ESRI, Redlands, CA, USA
- ESRI (2004): Using ArcGIS 3D Analyst. ESRI, Redlands, CA, USA
- GANAS A., PAVILES S., SBORAS S., VALKANIOTIS S., PAPAIOANNOU S., ALEXANDRIS G. A., PLESSA A., PAPADOPOULOS G. A. (2004): Active fault geometry and kinematics in Parnitha Mountain, Attica, Greece. J. of Struct. Geology 26, 2103–2118
- GAZETAS G., P. V. KALLOU P.V., PSARROPOULOS P.N. (2002): Topography and Soil Effects in the MS 5.9 Parnitha (Athens) Earthquake: The Case of Adámes. Natural Hazards 27, 133–169
- GOLDSWORTHY M., JACKSON J., HAINES J. (2002): The continuity of active fault systems in Greece. Geophys. J. Int., 148, 596–618
- HACK J. T. (1973): *Stream-profile analysis and stream-gradient index*. U. S. Geological Servey Journal of Research, 1, 421-429
- HARE P. & GARDNER T. (1985): Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins, Nicoya Peninsula, Costa Rica.
  In M. Morisawa and J. T. Hack (eds), Tectonic Geomorphology: Proceedings of the 15<sup>th</sup> Annual Binghamton Geomorphology Symposium, September 1984. Boston: Allen & Unwin, 75-104
- HUBERT A., KING G., ARMIJO R., MEYER B., PAPANASTASIOU D. (1996):
   *Fault re-activation, stress interaction and rupture propagation of the 1981 Corinth earthquake sequence.* Earth Planet. Sci. Lett., 142, 573-585

- JACKSON J. (1999): *Fault death: a perspective from actively deforming regions*. J. of Struct. Geology 21, 1003-1010
- JACKSON J.A., GAGNEPAIN J., HOUSEMAN G., KING G.C.P., PAPADIMITRIOU P., SOUFLERIS C., VIRIEUX J. (1982): Seismicity, normal faulting, and the geomorphological development of the Gulf of Corinth (Greece): the Corinth earthquakes of February and March 1981. Earth and Planetary Science Letters 57, 377-397
- KAHLE H., STRAUB C., REILINGER R., McCLUSKY S., KING R., HURST
  K., VEIS G., KASTENS K., CROSS P. (1998): The strain rate field in the eastern Mediterranean region, estimated by repeated GPS measurements. Tectonophysics, 294, 237–252
- KELLER A. & PINTER N. (1996): Active Tectonics, Earthquakes, Uplift and Landscape. Prentice Hall (ISBN 0-02-304601-5) N. Jersey, pp 377 (Second Edition 2003)
- KING G.C.P., OUYANG Z.X., PAPADIMITRIOU P., DESCHAMPS A., GAGNEPAIN J., HOUSEMAN G., JACKSON J.A., SOUFLERIS C., VIRIEUX J. (1985): The evolution of the Gulf of Corinth (Greece): an aftershock study of the 1981 earthquakes. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society 80, 677-693.
- KONDOPOULOU D. (2000): Palaeomagnetism in Greece: Cenozoic and Mesozoic components and their geodynamic implications. Tectonophysics 326, 131–151
- LEKKAS E. (2001): The Athens earthquake (7 September 1999): intensity distribution and controlling factors. Engineering Geology 59, 297-311
- Le PICHON X. & ANGELIER, J. (1979): The Hellenic Arc and Trench system: a key to the neotectonic evolution of the eastern Mediterranean area. Tectonophysics 60, 1–42.
- Le PICHON X. & ANGELIER J. (1981). *The Aegean Sea*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A 300, 357–372.

- LYBERIS N. (1984): *Tectonic evolution of the N. Aegean Trough*. In: Dixon, J.,
  Robertson, A. (Eds.), The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean.
  Geol. Soc. London, Blackwell Scientific Publications, Oxford, pp. 709–725.
- MARIOLAKOS I., FOUNTOULIS I., LOGOS E. (1997): The crutial role of the neotectonic deformation at the landfill site selection. The case study of Avlona (Attiki, Greece). Proc. Int. Symp. Engin. Geology and Environment (Ed. Marinos, Tsiambaos, Stournaras) IAEG, v. 2, 2007-2010, Balkema, Rotterdam
- MATTEI M., D'AGOSTINO N., ZANANIRI I., KONDOPOULOU D., PAVLIDES S., SPATHARAS V. (2004): Tectonic evolution of fault-bounded continental blocks: Comparison of paleomagnetic and GPS data in the Corinth and Megara basins (Greece). J. of Geophysical Research, 109, B02106
- MAYER L. (1990): Introduction to Quantitative Geomorphology: An Exercise Manual. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall
- McCLUSKY S. et al. (28 authors), (2000): GPS constraints on plate motions and deformations in the eastern Mediterranean: implications for plate dynamics.J. Geophys. Res., 105, 5695-5719
- McKENZIE D. (1972): Active tectonics of the Mediterranean Sea. Geophys. J.R. Astron. Soc. 30, 109-185
- MERCIER J., SOREL D., VERGELY P., SIMEAKIS K. (1989): Extensional tectonic regimes in the Aegean basins during the Cenozoic. Basin Research, 2, 49-71
- MOREWOOD N. & ROBERTS G. (2001): Comparison of surface slip and focal mechanism slip data along normal faults: an example from the eastern Gulf of Corinth, Greece. J. of Struct. Geology, 23, 473-487
- MOUNTRAKIS D., SAPOUNTZIS E., KILIAS A., ELEFTHERIADIS G., CHRISTOFIDIS G. (1983): Palaeographic conditions in the western

*Pelagonian margin in Greece during the initial rifting of the continental area.* Canadian Journal of Earth Sciences 21, 1673–1681.

- METTOS A., IOAKIM C., RONDOYANNI T. (2000): Palaeoclimatic and palaeogeographic evolution of Attica-Beotia (Central Greece).Geological Society of Greece, Special Publications No 9, 187-196.
- PAPADOPOULOS G. A., GANAS A., PAVLIDES S. (2002): The problem of seismic potential assessment: Case study of the unexpected earthquake of 7 September 1999 in Athens, Greece. Earth Planets Space, 54, 9–18
- PAPADOPOULOS G.A., MATSUMOTO H., GANAS A., KARASTATHIS V., PAVLIDES S. (2004): Deformation patterns associated with the M5.9 Athens (Greece) earthquake of 7 September 1999. Journal of Seismology, v. 7, No. 3, in press
- PAPAZACHOS C. & KIRATZI A. (1996): A detailed study of the active crustal deformation in the Aegean and surrounding area. Tectonophysics 253, 129– 153
- PAPAZACHOS C., KIRATZI A., PAPAZACHOS B.C. (1992): Rates of active crustal deformation in the Aegean and the surrounding area. J. Geodynamics 16 (3), 147–179
- PAVLIDES S. & CAPUTO R. (2004): Magnitude versus faults' surface parameters: quantitative relationships from the Aegean Region. Tectonophysics 380, 159–188
- PAVLIDES S., PAPADOPOULOS G., GANAS A. (2002): The Fault that Caused the Athens September 1999 Ms = 5.9 Earthquake: Field Observations. Natural Hazards 27, 61–84
- PEAKALL J., LEEDER M., BEST J., ASHWORTH P. (2000): River response to lateral ground tilting: a synthesis and some implications for the modelling of alluvial architecture in extensional basins. Basin Research 12, 413–424

- PIKE R. J. & WILSON S. E. (1971): Elevation-relief ratio, hypsometric integral and geomorphic area-altitude analysis. Geological Society of America Bulletin, 82, 1079-1083
- SMITH A.D. (1994): Late Quaternary tectonics, sedimentation and sea-level changes in the north Aegean region. PhD thesis, University of Cambridge, Cambridge, p. 202
- STRAHLER A. N. (1952): *Hypsometric (area-altitude curve) analysis of erosional topography*. Geological Society of America Bulletin, 63, 1117-1141
- WELLS D.L. & COPPERSMITH J.K. (1994): New empirical relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and surface displacement. Bull. Seismological Soc. America, vol. 84, 974-1002

## Ελληνική

- ΑΣΤΑΡΑΣ Θ. & ΟΙΚΟΝΟΜΙΔΗΣ Δ. (2003): Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Μέρος Α). Εργαστήριο Εφαρμογών Τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, ΑΠΘ
- ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΣΤΡΑΤΟΥ (1978): Φύλλο χάρτη «Χαλκίς» κλίμακας 1:250,000
- ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΣΤΡΑΤΟΥ (1988): Φύλλο χάρτη «Χαλκίς» κλίμακας 1:50,000
- ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΣΤΡΑΤΟΥ (1988): Φύλλο χάρτη «Θήβαι» κλίμακας 1:50,000
- ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΣΤΡΑΤΟΥ (1992): Φύλλο χάρτη «Αθήναι-Ελευσίς» κλίμακας 1:50,000
- ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΣΤΡΑΤΟΥ (1989): Φύλλο χάρτη «Ερυθραί» κλίμακας 1:50,000

- ΔΟΥΝΑΣ Α., ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ Γ., ΜΟΡΦΗΣ Α., ΠΑΓΟΥΝΗΣ Μ. (1978): Υδρογεωλογική έρευνα λεκάνης μέσου ρου Ασωπού ποταμού. Εκδόσεις ΙΓΜΕ, Αρ. 21
- ΚΟΥΤΣΟΠΟΥΛΟΣ Κ. & ΑΝΔΡΟΥΛΑΚΑΚΗΣ Ν. (2003): Εφαρμογές Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών με χρήση του λογισμικού ArcGIS. Εκδ, Παπασωτηρίου
- ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ Η., ΦΟΥΝΤΟΥΛΗΣ Ι., ΣΙΔΕΡΗΣ Χ., ΧΑΤΟΥΠΗΣ Θ. (2001): Μορφοτεκτονική δομή του όρους Πάρνηθα Αττικής. Δελτίο Ε. Γ. Ε., τόμος XXXIV/1, 183-190, Αθήνα
- ΜΕΤΤΟΣ, Α. (1992): Γεωλογική και παλαιογεωγραφική μελέτη των ηπειρωτικών Νεογενών και Τεταρτογενών σχηματισμών ΒΑ/κης Αττικής και ΝΑ/κης Βοιωτίας. Διδακτορική διατριβή, τμήμα Γεωλογίας Πανεπιστημίου Αθηνών
- ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ Δ. (1985): Γεωλογία της Ελλάδας. University Studio Press, Θεσσαλονίκη
- ΠΑΠΑΖΑΧΟΣ Β. & ΠΑΠΑΖΑΧΟΥ Κ. (1989): Οι σεισμοί της Ελλάδας. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη
- ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Δ., ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ Η., ΛΕΚΚΑΣ Ε., ΛΟΖΙΟΣ Σ. (1988): Μορφοτεκτονικές παρατηρήσεις στη λεκάνη Ασωπού και την παραλιακή ζώνη Ωρωπού. Συμβολή στη νεοτεκτονική της βόρειας Αττικής. Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ., τόμος XX, 251-267, Αθήνα
- ΠΑΥΛΙΔΗΣ Σ. (2003): Γεωλογία των σεισμών. University Studio Press, Θεσσαλονίκη
- ΣΩΤΗΡΙΑΔΗΣ Λ. & ΨΙΛΟΒΙΚΟΣ Α. (1984): Ασκήσεις Γεωμορφολογίας. Υπηρεσία Δημοσιευμάτων ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη