

**ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΔΟΜΕΣ.
Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΣΑΛΑΜΙΝΑΣ¹**

Δ. ΘΕΟΧΑΡΗΣ², Ι. ΦΟΥΝΤΟΥΛΗΣ³

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη Σαλαμίνα, νησί του Σαρωνικού Κόλπου κοντά στην Αθήνα, διακρίνονται 6 νεοτεκτονικές μακροδομές 1^{ης} τάξης. Στο νησί, αυτό με αφορμή την πρόσφατη σεισμική δραστηριότητα στην Αθήνα, μελετήθηκαν ορισμένοι μορφομετρικοί δείκτες των τεκτονικών γεωμορφών που απαντούν. Οι μορφομετρικοί δείκτες που εφαρμόστηκαν είναι ο δείκτης εγκάρσιας διάβρωσης μετώπου όρους (S_{mf}), ο δείκτης ασυμμετρίας (AF) και ο δείκτης εγκάρσιας συμμετρίας (T). Τα αποτελέσματα των μορφομετρικών δεικτών συνδυάστηκαν με νεοτεκτονικά και γεωλογικά δεδομένα προκειμένου να αναγνωριστούν ενεργές δομές. Με βάση των δείκτη S_{mf} , 3 από τις 5 περιθωριακές ρηξιγενείς ζώνες που μελετήθηκαν χαρακτηρίζονται σαν ενεργές και οι υπόλοιπες 2 σαν πιθανά ενεργές. Από τα 8 υδρογραφικά δίκτυα 3^{ης} τάξης που μελετήθηκαν ως προς την ασυμμετρία τους, εφαρμόζοντας τους δείκτες AF και T, τα 7 έδειξαν ότι είναι ασύμμετρα ανεπτυγμένα και μάλιστα σε συγκεκριμένες διευθύνσεις.

ABSTRACT

Six 1st order Neotectonic macrostructures can be distinguish in Salamis Island (Saronic Gulf, Athens, Greece). Some morphometric indices were applied on this island, after the seismic activity of 1999 in Athens, the morphometric indices Mountain Front Sinuosity Index (S_{mf}), Asymmetry Factor (AF) and Transverse Topographic Symmetry Factor (T). They were correlated to neotectonic and geological data in order to recognize active structures. From the morphometric index S_{mf} three, from the five studied marginal fault zones, regarded as active and the other two as possible active. From the eight small 3rd order drainage networks of the island, which studied for asymmetries, by applying the indices AF and T, the seven of them show asymmetries in specific direction.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Μορφοτεκτονικοί δείκτες, Νεοτεκτονική, Σαλαμίνα, Ελλάδα
KEY WORDS: Morphometric indices, Neotectonics, Salamis, Greece

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μορφοτεκτονική ανάλυση μελετά την επίδραση των ενδογενών δυνάμεων στη διαμόρφωση του γήινου ανάγλυφου, δηλαδή η μορφοτεκτονική ανάλυση αναφέρεται στον κλάδο των γεωεπιστημών που ασχολείται με τη σχέση ανάγλυφου - παραμόρφωσης. Μερικοί συγγραφείς περιορίζουν αυτή τη σχέση ανάμεσα στις νεοτεκτονικές δομές και τις γεωμορφές, ενώ κάποιοι άλλοι γι' αυτή τη σχέση χρησιμοποιούν τον όρο Τεκτονική Γεωμορφολογία. Σύμφωνα με τους BULL & WALLACE (1986) η τεκτονική γεωμορφολογία είναι ένας ταχύτατα αναπτυσσόμενος επιστημονικός κλάδος ο οποίος εξετάζει την αλληλεπίδραση της κατακόρυφης και οριζόντιας παραμόρφωσης της Γης με διαβρωτικές και αποθετικές διεργασίες.

Η μορφοτεκτονική ασχολείται με:

- i. Τη μορφή του αναγλύφου.
- ii. Το υδρογραφικό δίκτυο και τη μορφή του.
- iii. Την ένταση της κατά βάθος διάβρωσης.
- iv. Τις επιφάνειες επιπέδωσης και την κατανομή τους.
- v. Τις σημερινές και παλαιότερες ακτές και αναβαθμίδες.
- vi. Τις ρηξιγενείς μορφολογικές ασυνέχειες (fault scarp).
- vii. Την κατανομή χαρακτηριστικών φάσεων τεκτονοϊζηματογενούς οργάνωσης (κώνοι κορημάτων, αλλουβιακά ριπίδια, κλπ).

1: MORPHOMETRIC INDICES AND ACTIVE TECTONIC STRUCTURES. THE CASE OF SALAMIS ISLAND (GREECE).

2: Msc Γεωλόγος, Υπ. Διδάκτορας Γεωλογικού Τμήματος Παν/μίου Αθηνών, Πανεπιστημιούπολη Ζωγράφου, 15784, Αθήνα, Email: dtheocharis@geol.uoa.gr

3: Επικ. Καθηγητής Γεωλογικού Τμήματος Παν/μίου Αθηνών, Πανεπιστημιούπολη Ζωγράφου, 15784, Αθήνα, Email: fountoulis@geol.uoa.gr

viii. Την σχέση διάβρωσης απόθεσης.

Η μορφοτεκτονική κατέχει σημαντική θέση στην νεοτεκτονική ανάλυση και ιδιαίτερα στην κινηματική ανάλυση διότι συνεισφέρει στον καθορισμό των ορίων των ρηξιτεμαχών και στον προσδιορισμό της κίνησής τους από τον συνδυασμό των γεωμορφικών συναθροίσεων και την επίδραση των νεοτεκτονικών δομών σ' αυτές.

Η δράση των τεκτονικών δομών στο ανάγλυφο παράγει γεωμορφές τις οποίες μπορούμε να τις χαρακτηρίσουμε τεκτονικές. Οι τεκτονικές γεωμορφές εκφράζουν ένα ευρύ φάσμα στοιχείων του ανάγλυφου τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν δείκτες του τύπου, του μεγέθους και του ρυθμού των τεκτονικών κινήσεων.

Από εργασίες που έχουν γίνει στις δυτικές Η.Π.Α. (ROCKWELL et al. 1985, KELLER 1986) σε ρηξιγενή περιθώρια ορέων έχουν προκύψει γενικά τα ακόλουθα χαρακτηριστικά γνωρίσματα.

Τα ενεργά περιθώρια μετώπων ορέων παρουσιάζουν:

- i. γραμμικά μετωπικά όρια,
- ii. στενές κοιλάδες σχήματος V με απόκρημνες επιμήκεις τομές, και
- iii. ράχες που καταλήγουν σε καλά καθορισμένα τριγωνικά προνή στα μετωπικά όρια.

Τα ανενεργά περιθώρια μετώπων ορέων παρουσιάζουν:

- i. καμπυλωμένα, λόγω της διάβρωσης, μετωπικά όρια,
- ii. πλατιές κοιλάδες σχήματος U με ήπιες επιμήκεις τομές, και
- iii. πολύ υποβιβασμένους και ήπιους υδροκρίτες.

Η αναγνώριση τέτοιων φαινομένων επέτρεψε την ανάπτυξη ποσοτικών μεθόδων (μορφομετρικών δεικτών), οι οποίοι συνοπτικά παρουσιάζονται στον **Πίνακα 1**. Οι μορφομετρικοί δείκτες είναι τεχνικές ποσοτικοποίησης των γεωμορφικών χαρακτηριστικών για την μελέτη της διατάραξης τους. Στα πλαίσια αυτής της εργασίας παρουσιάζονται μόνο οι Smf, T και AF εξάλλου η έκταση της νήσου Σαλαμίνας και η ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου δεν επιτρέπει την αξιόπιστη εφαρμογή των υπολοίπων.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ - ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ

Στη Σαλαμίνα απαντούν τόσο αλπικοί όσο και μεταλπικοί σχηματισμοί (**Εικ. 1**).

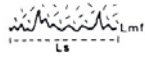
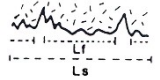
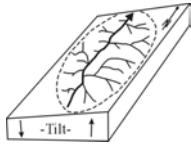

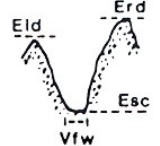

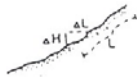
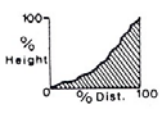
Στο νησί εμφανίζεται όλη η ακολουθία των πετρωμάτων της «Υποπελαγονικής» ενότητας. Παρατηρείται μία χαρακτηριστική διαφοροποίηση της αλπικής γεωλογίας στο νότιο και στο βόρειο τμήμα του νησιού κατά μήκος της γραμμής Αιάντειο - Κακή Βίγλα. Στο νότιο τμήμα εμφανίζονται τα παλιότερα πετρώματα, έως τους ανωτριάδικους ασβεστόλιθους, ενώ βορειότερα μόνο οι ανωτριάδικοί ασβεστόλιθοι και τα νεότερα ιζήματα (ΤΑΤΑΡΗΣ & ΣΙΔΕΡΗΣ 1989). Οι σχηματισμοί της Ανατολικής Ελλάδας εμφανίζονται μόνο στο βόρειο τμήμα του νησιού με κυριότερη εμφάνιση αυτή της περιοχής μεταξύ όρμου Παλουκίων και όρμου Σαλαμίνας (ΓΑΪΤΑΝΑΚΗΣ 1982, ΓΑΪΤΑΝΑΚΗΣ & συν. 1984). Από τη Σαλαμίνα απουσιάζει ο φλύσχης της ενότητας.

Τα μεταλπικά ιζήματα είναι τόσο θαλάσσιας φάσης όσο και χερσαίας (ΓΑΪΤΑΝΑΚΗΣ 1982, ΓΑΪΤΑΝΑΚΗΣ & συν. 1984). Τα παλαιότερα θαλάσσια ιζήματα είναι Άνω Μειοκαινικής ηλικίας και απαντώνται μόνο στο ανατολικό άκρο της χερσονήσου Κυνόσουρα. Τα θαλάσσια Πλειοκαινικά ιζήματα αποτελούνται κυρίως από μαργαίτους ασβεστόλιθους, μάργες, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή θαλάσσιας ή παράκτιας φάσης. Τα χερσαία μεταλπικά ιζήματα ξεκινούν στο όριο Ανωτέρου Πλειόκαινου - Πλειστόκαινου, περίοδο κατά την οποία φαίνεται ότι μεταπίπτουν σε χέρσο οι περισσότερες περιοχές. Πρόκειται για χερσαία κροκαλοπαγή μονόμικτα ή πολύμικτα, για παλαιά και σύγχρονα πλευρικά κορήματα και κώνους κορημάτων, αλλουβιακές αποθέσεις και beach rocks σε ορισμένες θέσεις. Τα ιζήματα αυτά καλύπτουν κυρίως το κεντρικό και βόρειο τμήμα του νησιού, ενώ είναι χαρακτηριστική η μικρή τους παρουσία στο νότιο τμήμα του.

Στη νήσο Σαλαμίνα μπορούν να διακριθούν έξι νεοτεκτονικές μακροδομές 1^{ης} τάξης (ΘΕΟΧΑΡΗΣ 2001, ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ κ. συν. 2001) (**Εικ. 1**), γενικής διεύθυνσης περίπου Α-Δ. Οι μακροδομές αυτές οριοθετούνται από ρηξιγενείς ζώνες διεύθυνσης κυρίως Α-Δ αλλά και ΒΑ-ΝΔ. Τα ρήγματα που αποτελούν ορισμένες περιθωριακές ρηξιγενείς ζώνες παρουσιάζουν κλιμακωτή διάταξη. Οι ονομασίες των νεοτεκτονικών μακροδομών 1^{ης} τάξης καθώς και τα ονόματα και οι συντιμήσεις των κύριων περιθωριακών ρηγμάτων αναφέρονται στην **Εικ. 1**.

Πίνακας. 1 (Table 1)

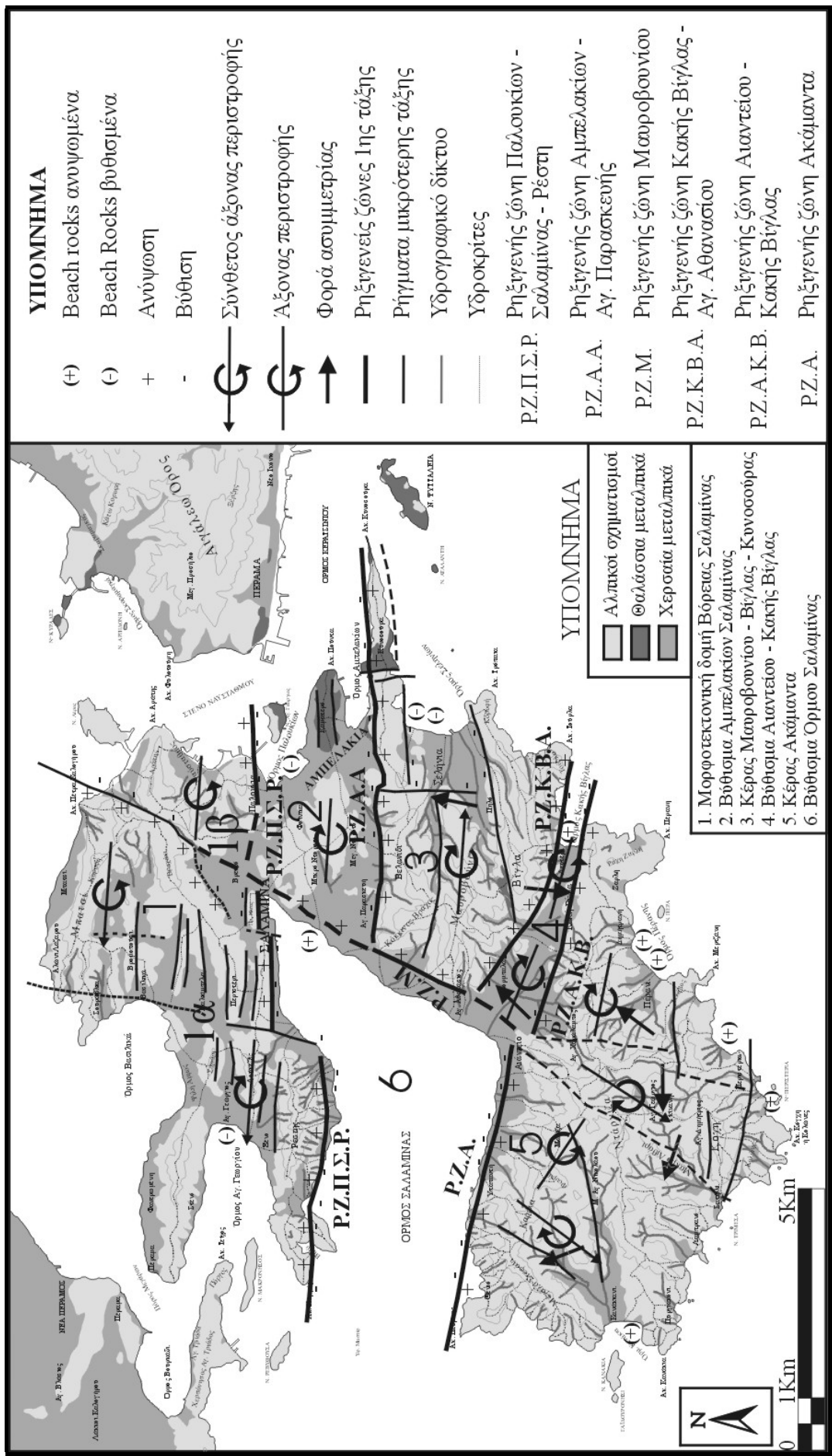
Γεωμορφικοί δείκτες που έχουν χρησιμοποιηθεί στον υπολογισμό του βαθμού τεκτονικής δραστηριότητας ρηξιτεμαχών, ή κατά μήκος χαρακτηριστικών δομών. Από STEWART & HANCOCK (1995), με τροποποιήσεις.

Δείκτης	Μαθηματική Έκφραση	Διαδικασία Μέτρησης	Σχέση με τον Τεκτονισμό	Πηγή
Δείκτης Εγκάρσιας Διάβρωσης Μετώπου Όρους	$S_{mf} = L_{mf}/L_s$		Η γραμμικότητα του μετώπου του όρους δείχνει το βαθμό του ενεργού τεκτονισμού	Bull & McFadden (1977)
Ποσοστό Πρανών Μετώπου Όρους	$Facet\% = L_f/L_s$		Ενεργά μέτωπα όρους επιδεικνύουν χαρακτηριστικά μεγάλα πρανή	Wells et al. (1988)
Δείκτης ασυμμετρίας	$AF = 100 * (A_r/A_t)$		Τιμές μεγαλύτερες ή μικρότερες του 50% υποδηλώνουν περιστροφές στο χώρο της λεκάνης απορροής	Hare & Gardner, 1985
Δείκτης εγκάρσιας συμμετρίας	$T = D_a/D_d$		Τιμές που πλησιάζουν τη μονάδα δείχνουν μεγάλη ασυμμετρία	Cox, 1994
Λόγος του Πλάτους του Πυθμένα της Κοιλιάδας προς το Ύψος της	$V_f = \frac{V_{fw}}{([E_{ld} - E_{sc}] + [E_{rd} - E_{sc}]) / 2}$		Ενεργά μέτωπα όρους διαρέονται από κοιλάδες σχήματος V και έχουν χαμηλές τιμές V_f	Bull & McFadden (1977)
Δείκτης Τομής Κοιλιάδας	$V_{ratio} = A_v/A_c$		Χαμηλές τιμές του λόγου V_{ratio} δείχνει κοιλάδα σχήματος V και πιθανά ενεργή ανύψωση	Mayer (1986)
Δείκτης Μήκους Κλαδών - Κλίσης Χειμάρρου	$SL = (\Delta H/\Delta L) * L$		Υψηλή τιμή του SL είναι πιθανός δείκτης ενεργού μετώπου όρους	Hack (1973), Keller (1986)
Δείκτης της Καμπυλότητας της Τομής Χειμάρρου (K)	Σκιαγραφημένη περιοχή κάτω από την καμπύλη της επιμήκους τομής		Υψηλές τιμές του K δείχνουν ενεργό υποβιβασμό του βασικού επιπέδου	Shepherd (1979), Wells et al. (1988)

L_{mf} - Το μήκος του μετώπου του όρους κατά μήκος της συμβολής όρους-προπόδων, L_s - Η οριζόντια απόσταση της συμβολής όρους-προπόδων, L_f - Το αθροιστικό μήκος των πρανών του μετώπου του όρους, A_r - Το εμβαδόν του τμήματος της λεκάνης που βρίσκεται δεξιά του κυρίως κλάδου κοιτάζοντας προς τα κατόντη, A_t - Το συνολικό εμβαδόν της λεκάνης απορροής, D_a - Η απόσταση του κλάδου από την μέση γραμμή, D_d - Η απόσταση της μέσης γραμμής από τον υδροκρίτη μετροημένες σε διεύθυνση κάθετη στον κλάδο, V_{fw} - Το πλάτος της κοίτης, E_{ld} - Το υψόμετρο του αριστερού υδροκρίτη, E_{sc} - Το υψόμετρο της κοίτης, E_{rd} - Το υψόμετρο του δεξιού υδροκρίτη, A_v - Το εμβαδόν της κοιλάδας σε εγκάρσια τομή, A_c - Το εμβαδόν ημικυκλίου με ακτίνα h , $\Delta H/\Delta L$ - Τοπική κλίση του χειμάρρου (ΔH = υψομετρική διαφορά του χειμάρρου κατά μήκος της απόστασης ΔL της κοίτης), L - Συνολικό μήκος της κοίτης από τον υδροκρίτη έως το κέντρο της απόστασης ΔL .

3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΕΓΚΑΡΣΙΑΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΜΕΤΩΠΟΥ ΟΡΟΥΣ

Η πρωτογενής γεωμορφολογική έκφραση της ενεργούς ρηγματώσης είναι οι ρηξιγενείς μορφολογικές ασυνέχειες, οι οποίες είναι εξάρσεις της επιφάνειας του εδάφους που συμπίπτουν ή περίπου συμπίπτουν με την ρηξιγενή επιφάνεια (STEWART & HANCOCK 1990). Οι πιο χαρακτηριστικές περιπτώσεις μορφολογικών ασυνεχειών είναι αυτές οι οποίες δημιουργούνται από κανονικά ρήγματα και ιδιαίτερα αυτές που δημιουργούνται από ρήγματα που οριοθετούν μεγάλες νεοτεκτονικές δομές. Δηλαδή τα



Εικ. 1. Οι νεοτεκτονικές δομές της νήσου Σαλαμίνας με τα κύρια περιθωριακά ρήγματα - ρηξιγενείς ζώνες καθώς και ορισμένα από τα κυριότερα ρήγματα μικρότερης τάξης. Στο χάρτη είναι σημειωμένη η κινηματική των μακροδομών, καθώς και τα σημαντικότερα μορφοτεκτονικά χαρακτηριστικά (από Μαριολάκος κ. συν. 2001).

Fig. 1. The neotectonic structures of Salamis Island and the main marginal faults - fault zones, as well as some of the significant smaller faults. On the map can be seen the kinematics of the macro-structures, together with the most important morphotectonic features (after Mariolakos et al. 2001).

περιθωριακά ρήγματα ανάμεσα στα τεκτονικά κέρατα και τις γειτονικές τους λεκάνες (τεκτονικά βυθίσματα ή ημι-βυθίσματα). Η υποχώρηση των κλιτύων του σταθερού τεμάχους από του χείμαρρους δημιουργούν σειρές από ράχες, οι οποίες έχουν διεύθυνση εγκάρσια στις ρηξιγενείς μορφολογικές ασυνέχειες, των περιθωρίων των τεκτονικών κερμάτων, και καταλήγουν δημιουργώντας σ' αυτές τριγωνικά πρανή.

Οι BULL & McFADDEN (1977) εφάρμοσαν το **δείκτη εγκάρσιας διάβρωσης του μετώπου του όρους (Πίνακας 1)** τον οποίο όρισαν σαν

$$S_{mf} = L_{mf}/L_s$$

όπου: L_{mf} είναι το συνολικό μήκος του μετώπου του όρους κατά μήκος της συμβολής όρους - προπόδων, και

L_s είναι η οριζόντια απόσταση της συμβολής όρους - προπόδων.

Η προσέγγιση του δείκτη S_{mf} στη μονάδα αντανακλά αυξημένη ευθύτητα του μετώπου, η οποία είναι ένδειξη ενεργότητας, αντίθετα η αυξημένη καμπυλότητα αντανακλά την επίδραση της διάβρωσης των χείμαρρων, οι οποίοι διατρέχουν το μέτωπο.

Οι BULL & McFADDEN (1977) προτείνουν την ακόλουθη ταξινόμηση:

1η Τάξη: Ενεργός Τεκτονισμός $S_{mf} = 1,2 - 1,6$

Γεωμορφές που συνοδεύουν το μέτωπο του όρους: Αλλουβιακά ριπίδια στις εκβολές των κλάδων χωρίς διάβρωση από αυτόν, επιμήκεις λεκάνες απορροής, στενές κοιλάδες με απότομες κλιτείες.

2η Τάξη: Μέτρια έως λίγο ενεργός Τεκτονισμός $S_{mf} = 1,8 - 3,4$

Γεωμορφές που συνοδεύουν το μέτωπο του όρους: Αλλουβιακά ριπίδια που διαβρώνονται από τον κλάδο που τα αποθέτει, μεγάλες λεκάνες απορροής, απότομες κλιτείες, πυθμένες κοιλάδων πλατύτερες από τη στάθμη της πλημμυρίδας.

3η Τάξη: Τεκτονικά Ανεργές $S_{mf} = 2,0 - 7,0$

Γεωμορφές που συνοδεύουν το μέτωπο του όρους: Επίπεδες επιφάνειες υπωρειών (pediment) στο μέτωπο του όρους, απότομες κλιτείες μόνο σε ανθεκτικά πετρώματα, μερικά μεγάλα και ενοποιημένα συστήματα κοιλάδων στα όρη.

Ο μορφομετρικός δείκτης εγκάρσιας διάβρωσης μετώπου όρους (S_{mf}) εφαρμόστηκε σε ορισμένες από τις κύριες περιθωριακές ρηξιγενείς νεοτεκτονικές ζώνες της Σαλαμίνας. Συγκεκριμένα σε δύο τμήματα της ρηξιγενούς ζώνης Κακής Βίγλας - Αγ. Αθανασίου και στις ρηξιγενείς ζώνες Αιαντείου - Κακής Βίγλας, Ακάμαντα, Μαυροβουνίου και Αμπελακίων - Αγ. Παρασκευής (**Εικ 2**).

Η εφαρμογή αυτής της μεθόδου εντοπίζεται στην μέτρηση αποστάσεων στο ίχνος του όρους με τους πρόποδες του κατά μήκος της ισοϋψούς όπου αλλάζουν οι μορφολογικές κλίσεις. Επειδή δεν είναι σαφή τα όρια αυτά, σε ορισμένες θέσεις έγινε εφαρμογή σε περισσότερες από μία ισοϋψείς, καθώς και στο όριο των πλευρικών κορημάτων με τους αλπικούς σχηματισμούς έτσι ώστε να μπορούν να συγκριθούν τα αποτελέσματα.

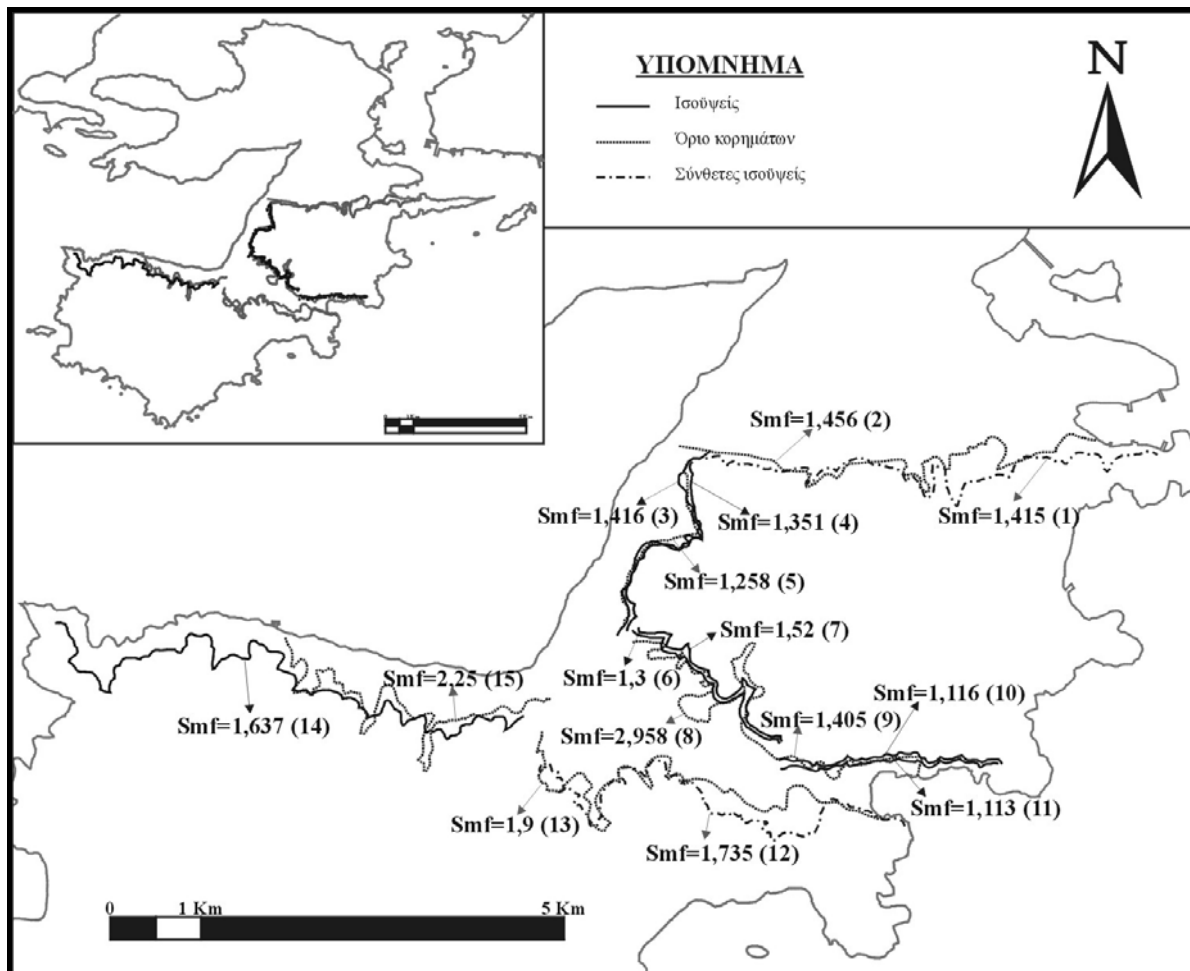
Σε ορισμένες περιπτώσεις, όπως στη ρηξιγενή ζώνη Κακής Βίγλας - Αγ. Αθανασίου μετρήθηκαν δύο τμήματα της, ενώ στη ρηξιγενή ζώνη Αμπελακίων - Αγ. Παρασκευής και Αιαντείου - Κακής Βίγλας το αποτέλεσμα για τις ισοϋψείς έχει προκύψει από το άθροισμα επιμέρους τμημάτων. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται στον **πίνακα 2** και στην **Εικ. 2**.

Σύμφωνα με την ταξινόμηση των BULL & McFADDEN (1977) οι ρηξιγενείς ζώνες Κακής Βίγλας - Αγ. Αθανασίου, Μαυροβουνίου και Αμπελακίων - Αγ. Παρασκευής χαρακτηρίζονται σαν τεκτονικά ενεργές, ενώ οι ρηξιγενείς ζώνες Αιαντείου - Κακής Βίγλας και Ακάμαντα ως πιθανώς ενεργές έως ανενεργές.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η διαφοροποίηση που υπάρχει στο δυτικό τμήμα της ρηξιγενούς ζώνης Κακής Βίγλας - Αγ. Αθανασίου οφείλεται στα διαφορετικά γεωμορφικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για τον δείκτη. Οι ισοϋψείς έδωσαν τιμές 1,3 και 1,52 αντίστοιχα, ενώ το ίχνος των πλευρικών κορημάτων έδωσε τιμή 2,958. Πιθανώς αυτό να οφείλεται στην ύπαρξη του λόφου, ο οποίος δομείται από αλπικούς σχηματισμούς και έχει πληρωθεί περιφερειακά από κορήματα ενώ το ίχνος του ρήγματος περνάει βορειότερα. Ίσως όμως και να υπάρχει κάποια διαφοροποίηση της ενεργότητας σε διαφορετικά τμήματα της ρηξιγενούς ζώνης. Δεν υπάρχει όμως αμφιβολία για την ενεργότητα κυρίως του ανατολικού τμήματος της ρηξιγενούς ζώνης, όπου στην **Εικ. 3** φαίνεται να κόβει και να ανυψώνει beach rock στην ακτή της Κακής Βίγλας. Αμφιβολία δεν υπάρχει και για την ρηξιγενή ζώνη Μαυροβουνίου όπου στην **Εικ. 4** παρατηρούνται τουλάχιστον δύο γενιές τριγωνικών πρανών που αντιστοιχούν σε δραστηριοποιήσεις της επιφάνειας.

Η μεθοδολογία αυτή δεν έχει εφαρμοστεί σε μεγάλη κλίμακα στον ελληνικό χώρο, και δεν γνωρίζουμε αρκετά στοιχεία για τον ρυθμό διάβρωσης των πετρωμάτων στον ελληνικό χώρο σε σχέση με τον ρυθμό διάβρωσης στην Καλιφόρνια όπου έχει εφαρμοστεί η μέθοδος στο ρήγμα Garlock. Η εφαρμογή της μεθόδου στην Σαλαμίνα δείχνει πως οι τάξεις που προτείνονται από τους BULL & McFADDEN (1977) συμβαδίζουν με τα αποτελέσματα τουλάχιστον για τις περιοχές όπου υπάρχουν και άλλα στοιχεία για την ενεργότητά τους, όπως τα δύο ρήγματα που προαναφέρθηκαν.

Πίνακας 2 (Table 2)				
α/α	Ρηξιγενής ζώνη	Lmf (σε m)	Ls (σε m)	Smf
1	Αμπελακίων - Αγ. Παρασκευής	7.237	5.114	1,415
2	-//-	6.669	4.580	1,456
3	Μαυροβουνίου	3.228	2.280	1,416
4	-//-	2.719	2.013	1,351
5	-//-	2.531	2.012	1,258
6	Κακής Βίγλας - Αγ. Αθανασίου	2.656	2.042	1,3
7	-//-	3.074	2.020	1,52
8	-//-	6.156	2.081	2,958
9	-//-	2.119	1.508	1,405
10	-//-	2.753	2.467	1,116
11	-//-	2.678	2.405	1,113
12	Αιαντείου - Κακής Βίγλας	7.044	4.061	1,735
13	-//-	7.343	3.857	1,9
14	Ακάμαντα	8.616	5.263	1,637
15	-//-	6.795	3.014	2,25



Εικ. 2 Τα γεωμορφικά χαρακτηριστικά πάνω στα οποία εφαρμόστηκε ο δείκτης Smf. Οι αριθμοί στην παρένθεση αντιστοιχούν στους αριθμούς του Πίνακα 2.

Fig. 2 The geomorphic features on which the Smf index has applied. The numbers in brackets correspond to the numbers in Table 2.

4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΕΙΚΤΩΝ ΑΣΥΜΜΕΤΡΙΑΣ

Σε υδρογραφικά δίκτυα, τα οποία αναπτύσσονται σε τεκτονικά ενεργές περιοχές η ενεργότητα της περιοχής αντανακλάται στην μορφή του υδρογραφικού δικτύου. Μία από τις μορφές της παραμόρφωσης είναι η περιστροφή ρηξιτεμαχών η οποία έχει σαν αποτέλεσμα την ασύμμετρη ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου. Δυο μορφομετρικοί δείκτες είναι διαθέσιμοι για την μέτρηση του βαθμού ασυμμετρίας των υδρογραφικών λεκανών.

- Ο δείκτης ασυμμετρίας AF (HARE & GARDNER, 1985)
 - Ο δείκτης εγκάρσιας συμμετρίας T (COX, 1994)
- Ο δείκτης ασυμμετρίας AF ορίζεται (Εικ. 5) ως:

$$AF = 100 * (A_r/A_t)$$

Όπου: A_r είναι το εμβαδόν του τμήματος της λεκάνης που βρίσκεται δεξιά του κυρίως κλάδου κοιτάζοντας προς τα κατάντη και A_t το συνολικό εμβαδόν της λεκάνης απορροής.

Σε ένα υδρογραφικό δίκτυο, το οποίο σχηματίστηκε και συνεχίζει να ρέει σε ένα σταθερό καθεστώς ο δείκτης ασυμμετρίας οφείλει να είναι περίπου ίσος με 50. Ο δείκτης ασυμμετρίας είναι ευαίσθητος σε περιστροφές κάθετα στον κύριο κλάδο. Τιμές του AF μικρότερες ή μεγαλύτερες του 50 υποδηλώνουν περιστροφές στο χώρο της λεκάνης απορροής. Όπως οι περισσότεροι γεωμορφικοί δείκτες, ο AF εφαρμόζεται καλύτερα όταν η λεκάνη απορροής δομείται από πετρώματα ίδιου τύπου. Η μέθοδος επίσης προϋποθέτει ότι η ασυμμετρία δεν οφείλεται σε λιθολογικούς ή κλιματικούς παράγοντες.

Ο δείκτης εγκάρσιας συμμετρίας T ορίζεται (Εικ. 5) ως:

$$T = D_a / D_b$$

Όπου D_a είναι η απόσταση του κλάδου από την μέση γραμμή, η οποία χωρίζει την λεκάνη απορροής σε δύο ίσα τμήματα και D_b η απόσταση της μέσης γραμμής από τον υδροκρίτη μετρημένες σε διεύθυνση κάθετη στον κλάδο. Σε μια τελείως συμμετρική κοιλάδα ο παράγοντας εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας ισούται με 0. Με την προϋπόθεση ότι δεν συμμετέχουν λιθολογικοί παράγοντες στην ασυμμετρία, τότε η διεύθυνση της τοπικής μετανάστευσης των κλάδων είναι δείκτης της περιστροφής του εδάφους σ' αυτή την διεύθυνση. Ο παράγοντας T είναι ένα διάνυσμα με διεύθυνση και μέγεθος μεταξύ 0 και 1. Οι τιμές του T υπολογίζονται σε διαφορετικά τμήματα της κοιλάδας και υποδηλώνουν την επιλεκτική μετανάστευση των κλάδων εγκάρσια στον κύριο άξονα της ροής. Η στατιστική ανάλυση του συνόλου των τιμών που υπολογίζονται μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της κύριας διεύθυνσης της μετανάστευσης των κλάδων. Αυτή η μέθοδος όπως και η μέθοδος του παράγοντα ασυμμετρίας δεν είναι άμεσος δείκτης περιστροφής ρηξιτεμαχών, αλλά μία μέθοδος γρήγορου καθορισμού πιθανών περιστροφών οι οποίες πρέπει να βεβαιωθούν και με άλλα στοιχεία.

Για τον καθορισμό ρηξιτεμαχών με πιθανές περιστροφές εφαρμόστηκαν οι μέθοδοι του δείκτη ασυμμετρίας (AF) καθώς και του δείκτη εγκάρσιας συμμετρίας (T) στις λεκάνες 3^{ης} τάξης της νήσου Σαλαμίνας (Εικ. 5).

α/α	Υδρογραφικό δίκτυο	AF	T	Φορά ασυμμετρίας
1	Σεληνίων	22%	0,67	012°
2	Κακής Βίγλας	36%	0,31	185°
3	Αιαντείου	39%	0,22	045°
4	Πέρανης	33%	0,41	033°
5	Χαλιώτη	41%	0,34	270°
6	Σατερλί	30%	0,41	293°
7	Κανακίων (Ανατολικό)	48%		
8	Κανακίων (Δυτικό)	32%	0,37	306°

Από τον Πίνακα 3 προκύπτει ότι οι τιμές του παράγοντα ασυμμετρίας (AF) κυμαίνονται από 22 έως 48%. Πρέπει να σημειωθεί ότι αν και σύμφωνα με την μεθοδολογία των HARE & GARDNER (1985) το τμήμα, στο οποίο εφαρμόζεται η μεθοδολογία είναι το δεξιό του υδρογραφικού δικτύου καθώς το κοιτάμε προς τα κατάντη, για την ευκολότερη σύγκριση των τιμών προτιμήθηκε η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε από τους ΦΟΥΝΤΟΥΛΗ & ΜΠΑΚΟΠΟΥΛΟΥ (1999) όπου χρησιμοποιήθηκε το μικρότερο τμήμα της λεκάνης όπως χωρίζεται από την κύρια κοίτη του επειδή σε

Οι τιμές του παράγοντα εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας (T) κυμαίνονται από 0,22 έως 0,67. Όσο οι τιμές πλησιάζουν την μονάδα τόσο πιο μεγάλη είναι η ασυμμετρία αφού η τιμή 1 αντιστοιχεί στον υδροκρίτη της λεκάνης.

Η σημαντικότερη ασυμμετρία παρατηρείται στο υδρογραφικό δίκτυο των Σεληνίων με το AF να ισούται με 22% και το T με 0,67. Όπως φαίνεται στην **Εικ. 5** ο κύριος κλάδος ρέει σχεδόν στον υδροκρίτη της λεκάνης.

Ακολουθώντας συνοψίζονται οι παρατηρήσεις από την ανάλυση των ασυμμετριών:

- Το υδρογραφικό δίκτυο Σεληνίων παρουσιάζει την εντονότερη ασυμμετρία η οποία είναι προς βορρά (012°).

- Τα υδρογραφικά δίκτυα Αιαντείου και Κακής Βίγλας παρουσιάζουν ανάλογες τιμές ασυμμετρίας με τη διαφορά ότι το πρώτο είναι ασύμμετρο προς βορειοανατολικά ενώ το δεύτερο προς νότο (185°). Ο δυτικότερος κλάδος του δικτύου της Κακής Βίγλας φαίνεται σαν να ήταν κλάδος του διπλανού δικτύου του Αιαντείου ο οποίος όμως σήμερα έχει προσαρτηθεί στο δίκτυο της Κακής Βίγλας. Το αίτιο αυτής της αλλαγής πιθανόν να είναι η διαφορά στην φορά της ασυμμετρίας η οποία σαν περιστροφική κίνηση μπορεί να έχει δημιουργήσει τον υδροκρίτη που έχει διεύθυνση περίπου Β-Ν και μάλλον μετατίθεται προς τα δυτικά λόγω ανύψωσης της δυτικής περιοχής. Άλλωστε στη δυτική περιοχή παρατηρείται και η μοναδική θέση με έστω μικρή κατά βάθος διάβρωση (Αγ. Χαράλαμπος).

- Το υδρογραφικό δίκτυο της Πέρανης παρουσιάζει ασυμμετρία μικρότερη από αυτό του Αιαντείου με την ίδια περίπου φορά (033°).

- Τα υδρογραφικά δίκτυα Χαλιώτη και Σατερλί παρουσιάζουν την ίδια φορά ασυμμετρίας προς τα δυτικά. Η αλλαγή της φοράς ασυμμετρίας βρίσκεται περίπου στον κοινό υδροκρίτη μεταξύ των υδρογραφικών δικτύων Χαλιώτη - Πέρανης και Αιαντείου διεύθυνσης περίπου Β-Ν ο οποίος μάλλον βρίσκεται κάτω από τεκτονικό έλεγχο κατά μήκος μιας ρηξιγενούς ζώνης ανάλογης διεύθυνσης.

- Από τους δύο 3^{ης} τάξης κλάδους του υδρογραφικού δικτύου Κανακίων ασυμμετρία παρουσιάζει μόνο ο δυτικός κλάδος προς τα βορειοδυτικά.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στη Σαλαμίνα παρατηρούνται τα ακόλουθα:

- Ασυμμετρίες των υδρογραφικών δικτύων.
- Συστηματικές περιστροφές ορισμένων ρηξιτεμαχών, σε ορισμένες μάλιστα περιπτώσεις παρατηρούνται και περιστροφές της ίδια μακροδομής προς διαφορετική φορά.
- Στη ρηξιγενή ζώνη Μαυροβουνίου παρατηρούνται τουλάχιστον δύο γενιές τριγωνικών πρηνών που δείχνουν τουλάχιστον δύο φάσεις πρόσφατης δραστηριότητας.
- Στο βύθισμα Αιαντείου - Κακής Βίγλας η δραστηριότητα έχει μετατοπιστεί από το νότιο περιθώριο και σήμερα το βόρειο περιθώριο είναι πιο ενεργό.

Ο δείκτης ασυμμετρίας έδειξε ότι τα δύο υδρογραφικά δίκτυα που ρέουν στο βύθισμα Αιαντείου - Κακής Βίγλας έχουν διαφορετική συμπεριφορά. Έτσι το δυτικό δίκτυο εμφανίζει ασυμμετρία προς το νότο, που είναι ένδειξη ανύψωσης του νότιου τμήματος του γεγονός που επιβεβαιώνεται και από την μοναδική θέση όπου παρατηρείται, έστω και μικρή, κατά βάθος διάβρωση. Το ανατολικό δίκτυο εμφανίζει ασυμμετρία προς βορρά με σχεδόν παντελή έλλειψη κλάδων που ρέουν από το νότιο τμήμα του. Η ασυμμετρία αυτή δείχνει ανύψωση του βόρειου τμήματος γεγονός που επιβεβαιώνεται και από τις παρατηρήσεις υπαίθρου και από τον δείκτη Smf.

Οι ασυμμετρίες αυτές οφείλονται στην δράση ρηγμάτων διεύθυνσης ΒΒΑ-ΝΝΔ που ανυψώνουν την κορυφή Μαυροβούνι και σχηματίζουν τον υδροκρίτη που έχει την ίδια διεύθυνση. Ο δυτικός κλάδος του ανατολικού υδρογραφικού δικτύου του βυθίσματος Αιαντείου - Κακής Βίγλας, ο οποίος έρχεται από το Μαυροβούνι, πιθανόν να έρεε προς τον όρμο της Σαλαμίνας και όχι προς τον όρμο της Κακής Βίγλας που ρέει σήμερα, και η σημερινή του ροή να είναι αποτέλεσμα της δράσης ουσιαστικά της ρηξιγενούς ζώνης Μαυροβουνίου που οδήγησε στην πειρατεία του κλάδου.

Από την εφαρμογή των μορφομετρικών δεικτών Smf, T και AF, στη Σαλαμίνα, προκύπτει ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον εντοπισμό ενεργών δομών. Πρέπει να σημειωθεί ότι με αυτές τις γρήγορες και με μικρό κόστος μεθόδους αναγνωρίζονται οι ενεργές δομές και προσανατολίζεται η έρευνα - μελέτη τους σε συγκεκριμένους χώρους επιλέγοντας τις πλέον πρόσφορες μεθόδους για τη μελέτη της ενεργότητάς τους

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] BULL, W.B. & MCFADDEN, L.D. (1977). Tectonic geomorphology north and south of the Garlock Fault, California. In: *Geomorphology in Arid Regions* (edited by Doebling, D.O.). Proc. 8th. Ann. Geomorph. Symp. State University of New York, Binghamton, 115 - 138.
- [2] BULL, W.B., & WALLACE, R.E. (1986). Tectonic Geomorphology. *Geology*, 13, 216.
- [3] BURBANK, D.W. & ANDERSON, R.S. (2001). Tectonic Geomorphology. Blackwell Science, 274 pp.
- [4] 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. *Geol. Soc. of Am. Bull.*, 106, 571-581.
- [5] ΦΟΥΝΤΟΥΛΗΣ, Ι. & ΜΠΑΚΟΠΟΥΛΟΥ, ΑΘ. (1999). Μορφοτεκτονικές παρατηρήσεις στη λεκάνη του ποταμού Πραμορίτσα. *Πρακτ. 5^{ου} Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνέδριου*, Ελλην. Γεωγρ. Εταιρεία, 94-100.
- [6] ΓΑΪΤΑΝΑΚΗΣ, Π. & ΜΕΤΤΟΣ, Α., ΚΟΥΤΣΟΥΒΕΛΗ, Α., ΠΟΝΤΟΓΙΑΝΝΗ, Θ. (1984). Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, Φύλλο Αθήναι - Πειραιεύς (Κλίμακα 1:50.000). *Ι.Γ.Μ.Ε.*
- [7] ΓΑΪΤΑΝΑΚΗΣ, Π. (1982). Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, Φύλλο Μέγαρα (Κλίμακα 1:50.000). *Ι.Γ.Μ.Ε.*
- [8] HACK, J.T. (1973). Stream - profile analysis and stream-gradient index. *US. Geol. Surv. J. res.*, 1, 421-429.
- [9] HARE, P.W. & GARDNER, T.W. (1985). Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins, Nicoya Peninsula, Costa Rica.. In: M. Morisawa & J.T. Hack (eds), *Tectonic Geomorphology, Proc. of the 15th Annual Binghamton Geomorphology Symposium*. Allen & Unwin, Boston
- [10] KELLER, E.A. (1986). Investigations of active tectonics: use of surficial earth processes. In: *Active Tectonics* (compiled by Wallace, R.E.). National Academic Press, Washington, 136 - 147.
- [11] KELLER, E.A. & PINTER, N. (1996). Active Tectonics, Earthquakes, Uplift and Landscape. Prentice Hall, 334pp.
- [12] ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ, Η., ΦΟΥΝΤΟΥΛΗΣ, Ι. & ΘΕΟΧΑΡΗΣ, Δ. (2001). Νεοτεκτονική δομή και εξέλιξη της νήσου Σαλαμίνας. *Δ.Ε.Γ.Ε.*, XXXIV/1, 165-173.
- [13] MEYER, L. (1986). Tectonic geomorphology of escarpments and mountain fronts. In: *Active Tectonics* (compiled by Wallace, R.E.). National Academic Press, Washington, 125 - 135.
- [14] ROCKWELL, T.K., KELLER, E.A. & JOHNSON, D.L. (1985). Tectonic geomorphology of alluvial fans and mountain fronts near Ventura, California. In: *Tectonic Geomorphology* (edited by Morisawa, M. & Hack, J.T.). Allen & Unwin, Boston, 183 - 208.
- [15] SHEPHERD, R.G. (1979). River channel and sediment responses to bedrock lithology and stream capture, Sandy creek drainage, central Texas. In: *Adjustments to the Fluvial Systems* (edited by Rhodes, D.D. & Williams, G.P.). Proc. 10th. Ann. Geomorph. Symp. State University of New York, Binghamton, 255-276.
- [16] STEWART, I.S. & HANCOCK, P.L. (1990). Brecciation and fracturing within neotectonic normal fault zones in the Aegean region. In: *Deformation Mechanisms, Rheology and Tectonics* (edited by Knipe, R.J. & Rytter, E.H.) Spec. Publs geol. Soc. Lond. 54, 105 - 110.
- [17] STEWART, I.S. & HANCOCK, P.L. (1995). Neotectonics. In: *Continental Deformation* (ed. P.L. Hancock), Pergamon Press, 370-409.
- [18] ΤΑΤΑΡΗΣ, Α. & ΣΙΔΕΡΗΣ, Χρ. (1989). Γεωλογική δομή του Νοτ. Αιγάλω και συσχετισμός προς την απέναντι περιοχή Σαλαμίνας. *Δ.Ε.Γ.Ε.*, XXIII/1, 303-320.
- [19] ΘΕΟΧΑΡΗΣ, Δ. (2001). Ρηξιγενής νεοτεκτονικός ιστός της νήσου Σαλαμίνας. *Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης*, Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- [20] WELLS, S.G., BULLARD, T.F., MENGES, C.M., DRAKE, P.G., KARAS, P.A., NELSON, K.I., RITTER, J.B. & WESLING, J.R. (1988). Regional variations in tectonic geomorphology along a segmented convergent plate boundary, Pacific coast of Costa Rica. *Geomorphology* 1, 239 - 265.