ePublishing
ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ
NATIONAL DOCUMENTATION CENTRE

Γεωγραφίες

Αρ. 26 (2015)

Γεωγραφίες, Τεύχος 26, 2015

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΣΤΑ ΠΟΤΑΜΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΒΟΡΕΙΑΣ ΕΥΒΟΙΑΣ, ΣΤΕΡΕΑ ΕΛΛΑΔΑ

Κ. Βαλκάνου, Ε. Καρύμπαλης, Δ. Παπαναστασίου, M. Soldati, Χ. Χαλκιάς, Κ. Γάκη-Παπαναστασίου

https://epublishing.ekt.gr | **e-Εκδότης:** ΕΚΤ | **Πρόσβαση:** 04/07/2025 04:32:31

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΣΤΑ ΠΟΤΑΜΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΒΟΡΕΙΑΣ ΕΥΒΟΙΑΣ, ΣΤΕΡΕΑ ΕΛΛΑΔΑ[1]

Κ. Βαλκάνου*, Ε. Καρύμπαλης*, Δ. Παπαναστασίου**, M. Soldati***, Χ. Χαλκιάς*, Κ. Γάκη-Παπαναστασίου****

Περίληψη

Στην εργασία αυτή διερευνάται ο ρόλος των πρόσφατων τεκτονικών διεργασιών στην ανάπτυξη των υδρογραφικών δικτύων και των αντίστοιχων λεκανών απορροής της βόρειας Εύβοιας στη Στερεά Ελλάδα καθώς και η εκτίμηση της σχετικής τεκτονικής δραστηριότητας στην περιοχή μελέτης. Για το σκοπό αυτό υπολογίστηκαν διάφοροι μορφομετρικοί δείκτες για το σύνολο των 189 λεκανών απορροής της περιοχής. Οι λεκάνες απορροής ταξινομήθηκαν με βάση τις υπολογισθείσες τιμές των παραμέτρων σε δύο ομάδες και κατασκευάστηκαν χάρτες χωρικής κατανομής των τιμών τους. Ο συνδυασμός των πέντε μορφομετρικών παραμέτρων οδήγησε σε ένα νέο δείκτη, με βάση τον οποίο οι λεκάνες απορροής διακρίθηκαν σε χαμηλής μέτριας και υψηλής τεκτονικής δράσης. Η ποσοτική ανάλυση έδειξε πως η διαμόρφωση των υδρογραφικών δικτύων της περιοχής μελέτης και η γεωμετρία των λεκανών απορροής έχει επηρεαστεί από την τεκτονική ανύψωση λόγω της δραστηριότητας των δύο υποθαλάσσιων ρηξιγενών ζωνών, διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ, που βρίσκονται στο βόρειο Ευβοϊκό κόλπο και στο Αιγαίο πέλαγος. Οι τιμές του νέου δείκτη παρουσιάζουν σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των λεκανών και η χωρική τους κατανομή αντικατοπτρίζει διαφορές στην τεκτονική δράση που συνδέεται με τη θέση των λεκανών σε σχέση με τις ρηξιγενείς ζώνες.

Tectonic influence on the drainage systems of the north Evia Island, Central Greece

K.Valkanou, E. Karymbalis, D. Papanastassiou, M. Soldati, C. Chalkias, K. Gaki-Papanastassiou

Abstract

The aim of this study is to investigate the contribution of neotectonic processes in the development of the fluvial landscape of the north Evia Island, in Central Greece, and to evaluate the relative tectonic activity in the study area. For this purpose various quantitative geomorphometric indices were estimated for a total of 189 drainage networks and basins of the study area. The drainage basins were classified, according to the estimated values of each morphometric parameter, into two groups and maps showing their spatial distribution were produced.. The combination of the calculated morphometric parameters led to a new index. Following it, the basins were characterized as of low, moderate or high tectonic activity. The quantitative analysis showed that the development of the present drainage systems of the study area and the geometry of the basins have been influenced by the tectonic uplift caused by the two NW-SE trending offshore active normal fault systems: the north Gulf of Evia fault and the Aegean Sea fault zone, respectively. The spatial distribution of the new index values showed significant differences among the studied basins which reflect differences in tectonic activity related to their location with regard to the local tectonic pattern.

* *Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Ελ. Βενιζέλου 70, 17671, Αθήνα, Ελλάδα (kvalkanou@hua.gr, karymbalis@hua.gr)*

** *Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, Λόφος Νυμφών,11810, Θησείο, Αθήνα, Ελλάδα (d.papan@noa.gr)*

*** *Τμήμα Χημικών και Γεωλογικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο της Μόντενα και Ρέτζιο Εμίλια, Ιταλία (soldati@unimore.it)*

**** *Τομέας Γεωγραφίας - Κλιματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Πανεπιστημιούπολη, 15771, Ιλίσια, Αθήνα, Ελλάδα (gaki@geol.uoa.gr)*

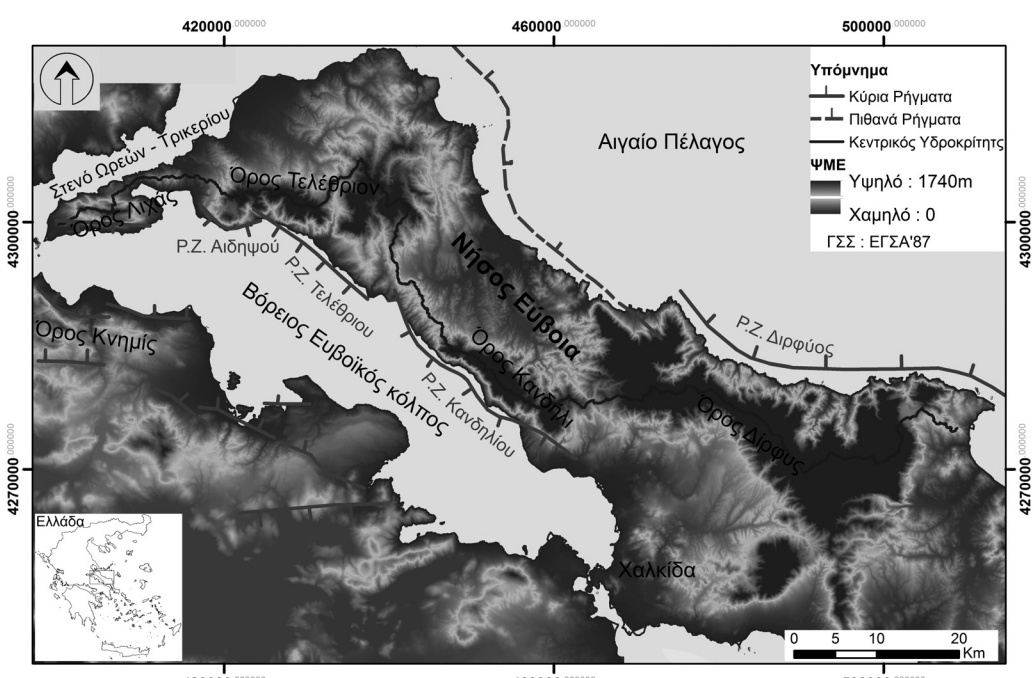
Εισαγωγή-Περιοχή μελέτης

Η διαμόρφωση και εξέλιξή του αναγλύφου καθορίζεται σε σημαντικό βαθμό από την αλληλεπίδραση μεταξύ της τεκτονικής, της λιθολογίας των επιφανειακών γεωλογικών σχηματισμών, του κλίματος, της διάβρωσης και της απόθεσης. Τα υδρογραφικά δίκτυα έχουν έναν κρίσιμο ρόλο στη διαδικασία διαμόρφωσης του αναγλύφου ενώ ταυτόχρονα επηρεάζονται από το τεκτονικό καθεστώς. Η επίδραση αυτή αντανακλάται τόσο στον τύπο των υδρογραφικών δικτύων όσο και στα μορφολογικά χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής τους.

Η Ελλάδα βρίσκεται στο ενεργό μέτωπο σύγκλισης της Αφρικανικής με την Ευρασιατική λιθοσφαιρική πλάκα συνεπώς το ανάγλυφό της αντανακλά με διαφόρους τρόπους τον πρόσφατο τεκτονισμό. Η ποσοτική γεωμορφολογική ανάλυση των υδρογραφικών δικτύων και των λεκανών απορροής σε συνδυασμό με τη μελέτη της εξέλιξης των ενεργών κανονικών ρηγμάτων μπορούν να συμβάλλουν στην κατανόηση της συμπεριφοράς των ενεργών ρηγμάτων σε περιοχές με φτωχά ιστορικά δεδομένα σεισμών (Goldsworthy and Jackson 2000). Τέτοιες μελέτες περιλαμβάνουν ποσοτικές μετρήσεις όπως αυτές που αφορούν την εκτίμηση μορφομετρικών παραμέτρων οι οποίες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στον υπολογισμό της πρόσφατης τεκτονικής δραστηριότητας μιας περιοχής (Keller and Pinter 2002).

Ο υπολογισμός πολλών διαφορετικών μορφομετρικών δεικτών, και αρκετές φορές ο συνδυασμός τους, οδηγεί σε σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με την αναγνώριση της τεκτονικής δραστηριότητας μιας περιοχής (Keller and Pinter 2002). Πολλές προσεγγίσεις εστιάζουν σε έναν συγκεκριμένο μορφομετρικό δείκτη ή σε μια συγκεκριμένη περιοχή αλλά πολλές μελέτες αφορούν ευρύτερες περιοχές και χρησιμοποιούν πολλαπλές ποσοτικές γεωμορφολογικές παραμέτρους (Dehbozorgi et al. 2010; Dar et al. 2014). Πολλές πρόσφατες μελέτες μορφοτεκτονικής ανάλυσης βασίζονται στον υπολογισμό τέτοιων δεικτών (π.χ Kokinou et al. 2015).

Η παρούσα εργασία ερευνά το ρόλο των πρόσφατων τεκτονικών διεργασιών στην εξέλιξη του ανάγλυφου της βόρειας Εύβοιας που βρίσκεται στην ανατολική Στερεά Ελλάδα, μέσω του υπολογισμού διαφόρων ποσοτικών γεωμορφολογικών και μορφοτεκτονικών δεικτών για 189 υδρογραφικά δίκτυα και τις αντίστοιχες λεκάνες απορροής τους στην περιοχή μελέτης. Ένας από τους κύριους σκοπούς της έρευνας αυτής είναι επίσης ο υπολογισμός του σχετικού ρυθμού της πρόσφατης τεκτονικής δραστηριότητας με τη βοήθεια της ποσοτικής μορφομετρικής ανάλυσης των λεκανών απορροής.

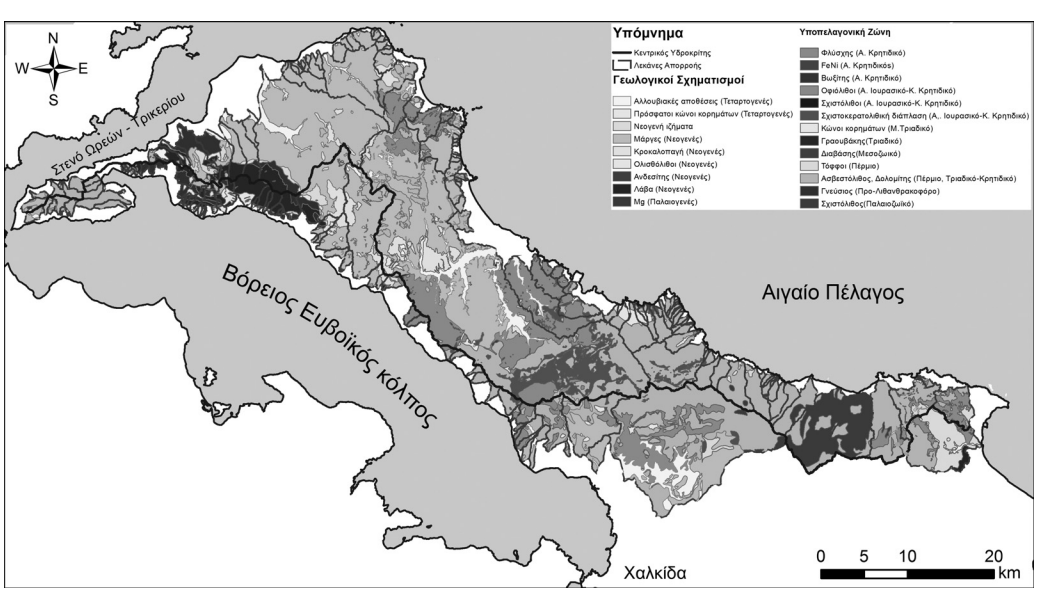


Εικόνα 1. Ψηφιακό μοντέλο εδάφους της ευρύτερης περιοχής της βόρειας Εύβοιας Στην Εικόνα φαίνονται επίσης οι κύριες και πιθανές ρηξιγενείς ζώνες (P.Z) με βάση τους Roberts and Jackson (1991) και Palyvos et al. (2006).

Το βόρειο τμήμα της Εύβοιας αποτελεί μια στενή λωρίδα χέρσου μεταξύ του Αιγαίου πελάγους στα ανατολικά και του βόρειου Ευβοϊκού κόλπου στα δυτικά. Βόρεια τα στενά των Ωρεών - Τρικερίου χωρίζουν την Εύβοια από τη Θεσσαλία και την ηπειρωτική Στερεά Ελλάδα. Η τοπογραφία της περιοχής μελέτης μπορεί να περιγραφεί σαν μια συνεχής διαδοχή ορεινών όγκων και πεδιάδων χαμηλού υψόμετρου (Εικόνα 1).

Η περιοχή μελέτης δομείται τόσο από Αλπικούς, όσο και από Μεταλπικούς γεωλογικούς σχηματισμούς (Εικόνα 2). Οι Αλπικοί σχηματισμοί ανήκουν στην υπο-Πελαγονική γεωτεκτονική ζώνη των Εσωτερικών Ελληνίδων και περιλαμβάνουν ασβεστόλιθους ηλικίας Τριαδικού - Ιουρασικού, οφιολίθους ηλικίας Ανώτερου Ιουρασικού - Κατώτερου Κρητιδικού και τη σχιστοκερατολιθική διάπλαση ηλικίας Ανώτερου Ιουρασικού - Κατώτερου Κρητιδικού. Κατά τη διάρκεια του Ανώτερου Ιουρασικού - Κατώτερου Κρητιδικού η ζώνη αναδύθηκε, σχηματίστηκαν σιδηρονικελιούχα κοιτάσματα και ακολούθως καλύφθηκαν από το Μέσο-Άνω Κρητιδικό τεκτονικό κάλυμμα το οποίο με τη σειρά του καλύπτεται από επικλυσιγενείς ασβεστόλιθους ηλικίας Άνω Κρητιδικού και υπερβασικά πετρώματα (Μουντράκης 1985). Οι Μεταλπικοί σχηματισμοί ουσιαστικά συνίστανται από ποταμολιμναίες αποθέσεις ηλικίας Ανώτερου Μειόκαινου - Πλειστόκαινου. Στις εκβολές των ποταμών καθώς και κατά μήκος των κεντρικών κοιτών των, μεγάλων κυρίως, υδρογραφικών δικτύων αναπτύσσονται πρόσφατες αλλουβιακές αποθέσεις Ολοκαινικής ηλικίας.

Ο βόρειος Ευβοϊκός κόλπος και ο Κορινθιακός κόλπος είναι ίσως οι δύο περισσότερο ενεργές ρηξιγενείς νεοτεκτονικές δομές της Ελλάδας (Goldsworthy et al. 2002). Οι Roberts and Jackson (1991) αναφέρουν πως η ανάπτυξη των υδρογραφικών δικτύων στη Στερεά Ελλάδα ελέγχεται από τις ρηξιγενείς ζώνες και από τη λιθολογία των ανερχόμενων τεμαχών τους. Οι ρηξιγενείς δομές της περιοχής μελέτης αντιστοιχούν σε δύο υποθαλάσσιες αντιθετικές ζώνες κανονικών ρηγμάτων που έχουν διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και οι οποίες οριοθετούν το ορεινό ανάγλυφο του βόρειου τμήματος του νησιού και το χωρίζουν από τον βόρειο Ευβοϊκό κόλπο στα δυτικά και από το Αιγαίο στα ανατολικά. Η ρηξιγενής ζώνη του Κανδηλίου-Τελέθριου βρίσκεται στα δυτικά και κλίνει προς τα ΝΔ ενώ στα ανατολικά βρίσκεται η ρηξιγενής ζώνη της Δίρφυος που κλίνει προς τα ΒΑ. Σύμφωνα με τους Roberts and Jackson (1991) η ρηξιγενής ζώνη της Δίρφυος που εντοπίζεται κατά μήκος του ομώνυμου όρους, είναι περισσότερο ενεργή, έχει μεγαλύτερη μετατόπιση και εκτείνεται υποθαλάσσια προς το βορά ακολουθώντας την ισοβαθή των 200μ. Τα χαρακτηριστικά όμως της υποθαλάσσιας προέκτασης συνηγορούν πως το τμήμα αυτό είναι λιγότερο ενεργό. Συμπεραίνεται ότι οι υποθαλάσσιες ρηξιγενείς ζώνες κατά μήκος των ανατολικών και δυτικών ακτών, είναι υπεύθυνες για την εξέλιξη του αναγλύφου της περιοχής μελέτης. Τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της βόρειας Εύβοιας όπως τα υδρογραφικά δίκτυα, οι κλιτύες, η παρουσία ποτάμιων αναβαθμίδων και οι ανυψωμένες θαλάσσιες εγκοπές δείχνουν πρόσφατη



Εικόνα 2. Απλοποιημένος λιθολογικός χάρτης των λεκανών απορροής της περιοχής μελέτης (τροποποιημένο από ΙΓΜΕ 1954)

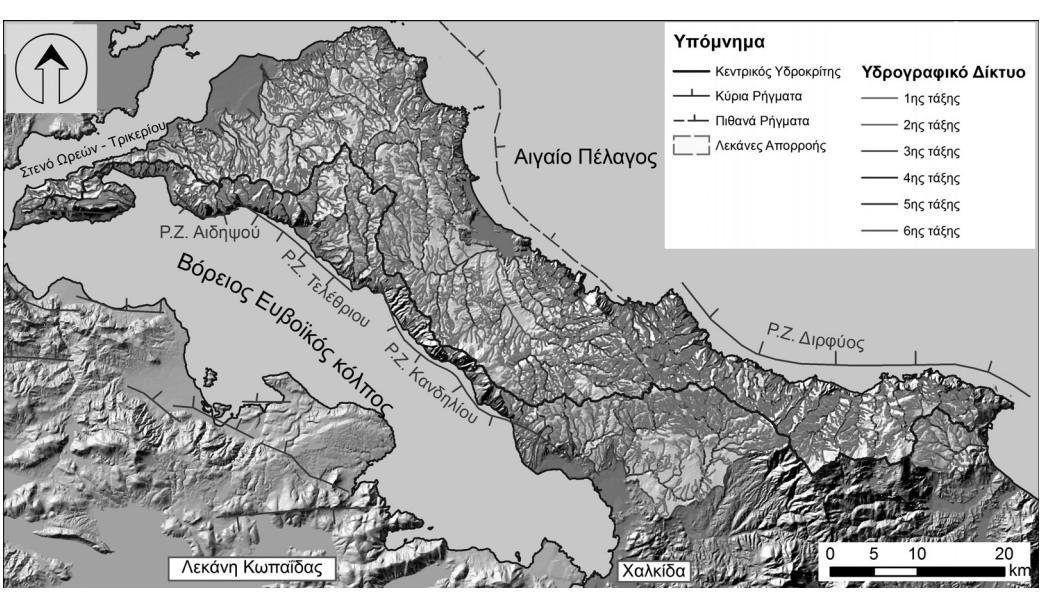
τεκτονική ανύψωση. Τα κύρια ρήγματα της περιοχής μελέτης όπως αυτά έχουν προταθεί κατά καιρούς από διάφορους συγγραφείς (Roberts and Jackson 1991; Goldsworthy et al. 2002; Palyvos et al. 2006; Sakellariou et al. 2007), όπως επίσης και ο κεντρικός υδροκρίτης παρουσιάζονται στην Εικόνα 1. Παρότι ο βόρειος Ευβοϊκός κόλπος δεν εμφανίζει αξιόλογη σεισμική δράση κατά την περίοδο 1900-2000 (Papanastassiou et al. 2001) και η περιοχή μελέτης δεν έχει επηρεαστεί πρόσφατα από μεγάλης έντασης σεισμικές δονήσεις εκτός από τον πολύ πρόσφατο σεισμό έντασης 5.3 βαθμών της κλίμακας Richter που σημειώθηκε στις 9 Ιουνίου 2015 στον βόρειο Ευβοϊκό, έχουν αναφερθεί αρκετά σημαντικά ιστορικά σεισμικά γεγονότα (Pantosti et al. 2004).

Μεθοδολογία

Πολλές μεθοδολογικές προσεγγίσεις εκτίμησης μορφομετρικών παραμέτρων υδρογραφικών δικτύων και λεκανών απορροής καθώς και συσχέτισή τους με την τεκτονική δραστηριότητα μιας περιοχής βασίζεται στην επεξεργασία μεγάλου όγκου χωρικών δεδομένων σε περιβάλλον Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (ΓΠΣ - GIS). Για το σκοπό της παρούσας μελέτης σχεδιάστηκε και οργανώθηκε μια ψηφιακή βάση χωρικών δεδομένων για τη βόρεια Εύβοια. Η γεωβάση αυτή αποτελείται από πρωτογενή θεματικά επίπεδα όπως αυτά των ισοϋψών καμπυλών, των υψομετρικών σημείων, των κλάδων των υδρογραφικών δικτύων, των λεκανών απορροής, των γεωλογικών σχηματισμών και των κύριων ρηξιγενών ζωνών. Πηγή αυτών των δεδομένων είναι τοπογραφικοί χάρτες κλίμακας 1:50,000 (ισοδιάσταση 20μ), αεροφωτογραφίες κλίμακας 1:33,000 έτους λήψης 1996 από τη Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (ΓΥΣ) καθώς και γεωλογικοί χάρτες κλίμακας 1:50,000 από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ). Οι χάρτες και οι αεροφωτογραφίες γεωαναφέρθηκαν σε κοινό χαρτογραφικό σύστημα συντεταγμένων (ΕΓΣΑ'87) και κατόπιν με ψηφιοποίηση δημιουργήθηκαν τα πρωτογενή θεματικά επίπεδα πληροφοριών που αναφέρθηκαν παραπάνω. Η επεξεργασία αυτών των θεματικών επιπέδων σε περιβάλλον ΓΠΣ οδήγησε στη δημιουργία δευτερογενών επιπέδων όπως είναι για παράδειγμα το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (ΨΜΕ-DEM) της περιοχής. Η οργάνωση της ψηφιακής χωρικής βάσης δεδομένων, οι υπολογισμοί των μορφομετρικών παραμέτρων των λεκανών απορροής καθώς και η δημιουργία των χαρτών της εργασίας, πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση του λογισμικού ArcGIS 10.x της ESRI.

Στην Εικόνα 3 παρουσιάζονται τα υδρογραφικά δίκτυα, οι αντίστοιχες λεκάνες απορροής καθώς και η θέση τους σε σχέση με τις κύριες ρηξιγενείς ζώνες της περιοχής μελέτης.

Για την καλύτερη κατανόηση της εξέλιξης του αναγλύφου και με σκοπό να διερευνηθεί ο ρόλος της τεκτονικής, στην παρούσα εργασία υπολογίστηκε μια σειρά ποσοτικών μορφομετρικών παραμέτρων τόσο των υδρογραφικών δικτύων όσο και των αντίστοιχων



ΕΙΚΟΝΑ 3
Εικόνα 3. Χάρτης των υδρογραφικών δικτύων και των αντίστοιχων λεκανών απορροής της περιοχής μελέτης. Στην χάρτη φαίνονται επίσης οι κύριες ρηξιγενείς ζώνες καθώς και ο κεντρικός υδροκρίτης της βόρειας Εύβοιας.

λεκανών απορροής. Οι παράμετροι αυτές περιλαμβάνουν το εμβαδό (A_b) και την περίμετρο (P_b) της λεκάνης απορροής, το κορυφαίο υψομετρικά σημείο της λεκάνης απορροής (C_b), το συνολικό μήκος των κοιτών του υδρογραφικού δικτύου (L_c), το συνολικό μήκος των ισοϋψών (ανά 20μ) που βρίσκονται εντός της λεκάνης απορροής (ΣL_c), την κυκλικότητα της λεκάνης απορροής (Cir_b), το λόγος επιμήκυνσης (R_e), την υδρογραφική πυκνότητα (D_b), το ανάγλυφο (R_b) και το σχήμα (R_f) της λεκάνης απορροής , την κλίση των κλιτύων της λεκάνης απορροής (S_b), το υψομετρικό ολοκλήρωμα (H_i), το δείκτη ασυμμετρίας (A_f), το λόγος αναγλύφου (R_h), και τον αριθμός τραχύτητας του Melton (M). Πέντε από τις παραπάνω παραμέτρους μελετήθηκαν με μεγαλύτερη λεπτομέρεια και ο συνδυασμός τους έδωσε ενδιαφέροντα αποτελέσματα. Μεταξύ των παραμέτρων αυτών το υψομετρικό ολοκλήρωμα (H_i) και ο δείκτης ασυμμετρίας (A_f) είναι οι περισσότερο συχνά χρησιμοποιούμενοι και αναγνωρισμένοι μορφοτεκτονικοί δείκτες από τους Keller and Pinter (2002) και θεωρείται ότι αποτελούν βασικά εργαλεία αναγνώρισης της επίδρασης της τεκτονικής στις λεκάνες απορροής. Επιπλέον για το σύνολο των λεκανών υπολογίστηκαν και αναλύθηκαν οι παράμετροι της κλίσης των κλιτύων της λεκάνης απορροής (S_b), του λόγου αναγλύφου (R_h) και του αριθμού τραχύτητας του Melton (M). Για κάθε έναν από αυτούς τους δείκτες οι λεκάνες απορροής ταξινομήθηκαν σε δύο τάξεις με βάση τις υπολογιζόμενες τιμές. Έτσι η τάξη 1 περιλαμβάνει λεκάνες με χαμηλές τιμές της εκάστοτε παραμέτρου που αντιστοιχεί σε περιοχές με χαμηλή τεκτονική δραστηριότητα, ενώ η τάξη 2 περιλαμβάνει λεκάνες με υψηλές τιμές της εκάστοτε παραμέτρου που χαρακτηρίζει περιοχές με υψηλή τεκτονική δραστηριότητα. Εκτός από τον υπολογισμό των περιγραφικών στατιστικών δεικτών των παραμέτρων όλων των λεκανών, σχεδιάστηκε μια σειρά χαρτών όπου φαίνεται η χωρική κατανομή της κάθε παραμέτρου στην περιοχή μελέτης.

Εκτός της μεμονωμένης μελέτης κάθε μίας από τις πέντε μορφομετρικές παραμέτρους, επιχειρήθηκε ο συνδυασμός τους (με χρήση του μέσου όρου τους) μέσω της δημιουργίας ενός νέου δείκτη. Οι λεκάνες ταξινομήθηκαν με βάση τις τιμές του νέου δείκτη σε τρεις τάξεις: λεκάνες που έχουν επηρεαστεί σε (1) χαμηλό, (2) μέτριο και (3) υψηλό βαθμό από την τεκτονική δραστηριότητα. Η χωρική κατανομή των τιμών του νέου δείκτη δείχνει να αντανακλά το τεκτονικό καθεστώς της περιοχής μελέτης. Σε μία προσπάθεια να διερευνηθεί η επίδραση της λιθολογίας στο σχήμα, τη γεωμετρία και γενικά τη μορφολογία των λεκανών απορροής οι γεωλογικοί σχηματισμοί που απαντώνται στις λεκάνες ταξινομήθηκαν σε τέσσερις κατηγορίες με βάση την ανθεκτικότητά τους στη διάβρωση. Υπολογίστηκε το ποσοστό συμμετοχής κάθε ενός από τους τέσσερις κύριους λιθολογικούς τύπους σε κάθε λεκάνη και προσδιορίστηκε η σχέση του ποσοστού αυτού με τις τιμές του νέου μορφομετρικού δείκτη.

Μορφομετρία-Αποτελέσματα ανάλυσης

Κλίση λεκάνης απορροής (S_b)

Η παράμετρος της κλίσης των κλιτύων της λεκάνης απορροής (S_b), υπολογίστηκε με τον ακόλουθο τύπο:

$S_b=(e*\Sigma L_c/A_b)*100$,

όπου e = ισοδιάσταση, ΣL_c = συνολικό μήκος ισοϋψών καμπυλών εντός της λεκάνης απορροής και A_b= εμβαδό λεκάνης απορροής.

Οι λεκάνες με απόκρημνο ανάγλυφο (μεγάλων κλίσεων) συνήθως έχουν διαμορφωθεί από υδρογραφικά δίκτυα που αποστραγγίζουν την περιοχή του ανυψούμενου τεμάχους ενός ενεργού ρήγματος (Burbank and Anderson 2008). Οι τιμές της παραμέτρου αυτής ποικίλουν από 15.2 % έως 74.6 % για το σύνολο των λεκανών απορροής που μελετήθηκαν (Πίνακας 1). Οι τιμές της κλίσης χωρίσθηκαν σε δύο τάξεις. Η πρώτη τάξη περιλαμβάνει λεκάνες με τιμές κλίσης $S_b \leq 41.88$ % ενώ οι λεκάνες της δεύτερης τάξης έχουν τιμές κλίσης $S_b > 41.88$ % (41.88% είναι η μέση τιμή κλίσης των 189 λεκανών απορροής).

Στην Εικόνα 4 φαίνεται η χωρική κατανομή των τιμών των κλίσεων των λεκανών απορροής. Είναι προφανές πως οι υψηλές τιμές, οι οποίες δείχνουν απόκρημνο ανάγλυφο, εντοπίζονται σε λεκάνες που αναπτύσσονται στα ανυψούμενα τεμάχη των ρηγμάτων της Διρφύος, του Κανδηλίου-Τελέθριου και της Αιδηψού. Υπάρχει μια σαφής διαφοροποίηση μεταξύ των μεγάλης κλίσης περιοχών που επηρεάζονται από τις ρηξιγενείς ζώνες και των υπόλοιπων σχετικά μικρής κλίσης περιοχών. Στο βορειοανατολικό τμήμα του νησιού παρατηρείται ένας μικρός αριθμός λεκανών που εμφανίζουν κλίσεις μεγαλύτερες από τις γειτονικές τους λεκάνες. Οι υψηλές κλίσεις στην περιοχή αυτή

φαίνεται πως οφείλονται στη λιθολογία και μπορούν να αποδοθούν στην παρουσία ανθεκτικών στη διάβρωση γεωλογικών σχηματισμών οι οποίοι ευνοούν την ανάπτυξη λεκανών με απότομες κλίσεις.

Υψομετρικό ολοκλήρωμα (Hi)

Το υψομετρικό ολοκλήρωμα (H_i) αντικατοπτρίζει τη μορφή της υψομετρικής καμπύλης για μια λεκάνη απορροή. Υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση (Pike and Wilson 1971; Mayer 1990; Keller and Pinter 2002)):

$Hi=(H_{mean}-H_{min}) / (H_{max}-H_{min})*100$,

όπου H_{mean}= μέσο υψόμετρο της λεκάνης , H_{min}= υψόμετρο στο σημείο εξόδου και H_{max}= υψόμετρο υψηλότερου σημείου της λεκάνης.

Υψηλές τιμές Hi δείχνουν έντονο ανάγλυφο (τοπογραφία) (Keller and Pinter 2002). Οι τιμές του υψομετρικού ολοκληρώματος για τις λεκάνες απορροής της περιοχής μελέτης, κυμαίνονται από 13.693 έως 68.076 (Πίνακας 1). Οι τιμές που υπολογίστηκαν ομαδοποιήθηκαν σε δύο τάξεις, με την πρώτη να περιλαμβάνει λεκάνες με Hi<50 ενώ στη δεύτερη ανήκουν λεκάνες με μεγάλες τιμές υψομετρικού ολοκληρώματος Hi≥50.

Το υψομετρικό ολοκλήρωμα είναι ένας ισχυρός δείκτης για τη διάκριση μεταξύ των λεκανών που αναπτύσσονται σε τεκτονικά ενεργές περιοχές από τις λεκάνες των τεκτονικά ανενεργών περιοχών (Παυλίδης 2003). Η χωρική κατανομή των τιμών Hi στη βόρεια Εύβοια φαίνεται στην Εικόνα 5. Υψηλές τιμές, που αντιστοιχούν σε έντονο ανάγλυφο χαρακτηρίζουν λεκάνες που βρίσκονται στα ανυψούμενα τεμάχη των ενεργών ρηγμάτων αν και κατά θέσεις, κυρίως στο βόρειο τμήμα του νησιού, υπάρχουν λεκάνες με υψηλές τιμές παρότι δε σχετίζονται με κάποια από τις γνωστές ενεργές ρηξιγενείς ζώνες.

Δείκτης ασυμμετρίας (A_f)

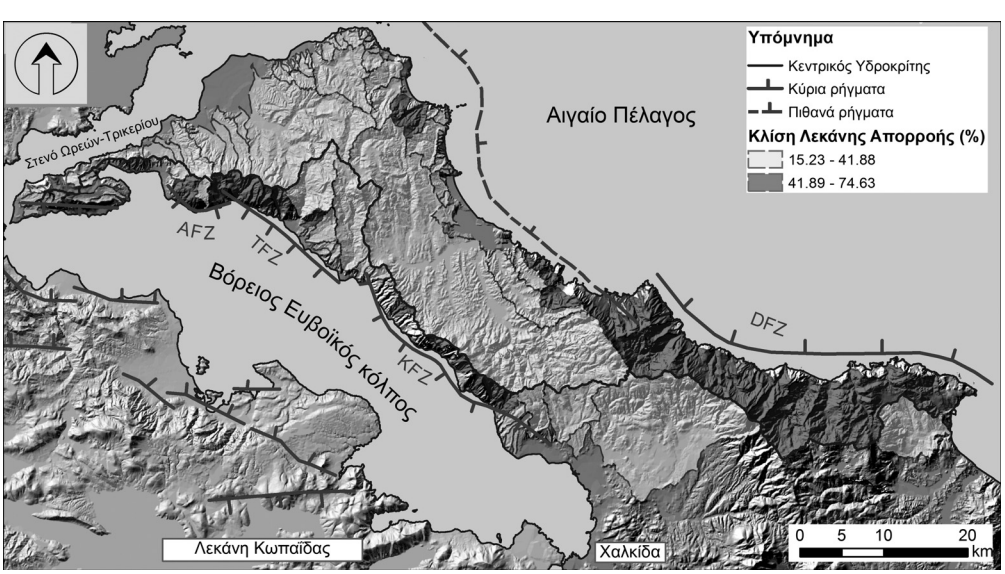
Ο δείκτης ασυμμετρίας (A_f) αποτελεί μια παράμετρο που βοηθά στον εντοπισμό λεκανών απορροής που έχουν αναπτυχθεί ασύμμετρα λόγω της τεκτονικής δραστηριότητας (Keller and Pinter 2002) και ορίζεται ως:

$A_f=100*(A_r/A_t)$,

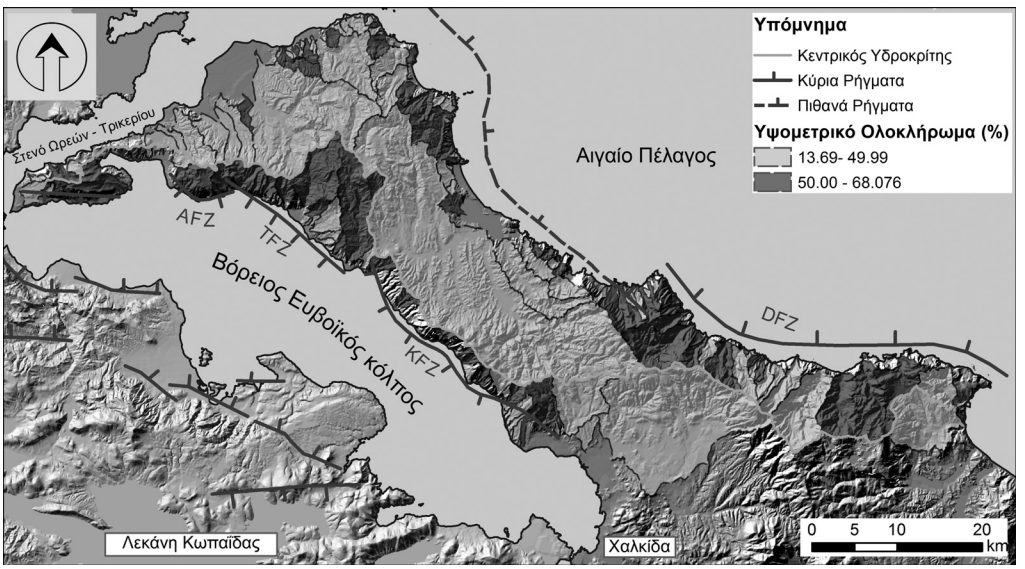
όπου A_r= το εμβαδό του τμήματος της λεκάνης που βρίσκεται δεξιά της διεύθυνσης ροής του ποταμού και A_t= το συνολικό εμβαδό της λεκάνης απορροής.

Λεκάνες που χαρακτηρίζονται από τεκτονική σταθερότητα έχουν τιμή δείκτη ασυμμετρίας περίπου ίσο με 50. Τιμές του δείκτη μεγαλύτερες ή μικρότερες του 50 δείχνουν ασυμμετρία στην ανάπτυξη της λεκάνης εξαιτίας της τεκτονικής δραστηριότητας ή λόγω διαφορών στη λιθολογία (για παράδειγμα όταν ένα τμήμα της λεκάνη αναπτύσσεται σε ευδιάβρωτους γεωλογικούς σχηματισμούς σε αντίθεση με το υπόλοιπο όπου υπάρχουν δυσδιάβρωτα πετρώματα).

Οι τιμές του δείκτη ασυμμετρίας για την περιοχή μελέτης ποικίλουν από 15.48 έως 87.22 (Πίνακας 1). Οι λεκάνες ομαδοποιήθηκαν σε δύο τάξεις ανάλογα με



Εικόνα 4. Χωρική κατανομή των τιμών της παραμέτρου της κλίσης (%) των κλιτύων των λεκανών απορροής της βόρειας Εύβοιας (DFZ: Ρηξιγενής ζώνη Διρφύος, KFZ: Ρηξιγενής ζώνη Κανδηλίου, TFZ: Ρηξιγενής ζώνη Τελέθριου, AFZ: Ρηξιγενής ζώνη Αιδηψού).



Εικόνα 5. Χωρική κατανομή των τιμών του υψομετρικού ολοκληρώματος στη βόρεια Εύβοια (DFZ: Ρηξιγενής ζώνη Διρφύος, KFZ: Ρηξιγενής ζώνη Κανδηλίου, TFZ: Ρηξιγενής ζώνη Τελέθριου, AFZ: Ρηξιγενής ζώνη Αιδηψού).

τις τιμές του δείκτη: η πρώτη τάξη (1) αφορά λεκάνες με τιμές που κυμαίνονται μεταξύ, $45.5<A_f<55.5$ δηλαδή περίπου 50, ενώ η δεύτερη τάξη περιλαμβάνει λεκάνες με τιμές εκτός του ανωτέρω εύρους, $A_f \geq 55.5$ και $A_f \leq 45.5$

	Κλίση (%)	Υψομετρικό Ολοκλήρωμα (%)	Δείκτης Ασυμμετρίας (%)	Λόγος Αναγλύφου	Αριθμός τραχύτητας του Melton
Ελάχιστη τιμή	15.2	13.693	15.477	0.045	0.068
Μέγιστη τιμή	74.6	68.076	87.221	0.63	1.377
Μέση τιμή	41.88	49.314	48.346	0.22	0.459

Πίνακας 1. Μέγιστη, ελάχιστη και μέση τιμή των πέντε βασικών μορφομετρικών δεικτών για το σύνολο των 189 λεκανών απορροής που μελετήθηκαν.

Όσον αφορά στη χωρική κατανομή του δείκτη ασυμμετρίας, σχεδόν το σύνολο των λεκανών εμφανίζουν ασύμμετρη ανάπτυξη, ενώ πολύ λίγες δείχνουν να είναι συμμετρικές (Εικόνα 6). Είναι προφανές πως για την ασύμμετρη ανάπτυξη των λεκανών ευθύνονται οι ενεργές ρηξιγενείς ζώνες που εντοπίζονται κατά μήκος τόσο των ανατολικών, όσο και των δυτικών ακτών του νησιού. Μεταξύ των ρηγμάτων Κανδηλίου και Τελέθριου καθώς επίσης και στη βόρεια απόληξη του κύριου ρήγματος Δίρφυος, εντοπίζονται κάποιες λεκάνες που ανήκουν στην πρώτη τάξη και συνεπώς η μορφολογία τους δεν επηρεάζεται από την τεκτονική δραστηριότητα που οφείλεται στις ρηξιγενείς ζώνες. Ανάλογες λεκάνες αναπτύσσονται επίσης στο βορειότερο τμήμα του νησιού.

Λόγος αναγλύφου (R_h)

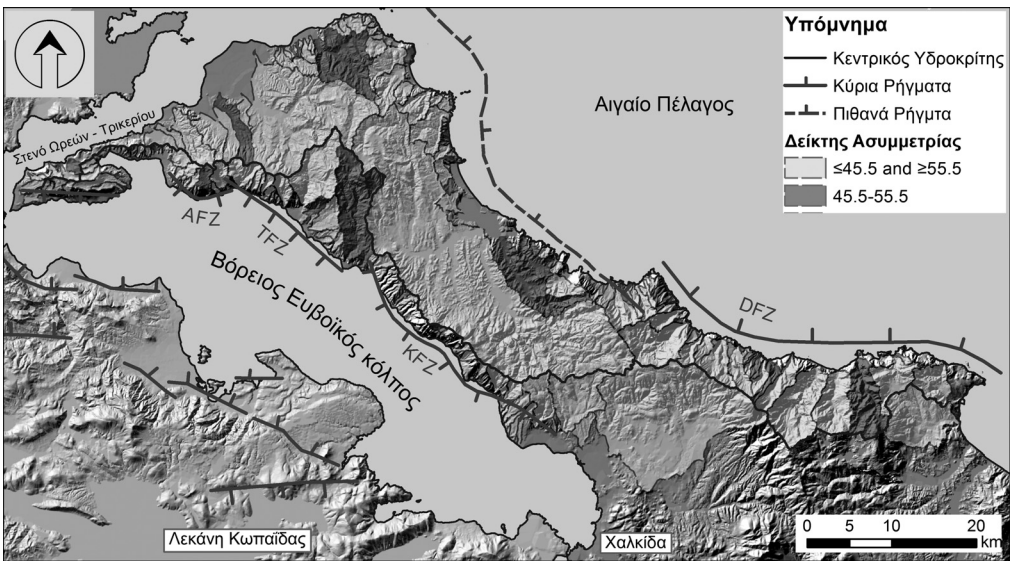
Ο λόγος αναγλύφου (R_h) συγκαταλέγεται μεταξύ των παραμέτρων που σχετίζονται με τη μορφολογική κλίση του αναγλύφου και υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο (Ritter et al. 1995) :

$R_h = H/L$,

όπου H= το ανάγλυφο της λεκάνης, L= το μήκος της λεκάνης.

Υψηλές τιμές του λόγου χαρακτηρίζουν περιοχές με έντονη τεκτονική ανύψωση (Panek 2004). Στο σύνολό τους οι τιμές για τις λεκάνες απορροής της περιοχής μελέτης ποικίλουν από 0.045 έως 0.630 (Πίνακας 1). Οι λεκάνες χωρίστηκαν σε δύο τάξεις: η τάξη 1 περιλαμβάνει λεκάνες με $Rh \leq 0.22$ και η τάξη 2 περιλαμβάνει λεκάνες με $Rh>0.22$ (0.22 είναι η μέση τιμή για το σύνολο των 189 λεκανών απορροής).

Η χωρική κατανομή των τιμών του λόγου αναγλύφου για την περιοχή μελέτης απεικονίζεται στην Εικόνα 7. Όπως ήταν αναμενόμενο η χωρική κατανομή της παραμέτρου αυτής είναι ίδια με την γεωγραφική κατανομή της κλίσης των κλιτύων των λεκανών απορροής με τις υψηλές τιμές να εντοπίζονται στις λεκάνες των ανυψούμενων τεμαχών των κύριων ενεργών ρηγμάτων.



Εικόνα 6. Χωρική κατανομή των τιμών του δείκτη ασυμμετρίας στη βόρεια Εύβοια (DFZ: Ρηξιγενής ζώνη Διρφύος, KFZ: Ρηξιγενής ζώνη Κανδηλίου, TFZ: Ρηξιγενής ζώνη Τελέθριου, AFZ: Ρηξιγενής ζώνη Αιδηψού).

Αριθμός τραχύτητας του Melton (M)

Ο αριθμός τραχύτητας του Melton (M) υπολογίστηκε με βάση την εξίσωση (Melton 1965) :

$R_b * A_b^{-0.5}$

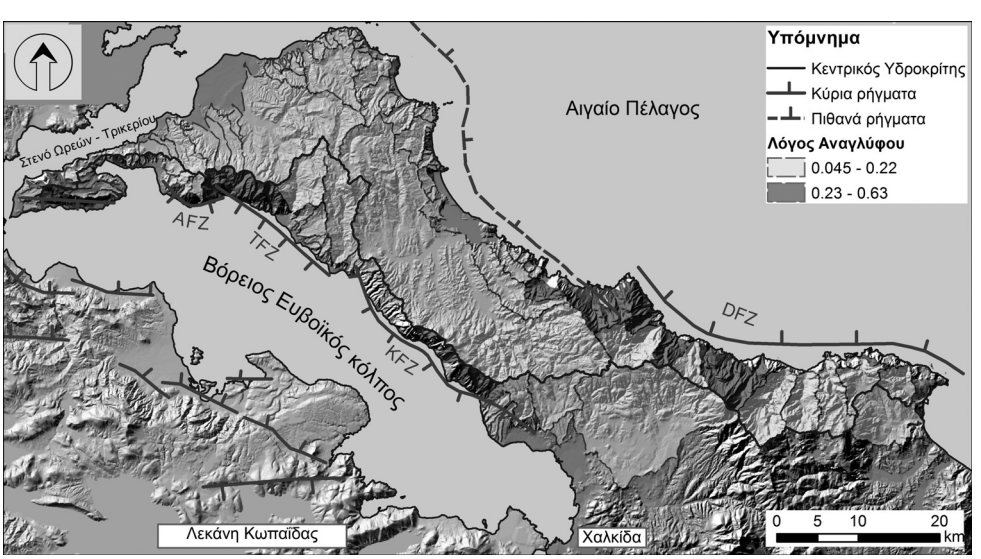
όπου R_b= το ανάγλυφο της λεκάνης και A_b= το εμβαδό της λεκάνης απορροής.

Υψηλές τιμές αντιστοιχούν σε τραχύ ανάγλυφο. Στην περιοχή μελέτης οι τιμές του αριθμού αυτού κυμαίνονται από 0.068 έως 1.377 (Πίνακας 1). Οι λεκάνες απορροής χωρίστηκαν σε δύο τάξεις ανάλογα με τις τιμές της παραμέτρου αυτής με την τάξη 1 να περιλαμβάνει λεκάνες με $M \leq 0.459$ και την τάξη 2 να περιλαμβάνει λεκάνες με $M > 0.459$ (0.459 είναι η μέση τιμή για το σύνολο των 189 λεκανών απορροής).

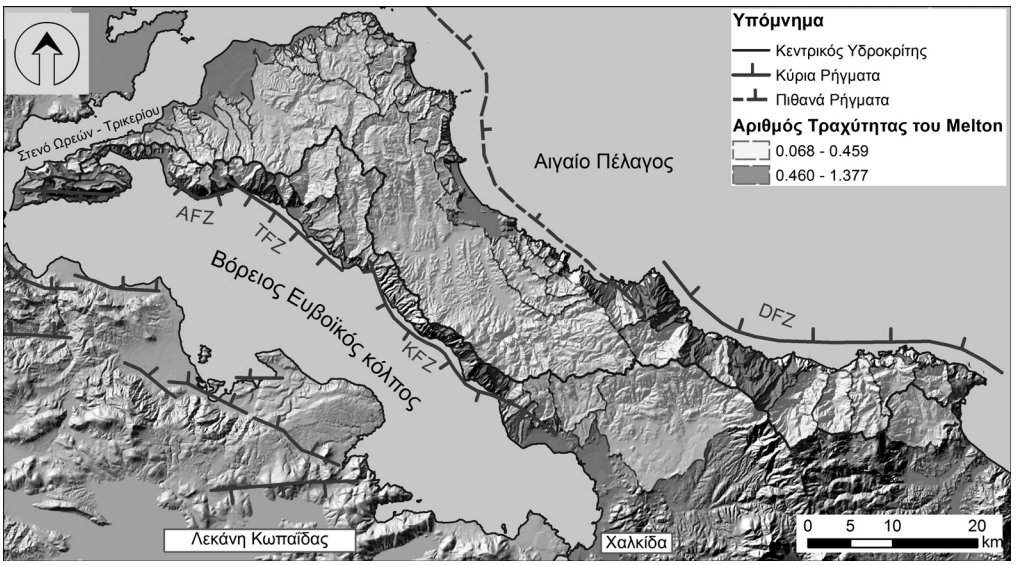
Η χωρική κατανομή των τιμών του αριθμού τραχύτητας Melton απεικονίζεται στο χάρτη της Εικόνας 8 και φαίνεται πως είναι παρόμοια με την κατανομή των άλλων δεικτών με τις λεκάνες μεγάλης τραχύτητας να αναπτύσσονται στα ανυψούμενα τεμάχη των σημαντικών ρηγμάτων. Η τεκτονική ανύψωση προκαλεί την έντονη κατά βάθος διάβρωση των υδρογραφικών δικτύων διαμορφώνοντας λεκάνες με έντονες μορφολογικές κλίσεις.

Ο ρόλος της λιθολογίας στη μορφολογία των λεκανών

Σε μια προσπάθεια διερεύνησης της επίδραση των διαφόρων λιθολογικών τύπων στο σχήμα και τα



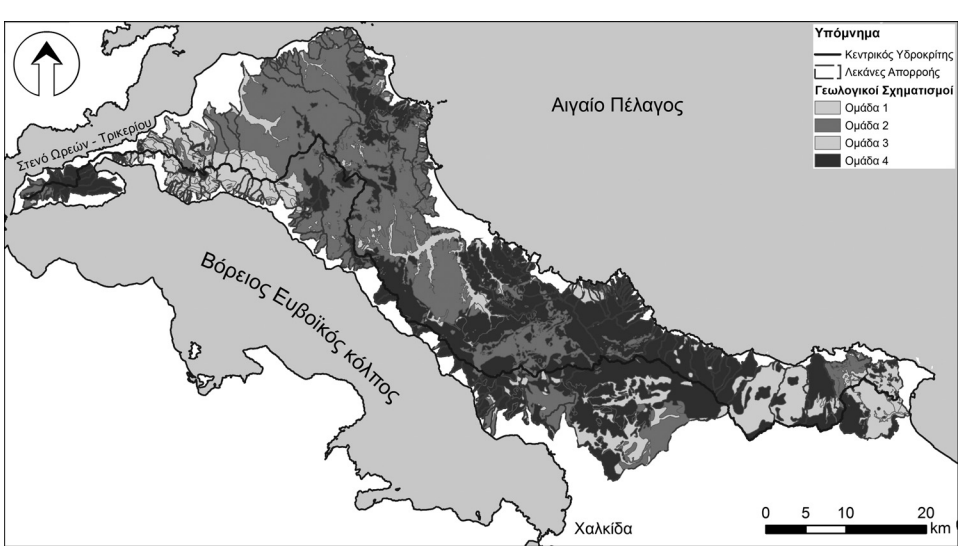
Εικόνα 7. Χωρική κατανομή των τιμών του λόγου αναγλύφου στη βόρεια Εύβοια (DFZ: Ρηξιγενής ζώνη Διρφύος, KFZ: Ρηξιγενής ζώνη Κανδηλίου, TFZ: Ρηξιγενής ζώνη Τελέθριου, AFZ: Ρηξιγενής ζώνη Αιδηψού).



Εικόνα 8. Χωρική κατανομή των τιμών του αριθμού τραχύτητας του Melton στη βόρεια Εύβοια (DFZ: Ρηξιγενής ζώνη Διρφύος, KFZ: Ρηξιγενής ζώνη Κανδηλίου, TFZ: Ρηξιγενής ζώνη Τελέθριου, AFZ: Ρηξιγενής ζώνη Αιδηψού).

μορφολογικά χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής, οι γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής μελέτης ομαδοποιήθηκαν σε τέσσερις κατηγορίες με βάση την σχετική τους ανθεκτικότητα στις διαβρωτικές διεργασίες Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει επιφανειακές χαλαρές αποθέσεις όπως αλλουβιακές αποθέσεις, κώνους κορημάτων και ημι-συνεκτικούς κώνους κορημάτων. Η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει ευδιάβρωτους γεωλογικούς σχηματισμούς όπως μάργες, ψαμμίτες, πετρώματα της σχιστοκερατολιθικής διάπλασης και τραβερτίνη. Η τρίτη ομάδα χαρακτηρίζεται από πετρώματα μέτριας ανθεκτικότητας και περιλαμβάνει σχιστόλιθους και φυλλίτες ενώ η τέταρτη ομάδα αποτελείται από ανθεκτικά στη διάβρωση πετρώματα όπως ασβεστόλιθοι, δολομίτες, γραουβάκες, συνεκτικοποιημένα κροκαλοπαγή, οφιόλιθοι, περιδοτίτες και χαλαζίτες (Εικόνα 9).

Η σχετική συμμετοχή καθενός από τους τέσσερις κύριους λιθολογικούς τύπους που απαντώνται στην περιοχή μελέτης υπολογίστηκε ως ποσοστό επί της συνολικής επιφάνειας της κάθε λεκάνης και επιχειρήθηκε η συσχέτιση των τιμών των μορφομετρικών δεικτών με την επικρατούσα σε κάθε λεκάνη λιθολογία. Δεν διαπιστώθηκε κάποια ιδιαίτερα σημαντική σχέση μεταξύ λιθολογίας και μορφομετρικών παραμέτρων. Συνεπώς ο ρόλος της λιθολογίας στη διαμόρφωση της μορφολογίας των λεκανών δεν είναι ξεκάθαρος. Η μη συσχέτιση πιθανά οφείλεται στην μεγάλη ποικιλία διαφορετικής λιθολογίας σχηματισμών που δομούν τις λεκάνες με αποτέλεσμα η αντίσταση του υπόβαθρου στη



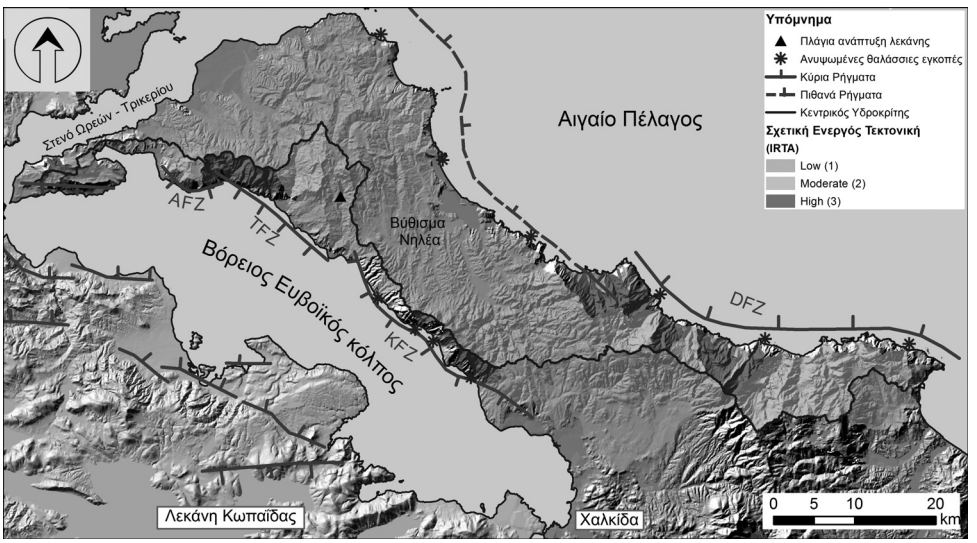
Εικόνα 9. Απλοποιημένος λιθολογικός χάρτης της περιοχής μελέτης (ομάδα 1:επιφανειακές χαλαρές αποθέσεις όπως αλλουβιακές προσχώσεις, πρόσφατοι κώνοι κορημάτων και ημι-συνεκτικοί κώνοι κορημάτων, ομάδα 2: ευδιάβρωτοι γεωλογικοί σχηματισμοί όπως μάργες, ψαμμίτες, πετρώματα της σχιστοκερατολιθικής διάπλασης και τραβερτίνης, ομάδα 3: πετρώματα μέτριας ανθεκτικότητας όπως σχιστόλιθοι και φυλλίτες, ομάδα 4: ανθεκτικά στη διάβρωση πετρώματα όπως ασβεστόλιθοι, δολομίτες, γραουβάκες, συνεκτικοποιημένα κροκαλοπαγή, οφιόλιθοι, περιδοτίτες και χαλαζίτες)

διάβρωση να μην είναι εύκολο να προσδιοριστεί. Ωστόσο σύμφωνα με τους Goldsworthy and Jackson (2000) τοπικά διαφορές στη μορφολογία μεταξύ λεκανών απορροής που αναπτύσσονται στο ανυψούμενο τέμαχος των ρηγμάτων αποδίδονται στη λιθολογία στο αν δηλαδή οι γεωλογικοί σχηματισμοί που αποστραγγίζουν τα υδρογραφικά δίκτυα είναι περισσότερο ή λιγότερο ανθεκτικό στην ποτάμια διάβρωση.

Εκτίμηση της σχετικής τεκτονικής δραστηριότητας

Η ποσοτικοποίηση των μορφολογικών χαρακτηριστικών των λεκανών απορροής μέσω του συνδυασμού διαφόρων γεωμορφολογικών δεικτών ή παραμέτρων με σκοπό τη δημιουργία ενός δείκτη που να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της σχετικής τεκτονικής δραστηριότητας έχει αποδειχθεί μια αποτελεσματική μέθοδος στις μορφοτεκτονικές μελέτες (El Hamdouni et al. 2008; Dehbozorgi et al. 2010). Οι μορφομετρικές παράμετροι που μπορούν να συνδυαστούν είναι πολυάριθμες και κάθε μελέτη εστιάζει σε διάφορους συνδυασμούς. Οι El Hamdouni et al. (2008) ανέπτυξαν έναν δείκτη συνδυάζοντας διάφορες μορφομετρικές παραμέτρους (όπως υψομετρικό ολοκλήρωμα, δείκτης ασυμμετρίας, λόγος πλάτους προς βάθος κοιλάδας και άλλες) και ο υπολογισμός του συνδυαστικού αυτού δείκτη οδήγησε στην ταξινόμηση του ανάγλυφου του νοτιοδυτικού περιθωρίου της Sierra Nevada (νότια Ισπανία) σε κατηγορίες σχετικής τεκτονικής δραστηριότητας. Με τον τρόπο αυτό προσδιορίστηκαν οι επιμέρους περιοχές που έχουν επηρεαστεί σε σημαντικό βαθμό από τον πρόσφατο τεκτονισμό.

Για τη μελέτη της σχετικής τεκτονικής δραστηριότητας στη βόρεια Εύβοια και τον εντοπισμό περιοχών που επηρεάζονται περισσότερο από τον τεκτονισμό συνδυάστηκαν οι πέντε μορφομετρικές παράμετροι και ο μέσος όρος τους οδήγησε σε έναν νέο δείκτη που ονομάστηκε Irta (Index of Relative Tectonic Activity-Δείκτης σχετικής ενεργού τεκτονικής). Ο δείκτης Irta συνδυάζει τις παραμέτρους της κλίσης των κλιτύων της λεκάνης απορροής, του υψομετρικού ολοκληρώματος, του δείκτη ασυμμετρίας, του λόγου αναγλύφου και του αριθμού τραχύτητας του Melton. Με βάση τις τιμές του νέου αυτού δείκτη οι λεκάνες απορροής χωρίστηκαν σε 3 τάξεις καθεμία από τις οποίες χαρακτηρίζεται από διαφορετικό βαθμό σχετικής πρόσφατης τεκτονικής δραστηριότητας : η τάξη 1 ($1 \leq Irta \leq 1.2$) χαρακτηρίζει λεκάνες που τα μορφολογικά τους χαρακτηριστικά δείχνουν να έχουν επηρεαστεί από μικρή τεκτονική δραστηριότητα, η τάξη 2 ($1.2 < Irta \leq 1.6$) περιλαμβάνει λεκάνες επηρεασμένες από μέτρια τεκτονική δραστηριότητα και η τάξη 3 ($1.6 < Irta \leq 2$) αποτελείται από λεκάνες οι οποίες έχουν επηρεαστεί έντονα από την τεκτονική. Τα αποτελέσματα της παραπάνω ταξινόμησης εμφανίζονται στην Εικόνα 10. Για την περιοχή μελέτης η οποία καλύπτει μια έκταση 1,531.92 km^2 η ανάλυση έδειξε πως το 68% ανήκει στην πρώτη τάξη, το 23% ανήκει στην δεύτερη τάξη και μόλις το 9% ανήκει στην τρίτη.



Εικόνα10. Χωρική κατανομή των τιμών του δείκτη IRTA. Το ανάγλυφο κατηγοριοποιείται σε 3 τάξεις με βάση το βαθμό διαμόρφωσης των χαρακτηριστικών του από την τεκτονική δραστηριότητα. (DFZ: Ρηξιγενής ζώνη Διρφύος, KFZ: Ρηξιγενής ζώνη Κανδηλίου, TFZ: Ρηξιγενής ζώνη Τελέθριου, AFZ: Ρηξιγενής ζώνη Αιδηψού). Στο χάρτη σημειώνονται οι θέσεις των ανυψωμένων θαλάσσιων εγκοπών (Stiros et al. 1992).

Συζήτηση

Στην εργασία αυτή επιχειρήθηκε η αναγνώριση της επίδρασης της τεκτονικής δραστηριότητας στα μορφολογικά χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής με τη χρήση ποσοτικών γεωμορφολογικών δεικτών - παραμέτρων οι οποίοι μπορούν εύκολα να υπολογιστούν. Ταυτόχρονα έγινε μια προσπάθεια να εξαχθούν συμπεράσματα για την επίδραση των ήδη χαρτογραφημένων κύριων και πιθανών ρηγμάτων (Εικόνα 10) στην εξέλιξη του αναγλύφου της βόρειας Εύβοιας.

Η αλλαγή στην πολικότητα των λεκανών απορροής και της τοπογραφίας γενικότερα στην περιοχή μελέτης έχει συζητηθεί εκτενώς από τους Leeder and Jackson (1993). Ο δείκτης Irta (ο οποίος προέκυψε από το συνδυασμό 5 ανεξάρτητων παραμέτρων) που υπολογίστηκε για το σύνολο των λεκανών απορροής δείχνει χαμηλή επίδραση από την τεκτονική για τις λεκάνες που έχουν υποστεί στρέψη προς το ρήγμα της Διρφύος όπως επίσης και για τις λεκάνες που βρίσκονται μεταξύ των δύο επιμέρους τμημάτων της ρηξιγενούς ζώνης Κανδηλίου-Τελέθριου. Αντίθετα οι λεκάνες που αναπτύσσονται στα ανυψούμενα τεμάχη των ρηγμάτων έχουν μικρή έκταση, μεγάλες μορφολογικές κλίσεις και χαρακτηρίζονται από ένα τραχύ ανάγλυφο και ανήκουν στις κατηγορίες των λεκανών που έχουν επηρεαστεί σε μέτριο προς υψηλό βαθμό από τη ρηγματογόνο τεκτονική δραστηριότητα. Χαμηλές τιμές του δείκτη Irta χαρακτηρίζουν μεγάλη έκταση στο κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης όπου βρίσκεται το βύθισμα του Νηλέα. Η μεγάλης έκτασης αυτή λεκάνη παρότι φαίνεται ότι ανήκει στην τάξη χαμηλής τεκτονικής δραστηριότητας, επηρεάζεται από πολλά άλλα μικρότερα ρήγματα εκτός των κύριων ρηξιγενών ζωνών (Palyvos et al. 2006). Επιπλέον η ευδιάβρωτη φύση της λιθολογίας της λεκάνης αυτής δεν ευνοεί τη διατήρηση των μορφολογικών εκείνων χαρακτηριστικών που αντανακλούν την τεκτονική δράση. Το βύθισμα αυτό αποτελεί μια πολύ σημαντική δομή που χρειάζεται περαιτέρω μελέτη και ανάλυση καθώς οι διαβρωτικές διεργασίες (Rozos et al. 2013), που ευνοούνται από τη λιθολογία, πιθανά εν μέρει να αντισταθμίζουν την τεκτονική δράση δίνοντας έτσι την εντύπωση ότι η λεκάνη αυτή επηρεάζεται σε μικρό βαθμό από τον τεκτονισμό γεγονός που μπορεί και να μην ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα.

Ο βόρειος Ευβοϊκός κόλπος είναι μια περιοχή που χαρακτηρίζεται από την απουσία επιφανειακών διαρρήξεων που σχετίζονται με μεγάλα σεισμικά γεγονότα και για το λόγο αυτό είναι δύσκολο να προσδιοριστούν τα όρια των επιμέρους τμημάτων των ρηξιγενών ζωνών. Γενικά οι θέσεις ανάμεσα στα επιμέρους τμημάτων των ρηξιγενών ζωνών, αποτελούν θέσεις όπου ευνοείται η ανάπτυξη των υδρογραφικών δικτύων με τη διεργασία τόσο της κατά βάθους όσο και της οπισθοδρομούσας διάβρωσης. Στις περιπτώσεις αυτές τα υδρογραφικά δίκτυα εκτείνονται πλαγίως πίσω από τις μικρές απόκρημνες λεκάνες που χαρακτηρίζουν την περιοχή του ανυψούμενου τεμάχους (Leeder and Jackson 1993). Στην περιοχή μελέτης μια τέτοια περίπτωση ανάπτυξης δικτύου απαντάται στη θέση μεταξύ των τμημάτων της ρηξιγενούς ζώνης Κανδηλίου (σημειώνεται με μαύρο τρίγωνο στην Εικόνα 10). Η μεγάλη αυτή επιμήκης λεκάνη με πλάγιο, και όχι κάθετο στη διεύθυνση της ρηξιγενούς ζώνης, προσανατολισμό που αναπτύσσεται μεταξύ των ρηγμάτων Τελέθριου και Κανδηλίου, είναι χαρακτηριστικό παράδειγμα της παραπάνω περίπτωσης. Λαμβάνοντας υπόψη πως σε τέτοιες περιπτώσεις το υδρογραφικό δίκτυο ακολουθεί το πιο ενεργό τμήμα του ρήγματος (Burbank and Anderson 2008), το ρήγμα του Κανδηλίου φαίνεται ότι μεταναστεύει βορειοδυτικά ή γίνεται περισσότερο ενεργό προς αυτή τη διεύθυνση.

Στην περιοχή κατά μήκος του στενού των Ωρεών-Τρικερίου τοποθετείται ένα πιθανό ρήγμα διεύθυνσης Α-Δ (Palyvos et al. 2006). Από τους χάρτες της χωρικής κατανομής των έξι μορφομετρικές παραμέτρους (συμπεριλαμβανομένου του δείκτη Irta) (Εικόνες 4-8 και Εικόνα 10), καθώς και από το χαρακτηρισμό των λεκανών απορροής των υδρογραφικών δικτύων που εκβάλλουν στο βόρειο τμήμα της Εύβοιας, συμπεραίνεται ότι αυτές επηρεάζονται σε μικρό βαθμό από τον τεκτονισμό. Αυτό επίσης, επιβεβαιώνεται και από το γεγονός πως τόσο το σχήμα, όσο και η γεωμετρία των λεκανών αυτών δεν είναι ενδεικτικά τεκτονικής ανύψωσης. Αντίθετα πολλές λεκάνες που βρίσκονται στο ανυψούμενο τέμαχος της πιθανής προς βορρά προέκτασης του ρήγματος Διρφύος δείχνουν μέτρια τεκτονική επίδραση. Αυτό πιθανά υποδηλώνει την δραστηριότητα του ρήγματος αν και σε κάποιες περιπτώσεις τα χαρακτηριστικά των λεκανών και οι τιμές των μορφομετρικών τους πα-

ραμέτρων διαμορφώνονται κυρίως από τη λιθολογία οπότε απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση.

Θα πρέπει να σημειωθεί πως κατά μήκος των βραχωδών ακτών, στις περιοχές που χαρακτηρίστηκαν ως μέτριας έως υψηλής τεκτονικής δραστηριότητας από τις τιμές του δείκτη Irta αναπτύσσονται ανυψωμένες θαλάσσιες εγκοπές, γεγονός που ενισχύει την ορθότητα των συμπερασμάτων (Εικόνα 10). Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης που αναφέρονται στον χαρακτηρισμό των επιμέρους περιοχών της βόρειας Εύβοιας σε σχέση με την επιρροή της πρόσφατης τεκτονικής δραστηριότητας είναι σε συμφωνία με τα αποτελέσματα γεωμορφολογικής μελέτης 36 δελταϊκών ριπιδίων κατά μήκος της δυτικής ακτής του νησιού (Valkanou et al. 2013). Κατά μήκος των δυτικών ακτών της Εύβοιας αναπτύσσονται ριπίδια ήπιας κλίσης που έχουν σχηματιστεί από υδρογραφικά δίκτυα που αντιστοιχούν σε λεκάνες που επηρεάζονται από σχετικά μικρή τεκτονική δραστηριότητα, ενώ στις περιοχές που επηρεάζονται από έντονη τεκτονική ανύψωση έχουν διαμορφωθεί δελταϊκά ριπίδια με σημαντικά μεγαλύτερη μορφολογική κλίση.

Η λιθολογία δεν φαίνεται να είναι εντελώς ανεξάρτητη από τα αποτελέσματα. Οι λεκάνες που αποτελούνται κυρίως από ανθρακικά πετρώματα ηλικίας Τριαδικού - Ιουρασικού, δείχνουν να διατηρούν τα μορφολογικά χαρακτηριστικά που είναι ενδεικτικά της επίδρασης της έντονης τεκτονικής ενώ οι άλλες από σχηματισμούς λιγότερο ανθεκτικούς στη διάβρωση δείχνουν ότι έχουν επηρεαστεί σε μικρότερο βαθμό από τον τεκτονισμό σύμφωνα με τις υπολογισθείσες τιμές των μορφομετρικών παραμέτρων. Ωστόσο η πολυπλοκότητα των γεωλογικών σχηματισμών του υπόβαθρου (μεγάλη ποικιλία λιθολογικών τύπων σε κάθε λεκάνη) που χαρακτηρίζει τις περισσότερες λεκάνες κάνει αρκετά περίπλοκη και δύσκολη τη συσχέτιση της λιθολογίας με τα μορφοτεκτονικά χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής.

Συμπεράσματα

Ο υπολογισμός των ποσοτικών γεωμορφολογικών παραμέτρων των λεκανών απορροής μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές διαπιστώσεις για την επίδραση της τεκτονικής στην εξέλιξη του αναγλύφου. Η μορφομετρική ανάλυση των 189 λεκανών απορροής της βόρειας Εύβοιας έδειξε πως μεμονωμένοι δείκτες μπορούν να παρέχουν σημαντικές πληροφορίες ενώ η συνεκτίμηση αυτών μέσω ενός δείκτη σχετικής ενεργού τεκτονικής (Irta) μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα για τη σχετική τεκτονική δραστηριότητα στην περιοχή μελέτης.

Οι μορφομετρικές παράμετροι που υπολογίστηκαν με τη χρήση ΣΓΠ για το σύνολο των λεκανών είναι η κλίση των κλιτύων της λεκάνης απορροής, το υψομετρικό ολοκλήρωμα, ο δείκτης ασυμμετρίας, ο λόγος αναγλύφου και ο αριθμός τραχύτητας του Melton. Οι λεκάνες ακολούθως ταξινομήθηκαν σε δύο τάξεις ανάλογα με τις τιμές των μορφομετρικών αυτών παραμέτρων ενώ ο μέσος όρος τους οδήγησε στο νέο δείκτη (Irta). Τέλος οι λεκάνες κατηγοριοποιήθηκαν σε 3 τάξεις σύμφωνα με τις τιμές του νέου δείκτη και με βάση αυτήν την κατηγοριοποίηση η περιοχή μελέτης ταξινομήθηκε σε υποπεριοχές χαμηλής, μέτριας και υψηλής σχετικής τεκτονικής δραστηριότητας. Οι λεκάνες απορροής των υδρογραφικών δικτύων που αποστραγγίζουν το ανυψούμενο τέμαχος των ρηξιγενών ζωνών των Τελέθριου-Κανδηλίου-Αιδηψού και της Διρφύος, δείχνουν υψηλές τιμές μορφομετρικών δεικτών σε σύγκριση με τις υπόλοιπες λεκάνες. Περίπου το 68% της περιοχής μελέτης χαρακτηρίζεται ως χαμηλής, περίπου το 23% ως μέτριας και τέλος το 9% ως υψηλής τεκτονικής δραστηριότητας.

Η προσέγγιση που επιχειρήθηκε έδειξε πως η γεωμετρία και τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής που αναπτύσσονται στα ανερχόμενα τεμάχη των ρηγμάτων είναι ενδεικτικά της τεκτονικής ανύψωσης. Η γεωμετρία συγκεκριμένων λεκανών απορροής είναι επίσης χρήσιμη στη χαρτογράφηση των ορίων των επιμέρους τμημάτων των ρηξιγενών ζωνών. Η γεωγραφική κατανομή των ποσοτικών γεωμορφολογικών δεικτών είναι σε συμφωνία με την υπόθεση πως οι περιοχές μεταξύ των επιμέρους τμημάτων των ζωνών Κανδηλίου και Τελέθριου είναι σχετικά τεκτονικά ανενεργές. Η μορφοτετονική ανάλυση δεν επιβεβαίωσε την παρουσία υποθαλάσσιου ρήγματος στο στενό των Ωρεών-Τρικερίου παρότι παλαιότερες μελέτες αναφέρουν την πιθανή ύπαρξή του.

Οι υπολογισθείσες μορφομετρικές παράμετροι έδειξαν την επίδραση της τεκτονικής στις λεκάνες απορροής και τα υδρογραφικά δίκτυα. Εντούτοις, η ανάλυση στο σύνολό της, δηλαδή η επιλογή των μορφομετρικών παραμέτρων και τα όρια των τιμών των τάξεων για την ταξινόμηση των λεκανών, αντικατοπτρίζουν τις τοπικές συνθήκες της περιοχής της βόρειας Εύβοιας και άρα θα

πρέπει αν σημειωθεί πως η μεθοδολογική προσέγγιση και η κατηγοριοποίηση των επιμέρους περιοχών - λεκανών ανάλογα με την επίδρασή τους από την τεκτονική δραστηριότητα δείχνει μόνο σχετικές διαφορές από περιοχή σε περιοχή και σε τοπική κλίμακα.

Βιβλιογραφία

Burbank, D. W., Anderson, R. S., 2008. Tectonic Geomorphology. UK: Blackwell Science.

Dar, R. A., Romshoo, S.A, Chandra, R., Ahmad, I., 2014. Tectono-geomorphic study of the Karewa Basin of Kashmir Valley. Journal of Asian Earth Sciences, 92, 143-156.

Dehbozorgi, M., Pourkermani, M., Arian, M., Matkan, A. A., Motamedi, H., Hosseiniasl, A., 2010. Quantitative analysis of relative tectonic activity in the Sarvestan area, central Zagros, Iran. Geomorphology, 121, 329-341.

El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernandez, T., Chanon, J., Keller, E.A., 2008. Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain), Geomorphology, 96, 150-173.

Ganas, A., Papoulia, I., 2000. High-resolution, Digital Mapping of the Seismic Hazard within the Gulf of Evia Rift, Central Greece Using Normal Fault Segments as Line Sources. Natural Hazards, 22(3), 203-223.

Goldsworthy, M., Jackson, J., 2000. Active normal fault evolution in Greece revealed by geomorphology and drainage patterns. Journal of the Geological Society, 157, 967-981.

Goldsworthy, M., Jackson, J., Haines, J., 2002. The continuity of active fault systems in Greece. Geophysical Journal International, 148(3), 596-618.

IGME (Institute of Geology and Mineral Exploration), 1954. Geological map of Greece, scale 1:500.000, Athens : Institute of Geology and Mineral Exploration.

Keller, E. A., Pinter, N., 2002. Active Tectonics, Earthquake, Uplift and Landscape. 2nd ed. New Jersey: Prentice Hall.

Kokinou, E., Skilodimou, H.D., Bathrellos, G.D., Antonarakou, A., Kamberis, E., 2015. Morphotectonic analysis, structural evolution/pattern of a contractional ridge: Giouchtas Mt., Central Crete, Greece. Journal of Earth System Science, 124 (3), 587–602, Springer

Leeder, M., Jackson, J., 1993. The interaction between normal faulting and drainage in active extensional basins, with examples from the western United States and central Greece. Basin Research, 5, 79-102.

Mayer, L.,1990. Introduction to Quantitative Geomorphology : An exercise Manual. Englewood Cliffs, NJ : Prentice Hall

Melton, M. A, 1965. The geomorphic and palaeoclimatic significance of alluvial deposits in Southern Arizona. Journal of Geology, 73, 1-38.

Μουντράκης, Δ.Μ., 1985. Γεωλογία Ελλάδας, Θεσσαλονίκη : University Studio Press.

Palyvos, N., Bantekas, I., Kranis, H., 2006. Transverse fault zones of subtle geomorphic signature in northern Evia island (central Greece extensional province):An introduction to the Quaternary Nileas graben. Geomorphology, 76, 363-374.

Panek, T., 2004. The use of morphometric parameters in tectonic geomorphology (on the example of the Western Beskydy Mts). Geographica, Acta Universitatis Carolinae, 1, 111-126.

Pantosti D., De Martini, P. M., Papanastassiou, D., Lemeille, F., Palyvos, N., Stavrakakis, G. 2004. Paleoseismological trenching across the Atalanti fault (Central Greece): evidence for the ancestors of the 1894 earthquake during Middle Age and Roman time, Bulletin of Seismological Society of America, 94(2), 531-549.

Papanastassiou, D., Stavrakakis, G., Makaris, D., 2001. Recent micro-earthquake activity at Northern Evoikos Gulf, Central Greece. Bulletin of the Geological Society of Greece, Proceedings of the 9th Inernational Congress, Athens, XXXIV/4, 1567-2572.

Pike, R.J., Wilson, S. E., 1971. Elevation-relief ratio, hypsometric integral and geomorphic area-altitude analysis. Geological Society of America Bulletin, 82 : 59-72

Παυλίδης, Σ. Β., 2003. Γεωλογία των σεισμών. Θεσσαλονίκη: University studio press.

Ritter, D.F., Kochel, R. C., Miller, J.R., 1995. Process Geomorphology, 3rd ed.: W.C Brown Publishers, Dubuque

Roberts, S., Jackson, J., 1991. Active normal faulting in central Greece : an overview. In: A. M. Roberts, G. Yielding, B. Freeman, eds. The geometry of normal faults. London: Geological Society, Sp.Publ, 125-142.

Rozos, D., Skilodimou, H., Loupasakis, C., Bathrellos, G., 2013. Application of the revised universal soil loss equation model on landslide prevention. An example from N. Euboea (Evia) Island. Environmental Earth Sciences, 70(7), 3255-3266.

Sakellariou, D., Rousakis, G., Kaberi, H., Kapsimalis, V., Georgiou, P., Kanellopoulos, Th., Lykousis V. 2007. Tectono-sedimentary structure and late quaternary evolution of the north Evia gulf basin, Central Greece: preliminary results. Bulletin of the Geological Society of Greece vol. XXXVII/1, 451-462.

Siddiqui, A., Soldati, M., 2014. Appraisal of active tectonics using DEM-based hypsometric integral and trend surface analysis in Emilia - Romagna Apennines, northern Italy. Turkish Journal of Earth Sciences, 23, 277-292.

Stiros, S. C., Arnold, M., Pirazolli, P. A., Laborel, J., Laborel, F., Papageorgiou, F., 1992. Historical coseismic uplift on Euboea Island, Greece. Earth and Planetary Science Letters, 108, 109-117.

Valkanou, K., Karymbalis, E., Papanastassiou, D., Gaki-Papanastassiou, K., Giles, P., 2013. Analysis of relationships among coastal alluvial fans and their contributing catchments in North Evoikos Gulf (Central Greece), Proceedings of the 13th International Congress of the Geological Society of Greece, Chania, Bulletin of the Geological Society of Greece, vol. XLVII, No.1, 344-355.

Σημείωση

1. Το παρόν άρθρο παρουσιάστηκε με μορφή πόστερ στην Ειδική Συνεδρία 4, με θέμα Ποτάμια Γεωμορφολογία, του 10ου Διεθνούς Γεωγραφικού Συνεδρίου το οποίο έλαβε χώρα στη Θεσσαλονίκη 22-24 Οκτωβρίου 2014.

Στο σημείο αυτό θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους δύο ανώνυμους κριτές για τις εποικοδομητικές παρατηρήσεις τους.