

Μορφοτεκτονική εξέλιξη της Δελταϊκής περιοχής του Πηνειού (Θεσσαλία)

Βασιλάκης Εμμ.¹, Μαυρούλης Σ.¹, Αλεξόπουλος Ι.¹ και Δίλαλος Σ.¹

¹Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Πανεπιστημιούπολη – Ζωγράφου, 15784, Αττική, Ελλάδα (evasilak@geol.uoa.gr)

Περίληψη

Η εργασία πραγματεύεται τη γενικότερη γεωλογία και ειδικότερα τη μορφοτεκτονική εξέλιξη της δελταϊκής πεδιάδας του Πηνειού Θεσσαλίας και των περιθωρίων της με βάση την ερμηνεία γεωμορφολογικών και γεωλογικών δεδομένων, που προέκυψαν από (α) ψηφιοποίηση τοπογραφικών διαγραμμάτων κλίμακας 1:5.000, (β) ψηφιακή επεξεργασία πρόσφατης δορυφορικής εικόνας υψηλής χωρικής και φασματικής διακριτικότητας, (γ) μορφοτεκτονική ανάλυση, (δ) επιτόπιες υπαίθριες παρατηρήσεις και (ε) γεωφυσικές μετρήσεις. Οι ποτάμιες αποθέσεις και προσχώσεις καλύπτουν τη μεγαλύτερη έκταση της περιοχής, ενώ παράκτιοι σχηματισμοί εκτείνονται σε όλη την παραλιακή ζώνη. Στα δυτικά εμφανίζονται τα υπολείμματα ενός αλλουβιακού ριπιδίου Πλειστοκαινικής ηλικίας, το οποίο καλύπτει ασύμφωνα μια ακολουθία Νεογενών ψαμμιτών, κροκαλοπαγών και ερυθροχωμάτων. Το αλπικό υπόβαθρο εμφανίζεται μόνο στα κράσπεδα της δελταϊκής περιοχής. Τα Νεογενή έχουν υποστεί έντονη ρηξιγενή παραμόρφωση με αποτέλεσμα την περιστροφή τους προς Ν κατά 10-30°. Στην περιστροφή αυτή κυρίαρχο ρόλο φαίνεται να διαδραμάτισε η ρηξιγενής ζώνη κανονικού χαρακτήρα, που διέρχεται νότια από το Ομόλιο, με διεύθυνση ΔΝΔ-ΑΒΑ και μέση κλίση προς ΒΔ. Η ίδια ρηξιγενής ζώνη φαίνεται να έχει συμβάλει σε μεγάλο βαθμό στην ανύψωση της Όσσας στο νότιο περιθώριο της δελταϊκής περιοχής του Πηνειού, στη δημιουργία μεγάλων τεκτονικών ασυνεχειών εφελκυστικού χαρακτήρα και διεύθυνσης εγκάρσια στο παραπάνω ρήγμα, που κατέστησαν το ανερχόμενο ρηξιτέμαχος σε μικρότερα επιμέρους ρηξιτεμάχη τα οποία με τη σειρά τους ανετράπησαν. Οι ανατροπές δημιούργησαν χάσματα στους αλπικούς σχηματισμούς, τα οποία λειτούργησαν ως επιλεκτικές διαδρομές ροής για τα επιφανειακά ύδατα που διαμόρφωσαν εντυπωσιακά φαράγγια. Στο δυτικότερο από αυτά, στο φαράγγι των Τεμπών, ο Πηνειός βρήκε νέα δέξοδο προς το Αιγαίο σε συνδυασμό με τον τερματισμό της λειτουργίας των παλαιότερων εκβολών του νότια της Όσσας, η οποία οφείλεται στη συνολική ανύψωση της οροσειράς Ολύμπου-Όσσας-Πηλίου. Το γεγονός αυτό σηματοδοτεί τη λειτουργία της περιοχής ανατολικά των Τεμπών ως δελταϊκή με αποτέλεσμα τη σταδιακή μετάθεση της ακτογραμμής προς τα Α μέχρι τη σύγχρονη θέση της.

Abstract

In this paper we deal with a case scenario for the general geological setting and the morphotectonic evolution of the delta plain of Pineios River (Thessalia, Greece) and its margins. This work is based on the interpretation of geological and geomorphological data derived from (a) digitizing topographic map sheets of scale 1:5,000, (b) digital interpretation of recently acquired high spatial and spectral resolution satellite image, (c) tectonic geomorphology analysis, (d) field observations and (e) geophysical investigation. The fluvial deposits cover the largest part of the delta plain, whilst the coastal deposits crop out along the entire coastal zone. The remnants of a Pleistocene alluvial fan is observed in the western part of the delta plain and lies unconformably on Neogene formations comprised of sandstones, conglomerates and terra rossa. The alpine basement outcrops are found only at the southern and northern margins of the delta plain and include various lithologies such as crystalline limestones and metamorphic flysch (Ossa-Olympos unit), blue schists, gneisses and marbles (Ambelakia unit), metamorphic basic ophiolitic rocks and marbles (Pelagonian unit). The Neogene formations have undergone intense tectonic deformation resulting in several block rotations reaching the values of 10-30°, towards south. The NW dipping normal fault zone located south of Omolio village strikes WSW-ENE and seems to play a significant role in the rotation of the Neogene formations. It is rather clear that the activity of this fault zone is highly related to the uplift of Ossa Mt along the southern margin of the delta plain and consequently to the development of extensional fractures (scarps) developed normally to the fault zone. These scarps are not tectonic faults and were created primarily by gravitational stresses. These structures have caused the segmentation of the uplifted block into smaller blocks, which were subsequently toppled. These large-scale toppling

phenomena at the northwestern slopes of Ossa Mt have caused large gaps in the alpine basement rocks. These gaps have acted as selective surface water flow paths that have shaped impressive gorges. Pineios River found a new outlet to the Aegean Sea through the westernmost of the gorges, the Tempi gorge. It seems to have happened after the overall tectonic uplift of Olympos-Ossa-Pelion mountain range and the paleo-Pineios River flow blocking at the area south of Ossa Mt. Immediately after the aforementioned process, the area extending east of Tempi gorge began to evolve as the delta plain of Pineios River resulting in the progressive natural seaward shift of the shoreline due to the accumulation of Pineios fluvial deposits.

Λέξεις Κλειδιά: μορφοτεκτονικοί δείκτες, εφελκυστικές δομές, τηλεπισκόπηση

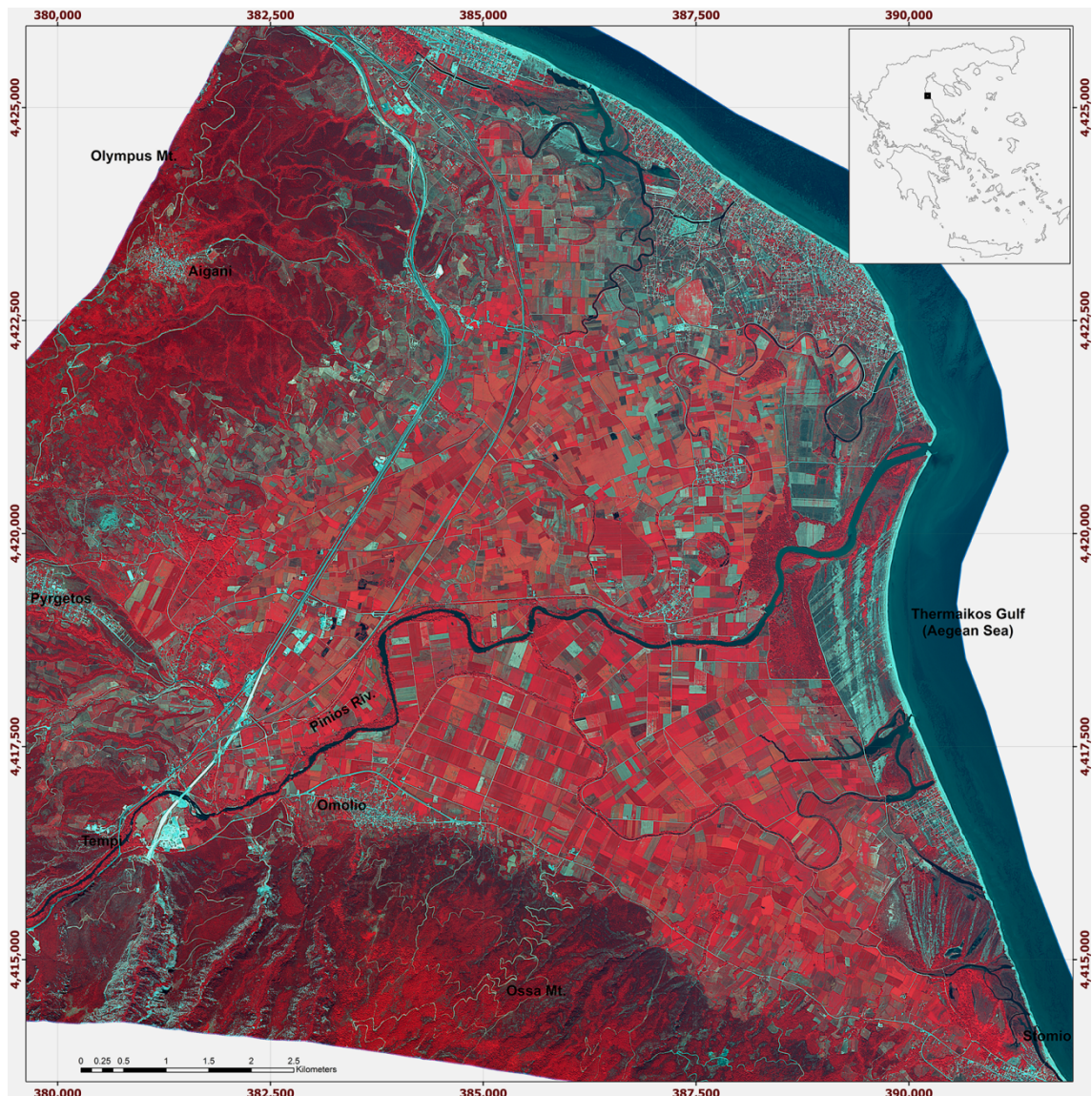
Keywords: tectonic geomorphology, morphotectonic indices, extension structures, remote sensing

Εισαγωγή

Ο Πηνειός Θεσσαλίας είναι ο τρίτος μεγαλύτερος ποταμός της Ελλάδας και αναπτύσσεται στο ανατολικό τμήμα της κεντρικής Ελλάδας. Αποστραγγίζει την υδρολογική λεκάνη της Θεσσαλίας και διέρχεται από την κοιλάδα των Τεμπών μεταξύ των ορέων Ολύμπου στα βόρεια και Όσσας στα νότια.

Οι σύγχρονες εκβολές του Πηνειού ποταμού βρίσκονται στις νότιες ακτές του Θερμαϊκού κόλπου. Η δελταϊκή περιοχή οριοθετείται προς τα ανάντη από το φαράγγι των Τεμπών, το οποίο αποτελεί το δυτικό περιθώριό της. Οι βόρειες παρυφές του όρους Όσσα και οι νότιο-ανατολικές παρυφές του όρους Όλυμπος οριοθετούν το σύγχρονο δέλτα του ποταμού. Στην παρούσα εργασία διερευνάται η πρόσφατη εξέλιξη της δελταϊκής πεδιάδας του ποταμού και των περιθωρίων αυτής, χρησιμοποιώντας ανάλυση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από μορφοτεκτονικούς δείκτες σε συνδυασμό με παρατηρήσεις υπαίθρου.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε βασίζεται στην ερμηνεία μορφολογικών δεδομένων που προέκυψαν από την ψηφιοποίηση τοπογραφικών διαγραμμάτων (κλίμακας 1:5.000), στην ψηφιακή επεξεργασία πρόσφατης (Ιούλιος 2013) δορυφορικής εικόνας υψηλής χωρικής και φασματικής διακριτικότητας (Εικ.1), σε επιτόπιες υπαίθριες παρατηρήσεις καθώς και στην προκαταρκτική εκτεταμένη γεωφυσική έρευνα, εργασίες που διεξήχθησαν στο πλαίσιο υλοποίησης του Έργου ΘΑΛΗΣ-DAPHNE (MIS375908). Το σύνολο των δεδομένων και των ερμηνειών τους εισήχθησαν σε Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) με σκοπό τον συνδυασμό τους για τη βελτίωση της ακρίβειας της δημοσιευμένης γεωλογικής χαρτογράφησης (Κατσικάτσος & Μιγκίρος 1987). Οι επιφανειακές εμφανίσεις των διαφόρων λιθολογιών συσχετίστηκαν με τα αποτελέσματα των γεωφυσικών διασκοπήσεων και κατεβλήθη προσπάθεια προκειμένου να αποτυπωθεί η μορφολογία του παλαιο-αναγλύφου, το οποίο έχει πλέον καλυφθεί από νεότερα ιζήματα.



Εικόνα 1. Δορυφορική εικόνα WorldView-2 (χωρικής διακριτικής ικανότητας 0.5 μέτρα), της δελταϊκής περιοχής και των περιθωρίων της, όπου είναι εμφανείς οι αντιθέσεις που δημιουργούν οι διάφορες γεωμορφολογικές δομές.

Γεωλογία - Γεωμορφολογία

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής μελέτης διακρίνονται σε αλπικούς και μεταλπικούς (Εικ. 2). Οι αλπικοί σχηματισμοί εντάσσονται στις γεωτεκτονικές ενότητες (i) Όσσας – Ολύμπου, (ii) Αμπελακίων, (iii) Πελαγονικής και εμφανίζονται στις παρυφές των ορεινών όγκων Ολύμπου και Όσσας, στο δυτικό και νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης αντίστοιχα (Μιγκίρος 1983, Κατσικάτσος & Μιγκίρος 1987).

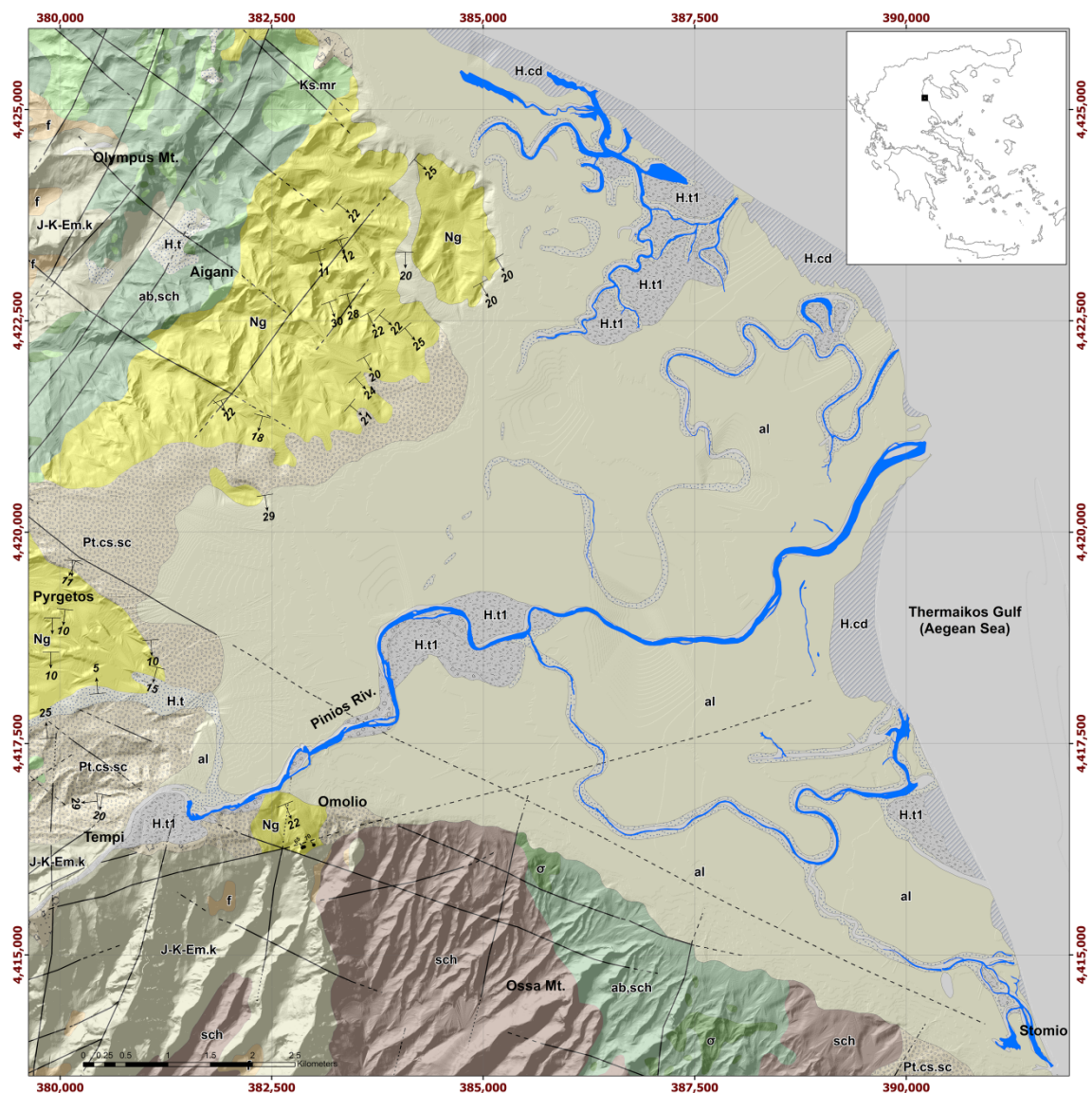
Η ενότητα Ολύμπου - Όσσας θεωρείται αυτόχθονη έως παρααυτόχθονη καθώς εμφανίζεται υποκείμενη όλων των μεταμορφωμένων σχηματισμών των ενοτήτων Αμπελακίων και Πελαγονικής (Godfriaux 1968, Schmitt 1983, Schermer et al. 1990, Schermer 1993). Περιλαμβάνει (α) κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους Ιουρασικού-Μέσου Ηωκαίνου με παρεμβολές φυλλιτών και (β) επιζωνικά μεταμορφωμένο φλύσχη Μέσου Ηωκαίνου με φυλλίτες, σχιστόλιθους και σχιστοψαμμίτες με ενστρώσεις κρυσταλλικών ασβεστολίθων και ολισθολίθους της ανθρακικής σειράς της ίδιας ενότητας.

Οι σχηματισμοί της ενότητας Αμπελακίων είναι εξ ολοκλήρου μεταμορφωμένοι σε συνθήκες υψηλών πιέσεων και χαμηλών θερμοκρασιών (ΥΠ-ΧΘ) στη γλαυκοφανιτική φάση και περιλαμβάνουν κυανοσχιστόλιθους, γνευσιοσχιστόλιθους - γνευσίους και πρασινίτες με ενστρώσεις αδρομερών

μαρμάρων (Papanikolaou 1984, Schermer 1990). Εμφανίζονται έντονα πτυχωμένοι, τεκτονισμένοι και εξαλλοιωμένοι.

Η ενότητα της Πελαγονικής περιλαμβάνει εξ ολοκλήρου μεταμορφωμένους και έντονα πτυχωμένους σχηματισμούς και συγκεκριμένα (i) μεταμορφωμένα βασικά οφιολιθικά πετρώματα του προανωκρητιδικού τεκτονικού καλύμματος και (ii) ανωκρητιδικά μάρμαρα (Κατσιακάτσος & Μιγκίρος 1987). Τα έντονα τεκτονισμένα και καρστοποιημένα ανωκρητιδικά μάρμαρα εμφανίζονται στις περιοχές Ραψάνης - Πυργετού και Στόμιου υπερκείμενα των μεταμορφωμένων βασικών οφιολιθικών πετρωμάτων, που αποτελούνται από αμφιβολίτες, αμφιβολιτικούς σχιστόλιθους και πρασινίτες.

Τα μέλη της Πελαγονικής ενότητας βρίσκονται επωθημένα πάνω σε σχηματισμούς της ενότητας Αμπελακίων (Papanikolaou 1984). Η ηλικία της επώθησης είναι μετακρητιδική-προανωοκαινική (Lips et al. 1998), ενώ μεταγενέστερα, κατά το Μέσο Ηώκαινο, οι ενότητες Αμπελακίων και Πελαγονικής επωθήθηκαν πάνω στους σχηματισμούς της ενότητας Ολύμπου – Όσσας (Papanikolaou 1984).



Εικόνα 2. Μορφολογικός, λιθολογικός και τεκτονικός χάρτης του δέλτα του Πηνειού ποταμού και της ευρύτερης περιοχής, στον οποίο φαίνονται και οι θέσεις στρωματογραφικών και τεκτονικών μετρήσεων (Τροποπ. από Κατσιακάτσος & Μιγκίρος 1987). Διακρίνονται οι εξής σχηματισμοί: Παράκτιες αποθέσεις (H.cd), Ποτάμια αναβαθμίδες (H.t και H.t1), Αλλουβιακές αποθέσεις (al), Παλαιοί κώνοι κορημάτων (Pt.cs.sc), Νεογενή (Ng), Φλύσχης (f), Κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι (J-K-Em.k), Κυανοσχιστόλιθοι (sch), Μάρμαρα (Ks.mr), Αμφιβολίτες (ab.sch), Σερπεντινίτες (σ)

Οι μεταλλικοί σχηματισμοί περιλαμβάνουν Νεογενείς, Πλειστοκαινικές και Ολοκαινικές αποθέσεις (Κατσικάτσος & Μιγκίρος 1987). Οι Νεογενείς σχηματισμοί εμφανίζονται σε μεγάλη έκταση στη περιοχή Πυργετού-Αιγάνης. Αποτελούνται στη βάση τους από μάργες ενώ προς τα ανώτερα μέλη οι μάργες μεταβαίνουν σε ψαμμίτες και κροκαλοπαγή ποικίλης λιθολογικής σύστασης, με εμφανή στρώση και στη συνέχεια σε ερυθροχώματα.

Οι Πλειστοκαινικοί σχηματισμοί περιλαμβάνουν παλαιούς κώνους κορημάτων, πλευρικά κορήματα και υλικά αναβαθμίδων χειμάρρων. Απαντούν κυρίως στα περιθώρια των ορεινών όγκων και συνίστανται από αδρομερή υλικά, κυρίως κροκαλολατυποπαγή. Χαρακτηριστική περίπτωση αποτελούν τα υπολείμματα αλλουβιακού ριπιδίου Πλειστοκαινικής ηλικίας που αναπτύσσεται στην περιοχή του Πυργετού και καλύπτει ασύμφωνα την ακολουθία των Νεογενών ψαμμιτών και κροκαλοπαγών.

Το Ολόκαινο αντιπροσωπεύεται από τις αλλουβιακές αποθέσεις, που καλύπτουν τη μεγαλύτερη έκταση της περιοχής, από παράκτιους σχηματισμούς, που εκτείνονται σε όλη την παραλιακή ζώνη και από κώνους κορημάτων και πλευρικά κορήματα. Οι αλλουβιακές αποθέσεις του δέλτα αποτελούνται από άμμους, κροκαλολατύπες και αργίλους. Κοντά στα περιθώρια των ορεινών όγκων η συμμετοχή των κροκαλολατυπών είναι μεγαλύτερη. Η συνεχής αλλαγή ροής του Πηνειού δημιούργησε αναβαθμίδες, των οποίων το ύψος ανέρχεται κατά θέσεις στα 5 m. Οι παράκτιοι σχηματισμοί περιλαμβάνουν άμμους με συμμετοχή κατά θέσεις αργιλικού υλικού, ενώ σε ορισμένες θέσεις έχουν μεγάλη έκταση και σχηματίζουν θίνες. Τα πλευρικά κορήματα και οι κώνοι κορημάτων αποτελούνται από αργίλους, κοκκινοχώματα, άμμους και κροκαλολατύπες ποικίλης σύστασης και μεγέθους.

Στο επίπεδο τμήμα του σχηματιζόμενου δέλτα και κατά μήκος της κοίτης του Πηνειού, παρατηρείται έντονη καμπυλότητα στη ροή του ποταμού μέχρι τη συμβολή του με τη θάλασσα (Gaki-Papanastassiou et al, 2010). Επίσης, παρατηρούνται αποκομμένοι μαϊάνδροι εκατέρωθεν της σύγχρονης κοίτης του, με καλύτερα σχηματισμένους αυτούς που βρίσκονται βόρεια αυτής (Εικ.1). Αντίθετα, στο νότιο τμήμα της δελταϊκής περιοχής, όπου εξακολουθεί να ρέει σημαντική ποσότητα νερού που προέρχεται από τον κύριο κλάδο, οι μαιανδρισμοί είναι λιγότερο εντυπωσιακοί.

Τεκτονική

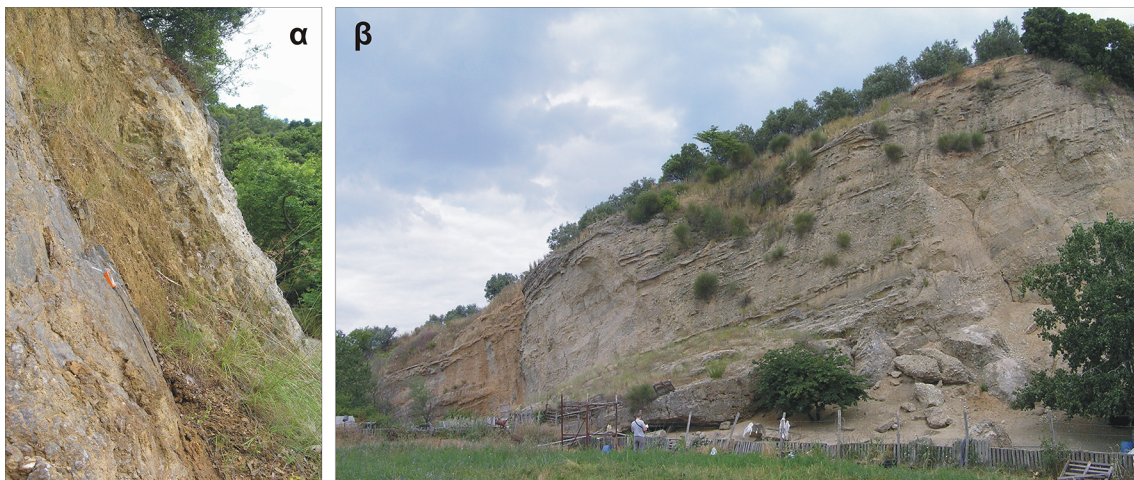
Το νότιο περιθώριο της δελταϊκής περιοχής του Πηνειού παρουσιάζει σχετική γραμμικότητα φέρνοντας σε επαφή τους σχηματισμούς της Όσσας (κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι Ολύμπου-Όσσας, κυανοσχιστόλιθοι Αμπελακίων, μεταμορφωμένα οφιολιθικά πετρώματα Πελαγονικής) με τους μεταλλικούς σχηματισμούς της δελταϊκής περιοχής του Πηνειού. Κατά τη γεωλογική αναγνώριση, που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή, διαπιστώνεται ότι κατά μήκος των βόρειων προπόδων της Όσσας δεν παρατηρήθηκαν ούτε ρηξιγενείς επιφάνειες διεύθυνσης ΔΒΔ-ΑΝΑ και κλίσης προς ΒΒΑ ούτε μορφολογικές ασυνέχειες με αντίστοιχο προσανατολισμό, που μπορούν να σχετιστούν με την ύπαρξη ενεργών ρηγμάτων που διαρρηγνύουν τους σχηματισμούς της περιοχής.

Στο ίδιο συμπέρασμα συνάδουν και τα αποτελέσματα της προκαταρκτικής γεωφυσικής έρευνας (Αλεξόπουλος κ.ά. 2014), μετά την επεξεργασία των μεγάλου βάθους (~250-300 μ.) διερεύνησης γεωηλεκτρικών διασκοπήσεων (διάταξη *Schlumberger*) στην συγκεκριμένη περιοχή. Από αυτές, μόνο σε ένα περιορισμένο αριθμό βαθυσκοπήσεων φαίνεται να εντοπίζεται το αλπικό υπόβαθρο υποκείμενο των Ολοκαινικών σχηματισμών τους πρόποδες της Όσσας και εντός της δελταϊκής περιοχής. Όμως η μέση κλίση των βόρειων πρηνών της Όσσας είναι αρκετά μεγάλη, με αποτέλεσμα να εντοπίζονται οι σχηματισμοί του υποβάθρου σε όλο και μεγαλύτερα βάθη, όσο αυξάνεται η απόσταση από την Όσσα. Η ύπαρξη κατακόρυφης μετάπτωσης του αλπικού υποβάθρου δεν κατέστη δυνατό να προσδιοριστεί στα βάθη που οι γεωφυσικές διασκοπήσεις διερεύνησαν. Κατά συνέπεια δεν μπορεί να τεκμηριωθεί η ύπαρξη ρήγματος ή/και κάποιου είδους τεκτονική δραστηριοποίηση.

Στη βορειοδυτική προέκταση του βορείου περιθωρίου της Όσσας, στα ανατολικά του Πυργετού αναπτύσσεται μια γραμμική μορφολογική ασυνέχεια διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ με ύψος που ανέρχεται στα 20 m. Η μορφολογική αυτή ασυνέχεια, η οποία θα μπορούσε να έχει προκύψει από τη δραστηριοποίηση ρήγματος, αναπτύσσεται κατά μήκος της επαφής των σχηματισμών του αλλουβιακού ριπιδίου Πλειστοκαινικής ηλικίας στον Πυργετό και των ασύμφωνα υποκείμενων Νεογενών σχηματισμών. Στη βορειοδυτική προέκταση της μορφολογικής αυτής ασυνέχειας αναπτύσσεται ένα σαφές ρήγμα ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης το οποίο διαρρηγνύει αλπικούς σχηματισμούς.

Η σημαντικότερη τεκμηριωμένη τεκτονική δομή που διέρχεται από την περιοχή μελέτης είναι μια ρηξιγενής ζώνη κανονικού χαρακτήρα, που διέρχεται νότια από το Ομόλιο με διεύθυνση ABA-ΔΝΔ και μέση κλίση προς ΒΔ (Εικ. 3α, μέτρηση επιφάνειας ρήγματος 65/310 με γραμμές προστριβής που υποδηλώνουν κατά κλίση μετατόπιση). Η δραστηριοποίηση της συγκεκριμένης δομής φαίνεται να διαδραμάτισε κυρίαρχο ρόλο όχι μόνο στη διάνοιξη του φαραγγιού των Τεμπών αλλά και στη διαμόρφωση της σημερινής θέσης των ρηξιτεμαχών που καλύπτονται από Νεογενή ιζήματα και βρίσκονται στην κατερχόμενη περιοχή. Τα ρηξιτεμάχια αυτά τοποθετούνται ανατολικά της Αιγάνης και βόρεια του Πυργετού και έχουν υποστεί έντονη τεκτονική παραμόρφωση με αποτέλεσμα τη γενική περιστροφή τους προς νότο κατά 10° έως 20° (Εικ. 3β). Πρέπει να σημειωθεί ότι η πιθανή προέκταση της ρηξιγενούς αυτής ζώνης προς τα ανατολικά καλύπτεται από πρόσφατες ποτάμιες αποθέσεις (βλ. Εικ. 2).

Ρήγματα ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης παρατηρούνται, επίσης, στην περιοχή Πυργετού – Αιγάνης, στο βόρειο περιθώριο της δελταϊκής περιοχής του Πηνειού με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και κλίση προς ΝΑ. Διαρρηγνύουν τόσο τους αλπικούς σχηματισμούς των ενοτήτων Ολύμπου-Όσσας, Αμπελακίων και Πελαγονικής ζώνης, όσο και τους Νεογενείς σχηματισμούς.



Εικόνα 3. (α) Ρήγμα που διαρρηγνύει αλπικούς σχηματισμούς στο νότιο περιθώριο της δελταϊκής περιοχής του Πηνειού και ειδικότερα νότια του Ομολίου. Η ρηξιγενής επιφάνεια έχει στοιχεία 65/310. (β) Το ρήγμα αυτό φαίνεται να διαδραμάτισε κυρίαρχο ρόλο στη διαμόρφωση της σημερινής γεωμετρίας των Νεογενών ιζημάτων, που υπέρκεινται του αλπικού υποβάθρου και έχουν υποστεί περιστροφή προς Ν κατά 10° έως 20°.

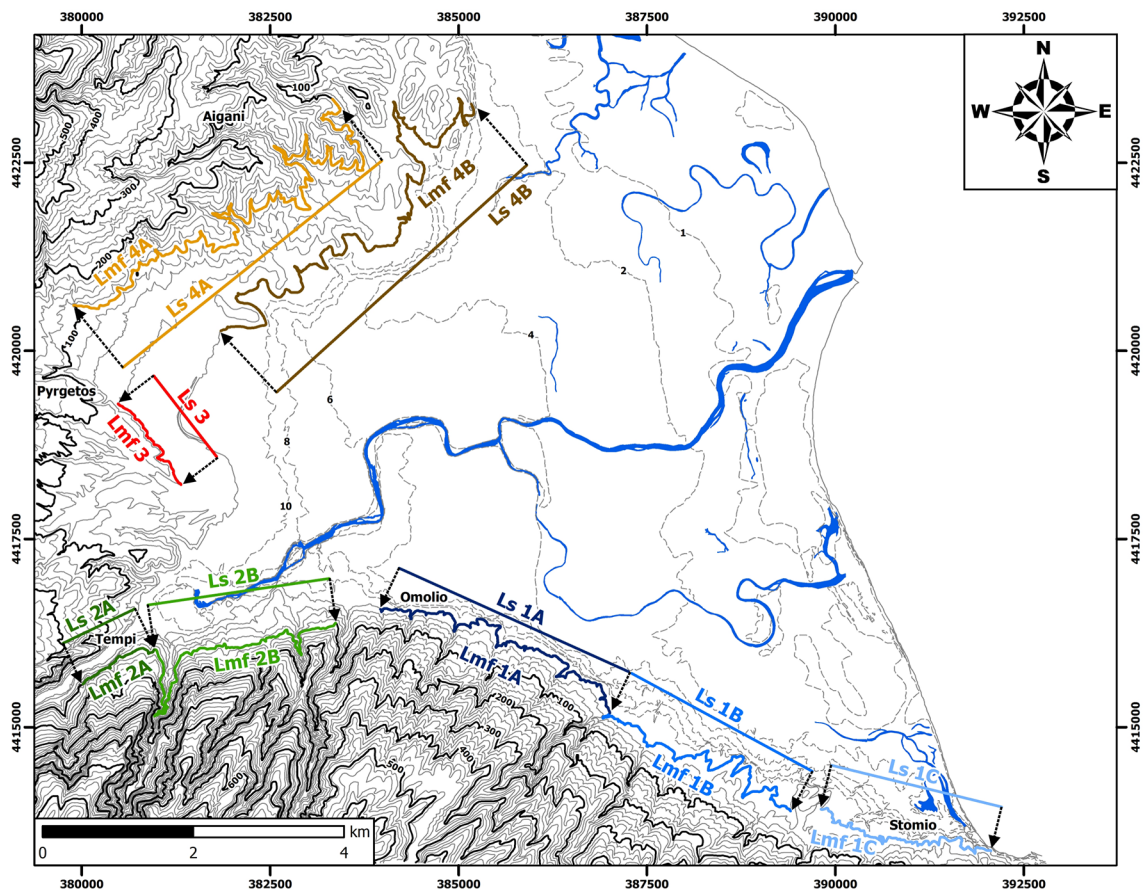
Μορφοτεκτονική ανάλυση

α. Δείκτης εγκάρσιας διάβρωσης μετώπου όρους (S_{mf})

Για την εκτίμηση της ενεργότητας του νότιου περιθωρίου της δελταϊκής περιοχής του Πηνειού εφαρμόστηκε ο δείκτης εγκάρσιας διάβρωσης μετώπου όρους (S_{mf}) (Bull & McFadden, 1977). Ο μορφοτεκτονικός δείκτης S_{mf} ορίζεται ως ο λόγος του παρατηρούμενου μήκους του μετώπου όρους κατά μήκος της συμβολής όρους - προπόδων, L_{mf} , προς την οριζόντια απόσταση της συμβολής όρους - προπόδων, L_s , και περιγράφεται από την εξίσωση $S_{mf} = L_{mf} / L_s$ (Bull & McFadden, 1977). 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 χειμάρρων, που διατρέχουν το μέτωπο. Η εφαρμογή της μεθόδου εντοπίζεται στη μέτρηση αποστάσεων στο ίχνος του όρους με τους πρόποδες του κατά μήκος ισοϋψών ή ισοψών, όπου αλλάζουν οι μορφολογικές κλίσεις (Εικ.4). Για τον ακριβέστερο προσδιορισμό των θέσεων εφαρμογής του δείκτη χρησιμοποιήθηκαν (i) το σκιασμένο ανάγλυφο της περιοχής, όπως προέκυψε από το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (χωρικής ανάλυσης 5 μέτρων) και (ii) η υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας δορυφορική εικόνα WorldView-2 (χωρικής ανάλυσης 0,5 μέτρων). Η μεθοδολογία αυτή έχει χρησιμοποιηθεί επανειλημμένως και επιτυχώς για την εκτίμηση της ενεργότητας μετώπων όρους και την ταξινόμησή τους σε τάξεις τεκτονισμού (1η τάξη ενεργού και πρόσφατου τεκτονισμού, 2η τάξη μέτρια ή λίγο ενεργού τεκτονισμού και 3η τάξη ανενεργών δομών) σε πολλές περιοχές παγκοσμίως (Bull and McFadden, 1977, Rockwell et al. 1984; Wells et al., 1988,

Fountoulis and Theocharis, 2002; Silva et al., 2003; El Hamdouni et al., 2008 κ.ά). ενώ με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν ακολούθησε επιτόπια γεωλογική αναγνώριση.

Από την εφαρμογή του δείκτη εγκάρσιας διάβρωσης μετώπου όρους (Smf) υπολογίστηκε ότι οι τιμές για τις περιοχές τις οποίες εφαρμόστηκε κυμαίνονται από 1.17 έως 3.01 (Πιν.1). Ειδικότερα, για το νότιο περιθώριο της δελταϊκής περιοχής του Πηνειού, που εκτείνεται από το Ομόλιο στα δυτικά μέχρι το Στόμιο στα ανατολικά (τμήματα 1A, 1B, 1C), ο δείκτης Smf κυμαίνεται από 1.55 έως 1.94, κατατάσσοντας συνολικά το περιθώριο αυτό στη δεύτερη τάξη τεκτονισμού των μέτρια ή λίγο ενεργών δομών της περιοχής μελέτης. Για το μέτωπο όρους στα νότια του Ομολίου (τμήματα 2A, 2B), ο δείκτης Smf κυμαίνεται από 1.17 έως 2.13, κατατάσσοντας τα τμήματα αυτά σε ενεργό (τμήμα 2A) και μέτρια έως λίγο ενεργό (τμήμα 2B) αντίστοιχα. Ο δείκτης Smf για τη μορφολογική ασυνέχεια του Πυργετού (τμήμα 3) είναι ίσος με 1.21 και με βάση τις ταξινομήσεις, που έχουν προταθεί κατά καιρούς από διάφορες ερευνητικές ομάδες, προκύπτει ότι η γραμμική μορφολογική ασυνέχεια του Πυργετού ανήκει στην πρώτη τάξη ενεργού και πρόσφατου τεκτονισμού που περιλαμβάνει ενεργά μέτωπα όρους ή μορφολογικές ασυνέχειες που σχετίζονται με ενεργά ρήγματα. Οι τιμές του δείκτη Smf για το βόρειο περιθώριο της δελταϊκής περιοχής του Πηνειού είναι ίσες με 2.42 και 3.01. Συνεπώς, το βόρειο περιθώριο ανήκει στην τρίτη τάξη τεκτονισμού με τις ανενεργές δομές της περιοχής μελέτης, αφού χαρακτηρίζεται από μεγάλο βαθμό εγκάρσιας διάβρωσης με εκτεταμένες και έντονα διαμελισμένες περιοχές προπόδων και ευρείς πυθμένες ποτάμιων κοιλάδων.



Εικόνα 4. Μεθοδολογία υπολογισμού του δείκτη εγκάρσιας διάβρωσης μετώπου όρους (Smf) στο νότιο περιθώριο της δελταϊκής περιοχής του Πηνειού (τμήματα 1A, 1B, 1C, 2A, 2B), στη μορφολογική ασυνέχεια Πυργετού (τμήμα 3) και στο βόρειο περιθώριο της δελταϊκής περιοχής του Πηνειού (τμήματα 4A, 4B). Απεικονίζονται τα παρατηρούμενα μήκη των μετώπων όρους κατά μήκος της συμβολής όρους προπόδων (Lmf) και οι αντίστοιχες ευθύγραμμες αποστάσεις της συμβολής όρους-προπόδων (Ls). Τα μήκη των Lmf και Ls και οι τιμές του δείκτη Smf για κάθε μέτωπο παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Τιμές του δείκτη εγκάρσιας διάβρωσης μετώπου όρους (Smf) από την εφαρμογή του δείκτη για τα μέτωπα όρους και γραμμικές μορφολογικές ασυνέχειες στην περιοχή μελέτης.

Μέτωπο όρους ή μορφολογική ασυνέχεια	Τμήμα	Lmf (σε m)	Ls (σε m)	Smf	Ενεργότητα
Νότιο περιθώριο δελταϊκής περιοχής Πηνειού (Ομόλιο)	1a	5688.27	3340.60	1.70	Πιθανά ενεργό
Νότιο περιθώριο δελταϊκής περιοχής Πηνειού (μεταξύ Ομολίου και Στομίου)	1b	5282.38	2729.14	1.94	Πιθανά ενεργό
Νότιο περιθώριο δελταϊκής περιοχής Πηνειού (Στόμιο)	1c	3590.85	2323.37	1.55	Πιθανά ενεργό
PZ Ομολίου (BA-ΝΔ διεύθυνσης)	2a	1235.59	1053.05	1.17	Ενεργό
PZ Ομολίου (BA-ΝΔ διεύθυνσης)	2b	5184.01	2432.42	2.13	Ανενεργό
Μορφολογική ασυνέχεια Πυργετού	3	1648.48	1360.59	1.21	Ενεργό
Βόρειο περιθώριο δελταϊκής περιοχής Πηνειού (Πυργετός-Αιγάνη)	4a	13240.36	4398.62	3.01	Ανενεργό
Βόρειο περιθώριο δελταϊκής περιοχής Πηνειού (Πυργετός-Αιγάνη)	4b	10869.02	4487.90	2.42	Ανενεργό

β. Μορφομετρική προσέγγιση

Το νότιο περιθώριο της δελταϊκής περιοχής του Πηνειού και ιδιαίτερα το δυτικό τμήμα αυτό παρουσιάζει ιδιαίτερες γεωμορφολογικές δομές με έντονες εναλλαγές στο ανάγλυφο και τη δημιουργία φαραγγιών. Οι δομές αυτές φαίνεται να έχουν σαφή συστηματικότητα, η οποία μελετήθηκε χρησιμοποιώντας το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου με υψηλή χωρική ανάλυση (5 μέτρα). Συγκεκριμένα, παρατηρούνται τέσσερα φαράγγια, τα οποία αναπτύσσονται με γενική διεύθυνση BBA-NNΔ και είναι σχεδόν παράλληλα μεταξύ τους. Η δυτικότερη δομή αφορά στο φαράγγι των Τεμπών και ανατολικότερα βρίσκονται ο Μέγας Λάκκος, το Κρυονέρι και το Μεγάλο Φαράγγι αποτελεί την ανατολικότερη δομή (Εικ. 5). Η διεύθυνση ανάπτυξης των προαναφερθεισών φαραγγιών είναι σχεδόν κάθετη στο ρήγμα νότια του Ομολίου που περιγράφηκε παραπάνω. Επιπρόσθετα, όλες αυτές οι γεωμορφές τοποθετούνται στο ανερχόμενο ρηξιτέμαχος του ρήγματος αυτού και φαίνεται να έχουν γενεσιουργό αιτία το φαινόμενο της κατά βάθος διάβρωσης λόγω ανύψωσης της Όσας.

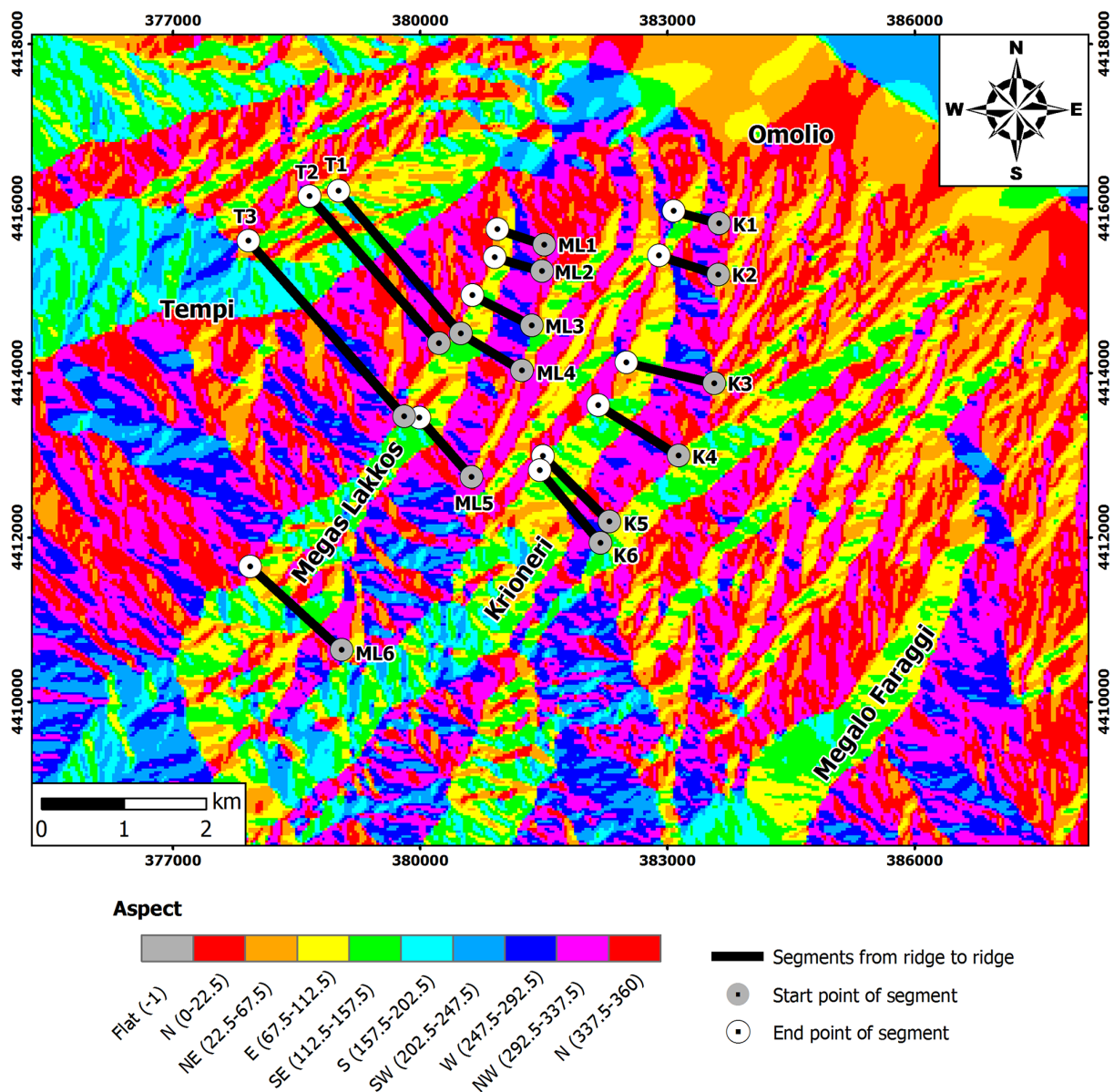


Εικόνα 5. Πανοραμική άποψη του νότιου περιθωρίου της δελταϊκής περιοχής του Πηνειού κοιτώντας προς ΝΔ, από το φαράγγι των Τεμπών έως και το Ομόλιο. Διακρίνονται τα φαράγγια των Τεμπών, του Μέγα Λάκκου και του Κρυονερίου από ΒΔ προς ΝΑ αντίστοιχα.

Στις σύγχρονες ανυψωτικές κινήσεις της ευρύτερης περιοχής, από το Πήλιο μέχρι τον Όλυμπο, έχουν αναφερθεί αρκετοί συγγραφείς (Stiros et al. 1994, Stiros et al. 2004, Caputo et al. 2012) καθώς επίσης και στην διάνοιξη του φαραγγιού των Τεμπών (Faugères 1977). Όμως, μετά από επεξεργασία και μορφομετρική ανάλυση του χάρτη προσανατολισμού πρηνών (aspect map), ο οποίος προέκυψε από το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου, διαπιστώθηκε υψηλός βαθμός μορφολογικής συσχέτισης μεταξύ των

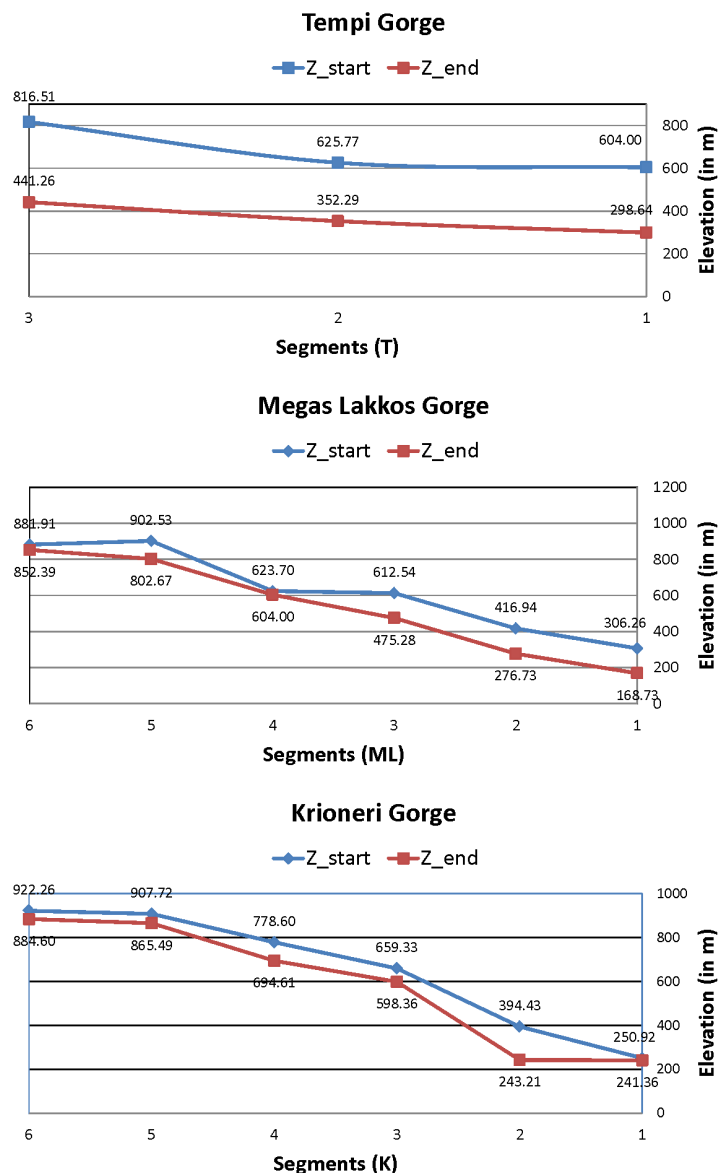
κορυφογραμμών που πλαισιώνουν κάθε ένα από τα φαράγγια. Ο χάρτης προσανατολισμού πρανών χρησιμοποιήθηκε, καθώς σε αυτού του είδους την επεξεργασία αποδίδεται διαφορετικός χρωματισμός ανάλογα με τη φορά προσανατολισμού κάθε πρανούς και κατά συνέπεια τονίζονται με μεγάλη λεπτομέρεια οι κορυφογραμμές μεταξύ των διαφόρων κοιλάδων, αλλά και οι μισγάγγειες των διαφόρων ρεμάτων.

Συγκεκριμένα, προσδιορίστηκαν αρκετές θέσεις εκατέρωθεν των κοιλάδων οι οποίες φαίνεται να αλληλοσυμπληρώνονται μεταξύ τους, κατά την ανασύσταση του παλαιοαναγλύφου και οδηγούν στην υπόθεση ότι πρόκειται για ανοίγματα, τα οποία προέκυψαν από αλληπάλληλες αποκολλήσεις τεμαχών και μερική ανατροπή τους προς τα ΒΔ (Εικ. 6). Ουσιαστικά, οι θέσεις αποτελούν τα σημεία εκείνα, στα οποία εάν γίνει προσπάθεια να «επανασυγκολληθούν» τα τεμάχια μεταξύ τους, επιτυγχάνεται σχετικά πλήρης ταύτιση. Στις μεταξύ των θέσεων περιοχές, όπου δεν επιτυγχάνεται αυτή η ταύτιση, μπορεί να γίνει αποδεκτό ότι τοπικές καταρρεύσεις και διαβρώσεις έχουν αλλοιώσει το αρχικό ανάγλυφο, σε μικρότερο ή μεγαλύτερο ποσοστό. Για κάθε θέση μετρήθηκε το μήκος της διανοίξης μέσω ευθυγράμμων τμημάτων, ενώ προσδιορίστηκαν τα υψόμετρα στην αρχή και το τέλος κάθε ευθύγραμμου τμήματος που συνδέει τις ακμές των μπλοκ που αποκολλήθηκαν, σε περιβάλλον GIS.



Εικόνα 6. Χάρτης προσανατολισμού πρανών, όπου απεικονίζονται τα ευθύγραμμα τμήματα ταύτισης των κορυφογραμμών και η αρχή και το τέλος των τμημάτων αυτών.

Η υψηλή συσχέτιση της συγκεκριμένης μορφομετρικής ανάλυσης φαίνεται και στα στατιστικά διαγράμματα της Εικόνας 7, όπου παρουσιάζονται οι αποκλίσεις των υψομέτρων των κορυφογραμμών στην αρχή και το τέλος κάθε ευθύγραμμου τμήματος. Είναι εμφανές ότι οι διαφορές των υψομέτρων των σημείων ταύτισης εκατέρωθεν των φαράγγιων ακολουθούν μια κανονική μετάβαση από μεγαλύτερα υψόμετρα στις ανατολικές κορυφογραμμές κάθε φαράγγιου προς μικρότερα υψόμετρα στις δυτικές. Επίσης, οι διαφορές υψομέτρων αυξάνουν από τα ανατολικά προς τα δυτικά, όπου βρίσκεται το φαράγγι των Τεμπών, μέσα από το οποίο διέρχεται ο Πηνειός ποταμός. Ειδικότερα, για την κοιλάδα των Τεμπών αξίζει να αναφερθεί ότι βρέθηκαν μόνο τρεις θέσεις μορφολογικής ταύτισης και αυτό οφείλεται σε δύο λόγους. Ο πρώτος αφορά στο ότι μόνο το ανατολικότερο (και στενότερο) τμήμα της κοιλάδας φαίνεται να έχει συμμετάσχει σε αυτήν την διεργασία των ανατροπών. Ο δεύτερος λόγος αφορά στη μεγάλη γωνία περιστροφής του αποκολλημένου (ΒΔ) τεμέχους και κατ' επέκταση στον υψηλό βαθμό διάβρωσης που ακολούθησε αυτήν την μετακίνηση, η οποία είχε ως αποτέλεσμα την αλλοίωση της αρχικής μορφολογίας σε μεγάλο ποσοστό.



Εικόνα 7. Στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων της μορφομετρικής ανάλυσης για τα τρία δυτικότερα φαράγγια.

Τεκτονική Εξέλιξη

Η περιοχή της Ανατολικής Θεσσαλίας περιλαμβάνει ορεινούς όγκους, η δημιουργία των οποίων είναι αποτέλεσμα συμπίεστικών τεκτονικών γεγονότων, το τελευταίο από τα οποία έλαβε χώρα από το Ηώκαινο έως το Μέσο Μειόκαινο (Brunn 1956).

Μεταγενέστερα και ειδικότερα από το Πλειόκαινο έως το Κατώτερο Πλειστόκαινο, η περιοχή βρέθηκε υπό τεκτονικό καθεστώς εφελκυστικών τάσεων διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ, σχετιζόμενο πιθανώς με την μεταορογενετική φάση κατάρρευσης του ορογενούς (Caruto 1990, Caruto et al. 1994). Κατά τη διάρκεια της παραπάνω εφελκυστικής φάσης, στη λεκάνη της Λάρισας δυτικά της ορεινής αλυσίδας Ολύμπου-Όσσας-Μαυροβουνίου δημιουργείται η εκτεταμένη Πλειοκαινική λίμνη της Λάρισας με μέγιστο βάθος αρκετών δεκάδων μέτρων με αποτέλεσμα την απόθεση σχηματισμών λιμναίας φάσης (Caruto et al., 1994). Την ίδια περίοδο ξεκινάει η απόθεση των Νεογενών σχηματισμών που εμφανίζονται σήμερα κατά μήκος του νοητού άξονα Αιγάνης – Πυργετού – Ομολίου.

Η επικράτηση των ελωδών και λιμναίων συνθηκών στη λεκάνη της Λάρισας τουλάχιστον μέχρι το Βιλαφράγκιο (Caruto et al. 1994) υποδεικνύει ότι δεν υπάρχει σαφώς διαμορφωμένο ή μόνιμα αναπτυγμένο υδρογραφικό δίκτυο που να διατρέχει τη λεκάνη και να αποστραγγίζει τη λίμνη. Επί πλέον στο τέλος του Βιλαφράγκιου έχει δημιουργηθεί το υδρογραφικό δίκτυο του Παλαιο-Πηνείου καθώς αναπτύσσεται ήδη το δέλτα του κατά μήκος των ακτών του Αιγαίου πελάγους (Faugères 1977). Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι μέχρι την περίοδο εκείνη αλλά μέχρι και το Πλειστόκαινο, ο Παλαιο-Πηνειός δεν διερχόταν από τα Τέμπη, αλλά το δέλτα του και οι εκβολές του αναπτύσσονταν όχι στη σημερινή τους θέση, αλλά νότια της Όσσας.

Κάτω από την επίδραση του ίδιου εφελκυστικού εντατικού πεδίου λαμβάνει χώρα η δραστηριοποίηση της κανονικού χαρακτήρα ρηξιγενούς ζώνης Πυργετού ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης στο νότιο περιθώριο της δελταϊκής περιοχής του Πηνείου και έχει ως αποτέλεσμα την παραμόρφωση του κατερχόμενου τέμαχος, που περιστρέφεται προς ΝΝΑ. Η περιστροφή αυτή είχε ως αποτέλεσμα τα στρώματα των Νεογενών σχηματισμών να αποκτήσουν κλίση περίπου 10°. Ακολουθεί η ασύμφωνη απόθεση των ερυθροχωμάτων χερσαίας προέλευσης.

Μετά την ολοκλήρωση της απόθεσης του συνόλου των Νεογενών σχηματισμών, η περιοχή μελέτης υπέστη την επίδραση ενός καθεστώτος εφελκυστικών τάσεων με ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση με αποτέλεσμα τη δημιουργία κανονικών ρηγμάτων ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης με κυριαρχούσα δομή τη ρηξιγενή ζώνη νότια του Ομολίου (Εικ.3α). Το εφελκυστικό αυτό εντατικό πεδίο εξακολουθεί να είναι ενεργό και μετά από αυτήν τη χρονική περίοδο με αποτέλεσμα τη δημιουργία μεγάλων τεκτονικών ασυνεχειών εφελκυστικού χαρακτήρα που δημιούργησαν τις γεωμορφές των φαράγγιων. Αποτέλεσμα της δραστηριοποίησης του ρήγματος νότια του Ομολίου είναι η εκ νέου περιστροφή του συνόλου των Νεογενών στρωμάτων, καθώς και η κατάτμηση του ρήγματος του Πυργετού, του οποίου η δραστηριότητα φαίνεται να υποβαθμίζεται σημαντικά. Τα κατώτερα μέλη της ακολουθίας στην περιοχή Πυργετού - Αιγάνης απέκτησαν τη σημερινή τους γεωμετρία με κλίσεις που προσεγγίζουν τις τιμές των 20° έως 30° προς ΝΝΑ, ενώ τα ανώτερα μέλη της (ερυθροχώματα) απέκτησαν κλίσεις της τάξης των 10° προς τα νότια.

Συγκεκριμένα, λαμβάνοντας υπ' όψιν τα στοιχεία των υπαίθριων μετρήσεων σε επίπεδα γεωλογικών επιφανειών (στρώσης) στους Νεογενείς σχηματισμούς της περιοχής Αιγάνης-Πυργετού-Ομολίου, διακρίνονται τρεις περιοχές, όπου τα στρώματα παρουσιάζουν διαφορετικά χαρακτηριστικά. Η βορειότερη περιοχή εντοπίζεται ΝΑ της Αιγάνης. Στο τέμαχος αυτό τα Νεογενή στρώματα παρουσιάζουν μέση κλίση 21° προς ΝΑ. Η δεύτερη περιοχή εντοπίζεται νότια του Πυργετού, όπου τα Νεογενή στρώματα παρουσιάζουν μέση κλίση 14° προς Ν. Η τρίτη περιοχή αναπτύσσεται νότια του Ομολίου και βρίσκεται σε άμεση επαφή με τη ρηξιγενή επιφάνεια που περιγράφηκε παραπάνω. Στο τέμαχος αυτό, τα Νεογενή στρώματα παρουσιάζουν μέση κλίση 22° προς ΝΝΑ, ενώ το ρήγμα του Ομολίου αποτελεί το νοτιότερο περιθώριο της Νεογενούς λεκάνης. Δεν παρατηρούνται εμφανίσεις Νεογενών ιζημάτων σε άλλες θέσεις (ανατολικότερα του Ομολίου), διότι κατά πάσα πιθανότητα βρίσκονται θαμμένες κάτω από τις σύγχρονες δελταϊκές αποθέσεις.

Κατά το Πλειστόκαινο, ήταν ενεργό ένα άλλο ποτάμιο σύστημα στην ευρύτερη περιοχή βόρεια του Πυργετού, το οποίο αποστράγγιζε μέρος του ορεινού όγκου του Ολύμπου και οι εκβολές του τοποθετούνται βόρεια της σύγχρονης κοίτης του Πηνείου. Αποτέλεσμα αυτής της διεργασίας ήταν ο σχηματισμός του αλλουβιακού ριπιδίου του Πυργετού (Πλειστοκαινικής ηλικίας) που καλύπτει ασύμφωνα την ακολουθία των Νεογενών ψαμμιτών και κροκαλοπαγών και ερυθροχωμάτων.

Το εφελκυστικό εντατικό πεδίο διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ εξακολουθεί να είναι ενεργό και μετά από αυτήν τη χρονική περίοδο, με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν μεγάλες τεκτονικές ασυνέχειες εφελκυστικού χαρακτήρα, σχεδόν εγκάρσια στο ρήγμα του Ομολίου και δυτικότερα. Αυτές με τη σειρά τους θα προκαλέσουν την κατάρτιση του ανερχόμενου ρηξιτεμάχου και σε συνδυασμό με τις ανυψωτικές κινήσεις της Όσσας (Stiros et al, 2004) θα οδηγήσουν σε ανατροπές μικρότερων τεμαχίων προς τα ΒΔ. Η δυτικότερη από αυτές ταυτίζεται με το σύγχρονο φαράγγι των Τεμπών, μέσω του οποίου βρέθηκε η νέα διέξοδος του Πηνειού προς το Αιγαίο Πέλαγος, αφού η συνολική ανύψωση της οροσειράς Ολύμπου-Όσσας-Πηλίου (Stiros et al. 1994) απέκλεισε τη λειτουργία των εκβολών του Παλαιο-Πηνειού (Faugères 1977).

Συζήτηση

Η διαμόρφωση της ευρύτερης περιοχής του Δέλτα του Πηνειού ποταμού, φαίνεται να οφείλεται κυρίως σε ρηγματογόνο τεκτονισμό σε συνδυασμό με τη διάνοιξη των Τεμπών και την έναρξη της στερεοπαροχής του ποταμού προς την περιοχή του Θερμαϊκού κόλπου. Η παρατήρηση της περιοχής με δεδομένα τηλεπισκόπησης υψηλής χωρικής και φασματικής ανάλυσης, μετά από ψηφιακή επεξεργασία, έδωσαν τη δυνατότητα να εντοπιστούν οι θέσεις εκείνες, στις οποίες ήταν απαραίτητο να γίνει υπαίθρια αναγνώριση, ώστε να στηριχθεί το μοντέλο της μορφοτεκτονικής εξέλιξης του δέλτα του Πηνειού ποταμού. Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στα κράσπεδα της λεκάνης, όπου εμφανίζονται μεταλλικά ιζήματα με έντονο το στοιχείο της περιστροφής τεμαχίων. Η εκτεταμένη προκαταρκτική γεωφυσική έρευνα, επιβεβαιώνει την απουσία του αλπικού υποβάθρου, σε βάθη μικρότερα των 200 μέτρων σε όλη την κεντρική περιοχή της σύγχρονης κοίτης του ποταμού, γεγονός που φαίνεται να οφείλεται σε συνδυασμό εφελκυστικών εντατικών πεδίων που έχουν λειτουργήσει κατά καιρούς στην περιοχή, από το Πλειόκαινο μέχρι και σήμερα.

Από την εφαρμογή του δείκτη εγκάρσιας διάβρωσης μετώπου όρους (Smf) στο βόρειο περιθώριο της δελταϊκής περιοχής στον Κάτω Όλυμπο, προέκυψαν τιμές από τις οποίες δεν προκύπτει ενεργότητα αυτών των περιθωριακών δομών. Αντίθετα, η ίδια μεθοδολογία ανέδειξε τις κύριες ενεργές μορφοτεκτονικές δομές, που έχουν συμβάλει καθοριστικά στην εξέλιξη των εκβολών του Πηνειού ποταμού. Αυτές είναι: (i) το ρήγμα που έχει προκαλέσει τη δημιουργία της μορφολογικής ασυνέχειας του Πυργετού και (ii) το ρήγμα νότια του Ομολίου που έχει προκαλέσει την δημιουργία των φαραγγίων και ιδιαίτερα αυτό των Τεμπών, από όπου διέρχεται η σύγχρονη κοίτη του Πηνειού.

Η μορφομετρική ανάλυση στα συγκεκριμένα φαράγγια έδωσε σαφείς ενδείξεις για τον τρόπο δημιουργίας τους και το λόγο γένεσής τους, ενώ θα ήταν ιδιαίτερα σημαντική η μαθηματική μοντελοποίηση της περιοχής από την οποία διέρχονται. Πρόκειται για μια πολύπλοκη διαδικασία αφού περιλαμβάνει περιστροφές τεμαχίων και μετακίνησή τους σε τρεις διαστάσεις, ενώ είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψιν, εκτός των άλλων η διάβρωση και η αλλοίωση του αρχικού αναγλύφου λόγω εκτεταμένων καταπτώσεων, οι οποίες συμβαίνουν ακόμη και σήμερα.

Ευχαριστίες

Η υπαίθρια εργασία καθώς και η προμήθεια της δορυφορικής εικόνας WorldView-2 πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Ερευνητικού Έργου ΘΑΛΗΣ-DAPHNE (MIS375908) με τίτλο “ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΑ ΠΟΤΑΜΙΑ ΔΕΛΤΑ. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΔΕΛΤΑ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΠΗΝΕΙΟΥ (ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ)” που συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και του Υπουργείου Παιδείας και Θρησκευμάτων στα πλαίσια του ΕΣΠΑ 2007-2013.

Βιβλιογραφία

- Bull, W.B. and McFadden, L.D., 1977. Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. *Geomorphology in arid regions. Proc. 8th Binghamton symposium in geomorphology*: 115-138.
- Caputo, R., 1990. Geological and structural study of the recent and active brittle deformation of the Neogene-Quaternary basins of Thessaly (Central Greece). *Scientific Annals, Aristotle University of Thessaloniki*, 12, pp. 252.
- Caputo, R., Bravard, J-P, Helly, B., 1994. The Pliocene-Quaternary tecto-sedimentary evolution of the Larissa Plain (Eastern Thessaly, Greece). *Geodinamica Acta (Paris)*, 1994, 7, 4, 219-231.
- Caputo, R., Chatzipetros, A., Pavlides, S., Sboras, S., 2012. The Greek Database of Seismogenic Sources (GreDaSS): state-of-the-art for northern Greece. *Annals of Geophysics*, 55, 5, 2012; doi: 10.4401/ag-5168.
- El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernández, T., Chacón, J., Keller, E.A., 2008. Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology*, 96, 150-173.
- Faugères, C., 1977. Naissance et développement du relief de l' Olympe (Grèce): une manifestation éclatante de la tectonique récente. *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, XIX, 1, p. 7-26.
- Gaki-Papanastassiou, K., Karymbalis, E. & Maroukian, H., 2010. Recent Geomorphic changes and anthropogenic activities in the delta plain of Pinios River in central Greece. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, XLIII (2), 409-417.
- Godfriaux, I., 1968. Etude géologique de la région de l' Olympe (Greece). *Ann. Geol. Pays Hell.*, 19: 1-271.
- Lips, A.L.W., White, S.H., Wijbrans, J.R., 1998. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ laserprobe direct dating of discrete deformational events: a continuous record of early Alpine tectonics in the Pelagonian Zone, NW Aegean area, Greece. *Tectonophysics*, 298(1-3): 133-153.
- Papanikolaou, D., 1984. The three metamorphic belts of the Hellenides; a review and a kinematic interpretation. In: J.E. Dixon and A.H.F. Robertson (Editors), *The geological evolution of the eastern Mediterranean*. Geol. Soc. Spec. Publ. Geological Society of London, Oxford, pp. 551-561.
- Papazachos, B., Papazachou, C., 1997. *The earthquakes of Greece*, 2nd edition, Editions ZITI, Thessaloniki, 304 pp.
- Papazachos, B., Papazachou, C., 2003. *Oi seismoi tis Elladhas*, 3rd edition, Editions ZITI, Thessaloniki, 286 pp. (in Greek).
- Papazachos, B.C., P.E. Comninakis, E.M. Scordilis, G.F. Karakaisis, Papazachos, C.B., 2009. A catalogue of earthquakes in the Mediterranean and surrounding area for the period 1901-Sep. 2009, Publ. Geophys. Laboratory, Aristotle University of Thessaloniki; <http://geophysics.geo.auth.gr> .
- Rockwell, T.K., Keller, E.A., Johnson, D.L., 1984. Tectonic geomorphology of alluvial fans and mountain fronts near Ventura, California. In: M. Morisawa and T.J. Hack (Editors), *Tectonic Geomorphology*. State University of New York, Binghamton, pp. 183-207.
- Schermer, E.R., 1990. Mechanisms of blueschist creation and preservation in an A-type subduction zone, Mount Olympos region, Greece. *Geology*, 18(11): 1130-1133.
- Schermer, E.R., 1993. Geometry and kinematics of continental basement deformation during the Alpine orogeny, Mt. Olympos region, Greece. *Journal of Structural Geology*, 15(3-5): 571-591.
- Schermer, E.R., Lux, D.R., Burchfiel, B.C., 1990. Temperature-time history of subducted continental crust, Mount Olympos Region, Greece. *Tectonics*, 9(5): 1165-1195.
- Schmitt, A., 1983. *Nouvelles contributions a l'étude géologique des Pierra, de l'Olympe et de l'Ossa (Grec du Nord)*. PhD Thesis, Faculte Polytechnique de Mons, Belgium, 215 pp.
- Silva, P.G., Goy, J.L., Zazo, C., Bardají, T., 2003. Fault-generated mountain fronts in southeast Spain: geomorphologic assessment of tectonic and seismic activity. *Geomorphology*, 50: 203-225.
- Stiros S.C., Pirazzoli P.A., Pomoni-Papaioannou F., Laborel J., Laborel F., Arnold M., 1994. Late quaternary uplift of the Olympus – Pelion range coasts (Macedonia- Thessaly, Greece). *Bulletin of the Geological Society of Greece*, XXX/1, 325-330.
- Stiros, S., Triantafyllides, P., Chasapis, A., 2004. Geodetic evidence for active uplift of the Olympus Mt, Greece. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, XXXVI, 1697-1705.

- Wells, S.G., Bullard, T.F., Menges, C.M., Drake, P.G., Karas, P.A., Kelson, 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.
- Αλεξόπουλος Δ. Ι., Δίλαλος Σ., Βασιλάκης Εμμ., Μιχελιουδάκης Δ., Μαυρούλης Σ. και Πούλος Σ., 2014. Προκαταρκτική αξιολόγηση γεωφυσικών δεδομένων και γεωλογικών στοιχείων στη Δελταϊκή πεδιάδα του Πηνειού ποταμού (Θεσσαλία), 10^ο Διεθνές Γεωγραφικό Συνέδριο της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας, Θεσσαλονίκη (*υπό κρίση*).
- Θεοχάρης, Δ., Φουντούλης, Ι., 2002. Μορφομετρικοί δείκτες και ενεργές τεκτονικές δομές. Η περίπτωση της Σαλαμίνας. Πρακτικά 6ου Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας, Ι, 97-106.
- Κατσικάτσος, Γ., Μιγκίρος, Γ., 1987. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας (1:50000), φύλλο «Ραψάνη», ΙΓΜΕ.
- Μιγκίρος, Γ., 1983. Γεωλογική μελέτη περιοχής Κάτω Ολύμπου, Θεσσαλίας. Διδακτορική Διατριβή, Παν/μιο Πατρών, 224 σελ.