

ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΚΟΡΙΝΘΙΑ: ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΝΟΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Ροντογιάννη Θ¹., Λειβαδίτη Α¹., Μέττος Α.²

¹ Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 15780 Αθήνα, rondo@central.ntua.gr

² Δρ. Γεωλόγος, τ. διευθυντής Γεωλογίας και Χαρτογραφίσεων ΙΓΜΕ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία αποτελεί μια σύνθεση των αποτελεσμάτων διαφόρων ερευνών μας που πραγματοποιήθηκαν στην ανατολική Κορινθία και αφορούσαν τη γεωλογική και νεοτεκτονική μελέτη της περιοχής που εκτείνεται μεταξύ του Κορινθιακού και Σαρωνικού κόλπου. Οι πρόσφατες γεωλογικές αποθέσεις που χαρτογραφήθηκαν είναι λιμναίας, υφάλμυρης και θαλάσσιας φάσης, γεγονός που εκφράζει ένα περιβάλλον ιζηματογένεσης με συχνές αλλαγές, αρκετές από τις οποίες συνδέονται με τη δράση παλυάριθμων ρηγμάτων. Ορισμένα από τα ρήγματα αυτά, τα οποία έχουν δημιουργήσει επιπλέον ένα πολύ έντονο μορφολογικό ανάγλυφο, ευθύνονται για την αυξημένου βαθμού γεωλογική επικινδυνότητα που εμφανίζει η περιοχή. Η έντονη σεισμική δραστηριότητα στην Κορινθία συχνά συνδέεται με την εκδήλωση καταπτώσεων, καταβυθίσεων και εδαφικών διαρρηξίων, φαινομένων των οποίων η καταγραφή και μελέτη επιτρέπει ως ένα βαθμό την «πρόβλεψη» αντίστοιχων γεγονότων στο μέλλον. Στο πλαίσιο αυτό αξιολογήθηκαν τα ενεργά ρήγματα της περιοχής, τα οποία αποτελούν τις πλέον ευαίσθητες ζώνες από την άποψη της σεισμικής επικινδυνότητας και θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στη μελέτη και κατασκευή μεγάλων τεχνικών και αναπτυξιακών έργων. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται, με την παρουσίαση νεότερων στοιχείων, στα ρήγματα Κατακαλίου, Μύλου και Λουτρακίου-Κακιάς Σκάλας.

EASTERN CORINTHIA: STRUCTURE AND CHARACTERISTICS OF AN ACTIVE GEOLOGICAL ENVIRONMENT

Rondoyanni Th.¹, Livaditi A.¹, Mettos A.²

¹ Department of Earth Sciences, School of Mining and Metallurgical Engineering, National Technical University of Athens, 9 Iroon Polytechniou str., 15780 Athens, rondo@central.ntua.gr

² Dr. Geologist, ex-director of Geology and Mapping, IGME.

ABSTRACT

This paper is a compilation of the results of our work at the eastern Corinthia, concerning the geological structure and the active tectonics of the region between the Corinthian and the Saronic gulf. The recent geological formations, of lacustrine, brackish and marine facies, show a quickly changing sedimentary environment relating mainly to the activity of a number of significant normal faults. Some of these faults, often forming a highly steep relief, are responsible for the elevated geological risk of this region. The strong seismic activity is often associated by surface ruptures and secondary phenomena, such as rockfalls and subsidence, which the study facilitate the "prediction" of similar phenomena in the future. In this frame, the active faults that are the most crucial zones from a seismic risk point of view and must be taken into consideration for the design and construction of engineering projects were evaluated. A special emphasis and new data are presented for the Katakali, Mylos and Loutraki-Kakia Skala faults.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γη και η θάλασσα της Κορινθίας αποτελούν την έκδηλη έκφραση ενός παγκόσμιου ενδιαφέροντος ενεργού γεωλογικού περιβάλλοντος, όπως φαίνεται και από το πλήθος των ερευνών (από τις οποίες αναφέρονται ενδεικτικά των: Mercier et al., 1976; Sebrier, 1977; Dufaute, 1977; Jackson et al., 1982; Brooks & Ferentinis, 1984; Keraudren & Sorel, 1987; Ori, 1989; Doutsos & Poulimenos, 1992; Collier et al., 1992; Roberts et al., 1993; Collier et al., 1998; Clément, 2000; Sorel, 2000; Zeliidis, 2000; Koukouvelas et al., 2001; Westaway, 2002; Moretti et al., 2003; Avallone et al., 2004; Flotte et al., 2005), που έχουν γίνει τόσο στην ξηρά όσο και στον Κορινθιακό κόλπο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι πρόκειται για μια περιοχή με γεωλογικές διαδικασίες σε εξέλιξη, η οποία παρουσιάζει από τα μεγαλύτερα μεγέθη σύγχρονης τεκτονικής παραμόρφωσης στο χώρο της ανατολικής Μεσογείου (Billiris et al., 1991; Avallone et al., 2004), έκφραση της οποίας αποτελεί η εκδήλωση έντονης σεισμικότητας.

Τα γεωδυναμικά αυτά χαρακτηριστικά, σε συνδυασμό με τη λιθολογική σύσταση των γεωλογικών σχηματισμών και την απότομη μορφολογία, προκαλούν συχνά ποικίλα φαινόμενα αστάθειας σε πολλές θέσεις, οπότε είναι ευνόητο ότι το ενδιαφέρον εκτός από καθαρά επιστημονικό έχει και πρακτική συνιστώσα, καθώς είναι μια περιοχή με αυξημένη γεωλογική επικινδυνότητα.

Ιδιαίτερα η ανατολική Κορινθία, στην οποία εστιάζεται η παρούσα εργασία, παρουσιάζει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά και επακόλουθα μεγάλο ενδιαφέρον:

- Βρίσκεται στο ΒΔ άκρο του ελληνικού ηφαιστειακού τόξου και περιλαμβάνει το ηφαιστειακό κέντρο του Σουσακίου.
- Η θέση της μεταξύ του Κορινθιακού και του Σαρωνικού κόλπου, δυο περιοχών με διαφορετικούς ρυθμούς διαστολής, έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση εσωτερικών διαφοροποιήσεων στο είδος και το μέγεθος των παρατηρούμενων, κυρίως, κατακόρυφων κινήσεων.
- Ο Ισθμός της Κορίνθου αποτελεί ένα γεωλογικό μνημείο καθώς δίνει τη δυνατότητα παρατήρησης ενός πολύ μεγάλου αριθμού ρηγμάτων τα οποία μένουν τις πρόσφατες γεωλογικές αποθέσεις και μαρτυρούν την τεκτονική ενεργότητα της περιοχής.
- Η μεγάλη σεισμική δραστηριότητα που χαρακτηρίζει την Κορινθία επηρεάζει και την Αθήνα, λόγω της γεινίαση της με αυτή, με αποτέλεσμα το αυξημένο ενδιαφέρον από την άποψη της αντισεισμικής προστασίας.

Η παρούσα εργασία αποτελεί προϊόν σύνθεσης από έρευνες που κατά διαστήματα και για διάφορους σκοπούς πραγματοποιήσαμε στην περιοχή, όπως είναι η γεωλογική χαρτογράφηση του φύλλου «Σοφικό» κλίμακας 1:50.000, η γεωλογική μελέτη της περιοχής Λουτρακίου-Σουσακίου για την εκτίμηση ύπαρξης γεωθερμικού ενδιαφέροντος, η χαρτογράφηση και μελέτη των σεισμικών ρηγμάτων με τους σεισμούς του 1981, η γεωμορφολογική και τεκτονική μελέτη του όρους της Αλμυρής, η αξιολόγηση των ρηγμάτων στο πλαίσιο της μελέτης του Αγνώστου Φυσικού Αερίου και η αξιολόγηση της γεωλογικής επικινδυνότητας της περιοχής στο πλαίσιο της μελέτης του νέου αυτοκινητόδρομου και της σιδηροδρομικής γραμμής Αθήνας-Κορίνθου, στην περιοχή της Κακιάς Σκάλας.

2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ

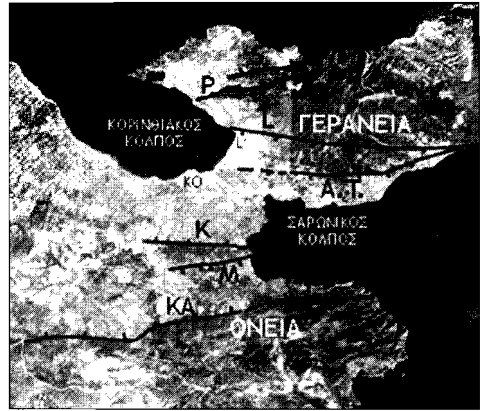
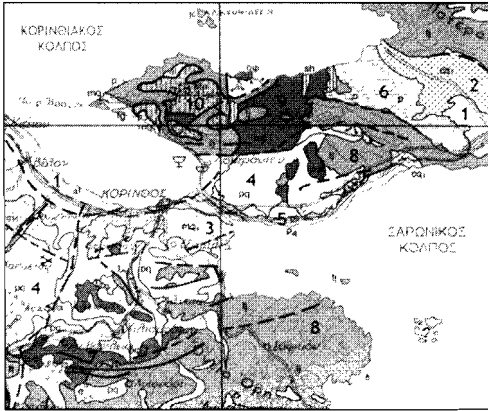
Οι κυριότεροι γεωλογικοί σχηματισμοί που συνιστούν το υπόβαθρο στην ανατολική Κορινθία είναι οι ασβεστόλιθοι, οφιόλιθοι και σχιστοκερατόλιθοι (Γαϊτανάκης κ.ά., 1984), πάνω στους οποίους έχουν αποθεθεί Πλειοκαινικά και Πλειστοκαινικά ιζήματα, καθώς και ηφαιστειακά πετρώματα, των οποίων το συνολικό πάχος φθάνει έως και 1000 m (Σχ. 1α). Πρόκειται για θαλάσσιες, υφάλμυρες και λιμναίες αποθέσεις καθώς και ρεύματα λάβας, δακτυλικής κυρίως σύστασης, που αποτέθηκαν επίσης μέσα ή στις παρυφές της λεκάνης ιζηματογένεσης. Η λεπτομερής μελέτη των αποθέσεων αυτών έδωσε τη δυνατότητα προσδιορισμού των λιθοστρωματογραφικών τους χαρακτήρων καθώς και των τεκτονικών γεγονότων που τα έχουν επηρεάσει.

Αν και παρατηρούνται συχνές απότομες πλευρικές αλλαγές στην ιζηματογενή ακολουθία της Ανατολικής Κορινθιακής τάφρου, στη λιθολογία και τη φάση απόθεσης των Νεογενών και Τεταρτογενών αποθέσεων, μπορεί να δοθεί η ακόλουθη συνθετική εικόνα της στρωματογραφικής εξέλιξής της. Τα βαθύτερα μέλη της ακολουθίας, που είναι λιμναίας φάσεως, αποτελούνται από εναλλαγές υπόλευκων αμμούχων μαργών και συνεκτικών κροκαλοπαγών. Το πάχος των κροκαλοπαγών ελαττώνεται βαθμιαία προς Βορρά, με αντίστοιχη απόθεση ιζημάτων υφάλμυρης φάσης (ψαμμίτων, μαργών και μαργαϊκών ασβεστόλιθων). Η ανάπτυξη της σειράς δείχνει ότι η προέλευση και η κατεύθυνση απόθεσης των ιζημάτων ήταν από Νότο προς Βορρά. Στη συνέχεια επικρατούν πλακώδεις μάργες, ψαμμίτες, και κροκαλοπαγή. Το χρώμα των κροκαλοπαγών ποικίλει από θέση σε θέση λόγω της αμιδικής δράσης του ηφαιστείου του Σουσακίου και της χαρακτηριστικής επακόλουθης υδροθερμικής εξαλλοίωσης. Η ηλικία των αποθέσεων αυτών είναι Πλειοκαινική (Freyberg, 1973; Μέττος κ.ά., 1988).

Ακολουθούν λιμναία ιζήματα από μάργες και αμμούχες αργίλους, που περιέχουν μεγάλα τεμάχια ολισθημένων ασβεστόλιθων η διάμετρος των οποίων φθάνει και τα 100 μέτρα. Η ηλικία των αποθέσεων αυτών πιθανολογείται ως Άνω Πλειοκαινική, με βάση συγκριτικές παρατηρήσεις ως προς τη στρωματογραφική τους θέση.

Στη συνέχεια επικρατούν εναλλαγές θαλάσσιων, υφάλμυρων και σπανιότερα λιμναίων αποθέσεων (μάργες, μαργαϊκών ασβεστόλιθων, ψαμμίτες και κροκαλοπαγών), των οποίων τα κατώτερα μέλη ανήκουν στο Άνωτερο Πλειοκαινό (Σχ. 2), ενώ τα ανώτερα μέλη στο Κάτωτερο Πλειοκαινό, με βάση τα

περικλειόμενα μακρο- και μικροαπολιθώματα (Μέττος κ.ά., 1988). Το ορατό πάχος των αποθέσεων αυτών είναι περί τα 300 m, χαρακτηριστικές δε τομές τους φαίνονται στα πρηνή του Ισθμού.



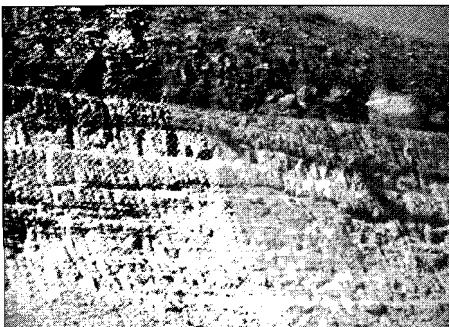
Σχήμα 1. α. Γεωλογική δομή της περιοχής μελέτης (απόσπασμα από το Γεωλογικό χάρτη Ελλάδας κλ. 1:500.000, Ι.Γ.Μ.Ε.): 1. Αλλουβιακές αποθέσεις, 2. Πλειστοκαινικές ηπειρωτικές αποθέσεις, 3. Πλειστοκαινικές θαλάσσιες αποθέσεις, 4. Πλειο-πλειστοκαινικές αποθέσεις, 5. Ηφαισίτες, 6. Πλειοκαινικά ιζήματα, 7. Ιουρασικοί ασβεστόλιθοι, 8. Τριαδικοί ασβεστόλιθοι, 9. Οφιόλιθοι, 10. Σχιστοκερατόλιθοι.
β. Τα σημαντικότερα ενεργά ρήγματα στην ανατολική Κορινθία. S. Σχοίνου, Ρ. Πισίων, L. Λουτρακίου, Α.Τ. Αγίων Θεοδώρων. Κ. Κεχραιών, Μ. Μύλου, ΚΑ. Κατακαλίου.

Το όριο του Πλειόκαινου-Πλειστόκαινου αποδίδεται σε έναν χαρακτηριστικό οριζόντια καλκαρενίτη με κοράλλια, πάχους 2-7 m, ενώ μόνο σε ορισμένες θέσεις είναι ορατή η μεταξύ τους γωνιώδης ασυμφωνία. Η σειρά κλείνει με ποταμοχερσαία κροκαλοπαγή, συνολικού πάχους 150 m. Στο τμήμα της περιοχής μελέτης βόρεια του Σαρωνικού κόλπου το μεγαλύτερο ποσοστό των κροκαλών είναι οφιολιθικής σύστασης και η τροφοδοσία των υλικών γινόταν από Βορρά. Στο τμήμα νότια του Σαρωνικού, αναπτύσσονται δελταϊκά κροκαλοπαγή που περιέχουν ενστρώσεις αργίλων και ψαμμιτών (Σχ. 3). Οι κροκάλες των δελταϊκών αποθέσεων είναι κύρια ασβεστολιθικές. Οι πιο πρόσφατες αποθέσεις αντιπροσωπεύονται από ποτάμια αναβαθμίδες καθώς και εκτεταμένους και μεγάλου πάχους κώνους κορημάτων, νότια αλλά και βόρεια του Σαρωνικού κόλπου.

Μέσα στα παραπάνω ιζήματα έχουν επίσης αποθεθεί τα προϊόντα δύο διαδοχικών περιόδων δράσης του ηφαιστειακού κέντρου του Σουσακίου, δακίτες ηλικίας 4 και 2,7 εκ. ετών (Fytikas et al., 1976).

3 ΤΑ ΕΝΕΡΓΑ ΡΗΓΜΑΤΑ

Σε ότι αφορά τον τεκτονισμό των γεωλογικών σχηματισμών, αυτός οφείλεται στη δράση ρηγμάτων με κύριες διευθύνσεις Α-Δ και ΔΒΔ-ΑΝΑ, ενώ ένας μικρότερος αριθμός δευτερευόντων ρηγμάτων έχει διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ. Τις τεκτονικές αυτές διευθύνσεις έχουν οι μεγάλες ρηξιγενείς ζώνες οι οποίες δημιούργησαν τις λεκάνες απόθεσης των Πλειοκαινικών και Πλειστοκαινικών ιζημάτων ενώ και τα πρόσφατα ιζήματα έχουν επηρεαστεί από μικρότερα, σε μήκος και σε μετατόπιση, ρήγματα που ακολουθούν τις ίδιες διευθύνσεις.



Σχήμα 2. Αποψη των πλειο-πλειστοκαινικών αποθέσεων (μαργακί, βιβλιοθήκη Θεόφραστου - Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.) στην περιοχή του Σουσακίου.



Σχήμα 3. Ιλυομίγεις μάργες και πηλοί στην περιοχή (μαργακί, βιβλιοθήκη Θεόφραστου - Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.) στα προβλήματα αστάθειας.

Οι απότομες εναλλαγές στις λιθοφάσεις στις ιζηματογενείς λεκάνες, οι συχνές εικόνες ολισθήσεων και τα πολυάριθμα συνιζήματογενή ρήγματα φανερώνουν επίσης μια έντονη συνεχή τεκτονική δραστηριότητα στην περιοχή. Η μεγαλύτερη δομή ολίσθησης παρατηρείται ΒΔ του Σουσακίου, όπου οι πλειο-πλειστοκαινικές αποθέσεις ολίσθησαν πάνω στο οφιολιθικό τους υπόβαθρο σε μια επιφάνεια διεύθυνσης Α-Δ και κλίσης 30° προς Νότο.

Από το μεγάλο πλήθος των ρηγμάτων που μελετήθηκε στην περιοχή δόθηκε έμφαση στα ενεργά ρήγματα. Πρόκειται για τα ρήγματα (από Βορρά προς Νότο) που ονομάζονται ως ρήγματα Σχοίνου, Πισίων, Λουτρακίου, Αγίων Θεοδώρων, Κεχραιών, Μύλου και Κατακαλίου (Σχ. 1β). Τα ρήγματα Λουτρακίου και Κατακαλίου, με τις κατοπτρικές τους επιφάνειες πάνω στο προνεογενές υπόβαθρο, οριοθετούν τη μεγάλη νεογενή λεκάνη Νεογενή λεκάνη μεταξύ των ορεινών όγκων των Γερανείων και Ονειών, ενώ τα άλλα οριοθετούν μικρότερες εσωτερικές λεκάνες. Ιδιαίτερα η επιφανειακή εμφάνιση του ρήγματος του Λουτρακίου θεωρείται ότι φθάνει ως την περιοχή της Κακιάς Σκάλας, έχοντας ένα συνολικό μήκος πάνω από 30 km.

Τα ρήγματα Σχοίνου και Πισίων είναι δύο παράλληλα κανονικά ρήγματα με διεύθυνση ΑΒΑ-ΔΝΔ και βόρεια κλίση. Έχουν μήκος 15 χλμ. περίπου και ελέγχουν τη δημιουργία απότομων ρηξιγενών πρηνών στο ασβεστολιθικό υπόβαθρο. Συνοδεύονται από σημαντικού πάχους πρόσφατα πλευρικά κορήματα που καλύπτουν σε πολλές θέσεις τις κατοπτρικές τους επιφάνειες, οι οποίες φέρουν γραμμώσεις ολίσθησης ενδεικτικές της κίνησης του ρήγματος (Σχ. 4α και β). Ιδιαίτερα σημαντικά θεωρούνται τα ρήγματα αυτά διότι ανέδρασαν με τους σεισμούς του Κορινθιακού κόλπου του 1981, οπότε και μελετήθηκαν με μεγάλη λεπτομέρεια από διάφορες ερευνητικές ομάδες (Jackson et al., 1982; Roberts et al., 1993).

Το ρήγμα Λουτρακίου, μπορεί να αναφερθεί ως ένα χαρακτηριστικό ρήγμα της περιοχής με κανονική κίνηση και συνεχή δράση τουλάχιστον από το Νεογενές. Επειδή το ρήγμα χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη διαδοχικών παράλληλων ρηγμάτων μπορεί να θεωρηθεί και ως ρηξιγενής ζώνη. Αυτή η ρηξιγενής ζώνη αναπτύσσεται αρχικά μεταξύ των ασβεστολιθών και των νεογενών αποθέσεων, στη συνέχεια μεταξύ των νεογενών αποθέσεων και των τεταρτογενών, ενώ τέλος οι πιο πρόσφατες κινήσεις ελέγχουν και την απόθεση των τεταρτογενών αποθέσεων κατά μήκος του ρήγματος. Τέτοιες ρηξιγενείς επιφάνειες φαίνονται σε αρκετά σημεία κατά μήκος της νότιας πλαγιάς των Γερανείων, με κυριότερα σημεία βόρεια των Αγίων Θεοδώρων και βόρεια του Λουτρακίου, όπου διαπιστώνεται αναμφισβήτητα και ο ενεργός χαρακτήρας του ρήγματος. Στην πρώτη θέση, στο ρέμα Πίκας, παρατηρείται μία εντυπωσιακή εικόνα, μέσα σε μια απόσταση 150 m, των διαδοχικών ρηξιγενών επιφανειών από τις αναδράσεις του ρήγματος (Σχ. 5α).

Στη δεύτερη θέση, κοντά στο Μοναστήρι του Οσίου Παταπίου, κολλουβιακές αποθέσεις πάνω στην κατοπτρική επιφάνεια, η οποία έχει έντονες γραμμώσεις ολίσθησης, φαίνονται επίσης διαταραγμένες (Σχ. 5β).

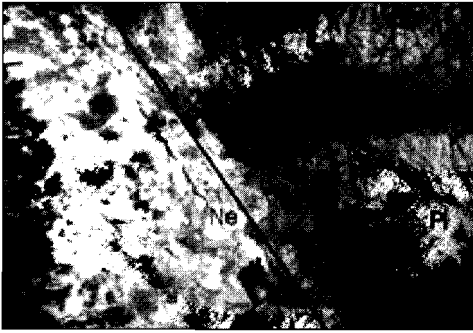


Σχήμα 4.

α: Άποψη της κατοπτρικής επιφάνειας του ρήγματος του Σχοίνου (ανθρώπινη κλίμακα στο κάτω αριστερό τμήμα της φωτογραφίας).

β: Άποψη τμήματος της κατοπτρικής επιφάνειας του ρήγματος στα Πίσια. Με λευκή γραμμή σημειώνεται η επιφανειακή διάρρηξη των σεισμών του 1981.





Σχήμα 5.

α: Αποψη του ρήγματος του Λουτρακίου μεταξύ των Νεογενών (Ne) και Πλειστοκαινικών (Pl) σχηματισμών. Η κλίμακα δίνεται από τους ανθρώπους εκατέρωθεν του ρήγματος.

β: Η κατοπτρική επιφάνεια του ρήγματος του Λουτρακίου, κοντά στο μοναστήρι του Οσίου Παταπίου, βόρεια του Λουτρακίου. Επί της κατοπτρικής επιφάνειας του ρήγματος διακρίνονται τεκτονικές γραμμώσεις σε ασβεστόλιθους καθώς και κολουβιακές αποθέσεις στην οροφή του ρήγματος (Φωτογραφία από Χ. Γεωργίου).

Το ρήγμα των Αγίων Θεοδώρων θεωρείται ότι αποτελεί τον νότιο παράλληλο νότιο κλάδο του ρήγματος των Γερανείων που αναπτύσσεται κυρίως μέσα στα Πλειοκαινικά-Πλειστοκαινικά ιζήματα. Μπορεί να θεωρηθεί και αυτό μια ρηξιγενής ζώνη που αποτελείται από πολλά μικρότερα κανονικά ρήγματα.

Το ρήγμα Κεχραιών, στη βόρεια πλαγιά των Ονείων, είναι ένα ρήγμα (με διεύθυνση Α-Δ και κλίση προς Βορρά) το οποίο αναφέρεται ως ενεργό στον νεοτεκτονικό χάρτη «Κόρινθος» κλίμακας 1:100.000 (Ραρανικόλαου et al., 1996). Πάνω στην κατοπτρική επιφάνεια του ρήγματος η οποία, εκτός από τα Πλειστοκαινικά ιζήματα, βρίσκεται σε επαφή και με πλευρικά κορήματα οι γραμμώσεις ολίσθησης που μετρήθηκαν είναι συμβατές με εφελκυστικές τάσεις σε διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ, που είναι οι ενεργές τεκτονικές τάσεις στην ευρύτερη περιοχή. Το ρήγμα των Κεχραιών συνεχίζεται στον υποθαλάσσιο χώρο και έχει ένα συνολικό μήκος 20 km. Σύμφωνα με τους Παπαναστασίου και Γάκη-Παπαναστασίου (1994) έχει εμφανίσει δύο φορές σεισμική δράση κατά τους ιστορικούς χρόνους.

Το ρήγμα του Μύλου, στη νότια πλαγιά των Ονείων, που αποτελεί το βόρειο περιθώριο του όρμου της Αλμυρής, είναι μια μικρότερη σε μήκος ενεργή ρηξιγενής ζώνη με διεύθυνση ΑΒΑ-ΔΝΔ. Ένα από τα ρήγματα της ζώνης επηρεάζει τους ασβεστόλιθους στην επαφή τους με τα νέα ιζήματα, ενώ μεγάλες παράλληλες ρηξιγενείς επιφάνειες παρατηρούνται επίσης μέσα στη μάζα των ασβεστόλιθων του υποβάθρου με ορατό ύψος που φθάνει και τα 50 m. Τα ίδια γεωμετρικά χαρακτηριστικά έχει και το ρήγμα που επηρεάζει τα δελταϊκής προέλευσης Πλειστοκαινικά κροκαλοπαγή, στη μικρή χερσόνησο του Μύλου, το οποίο συνεχίζεται ανατολικά και στον υποθαλάσσιο χώρο.

Το ρήγμα Κατακαλίου, με διεύθυνση Α-Δ έως ΑΒΑ-ΔΝΔ, είναι το μεγαλύτερο από μια ομάδα ρηγμάτων στο νότιο τμήμα του δυτικού Σαρωνικού κόλπου τα οποία έχουν δημιουργήσει μια κλιμακωτή μορφολογία μέχρι τη θάλασσα. Εμφανίζει μεγάλη κατοπτρική επιφάνεια στους δολομιτικούς ασβεστόλιθους, σε επαφή με συνεκτικά κορήματα Ανω Πλειστοκαινικής ηλικίας, τα οποία έχουν αποθεθεί πάνω στο κατερχόμενο τέμαχος του ρήγματος. Στα κορήματα, που καταλαμβάνουν μεγάλη έκταση, είναι συχνή η παρουσία μεγάλων όγκων ασβεστόλιθων γενεών που επιβεβαιώνουν τον έντονο τεκτονισμό της περιοχής. Το ρήγμα έχει ορατό μήκος 25 km, ενώ το συνολικό του μήκος είναι 50 περίπου km καθώς συνεχίζεται στον υποθαλάσσιο χώρο. Η υποθαλάσσια έκφραση του φαίνεται ότι συμπίπτει με μια ευθυγράμμιση επικέντρων μικροσεισμών που καταγράφηκαν από τους Makris et al. (2004), γεγονός που επιβεβαιώνει τον ενεργό χαρακτήρα του. Σημειώνεται σχετικά με το μήκος του ρήγματος που αναφέρεται ότι αυτό δεν αφορά μία μόνο ρηξιγενή επιφάνεια, αλλά είναι το μήκος ολόκληρης της ρηξιγενούς ζώνης, η οποία αποτελείται από τουλάχιστον τρία τμήματα.

4 ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ - ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Καθοριστική είναι η συμβολή της γεωλογικής μελέτης μιας περιοχής, της αξιολόγησης των ρηγμάτων και της καταγραφής των γεωλογικών κινδύνων που αυτή παρουσιάζει, στον σχεδιασμό και την κατασκευή τεχνικών και αναπτυξιακών έργων αλλά και γενικότερα στην προστασία της ζωής και της δραστηριότητας των πολιτών. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για την περιοχή της ανατολικής Κορινθίας, περιοχή που χαρακτηρίζεται, όπως αναφέρθηκε, από αυξημένο κίνδυνο λόγω της έντονης σεισμικής δραστηριότητας καθώς και των φαινομένων αστάθειας που συνδέονται με το μορφολογικό ανάγλυφο και την φύση των γεωλογικών σχηματισμών.

Η έντονη σεισμική δραστηριότητα στην Κορινθία (με πιο πρόσφατα τα σεισμικά γεγονότα του 1926, 1953 και 1981) συχνά συνδέεται με την εκδήλωση καταπτώσεων, καταβυθίσεων παράκτιων ζωνών και εδαφικών διαρρήξεων. Η έλλειψη κατάλληλων εργαλείων για την πρόβλεψη των επιπτώσεων ως ένα βαθμό την «πρόβλεψη» αντίστοιχων γεγονότων στο μέλλον. Γονιζείται ότι η μελέτη των επιφανειακών διαρρήξεων

που δημιουργήθηκαν στην ανατολική Κορινθία με τους σεισμούς του Φεβρουαρίου - Μαρτίου 1981, μεγέθους $M=6.3$ έως $M=6.6$, έδωσε πολύτιμα στοιχεία και συμπεράσματα για την κατανόηση της δράσης των ρηγμάτων και επιβεβαίωσε τη χρησιμότητα προσδιορισμού των ενεργών ρηγμάτων από την άποψη της αντισεισμικής προστασίας.

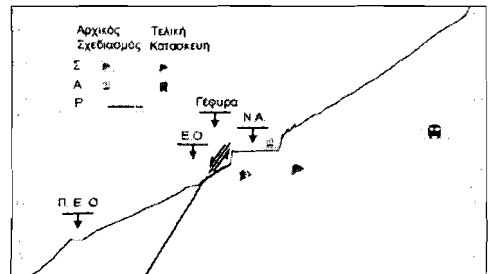
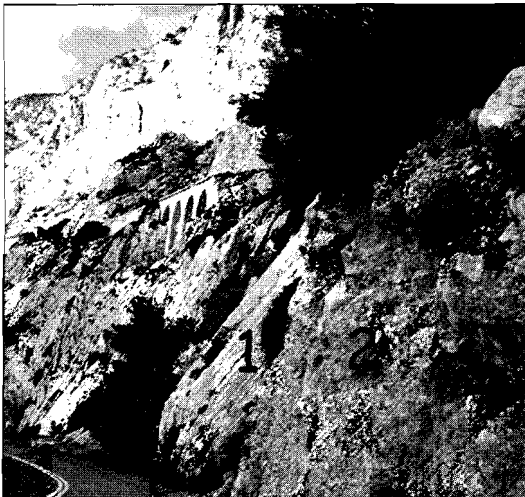
Έτσι, από σεισμοτεκτονική άποψη διαπιστώθηκε ότι οι εδαφικές διαρρήξεις ακολούθησαν τα ίχνη και την κινηματική προϋπαρχόντων τεταρτογενών ρηγμάτων. Επιπλέον, ο προσδιορισμός του καθεστώτος των τεκτονικών τάσεων που επικρατούν στην περιοχή όπως προέκυψε από τη μελέτη των ρηγμάτων αυτών συμφωνεί με τα αποτελέσματα του μηχανισμού γένεσης των σεισμών. Στο Σχήμα 3β παρουσιάζεται το χαρακτηριστικό παράδειγμα από την ανάδραση του ρήγματος στα Πίσια.

Από την άποψη του σχεδιασμού μεγάλων τεχνικών έργων, τα γεωμετρικά και δυναμικά χαρακτηριστικά των πολυάρθρωτων ρηγμάτων που τέμνουν τον Ισθμό της Κορίνθου ελήφθησαν υπόψη στην κατασκευή των γεφυρών του σιδηροδρόμου και του αυτοκινητόδρομου, ενώ των ρηγμάτων στην περιοχή των Αγίων Θεοδώρων ελήφθησαν υπόψη στη μελέτη της χάραξης του Αγωγού Φυσικού Αερίου. Επίσης η πιθανότητα σεισμικής ανάδρασης του ρήγματος Λουτρακίου, απασχόλησε τους μηχανικούς κατά το σχεδιασμό του αυτοκινητόδρομου και της σιδηροδρομικής γραμμής Αθήνας-Κορίνθου στη θέση της Κακιάς Σκάλας (Σχ. 6α και 6β).

Σύμφωνα με την αξιολόγηση των χαρακτηριστικών του ρήγματος, δεν αποκλείεται η σύνδεση του με ένα πιθανό μελλοντικό σεισμό της τάξεως μεγέθους $M=6.0$ έως $M=6.4$ (Σταυρακάκης, προφορική ανακοίνωση) και μιας επιφανειακής μέγιστης μετατόπισης της τάξεως των 50 εκ. (Rondayanni & Marinou, 2008). Με βάση τις εκτιμήσεις αυτές, και λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαίτερα αυξημένες σεισμικές βλάβες στα επιμήκη τεχνικά έργα που παρατηρούνται κατά τη διάρκεια των ισχυρών σεισμών σε όλο τον κόσμο, έγιναν διαφοροποιήσεις στην αρχική χάραξη του έργου ώστε ο αυτοκινητόδρομος να απομακρυνθεί όσο το δυνατόν από την επιφάνεια του ρήγματος. Σε θέσεις που αυτό δεν ήταν εφικτό για τεχνικούς αλλά και οικονομικούς λόγους, προτιμήθηκε η λύση της κατασκευής σηράγγων.

Με στόχο την αντιμετώπιση φαινομένων αστάθειας, που οφείλονται τόσο σε κατολισθήσεις όσο και σε ερπυστικές κινήσεις, μελετήθηκε ιδιαίτερα η περιοχή Αλμυρής-Κατακαλίου, όπου παρατηρούνται κατά διαστήματα εδαφικές αστοχίες. Αυτές οφείλονται κυρίως σε προβληματικούς γεωλογικούς σχηματισμούς, όπως είναι οι αργιλικές μάργες (Σχ. 3), όταν εμφανίζονται σε πρηνή με μεγάλη μορφολογική κλίση (από 32% έως και 83%) και σε συνδυασμό με την ύπαρξη υδροφορίας. Μετά από λεπτομερή γεωλογική, γεωφυσική και γεωτεχνική έρευνα προτάθηκαν μέτρα προστασίας για την αποφυγή πρόσθετων βλαβών στο οδικό δίκτυο και στις κατοικίες της περιοχής (Αλεξούλη-Λειβαδίτη & Σαχπάζης, 1993).

Τέλος, σε ό,τι αφορά την προστασία του περιβάλλοντος, μελετήθηκε η ανθρωπογενής επίδραση στον όρμο της Αλμυρής, όπου είναι τα γνωστά και κατά τη Ρωμαϊκή εποχή λουτρά της Ωραίας Ελένης, τα οποία συνδέονται με κυκλοφορία νερού μέσα από ρηξιγενείς ζώνες, μεγάλης παροχής. Στην περιοχή τις τελευταίες δεκαετίες συνέβη μια ραγδαία οικιστική ανάπτυξη, η οποία είχε ως αποτέλεσμα την ανθρωπογενή παρέμβαση στην παράκτια ζώνη και την καταστροφή ενός μεγάλου υδροβιότοπου (Αλεξούλη-Λειβαδίτη, 1995). Η μελέτη των υδρογραφικών συστημάτων της περιοχής, των πλημμυρικών φαινομένων και της μεταφοράς των ιζημάτων κατέδειξε τις επιπτώσεις των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων στην περιοχή και την ανάγκη σχεδιασμού των έργων υποδομής με σεβασμό στο φυσικό περιβάλλον.



Σχήμα 6.

α. Άποψη των απότομων πρανών στην περιοχή της Κακιάς Σκάλας.

β. Σχηματική τομή με τον αρχικό και τελικό σχεδιασμό των έργων της σιδηροδρομικής γραμμής (Σ) και του αυτοκινητόδρομου (Α).

Ρ. Ρήγμα, Π.Ε.Ο. Παλαιά Εθνική οδός, Ε.Ο. Εθνική οδός, Ν.Α. Νέος Αυτοκινητόδρομος.

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η γεωλογική χαρτογράφηση, η τεκτονική μελέτη καθώς και εξειδικευμένες έρευνες στην περιοχή της ανατολικής Κορινθίας επέτρεψαν τη διατύπωση των παρακάτω συμπερασμάτων:

- Το γεωλογικό υπόβαθρο δομείται κυρίως από ασβεστόλιθους, δολομίτες, σχιστοκερατόλιθους και οφιόλιθους, ενώ οι πρόσφατες γεωλογικές αποθέσεις είναι λιμνίας, υφάλμυρης και θαλάσσιας φάσης (κυρίως μάργες, μαργαίκοι ασβεστόλιθοι, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή). Οι ταχύτατες πλευρικές και κατακόρυφες αλλαγές στη λιθολογία των νεογενών-τεταρτογενών σχηματισμών εκφράζουν ένα συχνά μεταβαλλόμενο περιβάλλον ιζηματογένεσης για το οποίο ευθύνεται κατά κύριο λόγο η τεκτονική δράση.
- Η νεοτεκτονική εξέλιξη συνδέεται με τη δράση πολυάριθμων ρηγμάτων, με κύρια διεύθυνση Α-Δ, ορισμένα από τα οποία είναι ενεργά. Πιο σημαντικά από αυτά μπορούν να θεωρηθούν τα ρήγματα Σχοίνου, Πισίων, Λουτρακίου (με τη συνέχεια του στην περιοχή της Κακιάς Σκάλας), Αγίων Θεοδώρων, Κεχραιών, Μύλου και Κατακαλίου.
- Η έντονη σεισμική δραστηριότητα στην Κορινθία συχνά συνδέεται με την εκδήλωση καταπτώσεων, καταβυθίσεων και εδαφικών διαρρήξεων, φαινομένων των οποίων η καταγραφή και μελέτη επιτρέπει ως ένα βαθμό την πρόβλεψη αντίστοιχων γεγονότων στο μέλλον. Τα ενεργά ρήγματα, τα οποία αποτελούν τις πλέον ευαίσθητες ζώνες από την άποψη της σεισμικής επικινδυνότητας θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στη μελέτη και κατασκευή μεγάλων τεχνικών και αναπτυξιακών έργων.
- Από τα ενεργά ρήγματα, ιδιαίτερα κρίσιμο, από σεισμοτεκτονική άποψη, θεωρούμε το ρήγμα Λουτρακίου-Κακιάς Σκάλας, το οποίο εμφανίζει συνεχή δράση τουλάχιστον από το Πλειόκαινο αλλά για το οποίο όμως δεν υπάρχουν ιστορικά στοιχεία εκδήλωσης σεισμικής μετατόπισης του.
- Η περιοχή εμφανίζει αυξημένου βαθμού γεωλογικής επικινδυνότητας λόγω απότομου, κατά θέσεις, μορφολογικού αναγλύπου σε συνδυασμό με τη λιθολογία και την τεκτονική καταπόνηση των γεωλογικών σχηματισμών, με αποτέλεσμα την εμφάνιση φαινομένων αστάθειας, κατολισθήσεων και πτώσεις βράχων.
- Θεωρούμε ότι οι λεπτομερείς γεωλογικές, σεισμοτεκτονικές και άλλες εξειδικευμένες έρευνες πρέπει να συνεχιστούν, με σκοπό την προστασία των πολιτών και του φυσικού περιβάλλοντος. Άλλωστε η περιοχή του ανατολικού Κορινθιακού έχει ακόμη να μας δώσει πολλά και πολύτιμα επιστημονικά μαθήματα.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι συγγραφείς θα ήθελαν να ευχαριστήσουν τον Ι. Κουκουβέλα για τις εύστοχες παρατηρήσεις και υποδείξεις του, οι οποίες συνέβαλαν στη βελτίωση του κειμένου.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Αλεξούλη-Λειβαδίτη Α., 1995. Επίδραση ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής του όρμου της Αλμυρής. Πρακτικά 4ου Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου, 691-711.
- Αλεξούλη-Λειβαδίτη Α., Σαχπάζης Κ., 1993. Διερεύνηση της ευστάθειας των πρανών της περιοχής Αλμυρής-κατακαλίου (Ν. Κορινθίας). Τρόποι αντιμετώπισης – συγκράτησης αστοχιών. Πρακτικά 3ου Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου, 380-402.
- Γαϊτανάκης Π., Μέττος Α., Φυτίκας Μ., 1984. Γεωλογικός χάρτης Ελλάδας κλ. 1:50.000, φύλλο «Σοφικό», Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα.
- Μέττος α., Ροντογιάννη θ., Βανay Ph., 1988. Οι Πλειο-πλειστοκαινικές αποθέσεις περιοχής Σουσακίου-Αγ. Θεοδώρων (Κορινθίας). Στρωματογραφία-παραμόρφωση. Β.Γ.Σ. Greece, XX, 2, 91-111.

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η γεωλογική χαρτογράφηση, η τεκτονική μελέτη καθώς και εξειδικευμένες έρευνες στην περιοχή της ανατολικής Κορινθίας επέτρεψαν τη διατύπωση των παρακάτω συμπερασμάτων:

- Το γεωλογικό υπόβαθρο δομείται κυρίως από ασβεστόλιθους, δολομίτες, σχιστοκερατόλιθους και οφιόλιθους, ενώ οι πρόσφατες γεωλογικές αποθέσεις είναι λιμνίας, υφάλμυρης και θαλάσσιας φάσης (κυρίως μάργες, μαργαίκοι ασβεστόλιθοι, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή). Οι ταχύτερες πλευρικές και κατακόρυφες αλλαγές στη λιθολογία των νεογενών-τεταρτογενών σχηματισμών εκφράζουν ένα συχνά μεταβαλλόμενο περιβάλλον ιζηματογένεσης για το οποίο ευθύνεται κατά κύριο λόγο η τεκτονική δράση.
- Η νεοτεκτονική εξέλιξη συνδέεται με τη δράση πολυάριθμων ρηγμάτων, με κύρια διεύθυνση Α-Δ, ορισμένα από τα οποία είναι ενεργά. Πιο σημαντικά από αυτά μπορούν να θεωρηθούν τα ρήγματα Σχοίνου, Πισίων, Λουτρακίου (με τη συνέχεια του στην περιοχή της Κακιάς Σκάλας), Αγίων Θεοδώρων, Κεχραιών, Μύλου και Κατακαλίου.
- Η έντονη σεισμική δραστηριότητα στην Κορινθία συχνά συνδέεται με την εκδήλωση καταπτώσεων, καταβυθίσεων και εδαφικών διαρρήξεων, φαινομένων των οποίων η καταγραφή και μελέτη επιτρέπει ως ένα βαθμό την πρόβλεψη αντίστοιχων γεγονότων στο μέλλον. Τα ενεργά ρήγματα, τα οποία αποτελούν τις πλέον ευαίσθητες ζώνες από την άποψη της σεισμικής επικινδυνότητας θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στη μελέτη και κατασκευή μεγάλων τεχνικών και αναπτυξιακών έργων.
- Από τα ενεργά ρήγματα, ιδιαίτερα κρίσιμο, από σεισμοτεκτονική άποψη, θεωρούμε το ρήγμα Λουτρακίου-Κακιάς Σκάλας, το οποίο εμφανίζει συνεχή δράση τουλάχιστον από το Πλειόκαινο αλλά για το οποίο όμως δεν υπάρχουν ιστορικά στοιχεία εκδήλωσης σεισμικής μετατόπισης του.
- Η περιοχή εμφανίζει αυξημένου βαθμού γεωλογικής επικινδυνότητας λόγω απότομου, κατά θέσεις, μορφολογικού αναγλύφου σε συνδυασμό με τη λιθολογία και την τεκτονική καταπόνηση των γεωλογικών σχηματισμών, με αποτέλεσμα την εμφάνιση φαινομένων αστάθειας, κατολισθήσεων και πτώσεις βράχων.
- Θεωρούμε ότι οι λεπτομερείς γεωλογικές, σεισμοτεκτονικές και άλλες εξειδικευμένες έρευνες πρέπει να συνεχιστούν, με σκοπό την προστασία των πολιτών και του φυσικού περιβάλλοντος. Άλλωστε η περιοχή του ανατολικού Κορινθιακού έχει ακόμη να μας δώσει πολλά και πολύτιμα επιστημονικά μαθήματα.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι συγγραφείς θα ήθελαν να ευχαριστήσουν τον Ι. Κουκουβέλα για τις εύστοχες παρατηρήσεις και υποδείξεις του, οι οποίες συνέβαλαν στη βελτίωση του κειμένου.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Αλεξούλη-Λειβαδίτη Α., 1995. Επίδραση ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής του όρμου της Αλμυρής. Πρακτικά 4ου Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου, 691-711.
- Αλεξούλη-Λειβαδίτη Α., Σαχπάζης Κ., 1993. Διερεύνηση της ευστάθειας των πρανών της περιοχής Αλμυρής-Κατακαλίου (Ν. Κορινθίας). Τρόποι αντιμετώπισης – συγκράτησης αστοχιών. Πρακτικά 3ου Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου, 380-402.
- Γαϊτανάκης Π., Μέττος Α., Φυτίκας Μ., 1984. Γεωλογικός χάρτης Ελλάδας κλ. 1:50.000, φύλλο «Σοφικό», Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα.
- Μέττος α., Ροντογιάννη θ., Βαυαγ Ph., 1988. Οι Πλειο-πλειστοκαινικές αποθέσεις περιοχής Σουσακίου-Αγ. Θεοδώρων (Κορινθίας). Στρωματογραφία-παραμόρφωση. Β.Γ.Σ. Greece, XX, 2, 91-111.

- Avallone A., Briole P., Agatza-Balodimou A.M., Billiris H., Charade O., Mitsakaki Ch., Nercessian A., Papazissi K., Paradissis D., Veis G., 2004. Analysis of eleven years of deformation measured by GPS in the Corinth Rift Laboratory area. *C. R. Geoscience*, 336, 301-311.
- Billiris H., Paradissis D., Veis G., England P., Featherstone W., Parsons B., Cross P., Rayson M., Sellers P., Ashkenazi V., Davison M., Jackson J., Ambrasseys N., 1991. Geodetic determination of tectonic deformation in central Greece from 1900 to 1988. *Nature*, 350, 124-129.
- Brooks M. and Ferentinos G., 1984. Tectonics and sedimentation in the Gulf of Corinth and the Zakynthos and Kefallinia channels, western Greece. *Tectonophysics*, 101, 25-54.
- Clément C., 2000. Imagerie sismique crustale de la subduction hellénique et du golfe de Corinthe. Thèse, Paris VII, 178 p.
- Collier R.E.L., Leeder M.R., Rowe P.J., Atkinson T.C., 1992. Rates of tectonic uplift in the corinth and Megara basins, central Greece. *Tectonics*, 11, 1159-1167.
- Collier R.E.L., Pantosti D., D'addazio G., De Martini P., Masana E., Sakellariou D., 1998. Paleoseismicity of the 1981 Corinth earthquake fault: Seismic contribution to extensional strain in central Greece and implications for seismic hazard. *Journal of Geophysical research*, 103, 30001-30019.
- Doutsos T. and Poulimenos G., 1992. Geometry and kinematics of active faults and their seismotectonic significance in the western Corinth-patras rift (Greece). *Journal of Structural Geology*, 14, 689-699.
- Dufaure J.J., 1977. Carte géologique de Péloponnèse. Institut de Géographie, Paris.
- Flotte N., Sorel D., Muller K., Tensi J., 2005. along strike changes in the structural evolution over a brittle detachment fault: Example of the Pleistocene Corinth-patras rift (Greece). *Tectonophysics*, 403, 77-94.
- Freyberg B.V., 1973. *Feologie des Isthmus von Korinth*. Erlangen Geologische Abhandlungen, h. 95.
- Fytikas M., Giouliani O., Innocenti F., Marinelli G., Mazzuoli R., 1976. Geochronological data on recent magmatism of the Aegean sea, *Tectonophysics*, 31, 29-34.
- Jackson J.A., Gagnepain J., Houseman G., King G., Papadimitriou P., Soufleris C., Virieux J., 1982. Seismicity, normal faulting and the geomorphological development of the gulf of Corinth (Greece): the Corinth earthquakes of February and March 1881. *Earth and Planetary Science Letters*, 57, 377-397.
- Keraudren B., Sorel D., 1987. The terrasses of Corinth (Greece) – a detailed record of eustatic sea-level variations during the last 500.000 years. *Marine Geology*, 77, 99-107.
- Koukouvelas I.K., Stamatopoulos L., Katsonopoulou D., Pavlides S., 2001. A palaeoseismological and geoarchaeological investigation of the Elikei fault, Gulf of Corinth, Greece. *Journal of Structural geology*, 23 (2-3), 531-543.
- Makris J., Papoulia J. & Drakatos G., 2004. Tectonic deformation and microseismicity of the Saronikos gulf, Greece. *B.S.S.A.*, 94, 3, 920-929.
- Mercier J.L., Carey E., Philip H., Sorel D., 1976. La tectonique Plio-Quaternaire de l' arc égéen et ses relations avec la séismicité. *Bull. Geol. Soc. France*, XVIII (2), 355-372.
- Moretti I., Sakellariou D., Lykousis V., Micarelli L., 2003. The Gulf of Corinth : an active half graben? *Journal of Geodynamics*.
- Ori G.G., 1989. Geologic history of the extensional basin of the gulf of Corinth (?Miocene-Pleistocene), Greece. *Geology*, 17, 918-921.
- Papanastassiou D. and Gaki-Papanastassiou K., 1994. Geomorphological observations in the Kechries – Ancient Corinth region and correlation with seismological data. *Proc. of 3rd Panellenic Geographic Congress*, t. 2. 210-223.
- Papanikolaou D., Chronis G., Lykousis V., Paulakis P., 1989. Submarine neotectonic map of Saronikos gulf. EPP0 ed.
- Papanikolaou D., Logos E., Lozios S., Sideris Ch., 1996. Neotectonic map of Greece in scale 1:100.000, sheet Korinthos, EPP0 ed.
- Roberts G., Gawthorpe R., Stewart I., 1993. Surface faulting within active normal fault zones : examples from the Gulf of Corinth fault system, central Greece. *Z. Geomorph. N. F.*, 94, 303-328.
- Rondoyanni Th., Marinos P., 2008. The Athens-Corinth highway and railway crossing a tectonically active area in Greece. *Bull. Eng. Geol. Environ*, 67, 259-266.
- Sebrier M., 1977. Tectonique récente d'une transversale a l'arc égéen. Le golfe de Corinthe et ses régions périphériques. Thèse Univ. Paris XI, 137 p.
- Sorel D., 2000. A Pleistocene and still active detachment fault and the origin of the Corinth-Patras rift, Greece. *Geology*, 28, 83-86.
- Westaway R., 2002. The quaternary evolution of the gulf of Corinth, central Greece: Coupling between surface processes and flow in the lower continental crust. *Tectonophysics*, 348, 269-318.
- Zellidis A., 2000. Drainage evolution in a rifted basin, Corinth graben, Greece. *Geomorphology*, 35, 69-85.