

ΠΟΛΥΚΛΑΔΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΡΗΓΜΑΤΟΣ ΑΤΑΛΑΝΤΗΣ

Επιστημονικός Υπεύθυνος: Καθηγητής Ευάγγελος Λάγιος

Τομέας Γεωφυσικής – Γεωθερμίας

Πανεπιστημίου Αθηνών

Η ευρύτερη περιοχή του Ρήγματος Αταλάντης παρουσιάζει έντονο επιστημονικό ενδιαφέρον λόγω της σημαντικής σεισμικής επικινδυνότητας, η οποία την χαρακτηρίζει, με την εκδήλωση των πολύ ισχυρών σεισμών κατά το 1894, αλλά και των δισταμένων σεισμολογικών απόψεων ως προς την περίοδο επανάλληψης μεγάλου μελλοντικού ισχυρού σεισμικού γεγονότος. Αποτελεί περιοχή, η οποία ευρίσκεται στο επίκεντρο της εν γένει γεωφυσικής έρευνας. Μόνιμα σεισμολογικά δίκτυα του Τομέα Γεωφυσικής-Γεωθερμίας (VOLNET, CORNET & ATHNET) του Πανεπιστημίου Αθηνών εγκατεστημένα στην ευρύτερη περιοχή, και σε συνδυασμό με το Εθνικό Σεισμολογικό Δίκτυο του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες αναφορικά με την σεισμικότητα της ευρύτερης περιοχής. Η εμφάνιση της προσφάτως αυξημένης σεισμικής δραστηριότητας στην περιοχή των Ψαχνών Ευβοίας (Μάιος-Ιούνιος 2003) επανέφερε έντονα το ενδιαφέρον διερεύνησης της γεωδυναμικής στην ευρύτερη περιοχή. Η έρευνα για την ανίχνευση τυχόν πρόδρομων σεισμικών φαινομένων στην περιοχή συνιστά σχεδόν πάγιο επιστημονικό αντικείμενο, ενώ απετέλεσε και τον πυρήνα του παρόντος ερευνητικού προγράμματος με την διερεύνηση της εδαφικής παραμόρφωσης της ευρύτερης περιοχής, η οποία πραγματοποιήθηκε με την εφαρμογή διαφόρων μεθοδολογιών, όπως γεωλογικών, τεκτονικών, σεισμολογικών, γεωδαιτικών (DGPS) και διαστημικών (DInSAR).

Σκοπός της γεωδαιτικής μεθόδου, των Διαφορικών Μετρήσεων GPS (DGPS), σε συνδυασμό με την Διαφορική Συμβολομετρία Ραντάρ (DInSAR) ήταν ο εντοπισμός τυχόν προσεισμικής εδαφικής (ανοδικής) παραμόρφωσης, η οποία να συνδέεται με το φαινόμενο της διαστολής, το οποίο, όταν διαπιστώνεται σε συνδυασμό και με την θεώρηση σεισμολογικών δεδομένων, η γένεση σεισμού αποτελεί πλέον θέμα χρόνου. Προς τον σκοπό αυτόν εγκαταστάθηκε (Οκτώβριος 2001) στην ευρύτερη περιοχή ένα GPS δίκτυο από 20 σταθμούς, το οποίο επαναμετρήθηκε ύστερα από 12 μήνες με αποτέλεσμα τον προσδιορισμό της οριζόντιας και κατακόρυφης εδαφικής παραμόρφωσης. Παράλληλα εκπονήθηκαν τρία (3) Διαφορικά

Συμβολογραφήματα από τρεις (3) SAR εικόνες (ERS2) Ραντάρ, από Ιούνιο 1998, Ιανουάριο 1999 έως Οκτώβριο 1999. Κατά τον τρόπο αυτόν προέκυψε η παραμόρφωση της ευρύτερης περιοχής υπό μορφή κροσσών (ελάχιστη δυνητικά προσδιοριζόμενη παραμόρφωση 28 mm).

Η διαχείριση και επεξεργασία των ως άνω πολυκλαδικών δεδομένων έγινε μέσα από ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ), με σκοπό τον ευκολότερο συσχετισμό τους και την σύνθεση των απαιτούμενων χαρτών. Αποτέλεσμα ήταν η ευκολότερη εξαγωγή συμπερασμάτων, αλλά και η δημιουργία ψηφιακής βάσης δεδομένων για περαιτέρω μελλοντική διαχείριση, ανάλυση αλλά και εμπλουτισμό αυτής από τον ΟΑΣΠ. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εν λόγω μελέτη συνοψίζονται στα παρακάτω:

- Στην περιοχή μελέτης διακρίθηκαν τρεις ζώνες παραμόρφωσης, σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την μελέτη των τεκτονικών μετακινήσεων τη χρήση των Διαφορικών Μετρήσεων GPS και θέτοντες ως σταθμό αναφοράς του δικτύου τον σταθμό GPS στην πόλη της Αταλάντης, ώστε να προσδιορισθεί η μελέτη της παραμόρφωσης σε τοπική κλίμακα:
 - (i) Η βόρεια ζώνη παραμόρφωσης, η οποία οριοθετείται από τις ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης ρηξιγενείς ζώνες, οι οποίες διέρχονται νότια από τις Λιβανάτες, με οριζόντιες κινήσεις ΒΒΔ διεύθυνσης και σαφή κατακόρυφη ανυψωτική συνιστώσα.
 - (ii) Η ζώνη της ευρύτερης περιοχής της πόλεως της Αταλάντης, η οποία χαρακτηρίζεται από οριζόντιες μετακινήσεις σχετικά παρόμοιου προσανατολισμού με την βόρεια ζώνη, αλλά μικροτέρου οριζοντίου ανύσματος, ενώ παρατηρείται διαφορετική καθίζηση.
 - (iii) Η νότια ζώνη παραμόρφωσης, στην οποία η κατακόρυφη συνιστώσα, ανυψωτικού χαρακτήρα, είναι η επικρατούσα σε σχέση με την πολύ ασθενέστερη (στα όρια του σφάλματος) οριζόντια συνιστώσα.

Η Διαφορική Συμβολομετρία Ραντάρ αποτελεί ένα βασικό εργαλείο μελέτης της εδαφικής παραμόρφωσης, διότι προσφέρει ευρεία χωρική κάλυψη της περιοχής μελέτης, σε σχέση με τον σημειακό χαρακτήρα των Διαφορικών Μετρήσεων GPS. Στην παρούσα μελέτη, μάλλον λόγω εξωγενών παραγόντων, οφειλομένων κατά πάσα πιθανότητα σε επικρατούσες τοπικές μετεωρολογικές συνθήκες, η εφαρμογή της εν λόγω τεχνικής απέτυχε να παράγει πλήρως

αποδεκτά Διαφορικά Συμβολογραφήματα ικανών να αποτυπώσουν την πιθανή εδαφική παραμόρφωση της ευρύτερης περιοχής.

Τα αποτελέσματα των Διαφορικών μετρήσεων GPS και η ερμηνεία τους σε σχέση με την νεοτεκτονική χαρτογράφηση έδειξε τα ακόλουθα:

- Από γεωλογικής και τεκτονικής απόψεως, η περιοχή υποδιαιρέθηκε σε δεκατρία (I-XIII) νεοτεκτονικά «ρηξιτεμάχη» ή «πολυτεμάχη» σύμφωνα κυρίως με την κλίμακα παρατήρησης και εργασίας (Κεφ. 5, Εικ. 11, Τελ. Εκθεση). Τα ρηξιτεμάχη ορίζονται από κύριες θραυσιγενείς δομές με πιστοποιημένη Άνω Τεταρτογενή δραστηριότητα (δομές συσχετιζόμενες με ιστορικά ή ενόργανη καταγεγραμμένη σεισμικότητα). Στο εσωτερικό τους τα πολυτεμάχη εχωρίσθησαν σε επί μέρους ρηξιτεμάχη, με βάση τις δομές μικροτέρας τάξεως, τα οποία έχουν συγγενή χαρακτηριστικά και κοινή νεοτεκτονική εξέλιξη τουλάχιστον στο Ανώτερο-Ανώτατο Τεταρτογενές. Επί πλέον, η διάκριση των ρηξιτεμαχών έλαβε υπ' όψιν «εξωγενείς» περιορισμούς της παρούσας έρευνας, η οποία έγινε σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και με συγκεκριμένο προϋπολογισμό. Περαιτέρω ανάλυση σε μικροτέρας τάξεως ρηξιτεμάχη απαιτούσε πυκνώση του δικτύου σταθμών GPS, με συνεπακόλουθη αύξηση του κόστους και του απαιτούμενου χρόνου παρακολούθησης – επαναμέτρησής τους.
- Η Ρηξιγενής Ζώνη Αταλάντης (PZA) στο σύνολό της χαρακτηρίζεται από πολύ μικρούς ρυθμούς ολίσθησης. Από κινηματικής απόψεως, φαίνεται να συμπεριφέρεται ενιαία καθ' όλο το μήκος της, ως ρηξιγενής ζώνη κανονικού χαρακτήρα, με μικρή συνιστώσα οριζόντιας (δεξιόστροφης) μετατόπισης.
- Η μετανάστευση της δραστηριότητας της PZA προς το ανατολικό της άκρο (περιοχή Μαρτίνου) πιθανόν δεν είναι τόσο έντονη. Η δραστηριότητα της PZA έχει πιθανόν μεταβιβασθεί (τουλάχιστον εν μέρει) στην Ρηξιγενή Ζώνη Μαλεσίνας (PZMA), η οποία παρουσιάζει και παρόμοια κινηματική συμπεριφορά (κανονική, με μικρή δεξιόστροφη συνιστώσα), όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα των Διαφορικών μετρήσεων GPS. Σημειώνεται ότι σε πρόσφατη έρευνα οι Pantosti et al. (2001), επανεξετάζοντας την περιοχή, η οποία επλήγη από τους σεισμούς του 1894, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι κατά τον πρώτο σεισμό (20/04/1894) πιθανότατα ανέδρασε η PZMA.

- Η συνολική διαφορική κίνηση του υψώματος του Κουρκουρά υποδηλώνει ότι:
 - (i) Η διασύνδεση μεταξύ του ΒΔ και ΝΑ ρηξι-τμήματος της ΡΖΑ έχει επιτευχθεί, βάσει γεωλογικών εκτιμήσεων, σε ποσοστό μεγαλύτερο του 75% και
 - (ii) Η όποια δραστηριότητα της ΡΖΑ εκδηλώνεται μέσω των «εμπροσθίων» - βορείων - κλάδων των ρηξι-τμημάτων, τα οποία οριοθετούν τον λόφο του Κουρκουρά με την πεδιάδα της Αταλάντης.

- Αξιοσημείωτα συμπεράσματα προκύπτουν για την δυτική απόληξη της ΡΖΑ και την σχέση της με τις προς δυσμάς κείμενες υπο-παράλληλες με αυτήν ρηξιγενείς ζώνες (Ρ.Ζ. Αρκίτσας – Λογγού, Ρ.Ζ. Καλλιδρόμου, - Βλ. Κράνης (1999)). Είναι σαφέστατη η διαφοροποίηση του κινηματικού καθεστώτος εκατέρωθεν μιας ζώνης διεύθυνσης περίπου ΒΑ-ΝΔ, διερχομένης νότια των Λιβανατών, από τον Μεγαπλάτανο, τις δυτικές υπώρειες του Ορους Χλωμό, το Καλαπόδι και την Σφάκα, η οποία ονομάσθηκε Ρηξιγενής Ζώνη Υαμπόλεως (ΡΖΥ) - Παλυβός (2001). Οι διαφορικές μετρήσεις GPS έδειξαν ότι οι κινήσεις των ρηξιτεμαχών, τα οποία ευρίσκονται βόρεια αυτής της ζώνης (ρηξιτεμάχη IVb, IVc, IX, X, XI, XII, XIII, XIV και XV), είναι σε μικρό ή μεγάλο βαθμό διαφορετικές από αυτές των υπολοίπων, τα οποία ευρίσκονται νότια της Ρ.Ζ. Υαμπόλεως. Συγκεκριμένα:
 - (i) Το ρηξιτέμαχος IX, το οποίο ανήκει στο ΒΔ άκρο της ΡΖΑ (και ανήκει συνολικά στο υποκείμενο τέμαχος της ΡΖΑ) παρουσιάζει εντονότατη διαφοροποίηση ως προς το προς νότον παρακείμενό του (VII: «Ρόδα»), από το οποίο διαχωρίζεται μέσω ενός τμήματος της ΡΖΥ, διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ (κλάδοι Υ8 & Υ9 - Παλυβός (2001)).
 - (ii) Το ρηξιτέμαχος IVb, το οποίο αποτελεί μικρότερης τάξεως υποδιαίρεση του ρηξιτεμάχους IV, το οποίο συνολικά αντιστοιχεί στην πεδιάδα της Αταλάντης, διαφοροποιείται κινηματικά από το υπόλοιπο της πεδιάδας. Τούτο συμφωνεί και με ερμηνεία γεωφυσικών διασκοπήσεων στην περιοχή (Μέμου (1986)), κατά την οποία είχε εντοπισθεί ένα θαμμένο ρήγμα διεύθυνσης ΑΒΑ-ΔΝΔ (Ρήγμα Μεγαπλατάνου), και το οποίο διαφαίνεται να εμφανίζει δραστηριότητα, πιθανότατα ανήκον και αυτό στο σύστημα της ΡΖΥ. Ωστόσο, η πιστοποίηση ρηξιγενούς δομής με διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ, η οποία να διαχωρίζει το ρηξιτέμαχος IVc (που αντιστοιχεί στην παραλιακή λωρίδα μεταξύ Αρκίτσας και Λιβανάτες) δεν ήταν δυνατή, εφ' όσον το συγκεκριμένο ρηξιτέμαχος φαίνεται να συμπεριφέρεται ενιαία με το προς δυσμάς

παρακείμενό του XV («Αετορράχη»). Οι μετρήσεις GPS δεν μπορούν να διευκρινίσουν περαιτέρω το νεοτεκτονικό καθεστώς της συγκεκριμένης δομής, εφ' όσον η περιοχή αυτή ευρίσκεται στα όρια του δικτύου σταθμών GPS και δεν υπάρχει πλήρης έλεγχος αναφορικά με βορειότερα παρακείμενες περιοχές.

- Η περιοχή δυτικά της ΡΖΑ, η οποία αντιστοιχεί στις δυτικές απολήξεις των ορεινών όγκων του Καλλιδρόμου και της Κνημίδος καθώς και στην ανατολική υπολεκάνη της Λοκρίδος (Κράνης 1999), παρουσιάζει έντονες ανοδικές κινήσεις, καθώς και σημαντικές μετατοπίσεις (ΒΔ διεύθυνσης) ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Τόσο το μέτρο, όσο και τα ανύσματα των μετατοπίσεων αυτών διαφέρουν από αυτά που παρουσίασαν τα ρηξιτεμάχια τα οποία ευρίσκονται νοτιότερα της ΡΖΥ. Κάτι τέτοιο αναδεικνύει το γεγονός ότι η απόληξη της ΡΖΑ εντοπίζεται στο ΒΔ άκρο των Ρόδων, ολίγο δυτικότερα από την πόλη της Αταλάντης και δεν προεκτείνεται δυτικότερα, εντός της Λεκάνης της Λοκρίδος και στο Ορος Κνημίδος, περιοχή η οποία φαίνεται να ελέγχεται από τις ρηξιγενείς ζώνες Αρκίτσας –Λογγού, Αγ. Κωνσταντίνου, Καμμένων Βούρλων και Καλλιδρόμου. Πιθανότατα δε η αλλαγή αυτή στο κινηματικό καθεστώς να οφείλεται στην ύπαρξη της Ρ.Ζ. Υαμπόλεως.

Σε ό,τι αφορά την σεισμική δραστηριότητα της περιοχής, προέκυψαν συγκεκριμένα αποτελέσματα από την σεισμολογική μελέτη, η οποία διεξήχθη κατά την διάρκεια του ερευνητικού προγράμματος. Γενικά, η σεισμικότητα στην περιοχή μελέτης ήταν πολύ περιορισμένη κατά τον 20^ο αιώνα και ειδικότερα έως τις αρχές της δεκαετίας του 1990 και χαρακτηρίζεται ως μέτρια. Την τελευταία δεκαετία όμως το σεισμικό καθεστώς φαίνεται να αλλάζει. Παρατηρείται μια προοδευτική αύξηση της σεισμικότητας στο νότιο κυρίως τμήμα του Ευβοϊκού Κόλπου και προς την Εύβοια (ευρύτερη περιοχή Ψαχνών – Λίμνης). Το γεγονός αυτό ίσως δημιουργήσει και επιφέρει τα επόμενα έτη άμεσες επιπτώσεις δυτικότερα, προς την ευρύτερη περιοχή του Ρήγματος Αταλάντης. Συγκεκριμένα, η σεισμολογική μελέτη προσδιόρισε τα παρακάτω αποτελέσματα:

- Από προσωρινό σεισμολογικό δίκτυο, το οποίο ελειτούργησε το δεύτερο εξάμηνο του 1996, κατεγράφησαν σεισμοί ανατολικά των Ψαχνών Ευβοίας και στην ευρύτερη περιοχή της Μαλεσίνας. Στην Βόρεια Εύβοια η σεισμικότητα παρουσίασε διασπορά και εντοπίστηκε κυρίως μεταξύ της Λίμνης Ευβοίας και της Ιστιαίας. Οι μηχανισμοί γένεσης,

οι οποίοι προέκυψαν από την ανάλυση, υποδεικνύουν κανονικά ρήγματα σε γενική διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ.

- Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από προσωρινό δίκτυο, το οποίο ελειτούργησε το δεύτερο εξάμηνο του 1999, ήσαν ανάλογα. Προέκυψαν όμως και ορισμένες διαφορές, όπως η σεισμικότητα που εντοπίστηκε εντός της θαλάσσιας περιοχής, και κυρίως η ομάδα των σεισμών που προσδιορίστηκε στην περιοχή της Λάρυμνας (περιοχή δυτικότερα της ομάδος σεισμών που προσδιορίστηκαν το 1996).
- Γενικά από τις δύο παραπάνω μελέτες προέκυψε ότι οι δύο ομάδες σεισμών, οι οποίες προσδιορίστηκαν το 1996 και το 1999 εντοπίζονται σε γειτονικές περιοχές που ενδεχομένως να ανήκουν στην ίδια ρηξιγενή ζώνη. Η συγκεκριμένη ζώνη επανεδραστηριοποιήθη το 2002 ανατολικότερα, στην περιοχή των Ψαχνών, όπως προέκυψε από το προσωρινό σεισμολογικό δίκτυο, το οποίο εγκαταστάθηκε στην ευρύτερη περιοχή της Αταλάντης για τις ανάγκες του παρόντος ερευνητικού προγράμματος κατά το 2002 με συνέχεια και κατά το 2003.
- Η μικροσεισμική δραστηριότητα, η οποία κατεγράφη κατά το πρώτο εξάμηνο του 2002, ήταν σημαντική. Περισσότεροι από 3000 μικροσεισμοί συνέβησαν, εκ των οποίων μόνον οι 430 εντοπίστηκαν από το τοπικό δίκτυο στην ευρύτερη περιοχή της Αταλάντης και συμπεριλαμβάνονται στην ψηφιακή βάση δεδομένων που αναπτύχθηκε για την περιοχή μελέτης. Για την πλήρη καταγραφή των σεισμών θα έπρεπε το δίκτυο να περιελάμβανε μεγαλύτερο αριθμό σταθμών. Αυτό θα επέτρεπε όχι μόνον τον εντοπισμό των σεισμών, αλλά και τον προσδιορισμό μηχανισμών γένεσης, μία πληροφορία σημαντική για την μελέτη των ρηξιγενών ζωνών, τον τρόπο διάρρηξης των πετρωμάτων και των επιπτώσεων στις τοπικές εδαφικές συνθήκες, όπως αυτή έχει καταγραφεί από τις διαφορικές μικρο-μετακινήσεις που προέκυψαν από τις Διαφορικές μετρήσεις GPS και έχει περιγραφεί από την νεοτεκτονική ερμηνεία.
- Η σεισμικότητα που εντοπίστηκε το 2002 από το σεισμολογικό δίκτυο είναι σημαντική όχι μόνον διότι δείχνει μία αλλαγή στον ρυθμό σεισμικότητας, αλλά και διότι εντοπίζεται πλησίον ενεργών τεκτονικών δομών που ενδεχομένως ενεργοποιηθούν στο μέλλον με επιπτώσεις ίσως και δυτικότερα προς την ευρύτερη περιοχή του Ρήγματος Αταλάντης.

Μια τέτοια ένδειξη αποτελεί πιθανώς η νέα ενεργοποίηση στην περιοχή των Ψαχνών, τον Ιούνιο του 2003.

Για όλους τους παραπάνω λόγους και με το δεδομένο ότι η ευρύτερη περιοχή της Αταλάντης αποτελεί μία από τις πλέον ενεργές τεκτονικές δομές της Κεντρικής Ελλάδος, κρίνεται αναγκαία η συνεχής παρακολούθηση της σεισμικής δραστηριότητας της περιοχής και κατά τα δύο επόμενα έτη (2004 & 2005). Η λειτουργία του σεισμολογικού δικτύου που έχει ήδη εγκατασταθεί και λειτουργεί πρέπει να συνεχισθεί, και, αν κριθεί αναγκαίο, να γίνει εγκατάσταση και νέων σταθμών. Αυτό θα επιτρέψει τον εντοπισμό και ακριβέστερο προσδιορισμό περισσότερων μικροσεισμών και την ουσιαστική σύγκριση των αποτελεσμάτων, τα οποία θα προκύψουν από άλλα δεδομένα, όπως είναι οι Διαφορικές μετρήσεις GPS, που δείχνουν ότι η παραμόρφωση της περιοχής είναι εν γένει μεγαλύτερη από αυτήν που προκύπτει από τα σεισμολογικά στοιχεία.