

Χάρτης ενεργών ρηγμάτων του Ελληνικού τόξου. Δημιουργία βάσης δεδομένων με τη χρήση γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών

Δ. Παπανικολάου*, † Μ. Μουτσούλας*, Ε. Λέκκας*, Σ. Βασιλοπούλου*,
Ι. Παπούλια**, Δ. Φουντούλης**, Π. Καρβέλης* και Ε. Λόγος*

* Τομέας Δυναμικής - Τεκτονικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας
Πανεπιστήμιο Αθηνών, 157 04, Αθήνα

** Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας
Μεσογείων 226, 155 61 Αθήνα

Περίληψη

Παρουσιάζεται η μεθοδολογία κατασκευής του «Χάρτη Ενεργών Ρηγμάτων του Ελληνικού Τόξου» σε κλίμακα 1/500.000, μέσω της χρήσης G.I.S. Για την κατασκευή λαμβάνονται υπόψη και αξιολογούνται στοιχεία γεωλογικών χαρτών, δορυφορικών εικόνων Landsat και Spot, αεροφωτογραφιών, νεοτεκτονικών εργασιών, καθώς και κατανομής των σεισμών στον Ελληνικό χώρο. Όλα τα επιμέρους δεδομένα ψηφιοποιούνται με το ARC/INFO σε έναν αριθμό διαφορετικών επικαλύψεων που περιλαμβάνουν: α) ένα απλοποιημένο τοπογραφικό υπόβαθρο, β) τα ρήγματα ταξινομημένα ανάλογα με το χαρακτηριστικό σε σεισμικά, ενεργό, πιθανά ενεργά, ανενεργά και γ) σεισμολογικά και σεισμοτεκτονικό δεδομένο. Στόχος, η δημιουργία βάσης δεδομένων των ενεργών και σεισμικών ρηγμάτων από όπου θα αντλούνται όλες οι απαραίτητες πληροφορίες για καθένα από αυτό.

Abstract

The methodology for the construction of the "Map of Active Faults of the Hellenic Arc" with the use of G.I.S. is presented. For the procedure, data were acquired from geologic maps, Landsat and Spot satellite images, airphotos, neotectonic studies and the epicentre distribution in the Hellenic region. All the data were digitized by ARC/INFO, on a number of overlapping layers which comprise: a) a simplified topographic basement, b) the faults, classified according to their features into seismic, active, probably active and inactive and c) some seismological and seismotectonic data concerning the earthquake epicentre classified by magnitude, depth and focal mechanism. The aim is the creation of a relational data base for active and seismic faults, from which all the necessary information for each one will be acquired.

Εισαγωγή

Ο Χάρτης Ενεργών Ρηγμάτων του Ελληνικού Τόξου, σε κλίμακα 1/500.000, αποτελεί αντικείμενο Ερευνητικού Προγράμματος που ανατέθηκε στον Τομέα Δυναμικής - Τεκτονικής - Εφαρμοσμένης Γεωλογίας του Γεωλογικού Τμήματος του Πανεπιστημίου Αθηνών, από τον Οργανισμό Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ) και την Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας (ΓΓΕΤ).

Ο χάρτης αυτός παρέχει πληροφορίες για τα γεωμετρικά, κινηματικά και δυναμικά χαρακτηριστικά των ενεργών ρηγμάτων, με σκοπό την όσο το δυνατόν πληρέστερη κατανόηση του νεοτεκτονικού εντατικού πεδίου στο Ελληνικό Τόξο.

Εξαιτίας των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ), κρίθηκε απαραίτητο όλα τα δεδομένα να επεξεργαστούν με κάποιο ΓΣΠ και στην προκειμένη περίπτωση επιλέχθηκε το ARC/INFO.

Στόχος βέβαια δεν ήταν μόνο η σύνθεση - παρουσίαση του χάρτη μέσω του ARC/INFO αλλά κυρίως η δημιουργία βάσης δεδομένων των ενεργών και σεισμικών ρηγμάτων από όπου θα μπορούν να λαμβάνονται πληροφορίες για καθένα από αυτά, όπως: γεωμετρικά στοιχεία, μέγεθος μετατόπισης, είδος κίνησης, ρυθμός μετακίνησης εκατέρωθεν των ρηξιτεμαχών, σεισμοί με τους οποίους πιθανά συνδέεται, χρόνος επαναδραστηριοποίησης κ.ά.

Στη συνέχεια αφού αναφερθούν ορισμένα στοιχεία για την επεξεργασία - αξιολόγηση των δεδομένων στα οποία στηρίχθηκε η όλη έρευνα, αναλύεται η μεθοδολογία της σύνθεσης και της παρουσίασης του χάρτη των Ενεργών Ρηγμάτων του Ελληνικού Τόξου.

Επεξεργασία - Αξιολόγηση των δεδομένων - στοιχείων

Η επεξεργασία των συλλεχθέντων στοιχείων και η αξιολόγηση τους συνοψίζεται στα ακόλουθα στάδια:

Επεξεργασία βιβλιογραφικού υλικού

Σημαντικές πληροφορίες αντλήθηκαν από τα υφιστάμενα βιβλιογραφικά δεδομένα που αφορούσαν κυρίως συγκεκριμένα ρήγματα ή ενεργές ρηξιγενείς ζώνες και αναφέρονται στο είδος, στα γεωμετρικά, κινηματικά και δυναμικά χαρακτηριστικά τους, καθώς επίσης και στα χρονολογικά στοιχεία επαναδραστηριοποίησης.

Ανάλυση δεδομένων φωτοερμηνείας - Χάρτης Ενεργών Ρηγμάτων από Δορυφορικές εικόνες Landsat και Spot

Το στάδιο αυτό περιλάμβανε την ερμηνεία των γεωμορφικών στοιχείων, που προέκυψαν από την παροχή των αεροφωτογραφιών, κλίμακος 1/33.000 και των δορυφορικών εικόνων Landsat και Spot, κλίμακος 1/500.000 και 1/200.000 αντίστοιχα.

Η μελέτη των δορυφορικών εικόνων δίνει την δυνατότητα μακροσκοπικής παρατήρησης, επιτρέπει την παρατήρηση εκτεταμένων περιοχών και παρέχει σημαντικές δυνατότητες αναγνώρισης κυρίαρχων ρηξιγενών ζωνών και μεγαδομών, που ελέγχουν τη νεοτεκτονική εξέλιξη του Ελλαδικού χώρου. Αντίθετα οι αεροφωτογραφίες, παρέχουν την δυνατότητα μακροσκοπικής παρατήρησης σχετικά μεγάλων περιοχών, επιτρέπουν την αναγνώριση αρκετά μεγάλων ρηγμάτων και ρηξιγενών ζωνών μήκους χιλιομέτρων με σημαντικές μετατοπίσεις. Για το λόγο αυτό, οι αεροφωτογραφίες χρησιμοποιήθηκαν επικουρικό σαν συμπλήρωμα και επιβεβαίωση των στοιχείων, που προέκυψαν από την αξιολόγηση των γεωλογικών χαρτών και την μελέτη των δορυφορικών εικόνων.

Ο χάρτης που προέκυψε έχει αποτυπωμένες τις σημαντικότερες τόσο από άποψη μεγέθους όσο και σπουδαιότητας ρηξιγενείς δομές, οι οποίες αντικατοπτρίζουν τις κυρίαρχες τάσεις του νεοτεκτονικού εντατικού πεδίου στο Ελληνικό Τόξο.

Επεξεργασία στοιχείων υφιστάμενων γεωλογικών χαρτών - Χάρτης ενεργών ρηγμάτων από γεωλογικούς χάρτες

Το υπόβαθρο αποτέλεσαν οι γεωλογικοί χάρτες κλίμακος 1/50.000. Για τις περιοχές που δεν υπήρχαν χάρτες της κλίμακος αυτής, χρησιμοποιήθηκαν χάρτες μικρότερης κλίμακος (1/100.000, 1/200.000) σε συνδυασμό πάντα με τις πληροφορίες που συλλέχθηκαν από την επεξεργασία των βιβλιογραφικών δεδομένων. Αντικείμενο του σταδίου αυτού ήταν η διερεύνηση και αναγνώριση ενεργών ρηγμάτων. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν διάφορα κριτήρια διάκρισης των ενεργών και πιθανά ενεργών από τα ανενεργά ρήγματα. Τα βασικότερα από τα κριτήρια αυτά, κατά την αξιολόγηση, είναι αφενός μεν η ηλικία των νεότερων σχηματισμών που τέμνονται από τα ρήγματα, αφετέρου δε ο βαθμός επίδρασής τους στο μορφολογικό ανάγλυφο. Τα ενεργά ρήγματα, διακρίθηκαν:

- Με βάση τη γωνιακή τους σχέση με το Ελληνικό τόξο σε επιμήκη, εγκάρσια και διαγώνια. Τα επιμήκη ρήγματα είναι παράλληλα προς το τόξο και ακολουθούν την αλλαγή της διεύθυνσής του από ΒΒΔ σε ΒΑ.

Τα εγκάρσια τα οποία είναι κάθετα προς το τόξο και τα διαγώνια που κρατούν σταθερή τη γωνιακή τους σχέση με το τόξο και επομένως παρουσιάζουν και αυτά μία συστηματική αλλαγή διεύθυνσης. Έτσι για παράδειγμα στην ΒΔ Ελλάδα τα επιμήκη ρήγματα έχουν διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ και τα εγκάρσια ΑΒΑ-ΔΝΔ. Αντίθετα στην Κρήτη οι διευθύνσεις των επιμήκων και εγκάρσιων ρηγμάτων είναι Α-Δ και Β-Ν αντίστοιχα.

- Με βάση το είδος της μετατόπισης που παρατηρήθηκε σε αυτά διακρίθηκαν σε κανονικά, οριζόντιας ολισθήσης και πλαγιοκανονικά. Στα κανονικά ρήγματα η μετατόπιση γίνεται κατά κλίση της ρηξιγενούς επιφάνειας και το υπερκείμενο τεμαχός κατέρχεται σχετικά δηλώνοντας τοπικό εφελκυσμό. Ρήγματα οριζόντιας ολισθήσης είναι εκείνα, στα οποία κυριαρχεί η οριζόντια μετατόπιση μεταξύ των δύο τεμαχών. Στα πλαγιοκανονικά ρήγματα υπάρχει η ενδιάμεση κατάσταση της πλάγιας μετατόπισης. Συνήθως βέβαια κατά μήκος μιας συγκεκριμένης ρηξιγενούς επιφάνειας παρατηρούνται με την βοήθεια γραμμών προστριβής διαφόρων ειδών μετατοπίσεις, κατά την διάρκεια της γεωλογικής ιστορίας, που αντικατοπτρίζουν το εκάστοτε εντατικό πεδίο.

Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης των γεωλογικών χαρτών με βάση τα παραπάνω κριτήρια αποτυπώθηκαν σε ένα χάρτη ενεργών ρηγμάτων του Ελληνικού Τόξου κλίμακα 1/500.000.

Αξιολόγηση σεισμολογικών δεδομένων - χάρτης επικέντρων σεισμών

Προκειμένου να κατασκευαστεί ο τελικός χάρτης, αναγκαία κρίθηκε η μελέτη της σεισμικής κατανομής στον ευρύτερο Ελληνικό χώρο. Τα σεισμολογικά δεδομένα τα οποία επεξεργάστηκαν σφοδρούν στα ακόλουθα μεγέθη και παραμέτρους:

- Ημερομηνία και ώρα σεισμικού γεγονότος.
- Επικέντρο σεισμού.
- Μέγεθος σεισμού.
- Εστιακό βάθος.
- Μηχανισμός γένεσης σεισμού.
- Πιθανή ρηξιγενής επιφάνεια με την οποία σχετίζεται το σεισμικό γεγονός.

Τα επίκεντρα των σεισμών προβλήθηκαν σε χάρτη 1/500.000 σε συνάρτηση με το βάθος και το μέγεθος αυτών.

Συλλογή - επεξεργασία νέων τεκτονικών στοιχείων

Η συλλογή και επεξεργασία νέων τεκτονικών στοιχείων περιλάμβανε την επιτόπια επίβλεψη των ρηγμάτων που συγκλήθησαν κατά την διάρκεια των εργασιών.

υπό το πρίσμα της τεκτονικής ανάλυσης. Σκοπός είναι η μέτρηση και περιγραφή των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του ρήγματος, όπως το άλμα, η κλίση της επιφάνειας και η αναγνώριση μιας ή περισσοτέρων γραμμών προστριβής, που αντικατοπτρίζουν την ιστορία των κινήσεων κατά μήκος της ρηξιγενούς επιφάνειας. Η μελέτη των στοιχείων αυτών οδηγεί στην καλύτερη κατανόηση του τοπικού εντατικού πεδίου. Τα στοιχεία αυτά μετά τη συλλογή και ομαδοποίησή τους αποτέλεσαν το υλικό μιας πλήρους στατιστικής ανάλυσης, που ανέδειξε τα κυρίαρχα γεωμετρικά και κινηματικά χαρακτηριστικά τόσο σε τοπικό όσο και σε ευρύτερο επίπεδο.

Συνθετικός Χάρτης Ενεργών Ρηγμάτων του Ελληνικού Τόξου

Το τελικό αυτό στάδιο εργασίας περιλάμβανε τον συνδυασμό και την αξιολόγηση όλων των συλλεχθέντων στοιχείων και χαρτών, που αναφέρθηκαν προηγουμένως, προκειμένου να παραχθεί ο τελικός συνθετικός Χάρτης Ενεργών Ρηγμάτων του Ελληνικού Τόξου, κλίμακας 1/500.000. Ο χάρτης αυτός περιλάμβανε τεκτονικά στοιχεία και ειδικότερα ρήγματο ταξινομημένα στις εξής κατηγορίες (Σεισμικά, Ενεργά, Πιθονά Ενεργά, Ανενεργά) και επωθήσεις-εφιππεύσεις καθώς επίσης και σεισμολογικά δεδομένα.

Μεθοδολογία - Σύνθεση παρουσίαση χαρτών με ARC/INFO

Γενικά

Ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή που αφορά την επεξεργασία των δεδομένων με το ARC/INFO. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ταξινόμηση των δεδομένων-στοιχείων σε γεωγραφικές ενότητες-επίπεδα (επικαλύψεις- coverages), όπου κάθε στοιχείο μέσα σ' αυτά, ορίζεται από τη γεωγραφική θέση (χωρική πληροφορία) και τα περιγραφικά χαρακτηριστικά του (γραφική πληροφορία). Τρεις είναι οι κατηγορίες των γεωγραφικών ενότητων:

- Ενότητες σημειακών χαρτογραφικών στοιχείων (points).
- Ενότητες γραμμικών χαρτογραφικών στοιχείων (arcs).
- Ενότητες επιφανειακών χαρτογραφικών στοιχείων (polygons).

Οι ενότητες αυτές χωρίστηκαν σε υποενότητες ανάλογα με τα χαρακτηριστικά που εμπεριέχουν. Συγκεκριμένα δημιουργήθηκαν οι εξής επικαλύψεις (coverages):

- Των ρηγμάτων.
- Των επωθήσεων -εφιππεύσεων.
- Των φωτογραμμώσεων.
- Των σεισμολογικών δεδομένων.

Οι ενέργειες που ακολουθήθηκαν με σκοπό τη σύνθεση των επιμέρους χαρτών αλλά και του συνθετικού χάρτη ήταν:

- Ψηφιοποίηση -εισαγωγή των δεδομένων στον Η/Υ -Δημιουργία επικαλύψεων.
- Διόρθωση λαθών.
- Αναγωγή των συντεταγμένων στο προβολικά σύστημα του χάρτη.
- Δημιουργία βάσης δεδομένων.
- Γεωγραφική ανάλυση της βάσης.
- Εκτύπωση χαρτών.

Ψηφιοποίηση -εισαγωγή των δεδομένων στον Η/Υ - Δημιουργία επικαλύψεων

Προκειμένου να καταστεί δυνατή η ψηφιοποίηση των στοιχείων ολόκληρης της περιοχής στην επιθυμητή κλίμακα 1/500.000, διακρίθηκαν 7 φύλλα χαρτών σε όλο τον Ελλαδικό χώρο.

Η εισαγωγή των δεδομένων στον Η/Υ έγινε στον Arcedit, αφού πρώτα ψηφιοποιήθηκαν από τα επιμέρους φύλλα χαρτών με τον ψηφιοποιητή, για κάθε μία διαφορετική επικάλυψη (coverage). Κατά τη ψηφιοποίηση κάθε επικάλυψης δόθηκε κοινός κωδικός (ID) σε ομοιογενή στοιχεία, ώστε ανά πάσα στιγμή να μπορούν να απομονωθούν υποκατηγορίες στοιχείων. Οι διαδοχικές επικαλύψεις οι οποίες δημιουργήθηκαν είναι οι ακόλουθες:

- Επικαλύψεις των σταθερών σημείων tics
(Χρησιμοποιήθηκαν 4 για κάθε επικάλυψη):
tic 1 cov, tic 2 cov, tic 3 cov, tic 4 cov, tic 5 cov, tic 6 cov, tic 7 cov.
Αυτά περιλαμβάνουν τα σταθερά σημεία, τα οποία είναι κοινά για τις αντίστοιχες επιμέρους επικαλύψεις της ακτογραμμής, των ρηγμάτων, των επωθήσεων -εφιππεύσεων, των φωτογραμμώσεων κ.ά. σε καθένα από τα επτά φύλλα χάρτη.
- Επικαλύψεις της ακτογραμμής σε καθένα από τα επτά φύλλα χάρτη: isodg 1 g, isodg 2 g, isodg 3 g, isodg 4 g, isodg 5 g, isodg 6 g, isodg 7 g.
- Επικαλύψεις που δημιουργήθηκαν κατά την ψηφιοποίηση του Χάρτη των Ένεργων Ρηγμάτων του Ελληνικού Τόξου με βάση την αξιολόγηση των γεωλογικών χαρτών:

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.

- isodg1r-isodg7r.

Περιλαμβάνουν σαν τόξα τα ρήγματα τα οποία έχουν χωριστεί σε πιθανά ενεργά και σε πιθανά ανενεργά. Προκειμένου να δοθεί το ID σε κάθε ρήγμα σε καθένα από τα επτά διαφορετικά coverages πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη κατά την ψηφιοποίηση i) ποια από τα ρήγματα εμφανίζονται με οδόντωση (φανερώνει το κατερχόμενο ρηξιτέμαχος), ii) προς ποια κατεύθυνση είναι αυτή, iii) ποια χωρίς οδόντωση, iv) ποια με διακεκομμένη γραμμή (συμβολίζει πιθανά ή καλυμμένα ρήγματα) και v) ποια με συνεχόμενη γραμμή (ρήγματα ορατά). Ετσι κοινό ID έχουν, θα μπορούσε να πει κανείς τα «ομοειδή» ρήγματα. Π.χ. ορατό πιθανό ενεργά ρήγματα με κατερχόμενο το βόρειο ρηξιτέμαχος έχουν κοινό ID, το οποίο διαφέρει όμως από εκείνα τα οποία αν και είναι επίσης ορατά πιθανά ενεργά, εμφανίζουν κατερχόμενο το νότιο ρηξιτέμαχος.

- isodg1e-isodg7e

Περιλαμβάνουν σαν τόξα τις επιπεύσεις και τις επωθήσεις. Προκειμένου να δοθεί το ID κατά την ψηφιοποίηση χωρίστηκαν υποκατηγορίες επωθήσεων και επιπεύσεων ανάλογα με i) προς ποια κατεύθυνση εμφανίζεται η οδόντωση (φανερώνει το επωθημένο τμήμα), ii) ποιες εμφανίζονται με διακεκομμένη γραμμή (πιθανές ή καλυμμένες) iii) ποιες με συνεχόμενη (ορατές). Ετσι κοινό ID θα δοθεί σε «ομοειδείς» επωθήσεις ή επιπεύσεις. Π.χ. ορατές επωθήσεις με οδόντωση προς Β έχουν καινού ID το οποίο όμως διαφέρει από ορατές επωθήσεις ολλό η οδόντωση είναι προς Ν.

- Επικαλύψεις που δημιουργήθηκαν κατά την ψηφιοποίηση του χάρτη των ενεργών ρηγμάτων του Ελληνικού Τόξου με βάση την αξιολόγηση των δορυφορικών εικόνων Landsat: isodg31r-isodg37r. Τα στοιχεία (φωτογραμμώσεις) είχαν ήδη αποτυπωθεί σε χάρτη 1/500.000 και απλά ψηφιοποιήθηκαν σαν τόξα (arcs) με κοινό ID για όλα, στα επτά διαφορετικά coverages που αναφέρθηκαν προηγουμένως.
- Ο χάρτης ενεργών ρηγμάτων του Ελληνικού Τόξου με βάση την αξιολόγηση των δορυφορικών εικόνων Spot κλίμακας 1/200.000, δεν ήταν ήδη έτοιμος, όπως ο προηγούμενος, ώστε να χρειάζεται μόνο να γίνει η ψηφιοποίηση. Η ψηφιοποίηση των φωτογραμμώσεων έγινε απευθείας από κάθε εικόνα Spot χωριστά και καθένα από τα παρακάτω coverages αντιστοιχεί σε φωτογραμμώσεις καθεμιάς από αυτές: isodgS1-16. Η ταποθέτηση αυτών των coverages στα επτά διαφορετικά φύλλα χαρτών καθώς και η προσαρμογή στην κλίμακα 1/500.000, πραγματοποιήθηκε σε επόμενο στάδιο αφού πρώτα έγινε ο μετασχηματισμός των coverages σε πραγματικές συντεταγμένες (UTM).

- Προκειμένου να ψηφιοποιηθεί ο τελικός -συνθετικός χάρτης Ενεργών Ρηγμάτων του Ελληνικού Τόξου ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:
 - Όσον αφορά στα ρήγματα είχαν χωριστεί όπως αναφέρθηκε σε: Σεισμικά, Ενεργά, Πιθανά Ενεργά, Ανενεργά. Προκειμένου για το ID κατά την ψηφιοποίηση τόσο των ρηγμάτων όσο των επωθήσεων - επιπτεύσεων ελήφθησαν υπόψη τα κριτήρια που προαναφέρθηκαν στους παραπάνω χάρτες, ενώ η ψηφιοποίηση έγινε στα επτά διαφορετικά coverages: dgsyn1r - dgsyn7r.
 - Όσον αφορά στις επωθήσεις -επιπτεύσεις η ψηφιοποίηση έγινε επίσης σε επτά coverages τα οποία είναι: dgsyn1e - dgsyn7e.

Διόρθωση λαθών

Μετά την ψηφιοποίηση και πριν από κάθε είδους ανάλυση, έγινε η διόρθωση των ψηφιοποιημένων στοιχείων στον Arcedit. Η διαδικασία της διόρθωσης είχε να κάνει με λάθη κόμβων και τόξων που έγιναν κατά την ψηφιοποίηση, όπως πολύγωνα που δεν είχαν κλείσει ή άλλα που έκλεισαν ενώ δεν έπρεπε, λάθος αντιστοίχιση κωδικού σε κάποιο στοιχείο κ.λ.π.

Αναγωγή των συντεταγμένων στο προβολικό σύστημα του χάρτη

Η διαδικασία περιλάμβανε την δημιουργία (μέσω της εντολής create) κάποιας νέας επικάλυψης (coverage) που αρχικά περιείχε μόνο ties, τόσα σε αριθμό όσα και της επικάλυψης που επρόκειτο να μετασχηματιστεί. Η αριθμηση των ties πρέπει να είναι ακριβώς ίδια και στις δύο επικάλυψεις. Η αντιστοίχιση πραγματικών (χ, ψ) συντεταγμένων (UTM κ.λπ. ανάλογα με το σύστημα προβολής του χάρτη) έγινε στα tables. Στη συνέχεια μέσω της εντολής transform μετασχηματίστηκε η αρχική ψηφιοποιημένη επικάλυψη στη νέα με τις νέες συντεταγμένες του προβολικού συστήματος του χάρτη.

Δημιουργία της βάσης δεδομένων

Η κάθε γεωγραφική ενότητα (επικάλυψη - coverage), μετά την ψηφιοποίηση περιείχε μόνο χωρική πληροφορία. Στο στάδιο αυτό δομήθηκε η τοπολογία σε κάθε coverage χωριστά, δηλ. δημιουργήθηκαν οι χωρικές σχέσεις μεταξύ των γεωγραφικών στοιχείων του. Μέσω των εντολών clean και build δημιουργήθηκαν και ενημερώθηκαν τα αρχεία:

- PAT: Polygons Attribute Table (Πίνακας χαρακτηριστικών που αφορούν επιφάνειες).
- AAT: Arcs Attribute Table (Πίνακας χαρακτηριστικών γραμμικών δεδομένων).
- PAT: Points Attribute Table (Πίνακας χαρακτηριστικών σημειακών δεδομένων).

Η ενημέρωση των αρχείων αυτών έγινε με την προσθήκη κάποιων κωδικών κοινών για τα ομοιογενή στοιχεία κάποιας κατηγορίας (υποκατηγορία), της συγκεκριμένης επικάλυψης. Το σύνολο των αρχείων που συμπληρώνουν ολόκληρες γεωγραφικές ενότητες, αποτελούν την βάση δεδομένων. Σημαντική διευκόλυνση παρέιχαν τα προγράμματα Data Base Manager που παρέχουν σειρές εντολών για την εύκολη διαχείριση των αρχείων.

Στη συγκεκριμένη εργασία δεν χρειάστηκε να δημιουργηθεί τοπολογία πολυγώνων, παρά μόνο σημειακών και γραμμικών δεδομένων.

- Προκειμένου να παραχθεί ο χάρτης των επικέντρων των σεισμών ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία, η οποία δεν έχει να κάνει με ψηφιοποίηση αφού υπάρχουν έτοιμες βάσεις δεδομένων που περιέχουν όλα τα χαρακτηριστικά των σεισμικών γεγονότων:
 - Υπήρχε ένα αρχικό ASCII αρχείο (με το όνομα E) στο οποίο περιέχοντο τα στοιχεία που αφορούν σε ένα σεισμικό γεγονός και ειδικότερα το έτος, ο μήνας, η ημερομηνία, η ώρα, οι συντεταγμένες φ, λ, το εστιακό βάθος και το μέγεθος.
 - Κάθε σεισμικό γεγονός ταξινομήθηκε ανάλογα με τα φ, λ και εισήλθε σε νέο αρχείο E1, E2, E3, E4, E5, E6 ή E7. Ο διαχωρισμός ως προς τις συντεταγμένες σε καθένα από αυτά έγινε σύμφωνα με τον χωρισμό της περιοχής της Ελλάδας στα επτά φύλλα χάρτη.
 - Με ειδικό λογισμικό που έχει κατασκευαστεί απομονώθηκαν μόνο οι γεωγραφικές συντεταγμένες φ και λ και αφού αντιστράφηκαν (έχοντας πλέον την μορφή λ και φ) αποθηκεύθηκαν στα αντίστοιχα ASCII αρχεία: epic11f-epic71f. Μέσω της εντολής project και ενός smf file τα λ και φ μετατράπηκαν σε συντεταγμένες UTM δηλ. σε χ και ψ αντίστοιχα και συμπεριλήφθησαν στα file epic1p-epic7p, τα οποία μετασχηματίστηκαν στην μορφή:
 1. χ₁ ψ₁
 2. χ₂ ψ₂ κ.λπ.
 - Στη συνέχεια τα ASCII file epic1p-7p μετατράπηκαν στα σημειακά coverage epic1u-epic7u μέσω της generate, ενώ στη συνέχεια δομήθηκε η τοπολογία μέσω της build και δημιουργήθηκαν τα αρχεία PAT.

- Προκειμένου να προβληθούν σε χάρτη (επτά φύλλα χάρτη εδώ) τα επίκεντρα, συναρτήσεΙ του εστιακού βάθους και του μεγέθους του σεισμού οργανώθηκαν σε epic1p-epic7p οι βάσεις δεδομένων ως εξής: Αρχικά προστέθηκαν 3 πεδία (items) σε καθένα από τα PAT αρχεία των epic1p-epic7p με τα ονόματα *deep*, *magnitude*, *code*. Στο πρώτο αντιστοιχίστηκαν τα εστιακά βάθη των επικέντρων, στο δεύτερο τα μεγέθη των σεισμών, ενώ στο τρίτο επιλέχτησαν μέσα από τα *tables* τα επίκεντρα συγκεκριμένου βάθους και μεγέθους και προσδόθηκε συγκεκριμένος κωδικός κοινός για ομοιογενή ατοιχεία, ο οποίος καταγράφηκε στο *code*. Ο τελευταίος κωδικός χρησιμοποιήθηκε για την προβαλή των επικέντρων στον Arcplot.
- Όσον αφορά στα γραμμικά στοιχεία: ρήγματα-επωθήσεις-επιπευσεις, οι κωδικαί που δόθηκαν κατά την ψηφιοποίηση, διορθώθηκαν, όπου ήταν απαραίτητο και στη συνέχεια εφαρμόστηκε η εντολή *build line* σε καθένα από τα *coverages*, που περιλάμβαναν τα παραπάνω γραμμικά στοιχεία, με σκοπό τη δημιουργία των αρχείων AAT. Οι κωδικοί των γραμμών (*lines*), χρησιμοποιήθηκαν κατά τη σχεδίαση του χάρτη στο τελικό στάδιο, στον Arcplot, αντιστοιχίζοντας στην κάθε κατηγορία, το κατάλληλο σύμβολο γραμμής.

Η δημιουργία της βάσης δεδομένων όμως δεν είναι αναγκαία μόνο για την σχεδίαση του χάρτη. Αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την εκμετάλλευση της δυνατότητας των G.I.S. ως προς την επεξεργασία-διαχείριση των δεδομένων ανάλογα με το στόχο κάθε εργασίας.

Ο στόχος στην προκειμένη περίπτωση ήταν η δημιουργία βάσης δεδομένων των ενεργών και σεισμικών ρηγμάτων από όπου ανά πάσα στιγμή θα μπορεί κανείς να αντλήσει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για καθένα από αυτά τα ρήγματα όπως έχει αρχικά αναφερθεί. Για το σκοπό αυτό απαραίτητη ήταν η πρασθήκη κάποιων πεδίων (*items*) στα αρχεία AAT και PAT καθενός από τα *coverages* που περιγράφηκαν, ώστε να ενημερωθούν με όλες τις απαραίτητες παραμέτρους οι οποίες χαρακτηρίζουν κάθε τεκτονικό ή σεισμολογικό στοιχείο (γραφική πληροφορία). Έτσι λοιπόν:

- Στα *coverages* των ρηγμάτων προστέθηκαν τα *items*: *strike*, *dip*, *length*, *character*, *movement*, όπου σε καθένα από αυτά αντιστοιχίστηκαν τα εξής χαρακτηριστικά κάθε ρήματος:
 - *strike*: διεύθυνση ρήματος
 - *dip*: κλίση ρηξιγενούς επιφάνειας
 - *length*: μήκος ρήματος

- character: χαρακτηρισμός του ρήγματος ανάλογα με την δραστηριότητα που παρουσιάζει (σεισμικό, ενεργό, πιθανά ενεργό, ανενεργό)
 - movement: είδος κίνησης (κανονικό, ανάστροφο κ.λ.π.)
- Για τα σεισμολογικά δεδομένα εμπλουτίστηκε η βάση δεδομένων των επικαλύψεων epic1u-epic7u που περιέχουν επίκεντρα σεισμών. Σε αυτά ήδη έχουν δημιουργηθεί τα items: deep, magnitude και code, όπως έχουν περιγραφεί, ενώ προστίθενται ακόμη τα: date, If, mechanism, fault και reactivate, με την παρακάτω αντιστοίχιση:
- date: ημερομηνία σεισμικού γεγονότος
 - If: συντεταγμένες λ και φ
 - mechanism: μηχανισμός γένεσης σεισμού
 - fault: ρηξιγενής επιφάνεια με την οποία πιθανώς σχετίζεται το σεισμικό γεγονός
 - reactivate: αφορούσε στο αν το σεισμικό γεγονός συναδεύεται από επαναδραστηριοποίηση ρηγμάτων ή δημιουργία σεισμικών διαρρήξεων

Γεωγραφική ανάλυση της βάσης

Αφού εμπλουτίστηκε η βάση των δεδομένων όσα το δυνατό με περισσότερη πληροφορία αλλά και αφού δομήθηκε όσο το δυνατό καλύτερα ως προς τον τρόπο εισαγωγής και ταξινόμησης αυτής της πληροφορίας, στη συνέχεια έγινε η διαχείριση-ανάλυση της βάσης μέσω των προγραμμάτων Data Base Manager, ώστε να δοθούν οι απαντήσεις στα ερωτήματα που τέθηκαν σαν στόχος από την αρχή. Ανά πάσα στιγμή βέβαια η βάση μπορεί να διορθώνεται ή να εμπλουτίζεται με νέα στοιχεία, ανάλογα με τα νεότερα δεδομένα και τις εκάστοτε, εξελίξεις και ανάγκες.

Επειδή η κλίμακα του χάρτη είναι 1/500.000 και άρα έχουν αποτυπωθεί μόνο μεγάλες ρηξιγενείς ζώνες της τάξεως των 10 km και πάνω, τα ερωτήματα που τίθενται μετά την οργάνωση της βάσης αφορούν σε μεγάλης έκτασης γεωγραφικές περιοχές. Έτσι λοιπόν, μέσα στους στόχους του προγράμματος είναι εκτός από την πληροφορία που παρέχεται για κάθε ρήγμα χωριστά, όπως έχει αναφερθεί μέσω της ανάλυσης της βάσης, να μπορεί επίσης να γίνεται ανά πάσα στιγμή:

- Οριοθέτηση περιοχών με ρηξιγενείς ζώνες σεισμικές-ενεργές-μη ενεργές.
- Συνδυασμός των μηχανισμών γένεσης των σεισμών με την κινηματική ανάλυση των ρηγμάτων.
- Συσχετισμός ρηγμάτων με συγκεκριμένη σεισμική δραστηριότητα.

Εκτύπωση των χαρτών

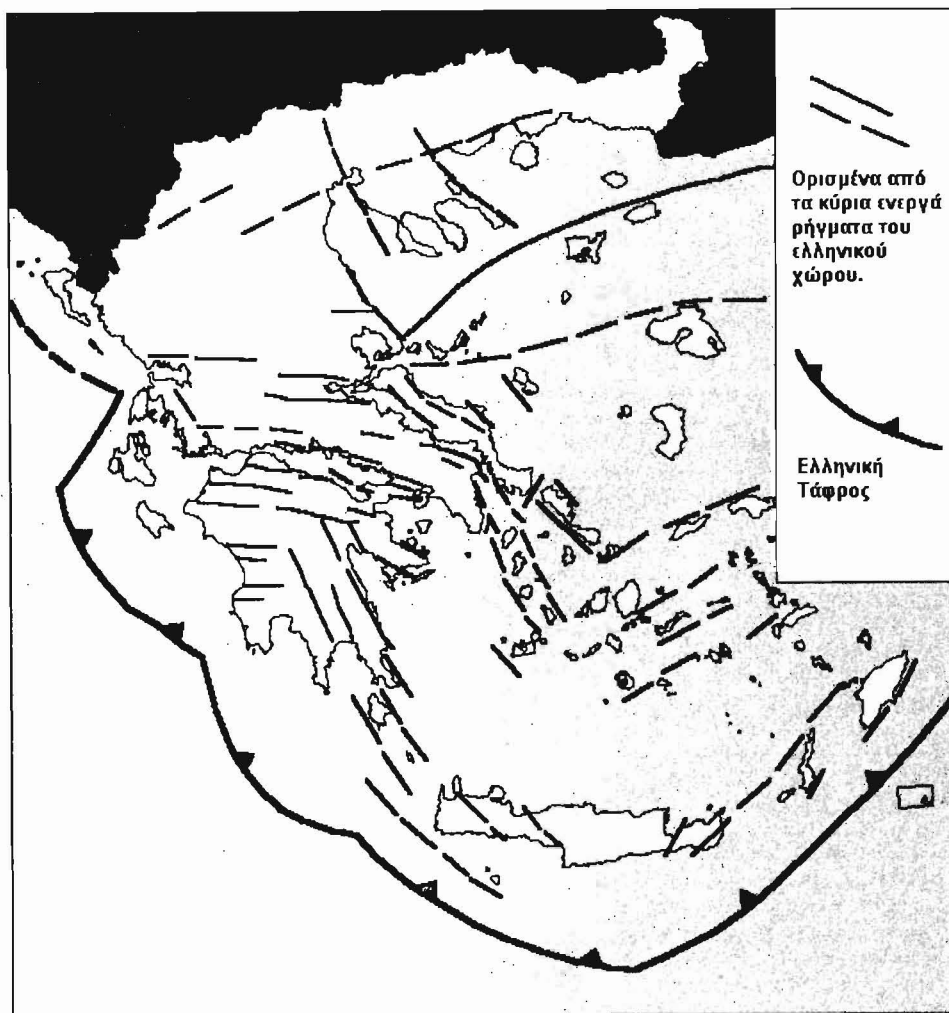
Προκειμένου να εκτυπωθούν χάρτες με κάποια θεματική πληροφορία (Σχ. 1), πρέπει πρώτα να επεξεργαστούν με τον Arcplot. Όπως έχει αναφερθεί για κάθε ένα coverage χρησιμοποιήθηκαν τα αρχεία AAT και PAT και με μια σειρά εντολών επιλέχθηκαν και εμφανίστηκαν σε κάθε χάρτη τα επιθυμητά στοιχεία, ανάλογα με το σύμβολο ή χρώμα το οποίο έχει οριστεί για καθένα από αυτά. Τα σύμβολα γραμμών ή σημείων υπάρχουν σε αρχεία στο ARC/INFO. Είναι όμως δυνατή η παραγωγή νέων, εφόσον ο κατάλογος του συστήματος δεν καλύπτει τις ανάγκες κάποιας εργασίας. Στην συγκεκριμένη περίπτωση κατασκευάστηκαν μέσα στο Lineedit μια σειρά από τέτοια σύμβολα (ρήγματα με οδόντωση, επιπλεύσεις, επωθήσεις κ.λπ.) ώστε να καλυφθούν όλες οι ανάγκες. Αυτά συμπεριλήφθησαν στο αρχείο Igreek, το οποίο κάθε φορά κολλάει κατά τη σύνθεση του χάρτη, πριν κλιθεί το κάθε στοιχείο το οποίο θα σχεδιαστεί με κάποιο συγκεκριμένο σύμβολο. Κάθε χάρτης φυσικά μπορεί να περιέχει είτε ολόκληρη πληροφορία είτε μέρος αυτής και η οποία μπορεί να προέρχεται είτε μόνο από ένα συγκεκριμένο coverage είτε από πολλά διαφορετικά. Για κάθε χάρτη που πρόκειται να κατασκευαστεί δημιουργείται ένα smi αρχείο όπου καθορίζονται ορισμένες παράμετροι όπως i) τα όρια του χάρτη, ii) οι μονάδες του, iii) η κλίμακα, iv) η θέση που θα πάρει ως προς κάποιο εξωτερικό πλοίσιο, v) η γωνία περιστροφής, αν χρειάζεται, vi) το μέγεθος και οι μονάδες της σελίδας κ.ά.

Αξίζει να σημειωθεί η διαδικασία τοποθέτησης των εικόνων Spot στο επτά φύλλα χαρτών, αφού αυτή γίνεται στον Arcplot:

Έστω στο coverage isou1g (μετασχηματισθέν σε μονάδες UTM, coverage της ακτογραμμής το οποίο προήλθε από το ψηφιοποιημένο isodg1g) και έστω ότι ζητήθηκε να αποτυπωθούν σ' αυτό οι φωτογραμμώσεις της εικόνας S3 (η εικόνα περιέχεται στα γεωγραφικά όρια του isou1g). Το coverage που περιέχει ψηφιοποιημένες τις φωτογραμμώσεις αυτής είναι το isodgS3 ενώ το αντίστοιχο μετασχηματισμένο σε UTM είναι το isouS3.

Το smi αρχείο του isou1g, το οποίο χρησιμοποιείται για τη σύνθεση του αντίστοιχου φύλλου χάρτη έχει τις εξής παραμέτρους:

- mapextent tic isou1g
- mapunits meters
- mapscale 500.000
- pageunits cm
- pagesize 98 65
- maplimits 0 0 73 60
- mapposition cen cen.....



Εικ. 1: Απλουστευμένο σκαρίφημα με ορισμένα από τα κυριότερα ενεργά ρήγματα του Ελληνικού Τόξου που επεξεργάστηκαν με το γεωγραφικό σύστημα.

Πρέπει να δίδεται ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή των mapextent και maplimits τα οποία πρέπει να έχουν ακριβώς τις διαστάσεις της περιοχής που πρόκειται να αποτυπωθεί στον χάρτη. Στη συνέχεια καλείται να σχεδιαστεί η ακτογραμμή μέσω της εντολής: arcs isou1g και κατόπιν οι φωτογραμμώσεις: arcs isouS3. Στον συγκεκριμένο χάρτη παρουσιάζονται μόνο οι γραμμές οι οποίες είναι μέσα στα συγκεκριμένα maplimits. Η μετατροπή των φωτογραμμώσεων από την κλίμακα 1/200.000 (κλίμακα ψηφιοποιημένου coverage isodgS3 άρα και του με-

τασηματισθέντος ίσουS3), στη νέα κλίμακα 1/500.000, όπως και η προσαρμογή των στοιχείων στη σωστή θέση (γεωμετρική διόρθωση, εφόσον η δορυφορική εικόνα παρουσιάζει κάποια στρέψη) έγινε αυτόματα μέσα από το σύστημα.

Συμπεράσματα

Ο Χάρτης Ενεργών Ρηγμάτων του Ελληνικού Τόξου κλίμακας 1/500.000 περιλαμβάνει μεγάλης τάξεως τεκτονικές δομές όπως ρήγματα, επωθήσεις, επιππεύσεις καθώς και σεισμολογικά δεδομένα. Τα στοιχεία συγκεντρώθηκαν από πολλές και διαφορετικές πηγές και αφού αξιολογήθηκαν επιλέγησαν αυτά που παραθέτονται στους χάρτες.

Όπως φαίνεται, τα στοιχεία είναι όχι μόνο πολλά αλλά και διακρίνονται σε κατηγορίες ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους. Σκόπιμο αλλά και αναγκαίο λοιπόν είναι η επεξεργασία αλλά και αναπαράστασή τους να γίνει μέσα από ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π), που στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχτηκε το ARC/INFO.

Τα πλεονεκτήματα των Γ.Σ.Π. είναι πολλά και φυσικό είναι να επιχρειαίρεται η εκμετάλλευσή τους στο έπακρο, ανάλογα με την πληροφορία που κάθε φορά είναι διαθέσιμη αλλά και με τους στόχους της κάθε μελέτης.

Εκτός από την παρουσίαση κάποιου χάρτη, που απλά δίνει μια γεωγραφική κατανομή κάποιων πληροφοριών, είναι δυνατή ανά πάσα στιγμή η συγκριτική επεξεργασία και ο συνδυασμός διαφόρων στοιχείων ή κατηγοριών αυτών, ώστε μέσα από την ταυτόχρονη δημιουργία σχεσιακών βάσεων δεδομένων να δημιουργούνται όλες οι απαραίτητες προϋποθέσεις για την λειτουργία ενός συστήματος εξαγωγής συμπερασμάτων και λήψης αποφάσεων.

Στην προκειμένη περίπτωση, αφού η βάση δεδομένων έχει εμπλουτιστεί με όσο το δυνατό περισσότερη αλλά και επιστημονικά τεκμηριωμένη πληροφορία, μπορούν να τίθενται ερωτήματα και να παίρνονται απαντήσεις, μέσα από το σύστημα.

Επειδή η κλίμακα είναι μεγάλη και στο χάρτη έχουν αποτυπωθεί μόνο μεγάλες δομές όπως ρηξιγενείς ζώνες άνω των 10 km μήκους κ.ά., φυσικό είναι τα ερωτήματα να αφορούν σε μεγάλης έκτασης γεωγραφικές περιοχές. Είναι δυνατό λοιπόν εκτός από την γνώση των χαρακτηριστικών οποιουδήποτε στοιχείου του χάρτη, οποιαδήποτε χρονική στιγμή είναι αυτό επιθυμητό, να μπορεί επίσης να γίνει οριοθέτηση περιοχών με ρηξιγενείς ζώνες σεισμικές -ενεργές -μη ενεργές, συνδυασμός των μηχανισμών γένεσης των σεισμών με την κινηματική ανάλυση των ρηγ-

μάτων, συσχετισμός ρηγμάτων με συγκεκριμένη σεισμική δραστηριότητα αλλά και πολλές άλλες συσχετίσεις μεταξύ των διαφόρων δεδομένων.

Βιβλιογραφία

- Angelier J. (1979). Recent quaternary tectonics in the Hellenic Arc: examples of geological observations on land. *Tectonophysics*, 52, 267-275.
- Angelier J., Le Pichon X. (1978). L'arc hellénique, cle de levolution cinematique de la Mediterranee orientale depuis 13 M.A. C. R. Acad. Sc. Paris, 287, 1325-1328.
- Angelier J., Lyberis N., Le Pichon X., Barrier E., Huchon P. (1982). The tectonic development of the Hellenic Arc and the sea of Crete: a synthesis. *Tectonophysics*, 86, 159-196.
- Biju-Dival B., Letouzev J., Montadert L. (1978). Structural and evolution of the Mediterranean basins. Initial Rep. of the Deep Sea Drilling Project, 42, 1, 951-981.
- Δρακόπουλος Ι., Φυτρολάκης Ν., Δελήμπασης Ν., Μακρόπουλος Κ. (1982). Σεισμοτεκτονικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής της Κρήτης. Εκδ. Τεχνικό Επιμελητήριο της Ελλάδος - Τμήμα Ανατολικής και Τμήμα Δυτικής Κρήτης, Δεκ. 1982.
- Finetti I., Papanikolaou D., Del Ben A., Karvelis P. (1991). Preliminary geotectonic interpretation of the East Mediterranean Chain and the Hellenic Arc. Πρακτ. 5ου Επιστ. Συν., Θεσσαλονίκη, 1990. Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ., XXV/1, 509-526.
- Hatzfeld D., Besnard M., Makropoulos K., Voulgaris N., Kouskouna V., Hatzidimitriou P., Panagiotopoulos D., Karakaisis G., Deschamps A., Lyon-Caen H. (1993/2). Subcrustal Microearthquake and Fault Plane Solutions Beneath the Hellenic Arc. *J. Geoph. Res.*, 98, B6, 9861-9870.
- Hatzfeld D., Pedotti G., Hatzidimitriou P., Panagiotopoulos D., Scordilis M., Drakopoulos I., Makropoulos K., Delibasis N., Latousakis I., Baskoutas J., Frogneux M. (1989). The Hellenic subduction beneath the Peloponnesus: first results of a microearthquake study. *Earth Plan. Scien. Lett.*, 93, 283-291.
- Ι.Γ.Μ.Ε.: Γεωλογικοί Χάρτες της Ελλάδας. Κλίμακα 1:50.000.
- Jacobshagen V., Durr St., Kockel F., Kopp K.-O., Kowalczyk G. with contribution of Berckhemer H. and Buttner D. (1978). Structure and Geodynamic Evolution of the Aegean Region. Alps, Apennines, Hellenides, Inter-Grión Commission on Geodynamics, Scientific Report n. 38, Closs H, Roeder D. @ Schmidt K. eds., 538-564.

- Le Pichon X., Huchon P., Angelier J., Lyberis N., Boulin J., Bureau D., Cadet J., Dercourt J., Glaçon G., Got H., Karig D., Mascle J., Ricou L., Thiebault F. (1981). Active tectonics in the Hellenic trench. *Oceanol. Acta*, SP4, 273-281.
- Leydecker G., Berckhemer H., Delibasis N. (1978). A Study of Seismicity in the Peloponnesus Region by Precise Hypocenter Determinations. Alps, Apennines, Hellenides, Inter-Grión Commission on Geodynamics, Scientific Report n.38, Closs H, Roeder D. @ Schmidt K. eds, 406-410.
- Mariolakos I., Papanikolaou D. (1981). The Neogene Basins of the Aegean Arc from the Paleographic and the Geodynamic point of view. *Intern. Symp. on the Hell. Arc and Trench system (H.E.A.T)*, Athens 1981, 383-399.
- Μαριολάκος Η., Παπανικολάου Δ. (1987). Είδος παραμόρφωσης και σχέση παραμόρφωσης σεισμικότητας στο Ελληνικό Τόξο. *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ.*, XIX, 59-76.
- Mariolakos I., Papanikolaou D., Lagios E. (1985). A neotectonic geodynamic model of Peloponnesus based on morphotectonics, repeated gravity measurements and seismicity. *Geol. Jb.*, B50, 3-17.
- McKenzie D.P. (1972). Active tectonics of the Mediterranean region. *Geoph. J. R. Astron. Soc.*, 30, 109-185.
- McKenzie D.P. (1977). Present deformation of the Aegean Region. VI *Coll. on the Aegean region*, Athens 1977, 1313-1333.
- Ο.Α.Σ.Π.: Νεοτεκτονικοί Χάρτες της Ελλάδας. Κλίμακα 1:100.000.
- Papazachos B.C., Kiratzi A.A., Hatzidimitriou P.M., Rocca A.C. (1984). Seismic faults in the Aegean Area. *Tectonophysics*, 106, 71-85.
- Φυτρολάκης Ν. (1980). Η Γεωλογική δομή της Κρήτης. *Διατριβή επί Υψηγεία*, Ε.Μ.Πολυτεχνείο, 146.