

ΤΑ ΕΣΤΙΑΚΑ ΒΑΘΗ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ
ΚΑΙ ΤΩΝ ΓΥΡΩ ΠΕΡΙΟΧΩΝ

Β.Γ.Καρακώστας και Β.Κ.Παπαζάχος

Τομέας Γεωφυσικής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 540 06 Θεσσαλονίκη

Περίληψη

Πρόσφατη έρευνα έχει δείξει ότι η ακρίβεια των εστιακών συντεταγμένων των επιφανειακών σεισμών που δημοσιεύει το Διεθνές Σεισμολογικό Κέντρο (ISC) μπορεί να βελτιωθεί με τη χρήση κατάλληλου προγράμματος Η/Υ, αξιόπιστου μοντέλου του φλοιού της Γης και χρονικών υπολοίπων των σεισμικών κυμάτων στους σταθμούς του μόνιμου σεισμολογικού δικτύου. Ιδιαίτερα σημαντική θεωρείται η βελτίωση που επιτυγχάνεται στον υπολογισμό του εστιακού βόθους των επιφανειακών σεισμών. Υπολογίστηκαν οι εστιακές συντεταγμένες των επιφανειακών σεισμών με μέγεθος $M_s \geq 4,5$ που έγιναν στον ελληνικό χώρο και τις γύρω περιοχές κατά τη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1970-1984, μελετήθηκε η κατανομή των εστιακών βαθών και υπολογίστηκε το πάχος του σεισμογόνου στρώματος στην περιοχή. Με βάση το δεδομένο των σεισμών ενδισμέσου βόθους που δημοσιεύει το ISC, η ακρίβεια των οποίων θεωρείται ικανοποιητική, παρουσιάζονται πρόσθετες πληροφορίες που αφορούν τη μορφή και την κλίση της ζώνης Benioff στο ελληνικό τόξο και ιδιαίτερα στο κυρτό μέρος του.

FOCAL DEPTHS OF THE EARTHQUAKES IN GREECE AND THE
SURROUNDING AREAS

B.G.Karakostas and B.C.Papazachos

Geophysical Laboratory, University of Thessaloniki, GR 540 06 Thessaloniki

Abstract

The focal coordinates of the shallow earthquakes occurred in Greece and the surrounding areas, after 1963 which are published by the International Seismological Center (ISC), are considered as the most accurate ones. However, recent work has shown that the accuracy of the ISC data can be improved by using the HYPO 71 (revised) computer program, a reliable

model of the Earth's crust and the time residuals of the first arrivals of the seismic waves at the stations of the permanent seismological network. More important is the improvement obtained for the focal depths estimation.

On this basis, the shallow earthquakes with magnitudes $M_s \geq 4.5$, which occurred during the time period 1970-1984 in Greece and the surrounding areas were relocated. The distribution of the focal depths was studied and it was found that the mean thickness of the seismogenic layer of the shallow shocks, is of the order of 45 Km in the outer part of the Hellenic Arc and of the order of 10 - 15 Km in the other parts of the studied area.

By using the existing data, it was impossible to improve the coordinates of the intermediate focal depth earthquakes which have been determined by ISC. However, this accuracy is considered satisfactory. Reexamination of the spatial distribution of the focal depths of these earthquakes gave additional information as to the shape of the Benioff zone in the Hellenic Arc, especially in its convex part.

1. Εισαγωγή

Η ακριβής γνώση της χωρικής κατανομής των σεισμικών εστιών συμβάλλει σημαντικά από θεωρητικής πλευράς στην κατανόηση του σεισμοτεκτονικού καθεστώτος και των γεωδυναμικών διαδικασιών. Επίσης είναι ιδιαίτερο σημαντική στην επίλυση πρακτικών προβλημάτων, όπως αυτό της σεισμικής επικινδυνότητας όπου χρειάζεται να είναι γνωστά με ακρίβεια τα εστιακά βάθη των σεισμών σε κάθε σεισμική πηγή (Cornell 1968). Η κατανομή των εστιακών βαθών των σεισμών συνδέεται και με το πρόβλημα της διάκρισης των πυρηνικών εκρήξεων από τους σεισμούς μιας και οι τεχνητές εκρήξεις δεν μπορεί παρά να έχουν αρκετά μικρό εστιακό βάθος (Bolt 1976).

Στον ελληνικό χώρο μέχρι και τη δεκαετία του 1970 πίστευαν ότι τα εστιακά βάθη των επιφανειακών σεισμών είναι αρκετά μεγάλα, της τάξης των 30 - 35 Km, επειδή αυτά τα στοιχεία δημοσίευε το ISC. Όμως, μετογενέστερη έρευνα της κατανομής των εστιακών βαθών των μετασεισμών σεισμικών ακολουθιών έδειξε ότι είναι πολύ επιφανειακότερα, της τάξης των 10 Km (Papazachos et al. 1982, 1983, 1988).

Η επικράτηση της αρχικής άποψης έκανε τους ερευνητές να πιστεύουν ότι οι επιφανειακές διαρρήξεις οι οποίες εκδηλώνονταν σε περιπτώσεις ισχυρών σεισμών οφείλονταν σε δευτερογενή φαινόμενα καταλισθήσεων. Όμως, τα νέα δεδομένα για την κατονομή των εστιακών βαθών, επέβαλαν την ανοθέτωση της αρχικής άποψης και έδωσαν την ευκαιρία ακριβέστερου υπολογισμού των επικέντρων και καθορισμού των ιδιοτήτων του σεισμογόνου ρήγματος όταν υπήρχαν πληροφορίες επιφανειακών διαρρήξεων. Με βάση τέτοιες πληροφορίες, ο Παπαζόχος (1989α) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι το πλάτος του σεισμογόνου ρήγματος των ισχυρών επιφανειακών σεισμών δεν υπερβαίνει το 20 Km.

Για τον ακριβή υπολογισμό των εστιών των σεισμών έχουν αναπτυχθεί διάφορες μεθοδολογίες. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα HYPO 71 (revised) (Lee and Lahr 1975), αξιόπιστα μαντέλα του φλοιού της Γης (Παναγιωτόπουλος 1984) και τα χρονικά υπόλοιπα των σεισμικών κυμάτων στους σεισμολογικούς σταθμούς του μόνιμου σεισμολογικού δικτύου, στους οποίους υπήρχαν αναγραφές που αφορούσαν σεισμούς της περιοχής (Panagiotopoulos et al. 1985, Καρακώστας 1988).

2. Δεδομένα Παρατήρησης

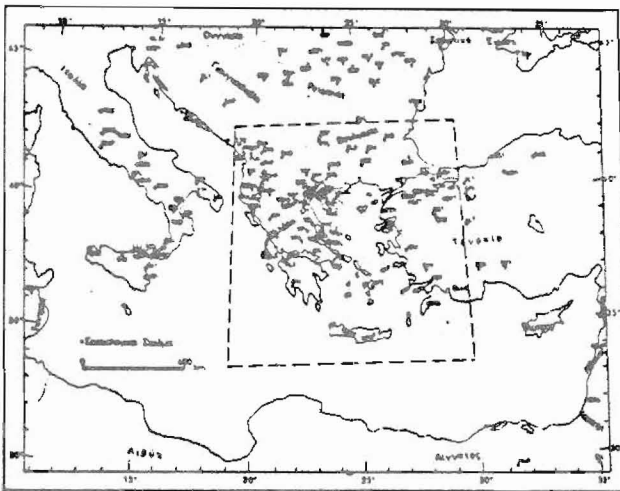
Νέοι ακριβέστεροι υπολογισμοί των σεισμικών εστιών στην εξεταζόμενη περιοχή δεν μπορούν να γίνουν για μεγάλο χρονικό διάστημα, λόγω έλλειψης δεδομένων (χρόνων έφιξης των σεισμικών κυμάτων). Δεδομένα υπάρχουν μόνο

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

μετά το 1964, δηλαδή, από τότε που άρχισαν να δημοσιεύονται τα μηνιαία δελτία του ISC. Για το ίδιο χρονικό διάστημα τα δεδομένα των σεισμών είναι πλήρη για μεγέθη σεισμών $M \geq 4,5$ (Comninakis and Papazachos 1986).

Έγινε προσπάθεια νέου υπολογισμού των εστιακών συντετογμένων των επιφανειακών σεισμών του πλήρους δείγματος δεδομένων, η οποία όμως δε μπόρεσε να δώσει αποτέλεσμα για τους σεισμούς οι οποίοι έχουν γίνει στο χρονικό διάστημα 1964-1969. Αυτό οφείλεται στον περιορισμένο αριθμό σεισμολογικών σταθμών στο αντίστοιχο χρονικό διάστημα. Όμως, η σταδιακή εγκατάσταση νέων σεισμολογικών σταθμών στην Ελλάδα και σε γειτονικές χώρες είχε ως αποτέλεσμα την αντίστοιχη σύζηση των ονομασιών των σεισμικών κυμάτων και επέτρεψε τον ακριβέστερο υπολογισμό των εστιακών συντετογμένων των επιφανειακών σεισμών για το χρονικό διάστημα 1970-1984.

Χρησιμοποιήθηκαν οι χρόνοι άφιξης των επιμήκων και εγκάρσιων σεισμικών κυμάτων στους σεισμολογικούς σταθμούς οι οποίοι βρίσκονται σε επικεντρικές αποστάσεις $\Delta \leq 9^\circ$. Οι χρόνοι άφιξης είναι δημοσιευμένοι σε διάφορα σεισμολογικά δελτία ή άλλες δημοσιεύσεις. Συγκεκριμένα, οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν για το ακριβές αυτό είναι: α) Τα μηνιαία δελτία του ISC, β) Τα μηνιαία δελτία της Εθνικής Σεισμολογικής Υπηρεσίας των ΗΠΑ (NEIS), γ) Δελτία των Σεισμολογικών Ινστιτούτων των Βαλκανικών Χωρών και δ) Στοιχεία δικτύων φορητών σεισμογράφων. Συνολικά λήφθηκαν υπόψη οι χρόνοι άφιξης των σεισμικών κυμάτων σε 148 σεισμολογικούς σταθμούς, η γεωγραφική κατανομή των οποίων φαίνεται στο σχήμα 1. Η οζιμουθιακή κάλυψη της εξεταζό-



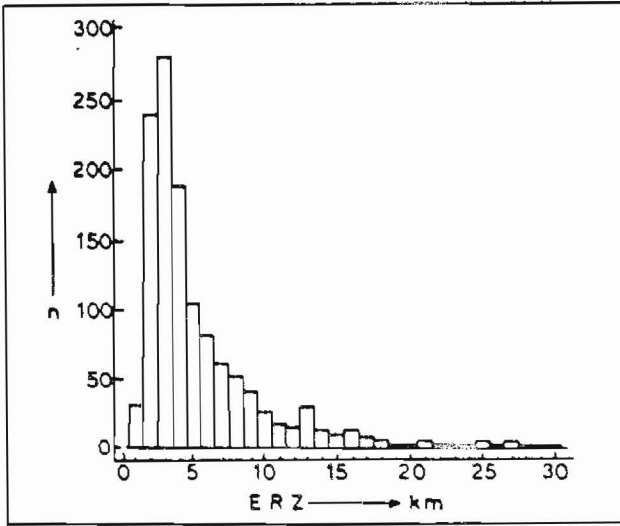
Σχ. 1. Γεωγραφική κατανομή των σεισμολογικών σταθμών οι αναγραφές των οποίων χρησιμοποιούνται στο νέο υπολογισμό των εστιακών παραμέτρων των επιφανειακών σεισμών της περιόδου 1970-1984 με $M \geq 4,5$.

μενης περιοχής, η οποία στο ίδιο σχήμα οριοθετείται με διακεκομμένη γραμμή, καθώς και η πυκνότητα των σεισμολογικών σταθμών μπορούν να θεωρηθούν ικανοποιητικές.

3. Ακρίβεια των Εστιακών Βαθών των Επιφανειακών Σεισμών

Μετά την επεξεργασία των σεισμολογικών δεδομένων έγινε έλεγχος της α-

κρίβειας των υπολογισμών στο εστιακό βάθος των σεισμών. Για το σκοπό αυτό στο σχήμα 2 κατασκευάστηκε το διάγραμμα συχνότητας των τιμών των σφαλμάτων στο εστιακό βάθος (ERZ). Όπως μπορεί να παρατηρηθεί, για το μεγαλύτερο μέρος των σεισμών το σφάλμα στο εστιακό βάθος είναι μικρότερο των 5 km, δηλαδή, τα σφάλματα των υπολογισμών είναι αρκετά μικρότερα σε σχέση με αυ-



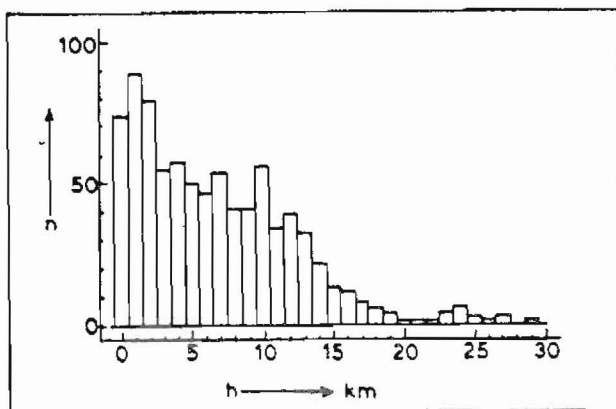
Σχ. 2. Διάγραμμα κατανομής των τιμών των σφαλμάτων στον υπολογισμό του εστιακού βάθους (ERZ).

τό του ISC τα οποία είναι της τάξης των 30 Km ή μεγαλύτερα (Comninakis and Parazachos 1986).

Εκτός όμως από την κατανομή των σφαλμάτων, ERZ, η οποία έχει μαθηματική έννοια, για να ελεγχθεί η πραγματική ακρίβεια των υπολογισμένων εστιακών βαθών, λήφθηκαν υπόψη τα αποτελέσματα ορισμένων πρόσφατων μελετών που αφορούν σεισμικές ακολουθίες του ελληνικού χώρου (Parazachos et al. 1983, Katakakis et al. 1985, Rocca et al. 1985, Scordilis et al. 1985). Στις εργασίες αυτές τα εστιακά βόθη των σεισμών υπολογίσθηκαν με την ίδια διαδικασία που εφαρμόστηκε και εδώ και βρέθηκε ότι οι διαστάσεις του σεισμογόνου ρήγματος μπορούν να περιγραφούν πολύ καλά με βάση τους σεισμούς των οποίων οι μέγιστες τιμές των σφαλμάτων ERZ κυμαίνονται στο διάστημα 3 - 14 Km. Με βάση και τα αποτελέσματα αυτά θεωρήθηκαν ως πλέον αξιόπιστα τα εστιακά βόθη των σεισμών για τους οποίους τα σφάλματα των υπολογισμών είναι $ERZ \leq 5$ Km.

4. Κατανομή των Εστιακών Βαθών των Επιφανειακών Σεισμών

Η μελέτη της κατανομής των εστιακών βαθών των επιφανειακών σεισμών της χρονικής περιόδου 1970-1984 έγινε με τη χρησιμοποίηση των δεδομένων των οποίων το σφάλμα στους υπολογισμούς είναι $ERZ \leq 5$ Km. Η επιλογή αυτή κρίθηκε απαραίτητη για να εξοσφαλιστεί η μεγαλύτερη αξιοπιστία των συμπερασμάτων. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί από το σχήμα 3, στο οποίο έχει γίνει το ιστόγραμμα κατανομής των εστιακών βαθών, η σεισμική δράση είναι αρκετά



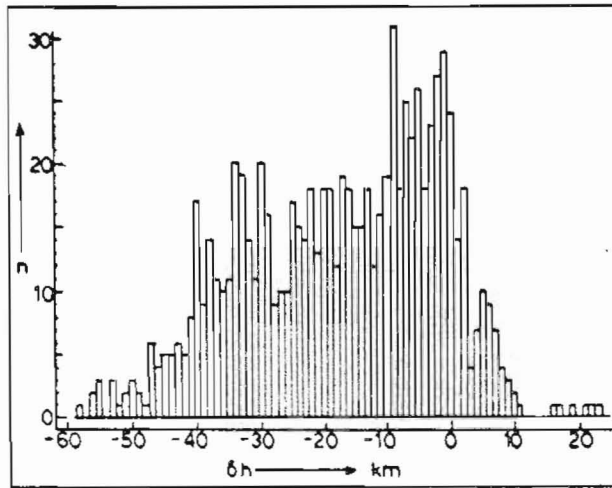
Σχ. 3. Κατανομή των εστιακών βαθών των σεισμών με σφάλμα στο εστιακό βάθος $ERZ \leq 5$ km.

επιφανειακή. Το μέγιστο της κατανομής εμφανίζεται σε βάθος 1 Km ενώ η σεισμική δράση δεν παρουσιάζει σημαντική μεταβολή στα βάθη από 4 - 10 Km. Στη συνέχεια, μέχρι το βάθος των 20 Km, παρατηρείται μείωση της σεισμικής δράσης ενώ αυτή είναι αρκετά περιορισμένη στο βάθος 20 - 30 Km.

Η κατανομή αυτή των εστιακών βαθών είναι σε καλή συμφωνία με τα αποτελέσματα μελετών που αφορούν σεισμικές ακολουθίες του ελληνικού χώρου, σε πολλές από τις οποίες ο καθορισμός των εστιακών συντετογμένων των μετασεισμών έγινε με βάση τις αναγραφές δικτύων φορητών σεισμογράφων που εγκαταστάθηκαν στις επικεντρικές περιοχές κατά τη διάρκεια της έξαρσης της σεισμικής δράσης (Papaζάχος et al. 1982, 1983, 1988). Επίσης είναι σε συμφωνία με τα συμπεράσματα που έχουν εξοχθεί για το βορειοελλαδικό χώρα από το Βοϊδάμνη (1984).

Στο σχήμα 4 έχει γίνει το ιστόγραμμα κατανομής των διαφορών, δη, των εστιακών βαθών που υπολογίζει το ISC, από τα εστιακά βάθη των αντίστοιχων σεισμών που υπολογίστηκαν εδώ και έχουν $ERZ \leq 5$ Km. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί, η κατανομή των διαφορών είναι μετατοπισμένη κυρίως προς τις αρνητικές τιμές, δηλαδή, επιβεβαιώνεται και με τα δεδομένα των εστιακών βαθών των επιφανειακών σεισμών ολόκληρου του ελληνικού χώρου, η υπερεκτίμηση των υπολογισμών του ISC.

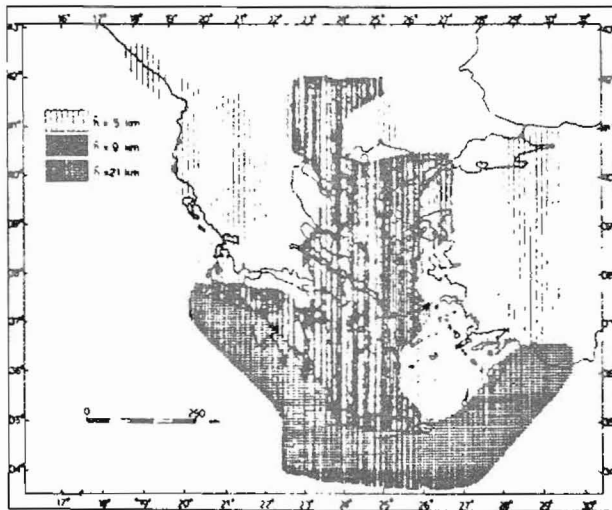
Ακολούθησε ο υπολογισμός των μέσων εστιακών βαθών σε κάθε μία από τις σεισμικές ζώνες τις οποίες έχει προτείνει ο Παπαζάχος (1988). Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα των επιφανειακών σεισμών, με εξαίρεση τις σεισμικές ζώνες κατά μήκος του εξωτερικού τμήματος του ελληνικού τόξου, στις οποίες χρησιμοποιήθηκαν και τα δεδομένα των σεισμών ενδιάμεσου βάθους όπως έχουν υπολογισθεί από το ISC, επειδή, όπως έχει προταθεί από τον Παπαζάχο (1988) το σεισμογόνο στρώμα στην περιοχή αυτή είναι ενιαίο. Ο υπολογισμός των μέσων εστιακών βαθών έδειξε ότι ο χώρος του Αιγαίου και οι γύρω περιοχές μπορούν να διακριθούν σε τρεις μεγάλες υποπεριοχές (σχ. 5.). Στην πρώτη, που καλύπτει κυρίως την ηπειρωτική Ελλάδα και την Τουρκία το μέσο εστιακό βάθος είναι $h=5$ Km. Στη δεύτερη, που καλύπτει κυρίως το χώρο του Αιγαίου, το μέσο εστιακό βάθος είναι $h=9$ Km, ενώ στην τρίτη, την περιοχή του ελληνικού τόξου, το μέσο εστιακό βάθος είναι $h=21$ Km. Με βάση τις τιμές των μέσων εστιακών βαθών και την τυπική



Σχ. 4. Συνάρτηση συχνότητας των διαφορών, δh, των εστιακών βαθών που υπολογίστηκαν από το ISC, από τα εστιακά βάθη των αντίστοιχων σεισμών με $ERZ \leq 5$ ΚΜ.

τους απόκλιση, βρέθηκε ότι το πάχος του σεισμογόνου στρώματος είναι της τάξης των 10 Km στην πρώτη περιοχή, της τάξης των 15 Km στη δεύτερη και της τάξης των 45 Km στην τρίτη περιοχή.

Το συμπέρασμα για το πάχος του σεισμογόνου στρώματος κατά μήκος του



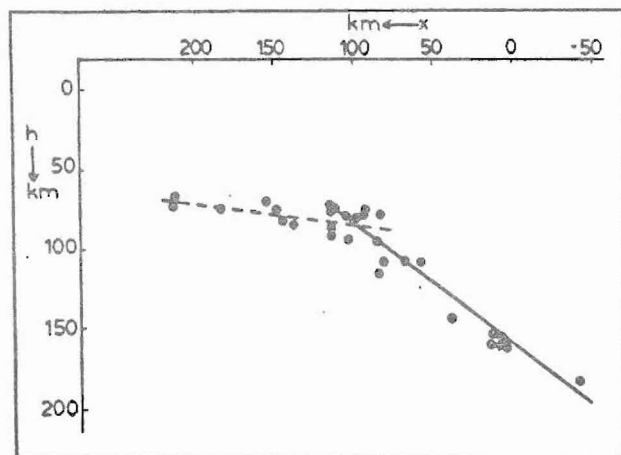
Σχ. 5. χάρτης της κατανομής των μέσων εστιακών βαθών στον ευρύτερο χώρο του Αιγαίου.

εξωτερικού τμήματος του ελληνικού τόξου συμφωνεί αρκετά καλά με το αποτέλεσμα που έχουν εξαχθεί από μικροσεισμική μελέτη της περιοχής με δίκτυο φορητών σεισμογράφων. Συγκεκριμένα, το προτεινόμενο όριο της εξωτερικής ζώνης (σχ. 5) με τις εσωτερικές ζώνες του Αιγαίου σχεδόν ταυτίζεται με την ισοβαθή των 50 Km η οποία προτείνεται από τον Matlín (1988). Σε συμφωνία βρίσκονται επίσης και το αποτέλεσμα που έχουν εξαχθεί από τον Halzfeld και τους συνεργάτες του (1989) καθώς και από τον Soloniev και τους συνεργάτες του (1989).

5. Κατανομή των Εστιακών Βαθών των Σεισμών Ενδιαμέσου Βάθους

Προσπάθεια η οποία έγινε για νέο υπολογισμό των εστιακών συντεταγμένων των σεισμών ενδιαμέσου βάθους δεν μπόρεσε να δώσει αποτέλεσμα. Όμως, η ακρίβεια των υπολογισμών του ISC για τους σεισμούς αυτούς είναι μεγαλύτερη από ότι για τους επιφανειακούς σεισμούς και μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητική. Ως ακριβέστερο δεδομένο οι Κομνηνάκης και Παπαζόχος (1980) θεώρησαν όσο έχουν υπολογισθεί με τις αναγραφές 26 ή περισσότερων σεισμολογικών σταθμών. Λαμβάνοντας υπόψη το συμπέρασμα αυτό, ο Παναγιωτόπουλος και οι συνεργάτες του (1988) καθόρισαν με νέα στοιχεία την κλίση της βυθιζόμενης ζώνης Beníoff η οποία έχει προταθεί από τους Παπαζόχο και Κομνηνάκη (1969, 1971), έχει αμφιθετρικό σχήμο και βυθίζεται κάτω από το Αιγαίο.

Η μορφή και η κλίση της ζώνης Beníoff, επανεξετάστηκε πρόσφατο από τον Παπαζόχο (1989b) με βάση την κατανομή των εστιών των σεισμών ενδιαμέσου βάθους με μέγεθος $M \geq 5,0$ οι οποίοι έγιναν στο χρονικό διάστημα 1964-1985, με μία μόνο εξαίρεση, τα σεισμού της 10.4.1976 ($M = 4,3$), επειδή αυτός είναι ο σεισμός με το μεγαλύτερο εστιακό βάθος που έχει παρατηρηθεί μέχρι σήμερα ($h = 183$ Km). Η κατανομή των σεισμικών εστιών σε μία τομή κάθετη στη διεύθυνση του ελληνικού τόξου, (σχ.6) έδειξε ότι η ζώνη Beníoff μπορεί να διακριθεί σε δύο τμήματα. Το πρώτο τμήμα, βυθίζεται με μικρή κλίση ($\sim 10^\circ$) ενώ η κλίση του δεύτερου τμήματος είναι αρκετά μεγαλύτερη (38°). Τα δύο αυτά τμήματα της ζώνης Beníoff συναντώνται στο βάθος των 80km περίπου, σε μια περιοχή όπου παρατηρείται η μεγαλύτερη σεισμική δόση και



Σχ. 6. Τα δύο τμήματα της σεισμικής ζώνης Beníoff του νότιου Αιγαίου, σε τομή κάθετη στη διεύθυνση του ελληνικού τόξου (Paparazachos 1989b).

συνδέεται με τους ισχυρότερους σεισμούς ενδιαμέσου βάθους ($M \sim 7,5$). Τα χαρακτηριστικά αυτά της σεισμικής δράσης, ο Παπαζάχος (1989b) απέδωσε στο ότι το πρώτο τμήμα της ζώνης Benioff, που ανήκει στη λιθοσφαιρα της ανατολικής Μεσογείου (τμήματος της Αφρικανικής λιθοσφαιρικής πλάκας) είναι συζευγμένο με τη λιθοσφαιρα του Αιγαίου (του μετώπου της Ευρασιατικής λιθοσφαιρικής πλάκας). Οι διαρρήξεις των ισχυρών σεισμών αρχίζουν από το κατώτερο σημείο της σύζευξης και διαδίδονται προς την επιφάνεια.

6. Συμπεράσματα

Με τη χρήση κατάλληλου προγράμματος Η/Υ, αξιόπιστου μοντέλου του φλοιού της Γης και των χρονικών υπολοίπων των σεισμικών κυμάτων στους σεισμολογικούς σταθμούς των μόνιμων δικτύων των χωρών της ΝΑ Ευρώπης, Μέσης Ανατολής και Βόρειας Αφρικής, έγινε νέος, ακριβέστερος υπολογισμός των εστιακών βαθών των επιφανειακών σεισμών με μέγεθος $M \geq 4,5$ που έγιναν στον ελληνικό χώρο και τις γύρω περιοχές στο χρονικό διάστημα 1970-1984. Στον ακριβή υπολογισμό των εστιακών βαθών, σημαντική είναι η συμβολή των χρονικών υπολοίπων, επειδή με αυτό τον τρόπο μπορούν να ληφθούν υπόψη διαφοροποιήσεις στη δομή του φλοιού της Γης, σε σχέση με το μοντέλο που χρησιμοποιείται.

Μελέτη της κατανομής των εστιακών βαθών με τη χρήση των πλέον οξιόπιστων δεδομένων ($ERZ \leq 5$ km) έδειξε ότι το μέσο εστιακό βάθος των επιφανειακών σεισμών είναι 5 km στο μεγαλύτερο μέρος της ηπειρωτικής Ελλάδος και στην Τουρκία και 9 km στο Αιγαίο. Το μέσο βάθος των σεισμών στην περιοχή που καλύπτει το εξωτερικό τμήμα του ελληνικού τόξου είναι 21 km. Το πάχος του σειμογόνου στρώματος σε κάθε μια από τις ποιό πάνω περιοχές είναι της τάξης των 10 km, 15 km και 45 km αντίστοιχα.

Επιβεβαίωση της κατανομής των ενδιαμέσου βάθους σεισμών του νότιου Αιγαίου έδωσε νέα στοιχεία για τη μορφή και την κλίση της σεισμικής ζώνης Benioff, η οποία αποτελείται από δύο τμήματα. Το πρώτο τμήμα, μέχρι το βάθος 100 km βυθίζεται με κλίση 10° και είναι συζευγμένο με τη λιθοσφαιρα του Αιγαίου, ενώ το δεύτερο τμήμα βυθίζεται κάτω από το Αιγαίο, χωρίς σύζευξη, με κλίση 38° (Papazachos 1989b).

Ευχαριστίες

Η εργασία αυτή έγινε στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος 1987/87AK1 που χρηματοδοτήθηκε από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Boll, B.A. Nuclear Explosions and Earthquakes. W. H. Freeman and Co., San Francisco, pp. 309, 1976.
- Comninakis, P.E. and Papazachos, B.C. Space and time distribution of the intermediate focal depth earthquakes in the Hellenic arc. *Tectonophysics*, 70, 135-147, 1980.
- Comninakis, P.E. and Papazachos, B.C. A catalogue of earthquakes in Greece and surrounding area for the period 1901-1985. *Publ. of Geoph. Lab., Univ. Thessaloniki*, 1, pp 167, 1986.
- Cornell, C.A. Engineering seismic risk analysis. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 58, 1503-1606, 1968.

- Halzfeld, D., Pedolli, G., Halzidimitriou, P., Panagioloopoulos, D., Scordilis, M., Drakopoulos, J., Makropoulos, K., Delibasis, N., Laloušekis, J., Baskoutas, J. and Frogneux, M. The Hellenic subduction beneath the Peloponnesse, first results of a microearthquake study. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, 1989, (in press).
- Karakaisis, G.F., Karacostas, B.G., Papadimitriou, E.E. and Papazachos, B.C. Properties of the 1979 Monte Negro (southwest Yugoslavia) seismic sequence. *Pure Appl. Geoph.*, 122, 25-35, 1985.
- Καρακώστας, Β.Γ. Σχέση της σεισμικής δράσης με γεωλογικό και γεωμορφολογικά στοιχεία του ευρύτερου χώρου του Αιγαίου. *Διδ. Διατριβή, Πανεπ. Θεσσαλονίκης*, σ. 243, 1988.
- Lee, W.H.K. and Lehr, J.C. A computer program for determination hypocenter, magnitude and first motion pattern of local earthquakes. *U.S. Geol. Surv. Open File Report*, 75-311, 1975.
- Marlin, C. Geometrie et cinématique de la subduction Egeene, structure en vilesse et en attenuation sous le Peloponnesse. *P.H.Diss., Univ. of Grenoble*, pp. 262, 1988.
- Παναγιωτόπουλος, Δ.Γ. Κομπύλες χρόνων διαδρομής και δομή του φλοιού στο νότιο Βαλκανικό χώρο. *Διδ. Διατριβή, Πανεπ. Θεσσαλονίκης*, σ. 173, 1984.
- Panagioloopoulos, D.G., Hatzidimitriou, P.M., Karakaisis, G.F., Papadimitriou, E.E. and Papazachos, B.C. Travel time residuals in southeastern Europe. *Pure Appl. Geoph.*, 123, 221-231, 1985.
- Panagioloopoulos, D.G., Scordilis, E.M., Hatzidimitriou, P.M., Rocca, A.Ch. and Papazachos, B.C. Further evidence on the deep tectonics of the Aegean and Eastern Mediterranean area. *19th Conf. of the Eur. Seism. Commission, Moscow*, October 1984, 494-499, 1988.
- Papazachos, B.C. The seismic zones in the Aegean and the surrounding area. *XXI Gen. Assem., Europ. Seism. Comm., Sofia, Bulgaria, August 23-27, 1988*, pp. 6, 1988.
- Παπαζάχος, Β.Κ. Μέτρα του σεισμικού μεγέθους στον ελληνικό χώρο και στις γύρω περιοχές. 1ο Επιστημονικό Συνέδριο Γεωφυσικής, Συλλ. Γεωφ. Ελλάδας, Αθήνα, 19-21 Απριλίου 1989, σ. 10, 1989α.
- Papazachos, B.C. Seismicity of the Aegean and surrounding area. *Publ. of Geoph. Lab., Univ. Thessaloniki*, 4, pp. 21, 1989b.
- Papazachos, B.C. and Comninakis, P.E. Geophysical features of the Greek island arc and eastern Mediterranean ridge. *C. R. Seances de la Conference Reunie a Madrid*, 16, 74-75, 1969.
- Papazachos, B.C. and Comninakis, P.E. Geophysical and tectonic features of the Aegean arc. *J. Geoph. Res.*, 76, 8517-8533, 1971.
- Papazachos, B.C., Tsapanos, T.M. and Panagioloopoulos, D.G. A premonitory pattern of earthquakes in northern Greece. *Nature*, 269, 232 - 235, 1982.
- Papazachos, B.C., Panagioloopoulos, D.G., Tsapanos, T.M., Mountrakis, D.M. and Dimopoulos, G.Ch. A study of the 1980 summer seismic sequence in the Magnesia region of central Greece. *Geoph. J. R. astr. Soc.*, 75, 155-168, 1983.
- Papazachos, B.C., Kiratzi, A.A., Karacostas, B.G., Panagioloopoulos, D.G., Scordilis, E.M. and Mountrakis, D.M. Surface fault traces, fault plane solution and spatial distribution of the aftershocks of September 13, 1986 earthquake of Kalamata (southern Greece). *Pure Appl. Geoph.*, 126, 55-68, 1988.
- Rocca, A.Ch., Karakaisis, G.F., Karacostas, B.G., Kiratzi, A.A., Scordilis, E.M. and Papazachos, B.C. Further evidence on strike slip faulting of the northern Aegean trough based on properties of the August - November seismic sequence. *Boll. Geof. Teor. Applic.*, 106, 101-109, 1985.

- Scordilis, E.M., Karakaisis, G.F., Karacostas, B.G., Panagioloopoulos, D. G., Comninakis, P.E. and Papazachos, B.C. Evidence for transform faulting in the Ionian sea : The Cephalonia island sequence of 1983. *Pure Appl. Geoph.*, 123, 388-397, 1985.
- Soloviev, S.L., Kovachev, S.A., Kuzin, I.P., Karakaisis, G.F. and Tassos, S.I. Preliminary report on the earthquakes recorded by OBS at Cretan sea (Greece). *Marine Geology*, 1989 (in press).
- Βοϊδομάτης, Φ.Σ. Σεισμικότητα του βόρειου Ελλαδικού χώρου και των γύρω περιοχών. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπ. Θεσ/νίκης, σ. 201, 1984.