

ΣΧΕΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΚΛΙΜΑΚΩΝ ΤΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΤΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ

Αναστασία Α. Κυρατζή
Εργαστήριο Γεωφυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Τ.Κ. 540 06

Περίληψη

Τιμές του επιφανειακού μεγέθους, M_s , του ενιαίου μεγέθους, m_b , και του τοπικού μεγέθους, M_L , για σεισμούς του Αιγαίου και της γύρω περιοχής, του διαστήματος 1966-1985 χρησιμοποιήθηκαν για τον καθορισμό σχέσεων μεταξύ αυτών των κλιμάκων. Ετσι προτείνονται οι ακόλουθες σχέσεις:

$$m_b = (0.66 \pm 0.03)M_s + (1.45 \pm 0.14)$$

$$M_s = (0.95 \pm 0.09)M_L + (0.72 \pm 0.02)$$

Ακόμα ελέγχθηκε η σχέση που αφορά τον υπολογισμό του μεγέθους των σεισμών ενδιαμέσου βάθους (Papazachos and Comninakis 1971) με νέα δεδομένα του διαστήματος 1970-1985. Ετσι, βρέθηκε ότι η σχέση που προτείνουν

$$M_s = \log a + 0.18R/100 + 3.20$$

όπου a το εδαφικό πλάτος σε μικρά και R η υποκεντρική απόσταση σε Km, υπολογίζει πολύ αξιόπιστα το επιφανειακό μέγεθος των σεισμών ενδιαμέσου βάθους.

Από την κατανομή των διαφορών μεταξύ παρατηρούμενων και θεωρητικών τιμών (residuals) των σχέσεων που προσδιορίστηκαν ανάλογα με τον τύπο των ρηγμάτων από τον οποίο προέρχονται οι σεισμοί, φαίνεται ότι για τις ίδιες τιμές του επιφανειακού μεγέθους, M_s , τα ανάστροφα ρήγματα δίνουν υψηλότερες τιμές του τοπικού μεγέθους M_L σε σχέση με τους άλλους τύπους διάρρηξης. Καθώς το M_L είναι ένα μέγεθος που υπολογίζεται από κύματα βραχείας περιόδου, κοντά στις ιδιοπεριόδους των μοντέρνων κατασκευών, γίνεται αντιληπτή η ιδιαίτερη σημασία αυτής της παρατήρησης για το σεισμικό κίνδυνο.

RELATIONS BETWEEN M_s , m_b , M_L MAGNITUDE SCALES OF EARTHQUAKES IN THE AEGEAN AREA

Anastasia A. Kiratzi: Geophysical Laboratory, University of Thessaloniki, GR 540-06, Greece.

Abstract

Values of the surface wave magnitude M_s , of the body wave magnitude m_b , and of the local magnitude M_L , for shallow earthquakes occurred in the Aegean area during the period 1966-1985 were used to determine relations between these magnitude scales. Thus, the following relations are proposed:

$$m_b = (0.66 \pm 0.03) M_s + (1.45 \pm 0.14)$$

$$M_s = (0.95 \pm 0.09) M_L + (0.72 \pm 0.02)$$

For the intermediate depth earthquakes the following formula is used to calculate the surface wave magnitude, M_s :

$$M_s = \log a + 0.18R/100 + 3.20$$

where a is the ground amplitude in microns and R the epicentral distance in Km. This formula originally proposed by Papazachos and Comninakis (1971) was checked with data of the period 1970-1985 and found to give reliable magnitudes and compatible with the original definition of M_s magnitude.

From the distribution of residuals according to the type of faulting giving the specific earthquake, it seems that for a given M_s value the thrust faults give higher M_L values. Keeping in mind that M_L is a short period magnitude which is calculated at periods corresponding to the natural periods of modern buildings, then the observation here derived, implies, that in terms of seismic hazard thrust faults are more important.

1. Εισαγωγή

Το πρόβλημα της ποσοτικής εκτίμησης της σφοδρότητας ενός σεισμού έχει μια μακρόχρονη ιστορία. Απο πολύ νωρίς στην ιστορία της Σεισμολογίας, υπήρξε επιτακτική ανάγκη ενός αξιόπιστου και τυποποιημένου τρόπου μέτρησης των σεισμών όχι μόνο για λόγους ταξινόμησής τους αλλά και για συγκεκριμένους πρακτικούς και επιστημονικούς σκοπούς. Έτσι ο Richter (1935) εισήγαγε την έννοια του μεγέθους και απο τότε έγινε η συχνότερα χρησιμοποιούμενη σεισμική παράμετρος ποσοτικής έκφρασης των σεισμών. Οι τεκτονοφυσικοί χρησιμοποιούν τα μεγέθη για να μετρήσουν τον τρόπο επανάληψης των σεισμών, οι γεωφυσικοί για να εκτιμήσουν την ενέργεια της σεισμικής πηγής, και οι μηχανικοί χρησιμοποιώντας σχέσεις μεταξύ της μέγιστης επιτάχυνσης και του μεγέθους, έχουν τη δυνατότητα να προσδιορίσουν παραμέτρους της εδαφικής κίνησης που αντιστοιχούν σε ένα συγκεκριμένο μέγεθος. Έτσι καθώς το μέγεθος έχει ένα μεγάλο φάσμα εφαρμογών είναι απαραίτητος ο όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστος υπολογισμός του.

Απο την εποχή που ο Richter εισήγαγε στη Σεισμολογία την έννοια του μεγέθους των σεισμών, αναπτύχθηκαν ραγδαία διάφορες κλίμακες κυρίως για να αντισταθμίσουν τα μειονεκτήματα και τους περιορισμούς των προηγούμενων.

Οι κλασσικές κλίμακες μεγεθών είναι:

- η κλίμακα τοπικού μεγέθους, M_L , που βασίζεται σε μετρήσεις πλάτων κυμάτων βραχέας περιόδου (Richter 1935).
- η κλίμακα επιφανειακού μεγέθους, M_s , που βασίζεται στα πλάτη των επιφανειακών κυμάτων περιόδου 20 ± 3 sec των σεισμών επιφανείας για αποστάσεις $15^\circ - 130^\circ$ (Gutenberg 1945a).
- η κλίμακα του χωρικού μεγέθους, m_b , που βασίζεται στα πλάτη των κυμάτων χώρου, δηλαδή των επιμήκων P, PP και των εγκάρσιων S κυμάτων (Gutenberg 1945b).

Το σοβαρότερο μειονέκτημα των κλασσικών αυτών κλιμάκων είναι ότι παρουσιάζουν ανώτατο όριο, δηλαδή παθαίνουν κορεσμό. Αυτό σχετίζεται με τη λειτουργία σειсмоγράφων

περιορισμένου εύρους ιδιοσυχνοτήτων σε σχέση με τις συχνότητες της ελαστικής ακτινοβολίας που προέρχεται από τις σεισμικές πηγές. Η εναλλακτική επιλογή σε αυτό το πρόβλημα είναι η χρήση του μεγέθους ροής, M_w , (Kanamori 1977, 1978) που βασίζεται στη σεισμική ροή M_0 όπως αυτή ορίσθηκε από τον Aki (1966). Βρέθηκε ότι το M_w σχεδόν ταυτίζεται με το M_s για μεγέθη από 5.5 - 7.2 (Παπαζάχος 1989).

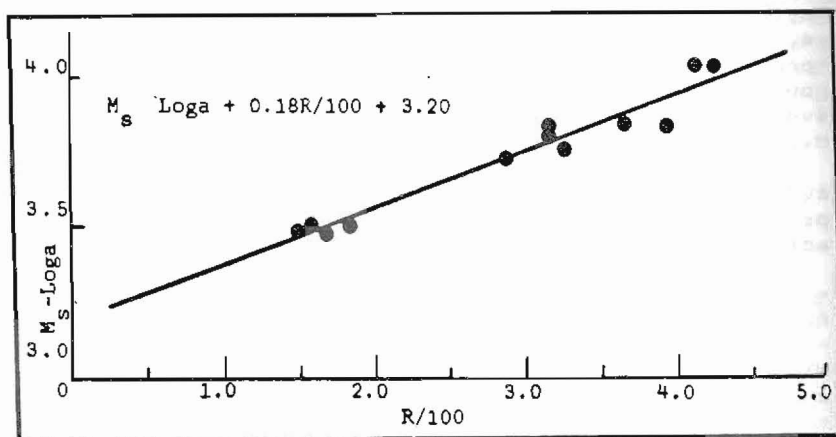
Στην παρούσα εργασία προτείνονται σχέσεις μεταξύ των κλιμάκων ML , mb , M_s για σεισμούς του Αιγαίου του διαστήματος 1966- 1985. Τέτοιες σχέσεις έχουν προταθεί και σε προηγούμενες εργασίες μας (Κυρατζή 1984, Kiratzi and Papazachos 1984). Στην εργασία αυτή προστίθενται νέα δεδομένα και προσδιορίζεται απευθείας σχέση μεταξύ του mb και του M_s . Ακόμα γίνεται έλεγχος των διαφορών (residuals) για τυχόν συστηματικές τάσεις που εμφανίζουν τα διάφορα είδη διάρρηξης.

2. Κλίμακα μεγέθους, M_s , για σεισμούς ενδιαμέσου βάθους του Νοτίου Αιγαίου.

Όπως είναι γνωστό οι σεισμοί ενδιαμέσου βάθους ($40 < h < 180$ Km) στην Ελλάδα εμφανίζονται στο νότιο Αιγαίο σαν αποτέλεσμα της κατάδυσης της λιθόσφαιρας της Αφρικής κάτω από αυτήν του Αιγαίου. Για τον υπολογισμό του μεγέθους M_s των σεισμών αυτών οι Papazachos and Comninakis (1971) πρότειναν τη σχέση:

$$M_s = \log a + 0.18R/100 + 3.20 \quad (1)$$

όπου a (μm) είναι το μέσο πλάτος της εδαφικής κίνησης που αντιστοιχεί στα μέγιστα πλάτη των δύο οριζοντίων συνιστωσών των σειсмоγράφων Wiechert ή Mainka του Αστεροσκοπείου Αθηνών



Σχ.1.- Σχέση υπολογισμού (ευθεία γραμμή) των επιφανειακών μεγεθών των σεισμών ενδιαμέσου βάθους (Papazachos and Comninakis 1971) και νέα στοιχεία του διαστήματος 1970-1985 (μαύροι κύκλοι).

και R είναι η υποκεντρική απόσταση σε Km. Η σχέση αυτή βαθμολογήθηκε με το M_s που υπολογίζεται από επιφανειακά κύματα 20 sec σύμφωνα με τον αρχικό ορισμό του Gutenberg (1945a).

Θέλοντας να ελέγξουμε τα μεγέθη που υπολογίζονται από τη σχέση (1) με νέα στοιχεία, ανεξάρτητα από αυτά που χρησιμοποίησαν οι Παπαζάχος και Κορνηνάκης το 1971, συγκεντρώσαμε τα δεδομένα του διαστήματος 1970-1985. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε σχετικός κατάλογος σεισμών (Comninakis and Papazachos 1986). Δυστυχώς οι σεισμοί ενδιαμέσου βάθους στο χώρο του Αιγαίου τον παρόντα αιώνα είναι λίγοι, τουλάχιστον αυτοί για τους οποίους υπήρχε ανεξάρτητος προσδιορισμός του επιφανειακού μεγέθους M_s (κυρίως από το σεισμολογικό κέντρο της Ουψάλα). Τα μέγιστα εδαφικά πλάτη, a , αναγραφής στο σειсмоγράφο Wiechert έχουν ληφθεί από τα δελτία του Αστεροσκοπείου Αθηνών.

Ετσι στο σχήμα (1) χαρτογραφήθηκε η ποσότητα $M_s - \text{Log} a$ για 11 σεισμούς ενδιαμέσου βάθους σε συνάρτηση με την υποκεντρική απόσταση, R σε Km. Η ευθεία γραμμή παριστά τη σχέση των Papazachos and Comninakis (1971). Παρατηρούμε ότι τα μεγέθη M_s που υπολογίζονται από τη σχέση αυτή είναι αξιόπιστα και σύμφωνα με τον αρχικό ορισμό του μεγέθους αυτού.

3. Σχέση μεταξύ των κλιμάκων M_L και M_s για τους σεισμούς του Αιγαίου.

Το τοπικό μέγεθος M_L των σεισμών του Ελληνικού χώρου υπολογίζεται από συναρτήσεις βαθμολογίας που καθορίστηκαν από την Κυρατζή (1984) και τους Kíratzi και Papazachos (1984). Το επιφανειακό μέγεθος M_s των επιφανειακών σεισμών υπολογίζεται από τη σχέση

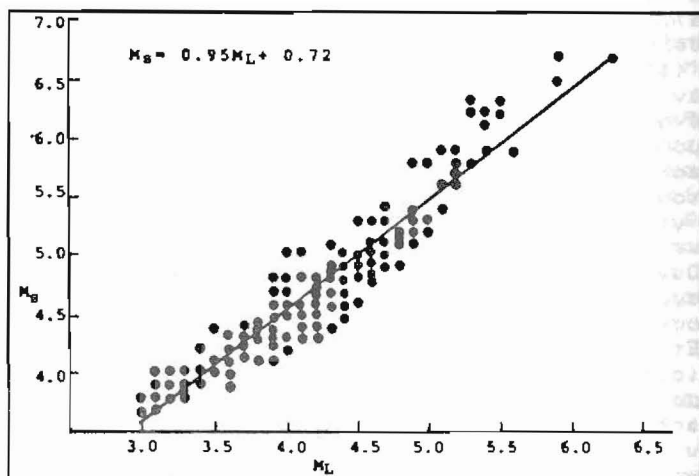
$$M_s = \text{Log} a + 1.42 \text{Log} \Delta + 0.20 \quad (2)$$

που προτάθηκε από τους Papazachos και Vassilióu (1966). Στη σχέση αυτή a (μm) είναι το μέσο πλάτος της οριζόντιας εδαφικής κίνησης και μετριέται όπως το a στη σχέση (1) και Δ η επικεντρική απόσταση σε Km.

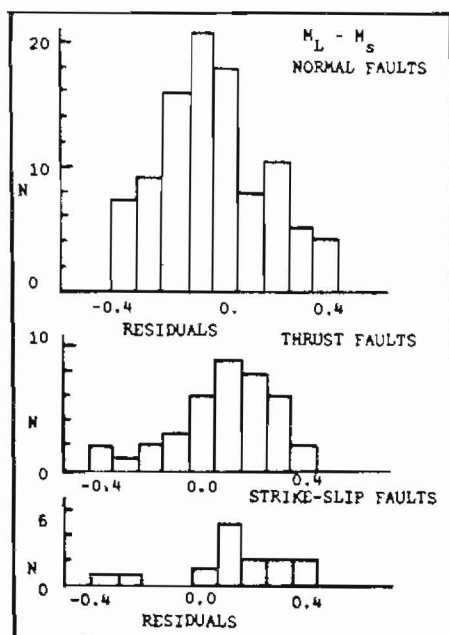
Στο σχήμα (2) χαρτογραφήθηκε το M_s σε συνάρτηση με το M_L για σεισμούς του διαστήματος 1966-1985. Η ευθεία γραμμή που προσεγγίζει τα δεδομένα με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων έχει εξίσωση της μορφής:

$$M_s = (0.95 \pm 0.09) M_L + (0.72 \pm 0.02) \quad (3)$$

Το σχήμα (3) παρουσιάζει την κατανομή των υπολοίπων (residuals) της σχέσης (3) για κανονικά ρήγματα (πάνω), ανάστροφα (κέντρο) και strike-slip (κάτω). Ο τύπος της διάρρηξης σε κάθε περίπτωση βρέθηκε από τη θέση του επικέντρου του σεισμού και προηγούμενη εργασία των Papazachos et al. (1986). Από το σχήμα αυτό, φαίνεται ότι τα ανάστροφα ρήγματα παρουσιάζουν θετικά υπόλοιπα (residuals), δηλαδή για ίδιες τιμές του M_s δίνουν μεγαλύτερες τιμές του M_L σε σχέση με τους άλλους τύπους ρηγμάτων. Είναι γνωστή δε η σημασία του M_L στη Τεχνική Σεισμολογία. Καθώς αυτό είναι ένα μέγεθος που υπολογίζεται από κύματα βραχείας περιόδου εκφράζει τις βλάβες που υφίστανται οι μοντέρνες οικοδομές.



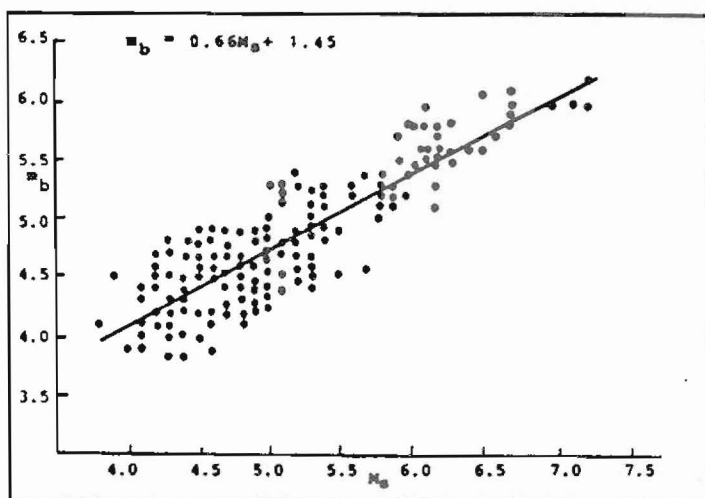
Σχ.2.- Σχέση μεταξύ του M_L (υπολογισμένου από τις αναγραφές του σειсмоγράφου Wood-Anderson, σύμφωνα με Κυρατζή 1984) και του M_s (υπολογισμένου από τις αναγραφές του σειсмоγράφου Wiechert σύμφωνα με Papazachos and Vassiliou 1966).



Σχ.3- Κατανομή των residuals της σχέσης (3) ανάλογα με το είδος της διάρρηξης.

3. Σχέση μεταξύ των κλιμάκων M_s και m_b για τους σεισμούς του Αιγαίου.

Προκειμένου να βρεθεί η σχέση μεταξύ αυτών των κλιμάκων χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από 213 σεισμούς του διαστήματος 1966-1985 για τους οποίους ήταν δημοσιευμένα τα πλήτη αναγραφής στο σειсмоγράφο Wiechert του Αστεροσκοπείου και παράλληλα υπήρχε δημοσιευμένη τιμή του μεγέθους m_b στα δελτία του Διεθνούς Κέντρου (ISC). Έτσι στο σχήμα (4) χαρτογραφήσαμε τις τιμές του m_b σε συνάρτηση με αυτές του M_s και



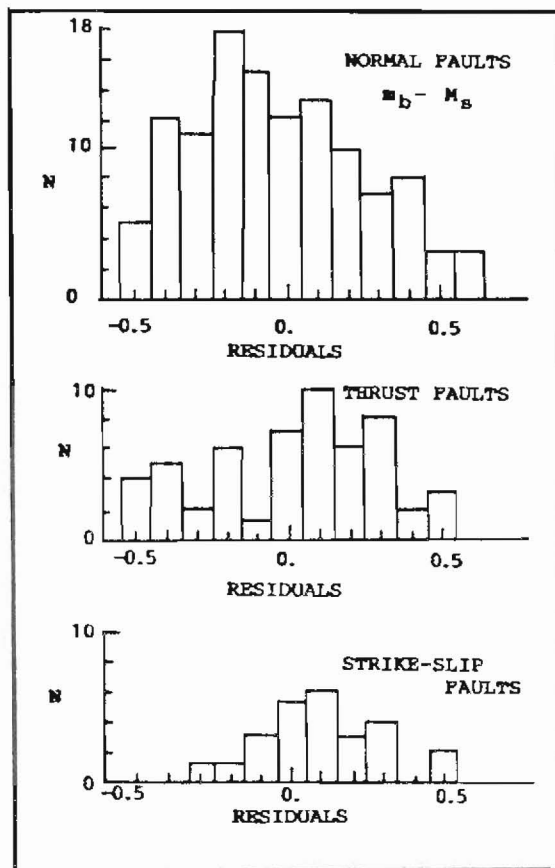
Σχ.4.- Σχέση μεταξύ του m_b (ISC) και του M_s . Η ευθεία γραμμή παριστά τη σχέση (4).

προσεγγίσαμε τα δεδομένα με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων με εξίσωση της μορφής:

$$m_b = (0.66 \pm 0.03)M_s + (1.45 \pm 0.14) \quad (4)$$

Παρατηρούμε ότι τα δεδομένα παρουσιάζουν μεγαλύτερη διασπορά από ότι στην προηγούμενη σχέση κυρίως λόγω των μεγαλύτερων ασαφειών που υπεισέρχονται στον υπολογισμό του m_b . Υπάρχει μεγάλη ποικιλία στις σχέσεις m_b , M_s που έχουν προταθεί για διάφορες περιοχές. Οι μεγαλύτερες διαφορές εμφανίζονται μεταξύ οριο-πλακικών (inter-plate) και ενδο-πλακικών (intra-plate) περιοχών. Στους οριο-πλακικούς σεισμούς έχουν παρατηρηθεί μικρότερες τιμές της πτώσης τάσης (Kanamori and Anderson, 1975) και αυτό μπορεί να ερμηνεύσει τις διαφορές στις σχέσεις m_b , M_s μεταξύ αυτών των περιοχών.

Το σχήμα (5) παρουσιάζει την κατανομή των υπολοίπων (residuals) της σχέσης (4) ανάλογα με τους τύπους των ρηγμάτων που προέρχονται τα δεδομένα. Στην περίπτωση αυτή δεν παρατηρείται κάποια ιδιαίτερη τάση και τα υπόλοιπα (residuals) παρουσιάζουν κανονική κατανομή.



Σχ.5.- Κατανομή των residuals της σχέσης (4) ανάλογα με το είδος της διάρρηξης.

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ θερμά τον καθηγητή κ. Β. Παπαζάχο για την καθοδήγησή του και τις παρατηρήσεις του.

Βιβλιογραφία

- Aki, K. Generation and propagation of G waves from the Niigata earthquake of June 16, 1964. "Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo", 44, 23-28, 1966.
- Comninakis, P. and Papazachos. A catalogue of earthquakes in Greece and the surrounding area for the period 1901-1985. "Publ. of the Geophysical Laboratory, No 1, Univ. of Thessaloniki", No 1, 1986.
- Gutenberg, B. Amplitudes of surface waves and magnitude of shallow earthquakes. "Bull. Seism. Soc. Am.", 35, 3-12, 1945a.

- Gutenberg, B. Amplitudes of P, PP, and S waves and magnitude of shallow earthquakes. "Bull. Seism. Soc. Am.", 35, 117-130, 1945b.
- Kanamori, H. The energy release in great earthquakes. "J. Geophys. Res.", 82, 2981-2987, 1977.
- Kanamori, H. Quantification of great earthquakes. "Tectonophysics", 49, 207-210, 1978.
- Kanamori, H. and Anderson, D. Theoretical basis of some empirical relations in seismology. "Bull. Seism. Soc. Am.", 65, 1073-1095, 1975.
- Κυρατζή, Α. Α. Κλίμακες μεγεθών των σεισμών στον ευρύτερο χώρο του Αιγαίου. "Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης", σελ. 189, 1984.
- Kiratzí, A. and Papazachos, B. Magnitude scales for earthquakes in Greece. "Bull. Seism. Soc. Am.", 74, 969-985, 1984.
- Papazachos, B. and Vassilicou, A. Studies on the magnitudes of earthquakes. "Progress Report in Seismology and Physics of the Earth's Interior, 1964-1966", 17-18, 1966.
- Papazachos, B. and Comninakis, P. Geophysical and tectonic features of the Aegean arc. "J. Geophys. Res.", 76, 8517-8533, 1971.
- Papazachos, B., Kiratzí, A., Hatzidimitriou, P. and B. Karacostas. Seismotectonic properties of the Aegean area that restrict valid geodynamic models. "2nd Wegener/Medias Conference, May 14-16, Athens 1986", 1-15, 1986.
- Παπαζάχος, Β. Μέτρα του σεισμικού μεγέθους στον Ελληνικό χώρο και στις γύρω περιοχές. "Πρακτ. 1ου Επιστ. Συνεδρίου Συλλόγου Γεωφυσικών Ελλάδας, 19-21 Απρ. 1989, Αθήνα", σελ. 10, 1989.
- Richter, C. An instrumental earthquake magnitude scale. "Bull. Seism. Soc. Am.", 25, 1-32, 1935.