

## ارزیابی بزرگی برآورد شده برای زمین‌لرزه کجور- بلده

مهدی رضاپور\*

\*مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، صندوق پستی ۶۴۶۶-۱۴۱۵۵

(دریافت: ۱۴۵/۱۵، پذیرش نهایی: ۱۴/۱۲/۹)

### چکیده

تعیین پارامترهای مبنایی زمین‌لرزه‌ها، به‌خصوص برآورد اندازه زمین‌لرزه، یعنی تعیین بزرگی آن با دقت کافی، نقش اساسی در تشریح لرزه‌خیزی منطقه و اعزام نیروهای امدادی به مناطق آسیب دیده دارد. بزرگی، ارتباط نزدیکی با انرژی آزاد شده در زمین‌لرزه دارد و ساده‌ترین روش برآورد انرژی، تعیین بزرگی است. هرچند که روش تعیین بزرگی کاملاً مبتنی بر رابطه‌ای تجربی است، بزرگی، به‌خاطر مناسب بودن در برآورد اندازه زمین‌لرزه، به‌طور وسیع مورد استفاده قرار گرفته است. در این مطالعه برای ارزیابی بزرگی گزارش شده در زمین‌لرزه هشتم خرداد ۱۳۸۳ کجور-بلده، با استفاده از لرزه‌نگاشت‌های ثبت شده در ایستگاه‌های لرزه‌نگاری، بزرگی زمین‌لرزه مجدداً برآورد شده و با گزارش IGUT مورد مقایسه قرار گرفته است. نتیجه بررسی نشان می‌دهد که بزرگی گزارش شده حدود 0.6 واحد بزرگی کمتر است. علت اصلی، برنامه مورد استفاده برای پردازش داده‌ها بوده است. لذا توصیه می‌شود که برای زمین‌لرزه‌های با بزرگی  $M_N > 5.0$ ، حتماً نتایج پردازش شده با کمک برنامه راه کاربر کنترل کند. تحقیقات نشان داده که جهت برآورد بزرگی زمین‌لرزه‌های محلی استفاده از لرزه‌نگاشت‌های مؤلفه‌های افقی در مقایسه با لرزه‌نگاشت مؤلفه قائم مناسب است. بررسی نشان می‌دهد که برای زمین‌لرزه کجور-بلده برآیند برداری دامنه موج Lg اندازه‌گیری شده روی مؤلفه‌های افقی تقریباً دو برابر دامنه موج اندازه‌گیری شده روی مؤلفه قائم است.

واژه‌های کلیدی: بزرگی، شبکه لرزه‌نگاری تهران، زمین‌لرزه کجور-بلده، استان مازندران

### ۱ مقدمه

ثانیه یعنی مقیاس  $M_s$  برآورد می‌کنند. بنابراین مقیاس‌های بزرگی، اندازه انرژی منتشر شده طی بسامدی خاص را بیان می‌کنند و نه کل انرژی آزاد شده و در نتیجه با نارسایی‌هایی مثل مسئله اشباع در برآورد بزرگی زمین‌لرزه‌های بزرگ و خیلی بزرگ روبرو می‌شوند.

در بیست و هشتم مه سال ۲۰۰۴ میلادی ساعت ۱۲ و ۳۸ دقیقه و ۴۳ ثانیه به وقت بین‌المللی مطابق با هشتم خرداد ۱۳۸۳ هجری شمسی ساعت ۱۷ و ۸ دقیقه و ۴۳ ثانیه به وقت محلی، زمین‌لرزه نیرومندی در منطقه کجور-بلده واقع در استان مازندران رخ داد. جنبش ناشی از این زمین‌لرزه در بخش‌های وسیعی از کشور حس شد. به‌رغم حس جنبش زمین‌لرزه تا فواصل دور، خسارات و صدمات جانی و مالی نسبتاً محدودی در برداشت. یکی از علل اصلی این امر، تراکم کم جمعیت در پیرامون مرکز زمین‌لرزه بود. مشخصات پارامترهای این زمین‌لرزه از

برای بیان اندازه زمین‌لرزه، ریشتر (۱۹۳۵) مقیاس بزرگی را که در سطح جهان پذیرفته شد، متناسب با لگاریتم دامنه موج لرزه‌ای ثبت شده روی لرزه‌نگاشت تعریف کرد. در طول چند دهه گذشته، مقیاس بزرگی با چندین تغییر روبرو بوده است و مقیاس‌های متعددی ارائه شده است (بس، ۱۹۸۱). اکثر مقیاس‌های بزرگی اصلاح شده مقیاس اولیه ریشترند.

بزرگی زمین‌لرزه‌ها به‌طور متداول از سوی مراکز بین‌المللی و ملی مثل International Seismological Centre (ISC) و National Earthquake Information Center (NEIC)، شبکه‌های لرزه‌نگاری و ایستگاه‌های لرزه‌نگاری منفرد تعیین می‌شود. بزرگی زمین‌لرزه‌ها را معمولاً در دو محدوده بسامدی، بسامد زیاد برای امواج درونی با دوره تناوب کوتاه حدود ۱ ثانیه یعنی مقیاس‌های  $M_L$  و  $m_b$  و بسامد کم برای امواج سطحی با دوره تناوب حدود ۲۰

موردنظر، از سوی مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، بیشتر بر اساس پردازش داده ثبت شده شبکه لرزه‌نگاری تهران است. زمین‌لرزه فوق را ایستگاه‌های شبکه‌های لرزه‌نگاری مازندران، سمنان و غیره نیز ثبت کردند. شکل ۱ موقعیت رومرکز زمین‌لرزه فوق و تعدادی از ایستگاه‌های لرزه‌نگاری ثبت‌کننده را نشان می‌دهد.

جمله موقعیت و بزرگی آن از سوی مراکز و سازمان‌های داخلی و خارجی متعددی گزارش شد که تعدادی از آنها در جدول ۱ درج شده است.

از آنجا که محل وقوع زمین‌لرزه در نزدیکی تهران بود، لذا تقریباً همه ایستگاه‌های شبکه لرزه‌نگاری تهران آنرا ثبت کرده‌اند و پارامترهای تعیین شده برای زمین‌لرزه

جدول ۱. مشخصات پارامترهای تعیین شده برای زمین‌لرزه کجور- بلده از سوی مراکز و سازمان‌های داخلی و خارجی.

Source	Origin time (GMT)	Latitude (N)	Longitude (E)	Focal depth (km)	Magnitude
IGUT	12:38:43.4	36.352°	51.618°	8.6	$M_N=5.5$
BHRC	-	36.30°	51.56°	-	$M_L=6.1$
IIEES	12:38:46.1	36.34°	51.59°	28	$M_S=6.3$
NEIC	12:38:44.47	36.29°	51.61°	17	$M_S=6.3$
EMSC	-	36.45°	51.32°	40	$m_b=6.2$

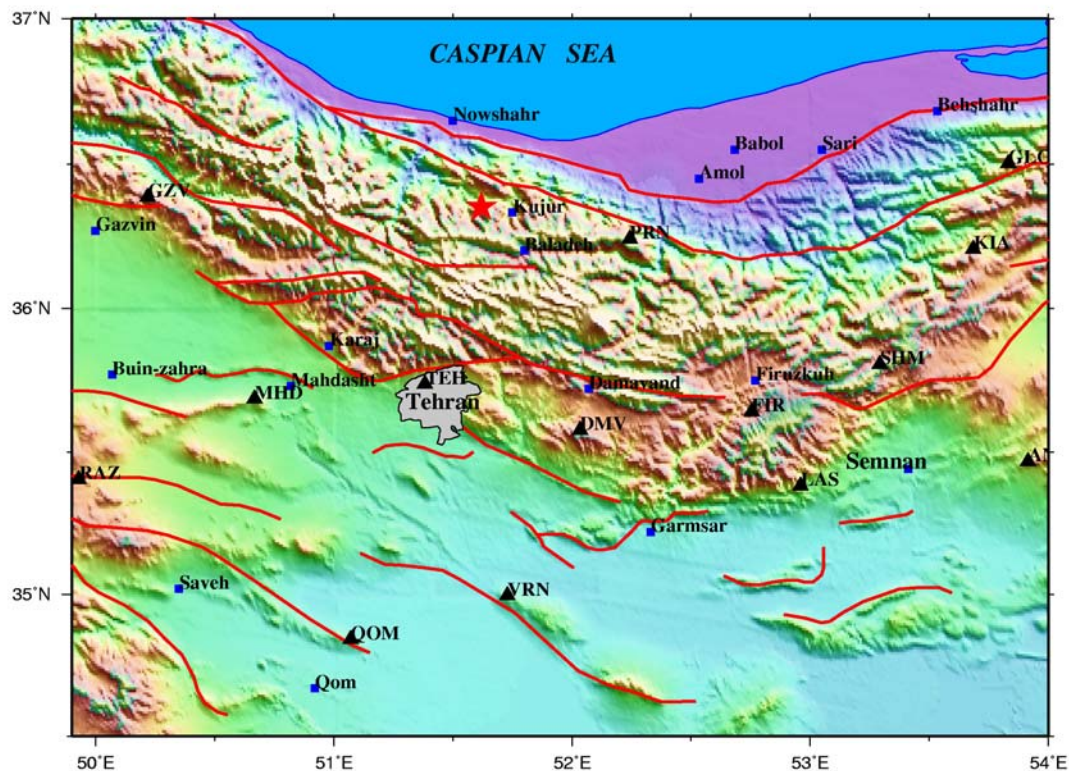
IGUT=Institute of Geophysics, University of Tehran

BHRC=Building and Housing Research Center

IIEES=International Institute of Earthquake Engineering and Seismology

NEIC=National Earthquake Information Center

EMSC=European-Mediterranean Seismological Centre



شکل ۱. موقعیت زمین‌لرزه کجور- بلده و ایستگاه‌های لرزه‌نگاری روی نقشه توپوگرافی همراه با گسل‌های عمده منطقه. مثلث‌های مشکی موقعیت تعدادی از ایستگاه‌های لرزه‌نگاری ثبت‌کننده را نشان می‌دهند.

لرزه‌نگار و غیره حاصل می‌شود. و برای تعیین پاسخ دستگاهی بایستی منحنی پاسخ همه فیلترهای مورد استفاده در لرزه‌نگار و منحنی پاسخ لرزه‌سنج در یک باند بسامدی مورد نظر معلوم باشد. مقادیر حاصل از هم‌آمیختن آنها، مقادیر پاسخ بسامدی دستگاه را تشکیل می‌دهد.

در ایستگاه‌های لرزه‌نگاری دیجیتال مرکز لرزه‌نگاری کشوری از لرزه‌سنج SS-1 ساخت شرکت کینمتریکس (Kinometrics) استفاده شده است که نوعی سرعت‌نگار است. پاسخ بسامدی دستگاه مورد استفاده در شبکه لرزه‌نگاری تهران در باند بسامدی ۰/۰۱۲۵ هرتز (زمان تناوب برابر ۸۰ ثانیه) تا ۱۰۰ هرتز (زمان تناوب برابر ۰/۰۱ ثانیه) را شرکت سازنده آنها تهیه و در فایل با عنوان Response File برای استفاده برنامه DAN قرار داده است. این فایل دارای مقادیر منحنی پاسخ دستگاه برحسب  $\text{count} \times \text{seconds/meter}$  مطابق با ۴۰ بسامد است که این ۴۰ بسامد را می‌توان با استفاده از رابطه  $F=10^{(n-1)/10}$ ,  $n=1$  to 40 به دست آورد (راهنمای استفاده DAN، ۱۹۹۵). شکل ۲ پاسخ بسامدی دستگاه در شبکه لرزه‌نگاری تهران را نشان می‌دهد.

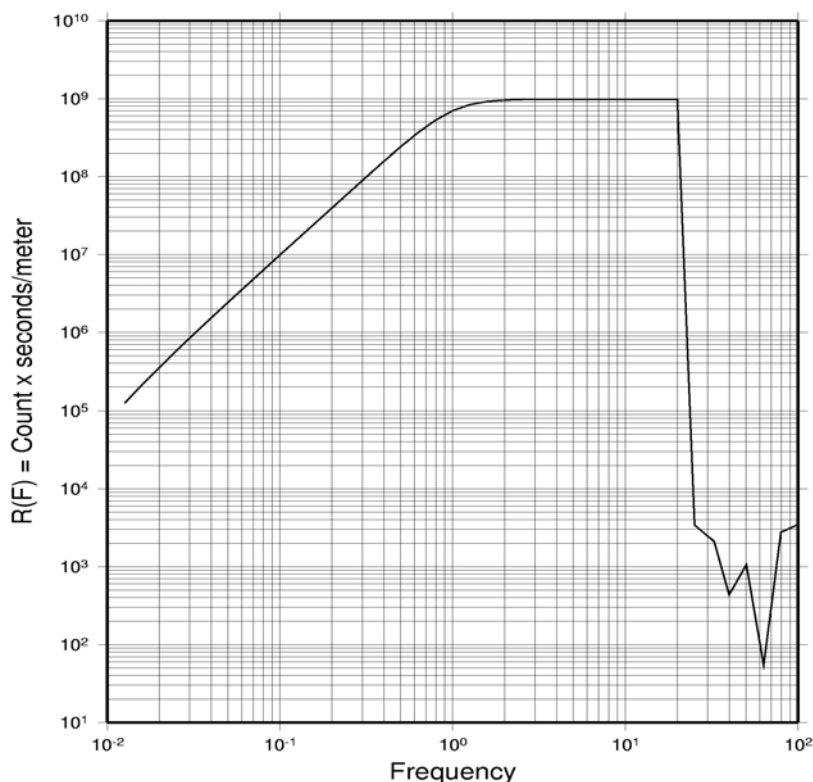
بنابراین با داشتن مقادیر زمان تناوب یا بسامد و استفاده از روش درون‌یابی (interpolation)، مقدار منحنی پاسخ  $R(F)$  (شکل ۲) منطبق با بسامد اندازه‌گیری شده را می‌توان به راحتی به دست آورد. برنامه DAN به طور خودکار این کار را به انجام می‌رساند با توجه به اینکه لرزه‌سنج مورد استفاده در ایستگاه‌ها، سرعت‌نگار است، لذا برای تعیین بزرگی با استفاده از دامنه جابه‌جایی، باید سرعت، به مقدار جابه‌جایی تبدیل شود. نرم‌افزار DAN بدون دخالت کاربر، مقدار بیشینه سرعت جابه‌جایی یعنی PA را از wave form استخراج می‌کند که برحسب count است. برنامه با توجه به بسامد موج با بیشینه سرعت جابه‌جایی، مقدار پاسخ بسامدی دستگاه را که برحسب  $\text{count} \times \text{seconds/meter}$  است با استفاده از روش

پارامتر بزرگی نقش اساسی در اکثر مطالعات زلزله‌شناسی دارد لذا درستی و دقت مقادیر بزرگی برآورد شده برای زمین لرزه‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. در این مقاله ضمن تشریح روش تعیین بزرگی در مرکز لرزه‌نگاری کشوری، دقت بزرگی تعیین شده برای زمین لرزه کجور- بلده توسط این مرکز بررسی می‌شود.

## ۲ اندازه‌گیری دامنه برای تعیین بزرگی

در مرکز لرزه‌نگاری کشوری برای تعیین محل زمین لرزه‌های ثبت شده و به دست آوردن پارامترهای مبانی زمین لرزه‌ها از نرم‌افزار Data Analysis Nanometrics (DAN) استفاده می‌شود که این نرم‌افزار برای تعیین موقعیت زمین لرزه و بزرگی آن از دو برنامه Hypo71 نوشته لی و همکاران (۱۹۷۲ و ۱۹۷۵) و LOC نوشته سازمان زمین‌شناسی کانادا استفاده می‌کند. DAN بدون توجه به نوع برنامه مورد استفاده برای تعیین موقعیت، دامنه فاز (phase amplitude) اندازه‌گیری شده را پس از کالیبره کردن با پاسخ لرزه‌سنج مربوطه و تبدیل به مقدار واقعی سرعت جابه‌جایی زمین در حکم اطلاعات ورودی برای محاسبه بزرگی به برنامه Hypo71 و یا LOC منتقل می‌کند. نرم‌افزار DAN مورد استفاده در مرکز لرزه‌نگاری برای تعیین محل فقط از برنامه LOC استفاده می‌کند.

امواج لرزه‌ای پس از طی مسیر بین چشمه و گیرنده در نهایت باعث تحریک لرزه‌سنج می‌شوند و لرزه‌نگار آنها را ثبت می‌کند. به عبارتی با پاسخ آنها هم‌آمیخت می‌شود. برای تعیین بزرگی ضروری است که پاسخ دستگاهی (instrument response) در نظر گرفته شود. دستگاه‌های لرزه‌نگاری با توجه به محدوده دینامیکی خود و سایر پارامترها دامنه امواج لرزه‌ای را ثبت می‌کنند و کالیبره بودن لرزه‌سنج مورد استفاده و پاسخ بسامدی آن نقش اساسی در مقدار بزرگی تعیین شده دارد. مقادیر پاسخ دستگاهی از هم‌آمیختن منحنی‌های پاسخ لرزه‌سنج،



شکل ۲. پاسخ بسامدی دستگاه در شبکه لرزه‌نگاری تهران.

برابر بیشینه سرعت جابه‌جایی ( $v$ ) در ایستگاه‌ها روی لرزه‌نگاشت نشان داده شده است. مقادیر  $R(F)$  را با توجه به زمان تناوب موج اندازه‌گیری شده می‌توان از منحنی شکل ۲ به دست آورد. مثلاً در شکل ۳، برای ایستگاه تهران (TEH) مقدار  $R(F)$  در بسامد  $F=1/0.12 \approx 8.3$  هرترز برابر  $983651851 \text{ count} \times \text{seconds/meter}$  است که در نتیجه دو برابر بیشینه سرعت جابه‌جایی برابر می‌شود با

$$v = \frac{PA}{R(F)} = \frac{14064795}{983651851} \times 10^6 = 14300 \mu\text{m} \text{ s}^{-1}$$

### ۳ محاسبه بزرگی $M_N$

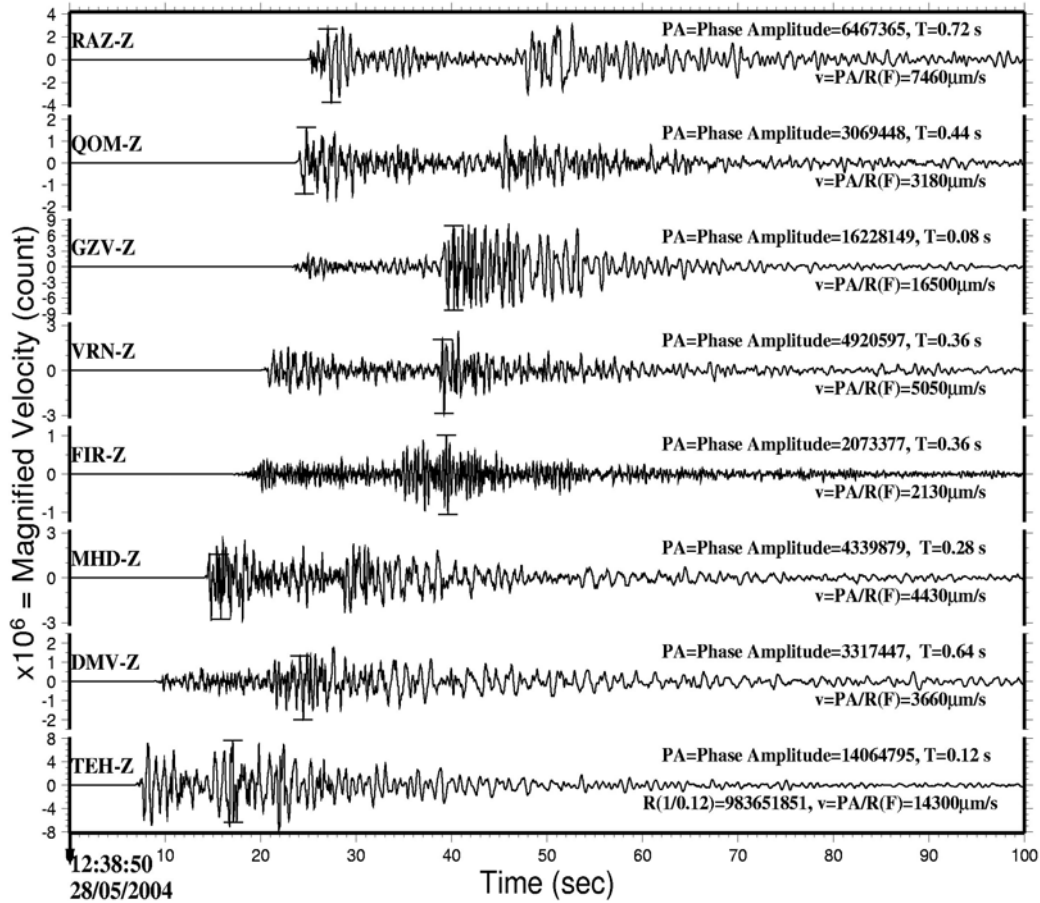
ناتالی (۱۹۷۳) مقیاس  $m_b(Lg)$  را بر اساس دامنه موج  $Lg$  با دوره تناوب حدود ۱ ثانیه برای تعیین بزرگی زمین‌لرزه‌های رخ داده در مناطق مرکزی و شرق

درون‌یابی محاسبه می‌کند و به صورت زیر مقدار سرعت جابه‌جایی واقعی زمین را بر حسب متر بر ثانیه به دست می‌دهد.

$$v = \frac{PA}{R(F)} \left[ \frac{\text{count}}{\text{count} \times \text{seconds/meter}} = \frac{\text{m}}{\text{sec}} \right]$$

که  $PA$ ،  $F$ ،  $R(F)$ ،  $v$  به ترتیب دامنه فاز (peak-to-peak amplitude)، بسامد، مقدار پاسخ دستگاه در بسامد  $F$ ، سرعت جابه‌جایی زمین بر حسب متر بر ثانیه است و برای تبدیل سرعت به جابه‌جایی، کافی است آن را به  $2\pi F$  تقسیم کنیم.

شکل ۳ مؤلفه قائم شکل موج‌های (wave forms) زمین‌لرزه کجور- بلده را که در ایستگاه‌های شبکه لرزه‌نگاری تهران ثبت شده‌اند نشان می‌دهد. مقادیر دامنه اندازه‌گیری شده، زمان تناوب موج اندازه‌گیری شده و دو



شکل ۳. مؤلفه قائم لرزه‌نگاشت‌های زمین‌لرزه کجور- بلده که در ایستگاه‌های شبکه لرزه‌نگاری تهران ثبت شده است. دو خط افقی کوچک محدوده بیشینه سرعت جابه‌جایی یعنی همان مقدار دامنه فاز را مشخص می‌کند که در محاسبه بزرگی به‌کار می‌رود.

(۱a)

$$m_b(Lg) = 3.30 + 1.66(\log \Delta) + \log\left(\frac{A}{T}\right)$$

For  $4^\circ \leq \Delta \leq 30^\circ$

(۱b)

که  $A$  بیشینه دامنه (zero-to-peak amplitude) برحسب میکرون،  $T$  زمان تناوب متناظر برحسب ثانیه و  $\Delta$  فاصله رومرکزی برحسب درجه است. ناتلی در رابطه فوق مقادیر ثابت 3.30 و 3.75 را با مساوی قرار دادن مقادیر  $m_b$  محاسبه شده از  $Lg(1\text{-sec})$  با مقادیر  $m_b$  محاسبه شده با استفاده از امواج دور لرزه‌ای  $P$  یا  $P_n$  به‌دست آورد.

ایالات متحد تعریف کرد. ناتلی اندازه‌گیری‌های مؤلفه قائم لرزه‌نگاشت‌های ثبت شده ایستگاه‌های شبکه لرزه‌نگاری استاندارد جهانی (WWSSN) Seismographic Network را مورد استفاده قرار داد. ناتلی (۱۹۷۳) با استفاده از اندازه‌گیری‌های موج  $Lg(1\text{-sec})$  روی لرزه‌نگاشت‌های مؤلفه قائم مربوط به زمین‌لرزه‌های با بزرگی  $m_b=3.0$  تا  $m_b=5.5$  رابطه تجربی زیر را برای تعیین بزرگی زمین‌لرزه‌های مرکز ایالات متحد به‌دست آورد:

$$m_b(Lg) = 3.75 + 0.90(\log \Delta) + \log\left(\frac{A}{T}\right)$$

For  $0.5^\circ \leq \Delta \leq 4^\circ$

## ۴ بحث

بزرگی با استفاده از نسبت دامنه به زمان تناوب موج خاص ثبت شده و فرمولی تجربی به دست می‌آید. مسلماً با افزایش فاصله ایستگاه لرزه‌نگاری ثبت‌کننده از مرکز زمین لرزه، افت دامنه بیشتر می‌شود. اما علاوه بر فاصله عواملی زیادی مثل عمق زمین لرزه، الگوی تابش تشعشع، گسترش هندسی، پاشندگی و خصوصیات مربوط به ایستگاه لرزه‌نگاری و غیره در دامنه ثبت شده تأثیر دارند. لذا انتظار می‌رود که مقادیر بزرگی (یک مقیاس خاص) برآورد شده توسط مراکز و سازمان‌های گوناگون در یک زمین لرزه متفاوت باشد. برای زمین لرزه‌های ثبت شده در فواصل محلی و منطقه‌ای (چند کیلومتر تا ۲۰۰۰ کیلومتری کانون زمین لرزه)، مقیاس‌های بزرگی به شدت به ساختار زمین‌شناختی منطقه‌ای بستگی دارد. همچنین نوع موج لرزه‌ای مورد استفاده هم در مقدار بزرگی برآورد شده تأثیر دارد، لذا ضرورت ندارد که مقادیر بزرگی برآورد شده برای یک زمین لرزه با استفاده از مقیاس‌های متفاوت ( $M_L$ ,  $m_b$ ,  $M_S$ ,  $M_N$ ) یکسان باشند (جدول ۱). اما تفاوت این مقیاس‌ها برای زمین لرزه‌های متوسط و بزرگ نباید خیلی زیاد باشد. مقیاس‌های متفاوت بزرگی را کالیبره می‌کنند تا مقادیر بزرگی مشابهی برای یک زمین لرزه به دست بدهند.

در شبکه لرزه‌نگاری تهران از اندازه‌گیری‌های مؤلفه قائم برای تعیین بزرگی استفاده می‌کنند. معمولاً برای تعیین بزرگی زمین لرزه‌های محلی از اندازه‌گیری‌های مؤلفه‌های افقی استفاده می‌شود. چون در زمین لرزه‌های محلی فواصل رومرکزی کوتاه است، لذا زاویه ورود موج به ایستگاه، نزدیک به افق است. در نتیجه بیشتر انرژی صرف جابه‌جایی افقی می‌شود و دامنه جابه‌جایی ثبت شده روی مؤلفه‌های افقی بیشتر از مؤلفه قائم است. شکل‌های ۴-ا و ۴-ب مشابه شکل ۳ مؤلفه‌های افقی لرزه‌نگاشت‌های زمین لرزه کجور-بلده را نشان می‌دهند.

از وقتی که  $m_b(Lg)$  با استفاده از امواج  $Lg$  با بسامد 2 تا 10 هرتر تعیین شد، آن را  $M_N$  یا  $m_N$  نامیدند که حرف  $N$  برگرفته از نام ناتلی است و برای زمین لرزه‌های رخ داده در جنوب کانادا و شمال شرقی ایالات متحد به کار رفته است (هاسه‌جاوا، ۱۹۸۳ و کیم، ۱۹۹۸).

در مرکز لرزه‌نگاری کشوری برای پردازش داده‌ها از برنامه DAN استفاده می‌شود. در این برنامه به منظور تعیین بزرگی، از مقیاس  $M_N$  استفاده می‌شود هرچند که منبع دقیق و مشخصی برای رابطه مورد استفاده در تعیین بزرگی  $M_N$  در مرکز لرزه‌نگاری کشوری وجود ندارد. بر اساس مطالعات رضایپور (۲۰۰۳ و ۲۰۰۵) رابطه مورد استفاده برای تعیین  $M_N$  در مرکز لرزه‌نگاری کشوری به صورت زیر است:

$$M_N = \log\left(\frac{A}{2}\right) + 1.66 \log(\Delta) - \log(T) - 0.1 \quad (2)$$

که  $A$  دو برابر بیشینه دامنه برحسب میکرون،  $\Delta$  فاصله رومرکزی برحسب کیلومتر و  $T$  زمان تناوب موج متناظر اندازه‌گیری شده برحسب ثانیه است. به نظر می‌آید که رابطه (۲) همان رابطه (۱-ب) است که به جای فاصله برحسب درجه برحسب کیلومتر به کار برده شده است یعنی کافی است که از رابطه (۱-ب) مقدار  $1.66 \log(111) = 3.4$  کسر شود. چون در ایستگاه‌ها از لرزه‌سنج سرعت‌نگار استفاده شده است، لذا رابطه (۲) پس از جایگزینی  $A$  با  $v$  ( $A = v/2\pi F$ ) و حذف عبارت  $-\log(T)$  به صورت زیر خواهد بود.

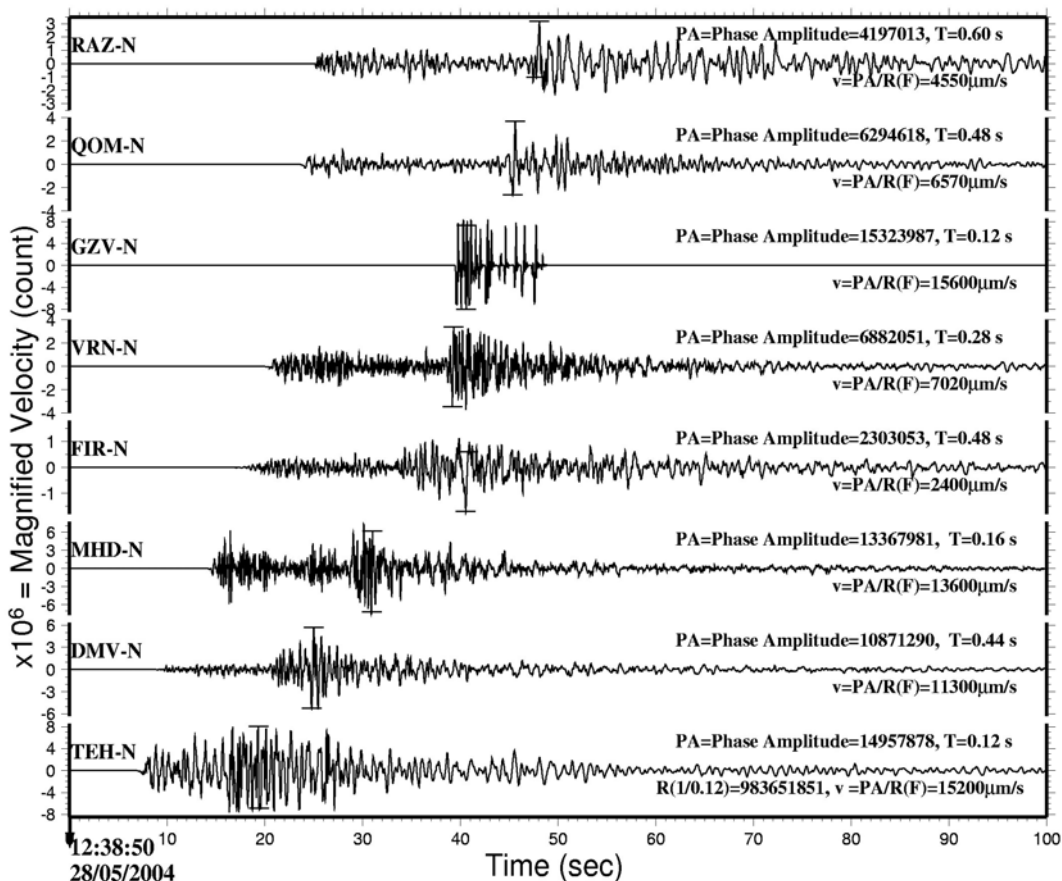
$$M_N = \log\left(\frac{v}{4\pi} \times T\right) + 1.66 \log(\Delta) - \log(T) - 0.1 = \log\left(\frac{v}{4\pi}\right) + 1.66 \log(\Delta) - 0.1 \quad (3)$$

که  $v$  بیشینه سرعت جابه‌جایی برحسب میکرومتر بر ثانیه و  $\Delta$  فاصله رومرکزی برحسب کیلومتر است.

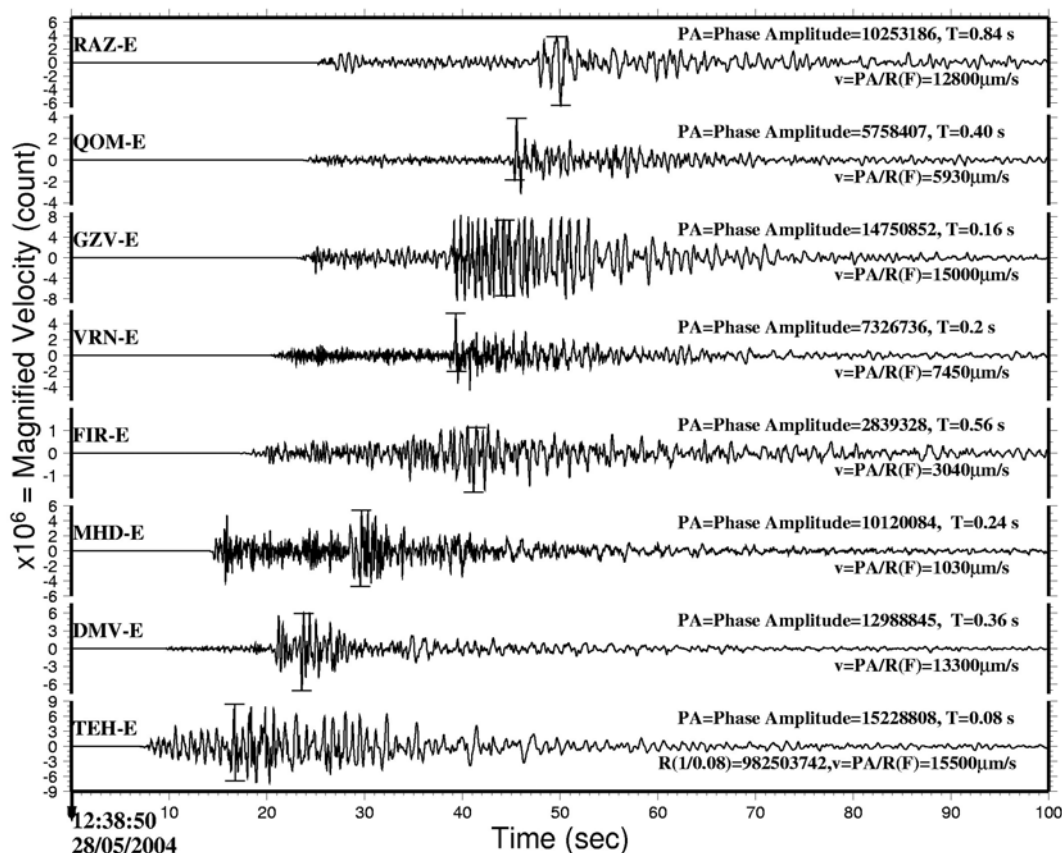
شکل های ۴-a و ۴-b نشان می دهند که بیشینه سرعت جابه جایی در مؤلفه های افقی در مقایسه با مؤلفه قائم (شکل ۳) بیشتر (تقریباً دو برابر) است.

در این بررسی با فرض هر درجه برابر ۱۱۱ کیلومتر در ناحیه مورد بررسی، فواصل رومرکزی و آزمون موج ورودی به ایستگاه لرزه نگاری با توجه به مختصات ایستگاه های لرزه نگاری و مختصات گزارش شده برای رومرکز زمین لرزه از سوی مؤسسه ژئوفیزیک (51.618°E , 36.352°N) محاسبه و در جدول ۲ درج شد.

همان طور که قبلاً هم ذکر شد، علاوه بر ایستگاه های شبکه لرزه نگاری تهران سایر ایستگاه های مرکز لرزه نگاری کشوری زمین لرزه کجور- بلده را ثبت کرده اند و از داده آنها نیز می توان استفاده کرد. اما به خاطر اینکه در بزرگی گزارش شده ( $M_N=5.5$ ) بیشتر از داده شبکه لرزه نگاری تهران استفاده شده است، در نتیجه در این بررسی، داده های ثبت شده در شبکه لرزه نگاری تهران بیشتر مورد بررسی قرار می گیرند. در شکل های بالا، زمان تناوب و دو برابر بیشینه سرعت جابه جایی (v) روی لرزه نگاشت ها مشخص شده است.



شکل ۴- a. مؤلفه شمالی - جنوبی لرزه نگاشت های زمین لرزه کجور- بلده که در ایستگاه های شبکه لرزه نگاری تهران ثبت شده است. دو خط افقی کوچک محدوده بیشینه سرعت جابه جایی را مشخص می کند که برای محاسبه بزرگی به کار می رود. به نظر می آید لرزه نگاشت مربوط به مؤلفه شرقی - غربی ایستگاه قزوین که قطع شدگی داشته، درست نباشد و به همین خاطر در محاسبه بزرگی، از مؤلفه N-S ایستگاه قزوین استفاده نشد.



شکل ۴-ب. مؤلفه شرقی - غربی لرزه‌نگاشت‌های زمین‌لرزه کجور - بلده که در ایستگاه‌های شبکه لرزه‌نگاری تهران ثبت شده است. دو خط افقی کوچک محدوده بیشینه سرعت جابه‌جایی را مشخص می‌کند که در محاسبه بزرگی به کار می‌رود.

مقادیر بزرگی ایستگاهی با استفاده از رابطه (۳) و بیشینه سرعت اندازه‌گیری محاسبه شده در جدول ۲ آمده است. مقایسه مقدار بزرگی به دست آمده با استفاده از رابطه (۳) ( $M_N=6.0$ ) با آنچه که گزارش شده ( $M_N=5.5$ ) نشان می‌دهد که بزرگی گزارش شده کمتر برآورد شده است. یکسان نبودن مقدار بزرگی  $M_N$  گزارش شده از سوی IGUT با آنچه که در این بررسی تعیین شد، می‌تواند علل گوناگونی از جمله یکسان نبودن تعداد ایستگاه‌های مورد استفاده برای تعیین بزرگی و غیره باشد. بررسی نشان می‌دهد که عامل اصلی، نرم‌افزار مورد استفاده (DAN) است. البته به علت دسترسی نداشتن به

ترتیب لرزه‌نگاشت‌ها در شکل‌های ۳، ۴-ا و ۴-ب براساس فاصله مرکزی محاسبه شده نیست، بلکه ترتیب آنها با توجه به ظاهر شکل موج‌ها (زمان رسید موج P) انتخاب شده است. مقایسه ظاهر شکل موج در ایستگاه قزوین با ایستگاه ورامین نشان می‌دهد که موج P دیرتر به ایستگاه قزوین رسیده است. در صورتی که فاصله رومرکزی ایستگاه قزوین کم‌تر از ورامین است (جدول ۲). این اختلاف ممکن است به خاطر تأخیر مربوط به ارسال داده از ایستگاه قزوین (تأخیر تجهیزاتی)، خطای تعیین محل، شرایط زمین‌شناختی مسیر و زیر ایستگاه و نظیر آن باشد.



این علت در مورد زمین‌لرزه کجور- بلده جزئی است. رضایپور (۲۰۰۳) نشان داد رابطه ۲ بزرگی زمین‌لرزه‌های رخ داده در فواصل بیشتر از 106km را در مقایسه با مقادیر تعیین شده از سوی مراکز ISC و NEIC کمتر برآورد می‌کند و برای کالیبره کردن مقادیر  $M_N$  با  $m_b$  رابطه زیر را برای استفاده در شبکه لرزه‌نگاری تهران ارائه کرد.

مرجع این برنامه که شرکت کانادایی Nanometrics آن را تهیه کرده است، هنوز بعضی ابهامات در مورد محاسبه  $M_N$  در این برنامه وجود دارد. علت دیگر کمتر برآورد شدن این بزرگی گزارش شده شده (under estimated) می‌تواند رابطه مورد استفاده برای تعیین بزرگی در این برنامه باشد هر چند که

جدول ۲. خلاصه اطلاعات به دست آمده از پردازش لرزه‌نگاشت‌ها برای تعیین بزرگی.

Network	Station name	Station code	Station Latitude (degree)	Station Longitude (degree)	Epicentral Distance (km)	Azimuth (degree)	Component Z,N,E	Period (second)	Peak-to peak Amplitude ( $\mu\text{m/s}$ )	station $M_N$ using Z data (eq.3)	station $M_N$ using Z data (eq.4)	station $M_N$ using NS,EW data (eq.4)
Tehran	Razeghan	RAZ	35.4046	49.9290	185	236	Z	0.72	7460	6.4	6.6	6.9
							N	0.60	4550			
							E	0.84	12800			
	Qom	QOM	34.8424	51.0703	175	197	Z	0.44	3180	6.0	6.2	6.7
							N	0.48	6570			
							E	0.40	5930			
	Gazvin	GZV	36.3859	50.2184	125	272	Z	0.08	16500	6.5	6.6	6.5*
							N	0.12	15600			
							E	0.16	15000			
	Varamin	VRN	34.9964	52.7278	151	176	Z	0.36	5050	6.1	6.3	6.6
							N	0.28	7020			
							E	0.20	7450			
	Firuzkuh	FIR	35.6415	52.7536	129	127	Z	0.36	2130	5.6	5.7	6.0
							N	0.48	2400			
							E	0.56	3040			
	Mahdasht	MHD	35.6853	50.7775	113	229	Z	0.28	4430	5.9	5.9	6.5
							N	0.16	13600			
							E	0.24	10300			
	Damavand	DMV	35.5772	52.0322	94	156	Z	0.64	3660	5.6	5.6	6.3
							N	0.44	11300			
							E	0.36	13300			
	Tehran	TEH	35.7367	51.3817	72	197	Z	0.12	14300	6.0	6.0	6.2
							N	0.12	15200			
							E	0.08	15500			
<b>Average magnitude = Event magnitude = Network magnitude (using only Tehran Network data)</b>										<b>6.0</b>	<b>6.1</b>	<b>6.5</b>
Mazandaran	Kiasar	KIA	36.2069	53.6837	186	94	Z	0.52	1350	5.7	5.9	
	Galogah	GLO	36.5024	53.8309	198	85	Z	0.64	4790	6.3	6.5	
	Pran	PRN	36.2421	52.2421	57	102	Z	0.32	12300	5.8	5.8	
Semnan	Anjilu	ANJ	35.4672	33.9144	229	115	Z	0.56	870	5.7	5.9	
	Lasjerd	LAS	35.3822	52.9589	162	131	Z	0.80	2140	5.8	6.0	
	Shahmizad	SHM	35.8067	53.2922	162	111	Z	0.52	3610	6.0	6.2	
<b>Average magnitude = Event magnitude = Network magnitude (using all data)</b>										<b>6.0</b>	<b>6.1</b>	

\* به علت اشکال موجود در لرزه‌نگاشت مؤلفه N-S فقط از داده مؤلفه E-W استفاده شد. قسمت‌های خاکستری جدول مربوط به داده‌های مؤلفه‌های افقی است.

اندازه گیری شده روی لرزه‌نگاشت‌های مؤلفه قائم به دست آمده است.

### ۵ نتیجه گیری

بزرگی زمین لرزه کجور- بلده با استفاده از بیشینه سرعت جابه‌جایی امواج با بسامد 12.5-1.4 هرتز ثبت شده در ایستگاه‌های لرزه‌نگاری تهران و با  $\text{maximum azimuth gap}$  برابر 205 درجه برابر  $M_N=6.1$  برآورد شد. مقایسه بزرگی تعیین شده در این مطالعه با آنچه که IGUT گزارش شده نشان می‌دهد که بزرگی گزارش شده حدود 0.6 کمتر برآورد شده است. عمده علت کمتر بودن بزرگی گزارش شده، نرم‌افزار مورد استفاده برای پردازش داده، یعنی DAN است که تا در دسترس نبودن مرجع برنامه، جزئیات مربوطه نامشخص باقی خواهد بود و توصیه می‌شود تا رفع مشکل یادشده، درستی بزرگی محاسبه شده با برنامه برای زمین لرزه‌های با بزرگی  $M_N > 5.0$  حتماً نتایج را کاربر کنترل و سپس گزارش کند.

تحقیقات نشان داده که برای برآورد بزرگی زمین لرزه‌های محلی، استفاده از لرزه‌نگاشت مؤلفه افقی در مقایسه با لرزه‌نگاشت مؤلفه قائم مناسب است. برای زمین لرزه کجور- بلده برآیند برداری دامنه موج Lg اندازه گیری شده تقریباً دو برابر دامنه روی لرزه‌نگاشت مؤلفه قائم است.

### تشکر و قدردانی

این پژوهش در چارچوب طرح پژوهشی شماره ۶۲۰۱۰۲۷/۱/۰۱ صورت گرفته است. بدین وسیله از شورای پژوهشی مؤسسه ژئوفیزیک و شورای پژوهشی دانشگاه تهران تشکر و قدردانی می‌شود. از مسئولین مرکز لرزه‌نگاری کشوری و شبکه لرزه‌نگاری تهران به خاطر در اختیار قرار دادن داده‌های زمین لرزه کجور- بلده تشکر و قدردانی می‌شود.

$$M_N = \begin{cases} \log\left(\frac{v}{4\pi}\right) + 1.66 \log(\Delta) - 0.1 \\ \text{For } \Delta \leq 106 \text{ km} \\ \log\left(\frac{v}{4\pi}\right) + 2.5 \log(\Delta) - 1.8 \\ \text{For } 106 < \Delta \leq 600 \text{ km} \end{cases} \quad (۴)$$

بزرگی زمین لرزه کجور- بلده با استفاده از رابطه (۴) و داده‌های ۱۴ ایستگاه لرزه‌نگاری ثبت کننده برابر  $M_N=6.1$  برآورد شد (جدول ۲) که اختلاف جزئی با آنچه که از رابطه (۳) به دست می‌آید دارد چون اکثر فواصل رومرکزی، خیلی بیشتر از ۱۰۶ کیلومتر نیستند.

تحقیقات نشان داده است که برای محاسبه بزرگی زمین لرزه‌های محلی، اندازه گیری‌های صورت گرفته از مؤلفه‌های افقی نسبت به مؤلفه قائم مناسب تر است. ناتلی (۱۹۸۰) با استفاده از اندازه گیری‌های دامنه مؤلفه‌های افقی و قائم موج Lg با زمان تناوب 1-sec روی لرزه‌نگاشت‌های مربوط به زمین لرزه‌های رخ داده در ایران که ایستگاه‌های لرزه‌نگاری آنالوگ WWSSN شیراز، مشهد و تبریز ثبت کرده بودند نشان داد که در همه فواصل رومرکزی دامنه مؤلفه افقی (برآیند برداری) دو برابر دامنه مؤلفه قائم است. در زمین لرزه کجور- بلده دو برابر بودن دامنه مؤلفه افقی در مقایسه با مؤلفه قائم مشاهده می‌شود.

همچنین در این مطالعه بزرگی با استفاده از اندازه گیری‌های مؤلفه‌های افقی محاسبه و در جدول ۲ درج شد. در محاسبه بزرگی با استفاده از مؤلفه‌های افقی از برآیند برداری بیشینه سرعت جابه‌جایی یعنی  $v = \sqrt{(v_{NS})^2 + (v_{EW})^2}$  استفاده شد. مقایسه مقادیر بزرگی محاسبه شده برای زمین لرزه کجور- بلده با استفاده از مؤلفه‌های متفاوت نشان می‌دهد که بزرگی برآورد شده با استفاده از مؤلفه‌های افقی در مقایسه با آنچه که از مؤلفه قائم به دست می‌آید 0.4 بیشتر است. لازم به ذکر است که رابطه (۴) با استفاده از داده‌های

- Nanometrics, Inc., DAN user's guide, release 2.53, November, 1995.
- Nuttli, O. W., 1973, Seismic wave attenuation and magnitude relations for eastern North America: *J. Geophys. Res.*, **78**, 876-885.
- Nuttli, O. W., 1980, The excitation and attenuation of seismic crustal phases in Iran: *B. Seismol. Soc. Am.*, **70**, 469-485.
- Richter, C. F., 1935, An instrumental earthquake magnitude scale: *B. Seismol. Soc. Am.*, **25**, 1-32.
- Rezapour, M., 2003, Preliminary investigation of recorded data and magnitude determination in Tehran telemetric seismic network: *J. Earth and Space Physics*, **29**, 55-65 (in Farsi).
- Rezapour, M., 2005, Magnitude scale in Tabriz Network: *J. Earth and Space Physics*, **31**, 13-21.
- Båth, M., 1981, Earthquake magnitude-recent research and current trend: *Earth Sic. Rev.*, **17**, 315-398.
- Hasegawa, H. S., 1983, Lg spectra of local earthquakes recorded by the eastern Canada telemetered network and spectral scaling: *B. Seismol. Soc. Am.*, **73**, 1041-1061.
- Kim, W. Y., 1998, The  $M_L$  scale in eastern North America. *B. Seismol. Soc. Am.*, **88**, 935-951.
- Lee, W. H. K., Bennett, R. E., and Meagher, L., 1972, A method for estimating magnitude of local earthquakes from signal duration. USGS Open file report.
- Lee, W. H. K., and Lahr, J. C., 1975, Hypo71 (revised): A computer program for determining hypocenter, magnitude and first motion pattern of local earthquakes. Open file report, U. S. Geological survey, 75-311.

منابع