

بررسی داده‌های ثبت شده و تعیین بزرگی در شبکه لرزه‌نگاری تهران

مهدی رضاپور*

*موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، صندوق پستی ۲۴۶۶-۱۴۱۵۵

دریافت مقاله: ۸۱/۱۲/۱۷ پذیرش مقاله: ۸۲/۱۰/۲۳

چکیده

دقت پارامترهای مبنایی زمین‌لرزه‌ها، مثل بزرگی و مختصات موقعیت رومرکز آنها و غیره، در تشریح لرزه خیزی منطقه و سایر مطالعات زلزله شناسی نقش ویژه ای دارند. بررسی انجام شده در این مطالعه نشان میدهد که داده‌های بایگانی شده در شبکه لرزه‌نگاری تهران کامل نیست و در موارد زیادی اطلاعات مربوط به فاصله رومرکز و دامنه جابه‌جایی و مانند آن که خیلی ضروری برای تعیین بزرگی و یا سایر مطالعات میباشد ذخیره نشده است که احتمالاً هنگام ادغام اطلاعات زمین‌لرزه‌ها در یک لیست، اطلاعات کامل بایگانی نشده است. همچنین بررسی انجام شده نشان میدهد که برای محاسبه مقادیر بزرگی ذخیره شده در بانک اطلاعاتی مورد استفاده از یک روش و فرمول واحدی استفاده نشده است بطوریکه مقادیر بدست آمده از محاسبه مجدد بزرگی با استفاده از داده‌های ذخیره شده، در موارد زیادی با مقادیر بزرگی بایگانی شده در بانک اطلاعاتی برابر نیستند. مقایسه مقادیر بزرگی تعیین شده برای زمین‌لرزه‌های ثبت شده در ایستگاه‌های شبکه لرزه‌نگاری تهران با آنچه که ISC اعلام و منتشر می‌کند نشان می‌دهد که بزرگی تعیین شده در شبکه لرزه‌نگاری تهران (M_L) کوچکتر از بزرگی m_b منتشر شده در بولتن ISC است. در این مطالعه جهت تعیین بزرگی زمین‌لرزه‌های محلی ثبت شده در شبکه لرزه‌نگاری تهران با استفاده از مقادیر بزرگی منتشر شده در بولتهای ISC و NEIC یک فرمول تجربی بصورت $M_L = \log(v/4\pi) + 2.5 \log(\Delta) - 1.8$ ارائه می‌شود و بررسی انجام شده نشان می‌دهد که مقادیر بزرگی محاسبه شده با استفاده از این رابطه دقیقتر بوده و تقریباً برابر با مقادیر بزرگی منتشر شده در بولتن ISC هستند.

کلیدواژه: شبکه لرزه‌نگاری، بزرگی، بانک اطلاعاتی

۱ مقدمه

شده است. در هر ایستگاه سه دستگاه لرزه‌سنج در سه راستای قائم (Z)، شمالی-جنوبی (N-S) و شرقی-غربی (E-W) برای ثبت سه مولفه سرعت جابه‌جایی زمین قراردارد. در صورت وقوع زمین‌لرزه‌ای که حداقل چهار ایستگاه لرزه‌نگاری شبکه آن را ثبت نمایند، سامانه در اصطلاح تریگر (trigger) می‌کند و اعلام وقوع صورت می‌گیرد.

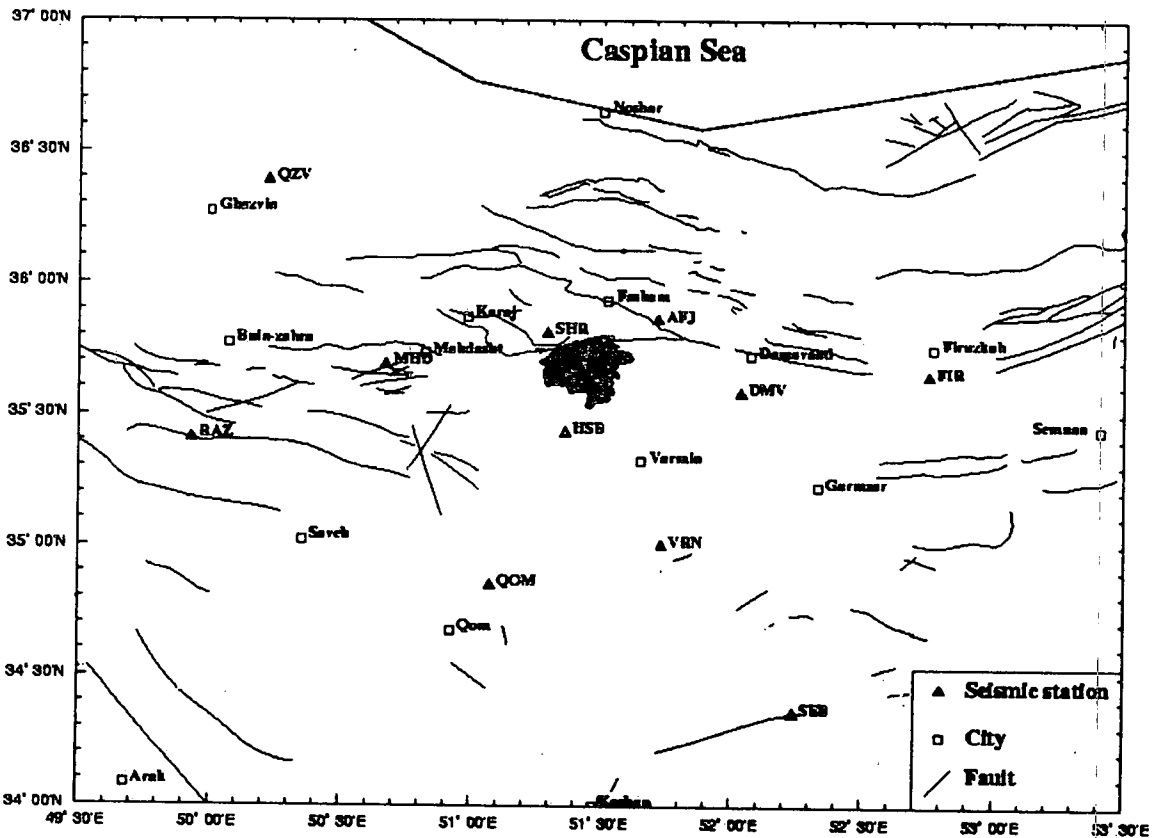
در شبکه لرزه‌نگاری تهران جهت تعیین محل زمین‌لرزه‌های ثبت شده و به‌دست آوردن پارامترهای مبنایی زمین‌لرزه‌ها از نرم‌افزار Data Analysis Nanometrics (DAN) استفاده می‌شود که این نرم‌افزار برای تعیین موقعیت زمین‌لرزه و بزرگی آن، از دو برنامه Hypo71 نوشته لی و همکاران (۱۹۷۲)، لی و لاهر (۱۹۷۵) و LOC استفاده می‌کند.

شبکه لرزه‌نگاری تله‌متری تهران متشکل از دوازده ایستگاه لرزه‌نگاری در اواخر سال ۱۹۹۵ میلادی در گستره‌ای به وسعت حدود ۵۸۰۰۰ کیلومترمربع در حاشیه جنوبی البرز مرکزی نصب و راه اندازی شد. داده‌های هفت ایستگاه به‌طور مستقیم و داده‌های پنج ایستگاه دیگر با استفاده از تکرارکننده به مرکز شبکه مخابره می‌شوند. جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های شبکه را نشان می‌دهد و موقعیت این ایستگاه‌ها همراه با گسله‌های منطقه در شکل ۱ نشان داده شده است. شبکه لرزه‌نگاری تهران از طریق خط تلفن و مودم (modem) می‌تواند با مراکز شبکه‌های لرزه‌نگاری دیگر مثل شبکه‌های لرزه‌نگاری تبریز، مازندران و مانند آن ارتباط برقرار کند.

در ایستگاه‌های شبکه از لرزه‌سنج SS-1 ساخت شرکت کینمتریکس (Kinometrics) که نوعی سرعت نگار است استفاده

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های لرزه‌نگاری و تکرارکننده شبکه لرزه‌نگاری تهران.

| محل ایستگاه | علامت اختصاری | طول جغرافیایی (درجه) | عرض جغرافیایی (درجه) | ارتفاع (متر) | ملاحظات |
|-------------|---------------|----------------------|----------------------|--------------|----------------------------------|
| افجه | AFJ | ۵۱/۷۱۲۵ | ۳۵/۸۵۶۰ | ۲۷۴۰ | ایستگاه لرزه‌نگاری |
| داموند | DMV | ۵۲/۰۳۲۲ | ۳۵/۵۷۷۲ | ۲۳۰۰ | ایستگاه لرزه‌نگاری و تکرار کننده |
| فیروزکوه | FIR | ۵۲/۷۵۳۶ | ۳۵/۶۴۱۵ | ۲۳۸۰ | ایستگاه لرزه‌نگاری |
| غزوین | GZV | ۵۰/۲۱۸۴ | ۳۷/۳۸۵۹ | ۲۴۰۰ | ایستگاه لرزه‌نگاری |
| حسن‌آباد | HSB | ۵۱/۳۵۶۹ | ۳۵/۴۲۷۵ | ۱۰۹۸ | ایستگاه لرزه‌نگاری |
| ماهدشت | MHD | ۵۰/۶۶۷۵ | ۳۵/۸۵۰۳ | ۱۶۴۵ | ایستگاه لرزه‌نگاری و تکرار کننده |
| قم | QOM | ۵۱/۰۷۰۳ | ۳۴/۸۴۲۴ | ۹۷۵ | ایستگاه لرزه‌نگاری |
| رازنقان | RAZ | ۴۹/۹۲۹۰ | ۳۵/۴۰۴۶ | ۱۹۲۰ | ایستگاه لرزه‌نگاری |
| سفيدآب | SFB | ۵۲/۲۳۶۵ | ۳۴/۳۵۳۹ | ۱۰۰۰ | ایستگاه لرزه‌نگاری |
| شهران | SHR | ۵۱/۲۸۸۹ | ۳۵/۸۰۶۱ | | ایستگاه لرزه‌نگاری |
| تهران | TEH | ۵۱/۳۸۱۷ | ۳۵/۷۳۶۷ | ۱۴۶۲ | ایستگاه لرزه‌نگاری و مرکز شبکه |
| درامین | VRN | ۵۲/۷۲۷۸ | ۳۴/۹۹۶۴ | ۱۱۲۰ | ایستگاه لرزه‌نگاری و تکرار کننده |



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های شبکه لرزه‌نگاری تهران و گسل‌های منطقه.

۲ وضعیت داده‌های ثبت شده در شبکه

بر اساس داده‌های بانک اطلاعاتی مورد استفاده در این مطالعه، در شبکه لرزه‌نگاری تهران از پنجم ژانویه ۱۹۹۶ تا اول اوت ۲۰۰۲ در مجموع ۷۷۲۱ زمین‌لرزه تعیین محل شده و برای آنها پارامترهای مربوطه تعیین شده است. اطلاعات مربوط به هر زمین‌لرزه از جمله، موقعیت رومرکز زمین‌لرزه، زمان رسید فازهای P و S، بزرگی و غیره است. برای نمونه، داده‌های مربوط به سه زمین‌لرزه موجود در بانک اطلاعاتی استفاده شده در این مطالعه، در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌طوری که جدول ۲ نشان می‌دهد از دوازده ایستگاه شبکه نه ایستگاه زمین‌لرزه اول را ثبت کرده‌اند و در سه ایستگاه دیگر احتمالاً امواج ثبت شده ضعیف بوده و یا این که هنگام وقوع زمین‌لرزه مذکور این ایستگاه‌ها فعال نبوده‌اند. برای این زمین‌لرزه اطلاعات اساسی در پنج ایستگاه کامل بوده است ولی برای چهار ایستگاه دیگر یعنی ایستگاه‌های GZV، QOM، SHR و VRN اطلاعات مربوط به فاصله رومرکزی، آزیموت و زاویه ورود موج ثبت نشده است و یا در مورد زمین‌لرزه دوم تمام ایستگاه‌های ثبت کننده، دارای اطلاعات مربوط به فاصله رومرکزی که برای محاسبه بزرگی اهمیت اساسی دارند، نبودند. در بانک اطلاعاتی مورد استفاده، تقریباً تمام اطلاعات مربوط به زمین‌لرزه‌های سال‌های ۱۹۹۷، ۱۹۹۸ و ۱۹۹۹ به همان صورت است و در مورد زمین‌لرزه سوم یعنی زمین‌لرزه چنگوره قزوین، باز هم اطلاعات در مورد چند ایستگاه ثبت کننده ناقص است. هم‌چنین در بعضی موارد مشاهده می‌شود که اطلاعات ایستگاه‌های سایر شبکه‌ها هم در بانک اطلاعات وجود دارد مثلاً در مورد زمین‌لرزه چنگوره قزوین، سه ایستگاه PIR، KLH و ZEF مربوط به شبکه اصفهان است. البته اینگونه موارد خیلی کم (کم‌تر از ۱٪ داده‌ها) است.

بررسی انجام شده نشان می‌دهد که در بانک اطلاعاتی مورد استفاده، در تعدادی از ستون‌ها مثل ستون مربوط به دامنه و فاصله صفر درج شده است که باعث می‌شود ایستگاه مربوطه در تعیین

مجدد پارامتری مثل بزرگی شرکت نکند. این در حالی است که زمین‌لرزه در آن ایستگاه ثبت شده است. اما تشخیص این که کدامیک از این ایستگاه‌های ذکر شده در جدول ۲ در تعیین محل و به‌خصوص بزرگی شرکت کرده‌اند، مقدور نیست، مگر این که با استفاده از شکل موج‌های ثبت شده، مجدداً پردازش شوند و بزرگی مربوطه هم تعیین شود و در حین این محاسبات ایستگاه‌های شرکت کننده در تعیین محل و بزرگی نیز مشخص شوند.

در شکل ۲a نمودار ستونی، تعداد ثبت‌ها و در شکل ۲b نمودار ستونی تعداد زمین‌لرزه‌ها به‌صورت ماهانه نشان داده شده است.

در شکل ۲، نمودار ستونی خاکستری کم‌رنگ مربوط به کل داده، و نمودار ستونی خاکستری پررنگ مربوط به قسمتی از داده است که برای آنها اطلاعات مورد نظر، مثل فاصله رومرکزی و دامنه موج P قرائت شده و مانند آن کامل است. واضح است که افزایش مشهود ارتفاع نمودار ستونی در ماه ژوئیه ۲۰۰۲، ناشی از پس‌لرزه‌های زمین‌لرزه چنگوره قزوین است. شکل ۲ نشان می‌دهد که در داده‌های مربوط به سال‌های ۱۹۹۷، ۱۹۹۸ و ۱۹۹۹ اطلاعاتی مثل فاصله رومرکز که برای محاسبه بزرگی ضروری است وجود ندارد. به‌نظر می‌آید که هنگام ادغام خلاصه سوابق، قسمتی از داده‌ها درست بایگانی نشده است.

در شکل ۳a و ۳b نمودار ستونی تعداد ایستگاه‌های ثبت کننده هر زمین‌لرزه برای کل ۷۷۱۸ زمین‌لرزه موجود در بانک اطلاعاتی و ۴۵۸۶ زمین‌لرزه که اطلاعات ضروری مربوطه مثل فاصله رومرکزی و دامنه در ایستگاه‌های ثبت کننده کامل است، مقایسه شده است. همان‌طوری که این شکل نشان می‌دهد با فیلتر کردن ثبت‌های ایستگاهی که یکی از اطلاعات مربوط به فاصله رومرکزی و دامنه، و یا هر دو آنها را ندارد، یعنی در بانک اطلاعاتی در ستون مربوطه صفر درج شده است، تعداد زمین‌لرزه‌ها از ۷۷۲۱ به ۴۵۸۶ کاهش می‌یابد و هم‌چنین از متوسط

تعداد ایستگاه‌های ثبت کننده هر زمین لرزه نیز کاسته می شود.

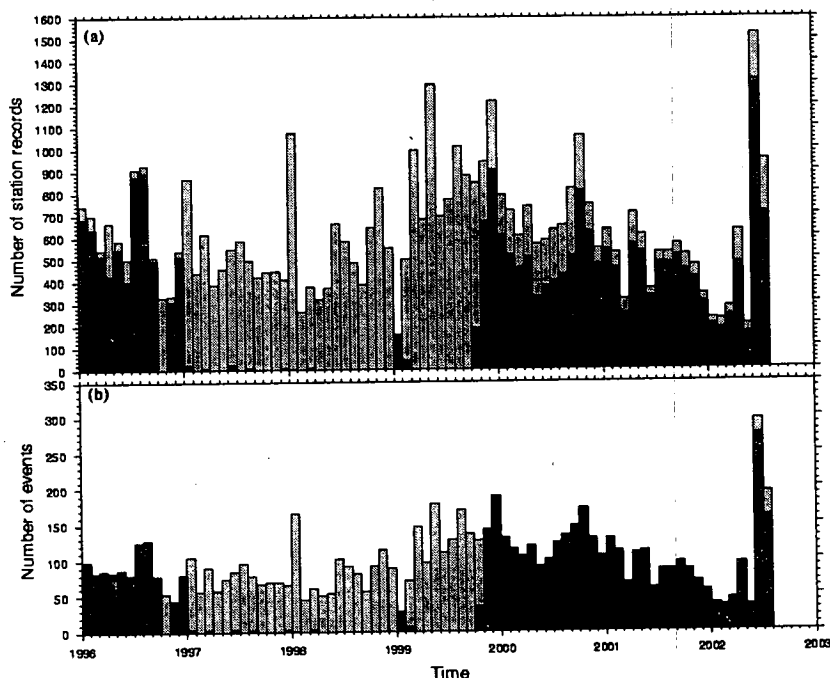
جدول ۲. نمونه ای از داده‌های مربوط به سه زمین لرزه در بانک اطلاعاتی مورد استفاده.

| Date | | | Origin time | | | Latitude | Longitude | Depth | M_L | RMS | Station | P-time | | | S-time | | | Distance | Azimuth | Emergence | | A | T/2 |
|------------|---|---|-------------|---|---|----------|-----------|-------|-------|------|---------|-------------|-------------|---|--------|-------|-------|----------|---------|-----------|-----|---|-----|
| Y | M | D | H | M | S | degree | degree | km | sec | code | H | M | S | H | M | S | Km | angle | angle | nm/s | sec | | |
| 1996/04/15 | | | 01:17:25.80 | | | 36.59 | 49.65 | 5.1 | 2.0 | 0.00 | DMV | 01:18:02.46 | 01:18:29.42 | | | 241.0 | 117.0 | .0 | .15 | .48 | | | |
| | | | | | | | | | | | HSB | 01:17:56.45 | 01:18:19.42 | | | 194.0 | 130.0 | .0 | .25 | .24 | | | |
| | | | | | | | | | | | RAZ | 01:17:47.41 | | | | 133.0 | 169.0 | .0 | .31 | .24 | | | |
| | | | | | | | | | | | MHD | 01:17:47.68 | | | | 135.0 | 137.0 | .0 | 1.13 | .08 | | | |
| | | | | | | | | | | | AFJ | 01:17:57.63 | 01:18:21.07 | | | 202.0 | 113.0 | .0 | .29 | .20 | | | |
| | | | | | | | | | | | GZV | 01:17:33.33 | | | | .0 | .0 | .0 | .94 | .08 | | | |
| | | | | | | | | | | | QOM | 01:18:02.64 | | | | .0 | .0 | .0 | .21 | .24 | | | |
| | | | | | | | | | | | SHR | 01:17:52.55 | | | | .0 | .0 | .0 | .69 | .20 | | | |
| | | | | | | | | | | | VRN | 01:18:05.53 | | | | .0 | .0 | .0 | .11 | .12 | | | |
| 1997/01/02 | | | 18:39:58.50 | | | 36.48 | 49.63 | 6.2 | 3.1 | 0.00 | AFJ | 18:40:32.47 | | | .0 | .0 | .0 | 2.40 | .16 | | | | |
| | | | | | | | | | | | DMV | 18:40:37.50 | 18:41:05.94 | | | .0 | .0 | .0 | 1.22 | .40 | | | |
| | | | | | | | | | | | GZV | 18:40:08.83 | | | | .0 | .0 | .0 | 13.40 | .12 | | | |
| | | | | | | | | | | | HSB | 18:40:30.89 | | | | .0 | .0 | .0 | 2.05 | .28 | | | |
| | | | | | | | | | | | QOM | 18:40:35.63 | | | | .0 | .0 | .0 | 4.41 | .28 | | | |
| | | | | | | | | | | | RAZ | 18:40:21.20 | 18:40:38.08 | | | .0 | .0 | .0 | 14.80 | .20 | | | |
| | | | | | | | | | | | SHR | 18:40:27.82 | 18:40:49.18 | | | .0 | .0 | .0 | 8.72 | .16 | | | |
| | | | | | | | | | | | FIR | 18:40:46.18 | | | | .0 | .0 | .0 | .60 | .32 | | | |
| | | | | | | | | | | | GZV | 18:40:20.30 | | | | .0 | .0 | .0 | .00 | .00 | | | |
| | | | | | | | | | | | SFB | 18:40:54.65 | | | | .0 | .0 | .0 | .00 | .00 | | | |
| 2002/06/22 | | | 02:58:20.90 | | | 35.85 | 49.08 | 6.1 | 5.3 | 0.05 | KLH | 02:59:15.19 | | | 362.0 | 140.0 | 48.0 | .00 | .00 | | | | |
| | | | | | | | | | | | PIR | 02:59:17.89 | | | | 388.0 | 154.0 | 48.0 | .00 | .00 | | | |
| | | | | | | | | | | | ZEF | 02:59:25.23 | | | | 443.0 | 137.0 | 48.0 | .00 | .00 | | | |
| | | | | | | | | | | | HSB | 02:58:55.54 | | | | 204.0 | 102.0 | 59.0 | 1950.00 | .88 | | | |
| | | | | | | | | | | | MHD | 02:58:47.38 | | | | 145.0 | 97.0 | -90.0 | 4410.00 | .80 | | | |
| | | | | | | | | | | | QOM | 02:58:57.58 | | | | 212.0 | 121.0 | -90.0 | 5820.00 | 1.20 | | | |
| | | | | | | | | | | | RAZ | 02:58:37.38 | 02:58:49.60 | | | 91.0 | 122.0 | -90.0 | 3100.00 | .72 | | | |
| | | | | | | | | | | | VRN | 02:59:02.31 | 02:59:32.61 | | | 258.0 | 111.0 | 48.0 | 1560.00 | .64 | | | |
| | | | | | | | | | | | DMV | 02:57:48.22 | 02:59:34.99 | | | .0 | .0 | .0 | .00 | .00 | | | |

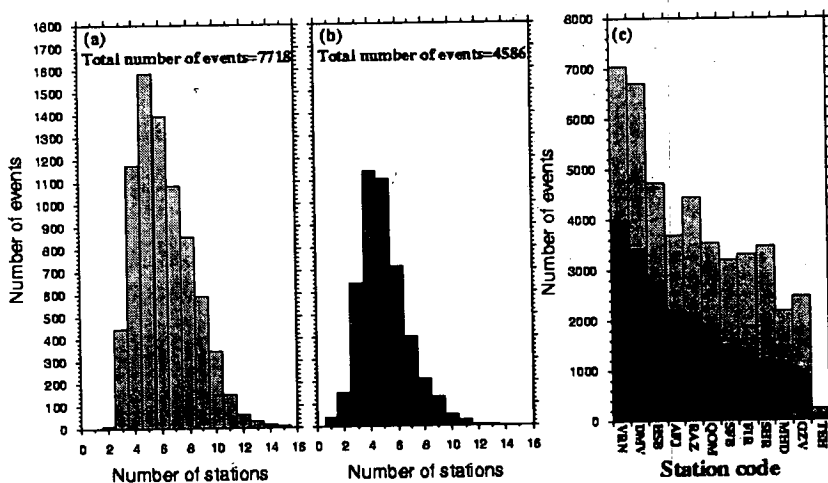
منظور از emergence angle همان زاویه ورود موج به ایستگاه لرزه‌نگاری بر حسب درجه است.
 A = دامنه موج اندازه گیری شده (peak to peak amplitude) بر حسب نانومتر بر ثانیه (nm/sec) است. توجه شود که دو برابر دامنه یا به عبارتی دو برابر سرعت جابه‌جایی واقعی زمین در بانک اطلاعاتی ذخیره شده است. T = زمان تناوب موج (فاز) اندازه گیری شده بر حسب ثانیه. در بانک اطلاعاتی نصف زمان تناوب ذخیره شده است.
 M_L = بزرگی محلی، RMS = خطای زمان وقوع زمین لرزه بر حسب ثانیه.

کمترین تعداد زمین لرزه را ثبت کرده است و این تفاوت علاوه بر چگونگی فعال بودن ایستگاه‌ها در مدت یادشده، بیشتر به لرزه خیزی منطقه و موقعیت ایستگاه‌ها و عوامل دیگر بستگی دارد. در شکل ۴ توزیع سطحی ۴۵۲۷ زمین لرزه با بزرگی $M_L \geq 1.0$ موجود در بانک اطلاعاتی مورد استفاده نشان داده شده است. لازم به ذکر است که این شکل بازگوکننده لرزه خیزی کل فلات ایران نیست.

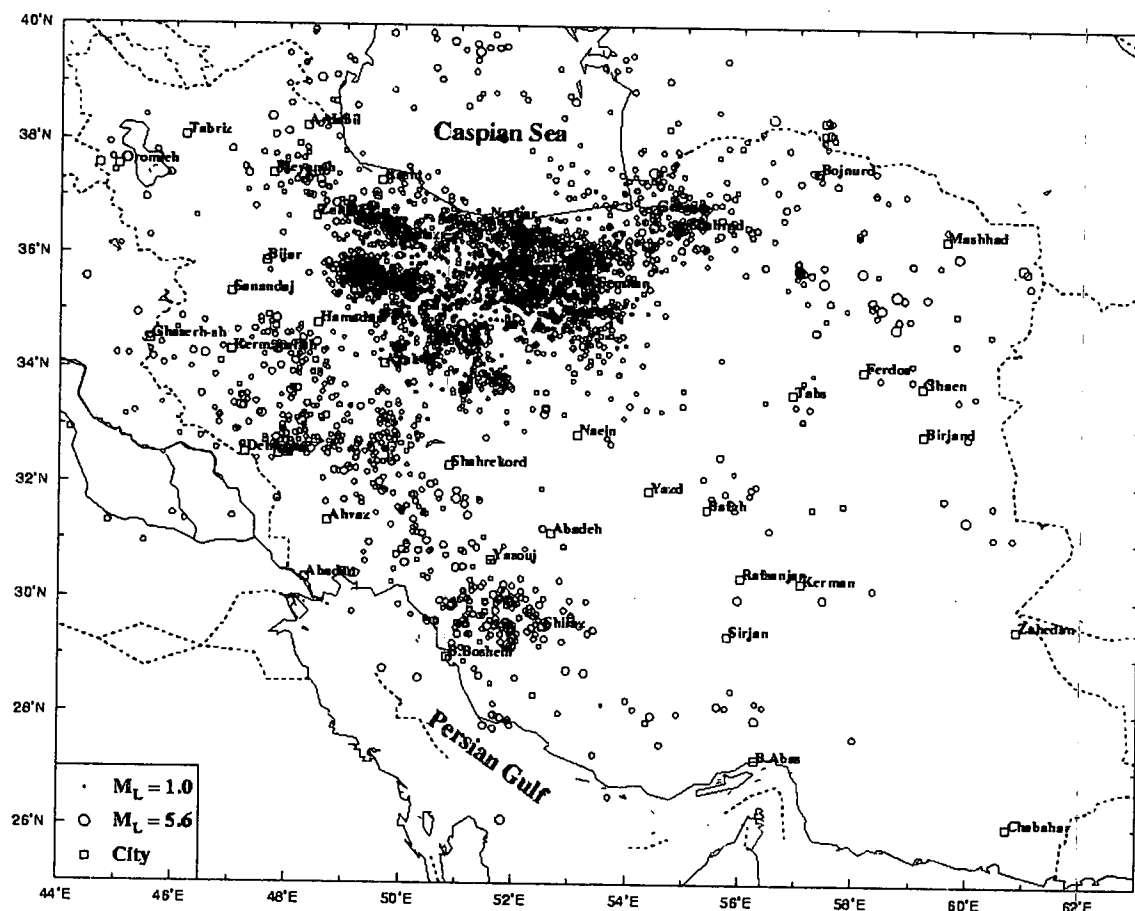
شکل ۳۳ نمودار ستونی تعداد زمین لرزه‌های ثبت شده در هر یک از ایستگاه‌های لرزه‌نگاری در فاصله زمانی پنجم ژوئیه سال ۱۹۹۶ تا اول اوت سال ۲۰۰۲ را نشان می‌دهد. در این شکل ستون‌های خاکستری کم‌رنگ و خاکستری پررنگ به ترتیب مربوط به کل داده و قسمت انتخاب شده‌اند. همان‌طوری که شکل ۳۳ نشان می‌دهد در بین ایستگاه‌های شبکه لرزه‌نگاری تهران، ایستگاه لرزه‌نگاری ورامین (VRN) بیشترین تعداد زمین لرزه و ایستگاه لرزه‌نگاری تهران (TEH)



شکل ۲. (a) نمودار ستونی ماهانه برای قرائت‌های ایستگاهی که ستونهای خاکستری کمرنگ مربوط به کل ۴۸۳۹۲ قرائت موجود در بانک اطلاعاتی است و ستونهای خاکستری پررنگ مربوط به ۲۲۹۴۸ قرائت است که در آنها، اطلاعات لازمه به‌طور کامل ذخیره شده است. (b) نمودار ستونی ماهانه تعداد زمین‌لرزه‌ها که شبیه حالت (a) ستونهای خاکستری کمرنگ و خاکستری پررنگ به ترتیب مربوط به ۷۷۲۱ زمین‌لرزه موجود در بانک اطلاعاتی مورد استفاده و ۴۵۸۳ زمین‌لرزه است که اطلاعات آنها در بانک اطلاعاتی کامل است. در هر دو مورد (a) و (b) ستون خاکستری پررنگ به‌خاطر ارتفاع کمتر و مقایسه بهتر، روی ستون خاکستری کمرنگ رسم شده است.



شکل ۳. (a) نمودار ستونی تعداد ایستگاه‌های ثبت کننده برای ۷۷۱۸ زمین‌لرزه موجود در بانک اطلاعاتی مورد استفاده در این مطالعه. (b) مثل (a)، برای ۴۵۸۶ زمین‌لرزه که اطلاعات آنها کامل است. (c) نمودار ستونی تعداد زمین‌لرزه‌ها که در هر ایستگاه لرزه‌نگاری ثبت شده است. ستونهای خاکستری کمرنگ و خاکستری پررنگ به ترتیب مربوط به کل قرائت‌ها (۷۷۱۸ زمین‌لرزه) و آنهایی که اطلاعات ضروری مثل فاصله رومرکزی و دامنه موج اندازه گیری شده غیر صفر دارند (۴۵۸۶ زمین‌لرزه).



شکل ۴. توزیع سطحی ۴۵۲۷ زمین‌لرزه با بزرگی بزرگتر یا مساوی یک موجود در بانک اطلاعاتی مورد استفاده شعاع دایره‌ها متناسب با بزرگی زمین‌لرزه‌ها است.

۳ نحوه محاسبه بزرگی در شبکه تهران

به‌طور وسیع مورد استفاده قرار گرفته است. اساس توسعه مقیاس‌های بزرگی، متکی به مقایسه بین مشاهدات و نظریه است (بس ۱۹۸۱، رضاپور و پیرس ۱۹۹۸، رضاپور ۲۰۰۳). محدودیت خاصی در استفاده از هر نوع مقیاس بزرگی وجود دارد. با وجود این، مقیاس‌های بزرگی به‌قدری مورد استفاده قرار گرفته‌اند که تصور این که بزرگی را بتوان به‌راحتی کنار گذاشت سخت است. از آن‌جا که شبکه لرزه‌نگاری تهران شبکه‌ای محلی است و لرزه سنج‌ها هم از نوع تناوب کوتاه (short period) هستند، در نتیجه بزرگی M_L برای بیان اندازه زمین‌لرزه تعیین می‌شود. مقیاس M_L از اندازه‌گیری نسبت دامنه به تناوب امواج درونی با

ریشتر در سال ۱۹۳۵ برای بیان اندازه زمین‌لرزه، مقیاس بزرگی را بر اساس متناسب بودن با لگاریتم دامنه موج ثبت‌شده روی لرزه نگاشت تعریف کرد که در سطح جهان پذیرفته شد. بزرگی یک زمین‌لرزه با اندازه‌گیری دامنه و تناوب (پریود) یک موج خاص و استفاده از فرمولی تجربی تعیین می‌شود. در طول چند دهه گذشته مقیاس بزرگی با چندین تغییر روبرو بوده است و مقیاس‌های متعددی ارائه شده‌اند. اکثر مقیاس‌های بزرگی، اصلاح شده مقیاس اولیه ریشترند. هر چند که روش تعیین بزرگی کاملاً بر اساس رابطه‌ای تجربی صورت می‌گیرد، بزرگی به خاطر مناسب بودن برای تخمین اندازه زمین‌لرزه

(۱) پس از جایگزینی A با v و حذف عبارت $-\log(T)$ به صورت زیر خواهد بود. که برای مواردی که داده مربوط به زمان تناوب در دسترس هم نباشد قابل استفاد است.

$$M_L = \log\left(\frac{v}{2 \times 2\pi} \times T\right) + 1.66 \log(\Delta) - \log(T) - 0.1 \quad (2)$$

$$M_L = \log\left(\frac{v}{4\pi}\right) + 1.66 \log(\Delta) - 0.1$$

نمودار ستونی تعداد ثبت‌های ایستگاهی در طول ۱۰ کیلومتر برای داده مورد استفاده در شکل ۵ رسم شده است. شکل ۵ نشان می‌دهد که تمرکز ثبت‌های ایستگاهی بیشتر در فواصل ۲۰ تا ۱۵۰ کیلومتر است.

هم‌چنین در این تحقیق، میانگین مقادیر باقی‌مانده بزرگی، یعنی مقادیر $(\delta M_L = M_L^{\text{event}} - M_L^{\text{station}})$ برای ایستگاه‌ها با استفاده از زمین‌لرزه‌های ثبت شده در آنها تعیین شد و به منزله مقادیر تصحیحی ایستگاه‌ها با انحراف معیار در جدول ۳ درج شد.

جدول ۳ نشان می‌دهد که به جز ایستگاه DMV مقادیر تصحیح ایستگاهی به دست آمده برای سایر ایستگاه‌های شبکه تهران کوچک و در حدود ± 0.1 هستند.

با توجه به گستره توزیع رومرکز ۴۵۸۶ زمین‌لرزه مورد مطالعه، اطلاعات زمین‌لرزه‌های منتشر شده در بولتن‌های International Seismological Center (ISC) International Earthquake Information Center (IEIC) که در محدوده $(44^\circ\text{E}-62.5^\circ\text{E}, 25^\circ\text{N}-40^\circ\text{N})$ و در همان مدت (پنجم ژوئیه ۱۹۹۶ تا اول اوت ۲۰۰۲) رخ داده‌اند استخراج شد. سپس مختصات رومرکز و زمان وقوع تعیین شده در شبکه تهران با آنچه در بولتن‌های ISC و NEIC منتشر شده است، مورد مقایسه قرار گرفت. چون مختصات رومرکز و زمان وقوع زمین‌لرزه‌ها در این دو بولتن و بانک اطلاعاتی مورد استفاده تفاوت دارند، لذا در این مقایسه زمین‌لرزه‌هایی که قدرمطلق اختلاف طول و عرض جغرافیایی آنها کم‌تر از 0.3° درجه و

بسامد زیاد یعنی با زمان تناوب حدود یک ثانیه و استفاده از رابطه‌ای تجربی تعیین می‌شود.

نرم‌افزار مورد استفاده در شبکه لرزه‌نگاری تهران، یعنی DAN، بدون توجه به برنامه مورد استفاده در تعیین موقعیت، دامنه فاز اندازه‌گیری شده را پس از تبدیل به مقدار واقعی جابه‌جایی زمین و کالیبره کردن با پاسخ لرزه‌سنج مورد نظر به مثابه اطلاعات ورودی برای محاسبه بزرگی به برنامه Hypo71 و یا LOC منتقل می‌کند.

آگاهی کامل از نحوه محاسبه بزرگی زمین‌لرزه‌هایی که در بانک اطلاعاتی بایگانی شده‌اند، نقش اساسی در بررسی کارایی فرمول و روش مورد استفاده دارد. به طوری که بایستی با داشتن اطلاعات لازم و فرمول مورد استفاده، بتوان با محاسبه مجدد، همان مقادیر بزرگی بایگانی شده در بانک اطلاعاتی را به دست آورد. اما این کار در مورد شبکه تهران مشکل است چون در بانک اطلاعاتی مربوط، چگونگی و نوع بزرگی‌های بایگانی شده مشخص نیست. مثلاً معلوم نیست برای محاسبه بزرگی چه وقت از برنامه Hypo71 و چه موقعی از برنامه LOC استفاده شده است و یا بزرگی ذخیره شده در بانک اطلاعاتی، کدام نوع (بزرگی محاسبه شده با استفاده از دامنه، زمان تداوم، و یا استفاده از فرمول ناتلی، ۱۹۸۰) بوده است.

با توجه به بررسی که انجام شد به نظر می‌رسد که بزرگی تعداد بیشتری (حدود ۸۰٪) از زمین‌لرزه‌های بایگانی شده در بانک اطلاعاتی، با استفاده از فرمول زیر محاسبه شده اند:

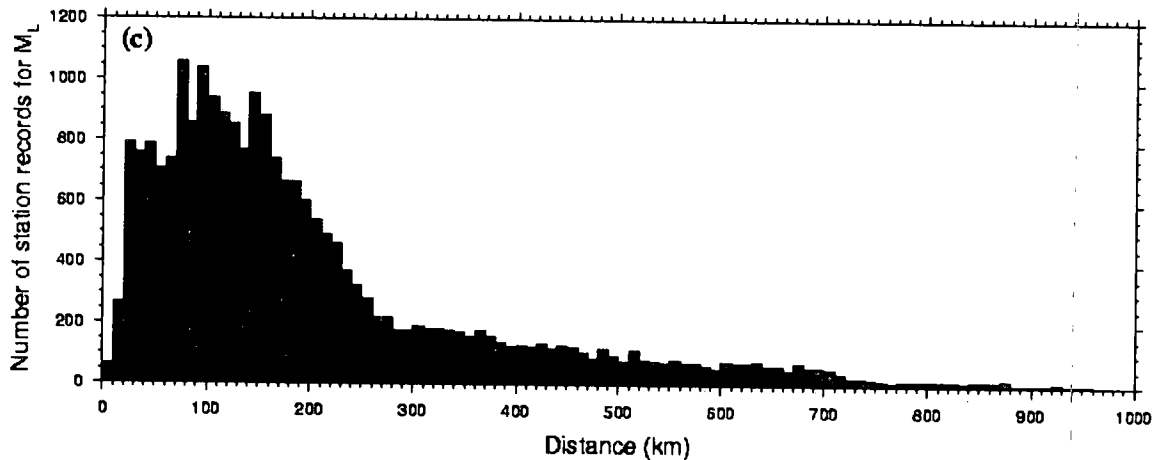
$$M_L = \log\left(\frac{A}{2}\right) + 1.66 \log(\Delta) - \log(T) - 0.1 \quad (1)$$

که A ماگنیتود دامنه (peak-to-peak amplitude) برحسب نانومتر، Δ فاصله رومرکزی برحسب کیلومتر و T زمان تناوب متناظر موج اندازه‌گیری شده بر حسب ثانیه است. چون در بانک اطلاعاتی به جای دامنه جابه‌جایی، v سرعت جابه‌جایی بر حسب نانومتر بر ثانیه (مراجعه به جدول ۲) ذخیره شده است، لذا رابطه

کوچک‌تر از بزرگی تعیین شده از سوی ISC است. و رابطه خط رگرسیون عبوری از نقاط داده با استفاده از روش یورک (۱۹۶۶) یعنی در نظر گرفتن خطای یکسان در هر دو متغیر m_b^{ISC} و M_L بصورت زیر است:

$$m_b^{ISC} = (0.67202 \pm 0.12094)M_L + (1.83265 \pm 0.45462) \quad (3)$$

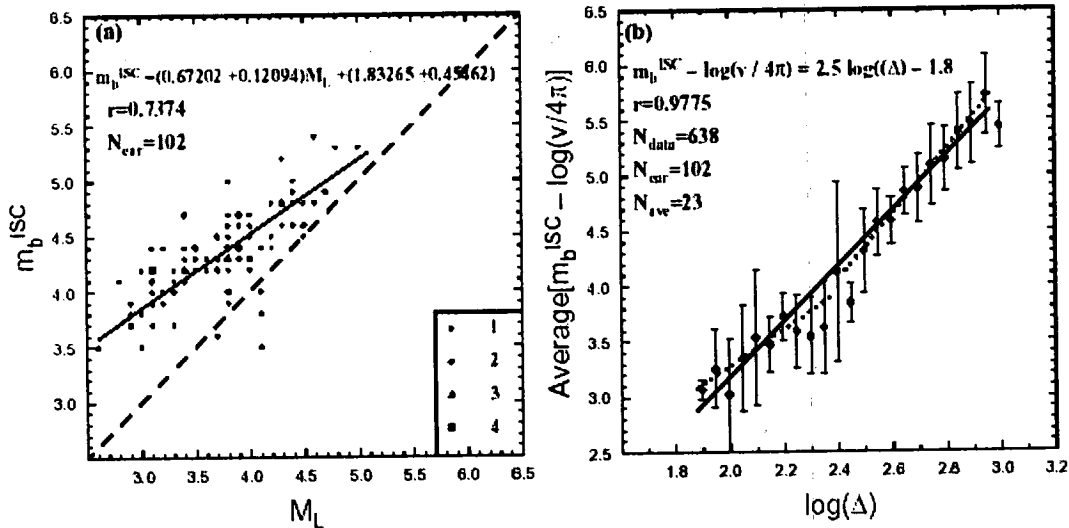
هم‌چنین قدر مطلق اختلاف زمان وقوع آنها کم‌تر از ۱۰ ثانیه است به‌مثابه یک زمین‌لرزه در نظر گرفته شد و بدین ترتیب ۱۰۲ زمین‌لرزه انتخاب شد که در شکل ۶a برای این زمین‌لرزه‌ها بزرگی m_b تعیین شده از سوی ISC برحسب بزرگی M_L به‌دست آمده از رابطه (۲) رسم و مقایسه شده است. همان‌طوری‌که شکل ۶a نشان می‌دهد بزرگی تعیین شده در شبکه تهران یا به‌عبارتی بزرگی محاسبه شده با به‌کارگیری رابطه (۲)



شکل ۵. نمودار ستونی تعداد ثبت‌های ایستگاهی در طول ۱۰ کیلومتر برحسب فاصله رو مرکزی.

جدول ۳. مقادیر تصحیح ایستگاهی با انحراف معیار برای ایستگاه‌های شبکه لرزه‌نگاری تهران.

| تعداد قرائت‌های ایستگاهی | تصحیح ایستگاهی با انحراف معیار | علامت اختصاری ایستگاه |
|--------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| ۲۱۹۵ | -0.08 ± 0.20 | AFJ |
| ۳۴۰۸ | 0.15 ± 0.24 | DMV |
| ۱۴۳۷ | 0.05 ± 0.32 | FIR |
| ۱۱۳۹ | -0.06 ± 0.30 | GZV |
| ۲۷۶۶ | 0.08 ± 0.26 | HSB |
| ۱۱۶۱ | -0.09 ± 0.34 | MHD |
| ۱۹۱۴ | -0.03 ± 0.23 | QOM |
| ۲۱۵۳ | 0.05 ± 0.26 | RAZ |
| ۱۴۹۷ | -0.01 ± 0.29 | SFB |
| ۱۱۷۶ | 0.11 ± 0.22 | SHR |
| ۹۶ | -0.09 ± 0.31 | TEH |
| ۳۹۸۰ | -0.09 ± 0.24 | VRN |



شکل ۶. (a) بزرگی محلی (M_L) تعیین شده در شبکه لرزه‌نگاری تهران بر حسب بزرگی m_b تعیین شده در مرکز بین المللی زلزله شناسی (ISC). خط چین رسم شده، خط برابری مقادیر این دو مقیاس بزرگی را نشان می‌دهد و خط منتهی، رگرسیون خطی عبوری از داده با فرض وجود خطای یکسان در هر دو مقیاس است. (b) متوسط مقادیر $[m_b^{ISC} - \log(v/4\pi)]$ در طول $\log(\Delta)=0.05$ کیلومتر با انحراف معیار بر حسب $\log(\Delta)$ برای ۶۳۸ تعداد اندازه‌گیری ایستگاهی مربوط به ۱۰۲ زمین‌لرزه. خط منتهی رسم شده، رگرسیون استاندارد عبوری از نقاط داده را نشان می‌دهد و نقطه چین‌ها خطوط رگرسیون عبوری از نقاط داده تفکیک شده به دو قسمت مجزا را نشان می‌دهند.

زمین‌لرزه می‌توان فرمولی جهت تعیین بزرگی در شبکه تهران به‌دست آورد که استفاده از آن، مقادیر بزرگی تقریباً برابر با مقادیر بزرگی ISC دهد. رابطه‌ای فرضی را که شکل عمومی روابط تجربی مورد استفاده برای تعیین بزرگی است به‌صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$M_L = \log\left(\frac{v}{4\pi}\right) + C_1 \log(\Delta) + C_2 \quad (5)$$

برای به‌دست آوردن ضرایب C_1 و C_2 در رابطه (۵) مقادیر بزرگی تعیین شده توسط ISC جایگزین مقادیر M_L شد و $M_L - \log\left(\frac{v}{4\pi}\right)$ یا به عبارتی $m_b^{ISC} - \log\left(\frac{v}{4\pi}\right)$ برای ۶۳۸ داده مربوط به ۱۰۲ زمین‌لرزه محاسبه و میانگین آنها در طول $\log(\Delta)=0.05$ کیلومتر با انحراف معیار بر حسب $\log(\Delta)$ در شکل

بنابراین هر چند که در به‌دست آوردن رابطه (۳) تعداد کم‌تری داده مورد استفاده قرار گرفت، اما با قرار دادن رابطه (۲) در رابطه (۳) فرمول زیر حاصل می‌شود.

$$M_L = 0.67 \log\left(\frac{v}{4\pi}\right) + 1.12 \log(\Delta) + 1.77 \quad (4)$$

که v سرعت جابه‌جایی کالیبره شده زمین بر حسب نانومتر بر ثانیه و Δ فاصله رومرکزی بر حسب کیلومتر است. تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که مقادیر بزرگی منتشر شده در کاتالوگ ISC برای زمین‌لرزه‌های کوچک ($m_b \leq 4.8$) به‌خاطر مقادیر تصحیحی مورد استفاده کم‌تر بر آورد می‌شوند (رضاپور ۲۰۰۳). هر چند که اکثر ۱۰۲ زمین‌لرزه اشاره شده در بالا کوچک‌اند. با استفاده از مقادیر بزرگی تعیین شده از سوی ISC برای ۱۰۲

و درست استخراج و بایگانی شوند، استفاده از این داده‌های بایگانی شده که به مرور حجم می‌شود سهل‌تر و سریع‌تر صورت می‌پذیرد.

بررسی انجام گرفته نشان می‌دهد که زوش و فرمول مورد استفاده برای تعیین بزرگی در شبکه تهران، یکنواخت نیست به طوری که با محاسبه مجدد مقادیر بزرگی به دست آمده با استفاده از داده‌های بایگانی شده، در موارد زیادی با مقادیر بزرگی تعیین شده در شبکه تهران برابر نیستند. هم‌چنین مقایسه مقادیر بزرگی تعیین شده در شبکه تهران با مقادیر بزرگی اعلام شده از سوی مراکزی مثل ISC نشان می‌دهد که بزرگی تعیین شده در شبکه تهران کوچک‌تر از آن چیزی است که ISC منتشر می‌کند.

در این مطالعه با استفاده از داده‌های انتشار یافته در بولتن ISC فرمولی تجربی برای تعیین بزرگی در شبکه لرزه‌نگاری تهران ارائه شد. هر چند که در به دست آوردن این فرمول از داده کم‌تری استفاده شده است و داده‌های مورد استفاده بیشتر مربوط به زمین‌لرزه‌های کوچک و متوسط بود و داده مربوط به زمین‌لرزه‌های بزرگ وجود نداشت، اما بررسی انجام شده نشان می‌دهد که بزرگی تعیین شده با استفاده از رابطه (۷)، برای زمین‌لرزه‌های ثبت شده در شبکه لرزه‌نگاری تهران در مقایسه با رابطه (۲) دقیق‌تر برآورد می‌شوند. پیشنهاد می‌شود که در شبکه لرزه‌نگاری تهران برای تعیین بزرگی زمین‌لرزه‌های رخ داده تا فواصل ۱۰۶ کیلومتر، از رابطه (۲) و در فواصل ۱۰۶ تا حدود ۶۰۰ کیلومتری ایستگاه لرزه‌نگاری، از رابطه (۷) استفاده شود. بدیهی است، در صورت فراهم شدن داده کافی، یعنی مقادیر بزرگی تعیین شده در شبکه تهران، برای زمین‌لرزه‌های رخ داده در فواصل بیشتر از ۴۰۰ کیلومتر، بررسی مجدد مقادیر بزرگی تعیین شده و تجدید نظر در ضرایب رابطه مورد استفاده، باعث افزایش کارایی آن خواهد شد.

۶b رسم شد. خط رگرسیون عبوری از نقاط داده میانگین گیری شده به صورت زیر است:

$$m_b^{ISC} - \log\left(\frac{v}{4\pi}\right) = (2.4939 \pm 0.1175) \log(\Delta) - (1.8066 \pm 0.2875) \quad (6)$$

با توجه به آنالیز، رگرسیون مقادیر ضرایب C_1 و C_2 در رابطه (۵) به ترتیب برابر $2/49$ و $-1/8$ می‌شود بنابراین، شکل ساده شده رابطه (۵) به صورت زیر است:

$$M_L = \log\left(\frac{v}{4\pi}\right) + 2.5 \log(\Delta) - 1.8 \quad (7)$$

مقادیر بزرگی محاسبه شده با استفاده از (۲) در فواصل نزدیک ($\Delta < 106 \text{ km}$) در مقایسه با رابطه (۷)، بزرگ، و برعکس برای فواصل دور ($\Delta > 106 \text{ km}$) کوچک خواهد بود. در فاصله مرکزی ۱۰۶ کیلومتر، این دو رابطه، بزرگی یکسان می‌دهند. بررسی به انجام رسیده نشان داد که مقادیر بزرگی به دست آمده با استفاده از رابطه (۷)، با مقادیر بزرگی تعیین شده از سوی ISC تقریباً برابرند. بنابراین، رابطه (۷) دقیق‌تر از رابطه (۲)، بزرگی را برآورد می‌کند.

۴ نتیجه گیری

این بررسی نشان می‌دهد که اطلاعات استخراجی از شکل‌موج‌های ثبت شده در ایستگاه‌های شبکه لرزه‌نگاری تهران به طور کامل بایگانی نشده است و در موارد زیادی اطلاعات مربوط به فاصله رومرکز و دامنه جابه‌جایی و مانند آن در بانک اطلاعاتی ذخیره نشده است. بنابراین دسترسی مجدد به این داده‌ها به احتمال زیاد نیازمند پردازش مجدد شکل‌موج‌ها خواهد بود که انجام آن وقت‌گیر و هزینه بر است. در صورتی که اگر در پردازش شکل‌موج‌ها که هنگام وقوع زمین‌لرزه در مرکز لرزه‌نگاری شبکه انجام می‌شود، داده‌های مورد نظر به طور کامل

تشکر و قدردانی

- 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.
- Nanometrics, Inc., DAN user's guide, release 2.53, November, 1995.
- Nuttli, O. W. 1980, The excitation and attenuation of seismic crustal phases in Iran. Bull. Seism. Soc. Am., 70, 469-485.
- Richter, C. F. 1935, An instrumental earthquake magnitude scale. Bull. Seism. Soc. Am., 25, 1-32.
- Rezapour, M., 2003, Empirical global depth-distance correction terms for m_b determination based on seismic moment, Bull. Seism Soc. Am, 93, 172-189.
- Rezapour, M. and R. G. Pearce 1998, Bias in surface wave magnitude M_s due to inadequate distance corrections, Bull. Seism Soc. Am, 88, 43-61.
- York, D. 1966, Least-squares fitting of a straight line. Can. J. Phys., 44, 1079-1086.

این پژوهش با مساعدت مالی معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تهران در چارچوب طرح پژوهشی مصوب شماره ۶۲۵/۱/۴۷۰ انجام شده است. بدین وسیله از شورای محترم پژوهشی موسسه ژئوفیزیک و شورای محترم پژوهشی دانشگاه تهران تشکر و قدردانی می‌شود. از مسئولین محترم شبکه لرزه‌نگاری تهران بخاطر در اختیار قرار دادن داده‌های بایگانی شده در آن شبکه که هنوز منتشر نشده است، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

- Båth, M. 1981, Earthquake magnitude- recent research and current trend. Earth Sic. Rev., 17, 315-398.
- Lee, W. H. K., R. E. Bennett and L. Meagher 1972, A method for estimating magnitude of local earthquakes from signal duration. USGS Open file report.