

مقادیر تصحیحی جدید، برای تعیین بزرگی زمینلرزه با استفاده از کاتالوگ CMT هاروارد

مهدی رضایپور*

*موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، صندوق پستی ۶۴۴۴-۱۴۱۵۵.

چکیده

در اکثر مطالعات زلزله‌شناسی از داده بزرگی به عنوان یک راهنما برای اندازه زمینلرزه استفاده می‌شود، لذا خطای موجود در تخمین بزرگی به هر علی مستقیماً روی نتایج مطالعاتی که در آن از داده‌های بزرگی استفاده می‌شود تأثیر دارد. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که بزرگی m_b تعیین شده با استفاده از مقادیر تصحیحی گوتنبرگ - ریشتر (۱۹۵۶) که مورد استفاده اکثر مراکز بین المللی و ملی است، دارای خطای سیستماتیک است. در این مطالعه با فرض یک رابطه خطی بین m_b و $\log M_0$ ، منحنی‌های دامنه - فاصله موج P با همان لرزه‌ای M_0 منتشر شده در کاتالوگ CMT دانشگاه هاروارد کالیبره شده و مقادیر تصحیحی جدید ارائه می‌شود. سپس با استفاده از این مقادیر تصحیحی جدید بزرگی زمینلرزه‌هایی که در بولتن‌های ISC در طول سال‌های ۱۹۷۸ تا ۱۹۹۳ منتشر شده است تعیین می‌شود. مقایسه مقادیر بزرگی m_b تعیین شده با استفاده از مقادیر تصحیحی جدید با مقادیر بزرگی تعیین شده با استفاده از مقادیر تصحیحی گوتنبرگ - ریشتر، ویس - کلاوسون (۱۹۷۲) و لیلوال (۱۹۸۷) نشان می‌دهد که مقدار بزرگی تعیین شده با استفاده از مقادیر تصحیحی جدید تقریباً بدون خطای سیستماتیک و مستقل از فاصله و عمق است. بررسی انجام شده نشان می‌دهد که هنگام استفاده از مقادیر تصحیحی جدید تقریباً بدون خطای سیستماتیک و بزرگی زلزله‌های عمیق، مقادیر بزرگی به ترتیب $0.1-0.15$ ، $0.3-0.5$ و $0.1-0.2$ واحد بزرگی کمتر برآورد می‌شوند.

کلیدواژه: بزرگی، مقادیر تصحیحی، همان لرزه‌ای، خطای سیستماتیک

۱ مقدمه

از انتشار امواج لرزه‌ای، روی لرزه‌نگاشت اندازه‌گیری می‌شود و سپس با استفاده از فرمول تجربی یا مقادیر تصحیحی، آن را کالیبره می‌کنند.

گوتنبرگ (۱۹۴۵a) جابه‌جایی حاصله در سطح زمین ناشی از انتشار امواج لرزه‌ای را به روش نظری برای فازهای P، PP و S محاسبه کرد، و سپس با استفاده از فرمول تجربی

$$\log E = 11.3 + 1.8M_s \quad (1)$$

که در آن E انرژی منتشر شده بر حسب ارگ و M_s بزرگی در مقیاس امواج سطحی است، نتایج حاصله از نظریه را با مشاهدات اندازه‌گیری شده تصحیح کرد و به‌عنوان مقادیر تصحیحی فاصله $Q(\Delta)$ در برآورد بزرگی امواج درونی مورد استفاده قرار داد. گوتنبرگ (۱۹۴۵b) با در نظر گرفتن اثر عمق، مقادیر تصحیحی فاصله $Q(\Delta)$ را توسعه داد و به‌عنوان مقادیر تصحیحی فاصله-عمق $Q(\Delta, h)$ به‌صورت مجموعه‌ای از نمودار و جدول

بزرگی زمینلرزه به‌عنوان داده پایه، در تشریح لرزه‌خیزی زمین و مطالعه پارامترهای امواج لرزه‌ای نقش ویژه‌ای دارد. مهم‌ترین مزیت بزرگی در آن است که انرژی آزاد شده در یک زمینلرزه را به ساده‌ترین روش و در کوتاه‌ترین زمان برآورد می‌کند. این در حالی است که مشکلاتی مثل مسئله اشباع را نیز دارد. موضوع بزرگی همیشه مورد توجه محققان زلزله‌شناسی قرار دارد، و در اکثر مطالعات مرتبط به زلزله‌شناسی از داده‌های بزرگی استفاده می‌شود، لذا وجود هرگونه خطا در داده‌های بزرگی، مستقیماً روی نتایج حاصله تأثیر دارد. ریشتر در سال ۱۹۳۵ برای بیان اندازه زمینلرزه، مقیاس بزرگی را بر اساس متناسب بودن با لگاریتم دامنه موج ثبت شده روی لرزه‌نگاشت تعریف کرد که در سطح جهان پذیرفته شد. بزرگی یک زمینلرزه با اندازه‌گیری دامنه و دوره یک موج خاص و استفاده از فرمولی تجربی تعیین می‌شود. بنابراین، در مقیاس بزرگی، جابه‌جایی سطح زمین ناشی

ایستگاه‌های لرزه‌نگاری متفاوت باشند و به همین خاطر میانگین بزرگی ایستگاه‌ها به‌عنوان بزرگی رویداد تعیین می‌شود. لذا ما انتظار نداریم که عامل مقادیر تصحیحی فاصله عمق باعث ایجاد خطای سیستماتیک در بزرگی تعیین شده شود. در این تحقیق، خطای ناشی از مقادیر تصحیحی مورد استفاده برای تعیین m_b مورد مطالعه قرار گرفته و دامنه موج P آزاد شده از چشمه با عمق‌های مختلف بر حسب فاصله رومرکزی، با استفاده از مقادیر ممان لرزه‌ای (M_0) منتشر شده در کاتالوگ CMT دانشگاه هاروارد، کالیبره شده است و مقادیر تصحیحی $B(\Delta, h)$ جدیدی برای تعیین m_b ارائه می‌شود. ضرورت انجام این پژوهش به دو دلیل عمده زیر است:

نخست همان‌طور که پیش‌تر نیز اشاره شد، وجود خطا در m_b در نتایج تحقیق اثر دارد، پس کاهش خطا در m_b برآورد شده اثر مطلوبی در نتایج تحقیقاتی که در آن از اطلاعات بزرگی استفاده می‌شود خواهد داشت. دوم این‌که هنوز از نسبت $M_s : m_b$ به‌عنوان محکی برای تشخیص انفجارهای هسته‌ای زیرزمینی از زلزله استفاده می‌شود. بنابراین، کاهش خطا در m_b تعیین شده باعث افزایش کارایی محک $M_s : m_b$ می‌شود.

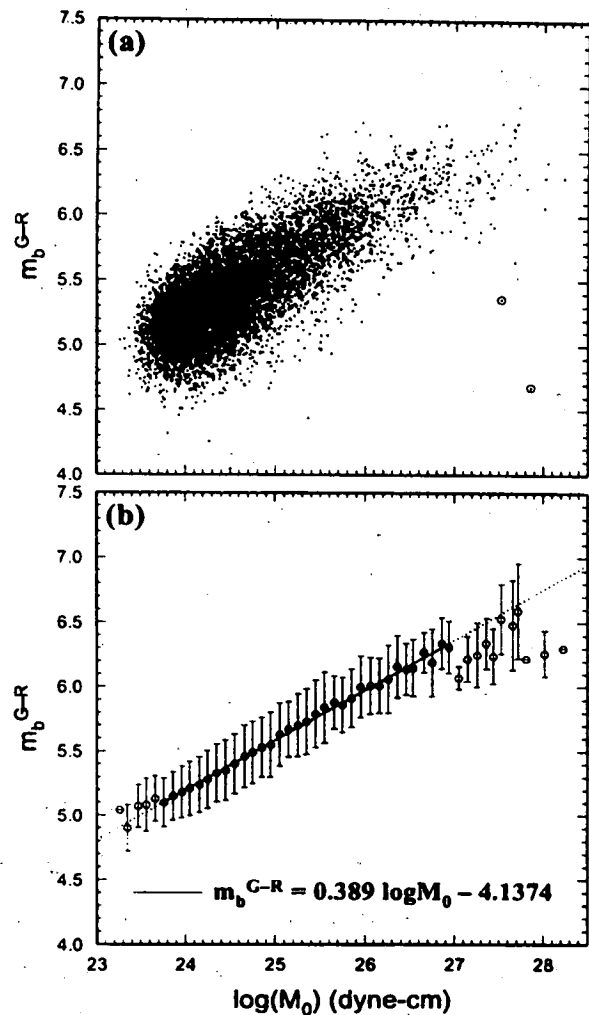
در این مطالعه داده‌های ISC از سال ۱۹۷۸ تا ۱۹۹۳ و M_0 منتشر شده در کاتالوگ CMT مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مدت یاد شده، ISC برای ۱۱۰۷۲۰ زمینلرزه، m_b تعیین کرده است. که ۴۲۰ مورد از آنها انفجار هسته‌ای زیرزمینی تشخیص شده است. در دو کاتالوگ ISC و CMT اطلاعات ثبت شده مربوط به موقعیت و زمان وقوع زمینلرزه‌ها با هم اختلاف جزئی دارند، لذا زمینلرزه‌هایی که قدرمطلق اختلاف طول و عرض جغرافیایی آنها در این دو کاتالوگ کم‌تر از ۰/۲ درجه و همچنین قدر مطلق اختلاف زمان وقوع آنها کم‌تر از ۵ ثانیه است به‌عنوان یک زمینلرزه در نظر گرفته شد و بدین ترتیب ۹۹۴۹ زمینلرزه را برگزیدند که در این مطالعه، m_b منتشر شده در ISC و M_0 منتشر شده در CMT برای آنها، برای به‌دست آوردن مقادیر

منتشر کرد. این مقادیر که در سال ۱۹۵۶ توسط گوتنبرگ و ریشتر با استفاده از داده‌های مشاهداتی زیاد مورد تجدید نظر قرار گرفت و تصحیح شد؛ امروزه مورد استفاده اکثر مراکز بین‌المللی و ملی برای تعیین بزرگی امواج درونی m_b با استفاده از فرمول زیر است.

$$m_b = \log\left(\frac{A}{T}\right) + Q(\Delta, h) \quad (2)$$

که Δ فاصله رومرکزی بر حسب درجه، h عمق بر حسب کیلومتر، A نصف بیشینه دامنه peak to peak موج اندازه‌گیری شده بر حسب نانومتر، T دوره تناوب متناظر با دامنه موج اندازه‌گیری شده بر حسب ثانیه و $Q(\Delta, h)$ مقادیر تصحیحی گوتنبرگ - ریشتر (۱۹۵۶) است. طبق توصیه IASPEI در کنفرانس ۱۹۷۶ زوریخ، برای تعیین بزرگی m_b در مقیاس جهانی اندازه‌گیری‌های با محدوده $T \leq 3 \text{ sec}$ و $21^\circ \leq \Delta \leq 100^\circ$ مورد استفاد قرار می‌گیرد. مراکز بزرگ جهانی مثل ISC و NEIC با استفاده از این فرمول و تحت شرایط فوق، m_b زمینلرزه‌ها را تعیین می‌کنند و در بولتن‌هایشان منتشر می‌سازند.

تحقیقات زیادی در تجزیه و تحلیل دامنه موج P انجام شده است و چندین منحنی دامنه‌فاصله به‌عنوان مقادیر تصحیحی، برای تعیین بزرگی m_b منتشر شده است. مانند کارپنتر و همکاران (۱۹۶۷)، کلری (۱۹۶۷)، ویس و کلاوسون (۱۹۷۲)، کریستوسکو و همکاران (۱۹۷۹)، وانیک و همکاران (۱۹۸۲)، مارشال و همکاران (۱۹۸۶) و لیلوال (۱۹۸۷). خطای مشاهده شده در m_b تعیین شده نسبت به فاصله و عمق نشان داده است که مقادیر تصحیحی منتشر شده، به‌خصوص مقادیر تصحیحی گوتنبرگ-ریشتر دارای نواقصی هستند. عوامل مختلفی مثل الگوی تابش، خصوصیات مسیر انتشار امواج، خصوصیات مربوط به ایستگاه لرزه‌نگاری (پاسخ بسامدی لرزه‌سنج و ساختار تکنیکی منطقه ایستگاه لرزه‌نگاری)، مقادیر تصحیحی مورد استفاده و غیره، در ایجاد خطا در m_b برآورد شده نقش دارند. این عوامل باعث می‌شوند که بزرگی‌های تعیین شده در



شکل ۱. (a) مقادیر m_b^{G-R} بر حسب $\log M_0$ برای ۹۹۱۹ زمینلرزه. (b) مقادیر میانگین گیری m_b^{G-R} در طول $\log M_0$ ۰/۱ برای همان داده. در زلزله مشخص شده با دایره در (a) تصور می شود که دارای خطای زیاد باشند لذا به همین خاطر در میانگین گیری شرکت داده نشد. در (b) خط پر رنگ، خط رگرسیون عبوری برای داده با محدوده $M_0 = 1.0 \times 10^{27}$ تا $M_0 = 5.8 \times 10^{23}$ دین - سانتی متر که با دایره تو پر مشخص شده اند را نشان می دهد.

مشخص شده اند معادله زیر به دست می آید:

$$m_b^{G-R} = 0.389 \log M_0 - 4.1374 \quad (۳)$$

بزرگی در مقیاس m_b که با اندازه گیری دامنه موج P با دوره تناوب حدود ۱ ثانیه تعیین می شود تقریباً بیان کننده اندازه انرژی

تصحیحی جدید مورد استفاده قرار گرفته است.

۲ مقادیر تصحیحی جدید برای تعیین بزرگی m_b

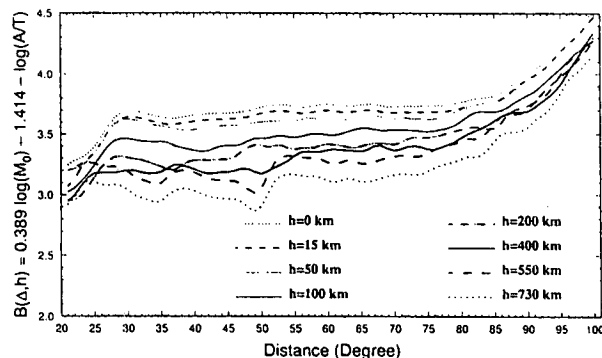
فرض می شود که M_0 منتشر شده در CMT تا حدودی بیانگر اندازه واقعی انرژی آزاد شده است، هر چند که شواهدی وجود دارد که ممان لرزه ای منتشر شده در CMT در مواردی دارای خطای زیاد است (مثل پتون، ۱۹۹۸) منحنی های دامنه فاصله موج P حاصل از زمینلرزه های با اندازه های مختلف و عمق تقریباً یکسان را می توان کالیبره کرد و به یک منحنی دامنه فاصله واحد تبدیل ساخت.

بنابراین، برای به دست آوردن مقادیر تصحیحی جدید برای تعیین m_b با استفاده از مقادیر $\log M_0$ ، اندازه گیری های $\log(A/T)$ برای داده های بسیاری کالیبره می شود. رضابور (۱۹۹۹) با استفاده از یک رابطه تجربی بین m_b و ممان لرزه ای، منحنی های دامنه عمق را با ممان لرزه ای کالیبره کرد و مقادیر تصحیحی را به دست آورد. در این مطالعه با استفاده از همان روش (استفاده از یک رابطه تجربی واحد بین m_b و $\log M_0$ برای تمام محدوده عمق) و همچنین استفاده از چندین رابطه تجربی مجزا برای عمق های مختلف، یک مجموعه داده بسیار زیاد مورد مطالعه قرار می گیرد و مجدداً مقادیر منحنی های تصحیحی $B(\Delta, h)$ جدیدی تعیین می شود و سپس کارایی آن در مقایسه با سایر منحنی های تصحیحی منتشر شده مورد بررسی قرار می گیرد.

در شکل ۱a بزرگی m_b^{G-R} تعیین شده با استفاده از مقادیر تصحیحی گوتنبرگ - ریشتر (۱۹۵۶) بر حسب مقادیر $\log M_0$ رسم شده است و شکل ۱b میانگین مقادیر m_b^{G-R} در فواصل $\log M_0$ ۰/۱ بر حسب $\log M_0$ را با خطای انحراف از میانگین نشان می دهد. با فرض وجود رابطه ای خطی بین بزرگی m_b و $\log M_0$ ، انجام آنالیز رگرسیون خطی برای این داده های میانگین گیری شده در محدوده $M_0 = 5.8 \times 10^{23}$ تا $M_0 = 1.0 \times 10^{27}$ دین سانتی متر که در شکل ۱b با دایره تو پر

استفاده از مقادیر تصحیحی به دست آمده با استفاده از رابطه‌ای واحد (رابطه ۳)، m_b تقریباً بدون خطا برآورد می‌شود. در نتیجه مقادیر تصحیحی به دست آمده با استفاده از رابطه (۳) به مقادیر تصحیحی به دست آمده با استفاده از روش دوم (چندین رابطه مجزا بین m_b و $\log M_0$ برای عمق‌های متفاوت) ترجیح داده شد. بنابراین در این مقاله، منظور از مقادیر تصحیحی جدید، همان مقادیر تصحیحی به دست آمده با استفاده از رابطه تجربی واحد بین m_b و $\log M_0$ ، یعنی معادله (۳) است.

مقادیر منحنی‌های تصحیحی فاصله-عمق $B(\Delta, h)$ به دست آمده از رابطه (۴) در فواصل ۱ درجه میانگین‌گیری شده و پس از هموار کردن با استفاده از متد هموارکننده کرنل (ونابلز و ریپلی، ۱۹۹۹) با پهنای باند ۳ درجه، در شکل ۲ رسم شدند. جدول ۱ جزئیات داده‌های مورد استفاده برای به دست آوردن منحنی‌های تصحیحی جدید را نشان می‌دهد.



شکل ۲. منحنی‌های تصحیحی جدید $B(\Delta, h)$ به دست آمده با استفاده از معادله (۴) و مقادیر M_0 منتشر شده در کاتالوگ CMT. منحنی تصحیحی مربوط به عمق صفر با افزودن مقدار ۰/۰۵ به مقادیر منحنی در عمق ۱۵ کیلومتر رسم شده است و منحنی تصحیحی مربوط به عمق ۷۳۰ کیلومتر هم با کسر مقدار ۰/۱۵ از مقادیر تصحیحی منحنی مربوط به عمق ۵۵۰ کیلومتر رسم شد.

جدول ۲، مقادیر تصحیحی جدید برای تعیین بزرگی m_b در فواصل ۲۰ تا ۱۰۰ درجه، مربوط به زمینلرزه‌های با عمق ۱۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۵۰ کیلومتر را نشان می‌دهد که با استفاده از مقادیر حاصله از درون‌یابی آنها، بزرگی هر زمینلرزه با هر

آزاد شده با بسامد ۱ هرترزی است، در حالی که میان لرزه‌ای M_0 کل انرژی آزاد شده را برآورد می‌کند. لذا در فرض بالا با پذیرفتن رابطه‌ای خطی بین انرژی آزاد شده با بسامد ۱ هرترزی و کل انرژی آزاد شده، و بدون در نظر گرفتن تغییرات افت استرس با عمق یا به عبارتی بدون وابستگی بزرگی به عمق، فقط از یک رابطه واحد (رابطه ۳) بین m_b و $\log M_0$ برای تمام محدوده عمق استفاده می‌شود.

با قرار دادن معادله (۳) در معادله (۲) به جای m_b و جایگزینی $Q(\Delta, h)$ با مقادیر تصحیحی جدید $B(\Delta, h)$ خواهیم داشت:

$$B(\Delta, h) = 0.389 \log M_0 - 4.1374 - \log(A/T) \quad (4)$$

مقادیر $B(\Delta, h)$ مطابق معادله (۴) برای ۴۷۸۱۲۲ اندازه‌گیری نسبت دامنه به دوره تناوب از ۹۹۴۹ زمینلرزه محاسبه شد و این مقادیر برای فواصل عمقی ۰-۳۵، ۳۵-۷۰، ۷۰-۱۵۰، ۱۵۰-۳۰۰، ۳۰۰-۵۰۰ و ۵۰۰-۶۵۰ کیلومتر میانگین‌گیری شد و به منحنی‌های فاصله-عمق مربوط نسبت داده شد.

در این مطالعه روش استفاده از چندین رابطه خطی تجربی بین بزرگی m_b و $\log M_0$ برای عمق‌های مختلف مورد آزمایش قرار گرفت و نتیجه نشان داد که هر چند منحنی‌های تصحیحی به دست آمده برای زلزله‌های کم عمق کارایی خوبی دارند، ولی منحنی‌های تصحیحی برای زلزله‌های عمیق دارای خطای سیستماتیک‌اند. با توجه به این که عمق زلزله یکی از پارامترهایی است که در مقایسه با سایر پارامترهای زلزله خطای بیشتری دارد و موارد زیادی در پزلتن ISC می‌توان یافت که عمق تعیین شده دارای خطای زیادی است، لذا هنگام استفاده از چندین رابطه مجزا بین بزرگی m_b و $\log M_0$ برای عمق‌های مختلف به جای استفاده از رابطه‌ای واحد (رابطه ۳) برای تمام محدوده عمق، بایستی داده‌های مورد استفاده فیلتر شده و با دقت بیشتر انتخاب شوند. بنابراین به عنوان یک نتیجه مقایسه کارایی مقادیر تصحیحی به دست آمده با استفاده از رابطه‌ای واحد و چند رابطه مجزا بین m_b و $\log M_0$ برای عمق‌های مختلف، نشان داد که هنگام

جدول ۱. مشخصات داده‌های گروه‌بندی شده جهت بدست آوردن منحنی‌های تصحیحی فاصله - عمق $B(\Delta, h)$.

محدوده تغییرات عمق زلزله‌ها در هر گروه داده بر حسب کیلومتر	میانگین تقریبی عمق بر حسب کیلومتر	تعداد زلزله در هر گروه داده	تعداد قرائت‌های $\text{Log}(A/T)$
$0 < h < 30$	۱۵	۴۹۹۷	۲۳۸۱۴
$30 < h < 70$	۵۰	۲۲۸۹	۱۰۷۶۴۸
$70 < h < 100$	۱۰۰	۱۳۳۸	۶۴۲۳۳
$100 < h < 200$	۲۰۰	۶۳۱	۳۳۰۵۳
$200 < h < 500$	۴۰۰	۲۲۹	۱۴۱۳۰
$500 < h < 650$	۵۵۰	۴۵۴	۲۱۹۸۳
$h \geq 650$	-	۱۱	۳۲۷

جدول ۲. مقادیر تصحیحی جدید $B(\Delta, h)$ برای تعیین بزرگی m_b در فواصل $100 < \Delta < 210$ ، فاصله رومرکزی بر حسب درجه و h عمق کانونی بر حسب کیلومتر است.

عمق فاصله ↓	۱۵	۵۰	۱۰۰	۲۰۰	۴۰۰	۵۵۰
۲۱	۳/۲۳۳	۳/۲۳۲	۳/۰۵۹	۲/۹۹۵	۲/۹۸۰	۳/۱۰۴
۲۲	۳/۲۶۶	۳/۲۵۱	۳/۰۹۲	۲/۹۹۸	۳/۰۳۲	۳/۱۶۰
۲۳	۳/۲۸۱	۳/۲۶۸	۳/۱۴۳	۳/۰۳۲	۳/۱۱۰	۳/۲۵۶
۲۴	۳/۳۲۴	۳/۳۱۳	۳/۲۰۶	۳/۰۹۹	۳/۱۷۷	۳/۳۰۴
۲۵	۳/۳۳۳	۳/۳۲۹	۳/۲۷۹	۳/۱۸۰	۳/۲۱۳	۳/۲۹۵
۲۶	۳/۴۶۳	۳/۴۵۶	۳/۳۶۱	۳/۲۶۰	۳/۲۱۸	۳/۲۶۶
۲۷	۳/۵۴۹	۳/۵۴۲	۳/۴۳۶	۳/۳۱۴	۳/۲۱۹	۳/۲۶۶
۲۸	۳/۶۲۳	۳/۶۱۸	۳/۴۸۴	۳/۳۴۷	۳/۲۱۹	۳/۲۷۱
۲۹	۳/۶۶۸	۳/۶۵۹	۳/۵۰۰	۳/۳۵۳	۳/۲۲۷	۳/۲۶۰
۳۰	۳/۶۸۳	۳/۶۵۳	۳/۵۰۱	۳/۳۴۳	۳/۲۳۸	۳/۲۲۹
۳۱	۳/۶۸۱	۳/۵۵۵	۳/۴۹۱	۳/۳۳۲	۳/۲۳۵	۳/۱۸۳
۳۲	۳/۶۷۱	۳/۵۴۱	۳/۴۸۲	۳/۳۳۳	۳/۲۲۲	۳/۱۶۴
۳۳	۳/۶۵۵	۳/۵۲۰	۳/۴۷۶	۳/۳۰۷	۳/۲۱۲	۳/۱۴۴
۳۴	۳/۶۴۲	۳/۵۱۳	۳/۴۷۵	۳/۲۸۷	۳/۲۱۲	۳/۱۲۰
۳۵	۳/۶۳۱	۳/۵۰۴	۳/۴۷۷	۳/۲۶۷	۳/۲۲۴	۳/۱۳۲
۳۶	۳/۶۲۱	۳/۵۹۵	۳/۴۶۷	۳/۲۴۴	۳/۲۵۴	۳/۱۸۲
۳۷	۳/۶۱۹	۳/۵۸۳	۳/۴۶۳	۳/۲۴۰	۳/۲۸۲	۳/۲۲۰
۳۸	۳/۶۲۹	۳/۵۷۱	۳/۴۵۲	۳/۲۷۱	۳/۲۸۲	۳/۲۳۶
۳۹	۳/۶۳۹	۳/۵۶۸	۳/۴۱۴	۳/۳۰۵	۳/۲۶۴	۳/۲۳۶
۴۰	۳/۶۴۵	۳/۵۷۵	۳/۴۰۱	۳/۳۲۱	۳/۲۴۵	۳/۲۲۱
۴۱	۳/۶۵۱	۳/۵۸۳	۳/۳۹۱	۳/۳۲۱	۳/۲۲۳	۳/۱۹۶
۴۲	۳/۵۵۵	۳/۵۹۰	۳/۳۹۷	۳/۳۱۹	۳/۲۰۹	۳/۱۷۳
۴۳	۳/۶۵۹	۳/۵۹۸	۳/۴۱۷	۳/۳۲۱	۳/۲۱۴	۳/۱۵۸
۴۴	۳/۶۶۱	۳/۶۰۴	۳/۴۳۵	۳/۳۲۴	۳/۲۲۰	۳/۱۵۵
۴۵	۳/۶۶۴	۳/۶۰۸	۳/۴۴۱	۳/۳۲۶	۳/۲۲۰	۳/۱۵۰
۴۶	۳/۶۶۸	۳/۶۰۹	۳/۴۴۰	۳/۳۴۴	۳/۲۳۳	۳/۱۴۸
۴۷	۳/۶۷۳	۳/۶۱۲	۳/۴۵۱	۳/۳۸۸	۳/۲۵۰	۳/۱۲۰
۴۸	۳/۶۸۰	۳/۶۲۲	۳/۴۷۸	۳/۴۲۴	۳/۲۴۸	۳/۰۸۱
۴۹	۳/۶۹۴	۳/۶۳۳	۳/۴۹۹	۳/۴۴۶	۳/۲۳۳	۳/۰۵۱
۵۰	۳/۷۱۱	۳/۶۴۰	۳/۵۰۲	۳/۴۴۵	۳/۲۰۸	۳/۰۹۰
۵۱	۳/۷۲۳	۳/۶۴۴	۳/۵۰۴	۳/۴۴۸	۳/۲۲۹	۳/۱۳۳
۵۲	۳/۷۲۹	۳/۶۴۷	۳/۵۱۸	۳/۴۴۰	۳/۲۵۹	۳/۲۹۶
۵۳	۳/۷۳۱	۳/۶۴۸	۳/۵۲۶	۳/۴۴۴	۳/۲۸۴	۳/۳۴۳
۵۴	۳/۷۲۷	۳/۶۴۸	۳/۵۱۵	۳/۴۱۹	۳/۳۱۹	۳/۳۵۵
۵۵	۳/۷۱۸	۳/۶۵۱	۳/۵۰۸	۳/۴۰۹	۳/۳۵۷	۳/۳۵۴
۵۶	۳/۷۱۰	۳/۶۶۰	۳/۵۱۸	۳/۴۲۰	۳/۳۸۵	۳/۳۴۲
۵۷	۳/۷۱۲	۳/۶۷۱	۳/۵۳۳	۳/۴۲۱	۳/۳۹۳	۳/۳۳۸
۵۸	۳/۷۲۳	۳/۶۶۹	۳/۵۲۰	۳/۴۲۴	۳/۳۸۷	۳/۳۳۷
۵۹	۳/۷۳۴	۳/۶۵۹	۳/۵۳۹	۳/۴۴۴	۳/۳۹۰	۳/۳۴۶
۶۰	۳/۷۳۶	۳/۶۵۱	۳/۵۳۰	۳/۴۵۳	۳/۴۰۲	۳/۳۰۱

عمق فاصله ↓	۱۵	۵۰	۱۰۰	۲۰۰	۴۰۰	۵۵۰
۶۱	۳/۷۲۸	۳/۶۴۷	۳/۵۲۷	۳/۴۴۹	۳/۴۱۰	۳/۲۸۸
۶۲	۳/۷۲۲	۳/۶۵۱	۳/۵۳۸	۳/۴۴۰	۳/۴۰۴	۳/۳۰۲
۶۳	۳/۷۲۲	۳/۶۵۹	۳/۵۵۶	۳/۴۲۸	۳/۴۰۱	۳/۳۱۸
۶۴	۳/۷۲۵	۳/۶۶۷	۳/۵۷۴	۳/۴۲۲	۳/۳۹۸	۳/۳۱۰
۶۵	۳/۷۳۱	۳/۶۷۹	۳/۵۸۵	۳/۴۳۵	۳/۳۹۱	۳/۲۹۳
۶۶	۳/۷۳۷	۳/۶۹۰	۳/۵۸۶	۳/۴۳۲	۳/۴۰۷	۳/۲۹۱
۶۷	۳/۷۳۷	۳/۶۹۳	۳/۵۷۷	۳/۴۳۸	۳/۴۳۰	۳/۳۰۵
۶۸	۳/۷۲۵	۳/۶۸۴	۳/۵۶۷	۳/۴۳۲	۳/۴۳۲	۳/۳۲۴
۶۹	۳/۷۱۵	۳/۶۷۲	۳/۵۰۹	۳/۴۵۶	۳/۴۱۶	۳/۳۳۹
۷۰	۳/۷۱۶	۳/۶۶۸	۳/۵۷۳	۳/۴۵۱	۳/۴۰۰	۳/۳۵۰
۷۱	۳/۷۲۰	۳/۶۷۰	۳/۵۷۱	۳/۴۵۷	۳/۴۱۰	۳/۳۵۹
۷۲	۳/۷۲۰	۳/۶۷۱	۳/۵۷۱	۳/۴۴۷	۳/۴۳۲	۳/۳۵۷
۷۳	۳/۷۱۹	۳/۶۶۸	۳/۵۶۸	۳/۴۵۲	۳/۴۳۸	۳/۳۴۹
۷۴	۳/۷۲۰	۳/۶۶۳	۳/۵۰۸	۳/۴۵۰	۳/۴۲۹	۳/۳۵۳
۷۵	۳/۷۲۳	۳/۶۶۱	۳/۵۵۶	۳/۴۵۶	۳/۴۱۲	۳/۳۷۸
۷۶	۳/۷۲۵	۳/۶۶۵	۳/۵۶۴	۳/۴۵۶	۳/۴۰۶	۳/۴۰۷
۷۷	۳/۷۲۵	۳/۶۷۹	۳/۵۷۵	۳/۴۴۵	۳/۴۲۹	۳/۴۲۷
۷۸	۳/۷۲۱	۳/۷۰۰	۳/۵۵۸	۳/۴۵۵	۳/۴۴۸	۳/۴۴۲
۷۹	۳/۷۴۱	۳/۷۲۱	۳/۵۰۸	۳/۴۵۹	۳/۴۲۰	۳/۴۵۵
۸۰	۳/۷۵۳	۳/۷۴۲	۳/۶۴۵	۳/۴۵۴	۳/۴۰۵	۳/۴۷۹
۸۱	۳/۷۶۶	۳/۷۶۳	۳/۶۸۵	۳/۴۵۰	۳/۴۳۷	۳/۴۹۸
۸۲	۳/۷۸۰	۳/۷۸۳	۳/۷۱۰	۳/۴۵۵	۳/۴۵۱	۳/۴۹۵
۸۳	۳/۷۸۸	۳/۷۹۲	۳/۷۲۷	۳/۴۵۱	۳/۴۵۳	۳/۵۰۹
۸۴	۳/۷۹۲	۳/۷۹۲	۳/۷۲۳	۳/۴۵۷	۳/۴۶۴	۳/۵۵۹
۸۵	۳/۸۰۳	۳/۷۹۶	۳/۷۲۲	۳/۴۵۵	۳/۴۶۹	۳/۶۳۰
۸۶	۳/۸۲۸	۳/۸۱۴	۳/۷۳۵	۳/۴۶۳	۳/۴۶۵	۳/۶۴۴
۸۷	۳/۸۶۶	۳/۸۵۰	۳/۷۶۰	۳/۴۷۰	۳/۴۰۹	۳/۷۰۴
۸۸	۳/۹۱۴	۳/۹۰۳	۳/۷۹۹	۳/۴۷۰	۳/۴۲۰	۳/۷۰۳
۸۹	۳/۹۵۸	۳/۹۴۸	۳/۸۲۳	۳/۴۷۵	۳/۴۱۹	۳/۷۰۹
۹۰	۳/۹۹۳	۳/۹۷۸	۳/۸۶۰	۳/۴۷۲	۳/۴۲۶	۳/۷۴۱
۹۱	۴/۰۰۳	۳/۹۹۹	۳/۸۹۰	۳/۴۸۰	۳/۴۵۸	۳/۸۰۰
۹۲	۴/۰۰۵	۴/۰۰۲	۳/۹۳۵	۳/۴۸۳	۳/۴۸۰	۳/۸۰۳
۹۳	۴/۱۰۰	۴/۰۰۰	۳/۹۸۶	۳/۴۹۳	۳/۴۸۱	۳/۸۷۵
۹۴	۴/۱۶۳	۴/۱۲۸	۴/۰۳۴	۳/۴۹۷	۳/۴۸۷	۳/۴۹۹
۹۵	۴/۲۲۶	۴/۱۷۸	۴/۰۸۱	۴/۰۱۲	۳/۴۵۱	۴/۰۳۴
۹۶	۴/۲۷۷	۴/۲۳۴	۴/۱۳۶	۴/۰۵۳	۴/۰۳۸	۴/۱۲۶
۹۷	۴/۳۲۵	۴/۲۹۶	۴/۱۹۵	۴/۱۱۲	۴/۱۲۶	۴/۱۷۹
۹۸	۴/۳۷۵	۴/۳۴۲	۴/۲۳۵	۴/۱۷۳	۴/۱۰۷	۴/۲۱۶
۹۹	۴/۴۴۵	۴/۳۹۴	۴/۲۹۶	۴/۲۳۳	۴/۲۷۷	۴/۲۹۲
۱۰۰	۴/۵۰۶	۴/۴۸۲	۴/۳۸۰	۴/۳۱۷	۴/۳۱۲	۴/۳۳۷

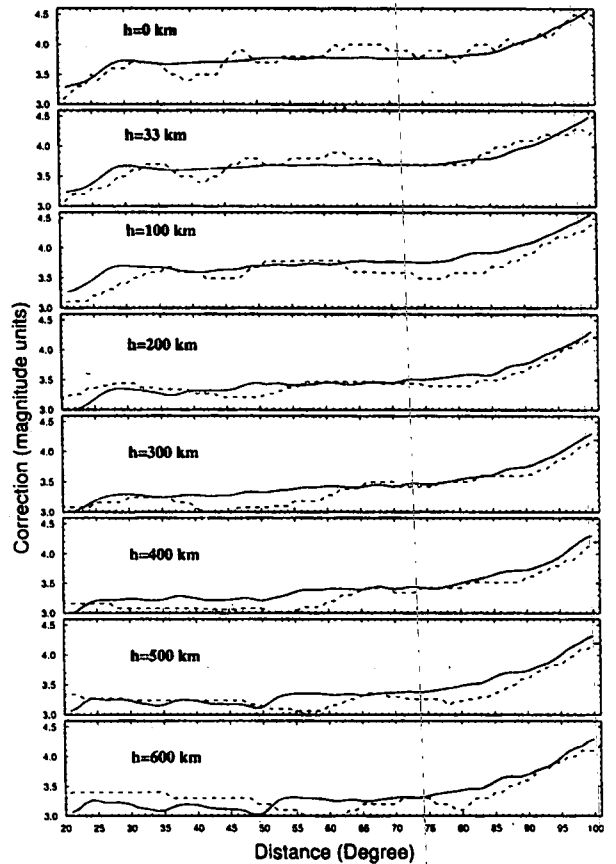
گوتنبرگ - ریشتر برای زمینلرزه‌های با عمق کم، کم‌تر از مقادیر تصحیحی جدیدند و در فواصل ۴۵ تا ۹۰ درجه، مقادیر تصحیحی گوتنبرگ - ریشتر بیشتر از مقادیر تصحیحی جدید هستند و این اختلاف در منحنی‌های تصحیحی برای زلزله‌های عمیق برعکس

عمقی را می‌توان تعیین کرد. در شکل ۳ منحنی‌های تصحیحی جدید با مقادیر تصحیحی گوتنبرگ - ریشتر مقایسه می‌شود. همانطوری که شکل ۳ نشان می‌دهد، در فواصل حدود ۲۰ تا ۳۰ درجه، مقادیر تصحیحی

که منحنی‌های تصحیحی جدید و لیلوال برای زلزله‌های عمیق در چند نقطه یکدیگر را قطع می‌کنند. شکل ۴a نشان می‌دهد که تغییرات منحنی‌های تصحیحی گوتنبرگ - ریشتر در مقایسه با سایر منحنی‌های تصحیحی با افزایش فاصله و عمق، زیاد و پیچیده است. همچنین شکل ۴ نشان می‌دهد که در منحنی‌های تصحیحی گوتنبرگ - ریشتر، ویس - کلاوسون، لیلوال و منحنی‌های تصحیحی جدید، اختلاف متوسط مقادیر در طول ۲۰ تا ۱۰۰ درجه برای عمق صفر و ۷۰۰ کیلومتر به ترتیب عبارت‌اند از ۰/۵۶، ۱/۰۶، ۰/۵۸ و ۰/۵۲. این شکل نشان می‌دهد که منحنی‌های تصحیحی در عمق‌های کم و متوسط تقریباً موازی هستند ولی منحنی‌های تصحیحی برای زلزله‌های عمیق، تغییرات بیشتری را نشان می‌دهد که قسمتی از این تغییرات و ناهمواری مربوط به کمبود داده مورد استفاده است.

۴ مقایسه کارایی مقادیر تصحیحی مختلف

از مقادیر تصحیحی مختلف برای تعیین بزرگی زمینلرزه‌های ثبت شده در کاتالوگ ISC از سال ۱۹۷۸ تا ۱۹۹۳ استفاده شده است و نتایج آنها در شکل ۵ مورد مقایسه قرار گرفته است. اختلاف بزرگی‌های ایستگاهی از بزرگی زمینلرزه (متوسط بزرگی‌های تعیین شده در ایستگاه‌های لرزه‌نگاری) پس از میانگین‌گیری در طول ۱ درجه فاصله بر حسب فاصله رومرکزی در شکل ۵ رسم شدند. همانطوری که این شکل نشان می‌دهد، در هر شش حالت، تغییرات δm_b در فواصل ۳۰ تا ۸۵ درجه کم است ولی برای فواصل نزدیک و فواصل بیشتر از ۹۰ درجه زیاد است. تغییرات مقدار δm_b در طول فاصله برای حالت استفاده از مقدار تصحیحی گوتنبرگ - ریشتر در مقایسه با سایرین بیشتر است. بنابراین مقایسه منحنی‌ها در شکل ۵ نشان می‌دهد که خطای بزرگی برآورد شده هنگام استفاده از مقادیر تصحیحی ویس - کلاوسون، لیلوال و مقادیر تصحیحی جدید کم‌تر از حالت استفاده از مقادیر تصحیحی گوتنبرگ - ریشتر است، هر چند که برای حالات استفاده از مقادیر تصحیحی ویس - کلاوسون و

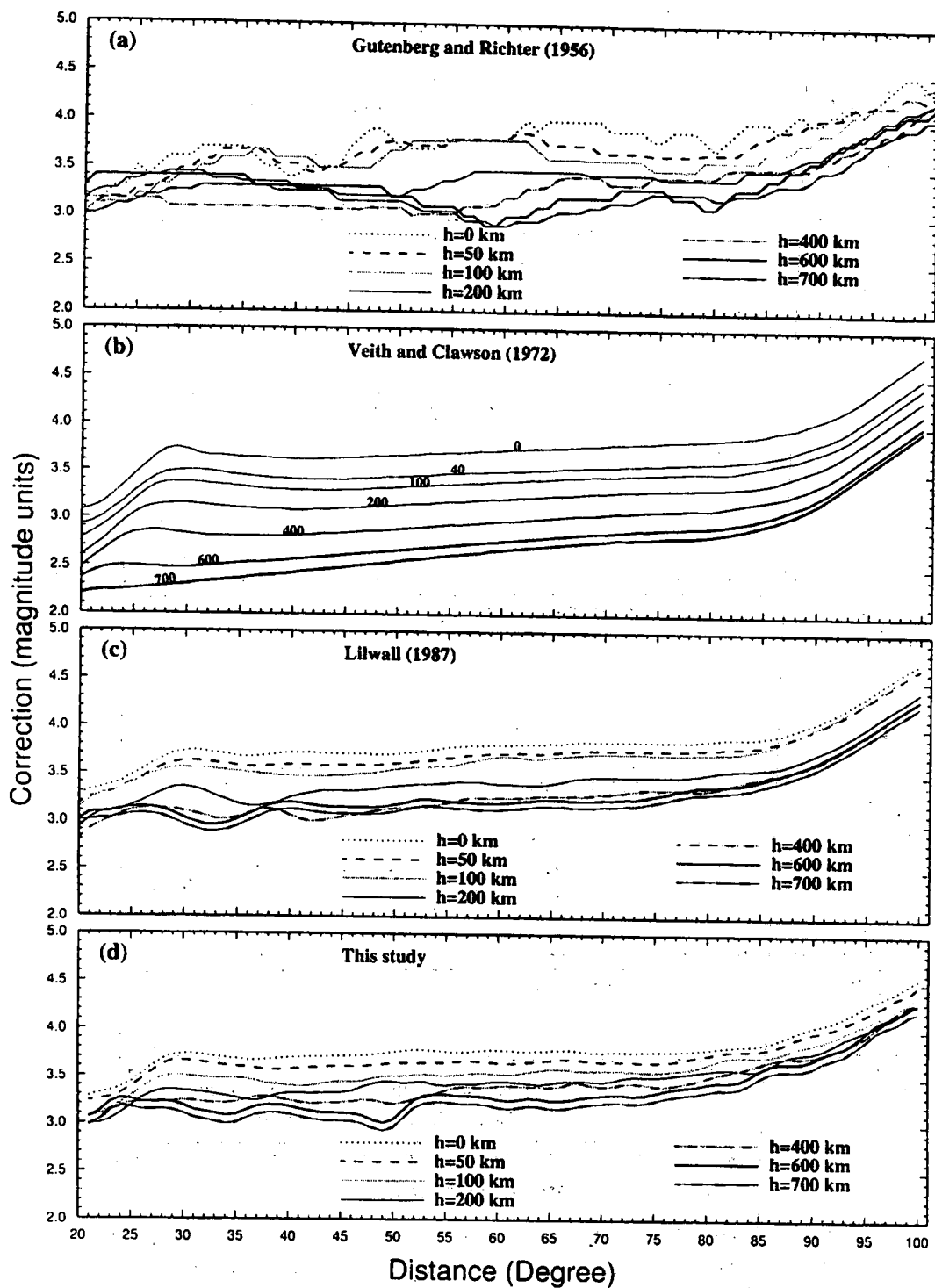


شکل ۳. مقایسه مقادیر تصحیحی گوتنبرگ - ریشتر با مقادیر تصحیحی جدید. در هر گراف منحنی خط چین و منحنی پررنگ به ترتیب منحنی‌های تصحیحی گوتنبرگ - ریشتر و جدید را نشان می‌دهند.

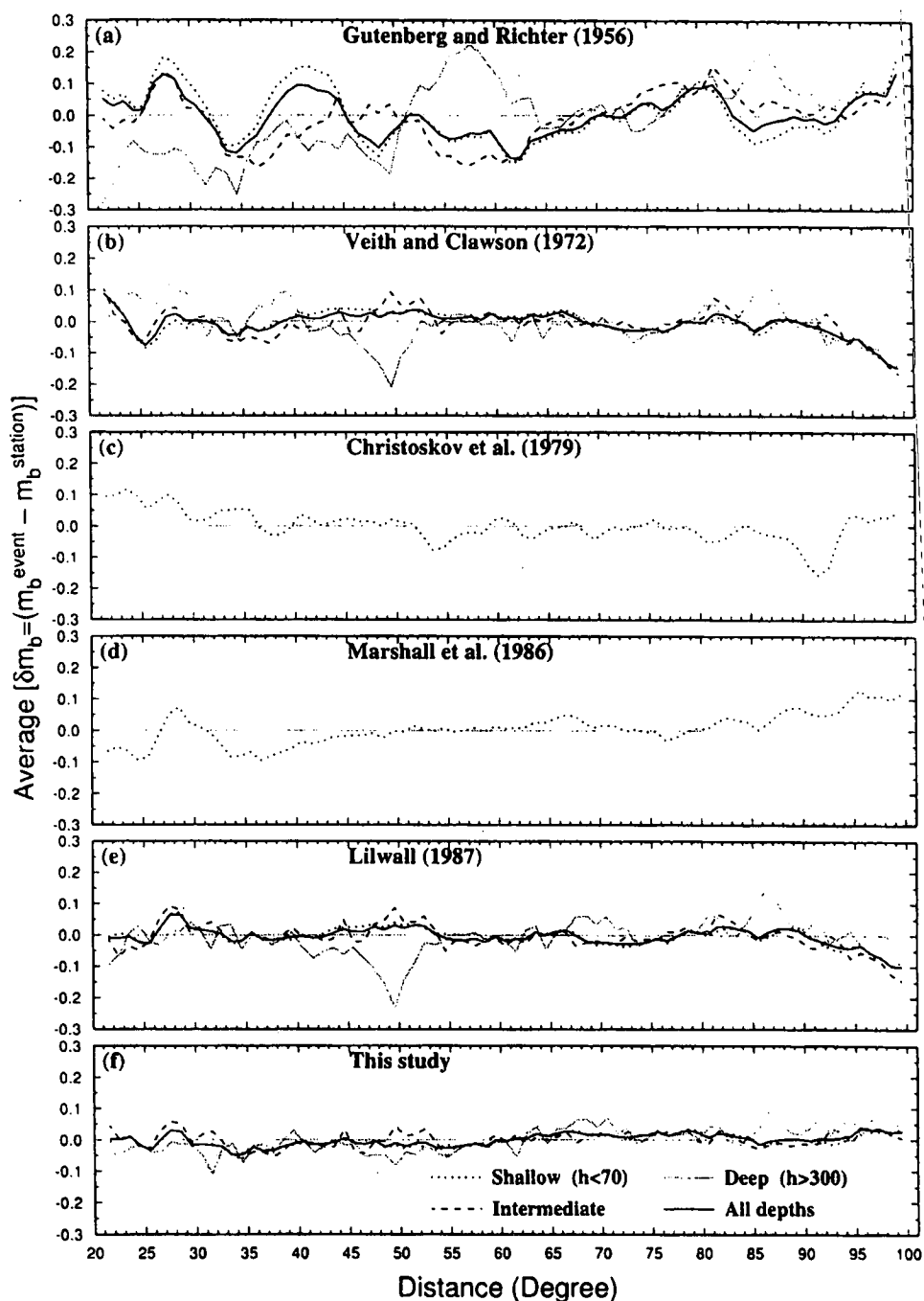
می‌شود یعنی در فواصل نزدیک، مقادیر تصحیحی گوتنبرگ - ریشتر بیشتر از مقادیر تصحیحی جدید، و در فواصل دور مقادیر تصحیحی گوتنبرگ - ریشتر کم‌تر از مقادیر تصحیحی جدید هستند.

۳ مقایسه منحنی‌های تصحیحی مختلف

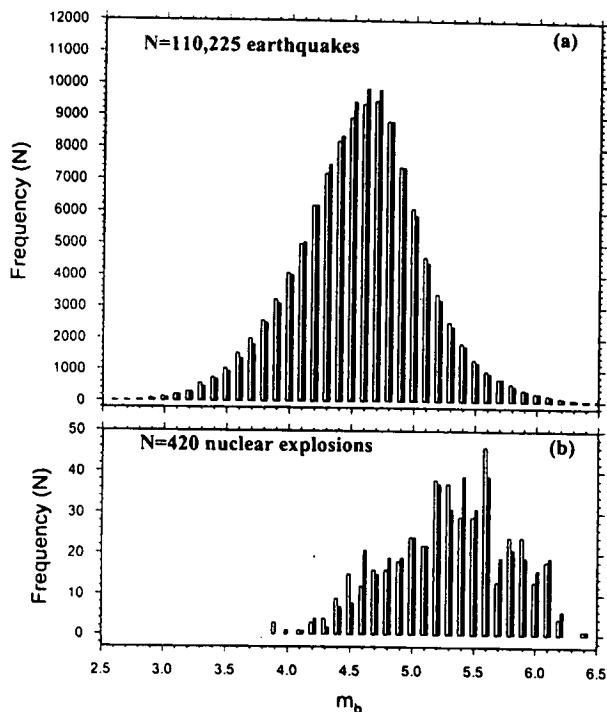
شکل ۴ مقایسه منحنی‌های تصحیحی مختلف را نشان می‌دهد. اکثر این منحنی‌های تصحیحی در فواصل ۳۰ تا ۹۰ درجه که مقادیر تصحیحی هم کم‌تر تغییر می‌کند، شبیه یکدیگر هستند. مقادیر تصحیحی ویس - کلاوسون، لیلوال و آنچه در این مطالعه به دست آمد با افزایش فاصله و عمق شباهت زیادی دارند هر چند



شکل ۴. مقایسه منحنی‌های تصحیحی مختلف برای تعیین بزرگی m_b (a) گوتنبرگ - ریشر (۱۹۵۶). (b) ویس - کلاوسون (۱۹۷۲). (c) لیلوال (۱۹۸۷). (d) منحنی‌های تصحیحی جدید.



شکل ۵. تغییرات متوسط مقادیر باقیمانده بزرگی ($m_b^{event} - m_b^{station}$) در طول یک درجه فاصله بر حسب فاصله مرکزی وقتی که برای تعیین بزرگی m_b از مقادیر تصحیحی مختلف استفاده شود. در هر حالت خط نقطه چین ۹۰۵۷۸۵ داده مربوط به ۶۰۳۳۱ زلزله کم عمق ($h < 70 \text{ km}$)، خط چین ۲۶۹۲۶۹ داده مربوط به ۲۰۰۹۵ زلزله با عمق متوسط ($70 \text{ km} \leq h \leq 300 \text{ km}$)، خط خاکستری ۹۴۱۴۱ داده مربوط به ۶۲۲۲ زلزله عمیق ($h > 300 \text{ km}$)، و خط پر رنگ ۱۲۶۹۱۹۵ داده ایستگاهی مربوط به ۸۶۹۴۸ زلزله (کل داده) را نشان می‌دهد. در محاسبه مقادیر باقیمانده، زلزله که فقط در یک ایستگاه لرزه‌نگاری ثبت شده است شرکت داده نشد.



شکل ۶. نمودار ستونی بزرگی m_b برای ۱۱۰۲۲۵ زلزله و ۴۲۰ انفجار اتمی زیرزمینی که در بولتن‌های ISC در طول ۱۹۷۸ تا ۱۹۹۳ منتشر شده است. در هر دو مورد (a) و (b) نمودار ستونی سفید فراوانی m_b^{G-R} و نمودار ستونی سیاه فراوانی بزرگی m_b^{New} را نشان می‌دهد.

بیشتر از فراوانی m_b^{New} است. در نتیجه برای یک مجموعه داده در مطالعات لرزه‌خیزی b-value به دست آمده براساس مقادیر m_b^{New} به طور سیستماتیک بیشتر از b-value به دست آمده با استفاده از مقادیر m_b^{G-R} خواهد بود.

در موارد زیادی مقادیر m_b^{New} برآورد شده با استفاده از مقادیر تصحیحی جدید بزرگ‌تر از مقادیر m_b^{G-R} است. شکل ۷ این اختلاف را برای ۶۰۵۴۴ تعداد از ۱۱۰۲۲۵ زلزله و برای ۱۸۰ تعداد از ۴۵۰ انفجار هسته‌ای زیرزمینی نشان می‌دهد. مقادیر $m_b^{New} - m_b^{G-R}$ پس از میانگین‌گیری بر حسب m_b^{G-R} برای زلزله‌ها و انفجارات هسته‌ای زیرزمینی که مقادیر بزرگی m_b^{New} و m_b^{G-R} برآورد شده برای آنها برابر نیستند در شکل ۷ رسم شده است. بنابراین هر نقطه در شکل ۷ میانگین اختلاف مقادیر m_b را برای زخدهایی که مقادیر m_b^{G-R} برابر با

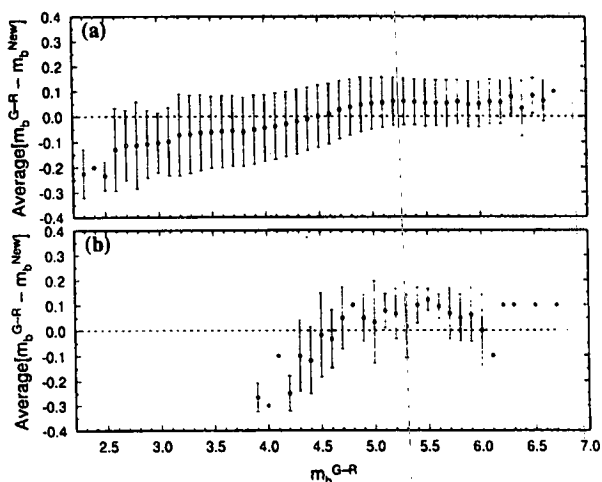
لیوال تغییرات δm_b در فواصل بیشتر از ۸۸ درجه سیستماتیک است. شکل‌های ۵c و ۵d نشان می‌دهند که مقادیر m_b تعیین شده با استفاده از مقادیر تصحیحی کریستوسکو و همکاران (۱۹۷۹) و مارشال و همکاران (۱۹۸۶) دارای خطای سیستماتیک است. برای مثال هنگام استفاده از مقادیر تصحیحی کریستوسکو و همکاران (۱۹۷۹)، و مارشال و همکاران (۱۹۸۶) به ترتیب در فواصل کم‌تر از ۲۸ درجه و بیشتر از ۸۵ درجه بزرگی m_b کم‌تر برآورد می‌شود. استفاده از مقادیر تصحیحی جدید نشان می‌دهد که مقدار بزرگی m_b^{New} برآورد شده تقریباً مستقل از فاصله است و در نتیجه اندازه چشمه را بهتر بیان می‌کند.

نمودار ستونی مقادیر m_b^{New} و m_b^{G-R} برآورد شده با استفاده از مقادیر تصحیحی گوتنبرگ - ریشتر و مقادیر تصحیحی جدید در شکل ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده شد در منحنی‌های تصحیحی برای زمینلرزه‌های کم عمق مقادیر تصحیحی گوتنبرگ - ریشتر در فواصل ۴۵ تا ۹۰ درجه بزرگ‌تر از مقادیر تصحیحی جدید هستند. این اختلاف در منحنی‌های تصحیحی عمیق بر عکس می‌شود. از طرف دیگر اکثر زمینلرزه‌ها، کم عمق‌اند و تمرکز داده‌ها در فاصله ۴۵ تا ۹۰ درجه زیاد است. همچنین اکثر زلزله‌های بزرگ کم عمق هستند و در نتیجه در فواصل زیاد یعنی ۴۵ تا ۹۰ درجه توسط ایستگاه‌های لرزه‌نگاری ثبت می‌شوند. زمینلرزه‌های کوچک، عموماً در ایستگاه‌های نزدیک ثبت می‌شوند که در فواصل نزدیک مقادیر تصحیحی گوتنبرگ - ریشتر کم‌تر از مقادیر تصحیحی جدید هستند. به این دلایل استفاده از مقادیر تصحیحی جدید برای زمینلرزه‌های بزرگ که m_b^{G-R} ‌های برآورد شده آنها بزرگ هستند، m_b^{New} کوچک می‌دهد ($m_b^{New} < m_b^{G-R}$)، و برای زمینلرزه‌های کوچک $m_b^{New} > m_b^{G-R}$ صحیح است. بنابراین در نمودار توزیع فراوانی بزرگی برای یک مجموعه داده در محدوده بزرگی $4/3 \leq m_b \leq 4/8$ فراوانی m_b^{New} بیشتر از فراوانی m_b^{G-R} است و برای $m_b > 4/8$ و $m_b < 4/3$ برعکس یعنی فراوانی m_b^{G-R}

زیاد می‌شود. هر چند که اختلاف متوسط m_b^{G-R} ، m_b^L و m_b^{New} در بعضی محدوده عمق قابل ملاحظه نیست ولی در محدوده عمقی وسیعی این اختلاف اساسی و سیستماتیک است مثلاً در محدوده عمق ۲۰۰ تا ۵۵۰ کیلومتر m_b^{New} بزرگ‌تر از m_b^{G-R} و m_b^L است و برای عمق کم‌تر از ۲۰۰ کیلومتر بر عکس. همان‌طور که این شکل نشان می‌دهد به‌خاطر ضریب جذب بالای گوشته بالایی، متوسط m_b در طول ۲۰ کیلومتر عمق، در عمق‌های متوسط کاهش می‌یابد، در صورتی که ما انتظار داریم با افزایش عمق زیاد شود و این ناشی از این واقعیت است که اکثر زمینلرزه‌های کوچک رخ داده در اعماق زیاد در ایستگاه‌های لرزه‌نگاری ثبت نمی‌شوند. میانگین $\log M_0$ در طول ۲۰ کیلومتر برای ۹۹۴۹ زلزله در شکل ۸b رسم شده است و این شکل نشان می‌دهد که انرژی آزاد شده نسبت به عمق تغییرات کمی دارد و انحراف متوسط $\log M_0$ بستگی به توزیع فراوانی زلزله‌ها نسبت به عمق دارد. همچنین در شکل ۸c میانگین مقادیر m_b^{New} و $\log M_0$ در فواصل ۲۰ کیلومتر عمق مقایسه می‌شوند که تقریباً تغییرات آنها برحسب عمق کانونی همخوانی دارد.

رسم مقادیر متوسط m_b^{G-R} ، m_b^{V-C} ، m_b^L و m_b^{New} بر حسب $\log M_0$ با تفکیک عمق (کم عمق، عمق متوسط و عمیق) برای زیر مجموعه‌ای از داده (۹۹۴۹ زلزله) نشان داد که در مورد استفاده از مقادیر تصحیحی گوتنبرگ - ریشتر، ویس - کلاوسون و لیلوال برای تعیین بزرگی، مقادیر برآورد شده m_b برای زلزله‌های عمیق به ترتیب ۰/۱-۰/۱۵، ۰/۳-۰/۵ و ۰/۱-۰/۲ واحد بزرگی کم‌تر برآورد می‌شوند.

بزرگی پارامتری است که تغییرات سمتی زیادی به خاطر عوامل الگوی تشعشع و غیره دارد. پس بزرگی برآورد شده برای یک زمینلرزه فقط زمانی می‌تواند قابل اعتماد باشد که از میانگین تعداد زیادی بزرگی ایستگاهی (بزرگی) که فقط در یک ایستگاه لرزه‌نگاری تعیین شود) به‌دست آید به طوری که ایستگاه‌ها نیز پوشش سمتی خوبی داشته باشند. در این مطالعه مقادیر

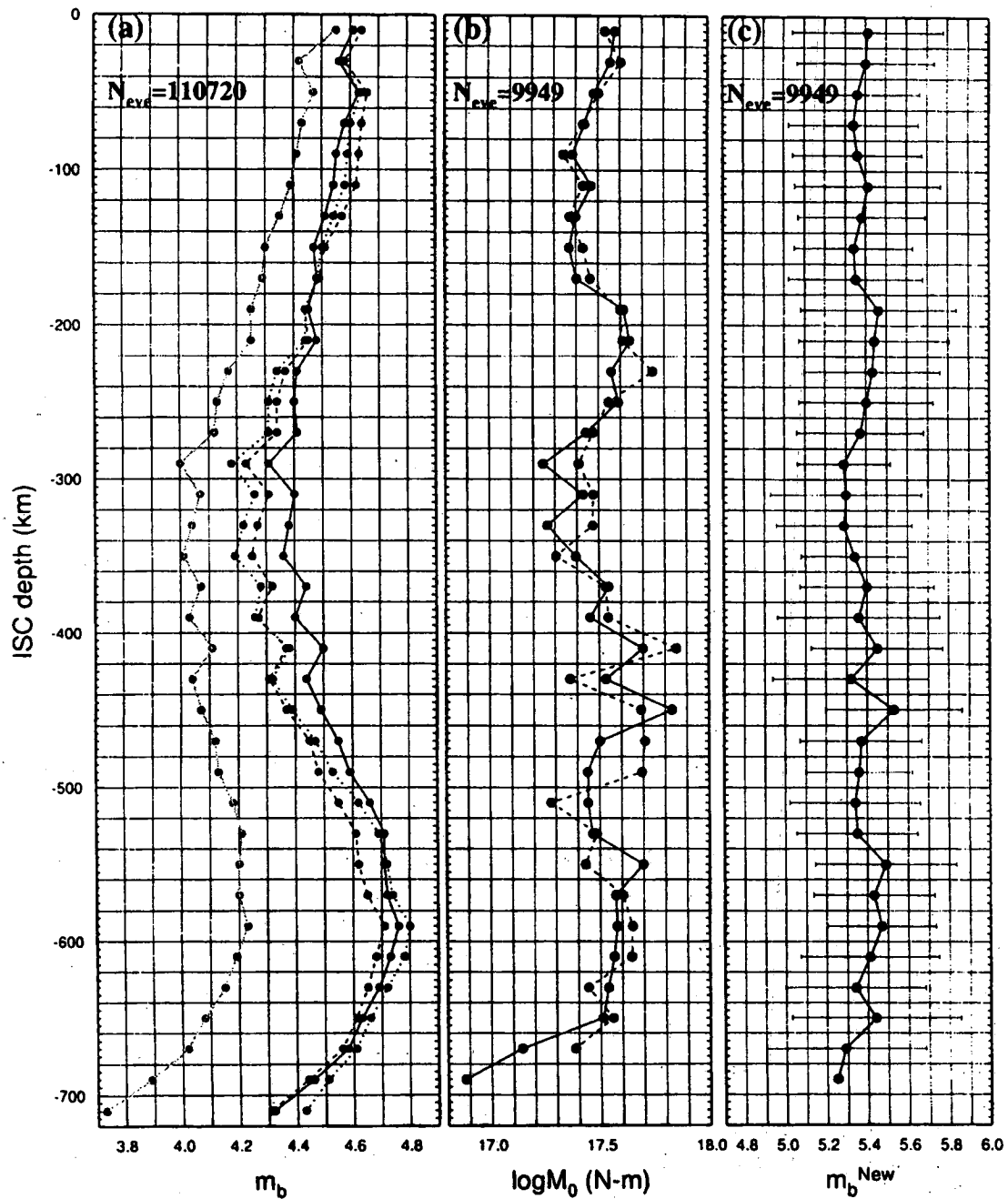


شکل ۷. میانگین مقادیر $m_b^{G-R} - m_b^{New}$ بر حسب m_b^{G-R} با انحراف معیار (a) برای ۶۰۵۴۴ زلزله از تعداد کل ۱۱۰۲۲۵. (b) برای ۱۸۰ انفجار هسته‌ای زیرزمینی از تعداد کل ۴۲۰.

مقادیر m_b^{New} نیستند نشان می‌دهد (رخدادهایی با مقدار m_b^{G-R} یکسان ولی با مقادیر متفاوت m_b^{New}).

به‌طور خلاصه، استفاده از مقادیر تصحیحی جدید برای تعیین بزرگی زمینلرزه‌های منتشر شده در کاتالوگ ISC نشان می‌دهد که m_b برآورد شده تقریباً مستقل از فاصله رومرکزی است و در مقایسه با سایر مقادیر تصحیحی، بزرگی زمینلرزه با خطای کم‌تر برآورد می‌شود. مقایسه بزرگی m_b تعیین شده با استفاده از مقادیر تصحیحی گوتنبرگ - ریشتر و مقادیر تصحیحی جدید نشان می‌دهد که مقادیر تصحیحی جدید بزرگی‌های کوچک را افزایش و بزرگی‌های بزرگ را کاهش می‌دهد در نتیجه استفاده از مقادیر تصحیحی جدید، b-value زیاد می‌دهد.

برای مقایسه، مقادیر m_b^{G-R} ، m_b^{V-C} ، m_b^L و m_b^{New} تعیین شده به ترتیب با استفاده از مقادیر تصحیحی گوتنبرگ - ریشتر، ویس - کلاوسون، لیلوال و مقادیر تصحیحی جدید برای ۱۱۰۷۲۰ زمینلرزه پس از میانگین‌گیری به فواصل ۲۰ کیلومتر برحسب عمق در شکل ۸a رسم شدند. این شکل نشان می‌دهد که مقدار میانگین m_b^{V-C} کوچک‌تر از بقیه است و این اختلاف با افزایش عمق



شکل ۸. (a) مقایسه توزیع متوسط بزرگی در طول ۲۰ کیلومتر به عنوان تابعی از عمق برای ۱۱۰۷۲۰ زمینلرزه. منحنی‌های نقطه چین، خاکستری، خط چین و پر رنگ به ترتیب معرف متوسط مقادیر m_b^{G-R} ، m_b^{V-C} ، m_b^L و m_b^{New} می‌باشد. (b) توزیع متوسط $\log M_0$ در طول ۲۰ کیلومتر عمق به عنوان تابعی از عمق برای ۹۹۴۹ زلزله انتخاب شده از مقایسه دو کاتالوگ ISC و CMT. در شکل ۸b خط پر رنگ و خط چین به ترتیب حالت‌های استفاده از عمق تعیین شده توسط ISC و CMT را مشخص می‌کنند. (c) میانگین مقادیر m_b^{New} و $\log M_0$ (در فواصل ۲۰ کیلومتر) برحسب عمق کانونی CMT هاواراد.

با استفاده از مقادیر تصحیحی جدید تقریباً مستقل از فاصله رومرکزی و عمق کانونی زمینلرزه است و در مقایسه با سایر مقادیر تصحیحی، مقادیر تصحیحی جدید m_b را تقریباً بدون خطا برآورد می‌کند. همچنین بررسی انجام شده نشان می‌دهد که استفاده از تصحیح ایستگاهی S_c در تعیین بزرگی باعث کاهش انحراف معیار مقادیر بزرگی به مقدار ۰/۰۷ می‌شود که از نظر آماری قابل ملاحظه است.

۵ نتیجه‌گیری

تشکر و قدردانی
این پژوهش با مساعدت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه تهران در چارچوب طرح پژوهشی مصوب شماره ۶۲۵/۱/۵۱۰ انجام شده است. بدین وسیله از شورای پژوهشی موسسه ژئوفیزیک و شورای پژوهشی دانشگاه تهران تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

- Carpenter, E. W., Marshall, P. D., and Douglas, A., 1967, The amplitude-distance curve for short period teleseismic P-wave: *Geophys. J. R. astr. Soc.* 13, 61-70.
- Christoskov, L., Kondorskaya, N. V., and Vaněk, J., 1979, Homogeneous magnitude system of the Eurasian continent: P waves, Report SE-18, World Data Centre A for Solid Earth Geophysics, Boulder, Colorado, 57 pp.
- Cleary, J., 1967, Analysis of the amplitudes of short-period P-waves recorded by Long Range Seismic Measurements Stations in the distance range 30° to 120°: *Jour. Geophys. Res.* 72, 4705-4712.
- Gutenberg, B., 1945a, Amplitudes of P, PP, and S and magnitude of shallow earth-quakes: *Bull. Seism. Soc. Am.* 35, 57-69.
- Gutenberg, B., 1945b, Magnitude determination for deep-focus earthquakes: *Bull. Seism. Soc. Am.* 35, 117-130.
- Gutenberg, B., and Richter, C. F., 1956, Magnitude and energy of earthquakes: *Ann. Geof.* 9, 1-15.
- Lilwall, R. C., 1987, Empirical amplitude-distance/depth curves for short-period P waves in the distance range 20° to 180°: AWRE Report No. O 30/86, HMSO, London.

بزرگی‌های m_b^{New} و m_b^L ، m_b^{V-C} ، m_b^{G-R} با استفاده از تصحیح ایستگاهی (S_c) در فرمول $m_b = \log(A/T) + Q(\Delta, h) + S_c$ تعیین شد و نتایج به دست آمده نشان داد که در نظر گرفتن تصحیح ایستگاهی باعث کاهش انحراف معیارها تا حدود ۰/۰۷ می‌شود که از نظر آماری قابل ملاحظه است.

در این مطالعه برای کالیبره کردن منحنی‌های دامنه‌فاصله موج P با ممان لرزه‌ای علاوه بر استفاده از رابطه‌ای خطی واحد بین m_b و $\log M_0$ از چندین رابطه تجربی مجزا بین m_b و $\log M_0$ برای عمق‌های مختلف استفاده شد. نتایج به دست آمده نشان داد که استفاده از مقادیر تصحیحی به دست آمده از بکارگیری چند رابطه مجزا بر خلاف آنچه که تصور می‌شد در بعضی موارد باعث ایجاد خطای سیستماتیک در m_b تعیین شده می‌گردد، در نتیجه مقادیر تصحیحی به دست آمده با استفاده از رابطه (۳) بخاطر کارایی خوب آنها به عنوان مقادیر تصحیحی جدید در نظر گرفته شد. مقایسه بزرگی محاسبه شده با استفاده از مقادیر تصحیحی گوتنبرگ - ریشر و مقادیر تصحیحی جدید نشان می‌دهد که مقادیر تصحیحی جدید به طور سیستماتیک، بزرگی زمینلرزه‌های کوچک را افزایش و بزرگی زمینلرزه‌های بزرگ را کاهش می‌دهد. بنابراین در مطالعات لرزه‌خیزی برای یک مجموعه داده b-value به دست آمده با استفاده از مقادیر m_b^{New} به طور سیستماتیک بیشتر از b-value به دست آمده با استفاده از مقادیر m_b^{G-R} خواهد بود.

مقایسه بزرگی‌های برآورد شده با استفاده از مقادیر تصحیحی مختلف نشان داد که در مواقع استفاده از مقادیر تصحیحی گوتنبرگ - ریشر، ویسن - کلاوسون و لیلوال، مقادیر بزرگی برآورد شده برای زلزله‌های عمیق به ترتیب ۰/۱-۰/۱۵، ۰/۳-۰/۵ و ۰/۱-۰/۲ واحد بزرگی کم‌تر برآورد می‌شوند و m_b تعیین شده

- Marshall, P. D., Bingham, J., and Young, J. B., 1986, An analysis of P-wave amplitudes recorded by seismological stations in the USSR: *Geophys. J. R. Astr. Soc.* **84**, 71-91.
- Rezapour, M., 1999, Removal of bias in global seismic magnitude determination: Ph.D. Thesis, Edinburgh University.
- Richter, C. F., 1935, An instrumental earthquake magnitude scale: *Bull. Seism. Soc. Am.* **25**, 1-32.
- Patton, H. J., 1998, Bias in the centroid moment tensor for central Asian earthquakes: Evidence from regional surface wave data: *Jour. Geophys. Res.* **103**, 26963-26974.
- Vaněk, J., Kondorskaya, N. V., Fedorova, I. V., and Christoskov, L., 1982, Optimization of amplitude curves of seismic P-, S- and L-waves in the homogeneous magnitude system of the Eurasian continent: *Tectonophysics*, **84**, 41-45.
- Veith, K. F., and Clawson, G. E., 1972, Magnitude from short-period P-wave data: *Bull. Seism. Soc. Am.* **62**, 435-452.
- Venables, W. N., and Ripley, B. D., 1999, Modern applied statistics with S-PLUS: 3rd edition, Springer, New York.