فیزیک زمین و فضا، دوره ۴۲، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۵، صفحهٔ ۲۴۷- ۲۶۲

رابطه‌های تجربی میان بزرگی و برخی پارامترهای گسلش برای زمین‌لرزه‌های ایران و ناحیه‌های مجاور

فروغ محمدامینی[۱]، الهام شعبانی[۲*] و نوربخش میرزائی[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران
۲.استادیار، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران
۳.استاد، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

(دریافت: ۹۴/۵/۱۷، پذیرش نهایی: ۹۵/۳/۲۵)

چکیده

برآورد اندازهٔ بزرگ‌ترین زمین‌لرزه‌ای که ممکن است براثر یک گسل مشخص یا چشمهٔ زمین‌لرزه رخ دهد، از جمله پارامترهای مهم تأثیرگذار درتحلیل‌خطر زمین‌لرزه است. یکی از روش‌های برآورد این بزرگی، استفاده از رابطه‌های تجربی بین بزرگی و پارامترهای گسل عامل زمین‌لرزه است. هدف اصلی این تحقیق عرضهٔ بهترین رابطه‌های تجربی ممکن بین بزرگی و پارامترهای گسل به چند روش برازش (رگرسیون) مناسب، مبتنی برفهرست‌نامهٔ گردآوری شده و روزآمد شدهٔ زمین‌لرزه‌های منطقه است. برای این منظور، برخی از پارامترهای گسلش از جمله طول شکستگی سطحی، بیشینه جابه‌جایی‌های افقی و قائم و بزرگی‌های M_w و M_s بیشتر از ۵/۵ گزارش‌شدهٔ دورهٔ دستگاهی تا پایان سال ۲۰۱۴ برای زمین‌لرزه های ایران و ناحیه‌های مجاور با دقت گردآوری شده است. با این هدف، سه مدل رگرسیون SR، ISR و OR به‌کار رفته است. روشن شد که ضریب‌های بین بزرگی‌ها و پارامترهای گسل در رابطه‌های حاصل از روش‌های SR و OR با خطای کمتری نسبت به روش ISR برآورد می‌شوند. درعوض، در رابطه‌های وارون، طول شکستگی سطحی و بیشینه جابه‌جایی‌های قائم و افقی برحسب M_w و M_s، ضریب‌های حاصل ازروش ISR با کمترین میزان خطا نسبت به سایر روش‌ها برآورد می‌شوند. نتیجه‌های حاصل از این تحقیق با رابطه‌های مشابه جهانی مقایسه شده است. برای نمونه، در رابطهٔ بین M_s و طول شکستگی سطحی، رابطهٔ میانگین جهانی به کار رفته نسبت به OR در این تحقیق تا بزرگی حدود ۷/۲ فراتخمین و پس از آن فروتخمین نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: رابطه‌های تجربی، پارامترهای گسل، بیشینه بزرگی، طول شکستگی سطحی، بیشینه جابه‌جایی سطحی.

۱. مقدمه

امروزه در سرتاسر جهان شاهد زمین‌لرزه‌های کوچک و بزرگ بسیاری هستیم. برخی از این زمین‌لرزه‌ها در نقاط دوردست و خالی از سکنه به‌وقوع می‌پیوندند که خسارات ناشی از آنها ناچیز است. اما، برخی دیگر در مناطق شهری با جمعیت متراکم رخ می‌دهند و خسارات عظیمی را وارد می‌کنند. سرزمین ایران به علت قرار گرفتن در کمربند کوه‌زایی آلپ-هیمالیا یکی از مناطق لرزه‌خیز جهان است که بارها متحمل زمین‌لرزه‌های مخرب شده است.

راهکار عملی کاهش خسارات مالی و جانی، تحلیل‌خطرزمین‌لرزهٔ منطقهٔ موردنظر و کاربرد نتیجه‌های آن در طراحی‌های مقاوم در برابر زمین‌لرزه است. برای تحلیل‌خطر منطقه، برآورد پتانسیل لرزه‌خیزی منطقه؛ به‌ویژه، برآورد اندازهٔ بزرگ‌ترین زمین‌لرزه‌ای که می‌تواند براثر یک گسل مشخص یا چشمهٔ زمین‌لرزه روی دهد، ضروری است.

بزرگی زمین‌لرزه با پارامترهای گسیختگی مانند طول گسیخت و جابه‌جایی، همبستگی دارد. بنابراین، پژوهش‌هایی مانند دیرینه‌زلزله‌شناسی و زمین‌شناسی گسل‌های فعال روی برآورد این پارامترهای گسل متمرکز هستند. رابطه‌های زیادی بین بزرگی و پارامترهای گسلش عرضه شده است؛ برای نمونه می‌توان به پژوهش‌های اوتسو و سکی (۱۹۵۴)، تاچر (۱۹۵۸)، ایدا (۱۹۵۹)، آلبی و اسمیت (۱۹۶۶)، اوتسو (۱۹۶۹)، چینری (۱۹۶۹)، بونیلا و بوکانون (۱۹۷۰)، کاناموری و اندرسون (۱۹۷۵)، اسلیمونز (۱۹۷۷)، اُناکا (۱۹۷۸)، آکاریا (۱۹۷۹)، وایس (۱۹۷۹)، سینگ و همکاران (۱۹۸۰)، اسلیمونز (۱۹۸۲)،

*نگارنده رابط: E-mail: eshabani@ut.ac.ir

پورکارو و برخمر (۱۹۸۲)، شولز (۱۹۸۲)، بونیلا و همکاران (۱۹۸۴)، وسنوسکی (۱۹۸۶)، داراگ و بولت (۱۹۸۷)، اسلیمونز و همکاران (۱۹۸۹) و ولز و کوپراسمیت (۱۹۹۴) اشاره کرد. برای اطلاع از رابطه‌های مشابه برای ایران نیز می‌توان به نوروزی و مهاجراشجعی (۱۹۷۸)، نوروزی (۱۹۸۵)، زارع (۱۳۷۴) و نعمتی (۲۰۱۴) اشاره کرد.

این نوع رابطه‌ها از نظر کاربردی بسیار پراهمیت هستند؛ زیرا درصورت معلوم بودن پارامترهای گسلش، می‌توان بیشینه بزرگی (m_{max}) قابل تولید با چشمهٔ مربوط را محاسبه کرد. بیشینه بزرگی از جمله پارامترهای مهم و بحث‌برانگیز در تحلیل‌خطر هر منطقه به‌شمار می‌رود و محاسبهٔ مقدار آن می‌تواند تأثیر مهمی در برآورد پتانسیل لرزه‌خیزی آن منطقه داشته باشد. این پارامتر، برآوردی از زمین‌لرزه‌های آینده در پهنهٔ مورد بررسی عرضه می‌کند و به‌منزلهٔ بیشترین حد بزرگی برای ناحیهٔ لرزه‌ای یا کل منطقه تعریف می‌شود. برای برآورد بیشینه بزرگی روش‌های گوناگونی از جمله روش‌های احتمالاتی و قطعی عرضه شده است. در روش‌های قطعی، رابطه‌ها بین بزرگی و پارامترهای گسلش استوار است. این رابطه‌ها برای ناحیه‌های گوناگون لرزه‌ای و انواع گسل‌ها متفاوت هستند. در این زمینه می‌توان به کارهای ولز و کوپراسمیت (۱۹۹۴) و اندرسون و همکاران (۱۹۹۶) اشاره کرد. در روش‌های احتمالاتی، مقدار $m_{\max}$ با به‌کار بردن فهرست‌نامهٔ زمین‌لرزه‌ها و یک روش برآورد آماری مناسب، از روی تاریخچه لرزه‌ای منطقه برآورد می‌شود (کیکو ،۲۰۰۴).

در این تحقیق، ابتدا، فهرست‌نامهٔ کاملی شامل زمین‌لرزه‌هایی با بزرگی بیشتر از۵/۵، دورهٔ دستگاهی تا پایان سال ۲۰۱۴ ، برای ایران و ناحیه‌های مجاور تهیه شده است. برای زمین‌لرزه‌هایی که مقدار بزرگی برحسب M_w و M_s برای آنها موجود نبود، مقدارهای معادل از رابطه‌های تبدیل بین بزرگی ها، عرضه شدهٔ موسوی بفروئی و همکاران (۲۰۱۴)، برای ایران و آکار و همکاران (۲۰۱۰) برای ناحیه‌های مجاور ایران ، استفاده شده است. این فهرست‌نامه با سایر فهرست‌نامه‌های موجود در پهنهٔ مورد بررسی از جمله، آمبرسیز و ملویل (۱۹۸۲)، نوروزی (۱۹۸۵)، آمبرسیز و جکسون (۱۹۹۸) و بربریان (۲۰۱۴) مقایسه شده است. اطلاعات موجود در فهرست‌نامه‌های پیشین مجدداً بررسی و صحیح‌ترین مقدارها برای زمین‌لرزه‌ها انتخاب شده است؛ به‌علاوه، داده‌های مربوط به زمین‌لرزه‌های اخیر نیز به‌منظور دستیابی به فهرست‌نامهٔ کامل‌تر و عرضهٔ رابطه‌های صحیح‌تر بین بزرگی‌ها و پارامترهای گسلش، جمع‌آوری شده است. براساس کمیت و کیفیت داده‌ها، رابطه‌هایی بین بزرگی و طول شکستگی سطحی، بزرگی و بیشینه جابه‌جایی افقی و بزرگی و بیشینه جابه‌جایی قائم به‌دست آمده است.

در برازش‌های صورت گرفته، ابتدا، بدون تفکیک اطلاعات از نظر نوع لغزش، بهترین رابطه بین M_{w} و M_s با طول شکستگی سطحی به‌دست آمده است. پس ازتفکیک داده‌ها براساس نوع لغزش نیز بهترین همبستگی بین M_{w} و M_{s} با طول شکستگی سطحی نشان داده شده است. رابطه‌های بین M_s و بیشیته جابه‌جایی‌های افقی و قائم نسبت به رابطهٔ بین M_{w} و بیشینه جابه‌جایی‌های افقی و قائم همبستگی بهتری را نشان می‌دهند. سپس، با تفکیک اطلاعات برحسب سه نوع گسلش امتدادلغز، عادی و وارون رابطه‌های مستقلی نیز داده شده است. سه مدل برازش SR، ISR و OR برای این منظور به‌کار رفته است. ضریب‌های بین بزرگی‌ها و پارامترهای حاصل از روش‌های SR و OR با خطای کمتری نسبت به روش ISR برآورد می‌شوند. در عوض، در رابطه‌های وارون، طول شکستگی سطحی و بیشینه جابه‌جایی‌های قائم و افقی برحسب M_{w} و M_{s}، ضریب‌های حاصل ازروش ISR با کمترین میزان خطا نسبت به سایر روش‌ها برآورد شده است. در آخر، رابطه‌های به‌دست آمده در این تحقیق با رابطه‌های جهانی و رابطه‌های موجود برای ایران مقایسه شده است.

۲. پارامترهای گسل

در این کار، از روش قطعی، بر پایهٔ طول شکستگی سطحی و بیشینهٔ جابه‌جایی‌های افقی و قائم برای برآورد m_{max} استفاده شده است. برای این منظور، ابتدا، اطلاعات مربوط به پارامترهای گسل ۸۴ زمین‌لرزهٔ ایران و ناحیه‌های مجاور با بزرگی $M_{\mathrm{w}} \geq 5/5$ گردآوری شد. برای هر زمین‌لرزه، بزرگی، عمق، نوع لغزش، طول شکستگی سطحی، بیشینه جابه‌جایی‌های افقی و قائم در سطح زمین، جمع‌آوری شده است. برای تعدادی از زمین‌لرزه‌ها، چندین مقدار برای پارامترهای گوناگون وجود دارد، که انتخاب صحیح‌ترین مقدار برای هر پارامتر، یکی از تلاش‌های اصلی این تحقیق بوده است. برای انتخاب مقدارهای صحیح، مشاهدات صحرایی معتبر و پژوهش‌های زلزله‌شناسی قابل اطمینان، مورد توجه قرار گرفته است.

از میان فهرست‌نامهٔ اولیه، ۷۶ زمین‌لرزه برای بررسی رابطه‌های نهایی انتخاب شد، که مشخصات آنها در جدول پیوست الف آمده است. زمین‌لرزه‌هایی که از بررسی کنار گذاشته شدند، یا پس‌لرزه و پیش‌لرزهٔ زمین‌لرزه‌های دیگر به حساب می‌آمدند، که اطمینان زیادی به گزارش صحیح مقدار پارامترهای مربوط به گسل تولید کنندهٔ آنها نبود و یا زمین‌لرزه‌هایی بودند که اطلاعات دقیقی از پارامترهای گسلش مربوط به آنها در اختیار نبود. همچنین، به علت نبود اطمینان از دقت مشخصات گسل مربوط به زمین‌لرزه‌های تاریخی داده‌های مورد استفاده، زمین‌لرزه‌های تاریخی را شامل نمی‌شود. معیارهای انتخاب پارامترها در ادامه آمده است.

۲. ۱. بزرگی

ازآنجاکه صحت بزرگی انتخابی در کیفیت رابطه‌های بین بزرگی و پارامترهای گسل نقش مهم و اساسی ایفا می‌کند، در انتخاب بزرگی‌ها بسیار دقت شده است. بزرگی موج‌های درونی (m_b)، بزرگی موج‌های سطحی (M_{s}) و بزرگی گشتاوری (M_{w}) برای بررسی‌های لازم، در فهرست‌نامه آورده شده‌اند. برای انتخاب مقدارهای بزرگی، به‌ترتیب از میرزائی و همکاران (۱۳۸۱)، مرکز بین‌المللی زلزله‌شناسی(ISC) و مرکز ملی اطلاعات زمین‌لرزه امریکا (NEIC) استفاده شد. ازآنجاکه، m_b تقریباً از ۵/۵ شروع به اشباع شدن می‌کند و در بزرگی حدود ۶ کاملاً اشباع می‌شود، نمی‌توان از m_b برای تعیین رابطه‌های تجربی مبتنی بر بزرگی استفاده کرد. همچنین، M_{s} تقریباً از ۷/۲ شروع به اشباع شدن می‌کند و درحدود ۸ کاملاً اشباع می‌شود. لیکن، ازآنجاکه در محدودهٔ مورد تحقیق، زمین‌لرزه‌ها، در بازهٔ اشباع M_s واقع نشده‌اند، یعنی زمین‌لرزه‌ای با بزرگی M_s بیشتر از ۸ وجود ندارد؛ و همچنین، تعداد زمین‌لرزه‌های با M_s بیشتر از ۷/۲ نیز بسیار ناچیز است، درنتیجه، می‌توان بزرگی M_s را برای عرضهٔ رابطه‌های تجربی بین بزرگی و پارامترهای گسل به‌کار برد. در برخی از زمین‌لرزه‌ها، مقدار بزرگی‌های M_w و M_s موجود نیست، که در این صورت برای تکمیل اطلاعات به‌ترتیب از بزرگی‌های حاصل از پژوهش‌های وارون‌سازی، بزرگی‌های عرضه شدهٔ بربریان (۲۰۱۴)، وارون‌سازی تانسور ممان در مؤسسهٔ ژئوفیزیک دانشگاه تهران، بزرگی موجود در فهرست‌نامهٔ ولز و کوپراسمیت (۱۹۹۴) و بزرگی‌های موجود در فهرست‌نامهٔ عرضه شدهٔ موسوی بفروئی و همکاران (۲۰۱۴)، استفاده شده است. همچنین، در این زمینه، برای ناحیه‌های اطراف ایران نیز از رابطه‌های تبدیل عرضه شدهٔ آکار و همکاران (۲۰۱۰) بهره گرفته شده است.

۲. ۲. نوع لغزش

در پژوهش‌های گذشته نشان داده شده است که دسته‌بندی داده‌ها بر پایهٔ نوع لغزش، اهمیت زیادی در تعیین رابطه‌های تبدیل بین بزرگی و پارامترهای گسلش خواهند داشت. در تحقیق پیش رو، برای تعیین نوع لغزش در هر زمین‌لرزه، به‌ترتیب از کارهای آمبرسز و جکسون(۱۹۹۸)، بربریان (۲۰۱۴)، میرزائی و همکاران (۱۳۸۱)، بربریان و همکاران (۲۰۰۱)، آمبرسیز (۱۹۸۸) و ولز و کوپراسمیت (۱۹۹۴) کمک گرفته شده است. در عرضهٔ رابطه‌های بین بزرگی و پارامترهای گسلش، داده‌ها در سه دستهٔ، امتدادلغز، عادی و وارون قرار داده شده‌اند. برای زمین‌لرزه‌های مورب‌لغز

نیز، مؤلفهٔ لغزش عمده مدنظر قرار گرفته است؛ برای مثال، در زمین‌لرزهٔ ۱۹۳۰/۵/۶ سلماس، شاهد مؤلفهٔ غالب عادی به همراه مؤلفهٔ امتدادلغز راستگرد هستیم، که این زمین‌لرزه در دستهٔ گسلش عادی قرار گرفته است.

۲. ۳ طول شکستگی سطحی، بیشینه جابه‌جایی‌های افقی و قائم

ازآنجاکه پارامترهای گسلش ارتباط مستقیمی با بزرگی زمین‌لرزه دارند، دقت در تعیین و انتخاب آنها، اجتناب ناپذیر است. در منابع گوناگون، مقدارهای متفاوتی برای پارامترهای نام برده شده در هر زمین‌لرزه موجود است که، در این تحقیق سعی برآن شد صحیح‌ترین مقدارها بر مبنای مشاهدات میدانی و پژوهش‌های معتبر (برای مقدارهای طول شکستگی سطحی و جابه‌جایی واقعی همالرزه‌ای)، انتخاب شود.

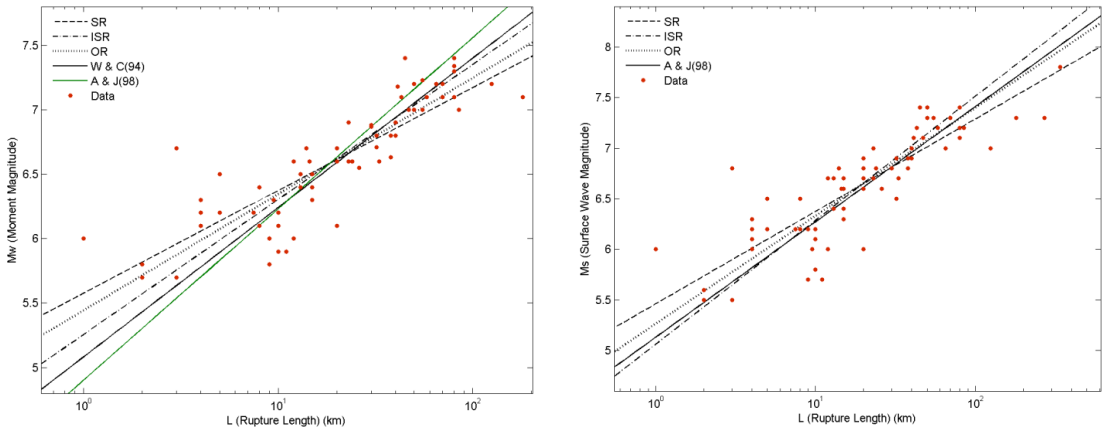
۳. مدل‌های برازش

در رابطه‌های تبدیل، از راهکارهای گوناگونی برای برازش خط به هر دسته از داده، استفاده شده است و به‌کمک پارامترهای خطا، بهترین برازش صورت گرفته است. برای برازش خط از سه روش کمترین مربعات یا برازش استاندارد (SR)، برازش استاندارد وارون (ISR) و برازش متعامد تعمیم‌یافته (GOR) استفاده شده است. در روش کمترین مربعات، برای متغیر مستقل هیچ خطایی درنظر گرفته نمی‌شود یا خطای متغیر مستقل نسبت به خطای متغیر وابسته، بسیار ناچیز فرض می‌شود و با کم کردن مجموع مربعات اختلاف‌های مقدارهای اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده متغیر مؤلفهٔ عمودی، بهترین خط برازش می‌شود. در روش ISR خطای متغیر مؤلفهٔ عمودی ناچیز فرض می‌شود و با کم کردن مجموع مربعات اختلاف مقدارهای اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده متغیر مؤلفهٔ افقی، بهترین خط، برازش می‌شود. بنابراین، برازش به‌روش کمترین مربعات، برای رابطه‌های تبدیل بین بزرگی و پارامترهای گسلش که در آنها، متغیرهای مربوط به هر دو مؤلفه دارای خطا هستند، مناسب نیست (موسوی بفروئی و همکاران، ۲۰۱۴).

در روشGOR، خطا برای هر دو متغیر درنظر گرفته می‌شود. در این روش با کم کردن مجموع مربعات فاصلهٔ عمودی داده‌ها، از خط برازش شده، بهترین خط تعیین می‌شود. همچنین، تفاوت خطای دو متغیر، با استفاده از پارامتر نسبت واریانس آنها ($\eta = \frac{\sigma_y^2}{\sigma_x^2}$)، درنظر گرفته می‌شود. لیکن، به‌علت در دسترس نبودن خطای متغیرهای مورد استفاده، پارامتر نسبت خطا، برابر یک درنظر گرفته شده است. البته، کاستلارو و بورمن (۲۰۰۷) با مقایسهٔ نتیجه‌های روش‌های SR، ISR و GOR براساس η های گوناگون، به این نتیجه رسیده‌اند که اگر مجذور η بین ۰/۷ و ۱/۸ باشد، روش OR (GOR با فرض η=۱) مناسب‌تر از دو روش SR و ISR است. در صورتی که مجذور η کمتر از ۰/۷و یا بیشتر از ۱/۸ باشد، به‌ترتیب، استفاده از روش‌های ISR و SR، مناسب‌تر از روش OR است. بدیهی است درصورتی‌که نسبت خطای مربوط به پارامترها مشخص باشد، استفاده از روش GOR، درحکم بهترین روش توصیه شده است (لولی و گاسپرینی، ۲۰۱۲).

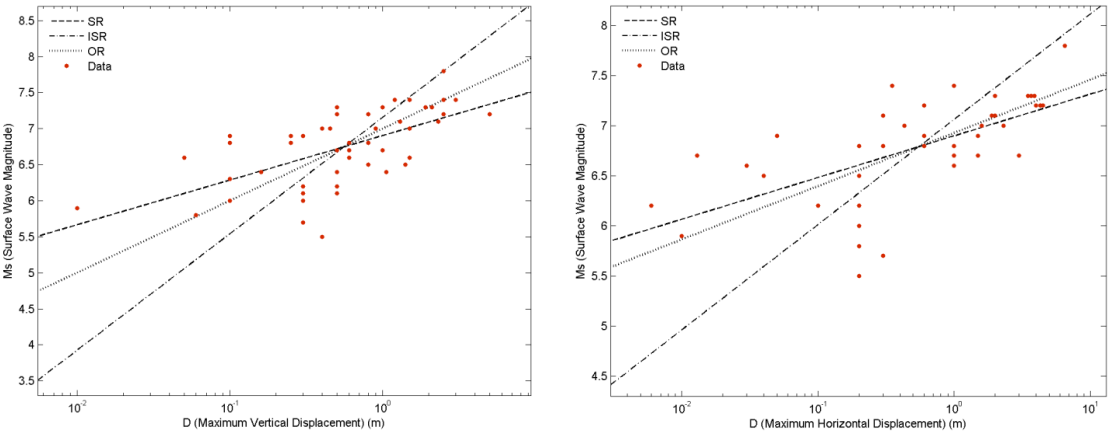
۴. نتیجه‌های برازش

با سه مدل برازش معرفی شده، رابطه‌هایی بین دو نوع بزرگی M_s و M_w با پارامترهای طول شکستگی سطحی و بیشینه جابه‌جایی‌های افقی و قائم در سطح گسل حاصل شده است (شکل‌های ۱ تا ۹). این شکل‌ها برای برازش بین پارامترها، بدون تفکیک نوع لغزش؛ برازش بین پارامترها، با تفکیک نوع لغزش و همچنین، برازش بین پارامترها، جداگانه برای هر نوع لغزش نمایش داده شده است. اطلاعات حاصل از برازش‌ها بدون تفکیک نوع لغزش، از جمله ضریب‌های برازش، خطای استاندارد ضریب‌ها و ضریب همبستگی را می‌توان در جدول ۱ مشاهده کرد. این رابطه‌های تجربی در دو صورت، Log(x)= a + b * y و Log(y)= a + b * x که در آنها y متغیر وابسته و x متغیر مستقل است، عرضه شده‌اند.



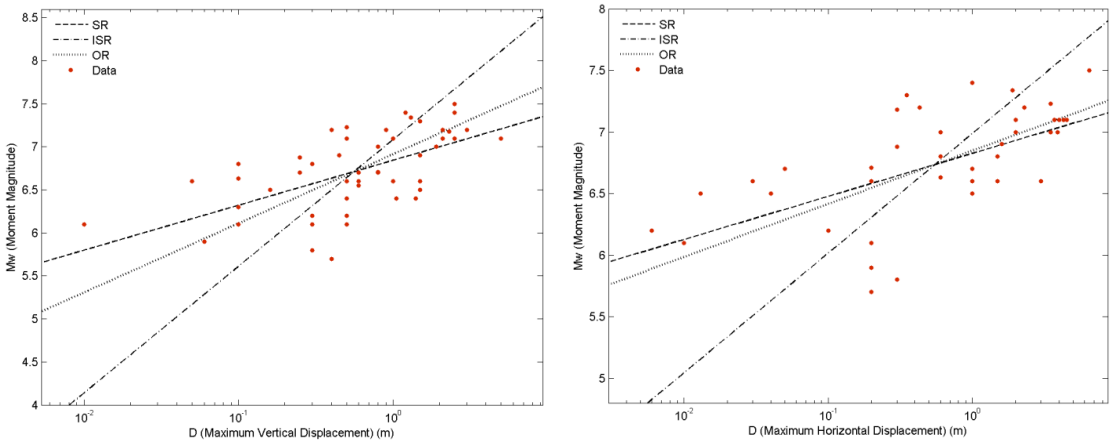
(ب) (الف)

شکل ۱. برازش بین بزرگی و طول شکستگی سطحی، (الف) بزرگی برحسب M_s و (ب) بزرگی برحسب M_w، (معادله‌های حاصل در جدول ۱ آمده است).



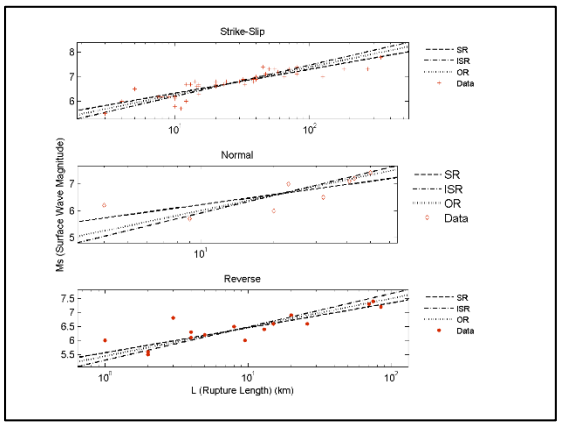
(ب) (الف)

شکل ۲. برازش بین بزرگی(M_s) و بیشینهٔ جابه‌جایی سطحی، (الف) بیشینهٔ جابه‌جایی افقی و (ب) بیشینهٔ جابه‌جایی قائم (معادله‌های حاصل در جدول ۱ آمده است).

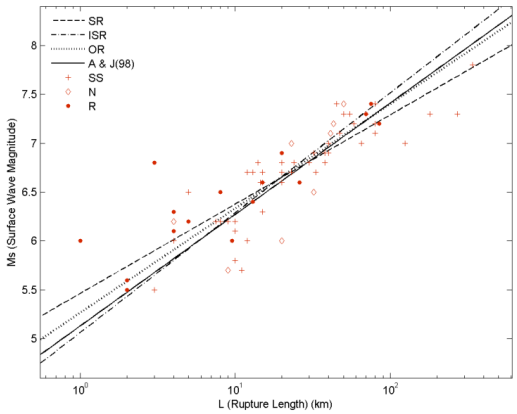


(ب) (الف)

شکل ۳. برازش بین بزرگی (M_w) و بیشینهٔ جابه‌جایی سطحی، (الف) بیشینهٔ جابه‌جایی افقی و (ب) بیشینهٔ جابه‌جایی قائم (معادله‌های حاصل در جدول ۱ آمده است).

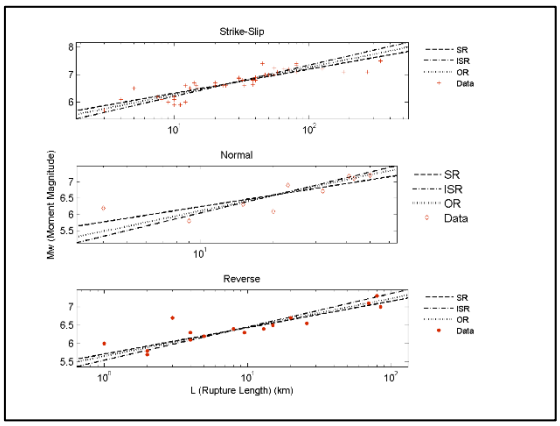


(الف)

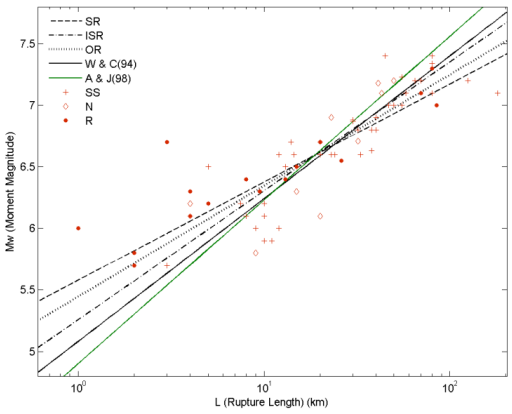


(ب)

شکل ۴. برازش بین بزرگی(M_s) و طول شکستگی سطحی، (الف) خط‌های برازش برای هر نوع لغزش به‌صورت تفکیک شده و (ب) خط‌های برازش برای همهٔ انواع لغزش‌ها.

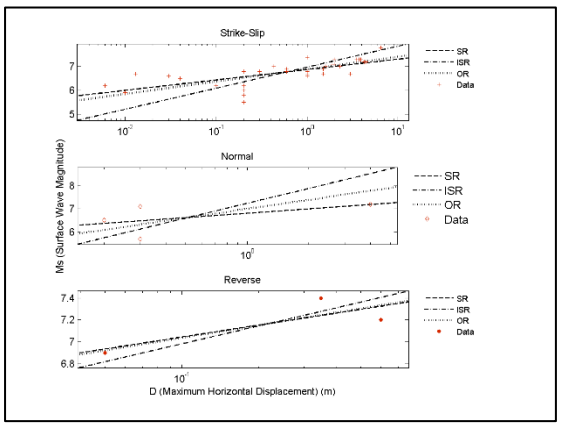


(الف)

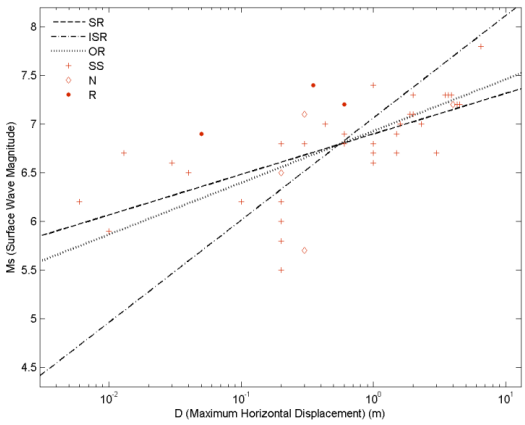


(ب)

شکل ۵. برازش بین بزرگی(M_w) و طول شکستگی سطحی، (الف) خط‌های برازش برای هر نوع لغزش به‌صورت تفکیک شده و (ب) خط‌های برازش برای همهٔ انواع لغزش‌ها.



(الف)



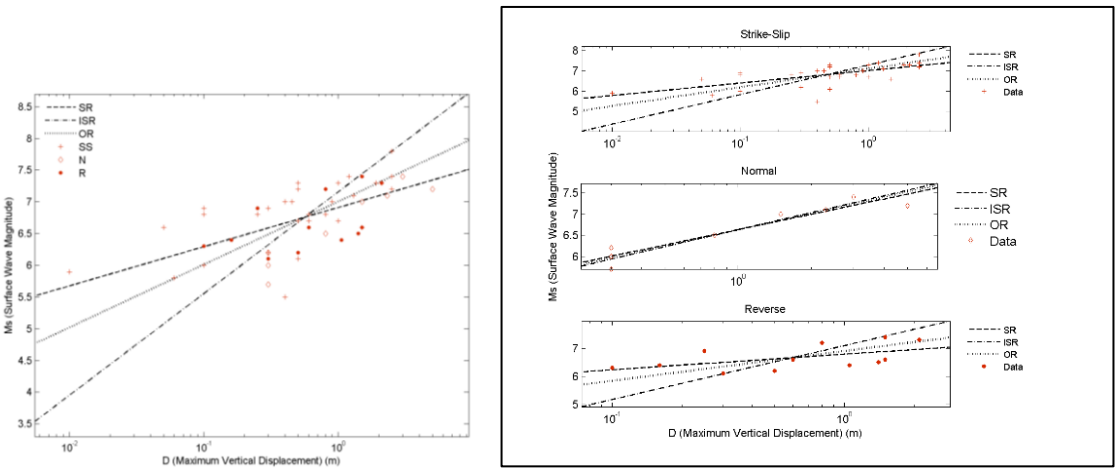
(ب)

شکل ۶. برازش بزرگی (M_s) و بیشینه جابه‌جایی افقی در سطح، (الف) خط‌های برازش برای هر نوع لغزش به‌صورت تفکیک شده و (ب) خط‌های برازش برای همهٔ انواع لغزش‌ها.

جدول ۱. رابطه‌های بین بزرگی و طول شکستگی سطحی، بیشینهٔ جابه‌جایی افقی و قائم در سطح زمین، بدون تفکیک نوع لغزش.

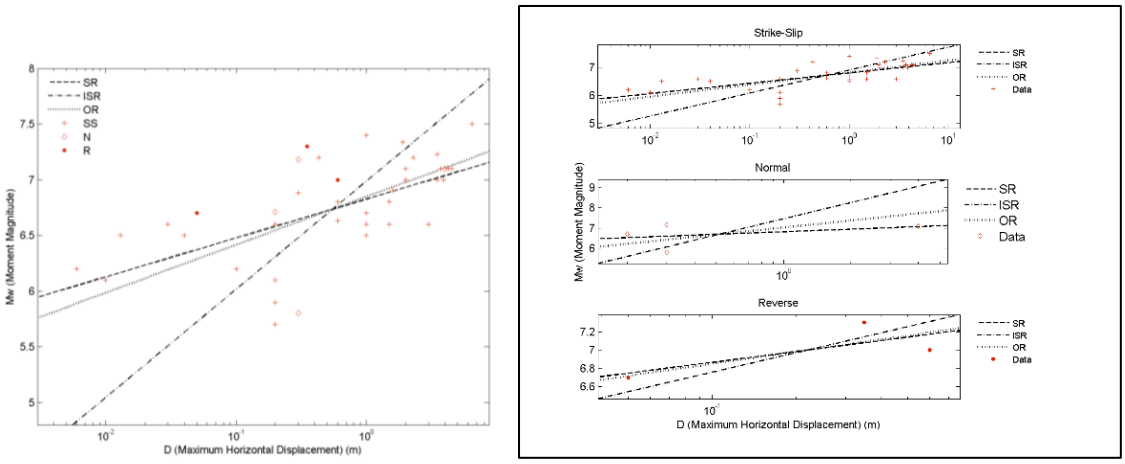
Equation	R T	Num	Coefficients & Standard Errors		Correlation Coefficient
			b(sb)	a(sa)	
Ms = b + a * Log(H)	SR	44	6.8984 (0.63)	0.41657(0.08)	0.62949
	ISR	44	7.0622 (1.3)	1.0513(0.2)	0.62949
	OR	44	6.9281 (0.06)	0.53165(0.08)	0.62949
Log(H) = b + a * Ms	SR	44	-6.7178 (1.23)	0.95123(0.18)	0.62949
	ISR	44	(-16.56(0.15))	2.4006(0.45)	0.62949
	OR	44	-13.0313 (1.57)	1.8809(0.23)	0.62949
Ms = b + a * Log(L)	SR	73	5.4611 (0.08)	0.91293(0.06)	0.86327
	ISR	73	5.0609 (0.46)	1.225(0.08)	0.86327
	OR	73	5.2636 (0.09)	1.0669(0.06)	0.86327
Log(L) = b + a * Ms	SR	73	-4.1313 (0.37)	0.81631(0.05)	0.86327
	ISR	73	-5.9819 (0.09)	1.0954(0.07)	0.86327
	OR	73	-4.9334 (0.4)	0.93727(0.05)	0.86327
Ms = b + a * Log(V)	SR	54	6.9043 (0.06)	0.61854(0.1)	0.61899
	ISR	54	7.1558 (1.2)	1.6144(0.3)	0.61899
	OR	54	7.0004 (0.06)	0.99885(0.12)	0.61899
Log(V) = b + a * Ms	SR	54	-4.4325 (0.73)	0.61943(0.1)	0.61899
	ISR	54	-11.1623 (0.09)	1.6167(0.3)	0.61899
	OR	54	-7.0085 (0.81)	1.0012(0.12)	0.61899
Mw = b + a * Log(H)	SR	44	6.8259 (0.05)	0.34971(0.07)	0.59991
	ISR	44	6.9865 (1.4)	0.97173(0.2)	0.59991
	OR	44	6.847 (0.05)	0.43122(0.07)	0.59991
Log(H) = b + a * Mw	SR	44	-7.1897 (1.42)	1.0291(0.21)	0.59991
	ISR	44	-19.5187 (0.16)	2.8595(0.6)	0.59991
	OR	44	-15.878 (1.96)	2.319(0.3)	0.59991
Mw = b + a * Log(L)	SR	73	5.5758 (0.07)	0.7977(0.05)	0.87218
	ISR	73	5.254 (0.45)	1.0487(0.06)	0.87218
	OR	73	5.4411 (0.07)	0.90276(0.05)	0.87218
Log(L) = b + a * Mw	SR	73	-5.0103 (0.41)	0.9536(0.06)	0.87218
	ISR	73	-6.9898 (0.09)	1.2536(0.08)	0.87218
	OR	73	-6.0271 (0.43)	1.1077(0.06)	0.87218
Mw = b + a * Log(V)	SR	54	6.8435 (0.05)	0.52269(0.09)	0.59572
	ISR	54	7.0834 (1.25)	1.4728(0.3)	0.59572
	OR	54	6.9145 (0.05)	0.80378(0.1)	0.59572
Log(V) = b + a * Mw	SR	54	-4.8094 (0.85)	0.67896(0.12)	0.59572
	ISR	54	-13.0928 (0.1)	1.9132(0.35)	0.59572
	OR	54	-8.6024 (1.003)	1.2441(0.15)	0.59572

RT: نوع برازش، ST: نوع لغزش، Num: تعداد داهها در هر برازش، b: عرض از مبدأ، a: شیب، sb: خطای عرض از مبدأ، sa: خطای شیب.



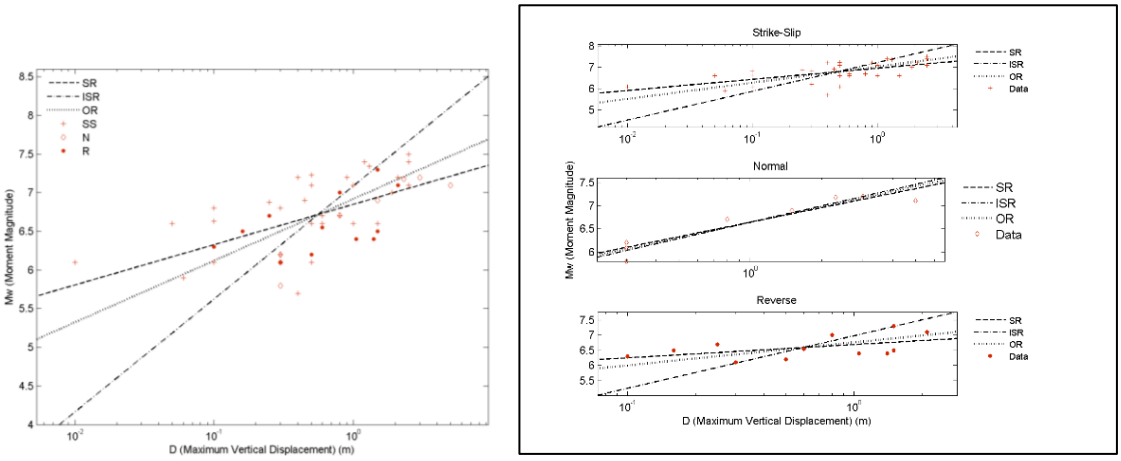
(الف) (ب)

شکل ۷. برازش بین بزرگی (M_s) و بیشینهٔ جابه‌جایی قائم در سطح، (الف) خط‌های برازش برای هر نوع لغزش به‌صورت تفکیک شده و (ب) خط‌های برازش برای همهٔ انواع لغزش‌ها.



(الف) (ب)

شکل ۸. برازش بین بزرگی (M_w) و بیشینهٔ جابه‌جایی افقی در سطح زمین، (الف) خط‌های برازش برای هر نوع لغزش به‌صورت تفکیک شده و (ب) خط‌های برازش برای همهٔ انواع لغزش‌ها.



(الف) (ب)

شکل ۹. برازش بین بزرگی (M_w) و بیشینهٔ جابه‌جایی قائم در سطح، (الف) خط‌های برازش برای هر نوع لغزش به‌صورت تفکیک شده و (ب) خط‌های برازش برای همهٔ انواع لغزش‌ها.

۵. بحث

اطلاعات مربوط به پارامترهای گسل عامل، ۷۶ زمین‌لرزه با بزرگی بیشتر از ۵/۵، تهیه شده است (جدول پیوست الف). برای همهٔ زمین‌لرزه‌ها مقدارهای سه نوع بزرگی m_b، M_s و M_w و همچنین، طول شکستگی سطحی و بیشینه جابه‌جایی‌های افقی و قائم از منابع معتبر بر پایهٔ مشاهدات میدانی و پژوهش‌های زلزله‌شناسی قابل‌اطمینان، انتخاب شده است. از میان سه نوع بزرگی ذکر شده، فقط بزرگی‌های M_s و M_w برای عرضهٔ رابطه‌های تجربی با پارامترهای گسل به‌کار گرفته شده است. برای مقدارهای بزرگی‌های M_s و M_w به‌ترتیب از میرزائی و همکاران (۱۳۸۱)، ISC، NEIC، بزرگی‌های حاصل از پژوهش‌های وارون‌سازی، بربریان (۲۰۱۴)، وارون‌سازی تانسور ممان ازسوی IRSC، ولز و کوپراسمیت (۱۹۹۴) و موسوی بفروئی و همکاران (۲۰۱۴) استفاده شده است.

برای تعیین رابطه‌های تجربی بین انواع بزرگی و پارامترهای گسل، سه مدل برازش SR، ISR و OR به‌کار گرفته شده است. فقط در روش OR (روش GOR با $\eta = 1$) برای هر دو متغیر، خطا در نظر گرفته می‌شود، درنتیجه انتظار می‌رود بهترین نتیجه‌های از راه برازش OR حاصل شود.

۶. نتیجه‌گیری

مطابق با مشاهدات انجام شده در رابطه‌های مستقیم، برازش‌های حاصل از روش‌های SR و OR بهتر از روش ISR است و ضریب‌های بین بزرگی‌ها و پارامترها را با خطای کمتری نسبت به روش ISR برآورد می‌کنند. در رابطهٔ بین M_s و طول شکستگی سطحی، M_s و بیشینه جابه‌جایی قائم و M_w و بیشینه جابه‌جایی قائم، روش SR، در رابطهٔ بین M_s و بیشینه جابه‌جایی قائم، روش OR و در رابطهٔ بین M_w با بیشینه جابه‌جایی افقی و طول شکستگی سطحی، دو روش SR و OR کمترین خطا را برای ضریب‌های معادله نتیجه می‌دهند. در رابطه‌های وارون نیز روش ISR با کمترین میزان خطا نسبت به سایر روش‌ها، ضریب‌های معادله را برآورد می‌کند.

با تفکیک داده‌ها براساس نوع لغزش، بهترین برازش برای رابطه‌های بین بزرگی و پارامترهای گسل، با روش SR با کمترین میزان خطا برای ضریب‌ها، حاصل می‌شود. برای رابطه‌های وارون نیز، روش ISR برازش بهتری را با کمترین میزان خطای ضریب‌ها، فراهم می‌کند.

برپایهٔ یک بررسی دقیق‌تر، در رابطه‌های بین M_s و M_w با بیشینه جابه‌جایی افقی، بهترین برازش برای گسلش‌های امتدادلغز و وارون با روش‌های SR و OR و برای گسلش عادی با روش SR حاصل می‌شود. این روش‌ها با کمترین میزان خطا، ضریب‌ها را تعیین می‌کنند. در رابطهٔ بین M_s و طول شکستگی سطحی، بهترین برازش برای گسلش‌های عادی و وارون با روش SR و برای گسلش امتدادلغز با روش‌های SR و OR به‌دست آمده است.

در رابطه‌های بین M_s و M_w با بیشینهٔ جابه‌جایی قائم، برای گسلش‌های امتدادلغز و وارون بهترین برازش با روش SR و برای گسلش عادی، با روش‌های SR و OR با کمترین میزان خطا برای ضریب‌ها فراهم شده است. برای رابطهٔ بین M_w و طول شکستگی سطحی، درگسلش‌های امتدادلغز و وارون بهترین برازش با روش‌های SR و OR و درگسلش‌های عادی روش SR بهترین برازش‌ها را نتیجه داده‌اند. همچنین، برای همهٔ رابطه‌های وارون در هر نوع لغزشی، روش ISR بهترین برازش را با کمترین میزان خطا برای ضریب‌ها به‌دست می‌دهد.

براساس ضریب‌های همبستگی، بهترین همبستگی بین M_w و طول شکستگی سطحی، M_s و طول شکستگی سطحی به‌ترتیب با ضریب‌های همبستگی ۰/۸۷ و ۰/۸۶، برقرار است. لازم به ذکر است، رابطه‌های بین M_s و بیشینه جابه‌جایی افقی و قائم به‌ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۶۳ و ۰/۶۲، نسبت به رابطه‌های بین M_w و بیشینه جابه‌جایی افقی و قائم به‌ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۵۹ و ۰/۵۹، همبستگی بهتری را نشان می‌دهند. به‌علاوه، رابطه‌های بین بزرگی‌ها و بیشینه جابه‌جایی افقی نیز نسبت به رابطه‌های بین بزرگی‌ها و بیشینهٔ جابه‌جایی قائم ، همبستگی بهتری دارند. درنتیجه،

رابطه‌های بین انواع بزرگی و طول شکستگی سطحی نسبت به رابطه‌های بین انواع بزرگی و بیشینهٔ جابه‌جایی‌های افقی و قائم، دارای همبستگی بهتری هستند.

با تفکیک داده‌ها براساس نوع لغزش نیز بهترین همبستگی را بین M_w و طول شکستگی سطحی و M_s و طول شکستگی سطحی به‌ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۸۷ و ۰/۸۶، شاهد هستیم. همچنین، رابطه‌های بین M_s و بیشینه جابه‌جایی افقی و قائم نسبت به رابطه‌های بین M_w و بیشینه جابه‌جایی افقی و قائم به‌ترتیب با ضریب همبستگی۰/۶۳، ۰/۶۲، ۰/۵۹ و ۰/۵۹ همبستگی بهتری دارند. رابطه‌های بین بزرگی‌ها و بیشینه جابه‌جایی افقی نیز نسبت به رابطه‌های بین بزرگی‌ها و بیشینه جابه‌جایی قائم، همبستگی بهتری را نشان می‌دهند. لازم به ذکر است که، رابطه‌های بین انواع بزرگی و طول شکستگی سطحی نسبت به رابطه‌های بین انواع بزرگی و بیشینه جابه‌جایی‌های افقی و قائم، دارای همبستگی بهتری هستند.

در بررسی برازش‌ها برای هرنوع لغزش به‌طور مجزا، بین بزرگی‌ها و پارامترهای گسل، در گسلش امتدادلغز، بهترین همبستگی مربوط به رابطه‌های بین بزرگی‌ها و طول شکستگی سطحی با ضریب همبستگی ۰/۸۷ است. بهترین همبستگی برای گسلش عادی با ضریب همبستگی ۰/۹۵ و ۰/۹۴ به‌ترتیب در رابطهٔ بین M_s و بیشینه جابه‌جایی قائم و رابطهٔ بین M_w و بیشینه جابه‌جایی قائم مشاهده شد. همچنین، برای گسلش وارون بهترین همبستگی مربوط به رابطهٔ بین M_w و طول شکستگی سطحی و M_s و طول شکستگی سطحی به‌ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۹ و ۰/۸۶ است.

برای بررسی بهتر نتیجه‌های حاصل از این تحقیق، رابطه‌های به‌دست آمده با سایر رابطه‌های جهانی مورد مقایسه قرار گرفته است. نتیجهٔ این مقایسه نشان می‌دهد که رابطه‌های حاصل از این تحقیق نسبت به رابطه‌های جهانی برای منطقهٔ مورد بررسی، تطابق بهتری دارند. برای مقایسهٔ رابطهٔ بین M_s و طول شکستگی سطحی با رابطه‌های جهانی رابطهٔ آمبرسیز و جکسون (۱۹۹۸) که مبتنی بر روش OR است، مورد توجه قرار گرفت. می‌توان گفت، در بزرگی‌های کمتر از ۷/۲ ، نتیجه‌های رابطهٔ آمبرسیز و جکسون (۱۹۹۸) فراتخمین و پس از این مقدار بزرگی، فروتخمین است. در مقایسهٔ این رابطهٔ جهانی با برازش SR در این مقاله می‌توان گفت که، نتیجه‌های رابطهٔ جهانی تقریباً تا بزرگی ۶/۷ فراتخمین و پس از آن فروتخمین است. همچنین، مقایسهٔ نتیجه‌های رابطهٔ آمبرسیز و جکسون (۱۹۹۸) با برازش حاصل از روش ISR این تحقیق، نشان می‌دهد، تا بزرگی ۵/۹ شاهد فروتخمین هستیم، پس از آن تقریباً تا بزرگی ۶/۲ مشابه با روش ISR و از بزرگی ۶/۲ به بعد فراتخمین است. نتیجه‌های رابطهٔ ولز و کوپراسمیت (۱۹۹۴) تقریباً تا قبل از بزرگی ۶/۶ نسبت به هر سه برازش موجود در این تحقیق فراتخمین و در بزرگی‌های مشابه، مقدار طول شکستگی را بیشتر برآورد می‌کند؛ لیکن از بزرگی ۶/۶ به بعد، این رابطهٔ جهانی دچار فروتخمین شده و مقدار طول شکستگی را کمتر از برازش‌های حاصل از این تحقیق، عرضه می‌کند. نتیجه‌های رابطهٔ آمبرسیز و جکسون (۱۹۹۸) نیز تقریبا تا قبل از بزرگی ۶/۵ نسبت به برازش‌های این تحقیق، فراتخمین و پس از این مقدار بزرگی، فروتخمین است.

پیوست

جدول پ-الف. پارامترهای گسل‌های زمین‌لرزه‌ای در گسترهٔ مورد بررسی

EQN	Fault Name	Time hhmm	Date	Slip Type	Location			Ref.	Magnitude			REF.	S.R.L (km)	Ref.	D(m) Maximum		Ref.
					Lat. (N)	Long. (E)	Dep (km)		mb	Ms	Mw				H	V	
1	Silakhor	0248	1909.01.23	RL[1]	33.41	49.13	-	AMB	7.2	7.4	7.4†	AMB	45	[AMO73 &TB74 &T-74 &AMB]	-	2.5	[AMB]
2	Ravar	1814	1911.04.18	-	31.23	57.03	-	AMB	6.7	6.4	6.4	AMB	15	[AMB &AJ98]	-	0.5	[AMB]
3	Baghan	1537	1929.05.01	RL[2]	37.73	57.81	-	AMB	7.1	7.3	7.2	AMB	70	[AMB &Ber14]	-	2.1	[AMB]
4	Andika	0744	1929.07.15	R[2]	32.08	49.48	-	AMB	6.3	6	6	AMB	1	[A75]	-	-	-
5	Salmas	2234	1930.05.06	N with RL[3]	38.25	44.6	-	A88	7.2	7.2	7.1†	A88	43	[Ber14]	4	5	[Ber14]
6	Behabad	1109	1933.11.28	T[1]	32.01	55.94	-	AMB	6.4	6.2	6.2†	AMB	5	[AJ98 &AMB]	-	0.5	[AJ98]
7	Abiz	1926	1936.06.30	RL[2]	33.68	60.05	33	AMB	6.2	6	6†	AMB	12	[Ber81 &Bery99 &Bery01 &Ber-99 &Ber-01]	-	-	-
8	Kumiran	1639	1941.02.16	RL[2]	33.41	58.87	-	AMB	6.4	6.1	6.1	AMB	10	[AMB]	-	0.5	[AMB]
9	Penjevin	1625	1946.07.27	T[1]	35.6	45.83	-	AMB	-	5.5	5.7	AMB	2	[AMB]	-	-	-
10	Dustabad(Charmeh)	1228	1947.09.23	RL with T[1]	33.67	58.67	-	AMB	6.4	6.8	6.7	AMB	20	[Ber14 &AMB]	1	0.8	[Ber14]
11	Torud	0815	1953.02.12	T with LL[3]	35.39	55.08	10	A28	6.9	6.5	6.4	A28	8	[A75 &AJ98 &AMB]	-	1.4	[AJ98]
12	Bande Pey	0042	1957.07.02	T[3]	36.07	52.47	-	AMB	7	6.8	6.7	AMB	3	[A75]	-	-	-
13	Firuzabad	1913	1958.08.16	RL[2]	34.3	48.17	-	AMB	6.2	6.6	6.6†	AMB	20	[AMB &TB74 &AMO74]	-	1.5	[AMB]
14	Buin Zahra	1920	1962.09.01	R with LL[3]	35.71	49.81	10*	AMB	6.9	7.2	7*	AMB	85	[AMB &AJ98]	0.6	0.8	[AJ98]
15	Dashte Bayaz	1047	1968.08.31	LL[1]	34.02	58.96	17*	SEL	5.9	7.2	7.1*	SEL	80	[TA73 &AMB]	4.5	2.5	[Ber14 &AT69]
16	Ferdows	0727	1968.09.01	T with RL[3]	34.05	58.23	10*	SEL	5.9	6.3	6.3*	SEL	4	[AMB]	-	0.1	[AMB]
17	Serokhi	1627	1971.02.14	T[2]	36.62	55.69	11*	SEL	5.3	5.5	5.7*	SEL	2	[Ber14]	-	-	-
18	Qir Karzin	0026	1972.04.10	T with RL[3]	28.38	52.98	9*	SEL	6.1	6.9	6.7†	SEL	20	[A75 &AJ98 &AMB]	0.05	0.25	[AJ98]

ادامه جدول پ-الف

EQN	Fault Name	Time hhmm	Date	Slip Type	Location			Ref.	Magnitude			REF.	S.R.L (km)	Ref.	D(m)		Ref.
					Lat. (N)	Long. (E)	Dep (km)		mb	Ms	Mw				Maximum		
															H	V	
19	Vondik	0400	1976.11.07	LL[2]	33.82	59.19	8*	SEL	5.6	6.2	6*	SEL	9	[MGT77 &AMB]	-	-	-
20	Chalderan	1222	1976.11.24	RL[1]	39.12	44.03	36	PDE	6.1	7.3	7	PDE	50	[TK-77 &TK-78 &Ber14]	3.5	-	[Ber14 &AMB]
21	Dartangal	2334	1977.12.19	RL[2]	30.9	56.61	7†	SEL	5.4	5.8	5.9	SEL	10	[AMB]	0.2	0.06	[Ber14]
22	Tabas-e Golshan	1535	1978.09.16	T[1]	33.4	57.12	9*	SEL	6.4	7.4	7.3*	SEL	80	[AJ98]	0.35	1.5	[Ber14]
23	Korizan	0221	1979.11.14	RL[2]	34.02	59.8	10*	ISC	6	6.7	6.6*	ISC	20	[AMB &HA80]	1	0.6	[NMA80 &NMA81]
24	Koli	1710	1979.11.27	LL[2]	34.08	59.79	8*	ISC	6.2	7.3	7	ISC	55	[NMA80 &NMA81]	3.9	1.9	[Ber14]
25	Golbaf	0724	1981.06.11	RL[2]	29.89	57.71	20*	ISC	6	6.6	6.6*	ISC	14.5	[Ber-84]	0.03	0.05	[Ber14]
26	Sirch	1722	1981.07.28	RL[2]	29.98	57.77	18*	ISC	5.9	7	7.2	ISC	65	[Ber-84 &Ber-01]	0.43	0.4	[Ber14]
27	South Golbaf	0419	1989.11.20	RL[2]	29.88	57.72	10*	ISC	5.5	5.7	5.9	ISC	11	[BerQ94]	-	-	-
28	Rudbar	2100	1990.06.20	LL[2]	36.99	49.35	11.7*	ISC	6.2	7.4	7.4	ISC	80	[Ber92 &Bw10]	1	1.2	[Ber92 &BW10]
29	East Furg	1845	1990.11.06	T[2]	28.23	55.47	5*	ISC	6.1	6.6	6.5	ISC	15	[RA91 &ZRA91 &W-05]	-	1.5	[RA91 &ZRA91 &W-05]
30	Sefidabeh	0802	1994.02.23	R[4]	30.81	60.57	7*	ISC	6	6.1	6.1*	ISC	4	[ZA95 &AJ98]	-	0.3	[Za95 &AJ98]
31	Sefidabeh	0011	1994.02.24	R[4]	30.77	60.52	10*	ISC	6	6	6.3	ISC	9.5	[Ber-00]	-	-	-
32	Naveh	1037	1997.02.04	RL[2]	37.74	57.29	8*	ISC	5.8	6.6	6.5	ISC	15	[Ber14]	1	-	[Ber14]
33	Zirkuh(Qaenat)	0757	1997.05.10	RL[2]	33.88	59.82	13*	ISC	6.2	7	7.2	ISC	125	[Ber-99]	2.3	0.9	[Ber-99]
34	Fandoqa	1940	1998.03.14	RL[2]	30.16	57.61	5*	ISC	5.8	6.7	6.6*	ISC	23	[Ber14]	3	1	[Ber14]
35	Changureh	0258	2002.06.22	T[2]	35.58	49.02	10*	ISC	6.2	6.4	6.5	ISC	-	-	-	0.16	[Ber14]
36	Bam	0156	2003.12.26	RL[2]	28.96	58.3	6*	ISC	5.9	6.8	6.6*	ISC	24	[W-04b]	0.2	-	[J-06 &Ber14]
37	Dahuiyeh	0225	2005.02.22	T[2]	30.76	56.8	7*	ISC	5.9	6.4	6.4*	ISC	13	[GSI92b &TL-06a]	-	1.05	[GSI92b &TL-06a]
38	Chalanchulan	0117	2006.03.31	RL[2]	33.58	48.79	6*	ISC	5.7	5.9	6.1*	ISC	-	-	0.01	0.01	[Ber14]
39	Rigan	1841	2010.12.20	RL[2]	28.36	59.15	5*	ISC	5.9	6.7	6.5*	ISC	15	[Ber14]	0.01	-	[Ber14]

ادامه جدول پ-الف

EQN	Fault Name	Time hhmm	Date	Slip Type	Location			Ref.	Magnitude			REF.	S.R.L (km)	Ref.	D(m) Maximum		Ref.
					Lat. (N)	Long. (E)	Dep (km)		mb	Ms	Mw				H	V	
40	Rigan	0838	2011.01.27	LL[2]	28.15	59.05	9*	ISC	5.7	6.2	6.2*	ISC	7.5	[Ber14]	0.01	-	[Ber14]
41	Ahar-Varzaghan	1223	2012.08.11	RL[2]	38.32	46.82	7*	CSEM	6.2	6.7	6.5	CSEM	13	[CP-13]	1	-	[CP-13]
42	Goharan	0208	2013.05.11	RL[2]	26.56	57.77	15	CSEM	-	6.2	6.1‡	NEIS	8	Gsi.ir	0.2	-	Gsi.ir
43	Ender(TR)	1124	1909.02.09	N with RL[5]	40.17	37.76	-	[A01]	-	6.3	[6.3]	[A88]	15	[A88 &AJ98]	-	-	-
44	Baluch(PK)	2341	1909.10.20	LL[1]	28.9	68.3	-	[A01]	-	7.1	[7]	[AJ98]	-	-	-	-	-
45	Marmara(TR)	0128	1912.08.09	N with RL[1]	40.75	27.2	-	[A01]	-	7.4	[7.2]	[A88]	50	[A88 &AJ98]	-	3	[A88 &AJ98]
46	Burdur(TR)	2206	1914.10.03	N[5]	37.82	30.27	-	[A01]	-	7	[6.9]	[A88]	23	[A88 &AJ98]	-	1.5	[A88 &AJ98]
47	Tursaq(IQ)	-	1917.07.15	T[1]	33.5	45.8	-	[AJ98]	-	5.6	[5.8]	[AJ98]	2	[AJ98]	-	-	-
48	Kop.Dagh(TU)	1537	1929.05.01	T[1]	37.7	57.8	-	[A01]	-	7.3	[7.1]	[AJ98]	70	[AJ98]	-	2.1	[AJ98]
49	Kirsehir(TR)	1059	1938.04.19	RL[1]	39.47	33.98	-	[A01]	-	6.8	[6.7]	[A88]	14	[A88 &AJ98 &WC94]	1	0.6	[AJ98]
50	Erzincan(TR)	2357	1939.12.26	RL[1]	39.7	39.7	-	[A01]	-	7.8	[7.5]	[A88]	340	[AJ98]	6.5	2.5	[AJ98]
51	Erbaa(TR)	1403	1942.12.20	RL[1]	40.7	36.4	-	[A01]	-	7.1	[7]	[A88]	47	[A88 &AJ98 &WC94]	2	-	[WC94]
52	Ilgaz(TR)	2220	1943.11.26	RL[1]	41	33.5	15^	[A01]	-	7.3	[7.1]	[A88]	270	[AJ98]	2	1	[AJ98]
53	Bolu(TR)	0323	1944.02.01	RL[1]	41.05	33.2	12^	[A01]	-	7.3	[7.1]	[A88]	180	[WC94]	3.7	1	[AJ98]
54	Saphane(TR)	0416	1944.06.25	N[5]	39.03	29.37	-	[A01]	-	6	[6.1]	[A88]	20	[A88]	-	0.3	[AJ98]
55	Manyas(TR)	0234	1944.10.06	RL[5]	39.7	26.5	-	[A01]	-	6.9	[6.8]	[A88]	40	[A88 &AJ98]	-	0.1	[AJ98]
56	Ustukran(TR)	-	1946.05.31	N with RL[5]	39.33	41.1	-	[A88]	-	5.7	[5.8]	[A88]	9	[A88 &WC94]	0.3	0.3	[AJ98]
57	Penjewin(IQ)	-	1946.07.27	T[1]	35.6	45.8	-	[AJ98]	-	5.5	[5.7]	[AJ98]	2	[AJ98]	-	-	-
58	Elmalidere(TR)	1844	1949.08.17	RL[1]	39.4	40.65	-	[A01]	-	6.9	[6.8]	[A88]	38	[A88 &AJ98 &WC94]	1.5	0.3	[AJ98]
59	Gerede(TR)	1833	1951.08.13	RL[1]	40.7	33.3	-	[A01]	-	6.9	[6.8]	[A88]	32	[A88 &AJ98]	0.6	0.3	[AJ98]
60	Yenice(TR)	1906	1953.03.18	RL[1]	39.9	27.4	-	[A01]	-	7.2	[7.1]	[A88]	58	[A88 &AJ98 &WC94]	4.3	0.5	[AJ98]

ادامه جدول پ-الف

EQN	Fault Name	Time hhmm	Date	Slip Type	Location			Ref.	Magnitude			REF.	S.R.L (km)	Ref.	D(m) Maximum		Ref.
					Lat. (N)	Long. (E)	Dep (km)		mb	Ms	Mw				H	V	
61	Abant(TR)	0633	1957.05.26	RL[1]	40.6	31	-	[A01]	-	7	[6.9]	[A88]	40	[A88 &AJ98 &WC94]	1.6	0.45	[AJ98]
62	Varto(TR)	1222	1966.08.19	RL with N[1]	39.2	41.4	16^	[A01]	-	6.8	6.88.	[A88]	30	[A88 &WC94]	0.3	0.25	[AJ98]
63	Mudurno(TR)	1657	1967.07.22	RL[1]	40.7	30.7	12^	[A01]	-	7.1	7.34.	[A88]	80	[A88 &AJ98 &WC94]	1.9	1.3	[AJ98]
64	Nokigi(TR)	1853	1967.07.26	RL[1]	39.5	40.3	21^	[A01]	-	6	[6.1]	[A88]	4	[A88 &AJ98]	0.2	0.1	[AJ98]
65	Mudurnu(TR)	-	1967.07.30	RL[1]	40.7	30.4	-	[AJ98]	-	5.5	[5.7]	[AJ98]	3	[AJ98]	0.2	0.4	[AJ98]
66	Alasehir(TR)	148	1969.03.28	N[1]	38.45	28.5	3^	[A01]	-	6.5	6.71.	[A88]	32	[A88 &WC94]	0.2	0.8	[AJ98]
67	Gediz(TR)	2102	1970.03.28	N[1]	39.1	29.4	8^	[A01]	-	7.1	7.18.	[A88]	41	[WC94]	0.3	2.3	[AJ98]
68	Burdur(TR)	0625	1971.05.12	N[1]	37.65	30	12^	[A01]	-	6.2	[6.2]	[A88]	4	[AJ98]	-	0.3	[AJ98]
69	Bingol(TR)	1644	1971.5.22	LL[1]	38.9	40.64	9^	[A01]	-	6.8	6.63.	[A88]	38	[A88 &AJ98 &WC94]	0.6	0.1	[AJ98]
70	Lice(TR)	0920	1975.09.06	T[1]	38.55	40.75	5^	[A01]	-	6.6	6.55.	[A88]	26	[WC94]	-	0.6	[AJ98]
71	Baluch(PK)	0514	1975.10.03	LL[1]	30.27	66.31	3^	[A01]	-	6.5	[6.5]	[AJ98]	5	[AJ98]	0.04	-	[AJ98]
72	Chaldiran(TR)	1222	1976.11.24	RL[1]	39.1	44	10^	[A01]	-	7.3	7.23.	[AJ98]	55	[WC94]	3.5	0.5	[AJ98]
73	Narman(TR)	0412	1983.10.30	LL[1]	40.28	42.18	15^	[A01]	-	6.7	[6.6]	[A88]	12	[A88 &AJ98 &WC94]	1	0.6	[AJ98]
74	Spitak(AR)	0741	1988.12.07	RL with T[1]	40.85	44.13	6^	[A01]	-	6.7	[6.6]	[AJ98]	33	[AJ98]	1.5	0.5	[AJ98]
75	Erzincan(TR)	1718	1992.3.13	RL[6]	39.71	39.6	9^	[A01]	-	6.8	6.87.	[WC94]	30	[WC94]	-	-	-
76	Dinar(TR)	1557	1995.10.01	RL with N[1]	38.12	30.11	4^	[A01]	-	6.2	[6.2]	[AJ98]	10	[AJ98]	0.1	0.3	[AJ98]

EQN : شمارهٔ زمین‌لرزه. Fault Name: نام گسل زمین‌لرزه. Slip Type : نوع لغزش(عددهایی که در [ ] آورده شده‌اند، مربوط به منابع به‌کار رفته برای نوع لغزش هستند. ۱: آمبرسیز و جکسون (۱۹۹۸)، ۲: بربریان (۲۰۱۴)، ۳: میرزائی و همکاران (۱۳۸۱)، ۴: بربریان و همکاران (۲۰۰۰)، ۵: آمبرسیز (۱۹۸۸)، ۶: ولز و کوپراسمیت (۱۹۹۴)). Dep : عمق زمین‌لرزه (* : عمق حاصل از وارون‌سازی. † : بربریان (۲۰۱۴)).mb : بزرگی موج‌های درونی. Ms : بزرگی موج‌های سطحی. Mw : بزرگی گشتاوری (* : بزرگی گشتاوری حاصل از وارون‌سازی. † : بربریان (۲۰۱۴)، ‡ : نتیجه شده از تعیین سازوکار زمین‌لرزه در مؤسسهٔ ژئوفیزیک دانشگاه تهران. : ولز و کوپراسمیت (۱۹۹۴)، [ ] : با استفاده از رابطهٔ آکار و همکاران (۲۰۱۰). SRL : طول شکستگی سطحی. D : جابه‌جایی در سطح. H : بیشینه جابه‌جایی افقی. V : بیشینه جابه‌جایی قائم. Ref: مراجع به‌کار رفته: W-04 : واکر و همکاران (۲۰۰۴)، Ber-99 : بربریان و همکاران (۱۹۹۹)، Ber-01 : بربریان و همکاران (۲۰۰۱)، Bw10 : بربریان و واکر (۲۰۱۰)، W-05 : واکر و همکاران (a ۲۰۰۵)، Ber-00 : بربریان (۲۰۰۰)، J-06 : جکسون و همکاران (۲۰۰۶)، TL-06a : طالبیان و همکاران (a ۲۰۰۶)، CP-13 : کوپلی و همکاران (۲۰۱۳)، AMO73 : آمبرسیز و معین‌فر (۱۹۷۳)، TB74 : چالنکو و براد (۱۹۷۴)، T-74 : چالنکو و همکاران (b ۱۹۷۴)، AMB : آمبرسیز و ملویل (۱۹۸۲)، AJ98 : آمبرسیز و جکسون (۱۹۹۸)، Ber14 : بربریان (۲۰۱۴)، A75 : آمبرسیز (۱۹۷۵)، Ber81 : بربریان (a۱۹۸۱)، BerY99 : بربریان و ینس (۱۹۹۹)، BerY01: بربریان و ینس (۲۰۰۱)، AMo74 : آمبرسیز و معین‌فر (۱۹۷۴)، TA73 : چالنکو و آمبرسیز (۱۹۷۳)، MGT77 : معظمی گودرزی و قادری-تفرشی (۱۹۷۷)، TK-77 & 78 : تکسوز و همکاران (۱۹۷۷، ۱۹۷۸)، HA80 : حقی‌پور و عمیدی (۱۹۸۰)، NMA80 & 81 : نوروزی و مهاجراشجعی (۱۹۸۰، ۱۹۸۱)، Ber-84 : بربریان و همکاران (۱۹۸۴)، Ber-01 : بربریان و همکاران (۲۰۰۱)، BerQ94 : بربریان و قرئشی (۱۹۹۴)، Ber92 : بربریان (۱۹۹۲)، Ra91 : رئیسی (۱۹۹۱)،ZRa91 : زمانی و رئیسی (۱۹۹۱)، Za95 : زارع (۱۹۹۵)، A88 : آمبرسیز (۱۹۸۸)، WC94 : ولز و کوپراسمیت (۱۹۹۴)، A01 : آمبرسیز (۲۰۰۱)، ISC : مرکز بین‌المللی زلزله‌شناسی، EMSC: مرکز لرزه‌نگاری اروپا-مدیترانه، SEL : پارامترهای زمین‌لرزه براساس دسته‌های گوناگون جمع‌آوری شده است.PDE : داده‌های زمین‌لرزه در مرکز اطلاعات زمین‌لرزه‌ای ملی امریکا.

تشکر و قدردانی

این تحقیق در قالب طرح پژوهشی شماره ۲۸۶۲۵/۱/۰۲ با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه تهران صورت گرفته است. از معاونت پژوهشی دانشگاه تهران و مؤسسه ژئوفیزیک برای فراهم آوردن امکان این پژوهش قدردانی می‌نماییم. همچنین، از داوران محترم برای پیشنهادات ارزنده و دقت نظر در بررسی این مقاله سپاسگزاریم.

مراجع

زارع، م.، ۱۳۷۴، رابطه‌های مناسب برای بزرگا، شدت و بیشینه شتاب افقی براساس زمین‌لرزه‌های ایران، پژوهش‌نامهٔ زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ۴(۶)، ۱۲-۱۴.

میرزائی، ن.، قیطانچی، م. ر.، ناصریه، س.، رئیسی، م.، ظریفی، ز. و طبائی، ق.، ۱۳۸۱، پارامترهای مبنائی زمین‌لرزه‌های ایران، انتشارات دانش‌نگار، ۱۸۴ ص.

Akkar, S., Cagan, Z., Yenier, E., Erdogan, O., Sandikkaya, M. A. and Gulkan, P., 2010, The recently compiled Turkish strong motion database: Preliminary investigation for seismological parameters, J Seismol, 14, 457-479.

Albee, A. L. and Smith, J. L., 1966, Earthquake characteristics and fault activity in southern California, In Engineering Geology in Southern Califonia. Lung, R., Proctor, D. W., (Editors), Association of Engineering Geologists. Los Angeles section, 9-34.

Acharya, H. K., 1979, Regional variations in the Rupture Length magnitude relationships and their dynamical significance, Bull. Seism. Soc. Am., 69, 2063-2084.

Ambraseys, N. N., 1975, Studies in historical seismicity and tectonics Geodynamics today, Royal Society, London, 7-16.

Ambraseys, N. N., 1988, Engineering seismology, Mallet-Milne lecture, Special Issue. Earthq. Eng. Struct. Dyn., 17, 1-105.

Ambraseys, N. N., 2001, Reassessment of earthquakes, 1900-1999, in the eastern Mediterranean and Middle East. Geophys. J. Int. 145, 471-485.

Ambraseys, N. N. and Jackson, J. A., 1998, Faulting associated with historical and recent earthquakes in the eastern Mediteranean region, Geophys. J. Int., 133, 390-406.

Ambraseys, N. N. and Melville, C. P., 1982, A history of Persian earthquakes, Cambridge university press, London, 219 PP.

Anderson, J. G., Wesnousky, S. G. and Stirling, M. W., 1996, Earthquake size as a function of slip rate. Bull. Seism. Soc. Am., 86, 683-690.

Berberian, M., 1981, Active faulting and tectonics of Iran. In: Gupta, H. K., Delany, F. M. (Eds.), Zagros-Hindu Kush-Himalaya: Geodynamic Evolution, Am. Geophys. Union, Geodynamics series, 3, 33-69.

Berberian, M., 2014, Earthquakes and coseismic surface faulting on the Iranian plateau, Developments in Earth surface processes, 17.

Berberian, M., Jackson, J. A., Fielding, E., Parsons, B. E., Priestly, K., Qorashi, M., Talebian, M., Walker, R., Wright, T. J. and Baker, E., 2001, The 1998 March 14 Fandoqa earthquake (M_w 6.6) in Kerman, southeast Iran: re rupture of the 1981 Sirch earthquake fault, triggering of slip on adjacent thrusts, and the active tectonics of the Gowk fault zone, Geophys. J. Int., 146 (2), 371-398.

Berberian, M., Jackson, J., Ghorashi, M. and Kadjar, M. H., 1984b, Field and teleseismic observations of the 1981 Golbat-Sirch earthquakes in SE Iran, Geophys. J. R. Astron. Soc. Lond., 77, 809-838.

Berberian, M. and Qorashi, M., 1994, Coseismic fault-related folding during the South Golbaf earthquake of November 20, 1989, in southeast Iran, Geology, 22, 531-534.

Berberian, M. and Yeats, R. S., 2001, Contribution of archaeological data to studies of earthquake history in the Iranian plateau, Paul Hancock Memorial Issue, J. Struct. Geol., 23, 536-584.

Berberian, M. and Walker, R., 2010, The Rudbar M_w 7.3 earthquake of 1990 Jun 20; Seismotectonics, coseismic and geomorphic displacements, and historic earthquakes of the western high-Alborz, Iran, Geophys, J. Int., 182(3), 1577-1602., http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-246X.2010.04705.x.,

Bonilla, M. G. and Buchanon, J. M., 1970, Interim report on worldwide historic surface faulting, U.S. Geol. Surv. Open-File Rept., 70, 34, 32 PP.

Bonilla, M. G., Mark, R. K. and Lienkaemper, J. J., 1984, Statistical relations among earthquake magnitude, surface rupture length, and surface fault displacement, Bull. Seism. Soc. Am., 74, 2379-2411.

Castellaro, S. and Borman, P., 2007, Performance of different regression procedures on the magnitude conversion problem, Bull. Seismol. Soc. Am., 97, 1167-1175.

Chinnery, M. A., 1969, Earthquake magnitude and source parameters, Bull. Seism. Soc. Am., 59, 1969-1982.

Copley, A., Faridi, M., Ghorashi, M., Hollingsworth, J., Jackson, J., Nazari, H., Oveisi, B., Talebian, M., 2013, The 2012

August 11 Ahar earthquakes: consequences for tectonics and earthquake hazard in the Turkish-Iranian plateau. Geophys. J. Int. http://dx.doi.org/10.1093/gji/ggt379.

Darragh, R. B. and Bolt, B. A., 1987, A comment on the statistical regression relation between earthquake magnitude and fault rupture length, Bull. Seism. Soc. Am., 77, 1479-1484.

Haghipour, A. and Amidi, M., 1980, The November 14 to December 25, 1979 ghaenat earthquakes of northeast Iran and their tectonic implications. Bull. Seismol. Soc. Am. 70, No. 5, 1751-1757.

Iida, K., 1959, Earthquake energy and earthquake fault, Nagoya University, J. Earth Sci. 7, 98-107.

Kanamori, H. and Anderson, D. L., 1975, Theoretical basis of some empirical relations in seismology, Bull. Seism. Soc. Am., 65, 1073-1096.

Kijko, A., 2004, Estimation of the maximum earthquake magnitude, m_{max}. Pure. Appl. Geophys., 161, 1655-1681.

Lolli, B. and Gasperini, P., 2012, A comparison among general orthogonal regression methods applied to earthquakes magnitude conversions, Geophys. J. Int., 190, 1135-1151.

Moazami Goudarzi, Ghaderi-Tafreshi, 1977, Preliminary report on the Qaen, Khorasan, earthquake of November 7, 1976. In: Proc. CENTO seminar on the recent advances in earthquake hazard minimization, 14-17 November, 1976. Plan and Budget organization, Tehran, 70, 272-278.

Mousavi-Bafrouei, S. H., Mirzaei, N. and Shabani, E., 2014, A declustered earthquake catalog for the Iranian plateau, Annals of geophysics, 57, No. 6, 1-25.

Nemati, M., 2014, An appraisal of aftershocks behavior for large earthquakes in Persia, Journal of Asian Earth Sciences, 79, 432-440.

Nowroozi, A. A., 1985, Empirical relations between magnitudes and fault parameters for earthquakes in Iran, Bull. Seism. Soc. Am., 75(5), 1327-1338.

Nowroozi, A. A. and Mohajer Ashjai, A., 1978, Observed and probable intensity zoning of Iran. Tectonophysics, 49, 149-160.

Nowroozi, A. A., Mohajer Ashjai, A., 1980/1981, Faulting of Kurizan and Koli (Iran) earthquakes of November 1979; a field report. Bull. B. R. G. M. (deuxieme serie) IV, No, 2, 91-99.

Ohnaka, M., 1978, Earthquake source parameters related to magnitude, Geophys. J. R. Astr. Soc., 55, 45-66.

PDE, cataloge of earthquakes located by the USGS/ NEIC and its predecessors in yhe U.S. coast and geodetic survey, the national ocean survey, and the environmental research laboratories of the department of commerce.

Purcaru, G. and Berckhemer, H., 1982, Quantitative relations of seismic source parameters and a classification of earthquakes. In Quantification of earthquakes, Duda, S. J., Aki, K. (Editors), Tectonophysics, 84, 57-128.

Scholz, C. H., 1982, Scaling lows for large earthquakes: consequences for physical models, Bull. Seism. Soc. Am., 72, 1-14.

Slemmons, D. B., 1977, Fault and earthquake magnitude. U.S. Army Corps of engineers, Waterways Experimental Station, Miscellaneous papers S, 73. 1. Report 6, 1-129.

Slemmons, D. B., 1982, Determination of design earthquake magnitudes for microzonation. Proc. Of the third international earthquake microzonation conf. vol. 1. U. S. National Science foundation, Washington. D. C., 119-130.

Slemmons, D. B., Bodin, P. and Zang, X., 1989, determination of earthquake size from surface faulting events, Proc. of the international seminar of seismic zonation,Guangzhou, China, State Seismological Bureau. Beijing. 13.

Singh, S. K., Bazan, E. and Esteva, L., 1980, Expected earthquake magnitude from a fault, Seism. Soc. Am., 70, 903-914.

Tocher, D., 1958, Earthquake energy and ground breakage, Bull. Seism. Soc. Am., 48, 147-153.

Toksoz, M. N., Arpat, E., Saroglu, F., 1977, East Anatolian earthquake of 24 November 1976. Nature 270, 423-425.

Toksoz, M. N., Nabelek, J., Arpat, E., 1978, Source properties of the 1976 earthquake in east Turkey: a comparison of field data and teleseismic results. Tectonophysics 49, 199-205.

Utso, T., 1969, Aftershocks and earthquake statistics (I), some parameters wich characterize an aftershock sequence and their interrelations, J. Faculty Sci. Series VII. Vol. III, Hokkaido University, Japan, 129-195.

Utso, T. and Seki, A., 1954, A relation between the area of aftershock region and the energy of mainshock, J. Seism. Soc., Japan, 7, 233-240.

Walker, R., Jackson, J., Baker, C., 2004, Active faulting and seismicity of the Dasht-e-Bayaz region, eastern Iran. Geophys. J. Int. 157, 265-285.

Wells, D. L. and Coppersmith, K. J., 1994, New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement, Bull. Seismol. Soc. Am., 84(4), 974-1002.

Wesnousky, S. G., 1986, Earthquakes, Quaternary faults, and seismic hazards in California, J. Geophys. Res., 91, 12587-12631.

Wyss, M., 1979, Estimating maximum expectable magnitude of earthquakes from fault dimensions, Geology, 7, 336-340.