

تحلیل احتمالاتی خطر زمین لرزه در میادین گازی جنوب غرب ایران

آناهیتا نورمحمدی^۱، حبیب رحیمی^{۲*} و بهزاد ملکی^۳

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد؛ گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران

۲- دانشیار؛ موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، دانشگاه تهران

۳- استاد؛ موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، دانشگاه تهران

دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۶/۱۹؛ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۱/۳۰

* نویسنده مسئول مکاتبات: rahimih@ut.ac.ir

چکیده

در این پژوهش تحلیل خطر زمین لرزه برای میادین گازی جنوب غرب ایران انجام شده است. از آنجا که ذخایر هیدروکربنی از جمله منابع انرژی مهم در زندگی روزمره بشر می باشند و نقش به سزائی در صنعت و اقتصاد یک کشور دارند تحلیل خطر زمین لرزه در میادین هیدروکربنی می تواند برای ساخت تاسیسات و پالایشگاه ها در میادین هیدروکربنی مفید باشد. در گام نخست به منظور تحلیل خطر ساختگاه مورد مطالعه، فهرست نامه مربوط به زمین لرزه های تاریخی و دستگاهی منطقه تهیه شده و گسل های منطقه مشخص شد. سپس به تعیین چشمه های لرزه زا پرداخته شد که در این مطالعه دو نوع چشمه خطی و سطحی تعیین شده و بیشینه بزرگای باورپذیر و پارامترهای لرزه خیزی برای یکایک چشمه ها محاسبه شد. در مرحله بعد، روابط تضعیف مناسب برای جنبش نیرومند زمین انتخاب گردید. روابط تضعیف مورد استفاده در این مطالعه رابطه ی بور و اتکینسون (۲۰۰۸) و کمپل و بزرگنیا (۲۰۰۸)، که بر اساس کار تحقیقاتی شجاع طاهری و همکاران (۲۰۱۰)، با داده های شبکه ی شتاب نگاری ایران بیشترین هم خوانی را نشان داده اند. در ادامه نقشه پهنه بندی خطر زلزله برای پریودهای مختلف و دوره بازگشت ۴۷۵ سال برآورد گردید. با تحلیل ویژه ساختگاه مورد مطالعه، نسبت بیشینه شتاب ساختگاه به شتاب ثقل ۰/۴۷۶ به دست آمده که نشان می دهد ساختگاه مورد مطالعه در دسته پهنه با خطر نسبی بسیار زیاد قرار می گیرد. این شتاب در مقایسه با نسبت شتاب مبنای طرح به شتاب ثقل که در آیین نامه ۲۸۰۰، برای پهنه با خطر نسبی بسیار زیاد ۰/۳۵ ذکر شده، بیشتر است. این اختلاف به دلیل وجود گسل های قیر و فیروزآباد در نزدیکی ساختگاه و همچنین تفاوت در نگرش آیین نامه ۲۸۰۰ با تحلیل ویژه ساختگاه قابل توجیه می باشد.

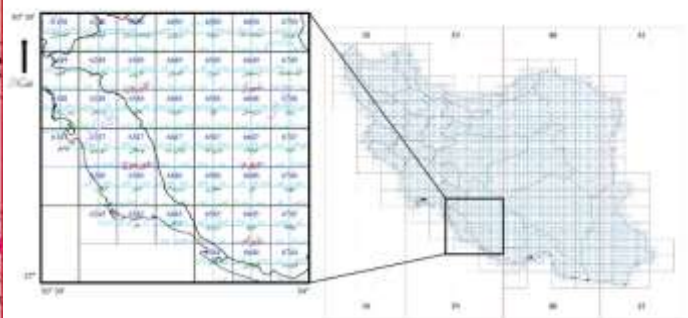
واژگان کلیدی

تحلیل خطر زمین لرزه
چشمه های خطی
چشمه های پهنه ای
زلزله مهندسی
میادین گازی جنوب غرب ایران
روابط تضعیف جنبش نیرومند زمین

۱- مقدمه

ناحیه جنوب غرب ایران ۸۵ درصد ذخایر نفتی کشور را در بر دارد. کمربند کوهزایی زاگرس که در این ناحیه توسعه دارد، یکی از عمده ترین نواحی نفت دار است که تقریباً ۱۲ درصد از ذخایر نفتی جهان را دربر می گیرد (Bordenove and Burwood, 1990). به علت وجود مخازن نفتی بسیار مهم در رشته کوه های زاگرس، زمین شناسی این منطقه از دیرباز مورد کاوش و بررسی متخصصان مختلف و زمین شناسان نفتی جهان قرار گرفته است و سابقه این بررسی ها به دو دهه آخر قرن نوزدهم باز می گردد. از آن زمان تا به امروز اطلاعات زمین شناسی این منطقه از ایران شامل انبوهی از گزارشهای زمین-شناسی است که اکثر آنها به صورت انتشار داخلی در صنعت نفت باقی مانده است.

منطقه مورد مطالعه، منطقه ای واقع در گستره جغرافیایی بین ۵۰/۵ تا ۵۴ درجه طول شرقی و ۲۷ تا ۳۰/۵ درجه عرض شمالی (زون ۳۹) می باشد. این منطقه شامل شهرهای برازجان، نیریز، جهرم و آبادی های بونارویه و پشتو می باشد (شکل ۱). برای مطالعه روی این منطقه از نقشه های ۱:۲۵۰۰۰۰ جهرم، شیراز، اقلید، اردکان، کازرون، خورموج، بهبهان، بوشهر و بایرام استفاده شده است. شعاع منطقه مورد مطالعه حدوداً ۱۵۰ کیلومتر می باشد.



شکل ۱: پلان نقشه های ۱:۲۵۰،۰۰۰ ایران به همراه بزرگنمایی منطقه مورد مطالعه (سازمان نقشه برداری کشور)

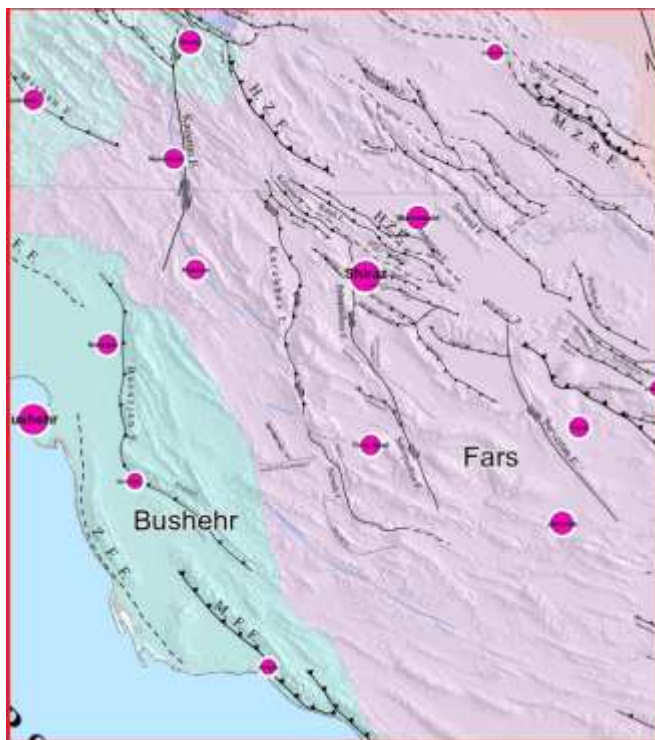
۲- لرزه زمینساخت منطقه

منطقه مورد مطالعه در محدوده ایالت لرزه زمینساختی زاگرس قرار داشته و لذا چشمه های لرزه زای اطراف آن از ویژگی های زمین شناسی آن تبعیت می کند. زاگرس بخشی از ایران است که در باختر گسل اصلی زاگرس قرار می گیرد و به وسیله آن از زون ایران مرکزی جدا می شود. نوار چین خورده - راندگی زاگرس، بخشی از کمربند کوهزایی آلپ - هیمالیا و یکی از جوانترین و جنباترین پهنه های برخورد قاره ای در روی زمین است (Snyder and Barazangi, 1986) که در حدود ۱۵۰۰ کیلومتر از کوه های تاروس در جنوب شرق ترکیه تا گسل میناب در شرق جزیره هرمز در جنوب ایران امتداد دارد. زاگرس در حاشیه شمالی صفحه عربستان و بر روی پی سنگ دگرگونی پره کامبرین قرار

گرفته است. از دیدگاه ساختمانی، شکل گیری آن با حرکت همگرای مداوم صفحه عربستان در جنوب غرب و خرد قاره ایران مرکزی در شمال شرق، که خود ناشی از حرکت به سوی شمال شرق صفحه آفریقا - عربستان نسبت به اوراسیا می باشد، مرتبط است (Alavi, 1994 and Berberian, 1995).

راندگی های اصلی عمیقی که مرز واحد های ریخت زمینساختی زاگرس را تشکیل می دهند (بر اساس کتاب دانشنامه گسله های ایران) عبارتند از :

- ۱- گسل معکوس اصلی زاگرس (زمیندرز زاگرس؛ MZRF و گسل اصلی جوان زاگرس (MRF)
- ۲- گسل زاگرس مرتفع (HZF)
- ۳- گسل پیشانی کوهستان (MFF)
- ۴- گسل فروافتادگی دزفول (DEF)
- ۵- گسل پیش ژرفای زاگرس (ZFF)
- ۶- مرز زاگرس - عربی (حد جنوبی کمربند چین خورده - رانده زاگرس)

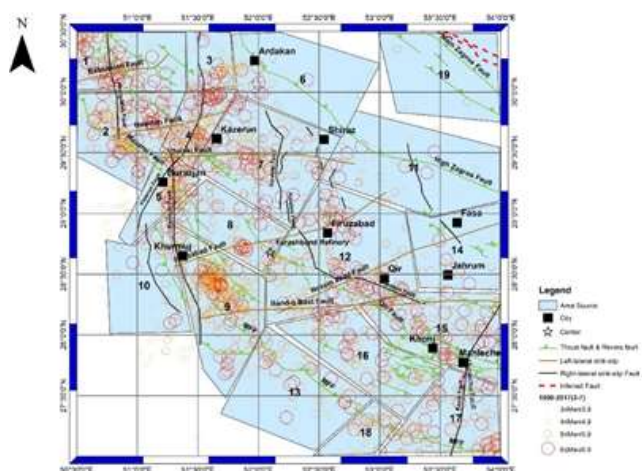


شکل ۲: نقشه ۱:۱،۰۰۰،۰۰۰ گسل های فعال منطقه مورد مطالعه (کتاب

دانشنامه ی گسله های ایران)

۳- داده ها

ابتدا لازم است فهرستنامه مربوط به زمین لرزه های دستگاهی منطقه از پایگاههای اطلاع رسانی جهانی مانند ISC و موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران گردآوری شود. همچنین برای استخراج زمین لرزه های تاریخی منطقه از فهرستنامه (Ambraseys and Melville (1982 و



شکل ۴: چشمه‌های سطحی تعیین شده برای گستره طرح

۲-۲- تعیین بیشینه بزرگای باور پذیر و پارامترهای لرزه

خیزی برای هر چشمه

بعد از تعیین چشمه‌های لرزه‌ای، پارامترهای لرزه خیزی برای هر چشمه با استفاده از نرم‌افزارهای Zmap و Kijko تعیین شده است، که نتایج مربوطه در جداول ۱ و ۲ آمده است. برای تعیین پارامترهای لرزه‌خیزی از روابط Wells and coppersmith (1994) و زارع (۱۳۷۴) استفاده شده است:

$$M_W = 0.91 \ln L_R + 3.66, (L_R = 0.37 L_f) \quad (1)$$

$$M = 1.16 \log L + 5.08, (L = 0.5 L_f) \quad (2)$$

$$\beta = \frac{b}{\log(e)}, \alpha = \frac{(a - \log(b))}{\log(e)} \quad (3)$$

در این مطالعه پارامترهای لرزه خیزی برای هر چشمه بر اساس کاتالوگ بازسازی شده Mousavi-Bafrouei et al. (2014) زمینلرزه‌های ۱۹۰۰-۲۰۱۲ و برای سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۲۰ از مرکز لرزه‌نگاری کشوری محاسبه شده است. بدین منظور زمینلرزه‌های موجود در هر چشمه جداسازی شده و پارامترهای لرزه ای بر اساس روش ارائه‌شده توسط Kijko and Sellevoll (1992) محاسبه شد. مقدار نرخ وقوع زمینلرزه (λ) برای کل ناحیه مقدار ۱۸/۹۶ برای کمینه بزرگای ۲/۵ و نیز پارامتر β مقدار ۲/۵۱ محاسبه شده است. این مقادیر با مطالعه بفروبی سال ۲۰۲۰ مقایسه شده و با توجه به مقادیر گزارش شده در مطالعه مذکور، مقادیر برآورد شده در این مطالعه قابل مقایسه و منطقی است. با توجه به اینکه ناحیه مورد مطالعه در محدوده لرزه زمینساختی زاگرس واقع شده است، مقدار ۲/۵۱ برای پارامتر β ($b \text{ value} = 1.09$) با مقدار محاسبه شده در مطالعه Bafrouei (2020) ($b \text{ value} = 0.98$) تفاوت چندانی ندارد.

Berberian (1994) که از زمین‌لرزه‌های تاریخی پیش از سده بیستم گردآمده، بهره گرفته شده است.

سپس بزرگای رویداد های لرزه‌ای، برای تجمیع و تدوین کاتالوگ، با بهره گیری از روابط تبدیل بزرگا Mousavi-Bafrouei et al. (2014) یکنواخت شده است. در اینجا بزرگای همه رویدادهای لرزه‌ای بر حسب Mw (بزرگای گشتاوری) در نظر گرفته شده است. سپس رویدادهای وابسته (پیش لرزه ها و پس لرزه ها) از کاتالوگ حذف شده است. در این مطالعه از روش Uhrhammer (1986) برای حذف پیشلرزه ها و پس‌لرزه‌ها استفاده شده است. که با توجه به الگوریتم این روش، در گرفتن پنجره‌های زمانی، پس‌لرزه‌ها را بهتر شناسایی میکند ضمن اینکه روش کارآمدتر و به روزتری است.

۲-۱- تعیین چشمه های لرزه زا

در ابتدا برای تهیه نقشه های زمین شناسی منطقه مورد مطالعه از پایگاه علوم زمین و همچنین سازمان زمین شناسی و برخی مقالات استفاده شده است. سپس نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ گستره طرح در نرم‌افزار ArcGis زمین مرجع شده است و گسل‌های فعال و چشمه‌ها، با دقت رقومی و ترسیم گردیده است. در این مطالعه تلاش شده موقعیت جغرافیایی گسل‌ها به دقت زمین مرجع شوند، زیرا موقعیت آنها نقش مهمی در برآورد خطر در منطقه مورد مطالعه دارد.

پس از بررسی گسل‌های اصلی (گسل‌های فعال) و فرعی منطقه مورد مطالعه تا شعاع ۱۵۰ کیلومتری و همچنین تمامی زمینلرزه‌های ثبت شده در فهرست‌نامه، منطقه مورد مطالعه به ۳۹ چشمه مجزا به صورت خطی و ۱۹ چشمه مجزا به صورت سطحی (پهنه‌ای) تقسیم‌بندی شده است. چشمه های خطی و سطحی گستره طرح در شکل های ۳ و ۴ که به وسیله نرم‌افزار ArcGis ترسیم گردیده است، مشخص شده است.



شکل ۳: چشمه‌های خطی تعیین شده برای گستره طرح

واضح است مقدار λ محاسبه شده در این مطالعه ($\lambda=2/51$) به دلیل محدوده کوچکتر و متفاوت تر از ناحیه زاگرس (Bafrouei, 2020) ($\lambda=3$) متفاوت خواهد بود.

جدول ۱: پارامترهای لرزه‌خیزی برای چشمه‌های خطی

چشمه خطی	بیشینه بزرگا (زارع ۱۹۹۵)	بیشینه بزرگا (ولز کوپراسمیت)	α	β	λ
۱	۷/۱۴	۷/۱۶	۱۰/۴۱	۳/۳	۰/۰۱۲
۲	۷/۲۹	۷/۲۴	۳/۳۵	۲/۸۳	۰/۰۷۸
۳	۶/۶۵	۶/۸۹	۱/۷۱	۲/۸۳	۰/۰۴۲
۴	۷/۱۶	۷/۱۷	۲/۹۹	۲/۸۳	۰/۰۷۰
۵	۶/۹۶	۷/۰۶	۵/۶۲	۳/۳	۰/۰۱۴
۶	۷/۲۷	۷/۲۳	۲/۰۲	۲/۸۳	۰/۰۴۹
۷	۶/۹۷	۷/۰۶	۱/۸۷	۳/۰۹	۰/۰۰۵
۸	۶/۵۲	۶/۸۱	۴/۰۱	۳/۰۹	۰/۰۰۵
۹	۷/۰۸	۷/۱۲	۴/۰۱	۳/۰۹	۰/۰۰۵
۱۰	۶/۵۱	۶/۸۱	۳/۱۶	۳/۳	۰/۰۰۸
۱۱	۶/۸۰	۶/۹۷	۴/۹۵	۱/۸	۰/۰۰۸
۱۲	۶/۷۴	۶/۹۴	۵/۱۶	۲/۸۳	۰/۰۱۶
۱۳	۷/۰۸	۷/۱۲	۸/۰۱	۲/۸۳	۰/۰۲۴
۱۴	۶/۹۷	۷/۰۶	۴/۷۲	۳/۳	۰/۰۴۷
۱۵	۶/۸۴	۶/۹۹	۵/۱۹	۳/۳	۰/۰۱۸
۱۶	۶/۹۳	۷/۰۴	۳/۶۲	۳/۰۹	۰/۰۰۹
۱۷	۶/۵۱	۶/۸۱	۳/۱۹	۳/۳	۰/۰۳۴
۱۸	۶/۹۵	۷/۰۵	۵/۱۱	۳/۳	۰/۰۵۱
۱۹	۶/۸۸	۷/۰۱	۳/۲۲	۲/۸۳	۰/۰۱۰
۲۰	۶/۹۲	۷/۰۴	۷/۷۲	۳/۳	۰/۰۰۹
۲۱	۷/۳۹	۷/۳۰	۸/۳۸	۳/۳	۰/۰۱۰
۲۲	۷/۵۲	۷/۳۷	۲/۱۳	۲/۸۳	۰/۰۵۱
۲۳	۶/۶۲	۶/۸۷	۰/۸۹	۲/۸۳	۰/۰۲۴
۲۴	۶/۸۸	۷/۰۱	۱/۷۸	۲/۸۳	۰/۰۴۴
۲۵	۶/۷۸	۶/۹۶	۴/۹۸	۱/۸	۰/۰۷۸
۲۶	۶/۶۹	۶/۹۱	۲/۰۸	۳/۳	۰/۰۰۶
۲۷	۶/۸۳	۶/۹۸	۳/۱۹	۳/۳	۰/۰۱۲
۲۸	۶/۷۵	۶/۹۴	۱/۴۲	۳/۰۹	۰/۰۰۴
۲۹	۶/۳۳	۶/۷۱	۱/۷۳	۳/۰۹	۰/۰۰۴
۳۰	۶/۰۷	۶/۵۷	۱/۴۷	۳/۰۹	۰/۰۰۴
۳۱	۶/۶۴	۶/۸۸	۷/۴۹	۲/۹۲	۰/۰۱۸
۳۲	۶/۸۶	۷/۰۰	۹/۶	۲/۹۲	۰/۰۲۲
۳۳	۶/۳۰	۶/۷۰	۱/۶۱	۳/۰۹	۰/۰۰۴
۳۴	۶/۶۹	۶/۹۱	۴/۹۸	۱/۸	۰/۰۷۸

جدول ۲: پارامترهای لرزه‌خیزی برای چشمه‌های سطحی

چشمه خطی	بیشینه بزرگا (زارع ۱۹۹۵)	بیشینه بزرگا (ولز کوپراسمیت)	α	β	λ
۱	۶/۷۵	۶/۹۴	۱۴/۴۳	۱/۴۵	۰/۰۰۰۰۹
۲	۶/۸۷	۷/۰۱	۱۰/۹۶	۱/۴۵	۱۰/۷۰۹۹۹۱
۳	۶/۴۱	۶/۷۵	۵/۸	۱/۴۹	۲/۴۲۹۴۷۰
۴	۶/۵۷	۶/۸۴	۶/۴۳	۱/۴۹	۲/۸۵۰۵۳۰
۵	۶/۶۶	۶/۸۹	۵/۱۱	۱/۳۶	۱/۷۶۸۰۳۶
۶	۷/۱۹	۷/۱۹	۵/۶۹	۱/۴۲	۱/۵۶۵۰۴۶
۷	۶/۹۸	۷/۰۷	۶/۰۰	۱/۴۲	۱/۷۰۴۹۵۴
۸	۶/۷۷	۶/۹۵	۷/۳۸	۱/۳۶	۳/۱۹۱۹۶۴
۹	۶/۸۰	۶/۹۷	۱۱/۳۱	۱/۵۱	۸/۸۴۰۰۰۰
۱۰	۶/۷۹	۶/۹۶	۱۱/۳۱	۱/۵۲	۸/۴۰۰۰۰۰
۱۱	۷/۲۵	۷/۲۲	۵/۳۷	۱/۲۸	۴/۴۸۴۴۴۶
۱۲	۷/۱۶	۷/۱۷	۵/۸۲	۱/۲۸	۵/۱۹۴۲۳۱
۱۳	۷/۰۵	۷/۱۱	۶/۶۷	۱/۷۱	۳/۳۰۲۰۳۷
۱۴	۶/۶۹	۶/۹۱	۴/۲۳	۱/۲۸	۲/۴۰۱۳۲۴
۱۵	۷/۰۶	۷/۱۱	۵/۷۴	۱/۰۸	۱/۸۳۸۹۱۷
۱۶	۶/۴۳	۶/۷۷	۵/۴۴	۱/۰۸	۱/۶۷۱۰۸۳
۱۷	۶/۷۰	۶/۹۲	۵/۲۲	۱/۷۱	۲/۲۳۷۶۸۸
۱۸	۵/۹۳	۶/۴۹	۳/۷۵	۱/۷۱	۰/۸۰۰۲۷۵
۱۹	۶/۷۷	۶/۹۵	۷/۵۰	۲/۲۶	۱/۲۲

۲-۳- تعیین روابط تضعیف

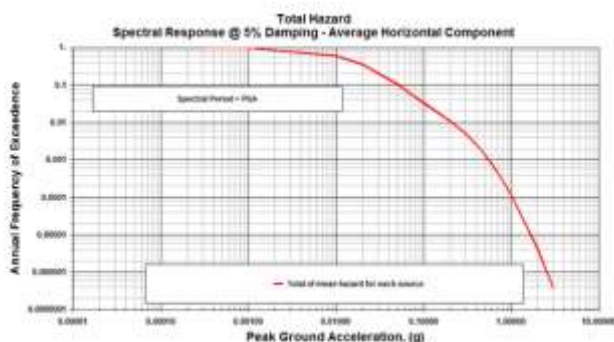
در این مطالعه برای روش برآورد خطر به روش احتمالاتی از Boore and Atkinson (2008) و Campbell and Bozorgnia (2008). که بر اساس کار تحقیقاتی Shoja-Taheri et al. (2010). با داده های شبکه ی شتاب نگاری ایران مطابقت دارد، و همچنین روابط Abrahamson and Silva (2007). and Somerville (2002) و Boore and Joyner and Fumal (1997) استفاده گردید.

۲-۴- نقشه پهنه بندی خطر لرزه‌ای به روش احتمالاتی

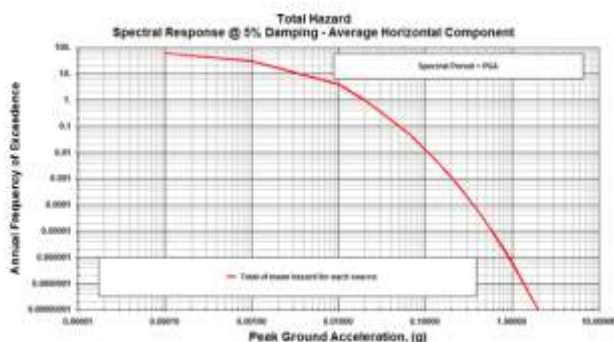
نقشه‌های پهنه بندی خطر برحسب PGA برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال

نشریه پژوهش‌های ژئوفیزیک کاربردی، دوره ۸، شماره ۱، ۱۴۰۱.

با تحلیل ویژه ساختمان مورد مطالعه، نسبت شتاب ساختمان به شتاب ثقل ۰/۴۷۶ به دست آمده که نشان می‌دهد ساختمان مورد مطالعه در دسته پهنه با خطر نسبی بسیار زیاد قرار می‌گیرد (شکل ۵). این شتاب در مقایسه با نسبت شتاب مبنای طرح به شتاب ثقل که در آیین نامه ۲۸۰۰، برای پهنه با خطر نسبی بسیار زیاد ۰/۳۵ ذکر شده، بیشتر است. این اختلاف به دلیل وجود گسل نزدیک ساختمان (که در ادامه تاثیر این گسل‌های نزدیک در لرزه‌خیزی منطقه مورد بررسی قرار گرفته است) و همچنین تفاوت در نگرش آیین نامه ۲۸۰۰ با تحلیل ویژه ساختمان می‌باشد.



شکل ۶: منحنی خطر برای چشمه های خطی



شکل ۷: منحنی خطر برای چشمه های پهنه‌ای

۵- آنالیز حساسیت چشمه های پهنه ای و خطی در گستره طرح

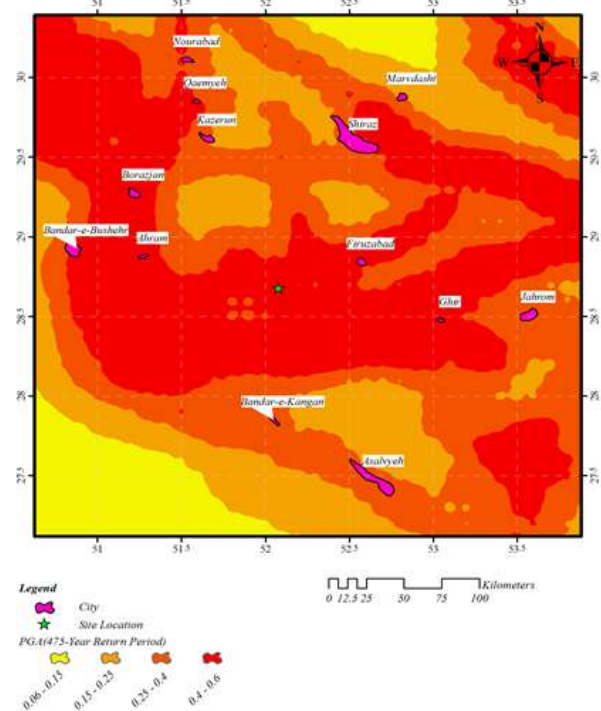
باتوجه به شکل ۸ و همچنین مقایسه نقشه پهنه بندی خطر برای چشمه‌های خطی و سطحی (شکل ۹ و ۱۰)، مشخص شد اثر چشمه‌های لرزه‌ای خطی تعیین شده در لرزه‌خیزی منطقه بیشتر از چشمه‌های سطحی می‌باشد. در بین چشمه‌های خطی، چشمه‌های خطی شماره ۲۷ و ۲۲ بیشترین اثر را در لرزه‌خیزی منطقه دارند که به ترتیب مربوط به گسل‌های قیر و فیروزآباد هستند که کمترین فاصله را از ساختمان مورد

رسم شده است (شکل ۵).

از دیگر نتایج و خروجی های نرم‌افزار EZ-FRISK منحنی های خطر بوده است که همانند نقشه های پهنه بندی برای منطقه مورد مطالعه رسم شده و ارائه شده‌اند. این منحنی‌ها بر حسب PGA برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال رسم می شوند.

در محاسبات، برای همه نقاط، ساختمان سنگی منظور شده است. سرعت موج برشی بر روی ساختمان سنگی با توجه به آیین نامه ۲۸۰۰ برای کلاس A؛ ۷۶۰ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است. در ادامه، گستره مورد نظر بصورت شبکه‌ای از نقاط با فاصله ی ۰/۱ درجه طول و عرض جغرافیایی تقسیم بندی شده و با در نظر گرفتن بیشینه بزرگی برای هر چشمه (جدول ۱ و جدول ۲) و روابط تضعیف Boore and Atkinson (2008) و Campbell and Bozorgnia (2008)، روابط Abrahamson (2007) and Silva (2002) و Somerville (2002) و Boore and Joyner (1997) Fumal (1997)، تحلیل خطر انجام گردید.

PSHA Map of Study Area Based on All Source (475 Return Period)



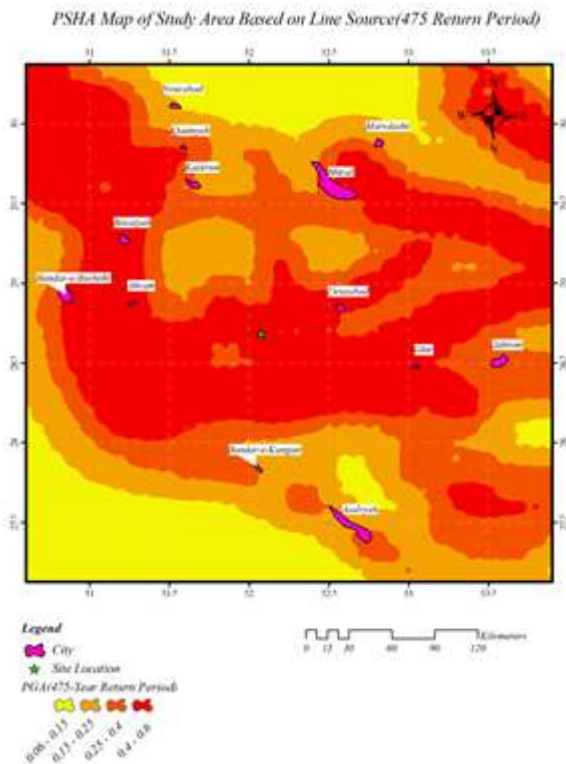
شکل ۵: نقشه پهنه بندی خطر برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال

۴- تحلیل حساسیت

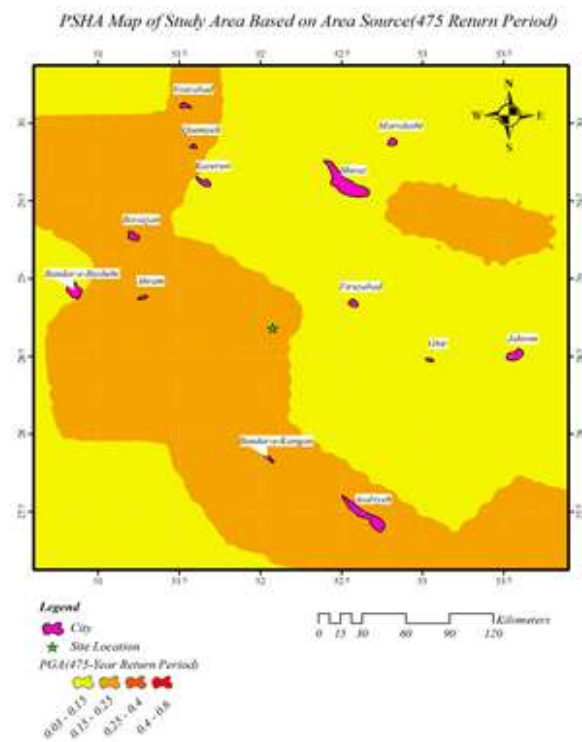
در این قسمت منحنی خطر برای چشمه های خطی و سطحی به تفکیک و همچنین منحنی خطر برای هر دو چشمه خطی و سطحی به منظور آنالیز حساسیت چشمه‌های خطی و سطحی تعیین شده و در گستره طرح، ترسیم شده است و چشمه‌هایی که بیشترین تاثیر را در لرزه‌خیزی منطقه داشته‌اند مشخص شده است. همچنین به تاثیر روابط کاهندگی مختلف روی منحنی خطر پرداخته شده است و زمین لرزه کنترل کننده در بحث واهم‌افزایی مشخص شده است.

نظر دارند، گسل قير در فاصله ۱/۷ كيلومتري و گسل فيروزآباد در فاصله ۱۰ كيلومتري از ساختمان مورد نظر قرار دارند. كه اين فواصل كم، تأثير گذاري اين دو چشمه خطي را توجيه مي‌كند (شكل ۱۱). براي اطمينان از اثرگذاري اين دو چشمه، با حذف اين دو چشمه از چشمه‌هاي لرزه‌اي نتايج بررسي شد، نسبت شتاب ساختمان به شتاب ثقل از ۰/۴۷۶ به ۰/۲۱۴ کاهش يافت كه اين نتيجه تأثير اين دو گسل نزديك ساختمان را در لرزه‌خيزي منطقه تايد مي‌كند.

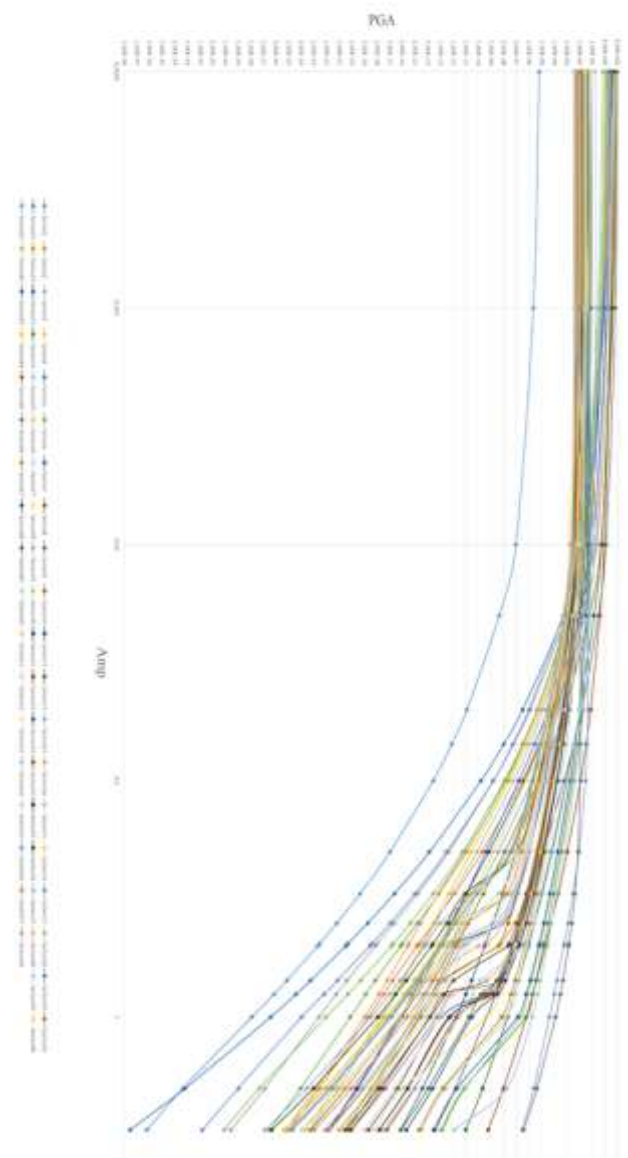
در ميان چشمه‌هاي سطحي هم چشمه سطحي شماره ۸ كه خود در برگيرنده ساختمان مورد مطالعه مي‌باشد بيشترين تأثير را در لرزه‌خيزي دارد. و بعد از آن چشمه سطحي شماره ۱۲ كه كمترين فاصله را از ساختمان دارد، در لرزه‌خيزي منطقه تاثيرگذار است (شكل ۱۲).



شكل ۹: نقشه پهنه بندی خطر برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال برای چشمه‌های خطی



شكل ۱۰: نقشه پهنه بندی خطر برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال برای



شكل ۸: منحنی source contribution برای چشمه‌های خطی (Series 1-19) و سطحي (Series 20-58)

نشریه پژوهش‌های ژئوفیزیک کاربردی، دوره ۸، شماره ۱، ۱۴۰۱.

تاثیر زلزله‌های با بزرگای کوچک تا متوسط نیز می‌باشد. به طبع برای شبیه سازی زمین‌لرزه کنترل کننده در این ناحیه چشمه‌ای را در نظر خواهیم گرفت که در فاصله کمتر از ۱۰ کیلومتری سایت مورد مطالعه باشد. بنابر این همانطور که در بخش تحلیل حساسیت چشمه‌ها نیز مطرح شد، چشمه خطی ۲۷ (گسل قیر)، نزدیکترین چشمه به سایت مورد مطالعه می‌باشد که احتمال رخداد زمین‌لرزه کنترل کننده را دارا می‌باشد.

۷- مروری بر مطالعات پیشین

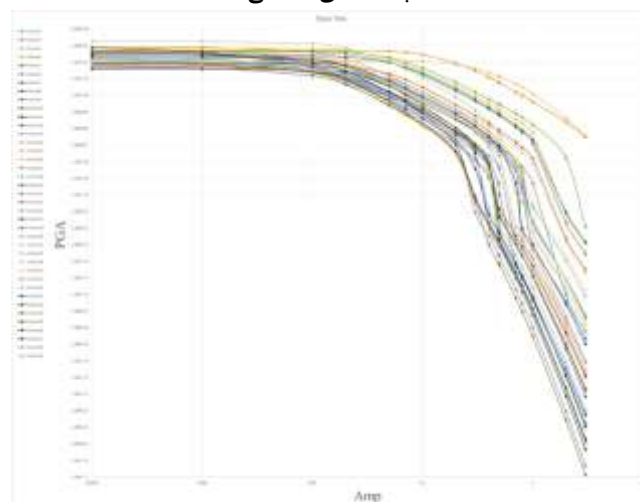
در جدول زیر به مقایسه شتاب محاسبه شده برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال، در مطالعه حاضر و مطالعات پیشین می‌پردازیم. در مطالعات ذکر شده شتاب در استان فارس محاسبه شده که مقدار آن از $0.17g$ (باخطر نسبی نسبتا کم) تا 0.6 (با خطر نسبی بسیار زیاد) برای شهرهای مختلف استان فارس متغیر است.

مطالعات مختلف تحلیل خطر زمین لرزه برای استان فارس	شهر	مقدار شتاب محاسبه شده در دوره بازگشت ۴۷۵ سال (g)
مطالعه حاضر	فراسیند	0.476
اشجع ناس و همکاران، ۱۳۹۷	شیراز	0.35
	کازرون	0.6
موسوی بغویی و همکاران، ۱۳۹۳	شیراز	0.305
ایمانی و هاتف، ۱۳۸۲	شیراز	$0.17 - 0.42$
استاندارد ۲۸۰۰	شیراز	0.3

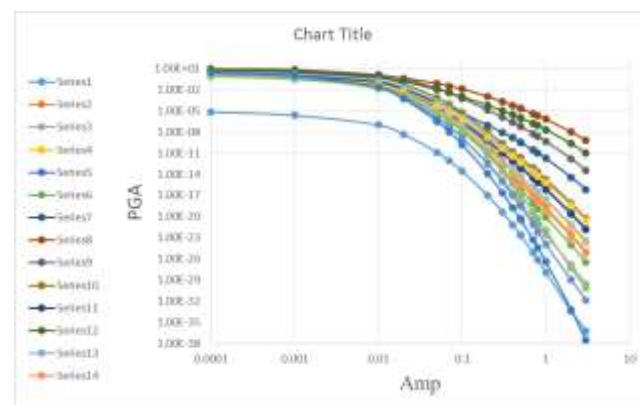
۸- نتیجه گیری و پیشنهادات

از آنجا که ذخایر هیدروکربنی از جمله منابع انرژی مهم در زندگی روزمره بشر می باشند و نقش به سزائی در صنعت و اقتصاد یک کشور دارند تحلیل خطر زمین لرزه در میادین هیدروکربنی می تواند برای ساخت تاسیسات و پالایشگاهها در میادین هیدروکربنی مفید باشد. با تحلیل ویژه ساختگاه مورد مطالعه، نسبت شتاب ساختگاه به شتاب ثقل 0.476 به دست آمده که نشان می‌دهد ساختگاه مورد مطالعه در دسته پهنه با خطر نسبی بسیار زیاد قرار می‌گیرد. این شتاب در مقایسه با نسبت شتاب مبنای طرح به شتاب ثقل که در آیین نامه ۲۸۰۰، برای پهنه با خطر نسبی بسیار زیاد 0.35 ذکر شده، بیشتر است. این اختلاف به دلیل وجود گسل نزدیک ساختگاه (که با توجه به بررسی‌های انجام شده در این مطالعه دو گسل قیر و فیروزآباد که کمترین فاصله را از ساختگاه مورد مطالعه دارند بیشترین اثر را در لرزه‌خیزی منطقه دارند) و همچنین تفاوت در نگرش آیین نامه ۲۸۰۰ با تحلیل ویژه ساختگاه می‌باشد. باتوجه به وجود گسل‌ها نزدیک ساختگاه و لرزه‌خیزی بالای منطقه، و

چشمه‌های سطحی



شکل ۱۱: منحنی source contribution برای چشمه‌های خطی



شکل ۱۲: منحنی source contribution برای چشمه‌های سطحی

۶- واهم افزایشی زمینلرزه

تحلیل خطر احتمالاتی، خطر لرزه‌ای حاصل از زمین‌لرزه‌های محتمل با بزرگی‌های مختلف در فواصل متغیر از ساختگاه مورد مطالعه است. می‌توان با واهم افزایشی، مشخصات زمین‌لرزه‌ای که این خطر را در ساختگاه ایجاد می‌کنند، مورد ارزیابی قرار داد. در حقیقت با واهم‌افزایی خطر زمین‌لرزه می‌توان به اجزاء تشکیل‌دهنده آن، یعنی چگالی احتمال خطر زمین‌لرزه به ازای پارامترهای بزرگی و فاصله دست یافت. در این فرآیند، نتیجه نهایی با یک نمودار سه بعدی خطر زمین‌لرزه را به ازای پارامتر بزرگی و فاصله تعیین می‌کند. شتاب طیفی در تمام پریودها (دوره بازگشت‌های بلند مدت و کوتاه مدت) تحت تاثیر زلزله‌های با بزرگی زیاد و فاصله کم (کمتر از ۱۰ کیلومتر) است که بیشترین خطر را در ناحیه مورد مطالعه دارد. همچنین می‌توان مشاهده کرد که در دوره بازگشت‌های کوتاه مدت، ناحیه مورد نظر تحت

- Berberian M, Natural Hazards and the First Earthquake Catalogue of Iran, Historical Hazards in Iran Prior To 1900. 1994 UNESCO/IIEES Publication during UN/IDNDR, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, Iran, 1994, 1.
- Berberian, M., 1995, Master "blind" thrust fault under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics, *Tectonophysics*, 241, 193-224.
- Bordenave, M.L., Burwood, R., 1990, Source rock distribution and maturation in the Zagros Orogenic Belt: Provenance of the Asmari and Bangestan Reservoir oil accumulations, *Organic Geochemistry*, 369-387.
- Boore, D.M., Atkinson, G.M., 2008, Ground motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5%-damped PSA at spectral periods between 0.01s and 10.0 s, *Earthquake Spectra*, 24, 99-138.
- Boore, D.M., Joyner, W.B., Fumal, T.E., 1997, Equation for Estimating Horizontal Response Spectra and Peak Acceleration from Western North American Earthquakes, *A Summary of Recent Work*, *Seism. Res. Lett.* Vol. 68, No. 1, 128-153.
- Campbell, K.W. and Bozorgnia, Y., 2008, NGA ground motion model for the geometric mean horizontal component of PGA, PGV, PGD and 5% damped linear elastic response spectra for periods ranging from 0.01 to 10s, *Earthquake Spectra*, 24, 139-171.
- Kijko, A. and Sellevoll, M.A., 1992, Estimation of Earthquake Hazard Parameters from Incomplete Data File, Part II. Incorporation of Magnitude Heterogeneity, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 82, 120-134.
- Mousavi-Bafrouei, S.H., Mirzaei, N., Shabani, E. and Eskandari-Ghadi, M., 2014, Seismic hazard zoning in Iran and estimating peak ground acceleration in provincial capitals, *J. Earth and Space Phys.*, 40 (4), 15-38 (in Persian with English summary).
- Mousavi-Bafrouei, S.H., Dehghan Manshadi, S.H., 2020, Declustering of Iranian earthquakes with difference methods and their impact on Zagros seismicity parameters, *The 19th Iranian Geophysical Conference*, 1030-1034.
- Shoja-Taheri, J., Naserieh, S., and Hadi, G (2010). A Test of the Applicability of NGA Models to the Strong Ground-Motion Data in the Iranian Plateau.
- Snyder, D. B., Barazangi, M., 1986, Deep crustal structure and flexure of the Arabian plate beneath the Zagros collisional mountain belt as inferred from gravity observation, *Tectonics*, 5, 361-373.
- Stewart, J.P., Chiou, S.J., Bray, J.D., Graves, R. W., Somerville, P.G., & Abrahamson, N. A., 2002, Ground motion evaluation procedures for performance-based design. *Soil dynamics and earthquake engineering*, 22(9-12), 765-772.
- Uhrhammer, R., 1986, Characteristics of Northern and Central California Seismicity, *Earthquake Notes*, 57(1): 21.

همچنین اهمیت ساخت تاسیسات و پالایشگاه‌ها، بهتر است از ساخت پالایشگاه در نزدیکی گسل‌ها اجتناب شود و تاسیسات و پالایشگاه‌ها در منطقه‌ای به دور از گسل‌ها ساخته شود. بدین منظور در اولین مرحله انجام مطالعات زمین‌شناسی و شناسایی گسل‌های فعال منطقه لازم و ضروری است. در کنار این مطالعات، مطالعاتی نظیر دیرینه زلزله‌شناسی و سن سنجی به منظور برآورد دوره بازگشت زمین‌لرزه‌ها و زمان آخرین زمین‌لرزه از مطالعات پایه‌ای برای برآورد دقیقتر خطر لرزه‌ای است. ای مطالعات در منطقه مورد مطالعه برای دو گسل قیر و فیروزآباد اکیداً توصیه می‌شود.

۹- سپاس‌گزاری

نویسندگان از شرکت ملی نفت مناطق مرکزی ایران برای حمایت از طرح مرتبط با مقاله تشکر و قدردانی می‌کنند.

۱۰- منابع

- آقا حسینی، ا.، جوادی، ح.، شیخ الاسلامی، م.، وحدتی دانشمند، ب.، کوه-پیما، م.، اسدی سرشار، م.، ۱۳۹۲، دانشنامه‌ی گسله‌های ایران، انتشارات رهی.
- آقانباتی، ع.، ۱۳۸۳، زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کش.
- آمبرسز، ن.ن.، ملویل، چ.پ. (۱۳۷۰) : تاریخ زمین‌لرزه‌های ایران، ترجمه‌ی ابوالحسن رده، انتشارات آگاه.
- آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰ (ویرایش سوم)، مرکز تحقیقات و ساختمان و مسکن، ۱۳۸۴.
- بربریان، م.، قریشی، م.، ارژنگ روش، ب.، و مهاجر اشجعی، ا. (۱۳۶۴) : پژوهش و بررسی ژرف نو زمین‌ساخت، لرزه زمین‌ساخت و خطر زمین‌لرزه گسلش در گستره تهران و پیرامون، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور .
- بربریان، م.، قریشی، م.، طالبیان، م.، شجاع طاهری، ج. (۱۳۷۵) : پژوهش و بررسی نو زمین‌ساخت و خطر زمین‌لرزه - گسلش در گستره‌ی سمنان، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.
- زارع، م.، ۱۳۷۴، رابطه‌های مناسب بزرگا، شدت و بیشینه شتاب افقی بر اساس زمین‌لرزه‌های ایران، پژوهشنامه موسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، شماره ۶ ص ۱۲-۱۴.
- Abrahamson, N. A., and Silva, W. J., 2007, *Abramahson and Silva NGA Ground Motion Relations for the Geometric Mean Horizontal Component of Peak and Spectral Ground Motion Parameters: PEER Report 200x/xx.*
- Alavi, M., 1994, Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations, *Tectono-physics*, 229, 211-238.
- Ambraseys N N, Melville C P, A History of Persian Earthquakes, *Geological Magazine*, 1982, 120, 410.

نشریه پژوهش‌های ژئوفیزیک کاربردی، دوره ۸، شماره ۱، ۱۴۰۱.

Zare, M., Ghafoory-Ashtiany, M., Bard, P., 1999, Attenuation law for the strong motions in Iran, PP:345- 355 of: proceedings of the Third International conference on Seismology and Engineering, Tehran, Vol.1.

Wells, D. L. K. and copper smith, J., 1994, New Empirical Relation Among Magnitude Rupture Length, Rupture Width, Area, and Surface Displacement, Bulletin of the Seismological society America, Vol. 84, 974-1002.