

بررسی خطر زمین لرزه در شهر جدید مجلسی

غزاله رزاقیان*

استادیار، گروه زمین شناسی، واحد دماوند، دانشگاه آزاد اسلامی، دماوند، ایران

مرکز تحقیقات زلزله و بلایای طبیعی، واحد دماوند، دانشگاه آزاد اسلامی، دماوند، ایران

آدرس: تهران، دماوند، میدان معلم، مجتمع دانشگاه آزاد اسلامی، کد پستی: ۷۸۹۱۱-۳۹۷۱۸

Email: ghrazaghian@damavandiau.ac.ir , Tel: 09128186817

علی بیت اللهی

استادیار، بخش زلزله شناسی مهندسی و خطرپذیری، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهر سازی، تهران، ایران

نگار سودمند

دانشجوی دکتری، گروه ژئوفیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران

فاطمه دهقان فاروجی

مربی، بخش زلزله شناسی مهندسی و خطرپذیری، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهر سازی، تهران، ایران

چکیده

شکل گیری و ساخت یک شهر جدید به صورت هدفمند در راستای کاهش آسیب پذیری و ارتقای سطح زندگی است. شکل گیری شهر جدید مجلسی و توسعه آن نیز باعث می شود ارزیابی پارامترهای خطرپذیری لرزه ای در این منطقه قابل توجه باشد. مطالعات لرزه خیزی و تحلیل خطر زمین لرزه نقش مهمی در طراحی سازه های مهندسی و در نتیجه کاهش خطرات و آسیب ها در مناطق شهری خواهند داشت. این شهر بر روی رسوبات کواترنری قرار گرفته است، و گسل های شمال رخ و مبارکه از نزدیکی شهر مجلسی عبور می کنند. رخداد زمین لرزه های بزرگ و تعداد زیاد زمین لرزه های دستگاهی بیانگر فعال بودن منطقه از نظر لرزه ای است، تراکم این خرد لرزه ها در جنوب غربی منطقه بیشتر است. بر طبق رابطه گوتنبرگ-ریشتر، ضرایب لرزه خیزی برای محدوده شهر مجلسی برابر با $b = 0.7$ و $a = 4.73$ ، همچنین نرخ لرزه خیزی برابر $1/28$ برای زمین لرزه های بزرگتر از ۴ است. نقشه پهنه بندی شتاب سنگ بستر بیانگر ۴ پهنه با شتاب های متفاوت است، که نرخ تغییرات شتاب زمین در محدوده شهری بین $0.182g$ تا $0.193g$ است. پرخاطرترین بخش محدوده شهری در شمال، و کم خاطرترین بخش در قسمت جنوب

غربی محدوده شهری است. بر اساس داده های گمانه، شهر مجلسی بر روی شن و ماسه متراکم در بعضی بخش ها شن و ماسه با تراکم کم قرار دارد که با تاثیر ضریب بزرگنمایی میزان شتاب بر روی سطح زمین $0.213g$ تا $0.226g$ برآورد می شود. در کنار این داده ها نمودار های طیف خطر یکنواخت تهیه شده اند که نقش مهمی در مطالعات آینده و کاهش خطرات احتمالی خواهند داشت.

کلید واژه ها : شهر مجلسی، تحلیل خطر زلزله، گسل، شتاب

Investigating the Seismic Risk in New Majlesi City

Ghazaleh Razaghian*

Assistant Professor, Department of Geology, Damavand Branch, Islamic Azad University,
Damavand, Iran

Earthquake and Natural Disaster Research Center, Damavand Branch, Islamic Azad University,
Damavand, Iran

Address: Tehran, Damavand, Moalem Square, Islamic Azad University Complex, Postal Code:
39718-78911

Tel: 09128186817 Email: ghrazaghian@damavandiau.ac.ir

Ali beitollahi

Assistant Professor, Department of Seismology Engineering and Risk, Road, Housing and Urban
Development Research Center, Tehran, Iran

Negar Soodmand

PhD student, Department of Geophysics, Faculty of Basic Sciences, Islamic Azad University,
North Tehran Branch, Tehran, Iran

Fateme Dehghan Farouji

Instructor, Department of Seismology Engineering and Risk, Road, Housing and Urban
Development Research Center, Tehran, Iran

Abstract

The formation and construction of a new city is aimed at reducing vulnerability and improving the standard of living. The formation of the new Majlesi city and its development also makes the evaluation of seismic risk parameters in this area significant. Seismicity studies and earthquake risk analysis will play an important role in the design of engineering structures and thus reduce risks and

damages in urban areas. This city is located on Quaternary sediments, and the North Rukh and Mubarakheh faults pass near Majlisi city. The occurrence of large earthquakes and a large number of instrumental earthquakes indicate that the region is seismically active, the density of these small earthquakes is higher in the southwest of the region. According to the Gutenberg-Richter relationship, the seismicity coefficients for the area of Majlesi city are equal to $b=0.7$ and $a=4.73$, and the seismicity rate is equal to 1.28 for earthquakes greater than 4. The bedrock acceleration zoning map shows 4 zones with different accelerations, the rate of change of ground acceleration in urban areas is between 0.182 g and 0.193 g. The most dangerous part of the urban area is in the north, and the least dangerous part is in the southwestern part of the urban area. Based on borehole data, Majlesi city is located on dense sand and sand with low density in some parts, With the effect of the magnification factor, the acceleration on the ground surface is estimated to be 0.213 g to 0.226 g. Along with these data, uniform risk spectrum diagrams have been prepared, which will play an important role in future studies and reducing possible risks.

Keywords: Majlesi city, earthquake risk analysis, fault, acceleration

۱. مقدمه

اغلب شهرهای ایران لرزه خیزی بالایی دارند و به دلیل در معرض قرارگیری و آسیب پذیری المان های شهری از ریسک لرزه ای بالایی برخوردار هستند. وقوع زمین لرزه در هر منطقه با ایجاد تغییر شکل ها و پدیده های اولیه و ثانویه همراه است، که به صورت مستقیم و غیر مستقیم بر زندگی انسان ها تاثیر می گذارند. برای محاسبه خطر پذیری لرزه ای برای یک جامعه شهری باید سه پارامتر مهم یعنی خطر لرزه ای، آسیب پذیری و المان های تحت خطر مورد توجه قرار گیرند. در محاسبه و تحلیل خطر لرزه ای نیز می بایست بزرگای زمین لرزه، شتاب زمین لرزه و شرایط زمین شناسی منطقه را مورد بررسی قرارداد. آسیب پذیری بافت شهری یکی از مهمترین مسائل در زمان وقوع زمین لرزه است، آسیب پذیری به معنی وسعت و میزان خسارات احتمالی بر اثر وقوع مخاطرات طبیعی مانند زمین لرزه، بر جوامع و سازه های مهندسی است. آسیب پذیری دارای ابعاد جسمی، زیربنایی، اجتماعی، اقتصادی است و ترکیب آنها آسیب پذیری سیستمی را بیان می کند، (منونی و همکاران ۲۰۱۱). آسیب پذیری به پارامتر های مختلفی مانند شرایط طبیعی منطقه، نحوه ساخت و ساز، شرایط اجتماعی و اقتصادی و ظرفیت پاسخگویی به شرایط اضطراری و مدیریت بحران بستگی دارد. بررسی این پارامتر ها و مطالعه اثرات آن ها در منطقه با استفاده از روش های مناسب ضروری است، (امینی حسینی، و همکاران ۲۰۰۹). شبکه معابر، بزرگراه ها، پل ها به عنوان یکی از مهمترین و تاثیر گذارترین المان های شهری هستند که آسیب و تخریب آن ها می تواند ارتباط مناطق و دسترسی و امداد رسانی را مختل نماید، (بیسل ۲۰۱۳).

در این مطالعه یکی از مهمترین پارامتر های محیطی که تاثیر مستقیم بر خطر لرزه ای و آسیب پذیری دارد یعنی شتاب زمین در محدوده شهر جدید مجلسی در استان اصفهان مورد مطالعه قرار گرفته است. نوع و رفتار خاک در زمان وقوع زمین لرزه بسیار مهم است، مطالعه گمانه ها و تعیین دقیق نوع خاک نقش مهمی در تعیین شتاب سطح زمین دارد. بر اساس نوع و رفتار خاک می توان به میزان تاثیر آن ها در تشدید امواج لرزه ای پی برد. لذا مطالعات گمانه ها در این محدوده کمک می دهد که علاوه بر تهیه نقشه های شتاب برای سنگ بستر، نقشه های پهنه بندی

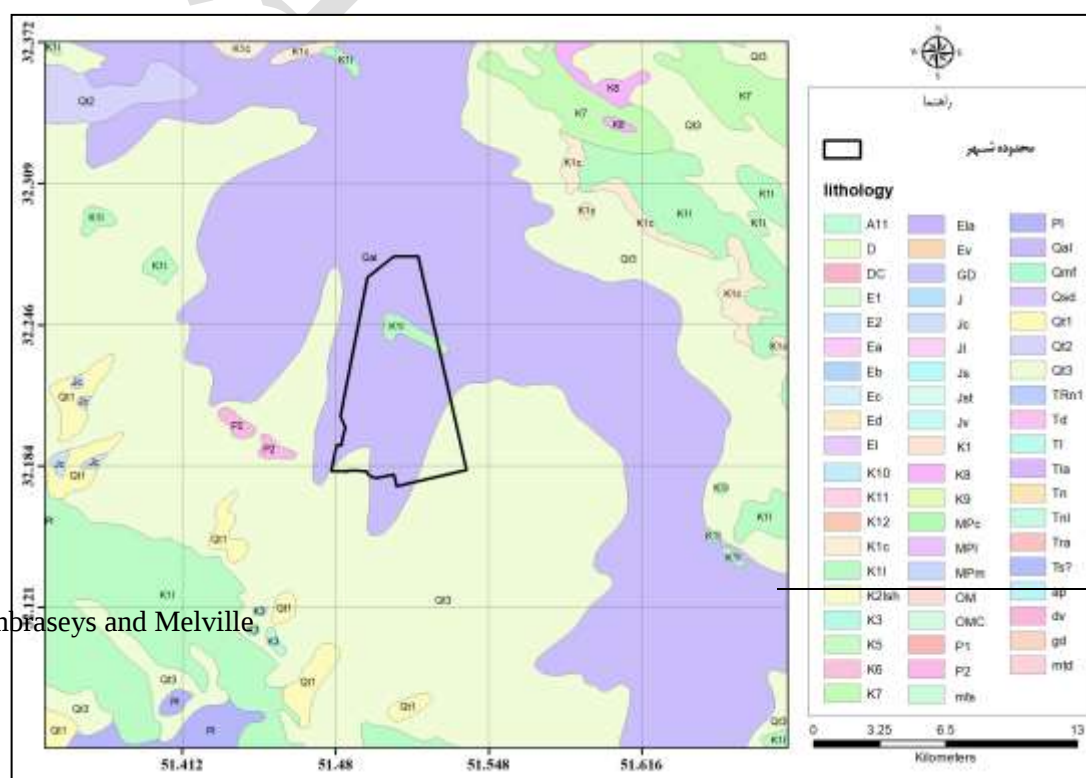
¹ Menoni

² Bissell

شتاب برای سطح زمین نیز تهیه شود. شهر جدید مجلسی، شهری تازه تاسیس است لذا دارای این پتانسیل است که هریک از امان های شهری با توجه به شرایط زمین شناسی و لرزه ای منطقه به گونه ای طراحی شود که در زمان وقوع یک زمین لرزه، کمترین آسیب ها را تحمل نمایند. لذا در این پژوهش در راستای کاهش خطرات لرزه ای برای شهر جدید مجلسی به مطالعات تحلیل خطر لرزه ای و رسم منحنی های طیف خطر یکنواخت برای این شهر پرداخته شده است.

۲. پیشینه تحقیق

شهر جدید مجلسی در استان اصفهان و در فلات مرکزی ایران واقع شده است. از نظر زمین شناسی (شکل ۱)، شهر جدید مجلسی بر روی رسوبات کواترنری که حاصل فرسایش کوه های آهکی در منطقه می باشد، ساخته شده است. زمین در این منطقه دارای توپوگرافی مسطح و شیب بسیار ملایمی می باشد. مطالعات زمین شناسی و ساختاری منطقه توسط سازمان زمین شناسی کشور در طی سال های گذشته انجام شده است و نتایج آن ها به صورت نقشه های زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰ ارائه شده است. مطالعه گسل های اصلی و لرزه زای منطقه توسط شیخ الاسلامی و همکاران (۱۳۹۲)، حسامی، و همکاران (۱۳۸۲) و مطالعه زمین لرزه های تاریخی توسط آمبرسیز و ملویل^۱ (۱۹۸۲) انجام شده است. وضعیت ساختاری، تکتونیکی و شناسایی گسل های فعال در محدوده شهر اصفهان توسط دهقان منشادی و همکاران (۱۳۹۱) و صفایی و تاجمیریاحی (۱۳۹۰) انجام شده است. مطالعات لرزه خیزی و تحلیل خطر زمین لرزه برای اصفهان و مناطق مجاورش توسط مهاجر اشجعی، (۱۳۶۰)؛ علیزاده و خلیج (۱۳۹۹) انجام شده است. قائدرحمتی و حیدری نژاد، (۱۳۹۷) به مطالعه در مورد نحوه گسترش شهر اصفهان و محمدی و چنگلویایی (۱۳۹۱)، به بررسی چالش های توسعه شهر جدید مجلسی پرداخته اند. براساس مطالعات کریمی قطب آبادی و زنگی آبادی (۱۴۰۱)، شهر های جدید شاهین شهر، شهیدکشوری، بهارستان، فولادشهر، سپاهان شهر و مجلسی به ترتیب رتبه های ۱ تا ۶ را از نظرتاب آوری اجتماعی در برابر خطرزلزله دارا هستند.



¹ Ambraseys and Melville

شکل ۱. نقشه زمین شناسی محدوده شهر جدید مجلسی

۳. روش شناسی تحقیق

تحلیل خطر لرزه‌ای، یکی از روش های مهم در راستای محاسبه و برآورد پارامتر های جنبش زمین برای زمین لرزه های احتمالی آینده در منطقه است، و به ازای هر سطح عملکرد مورد انتظار از سازه، پارامتر های زمین لرزه احتمالی با در نظر گرفتن دوره بازگشت مربوطه به آن سطح عملکرد برآورد می شوند. تحلیل خطر، برآورد مقادیر جنبش نیرومند زمین و پارامتر های وابسته به آن بدون در نظر گرفتن پیامد های آن در منطقه است، (اندرسون و تریفوناک^۱ ۱۹۷۸). نتایج تحلیل خطر به صورت نقشه های پهنه بندی خطر که بیان کننده پارامتر های لرزه ای هستند ارائه می شوند، (وسترمو^۲ ۱۹۸۰). در مطالعات تحلیل خطر لرزه ای دو روش کلی در دنیا مورد توجه است، تحلیل خطر لرزه ای به روش احتمالاتی^۳ و تحلیل خطر لرزه ای به روش تعیینی^۴، در روش احتمالاتی که مورد بحث این پژوهش است، با توجه به احتمال وقوع سالیانه یک زمین لرزه محتمل، احتمال وقوع همان زمین لرزه در t سال را می توان بدست آورد، (کرنل^۵ ۱۹۶۸). طراحی سازه های مقاوم در برابر زمین لرزه یکی از مهمترین اهداف مهندسين سازه است، این در حالی است که عدم قطعیت های گسترده ای در مورد بزرگا، موقعیت کانون و اثر شدت لرزش زمین لرزه می تواند وجود داشته باشد. در تحلیل خطر احتمالاتی به این عدم قطعیت ها توجه شده است، برای ارزیابی خطرپذیری یک سازه در برابر زمین لرزه ابتدا باید نرخ شتاب زمین در محدوده مورد مطالعه برای سنگ بستر و سطح زمین با توجه به نوع خاک برای یک دوره ۴۷۵ ساله تعیین و متناسب با این نرخ طراحی سازه های مهندسی انجام شود. رسم نمودار های طیف خطر یکنواخت برای محدوده مورد مطالعه یکی دیگر از داده های با ارزش در مطالعات مهندسی و طراحی سازه است. مطالعه تحلیل خطر احتمالاتی زمین لرزه برای شهر مجلسی را می توان در هشت مرحله اصلی (شکل ۲) خلاصه نمود.

۱- تعیین چشمه های لرزه ای

- تعیین گسل های منطقه بر اساس نقشه ای زمین شناسی و نقشه گسل ها
- تعیین مکان کانونی زمین لرزه های تاریخی
- تعیین مکان کانونی زمین لرزه های دستگاهی

۲- تعیین لرزه خیزی منطقه

- بررسی زمین لرزه ها بر اساس بزرگا
- بررسی زمین لرزه ها بر اساس عمق کانونی
- تعیین ضرایب لرزه خیزی a, b در رابطه گوتنبرگ ریشتر

۳- تعیین ایالت های لرزه زمین ساختی

- مقایسه ضرایب بدست آمده با نقشه ایالت های لرزه زمین ساختی

۴- انتخاب روابط کاهندگی مناسب

- تهیه نقشه های پهنه بندی خطر برای سنگ بستر برای دوره بازگشت ۴۷۵ ساله در منطقه

۶- بررسی داده های گمانه و تعیین جنس زمین

- تهیه نقشه های پهنه بندی خطر برای سطح زمین برای دوره بازگشت ۴۷۵ ساله در منطقه

۸- رسم نمودار های طیف خطر یکنواخت

¹ Ande

² West

³ PSH/

⁴ DSH/

⁵ Corn

شکل ۲. مراحل مطالعات تحلیل خطر لرزه ای در شهر جدید مجلسی

۳.۱. تعیین چشمه های لرزه ای

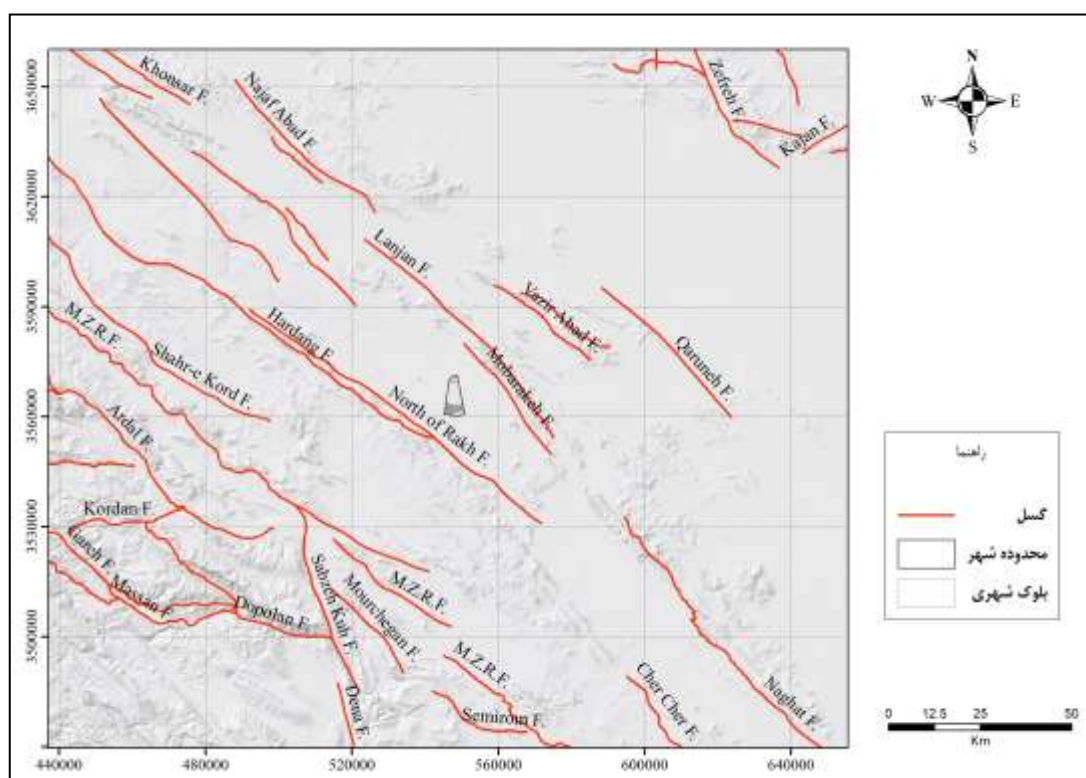
در اولین گام از مطالعات تحلیل خطر زمین لرزه، شناسایی و تعیین چشمه های لرزه ای قرار دارد. برای شناسایی این چشمه های لرزه ای، گسل ها و موقعیت کانونی زمین لرزه ها از مهمترین سرچشمه های لرزه ای در هر منطقه هستند، این داده ها در شعاع ۱۰۰ کیلومتری از مرکز شهر مجلسی جمع آوری و تحلیل شده اند. گسل ها یکی از ساختارهای تکتونیکی اصلی در پوسته زمین بوده و مهمترین چشمه های لرزه ای در هر ناحیه گسل های فعال آن می باشند، که موقعیت و وضعیت آن ها نقش بسیار مهمی در محاسبات خطر زمین لرزه دارد. گسل های فعال از منابع مختلف شامل نقشه ۱:۱۰۰۰،۰۰۰ گسل های ایران (شیخ الاسلامی و همکاران ۱۳۹۲)، نقشه ۱:۱۰۰۰،۰۰۰ گسل های فعال ایران (حسامی و همکاران ۱۳۸۲)، نقشه های زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰۰ (سازمان زمین شناسی کشور) استخراج شده اند، (شکل ۳). گسل هایی که از محدوده شهری یا نزدیکی آن عبور می کنند از اهمیت زیادی برخوردار هستند. بر اساس داده های موجود، گسل های شمال رخ و مبارکه از نزدیکی شهر مجلسی عبور می کنند، (شکل ۴). شناسایی و تدقیق محل این گسل ها در تحلیل خطر لرزه ای اهمیت بسیاری داشته و با تهیه نقشه حریم این گسل ها میتوان تمهیدات مهندسی ویژه ای برای توسعه این شهر ارائه نمود.

گسل مبارکه، با راستای شمال غرب - جنوب شرق بوده و طول حدود ۴۰ کیلومتر نزدیک ترین گسل به محدوده مورد مطالعه در شمال شرق شهر مجلسی می باشد. شیب گسل به سمت شمال شرق و مکانیسم آن معکوس است و در مرز بین سنگ آهک های کرتاسه و نهشته های کواترنری قرار گرفته است.

گسل شمال رخ در جنوب غرب محدوده مورد مطالعه نزدیک ترین گسل در این بخش به شهر مجلسی است. این گسل دارای راستای شمال غرب - جنوب شرق و شیب به سوی جنوب غرب می باشد. طول گسل شمال رخ حدود ۱۰۰ کیلومتر و مکانیسم آن از نوع رانندگی است. در راستای گسل شمال رخ، سنگ آهک های کرتاسه بر روی دشت زرین شهر رانده شده است. با توجه به اینکه خطواره گسل شمال رخ در برداشت های مغناطیس هوایی نیز شناسایی شده، به احتمال زیاد این گسل از نوع گسل های ژرف و پی سنگی می باشد.

زمین لرزه های تاریخی به عنوان پارامتر مهم دیگری است که در تعیین سرچشمه های لرزه ای نقش مهمی دارد. بر اساس مطالعات آمبرسیز و ملویل (۱۹۸۲)، پنج رخداد لرزه ای بزرگ با بزرگای بین ۵/۵ تا ۶/۵ در محدوده مطالعاتی وجود دارد، (شکل ۵، جدول ۱). تعداد ۴۳۷ زمین لرزه های دستگاهی شامل تمامی زمین لرزه های گزارش

شده توسط مراجع معتبر داخلی و خارجی از سال ۱۹۰۰ تا ۲۰۲۰ در محدوده مورد مطالعه گزارش شده است (شکل ۶، جدول ۲). مطالعه خرد لرزه ها نقش مهمی در بررسی فعالیت گسل های منطقه دارد. تعداد زیادی خرد لرزه در روی نقشه دیده می شود که تقریباً در همه قسمت های منطقه و در فاصله ۱۰۰ کیلومتری توزیع شده اند (شکل ۶)، این خرد لرزه ها در محدوده شهری مشاهده نمی شوند. تراکم زمین لرزه های متوسط در جنوب غربی منطقه بیشتر است. زلزله های بزرگ منطقه در اطراف گسل های بخش جنوب غربی مکان یابی شده اند، (شکل ۶).



شکل ۳. نقشه گسل های شعاع ۱۰۰ کیلومتری شهر مجلسی



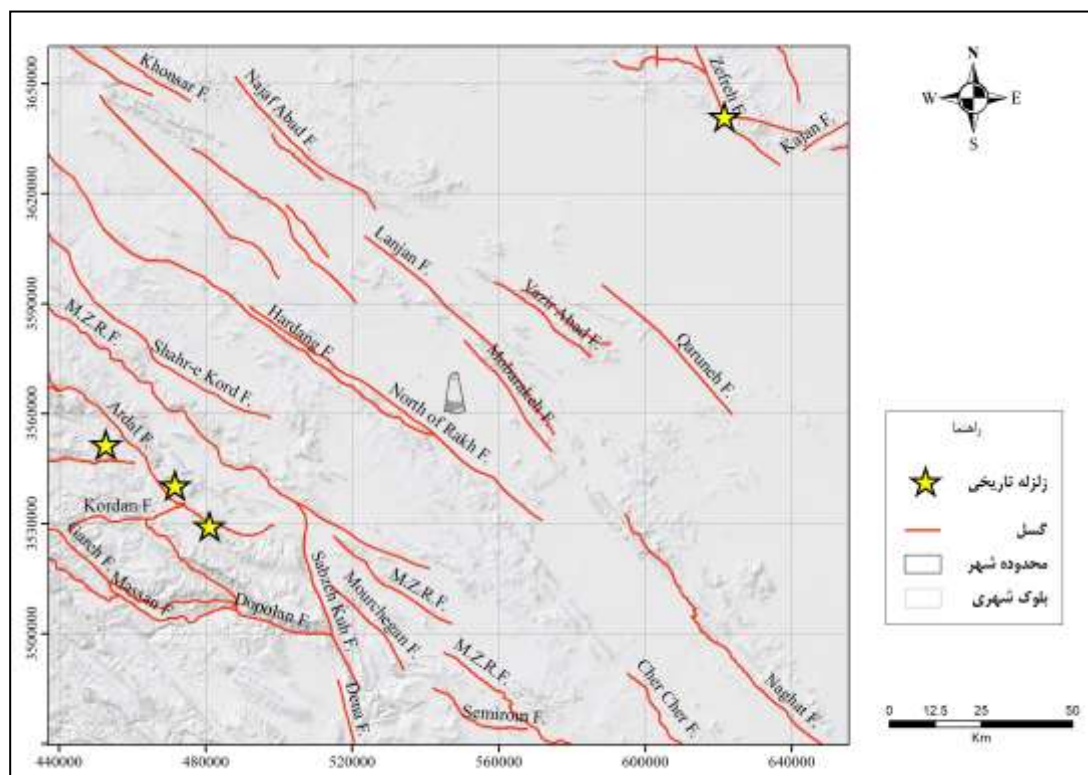
شکل ۴. نمایش گسل های پیرامون شهر مجلسی بر روی تصویر ماهواره ای گوگل ارث

جدول ۱. زمین لرزه های تاریخی در شعاع ۱۰۰ کیلومتر از مرکز شهر

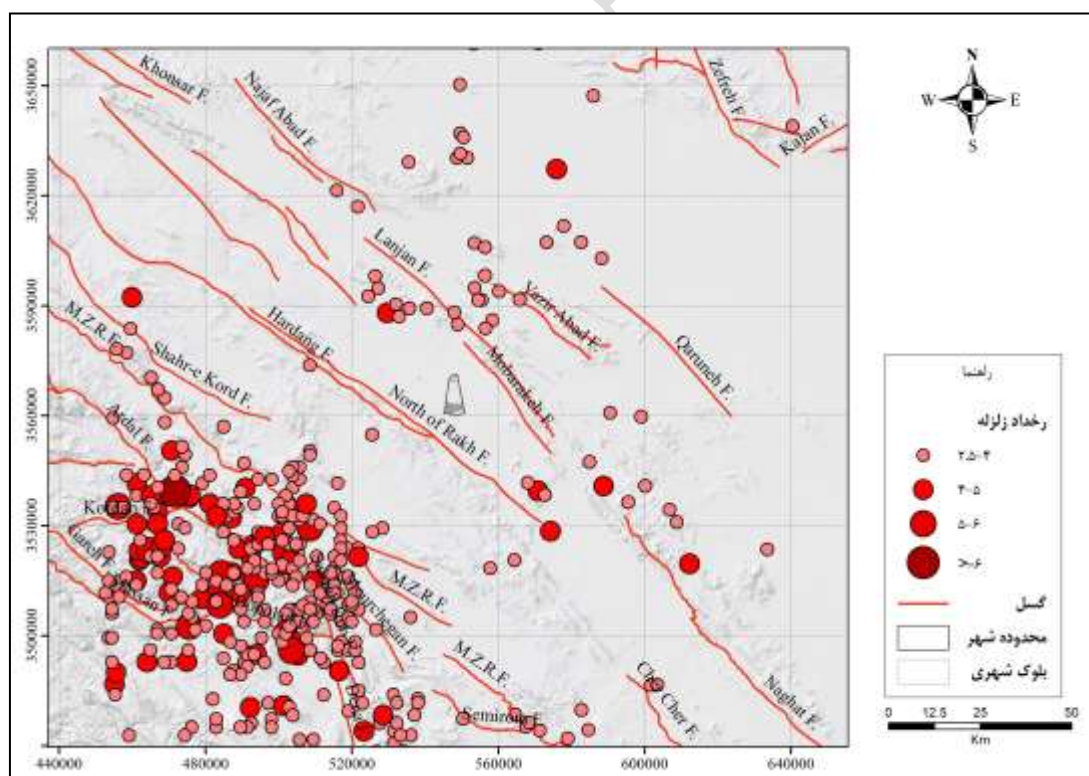
بزرگا	سال	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
۵/۵	۱۸۵۳	۳۱/۳۰	۵۱/۹۰
۵/۷	۱۳۴۴	۳۲/۹۰	۵۲/۳۰
۶/۳	۱۸۷۴	۳۱/۹۰	۵۰/۸۰
۶/۵	۱۶۶۶	۳۲/۱۰	۵۰/۵۰
۶/۵	۱۸۸۰	۳۲/۰۰	۵۰/۷۰

جدول ۲. زمین لرزه های دستگاهی در شعاع ۱۰۰ کیلومتر از مرکز شهر

بزرگای زمین لرزه ها	تعداد کل ۴۳۷
۴ => زمین لرزه های ۵ >	۶۷
۵ => زمین لرزه های ۶ >	۱۰
۶ => زمین لرزه های	۲



شکل ۵. نقشه زمین‌لرزه‌های تاریخی در محدوده مورد مطالعه



شکل ۶. نقشه رومرکز زمین لرزه‌های دستگاهی در محدوده مورد مطالعه

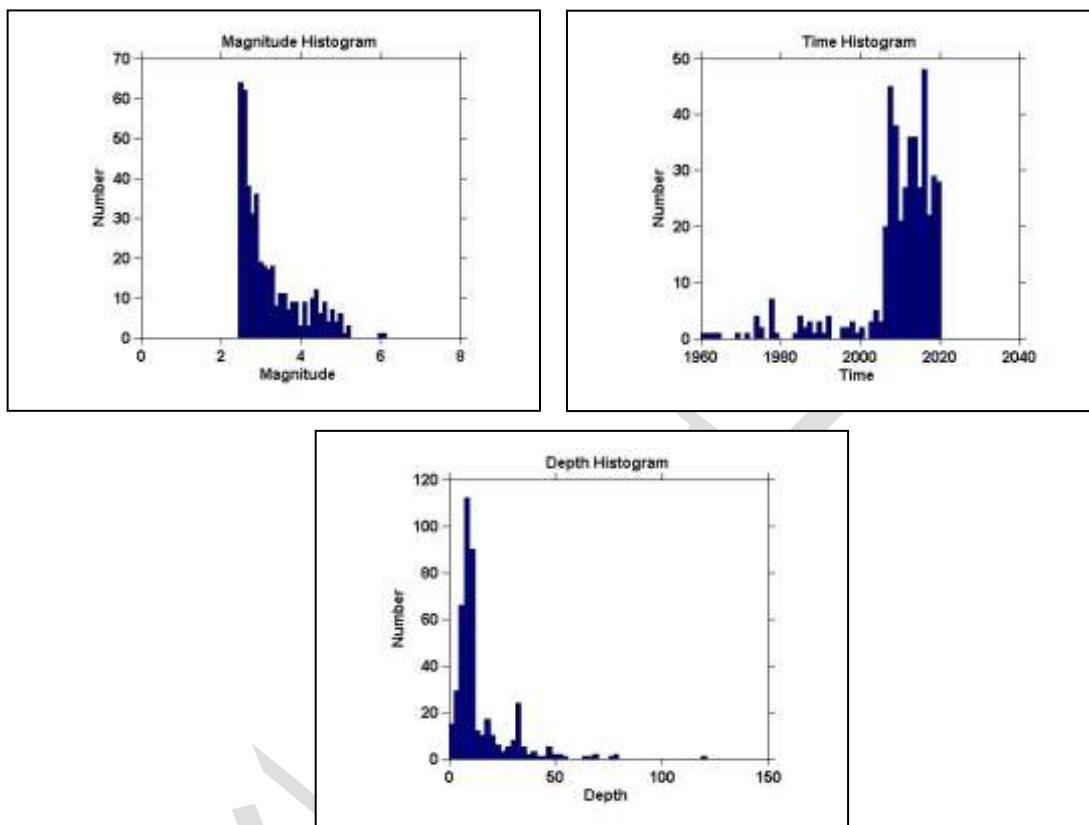
۳,۲. تعیین لرزه خیزی منطقه

لرزه خیزی بیانگر فعالیت های لرزه ای در مکان و زمان است، در راستای تعیین وضعیت لرزه خیزی یک منطقه اولین گام حذف پس لرزه ها و جدا کردن زمین لرزه های اصلی است، در این مطالعه از روش گاردنر و نوپوف^۱ (۱۹۷۴)، که بر اساس الگوریتم پنجره‌های زمانی- مکانی می باشد، استفاده شد و از بین ۴۳۷ زمین لرزه رخ داده در منطقه، تنها ۲۱۷ زمین لرزه اصلی مورد تحلیل قرار گرفته اند. بررسی زمین لرزه ها بر اساس بزرگا، عمق کانونی و زمان وقوع و همچنین تعیین ضرایب لرزه خیزی a و b از رابطه گوتنبرگ و ریشتر^۲ (۱۹۵۴)، در این بخش از مطالعات جای دارد. رخداد زمین لرزه ها در طول بازه زمانی از پارامترهای موثر در بررسی های لرزه خیزی است. این مساله میتواند در برآوردهای مربوط به دوره بازگشت زمین لرزه ها نیز مفید باشد. در شکل ۷ الف، نمودار ستونی تعداد رخداد زمین لرزه ها در طول زمان آورده شده است. با توجه به افزایش تعداد لرزه نگارها در سالهای اخیر، ثبت زمین لرزه ها نسبت به زمان افزایش پیدا کرده است. در شکل ۷ ب، توزیع زمین لرزه ها نسبت به بزرگا را نشان می دهد. در این نمودار تعداد زمین لرزه های کوچک فراوانی زیادی داشته و توزیع آن ها به سمت زلزله های بزرگتر کاهش پیدا می کند. در شکل ۷ ج، نمودار ستونی تغییرات عمق زلزله نشان داده شده است و بیانگر بیشترین رخدادها در عمق ۱۰ کیلومتری زمین است.

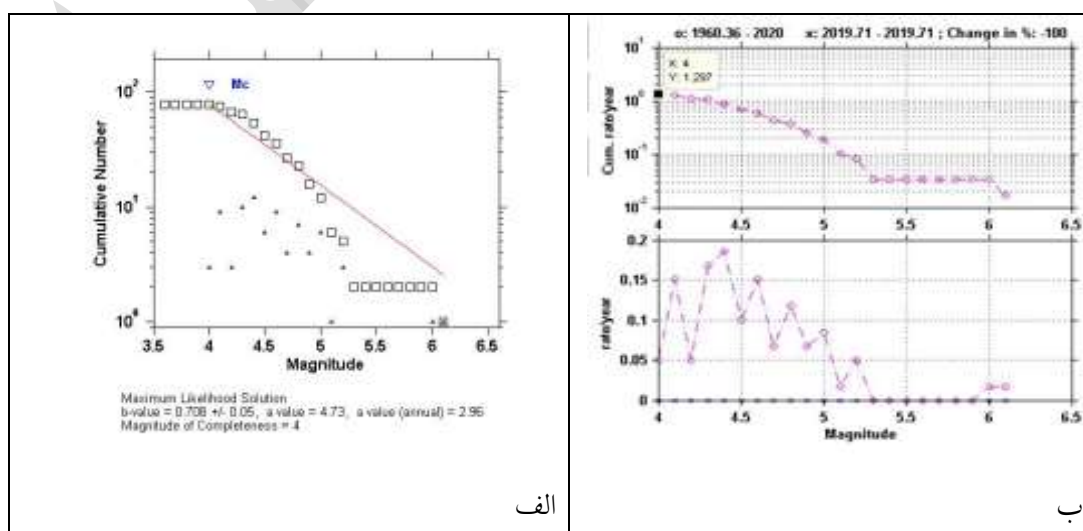
تعیین ضرایب لرزه خیزی a -value و b -value برای برآوردهای خطر زمین لرزه با اهمیت هستند. به طوری که برای تعیین لرزه خیزی هر منطقه به سه پارامتر بیشینه زمین لرزه محتمل، ضرایب لرزه خیزی و نرخ رویداد زمین لرزه ها نیاز است. ضریب لرزه خیزی b -value عددی است ثابت و بر اساس توان لرزه زایی هر منطقه متفاوت است و ضریب a -value که یکی از ضرایب مهم لرزه خیزی است بیانگر میزان کل نرخ لرزه خیزی در منطقه است (گوتنبرگ و ریشتر ۱۹۵۴). بر طبق رابطه گوتنبرگ-ریشتر (۱۹۵۴) که نمودار آن در (شکل ۸) دیده می شود، برای محدوده شهر مجلسی مقدار b -value = ۰/۷ و مقدار a -value = ۴/۷۳ برآورد شده است. نرخ لرزه خیزی در محدوده مورد مطالعه برای زلزله هایی با بزرگای ۴ و بزرگ تر، $\text{Rate} = ۱/۲۸$ است.

^۱ Gardner and Knopoff

^۲ Gutenberg and Richter



شکل ۷. نمودار تعداد رخداد زمین‌لرزه‌های گستره نسبت به الف (زمان، ب) بزرگا، ج) عمق



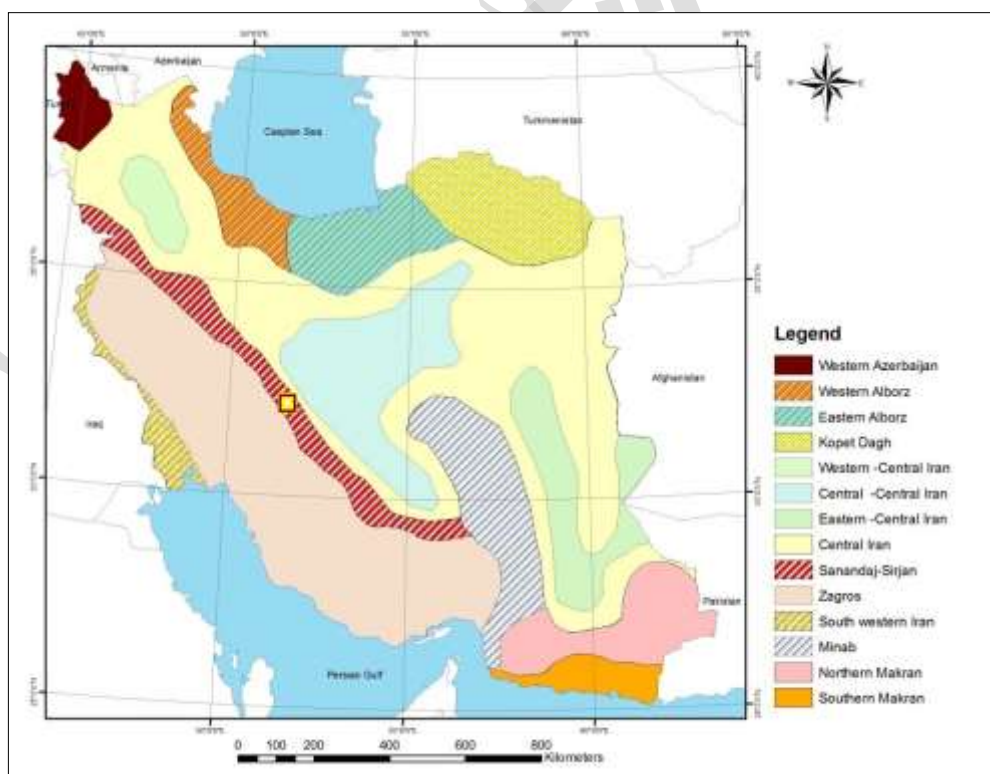
الف

ب

شکل ۸. الف-ضرایب لرزه خیزی b, a ب- نرخ لرزه خیزی برای زلزله های ۴ و بزرگتر در شعاع ۱۰۰ کیلومتری

۳,۳. تعیین ایالت های لرزه زمین ساختی

ایالت لرزه زمینساختی، پهنه ای با جایگاه تکتونیکی و الگوی لرزه خیزی یکسان است، (یه^۱ و همکاران ۱۹۹۵). در گستره ایران محققین زیادی در این زمینه فعالیت داشته و پهنه بندی های مختلفی برای گستره ایران ارائه داده اند، هر یک از این پهنه بندی ها از دیدگاهی خاص به پهنه بندی ایالت های لرزه زمین ساختی پرداخته است، (نوروزی ۱۹۷۶؛ بربریان ۱۹۷۶؛ نوگل سادات ۱۹۹۳؛ میرزایی و همکاران ۱۹۹۸؛ توکلی و غفوری آشتیانی ۱۹۹۹؛ زارع و معماریان ۲۰۰۰؛ زمانی و همکاران ۲۰۰۹؛ رزاقیان و همکاران ۲۰۱۸). بر اساس مطالعات رزاقیان و همکاران (۲۰۱۸)، منطقه مورد مطالعه در پهنه و ایالت لرزه زمین ساختی سندج - سیرجان قرار دارد، این پهنه از نظر ویژگی های لرزه زمین ساختی دارای تغییرات ضریب b - value برابر ۰/۷۴ تا ۱/۳، تغییرات ضریب a - value برابر ۴/۸ تا ۶/۷ است.



¹ Ye, Chen and Zhou

شکل ۹. نقشه ایالت های لرزه زمین ساختی (رزاقیان و همکاران ۲۰۱۸)

۳،۴. انتخاب رابطه کاهندگی

کاهندگی به معنای کاهش پارامترهای جنبش نیرومند زمین با دور شدن از کانون زمین لرزه است. ویژگی ها و شرایط زمین شناسی، زمین ساختی یک منطقه بر چگونگی تغییرات جنبش نیرومند زمین تاثیر بسیار زیادی دارد، محققین مختلف با در نظر گرفتن پارامتر های مختلف و ویژگی های مناطق مختلف روابط کاهندگی متفاوتی را ارائه داده اند، (زارع و همکاران ۱۹۹۹؛ آمبرسیز و بومر^۱ ۱۹۹۱؛ کمپل ۲۰۰۶؛ داگلاس^۲ ۲۰۱۱). این روابط به طور کلی برای برآورد پارامتر حداکثر شتاب زمین مورد استفاده قرار میگیرد، انتخاب یک رابطه کاهندگی مناسب، که به شرایط زمین شناسی و زمین ساختی منطقه نزدیک باشد، نقش مهمی در نتیجه تحلیل خطر لرزه ای خواهد داشت. لذا یکی از مهمترین پارامتر ها در انتخاب یک رابطه کاهندگی مناسب توجه به شرایط و ویژگی های زمین شناسی، زمین ساختی و لرزه ای منطقه است، در واقع در مناطق با ویژگی های یکسان می توان از روابط کاهندگی مشابه استفاده نمود.

۳،۵- تهیه نقشه های پهنه بندی خطر زمین لرزه

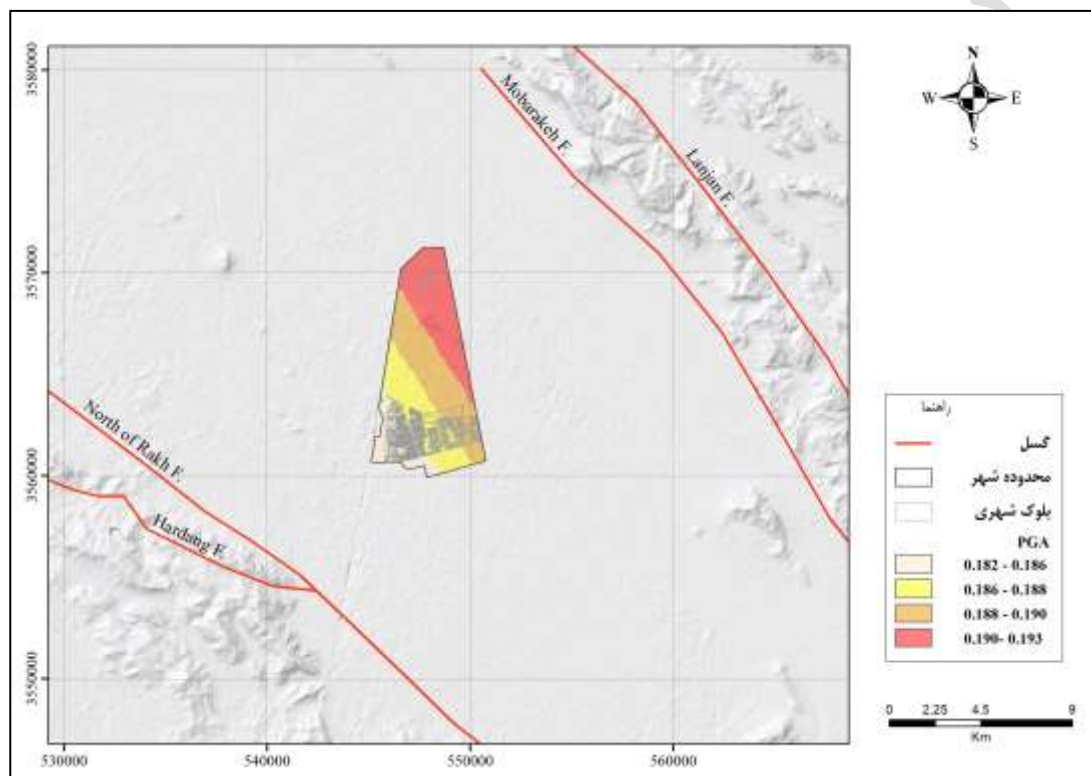
تحلیل خطر لرزه ای ابزاری بسیار ضروری برای محاسبه و برآورد پارامترهای جنبش نیرومند زمین برای زمین لرزه محتمل در آینده در منطقه است. نتایج تحلیل خطر به صورت نقشه های پهنه بندی خطر که هر کدام از این نقشه ها، در اصل بیان کننده توزیع مقادیر بیشینه شتاب در پریودهای مختلف هستند؛ ارائه می گردند. انجام برآورد خطر زمین لرزه در منطقه مورد مطالعه به روش احتمالی و با روش کمپل- بزرگ نیا انجام شده است که برای دوره بازگشت ۴۷۵ ساله محاسبه شده است. در شکل ۱۰، نقشه پهنه بندی شتاب سنگ بستر شهر مجلسی نشان داده شده است. در محدوده مورد مطالعه چهار پهنه با شتاب های مختلف مشاهده می شود. پرخطرترین بخش محدوده شهری که به رنگ قرمز است در شمال قرار دارد، میزان شتاب بر روی سنگ بستر در این منطقه برابر 0.190 g تا 0.193 g برآورد می شود. کم خطرترین بخش در قسمت جنوب غربی محدوده شهری با رنگ کرم قابل مشاهده است، که دارای شتابی برابر 0.182 g تا 0.186 g است. قسمت های مرکزی محدوده شهری دارای خطر متوسط (0.186 g) تا 0.188 g و بالا (0.188 g تا 0.190 g) است و به رنگ های زرد پررنگ و نارنجی قابل مشاهده است.

داده های حاصل از گمانه های موجود بیانگر ویژگی های ژئوتکنیکی نوع خاک ساختگاه است. رفتار خاک ها و رسوبات منطقه را در برابر امواج عبوری زمین لرزه متفاوت است. بررسی شرایط ژئوتکنیکی ساختگاه در طراحی سازه های مقاوم می تواند بسیار مهم باشد. معمولاً لایه های آبرفتی امواج زلزله را تقویت می کنند و حداکثر شتاب بر روی سطح زمین بیش از روی سنگ بستر می باشد. بر اساس داده های گمانه، شهر مجلسی بر روی شن و ماسه متراکم در بعضی بخش ها شن و ماسه با تراکم کم قرار گرفته است. با توجه به نوع خاک محدوده مورد مطالعه ضریب بزرگنمایی ۱/۱۷ می باشد. که با تاثیر این ضریب بر روی شتاب سنگ بستر میزان شتاب بر روی سطح زمین

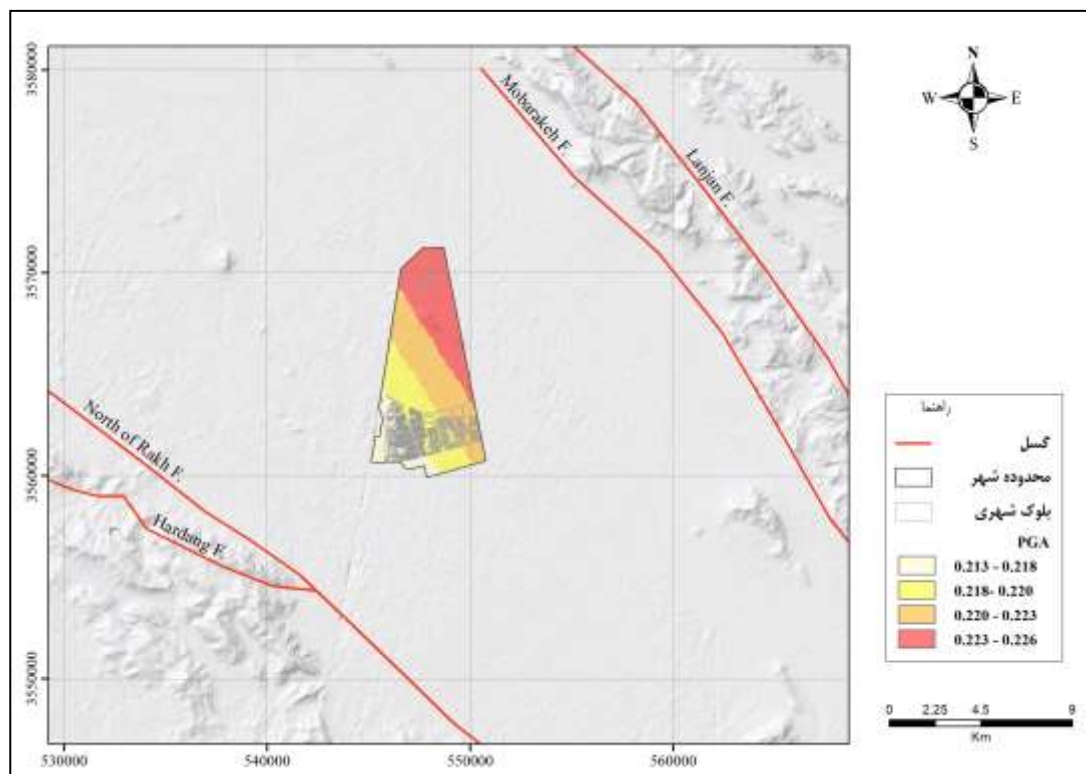
¹ Ambraseys and Bommer

² Douglas

بین مقادیر عدد $g/0.213$ (کمترین شتاب) تا $g/0.226$ (بیشترین شتاب) تغییر می کند. این عدد در عملیات های مهندسی از اهمیت ویژه ای برخوردار است، (شکل ۱۱).



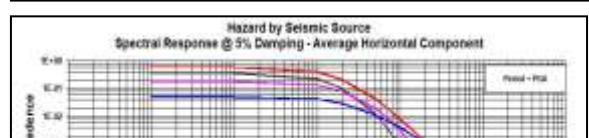
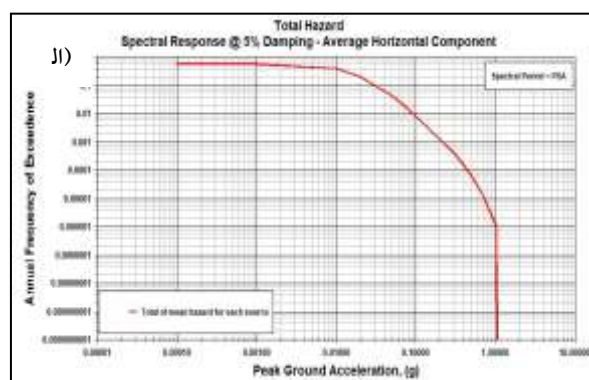
شکل ۱۰. نقشه پهنه بندی شتاب بر روی سنگ بستر



شکل ۱۱. نقشه پهنه‌بندی شتاب بر اثر بزرگنمایی خاک

۳.۶. نمودارهای طیف خطر یکنواخت

با دانستن مقدار شتاب بیشینه هر زلزله، با مقیاس کردن طیف تهیه شده می‌توان بطور تقریبی و سریع، طیف خطر یکنواخت زلزله را ارائه داد. اهمیت تهیه طیف‌های خطر در طراحی‌های لرزه‌ای سازه‌ها، به عنوان مبنایی‌ترین کار در برآورد طیف پاسخ، آشکار است. این طیف، رفتار ساختمان‌ها بر حسب ارتفاع آن‌ها را کنترل خواهد نمود. در شکل ۱۲ الف، وضعیت منحنی‌های طیفی در وسط شهر نشان داده شده است که بر این اساس شتاب مبنای طرح $0.19g$ است. این عامل از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که می‌تواند برای اولویت‌بندی مکانی جهت ساخت و ساز و سامانه پاسخ سریع زلزله مورد استفاده قرار گیرد. در شکل ۱۲ ج، برای سه دوره بازگشت ۴۷۵، ۹۷۵ و ۲۴۷۵ سال به ازای پریودهای صفر تا ۴ ثانیه شتاب بدست آمده است.



شکل ۱۲. منحنی‌های طیف خطر یکنواخت برای شهر مجلسی

۴. یافته‌های تحقیق

اغلب شهرهای ایران دارای ریسک لرزه‌ای بالایی هستند، و بررسی و مطالعه سه پارامتر مهم یعنی خطر لرزه‌ای، آسیب پذیری و المان‌های تحت خطر برای برآورد خطر پذیری لرزه‌ای برای یک جامعه شهری لازم و ضروری است. تعیین بزرگای زمین لرزه، شتاب زمین لرزه و شرایط زمین شناسی منطقه از مهمترین پارامترها در محاسبه و تحلیل خطر لرزه‌ای است. لذا در این پژوهش، مطالعه و تحلیل خطر احتمالاتی زمین لرزه برای شهر جدید مجلسی مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به شکل گیری جدید این شهر، توجه به پارامترهای خطر پذیری لرزه‌ای نقش مهمی در کاهش خطرات و آسیب‌ها خواهد داشت. شهر جدید مجلسی، در استان اصفهان از نظر زمین شناسی بر روی رسوبات کواترنری قرار گرفته است، مطالعه تحلیل خطر احتمالاتی زمین لرزه برای شهر مجلسی در هشت مرحله انجام شده است. گسل‌های شمال رخ و مبارکه از نزدیکی شهر مجلسی عبور می‌کنند، شناسایی و تدقیق محل این گسل‌ها در تحلیل خطر لرزه‌ای اهمیت بسیاری داشته و با تهیه نقشه حریم این گسل‌ها میتوان تمهیدات مهندسی ویژه‌ای برای توسعه این شهر ارائه نمود. رخداد پنج زمین لرزه بزرگ با بزرگای بین ۵/۵ تا ۶/۵ در

محدوده مطالعاتی و تعداد ۴۳۷ زمین لرزه‌های دستگاهی بیانگر فعال بودن منطقه از نظر لرزه ای است. این خرد لرزه ها در محدوده شهری مشاهده نمی‌شوند و تراکم آن ها در جنوب غربی منطقه بیشتر است.

برای تعیین لرزه خیزی هر منطقه به سه پارامتر بیشینه زمین لرزه محتمل، ضرایب لرزه خیزی و نرخ رویداد زمین لرزه‌ها نیاز است. بر طبق رابطه گوتنبرگ-ریشتر که نمودار آن در (شکل ۸) دیده می‌شود، برای محدوده شهر مجلسی مقدار $b = 0.7$ و مقدار $a = 4.73$ برآورد شده است. نرخ لرزه خیزی در محدوده مورد مطالعه برای زمین لرزه ها با بزرگای ۴ و بزرگ‌تر، ۱/۲۸ است. بر اساس مطالعات رزاقیان و همکاران (۲۰۱۸)، شهر مجلسی در پهنه و ایالت لرزه زمین ساختی سنندج سیرجان قرار دارد، و نرخ تغییرات ضریب b -value برابر ۰/۷۴ تا ۱/۳، و نرخ تغییرات ضریب a -value برابر ۶/۷ تا ۴/۸ است.

تحلیل خطر لرزه‌ای برای محاسبه و برآورد پارامترهای جنبش نیرومند زمین برای زمین لرزه محتمل در آینده در منطقه لازم و ضروری است. در شکل ۱۰، نقشه پهنه بندی شتاب سنگ بستر شهر مجلسی نشان داده شده است. در این شهر چهار پهنه با شتاب های مختلف مشاهده می‌شود. پرخطرترین بخش محدوده شهری که به رنگ قرمز است در شمال قرار دارد. کم خطرترین بخش در قسمت جنوب غربی محدوده شهری با رنگ کرم قابل مشاهده است. قسمت‌های مرکزی محدوده شهری دارای خطر متوسط و بالاست و به رنگ‌های زرد پررنگ و نارنجی قابل مشاهده است. معمولاً لایه های آبرفتی امواج زلزله را تقویت می کنند و حداکثر شتاب بر روی سطح زمین بیش از روی سنگ بستر می باشد. بر اساس داده های گمانه، شهر مجلسی بر روی شن و ماسه متراکم در بعضی بخش ها شن و ماسه با تراکم کم قرار دارد که با تاثیر ضریب بزرگنمایی بر روی شتاب سنگ بستر میزان شتاب بر روی سطح زمین برابر ۰/۲۱۳ تا ۰/۲۲۶ برآورد می شود. در شکل ۱۲، طیف خطر یکنواخت بر اساس مقدار شتاب بیشینه هر زلزله ارائه شده؛ این نمودار ها برای سه دوره بازگشت ۴۷۵، ۹۷۵ و ۲۴۷۵ سال به ازای پریودهای صفر تا ۴ ثانیه شتاب نیز بدست آمده اند.

۵. نتیجه گیری و پیشنهاد ها

با توجه به این که شهر مجلسی یک شهر تازه تاسیس است، توجه به پارامتر های خطر پذیری لرزه ای نقش مهمی در کاهش خطرات و آسیب ها خواهد داشت. گسل های شمال رخ و مبارکه از نزدیکی شهر مجلسی عبور می کنند، شناسایی و تدقیق محل این گسل ها در تحلیل خطر لرزه ای اهمیت بسیاری داشته و در بخش پیشنهادات می توان به بررسی حریم این گسل ها اشاره نمود که بر اساس آن می توان تمهیدات مهندسی ویژه ای برای توسعه این شهر ارائه نمود. رخداد زمین لرزه ها بیانگر فعال بودن منطقه از نظر لرزه ای است. برای محدوده شهر مجلسی مقادیر ضرایب لرزه خیزی برابر با $b = 0.7$ ، $a = 4.73$ و $Rate = 1/28$ برآورد شده است. نقشه پهنه بندی شتاب سنگ بستر شهر مجلسی نشان دهنده چهار پهنه با شتاب های مختلف است که نرخ تغییرات شتاب زمین در محدوده شهری بین $0.182 g$ تا $0.193 g$ مشاهده می‌شود. با تاثیر ضریب بزرگنمایی خاک بر روی شتاب سنگ بستر میزان شتاب بر روی سطح زمین بین $0.213 g$ تا $0.226 g$ برآورد می‌شود.

منابع

- حسامی، خ.، جمالی، ف.، طبسی، ه.، (۱۳۸۲)، نقشه گسل های فعال ایران. پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.
- دهقان منشادی، ه.، میرزائی، ن.، اسکندری قادی، م.، (۱۳۹۱)، بررسی لرزه زمین ساخت و لرزه خیزی منطقه اصفهان. فیزیک زمین و فضا 38(4), 1-22. doi: 10.22059/jesphys.2013.30202
- شیخ الاسلامی، م.ر.، جوادی، ح.ر.، اسدی سرشار، م.، آقاحسینی، ا.، کوه پیما، م.، وحدتی دانشمند، ب.، (۱۳۹۲)، کتاب دانشنامه گسله های ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی ایران، نشر رهی.
- صفایی، ه. و تاجمیرریاحی، ز. (۱۳۹۰). گسل های فعال محدوده شهر اصفهان. هجدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران. تهران: دانشگاه تربیت معلم.
- علیزاده، ح. و خلیج، م.، (۱۳۹۹). ارزیابی توسعه کالبدی شهر اصفهان بر اساس تحلیل خطر زمین لرزه. برنامه ریزی توسعه کالبدی 7(2), 97-110. doi: 10.30473/psp.2020.7009
- قائدرحمتی، ص. و حیدری نژاد، ن. (۱۳۹۷)، گسترش فیزیکی شهرها و ضرورت تعیین حرم امن شهری (نمونه: شهر اصفهان). مجله جغرافیا و مطالعات محیطی، ۱ (۱)، ۱۴-۲۴.
- کریمی قطب آبادی، ف.، زنگی آبادی، ع.، (۱۴۰۱)، سنجش تاب آوری اجتماعی سکونتگاه های شهری جدید در برابر خطر زلزله با استفاده از MARCOS Method مطالعه موردی: منطقه شهری اصفهان بزرگ، نشریه علمی جغرافیا و برنامه ریزی doi: 10.22034/gp.2022.49842.2955
- محمدی، م.، چنگلوی، ی.، (۱۳۹۱). بررسی چالش های توسعه شهر جدید مجلسی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی. برنامه ریزی فضایی ۲ (۲)، ۸۰-۶۳.
- مهاجر اشجعی، ا. (۱۳۶۰). ثبت و تفسیر لرزه های محلی و ویژگی های زلزله خیزی مناطق اصفهان و شهرکرد. امور ویژه زلزله شناسی سازمان انرژی اتمی ایران، ۴۱ صفحه.

Ambraseys, N.N. & Melville, C.P., (1982), "A history of Persian Earthquakes" Cambridge Earth Science Services.

Ambraseys, N. N., & Bommer, J. J. (1991). The attenuation of ground accelerations in Europe.

Amini Hosseini, K., Hosseini, M., Jafari, M.K., Hosseinioon, S., (2009). Recognition of Vulnerable Urban Fabrics in Earthquake Zones: A Case Study of the Tehran Metropolitan Area. JSEE, Vol. 10, No.4, pp:175-187. Available online at: <http://www.iiees.ac.ir/jsee>.

Anderson, J. G., & Trifunac, M. D. (1978). Uniform risk functionals for characterization of strong earthquake ground motion. Bulletin of the Seismological Society of America, 68(1), 205-218.

Ansari, A., Noorzad, A. and Zafarani, H., 2009, Clustering analysis of the seismic catalog of Iran: Computers & Geosciences, 35(3), pp.475-486.

Berberian, M., 1976, Seismotectonic map of Iran (1:2 500 000): Geological Survey of Iran Report No. 39.

Bissell, R., (2013). Preparedness and Response for Catastrophic Disasters. CRC Press.

- Campbell, K. W. (2006). Campbell-Bozorgnia next generation attenuation (NGA) relations for PGA, PGV, and spectral acceleration: a progress report. In Proceedings of the Eighth US National Conference on Earthquake Engineering.
- Cornel, C. H., (1968). Engineering seismic risk analysis. Bull. Seism. Soc. Am. 54.
- Douglas, J. (2011). Ground-motion prediction equations 1964-2010. Pacific Earthquake Engineering Research Center.
- Gardner, J.K. and Knopoff, L., (1974), Is the sequence of earthquakes in Southern California, with aftershocks removed, Poissonian? Bulletin of the Seismological Society of America, 64(5), pp.1363-1367.
- Gutenberg, B. and Richter, C.F., (1954), Seismicity of the earth and Associated Phenimena: Princeton Univ. Press. Princeton, New Jersey, U.S.A.
- Menoni, S., Costa, L., Galderisi, A., Margottini, C., (2011). Methodological framework for an Integrated multi-scale vulnerability and resilience assessment. ENSURE, Del 4.1.1, ENSURE project, WP4, deliverable 4.1.1, 96 pp.
- Mirzaei, N., Mengtan, G. and Yuntai, C., (1998), Seismic source regionalization for seismic zoning of Iran: major seismotectonic provinces: Journal of earthquake prediction research, 7, pp.465-495.
- NogolSadat, M.A.A., (1993), SeismotectonicmapofIran(scale1:1000000): Geological Survey of Iran.
- Nowroozi, A., (1976), Seismotectonic Provinces of Iran: Bull. Seism. Soc. Am.66, pp1249-1276.
- Razaghian, G., Beitollahi, A., Pourkermani, M., & Arian, M. (2018). Determining seismotectonic provinces based on seismicity coefficients in Iran. Journal of Geodynamics, 119, 29-46.
- Tavakoli, B. and Ghafory-Ashtiany, M., (1999), Seismic hazard assessment of Iran: Annals of Geophysics, 42(6), 1013–1021.
- Westermo, B. D. (1980). Hydrodynamic Interaction of Elastic Structures. In Proceedings, 7th World Conference on Earthquake Engineering, Istanbul, Turkey (Vol. 6, pp. 129-132).
- Ye, H., Chen, G. and Zhou, Q., (1995), Study on the intraplate potential seismic sources, in: Proc. Fifth International Conf. Seismic Zonation, Nice, France, 2, 1424-1430.
- Zare, M. and Memarian, H., (2000), Simulation of earthquakes intensity in Iran: Research Report of Iranian Red Crescent, Tehran, Iran, 150 pp. (in Persian).
- Zare, M., Ghafory-Ashtiany, M., & Bard, P. Y. (1999). Attenuation law for the strong-motions in Iran. In Proceedings of the third international conference on seismology and earthquake engineering (Vol. 1, pp. 345-354).
- Zamani, A., Nedaei, M., Boostani, R., (2009), Tectonic zoning of Iran based on self- organizing map: J. Appl. Sci. 9, 4099 –4114.