

صص ۱۵-۱

لرزه خیزی و پهنه‌بندی شتاب زمین در شهر جدید هشتگرد

علی بیت‌اللهی

استادیار بخش زلزله‌شناسی مهندسی و خطرپذیری، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران

غزاله رزاقیان*

استادیار گروه زمین‌شناسی، واحد دماوند، دانشگاه آزاد اسلامی، دماوند، ایران

فاطمه دهقان فاروجی

مربی بخش زلزله‌شناسی مهندسی و خطرپذیری، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران

نگار سودمند

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

داریخ دریافت: ۱۴۰۲/۶/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۲/۵

چکیده

شهر جدید هشتگرد، در غرب استان البرز و در دامنه جنوبی رشته کوه‌های البرز بر روی رسوبات آبرفتی واقع شده است. وقوع زمین‌لرزه‌ها بیانگر نرخ لرزه‌خیزی بالا در منطقه است. هدف اصلی از این مطالعه، توجه به این مسئله است که شهر جدید هشتگرد، شهری در حال توسعه است لذا توجه به شرایط لرزه‌خیزی و پارامترهای لرزه‌ای نقش مهمی در گسترش مناسب و پایداری سازه‌های مهندسی در طی رخ داده‌های لرزه‌ای آینده خواهد داشت. در این مطالعه بر اساس کاتالوگ زمین‌لرزه‌ها و موقعیت گسل‌های فعال به عنوان داده‌های اولیه، سرچشمه‌های لرزه‌زا در منطقه شناسایی شده است. در مرحله بعد پارامترهای لرزه‌خیزی تعیین شده‌اند. سپس بر اساس مطالعات تحلیل خطر احتمالاتی برای دوره بازگشت ۴۷۵ ساله برای شهر هشتگرد با استفاده از نرم‌افزارهای تحلیل خطر زمین‌لرزه، نقشه‌های پهنه‌بندی شتاب زمین و منحنی‌های خطر یکنواخت تهیه شده است. با توجه به گمانه‌های موجود در منطقه تأثیر ضریب بزرگنمایی خاک بر روی شتاب در نظر گرفته شده است. تحلیل خطر زمین‌لرزه در شهر جدید هشتگرد به صورت احتمالی بیانگر شتاب بسیار بالا در بخش گسترده‌ای از شهر است. با تأثیر ضریب بزرگنمایی بر روی شتاب سنگ‌بستر میزان شتاب بر روی سطح زمین برابر مقدار ($+/- 4g$) برآورد شده است. گستره شهر جدید هشتگرد دارای شتاب‌های متفاوت است و نیازمند طراحی‌های متفاوت در مورد سازه‌های مهندسی در مناطق مختلف می‌باشد.

واژگان کلیدی: هشتگرد، لرزه‌خیزی، گسل، زمین‌لرزه‌ها، تحلیل خطر

مقدمه

یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی در دنیا زمین‌لرزه است؛ قرارگیری شهرها در نواحی مستعد خطر زمین‌لرزه، همراه با رشد سریع این شهرها از دلایل اصلی افزایش خرابی‌ها، خسارت‌های اجتماعی و اقتصادی ناشی از وقوع زمین‌لرزه می‌باشد،

(Duzgan et al. 2011). بر اساس مطالعات رحمتی و همکاران (۱۳۹۰)، میان سه متغیر تراکم جمعیتی، تراکم کاربری و تراکم ارتفاعی و میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای ارتباط مستقیم وجود دارد و با افزایش هر یک از تراکم‌ها آسیب‌پذیری افزایش خواهد یافت. در راستای کاهش خسارات و تلفات باید به توان در مورد عملکرد و قدرت زمین‌لرزه‌های آینده در منطقه دانش خود را بالا ببریم، (Shroder and Wyss, 2014). نا‌آشنایی با عملکرد زمین‌لرزه‌ها و عدم قطعیت‌های آن به تشدید اثرات مخرب آن کمک می‌کند، مطالعه زمین‌لرزه‌ها به صورت آماری و احتمالاتی نقش مهمی در شناخت زمین‌لرزه‌های آینده دارد، (Bolt, 2003). شناخت دقیق زمین‌لرزه‌ها و نحوه عملکرد آن‌ها در یک منطقه، طراحی‌های مناسب با آن منطقه و اجرای مناسب سازه‌های طراحی شده، می‌تواند نقش مهمی در کاهش خطر پذیری لرزه‌ای و خسارات ناشی از زمین‌لرزه را داشته باشد، (Bozorgnia and Bertero, 2004). بر اساس مطالعات ایمانی (۱۴۰۰)، مدیریت مخاطرات طبیعی نیازمند آن است تا رفتارشناسی مخاطرات، طبقه بندی مخاطرات، پهنه‌بندی مخاطرات، ظرفیت‌های مدیریتی مخاطرات و شیوه‌های بازنگری در کنترل مخاطرات همزمان صورت گیرد.

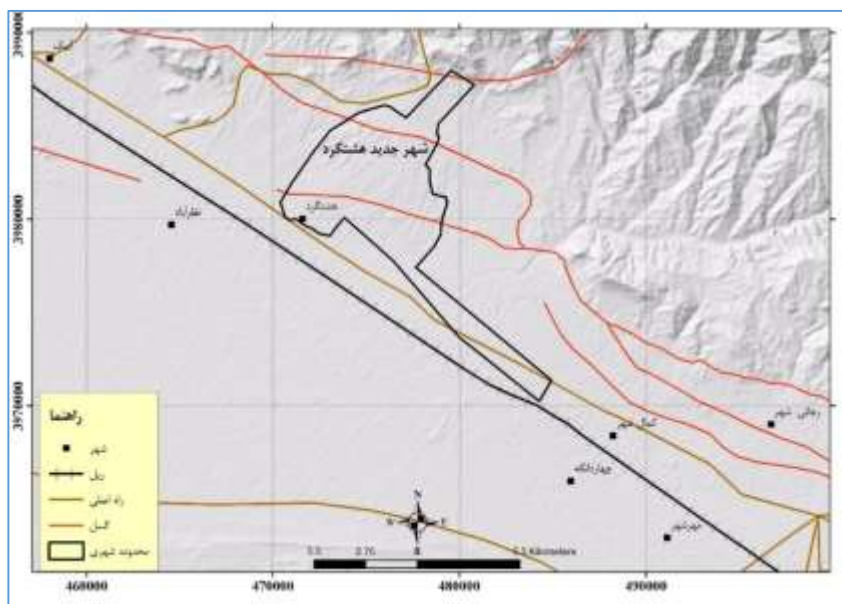
استان البرز و مناطق مجاور آن در کوهپایه‌های جنوبی البرز، با توجه به جایگاه زمین‌شناسی خود همیشه مورد تهدید مخاطرات مختلف از جمله زمین‌لرزه بوده است. شهر جدید هشتگرد در غرب استان البرز و در دامنه جنوبی رشته کوه‌های البرز مرکزی با جذب جمعیت نسبتاً زیادی در حال گسترش است. تحقیقات مختلفی در ارتباط با وضعیت زمین‌شناسی، تکتونیکی، لرزه‌خیزی در منطقه هشتگرد و مناطق مجاور آن توسط محققین مختلف انجام شده است، هر یک از این تحقیقات با توجه به دیدگاه‌های خاص و روش‌های متفاوت انجام شده‌اند، (بربریان ۱۳۷۱، الف و ب؛ زارع ۱۳۸۴؛ علیمردان و همکاران ۱۳۹۳؛ نظری ۱۳۹۳؛ بوستان و همکاران ۱۳۹۸؛ Ghodrati Amiri et al. 2003؛ Boostan et al. 2015). در بیان مسئله می‌توان اشاره نمود که شهر جدید هشتگرد و تمام شهرهای جدید و در حال توسعه در دامنه جنوبی البرز می‌توانند تحت تأثیر وقایع ناشی از وقوع زمین‌لرزه در این منطقه باشند؛ توجه به شرایط لرزه‌خیزی و تعیین پارامترهای مهندسی به طوری که در آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای و دستورالعمل‌های بررسی آسیب‌پذیری و مقاوم‌سازی آمده است، ابزاری بسیار ضروری برای محاسبه و برآورد پارامترهای جنبش نیرومند زمین برای زمین‌لرزه‌های آینده در منطقه و استفاده در ساخت و ساز، طراحی و تصمیم‌گیری‌های مرتبط با آن است. تحلیل خطر زمین‌لرزه، برای تخمین کمی خطرات زمین در یک منطقه مورد استفاده قرار می‌گیرد. اهداف اصلی در این پژوهش بررسی ویژگی‌های لرزه‌ای و تعیین پارامترهای لرزه‌خیزی و در نهایت تعیین شتاب زمین برای شهر جدید و در حال توسعه هشتگرد است. با توجه به قرارگیری این شهر در یک منطقه لرزه‌خیز و با توجه به تراکم جمعیتی آن، این مطالعه و نتایج حاصل از آن می‌تواند نقش مهمی در گسترش مناسب و پایداری سازه‌های مهندسی در طی رخ داد‌های لرزه‌ای آینده در این منطقه داشت باشد.

محدوده مورد مطالعه

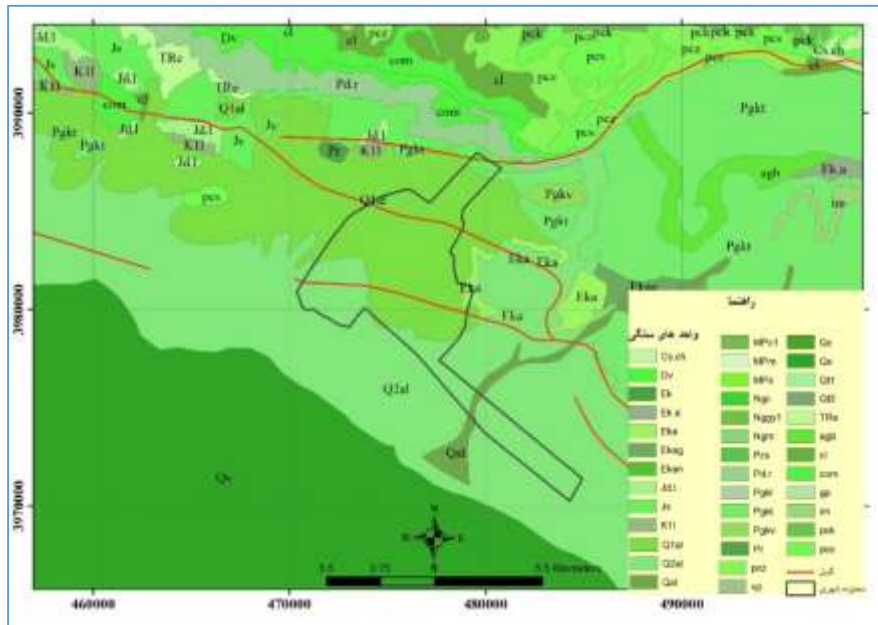
شهر جدید هشتگرد در دشتی به همین نام واقع شده است (شکل ۱)؛ از دیدگاه زمین‌شناسی، منطقه مورد مطالعه بر روی مخروط افکنه‌ها و پادگانه‌های آبرفتی به سن کواترنری واقع شده است (نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ کرج) و از نظر تکتونیکی در دامنه جنوبی البرز مرکزی قرار گرفته است. مرز میان البرز و ایران مرکزی فروافتادگی اشتهارد است که بر اثر راندگی شمال تهران با راستای شرقی - غربی تا شمال غرب - جنوب شرق به وجود آمده است و ادامه دشت تهران به شمار می‌آید. این فرو افتادگی از شمال به راندگی شمال تهران و از جنوب به راندگی اشتهارد منتهی می‌شود و شهر جدید هشتگرد نیز در حریم این گسل‌ها و شمال منطقه فرونشست شکل گرفته است. شکل ۲، نقشه زمین‌شناسی در محدوده شهر جدید هشتگرد و مناطق مجاورش را نشان می‌دهد.

حرکات رو به شمال بلوک ایران مرکزی و در کنار آن حرکات حوضه خزر جنوبی نقش مهمی در شکل‌گیری فعالیت‌های لرزه زمین‌ساختی با روند شمال، شمال شرق - جنوب، جنوب غرب در ناحیه البرز دارد که تقریباً از 2 ± 5 میلیون سال پیش آغاز شده است (Jackson & McKenzie, 1984; Vernant et al. 2004; Ritz et al. 2006). مطالعات مختلف نشان می‌دهد که تغییر شکل‌های کنونی البرز در طول راندگی‌ها و گسل‌های راستالغز چپ بر رخ می‌دهد، (Jackson et al. 2002; Allen et al. 2003 Ritz et al. 2006; Solaymani Azad, 2009).

بیشتر این تغییر شکل‌ها به صورت شکننده و در راستای گسل‌ها است، (Masson et al. 2007). بر اساس داده‌های ژئودتیک پهنه البرز مرکزی در راستای شمالی - جنوبی ۶ میلی متر در سال (Djamour et al. 2010)، 2 ± 5 میلی متر در سال (Djamour, 2004; Vernant et al. 2004) کوتاه شدگی و ۳ میلی متر در سال (Djamour et al. 2010)، 4 ± 2 میلی متر در سال (Djamour, 2004; Vernant et al. 2004) برش چپ گرد را تحمل می‌کند.



شکل ۱. موقعیت شهر جدید هشتگرد و آبادی‌های مجاور آن بر روی مدل ارتفاعی منطقه



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی شهر جدید هشتگرد

داده‌ها و روش‌ها

بررسی ویژگی‌های لرزه‌ای، تعیین پارامترهای لرزه‌خیزی و در نهایت تحلیل خطر زمین‌لرزه برای شهر جدید هشتگرد از اهداف اصلی این مطالعه است. برای تحلیل خطر زمین‌لرزه معمولاً از روش‌های گوناگونی استفاده می‌شود که مهم‌ترین آن‌ها دو روش تعینی و احتمالاتی می‌باشد. در این مطالعه از روش احتمالاتی برای تحلیل خطر زمین‌لرزه در شهر جدید هشتگرد استفاده شده است. در روش احتمالاتی مدل‌های محتمل از مکان رخدادها، بزرگاها، زمان رخدادها و همچنین اثرات زمین‌لرزه‌ها را با هم ترکیب می‌کنند و احتمال وقوع یک جنبش شدید زمین در یک مکان و بازه زمانی خاص مورد محاسبه قرار می‌گیرد. یکی از دلایل استفاده از روش احتمالاتی، محاسبه مجموعه رویدادهای محتمل برای احتمال فزونی با در نظر گرفتن عدم قطعیت پارامترهای لرزه‌خیزی برای یک سطح خاص می‌باشد و در نتیجه پاسخ‌ها به واقعیت نزدیک‌تر است، (Kramer, 1996). تحلیل خطر احتمالاتی لرزه‌ای اولین بار توسط (Cornell, 1968) معرفی شد و تا امروز به همان صورت قابل استفاده است (McGuire, 2008).

در این مطالعه به منظور بررسی میزان لرزه‌خیزی و تعیین پارامترهای مهندسی و در نهایت تحلیل خطر زمین‌لرزه برای شهر جدید هشتگرد، ابتدا موقعیت گسل‌های اصلی به عنوان چشمه‌های لرزه‌ای در شعاع ۱۰۰ کیلومتری شهر هشتگرد تعیین می‌شود. سپس قابلیت وقوع زمین‌لرزه مخرب در این گسل‌ها بررسی شده، در تحلیل خطر احتمالاتی فرض می‌شود که احتمال وقوع در تمام نقاط هر چشمه لرزه‌زا در نزدیکترین فاصله با ساختگاه، یک و در سایر نقاط صفر است. سپس زمین‌لرزه‌های دستگاهی و تاریخی در شعاع ۱۰۰ کیلومتری منطقه مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته و بر اساس آن‌ها ضرایب مختلف لرزه‌ای به دست می‌آید. در این مرحله میانگین رخداد زمین‌لرزه برای هر پهنه لرزه‌زا مورد استفاده قرار می‌گیرد. گام بعدی انتخاب رابطه کاهندگی مناسب با محدوده مورد مطالعه است. در استفاده از روابط کاهندگی عدم

قطعیت‌های موجود لحاظ می‌گردد؛ و گام آخر، عدم قطعیت‌ها در موقعیت زمین‌لرزه و بزرگای آن در تعیین پارامترهای جنبش شدید زمین با هم ترکیب می‌شوند تا پارامترهای جنبش نیرومند زمین در یک دوره زمانی خاص تعیین گردد. در این روش پیشینه جنبش زمین برای دوره ۴۷۵ ساله تعیین می‌شود، این روش بر پایه تحلیل خطر (Cornell, 1968; Algermissen et. al. 1982) انجام شده است.

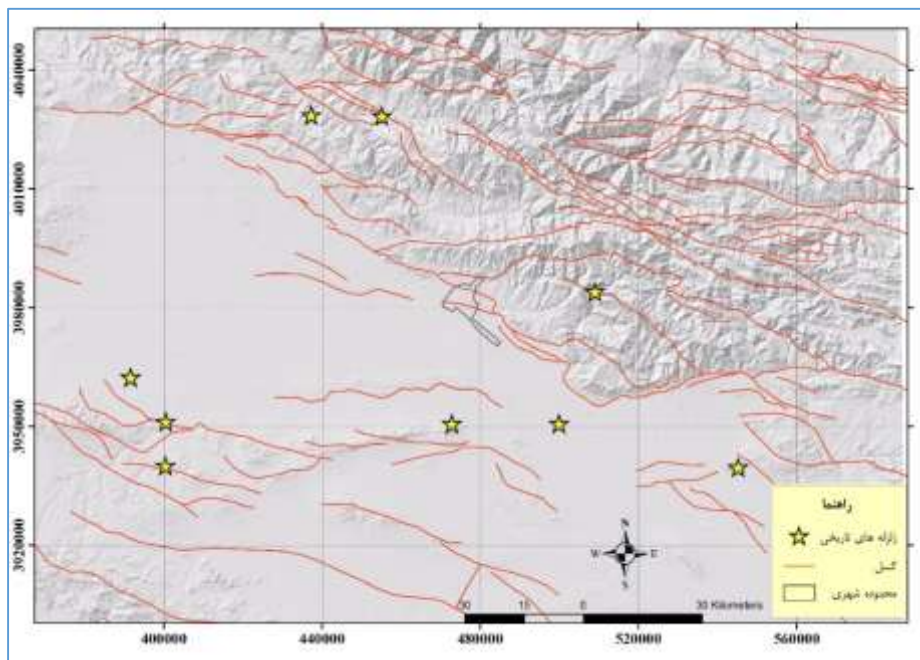
داده‌های اصلی مورد استفاده در این پژوهش گسل‌های فعال و زمین‌لرزه‌های رخ داده در منطقه هستند که پس از جمع‌آوری و انجام پردازش‌های لازم روی آن‌ها، در مطالعات مورد استفاده قرار می‌گیرند.

گسل‌ها

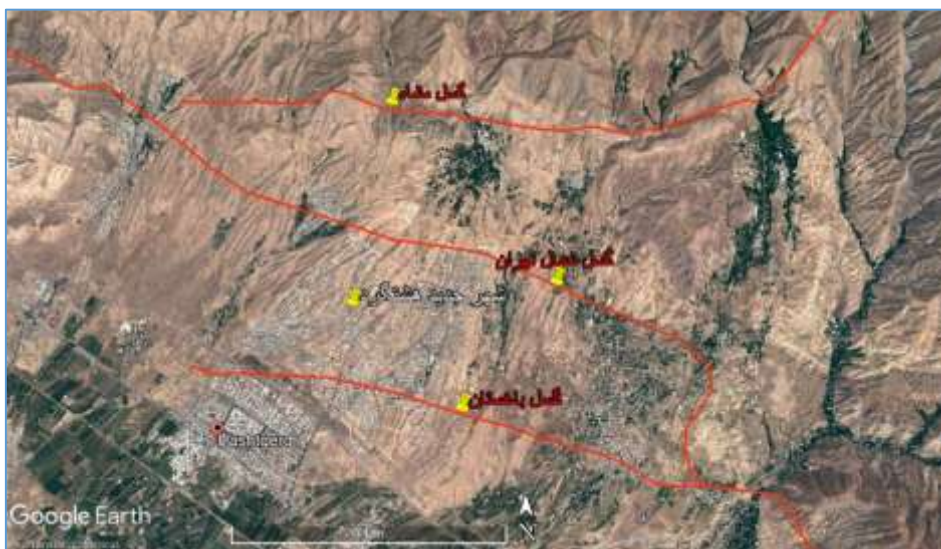
گسل‌ها یکی از ساختارهای تکتونیکی اصلی و مهم‌ترین چشمه‌های لرزه‌ای در مناطق مختلف می‌باشند. در این مطالعه گسل‌های فعالی که در شعاع ۱۰۰ کیلومتری شهر هشتگرد واقع شده‌اند بر اساس نقشه‌های زمین‌شناسی و دیگر مراجع مورد بررسی قرار گرفته است، (شکل ۳). بر پایه اطلاعات موجود در شعاع ۱۰۰ کیلومتری شهر هشتگرد گسل‌های بسیار زیادی وجود دارد، تعدادی از مهم‌ترین این گسل‌ها شامل گسل باغستان؛ گسل طالقان؛ گسل شمال تهران؛ گسل مشاء؛ گسل پورکان – وردیج؛ گسل اشتهارد؛ گسلکوشک نصرت؛ گسل رباط کریم است. علاوه بر گسل‌هایی که در شعاع ۱۰۰ کیلومتری شهر هشتگرد قرار دارند، گسل‌هایی که از محدوده شهری این شهر عبور می‌کند از اهمیت زیادی برخوردار هستند. گسل مشاء، گسل شمال تهران و گسل باغستان نزدیک‌ترین گسل‌ها به شهر هشتگرد هستند. لذا شناسایی و تدقیق محل این گسل‌ها در تحلیل خطر لرزه‌ای شهر هشتگرد اهمیت بسیاری دارد، (شکل ۴).

گسل شمال تهران از پای ارتفاعات شمالی شهر جدید هشتگرد عبور می‌کند. عملکرد مؤلفه راندگی این گسل موجب شکل‌گیری بلندی‌های شمال هشتگرد شده است. شاخه دیگر گسل با عنوان گسل باغستان از درون نهشته‌های جوان جنوب هشتگرد عبور کرده که با توجه به توسعه ساخت و سازها، شناسایی نشانه‌های این گسل مستلزم بررسی دقیق آبرفت‌ها می‌باشد.

گسل‌های طالقان، مشاء و گسل شمال تهران به عنوان گسل‌های جنبی و لرزه‌زا نقش مهمی در ایجاد زمین‌لرزه‌های بزرگ در منطقه دارند. گسل طالقان به عنوان سرچشمه زمین‌لرزه AD ۹۵۸ طالقان با بزرگی ۷/۷ یکی از بزرگترین زمین‌لرزه‌های تأثیر گذار در منطقه بوده است، (Ambraseys & Mellville, 1982). بر اساس مطالعات (Nazari et al. 2007) گسل طالقان دارای نرخ لغزش ۱ میلی متر در سال و کشش نزدیک به ۰/۵ میلی متر در سال است. گسل‌های مشاء و گسل شمال تهران در دامنه جنوبی البرز در ۳:۱ پایانی دوره بازگشت لرزه‌ای خود قرار دارند ولی دوره بازگشت زمین‌لرزه احتمالی حاصل از جنبش گسل طالقان با دوره بازگشت لرزه‌ای ۷۰۰ تا ۱۲۰۰ ساله، به دوره زمانی رخداد آینده خود بسیار نزدیک است (نظری ۱۳۹۳).



شکل ۳. نقشه گسل‌ها در شعاع ۱۰۰ کیلومتری از شهر جدید هشتگرد، همراه با موقعیت زمین‌لرزه‌های تاریخی در منطقه



شکل ۴. موقعیت سه گسل اصلی مشاء، شمال تهران و باغستان در حریم شهر جدید هشتگرد، تصویرماهواره ای گوگل

زمین‌لرزه‌ها

مطالعه لرزه‌خیزی تاریخی کوه‌های البرز قبل از ۱۹۰۰ میلادی نشان می‌دهد که نواحی زیادی در اثر زمین‌لرزه ویران شده‌اند، (Ambraseys and Melville, 1982). نقشه توزیع زمین‌لرزه‌های تاریخی در (شکل ۳) نمایش داده شده است، در شعاع ۱۰۰ کیلومتری شهر جدید هشتگرد می‌توان تعداد ۱۰ رخداد تاریخی را معرفی کرد، (جدول ۱). با استفاده از کاتالوگ زمین‌لرزه‌های مرکز لرزه نگاری کشور داده‌ها و اطلاعات مربوط به زمین‌لرزه‌های دستگاهی نوین (۲۰۰۶ تاکنون) و با استفاده از کاتالوگ مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی زمین‌لرزه‌های دستگاهی ۱۹۰۰ تا قبل از ۲۰۰۶ در شعاع

۱۰۰ کیلومتری از مرکز شهر جدید هشتگرد استخراج گردید. زمین لرزه‌های دستگاهی مورد استفاده در گستره مورد مطالعه شامل تمامی زمین لرزه‌های گزارش شده توسط مراجع داخلی و خارجی معتبر از سال ۱۹۰۰ تا ۲۰۲۰ می‌باشد، تعداد کل زمین لرزه‌ها ۵۹۸ است که در چهار گروه زمین لرزه‌های کوچک‌تر از ۴، زمین لرزه‌های بین ۴ تا ۵ و زمین لرزه‌های بین ۵ تا ۶ و زمین لرزه‌های بزرگتر از ۶ مورد بررسی قرار گرفته‌اند، (شکل ۵ و جدول ۲).

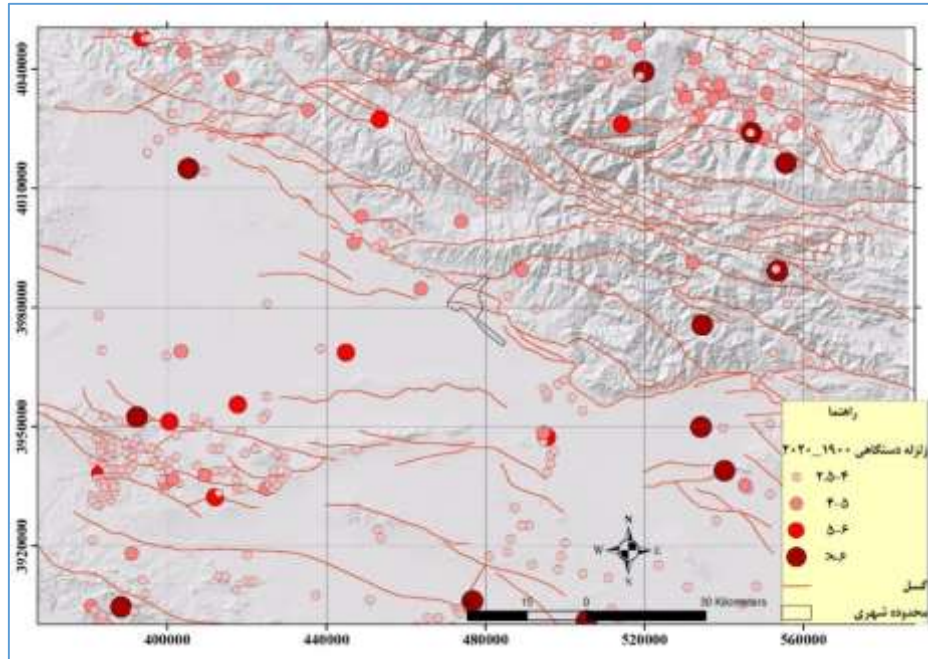
پس لرزه‌ها مجموعه‌ای از زمین لرزه‌های کوچک هستند که پس از زمین لرزه‌های بزرگ رخ می‌دهند و مربوط به جابجایی سطح گسل‌ها روی زمین هستند. در این مطالعه برای عملیات حذف پس لرزه‌ها از روش (Gardner and knopoff, 1974) بر اساس الگوریتم پنجره‌های زمانی- مکانی صورت گرفت و در بین حدود ۵۹۸ زمین لرزه، ۴۹۱ زمین لرزه به دست آمد. در (شکل ۶) نمودار ستونی رخداد زمین لرزه‌های گستره نسبت به عمق و زمان پس از حذف پس لرزه‌ها نشان داده شده است. با توجه به نمودار فراوانی زمین لرزه‌ها نسبت به زمان (شکل ۶) افزایش زمین لرزه‌ها در طی زمان می‌تواند به علت نصب تعداد بیشتری از دستگاه‌های لرزه نگارها و ارتقای شبکه لرزه نگاری کشور باشد. بیشترین رخدادها در عمق ۱۰ تا ۱۵ کیلومتری زمین رخ داده‌اند که بیانگر وقوع زمین لرزه‌های کم عمق در منطقه است.

جدول ۱. زمین لرزه‌های تاریخی در شعاع ۱۰۰ کیلومتر از مرکز شهر هشتگرد

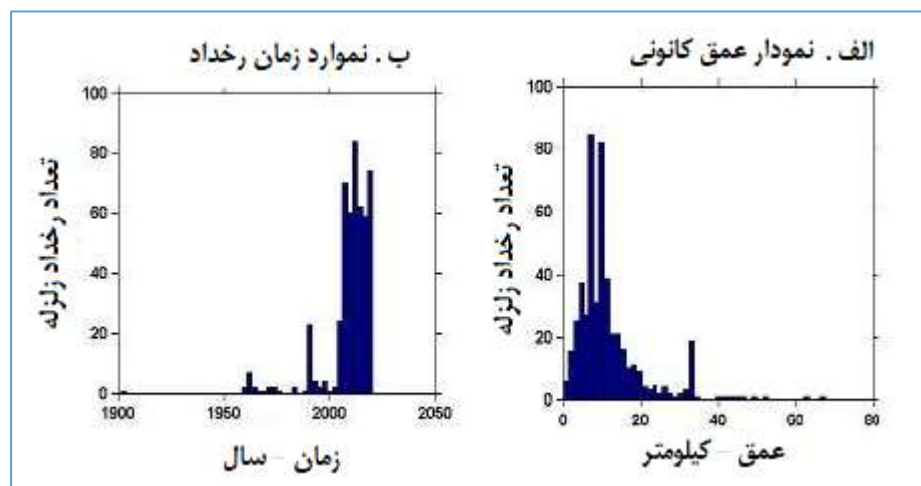
بزرگا	سال	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
۵,۳	۸۶۴	۳۵,۷۰	۵۱,۰۰
۵,۷	۱۸۷۶	۳۵,۸۰	۴۹,۸۰
۵,۹	۱۸۸	۳۶,۴۰	۵۰,۳۰
۶,۲	-۳۰۰۰	۳۵,۶۰	۴۹,۹۰
۶,۵	۱۱۱۹	۳۵,۷۰	۴۹,۹۰
۷,۱	۸۵۵	۳۵,۶۰	۵۱,۵۰
۷,۲	۱۱۷۷	۳۵,۷۰	۵۰,۷۰
۷,۲	۱۴۸۵	۳۶,۷۰	۵۰,۵۰
۷,۶	۱۶۰۸	۳۶,۴۰	۵۰,۵۰
۷,۷	۹۵۸	۳۶,۰۰	۵۱,۱۰

جدول ۲. زمین لرزه‌های دستگاهی در شعاع ۱۰۰ کیلومتر از مرکز شهر هشتگرد

تعداد زمین لرزه‌های	بزرگای زمین لرزه‌ها
۵۰۸	زمین لرزه‌های کوچکتر از ۴
۶۳	زمین لرزه‌ای بین ۴ و ۵
۱۳	زمین لرزه‌ای بین ۵ و ۶
۱۴	زمین لرزه‌های بزرگتر از ۶



شکل ۵. نقشه رومرکز زمین‌لرزه‌های دستگاهی در شعاع ۱۰۰ کیلومتری از شهر هشتگرد



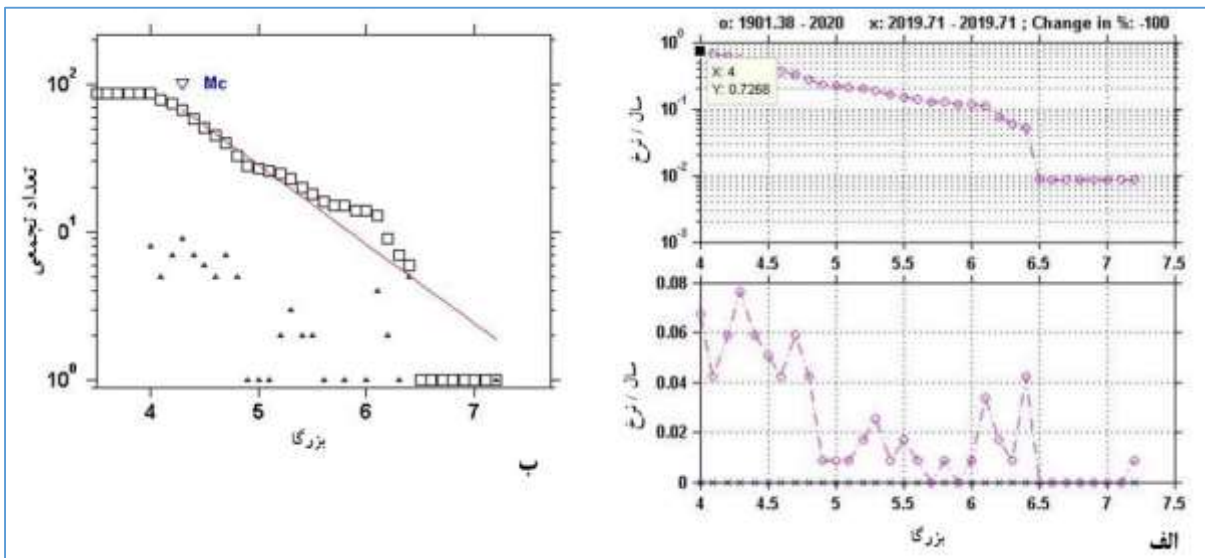
شکل ۶. الف: نمودار تعداد رخداد زمین‌لرزه‌ها نسبت به عمق، ب: نمودار تعداد رخداد زمین‌لرزه نسبت به زمان

بحث و یافته‌ها

تعیین ضرایب لرزه‌خیزی

در مطالعه و برآوردهای خطر زمین‌لرزه تعیین ضرایب لرزه‌خیزی a-value و b-value یکی از مهم‌ترین بخش‌های مطالعاتی است که با استفاده از نرم‌افزار ZMap انجام می‌شود. محاسبات این بخش بر اساس رابطه بین تعداد زمین‌لرزه‌ها با بزرگ‌های مختلف در منطقه، رابطه گوتنبرگ - ریشتر ($LOG \lambda_m = a - bM$)، صورت می‌گیرد. در این رابطه M معرف بزرگا و λ_m تعداد زمین‌لرزه‌هایی است که از بزرگای M بزرگ‌تر و یا مساوی هستند می‌باشد، و a و b ضرایب ثابت لرزه‌خیزی هستند. برای تعیین لرزه‌خیزی هر منطقه به سه پارامتر بیشینه زمین‌لرزه محتمل، ضرایب لرزه‌خیزی و نرخ رویداد زمین‌لرزه‌ها نیاز

است. ضریب لرزه‌خیزی b عددی است ثابت و بر اساس توان لرزه‌زایی عوارض تکتونیکی هر منطقه متفاوت است و ضریب a که یکی از ضرایب مهم لرزه‌خیزی است بیانگر میزان کل نرخ لرزه‌خیزی در منطقه است (Gutenberg and Richter 1954). بر طبق رابطه گوتنبرگ-ریشر (Gutenberg and Richter 1954) که نمودار آن در (شکل ۷)، دیده می‌شود، مقدار عددی ضرایب لرزه‌خیزی برای محدوده شهر جدید هشتگرد $b = 0.534$ و $a = 4/12$ برآورد شده است.



شکل ۷. الف: نرخ لرزه‌خیزی برای زمین‌لرزه‌های ۴ و بزرگتر در شعاع ۱۰۰ کیلومتری محدوده مورد مطالعه، ب: تعیین ضرایب لرزه‌خیزی $b = 0.534$ ، $a = 4/12$ ، $M_c = 4.3$ برای محدوده مورد مطالعه

تحلیل خطر احتمالاتی زمین‌لرزه

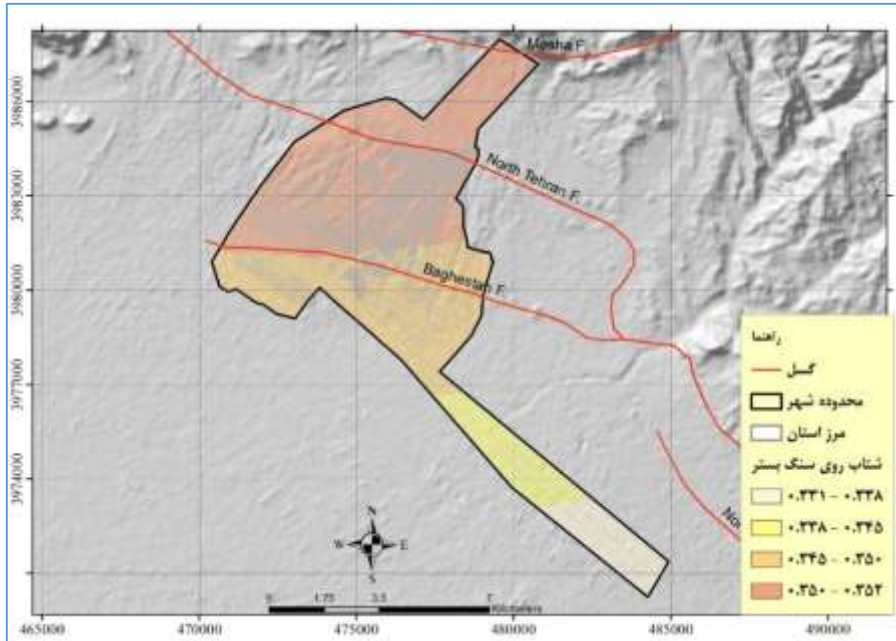
در پژوهش حاضر، تحلیل خطر زمین‌لرزه برای شهر جدید هشتگرد به صورت احتمالی و با روش کمپل-بزرگ نیا (Campbell and Bozorgnia 2003, 2008) و برای دوره بازگشت ۴۷۵ ساله انجام شده است. در روش تحلیل خطر احتمالاتی زلزله، بررسی و لحاظ عدم قطعیت‌های مختلف در بزرگا، موقعیت، شدت لرزش یک زمین‌لرزه مبنای مطالعه است. مطالعات تحلیل خطر زلزله توسط محققین مختلف برای شهرها و مناطق مختلف انجام شده است، بیت‌اللهی و همکاران ۱۴۰۲، مطالعات تحلیل خطر را برای شهر جدید پردیس و توسلی و همکاران ۱۴۰۲، مطالعات تحلیل خطر را برای مشهد انجام داده‌اند. برای تحلیل خطر احتمالاتی چهار مرحله و گام اصلی وجود دارد که شامل (۱) شناسایی چشمه‌های لرزه‌زا و بررسی لرزه‌خیزی منطقه، (۲) محاسبه رابطه بین فراوانی و بزرگ‌ها و تعیین ضرایب لرزه‌خیزی، (۳) انتخاب رابطه کاهندگی و (۴) محاسبه منحنی خطر لرزه‌ای است. با استفاده از نرم‌افزار تحلیل خطر زلزله EZFRISK، محاسبات مربوطه برای تحلیل خطر بر اساس داده‌های اولیه شامل مطالعات گسل‌های فعال و زمین‌لرزه‌ها انجام شده است. داده‌های خروجی به صورت نقشه‌های پهنه‌بندی خطر که هر کدام از این نقشه‌ها، در اصل بیان‌کننده توزیع مقادیر بیشینه شتاب در پریودهای مختلف هستند؛ ارائه شده است. در شکل ۸، نقشه پهنه‌بندی شتاب سنگ‌بستر شهر جدید هشتگرد نشان داده شده است.

در این شهر ۴ پهنه مشاهده می‌شود که شامل پهنه با شتاب پایین (۰/۳۳۱-۰/۳۳۸)، پهنه با شتاب متوسط (۰/۳۴۵-۰/۳۳۸)، پهنه با شتاب بالا (۰/۳۴۵-۰/۳۵۰) و پهنه با شتاب خیلی بالا (۰/۳۵۰-۰/۳۵۲) است. قسمت‌های شمالی محدوده شهری دارای خطر بالاتری نسبت به سایر قسمت‌ها است و کم خطرترین محدوده شهری در قسمت جنوبی شهر واقع شده است که مساحت نسبتاً کمتری دارد. در آیین‌نامه زلزله ۲۸۰۰، بر اساس مطالعه و بررسی گسل‌های فعال و زمین‌لرزه‌های رخداد و مطالعات تحلیل خطر برای کل پهنه ایران، شهرهای مختلف از لحاظ میزان خطر لرزه‌خیزی در چهار گروه قرار گرفته‌اند که دارای شتاب‌های مختلف در زمان وقوع زمین‌لرزه هستند، پهنه با خطر لرزه‌خیزی خیلی زیاد (g ۰,۳۵)، پهنه با خطر لرزه‌خیزی زیاد (g ۰,۳۰)، پهنه با خطر لرزه‌خیزی متوسط (g ۰,۲۵)، پهنه با خطر لرزه‌خیزی کم (g ۰,۲۰). منظور از شتاب زلزله در این بخش شتاب سنگ‌بستر موجود در زیر سازه در زمان وقوع زلزله است. در بررسی وضعیت و موقعیت شهر هشتگرد بر اساس نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه ارائه شده در آیین‌نامه زلزله ۲۸۰۰، شهر هشتگرد در منطقه با خطر لرزه‌خیزی خیلی زیاد و شتابی برابر ۰/۳۵g قرار دارد که هماهنگی مناسبی با نقشه‌های ریز پهنه‌بندی شتاب تهیه شده در این مطالعه دارد. نقشه‌های ریز پهنه‌بندی شتاب در این مطالعه بیانگر الگوهای طراحی مختلف برای سازه‌های مهندسی در نقاط مختلف شهر است.

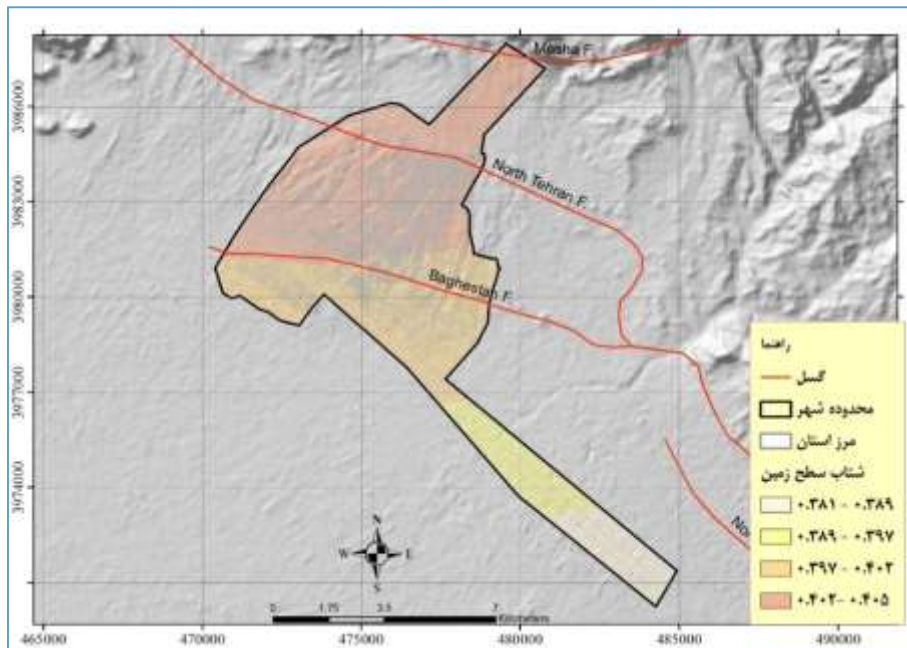
بر اساس آیین‌نامه ۲۸۰۰ یکی دیگر از مهم‌ترین پارامترها که بر روی شتاب زمین در زمان وقوع زمین‌لرزه تأثیر می‌گذارد ویژگی‌های خاک و سنگ در زیر سازه است، در واقع نوع و رفتار خاک در زمان وقوع زمین‌لرزه یکی از مهم‌ترین پارامترها در تشدید امواج زلزله است. شهر هشتگرد بر روی رسوبات آبرفتی بنا شده‌اند و معمولاً لایه‌های آبرفتی امواج زمین‌لرزه را تقویت می‌کنند و حداکثر شتاب بر روی سطح زمین بیش از روی سنگ‌بستر هست.

بر اساس داده‌های به دست آمده از ۲۴ گمانه‌ها در محدوده شهر هشتگرد، نوع خاک منطقه شامل شن و ماسه متراکم، خاک رس به همراه ماسه بسیار متراکم، ماسه سیلتی بسیار متراکم می‌باشد. با توجه به نوع خاک محدوده مورد مطالعه ضریب بزرگنمایی ۱/۱۵ در نظر گرفته شده است؛ که با تأثیر این ضریب بر روی شتاب سنگ کف میزان شتاب بر روی سطح زمین g ۰/۴ برآورد می‌شود، (شکل ۹).

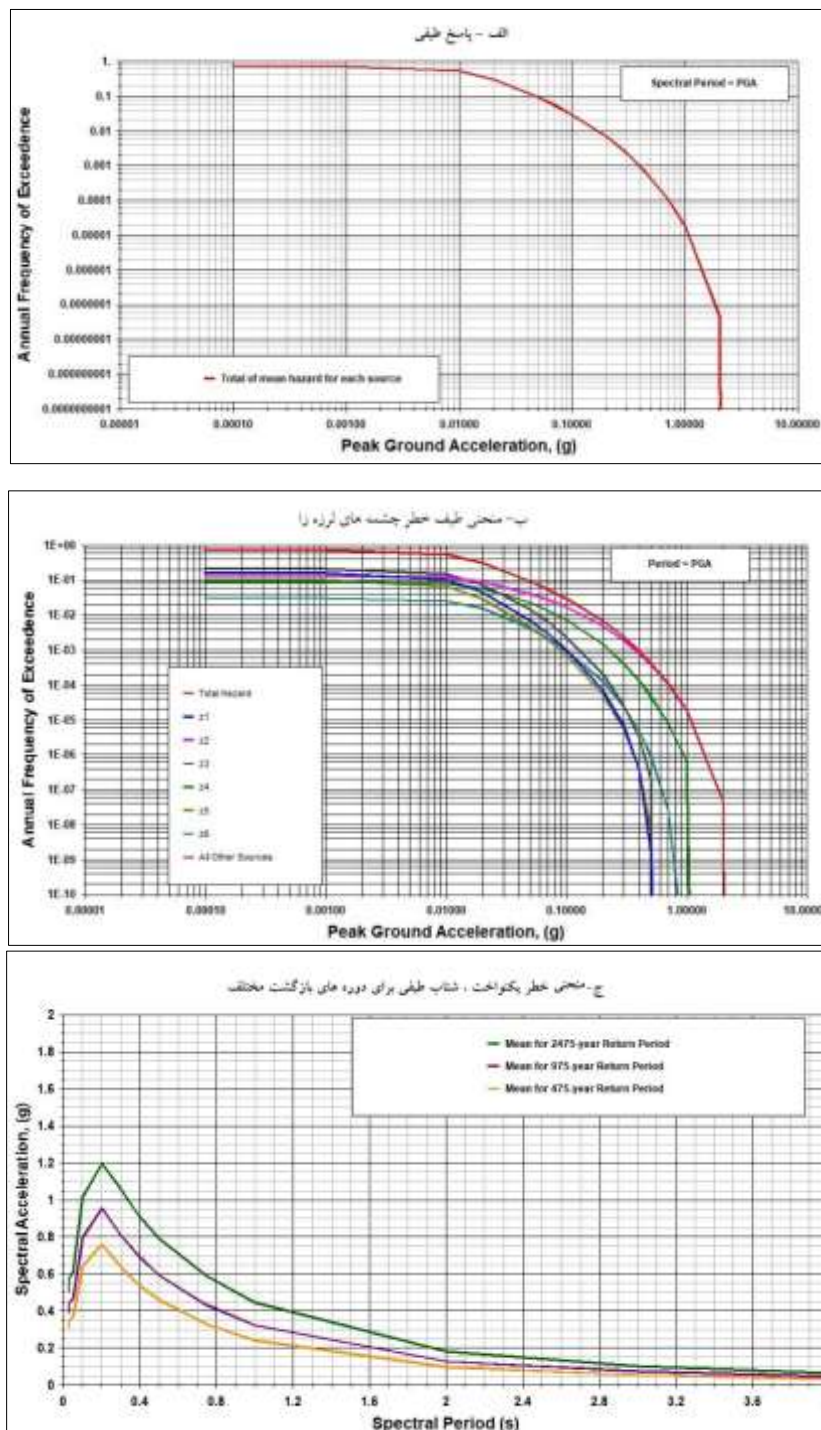
با آگاهی از مقدار شتاب حداکثری زمین‌لرزه، طیف خطر یکنواخت برای نقطه مرکزی شهر هشتگرد (شکل ۱۰) ارائه شده است. اهمیت تهیه طیف‌های خطر در طراحی‌های لرزه‌ای سازه‌ها مشخص است، این طیف، رفتار ساختمان‌ها برحسب ارتفاع آن‌ها را بیان خواهد نمود. لذا مطالعه و بررسی این نمودارها در بخش مرکزی شهر جدید هشتگرد نقش مهمی در طراحی سازه‌های مهندسی خواهد داشت. در شکل ۱۰، وضعیت منحنی‌های طیفی در وسط شهر نشان داده شده است که بر این اساس شتاب مبنای طرح g ۰,۳۵ است، (شکل ۱۰ الف). 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. تأثیرگذارترین چشمه‌لرزه‌ای در گستره مورد مطالعه در بخش شمالی است، (شکل ۱۰ ب). در شکل ۱۰ ج، شتاب زمین برای سه دوره بازگشت ۴۷۵،۹۷۵ و ۲۴۷۵ سال به ازای پریودهای صفر تا ۴ ثانیه به دست آمده است.



شکل ۸. نقشه پهنه‌بندی شتاب سنگ کف در محدوده شهر هشتگرد



شکل ۹. نقشه پهنه‌بندی شتاب خاک در محدوده شهر هشتگرد



شکل ۱۰. طیف خطر یکنواخت، الف: پاسخ طیفی، ب: چشمه‌های لرزه زا، ج: شتاب طیفی برای دوره‌های بازگشت مختلف

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، به بررسی و تحلیل خطر لرزه‌ای برای شهر جدید هشتگرد پرداخته شده است. این شهر با جذب جمعیت زیاد یکی از شهرهای در حال رشد و توسعه در یکی از مناطق لرزه‌خیز کشور می‌باشد. توجه به وضعیت زیرساخت‌های شهری

و طراحی سازه‌های جدید با توجه به وضعیت لرزه‌خیزی و پهنه‌بندی‌های شتاب و همچنین منحنی‌های طیف خطر یکنواخت تهیه شده در این پژوهش نقش مهمی در پایداری و ایمنی شهر در زمان وقوع زمین‌لرزه‌های آینده دارد.

نتایج مطالعات تحلیل خطر زمین‌لرزه در محدوده شهر جدید هشتگرد به صورت نقشه‌های ریز پهنه‌بندی شتاب برای این شهر ارائه شده است که بیانگر شتاب خیلی بالا (۰/۳۵۲-۰/۳۵۰) در بخش شمال شهر است. با حرکت به سمت جنوب و جنوب شرق محدوده شهری به تدریج مقدار شتاب زمین کاهش می‌یابد و در پهنه با خطر نسبی پایین‌تری نسبت به بخش شمالی شهر قرار دارد. نتایج به دست آمده در این پژوهش در مقایسه با شتاب مبنای طرح در آیین‌نامه ۲۸۰۰ که شهر هشتگرد و مناطق مجاورش را در پهنه با شتاب مبنای طرح ۰,۳۵ g و خطر نسبی بسیار زیاد مشخص می‌کند، هماهنگی مناسبی دارد.

با توجه به مطالعه گمانه‌ها و نوع خاک و با تأثیر ضریب بزرگنمایی بر روی شتاب سنگ‌بستر میزان شتاب بر روی سطح زمین برابر مقدار (g/۴۰) هست.

منابع

- ۱- ایمانی، بهرام. (۱۴۰۰): تدوین الگویی برای مدیریت مخاطرات طبیعی و پایداری نواحی شهری و روستایی نمونه: زمین‌لغزش در منطقه رودبار. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی 128.1387-105, 32(3), 2021.126669/Doi: 10.22108/gep.
- ۲- بربریان، مانوئل، قرشی، منوچهر، ارژنگ روش، ب. و مهاجر اشجعی، ا. (۱۳۷۱): الف، پژوهش و بررسی نو زمین‌ساخت، لرزه زمین‌ساخت و خطر زمین‌لرزه گسلش در گستره‌ی تهران و پیرامون. چاپ دوم، گزارش شماره ۵۶، ۳۱۵ رویه، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- ۳- بربریان، مانوئل، قرشی، منوچهر، ارژنگ روش، ب. و مهاجر اشجعی، ا. (۱۳۷۱): ب، پژوهش و بررسی نو زمین‌ساخت، لرزه زمین‌ساخت و خطر زمین‌لرزه -گسلش در گستره قزوین بزرگ و پیرامون، گزارش شماره ۶۱، ۱۹۷ رویه، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- ۴- بوستان، الهام، فرخ نیا، علیرضا، و موسایی سنجرئی، بهار. (۱۳۹۸): تحلیل خطر لرزه‌ای و پهنه‌بندی هشتگرد. مخاطرات محیط طبیعی، 8(21)، 231-246. Doi: 10.22111/jneh.2019.26072.1440
- ۵- بیت‌اللهی، علی، سودمند، نگار، دهقان فاروجی، فاطمه، رزاقیان، غزاله. (۱۴۰۲): تحلیل خطر لرزه‌ای شهر جدید پردیس با روش احتمالاتی، مجله ژئوفیزیک ایران، 17(4)، 1477، 378063.1477/Doi: 10.30499/ijg.
- ۶- توسلی، امید، عساکره، عادل، توسلی، نوید. (۱۴۰۲). 'تحلیل خطر لرزه‌ای و تهیه طیف خطر شهر مشهد جهت طراحی و اجرای زیرساخت‌های شهری و برون‌شهری'، پژوهش‌نامه حمل و نقل، 20(4) Pp. 155-166. Doi:10.22034/tri.2023.115391
- ۷- زارع، مهدی، (۱۳۸۴)، تحلیل و پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه در چهارگوش تهران، گزارش پروژه پژوهشی پژوهشگاه بین‌المللی زمین‌لرزه شناسی و مهندسی زمین‌لرزه.
- ۸- رحمتی، صفر، باستانی فر، ایمان، سلطانی، لیلا، (۱۳۹۰)، بررسی تأثیرات تراکم بر آسیب‌پذیری ناشی از زمین‌لرزه در شهر اصفهان (با رویکرد فازی)، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، صص ۱۰۷-۱۲۲، ۲۲(۱)

- ۹- علیمردان، سعیده، سلیمانی آزاد، شهریار، قرشی، منوچهر، قاسمی، محمدرضا، اویسی، بهنام، حاتمی، احمد. (۱۳۹۳): بررسی شواهد ریخت‌زمین‌ساختی و گسلش جوان در گستره شهر جدید هشتگرد، شمال باختر تهران، فصل‌نامه علمی علوم زمین، ۲۴-۹۴، زمین‌ساخت، صص ۲۲۷-۲۳۴. Doi: 10.22071/gsj.2015.43417 .
- ۱۰- نظری، حمید، (۱۳۹۲): بررسی تحلیلی زمان احتمال رخداد زمین‌لرزه در گستره تهران: مروری بر پژوهش‌های پارینه‌لرزه‌شناسی، فصل‌نامه علمی علوم زمین، زمستان ۹۳، سال ۲۴، شماره ۹۴، صص ۲۶۳-۲۷۲. Doi: 10.22071/gsj.2015.43424 .
- 11- Algermissen, S. T. Perkins, D. M. Thenhaus, P. C. Hanson, S. L. Bender, B. L. (1982): Probabilistic Estimates Of Maximum Acceleration And Velocity In Rock In The Contiguous United States. U. S. Geological Survey, Open-File Report 82-1033, <https://doi.org/10.3133/Ofr821033>.
- 12- Allen, M.B. Ghassemi, M.R. Shahrabi, M. And Qorashi, M. (2003): Accommodation Of Late Cenozoic Oblique Shortening In The Alborz Range, Northern Iran. *Journal Of Structural Geology*, 25(5), Pp.659-672.
- 13- Ambraseys, N. N. & Melville, C. P. (1982): *A History Of Persian Earthquakes*, Cambridge University Press, 219.
- 14- Bolt, B. A. (2003): *Earthquakes*. Fifth Edition. New York: W. H. Freeman And Co, Page(S) 320.
- 15- Boostan, E. Tahernia, N. And Shafiee, A. (2015): Fuzzy—Probabilistic Seismic Hazard Assessment, Case Study: Tehran Region, Iran, *Natural Hazards*, 77(2), 525-541.
- 16- Bozorgnia, Y. Bertero, V. V. (2004): *EARTHQUAKE ENGINEERING, From Engineering Seismology To Performance-Based Engineering*. CRC PRESS, Page(S) 976.
- 17- Campbell, K.W. And Bozorgnia, Y. (2003): Updated Near-Source Ground-Motion (Attenuation) Relations For The Horizontal And Vertical Components Of Peak Ground Acceleration And Acceleration Response Spectra, *B.S.S.A.* 93[1], 314-331.
- 18- 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 10, *Journal Of Earthquake Spectra*, 24.
- 19- Cornel, C. H. (1968): *Engineering Seismic Risk Analysis*. *Bull. Seism. Soc. Am.* 54.
- 20- Djamour, Y. (2004). *Contribution De La Geodesies (GPS Et Nivellement) À L'étude De La Déformation Tectonique Et De L'aléa Seismique Sur La Region De Téhéran (Montagne De l'Alborz, Iran)*. *Faculté Des Sciences Et Des Techniques Du Languedoc l'Université Montpellier II (France)*, 180p.
- 21- Djamour, Y. Vernant, P. Bayer, R. Nankali, H.R. Ritz, J.F. Hinderer, J. Hatam, Y. Luck, B. Le Moigne, N. Sedighi, M. And Khorrami, F. (2010): GPS And Gravity Constraints On Continental Deformation In The Alborz Mountain Range, Iran. *Geophysical Journal International*, 183(3), Pp.1287-1301.
- 22- Duzgun HSB, Yucemen MS, Kalaycioglu HS, Celik K, Kemec S, Ertugayk, Deniz A. (2011): An Integrated Earthquake Vulnerability Assessment Framework For Urban Areas. *Nat Hazards* 59:917-947.
- 23- Gardner, J. K. Knopoff, L. (1974): Is The Sequence Of Earthquakes In Southern California, With Aftershocks Removed, Poisson An? *Bulletin Of The Seismological Society Of America*, 64 (5), 1363-1367.
- 24- Gutenberg, B. And Richter, C.F. (1954): *Seismicity Of The Earth And Associated Phenomena*, Princeton University Press, Princeton.
- 25- Ghodrati Amiri, G. Motamed, R. And Rabet Es-Haghi, H. (2003): Seismic Hazard Assessment Of Metropolitan Tehran, Iran. *Journal Of Earthquake Engineering*, 7(3), Pp.347-372.
- 26- Jackson, J. Priestley, K. Allen, M. & Berberian, M. (2002): Active Tectonics Of The South Caspian Basin. *Geophysical Journal International* 148, 214- 245.
- 27- Kramer, S. L. (1996): *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice Hall, Upper Saddle River, N. J. Page(S) 653.

- 28- Masson, F. Anvari, M. Djamour, Y. Walpersdorf, A. Tavakoli, F. Daignieres, M. Nankali, H. And Van Gorp, S. (2007): Large-Scale Velocity Field And Strain Tensor In Iran Inferred From GPS Measurements: New Insight For The Present-Day Deformation Pattern Within NE Iran. *Geophysical Journal International*, 170(1), Pp.436-440. Doi: 10.1111/J.1365-246X.2007.03477.X.
- 29- Mcguire, R.K. (2008): Probabilistic Seismic Hazard Analysis: Early History. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 37(3), Pp.329-338. Doi: 10.1002/Eqe.765.
- 30- Nazari, H. Ritz, J.F. Burg, J.P. Shokri, M. Haghypour, N. Vizheh, M.M. Avagyan, A. Nashli, H.F. And Ensani, M. (2021): Active Tectonics Along The Khazar Fault (Alborz, Iran). *Journal Of Asian Earth Sciences*, 219, P.104893.
- 31- Ritz, J. F. Nazari, H. Salamati, R. Shafiei, A. Solaymani, S. & Vernant, P. (2006): Active Transtension Inside Central Alborz: A New Insight Into The Northern Iran–Southern Caspian Geodynamics. *Geology* 34, 477–480.
- 32- Shroder, J. F. Wyss, M. (2014): *Earthquake Hazard, Risk And Disasters*. Academic Press, Page(S) 606.
- 33- Solaymani Azad, S. (2009): *Evaluation De L'Aléa Sismique Pour Les Villes De Téhéran, Tabriz Et Zandjan Dans Le NW De L'Iran. Approche Morphotectonique Et Paléosismologique*, Phd, University Of Montpellier, 150 P, (In French & In English).