تعیین محدوده‌های خطر زمین‌لرزه در مخروط‌افکنه‌های فعال با روش تحلیل فضایی بربریان
(مطالعهٔ موردی: مخروط‌افکنهٔ گرمسار)

سیاوش شایان[1*]، غلامرضا زارع[2]

۱- استادیار جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۲- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

دریافت: ۹۱/۱۰/۲۴ پذیرش: ۹۲/۲/۳۰

چکیده
فعالیت‌های نئوتکتونیکی باعث ناپایداری لندفرم‌های متعددی ازجمله لندفرم‌های جریانی در ایران شده است. مخروط‌افکنهٔ گرمسار از مناطقی است که در معرض خطر لرزه‌ای قرار دارد. در این پژوهش، با استفاده از داده‌های لرزه‌ای، نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی، روش حریم‌گذاری پهنه‌های خطر زمین‌لرزه‌ای در مخروط‌افکنهٔ گرمسار مشخص و تحلیل شده است. همچنین، برای مشخص کردن توان لرزه‌زایی گسل‌های اطراف مخروط‌افکنهٔ گرمسار از روابط پیشنهادی زارع، مهاجر- اشجعی و نوروزی، سلمونز، ملویل و اسمیت استفاده شده است. برای تحلیل فضایی هم از روش بربریان استفاده شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد گسل‌های گرمسار و سرخ‌کلوت بیشترین توان لرزه‌خیزی را در اطراف محدودهٔ مورد مطالعه، و گسل‌های کوه لاله‌زار و پایین‌قلعه کمترین توان لرزه‌خیزی را دارایند. حدود ۹۹ درصد جمعیت مستقر روی مخروط‌افکنه در محدودهٔ با خطر نسبی بسیار زیاد قرار دارند. حدود ۴۰/۲۶ درصد از جمعیت مخروط‌افکنه در روستاها مستقرند؛ درحالی که ۵۹/۷۴ درصد از جمعیت فقط در شهر گرمسار متمرکز شده‌اند. با توجه به این داده‌ها، لازم است در برنامه‌های آمایش سرزمین، مقاوم‌سازی و بیمهٔ خانه‌ها و تأسیسات انسانی در محدوده‌های خطر لرزه‌ای مورد توجه قرار گیرد.

واژهای کلیدی: مخاطرات ژئومورفولوژیکی، مخروط‌افکنه، زمین‌لرزه، آمایش سرزمین، گرمسار، روش تحلیل فضایی بربریان.

---

* نویسندهٔ مسئول مقاله: Email: Shayan@modares.ac.ir

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12]

۱- مقدمه

مخاطرات طبیعی اغلب با عوامل یا فرایندهایی مانند فرایندهای جوّی، هیدرولوژیکی، زمین‌شناسی، بیولوژیکی و تکنولوژیکی همراه‌اند. مخاطرات طبیعی مانند زمین‌لرزه، آتشفشان، زمین‌لغزه، سیل، سونامی و خشک‌سالی با ویژگی‌های زمین‌شناسی و هواشناسی- هیدرولوژیکی مرتبط‌اند. این مخاطرات با دینامیک‌های سطح زمین و ژئومورفولوژی منطقه ارتباط دارند. مخاطرات طبیعی هنگامی رخ می‌دهند که فرایندهای توسعهٔ فیزیکی در بستر محیطی (فعالیت انسانی) با چالش‌های محیطی مواجه شده باشند (Goudie, 2004: 423). مخاطرات ژئومورفولوژیک به رخدادها و مخاطرات زمینی گفته می‌شود که بر اثر ناپایداری ناهمواری‌های سطح زمین و فعالیت آشکار آن‌ها، منابع انسانی را تهدید می‌کند. مخاطرات ژئومورفولوژیکی رویدادهایی طبیعی‌اند که وقوع آن‌ها در بستر فعالیت‌های انسانی تهدیدآمیز و در بسیاری موارد فاجعه‌بار است (Ayala, 2002: 108). در دیدگاه ژئومورفولوژیک، مخاطرات ژئومورفیک را عاملی تهدیدزا برای منابع انسانی که ناشی از بی‌ثباتی اَشکال سطحی زمین هستند، درنظر می‌گیرند. این تهدیدها ناشی از واکنش لندفرم‌ها به فرایندهای سطحی است. اگرچه منشأ این فرایندهای درحال تکوین ممکن است در فواصل دورتری از سطح زمین قرار داشته باشد، تأثیر آن‌ها در محل وقوع چشمگیر است (Gares Et al., 1994: 20).

فلات ایران ازنظر زمین‌ساختی، یکی از فعال‌ترین مناطق جهان است و به‌عنوان بخشی از کمربند آلپ- هیمالیا، همواره لرزه‌خیزی زیادی را در طول تاریخ نشان داده است. به همین علت، زمین‌لرزه در فلات ایران یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی بوده و بر اثر بروز آن، خسارت‌های مالی و جانی زیادی برجای مانده است (فتاحی و همکاران، ۱۳۹۰: ۵۵؛ Hollingsworth Et al., 2006: 763).

مخروط‌افکنه‌ها از لندفرم‌های مهم ژئومورفولوژیکی‌اند که اغلب بستر فعالیت‌های متنوع بشری نیز هستند. این لندفرم مهم ژئومورفولوژیک (مخروط‌افکنه) در عین حال متأثر از فرایندهای مختلف، به‌ویژه فعالیت‌های زمین‌لرزه‌ای است که عوامل تهدیدکنندهٔ شکل‌های مختلف فعالیت‌های انسانی واقع در سطح آن است (رجبی و آقاجانی، ۱۳۸۹: ۱). زمین‌لرزه تکان‌های زمین است که به‌علت تخلیهٔ ناگهانی انرژی نهفته در سنگ‌های تحت فشارهای

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12]

تکتونیکی رخ می‌دهد. اغلب زمین‌لرزه‌ها با حرکت‌های توده‌های سنگ در سطح گسل‌ها رخ می‌دهند. این حرکات تا زمانی که فشارهای تکتونیکی بر فشار اصطکاکی غلبه نکند، صورت نخواهد پذیرفت (Crawford, 1998: 117). چنین حرکات لرزه‌ای در پهنهٔ ژئومورفولوژیکی مخروط‌افکنه‌ها به‌سبب شرایط خاص زایشی آن‌ها مثلاً مجاورت با لندفرم‌های حاصل از رفتارهای تکتونیکی، تکرار و توالی نسبتاً زیادی دارد؛ به‌نحوی که در اغلب موارد به‌سبب مجاورت پهنه با سطح گسلش و وقوع آن در دامنه و در قلمرو گسل، رویدادی پرتکرار و خطرآفرین است (زارع، ۱۳۸۹: ۲۵).

۲- پیشینهٔ تحقیق

رومئو و پالئیس[1] (2000: 241) براساس شدت، زمان و اوج شتاب، زمین‌لرزه‌های ایتالیا را در یک دورهٔ پنجاه‌ساله بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که در سطح احتمال ۱۰ درصد از زمین‌لرزه‌ها در دورهٔ زمانی مورد مطالعه، با دورهٔ بازگشت ٤٧٥ سال است. با توجه به نتایج تحقیق، هشت منطقهٔ لرزه‌ای در ایتالیا مشخص شد. درنهایت، در این مطالعهٔ آزمایشی، استفاده از روش‌های ترکیبی، فرایندهای نوسازی (ازجمله پیش‌بینی زلزله) و تأثیر مکان مؤثر (به‌عنوان مبنایی برای برنامه‌ریزی سناریوی زلزله) کشف شدند.

جایسوال[2] و سینها (2006: 49) با استفاده از رویکرد درخت- دانش[3] به ارزیابی احتمالاتی خطر زمین‌لرزه در شبه‌قارهٔ هند پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان می‌دهد برای بسیاری از بخش‌های شبه‌جزیرهٔ هند، خطر زمین‌لرزهٔ تخمینی، بالاتر از سطح مشخص‌شده در نقشهٔ منطقه‌بندی زمین‌لرزه است.

از پژوهش‌هایی که دربارهٔ پهنه‌بندی مکانی زمین‌لرزه در ایران انجام شده است، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- تحلیل ریسک‌پذیری مراکز جمعیتی شهرستان بستان‌آباد از مخاطرهٔ زمین‌لرزه (کرمی و همکاران، ۱۳۸۷: ۷۷): در این پژوهش از نقشه‌های توپوگرافی رقومی و زمین‌شناسی، سیستم

1. Romeo & Puliese
2. Jaiswal & Sinha
3. Knowledge- Tree

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12]

اطلاعـات جغرافیـایی و داده‌هـای لـرزه‌نگـاری تـاریخی، دسـتگاهی و حـریم‌گـذاری فاصـلهٔ سه‌کیلومتری از گسل استفاده شده است. نتایج ایـن پـژوهش نشـان مـی‌دهـد براسـاس نقشـهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه، حدود ۸۱,۴۳ درصد از مساحت شهرستان بستان‌آباد در پهنه‌هـای بـا خطر بسیار زیاد، زیاد و نسبتاً زیاد واقع شده اسـت. ٦٢ درصـد از جمعیـت ۱۰۰ هـزار نفـری شهرستان که در شهر بستان‌آباد و ۷۸ روستای پیرامون گسل تبریز زندگی می‌کنند، خطرپـذیری بسیار بالایی دربرابر حوادث ناشی از وقوع زمین‌لرزه دارند.

– ارزیابی آسیب‌پذیری فضایی بنگاه‌های اقتصادی از مخاطرهٔ زمین‌لـرزه در تهـران (گلـی و عسگری، ۱۳۸۹: ۵۵): در این پژوهش با استفاده از تحلیل مکانی و هدف اصلی آن، منابع مالی و انسانی مورد تهدید شبکهٔ بانکی شهر تهران برآورد شده است. پس از بررسی شرایط عمومی زلزله‌خیزی شهر تهران، توزیع جمعیت ساکن در سال ۱۳۸۵، شعبه‌های بانـک‌هـای مختلـف و تعداد نیروی انسانی شاغل و منابع جذب‌شده و دراختیار بانک‌ها، داده‌ها جمع‌آوری شـده و بـا استفاده از توابع تحلیل فضایی و مدل‌های عددی شبیه‌سازی زلزله و آثار آن ارزیابی شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد درصورت وقوع زلزله‌ای بـا شـدت بـیش از ۸ ریشـتر، بـیش از ۸۰ درصد منابع مالی و انسانی در معرض تهدید مستقیم خواهند بود.

– تحلیل خطر لرزه‌ای شهر کرمان (حسن‌زاده و همکاران، ۱۳۹۰: ۲۳): در این تحقیق، خطر زلزله به‌روش احتمالاتی و تحلیلی برای شهر کرمان بررسی شده است. براساس ارزیـابی خطـر زلزله با روش تحلیلی، شتاب ناشی از ۱۵ قطعه گسل در کرمان می‌تواند بـیش از 0.2 g باشـد. شدت ناشی از گسل‌های کرمان– زنگی‌آباد، شمال کرمان و اختیارآباد مـی‌توانـد بـه ۹ مرکـالی اصلاح‌شده (IX MMI) برسد. برای تعیـین میـزان خطـر نـواحی مختلـف شـهری، مطالعـات ریزپهنه‌بندی درجه ۲ تشدید جنبش زمین صورت گرفت. براساس نقشهٔ خطر به‌دسـت‌آمـده از شهر کرمان (نقشهٔ ریزپهنه‌بندی میزان تشدید جنبش زمین)، میزان خطر در بخش‌های مرکـزی، باختری و همچنین بخش‌هایی از جنوب شهر به‌شدت افزایش می‌یابد و سازه‌هـای موجـود در این بخش‌ها بر اثر زلزلهٔ احتمالی به‌شدت ویران خواهد شد.

مخروطه‌افکنهٔ گرمسار به‌علت موقعیت مکانی در دامنهٔ جنوبی رشته‌کوه البرز و حاشیهٔ کویر، دارای شرایط خاص شکل‌گیری و بهره‌برداری است. با نگاهی به مورفولوژی مخـروط‌افکنـه و حاشیهٔ آن، وجود گسل‌های معکوس (سازمان زمین‌شناسی، ۱۳۸۷) درجهت شرقی– غربـی در

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12]

شمال و رأس مخروط‌افکنه از ابتدا با جدایی کوهستان از اراضی هموار دشت، شرایط را برای رسوب‌گذاری مواد همراه جریان‌های حبله‌رود فراهم کرده است. یکی از این مخاطرات مورفولوژیکی، زمین‌لرزه است که نمی‌توان آن را در مباحث مرتبط با آمایش سرزمین از نظر دور داشت. استقرار شهر گرمسار و تعداد زیادی از سکونتگاه‌های روستایی و تأسیسات صنعتی در این مخروط‌افکنه نشان‌دهندهٔ بهره‌برداری نامتناسب از اراضی مخروط‌افکنه، تمرکز و تجمع انسان و فعالیت‌های انسانی در چنین عرصهٔ پرمخاطره‌ای با درجه نسبتاً بالایی از ناامنی فضایی و آسیب‌پذیری است. مشخص کردن پهنه‌های خطر لرزه‌ای مخروط‌افکنهٔ گرمسار موجب بهره‌برداری متناسب از مخروط‌افکنهٔ گرمسار می‌شود.

۳- داده‌ها و روش تحقیق

برای انجام تحقیق از داده‌ها و ابزارهای زیر استفاده شده است:

الف- داده‌های اسنادی مشتمل بر اطلاعات گردآوری‌شده از مطالعات کتابخانه‌ای و داده‌های لرزه‌ای برگرفته از سایت USGS[1].

ب- ابزارهای تحقیق شامل نقشهٔ توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ گرمسار، کهن‌آباد، آرادان و پاده و نقشهٔ زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ گرمسار.

در گام نخست، با مطالعهٔ کتاب‌ها و مقالات، مطالب مرتبط با موضوع تحقیق گردآوری شد. در مرحلهٔ بعد، اقدام به زمین‌مرجع‌سازی نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی در محیط نرم‌افزاری Arc GIS شد. سپس با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و تصویر ماهواره‌ای، محدودهٔ مخروط‌افکنه مشخص و ترسیم شد. لایهٔ خطوط گسلی با استفاده از نقشهٔ زمین‌شناسی و تصویر ماهواره‌ای لندست تهیه، و در پایگاه اطلاعات داده وارد شد. همچنین، موقعیت دقیق سکونتگاه‌های شهری و روستایی مستقر بر روی مخروط‌افکنهٔ گرمسار با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی استخراج، و در پایگاه اطلاعات داده ثبت شد. برای تعیین میزان لرزه‌خیزی گسل‌های منطقهٔ مورد مطالعه از روابط ۱، ۲، ۳، ٤ و ۵ استفاده شد:

1. U.S. Geological Survey

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12]

رابطهٔ ۱ $M = \log L + 5/4$ = معادلهٔ مهاجر- اشجعی و نوروزی[1] (1978)

رابطهٔ ۲ $Ln(L) * 0.91 + 3.66$ = معادلهٔ زارع[2] (1995)

رابطهٔ ۳ $Ms=1.404+1.169\log L$ = معادلهٔ سلمونز[3] (1982)

رابطهٔ ٤ $Ms=1.429\log L + 4.629$ = معادلهٔ آمبرسز و ملویل (۱۳۷۰)

(منبع: سادات ریاضی‌راد و همکاران، ۱۳۸۸: ۸۱)

رابطهٔ ۵ $Ms=5.16+1.12 \log L$ = معادلهٔ ولز و کوپراسمیت[4] (1994)

در معادلات بالا:

L طول گسل بوده و واحد آن در رابطهٔ پیشنهادی سلمونز به متر، اما در سایر روابط به کیلومتر است.

M: بزرگی زمین‌لرزه در مقیاس ریشتر است.

Ms (امواج سطحی): بزرگ‌ترین دامنهٔ موج سطحی یا موج S است. این مقیاس مبتنی‌بر اندازه‌گیری دامنهٔ امواج سطحی با دورهٔ تناوب ۲۰ ثانیه است که برای زمین‌لرزه‌هایی که در فاصلهٔ دورتر از ٦۰۰ کیلومتری ثبت شده‌اند، به‌کار می‌روند.

1. Mohajer Ashjai & Nowroozi
2. Zare
3. Selmmons
4. Wells & Coppersmith

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12]

Mw (امواج گشتاوری): بزرگای گشتاوری برای زمین‌لرزه‌هایی بزرگ‌تر از ۷/۵ تعریف شده است؛ زیرا زمین در این حالت از موج اشباع شده است. این مقیاس به‌علت نقص‌های مهم مقیاس محلی ریشتر، مقیاس بزرگی موج حجمی و تا اندازه‌های مقیاس بزرگی موج سطحی در تشخیص زمین‌لرزه‌های بزرگ ابداع شده است.

در معادلات بالا، برابر یافته‌های تحقیق زارع (1 :1995) و مهاجر- اشجعی و نوروزی (1 :1978)، توان لرزه‌ای گسل‌ها با طول گسل و مقدار جابه‌جاشدهٔ آن در ارتباط است و میان توان لرزه‌زایی و طول بخش مستقیم گسل‌های کواترنر رابطهٔ مستقیمی وجود دارد و روابطی نیز برای برآورد توان لرزه‌ای گسل‌ها توسعه یافته است. تخمین بیشترین توان لرزه‌خیزی هریک از گسل‌های فعال برپایهٔ رابطهٔ میان طول گسلش و بزرگی زمین‌لرزه امکان‌پذیر می‌شود. طول گسل‌ها با توان و بزرگی لرزه‌ای آن‌ها رابطهٔ مستقیم دارد؛ به این معنا که امکان فعالیت گسل‌های طویل بیشتر و فعالیت آن‌ها با رهایی انرژی و جابه‌جایی بسیار زیاد همراه است و درنتیجه، باعث رخداد زمین‌لرزه‌های بزرگ می‌شود (فرج‌زاده و بصیرت، ۱۳۸۵: ٦٤). برای مشخص کردن پهنه‌های خطر در مخروط‌افکنهٔ گرمسار از روش بربریان و همکاران (۱۳۷۱: ۱۰) استفاده شد. براساس روش بربریان، در مرحلهٔ نخست، گسل‌های با طول بیش از ۱۰ کیلومتر مشخص و انتخاب می‌شود؛ سپس گسل‌های نوع دوم- که دارای طول ۵ تا ۱۰ کیلومتر هستند- مشخص شده، با یک دید محافظه‌کارانه به دستهٔ نخست اضافه و عملیات حریم‌گذاری براساس فواصل زیر اعمال می‌شود که در این روش محدوده‌های خطر در چهار ناحیه قرار می‌گیرند:

الف- با فاصلهٔ ۱۰۰۰ متری از اطراف گسل با عنوان پهنهٔ حریم گسلش؛

ب- با فاصلهٔ ۳۰۰۰ متری از گسل با عنوان پهنهٔ ویرانی شدید؛

ج- با فاصلهٔ ۷۰۰۰ متری از گسل با پهنهٔ تکان‌های شدید یا ویرانی گسترده؛

د- با فاصلهٔ ۱۰۰۰۰ متری از گسل با عنوان پهنهٔ حرکت‌های تند یا خسارت زیاد.

در مرحلهٔ بعد با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS و فواصل گسل‌های مورد نظر در روش بربریان، حریم‌گذاری[1] انجام شد. سپس نقشهٔ استخراج‌شده با نقشهٔ کاربری اراضی منطبق شد تا میزان قرارگیری سکونتگاه و استقرارگاه‌های انسانی در پهنه‌های خطر به‌خوبی مشخص شود.

1. buffering

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12]

برای محاسبهٔ تعداد جمعیت ساکن در هر پهنهٔ خطر نیز از داده‌های آماری (مرکز آمار ایران، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰) استفاده شد.

۴- ویژگی‌های منطقهٔ مورد مطالعه

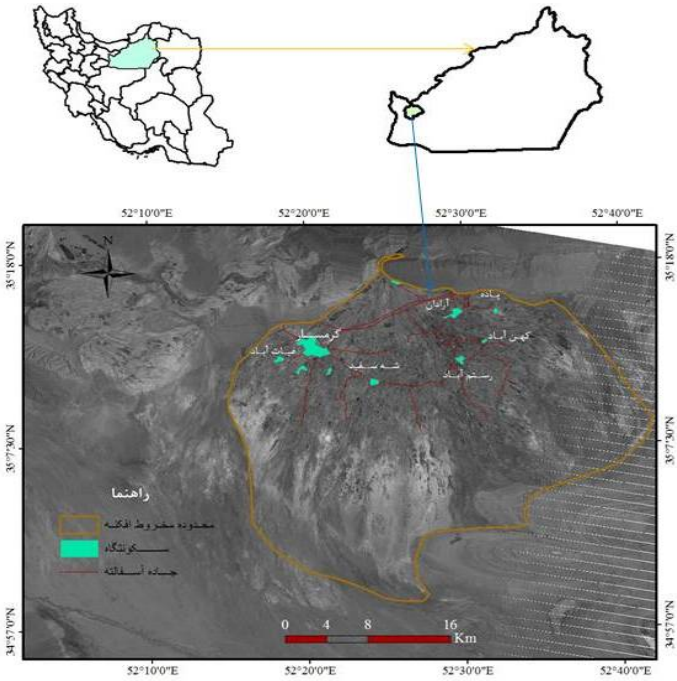
به‌علت وقوع زمین‌لرزه‌های متعدد (جدول ٤) در گسترهٔ مخروط‌افکنهٔ گرمسار و تمرکز خانه‌های با کیفیت‌های متفاوت (براساس مشاهدات میدانی، شکل ۱) و نیاز به برنامه‌ریزی‌های مرتبط با بهینه‌سازی خانه‌ها در این محدودهٔ پرخطر، مخروط‌افکنهٔ گرمسار به‌عنوان محدودهٔ مطالعاتی انتخاب و بررسی شد.

شکل ۱ تمرکز ساختمان‌هایی با کیفیت‌های متفاوت در مخروط‌افکنهٔ گرمسار (نگاه از جنوب)

مخروط‌افکنهٔ گرمسار در غرب استان سمنان و بین ۵۲ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۳۵ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۵ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. ازنظر زمین‌شناسی، در دامنهٔ جنوبی رشته‌کوه البرز حبله‌رود هم‌زمان با حفر و ایجاد دره (علایی طالقانی، ۱۳۸۲: ۲۸٦) مخروط‌افکنهٔ گرمسار را در پای این رشته‌کوه و شمال دشت کویر ایجاد کرده است (شکل ۲). قبل از احداث بند انحرافی بن‌کوه در ابتدای مخروط‌افکنه، پنج آبراهه وجود داشت که در فاصلهٔ کمی از آبراهه‌ها، نهشته‌گذاری نسبتاً مهمی از مواد درشت‌دانه صورت گرفته است. در حال حاضر، بقایای پنج مسیل اصلی که از منطقهٔ رأس مخروط‌افکنه عبور کرده است، دیده می‌شود. براساس آمارِ رسوب ایستگاه هیدرومتری گرمسار که در رأس مخروط‌افکنه قرار دارد، میانگین

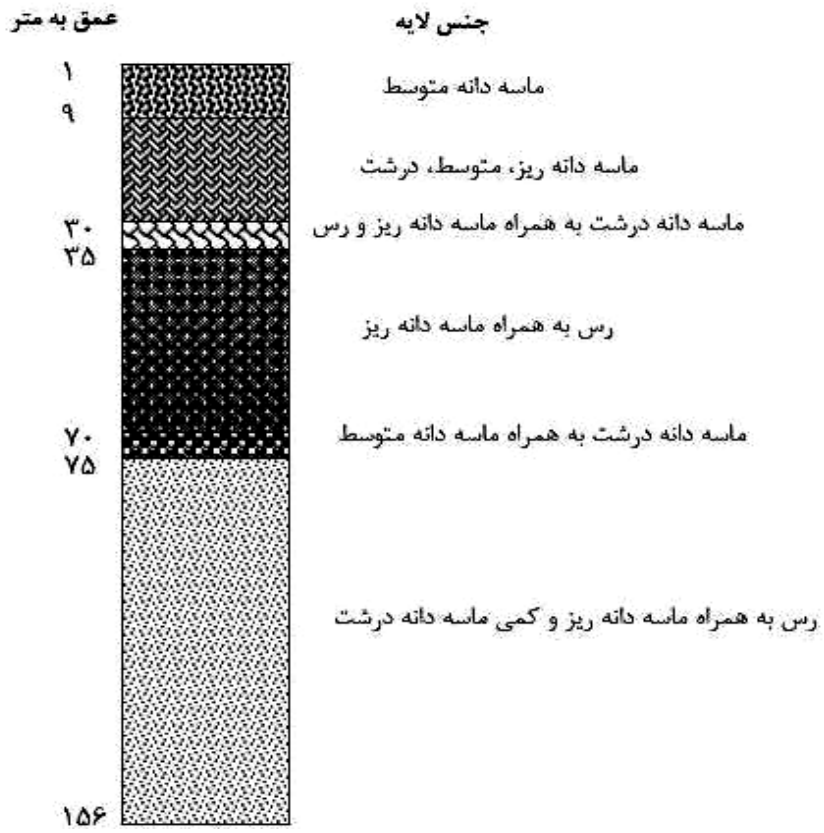
[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12]

رسوب حبله‌رود که از سد عبور کرده، ۱۰۸/۳۰۵ تن در هکتار است. براساس آمار موجود، بیشترین مقدار رسوب مربوط به ماه‌های فروردین و اسفند به‌ترتیب با ۲۱/۰۸ و ۲۰/۳۲ تن در هکتار و حداقل نهشته‌گذاری در شهریور و مرداد ماه به‌ترتیب با ۱۷٪ و ۸۵٪ تن در هکتار است. برپایهٔ آمارهای این ایستگاه، در تمام ماه‌های سال بر روی مخروط‌افکنه نهشته‌گذاری صورت می‌گیرد. با توجه به انشعابات جدید طی دوره‌های تاریخی اخیر و رسوب‌زایی حوضه که از نشانه‌های ژئومورفولوژیک فعال بودن مخروط‌افکنه‌ها به‌شمار می‌آید، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مخروط‌افکنهٔ گرمسار از مخروط‌افکنه‌های فعال است. همچنین، معیارهای دیگری مانند نوسان‌های رسوب در کناره‌ها و بخش انتهایی مخروط‌افکنه و نیز وجود تقطیع در نهشته‌های رأس مخروط که در لوگ‌های مربوط (شکل ۳) به مخروط‌افکنه مشاهده می‌شود، این مخروط را به مخروط‌های نسبتاً فعال ژئومورفولوژیک تبدیل کرده است.



شکل ۲ موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12]



شکل ۳ لوگ ترسیم‌شدهٔ یک چاه در رأس مخروط‌افکنهٔ گرمسار

آمار و ارقام جمعیت منطقهٔ مورد مطالعه افزایش جمعیت را نشان می‌دهد. طی سال‌های ۱۳۵۵ تا ۱۳۸۵، جمعیت منطقه تقریباً دوبرابر شده است. در این دوره، جمعیت شهری در ابتدا کاهش یافته؛ به‌طوری که در سال ۱۳٦۵ تقریباً نیمی از جمعیت منطقه در شهرها سکونت داشته‌اند. اما با توجه به افزایش امکانات و خدمات عمومی و رفاهی در شهرهای واقع در مخروط‌افکنهٔ گرمسار (آرادان، گرمسار و کهن‌آباد)، جمعیت شهری افزایش چشمگیری یافته است (جدول ۱).

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12]

جدول ۱ ویژگی‌های جمعیتی منطقهٔ مورد مطالعه

سال آماری	۱۳۵۵	۱۳۶۵	۱۳۷۵	۱۳۸۵
کل جمعیت	٤٣٣٥٨	٥٨١٦٥	٦٧٨٤٧	٧٨٦١٩
جمعیت روستایی به درصد	٦٨/٧	٥٠/٣	٦٢/٦	٦٩/٨١
جمعیت شهری به درصد	٣١/٣	٤٩/٧	٣٧/٤	٣٠/١٩
وضعیت اشتغال افراد در بخش کشاورزی	-	-	-	٥٥٣
بخش استخراج معدن				٤٩٦
بخش تأمین برق				٤٤٧٠
بخش ساختمان				٢٨٥٩
عمده و خرده‌فروشی				٢٢٢٧
هتل و رستوران				١٠٧
حمل‌ونقل				٢٢٥٢
واسطه‌گری مالی				٣٥٩
مستغلات				٣١٨
ادارهٔ عمومی				١٩٥٠
دفاع و تأمین اجباری				١٦٩٤
آموزش				٥٨٣
بهداشت				٥١٦
فعالیت‌های عمومی، اجتماعی و شخصی				

(منبع: مرکز آمار ایران، ۱۳۸۵)

از بین جمعیت ۷۸٦۱۹ نفری منطقه در سال ۱۳۸۵، ۵۵۵۳ نفر در بخش کشاورزی، ٤۹٦ نفر در بخش استخراج معدن، ٤٤۷۰ نفر در بخش تـأمین بـرق، گـاز و آب، ۲۸۵۹ نفـر در بخـش ساختمان، ۲۲۲۷ نفر در بخش عمده و خرده‌فروشی، ۱۰۷ نفر در بخش هتل و رستوران، ۲۲۵۲ نفر در بخش حمل‌ونقل، ۳۵۹ نفر در بخش واسطه‌گری مالی، ۳۱۸ نفـر در بخـش مسـتغلات، ۱۹۵۰ نفر در بخش ادارهٔ عمومی، دفاع و تأمین اجباری، ١٦٩٤ نفر در بخش آموزش، ۵۸۳ نفر

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12]

در بخش بهداشت و ۵۱٦ نفر در بخش فعالیت‌های عمومی، اجتماعی و شخصی اشتغال دارند (مرکز آمار ایران، ۱۳۸۵؛ جدول ۱). براساس سالنامهٔ آماری ۱۳۸۵، شهر گرمسار با جمعیت ۳۸۸۹۱ نفر، پرجمعیت‌ترین مرکز سکونتگاهی در منطقهٔ مورد مطالعه است. کاربری اراضی و مساحت‌های هر قسمت بر روی مخروط‌افکنهٔ گرمسار عبارت‌اند از: مساحت پارک جنگلی ۰/۸۱، سکونتگاه‌ها ۷/۲٤، زمین‌های کشاورزی ٤۰٦/۳٤ کیلومتر مربع و اراضی بایر ٤۹٦/۷۵ کیلومتر مربع. همچنین، طول قنات‌ها ۳۲/۵، آبراهه‌ها ۱٦۸، چشمه‌ها، ۱۳/٦، راه‌های ارتباطی اصلی ۸۷/۷۳ و کانال‌های انتقال آب ٤۳/۷۱ کیلومتر است (شکل ۹).

۵- بحث و نتایج

۵-۱- گسل‌های فعال منطقه

ویژگی‌های گسل‌های مجاور با محدودهٔ مورد مطالعه براساس نقشه‌های زمین‌شناسی به شرح زیر است (جدول ۲):

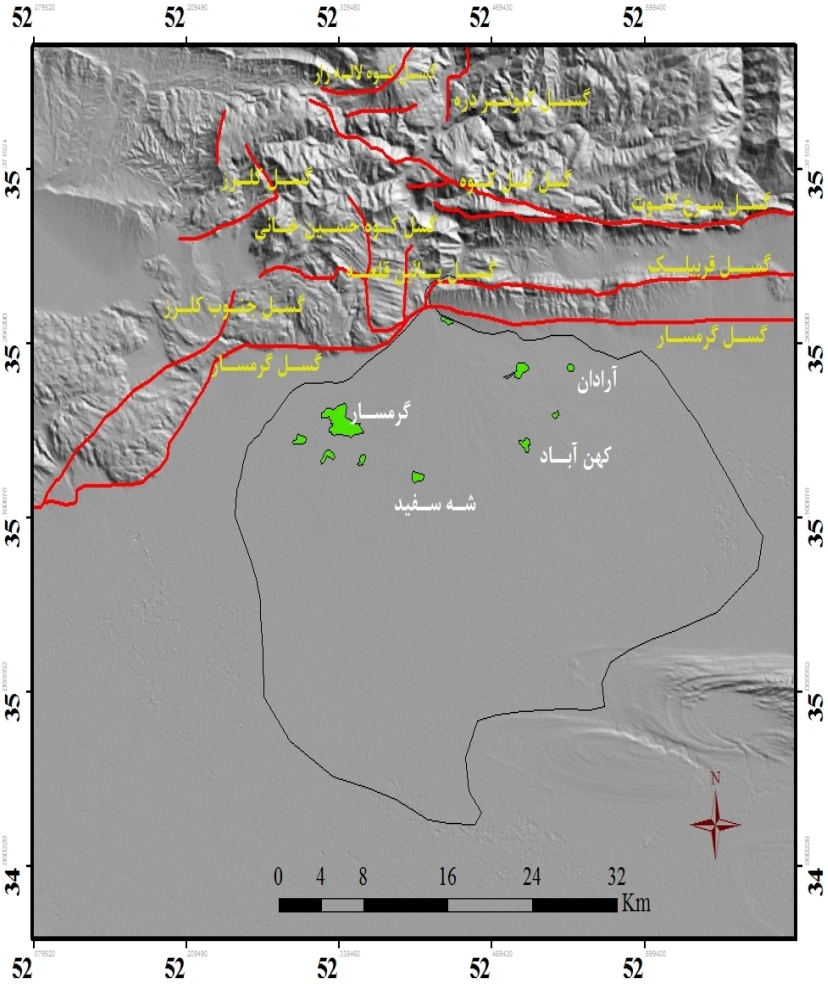
جدول ۲ خصوصیات گسل‌های محدودهٔ مورد مطالعه

ردیف	نام گسل	طول گسل (کیلومتر)	راستای گسل	نوع گسل
۱	سرخ‌کلوت	۵۳	غرب- شرق تا غرب شمال‌غرب- شرق جنوب‌شرق	چپ‌گرد
۲	قربیلک	۲٤	شرق- غرب	چپ‌گرد
۳	کل‌کوه	۲۲	شمال‌غرب- جنوب‌شرق	راست‌گرد
٤	کبوتردره	۸٫۵	شمالی- جنوبی	راست‌گرد
۵	کوه لاله‌زار	۷	شمال‌شرق- غرب جنوب‌غربی	چپ‌گرد
٦	کوه کلرز	۷٫۵	شمال‌شرق- جنوب‌شرقی	چپ‌گرد
۷	پایین‌قلعه	۷	شمال- جنوب	چپ‌گرد
۸	کوه حسین‌خانی	۸	شمال- جنوب	چپ‌گرد
۹	جنوب کلرز	۱۱	شمال‌شرق- جنوب‌غرب	چپ‌گرد
۱۰	گرمسار	۱۰۰	شمال‌شرقی- جنوب‌غربی	چپ‌گرد

(منبع: سازمان زمین‌شناسی، ۱۳۸۷)

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12]

در شکل شمارهٔ چهار نیز موقعیت گسل‌های محدودهٔ مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل ۴ پراکندگی گسل‌ها در اطراف مخروط‌افکنهٔ گرمسار (براساس نقشهٔ زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ گرمسار)

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12]

۵-۲- توان لرزه‌خیزی گسل‌های منطقهٔ مورد مطالعه

با توجه به محاسبات انجام‌شده، طول گسل با توان لرزه‌خیزی آن هم‌بستگی دارد. نتایج نشان می‌دهد گسل گرمسار و گسل سرخ‌کلوت به‌سبب طول زیاد، به‌ترتیب بیشترین توان لرزه‌خیزی را در اطراف مخروط‌افکنهٔ گرمسار دارند. با توجه به فاصلهٔ اندک گسل گرمسار از مخروط‌افکنه، درصورت رخداد زمین‌لرزه در راستای این گسل، خسارت‌های زیادی به‌بار می‌آید. کمترین توان لرزه‌خیزی نیز مربوط به گسل‌های کوه لاله‌زار و پایین‌قلعه با بزرگی ۵/۹ است (جدول ۳).

رابطهٔ ۱ $M = \log L + 5/4$ = معادلهٔ مهاجر- اشجعی و نوروزی (1978)

رابطهٔ ۲ $Ln (L) * 0.91 + 3.66$ = معادلهٔ زارع (1995)

رابطهٔ ۳ $Ms = 1.404 + 1.169 \log L$ = معادلهٔ سلمونز (1982)

رابطهٔ ٤ $Ms = 1.429 \log L + 4.629$ = معادلهٔ امبرسز و ملویل (۱۳۷۰)

رابطهٔ ۵ $Ms = 5.16 + 1.12 \log L$ = معادلهٔ ولز و کوپراسمیت (1994)

محاسبات صورت‌گرفته براساس روابط بالا (جدول ۳) تفاوت‌هایی را در میزان توان لرزه‌خیزی گسل‌ها بیان می‌کند. برای مثال، توان لرزه‌خیزی گسل گرمسار در رابطهٔ زارع ۷/۸۵ ریشتر بوده؛ درحالی که در سایر روابط ۷/۲۵ تا ۷/٤۹ محاسبه شد. با توجه به این محاسبات، میانگین اعداد به‌دست‌آمده محاسبه شد که عدد ۷/٤۸ ریشتر برای توان لرزه‌خیزی گسل گرمسار به‌دست آمد. با توجه به اینکه حداکثر زمین‌لرزهٔ ثبت‌شده در محدوده مورد مطالعه ۷/٦ ریشتر بوده است، می‌توان گفت محاسبات صورت‌گرفته به‌طور نسبی با واقعیت انطباق دارد.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12]

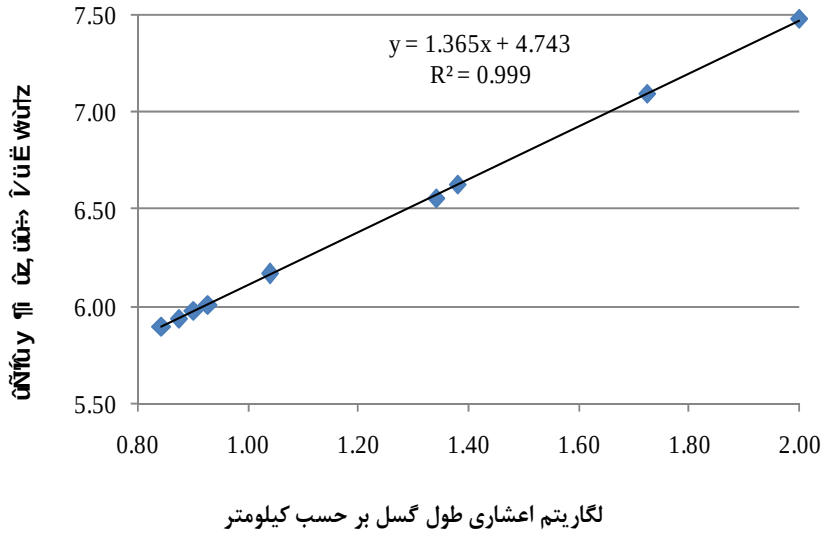
جدول ۳ توان لرزه‌خیزی گسل‌های اطراف مخروط‌افکنهٔ گرمسار

ردیف	نام گسل	طول گسل (کیلومتر)	بزرگی محاسبه شده بر حسب معادلات					
			مهاجر-اشجعی و نوروزی (1978)	زارع (1995)	سلمونز (1982)	آمبرسز و ملویل (۱۳۷۰)	کوپراسمیت (1994)	میانگین
۱	سرخ‌کلوت	۵۳	۷/۱۲	۷/۲۷	٦/۹۲	۷/۰۹	۷/۰۹	۷/۱
۲	قربیلک	۲٤	٦/۷۸	٦/۵۵	٦/۵۲	٦/٦	٦/۷	٦/٦۳
۳	کل‌کوه	۲۲	٦/۷٤	٦/٤۷	٦/٤۸	٦/۵٤	٦/٦٦	٦/۵٦
٤	کبوتردره	۸,۵	٦/۳۲	۵/٦۱	٦	۵/۹٦	٦/۲	٦/۰۱
۵	کوه لاله‌زار	۷	٦/۲٤	۵/٤۳	۵/۹	۵/۸۳	٦/۱	۵/۹
٦	کوه کلرز	۷,۵	٦/۲۷	۵/٤۹	۵/۹۲	۵/۸۷	٦/۱۳	۵/۹٤
۷	پایین‌قلعه	۷	٦/۲٤	۵/٤۳	۵/۹	۵/۸۳	٦/۱	۵/۹
۸	کوه حسین‌خانی	۸	٦/۳	۵/۵۵	۵/۹٦	۵/۹۱	٦/۱۷	۵/۹۸
۹	جنوب کلرز	۱۱	٦/٤٤	۵/۸٤	٦/۱۲	٦/۱۱	٦/۳۲	٦/۱۷
۱۰	گرمسار	۱۰۰	۷/٤	۷/۸۵	۷/۲۵	۷/٤۹	۷/٤	۷/٤۸

هم‌بستگی بین داده‌ها نشان می‌دهد بزرگای زمین‌لرزه‌ها با لگاریتم طول گسل هم‌بستگی مثبت و مستقیم دارد (شکل ۵). بنابراین، برای منطقهٔ مورد مطالعه رابطهٔ ٦ پیشنهاد می‌شود. با توجه به محاسبات انجام‌شده براساس روابط پیشنهادی که در این تحقیق از آن استفاده شد، برای محدودهٔ مورد مطالعه رابطهٔ زیر پیشنهاد می‌شود. در این رابطه، L طول گسل به کیلومتر است:

$$M= 1.36\log L+4.74$$ رابطهٔ ٦

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12]



شکل ۵ نمودار هم‌بستگی لگاریتم طول گسل با بزرگای زمین‌لرزه در مخروط‌افکنهٔ گرمسار

۵-۳- زمین‌لرزه‌های تاریخی و ثبت‌شده

گه‌گاهی زمین‌لرزه‌های خطرناکی در گرمسار و حوالی آن رخ می‌دهد. شدت این زمین‌لرزه‌ها معمولاً به‌قدری است که تمام پهنهٔ مخروط‌افکنهٔ گرمسار را تحت تأثیر قرار می‌دهد. شدیدترین زمین‌لرزه مربوط به سدهٔ چهارم قبل از میلاد با بزرگای ۷/٦ بوده که به‌شدت منطقه را لرزانده است (امبرسز و ملویل، ۱۳۷۰: ۲۰). البته، در سال ۷۳٤م نیز زمین‌لرزه‌ای با بزرگای ۷/۲ ریشتر در منطقه رخ داده که موجب ویرانی‌ها و خسارت‌های جانی زیادی شده بود. درمجموع، ۷٦ زمین‌لرزه در مخروط‌افکنهٔ گرمسار یا اطراف آن یعنی شعاعی که بر مخروط‌افکنه تأثیر می‌گذارد، ثبت و گزارش شده است (جدول ٤ و شکل ٦).

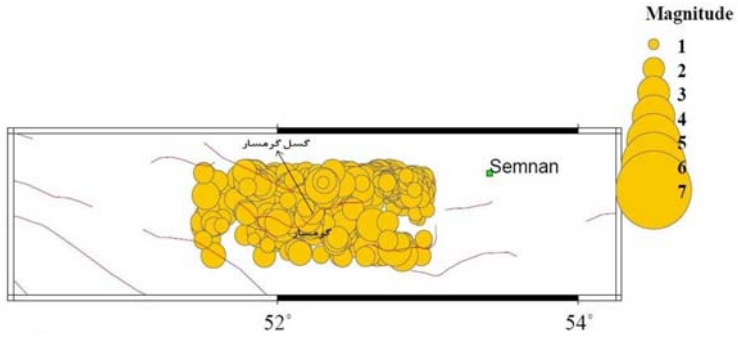
[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12]

جدول ۴ زمین‌لرزه‌های گزارش و ثبت‌شدهٔ منطقهٔ مورد مطالعه

تاریخ رخداد م.	بزرگا	تاریخ رخداد م.	بزرگا	تاریخ رخداد م.	بزرگا	تاریخ رخداد م.	بزرگا
٤٠٠ ق. م	٧/٦	٧٣٤	٧/٢	١٩٤٥	٤/٧	١٩٥٤	٤/٥
١٩٥٧	٥/٥	١٩٧٣	٣/٩	١٩٧٩	٤/٦	١٩٧٩	٤/٦
١٩٨٠	٤/٥	١٩٨٢	٥/٤	١٩٨٣	٤/٤	١٩٨٨	٥/٣
١٩٨٨	٥/٢	١٩٨٨	٤/٦	١٩٨٨	٤/٧	١٩٨٨	٤/٩
١٩٨٨	٤/٧	١٩٨٨	٤/٢	١٩٨٨	٤/٤	١٩٩١	٤/٥
١٩٩٣	٤/٦	٢٠٠١	٣/٦	٢٠٠١	٣/٨	٢٠٠١	٢/٦
٢٠٠٢	٣/٩	٢٠٠٣	٤/٢	٢٠٠٣	٢/٩	٢٠٠٣	٣/٥
٢٠٠٤	٣/٢	٢٠٠٤	٢/٦	٢٠٠٥	٢/٧	٢٠٠٦	٣/٣
٢٠٠٦	٢/٥	٢٠٠٦	٢/٧	٢٠٠٦	٢/٦	٢٠٠٦	٣
٢٠٠٧	٢/٨	٢٠٠٧	٢/٥	٢٠٠٧	٢/٨	٢٠٠٧	٢/٦
٢٠٠٧	٢,٥	٢٠٠٧	٣/٤	٢٠٠٧	٢/٩	٢٠٠٧	٢/٦
٢٠٠٧	٢/٧	٢٠٠٧	٢/٧	٢٠٠٧	٣/٢	٢٠٠٨	٢/٥
٢٠٠٨	٣/٤	٢٠٠٨	٢/٧	٢٠٠٨	٣	٢٠٠٨	٢/٥
٢٠٠٨	٢/٥	٢٠٠٨	٣/٥	٢٠٠٨	٢/٧	٢٠٠٨	٢/٧
٢٠٠٨	٣	٢٠٠٨	٢/٨	٢٠٠٨	٢/٦	٢٠٠٨	٣/٢
٢٠٠٨	٣/٣	٢٠٠٨	٣	٢٠٠٨	٣/٥	٢٠٠٨	٢/٧
٢٠٠٨	٢/٩	٢٠٠٩	٢/٩	٢٠٠٩	٢/٥	٢٠٠٩	٢/٧
٢٠٠٩	٢/٧	٢٠٠٩	٣	٢٠٠٩	٣/١	٢٠٠٩	٢/٧
٢٠١٠	٣/١	٢٠١٠	٣/١	٢٠١٠	٣/٣	٢٠١٠	٢/٩

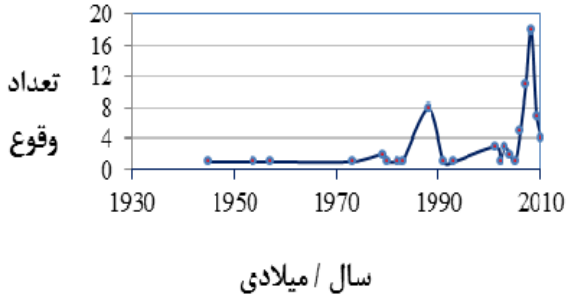
(منبع: امبرسز و ملویل، ۱۳۷۰ و سایت USGS)

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12]



شکل ۶ پراکندگی زمین‌لرزه در محدودهٔ مورد مطالعه
(منبع: http://irsc.ut.ac.ir)

اولین زمین‌لرزهٔ ثبت‌شده که محدودهٔ مخروط‌افکنهٔ گرمسار را تحت تأثیر قرار داده، در سال ۱۹٤٥م رخ داده است. به‌طور کلی، از سال ۱۹٤٥ تا ۱۹۸۸م وقوع زمین‌لرزه‌ها روند ثابتی داشته؛ اما در سال ۱۹۸۸م یکباره هشت زمین‌لرزه رخ داده که این روند را به‌هم زده است. از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۰م نیز از تعداد زمین‌لرزه‌ها کاسته شده است؛ اما از این سال به بعد، بیشترین زمین‌لرزه‌ها در محدودهٔ مورد مطالعه رخ داده است؛ به‌طوری که در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸م به‌ترتیب ۱۱ و ۱۸ زمین‌لرزه اتفاق افتاده است. این روند از سال ۲۰۰۹م به بعد دوباره روندی نزولی داشته است (شکل ۷).



شکل ۷ تعداد زمین‌لرزه‌ها طی سال‌های ۱۹۴۵ تا ۲۰۱۰م

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12]

نکتهٔ دیگر دربارهٔ بزرگای زمین‌لرزه‌هاست. بزرگای زمین‌لرزه‌ها بین ۲/۵ تا ۵/۵ ریشتر بوده و بیشترین تعداد زمین‌لرزه‌ها مربوط به بزرگای ۲/۷ ریشتر با ۱۱ مورد ثبت‌شده است. نکتهٔ درخور توجه این است که زمین‌لرزه‌های بالای ۵ ریشتر فقط ٤ مورد بوده؛ درحالی که بزرگای زمین‌لرزه‌های دههٔ اخیر کمتر از ۳ ریشتر است (شکل ۸).

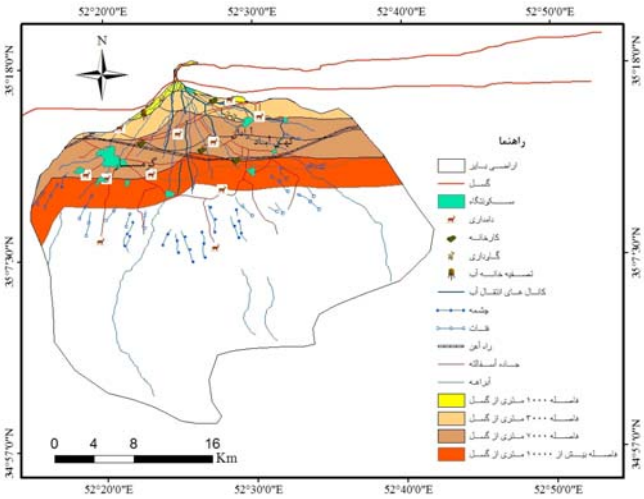
شکل ۸ تعداد بزرگای زمین‌لرزه‌های رخداده در محدودهٔ مورد مطالعه

۵-۴- پهنه‌بندی براساس فاصله از گسل

براساس روش بربریان و همکاران (۱۳۷۱)، بیشتر مراکز جمعیتی مستقر روی مخروط‌افکنه در پهنهٔ سوم، یعنی فاصلهٔ ۳۰۰۰ تا ۷۰۰۰ متری از گسل گرمسار واقع شده‌اند. با توجه به مبانی نظری مدل، خصوصیات این ناحیه دارای تکان‌های شدید همراه با ویرانی گسترده است. شهر گرمسار با فاصلهٔ ۵ کیلومتر، آرادان ۳، کهن‌آباد ٦/۵، داورآباد ۵/٦ کیلومتر و سایر سکونتگاه‌ها که به‌صورت خطی در قسمت‌های میانهٔ بالایی مخروط‌افکنه استقرار یافته‌اند (پاده، کند، هشت‌آباد و غیاث‌آباد) در ناحیهٔ ۳ مدل واقع شده‌اند. روستاهای لجران، کوشک اربابی، کوشک و رستم‌آباد در ناحیهٔ ٤ یعنی محدودهٔ ۷۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ هزار متری از گسل گرمسار واقع شده‌اند (شکل ۹). ویژگی ناحیهٔ ٤، حرکات تند همراه با خسارت زیاد است. روستای شه‌سفید تنها سکونتگاهی است که در فاصلهٔ بیش از ۱۰۰۰۰ متری از گسل قرار گرفته است (شکل ۹) و احتمال خطر و میزان آسیب‌پذیری آن کمتر از سایر مراکز جمعیتی است. با توجه به اینکه گرمسار بزرگ‌ترین مرکز جمعیتی در سطح محدودهٔ مورد مطالعه است، بیشترین امکانات رفاهی، آموزشی، اداری و بهداشتی در فاصلهٔ ۳۰ کیلومتری از این شهر در اینجا قرار دارد.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12]

بنـابراین، از یـک‌سـو تمرکـز امکانـات و از سـوی دیگـر قـرار گـرفتن در محـدودهٔ پرخطـر، مقاوم‌سازی ساختمان‌ها و مراکز اداری جهت کاهش آسـیب‌پـذیری را ضـروری کـرده اسـت. هم‌پوشانی نقشهٔ کاربری اراضی و مخاطرهٔ زمین‌لـرزه نشـان مـی‌دهـد (شـکل ۹) اکثـر مراکـز جمعیتی و استقرارگاه‌های انسانی در فاصله‌ای کمتر از ۱۰ کیلومتر قرار دارند. تصـفیه‌خانـهٔ آب شهر گرمسار که ازنظر حیاتی بسیار حائز اهمیـت اسـت، در فاصـله‌ای کمتـر از ۵۰۰ متـری از گسل واقع شده است. اکثر دامداری‌ها و کارخانه‌ها نیز در فاصلهٔ ۳۰۰۰ تا ۷۰۰۰ متری از گسل گرمسار واقع شده‌اند. فقط ۳ دامداری در فاصلهٔ بیش از ۱۰۰۰۰ متری وجود دارد. البته، ناگفتـه نمانـد کـه یـک کارخانـه و دو دامـداری در فاصـلهٔ کمتـر از ۱۰۰۰ متـری از گسـل در رأس مخروط‌افکنه واقع شده‌اند (شکل ۹). همچنین، خط راه‌آهن تهران- مشهد نیز در فاصـلهٔ ۳۰۰۰ تا ۷۰۰۰ متری از گسل مستقر است و با توجه به اهمیت آن در حمل‌ونقل، از جایگـاه ویـژه‌ای در مدیریت محیطی جهت کـاهش آسـیب‌پـذیری برخـوردار اسـت. بـا توجـه بـه قرارگیـری کاربری‌های اراضی بسیار مهم گرمسار در منطقهٔ با خطر زیاد، درصورت عـدم مقـاوم‌سـازی و رعایت حریم گسـل‌هـا، بـا وقـوع زمـین‌لـرزه‌هـای خطرنـاک میـزان آسـیب‌پـذیری مراکـز و استقرارگاه‌های انسانی افزایش می‌یابد.



شکل ۹ نقشهٔ هم‌پوشانی کاربری اراضی با پهنه‌های خطر زمین‌لرزه

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12]

با توجه به اینکه اکثر سکونتگاه‌ها و مراکز جمعیتی مستقر در گرمسار در محدودهٔ با خطر زیاد و نسبتاً زیاد قرار گرفته‌اند، بررسی جنس مصالح سکونتگاه‌ها و استقرارگاه‌های انسانی نیز اهمیت ویژه‌ای دارد. براساس گزارش مرکز آمار ایران (۱۳۸۵)، حدود ۲۰۱۵٤ هزار واحد سکونتگاهی در سطح مخروط‌افکنه وجود دارد که حدود ۱۳۸٤٦ واحد (٦۸/۷ درصد) در مناطق شهری و ٦۳۰۸ واحد (۳۱/۳ درصد) در مناطق روستایی واقع شده‌اند (جدول ٤). براساس آمار موجود، ۳٦/۹ درصد از واحدهای مسکونی در مناطق شهری و ۲۰/٦ درصد از واحدهای مسکونی در مناطق روستاییِ دارای مصالح مقاوم دربرابر زمین‌لرزه هستند؛ درحالی که ٦۳/۱ درصد از واحدهای مسکونی در مناطق شهری و ۷۹/٤ درصد از واحدهای مسکونی روستایی فاقد مقاومت لازم و کافی دربرابر زمین‌لرزه هستند؛ بنابراین اکثر واحدهای مسکونی مستقر در مخروط‌افکنهٔ گرمسار فاقد مقاومت لازم دربرابر رخداد زمین‌لرزه‌اند.

جدول ۵ واحدهای مسکونی معمولی برحسب نوع اسکلت بنا

ردیف	نوع اسکلت بنا، مصالح به‌کاررفته	تعداد در مناطق شهری	تعداد در مناطق روستایی
۱	فلزی	۲۹۳۳	۸۸۲
۲	بتون آرمه	۲۱۷٦	٤۱۷
۳	آجر و آهن یا سنگ و آهن	۷۷۱۱	۳۸۵۹
٤	آجر و چوب یا سنگ و چوب	۲۱۳	۲۸
۵	بلوک سیمانی با هر نوع سقف	۲۵	٤۱
٦	تمام‌آجر یا سنگ و آجر	۷	۲۷۷
۷	تمام‌چوب	۰	۳
۸	خشت و چوب	۷۳	۱۲۹
۹	خشت و گل	۳۰۲	٦۰۹
۱۰	سایر	۷	۳
۱۱	اظهارنشده	۳۹۹	٦۰
۱۲	جمع کل	۱۳۸٤٦	٦۳۰۸

(منبع: مرکز آمار ایران، ۱۳۸۵)

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12]

۵-۵- محاسبهٔ خطرپذیری براساس جمعیت

برمبنای آمار سال ۱۳۸۵، دهستان لجران (شامل روستاهای لجران، کوشک اربابی و غیره) با جمعیت ۱۰۳۲۹ نفر، پرجمعیت‌ترین مرکز روستایی در مخروط‌افکنهٔ گرمسار است. همچنین، حومهٔ گرمسار با ۳۲٦٦ نفر کم‌جمعیت‌ترین مرکز روستایی در محدودهٔ مورد مطالعه است (جدول ٦).

جدول ۶ جمعیت دهستان‌های مستقر در مخروط‌افکنهٔ گرمسار

ردیف	نام دهستان	جمعیت
۱	لجران	۱۰۳۲۹
۲	کهن‌آباد	۸۲۷۵
۳	یاتری	۵۷۵۱
٤	حومه	۳۲٦٦
جمع	-	۲۷٦۲۱

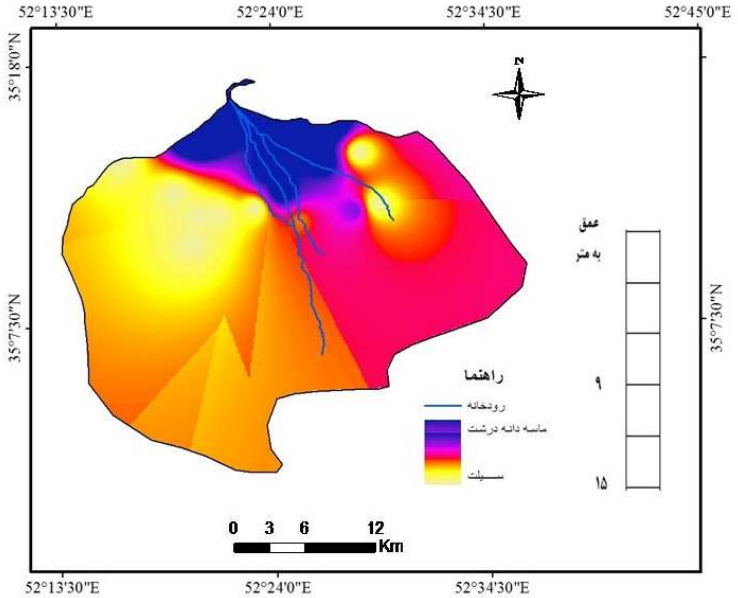
(منبع: مرکز آمار ایران، ۱۳۸۵)

با محاسبهٔ خطرپذیری جمعیت آشکار می‌شود که درصورت وقوع زمین‌لرزه، اکثر جمعیت مستقر در مخروط‌افکنه (گرمسار، لجران، کهن‌آباد، یاتری و حومه) با جمعیت ٦۸٦۰٦ نفر در پهنهٔ تکان‌های شدید یا ویرانی گسترده قرار خواهند داشت. تنها سکونتگاهی که در محدودهٔ با خسارت زیاد قرار گرفته، روستای شه‌سفید از دهستان حومه با جمعیت ۵۸۳ نفر است. بنابراین، حدود ۹۷/۸۹ درصد از جمعیت مراکز سکونتگاهی روستایی در محدودهٔ با خطر بسیار زیاد قرار دارد. براساس سرشماری سال ۱۳۹۰، جمعیت شهر گرمسار نیز ٤۰۹۸۵ نفر است. به‌نظر می‌رسد درصورت وقوع زمین‌لرزه، شهر گرمسار به‌علت جمعیت زیاد، خطرپذیری جمعیت آن از زمین‌لرزه زیاد باشد. همان‌طور که در شکل شمارهٔ نه نیز دیده می‌شود، این مرکز سکونتگاهی در محدودهٔ با خطر بسیار بالا واقع شده است؛ بنابراین به‌طور کلی، ۹۹/۱۵ درصد از جمعیت مستقر در مخروط‌افکنهٔ گرمسار در معرض زمین‌لرزه‌های شدید قرار دارند.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12]

۵-۶- نقش ویژگی‌های رسوبی در افزایش خسارت مخاطرهٔ زمین‌لرزه

براساس داده‌های لوگ چاه‌ها در محدودهٔ مخروط‌افکنهٔ گرمسار (لایهٔ سطحی) تا عمق ۱۵ متر، در رأس مخروط‌افکنهٔ گرمسار مواد درشت‌دانه وجود دارد که با نزدیک شدن به قسمت‌های میانی و قاعدهٔ مخروط‌افکنه از اندازهٔ این مواد کاسته می‌شود و به رسوبات ریزدانه (سیلت) تغییر اندازه می‌دهند (شکل ۱۰). با توجه به پراکنش مواد دانه‌متوسط و ریز که اغلب در بخش‌های مرکزی و جنوبی (انتهایی) مخروط‌افکنه واقع شده‌اند و اینکه روانگرایی ارتباط نزدیکی با مواد دانه‌متوسط و ریز دارد، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مناطق با سکونت کم (روستای شه‌سفید) در این پهنه‌ها قرار می‌گیرند و روانگرایی بر اثر فعالیت‌های لرزه‌ای کمتر به بخش‌های بالایی مخروط‌افکنه- که روستاها و مراکز سکونتی را دربرمی‌گیرد- آسیب خواهد زد. به عبارت دیگر، ویژگی‌های ژئومورفولوژیک و رسوبی بیشتر به‌عنوان پارامترهای مقاوم درمقابل روانگرایی عمل می‌کنند.



شکل ۱۰ رسوبات لایهٔ سطحی مخروط‌افکنهٔ گرمسار

(منبع: داده‌های وزارت نیرو، ۱۳۸۷)

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12]

۶- نتیجه‌گیری

بررسی وضعیت زمین‌لرزه‌های رخداده در محدوده حاکی از فعال بودن آن‌هاست. همچنین، این زمین‌لرزه‌ها و بزرگی آن‌ها ظرفیت مخاطرهٔ زمین‌لرزه‌ای در محدودهٔ مورد مطالعه را نشان می‌دهد (جدول ۳). پهنه‌بندی خطر براساس فاصله از گسل گویای این است که اکثر کاربری‌های انسانی در محدودهٔ ۱۰ کیلومتری از گسل بوده؛ بنابراین در محدودهٔ با خطر زیاد قرار دارند (شکل ۹). مطالعهٔ لرزه‌خیزی نشان می‌دهد که درمجموع گسل گرمسار و گسل سرخ‌کلوت به‌ترتیب بیشترین توان لرزه‌خیزی را در اطراف مخروط‌افکنهٔ گرمسار دارا بوده و کمترین توان لرزه‌خیزی نیز مربوط به گسل‌های کوه لاله‌زار و پایین‌قلعه با بزرگی ۵,۹ است (جدول ۲). درمجموع، ۷٦ زمین‌لرزه در مخروط‌افکنهٔ گرمسار یا اطراف آن، یعنی شعاعی که بر مخروط‌افکنه تأثیر می‌گذارد، ثبت و گزارش شده است (جدول ۳). بزرگای زمین‌لرزه‌های رخداده بین ۲,۵ تا ۵,۵ ریشتر بوده و بیشترین تعداد زمین‌لرزه‌ها مربوط به بزرگای ۲,۷ ریشتر با ۱۱ مورد ثبت‌شده است. زمین‌لرزه‌های بالای ۵ ریشتر فقط ٤ مورد بوده؛ درحالی که بزرگای زمین‌لرزه‌های دههٔ اخیر کمتر از ۳ ریشتر است (شکل ۷). بیشترین تمرکز جمعیت در پهنهٔ با خطر نسبی زیاد قرار دارد (شکل ۹). شهر گرمسار با فاصلهٔ ۵ کیلومتر، آرادان ۳، کهن‌آباد ٦,۵، رستم‌آباد ۸,۲ و داورآباد با فاصلهٔ ۵,٦ کیلومتر و سایر سکونتگاه‌ها که به‌صورت خطی در قسمت‌های میانه بالایی مخروط‌افکنه مستقرند، با نزدیک‌ترین گسل یعنی گسل گرمسار ۱۱,۷ کیلومتر فاصله دارند. برپایهٔ نتایج تحقیق، ۹۹ درصد جمعیت ساکن در آبادی‌های مستقر بر مخروط‌افکنهٔ گرمسار در محدودهٔ با خطر نسبی بسیار زیاد و شدید قرار دارند. ٤۰/۲٦ درصد از جمعیت سکونتگاهی در روستاهای مخروط‌افکنهٔ گرمسار مستقرند که از آن میان، ۵۹/۷٤ درصد از جمعیت فقط در شهر گرمسار متمرکز شده است. مقایسهٔ تحقیق حاضر با پژوهش‌های خارجی بیانگر تفاوت بین آن‌ها در نتایج است. در این تحقیق علاوه‌بر محاسبهٔ توان لرزه‌زایی گسل‌ها با روابط مختلف فاصله از گسل، کاربری اراضی و پراکندگی جمعیت نیز مورد توجه قرار گرفته؛ اما در تحقیقات مشابه خارجی، پهنه‌بندی

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12]

فقط براساس توان لرزه‌زایی گسل انجام شده است. به‌طور کلی، در این تحقیق دو عامل انسان و محیط بررسی شده؛ حال اینکه در تحقیقات مشابه فقط بر رفتار محیط تأکید شده است. با توجه به آنچه گفته شد و احتمال بالای وقوع خطر لرزه‌ای در منطقهٔ مورد بررسی، مقاوم‌سازی ساختمان‌های شهرستان گرمسار به‌ویژه در محدودهٔ مخروط‌افکنهٔ حبله‌رود درمقابل مخاطرهٔ زمین‌لرزه ضرورت دارد. همچنین، بیمهٔ خانه‌ها و سایر بناها در این محدوده دربرابر زمین‌لرزه از اقدامات ضروری اولیه است.

۷- منابع

- امبرسز، نیکلاس و چارلز ملویل، *تاریخ زمین‌لرزه‌های ایران*، ترجمهٔ ابوالحسن رده، تهران: آگاه، ۱۳۷۰.
- بربریان، مانوئل، منوچهر قریشی، بهرام ارژنگ‌روش و ارسلان مهاجر شجاعی، *پژوهش و بررسی ژرف نوزمین ساخت، لرزه زمین‌ساخت و خطر زمین‌لرزه- گسلش در گسترهٔ تهران و پیرامون به‌همراه نقشه‌های پیوست*، گزارش شمارهٔ ٥٦، چ۲، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۷۱.
- حسن‌زاده، احمد، احمد عباس‌نژاد، اکبر علوی و ابراهیم شریفی تشنیزی، «تحلیل خطر لرزه‌ای شهر کرمان با تأکید بر کاربرد GIS در ریزپهنه‌بندی مقدماتی درجه دو»، *فصلنامهٔ علوم زمین*، س۲۱، ش۸۱، صص۲۳- ۳۰، ۱۳۹۰.
- رجبی، معصومه و کامیلا آقاجانی، «بررسی گسل‌ها، توان لرزه‌زایی و خطر زمین‌لرزه در مخروط‌افکنه‌های شمال‌شرق دریاچهٔ ارومیه»، *فصلنامهٔ جغرافیای طبیعی*، ش۷، صص۱- ١٤، ۱۳۸۹.
- زارع، غلامرضا، *بررسی عوامل مؤثر بر ایجاد مخاطرات ژئومورفولوژیکی مخروط‌افکنه‌های (مطالعهٔ موردی: مخروط‌افکنهٔ گرمسار)*، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، تهران: دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۹.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12]

– ریاضی‌راد، سادات، آناهیتا کی‌نژاد و جعفر قمی اویلی، «بررسی لرزه‌زمین‌ساخت و لرزه‌خیزی در نوشهر و تعیین مناطق پتانسیل خطر بالا»، *فصلنامهٔ زمین*، س ٤، ش ٤، صص ٧٧- ٨٩، ١٣٨٨.

– سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشهٔ زمین‌شناسی گرمسار به مقیاس ١:١٠٠٠٠٠، ١٣٨٧.

– علایی طالقانی، محمود، *ژئومورفولوژی ایران*، تهران: قومس، ١٣٨٢.

– فتاحی، مرتضی، سمیه رستمی مهربان، مرتضی طالبیان، عباس بحرودی، جیمز هالینکورث و ریچارد والکر، «بررسی فعالیت گسل نیشابور در استان خراسان»، *فصلنامهٔ علوم زمین*، س ٢٠، ش ٧٩، صص ٥٥-٦٠، ١٣٩٠.

– فرج‌زاده اصل، منوچهر و فروغ بصیرت، «پهنه‌بندی حساسیت تشکیلات زمین‌شناسی در مقابل نیروهای زلزله در منطقهٔ شیراز با استفاده از GIS»، *مجلهٔ پژوهش‌های جغرافیایی*، ش ٥٥، صص ٥٩- ٧٢، ١٣٨٥.

– کرمی، فریبا، مریم بیاتی خطیبی و داود مختاری، «خطر زمین‌لرزه و تحلیل ریسک‌پذیری مراکز جمعیتی از زلزله (مورد نمونه: شهرستان بستان‌آباد، آذربایجان‌شرقی)»، *فصلنامهٔ تحقیقات جغرافیایی*، ش ٩١، صص ٧٧- ٩٦، ١٣٨٧.

– گلی، علی و علی عسگری، «زلزلهٔ تهران و ارزیابی فضایی آسیب‌پذیری بنگاه‌های اقتصادی: مطالعهٔ موردی شبکهٔ بانکی شهر تهران»، *فصلنامهٔ برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، د ١٤، ش ٣، صص ٥٥-٧١، ١٣٨٩.

– مرکز آمار ایران، سرشماری عمومی نفوس و مسکن (شهرستان گرمسار)، ١٣٨٥.

– _____ سرشماری عمومی نفوس و مسکن (شهر گرمسار)، ١٣٩٠.

– Ayala, A., "Geomorphology, Natural Hazards, Vulnerability and Prevention of Natural Disaster in Developing Countries", *Geomorphology, No. 47*, Pp. 107- 124, 2002.

– Crawford, M.J., "Physical Geology ", *Cliffs Notes, INC*, 1998.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12]

_ Gares, P., D. Sherman & K. Nordstrom, "Geomorphology and Natural Hazards", *Proceedings of the 25th Binghamton Symposium in Geomorphology*, Held September 24-25, Binghamton, USA, 1994.

– Goudie, Andrew, "Encyclopedia of Geomorphology", Vol. 2, Londen*:* Routldge, 2004.

– Hollingsworth, J., J. Jackson, R. Walker & H. Nazari, "Extrusion Tectonics and Subduction in the Eastern South Caspian Region since 10Ma", *Geology, 36(10)*, Pp. 763-766, 2008.

– Jaiswal, K. & R. Sinha, "Probabilistic Modeling of Earthquake Hazard in Stable Continental Shield of the Indian Peninsula", *ISET Journal of Earthquake Technology, Paper No. 470, Vol. 43, No. 3*, Pp. 49-64, 2006.

– Mohajer-Ashjai & A. Nowroozi, "The Tabas Earthquakes of September 16, 1978 in East Central Iran", *G.R.L., No. 9L0391*, 1978.

– Romeo, R. & A. Puliese, "Seismicity, Seismotectonics and Seismic Hazard of Italy", *Engineering Geology, 55*, Pp. 241-266, 2000.

– Selmmons, B., "Determaination of Design Earthquake Magnitude for Mocrozonation", *Proc. of the Third International Earthquake Microzonation Conf, Vol.* 1, U.S., National Science Foundation, Washington, D.C., Pp. 119-130, 1982.

– Wells, D.L. & K.J. Coppersmith, "New Empirical Relationship among Magnitude, Rupture Length, Rupture Area and Surface Displacement", *Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 84, No. 4*, Pp. 974-1002, 1994.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12]

– Zare, M., "Site Dependent Attenuation of Strong Ground Motions in Iran: Seismic Zonation", *Proceedings of Fifth International Conference on Seismic Zonation, Nice, France*, Pp. 1227-1236, 1995.

– http://www.usgs.gov/

– http://irsc.ut.ac.ir

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12]

Earthquake hazard zoning determination in active alluvial fans by using Berberian Spatial Analyses Method (Case study: Garmsar Alluvial fan)

Abstract

Neotectonics activities caused instability in several landforms including fluvial landforms in Iran. Garmsar alluvial fan is located in a seismic hazard area. In this research we tried to determine and analyses seismic hazards zones in Garmsar alluvial fan using seismic data, geologic and topography maps and buffering method. We used proposed equations by Zare, Selmmons, Mohajer-Ashjai, Melville and Smith, to determine the fault seismic potential around Garmasar alluvial fan. Berberians method for spatial analysis used to fault buffering, too. Result shows that Garmsar and Sorkhkalot faults has highest seismicity potential in the study area and lowest seismicity potential is for Koh Lalehzare and Paien Ghaleh faults. About 99 percent of the study region populations settled on alluvial fans are located in areas with very high relative risk. About 40.26 percent of these populations are living in rural areas while the 59.74 % of the population was settled in Garmsar city. With attention to result, it is suggested that in land use planning programs, retrofitting, housing insurance and human establishments we should consider buffering zones determined by this research.

Key Words: Geomorphologic Hazards, Alluvial fan, Earthquake, Land use Planning, Garmsar

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12]