

# تعیین محدوده‌های خطر زمین‌لرزه در مخروط‌افکنه‌های فعال با روش تحلیل فضایی بربریان (مطالعه موردی: مخروط‌افکنه گرمسار)

سیاوش شایان<sup>۱\*</sup>، غلامرضا زارع<sup>۲</sup>

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 نئوتکتونیک باعث ناپایداری لندفرم‌های متعددی از جمله لندفرم‌های جریان‌ی در ایران شده است. مخروط‌افکنه 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 مخروط‌افکنه گرمسار مشخص و تحلیل شده است. همچنین، برای مشخص کردن لرزه‌زایی گسل‌های اطراف مخروط‌افکنه 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 محدوده مورد مطالعه، و گسل‌های کوه لاله‌زار و پایین‌قلعه کمترین توان لرزه‌خیزی را دارند. حدود ۹۹ درصد جمعیت مستقر روی مخروط‌افکنه در محدوده با خطر نسبی بسیار زیاد قرار دارند. حدود ۴۰/۲۶ درصد از جمعیت مخروط‌افکنه در روستاها مستقرند؛ در حالی 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 بیمه‌خانه‌ها و تأسیسات انسانی در محدوده‌های خطر لرزه‌ای مورد توجه قرار گیرد.

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



## ۱- مقدمه

مخاطرات طبیعی اغلب با عوامل یا فرایندهایی مانند فرایندهای جوئی، 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 توسعه 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 اشکال سطحی زمین هستند، در نظر 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 از نظر زمین‌ساختی، یکی از فعال‌ترین مناطق جهان است و به‌عنوان بخشی از کمربند آلپ-همالیا، 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 تهدیدکننده شکل‌های مختلف فعالیت‌های انسانی واقع در سطح آن است (رجیبی و آقاجانی، ۱۳۸۹: ۱). زمین‌لرزه تکان‌های زمین است که به‌علت تخلیه ناگهانی انرژی نهفته در سنگ‌های تحت فشارهای

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

## ۲- پیشینه تحقیق

رومئو و پالئیس<sup>۱</sup> (2000: 241) براساس شدت، زمان و اوج شتاب، زمین‌لرزه‌های ایتالیا را در یک دوره پنجاه‌ساله بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که در سطح احتمال ۱۰ درصد از زمین‌لرزه‌ها در دوره زمانی مورد مطالعه، با دوره بازگشت ۴۷۵ سال است. با توجه به نتایج تحقیق، هشت منطقه لرزه‌ای در ایتالیا مشخص شد. در نهایت، در این مطالعه آزمایشی، استفاده از روش‌های ترکیبی، فرایندهای نوسازی (از جمله پیش‌بینی زلزله) و تأثیر مکان مؤثر (به‌عنوان مبنایی برای برنامه‌ریزی سناریوی زلزله) کشف شدند.

جایسوال<sup>۲</sup> و سینها (2006: 49) با استفاده از رویکرد درخت-دانش<sup>۳</sup> به ارزیابی احتمالاتی خطر زمین‌لرزه در شبه‌قاره هند پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان می‌دهد برای بسیاری از بخش‌های شبه‌جزیره هند، خطر زمین‌لرزه تخمینی، بالاتر از سطح مشخص‌شده در نقشه منطقه‌بندی زمین‌لرزه است.

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

- تحلیل ریسک‌پذیری مراکز جمعیتی شهرستان بستان‌آباد از مخاطره 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



اطلاعات جغرافیایی و داده‌های لرزه‌نگاری تاریخی، دستگاهی و حریم‌گذاری فاصله سه‌کیلومتری از گسل استفاده شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد براساس نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه، حدود ۸۱٫۴۳ درصد از مساحت شهرستان بستان‌آباد در پهنه‌های با خطر بسیار زیاد، زیاد و نسبتاً زیاد واقع شده است. ۶۲ درصد از جمعیت ۱۰۰ هزار نفری شهرستان که در شهر بستان‌آباد و ۷۸ روستای پیرامون گسل تبریز زندگی می‌کنند، خطرپذیری بسیار بالایی در برابر حوادث ناشی از وقوع زمین‌لرزه دارند.

- ارزیابی آسیب‌پذیری فضایی بنگاه‌های اقتصادی از مخاطره زمین‌لرزه در تهران (گلی و عسگری، ۱۳۸۹: ۵۵): در این پژوهش با استفاده از تحلیل مکانی و هدف اصلی آن، منابع مالی و انسانی مورد تهدید شبکه بانکی شهر تهران برآورد شده است. پس از بررسی شرایط عمومی زلزله‌خیزی شهر تهران، توزیع جمعیت ساکن در سال ۱۳۸۵، شعبه‌های بانک‌های مختلف و تعداد نیروی انسانی شاغل و منابع جذب‌شده و در اختیار بانک‌ها، داده‌ها جمع‌آوری شده و با استفاده از توابع تحلیل فضایی و مدل‌های عددی شبیه‌سازی زلزله و آثار آن ارزیابی شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد در صورت وقوع زلزله‌ای با شدت بیش از ۸ ریشتر، بیش 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 ارزیابی خطر زلزله با روش تحلیلی، شتاب ناشی از ۱۵ قطعه گسل در کرمان می‌تواند بیش از 0.2 g باشد. شدت ناشی از گسل‌های کرمان-زنگی‌آباد، شمال کرمان و اختیارآباد می‌تواند به ۹ مرکالی اصلاح شده (IX MMI) برسد. برای تعیین میزان خطر نواحی مختلف شهری، مطالعات ریزپهنه‌بندی درجه ۲ تشدید جنبش زمین صورت گرفت. براساس نقشه خطر به‌دست‌آمده از شهر کرمان (نقشه ریزپهنه‌بندی میزان تشدید جنبش زمین)، میزان خطر در بخش‌های مرکزی، باختری و همچنین بخش‌هایی از جنوب شهر به‌شدت افزایش می‌یابد و سازه‌های موجود در این بخش‌ها بر اثر زلزله احتمالی به‌شدت ویران خواهد شد.

مخروطه‌افکنه گرمسار به‌علت موقعیت مکانی در دامنه جنوبی رشته‌کوه البرز و حاشیه کویر، دارای شرایط خاص شکل‌گیری و بهره‌برداری است. با نگاهی به مورفولوژی مخروط‌افکنه و حاشیه آن، وجود گسل‌های معکوس (سازمان زمین‌شناسی، ۱۳۸۷) در جهت شرقی-غربی در

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 نشان‌دهنده بهره‌برداری نامتناسب از اراضی مخروطافکنه، تمرکز و تجمع انسان و فعالیت‌های انسانی در چنین عرصه پرمخاطره‌ای با درجه نسبتاً بالایی از ناامنی فضایی و آسیب‌پذیری است. مشخص کردن پهنه‌های خطر لرزه‌ای مخروطافکنه گرمسار موجب بهره‌برداری متناسب از مخروطافکنه 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<sup>۱</sup> USGS.
  - ب- ابزارهای تحقیق شامل نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ گرمسار، کهن‌آباد، آرادان و پاده و نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ گرمسار.
- در گام نخست، با مطالعه کتاب‌ها و مقالات، مطالب مرتبط با موضوع تحقیق گردآوری شد. در مرحله بعد، اقدام به زمین‌مرجع‌سازی نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی در محیط نرم‌افزاری Arc GIS شد. سپس با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و تصویر ماهواره‌ای، محدوده مخروطافکنه مشخص و ترسیم شد. لایه خطوط گسلی با استفاده از نقشه زمین‌شناسی و تصویر ماهواره‌ای لندست تهیه، و در پایگاه اطلاعات داده وارد شد. همچنین، موقعیت دقیق سکونتگاه‌های شهری و روستایی مستقر بر روی مخروطافکنه گرمسار با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی استخراج، و در پایگاه اطلاعات داده ثبت شد. برای تعیین میزان لرزه‌خیزی گسل‌های منطقه مورد مطالعه از روابط ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ استفاده شد:

---

1. U.S. Geological Survey

رابطه ۱  $M = \log L + 5/4$  = معادله مهاجر- اشجعی و  
نوروزی<sup>۱</sup> (1978)

رابطه ۲  $M = \ln(L) * 0.91 + 3.66$  = معادله زارع<sup>۲</sup> (1995)

رابطه ۳  $M_s = 1.404 + 1.169 \log L$  = معادله سللمونز<sup>۳</sup>  
(1982)

رابطه ۴  $M_s = 1.429 \log L + 4.629$  = معادله آمبرسز و ملویل (۱۳۷۰)  
(منبع: سادات ریاضی‌راد و همکاران، ۱۳۸۸: ۸۱)

رابطه ۵  $M_s = 5.16 + 1.12 \log L$  = معادله ولز و کوپراسمیت<sup>۴</sup>  
(1994)

در معادلات بالا:

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

M: بزرگی زمین‌لرزه در مقیاس ریشتر است.

M<sub>s</sub> (امواج سطحی): بزرگ‌ترین دامنه موج سطحی یا موج S است. این مقیاس مبتنی بر اندازه‌گیری دامنه امواج سطحی با دوره تناوب ۲۰ ثانیه است که برای زمین‌لرزه‌هایی که در فاصله دورتر از ۶۰۰ کیلومتری ثبت شده‌اند، به کار می‌روند.

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

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 به علت 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 جابه‌جاشده آن در ارتباط است و میان توان لرزه‌زایی و طول بخش مستقیم گسل‌های کوتاه‌تر رابطه مستقیمی وجود دارد و روابطی نیز برای برآورد توان لرزه‌ای گسل‌ها توسعه یافته است. تخمین بیشترین توان لرزه‌خیزی هر یک از گسل‌های فعال بر پایه رابطه میان طول گسلش و بزرگی زمین‌لرزه امکان‌پذیر می‌شود. طول گسل‌ها با توان و بزرگی لرزه‌ای آن‌ها رابطه مستقیم دارد؛ به این معنا که امکان فعالیت گسل‌های طولی بیشتر و فعالیت آن‌ها با رهایی انرژی و جابه‌جایی بسیار زیاد همراه است و در نتیجه، باعث رخداد زمین‌لرزه‌های بزرگ می‌شود (فرح‌زاده و بصیرت، ۱۳۸۵: ۶۴). برای مشخص کردن پهنه‌های خطر در مخروط‌افکنه گرمسار از روش بربریان و همکاران (۱۳۷۱: ۱۰) استفاده شد. براساس روش بربریان، در مرحله 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 دسته نخست اضافه و عملیات حریم‌گذاری براساس فواصل زیر اعمال می‌شود که در این روش محدوده‌های خطر در چهار ناحیه قرار می‌گیرند:

الف- با فاصله ۱۰۰۰ متری از اطراف گسل با عنوان پهنه حریم گسلش؛

ب- با فاصله ۳۰۰۰ متری از گسل با عنوان پهنه ویرانی شدید؛

ج- با فاصله ۷۰۰۰ متری از گسل با پهنه تکان‌های شدید یا ویرانی گسترده؛

د- با فاصله ۱۰۰۰۰ متری از گسل با عنوان پهنه حرکت‌های تند یا خسارت زیاد.

در مرحله بعد با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS و فواصل گسل‌های مورد نظر در روش بربریان، حریم‌گذاری انجام شد. سپس نقشه استخراج شده با نقشه کاربری اراضی منطبق شد تا میزان قرارگیری سکونتگاه و استقرارگاه‌های انسانی در پهنه‌های خطر به‌خوبی مشخص شود.

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

#### ۴- ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه

به‌علت وقوع زمین‌لرزه‌های متعدد (جدول ۴) در گستره مخروط‌افکنه گرمسار و تمرکز خانه‌های با کیفیت‌های متفاوت (براساس مشاهدات میدانی، شکل ۱) و نیاز به برنامه‌ریزی‌های مرتبط با بهینه‌سازی خانه‌ها در این محدوده پرخطر، مخروط‌افکنه گرمسار به‌عنوان محدوده مطالعاتی انتخاب و بررسی شد.

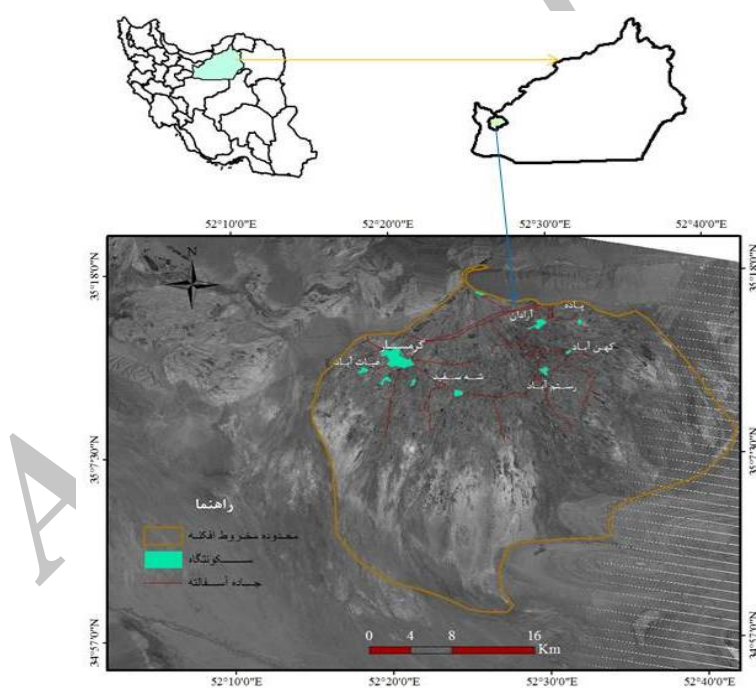


شکل ۱ تمرکز ساختمان‌هایی با کیفیت‌های متفاوت در مخروط‌افکنه گرمسار (نگاه از جنوب)

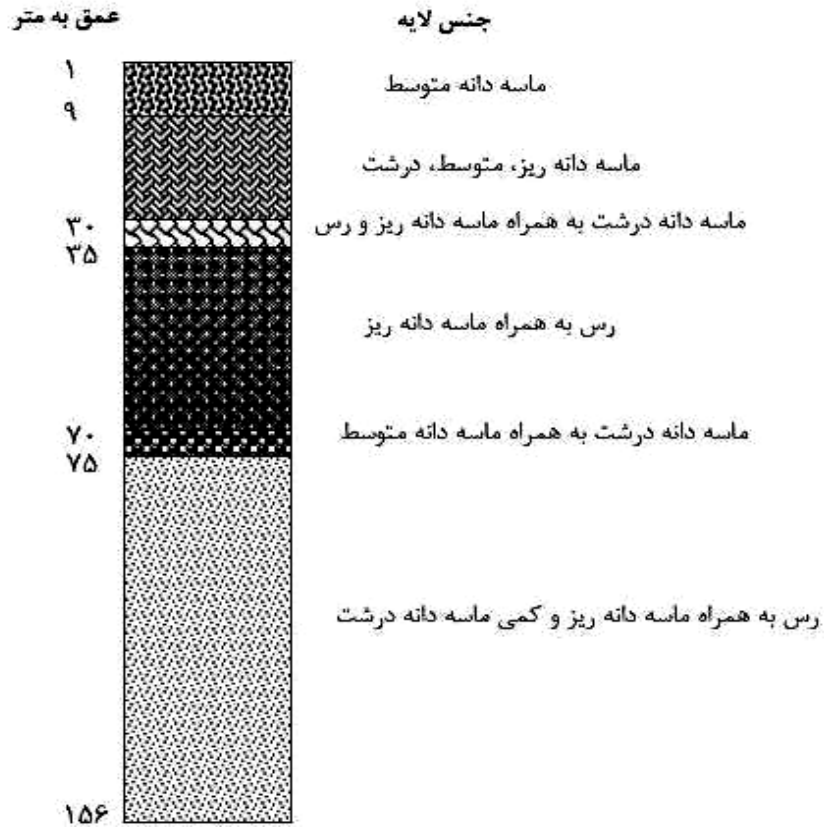
مخروط‌افکنه گرمسار در غرب استان سمنان و بین ۵۲ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۳۵ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۵ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. از نظر زمین‌شناسی، در دامنه جنوبی رشته‌کوه البرز حبله‌رود هم‌زمان با حفر و ایجاد دره (علایی طالقانی، ۱۳۸۲: ۲۸۶) مخروط‌افکنه گرمسار را در پای 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 فاصله کمی از آبراهه‌ها، نهشته‌گذاری نسبتاً مهمی از مواد درشت‌دانه صورت گرفته است. در حال حاضر، بقایای پنج مسیل اصلی که از منطقه رأس مخروط‌افکنه عبور کرده است، دیده می‌شود. براساس آمار رسوب ایستگاه هیدرومتری گرمسار که در رأس مخروط‌افکنه قرار دارد، میانگین



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 ۱۷/۱ و ۸۵/۱ تن در هکتار است. برپایه 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 مخروط‌افکنه 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 منطقه مورد مطالعه



شکل ۳ لوگ ترسیم‌شده یک چاه در رأس مخروط‌افکنه گرمسار

آمار و ارقام جمعیت منطقه 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؛ به طوری که در سال ۱۳۶۵ تقریباً نیمی از جمعیت منطقه در شهرها سکونت داشته‌اند. اما با توجه به افزایش امکانات و خدمات عمومی و رفاهی در شهرهای واقع در مخروط‌افکنه گرمسار (آرادان، گرمسار و کهن‌آباد)، جمعیت شهری افزایش چشمگیری یافته است (جدول ۱).

جدول ۱ ویژگی‌های جمعیتی منطقه مورد مطالعه

سال آماری	۱۳۵۵	۱۳۶۵	۱۳۷۵	۱۳۸۵
کل جمعیت	۴۳۳۵۸	۵۸۱۶۵	۶۷۸۴۷	۷۸۶۱۹
جمعیت روستایی به درصد	۶۸/۷	۵۰/۳	۶۲/۶	۶۹/۸۱
جمعیت شهری به درصد	۳۱/۳	۴۹/۷	۳۷/۴	۳۰/۱۹
وضعیت اشتغال افراد در بخش کشاورزی				۵۵۳
بخش استخراج معدن				۴۹۶
بخش تأمین برق				۴۴۷۰
بخش ساختمان				۲۸۵۹
عمده و خرده‌فروشی				۲۲۲۷
هتل و رستوران				۱۰۷
حمل و نقل				۲۲۵۲
واسطه‌گری مالی	-	-	-	۳۵۹
مستغلات				۳۱۸
اداره عمومی				۱۹۵۰
دفاع و تأمین اجباری				۱۶۹۴
آموزش				۵۸۳
بهداشت				۵۱۶
فعالیت‌های عمومی، اجتماعی و شخصی				

(منبع: مرکز آمار ایران، ۱۳۸۵)

از بین جمعیت ۷۸۶۱۹ نفری منطقه در سال ۱۳۸۵، ۵۵۵۳ نفر در بخش کشاورزی، ۴۹۶ نفر در بخش استخراج معدن، ۴۴۷۰ نفر در بخش تأمین برق، گاز و آب، ۲۸۵۹ نفر در بخش ساختمان، ۲۲۲۷ نفر در بخش عمده و خرده‌فروشی، ۱۰۷ نفر در بخش هتل و رستوران، ۲۲۵۲ نفر در بخش حمل و نقل، ۳۵۹ نفر در بخش واسطه‌گری مالی، ۳۱۸ نفر در بخش مستغلات، ۱۹۵۰ نفر در بخش اداره عمومی، دفاع و تأمین اجباری، ۱۶۹۴ نفر در بخش آموزش، ۵۸۳ نفر

در بخش بهداشت و ۵۱۶ نفر در بخش فعالیت‌های عمومی، اجتماعی و شخصی اشتغال دارند (مرکز آمار ایران، ۱۳۸۵؛ جدول ۱). براساس سالنامه آماری ۱۳۸۵، شهر گرمسار با جمعیت ۳۸۸۹۱ نفر، پرجمعیت‌ترین مرکز سکونتگاهی در منطقه مورد مطالعه است. کاربری اراضی و مساحت‌های هر قسمت بر روی مخروط افکنه گرمسار عبارت‌اند از: مساحت پارک جنگلی ۰/۸۱، سکونتگاه‌ها ۷/۲۴، زمین‌های کشاورزی ۴۰۶/۳۴ کیلومتر مربع و اراضی بایر ۴۹۶/۷۵ کیلومتر مربع. همچنین، طول قنات‌ها ۳۲/۵، آبراهه‌ها ۱۶۸، چشمه‌ها، ۱۳/۶، راه‌های ارتباطی اصلی ۸۷/۷۳ و کانال‌های انتقال آب ۴۳/۷۱ کیلومتر است (شکل ۹).

## ۵- بحث و نتایج

### ۵-۱- گسل‌های فعال منطقه

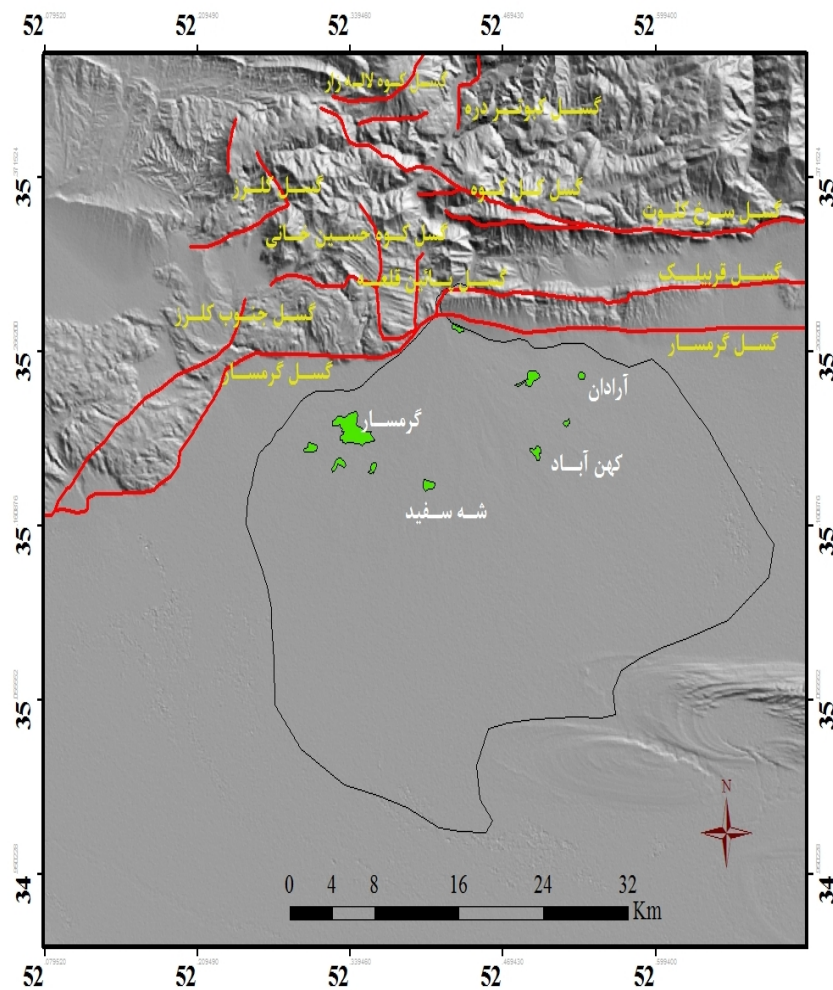
ویژگی‌های گسل‌های مجاور با محدوده مورد مطالعه براساس نقشه‌های زمین‌شناسی به شرح زیر است (جدول ۲):

جدول ۲ خصوصیات گسل‌های محدوده مورد مطالعه

ردیف	نام گسل	طول گسل (کیلومتر)	راستای گسل	نوع گسل
۱	سرخ کلو	۵۳	غرب- شرق تا غرب شمال غرب- شرق جنوب شرق	چپ‌گرد
۲	قریبلیک	۲۴	شرق- غرب	چپ‌گرد
۳	کل کوه	۲۲	شمال غرب- جنوب شرق	راست‌گرد
۴	کیوتردره	۸،۵	شمالی- جنوبی	راست‌گرد
۵	کوه لاله‌زار	۷	شمال شرق- غرب جنوب غربی	چپ‌گرد
۶	کوه کلرز	۷،۵	شمال شرق- جنوب شرقی	چپ‌گرد
۷	پایین قلعه	۷	شمال- جنوب	چپ‌گرد
۸	کوه حسین خانی	۸	شمال- جنوب	چپ‌گرد
۹	جنوب کلرز	۱۱	شمال شرق- جنوب غرب	چپ‌گرد
۱۰	گرمسار	۱۰۰	شمال شرقی- جنوب غربی	چپ‌گرد

(منبع: سازمان زمین‌شناسی، ۱۳۸۷)

در شکل شماره چهار نیز موقعیت گسل‌های محدوده مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل ۴ پراکنندگی گسل‌ها در اطراف مخروط‌افکنه گرمسار (براساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ گرمسار)



### ۵-۲- توان لرزه‌خیزی گسل‌های منطقه مورد مطالعه

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

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

رابطه ۲  $\ln(L) * 0.91 + 3.66$  = معادله زارع (1995)

رابطه ۳  $M_s = 1.404 + 1.169 \log L$  = معادله سلمونز (1982)

رابطه ۴  $M_s = 1.429 \log L + 4.629$  = معادله امبرسنز و ملویل (۱۳۷۰)

رابطه ۵  $M_s = 5.16 + 1.12 \log L$  = معادله ولز و کوپراسمیت (1994)

محاسبات صورت گرفته براساس روابط بالا (جدول ۳) تفاوت‌هایی را در میزان توان لرزه‌خیزی گسل‌ها بیان می‌کند. برای مثال، توان لرزه‌خیزی گسل گرمسار در رابطه زارع ۷/۸۵ ریشتر بوده؛ درحالی که در سایر روابط ۷/۲۵ تا ۷/۴۹ محاسبه شد. با توجه به این محاسبات، میانگین اعداد به دست آمده محاسبه شد که عدد ۷/۴۸ ریشتر برای توان لرزه‌خیزی گسل گرمسار به دست آمد. با توجه به اینکه حداکثر زمین‌لرزه ثبت شده در محدوده مورد مطالعه ۷/۶ ریشتر بوده است، می‌توان گفت محاسبات صورت گرفته به‌طور نسبی با واقعیت انطباق دارد.

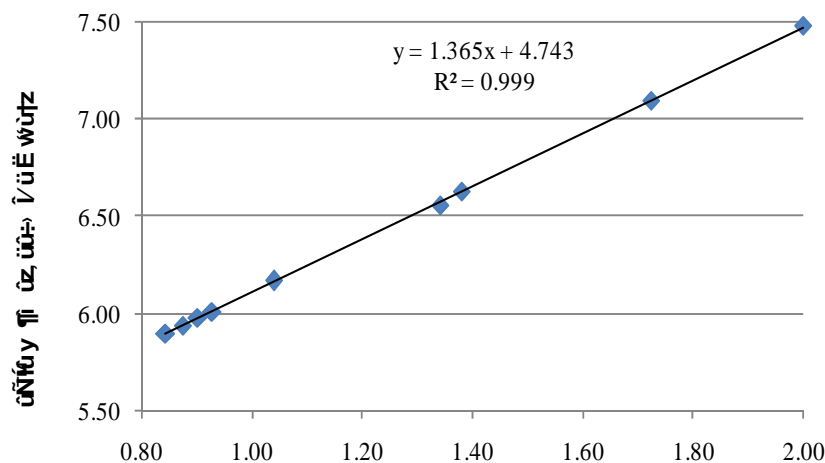
جدول ۳ توان لرزه خیزی گسل های اطراف مخروط افکنه گرمسار

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	سرخ کلوت	۵۳	۷/۱۲	۷/۲۷	۶/۹۲	۷/۰۹	۷/۰۹	۷/۱
۲	قریبلک	۲۴	۶/۷۸	۶/۵۵	۶/۵۲	۶/۶	۶/۷	۶/۶۳
۳	کل کوه	۲۲	۶/۷۴	۶/۴۷	۶/۴۸	۶/۵۴	۶/۶۶	۶/۵۶
۴	کبوتردره	۸,۵	۶/۳۲	۵/۶۱	۶	۵/۹۶	۶/۲	۶/۰۱
۵	کوه لاله زار	۷	۶/۲۴	۵/۴۳	۵/۹	۵/۸۳	۶/۱	۵/۹
۶	کوه کلرز	۷,۵	۶/۲۷	۵/۴۹	۵/۹۲	۵/۸۷	۶/۱۳	۵/۹۴
۷	پایین قلعه	۷	۶/۲۴	۵/۴۳	۵/۹	۵/۸۳	۶/۱	۵/۹
۸	کوه حسین خانی	۸	۶/۳	۵/۵۵	۵/۹۶	۵/۹۱	۶/۱۷	۵/۹۸
۹	جنوب کلرز	۱۱	۶/۴۴	۵/۸۴	۶/۱۲	۶/۱۱	۶/۳۲	۶/۱۷
۱۰	گرمسار	۱۰۰	۷/۴	۷/۸۵	۷/۲۵	۷/۴۹	۷/۴	۷/۴۸

هم بستگی بین داده ها نشان می دهد بزرگای زمین لرزه ها با لگاریتم طول گسل هم بستگی مثبت و مستقیم دارد (شکل ۵). بنابراین، برای منطقه مورد مطالعه رابطه ۶ پیشنهاد می شود. با توجه به محاسبات انجام شده براساس روابط پیشنهادی که در این تحقیق از آن استفاده شد، برای محدوده مورد مطالعه رابطه زیر پیشنهاد می شود. در این رابطه، L طول گسل به کیلومتر است:

$$M = 1.36 \log L + 4.74$$

رابطه ۶



لگاریتم اعشاری طول گسل بر حسب کیلومتر

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

### ۵-۳- زمین‌لرزه‌های تاریخی و ثبت‌شده

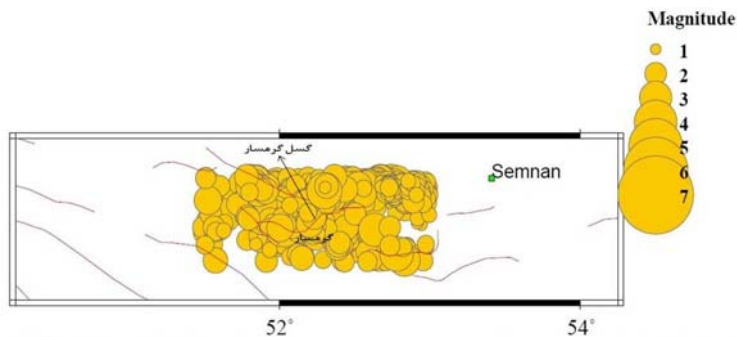
گاه‌گاهی زمین‌لرزه‌های خطرناکی در گرمسار و حوالی آن رخ می‌دهد. شدت این زمین‌لرزه‌ها معمولاً به قدری است که تمام پهنه مخروط‌افکنه گرمسار را تحت تأثیر قرار می‌دهد. شدیدترین زمین‌لرزه مربوط به سده چهارم قبل از میلاد با بزرگای ۷/۶ بوده که به شدت منطقه را لرزاند (امبرسز و ملویل، ۱۳۷۰: ۲۰). البته، در سال ۷۳۴م نیز زمین‌لرزه‌ای با بزرگای ۷/۲ ریشتر در منطقه رخ داده که موجب ویرانی‌ها و خسارت‌های جانی زیادی شده بود. در مجموع، ۷۶ زمین‌لرزه در مخروط‌افکنه گرمسار یا اطراف آن یعنی شعاعی که بر مخروط‌افکنه تأثیر می‌گذارد، ثبت و گزارش شده است (جدول ۴ و شکل ۶).



جدول ۴ زمین‌لرزه‌های گزارش و ثبت‌شده منطقه مورد مطالعه

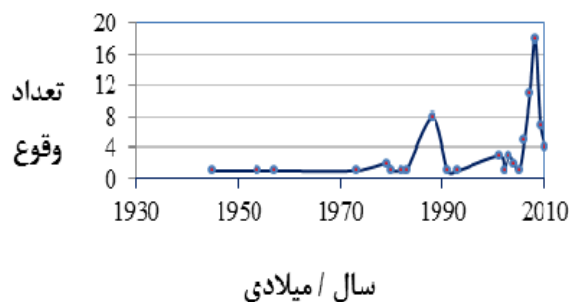
تاریخ رخداد م.	بزرگا	تاریخ رخداد م.	بزرگا	تاریخ رخداد م.	بزرگا	تاریخ رخداد م.	بزرگا
۴۰۰ ق. م	۷/۶	۷۳۴	۷/۲	۱۹۴۵	۴/۷	۱۹۵۴	۴/۵
۱۹۵۷	۵/۵	۱۹۷۳	۳/۹	۱۹۷۹	۴/۶	۱۹۷۹	۴/۶
۱۹۸۰	۴/۵	۱۹۸۲	۵/۴	۱۹۸۳	۴/۴	۱۹۸۸	۵/۳
۱۹۸۸	۵/۲	۱۹۸۸	۴/۶	۱۹۸۸	۴/۷	۱۹۸۸	۴/۹
۱۹۸۸	۴/۷	۱۹۸۸	۴/۲	۱۹۸۸	۴/۴	۱۹۹۱	۴/۵
۱۹۹۳	۴/۶	۲۰۰۱	۳/۶	۲۰۰۱	۳/۸	۲۰۰۱	۲/۶
۲۰۰۲	۳/۹	۲۰۰۳	۴/۲	۲۰۰۳	۲/۹	۲۰۰۳	۳/۵
۲۰۰۴	۳/۲	۲۰۰۴	۲/۶	۲۰۰۵	۲/۷	۲۰۰۶	۳/۳
۲۰۰۶	۲/۵	۲۰۰۶	۲/۷	۲۰۰۶	۲/۶	۲۰۰۶	۳
۲۰۰۷	۲/۸	۲۰۰۷	۲/۵	۲۰۰۷	۲/۸	۲۰۰۷	۲/۶
۲۰۰۷	۲,۵	۲۰۰۷	۳/۴	۲۰۰۷	۲/۹	۲۰۰۷	۲/۶
۲۰۰۷	۲/۷	۲۰۰۷	۲/۷	۲۰۰۷	۳/۲	۲۰۰۸	۲/۵
۲۰۰۸	۳/۴	۲۰۰۸	۲/۷	۲۰۰۸	۳	۲۰۰۸	۲/۵
۲۰۰۸	۲/۵	۲۰۰۸	۳/۵	۲۰۰۸	۲/۷	۲۰۰۸	۲/۷
۲۰۰۸	۳	۲۰۰۸	۲/۸	۲۰۰۸	۲/۶	۲۰۰۸	۳/۲
۲۰۰۸	۳/۳	۲۰۰۸	۳	۲۰۰۸	۳/۵	۲۰۰۸	۲/۷
۲۰۰۸	۲/۹	۲۰۰۹	۲/۹	۲۰۰۹	۲/۵	۲۰۰۹	۲/۷
۲۰۰۹	۲/۷	۲۰۰۹	۳	۲۰۰۹	۳/۱	۲۰۰۹	۲/۷
۲۰۱۰	۳/۱	۲۰۱۰	۳/۱	۲۰۱۰	۳/۳	۲۰۱۰	۲/۹

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



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

اولین زمین‌لرزه ثبت‌شده که محدوده مخروط‌افکنه گرمسار را تحت تأثیر قرار داده، در سال ۱۹۴۵م رخ داده است. به‌طور کلی، از سال ۱۹۴۵ 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 محدوده مورد مطالعه رخ داده است؛ به‌طوری که در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸م به ترتیب 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

نکته دیگر درباره 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 ثبت شده است. نکته درخور توجه این است که زمین‌لرزه‌های بالای ۵ ریشتر فقط ۴ مورد بوده؛ درحالی که بزرگای زمین‌لرزه‌های دهه اخیر کمتر از ۳ ریشتر است (شکل ۸).

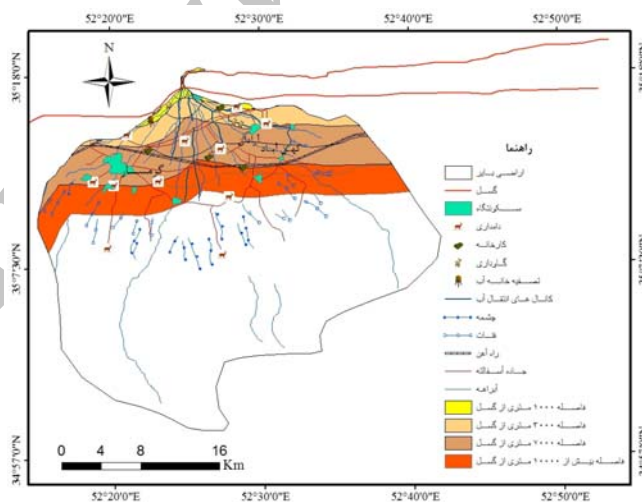


شکل ۸ تعداد بزرگای زمین‌لرزه‌های رخ داده در محدوده مورد مطالعه

#### ۵-۴- پهنه‌بندی براساس فاصله از گسل

براساس روش بربریان و همکاران (۱۳۷۱)، بیشتر مراکز جمعیتی مستقر روی مخروط‌افکنه در پهنه سوم، یعنی فاصله ۳۰۰۰ تا ۷۰۰۰ متری از گسل گرمسار واقع شده‌اند. با توجه به مباحث نظری مدل، خصوصیات این ناحیه دارای تکان‌های شدید همراه با ویرانی گسترده است. شهر گرمسار با فاصله ۵ کیلومتر، آرادان ۳، کهن‌آباد ۶/۵، داورآباد ۵/۶ کیلومتر و سایر سکونتگاه‌ها که به صورت خطی در قسمت‌های میانه بالایی مخروط‌افکنه استقرار یافته‌اند (پاده، کند، هشت‌آباد و غیاث‌آباد) در ناحیه ۳ مدل واقع شده‌اند. روستاهای لجران، کوشک اربابی، کوشک و رستم‌آباد در ناحیه ۴ یعنی محدوده ۷۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ متری از گسل گرمسار واقع شده‌اند (شکل ۹). ویژگی ناحیه ۴، حرکات تند همراه با خسارت زیاد است. روستای شه‌سفید تنها سکونتگاهی است که در فاصله 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 محدوده مورد مطالعه است، بیشترین امکانات رفاهی، آموزشی، اداری و بهداشتی در فاصله ۳۰ کیلومتری از این شهر در اینجا قرار دارد.

بنابراین، از یک‌سو تمرکز امکانات و از سوی دیگر قرار گرفتن در محدودهٔ پرخطر، مقاوم‌سازی ساختمان‌ها و مراکز اداری جهت کاهش آسیب‌پذیری را ضروری کرده است. هم‌پوشانی نقشهٔ کاربری اراضی و مخاطرهٔ زمین‌لرزه نشان می‌دهد (شکل ۹) اکثر مراکز جمعیتی و استقرارگاه‌های انسانی در فاصله‌ای کمتر از ۱۰ کیلومتر قرار دارند. تصفیه‌خانهٔ آب شهر گرمسار که از نظر حیاتی بسیار حائز اهمیت است، در فاصله‌ای کمتر از ۵۰۰ متری 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، ناگفته نماند که یک کارخانه و دو دامداری در فاصلهٔ کمتر از ۱۰۰۰ متری از گسل در رأس مخروط افکنه واقع شده‌اند (شکل ۹). همچنین، خط راه‌آهن تهران- مشهد نیز در فاصلهٔ ۳۰۰۰ تا ۷۰۰۰ متری از گسل مستقر است و با توجه به اهمیت آن در حمل‌ونقل، از جایگاه ویژه‌ای در مدیریت محیطی جهت کاهش آسیب‌پذیری برخوردار است. با توجه به قرارگیری کاربری‌های اراضی بسیار مهم گرمسار در منطقهٔ با خطر زیاد، در صورت عدم مقاوم‌سازی و رعایت حریم گسل‌ها، با وقوع زمین‌لرزه‌های خطرناک میزان آسیب‌پذیری مراکز و استقرارگاه‌های انسانی افزایش می‌یابد.



شکل ۹ نقشهٔ هم‌پوشانی کاربری اراضی با پهنه‌های خطر زمین‌لرزه

با توجه به اینکه اکثر سکونتگاه‌ها و مراکز جمعیتی مستقر در گرمسار در محدوده 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 ۲۰۱۵۴ هزار واحد سکونتگاهی در سطح مخروط‌افکنه وجود دارد که حدود ۱۳۸۴۶ واحد (۶۸/۷ درصد) در مناطق شهری و ۶۳۰۸ واحد (۳۱/۳ درصد) در مناطق روستایی واقع شده‌اند (جدول ۴). براساس آمار موجود، ۳۶/۹ درصد از واحدهای مسکونی در مناطق شهری و ۲۰/۶ درصد از واحدهای مسکونی در مناطق روستایی دارای مصالح مقاوم در برابر زمین‌لرزه هستند؛ درحالی که ۶۳/۱ درصد از واحدهای مسکونی در مناطق شهری و ۷۹/۴ درصد از واحدهای مسکونی روستایی فاقد مقاومت لازم و کافی در برابر زمین‌لرزه هستند؛ بنابراین اکثر واحدهای مسکونی مستقر در مخروط‌افکنه گرمسار فاقد مقاومت لازم در برابر 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	۲۹۲۳	۸۸۲
۲	بتون آرمه	۲۱۷۶	۴۱۷
۳	آجر و آهن یا سنگ و آهن	۷۷۱۱	۳۸۵۹
۴	آجر و چوب یا سنگ و چوب	۲۱۳	۲۸
۵	بلوک سیمانی با هر نوع سقف	۲۵	۴۱
۶	تمام آجر یا سنگ و آجر	۷	۲۷۷
۷	تمام چوب	۰	۳
۸	خشت و چوب	۷۳	۱۴۹
۹	خشت و گل	۳۰۲	۶۰۹
۱۰	سایر	۷	۳
۱۱	اظهارنشده	۳۹۹	۶۰
۱۲	جمع کل	۱۳۸۴۶	۶۳۰۸

(منبع: مرکز آمار ایران، ۱۳۸۵)

### ۵-۵- محاسبه خطرپذیری براساس جمعیت

بر مبنای آمار سال ۱۳۸۵، دهستان لجران (شامل روستاهای لجران، کوشک اربابی و غیره) با جمعیت ۱۰۳۲۹ نفر، پرجمعیت‌ترین مرکز روستایی در مخروط‌افکنه گرمسار است. همچنین، حومه گرمسار با ۳۲۶۶ نفر کم‌جمعیت‌ترین مرکز روستایی در محدوده مورد مطالعه است (جدول ۶).

جدول ۶ جمعیت دهستان‌های مستقر در مخروط‌افکنه گرمسار

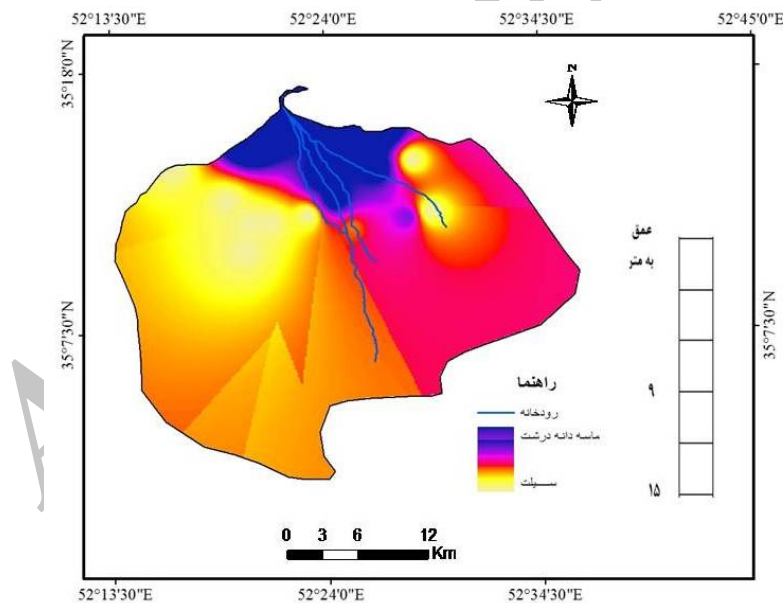
ردیف	نام دهستان	جمعیت
۱	لجران	۱۰۳۲۹
۲	کهن‌آباد	۸۲۷۵
۳	یاتری	۵۷۵۱
۴	حومه	۳۲۶۶
جمع	-	۲۷۶۲۱

(منبع: مرکز آمار ایران، ۱۳۸۵)

با محاسبه خطرپذیری جمعیت آشکار می‌شود که در صورت وقوع زمین‌لرزه، اکثر جمعیت مستقر در مخروط‌افکنه (گرمسار، لجران، کهن‌آباد، یاتری و حومه) با جمعیت ۶۸۶۰۶ نفر در پهنه تکان‌های شدید یا ویرانی گسترده قرار خواهند داشت. تنها سکونتگاهی که در محدوده 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 محدوده با خطر بسیار زیاد قرار دارد. براساس سرشماری سال ۱۳۹۰، جمعیت شهر گرمسار نیز ۴۰۹۸۵ نفر است. به نظر می‌رسد در صورت وقوع زمین‌لرزه، شهر گرمسار به علت جمعیت زیاد، خطرپذیری جمعیت آن از زمین‌لرزه زیاد باشد. همان‌طور که در شکل شماره ۱ نیز دیده می‌شود، این مرکز سکونتگاهی در محدوده با خطر بسیار بالا واقع شده است؛ بنابراین به‌طور کلی، ۹۹/۱۵ درصد از جمعیت مستقر در مخروط‌افکنه گرمسار در معرض زمین‌لرزه‌های شدید قرار دارند.

### ۵-۶- نقش ویژگی‌های رسوبی در افزایش خسارت مخاطره زمین‌لرزه

بر اساس داده‌های لوگ چاه‌ها در محدوده مخروط‌افکنه گرمسار (لایه سطحی) تا عمق ۱۵ متر، در رأس مخروط‌افکنه گرمسار مواد درشت‌دانه وجود دارد که با نزدیک شدن به قسمت‌های میانی و قاعده مخروط‌افکنه از اندازه 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 لایه سطحی مخروط‌افکنه گرمسار

(منبع: داده‌های وزارت نیرو، ۱۳۸۷)



## ۶- نتیجه‌گیری

بررسی وضعیت زمین‌لرزه‌های رخ داده در محدوده حاکی از فعال بودن آنهاست. همچنین، این زمین‌لرزه‌ها و بزرگی آنها ظرفیت مخاطره زمین‌لرزه‌ای در محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد (جدول ۳). پهنه‌بندی خطر براساس فاصله از گسل گویای این است که اکثر کاربری‌های انسانی در محدوده ۱۰ کیلومتری از گسل بوده؛ بنابراین در محدوده با خطر زیاد قرار دارند (شکل ۹). مطالعه لرزه‌خیزی نشان می‌دهد که در مجموع گسل گرمسار و گسل سرخ‌کلوت به ترتیب بیشترین توان لرزه‌خیزی را در اطراف مخروط‌افکنه گرمسار دارا بوده و کمترین توان لرزه‌خیزی نیز مربوط به گسل‌های کوه لاله‌زار و پایین‌قلعه با بزرگی ۵٫۹ است (جدول ۲). در مجموع، ۷۶ زمین‌لرزه در مخروط‌افکنه گرمسار یا اطراف آن، یعنی شعاعی که بر مخروط‌افکنه تأثیر می‌گذارد، ثبت و گزارش شده است (جدول ۳). بزرگی زمین‌لرزه‌های رخ داده بین ۲٫۵ تا ۵٫۵ ریشتر بوده و بیشترین تعداد زمین‌لرزه‌ها مربوط به بزرگی ۲٫۷ ریشتر با ۱۱ مورد ثبت شده است. زمین‌لرزه‌های بالای ۵ ریشتر فقط ۴ مورد بوده؛ در حالی که بزرگی زمین‌لرزه‌های دهه اخیر کمتر از ۳ ریشتر است (شکل ۷). بیشترین تمرکز جمعیت در پهنه با خطر نسبی زیاد قرار دارد (شکل ۹). شهر گرمسار با فاصله ۵ کیلومتر، آرادان ۳، کهن‌آباد ۶٫۵، رستم‌آباد ۸٫۲ و داورآباد با فاصله ۵٫۶ کیلومتر و سایر سکونتگاه‌ها که به صورت خطی در قسمت‌های میانه بالایی مخروط‌افکنه مستقرند، با نزدیک‌ترین گسل یعنی گسل گرمسار ۱۱٫۷ کیلومتر فاصله دارند. برپایه نتایج تحقیق، ۹۹ درصد جمعیت ساکن در آبادی‌های مستقر بر مخروط‌افکنه گرمسار در محدوده با خطر نسبی بسیار زیاد و شدید قرار دارند. ۴۰/۲۶ درصد از جمعیت سکونتگاهی در روستاهای مخروط‌افکنه گرمسار مستقرند که از آن میان، ۵۹/۷۴ درصد از جمعیت فقط در شهر گرمسار متمرکز شده است. مقایسه تحقیق حاضر با پژوهش‌های خارجی بیانگر تفاوت بین آنها در نتایج است. در این تحقیق علاوه بر محاسبه 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



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 منطقه مورد بررسی، مقاوم‌سازی ساختمان‌های شهرستان گرمسار به‌ویژه در محدوده مخروط‌افکنه حبله‌رود در مقابل مخاطره زمین‌لرزه ضرورت دارد. همچنین، بیمه خانه‌ها و سایر بناها در این محدوده در برابر زمین‌لرزه از اقدامات ضروری اولیه است.

#### ۷- منابع

- امیرسز، نیکلاس و چارلز ملویل، تاریخ زمین‌لرزه‌های ایران، ترجمه 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 گستره تهران و پیرامون به‌همراه نقشه‌های پیوست، گزارش شماره ۵۶، چ ۲، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۷۱.
- حسن‌زاده، احمد، احمد عباس‌نژاد، اکبر علوی و ابراهیم شریفی‌تشنیزی، «تحلیل خطر لرزه‌ای شهر کرمان با تأکید بر کاربرد GIS در ریزپهنه‌بندی مقدماتی درجه دو»، فصلنامه علوم زمین، س ۲۱، ش ۸۱، صص ۲۳-۳۰، ۱۳۹۰.
- رجبی، معصومه و کامیلا آقاجانی، «بررسی گسل‌ها، توان لرزه‌زایی و خطر زمین‌لرزه در مخروط‌افکنه‌های شمال شرق دریاچه ارومیه»، فصلنامه جغرافیای طبیعی، ش ۷، صص ۱-۱۴، ۱۳۸۹.
- زارع، غلامرضا، بررسی عوامل مؤثر بر ایجاد مخاطرات ژئومورفولوژیکی مخروط‌افکنه‌های (مطالعه موردی: مخروط‌افکنه گرمسار)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، تهران: دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۹.

- ریاضی‌راد، سادات، آناهیتا کی‌نژاد و جعفر قمی اویلی، «بررسی لرزه‌زمین‌ساخت و لرزه‌خیزی در نوشهر و تعیین مناطق پتانسیل خطر بالا»، فصلنامه زمین، س ۴، ش ۴، صص ۷۷-۸۹، ۱۳۸۸.
- سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشه زمین‌شناسی گرمسار به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، ۱۳۸۷.
- علایی طالقانی، محمود، ژئومورفولوژی ایران، تهران: قومس، ۱۳۸۲.
- فتاحی، مرتضی، سمیه رستمی مهربان، مرتضی طالبیان، عباس بحرودی، جیمز هالینکورت و ریچارد والکر، «بررسی فعالیت گسل نیشابور در استان خراسان»، فصلنامه علوم زمین، س ۲۰، ش ۷۹، صص ۵۵-۶۰، ۱۳۹۰.
- فرج‌زاده اصل، منوچهر و فروغ بصیرت، «پهنه‌بندی حساسیت تشکیلات زمین‌شناسی در مقابل نیروهای زلزله در منطقه شیراز با استفاده از GIS»، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، ش ۵۵، صص ۵۹-۷۲، ۱۳۸۵.
- کرمی، فریبا، مریم بیاتی خطیبی و داود مختاری، «خطر زمین‌لرزه و تحلیل ریسک‌پذیری مراکز جمعیتی از زلزله (مورد نمونه: شهرستان بستان‌آباد، آذربایجان شرقی)»، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ش ۹۱، صص ۷۷-۹۶، ۱۳۸۷.
- گلی، علی و علی عسگری، «زلزله تهران و ارزیابی فضایی آسیب‌پذیری بنگاه‌های اقتصادی: مطالعه موردی شبکه بانکی شهر تهران»، فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا، د ۱۴، ش ۳، صص ۵۵-۷۱، ۱۳۸۹.
- مرکز آمار ایران، سرشماری عمومی نفوس و مسکن (شهرستان گرمسار)، ۱۳۸۵.
- \_\_\_\_\_ سرشماری عمومی نفوس و مسکن (شهر گرمسار)، ۱۳۹۰.
- 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.

- 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, London: Routledge, 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", *ISSET 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.
- Selmons, B., "Determination of Design Earthquake Magnitude for Microzonation", *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.

- 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>

Archive of SID

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, Selmmmons, Mohajer-Ashjai, Melville and Smith, to determine the fault seismic potential around Garmsar 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 Lalezare and Paen 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