

# نشریه علمی پدافند غیرعامل

سال یازدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، (پیاپی ۴۱): صص ۳۵-۲۹

علمی - ترویجی

## بررسی پارامترهای لرزه‌خیزی و تحلیل خطر لرزه‌ای

(مطالعه موردی: محدوده پروژه آزادراه مراغه-هشترود (قطعه دوم))

ساسان مشمول کوچی<sup>۱</sup>، محمد حسن پور صدقی<sup>۲\*</sup>، اکبر شریفی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۵/۱۶

### چکیده

زلزله یکی از رخدادهای هم‌زاد با گسلش است که در زمان رویداد این پدیده می‌تواند منشا ایجاد خسارات فراوان به تاسیسات حیاتی مانند جاده‌ها، خطوط آهن، سازه‌های خطی زیرزمینی از قبیل خطوط انتقال نفت و گاز و کابل‌های برق مدفون، تونل‌ها و ساختمان‌ها باشد. وقوع زمین‌لرزه‌های مکرر در ایران، بیانگر فعال بودن جنبش‌های زمین‌ساختی در عهد حاضر می‌باشد. بررسی لرزه‌خیزی، از اقدامات اولیه برای برآورد خطر زمین‌لرزه در منطقه یا سازه‌های موجود در منطقه می‌باشد. در این پژوهش به منظور بررسی پارامترهای لرزه‌خیزی منطقه مورد مطالعه از نرم‌افزار Zmap که مجموعه‌ای از کدهای نرم‌افزار Matlab می‌باشد، استفاده شده است. منطقه مورد مطالعه در شمال غرب ایران، در استان آذربایجان شرقی و در محدوده شهرستان مراغه و هشترود واقع شده است. طول کل آزاد راه مراغه-هشترود ۹۲ کیلومتر و قطعه دوم این پروژه ۲۶ کیلومتر می‌باشد. در این مطالعه، دوره بازگشت و احتمال رخداد سالانه زلزله محاسبه و نقشه پهنه‌بندی بر اساس میزان  $b$ -value و  $M_{max}$  تهیه شد. با بررسی نقشه پهنه‌بندی  $b$ -value، مقدار غالب این ضریب بین ۱/۱۷ الی ۱/۳۸ مشاهده می‌شود که حدود ۳۳/۱۲ درصد کل منطقه می‌باشد و مسیر مورد مطالعه نیز در این منطقه واقع شده است. حداقل و حداکثر مقادیر  $M_{max}$  نیز به ترتیب برابر با ۳/۵ و ۵/۴ ریشتر است که مسیر مورد مطالعه در محدوده ۴/۴ الی ۴/۵ ریشتر می‌باشد. در نهایت می‌توان چنین استنباط کرد که منطقه مورد مطالعه از لحاظ احتمال رخداد زمین‌لرزه بزرگ مستعد می‌باشد و تمهیدات لازم جهت پایداری و جلوگیری از تخریب سازه‌های موجود، باید در نظر گرفته شود.

**کلیدواژه‌ها:** لرزه‌خیزی، دوره بازگشت، احتمال رخداد سالانه، پهنه‌بندی

۱- کارشناسی ارشد تکتونیک، مؤسسه عاشورا، قرارگاه سازندگی خاتم‌الانبیا(ص)

۲- استادیار، دانشگاه تبریز، (HASSANPOUR\_MHD@gmail.com) - نویسنده مسئول

۳- کارشناس زمین‌شناسی، مؤسسه عاشورا، قرارگاه سازندگی خاتم‌الانبیا(ص)

## ۱. مقدمه

نتایج نشان داده‌اند که دوره بازگشت زمین‌لرزه‌ای با بزرگی ۷، حدود ۱۰۷ سال است. بیت‌اللهی و معتمد [۸]، با استفاده از روش گوتنبرگ - ریشتر به محاسبه پارامترهای لرزه‌خیزی منطقه البرزمرکزی پرداخته و نواحی مهم از لحاظ فعالیت لرزه‌خیزی را مشخص کرده‌اند. شاه‌وردی و همکاران [۹]، برای تعیین پارامترهای خطر زمین‌لرزه، از سه روش آماری، احتمال اندیشانه و تعیینی استفاده کرده‌اند و پس از محاسبه ضرایب لرزه‌خیزی، بزرگترین زمین‌لرزه احتمالی و زمین‌لرزه مبنا طرح، با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای، تعداد ۵۸ گسل شناسایی کردند. نریمانی [۱۰]، با استفاده از تحلیل فرکتالی، خاصیت خودهمسانی زلزله‌های رویداده‌ی مربوط به چند گسل مهم، در شمال‌غرب ایران و نیز پس‌لرزه‌های مربوط به زمین‌لرزه اهر-ورزقان را بررسی و همچنین پارامترهای لرزه‌خیزی با روش گوتنبرگ ریشتر به دست آمد. نتایج نشان داد که در گسل‌های شمال تبریز، تسوج، جنوب اهر، شمال بزقوش و پس‌لرزه‌های زمین‌لرزه اهر-ورزقان، مقدار  $b$ -value، پایین می‌باشد که دلیل بر وجود استرس بالا و تراکم رومرکزهای قوی‌تر، در این مناطق است. سلطانی و ریاضی‌راد [۱۱]، با استفاده از روش احتمالاتی، نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه را در گستره خراسان جنوبی، ترسیم و بر اساس نتایج، بیشینه شتاب افقی زمین را در محل سایت برآورد کردند.

## ۳. روش تحقیق

از آنجا که پارامترهای لرزه‌خیزی بیانگر وضعیت لرزه‌خیزی منطقه و میزان فعالیت گسل‌های منطقه می‌باشد، محاسبه پارامترهای لرزه‌خیزی، آشکار می‌نماید نواحی مهم از لحاظ فعالیت لرزه‌خیزی چه مناطقی هستند [۸]. پیش‌نیاز بنیادین برای انجام تحلیل خطر زلزله، جمع‌آوری و توسعه یک بانک داده یکپارچه و جامع از چشمه‌های لرزه‌ای منطقه مورد مطالعه است.

در این پژوهش، به منظور بررسی لرزه‌خیزی و تعیین دوره بازگشت و احتمال رخداد سالانه زمین‌لرزه‌ها، از کاتالوگ لرزه‌ای مکانیابی مجدد شده بر اساس مدل‌های لرزه‌ای محلی، داده‌های مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران و کاتالوگ لرزه‌ای سایت EMSC، استفاده شده است و با استفاده از نرم‌افزار Zmap که در واقع مجموعه‌ای از کدهای نرم‌افزار Matlab می‌باشد، آستانه کامل بودن داده‌ها ( $M_c$ )، پارامترهای لرزه‌خیزی  $a$ -value و  $b$ -value بررسی و محاسبه شده و نمودارها و نقشه‌های پهنه‌بندی بر اساس  $b$ -value و  $M_{max}$  تهیه شدند.

## ۴. ناحیه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شمال‌غرب ایران، در استان آذربایجان شرقی در محدوده شهرستان مراغه و هشترود واقع شده است. محدوده پروژه از غرب به هشترود و از شرق به مراغه

پهنه ایران زمین به دلیل قرارگیری بر روی کمربند زلزله همواره در معرض خطر وقوع زلزله‌های مخرب بوده است. شکل‌گیری گسل‌های بزرگ و عمیق در طول تکامل پوسته‌ای ایران و وجود میدان‌های تنش فعال، همواره آن را مستعد وقوع رخدادهای لرزه‌ای پر مخاطره کرده است [۱]. شمال‌غرب ایران در ناحیه بین دریای خزر، جنوب قفقاز، شرق آناتولی و شمال رشته‌کوه‌های زاگرس واقع شده است. این ناحیه بخشی از فلات ایران-ترکیه است که یکی از دو فلات اصلی سامانه چین‌خورده آلپ-همیالیا به‌شمار می‌رود [۲]. به عقیده خسرو تهرانی [۳]، شکل فعلی کشور ایران در نتیجه فعالیت کوهزایی، به‌ویژه کوهزایی آلپ پایانی می‌باشد که به علت قراردادن در یک منطقه پرتحرک، زلزله‌خیز و ناآرام است. به لحاظ مورفوتکتونیک روند اصلی ناهمواری‌های ایران NW-SE است که نتیجه قراردادن پوسته ایران در محل همگرایی دو صفحه عربستان در جنوب و صفحه توران در شمال است. در حال حاضر با ایجاد پوسته اقیانوسی در دریای سرخ، عربستان با سرعت ۳-۳/۵ سانتیمتر در سال و در جهت NW-SE، فلات ایران را تحت فشار قرار می‌دهد [۴].

مطالعه خطر زلزله در مسیر سازه‌های زیرزمینی و روزمینی اهمیت خاصی دارد. در واقع بسیاری از سازه‌ها به خصوص سازه‌های خطی دارای تقاطع‌هایی با گسل‌ها می‌باشند که این امر باعث آسیب‌پذیری آن‌ها بر اثر حرکت گسل می‌گردد. به همین دلیل در حین بررسی‌های ساخت‌گاه برای ساخت سازه‌های زیرزمینی و همچنین سازه‌های روزمینی باید به وجود گسل‌ها توجه خاصی مبذول شود تا بتوان با شناخت کامل آن‌ها، پیشگیری‌های لازم را در جهت کاهش میزان صدمات ناشی از گسلش انجام داد [۵].

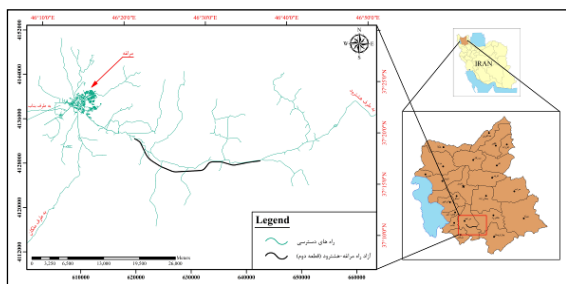
## ۲. پیشینه پژوهش

از جمله پژوهش‌هایی که در زمینه محاسبه پارامترهای لرزه‌خیزی و تعیین خطر لرزه‌ای انجام شده است، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. حسن‌پورصدقی و همکاران [۶]، به بررسی لرزه زمین‌ساختی محدوده طرح کانال انتقال آب خداآفرین پرداخته‌اند و با بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی بر اساس دوره بازگشت و احتمال رخداد سالانه، مناطق آسیب‌پذیر از لحاظ لرزه‌خیزی را مشخص کرده‌اند. سعیدنژاد و کشاورزی‌پورقتی [۷]، با استفاده از مدل گوتنبرگ - ریشتر و پواسون، تحلیل خطر لرزه‌ای استان خراسان رضوی را انجام داده‌اند و نقشه توزیع  $b$ -value، ترسیم و زلزله مبنا طرح و حداکثر زمین‌لرزه قابل انتظار را محاسبه کرده‌اند. همتی و همکاران [۵]، به روش قطعی و احتمالاتی به بررسی توان لرزه‌زایی گسل بناوان پرداخته و دوره بازگشت بزرگ، برای گستره ۱۰۰ کیلومتری منطقه را محاسبه و

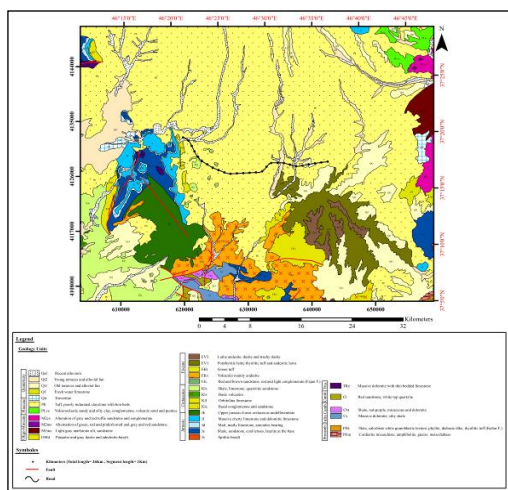
حرکت رو به شمال دماغه عربستان در پلیوسن میانی (۳/۵) میلیون سال قبل)، موجب حرکت و فعالیت گسل‌های ترانسفورم طالش و قفقاز شد و در نتیجه بین دریای سیاه و حوضه جنوبی دریای خزر فاصله به وجود آمد. اگر این موضوع را قبول داشته باشیم، به این نتیجه می‌رسیم فلات آذری در حال حاضر در جهت شمال-شمال شرق به حرکت خود ادامه می‌دهد و احتمالاً ولکانیسم پلیوکواترن سبلان، سهند و زمین‌لرزه‌های این منطقه معلول همچنین جابه‌جایی‌ها است [۱۷].

محدوده پروژه از لحاظ لیتولوژی و چینه‌شناسی، دربرگیرنده رسوباتی به سن کرتاسه تا عهد حاضر می‌باشد و به ترتیب شامل موارد زیر است:

رسوبات کرتاسه، شامل ماسه‌سنگ، آهک و شیل می‌باشد، رسوبات پلیوسن متشکل از سنگ‌رس و توف و رسوبات عهد حاضر که شامل تراس‌های آبرفتی قدیمی و جوان و رسوبات رودخانه‌ای می‌باشد (شکل ۲).



شکل (۱): نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه



شکل (۲): نقشه سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه

## ۵. نتایج و بحث

زلزله‌خیز بودن ایران از عوامل متعددی ناشی می‌شود که می‌توان آن را به این صورت تشریح کرد، علاوه بر تاثیر شرایط

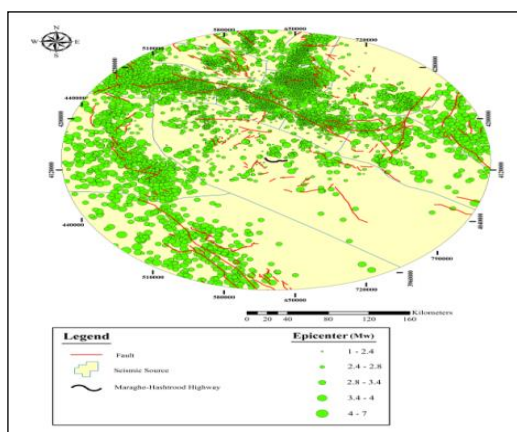
محدود می‌شود که در طول جغرافیایی ۴۶° ۱۰' تا ۴۶° ۵۰' شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷° ۱۰' تا ۳۷° ۳۰' شمالی قرار گرفته است. طول کل آزادراه مراغه-هشتروند ۹۲ کیلومتر و قطعه دوم این آزادراه ۲۶ کیلومتر می‌باشد (شکل ۱).

ناحیه مورد مطالعه از نظر زمین‌شناسی در بخش البرز آذربایجان از تقسیمات زمین‌شناسی ایران قرار گرفته است [۱۲] و از دیدگاه استوکلین [۱۳]، قسمت‌هایی از آن نیز جزو ایران مرکزی محسوب می‌شود. منطقه آذربایجان که منطقه مورد مطالعه نیز جزو آن محسوب می‌شود، حوادث زیادی را پشت سر گذاشته که آثار آن از پراکامبرین (زمین‌های دگرگونی زنجان، میانه، ماکو، خوی و شمال ارومیه) تا به امروز (ولکانیسم سهند و سبلان) قابل مشاهده است. تفسیر ساختمان فعلی آذربایجان، به نظر لسیور و ریو [۱۴]، بعد از فاز گرانیته شدن که فلات آذری را در الیگوسن تحت تاثیر قرار داد و آن را سخت و مستحکم کرد، سرزمین آذربایجان مانند یک مینی‌کراتون عمل نمود و در حدود ۲۰ میلیون سال قبل (اکی‌تاینین)، در حد بین کوه‌های طالش و قفقاز کوچک، گسل‌های ترانسفورم و زون جوش‌خورده قفقاز را به زون رورانده زاگرس متصل می‌ساخت [۱۵]. به این ترتیب حرکات تکتونیکی شدیدی که جهت فشردگی آن تقریباً شمالی-جنوبی بوده است، مینی‌کراتون مزبور را به سمت شمال متوجه ساخت و قفقاز را از آن خارج کرد که شاهد آن رسوبات قاره و کنگلومرای همین زمان در قفقاز و ارمنستان جنوبی است. حرکات مزبور خود در نتیجه فشار دماغه عربستان بر سرزمین‌های جنوبی اوراسیا پدید آمده است. به عقیده دیدون و جماین [۱۵]، حرکات مزبور از نوع کشویی و جهت آن از ائوسن تعیین شده بود و مطابق طرح همین محققان، در سمت مشرق، حرکت کشویی راستگرد اردبیل-میانه و در مغرب، حرکت کشویی چپگرد که حد مرز یک میکروپلیت بوده است، شکل می‌گیرد. این حرکات موجب خمش در منتهی‌الیه سلسله جبال البرز می‌شود و به این طریق سلسله جبال البرز در آذربایجان به صورت گازانبری درمی‌آید که از یک طرف به وسیله مینی‌کراتون آذربایجان در سمت جنوب و به وسیله پوسته سخت کف دریای خزر که قوس البرز بر روی آن تکیه می‌کند احاطه می‌شود [۱۶]. با این وجود، در ایجاد این خمش عوامل دیگری از جمله خمش منطقه طالش از یک طرف و ساختمان داخلی فلات آذری از طرف دیگر، مؤثر بوده است و به نظر همین نویسندگان، ساختمان داخلی آذربایجان با سه هورست<sup>۱</sup> در جهت شرقی و غربی مشخص می‌شود. در عین حال، حرکت کشویی راستگرد گسل سلطانیه-تبریز، باعث ایجاد حرکت دورانی این مینی‌کراتون در هنگام رانده شدن آن در جهت شمال می‌شود و احتمالاً همین دوران باعث تغییر جهت ساختمانی تمام منطقه شرقی فلات آذربایجان شده است. به عقیده زونونشین و لپیکون [۱۶]،

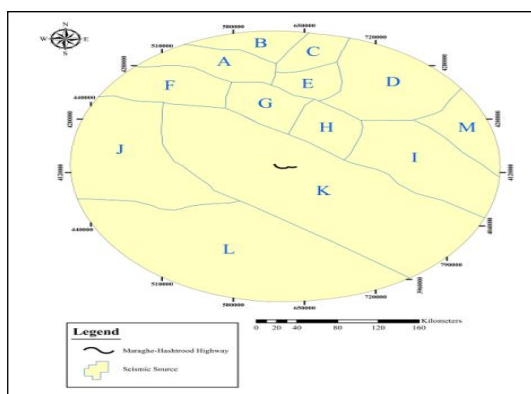
<sup>۱</sup> Horst: قطعه بالا آمده بین دو گسل

در تحلیل لرزه‌خیزی و برآورد پارامترهای گستره طرح، فرض بر این است که وقوع زمین‌لرزه‌ها پواسونی است، بدین معنی که زمان و مکان رویداد زمین‌لرزه‌ها مستقل از یکدیگر است. روش مورد استفاده در جداسازی پیش‌لرزه‌ها و پس‌لرزه‌ها از رویدادهای اصلی روش پنجره‌های متغیر در حوزه زمان و مکان، روش Powell & Duda [۲۱] و Gardner & Knopuff [۲۲]، می‌باشد.

پس از گردآوری و تلفیق داده‌ها و تهیه کاتالوگ لرزه‌ای مناسب، ابتدا محدوده ۲۰۰ کیلومتری اطراف آرادراه مورد مطالعه مشخص گردید و چشمه‌های لرزه‌زا موجود در محدوده مورد مطالعه، بر اساس داده‌های لرزه‌ای و گسل‌های موجود، در نرم‌افزار ArcGIS قطع‌بندی و از (A) تا (M) حروف‌گذاری شدند (شکل‌های ۳ و ۴).



شکل (۳): نقشه گسل‌ها، داده‌های لرزه‌ای و چشمه‌های لرزه‌زا



شکل (۴): نقشه چشمه‌های لرزه‌زا و نامگذاری مربوط به هر چشمه

سپس با استفاده از روابط همبستگی، تبدیل بزرگا انجام شد. بدین صورت که ابتدا بزرگای کاتالوگ که به صورت بزرگای محلی ( $M_L$ ) می‌باشد به بزرگای امواج حجمی ( $m_b$ ) و سپس به بزرگای گشتاوری ( $M_w$ ) تبدیل کردیم. به این دلیل که بزرگای گشتاوری، برای زمین‌لرزه‌های بزرگ‌تر اشباع نمی‌شود و بسیار دقیق‌تر است. روابط مورد استفاده برای تبدیل بزرگا در این پژوهش که با

دیرینه زمین‌ساختی ایران، بین نوزمین ساخت<sup>۱</sup> و زمین‌لرزه‌های آن نیز رابطه مستقیمی وجود دارد. لذا مهمترین علل و یا عوامل بالقوه در زلزله‌خیزی کشور را می‌توان در خصیصه‌های لرزه زمین‌ساخت آن و عوامل دیگری همچون موقعیت بین صفحه‌ای ایران، وجود گسل‌های متعدد حرکات و جنبش‌های اخیر آلپی، زیراندگی قطعات لیتوسفری به زیر بعضی قسمت‌های حاشیه‌ای (همچون راندگی کف دریای عمان به زیر مکران، راندگی سپر عربستان به زیر زاگرس و حرکت مورب کف دریای خزر به زیر البرز) و تاثیر عوامل انسانی دانست [۱۸]. بر اساس مطالعات لرزه زمین‌ساختی و همچنین لرزه‌شناسی می‌توان به الگوی پراکنش و توزیع زمین‌لرزه‌ها در نقاط مختلف رسید تا در نهایت امکان وقوع مجدد زلزله در طول گسل‌های مستعد و دارای پتانسیل لرزه‌ای را پیش‌بینی کرد. از آنجا که موقعیت و وضعیت گسل‌های یک پهنه و ویژگی زمین‌لرزه‌های آن منطقه، می‌تواند معرف وضعیت لرزه‌زمین‌ساختی پهنه مورد نظر باشد، بر این اساس، برخی از پژوهشگران اقدام به تقسیم‌بندی ایالت‌های لرزه زمین‌ساختی در ایران نموده‌اند. [۱۹]، چهار واحد اصلی لرزه زمین‌ساختی را در گستره ایران زمین در نظر گرفته است که شامل: ۱- کمربند چین‌خورده فعال زاگرس، ۲- ایران مرکزی (آذربایجان، بخش مرکزی ایران، رشته‌کوه‌های شرق ایران و مکران)، ۳- رشته کوه‌های البرز، ۴- رشته‌کوه‌های کپه‌داغ می‌باشند [۲۰]. بر اساس فراوانی رویداد زمین‌لرزه‌ها بر حسب بزرگای آن‌ها که بر حسب روابط مختلف گوتنبرگ- ریشتر بیان می‌گردد و استفاده از روش‌های مختلف آماری، پارامترهای لرزه‌خیزی که تقریباً همان ضرایب ثابت گوتنبرگ- ریشتر می‌باشند، محاسبه می‌شوند. روش گوتنبرگ- ریشتر کاربردی‌ترین مدلی است که برای تشریح چگونگی تغییرهای ویژگی‌های آماری لرزه‌خیزی پیشنهاد شده است. در این روش با برون‌یابی آهنگ رخداد زلزله‌های کوچکتر می‌توان به آهنگ رخداد زلزله‌های بزرگتر دست یافت [۸]. در این مطالعه فرضیات پایه‌ای که می‌بایست مورد توجه قرار گیرند عبارتند از: ۱- تبعیت زمین‌لرزه‌ها از فرآیند پواسونی به معنای مستقل بودن رویداد زمین‌لرزه‌ها در حوزه زمان و مکان از همدیگر و دارا بودن خصوصیات مشخص لرزه‌ای با در نظر گرفتن استان‌های لرزه زمین‌ساخت، ۲- استفاده از توابع توزیعی که توان محاسبه دقیق روابط بزرگا- فراوانی را همخوان با لرزه‌خیزی واقعی گستره طرح داشته باشد، ۳- امکان انجام دسته‌بندی‌های مناسب (Clustering)، برای زمین‌لرزه‌ها با توجه به دقت ثبت بزرگا و پراکندگی زمین‌لرزه‌ها به صورت کاتالوگ مناسب، ۴- استفاده صحیح از زمین‌لرزه‌های تاریخی به همراه زمین‌لرزه‌های دستگاهی [۶].

<sup>۱</sup> Neotectonics: نوزمین‌ساخت زیر شاخه‌ای از دانش زمین‌ساخت است که به مطالعه آن دسته از حرکات، جنبش‌ها و تغییر شکل‌های پوسته زمین می‌پردازد که در دوره زمین‌شناختی کنونی نیز ادامه دارد.

دوره بازگشت و احتمال رخداد سالانه هر چشمه با استفاده از نمودارهای حاصله از نرم‌افزار Zmap، به‌دست آمد (جدول‌های ۱ و ۲). در نهایت با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS، نقشه‌های پهنه‌بندی بر اساس Mmax و b-value تهیه شد (شکل ۶ و ۷). به‌طور کلی مناطقی که b-value کمتری را نشان می‌دهند، از لحاظ کیفی مستعد رخداد زلزله‌های بزرگتری هستند [۷].

جدول (۱): دوره بازگشت مربوط به هر چشمه لرزه‌زا (YT)

		بزرگا (Mw)					
		۳	۴	۵	۶	۷	۸
چشمه لرزه‌زا	A	۱۰	۱۲	۱۵	۹۰	۵۵۰	۷۰۰۰
	B	$4 \times 10^{-1}$	۸۰	$10^4$	$2 \times 10^6$	$6 \times 10^4$	$4 \times 10^{10}$
	C	$8 \times 10^{-1}$	۱۰۰	$6 \times 10^4$	$2 \times 10^7$	$10^{10}$	$4 \times 10^{12}$
	D	$10^{-1}$	۳	۱۲	۵۰۰	$9 \times 10^3$	$8 \times 10^4$
	E	$8 \times 10^{-2}$	۲	۱۱	۳۵	۱۷۰	۸۰۰
	F	$9 \times 10^{-1}$	$5 \times 10^{-1}$	۴	۲۰	۱۵۰	۷۰۰
	G	$2 \times 10^{-1}$	۲	۱۶	۱۴۰	$10^3$	$8 \times 10^3$
	H	$1/5 \times 10^{-1}$	۱/۵	۸	۴۵	۲۶۰	$1/5 \times 10^3$
	I	$1/4 \times 10^{-1}$	۱/۳	۱۰	۸۵	۷۰۰	۵۰۰۰
	J	$4 \times 10^{-2}$	$3 \times 10^{-1}$	۲/۸	۱۸	۱۴۰	۶۵۰
	K	$10^{-1}$	۲/۸	۵۵	$10^3$	$2 \times 10^4$	$2 \times 10^5$
	L	$3 \times 10^{-2}$	$6 \times 10^{-1}$	۵/۵	۸۰	$10^3$	$1/8 \times 10^4$
	M	$9 \times 10^{-2}$	$9 \times 10^{-1}$	۷/۹	۷۰	۶۰۰	$1/5 \times 10^4$

استفاده از تحلیل رگرسیون به‌دست‌آمده به‌صورت زیر می‌باشد: [۲۳]

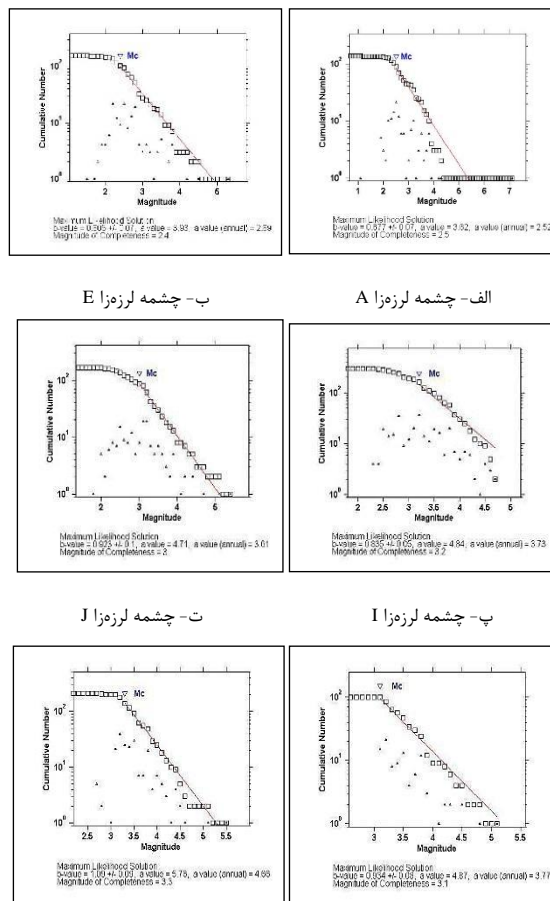
$$m_b = 0.72 M_L + 1.227 \quad \text{for } M_L < 5$$

$$m_b = 0.1 M_L - 0.84 M_L + 2.81 \quad \text{for } 5 \leq M_L < 7$$

$$M_W = 10.71 m_b - 0.166 \quad \text{for } m_b \leq 6$$

$$M_W = 0.386 m_b^2 - 3.117 m_b + 11.12 \quad \text{for } 6 < m_b < 7$$

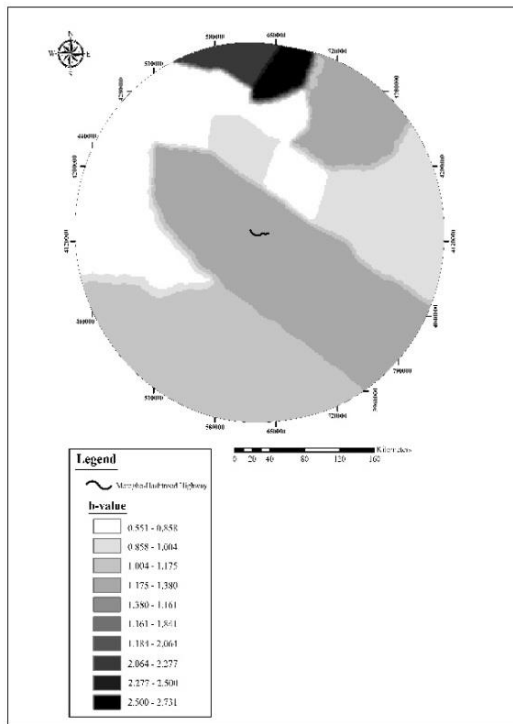
پیش‌لرزه‌ها و پس‌لرزه‌ها، با استفاده از نرم‌افزار Zmap و از طریق الگوریتم این نرم‌افزار که اشاره شد با روش Gardner & Knopuff [۲۲]، از کاتالوگ اصلی جداسازی شدند. آستانه کامل بودن داده‌ها (Mc) و پارامترهای لرزه‌خیزی a-value و b-value نیز با استفاده از نرم‌افزار Zmap، برای داده‌های لرزه‌ای هر چشمه لرزه‌زا به‌صورت جداگانه بررسی و محاسبه شدند که نتایج حاصله برای برخی از چشمه‌ها به‌عنوان نمونه در شکل (۵) نمایش داده شده است.



شکل (۵): الف تا ج: پارامترهای لرزه‌خیزی و بزرگای آستانه محاسبه شده (Mc): آستانه کامل بودن داده‌ها، a-value و b-value: پارامترهای لرزه‌خیزی

جدول (۲): احتمال رخداد سالانه مربوط به هر چشمه لرزه‌زا

		بزرگا (Mw)					
		۳	۴	۵	۶	۷	۸
چشمه لرزه‌زا	A	۴	$3/8 \times 10^{-1}$	$6 \times 10^{-2}$	$1/2 \times 10^{-2}$	$1/5 \times 10^{-2}$	$2/5 \times 10^{-2}$
	B	۳	$2 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^{-2}$	$7 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-3}$	$4 \times 10^{-3}$
	C	۲	$1 \times 10^{-2}$	$4 \times 10^{-3}$	$8 \times 10^{-4}$	$2 \times 10^{-4}$	$2 \times 10^{-4}$
	D	۸/۲	$4 \times 10^{-1}$	$2 \times 10^{-2}$	$1/9 \times 10^{-2}$	$1/5 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^{-3}$
	E	$1 \times 10^{-1}$	$1/2 \times 10^{-1}$	$9 \times 10^{-2}$	$3 \times 10^{-2}$	$5 \times 10^{-2}$	$1/3 \times 10^{-2}$
	F	۱۲	۱/۸	$2 \times 10^{-2}$	$3/5 \times 10^{-2}$	$1/5 \times 10^{-2}$	$1/4 \times 10^{-2}$
	G	۵/۵	$4/5 \times 10^{-1}$	$6 \times 10^{-2}$	$7 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^{-2}$	$1/5 \times 10^{-2}$
	H	۷	$6/5 \times 10^{-1}$	$1/4 \times 10^{-1}$	$1/3 \times 10^{-2}$	$3 \times 10^{-2}$	$4 \times 10^{-2}$
	I	۹	$9 \times 10^{-1}$	$9 \times 10^{-2}$	$1/3 \times 10^{-2}$	$1/6 \times 10^{-2}$	$2/6 \times 10^{-2}$
	J	۲۴	۲/۵	$3/6 \times 10^{-1}$	$5/4 \times 10^{-2}$	$8/5 \times 10^{-2}$	$1/5 \times 10^{-2}$
	K	۸	$2/5 \times 10^{-1}$	$1/8 \times 10^{-2}$	$9 \times 10^{-2}$	$7 \times 10^{-3}$	$2 \times 10^{-3}$
	L	۱۱	۱/۹	$1/7 \times 10^{-1}$	$1/4 \times 10^{-2}$	$1/3 \times 10^{-2}$	$1/3 \times 10^{-2}$
	M	۱۰	۱/۳	$1/4 \times 10^{-1}$	$1/5 \times 10^{-2}$	$1/7 \times 10^{-2}$	$1/5 \times 10^{-2}$



شکل (۷): نقشه پهنه‌بندی بر اساس b-value

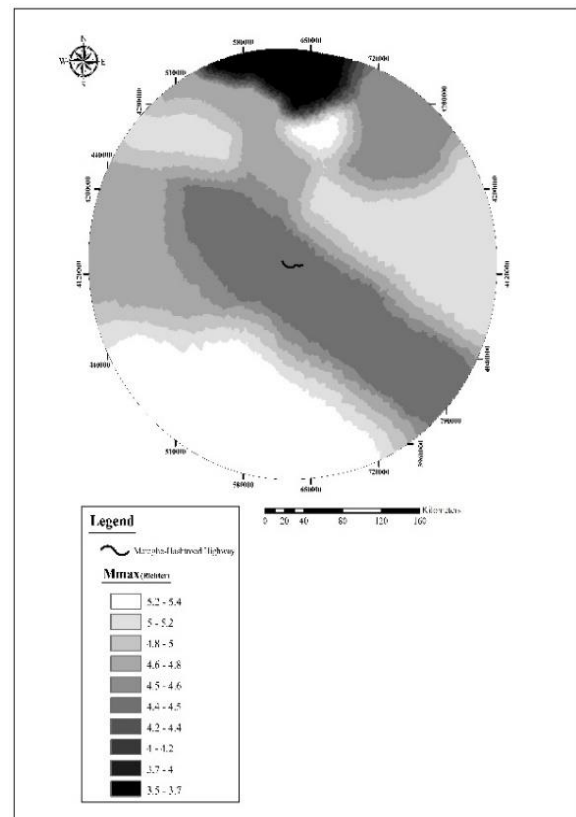
### ۶. نتیجه‌گیری

منطقه شمال غرب ایران، به علت وجود گسل‌های متعدد و فعال، همواره در معرض خطر زلزله می‌باشد. عدم توجه و سهل‌انگاری در این موضوع، در اکثر پروژه‌ها، مسبب خسارات جبران‌ناپذیری شده‌است. نقشه‌ها و مقادیر به دست آمده در این پژوهش، می‌تواند در کاهش خسارات بعد از بهره‌برداری، در این پروژه، کمک شایانی بکند.

با بررسی نقشه پهنه‌بندی b-value، مقدار غالب این ضریب بین ۱/۱۷ الی ۱/۳۸ مشاهده می‌شود که حدود ۳۳/۱۲ درصد کل منطقه می‌باشد و مسیر مورد مطالعه نیز در این منطقه واقع شده‌است. حداقل و حداکثر مقادیر Mmax نیز به ترتیب برابر با ۳/۵ و ۵/۴ ریشتر است که مسیر مورد مطالعه در محدوده ۴/۴ الی ۴/۵ ریشتر می‌باشد. در نهایت می‌توان چنین استنباط کرد که منطقه مورد مطالعه از لحاظ احتمال رخداد زمین‌لرزه بزرگ مستعد می‌باشد و تمهیدات لازم جهت پایداری و جلوگیری از تخریب سازه‌های موجود، باید در نظر گرفته شود.

### ۷. مراجع

۱. سامانی، ب.، چرچی، ع.، تحلیل الگوی مکانی گسلش و رومرکز رخدادهای لرزه‌ای با استفاده از روش فرای (مطالعه موردی در استان یزد)، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۱۸، ۱۳۹۴.



شکل (۶): نقشه پهنه‌بندی بر اساس Mmax

۱۱. نبوی، م. ح.، دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی کشور، ص. ۱۰۹، ۱۳۵۵.
3. J. Stöcklin, "Structural history and tectonics of Iran," a review, American Association of Petroleum Geology Bulletin, vol. 52, no.7, pp. 1229-1258, 1968.
4. J. L. Lescuyer and R. Riou, "Geologie de la region de Meyaneh (Azerbaijan)," Contribution al etude da Volcanism tertiare de L'Iran, Thesis, Grenoble Univ. Grenoble, France, p. 232, 1976.
5. J. Didon and Y. A. Gemain, "La Sabalan, volcan Plio-Quaternair de L'Azerbaijan orientat (Iran)," Etude geologiquee et petrographique de L'edifice et de son environnement regional: These 3eems cycle, Univ. Sceintifique et Medicale de Grenoble, France, 1976.
6. L. P. Zonenshain and X. LePichon, "Deep basin of the Black sea Caspian sea as remnants of Mesozoic bacuarc basins," Tectonophysics, vol. 123, pp.181-211, 1986.
۱۲. مهندسیین مشاور پی‌آب شمال غرب، مطالعات تخصصی (زمین‌شناسی) شهرستان عجب‌شیر، ۱۳۸۸.
۱۳. زمردیان، م.، ژئومورفولوژی ایران-فرآیندهای ساختمانی و دینامیک‌های درونی، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۱.
7. M. Berberian, "Contribution to the seismotectonics of Iran," Geological survey of Iran, p. 518, 1976.
۱۴. پورکرمانی، م.، آری، م.، لرزه‌خیزی ایران، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، ۱۳۷۷.
8. J. A. Powell and S. J. Duda, "A statistical study of earthquake occurrence," Pageoph, vol.113, pp. 447-460, 1975.
9. J. K. Gardner and L. Knopuff, "Is the sequence of earthquake in Southern California, with aftershocks removed, Poissonian?," Bulletin of the Seismological Society of America, 1974.
۱۵. علیزاده، ب.، پورزینلی، س.، جمشیدی‌چناری، ر.، معرفی روابط همبستگی جدید بین مقیاس‌های بزرگای زمین‌لرزه در ایران، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۱۳۹۰.
2. A. M. C. Sengorand and W. S. F. Kidd, "Post-collision tectonics of the Turkish-Iranian Plateau and a comparison with Tibet," Tectonophysics, 1979.
۲. خسروتهرانی، خ.، زمین‌شناسی ایران، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۴.
۳. درویش‌زاده، ع.، زمین‌شناسی ایران، تهران: انتشارات مدرسه، چاپ دوم، ۱۳۸۰.
۴. همتی، ف.، زمانی‌قره‌چمنی، ب.، مختاری، د.، روستایی، ش.، بررسی توان لرزه‌زایی گسل بناوان به روش قطعی و احتمالاتی، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۴، ۱۳۹۶.
۵. حسن‌پورصدقی، م.، مشمول‌کویچ، س.، رحیمی، ح.، بررسی لرزه-زمین‌ساختی و پارامترهای لرزه‌خیزی در محدوده طرح کانال انتقال آب خداآفرین، کنفرانس ملی ساخت و ساز در مناطق لرزه‌خیز، یادبود سالگرد زلزله ارسباران، ۱۳۹۶.
۶. سعیدنژاد، م.، کشاورزی‌پورفتی، س.، تحلیل خطر لرزه‌ای با مدل گوتنبرگ-ریشر و پواسون، رسم نقشه b-value و محاسبه مقادیر DBE&MCE، در استان خراسان‌رضوی، فصلنامه زمین-ساخت، شماره ۴، ۱۳۹۴.
۷. بیت‌اللهی، ع.، معتمد، پ.، محاسبه پارامترهای لرزه‌خیزی برای منطقه البرز مرکزی، پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، شماره ۳ و ۴، ۱۳۸۹.
۸. شاهوردی، ز.، صفایی، ه.، قاضی‌فرد، الف.، تعیین پارامترهای لرزه‌ای و خطر زمین‌لرزه‌ی ترانشه کنارگذر در حال احداث خوانسار، هفتمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران، ۱۳۹۰.
۹. نریمانی، م.، مطالعه فرکتالی پارامترهای لرزه‌خیزی ناحیه شمال‌غرب ایران با نگرشی ویژه بر زمین‌لرزه ۲۱ مرداد اهر-ورزقان، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه تبریز، ص. ۱۱۶، ۱۳۹۳.
۱۰. سلطانی، ی.، ریاضی‌راد، ز.، پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه به روش احتمالاتی در گستره خراسان‌جنوبی، کنفرانس ژئوفیزیک ایران، ۱۳۹۳.

---

## **Study of Seismic Parameters and Seismic Risk Analysis (Case Study: Maraghe-Hashtrood Highway Project Area (Second Part))**

**S. Mashmool Koeich, M. Hassanpour Sadeghi\*, A. Sharifi**

### **Abstract**

The earthquake is one of the coincidental events with fault that at the time of the event, this phenomenon can cause damages to vital facilities such as roads, railway, oil and gas pipe lines and buried electric cables, tunnels and Buildings. The occurrence of frequent earthquake in Iran, indicates the existence of tectonics activity in the present century. Seismicity assessment is a preliminary measure for estimating the risk of earthquakes in the region or their existing structure. In this study, seismicity parameters of the study area were studied using Zmap software, which is a set of Matlab software codes. The study area is located in the northwest of Iran, in the East Azerbaijan province, in the area of Maraghe and Hashtrood. The length of the Maraghe-Hashtrood highway is 92 Kilometers, the second part of this highway is 26 Kilometers. In this study, the earthquake recurrence time and annual probability were calculated and zonation maps were prepared based on the b-value and Mmax rate. By examining the b-value zoning map, the dominate value of this coefficient is found to be between 1.17 to 1.38 which is about 33.12% of the total area and the study path is located in this area. Minimum and maximum Mmax values are 3.5 and 5.4 Richter respectively, the path studied being in the range of 4.4 to 4.5 Richter. Finally, it can be concluded that the study area is susceptible to the possibility of major earthquake, and the necessary measures for the stability and prevention for the destruction of existing structures should be considered.

**Key Words:** *Seismicity, Recurrence Time, Annual Probability, Zonation*

---

\* Tabriz university (hassanpour\_mhd@tabrizu.ac.ir)- Writer-in-Charge