

تدوین الگوی کالبدی شهرستان‌های استان مازندران با استفاده از شاخص‌های ریخت‌سنجی زمین‌ساخت فعال: مطالعه موردی شیرگاه - گلوگاه



حسن علیزاده

دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش:

تاریخ دریافت:

Developing a physical model of the cities of Mazandaran Province using morphometric indices of active tectonics: A case study of Shirgah-Galugah



Hasan Alizadeh

Associate Professor, Department of Geology, Payame Noor University Tehran, Iran.

Received:

Accepted:

چکیده

هدف از این پژوهش تدوین الگوی کالبدی شهرستان‌های استان مازندران با استفاده از شاخص‌های ریخت‌سنجی زمین‌ساخت فعال است که بر اساس مطالعه موردی سکونتگاه‌های بین شیرگاه تا گلوگاه انجام شده است. در این مطالعه ۵ شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی، انشعابات، شکل حوضه، تراکم زهکشی و برجستگی نسبی در ۱۵ حوضه زهکشی بین این دو شهرستان محاسبه شده است. نتایج حاصل از این پژوهش با تکیه بر شاخص‌های ریخت‌سنجی نشان می‌دهد که اکثر سکونتگاه‌های شهرستان مازندران از جمله مناطق مسکونی از شیرگاه تا گلوگاه منطبق بر گسل‌های شمال البرز، خطیر کوه، دزدبن و مرزن‌آباد، دارای شاخص‌های ریخت‌سنجی بالا و بسیار بالا هستند که به دلیل تأثیر گسل‌های مذکور می‌باشد. حدود ۳۳/۳ درصد از منطقه که تحت سیطره فعالیت این گسل‌ها می‌باشد. علاوه بر گسل‌های اصلی، گسل‌های فرعی دیگری که در اثر حرکات زمین‌ساختی اخیر تشکیل شده‌اند، فعالیت زمین‌ساختی متوسط به بالایی را ارائه می‌دهند. قرارگیری این سکونتگاه‌ها در مجاورت این گسل‌ها سبب شده است که ریسک لرزه‌خیزی منطقه نیز افزایش یابد. به دلیل وجود تاریخچه‌ای مبنی بر وجود زمین‌لرزه در این منطقه و اثبات فعال بودن منطقه از نظر زمین‌ساختی، باید در ساخت زیربنای عمرانی، مقوله مخاطرات حاصل از زمین‌لرزه‌ها مورد توجه قرار گیرد.

واژگان کلیدی

زمین‌ساخت فعال، زمین لرزه، شاخص‌های ریخت‌سنجی، شیرگاه، گلوگاه.

Abstract

The purpose of this research is to develop a physical model of the cities of Mazandaran province using morphometric indices of active tectonics, which was conducted based on a case study of settlements between Shirgah and Galugah. In this study, five indices of hierarchical anomaly, bifurcation, basin shape, drainage density, and relative prominence were calculated in 15 drainage basins between these two counties. The results of this study, based on morphometric indices, show that most of the settlements in Mazandaran city, including residential areas from Shirgah to Galugah, corresponding to the faults of North Alborz, Khatir Kooch, Dazdbon, and Marzanabad, have high and very high morphometric indices due to the influence of the aforementioned faults. About 33.3% of the area is dominated by the activity of these faults. In addition to the main faults, other minor faults formed by recent tectonic movements present moderate to high tectonic activity. The location of these settlements in the vicinity of these faults has also increased the seismic risk of the region. Due to the history of earthquakes in this region and the proven tectonic activity of the region, the risks from earthquakes must be considered in the construction of civil infrastructure.

Keywords

Active Tectonics, Earthquake, Morphometric Indices, Shirgah, Galugah.

E-mail: h_alizadehs@pnu.ac.ir

*نویسنده مسئول: حسن علیزاده

*Corresponding Author: Hasan Alizadeh; ORCID: 0000-0003-0720-9520

مقدمه

شاخص‌های ریخت‌سنجی به طور گسترده‌ای به عنوان ابزاری برای شناسایی و مشخص کردن بخش‌های تغییر شکل‌یافته بوسیله گسل‌های فعال^۱ مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Giaconia et al., 2012: 93). هدف ریخت‌سنجی استخراج ویژگی‌های فرمی سطح زمین و عوارض موجود در آن با استفاده از مدل‌های رقومی سطح زمین و نرم‌افزارهای پارامترسازی است (محمدی و جلالی، ۱۳۹۶: ۶۹). به عبارتی می‌توان گفت ریخت‌سنجی، علم کمی‌سازی عوارض سطحی زمین، با تمرکز بر استخراج پارامترهای عوارض سطح زمین براساس مدل رقومی ارتفاعی (DEM) می‌باشد. اندازه‌گیری‌های کمی امکان مقایسه عینی زمین‌ریخت‌های^۲ مختلف و محاسبه متغیرهای کم‌تر قابل فهم را فراهم و شناسایی ویژگی‌های خاص شامل سطح فعالیت زمین‌ساختی یک منطقه را امکان‌پذیر می‌سازد، اندازه‌گیری‌های کمی شرایطی را فراهم می‌آورد تا با استفاده از آن‌ها به شناسایی وضعیت مناطق دارای زمین‌ساخت فعال پرداخته شود. استخراج شاخص‌های ریخت‌سنجی با استفاده از مدل‌های رقومی ارتفاعی (DEM) در محیط GIS در دهه‌های اخیر، روشی دقیق و مورد اطمینان در تحلیل حوضه زهکشی بوده، به طوری که از این شاخص‌ها برای ارزیابی سریع فعالیت‌های زمین‌ساختی در یک ناحیه خاص استفاده شده است (Keller & Pinter, 2002: 5). رودخانه‌ها به سرعت و به طور ثابت به تغییر شکل حاصل از زمین‌ساخت فعال در سطح زمین واکنش نشان می‌دهند (Holbrook & Schumm, 1999: 17; Seeber & Gornitz, 1983: 9). بررسی الگوی رودها، اطلاعات مهمی در مورد گسترش و تکامل ساختاری منطقه فراهم می‌آورد (Keller, et al., 1998: 62; Walker, 2006: 23). تحلیل شبکه‌های زهکشی ابزار قدرتمندی برای شناسایی فعالیت‌های زمین‌ساختی جدید و بالآمدگی‌ها می‌باشد، کانال‌های رودخانه‌ای نسبت به تغییرات در عواملی که شکل و شیب آن‌ها را کنترل می‌کنند، بسیار حساس می‌باشند. تغییرات اقلیم، زمین‌ساخت و سنگ‌شناسی شرایط تعادل رودخانه و در نتیجه ریخت‌شناسی رودخانه را تحت تاثیر قرار می‌دهند (Perez Pena, 2009: 21).

مخاطرات ریخت زمین‌ساختی از مخاطرات محیطی می‌باشند که در سراسر جهان باعث اختلال جدی در فعالیت‌های انسانی می‌شوند. در سال‌های اخیر قابلیت زمین‌شناسان و جغرافی‌دانان برای شناخت مناطق مخاطره‌آمیز و دارای پتانسیل خطر افزایش یافته و راهکارهای ریخت زمین‌ساختی برای حل مسائل محیطی توسعه یافته است (Alcántara-Ayala & Goudie, 2010). بسیاری از بلایای طبیعی منشا ریخت زمین‌ساختی دارند و همه کشورها تحت‌تاثیر این بلایا قرار می‌گیرند (Latrubesse, 2010).

مبانی نظری

چارچوب نظری

با تداوم توسعه شهرها، پیش‌بینی‌ها حاکی از وسعت هرچه بیشتر مخاطرات لرزه‌ای در مناطق شهری می‌باشد. زیرا با گسترش شهرها و به تبع آن افزایش جمعیت، منجر خواهد شد که توسعه شهرسازی بر روی گسل‌ها و مناطق پرخطر لرزه‌ای نیز ساخته شود. به دنبال این تحولات و نگرانی‌ها، نظریه توسعه پایدار و الگوی توسعه کالبدی که پیدایش آن به دهه‌های آخر قرن بیستم باز می‌گردد، بیش از پیش قوت گرفت. در این میان با توجه به نقش پررنگ شهرها در پیدایش ناپایداری، نظریه توسعه پایدار شهری از اهمیت فراوانی برخوردار شده و با توجه به اثرات گسترده مسکن بر محیط‌های شهری در راستای تحقق اهداف توسعه پایدار شهری، بخش مسکن نقش بسیار مهمی را در این میان بر عهده دارد (حکمت‌نیا و همکاران، ۱۴۰۰). بنابراین آن نوع مسکنی که نیازهای زیستی نسل کنونی را بر مبنای امنیت مخاطرات طبیعی برآورده ساخته و در عین حال محلاتی جاذب و ایمن را ضمن توجه به مسائل اکولوژیک، فرهنگی و اقتصادی ایجاد کند، مسکن پایدار تلقی می‌شود.

در مطالعات شهری، تاب‌آوری عمدتاً اشاره به ظرفیت بهبود در برابر فجایع طبیعی مانند زلزله، سیل و جنگ دارد. با توجه به تعدد معنای تاب‌آوری در علوم مختلف توسط محققان، نوپا بودن این اصطلاح در امور شهری و همچنین با توجه به این که هر محیطی برای خود دارای ویژگی‌های اجتماعی، اقتصادی، کالبدی و مدیریتی خاص خود است، کاربری این اصطلاح در مکان و زمان مورد مطالعه متفاوت خواهد بود (موسوی و همکاران، ۱۴۰۲). ضرورت بازآفرینی بافتهای فرسوده مقوله بسیار مهمی برای برنامه‌ریزان شهری به شمار می‌آید که به منظور توسعه شهری به مفهوم رشد کمی عناصر کالبدی شهر برای اسکان جمعیت و ارتقای کیفیت زندگی، در قالب طرحهای توسعه شهری رخ خواهد داد (شاطریان و همکاران، ۱۴۰۲).

در استان مازندران به جز مطالعات محدود لرزه زمین‌ساخت و لرزه‌خیزی در مقیاس استانی، مطالعه خاصی صورت نگرفته است. در این استان به علت نزدیکی شهرهای آن و تراکم جمعیتی در صورت رخداد یک زلزله شدید در قسمتی از آن ناحیه، کل استان را تحت‌الشعاع خود قرار می‌دهد. برای جلوگیری از حوادث مخاطرات لرزه‌ای، باید مناطق پرخطر شناسایی بشوند تا بتوان برنامه‌ریزی برای مدیریت بحران زلزله، بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های ضروری و با اهمیت اقدام کرد. بنابراین مطالعات مختلف برای تعیین وضعیت زمین‌ساخت فعال استان مازندران بسیار ضروری است.

پیشینه تحقیق

علیزاده و خلیج (۱۳۹۹) با استفاده از شاخص‌های ریخت‌سنجی به بررسی زمین‌ساخت فعال شهر پردیس پرداختند. مطابق این پژوهش خطر گسیختگی سطحی در شهر پردیس نشان می‌دهد که بستر این شهر میزبان گسل‌های مهمی می‌باشد که در مطالعات اولیه این شهر، شرایط زمین‌شناسی و مطالعات ساختگاهی مورد توجه قرار نگرفته است. با توجه به نتایج حاصل از بررسی زمین‌ساخت فعال نسبی در منطقه مورد مطالعه، نتیجه گرفته شده است که بیشتر مساحت کل منطقه مورد مطالعه در رده فعالیت زمین‌ساختی بالا قرار گرفته است که به دلیل عملکرد گسل‌های واقع در منطقه است.

عبداله‌زاده ملکی و همکاران (۱۴۰۰) آستانه تاب‌آوری فضاهای شهری زنجان را در برابر زلزله با رویکرد اجتماعی-بوم‌شناسی بررسی کرده‌اند. تایج پژوهش نشان می‌دهد که اغلب شاخص‌های مرتبط با برنامه‌ریزی و طراحی مناسب شبکه ارتباطی و هماهنگی آن با بستر بوم‌شناختی دارای بالاترین نیروی محرکه هستند. براساس خروجی مدل نیز شاخص‌های مؤثر بر آستانه تاب‌آوری اجتماعی-بوم‌شناسی فضاهای در یک تقسیم‌بندی فراگیرتر به سه سطح شاخص‌های بنیادی، پیوندی و وابسته تقسیم‌بندی شده‌اند.

مصدق‌زاده و همکاران (۱۴۰۱) مطالعاتی بر روی مخاطرات لرزه‌ای مرزن‌آباد و طالقان انجام داده‌اند. مطابق این پژوهش گسل‌های خزر، شمال البرز، دزدبن و راندگی‌های کندوان و شمال طالقان در گروه‌های بسیار بالا و بالای خطر قرار گرفته‌اند که بیانگر تأثیر این گسل‌ها بر زمین‌ساخت فعال منطقه است و به این نتیجه رسیده‌اند که ایجاد تمهیداتی به منظور کاهش ریسک خطر زمین‌لرزه در این منطقه به خصوص به دلیل شرایط توریستی شهرهای این ناحیه امری ضروری تلقی می‌شود.

موسوی و همکاران (۱۴۰۲) پژوهشی در مورد تاب‌آوری در حوزه مسکن شهری شهر سقز انجام داده‌اند. مطابق نتایج این مطالعات برخی از مناطق شهر سقز از تاب‌آوری غیرقابل تحمل و نامناسبی برخوردارند و به این نتیجه رسیده‌اند که بهبود فضای و توزیع با نظارت بر ضوابط و مقررات ساخت وسازها، امکان دسترسی این محلات امکان‌پذیر است.

مرصوصی و اسداله تبار (۱۴۰۳) در پژوهشی به ارزیابی پایداری شهرستان‌های استان مازندران طی سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۴۰۰ پرداختند. مطابق این پژوهش شهرستان‌های ساری، بابل، آمل، قائمشهر، تنکابن و چالوس از رتبه‌های بالاتری در ابعاد پایداری برخوردارند. همچنین شهرستان‌های استان مازندران پایداری متفاوتی داشته است و معضل ناپایداری، از نظر اندازه بیشتر به شهرهایی با اندازه کوچک و متوسط و از لحاظ شاخص‌ها بیشتر به مسائل اقتصادی بازمی‌گردد.

نگاپنا^۱ و همکاران (۲۰۲۰) به ارزیابی زمین‌ساخت فعال نسبی در منطقه ایدیا اسکا در جنوب غرب کامرون، آفریقای مرکزی پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که فعالیت مجدد گسل‌هایی که در این منطقه واقع شده‌اند موجب زلزله می‌شوند و فعالیت آتشفشان‌های خطی کامرون موجب شده این منطقه از نظر زمین‌ساختی فعال باشد.

گارسا و والندیا^۲ (۲۰۲۰) ریخت زمین‌ساخت منطقه در سن لوکاس در کوردیرلای مرکزی با استفاده از شاخص‌های ریخت‌سنجی مورد بررسی قرار دادند و پیامدهای زمین‌ساخت فعال را به صورت ناحیه‌ای در کوه‌های آند شمالی مشخص کردند. با این پژوهش به این نتیجه دست یافتند که بیش‌ترین فعالیت زمین‌ساختی و بالآمدگی مربوط به دامنه کوه سیمیتی، شمال گسل‌های سیمیتی - سان بلاس، در راستای گسل‌های با روند شمال غرب - جنوب شرق و در شمال حوضه فلسطین است. از پژوهش‌های دیگر صورت گرفته در این زمینه، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

مقصودی و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از شاخص‌های ریخت‌سنجی به بررسی زمین‌ساخت فعال حوضه آبریز مارون پرداختند و به این نتیجه رسیده‌اند که حوضه رودخانه مارون از نظر نو زمین‌ساختی و بالآمدگی فعال می‌باشد. زیر حوضه‌های بالادست بیش‌تر از زیر حوضه‌های میانی و انتهایی فعال می‌باشند و زمین‌ساخت منطقه تأثیر زیادی بر لندم‌ها و سکونت‌گاه‌ها دارد. مابقی و حسین‌زاده (۱۳۹۶) با استفاده از شاخص‌های نوزمین‌ساختی به بررسی تجزیه و تحلیل ریخت زمین‌ساخت حوضه رودخانه درونگر پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که فعالیت‌های نوزمین‌ساختی در حوضه مورد مطالعه فعال می‌باشد و بر اساس شاخص طبقه‌بندی Iat این حوضه از نظر زمین‌ساختی از مناطق فعال به حساب می‌آید. محمدی و همکاران (۱۳۹۶) به ارزیابی زمین‌ساخت فعال نسبی در حوضه آبخیز آبشینه همدان با استفاده از شاخص‌های زمین‌ریختی و لرزه‌خیزی منطقه پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که در اغلب شاخص‌ها نشانه‌های فعالیت حوضه آبخیز آبشینه بارز است.

یمانی و همکاران (۱۳۸۹)، تأثیر زمین‌ساخت فعال بر مخروطه افکنه‌های شمال دامغان را با استفاده از شاخص‌های کمی ریخت‌سنجی مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که گسل‌های منطقه در دوره کواترنری فعال بوده‌اند. تودشکی و آراین (۲۰۱۱) به تجزیه و تحلیل ریخت زمین‌ساخت در حوضه رودخانه قزل اوزن (شمال غرب ایران) با استفاده از شاخص‌های ریخت‌سنجی پرداخته‌اند، نتایج مطالعات بین سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ نشان می‌دهد که میزان فعالیت‌های زمین‌ساختی از غرب به شرق افزایش می‌یابد و مقدار کج‌شدگی زمین‌ساختی ناچیز بوده که در تطابق با روند لرزه‌خیزی منطقه است.

قنواتی (۲۰۱۴) در پژوهشی با استفاده از داده‌های شیب، خاک، ژئومورفولوژی، کاربری اراضی، انحنای طولی و عرضی جریان، بارش، تراکم زهکشی، فاصله از رود و زمین‌شناسی، سیلاب شهرستان کرج را پهنه‌بندی کرده است.

از آن‌جا که تاکنون ارتباط بین زمین‌ساخت فعال و ریخت‌سنجی در شهرستان‌های استان مازندران به طور دقیق مورد مطالعه قرار نگرفته است، بنابراین بررسی این شاخص‌ها به منظور شناسایی تأثیر زمین‌ساخت فعال بر سکونتگاه‌های شهری و تکامل زمین‌ساختی این منطقه ضروری به نظر می‌رسد. در این پژوهش فعالیت زمین‌ساختی و مخاطرات لرزه‌ای منطقه شیرگاه تا گلوگاه با استفاده از شاخص‌های کمی ریخت‌سنجی ناهنجاری سلسله مراتبی (Δ_a)، انشعابات (R_b)، شکل حوضه (F_f)، تراکم زهکشی (D_a) و برجستگی نسبی (B_{ri}) تعیین شده است. در انتها نیز الگوی زمین‌ساخت فعال این استان به منظور تعیین فعالیت زمین‌ساخت کل منطقه محاسبه و آرایه شد.

روش انجام پژوهش

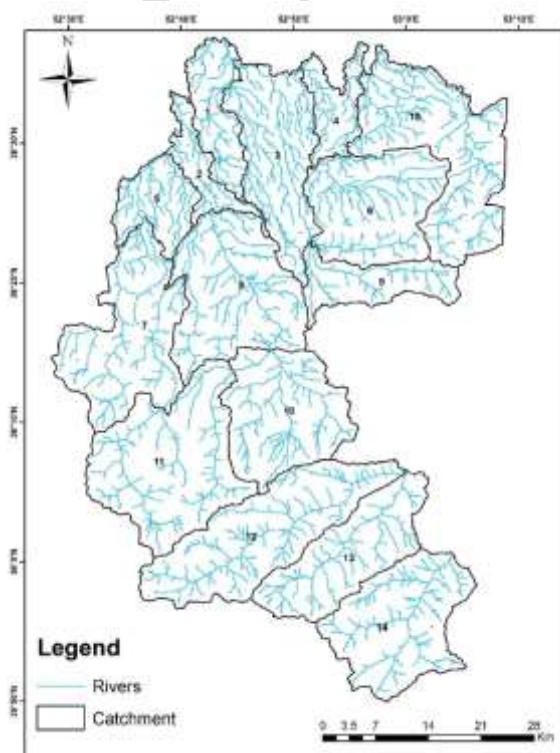
1. Ngapna

2. Garcia & Valendia,.

در این مطالعه در ابتدا با استفاده از نرم افزار Arc GIS و مدل ارتفاعی رقومی (DEM) ۳۰ متر، حوضه بندی و استخراج آبراهه ها انجام شد (شکل ۱). با استفاده از نقشه های توپوگرافی به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ از طریق نرم افزار Arc GIS لایه های مختلف کاربردی شامل آبراهه، حوضه های آبریز، گسل، لیتولوژی و خطوط ارتفاعی، تهیه شد. سپس برای حوضه های استخراج شده شاخص های ریخت سنجی ناهنجاری سلسله مراتبی (Δ_a)، انشعابات (R)، شکل حوضه (F_f)، تراکم زهکشی (D_d) و برجستگی نسبی (B_h) در ۱۵ حوضه زهکشی محاسبه شده و در نهایت شاخص زمین ساخت فعال نسبی (I_{at}) اندازه گیری شد. برای هر شاخص نقشه پهنه بندی فعالیت زمین ساختی در محدوده مورد بررسی تهیه و نتایج حاصل از محاسبه شاخص ها پس از انجام مطالعات صحرایی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. جدول ۱ شاخص های به کار رفته در این تحقیق و نحوه عملکرد آن را نشان می دهد.

جدول ۱. شاخص های مورد سنجش در تحقیق به همراه چگونگی عملکرد هر شاخص در زمین ساخت فعال منطقه

عنوان شاخص	نظریه پرداز	عملکرد شاخص
شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی	Horton, 1945	هرچه میزان زمین ساخت فعال در یک منطقه بالاتر باشد میزان این شاخص بیشتر است.
شاخص انشعابات	Strahler, 1952	هرچه میزان زمین ساخت فعال در یک منطقه بالاتر باشد میزان این شاخص بیشتر است.
شاخص تراکم زهکشی	Horton, 1945	هرچه میزان زمین ساخت فعال در یک منطقه بالاتر باشد میزان این شاخص کمتر است.
شاخص ضریب شکل	Horton, 1945	هرچه میزان زمین ساخت فعال در یک منطقه بالاتر باشد میزان این شاخص کمتر است.
شاخص برجستگی نسبی	Keller & Pinter, 2002	هرچه میزان زمین ساخت فعال در یک منطقه بالاتر باشد میزان این شاخص بیشتر است.



شکل ۱. نقشه حوضه ها و آبراهه های منطقه مورد مطالعه

شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی

شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی^۱ براساس تعداد انشعابات^۱ که از یک رده به رودخانه رده دو یا چند رده بالاتر از خود می‌ریزد محاسبه می‌شود و بعد از بررسی دو (یا چند) حوضه با توجه به مقادیر به‌دست آمده تفاوت میزان فعالیت زمین‌ساختی بین حوضه‌های مختلف تعیین می‌شود. بر همین اساس در یک حوضه زهکشی کوچک‌ترین انشعاب با رده ۱ مشخص می‌شود. در جایی که دو آبراهه رده ۱ به هم می‌پیوندند، یک آبراهه رده ۲ تشکیل می‌شود و به همین ترتیب این روند تا آخرین رده موجود ادامه می‌یابد. زمانی که یک آبراهه به یک رده بالاتر از خود وارد می‌شود نظم سلسله مراتبی دارد، برای مثال هر آبراهه رده ۱ که به آبراهه رده ۲ وارد شود دارای نظم سلسله مراتبی است (Horton, 1945).

این شاخص به صورت ذیل (رابطه ۱) محاسبه می‌شود (Ciccacci et al., 1986):

$$H_A(i > j) = 2^{i-1} - 2^{j-1} \quad \text{رابطه ۱.}$$

$$H_{at} = H_A(i > j) * \text{No.}(i > j)$$

در این رابطه H_A ناهنجاری سلسله مراتبی، j رده رودخانه بالاتر و i رده رودخانه پایین‌تر و $\text{No.}(i > j)$ تعداد انشعابات^۱ است که از رده بالا به رده پایین می‌ریزد است. مجموع مقادیر محاسبه شده برای تمامی رده‌ها بر تعداد کل آبراهه‌های رده ۱ تقسیم می‌شود و به عنوان شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی (Δa) هر حوضه تعیین می‌شود.

شاخص انشعابات

شاخص انشعابات^۲ اطلاعات مفیدی را در مورد در نحوه فعالیت فرآیندهای فرسایشی و درجه فعالیت حوضه ارائه می‌دهد، (رابطه ۲) (Guarnieri & Pirrotta, 2008). با افزایش درجه تأثیر عوامل زمین‌ساختی در حوضه‌ها مقدار شاخص مذکور افزایش می‌یابد. این شاخص نسبت انشعابات یک رده خاص به تعداد انشعابات یک رده بالاتر است (Horton, 1945; Strahler, 1952):

$$R = R_b - R_{db} \quad \text{رابطه ۲.}$$

در رابطه بالا، R شاخص انشعابات، R_b نسبت انشعابات و R_{db} نسبت مستقیم انشعابات است. نسبت انشعابات برای هر رده یک حوضه به صورت زیر به دست می‌آید (رابطه ۳)

$$R_b(u - u + 1) = N_u / N_{u+1} \quad \text{رابطه ۳.}$$

در رابطه بالا، N_u تمام انشعابات یک رده و N_{u+1} تمام انشعابات یک رده بالاتر است. نسبت انشعابات برای هر رده آبراهه محاسبه و در نهایت به صورت میانگین برای یک حوضه بیان می‌شود.

نسبت انشعابات در یک حوضه با افزایش رده کاهش می‌یابد، زیرا با افزایش رده در یک حوضه، تعداد آبراهه‌هایی که با پیوستن به یکدیگر رده بالاتر را ایجاد می‌کنند افزایش می‌یابد. مقدار میانگین این نسبت برای حوضه‌های سطح ۲ و برای حوضه‌های واقع در مناطق کوهستانی بین ۳ تا ۴ می‌باشد نسبت انشعابات پایین در حوضه‌هایی که ساختارهای زمین‌شناختی، کم‌تر تغییر کرده‌اند و الگوی زهکشی به حالت طبیعی است وجود دارد (Strahler, 1964). نسبت مستقیم انشعابات برای هر رده به صورت زیر (رابطه ۴) محاسبه می‌شود:

$$R_{db} = N_{du} / N_u + 1$$

رابطه ۴.

در رابطه بالا، N_{du} تعداد انشعابات یک رده است که به آبراهه‌های رده بالاتر خود می‌ریزند و $N_u + 1$ تعداد انشعابات رده بالاتر است. این نسبت، ساختمان شبکه آب سطحی را بدون در نظر گرفتن ناهنجاری سلسله مراتبی توصیف می‌کند. شاخص انشعابات و ناهنجاری سلسله مراتبی به یکدیگر وابسته‌اند و اطلاعات مفیدی در مورد درجه تکامل حوضه زهکشی ارائه می‌دهند (Guarnieri & Pirrotta, 2008).

شاخص تراکم زهکشی

تراکم زهکشی^۱ یک شاخص ریخت‌سنجی مهم برای حوضه‌هایی است که آبراهه‌های آن، بازتاب کننده فرآیندهای حاکم بر حفر چشم‌اندازها است (Schumm, 1997). تراکم زهکشی از نسبت مجموع طول تمام آبراهه‌های یک حوضه به مساحت حوضه محاسبه می‌شود (Horton, 1945) و با توجه به رابطه زیر (رابطه ۵) به دست می‌آید:

$$D_d = L_u / A$$

رابطه ۵.

در رابطه بالا L_u مجموع طول تمام آبراهه‌های یک حوضه و A مساحت حوضه می‌باشد. به طور کلی مقادیر پایین تراکم زهکشی در مناطق بسیار مقاوم و دارای مواد نفوذپذیر زیر خاک، دارای پوشش گیاهی زیاد بوده و در مناطقی که برجستگی کم است دیده می‌شود، اما مقادیر بالای تراکم زهکشی بیان‌گر آن است که منطقه شامل واحدهای سنگی با مقاومت کم یا نفوذناپذیر، با پوشش گیاهی اندک و پستی و بلندی زیاد است.

شاخص ضریب شکل

حوضه‌های آبریز از نظر ظاهری دارای شکل‌های گوناگون می‌باشند. به طوری که با مساوی بودن سایر شرایط فیزیکی دبی اوج حوضه‌های گرد بیش‌تر از حوضه‌های کشیده خواهد بود. به دلیل این که شکل حوضه تابعی از پستی و بلندی و محیط آن می‌باشد. گوناگونی زیادی در شکل حوضه‌ها دیده می‌شود و مقایسه آن‌ها را با یکدیگر مشکل می‌سازد. برای حل این مشکل از روابطی که در آن‌ها روابط ثابتی از حوضه گنجانده شده است استفاده می‌شود، از جمله این روابط می‌توان به ضریب شکل اشاره کرد. شاخص ضریب شکل^۲ با توجه به رابطه زیر (رابطه ۶) به دست می‌آید (Horton, 1945):

$$F_f = A / L^2$$

رابطه ۶.

در رابطه بالا F_f ضریب شکل، A مساحت حوضه و L^2 مجذور طول حوضه است. طول حوضه از محل خروج آبراهه اصلی تا مرتفع‌ترین نقطه در حوضه محاسبه می‌شود. این شاخص شدت جریان در یک مساحت معین می‌باشد. هر چه مقدار ضریب فرم به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد حوضه مذکور به مربع نزدیک‌تر است و هر چه ضریب فرم کوچک‌تر از یک باشد حوضه کشیده‌تر است. حوضه‌های زهکشی در مناطق فعال از نظر زمین‌ساختی، دارای شکل کشیده‌تر می‌باشند (Bull & Mcfadden, 1977)، حوضه‌هایی با ضریب شکل بزرگ‌تر دارای دبی اوج بالا هستند (Singh et al., 2014).

شاخص برجستگی نسبی

برجستگی حوضه نقش مهمی در توسعه زهکشی، حرکت آب‌های سطحی و زیرزمینی، تراوایی، توسعه اشکال سطحی زمین و ویژگی‌های فرسایشی عوارض زمینی دارد. مقدار بالای شاخص برجستگی نسبی^۳ نشان‌دهنده شدت جریان آب، نفوذ پایین و

1 . Drainage density

2 . Form factor

3 . Relative Prominence

مقدار بالای رواناب می‌باشد. برجستگی نسبی از اختلاف بین مرتفع‌ترین و پست‌ترین ارتفاعات حوضه به‌دست می‌آید و از رابطه زیر (رابطه ۷) محاسبه می‌شود (Keller & Pinter, 2002):

$$B_h = H_{\max} - H_{\min}$$

رابطه ۷.

در این رابطه $H_{\max}$ مقدار ارتفاع بیشینه و $H_{\min}$ مقدار ارتفاع کمینه حوضه است.

شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی

شاخص‌های ریخت‌سنجی ناهنجاری سلسله مراتبی (Δa)، انشعابات (R_b)، شاخص تراکم زهکشی (D_d)، ضریب شکل (F_t) و برجستگی نسبی (B_h) براساس مقادیری که دارا بودند، به منظور طبقه‌بندی منطقه براساس شاخص زمین‌ساخت نسبی (I_{at}) هر شاخص به پنج رده به لحاظ فعالیت زمین‌ساختی رده‌بندی شدند و در نهایت برای هر حوضه میانگین مقادیر رده شاخص‌های ریخت‌سنجی (S/N) اندازه‌گیری شد (جدول ۱). پس از رده‌بندی گستره مورد مطالعه براساس شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی، نقشه پهنه‌بندی سطح فعالیت زمین‌ساختی (I_{at}) در گستره مورد مطالعه ترسیم شد.

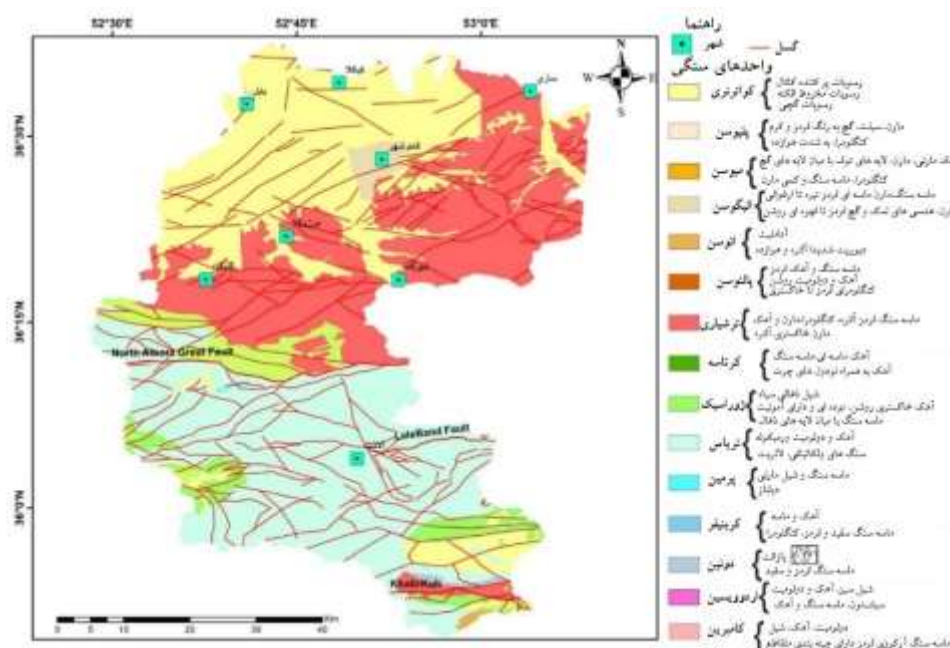
محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در بخش شرقی البرز مرکزی و در بخشی از استان مازندران با مختصات جغرافیایی $36^{\circ}45'27''$ ، $48^{\circ}53'18''$ طول شرقی، $36^{\circ}45'27''$ عرض شمالی قرار دارد و تحت تاثیر فرایندهای زمین‌ساختی حاصل از برخورد کمربند چین‌خورده آلپ-هیمالیا قرار دارد (شکل ۲). قرارگیری ایران در کمربند چین‌خورده آلپ-هیمالیا موجب شده است که اکثر نقاط ایران از نظر زمین‌ساختی فعال باشد (Berberian & King, 1981: 32). گستره مورد مطالعه تحت تاثیر فرایندهای زمین‌ساختی حاصل از این برخورد است. پهنه البرز شامل مجموع صفحه‌های رانده‌ای است که به‌وسیله تغییر شکل حاصل از نیروی فشارشی در زمان سنوزوئیک پایانی به وجود آمده است و از زمان تریاس تا حال در طول کوه‌زایی سیمیرین و آلپین در حال نمو و گسترش است (نبوی، ۱۹۸۷: ۱۲). کوه‌های البرز به‌عنوان یک سد بین حوضه خزر جنوبی با اقلیم مرطوب و ایران مرکزی با اقلیم نیمه‌خشک تا خشک قرار دارد. تغییر شکل در این پهنه، نتیجه یک پیشینه از فعالیت مجدد انبساطی و انقباضی ساختارهای به‌جامانده از پالئوزوئیک پایانی است که شامل باز و بسته شدن حوضه اقیانوس پالتوتیس و باز شدن حوضه خزر جنوبی است، همسانی البرز با ایران مرکزی در دامنه جنوبی بیش‌تر است، ولی در دامنه شمالی تفاوت‌هایی دارد (Stocklin, 1968: 46).

بسیاری از گسل‌های فعال البرز دارای امتدادی به موازات کمربند البرز و به شکل V هستند (Berberian, 1983: 48). این بخش شامل گسل‌های اصلی و فرعی با روندهای مختلف می‌باشد. تعدادی از گسل‌های اصلی در زمین‌شناسی و منطقه‌ساختاری ایران، حوضه‌های رسوبی، تشکیل کانسارهای رگه‌ای و مناطق زلزله‌خیز ایران نقش دارند. فعالیت زمین‌ساختی در پهنه البرز، به دلیل حرکت رو به شمال ایران مرکزی به سمت اوراسیا و حرکت به سمت جنوب غرب و غرب حوضه خزر جنوبی در رابطه با چرخش چپ‌گرد اوراسیا در این محدوده است. این دو سازوکار باعث ایجاد رژیم ترا فشارش (با روند NNE-SSW) در البرز شده است و اعتقاد بر این است که از حدود 5 ± 2 میلیون سال قبل شروع شده و کل منطقه البرز را تحت تاثیر قرار داده است (Ritz et al., 2006: 4). برداشت‌های GPS میزان کوتاه‌شدگی شمالی- جنوبی البرز مرکزی را 5 ± 2 میلی‌متر در سال و تغییر شکل برشی چپ‌گرد در کل پهنه البرز را 4 ± 2 میلی‌متر در سال نشان می‌دهد (Vernant et al., 2004: 16).

گسل شمال البرز با طول ۳۰۰ کیلومتر به صورت گسلی معکوس - رانده با شیبی به سمت جنوب خاور تا جنوب باختر از علی‌آباد گرگان تا نزدیکی تنکابن گسترش داشته که از دو روند ساختاری شمال خاوری - جنوب باختری و شمال باختری -

جنوب خاوری تشکیل شده است. روند کلی این گسل به موازات گسل خزر می‌باشد و در ۱۰ تا ۱۲ کیلومتری غرب چالوس به این گسل می‌پیوندد. این گسل در بخشی از طول خود مرز میان سنگ‌های مربوط به پالئوزویک (در جنوب) و کرتاسه (در شمال) را تشکیل می‌دهد. دیواره شمالی البرز به روشنی در روی زمین و نیز بر روی عکس‌های هوایی دیده می‌شود (آقائاتی، ۱۳۸۳: ۲۶۷).



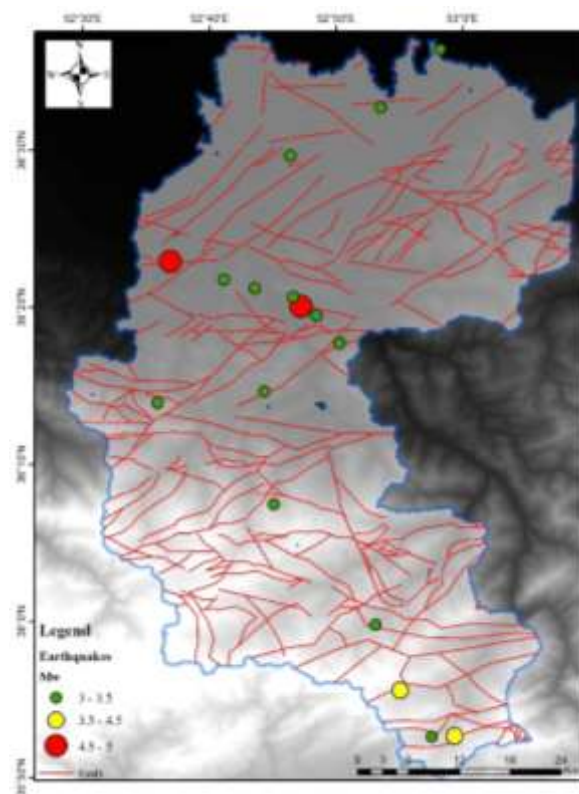
شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی گستره مورد مطالعه

باتوجه به قرار گرفتن رومرکز مه‌لرزه‌ای چندین زمین‌لرزه تاریخی در سده بیستم بر روی این گسل، می‌توان آن را گسلی جنب و لرزه‌خیز دانست. به اعتقاد بربریان (۱۳۰۱:۱۹۹۴) زمین‌لرزه ۱۱۲۷ میلادی در گستره فریم - چهاردانگه با بزرگای $M_s = 6.8$ و شدت $VIII = +10$ حاصل فعالیت گسل شمال البرز بوده است. علاوه بر زمین‌لرزه تاریخی ۱۱۲۷ میلادی زمین‌لرزه‌های زیر نیز به این گسل نسبت داده شده است (شاه‌پسندزاده و زارع، ۱۳۷۴: ۱۸) (شکل ۳):

- زمین‌لرزه ۵ مارس ۱۹۳۵ میلادی (۱۵ اسفند ۱۳۱۳ هجری شمسی) شیرگاه؛
- زمین‌لرزه ۲ ژوئیه ۱۹۵۷ میلادی (۱۱ تیر ۱۳۳۶ هجری شمسی) بندپی مازندران؛
- زمین‌لرزه ۱۳۰۱ میلادی گلوگاه با بزرگای $M_s = 6.7$ و شدت $VIII = +10$

گسل اوریم (خطیرکوه) با طول حدود ۶۴ کیلومتر و راستای شمال خاوری - جنوب باختری و شیب به سوی شمال خاور دارای سازوکاری معکوس با مولفه چپ‌بر می‌باشد (نبوی، ۱۳۶۶: ۹). این گسل که در گستره سمنان قرار گرفته است بیشینه جابه‌جایی شاقولی نزدیک به ۱۰۰۰ متر دارد. این گسل در بخش خاوری خود مرز میان مارن و سنگ‌ماسه‌های اتوسن و سنگ‌های سازند شمشک را ساخته و در بخش باختری، سنگ‌های پرکامبرین بالایی و پالئوزوئیک را بریده است. گسل اوریم به موازات گسل‌های الله‌آباد و شمال البرز در شمال و گسل فیروزکوه در جنوب قرار دارد. این گسل نسبت به چین‌خوردگی‌های اطراف خود به‌صورت طولی می‌باشد. در این بخش از البرز مرکزی تا به حال مطالعات بر روی شاخص‌های ریخت‌سنجی صورت نگرفته است یا مطالعات از پیش انجام گرفته تنها منطقه بسیار کوچکی از این بخش را شامل می‌شوند. در این پژوهش که نتیجه

مطالعه بر روی آبراهه‌های سطحی منطقه با تکیه بر شاخص‌های ریخت زمین‌ساختی می‌باشد، به بررسی تاثیر گسل‌ها بر روی رودخانه‌های منطقه مورد مطالعه به منظور ارزیابی فعالیت زمین‌ساخت فعال پرداخته شده است.



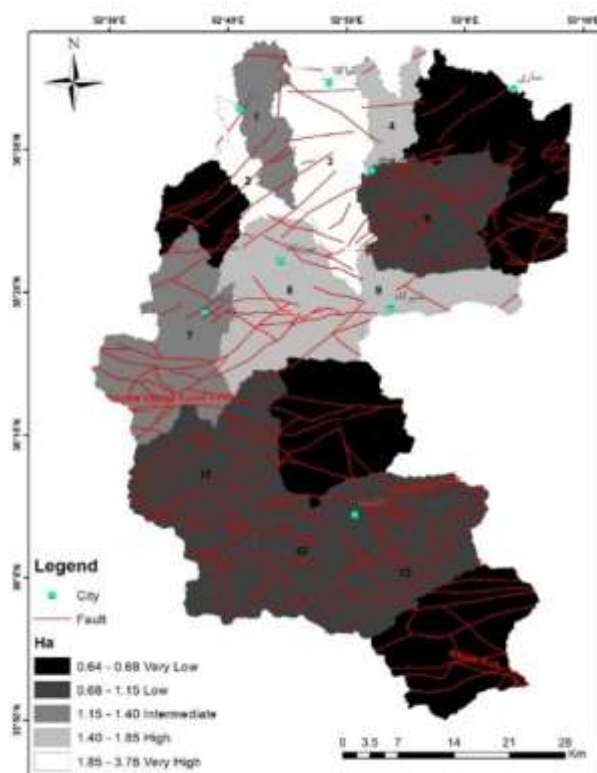
شکل ۳. نقشه کانون زمین‌لرزه‌های گستره مورد مطالعه

یافته‌ها

تحلیل شاخص ناهنجاری سلسه مراتبی

براساس محاسبات صورت گرفته در خصوص شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی زیرحوضه‌های ۲، ۳، ۴، ۸ و ۹ بیش‌ترین میزان این شاخص و زیرحوضه‌های ۵، ۱۰، ۱۴ و ۱۵ کم‌ترین میزان این شاخص را دارا می‌باشند (شکل ۴). به این معنی که هرچه میزان زمین‌ساخت فعال در یک منطقه بالاتر باشد آبراهه‌های درجه پایین در هنگام مواجهه با عوامل افزایش دهنده زمین‌ساخت مانند گسل‌های فعال به رودخانه‌هایی با درجاتی حداقل دو برابر بیش‌تر از حد معمول می‌ریزند.

شاخص مذکور به لحاظ فعالیت زمین‌ساختی به پنج رده طبقه‌بندی شده است: رده ۱ مقادیر بین $3/76$ تا $1/85$ (دارای فعالیت $1/85 < H_A < 3/76$) دارای فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا، رده ۲ مقادیر بین $1/85$ تا $1/40$ ($1/40 < H_A < 1/85$) دارای فعالیت زمین‌ساختی بالا و رده ۳ شامل مقادیر بین $1/40$ تا $1/15$ ($1/15 < H_A < 1/40$) دارای فعالیت زمین‌ساختی متوسط و رده ۴ شامل مقادیر بین $1/15$ تا $0/68$ ($0/68 < H_A < 1/15$) دارای فعالیت زمین‌ساختی کم و رده ۵ شامل مقادیر بین $0/68$ تا $0/64$ ($0/64 < H_A < 0/68$) دارای فعالیت زمین‌ساختی بسیار کم می‌باشند.

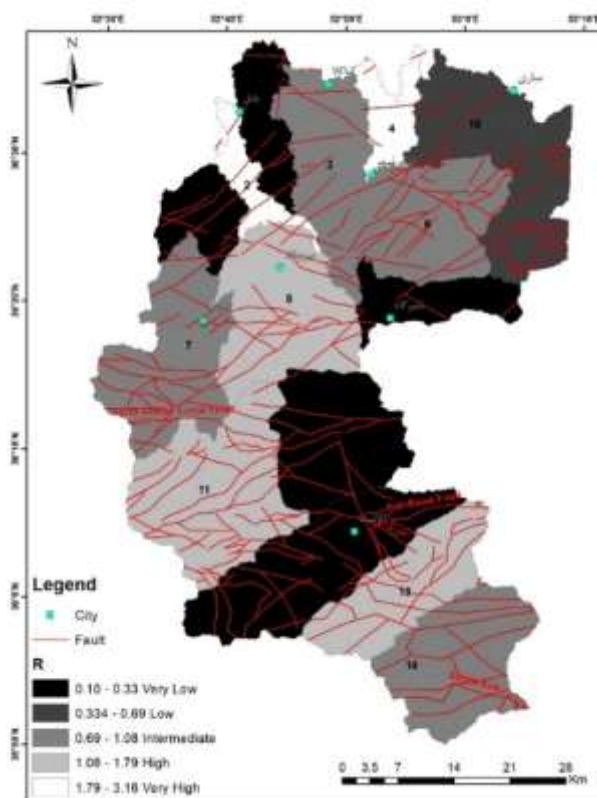


شکل ۴. نقشه شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی در زیرحوضه‌های گستره مورد مطالعه

تحلیل شاخص انشعابات

زیرحوضه‌های شماره ۱، ۵، ۹، ۱۰ و ۱۲ کم‌ترین و زیرحوضه‌های شماره ۲، ۴، ۸، ۱۱ و ۱۳ که در امتداد گسل شمال البرز هستند نیز بیش‌ترین میزان از این شاخص را دارا می‌باشند. (شکل ۵).

شاخص مذکور به لحاظ فعالیت زمین‌ساختی به پنج رده طبقه‌بندی شده است: رده ۱ مقادیر بین ۳/۱۶ تا ۱/۷۹ ($1/79 < R_b < 3/16$) دارای فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا، رده ۲ مقادیر بین ۱/۷۹ تا ۱/۰۸ ($1/08 < R_b < 1/79$) دارای فعالیت زمین‌ساختی بالا و رده ۳ شامل مقادیر بین ۱/۰۸ تا ۰/۶۹ ($0/69 < R_b < 1/08$) دارای فعالیت زمین‌ساختی متوسط و رده ۴ شامل مقادیر بین ۰/۶۹ تا ۰/۳۳ ($0/33 < R_b < 0/69$) دارای فعالیت زمین‌ساختی کم و رده ۵ شامل مقادیر بین ۰/۳۳ تا ۰/۱۰ ($0/10 < R_b < 0/33$) دارای فعالیت زمین‌ساختی بسیار کم می‌باشند.

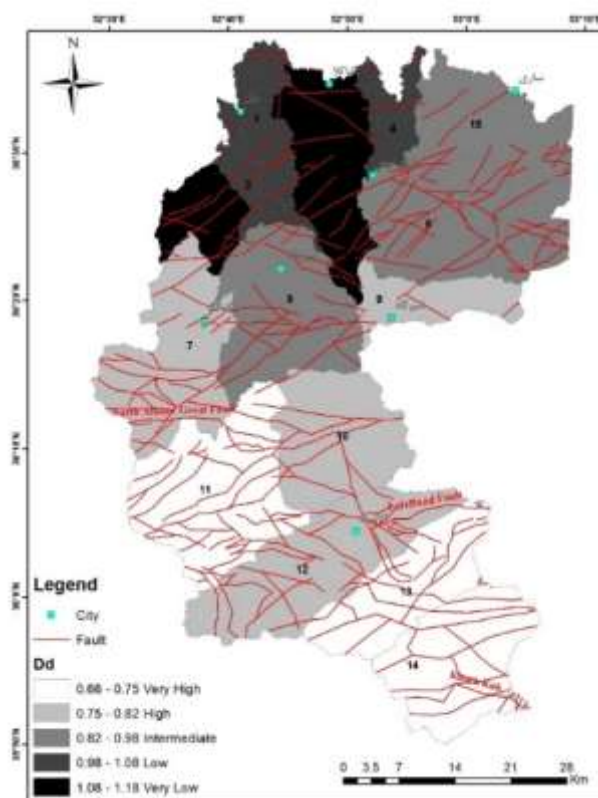


شکل ۵. نقشه شاخص انشعابات در زیرحوضه‌های گستره مورد مطالعه

تحلیل شاخص تراکم زهکشی

براساس اطلاعات به دست آمده از این شاخص زیرحوضه‌های ۱۱، ۱۳ و ۱۴ که در امتداد گسل‌های دزدبن و مرزن‌آباد هستند بیش‌ترین میزان از این شاخص و زیرحوضه‌های ۳ و ۵ کم‌ترین میزان را دارا می‌باشند (شکل ۶). هرچه شاخص تراکم زهکشی در یک زیرحوضه بیش‌تر باشد رودخانه‌ها متراکم‌تر و تعداد آن‌ها بیش‌تر است که یکی از دلایل آن می‌تواند سطح بالایی از میزان فعالیت‌های زمین‌ساختی باشد.

شاخص مذکور به لحاظ فعالیت زمین‌ساختی به پنج رده طبقه‌بندی شده است: رده ۱ مقادیر بین ۰/۷۵ تا ۰/۶۶، رده ۲ مقادیر بین ۰/۸۲ تا ۰/۷۵ ($0/75 < D_d < 0/82$) دارای فعالیت زمین‌ساختی بالا و رده ۳ شامل مقادیر بین ۰/۹۸ تا ۰/۸۲ ($0/82 < D_d < 0/98$) دارای فعالیت زمین‌ساختی متوسط و رده ۴ شامل مقادیر بین ۱/۰۸ تا ۰/۹۸ ($0/98 < D_d < 1/08$) دارای فعالیت زمین‌ساختی کم و رده ۵ شامل مقادیر بین ۱/۸ تا ۱/۰۸ ($1/08 < D_d < 1/8$) دارای فعالیت زمین‌ساختی خیلی کم می‌باشند.

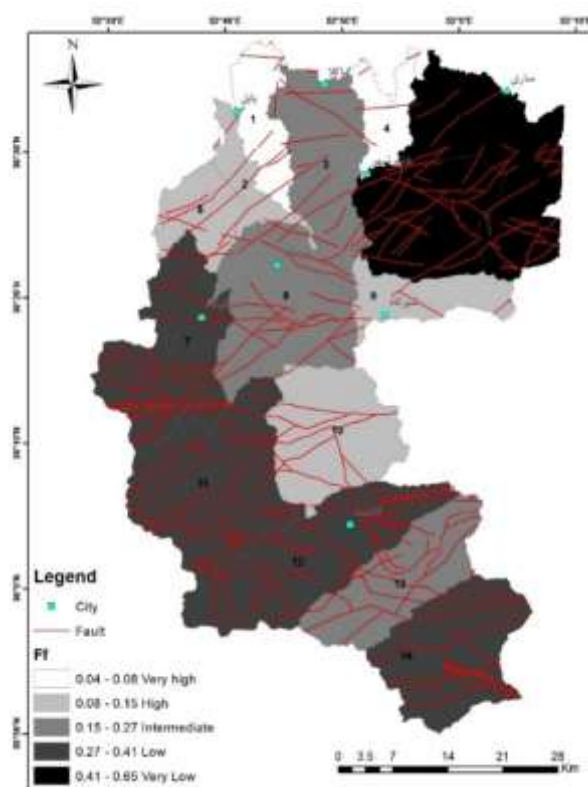


شکل ۶. نقشه شاخص تراکم زهکشی در زیرحوضه‌های گستره مورد مطالعه

تحلیل شاخص ضریب شکل

براساس اطلاعات به دست آمده از این شاخص زیرحوضه‌های شماره ۱، ۲، ۴، ۵، ۹ و ۱۰ بیش‌ترین میزان و زیرحوضه ۱۵ کم‌ترین میزان از این شاخص را دارا می‌باشند (شکل ۷). بنابراین شکل زیرحوضه‌هایی همانند ۱ و ۴ کشیده‌تر از زیرحوضه‌های دیگر و نسبت طول به عرض این زیرحوضه‌ها بیش‌تر است که این خود می‌تواند یکی از دلایل فعالیت زمین‌ساختی بالا باشد.

شاخص مذکور به لحاظ فعالیت زمین‌ساختی به پنج رده طبقه‌بندی شده است: رده ۱ مقادیر بین $0/04$ تا $0/08$ ($F_f < 0/08$) دارای فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا، رده ۲ مقادیر بین $0/08$ تا $0/15$ ($0/08 < F_f < 0/15$) دارای فعالیت زمین‌ساختی بالا و رده ۳ شامل مقادیر بین $0/15$ تا $0/27$ ($0/15 < F_f < 0/27$) دارای فعالیت زمین‌ساختی متوسط و رده ۴ شامل مقادیر بین $0/27$ تا $0/41$ ($0/27 < F_f < 0/41$) دارای فعالیت زمین‌ساختی کم و رده ۵ شامل مقادیر بین $0/41$ تا $0/65$ ($0/41 < F_f < 0/65$) دارای فعالیت زمین‌ساختی بسیار کم می‌باشند.

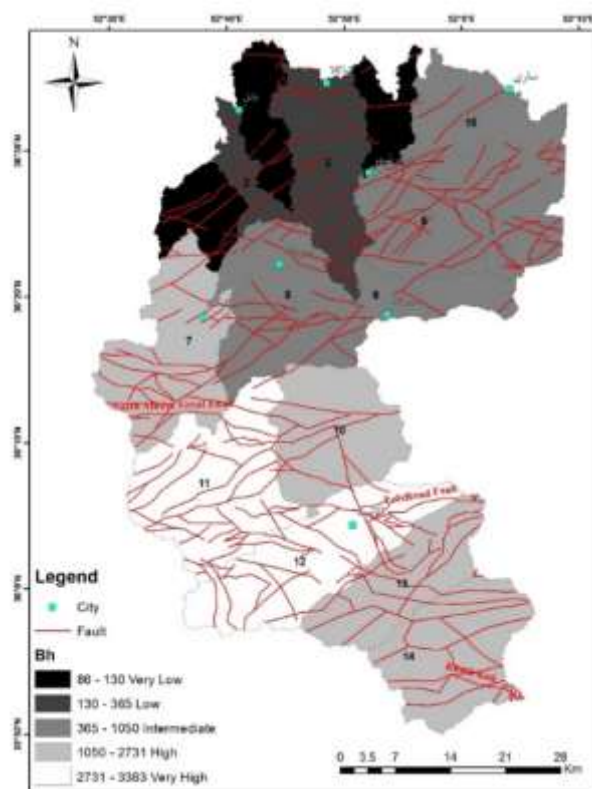


شکل ۷. نقشه شاخص ضریب شکل در زیرحوضه‌های گستره مورد مطالعه

تحلیل شاخص برجستگی نسبی

براساس اطلاعات حاصل از محاسبات این شاخص زیرحوضه‌های شماره ۱، ۴ و ۵ کم‌ترین میزان از شاخص برجستگی نسبی و زیرحوضه‌های ۱۱ و ۱۲ بیش‌ترین میزان از این شاخص را دارا می‌باشند (شکل ۸). یعنی در زیرحوضه‌های شماره ۱۱ و ۱۲ ارتفاعات خشن و بلند در کنار ارتفاعات بسیار کم مانند دره‌های تنگ قرار گرفته است، که این امر خود دلیلی بر اثبات وجود زمین‌ساخت فعال در یک منطقه است.

شاخص مذکور به لحاظ فعالیت زمین‌ساختی به پنج رده طبقه‌بندی شده است: رده ۱ مقادیر بین ۳۳۶۳ تا ۲۷۳۱ $(2731 < B_h < 3363)$ دارای فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا، رده ۲ مقادیر بین ۲۷۳۱ تا ۱۰۵۰ $(1050 < B_h < 2731)$ دارای فعالیت زمین‌ساختی بالا و رده ۳ شامل مقادیر بین ۱۰۵۰ تا ۳۶۵ $(365 < B_h < 1050)$ دارای فعالیت زمین‌ساختی متوسط و رده ۴ شامل مقادیر بین ۳۶۵ تا ۱۳۰ $(130 < B_h < 365)$ دارای فعالیت زمین‌ساختی کم و رده ۵ شامل مقادیر بین ۱۳۰ تا ۸۶ $(86 < B_h < 130)$ دارای فعالیت زمین‌ساختی بسیار کم می‌باشند.



شکل ۸. نقشه شاخص برجستگی نسبی در زیرحوضه‌های گستره مورد مطالعه

ارایه الگوی زمین ساخت فعال با استفاده از شاخص‌های ریخت‌سنجی

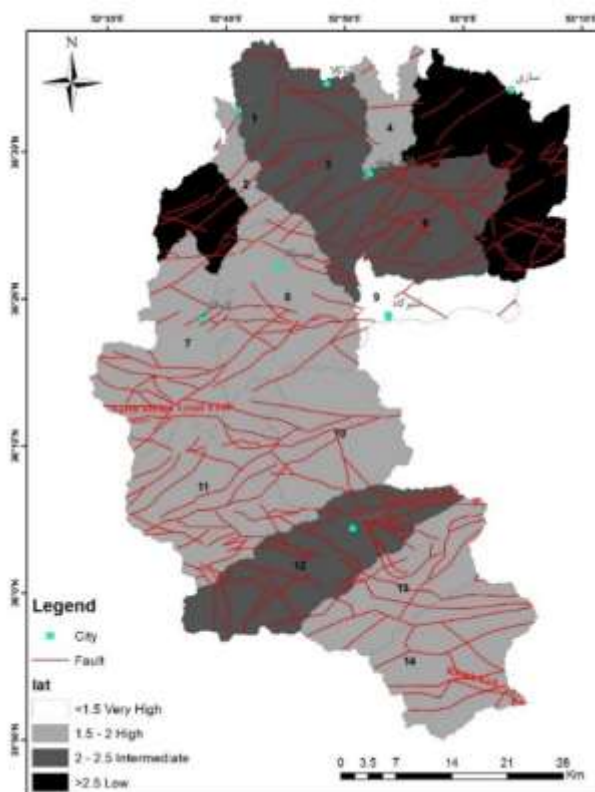
با استفاده از نتایج حاصل از محاسبات شاخص‌های ناهنجاری سلسله مراتبی (Δ_a)، انشعابات (R)، شکل حوضه (F_f)، تراکم زهکشی (D_d) و برجستگی نسبی (B_h) در ۱۵ حوضه زهکشی (جدول ۲)، می‌توان الگوی زمین ساخت فعال شهرستان‌های استان مازندران را با استفاده از شاخص زمین ساخت فعال نسبی (I_{at})، با تاکید بر وضعیت مناطق مسکونی شیرگاه تا گلوگاه، را ارایه داد. این الگو نشان‌دهنده فعالیت زمین‌ساختی اخیر در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

جدول ۲. محاسبات به‌دست آمده از شاخص‌های هر حوضه و رده‌بندی I_{at}

شماره حوضه	I_{at}	رده‌بندی					شاخص‌ها					زمین ساخت فعال نسبی
		B_h	R	D_d	F_{ft}	H_a	B_h	R	D_d	F_{ft}	H_a	
۱	۲/۴	۳	۳	۳	۱	۲	۸۶	-/۳۳۳	-/۰۰۹	-/۳۱۲	۱/۴۰۹	۲
۲	۱/۸	۳	۱	۳	۱	۱	۳۳۱	۲/۳۳۳	۱/۰۸۷	-/۳۱۹	۳/۷۶۰	۲
۳	۲/۲	۳	۲	۳	۲	۱	۳۶۵	-/۹۱۷	-/۰۰۲	-/۲۲۶	۳/۵۵۶	۲
۴	۱/۸	۳	۱	۳	۱	۱	۹۱	۳/۱۶۷	۱/۰۶۰	-/۳۳۲	۱/۶۸۰	۲
۵	۲/۶	۳	۳	۳	۱	۳	۱۳۰	-/۲۹۲	-/۰۰۵	-/۳۰۸	-/۰۰۷	۲
۶	۲/۴	۲	۲	۲	۳	۳	۷۳۲	۱/۰۲۱	-/۹۷۱	-/۲۵۰	۱/۱۵۲	۲
۷	۱/۸	۱	۲	۱	۳	۲	۲۲۸۱	۱/۰۱۶	-/۸۱۷	-/۳۱۲	۱/۲۶۰	۲
۸	۱/۶	۲	۱	۲	۲	۱	۱۰۵۰	۱/۷۹۶	۱/۸۸۳	-/۲۵۱	۱/۸۵۳	۲
۹	۱/۴	۱	۳	۱	۱	۱	۸۷۷	-/۱۰۸	-/۰۰۵	-/۳۵۸	۱/۵۸۸	۱
۱۰	۱/۸	۱	۳	۱	۱	۳	۲۷۰۰	-/۳۰۷	-/۰۰۶	-/۳۰۸	-/۰۰۷	۲
۱۱	۱/۸	۱	۱	۱	۳	۳	۳۳۶۳	۱/۳۷۷	۱/۶۶۶	-/۳۱۵	۱/۰۲۱	۲
۱۲	۲/۲	۱	۳	۱	۳	۳	۳۳۴۸	۱/۱۶۲	-/۰۰۴	-/۴۱۰	-/۹۴۷	۲

۲	۱/۰۴۴	۰/۲۷۶	۱/۷۵۴	۱/۲۹۶	۲۷۳۱	۳	۲	۱	۱	۱	۱/۶	۱۳
۲	۰/۰۰۲	۰/۳۲۵	۰/۷۵۴	۱/۰۸۳	۲۶۶۳	۳	۳	۱	۲	۱	۲	۱۴
۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۹	۱/۹۸۶	۰/۶۹۴	۹۰۲	۳	۳	۲	۳	۲	۲/۶	۱۵

براساس محاسبات حاصل از این شاخص، زیرحوضه‌های شماره ۱، ۸، ۱۴ و ۹ که در امتداد گسل‌های شمال البرز و خطیرکوه هستند بیش‌ترین میزان از شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی را دارا می‌باشند. بنابراین الگوی کلی و نهایی و پهنه‌بندی مخاطرات زمین‌ساخت فعال شهرستان‌های استان مازندران به شکل زیر ارایه می‌شود (شکل ۹):



شکل ۹. الگوی زمین‌ساخت فعال شهرستان‌های استان مازندران با استفاده از شاخص‌های ریخت زمین‌ساختی

بحث و نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش تدوین الگوی کالبدی شهرستان‌های استان مازندران با تاکید بر شهرستان‌های شیرگاه - گلوگاه با استفاده از شاخص‌های ریخت‌سنجی زمین‌ساخت فعال است. مخاطرات ریخت زمین‌ساختی از مخاطرات محیطی می‌باشند که در سراسر جهان باعث اختلال جدی در فعالیت‌های انسانی می‌شوند. در سال‌های اخیر شناخت مناطق مخاطره‌آمیز و دارای پتانسیل خطر افزایش یافته و راهکارهای ریخت زمین‌ساختی برای حل مسائل محیطی توسعه یافته است. از آن جا که در مناطق شهری بین شیرگاه - گلوگاه تاکنون مطالعات ریخت‌سنجی انجام نشده است، لذا ارزیابی زمین‌ساخت فعال این مناطق بر اساس بررسی‌های ریخت‌سنجی ضروری به نظر می‌رسد و نتایج این تحقیق می‌تواند برای برنامه‌ریزان شهری در این ناحیه مفید واقع شود.

نتایج به دست آمده از این تحقیق با برخی از شاخص‌های مشابه در تحقیقات سایر محققینی که میزان زمین‌ساخت یک منطقه را بر اساس شاخص‌های ریخت‌سنجی مورد مطالعه قرار داده‌اند همسویی دارد. از جمله این محققین می‌توان به علیزاده و

خلج (۱۳۹۹)، مصدق‌زاده و همکاران (۱۴۰۱)، مقصودی و همکاران (۱۳۹۶)، مابقی و حسین‌زاده (۱۳۹۶)، محمدی و همکاران (۱۳۹۶)، تودشکی و آرین (۲۰۱۱)، گارسیا و والندیا (۲۰۲۰) اشاره کرد. البته برخی از شاخص‌های کمی ریخت‌سنجی این محققین، با شاخص‌های به کار برده شده در این تحقیق تفاوت دارد؛ ضمناً برخی از این محققین در مطالعات ریخت زمین‌ساختی، علاوه بر شاخص‌های کمی از شاخص‌های کیفی نیز استفاده کرده‌اند، اما در شاخص‌های ریخت‌سنجی مشابه با شاخص‌های این تحقیق، برای نتیجه‌گیری از همان روش تحقیق و همان نتایجی که در این پژوهش به آن‌ها استناد شده است، استفاده کرده‌اند.

شهرستان‌های شیرگاه- گلوگاه با توجه به نتایج حاصل از شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی و بر پایه نقشه پهنه‌بندی این شاخص، به دلیل فعالیت بخش‌هایی از گسل شمال البرز، گسل اوریم، گسل الله‌آباد و گسل فیروزکوه، رده فعالیت زمین‌ساختی بالا را دارا هستند. سایر محققانی که شاخص‌های ریخت‌سنجی را در مطالعات زمین‌ساخت فعال به کار برده‌اند، از جمله (Giaconia et al., 2012)، (Latrubesse, 2010)، (Alcántara-Ayala & Goudie, 2010)، (Perez Pena, 2009) و (Walker et al., 2006) با به دست آوردن مقادیر مشابه در شاخص‌های مشابه با این تحقیق و تحلیل آن در شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی، برای پهنه‌بندی منطقه مورد بررسی خود، به نتیجه‌ای دست یافته‌اند که در این تحقیق برای فعالیت زمین‌ساخت فعال سکونتگاه‌های بین شیرگاه تا گلوگاه پیشنهاد شده است.

تفاوت در وضعیت زمین‌شناسی هر منطقه نسبت به مناطق دیگر موجب می‌شود که برخی از مناطق برای به کارگیری نوع خاصی از شاخص‌ها مناسب‌تر از شاخص‌های دیگر باشند. وضعیت زمین‌شناسی سکونتگاه‌های بین شیرگاه تا گلوگاه موجب شد برخی از شاخص‌های کمی ریخت‌سنجی مانند شاخص‌های نسبت پیشانی کوهستان در این منطقه به خوبی قابل اندازه‌گیری نباشند، بنابراین از به کارگیری چنین شاخص‌هایی خودداری شد.

با محاسبات صورت گرفته در رابطه با شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی و مقایسه آن با دیگر شاخص‌های محاسبه شده، مشخص شد که زیرحوضه‌های شماره ۱، ۸، ۱۴ و ۹ که تحت تاثیر فعالیت گسل‌های شمال البرز و خطیرکوه می‌باشند، شاخص بالا را نمایش می‌دهند. گسل‌های فرعی دیگری که در اثر بالا بودن فعالیت زمین‌ساختی در منطقه شکل گرفته‌اند، تاثیر به‌سزایی بر افزایش میزان شاخص‌های ریخت زمین‌ساختی گذاشته و سبب شده‌اند که در برخی زیرحوضه‌ها میزان شاخص‌های بالا و یا بسیار بالا پدیدار شود.

نتایج حاصل از این پژوهش با تکیه بر شاخص‌های ریخت‌سنجی نشان می‌دهد که اکثر شهرستان‌های استان مازندران از جمله مناطق مسکونی از شیرگاه تا گلوگاه منطبق بر گسل‌های شمال البرز، خطیرکوه، دزدبن و مرزن‌آباد، دارای شاخص‌های ریخت‌سنجی بالا و بسیار بالا هستند که به دلیل تاثیر گسل‌های مذکور می‌باشد. حدود ۳۳/۳ درصد از منطقه که تحت سیطره فعالیت این گسل‌ها می‌باشد. علاوه بر گسل‌های اصلی، گسل‌های فرعی دیگری که در اثر حرکات زمین‌ساختی اخیر تشکیل شده‌اند، فعالیت زمین‌ساختی متوسط به بالایی را ارائه می‌دهند. قرارگیری این سکونتگاه‌ها در مجاورت این گسل‌ها سبب شده است که ریسک لرزه‌خیزی منطقه نیز افزایش یابد.

شهرستان‌های بین شیرگاه تا گلوگاه دارای امکانات اقتصادی، اجتماعی، صنعتی و سیاسی است و به لحاظ جمعیت چندین میلیونی، با وجود گسل‌های متعدد فعال در مناطق مختلف خود، شریان حیاتی آسیب‌پذیر، بافت‌های شهری و ساخت و ساز بی‌رویه، به شدت در معرض آسیب‌های جبران‌ناپذیر است. تا زمانی که ساخت و سازها براساس اصول مهندسی نباشد و حریم گسل‌ها رعایت نشود و سازه‌ها بر روی مناطق دارای مخاطرات لرزه‌ای بنا شود، باید منتظر وقایع ناگوار در ابعاد وسیع بود. به دلیل وجود تاریخچه‌ای مبنی بر وجود زمین‌لرزه در این منطقه و اثبات فعال بودن منطقه از نظر زمین‌ساختی، باید در ساخت زیربنای عمرانی، مقوله مخاطرات حاصل از زمین‌لرزه‌ها مورد توجه قرار گیرد.

راهکارها

با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش و به دلیل آن که اکثر مناطق مورد بررسی دارای مخاطرات لرزه‌ای است راهکارهای زیر پیشنهاد می‌شود:

- ✓ تعیین نحوه ارتباط عمقی کلیه گسل‌های منطقه مورد با مطالعات دقیق ژئوفیزیکی؛
- ✓ تعیین مخاطرات لرزه‌ای منطقه شیرگاه گلوگاه با سایر شاخص‌های زمین‌ساخت فعال؛
- ✓ تعیین و ترسیم نقشه میزان شدت یا میرایی امواج لرزه‌ای در سراسر منطقه مورد مطالعه؛
- ✓ تعیین و رعایت ضرایب مقاومت و پایداری در برابر زلزله در سراسر منطقه مورد مطالعه هنگام ساخت و ساز؛
- ✓ مقاوم‌سازی ساختمان‌ها و سازه‌های مهم مانند پل‌ها و بزرگراه‌ها و بازسازی بافت‌های فرسوده براساس داده‌های PGA

References

- Agha Nabati, A. (2013). Geology of Iran, Organization of Geology and Mineral Explorations of the country, first edition, pages 598. (In Persian). <https://ketab.ir/Book/223AB130-D2C7-41CD-9A06-70F789032A27>.
- Alcántara-Ayala, I., & Goudie, A.S. (2010). Geomorphological Hazards and Disaster Prevention. *Cambridge University Press*, 18(4), 356-371. http://www.geomorph.org/wp-content/uploads/2015/06/9780521769259_GeomHazards.pdf
- Alizadeh, H., & khalaj, M. (2021). Assessment of active tectonic activities in the new Pardis city based on morpho-tectonics indexes. *Tectonics Quarterly*, 4 (16), 1-23. (In Persian). DOI: [10.22077/jt.2021.3730.1089](https://doi.org/10.22077/jt.2021.3730.1089)
- Berberian, M. (1994). Natural hazards and the first earthquake catalogue of iran. historical hazards in iran prior to 1900, 1(3), 36-65. <file:///C:/Users/ASUS/Downloads/MB1994.pdf>
- Berberian, M. (1983). The southern Caspian: a compressional depression floored by atrapped, modified oceanic crust. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 20(2), 163- 183. <https://doi.org/10.1139/e83-015>
- Berberian, M., & King, G.C.P. (1981). Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18(3), 210- 265. <https://doi.org/10.1139/e81-019>
- Bull, W.B., & Mcfadden, L.D. (1977). Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California; In: Doehring, D.O. (Ed.), *Geomorphology in arid regions*. Proceedings of the 8th annual geomorphology symposium. *State University of New York, Binghamton*, 34(4), PP 115-138. DOI: [10.4324/9780429299230-5](https://doi.org/10.4324/9780429299230-5)
- Ciccacci, S., Fredi, P., Lupia Palmieri, E., & Pugliese, F. (1986). Indirect Evaluation of Erosion Entity in Drainage Basins through Geomorphic, Climatic and Hydrological Parameters International. *Geomorphology*, 22(3), 233- 248. DOI: [10.13140/2.1.3909.1843](https://doi.org/10.13140/2.1.3909.1843)
- Ebadolazadeh Maleki1, F., Saeedeh Zarabadi, Z.S., Pir, S., & Farzad Behtash, M. (2021). Interpretive Structural Model of the Resilience Threshold of Urban Spaces Against Earthquakes with a Socio-Ecological Approach, Case Study: Zanjan City. *Journal of Urban Ecology Research*, 12(24), 97-116. (In Persian). DOI: [10.30473/grup.2021.8658](https://doi.org/10.30473/grup.2021.8658)
- Giaconia, F., Booth-Rea, G., Martínez-Martínez, J.M., Azañón, J.M., PérezPeña, J.V., Pérez-Romero, J., & Villegas, I. (2012). Geomorphic evidence of active tectonics in the Serra Alhamila (eastern Betics, SE Spain). *Geomorphology*, 145(3), 90-106. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.12.043>
- García, Delgado, H., & Velandia, F (2020). Tectonic geomorphology of the Serranía de San Lucas (Central Cordillera): Regional implications for active tectonics and drainage rearrangement in the NorthernAndes. *Geomorphology*, 349, PP.106914. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.106914>
- Guarnieri, P., & Pirrotta, C. (2008). The response of drainage basins to the late quaternary tectonics in the Sicilian side of the Messina strait (NE Sicily). *Geomorphology*, 95(2), 260-273. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.06.013>
- Holbrook, J., & Schumm, S.A. (1999). Geomorphic and Sedimentary Response of Rivers to Tectonic Deformation: a Brief Review and Critique of a Tool For Recognizing Subtle Epeirogenic Deformation In Modern And Ancient Settings. *Tectonophysics*, 305(1), 287- 306. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(99\)00011-6](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(99)00011-6)

- Hekmatnia, H., Pak Gohar, A., & Bagheri Kashkouli, A. (1400). Achieving sustainable housing with the approach of analyzing physical, social and economic indicators, case study: Sirjan City. *Journal of Urban Ecology Research*, 12(3), 1-18. (In Persian). DOI: [10.22126/GES.2023.9348.2672](https://doi.org/10.22126/GES.2023.9348.2672).
- Horton, R.E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*, 56(4), 275- 370. [http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56\[275:EDOSAT\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2)
- Keller, E.A., & Pinter, N. (2002). Active Tectonics: Earthquakes, Uplift and Landscape, Prentice Hall, New Jersey, 16(2), 362-369. https://books.google.com/books/about/Active_Tectonics.html?id=sXASAQAIAAJ
- Keller, E.A., Zepeda, R.L., Rockwell, T.K., & Dinklage, W.S. (1998). Active tectonics at Wheeler Ridge, southern San Joaquin Valley, California. *Geological Society of America Bulletin*, 10(3), 298- 310. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1998\)110<0298:ATAWRS>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1998)110<0298:ATAWRS>2.3.CO;2)
- Latrubesse, E.M. (2010). Natural hazards and human-exacerbated disasters in Latin America. *special volumes of geomorphology*, Elsevier, 56(5), 204-234. <https://shop.elsevier.com/books/natural-hazards-and-human-exacerbated-disasters-in-latin-america/latrubesse/978-0-444-53117-9>
- Mabghi, S.A., & Hosseinzadeh, S. R. (2016). Tectonic-geomorphological analysis of Darokhan River Basin. *Geography and Development*, 49 (3), 163-188. (In Persian). https://gdij.usb.ac.ir/article_3458_c55b34563019593fe3b837f637d972f4.pdf
- Marsousi, N., & Asadoullahatabar, n. (2024). Evaluation of the Stability of the Cities of Mazandaran Province During the Years 2006 and 2021. *Journal of Urban Ecological Research*, 15(2), 163-184. DOI: [10.30473/grup.2024.68563.2798](https://doi.org/10.30473/grup.2024.68563.2798)
- Maqsoodi, M., Zamanzadeh, S. M., Yamani, M., & Hajizadeh, A. (2016). Active tectonic investigation of Maron catchment basin using geomorphic indicators. *Quantitative Geomorphology Research*, 6 (3), 37-59. (In Persian). DOR: [20.1001.1.22519424.1396.6.3.3.4](https://www.geomorphologyjournal.ir/article_78093.html). https://www.geomorphologyjournal.ir/article_78093.html
- Mohammadi, S.D., Jalali, S.H., & Saedi, B. (2016). Evaluation of relative active tectonics in Hamadan watershed using landslide and seismicity indicators. *Quantitative Geomorphology Research*, 4 (4), 190-207. (In Persian). DOR: [20.1001.1.22519424.1396.5.4.11.1](https://www.geomorphologyjournal.ir/article_78071.html). https://www.geomorphologyjournal.ir/article_78071.html
- Mossadeghzadeh, E., Dehboorgi, M., & Hakimi-Asiaber, S. (2020). Tectonic investigation of the geomorphology of East Ramsar, North Iran. *Quantitative Geomorphology Research*, 4 (4), 65-86. (In Persian). https://www.geomorphologyjournal.ir/article_102804_bda5663d3e291bd6b57cc862afb64885.pdf
- Mousavi, M., Sharareh Saidpour, Sh., Mohammad Rasouli, M., & Abdi, N. (2022). Resilience in Urban Housing Area, Case Study: City of Saqqez. *Journal of Urban Ecology Research*, 14(4), 159-176. (In Persian). DOI: [10.30473/grup.2022.52932.2513](https://doi.org/10.30473/grup.2022.52932.2513)
- Nabawi, M. H. (1987). Geological map 1:100000 of Semnan, Organization of Geology and Mineral Explorations of the country. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=781868>
- Ngapna, M.N., Owona, S., Owono, F.M., Ateba, C.B., Tsimi, V.M., Ondoa, J.M., & Ekodeck, G.E (2020). Assessment of relative active tectonics in Edea-Eseka region (SW Cameroon, Central Africa). *Journal of African Earth Sciences*, 164 (2), PP. 103798. DOI: [10.1016/j.jafrearsci.2020.103798](https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2020.103798).
- Perez Pena, J.V. (2009). GIS-Based tools and methods for landscape analysis and active tectonic evaluation. Doctoral thesis. University of Granada, 26(2), 56-83. <file:///C:/Users/ASUS/Downloads/17915466.pdf>
- Qanawati, I. (2012). Flood risk zoning of Karaj using fuzzy logic model. *Geography and Environmental Hazards*, 8(3), 33-49. (In Persian). DOI: [10.22067/geo.v0i0.27924](https://doi.org/10.22067/geo.v0i0.27924)

- Ritz J.F., Nazari, H., Salamati, R., Shafeii, A., Solaymani, S., & Vernant, P. (2006). Active transtension inside Central Alborz: a new insight into the Northern Iran–Southern Caspian geodynamics. *Geology*, 56(4), 477- 480. DOI: [10.1130/G22319.1](https://doi.org/10.1130/G22319.1)
- Schumm, S.A. (1997). Drainage density: problems of prediction'. In: Stoddart, D.R. (Ed.), *Process and Form in Geomorphology*. Routledge, London, 5(2), 15- 45. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9780203769850-4/drainage-density-stanley-schumm>
- Shaterian, M., Gholami, Y., Hosseini, S.A., & Khalaji, N. (2024). Analysis of Economic, Social and Physical Factors Affecting Urban Regeneration, Case Study: Central Texture of Kashan. *Journal of Urban Ecology Research*, 14(4), 85-102. (In Persian). DOI: [10.30473/grup.2023.35858.1995](https://doi.org/10.30473/grup.2023.35858.1995)
- Seeber, L., & Gornitz, V. (1983). River profiles along the Himalayan arc as indicators of active tectonics. *Tectonophysics*, 92(4), 335- 367. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(83\)90201-9](https://doi.org/10.1016/0040-1951(83)90201-9)
- Shahpasandzadeh, M., & Zare, M. (1995). Preliminary study of seismicity and tectonic earthquakes and the risk of earthquakes and faults in Mazandaran province. *report of the International Research Institute of Seismology and Earthquake Engineering*. <https://www.iiees.ac.ir/researchprojects/>
- Singh, P., Gupta, A., & Singh, M. (2014). Hydrological inferences from watershed analysis for water resource management using remote sensing and GIS techniques. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 42(4), PP 1- 11. DOI: [10.1016/j.ejrs.2014.09.003](https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2014.09.003)
- Stocklin, J. (1968). Structural history and tectonics of Iran: a review. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 52(4), 1229- 1258. <https://doi.org/10.1306/5D25C4A5-16C1-11D7-8645000102C1865D>
- Strahler, A.N. (1952). Hypsometric (area- altitude) analysis of erosiona topography. *Geological ociety of America Bulletin*, 63(4), 1117- 1142. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[1117:HAAOET\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2)
- Strahler, A.N. (1964). Quantative geomorphology of drainage basins and channel networks. In: Te Chow, Ven. (Ed.), *Hand Book of Applied Hydrology*, New York. McGraw Hill Book Company, 2(1), 351- 368. [https://www.scirp.org/\(S\(ny23rubfvg45z345vbrepxml\)\)/reference/referencespapers?referenceid=3176331](https://www.scirp.org/(S(ny23rubfvg45z345vbrepxml))/reference/referencespapers?referenceid=3176331).
- Toudeshki, V. H., & Arian, M. (2011). Morphotectonic Analysis in the Ghezel Ozan River Basin, NW SAR data. *Geomorphology*, 248(5), 427- 439. DOI: [10.5539/jgg.v3n1p258](https://doi.org/10.5539/jgg.v3n1p258)
- Vernant, P., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, J., Ashtiani, A., Bayer, R., Tavakoli, F., & Chery, J. (2004). Contemporary crustal deformation and plate kinematics in Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Iran. *Geophysical*, 79(3), 381- 398. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-246X.2004.02222.x>
- Walker, R.T. (2006). A remote sensing study of active folding and faulting in southern Kerman province, S.E. Iran. *Journal of Structural Geology*, 28(4), 654–668. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsg.2005.12.014>
- Yamani, M., Kamrani-Dalir, H., & Bagheri, S. (2009). Morphometry and evaluation of geomorphic indicators to determine the amount of new land construction activity in Abriz Chele basin (Northwestern Zagros). *Quarterly Journal of Geographical Research*, 97 (4), 1- 26. (In Persian). https://journals.ui.ac.ir/article_17860_9a48aa1f0d64660e80af39ddd578c188.pdf