

## مقاله پژوهشی

## پهنه‌بندی مخاطرات لرزه‌ای شهرهای مرزن‌آباد و طالقان براساس ارزیابی شاخص‌های

## مورفوتکتونیک

المیرا مصدق‌زاده<sup>۱</sup>، محمد خلیج<sup>۲\*</sup>

۱. دانشجوی دکتری زمین‌ساخت (تکتونیک)، دانشگاه اصفهان

۲. دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران

(دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۰۸ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۵)

## Seismic Hazard Zoning of Marzneabad and Taleghan Cities Based on Evaluation of Morphotectonic Indices

Elmira Mosadeghzadeh<sup>1</sup>, Mohammad Khalaj<sup>2\*</sup>

1. Ph.D. Student in Tectonics, Isfahan University.

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

(Received: 29/Nov/2020

Accepted: 06/Nov/2021)

## Abstract

Morphotectonics is a science that determines the effect of active tectonics by using geomorphic indicators as a measurement and quantitative description of landforms and landscapes. Morphotectonics provides quantitative measurements that can be used to identify areas with active tectonics. In this study, using quantitative morphometric indices obtained from morphotectonic studies, a part of Central Alborz (Marzneabad and Taleghan cities) has been studied and five hierarchical anomaly indices ( $a\Delta$ ), branching index (R), Basin shape (Ff), drainage density (Dd) and roughness coefficient (Bh) were calculated in 19 drainage sub-basins. In these areas, each of these indices is classified into five groups: very high, high, medium, low and very low, and finally the relative active tectonic index (Iat) is obtained. Based on the results of this study, the Caspian, North Alborz, Dozdben and Kandovan and North Taleghan fault basins are in very high and high groups, which indicates the impact of these faults on the active tectonics of the region. Due to these high values, it is expected that the seismic risk of the region will increase due to fault rupture. The density of recent earthquakes in the region confirms this.

**Keywords:** Morphotectonics, Morphometry, Alborz, Catchment, Earthquake.

## چکیده

مورفوتکتونیک علمی است که تاثیر تکتونیک فعال را با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک به عنوان سنجش و توصیف کمی اشکال و چشم‌اندازهای زمین مشخص می‌کند؛ بر همین اساس اندازه‌گیری‌های کمی، شرایطی را فراهم می‌آورد تا با استفاده از آن‌ها به شناسایی وضعیت مناطق دارای تکتونیک فعال پرداخته شود. در این مطالعه با استفاده از شاخص‌های کمی مورفومتری حاصل از مطالعات مورفوتکتونیک بخشی از البرز مرکزی (شهرهای مرزن‌آباد و طالقان)، مورد بررسی قرار گرفته و پنج شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی ( $a\Delta$ )، شاخص انشعابات (R)، شکل حوضه (Ff)، تراکم زهکشی (Dd) و ضریب ناهمواری (Bh) در ۱۹ حوضه زهکشی محاسبه شده است. در این مناطق هر یک از این شاخص‌ها به پنج گروه بسیار بالا، بالا، متوسط، کم و بسیار کم طبقه‌بندی شده‌اند و در نهایت شاخص تکتونیک فعال نسبی (Iat) به دست آمده است. براساس نتایج حاصل از این پژوهش، حوضه‌هایی گسل‌های خزر، شمال البرز، دزدبن و راندگی‌های کندوان و شمال طالقان در گروه‌های بسیار بالا و بالا قرار گرفته‌اند که بیانگر تأثیر این گسل‌ها بر تکتونیک فعال منطقه است. در اثر بالا بودن این مقادیر، انتظار می‌رود که ریسک لرزه‌خیزی منطقه نیز در اثر گسیختگی گسل‌ها افزایش یابد. تراکم کانون لرزه‌ای زمین‌لرزه‌های اخیر در منطقه تصدیقی بر اثبات این موضوع است.

**واژه‌های کلیدی:** مورفوتکتونیک، مورفومتری، البرز، حوضه آبریز، زمین‌لرزه.

\*Corresponding Author: Mohammad Khalaj  
E-mail: m\_khalaj@pnu.ac.ir

نویسنده مسئول: محمد خلیج

## مقدمه

مورفوتکتونیک<sup>۱</sup> علمی است که می‌تواند تأثیر تکتونیک فعال را با استفاده از شاخص‌های مورفومتری<sup>۲</sup> به عنوان سنجش و توصیف کمی اشکال و چشم‌اندازهای زمین مشخص کند. اندازه‌گیری‌های کمی شرایطی را فراهم می‌آورد تا با استفاده از آن‌ها به شناسایی وضعیت مناطق دارای تکتونیک فعال پرداخته شود. (Keller et al, 1998:20). رودخانه‌ها از مهم‌ترین چشم‌اندازهای موجود در سطح زمین هستند که به سرعت و به طور ثابت به تغییر شکل حاصل از زمین‌ساخت فعال در سطح زمین که بازتاب‌کننده تغییرات جزئی در توپوگرافی است واکنش نشان می‌دهند (Holburk and schumm, 1999:80., sibber and Gornitz, 1983:56). بنابر این بررسی، الگوی زهکشی و انحراف رودها، اطلاعات مهمی در مورد گسترش و تکامل ساختاری منطقه فراهم می‌کند (Keller et al, 1998:10., Walker, 2006:32).

براساس مطالعات صورت گرفته در منطقه حوضه‌های آبریز هراز، نور و نوشهر در البرز مرکزی، میزان زمین‌ساخت فعال در امتداد گسل‌های بزرگ همانند البرز و خزر بسیار بالا محاسبه شده است (بابایی، ۱۳۹۶). بر همین اساس میزان زمین‌ساخت فعال در حوضه‌های آبریز رامسر، جواهرده و رودسر نیز که همچنان در البرز مرکزی قرار گرفته‌اند حدود ۶۵/۸۸ درصد از این مناطق زمین‌ساخت فعال با شاخص خیلی بالا را نمایش داده‌اند (شکری، ۱۳۹۷).

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.

## داده‌ها و روش کار

منطقه مورد مطالعه در بین عرض‌های جغرافیایی  $36^{\circ}39'14''$  و  $36^{\circ}41'27''$  شمالی و بین طول‌های جغرافیایی  $51^{\circ}39'27''$  و  $50^{\circ}36'19''$  شرقی و هم‌چنین در محدوده نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مرزن‌آباد، لنکران و چالوس قرار گرفته و شهرهای اصلی این منطقه شامل مرزن‌آباد و طالقان می‌باشد. گسل‌های شمال البرز، خزر، طالقان، دزدبن، سیاه بیشه و

رانندگی کندوان در منطقه واقع شده‌اند و جز گسل‌های اصلی منطقه مورد مطالعه به شمار می‌آیند (شکل ۱ و ۲).

از دید چینه‌شناسی و زمین‌ساختی، محدوده مورد مطالعه در بخش البرز مرکزی است، که این پهنه از دره سپیدرود تا دره فیروزکوه و رود تالار کشیده شده است (آقابی، ۱۳۸۳). گسل‌های اصلی که این منطقه را تحت تأثیر فعالیت خود قرار داده‌اند و در این مطالعه به آن‌ها پرداخته می‌شود، گسل‌های شمال البرز، خزر، طالقان است که در کنار سایر گسل‌های فعال منطقه مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

گسل شمال البرز به صورت گسلی معکوس - رانده با شیبی به سمت جنوب‌شرقی تا جنوب‌غرب از علی‌آباد گرگان تا نزدیکی تنکابن گسترش داشته که از دو روند ساختاری شمال شرقی - جنوب غربی و شمال غربی - جنوب شرقی تشکیل شده است (شاه‌پسندزاده و همکاران، ۱۳۷۴:۳۰). روند کلی این گسل به موازات گسل خزر است و در ۱۰-۱۲ کیلومتری غرب چالوس به این گسل می‌پیوندد.

گسل خزر، واقع در یک مرز ساختاری در حاشیه جنوبی خزر با درازای بیش از ۶۰۰ کیلومتر است. این گسل با راستای شرقی - غربی، شیب به سوی جنوب و سازوکار فشاری، در شمال کوه‌های البرز و جنوب دشت کرانه‌ای مازندران قرار دارد. اختلاف ارتفاع شدید و ناگهانی میان دریای خزر (با ارتفاع نزدیک به ۲۸ متر زیر سطح دریاهای آزاد) و یال شمالی رشته کوه‌های البرز با ارتفاع نزدیک به ۲۰۰۰ متر، به سبب عملکرد گسل خزر است (Berberian, 1994:10). بررسی داده‌های لرزه‌خیزی نشان می‌دهد که جنبش این گسل سبب رویداد زمین‌لرزه‌های متعددی شده است و گسل خزر، گسلی لرزه‌زا محسوب می‌شود.

به عقیده برخی دانشمندان زمین‌لرزه ۱۱۲۷ میلادی در گستره فریم - چهاردانگه با بزرگای  $M_s = 6/8$  حاصل فعالیت گسل شمال البرز بوده است (شاه‌پسندزاده، ۱۳۷۴:۱۲)، همچنین گسل خزر نیز در حال حاضر به شدت فعال است و بسیاری از زمین‌لرزه‌های گیلان و مازندران در نتیجه فعالیت این گسل اتفاق می‌افتد (Berberian, 1994:10). زمین‌لرزه ۱۲ نوامبر ۸۷۴ میلادی گرگان با بزرگای  $M_s = 6$  و زمین‌لرزه ۱۴۳۶ میلادی گرگان با بزرگای  $M_s = 5/3$  و در نتیجه فعالیت این گسل رخ داده است (شاه‌پسندزاده و همکاران، ۱۳۷۴:۱۴) (شکل ۲).

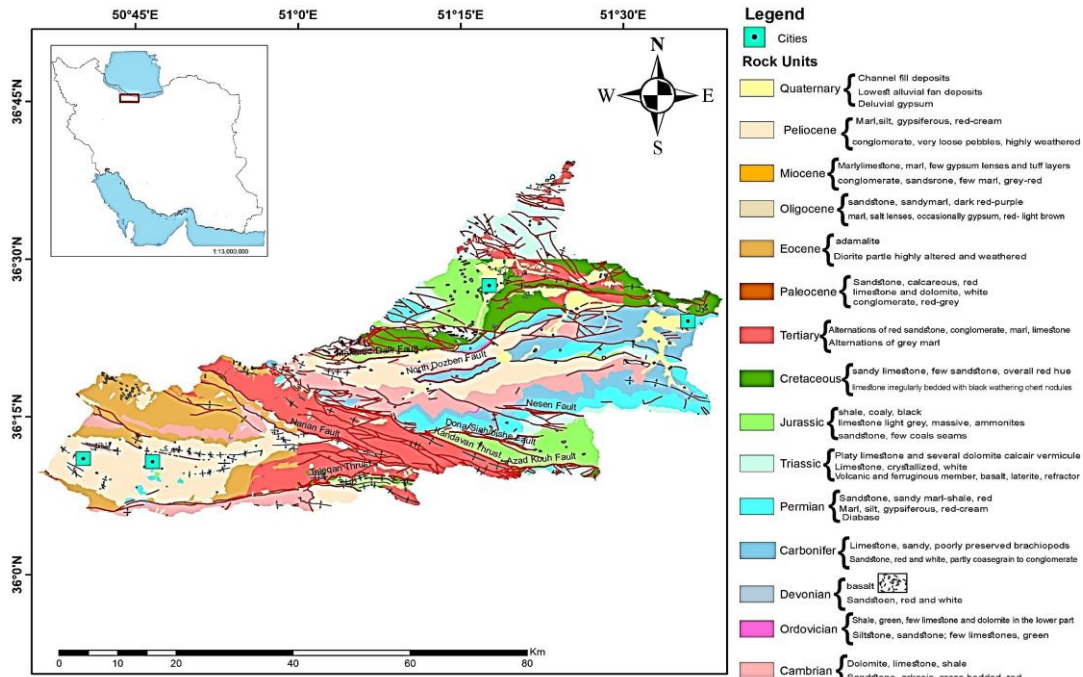
گسل طالقان در کرانه جنوبی دره طالقان در فاصله ۵۰ کیلومتری از تهران قرار دارد که به‌طور معمول به‌عنوان یک

<sup>۱</sup> Morphotectonic

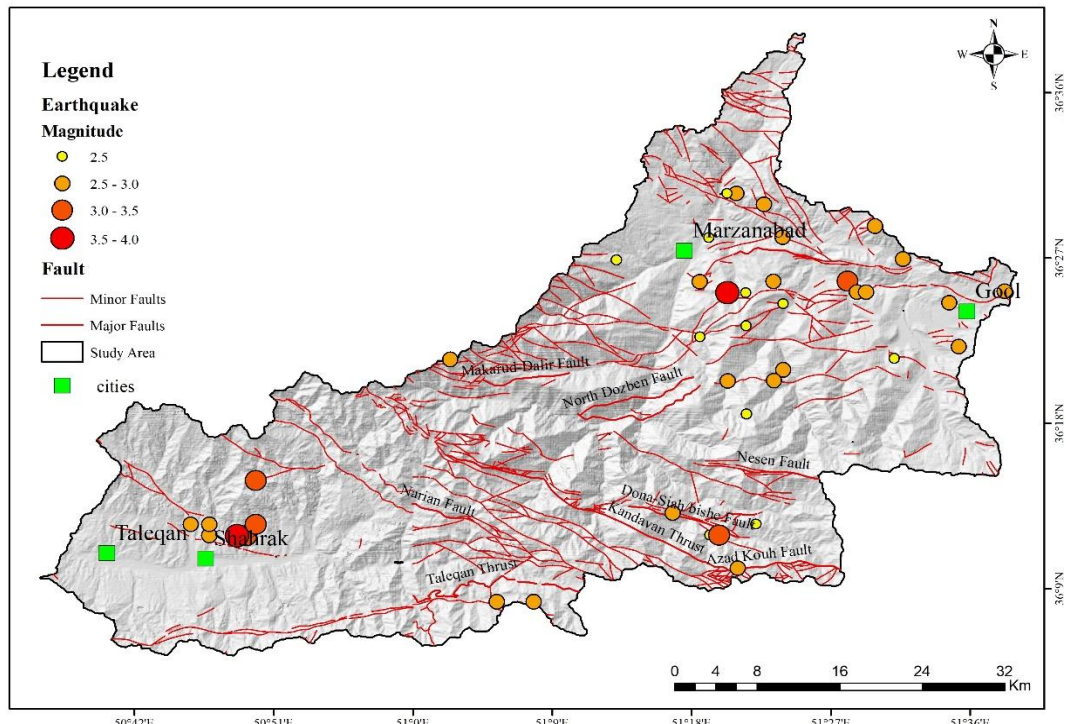
<sup>۲</sup> Morphometric indices

یکی از بزرگ‌ترین عوامل تهدید لرزه‌ای برای شهرهای گستره تهران و کرج است. در سال ۱۴۲۸ میلادی نیز زمین‌لرزه ویرانگری در طالقان روی داد.

گسل فشارشی با شیب به سوی جنوب یاد می‌شود. این گسل با راستای تقریبی شرقی- غربی و طول تقریبی ۶۴ کیلومتر و شیب به سمت جنوب است (نظری و فرانسوا، ۱۳۸۸: ۲۰) که



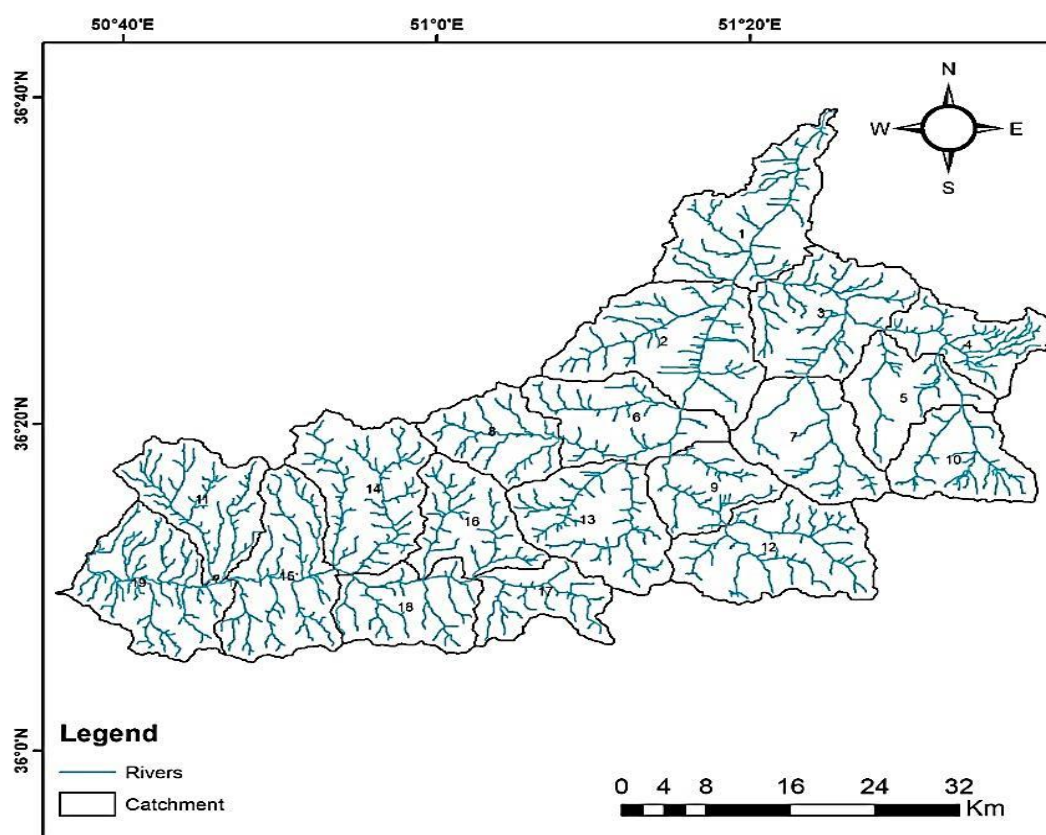
شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه



شکل ۲. نقشه گسل و کانون زمین‌لرزه‌ها در گستره مورد مطالعه

که شامل شاخص‌های ناهنجاری سلسله مراتبی (Da)، انشعابات (R)، شکل حوضه (Ff)، تراکم زهکشی (Dd) و ضریب ناهمواری (Bh) در ۱۹ حوضه زهکشی محاسبه شده و در نهایت شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) که تلفیقی از داده‌های محاسبه شده از دیگر شاخص‌ها است، اندازه‌گیری شد. در پایان براساس هر شاخص نقشه پهنه‌بندی فعالیت زمین‌ساختی در محدوده مورد بررسی تهیه و نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌ها پس از انجام مطالعات صحرایی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

در این مطالعه در ابتدا با استفاده از نرم‌افزار GIS Arc مدل ارتفاعی رقومی (DEM) ۳۰ متر به دست آمده از داده‌های ماهواره‌ای Landsat، آبراهه‌ها در محیط این نرم‌افزار و توسط افزونه ARCHydro حوضه‌بندی و استخراج شدند (شکل ۳). سپس با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و از طریق نرم‌افزار Arc GIS لایه‌های مختلف کاربردی به دست آمده که شامل آبراهه، حوضه‌های آبریز بوده‌اند با گسل، لیتولوژی و خطوط ارتفاعی تلفیق و نقشه آن‌ها تهیه شد. در انتها برای حوضه‌های استخراج شده شاخص‌های ریخت‌سنجی



شکل ۳. نقشه حوضه‌ها و آبراهه‌های منطقه مورد مطالعه

است استفاده می‌شود (مهدوی، ۱۳۸۶)، از جمله این پارامترها می‌توان به ضریب شکل اشاره نمود. این شاخص با توجه به رابطه زیر به دست می‌آید (Horton, 1932:10):

$$Ff = A / L^2$$

در رابطه بالا، Ff 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 نشانگر شدت جریان در یک مساحت معین است. هر

شاخص ضریب شکل (Form factor)

حوضه‌های آبریز از نظر ظاهری دارای شکل‌های گوناگون هستند. 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 است گوناگونی زیادی در شکل حوضه‌ها دیده می‌شود و مقایسه آن‌ها را با یکدیگر مشکل می‌سازد. برای حل این مشکل از روابطی که در آن‌ها فاکتورهای ثابتی از حوضه گنجانده شده

برجستگی نشان‌دهنده شدت جریان آب، نفوذ پایین و مقدار بالای رواناب است. ضریب ناهمواری از اختلاف بین مرتفع‌ترین و پست‌ترین ارتفاعات حوضه به دست می‌آید و از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Keller and Pinter, 2002:10):

$$Bh = H_{max} - H_{min}$$

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

#### شاخص تراکم زهکشی (Drainage density)

تراکم زهکشی یک شاخص ریخت‌سنجی مهم برای حوضه‌هایی است که آبراهه‌های آن، بازتاب‌کننده فرآیندهای حاکم بر حفر چشم‌اندازها است (Schumm, 1972:10). تراکم زهکشی از نسبت مجموع طول تمام آبراهه‌های یک حوضه به مساحت حوضه محاسبه می‌شود (Horton, 1945:20) و با توجه به رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Dd = Lu / A$$

در رابطه بالا،  $Lu$  مجموع طول تمام آبراهه‌های یک حوضه و  $A$  مساحت حوضه است. 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. هرچه میزان فعالیت تکتونیکی در یک منطقه بیشتر باشد، آبراهه‌ها کشیده‌تر شده بنابراین مجموع طول آبراهه‌ها افزایش می‌یابد.

#### شاخص انشعابات (Bifurcation indexes)

شاخص انشعابات از دیگر شاخص‌های تعیین آنومالی سیستم زهکشی در حوضه‌های آبخیز است. شاخص مذکور اطلاعات مفیدی را در مورد نحوه فعالیت فرآیندهای فرسایشی و درجه فعالیت حوضه ارائه می‌دهد (Guarnieri and Pirrotta, 2008:261). با افزایش درجه تأثیر عوامل زمین‌ساختی در حوضه‌ها مقدار شاخص مذکور افزایش می‌یابد (بارونی و همکاران، ۲۰۰۵). این شاخص نسبت انشعابات یک رده خاص به تعداد انشعابات یک رده بالاتر است (Horton, 1945:30):

$$R = R_b - R_{db}$$

در رابطه بالا،  $R$  شاخص انشعابات،  $R_b$  نسبت انشعابات و  $R_{db}$  نسبت مستقیم انشعابات است. نسبت انشعابات برای هر

چه مقدار ضریب فرم به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد، حوضه مذکور به مربع نزدیک‌تر است و هرچه ضریب فرم کوچک‌تر از یک باشد، حوضه کشیده‌تر است (مه‌دوی، ۱۳۸۶). حوضه‌های زهکشی در مناطق فعال از نظر زمین‌ساختی، دارای شکل کشیده‌تر هستند (Bull and Mcfadden, 1977:20).

#### شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی (Hierarchical anomaly index)

این شاخص براساس تعداد انشعابات که از یک رتبه به رودخانه دو یا چند رتبه بالاتر از خود می‌ریزد، محاسبه می‌شود و بعد از بررسی دو (یا چند) حوضه با توجه به مقادیر به دست آمده تفاوت میزان فعالیت زمین‌ساخت بین حوضه‌های مختلف تعیین خواهد شد. زمانی که یک آبراهه به یک رده بالاتر از خود وارد می‌شود نظم سلسله مراتبی دارد، برای مثال هر آبراهه رده یک که به آبراهه رده دو وارد شود، دارای نظم سلسله مراتبی است (Horton, 1945:50). وارد شدن یک رده آبراهه به آبراهه دو یا چند رده بالاتر از خود، ناهنجاری سلسله مراتبی نامیده می‌شود. برای مثال زمانی که آبراهه رده ۱ وارد آبراهه‌های رده سه، چهار و بالاتر شود، ناهنجاری سلسله مراتبی دارد.

رابطه شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی به صورت ذیل است:

$$HA(i > j) = 2i - 1 - 2j - \hat{HA}(i > j) * No.(i > j)$$

در این رابطه،  $HA$  آنومالی سلسله مراتبی،  $i$  رده رودخانه بالاتر و  $j$  رده رودخانه پایین‌تر است  $No.(i > j)$  تعداد انشعابات است که از رده بالا به رده پایین می‌ریزد؛ در نهایت آنومالی سلسله مراتبی محاسبه می‌شود. مجموع مقادیر محاسبه شده برای تمامی رده‌ها بر تعداد کل آبراهه‌های رده یک تقسیم می‌شود و به عنوان شاخص آنومالی سلسله مراتبی ( $\Delta a$ ) هر حوضه تعیین می‌شود. تکتونیک فعال در یک منطقه که می‌تواند در نتیجه فعالیت گسل‌های آن منطقه باشد، بر روی نظم سلسله مراتبی آبراهه‌ها تأثیر می‌گذارد. این تأثیر سبب اتصال رودخانه‌هایی با رتبه پایین‌تر به چند رتبه بالاتر از خود در محل تقاطع گسل و آبراهه می‌شود.

#### ضریب ناهمواری (Bh)

ضریب ناهمواری نقش مهمی در توسعه زهکشی، حرکت آب‌های سطحی و زیرزمینی، تراوایی، توسعه اشکال سطحی زمین و ویژگی‌های فرسایشی عوارض زمینی دارد. مقدار بالای

رده یک حوضه به صورت زیر به دست می‌آید:

$$Rb(u-u+1) = Nu / Nu+1$$

در رابطه بالا، Nu تمام انشعابات یک رده و Nu+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 پایین در حوضه‌هایی که ساختارهای زمین‌شناختی، کمتر تغییر کرده‌اند و الگوی زهکشی به حالت طبیعی است وجود دارد (Strahler, 1964:40). نسبت مستقیم انشعابات برای هر رده به صورت زیر محاسبه:

$$Rdb = Ndu / Nu+1$$

در رابطه بالا، Ndu تعداد انشعابات یک رده که به آبراهه-های رده بالاتر خود می‌ریزند و Nu+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 می‌دهد (Guarnieri and pirotta, 1945:261).

#### شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat)

به منظور طبقه‌بندی منطقه براساس شاخص زمین‌ساخت نسبی (Iat)، شاخص‌های ریخت‌سنجی ناهنجاری سلسله مراتبی (Δa)، انشعابات (R)، شاخص تراکم زهکشی (Dd)، ضریب شکل (Ff) و ضریب ناهمواری (Bh) از نظر فعالیت زمین‌ساختی به پنج رده تقسیم‌بندی شدند؛ در نهایت برای هر حوضه میانگین مقادیر رده شاخص‌های ژئومورفولوژی (S/n) اندازه‌گیری شد و به چهار رده فعالیت زمین‌ساختی (Iat) تقسیم شد (جدول ۱). رده یک نشان‌دهنده فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا است، رده دو فعالیت زمین‌ساختی بالا است، رده سه فعالیت زمین‌ساختی متوسط و رده چهار فعالیت زمین‌ساخت نسبی کم است (Hamdouni et al, 2007). در نهایت نقشه پهنه‌بندی سطح

فعالیت زمین‌ساختی در گستره مورد مطالعه ترسیم شد.

#### شرح و تفسیر نتایج

در این پژوهش سعی شده که به بررسی تاثیر گسل‌ها بر روی رودخانه‌های منطقه مورد مطالعه به منظور ارزیابی فعالیت زمین‌ساختی فعال پرداخته شود. نتایج حاصل از محاسبات شاخص‌های ناهنجاری سلسله مراتبی (Δa)، انشعابات (R)، شکل حوضه (Ff)، تراکم زهکشی (Dd) و ضریب ناهمواری (Bh) در ۱۹ حوضه زهکشی و در نهایت شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) می‌تواند نشان‌دهنده فعالیت زمین‌ساختی اخیر در منطقه مورد مطالعه باشد.

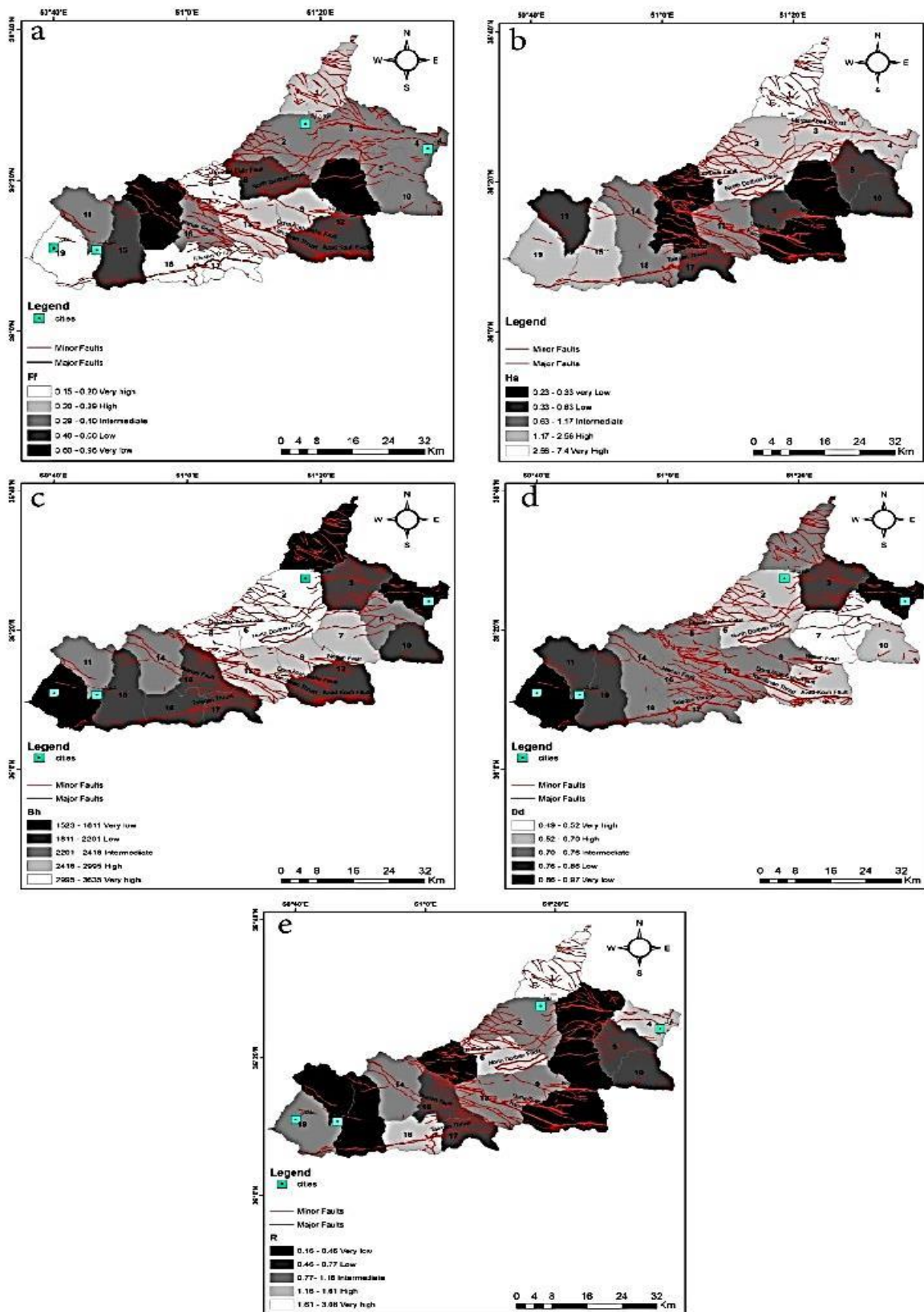
براساس محاسبات انجام گرفته بر روی شاخص ضریب شکل در منطقه مورد مطالعه زیرحوضه‌های شماره ۸ و ۱۷ بیش‌ترین میزان و ۱۴ و ۷ کمترین میزان از این شاخص را دارا می‌باشند (شکل ۳\_a). زیرحوضه‌های ۱ و ۲ بیشترین میزان و زیرحوضه‌های ۷ و ۱۶ کمترین میزان از شاخص سلسله مراتبی را دارا می‌باشند (شکل ۳\_b).

بر مبنای مطالعات صورت گرفته بر روی شاخص ضریب ناهمواری زیرحوضه‌های ۹ و ۱۴ کمترین میزان از شاخص ضریب ناهمواری و ۲ و ۴ بیشترین میزان از این شاخص را دارا می‌باشند (شکل ۳\_c).

براساس شاخص تراکم زهکشی زیرحوضه‌های ۵، ۷، ۲ و ۶ که در امتداد گسل‌های دزدین و مرزن‌آباد هستند بیشتر میزان از این شاخص و زیرحوضه‌های ۴ و ۱۹ کمترین میزان را دارند (شکل ۳\_d).

بنابر محاسبات انجام گرفته بر شاخص انشعابات زیرحوضه‌های ۱۲ و ۱۵ کمترین و زیرحوضه‌های ۱ و ۱۸ که در امتداد گسل شمال البرز هستند نیز بیشترین میزان از این شاخص را از آن خود کرده‌اند (شکل ۳\_e).

در انتها با تلفیق داده‌های محاسبه شده بر شاخص‌های فوق‌الذکر، زیرحوضه‌های ۱، ۶ و ۲ که در امتداد گسل‌های خزر، دزدین و مرزن‌آباد هستند بیشترین میزان را از شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی دارند (شکل ۴).



شکل ۴. پهنه‌بندی شاخص‌های اندازه‌گیری شده در گستره مورد مطالعه، a- شاخص ضریب شکل، b- شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی، c- شاخص ضریب ناهمواری، d- شاخص تراکم زهکشی، e- شاخص انشعابات

جدول ۱. مقادیر پنج شاخص اندازه‌گیری شده در گستره مورد مطالعه

BasinNo	Ha	Bh (m)	Ff	'Dd (km)	R	Iat
۱	۲۹۱	۱۸۱۱	۰/۲۹	۰/۷۳	۳/۰۸	۱
۲	۱۳۶	۳۴۳۸	۰/۳۸	۰/۶۸	۰/۹۲	۲
۳	۸۲	۲۱۰۵	۰/۳۴	۰/۸۰	۰/۴۱	۲
۴	۸۰	۱۶۴۶	۰/۳۱	۰/۹۸	۱/۴۳	۳
۵	۱۲	۳۴۱۸	۰/۳۱	۰/۵۲	۰/۷۸	۲
۶	۶۹	۳۲۲۹	۰/۶۰	۰/۶۶	۱/۶۱	۱
۷	۶	۲۹۱۱	۰/۹۷	۰/۵۰	۰/۳۸	۲
۸	۷	۳۶۳۵	۰/۱۶	۰/۷۴	۰/۴۶	۲
۹	۲۰	۲۹۹۵	۰/۲۴	۰/۷۲	۱/۱۷	۲
۱۰	۱۴	۲۲۰۱	۰/۴۰	۰/۷۰	۰/۶۱	۳
۱۱	۳۰	۲۳۰۲	۰/۳۳	۰/۸۷	۰/۳۶	۳
۱۲	۱۸	۲۱۱۲	۰/۴۶	۰/۶۷	۰/۳۳	۳
۱۳	۵۹	۲۷۳۴	۰/۲۷	۰/۷۱	۰/۸۳	۲
۱۴	۵۹	۲۴۰۶	۰/۸۸	۰/۷۷	۱/۰۶	۳
۱۵	۱۰۱	۲۱۲۰	۰/۴۴	۰/۸۴	۰/۱۷	۳
۱۶	۹	۰۰.۲۰۳۷	۰/۳۲	۰/۷۵	۰/۵۸	۳
۱۷	۱۴	۱۹۱۴	۰/۱۷	۰/۷۲	۰/۶۱	۳
۱۸	۳۴	۲۰۸۳	۰/۲۰	۰/۷۴	۱/۶۱	۲
۱۹	۹۹	۱۵۲۳	۰/۱۸	۰/۹۷	۱/۰۵	۲

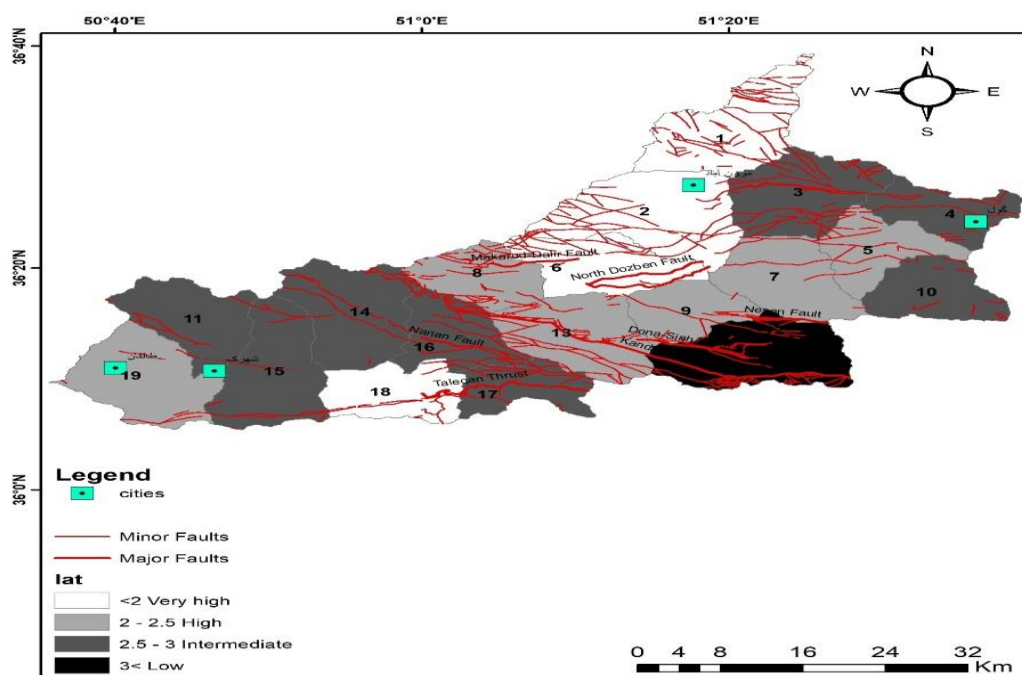
می‌کنند، میزان این شاخص بسیار بالا است که می‌تواند بیانگر تغییرات ارتفاعی ناشی از فعالیت این گسل‌ها باشد. در زیرحوضه‌های ۸، ۱۷ و ۱۸ نیز که مرتبط با گسل‌های مکارود و راندگی طالقان هستند نیز میزان شاخص ضریب شکل بسیار بالا و در زیرحوضه‌های ۱، ۹ و ۱۳ نیز که ارتباط با گسل‌های خزر و راندگی کندوان هستند نیز این میزان بالا است.

در انتها و براساس شاخص نسبی زمین‌ساخت (iat) نیز زیرحوضه‌هایی که مرتبط با گسل‌های خزر، سیاه بیشه، راندگی‌های کندوان و طالقان و سایر گسل‌های اصلی منطقه مورد مطالعه هستند میزان بسیار بالا و بالا را نمایش می‌دهند. لازم به ذکر است که گسل‌های فرعی دیگری نیز که در اثر فعالیت‌های زمین‌ساختی در منطقه شکل گرفته‌اند، تاثیر به-سزایی بر افزایش میزان شاخص‌های ریخت زمین‌ساختی نهاده و سبب شده‌اند که در برخی زیرحوضه‌ها میزان شاخص‌های محاسبه شده افزایش یابد (شکل ۵).

### بحث و نتیجه‌گیری

براساس مطالعات صورت گرفته می‌توان نتیجه‌گرفت، شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی در زیرحوضه‌هایی مرتبط با گسل‌های شمال دزدبن، مرزن‌آباد، خزر و راندگی کندوان این شاخص افزایش یافته و میزان بسیار بالا و بالا را نمایش می‌دهند؛ به این صورت که در تقاطع بین این گسل‌ها با آبراهه‌های زیرحوضه‌های این نواحی سبب ایجاد ناهنجاری در اتصال آبراهه‌های درجه پایین به چند درجه بالاتر شده است. در زیرحوضه‌های ۱ و ۶ (تحت سیطره گسل‌های نام‌برده) شاخص انشعابات نیز میزان بسیار بالا و بالا و در زیرحوضه ۱۸ که مرتبط با راندگی طالقان است این میزان هم‌چنان بالا است. این میزان می‌تواند نشان‌دهنده میزان بالای فعالیت‌های زمین-ساختی ناشی از این گسل‌ها باشد. در رابطه با محاسبات انجام گرفته در خصوص شاخص ضریب ناهمواری نیز در زیرحوضه-های ۲، ۶ و ۸ که گسل‌های شمال دزدبن و مکارود از آن عبور





شکل ۵. نقشه پهنه‌بندی گستره مورد مطالعه براساس سطح شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (iat)

#### منابع

- آقا نباتی، علی (۱۳۸۳). *زمین شناسی ایران*. تهران: سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- شاه‌پسندزاده، مجید و زارع، مهدی (۱۳۷۴). *بررسی مقدماتی لرزه‌خیزی و لرزه‌زمین‌ساخت و خطر زمین‌لرزه و گسلش در پهنه استان مازندران*، گزارش پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌مهدوی، محمد (۱۳۹۶). *هیدرولوژی کاربردی*. جلد دوم، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- نظری، حمید و فرانسوا، ژان‌ریترز (۱۳۸۸). ویژگی‌های هندسی و سازو کار جوان گسل طالقان: بر پایه بررسی‌های ریخت زمین‌ساختی. *نشریه علوم زمین*، ۷۱(۱۸)، ۱۷۶-۱۷۳.
- بابایی، شیما (۱۳۹۶). *بررسی تکتونیک فعال با استفاده از شاخص‌های رودخانه‌ای در حوضه‌های آبریز هزار، نور و نوشهر، البرز مرکزی*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه خوارزمی.
- شکری، پریسا (۱۳۹۷). *بررسی تکتونیک فعال با استفاده از شاخص‌های مورفومتری در حوضه‌های آبریز رامسر، جواهرده و رامسر (البرز مرکزی)*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه خوارزمی.
- Alavi, M. (1996). *Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz mountain system in northern Iran*. *Geodynamics*, 21, 1- 33.

براساس محاسبات صورت گرفته بر روی شاخص‌های مورفومتری در این مطالعه، به طور کلی فعالیت تکتونیک نسبی در اثر عملکرد گسل‌های فعال موجود در منطقه از قبیل گسل خزر، شمال البرز، سیاه بیشه، دزدبن و راندگی‌های طالقان و کندوان بالا و بسیار بالا است. براساس این مطالعات مشخص شد که برخی گسل‌های فرعی دیگر نیز که در اثر بالا بودن فعالیت-های زمین‌ساختی در منطقه شکل گرفته‌اند نیز در کنار گسل‌های بزرگی هم‌چون شمال البرز و خزر می‌توانند بر میزان شاخص‌های زمین‌ساختی تأثیرگذار باشند، به‌صورتی که براساس نتایج به دست آمده حدود ۵۲/۶ درصد از زیرحوضه‌هایی که مرتبط با گسل‌های اصلی و فرعی منطقه مورد مطالعه هستند، میزان فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا و بالا را نمایش می‌دهند.

تراکم بالای کانون‌های لرزه‌ای در امتداد ساختارهای مورد مطالعه و در نزدیکی شهرهای اصلی منطقه نیز نشانگر وجود تکتونیک فعال در منطقه و خطر بالای زمین‌لرزه است (شکل ۲). بنابراین ایجاد تمهیداتی به منظور کاهش ریسک خطر زمین‌لرزه در این منطقه به خصوص به دلیل شرایط توریستی شهرهای این ناحیه که شامل مرزن‌آباد و طالقان است، امری ضروری تلقی می‌شود. یکی از راهکارهای مفید در کاهش خطر ریسک زمین‌لرزه در این شهرها کاهش ساخت و ساز در نزدیکی زون گسل‌های لرزه‌زا و هم‌چنین مقاوم‌سازی ساختمان‌هایی است که پیشتر در منطقه ساخته شده‌اند.

- Baroni, C., Noti, V., Ciccacci, S., Righini, G., Salvatore, M.C. (2005). *Fluvial Origin of the Valley System in Northern Victoria Land (Antarctica) from Quantitative Geomorphic Analysis*. GSA Bulletin, 117, 212-228.
- Berberian, M. (1994). *Natural hazards and the first earthquake catalogue of iran*. historical hazards in iran prior to 1900, No 1.
- Berberian, M., Qorashi, M., Argang Ravesh, B., Mohajer Ashjaie, A. (1993). *Seismotectonics and earthquake - fault hazard investigation in the Tehran Region: contribution to the seismotectonics of Iran*. Geological Survey of Iran, Report 56.
- Bull, W.B. and 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 Eighth Annual Geomorphology Symposium*, State University of New York, Binghamton, 115- 138.
- EL Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacon, J., Keller, E.A. (2007). *Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain)*, Geomorphology, 96, 150- 173.
- 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, 260-273
- Harland, W.B. (1971). *Tectonic transpression in caledonian Spitsbergen*. Geological magazine, 108, 27-41.
- 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, 287- 306.
- Horton, R. E. (1945). *Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology*. Geological Society of America Bulletin, 56, 275- 370.
- Keller, E. A., Pinter, N. (2002). *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift and Landscape*. Prentice Hall, New Jersey.
- Keller, E.A., Zepeda, R.L., Rockwell, T.K., Ku, T.L. and Dinklage, W.S. (1998). *Active tectonics at Wheeler Ridge, southern San Joaquin Valley, California*. Geological Society of America Bulletin, 110, 298- 310.
- Schumm, S.A. (1997). *Drainage density: problems of prediction'*. In: Stoddart, D.R. (Ed.), *Process and Form in Geomorphology*. Routledge, London, 15- 45.
- Seeber, L., Gornitz, V. (1983). *River profiles along the Himalayan arc as indicators of active tectonics*. Tectonophysics, 92, 335- 367.
- Stocklin, J. (1968). *Structural history and tectonics of Iran: a review*. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 52, p 1229- 1258.
- Strahler, A.N. (1952). *Hypsometric (area-altitude) analysis of erosion topography*. Geological Society of America Bulletin, 63, 1117- 1142.
- 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.
- Vauchez, A. and Nicolas, A. (1991). *Mountain building: strike-parallel motion and mantle anisotropy*. Tectonophysics, 185(3-4), 183-201.
- 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, 654- 66.