

تحلیل مخاطرات لرزه‌ای حوضه آبریز تالار و بابل رود بر اساس ارزیابی شاخص‌های مورفوتکتونیک

محمد خلیج^۱ - استادیار تکتونیک، دانشکده علوم، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران

تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۴/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۲/۵

چکیده

علمی که تأثیر تکتونیک فعال را با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک به عنوان سنجش و توصیف کمی اشکال و چشم‌اندازهای زمین مشخص نماید، مورفوتکتونیک نامیده می‌شود؛ اندازه‌گیری‌های کمی شرایطی را فراهم می‌آورد تا با استفاده از آن‌ها به شناسایی وضعیت مناطق دارای زمین‌ساخت فعال پرداخته شود. در این مطالعه با استفاده از شاخص‌های کمی ریخت‌سنجی بخشی از البرز مرکزی که در محدوده حوضه‌های آبریز تالار و بابل‌رود قرار دارد مورد بررسی قرار گرفته است و ۵ شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی (Δ_a)، انشعابات (R)، شکل حوضه (F_f)، تراکم زهکشی (D_d) و برجستگی نسبی (B_h) در ۱۵ حوضه زهکشی در محیط نرم‌افزاری Arc GIS به منظور تعیین کمی میزان تکتونیک فعال این منطقه محاسبه شده است. نتایج به‌دست آمده از محاسبه شاخص‌های فوق بیان‌گر آن است که در محل تقاطع گسل‌های شمال البرز و خطیرکوه و هم‌چنین گسل‌هایی که در دامنه شمالی البرز در اثر فعالیت این گسل‌های بزرگ شکل گرفته‌اند مقادیر به‌دست آمده از شاخص‌های یادشده، بالا بوده که بیانگر وجود فعالیت تکتونیک بالا و بسیار بالا در آن نواحی است. در اثر بالا بودن این مقادیر انتظار می‌رود که ریسک لرزه‌خیزی منطقه نیز در اثر گسیختگی گسل‌ها افزایش یابد.

کلیدواژه‌ها: ژئومورفولوژی، مورفوتکتونیک، البرز، حوضه آبریز، زمین‌لرزه، GIS.

۱- مقدمه

قرارگیری ایران در کمربند چین خورده آلپ-همیالیا موجب شده است که اکثر نقاط ایران از نظر زمین ساختی فعال باشد (بربریان و کینگ^۱، ۱۹۸۱)، کمربند کوهزایی البرز نیز بخشی از این منطقه است و گستره مورد مطالعه در شرق البرز مرکزی قرار دارد و تحت تأثیر فرآیندهای زمین ساختی حاصل از این برخورد است. پهنه البرز شامل مجموع صفحه‌های رانده‌ای است که به وسیله تغییر شکل حاصل از نیروی فشارشی در زمان سنوزوئیک پایانی به وجود آمده است و از زمان تریاس تا حال در طول کوهزایی سیمرین و آلپین در حال نمو و گسترش است (علوی^۲، ۱۹۹۶) کوه‌های البرز به عنوان یک سد بین حوضه خزر جنوبی با اقلیم مرطوب و ایران مرکزی با اقلیم نیمه خشک تا خشک قرار دارد تغییر شکل در این پهنه، نتیجه یک پیشینه از فعالیت مجدد انبساطی و انقباضی ساختارهای به جامانده از پالئوزوئیک پایانی است که شامل باز و بسته شدن حوضه اقیانوس پالئوتتیس و باز شدن حوضه خزر جنوبی است همسانی البرز با ایران مرکزی در دامنه جنوبی بیشتر است، ولی در دامنه شمالی تفاوت‌هایی دارد (اشتکلین^۳، ۱۹۶۸). استخراج شاخص‌های ژئومورفولوژیک با استفاده از مدل‌های رقمی 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 زمین ساختی در یک ناحیه خاص استفاده شده است. رودخانه‌ها به سرعت و به طور ثابت به تغییر شکل حاصل از زمین ساخت فعال در سطح زمین واکنش نشان می‌دهند (هولبروک و شوم^۴، ۱۹۹۹: سیبر و گورنیتز^۵، ۱۹۸۳)، بنابراین بررسی الگوی رودها، اطلاعات مهمی در مورد گسترش و تکامل ساختاری منطقه فراهم می‌آورد (کلر و همکاران^۶، ۱۹۹۸: واکر^۷، ۲۰۰۶). در ادامه در سال ۱۳۹۷ مصدق‌زاده در پژوهشی تحت عنوان بررسی تکتونیک ژئومورفولوژی محدوده شمال سمنان، شرق البرز مرکزی به مطالعات ریخت‌سنجی و ژئومورفوتکتونیک در امتداد شرقی این منطقه پرداخته شده است. بر اساس مطالعات صورت گرفته در این پژوهش مناطقی که تحت سیطره گسل‌های شمال البرز، خزر، بادله و سایر گسل‌ها قرار گرفته‌اند از فعالیت زمین ساختی بالا تا بسیار بالا برخوردارند. پژوهشی تحت عنوان بررسی تکتونیک فعال حوضه‌های آبریز جاجرود، حبله‌رود و ایوانکی با استفاده از شاخص‌های رودخانه‌ای در البرز مرکزی نیز توسط شماعلیان (۱۳۹۶) در غرب منطقه مورد مطالعه صورت گرفته است که نتایج آن نیز بالا بودن شاخص‌های مورفوتکتونیک در حوالی گسل‌های اصلی آن محاسبه شده است.

-
- 1 Berberian and King, 1981
 - 2 Alavi, 1996
 - 3 Stocklin, 1968
 - 4 Holbrook and schumm, 1999
 - 5 Seeber and Gortniz, 1983
 - 6 Keller et al, 1998
 - 7 Walker, 2006

۲- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در محدوده حوضه‌های آبریز تالار و بابل‌رود در بخش شرقی البرز مرکزی و در بخشی از استان‌های تهران، سمنان و مازندران واقع شده است (شکل ۱).

بسیاری از گسل‌های فعال البرز دارای امتدادی به موازات کمربند البرز و به شکل V هستند (بربریان^۱، ۱۹۸۳). این بخش از سرزمین ایران شامل گسل‌های اصلی و فرعی با روندهای مختلف می‌باشد. تعدادی از گسل‌های اصلی در زمین‌شناسی و منطقه ساختاری ایران، حوضه‌های رسوبی، تشکیل کانسارهای رگه‌ای و مناطق زلزله‌خیز ایران نقش دارند. گسل‌های فعال گسل‌هایی هستند که در کواترنری پسین و به خصوص در عهد حاضر دارای حرکات زمین‌شناختی هستند و انتظار می‌رود در آینده نیز با فعالیت مجدد خود دچار جابه‌جایی نسبی خود و هرگونه سازه‌ای که بر روی آن قرار می‌گیرد، شوند (بربریان و همکاران^۲، ۱۹۹۳). 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 ترافشارش (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 تأثیر قرار داده است (ریتز و همکاران^۳، ۲۰۰۶). 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 (ورنانت و همکاران^۴، ۲۰۰۴).

گسل شمال البرز: با درازای ۳۰۰ کیلومتر به صورت گسلی معکوس - رانده با شییبی 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 ۱۰-۱۲ کیلومتری غرب چالوس به این گسل می‌پیوندد. این گسل در بخشی از درازای خود مرز میان سنگ‌های مربوط به پالئوزوییک (در جنوب) و کرتاسه (در شمال) را تشکیل می‌دهد. دیواره شمال البرز به‌روشنی در روی زمین و نیز بر روی عکس‌های هوایی دیده می‌شود. باتوجه به قرار گرفتن رو مرکز مه‌لرزه‌ای چندین زمین‌لرزه تاریخی در سده بیستم بر روی این گسل، می‌توان آن را گسلی جنبی و لرزه‌خیز دانست. به عقیده بربریان (۱۹۹۴) زمین‌لرزه ۱۱۲۷ میلادی در گستره فریم - چهاردانگه با بزرگای $M_s = 6.8$ و شدت $IO = VIII$ حاصل فعالیت گسل شمال البرز بوده است. علاوه بر زمین‌لرزه تاریخی ۱۱۲۷ میلادی زمین‌لرزه‌های زیر را نیز به این گسل نسبت داده شده است (شاه پسند زاده و زارع، ۱۳۷۴) (شکل ۲):

1 Berberian, 1983

2 Berberian et al, 1993

3 Ritz et al, 2006

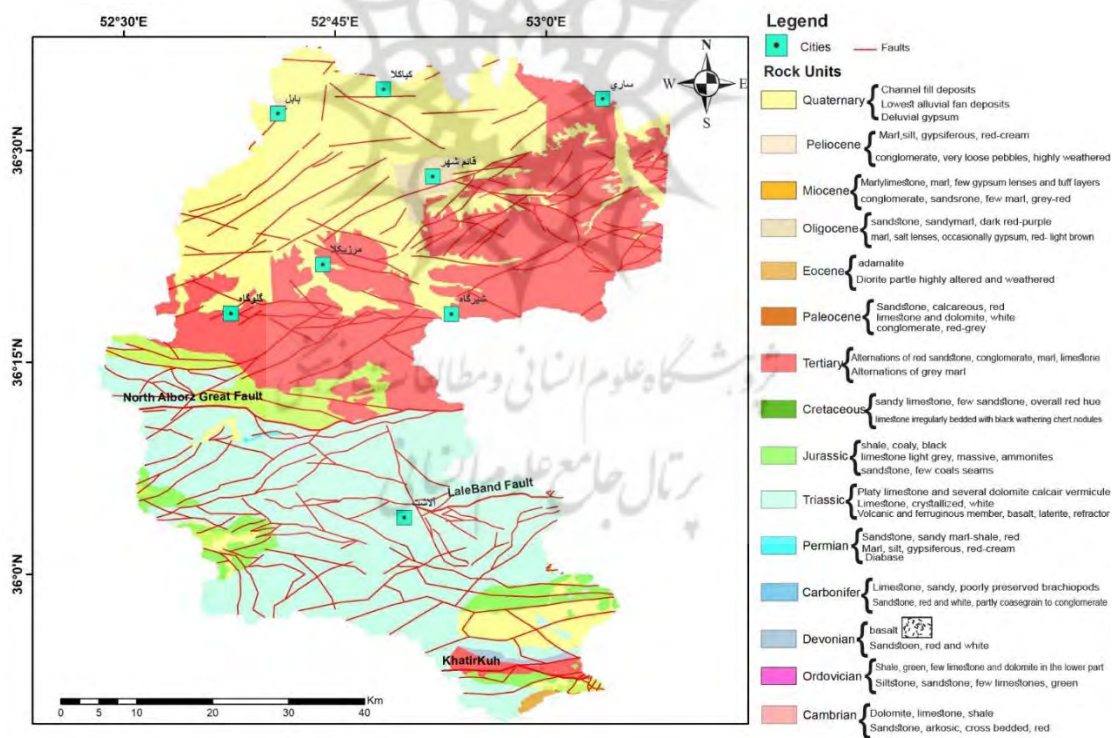
4 Vernant et al, 2004

زمین لرزه ۵ مارس ۱۹۳۵ میلادی (۱۵ اسفند ۱۳۱۳ هجری شمسی) تالارود

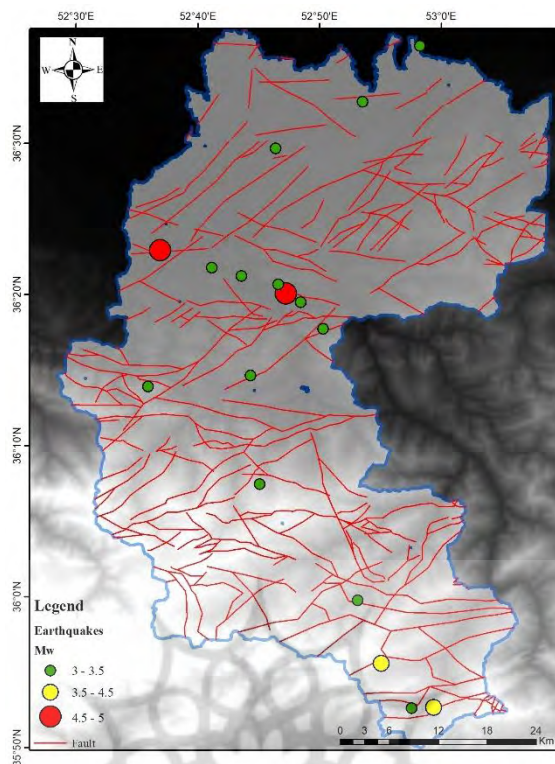
زمین لرزه ۲ ژوئیه ۱۹۵۷ میلادی (۱۱ تیر ۱۳۳۶ هجری شمسی) بندپی مازندران

زمین لرزه ۱۳۰۱ میلادی فریم با بزرگای $M_s = 6.7$ و شدت $IO+$

گسل اوریم (خطیرکوه): این گسل با طول حدود ۶۴ کیلومتر و راستای شمال خاوری - جنوب باختری و شیب به سوی شمال خاور دارای سازوکاری معکوس با مؤلفه چپ بر می باشد (نبوی، ۱۳۶۶). این گسل که در گستره سمنان قرار گرفته است بیشینه جابه جایی شاقولی نزدیک به ۱۰۰۰ متر دارد. این گسل در بخش خاوری خود مرز میان مارن و سنگ ماسه های ائوسن و سنگ های سازند شمشک را ساخته و در بخش باختری، سنگ های پرکامبرین بالایی و پالئوزوئیک را بریده است. گسل اوریم به موازات گسل های اله آباد و شمال البرز در شمال و گسل فیروزکوه در جنوب قرار دارد. این گسل نسبت به چین خوردگی های اطراف خود به صورت طولی می باشد؛ همچنین ممکن است این گسل حاصل یک فاز بازشدگی و ماگمازایی باشد که پیامد فاز انبساطی بوده و ادامه طولی آن در ناحیه شمشک قابل پیگیری می باشد.



شکل ۱- نقشه زمین شناسی گستره مورد مطالعه



شکل ۲- نقشه کانون زمین‌لرزه‌ها در گستره مورد مطالعه

۳- مواد و روش‌ها

در این مطالعه در ابتدا با استفاده از نرم افزار Arc GIS و مدل ارتفاعی رقومی (DEM) ۳۰ متر، به حوضه‌بندی و استخراج آبراهه‌ها پرداخته شد (شکل ۲)، سپس با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ از طریق نرم افزار Arc GIS لایه‌های مختلف کاربردی که شامل آبراهه، حوضه‌های آبریز، گسل، لیتولوژی و خطوط ارتفاعی می‌باشد، تهیه گردید. در آخر برای حوضه‌های استخراج شده شاخص‌های ژئومورفیک که شامل شاخص‌های ناهنجاری سلسله مراتبی^۱، انشعابات^۲، شکل حوضه^۳، تراکم زهکشی^۴ و برجستگی نسبی^۵ در ۱۵ حوضه زهکشی محاسبه شده و در نهایت شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی^۶ می‌باشد؛ اندازه‌گیری شد. برای هر شاخص نقشه پهنه‌بندی فعالیت تکتونیکی در محدوده مورد بررسی تهیه گردید.

1 Δa: Hierarchical anomaly index

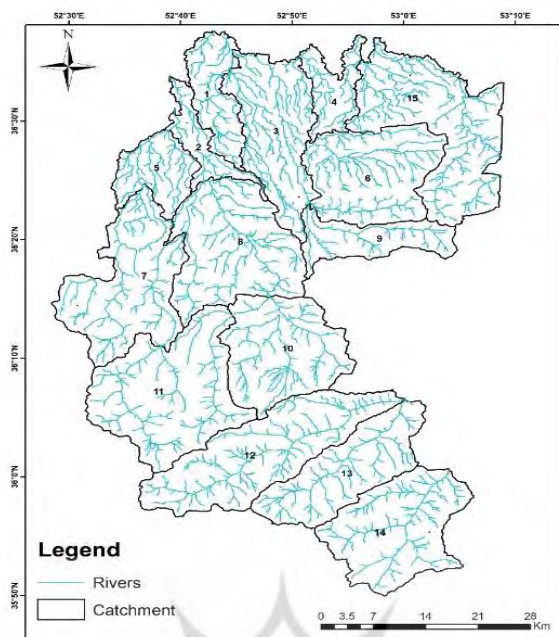
2 R: Bifurcation indexes

3 Ff: Form factor

4 Dd: Drainage density

5 Bh: Relative relief

6 Iat: tectonic activity Index



شکل ۳- نقشه حوضه‌ها و آبراهه‌های منطقه مورد مطالعه

شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی (Hierarchical anomaly index)

این شاخص بر اساس تعداد انشعاباتی 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 به دست آمده تفاوت میزان فعالیت زمین ساخت بین حوضه‌های مختلف تعیین می‌گردد. 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 (هورتون^۱، ۱۹۴۵). 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 ۳، ۴ و بالاتر شود، ناهنجاری سلسله مراتبی دارد.

فرمول محاسبه این شاخص به صورت ذیل می‌باشد که در این فرمول HA آنومالی سلسله مراتبی، زرده رودخانه بالاتر و i رده رودخانه پایین‌تر است (شیاجی و همکاران^۲، ۱۹۸۶):

$$HA(i > j) = 2^{i-1} - 2^{j-1}$$

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

1 Horton, 1945

2 Ciccacci et al, 1986

در این رابطه $No.(i>j)$ 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 ۱ تقسیم می‌شود و به عنوان شاخص آنومالی سلسله مراتبی (Δa) هر حوضه تعیین می‌شود. لازم به ذکر است، برای به دست آمدن آبراهه‌ها در محیط نرم‌افزاری Arc GIS و با استفاده از دستورهای هیدرولوژی این نرم‌افزار آبراهه‌ها و رده‌بندی آن‌ها استخراج شد.

شاخص انشعابات (Bifurcation indexes)

شاخص انشعابات از دیگر شاخص‌های تعیین آنومالی سیستم زهکشی در حوضه‌های آب‌خیز است. شاخص مذکور اطلاعات مفیدی را در مورد درجه نحوه فعالیت فرآیندهای فرسایشی و درجه فعالیت حوضه ارائه می‌دهد (گاروتی و پیروتا، ۲۰۰۸). با افزایش درجه تأثیر عوامل تکتونیکی 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 (هورتون^۱، ۱۹۴۵؛ استرالر^۲، ۱۹۵۲):

$$R = Rb - Rdb$$

در رابطه بالا، R شاخص انشعابات، Rb نسبت انشعابات و Rdb نسبت مستقیم انشعابات است. نسبت انشعابات برای هر 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 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 مسطح 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 (استرالر^۳، ۱۹۶۴). نسبت مستقیم انشعابات برای هر رده به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Rdb = Ndu / Nu+1$$

در رابطه بالا، Ndu تعداد انشعابات یک رده که به آبراهه‌های 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.

1 Guarnieri and pirrotta, 2008

2 Horton, 1945

3 Strahler, 1952

4 Strahler, 1964

شاخص انشعابات و ناهنجاری سلسله مراتبی به یکدیگر وابسته‌اند و اطلاعات مفیدی در مورد درجه تکامل حوضه زهکشی ارائه می‌دهد (گارنیری و پیروتا^۱، ۲۰۰۸).

شاخص تراکم زهکشی (Drainage density)

تراکم زهکشی یک شاخص ریخت‌سنجی مهم برای حوضه‌هایی است که آبراهه‌های آن، بازتاب‌کننده فرآیندهای حاکم بر حفر چشم اندازها است (شوم^۲، ۱۹۹۷). تراکم زهکشی از نسبت مجموع طول تمام آبراهه‌های یک حوضه به مساحت حوضه محاسبه می‌شود (هورتون^۳، ۱۹۴۵) 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 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 (Form factor)

حوضه‌های آبریز از نظر ظاهری دارای شکل‌های گوناگون می‌باشند. به طوریکه با مساوی بودن سایر شرایط فیزیکی دبی اوج حوضه‌های گرد بیشتر از حوضه‌های کشیده خواهد بود. به دلیل اینکه 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 فاکتورهای ثابتی از حوضه گنجانده شده است استفاده می‌شود، از جمله این پارامترها می‌توان به ضریب شکل اشاره نمود. این شاخص با توجه به رابطه زیر به دست می‌آید (هورتون^۴، ۱۹۳۲):

$$Ff = A / L^2$$

در رابطه بالا Ff ضریب شکل، A مساحت حوضه و L^۲ مجذور طول حوضه است. طول حوضه از محل خروج آبراهه اصلی تا مرتفع‌ترین نقطه در حوضه محاسبه می‌گردد. 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 (مهدوی، ۱۳۸۶). حوضه‌های زهکشی در مناطق فعال از نظر

1 Guarnieri and pirrotta, 2008

2 Schumm, 1997

3 Horton, 1945

4 Horton, 1932

زمین‌ساختی، دارای شکل کشیده‌تر می‌باشند، حوضه‌هایی با ضریب شکل بزرگ‌تر دارای دبی اوج بالا هستند (سینج و همکاران^۱، ۲۰۱۴).

برجستگی نسبی (Bh)

برجستگی حوضه نقش مهمی در توسعه‌ی زهکشی، حرکت آب‌های سطحی و زیرزمینی، تراوایی، توسعه‌ی اشکال سطحی زمین و ویژگی‌های فرسایشی عوارض زمینی دارد. مقدار بالای برجستگی نشان‌دهنده‌ی شدت جریان آب، نفوذ پایین و مقدار بالای رواناب می‌باشد. برجستگی نسبی از اختلاف بین مرتفع‌ترین و پست‌ترین ارتفاعات حوضه به دست می‌آید و از رابطه زیر محاسبه می‌شود (کالر و پینتر^۲، ۲۰۰۲):

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

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

شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat)

شاخص‌های ژئومورفولوژی ناهنجاری سلسله مراتبی (Δa)، انشعابات (R)، شاخص تراکم زهکشی (Dd)، ضریب شکل (Ff) و برجستگی نسبی (Bh) بر اساس مقادیری که دارا بودند، به منظور طبقه‌بندی منطقه بر اساس شاخص زمین‌ساخت نسبی (Iat) هر شاخص به پنج رده به لحاظ فعالیت زمین‌ساختی رده‌بندی شدند و در نهایت برای هر حوضه میانگین مقادیر رده شاخص‌های ژئومورفولوژی (S/n) اندازه‌گیری شد و به ۴ رده فعالیت زمین‌ساختی (Iat) تقسیم شد (جدول ۱). رده ۱ نشان‌دهنده فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا است، رده ۲ فعالیت زمین‌ساختی بالا است، رده ۳ فعالیت زمین‌ساختی متوسط را نشان می‌دهد و رده ۴ فعالیت زمین‌ساختی نسبی کم است (حمدونی و همکاران^۳، ۲۰۰۷). پس از رده‌بندی گستره مورد مطالعه بر اساس شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی، نقشه پهنه‌بندی سطح فعالیت زمین‌ساختی (Iat) در گستره مورد مطالعه ترسیم شد

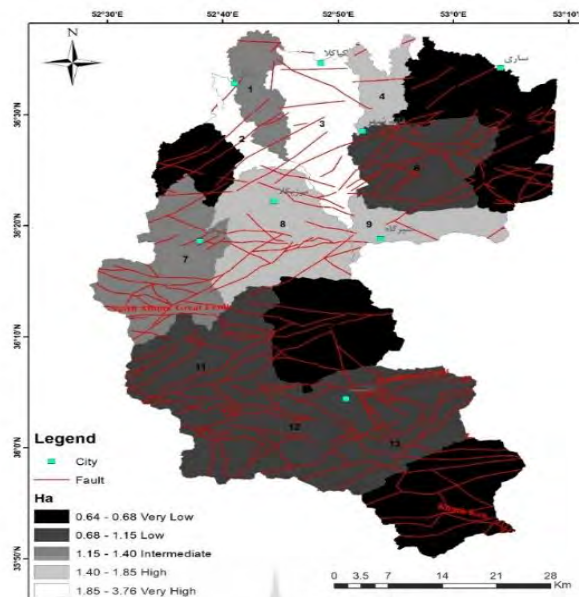
۴- نتایج و بحث

شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی: بر اساس مطالعات انجام گرفته بر روی این شاخص در منطقه مورد مطالعه، زیرحوضه‌های ۱ و ۲ بیش‌ترین میزان این شاخص و زیرحوضه‌های ۷ و ۱۶ کمترین میزان این شاخص را دارا می‌باشند (شکل ۳).

1 Singh et al, 2014

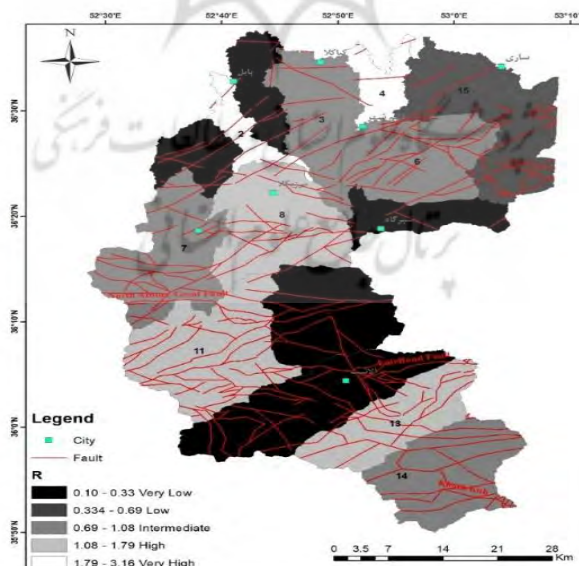
2 Keller and Pinter, 2002

3 Hamdouni et al, 2007



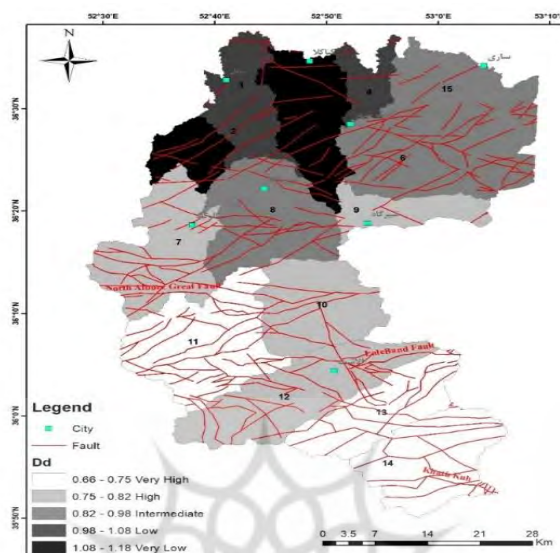
شکل ۴- نقشه شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی در زیرحوضه‌های گستره مورد مطالعه

شاخص انشعابات: بنابر محاسبات انجام گرفته از این شاخص، زیرحوضه‌های شماره ۱۲ و ۱۵ کمترین و زیرحوضه‌های شماره ۱ و ۱۸ که در امتداد گسل شمال البرز هستند نیز بیشترین میزان از این شاخص را از آن خود کرده‌اند (شکل ۴).



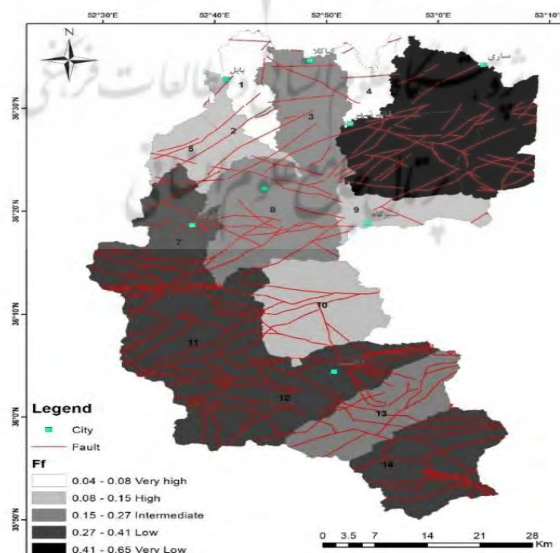
شکل ۵- نقشه شاخص انشعابات در زیرحوضه‌های گستره مورد مطالعه

شاخص تراکم زهکشی: برهمن اساس، زیرحوضه‌های ۵، ۷، ۲ و ۶ که در امتداد گسل‌های دزدبن و مرزن‌آباد هستند بیشتر میزان از این شاخص و زیرحوضه‌های ۴ و ۱۹ کمترین میزان را دارا می‌باشند (شکل ۵).



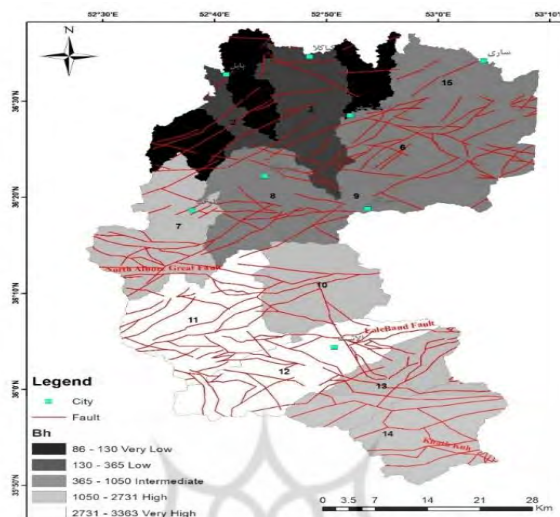
شکل ۶- نقشه شاخص تراکم زهکشی در زیرحوضه‌های گستره مورد مطالعه

شاخص ضریب شکل: بر اساس محاسبات انجام گرفته بر روی این شاخص در منطقه مورد مطالعه زیرحوضه‌های شماره ۸ و ۱۷ بیش‌ترین میزان و ۷ و ۱۴ کمترین میزان از این شاخص را دارا می‌باشند (شکل ۶).



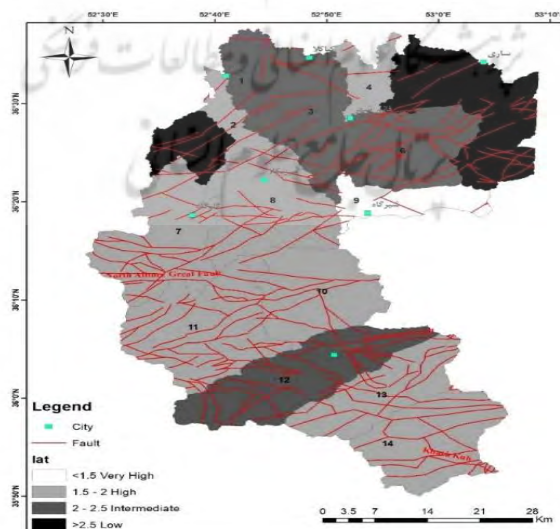
شکل ۷- نقشه شاخص ضریب شکل در زیرحوضه‌های گستره مورد مطالعه

شاخص برجستگی نسبی: بر همین اساس زیرحوضه‌های شماره ۹ و ۱۴ کمترین میزان از شاخص برجستگی نسبی و ۲ و ۴ بیشترین میزان از این شاخص را دارا می‌باشند (شکل ۷).



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

شاخص زمین ساخت فعال نسبی: بر اساس مطالعات صورت گرفته از این شاخص زیرحوضه‌های شماره ۱، ۸، ۱۴ و ۹ که در امتداد گسل‌های شمال البرز و خطیرکوه هستند بیشترین میزان از شاخص زمین ساخت فعال نسبی را دارا می‌باشند (شکل ۸).



شکل ۹- نقشه شاخص زمین ساخت فعال نسبی (IAT) در زیرحوضه‌های گستره مورد مطالعه

در این پژوهش سعی شده که به بررسی تأثیر 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 برجستگی نسبی (Bh) در ۱۵ حوضه زهکشی و در نهایت شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) می‌تواند نشان‌دهنده فعالیت زمین‌ساختی اخیر در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

جدول ۱- محاسبات به‌دست آمده از شاخص‌های هر حوضه و رده‌بندی IAT بر اساس حمدونی^۱ (۲۰۰۷)

| Basin No. | Indexes | | | | | Class | | | | | Iat | Iat Class |
|-----------|---------|-------|-------|-------|------|-------|----|----|---|----|-----|-----------|
| | Ha | Ff | Dd | R | Bh | Ha | Ff | Dd | R | Bh | | |
| 1 | 1.409 | 0.042 | 1.039 | 0.333 | 86 | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 | 2.4 | 2 |
| 2 | 3.760 | 0.129 | 1.087 | 2.333 | 331 | 1 | 1 | 3 | 1 | 3 | 1.8 | 2 |
| 3 | 3.556 | 0.226 | 1.162 | 0.917 | 365 | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2.2 | 2 |
| 4 | 1.680 | 0.082 | 1.060 | 3.167 | 91 | 1 | 1 | 3 | 1 | 3 | 1.8 | 2 |
| 5 | 0.667 | 0.108 | 1.185 | 0.292 | 130 | 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 2.6 | 3 |
| 6 | 1.152 | 0.650 | 0.971 | 1.021 | 732 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2.4 | 2 |
| 7 | 1.260 | 0.312 | 0.817 | 1.016 | 2281 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 1.8 | 2 |
| 8 | 1.853 | 0.251 | 0.883 | 1.796 | 1050 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1.6 | 2 |
| 9 | 1.588 | 0.158 | 0.825 | 0.108 | 877 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1.4 | 1 |
| 10 | 0.647 | 0.108 | 0.796 | 0.307 | 2700 | 3 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1.8 | 2 |
| 11 | 1.021 | 0.315 | 0.666 | 1.377 | 3363 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1.8 | 2 |
| 12 | 0.947 | 0.410 | 0.794 | 0.162 | 3348 | 3 | 3 | 1 | 3 | 1 | 2.2 | 2 |
| 13 | 1.044 | 0.276 | 0.754 | 1.296 | 2731 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1.6 | 2 |
| 14 | 0.682 | 0.325 | 0.745 | 1.083 | 2663 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| 15 | 0.671 | 0.509 | 0.986 | 0.694 | 902 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2.6 | 3 |

۵- نتیجه‌گیری

بر اساس محاسبات حاصل از شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی، این شاخص در زیرحوضه‌های شماره ۲، ۳، ۸ و ۴ که در امتداد گسل‌های شمال البرز سایر گسل‌های فرعی دامنه شمالی رشته کوه البرز می‌باشند مقادیر بسیار بالا و بالا را نمایش می‌دهد. مقادیر حاصل از محاسبات شاخص ضریب شکل حوضه نیز در امتداد گسل‌های مذکور و در زیرحوضه‌های ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۴ که در امتداد گسل‌های شمال البرز و خطیرکوه هستند، بسیار بالا و بالا است. در این زیرحوضه‌ها که در امتداد گسل‌های نام‌برده قرار گرفته‌اند مقادیر به‌دست آمده از شاخص برجستگی نسبی بسیار بالا و بالا می‌باشد. در نهایت با محاسبات صورت گرفته در رابطه با شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی و مقایسه آن با دیگر

1 Hamdouni et al, 2007

شاخص‌های محاسبه شده، مشخص گردید که زیرحوضه‌های شماره ۲، ۴، ۷، ۱۱، ۱۳ و ۱۴ که تحت تأثیر فعالیت گسل‌های شمال البرز و خطیرکوه می‌باشند، شاخص بالا را نمایش می‌دهد. لازم به ذکر می‌باشد که گسل‌های فرعی دیگری نیز که در اثر بالا بودن فعالیت زمین‌ساختی در منطقه شکل گرفته‌اند، تأثیر به‌سزایی بر افزایش میزان شاخص‌های ریخت زمین‌ساختی نهاده و سبب شده‌اند که در برخی زیرحوضه‌ها میزان شاخص‌های بالا و گاه بسیار بالا پدیدار شود.

با توجه به وابستگی عوامل مورفولوژی به زمین‌ساخت فعال در یک ناحیه، در این پژوهش تلاش شده است که تأثیر زمین‌ساخت فعال را بر این عوامل در بخشی از البرز مرکزی که در حوضه‌های آبریز تالار و بابل رود می‌باشد مورد تحلیل و بررسی قرار گیرد. با تکیه به این امر که در این بخش از البرز مرکزی تا به حال مطالعات بر روی شاخص‌های مورفولوژی صورت نگرفته است یا مطالعات از پیش انجام گرفته تنها منطقه بسیار کوچکی از این بخش را شامل می‌شوند، این پژوهش در این بخش از البرز مرکزی که به‌طور کلی فعالیت زمین‌ساختی نسبی اخیر موجود را در نتیجه مطالعه بر روی آبراهه‌های سطحی منطقه با تکیه بر شاخص‌های ریخت زمین‌ساختی می‌باشد، نشان می‌دهد که در اثر عملکرد گسل‌های فعال از قبیل شمال البرز و خطیرکوه بالا و بسیار بالا است. در حدود ۳۳٫۳ درصد از حوضه‌های آبریزی که مطالعات بر روی آن‌ها صورت گرفته است تحت سیطره فعالیت این گسل‌ها می‌باشد و همچنین گسل‌های فرعی دیگری که در اثر حرکات زمین‌ساختی اخیر تشکیل شده‌اند، فعالیت زمین‌ساختی متوسط به بالایی را ارائه می‌دهند. قرارگیری منطقه در معرض این گسل‌ها سبب شده است که ریسک لرزه‌خیزی منطقه نیز افزایش یابد. از آن جهت که این منطقه در نزدیکی شهرهای بزرگ و توریستی همانند بابل و سایر شهرهای شمالی کشور واقع شده است، به‌دلیل وجود تاریخچه‌ای مبنی بر وجود زمین‌لرزه در این منطقه و اثبات فعال بودن منطقه از نظر زمین‌ساختی، پیشنهاد می‌گردد طبق آیین نامه ۲۸۰۰ در خصوص طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، مقوله مخاطرات حاصل از زمین‌لرزه‌ها مورد توجه قرار گیرد.

کتابنامه

- شاه‌پسندزاده، مجید، زارع، مهدی؛ ۱۳۷۴. بررسی مقدماتی لرزه‌خیزی و لرزه‌زمین‌ساخت و خطر زمین‌لرزه و گسلش در پهنه استان مازندران. گزارش پژوهشگاه بین‌المللی زلزله.
- شمایلیان، علی؛ ۱۳۹۶. بررسی تکتونیک فعال حوضه‌های آبریز جاجرود، حبله‌رود و ایوانکی با استفاده از شاخص‌های رودخانه‌ای در البرز مرکزی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه خوارزمی.
- مصدق‌زاده، المیرا؛ ۱۳۹۷. بررسی تکتونیک ژئومورفولوژی محدوده شمال سمنان، شرق البرز مرکزی. دانشگاه خوارزمی تهران.
- نبوی، محمد حسین؛ ۱۳۶۶. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سمنان. انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

- Alavi, M., 1996. Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz mountain system in northern Iran. *Geodynamics*, 21, p 1- 33.
- Berberian, M., 1983. The southern Caspian: a compressional depression floored by a trapped, modified oceanic crust. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 20, p 163- 183.
- Berberian, M., 1994. Natural hazards and the first earthquake catalogue of Iran. historical hazards in Iran prior to 1900, No 1.
- Berberian, M., King, G.C.P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18, p 210- 265.
- 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.
- Ciccacci, S., Fredi, P., Lupia Palmieri, E. and Pugliese, F., 1986. Indirect Evaluation of Erosion Entity in Drainage Basins through Geomorphic, Climatic and Hydrological Parameters, *International Geomorphology*, pp. 233- 248.
- 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, pp. 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, p 260-273.
- 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, p 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, p 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, pp. 298- 310.
- Ritz J. F., Nazari, H., Salamati, R., Shafeii, A., Solaymani, S. and Vernant, P., 2006. Active transtension inside Central Alborz: a new insight into the Northern Iran–Southern Caspian geodynamics. *Geology*, 34, pp. 477- 480.
- Schumm, S.A., 1997. Drainage density: problems of prediction'. In: Stoddart, D.R. (Ed.), Process and Form in Geomorphology. *Routledge*, London, pp. 15- 45.
- Seeber, L., Gornitz, V., 1983. River profiles along the Himalayan arc as indicators of active tectonics. *Tectonophysics*, 92, pp. 335- 367.
- Singh, P., Gupta, A. and 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*, pp. 1- 11.
- 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, pp. 1117- 1142.
- Strahler, A.N., 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In: Te Chow, Ven. (Ed.), Hand Book of Applied Hydrology. New York: *McGraw Hill Book Company*.

- Vernant, P., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, J., Ashtiani, A., Bayer, R., Tavakoli, F. and Chery, J., 2004. Contemporary crustal deformation and plate kinematics in Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Iran. *Geophysical*, pp. 381- 398.
- 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, pp. 654–668.

