

بررسی شاخص‌های ژئومورفولوژی غرب مازندران، البرز مرکزی

محمد خلیج* - استادیار دانشگاه پیام نور، دانشکده علوم، گروه زمین‌شناسی، تهران، ایران.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۸/۰۱ تأیید نهایی: ۱۳۹۹/۰۷/۰۶

چکیده

استخراج شاخص‌های ریخت‌سنجی با استفاده از مدل‌های رقومی ارتفاعی (DEM) در محیط GIS در دهه‌های اخیر، روشی است که برای ارزیابی فعالیت‌های زمین‌ساختی در یک ناحیه خاص استفاده می‌شود. به این ترتیب می‌توان تاثیر گسل‌ها بر زمین‌ساخت یک منطقه را از طریق روش‌های کمی و مطالعات بر روی آبراهه‌های یک منطقه به دست آورد. در این مطالعه سعی شده تا با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیکی آبراهه‌های بخشی از البرز مرکزی را از نظر تاثیر زمین‌ساخت فعال مورد پژوهش قرار دهد. بر همین اساس با استفاده از شاخص‌های ناهنجاری سلسله مراتبی (Δa)، گرادیان طولی رود (SL)، شکل حوضه (Ff)، تراکم زهکشی (Dd) و برجستگی نسبی (Bh) در ۱۸ حوضه زهکشی منطقه مشخص و براساس آن پهنه‌بندی گردیده و تشخیص داده شد که در امتداد گسل‌هایی هم‌چون شمال البرز، خزر و آذرک میزان این شاخص‌ها افزایش یافته و در نتیجه می‌توان استنباط کرد که میزان زمین‌ساخت فعال در اثر فعالیت این گسل‌ها در منطقه مورد مطالعه بالا است. در نهایت با تعیین شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) منطقه از لحاظ سطح فعالیت زمین‌ساختی به چهار دسته بسیار بالا، بالا، متوسط و کم پهنه‌بندی گردید.

واژگان کلیدی: ژئومورفولوژی، گسل، رودخانه، البرز، زمین‌ساخت.

مقدمه

البرز رشته‌کوهی است که در حاشیه جنوبی خزر و در شمال ایران قرار دارد. طول تقریبی آن ۱۰۰۰ کیلومتر و پهنای آن از ۵۰ تا بیش از ۱۰۰ کیلومتر در تغییر است. البرز یک پشته از ورقه‌های تراستی است که توسط تغییر شکل فشارشی سنوزوئیک پایانی ایجاد شده است (علوی^۱، ۱۹۹۶). البرز هم‌چنین یک مثال عالی از گسل‌های امتداد لغز و تغییر شکل فشارشی است و شامل یک جزء کوتاه‌شدگی مورب (تغییر شکل ترفشارشی) می‌تواند باشد (منجز و نیکولاس^۲، ۱۹۹۱؛ هارلند^۳، ۱۹۷۱). شکستن مکرر صفحه ایران و صفحات مجاور آن، گسترش و برخورد صفحات حاصل با صفحه اوراسیا در شمال در اثر فعالیت‌های زمین‌ساختی وضعیت زمین‌شناسی ایران را پیچیده ساخته است (بربریان و همکاران^۴، ۱۹۹۳). تکنونیک ژئومورفولوژی دانشی است که می‌تواند تاثیر زمین‌ساخت فعال را با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک به عنوان سنجش و توصیف کمی اشکال و چشم‌اندازهای زمین بر رودخانه‌ها مشخص نماید؛ بر همین اساس اندازه‌گیری‌های کمی شرایطی را فراهم می‌آورد تا با استفاده از آن‌ها به شناسایی وضعیت مناطق دارای زمین‌ساخت فعال پرداخته شود. استخراج شاخص‌های ژئومورفیکی 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 (کلر و پینتر^۵، ۲۰۰۲).

همراه با پیشرفت علم ریخت‌سنجی، زمین‌شناسان دریافته‌اند که فرآیندهای زمین‌ساختی فعال می‌تواند شکل و عملکرد رودخانه‌ها را تحت تأثیر قرار دهد، رودخانه‌ها از مهم‌ترین زمین‌منظرهای 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 (هولبرک و شوم^۶، ۱۹۹۹؛ سیبر و گورنیت^۷، ۱۹۸۳)، بنابراین بررسی الگوی زهکشی و انحراف رودها، اطلاعات مهمی در مورد گسترش و تکامل ساختاری منطقه فراهم می‌آورد (کلر و همکاران^۸، ۱۹۹۸؛ واکر^۹، ۲۰۰۶). از جمله مطالعاتی که در بخش البرز مرکزی صورت گرفت است می‌توان به مطالعات صورت گرفته توسط بابایی (۱۳۹۶) تحت عنوان بررسی زمین‌ساخت فعال با استفاده از شاخص‌های رودخانه‌ای در حوضه‌های آبریز هراز، نور و نوشهر، البرز مرکزی اشاره کرد که به بررسی شاخص‌های ریخت‌سنجی زمین‌ساختی در شرق منطقه مورد مطالعه پرداخته شده است و نتیجه گرفته‌اند که در امتداد ساختارهای گسلی هم‌چون گسل‌های شمال البرز و خزر فعالیت این گسل‌ها تاثیرگذار بر شاخص‌های مورفومتری بوده‌اند. مطالعاتی نیز بر روی رودشکن‌های منطقه مورد مطالعه صورت گرفته است که هم‌چنان تاثیر ساختارهای فوق را بر روی رودخانه‌ها مورد مطالعه قرار داده است (مصدق‌زاده و همکاران، ۱۳۹۸).

منطقه مورد مطالعه، زمین‌شناسی و زمین‌ساخت

این منطقه بین عرض‌های جغرافیایی $36^{\circ}46'18''$ و $36^{\circ}19'35''$ شمالی و بین طول‌های جغرافیایی $51^{\circ}22'27''$ و $50^{\circ}32'32''$ شرقی و در دامنه شمالی البرز مرکزی قرار گرفته است. شهر کلاردشت در داخل منطقه و شهرهای سلمان‌شهر، کلارآباد، عباس‌آباد و نشتارود از جمله مهم‌ترین شهرهایی هستند که در مرز شمالی منطقه مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

1. Alavi

2. Vauchez and Nicolas

3. Harland

4. Berberian et al

5. Keller And Pinter

6. Holberk and schumm

7. Seeber and Gornitz

8. Keller et al

9. Walker

حاشیه شمالی البرز خطی معمولاً شیب‌دار است. گسل‌های اصلی این منطقه شامل گسل شمال البرز، خزر و راندگی طالقان هستند (شکل ۱).

براساس بررسی‌های انجام گرفته در فاصله زمانی پرکامبرین پیشین و پالئوزوئیک زیرین در البرز دو رخساره متفاوت دیده می‌شود؛ رخساره‌های کم‌عمق تبخیری، دولومیتی و آهکی کم‌عمق و رخساره رسوبات دراز گودال است که رسوبات آواری و تخریبی شدید، رسوباتی از نوع فلیش و آتشفشان‌های قلیایی و فوق قلیایی و حتی افیولیت را شامل می‌شود. واحدهای سنگی در پرکامبرین پسین البرز بیشتر کربنات‌های قاره‌ای مانند سازندهای بایندر و دولومیت سلطانیه و سایر واحدهای سنگی هستند. رسوبات آهکی میلا که از کامبرین میانی تا اردوئیسین زیرین در البرز گسترش دارند، شرایط دریای کم‌عمق و یک رخساره ابرقاره‌ای را نشان می‌دهند.

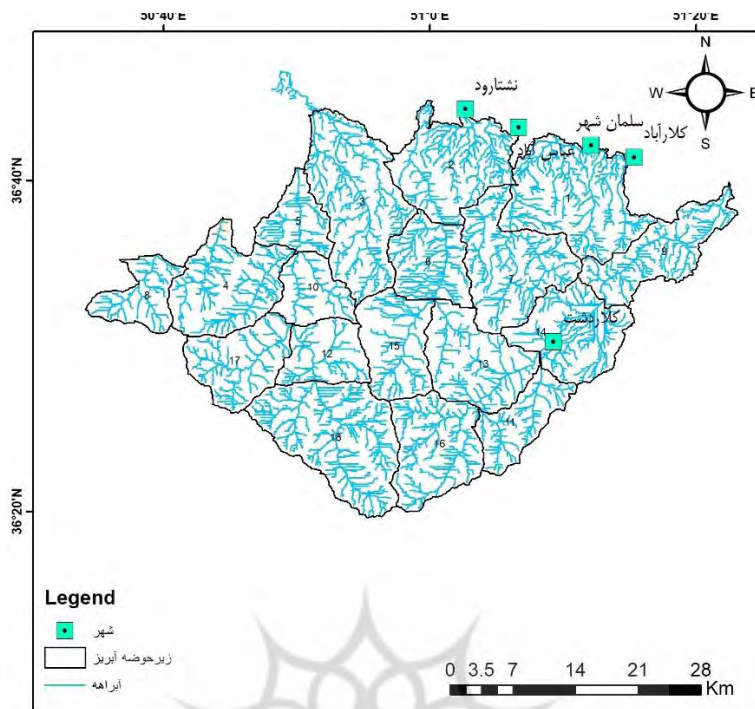
چینه‌شناسی پالئوزوئیک: سازند باروت با سن کامبرین آغازین و مقطع تیپ دهکده‌ای با همین نام، از ۷۱۴ متر شیل‌های رسی - سیلتی و ماسه‌ای میکادار با میان لایه‌هایی از دولومیت و آهک تشکیل شده است. مرز زیرین آن را سازند سلطانیه و مرز بالایی آن را سازند زاگون تشکیل می‌دهند. سازند زاگون با سن کامبرین آغازین از ۴۵۳ متر شیل‌های دانهریز سیلتی و ماسه‌سنگ‌های دانهریز میکادار به رنگ قرمز همراه با شیل‌های سبز و بنفش تشکیل شده است. مرز زیرین این سازند را سازند باروت و مرز بالایی آن از ماسه‌سنگ‌های سازند لالون تشکیل یافته است. به‌طور معمول بخش زیرین سازند مبارک یا بریده شده و یا در هسته یک تاقدیس بسته جای می‌گیرد. سازند مبارک در بخش زیرین با یک ردیف منظم از سنگ‌آهک‌های ستبر لایه، ریزدانه و سیاه‌رنگ آغاز می‌شود که سترای حدود ۴۹۹ متر دارد. در سرتاسر منطقه، این سازند پس از یک ایست نهشته‌گذاری در کربونیفر پسین به وسیله پایه پیش‌رونده سازند درود (پرمین پیشین) به گونه ناپیوسته پوشیده می‌شود.

چینه‌شناسی مزوزوئیک: سازند الیکا سنگ‌های تریاس پایینی - میانی البرز، ردیف‌های کربناتی آهکی - دولومیتی به نام سازند الیکا هستند. دو برش چینه‌شناسی تهیه شده از این سازند در ۵ کیلومتری و ۵۹۹ متری شمال منگل، نشان‌گر یک بخش بیشتر آهکی (سازند الیکا تحتانی) و یک بخش فوقانی بیشتر دولومیتی (سازند الیکا فوقانی) است. سازند الیکا در مقطع نمونه به طور هم‌شیب بر روی سازند نسن و با دگرشیبی در زیر سازند شمشک قرار دارد. سازند شمشک در دره پنجاب و دره نور ضخامت آن بیشتر از ۱۵۰۰ متر تخمین زده شده است (سوسالی^۱، ۱۹۷۶). این سازند با سن ائوسن میانی و یکی از مهم‌ترین سازندهای تشکیل‌دهنده کوه‌های البرز است. محل برش الگوی مقطع نمونه سازند کرج در دره کرج کنار جاده چالوس در دو مقطع انتخاب شده است. این سازند در محل برش الگو ۳۳۰۰ متر ضخامت دارد. به طور کلی سازند کرج شامل توالی نسبتاً ضخیمی از توف‌های سبز رنگ با لایه‌بندی خوب و رسوبات شیلی توف‌دار، سنگ‌های رسوبی و گدازه‌های آتش‌فشانی و به ندرت سنگ‌های تبخیری است.

چینه‌شناسی سنوزوئیک: واحدهای سنوزوئیک موجود در منطقه مورد مطالعه عمداً رسوبات آبراهه‌ای و در بخش‌های شمالی منطقه مورد مطالعه عمداً رسوبات مخروط‌افکنه‌ای نزدیک دریای خزر می‌باشند.

گسل شمال البرز به صورت گسلی معکوس - رانده با شیبی به سمت جنوب شرقی تا جنوب غرب 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). 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

^۱. Sussli



شکل ۲: نقشه حوضه‌ها و آبراهه‌های منطقه مورد مطالعه

شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی (Hierarchical anomaly index)

این شاخص براساس 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 (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، j رده رودخانه بالاتر و i رده رودخانه پایین تر است (سیاکی^۲، ۱۹۸۶):

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

$$HA_{at} = HA(i > j) * No.(i > j)$$

در این رابطه $No.(i > j)$ تعداد انشعاباتی 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.

شاخص گرادیان طولی رود (SL)

این شاخص به منظور ارزیابی زمین ساخت فعال نسبی مورد استفاده قرار می‌گیرد (کلر و پینتر^۳، ۲۰۰۲) و نشان‌دهنده تغییرات توپوگرافیکی در امتداد یک رود است. این شاخص که تأثیر تغییرات محیطی بر روی نیمرخ‌های طولی رودخانه را نشان می‌دهد، از رابطه زیر به دست می‌آید:

¹ Horton

² Ciaccacci et al

³ Keller and Pinter

$$SL = (\Delta H / \Delta L) L$$

در این رابطه SL شاخص شیب رودخانه، ΔH اختلاف ارتفاع در یک مقطع خاص از رودخانه، ΔL فاصله افقی همان محل و یا $\Delta H / \Delta L$ شیب بخشی از مجراست و L طول رودخانه از نقطه مرکزی همان محل تا سرچشمه رودخانه می‌باشد.

شاخص تراکم زهکشی (Drainage density)

تراکم زهکشی یک شاخص ریخت‌سنجی مهم برای حوضه‌هایی است که آبراهه‌های آن، بازتاب کننده فرآیندهای حاکم بر حفر چشم اندازها است (شوم^۱، ۱۹۹۷). تراکم زهکشی از نسبت مجموع طول تمام آبراهه‌های یک حوضه به مساحت حوضه محاسبه می‌شود (هورتون^۲، 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 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 (مهدوی، ۱۳۸۶)، از جمله این پارامترها می‌توان به ضریب شکل اشاره نمود. این شاخص با توجه به رابطه زیر به دست می‌آید (هورتون^۳، ۱۹۳۲):

$$Ff = A / L^2$$

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 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 زمین‌ساختی، دارای شکل کشیده‌تر می‌باشند (بول و مک‌فادن^۴، ۱۹۷۷)، حوضه‌هایی با ضریب شکل بزرگ‌تر دارای دبی اوج بالا هستند (سینج^۵، 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 (کلر و پینتر^۶، ۲۰۰۲):

1. Schumm

2. Horton

3. Horton

4. Bull and McFadden

5. Singh et al

6. Keller and Pinter

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

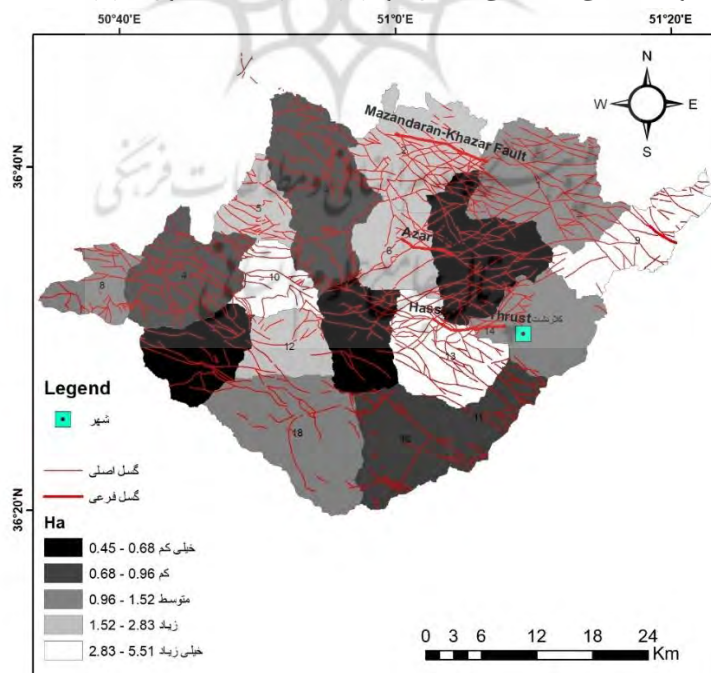
در این رابطه H_{max} مقدار ارتفاع بیشینه و H_{min} مقدار ارتفاع کمینه حوضه است.

شاخص زمین ساخت فعال نسبی (I_{at})

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

شرح و تفسیر نتایج

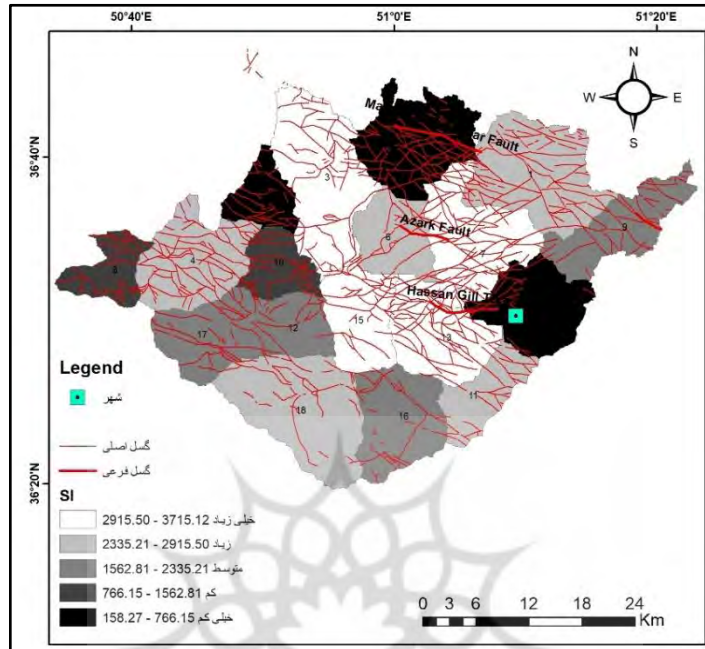
شاخص آنومالی سلسله مراتبی: براساس محاسبات صورت گرفته در خصوص شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی زیرحوضه‌های ۹، ۱۰ و ۱۳ که منطبق بر گسل‌های حسن گیل و شمال البرز هستند با مقادیر ۱،۵، ۱،۸ و ۲،۶ بیشترین میزان این شاخص و زیرحوضه‌های ۷ و ۱۷ با ۰،۴۵ و ۰،۵۶ کمترین میزان این شاخص را دارا می‌باشند، به این معنی که هرچه میزان زمین ساخت فعال در یک منطقه بالاتر باشد آبراهه‌های درجه پایین در هنگام مواجهه با عوامل افزایش دهنده زمین ساخت مانند گسل‌های فعال به رودخانه‌هایی با درجاتی حداقل دو برابر بیشتر از حد معمول میریزند.



شکل ۳: نقشه شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی در منطقه مورد مطالعه

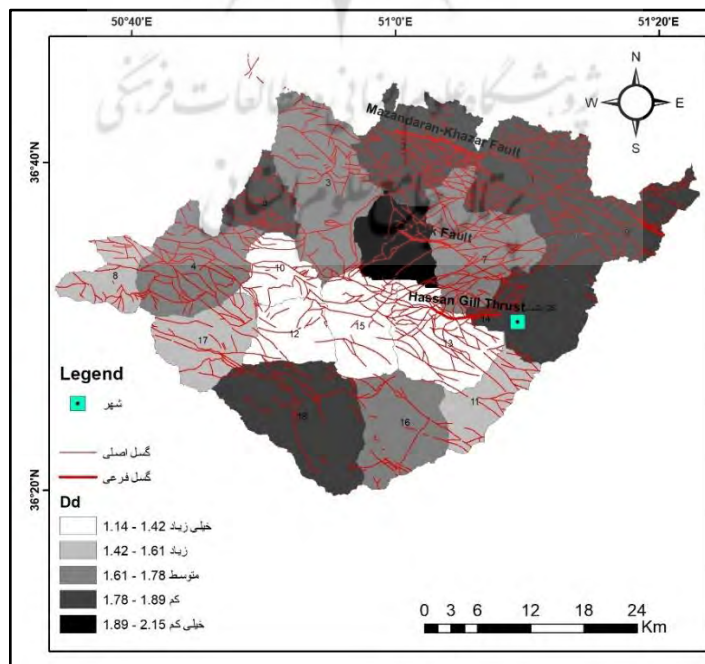
^۱. Hamdouni et al

شاخص گرادیان طولی رود: براساس این شاخص زیرحوضه‌های ۳، ۷، ۱۳ و ۱۵ با شاخص‌های گرادیان طولی بیش از ۳۰۰۰ و زیرحوضه ۱۴ با میزان شاخص ۱۵۸ به ترتیب بیشترین و کم‌ترین میزان این شاخص را دارا می‌باشند. در این زیرحوضه‌ها آبراهه‌ها در مناطقی که گسل‌های فعال دارند افزایش شیب پیدا کرده و گرادیان آن‌ها افزایش می‌یابد.



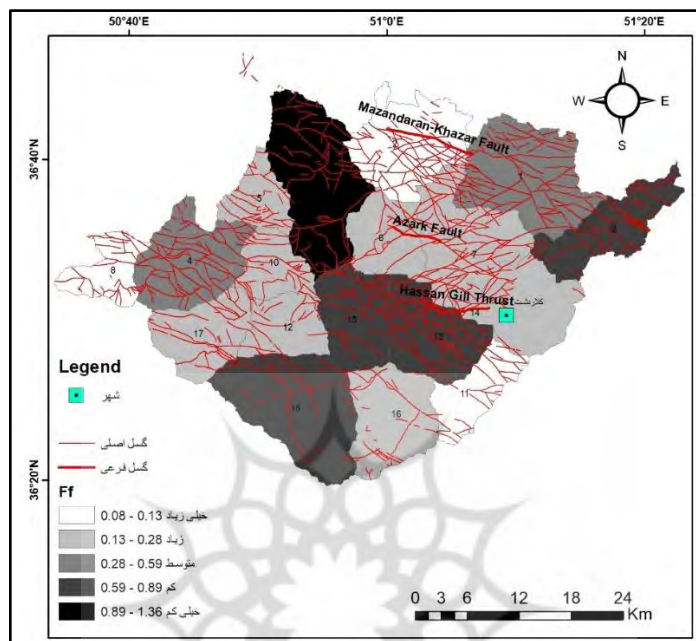
شکل ۴: نقشه شاخص گرادیان طولی رود در منطقه مورد مطالعه

شاخص تراکم زهکشی: براساس اطلاعات به دست آمده از این شاخص زیرحوضه‌های ۱۰ و ۱۲ بیشترین و زیرحوضه ۱ و ۶ کم‌ترین میزان این شاخص را دارا می‌باشند. 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.



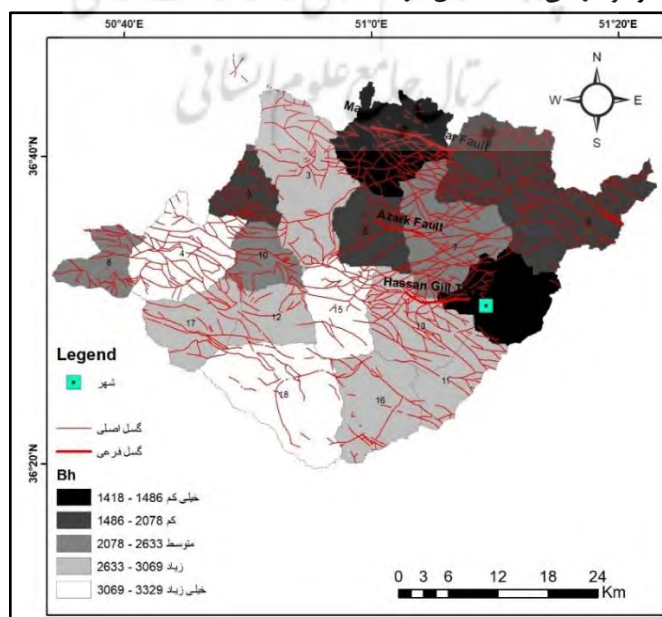
شکل ۵: نقشه شاخص تراکم زهکشی در منطقه مورد مطالعه

شاخص ضریب شکل: براساس اطلاعات به دست آمده از این شاخص زیرحوضه شماره ۸ با میزان ۰,۰۸۳ بیش‌ترین و زیرحوضه شماره ۳ با میزان ۱,۳ کم‌ترین میزان این شاخص را دارا می‌باشند. بنابراین شکل زیرحوضه‌هایی همانند ۸ کشیده‌تر از زیرحوضه‌های دیگر و نسبت طول به عرض این زیرحوضه‌ها بیشتر است که این خود می‌تواند یکی از دلایل فعالیت زمین‌ساختی بالا باشد.



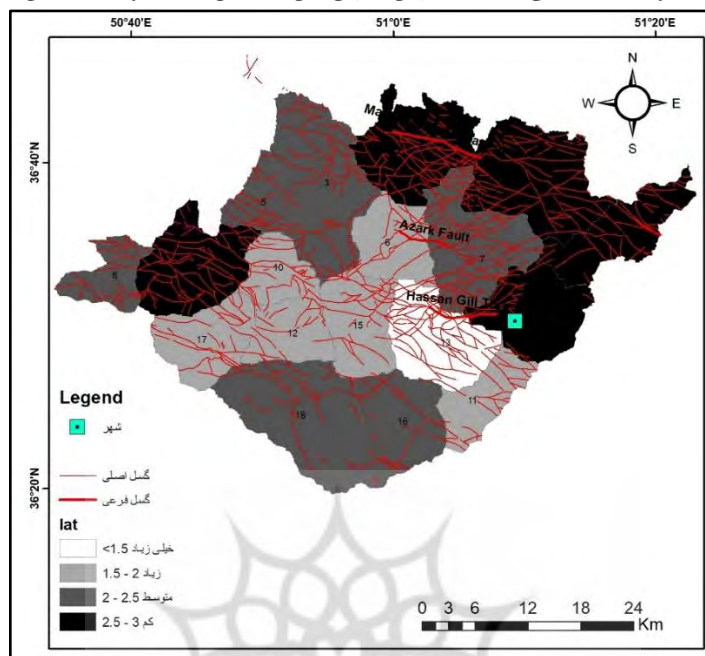
شکل ۶: نقشه شاخص ضریب شکل در منطقه مورد مطالعه

برجستگی نسبی: براساس اطلاعات حاصل از محاسبات این شاخص زیرحوضه‌های ۲ و ۱۴ کم‌ترین میزان شاخص برجستگی نسبی و زیرحوضه‌های شماره ۴ و ۱۵ بیش‌ترین میزان این شاخص را به خود اختصاص داده‌اند. یعنی در زیرحوضه‌های شماره ۴ و ۱۵ 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.



شکل ۷: نقشه شاخص برجستگی نسبی در منطقه مورد مطالعه

شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی: براساس محاسبات حاصل از این شاخص زیرحوضه‌های ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۵ که منطبق بر گسل‌های اصلی منطقه مورد مطالعه می‌باشند بیشترین میزان این شاخص را به خود اختصاص داده‌اند.



شکل ۸: نقشه شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (*Iat*) در گستره مورد مطالعه
جدول ۱: مقادیر پنج شاخص اندازه‌گیری شده در گستره مورد مطالعه.

BasinNo	Ha	Dd	Ff	SL	Bh	Iat
1	1.31	1.90	0.47	2915.51	1765.00	2.67
2	1.97	1.87	0.13	766.15	1418.00	3.00
3	0.96	1.61	1.36	3561.43	3069.00	2.17
4	0.94	1.69	0.59	2829.23	3329.00	2.60
5	2.83	1.78	0.29	528.05	2078.00	2.50
6	2.29	2.16	0.21	2615.49	2003.00	2.00
7	0.45	1.71	0.17	3715.12	2571.00	2.17
8	1.53	1.59	0.08	1076.90	2595.00	2.17
9	5.52	1.87	0.89	2139.96	1758.00	2.67
10	3.71	1.14	0.22	1562.81	2633.00	1.83
11	0.89	1.61	0.13	2601.98	2961.00	1.83
12	2.06	1.37	0.17	2069.57	2852.00	1.80
13	3.48	1.35	0.70	3272.09	2927.00	1.50
14	1.30	1.83	0.21	158.27	1486.00	2.83
15	0.69	1.38	0.67	3262.04	3329.00	1.83
16	0.96	1.72	0.21	2335.21	2859.00	2.33
17	0.56	1.43	0.22	2316.63	2888.00	2.00
18	1.20	1.81	0.84	2529.98	3136.00	2.33

در این پژوهش به بررسی تاثیر گسل‌ها بر روی رودخانه‌های منطقه مورد مطالعه به منظور ارزیابی فعالیت زمین‌ساختی کنونی پرداخته شده است. نتایج حاصل از محاسبات شاخص‌های ناهنجاری سلسله مراتبی (Δa)، گردایان طولی رود (SL)، شکل حوضه (Ff)، تراکم زهکشی (Dd) و برجستگی نسبی (Bh) در ۱۸ حوضه زهکشی محاسبه شده و در نهایت شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) می‌تواند نشان‌دهنده فعالیت زمین‌ساختی اخیر در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

بنا به موارد گفته شده گسل‌های شمال البرز، خزر و طالقان جز گسل‌های اصلی منطقه مورد مطالعه می‌باشند. روند کلی گسل شمال البرز به موازات گسل خزر می‌باشد و در ۱۰-۱۲ کیلومتری غرب چالوس به این گسل می‌پیوندد. 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 و همکاران، ۱۳۷۴). بررسی داده‌های لرزه‌خیزی درباره گسل خزر نشان می‌دهد که جنبش این گسل سبب رویداد زمین‌لرزه‌های متعددی شده است و گسل خزر، گسلی لرزه‌زا محسوب می‌شود. هم‌چنین گسل این گسل در حال حاضر به شدت فعال است و بسیاری از زمین‌لرزه‌های گیلان و مازندران در نتیجه فعالیت این گسل اتفاق می‌افتد (بربریان^۱، ۱۹۹۴). 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).

گسل طالقان نیز یکی از بزرگ‌ترین عوامل تهدید لرزه‌ای برای شهرهای گستره تهران و کرج است؛ در سال ۱۴۲۸ میلادی زمین‌لرزه ویرانگری در طالقان روی داد. براساس مطالعات صورت گرفته گسل آذرک نیز یکی دیگر از گسل‌هایی است که تأثیرات شگرفی بر زمین‌ساخت منطقه داشته است.

براساس محاسبات حاصل از شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی، این شاخص در زیرحوضه‌های شماره ۲، ۶، ۹، ۱۰ و ۱۳ که در امتداد گسل‌های خزر، شمال البرز و آذرک می‌باشد مقادیر بسیار بالا و بالا را نمایش می‌دهد. مقادیر حاصل از محاسبات شاخص ضریب شکل حوه نیز در امتداد گسل‌های مذکور و در زیرحوضه‌های نام‌برده بسیار بالا و بالا است. در زیرحوضه‌های ۱۲، ۱۳ و ۱۵ که در امتداد گسل حسن گیل قرار گرفته‌اند مقادیر به‌دست آمده از شاخص‌های برجستگی نسبی و تراکم حوضه زهکشی بسیار بالا و بالا می‌باشد. امتداد این گسل‌ها در زیرحوضه‌های شماره ۱۲، ۱۳ و ۱۵ سبب افزایش میزان شاخص گرادیان طولی رود و در نتیجه نشان‌دهنده میزان بالای ناهنجاری ریخت زمین‌ساختی در منطقه می‌باشد. در نهایت با محاسبات صورت گرفته در رابطه با شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی و مقایسه آن با دیگر شاخص‌های محاسبه شده، مشخص گردید که زیرحوضه‌های شماره ۱۲، ۱۳ و ۱۵ که تحت تأثیر فعالیت گسل حسن گیل می‌باشند میزان شاخص بسیار بالا و زیرحوضه شماره ۶ که تحت تأثیر فعالیت گسل آذرک است، 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.

نتیجه‌گیری

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 غرب استان مازندران 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 به طور 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 آذرک، خزر و شمال البرز بالا و بسیار بالا است. در حدود ۶۶٫۵ درصد از منطقه که 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. با توجه به نتیجه مطالعه انجام شده پیشنهاد می‌گردد نظر به این که منطقه مورد مطالعه

^۱. Berberian

دارای شهرها و نواحی گردشگری متعددی است، مقاوم‌سازی بناها و سازه‌های شهری در مناطق فعال زمین‌ساختی در پیش‌بینی خطرات جانی و مالی موجود در اقدامات مربوط به شهرسازی لحاظ گردد.

منابع

- افتخارنژاد، ج.، ۱۳۵۹، تفکیک بخش‌های مختلف ایران از نظر وضع ساختمانی در ارتباط با حوضه‌های رسوبی، مجله انجمن نفت ایران، ش ۸۲ (ص ۱۹-۲۸).
- آقا نباتی، ع.، ۱۳۸۳، زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، چاپ اول.
- بابایی، ش.، ۱۳۹۶، بررسی تکتونیک فعال با استفاده از شاخص‌های رودخانه‌ای در حوضه‌های آبریز هراز، نور و نوشهر، البرز مرکزی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه خوارزمی.
- شاه‌پسندزاده، م.، زارع، م.، ۱۳۷۴، بررسی مقدماتی لرزه‌خیزی و لرزه‌زمین‌ساخت و خطر زمین‌لرزه و گسلش در پهنه استان مازندران، گزارش پژوهشگاه بین‌المللی زلزله.
- مهدوی، م.، ۱۳۹۶، هیدرولوژی کاربردی، جلد دوم، چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- نظری، ح.، فرانسوا، ر.، ویژگی‌های هندسی و سازو کار جوان گسل طالقان: بر پایه بررسی‌های ریخت زمین‌ساختی، ۱۳۸۸، نشریه علوم زمین، ش ۷۱ (ص ۱۷۶-۱۷۳).
- مصدق‌زاده، الف.، ده‌بزرگی، م.، حکیمی‌آسیاب، س.، ۱۳۹۸، بررسی تکتونیک ژئومورفولوژی شرق رامسر، شمال ایران، نشریه ژئومورفولوژی کمی.
- Alavi, M., 1996. Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz mountain system in northern Iran. *Geodynamics*, 21, p 1- 33.
- 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, pp. 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*, pp. 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, 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
- Harland, W.B., 1971. Tectonic transpression in caledonian Spitsbergen. *Geological magazine*, 108, pp. 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, pp. 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.
- 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 indices 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.
- Vauchez, A. and Nicolas, A., 1991. *Mountain building: strike-parallel motion and mantle anisotropy*. *Tectonophysics*, 185(3-4), pp.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, PP. 654- 66.
- Sussli, P.E., 1976. *The geology of the lower Haraz Valley area, Central Alborz, Iran.*, *Geological survey of Iran*, 38.