

بررسی بالآمدگی تکتونیکی در کوه‌های شکراب واقع در شمال بیرجند (خراسان جنوبی) با استفاده از

شواهد ریخت‌زمین‌ساختی

مریم عزتی* - دانشجوی دکتری تکتونیک، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند.
ابراهیم غلامی - دانشیار دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند.
سید مرتضی موسوی - استادیار دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۱/۲۹ تأیید نهایی: ۱۳۹۷/۰۹/۱۸

چکیده

ویژگی‌های ژئومورفیکی ساختارهایی که در نتیجه‌ی بالآمدگی تکتونیکی ایجاد می‌شوند اطلاعات بالارزشی در رابطه با نیروهای تکتونیکی به وجود آورنده‌ی آن‌ها را فراهم می‌کنند. منطقه-ی مورد مطالعه یکی از سرشاخه‌های انتهایی گسل نهبندان می‌باشد که در شرق ایران و شمال بیرجند قرار دارد. هدف از این پژوهش تفکیک مناطق با بالآمدگی متفاوت در طول کوه‌های شکراب می‌باشد، برای رسیدن به هدف پژوهش از داده‌های صحرایی، داده‌های توپوگرافی و شاخص‌های ژئومورفیک استفاده گردید. با استفاده از عملیات صحرایی گسل‌ها که یکی از مهم‌ترین ساختارها در منطقه‌ی مورد مطالعه هستند شناسایی گردید. بررسی شواهد ریخت‌زمین‌ساختی نشان می‌دهند که مرتفع‌ترین تراس‌های آبرفتی و عمیق‌ترین دره‌ها مربوط به قسمت غربی و شمال شرقی منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد. شاخص‌های ژئومورفیک که در این پژوهش استفاده گردید شامل: نسبت عرض کف دره به ارتفاع دره (Vf)، انگرال هیپسومتریک (Hi)، منحنی هیپسومتریک (Hc)، شکل حوضه (Bs) و زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) می‌باشد. محاسبه‌ی شاخص Vf در کوه‌های شکراب نشان می‌دهد کمترین مقدار شاخص Vf و بیشترین مقدار نرخ بالآمدگی تکتونیکی مربوط به قسمت غربی و شمال شرقی کوه‌های شکراب می‌باشد. بیشترین مقدار شاخص‌های Hi و Hc مربوط به بخش‌های غربی و شمال شرقی منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد. محاسبه‌ی شاخص Bs نشان می‌دهد بیشترین مقدار شاخص Bs مربوط به بخش غربی کوه‌های شکراب است، افزایش شاخص Bs و وجود حوضه‌های کشیده در قسمت‌های غربی و شمال شرقی کوه‌های شکراب نشان می‌دهد که بیشترین بالآمدگی مربوط به قسمت غربی منطقه‌ی مورد مطالعه است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد در مناطقی از کوه‌های شکراب که شاهد بیشترین تراکم گسل‌های تراستی هستیم، تحت تاثیر عملکرد مولفه‌ی فشارشی گسل‌های تراستی بالآمدگی تکتونیکی نیز افزایش یافته است. وجود گسل‌های تراستی در قسمت‌های غربی و شمال شرقی منطقه‌ی مورد مطالعه باعث فشارش، بالآمدگی تکتونیکی و ایجاد دره‌های V شکل گردیده است.

واژگان کلیدی: بالآمدگی تکتونیکی، تجزیه و تحلیل ریخت‌زمین‌ساختی، شاخص‌های ژئومورفیک، کوه‌های شکراب، شرق ایران.

مقدمه

مناظر طبیعی نشان دهنده‌ی رقابت بین فرآیندهای تکتونیکی و آب و هوا می‌باشند (بوربانک و اندرسون^۱، ۲۰۰۱). ویژگی‌های ژئومورفیک ساختارهایی که در پاسخ به بالآمدگی تکتونیکی ایجاد می‌شوند، اطلاعات مهمی در رابطه با توزیع طبیعی، فضایی و موقت نیروهای تکتونیکی مربوط به رژیم‌های زمین‌ساختی فشارشی و کششی را فراهم می‌آورند. در مناطقی که در حال بالآمدگی تکتونیکی می‌باشند، توزیع فعالیت‌های تکتونیکی را می‌توان با استفاده از نقشه‌ی مربوط به شاخص‌های ریخت‌زمین ساختی نشان داد (ویپل^۲، ۲۰۰۴. کربی و ویپل^۳، ۲۰۱۲). شاخص‌های ژئومورفیک برای شناسایی خصوصیات خاص یک ناحیه، به‌خصوص برای تعیین سطح فعالیت‌های تکتونیکی در مناطقی که تغییر شکل سریع تکتونیکی را تجربه کرده‌اند، مفید می‌باشند (کلر و پینتر^۴، ۲۰۰۲). ارزیابی و بررسی اثرات فعالیت‌های تکتونیکی بر روی فعالیت‌های انسانی همچون احداث سدها و تاسیسات صنعتی، برای به حداقل رساندن خسارات ناشی از فعالیت‌های تکتونیکی اهمیت زیادی دارد. عوارض ژئومورفولوژیکی در برابر حرکات تکتونیکی حساس می‌باشند بنابراین شاخص‌های ژئومورفیک نقش مهمی را در شناسایی مناطق فعال تکتونیکی ایفا می‌کنند (مددی و همکاران^۵، ۱۳۸۳). هدف از این پژوهش تفکیک مناطق با بالآمدگی متفاوت در طول کوه‌های شکراب است. در سال‌های اخیر مطالعات زیادی در ارتباط با بالآمدگی تکتونیکی در مناطق مختلف دنیا صورت گرفته است که در این پژوهش به چند مورد اشاره شده است (گایدزیک و رامیرز^۶، ۲۰۱۶) بالآمدگی تکتونیکی در بخش گوئرومربوط به پیش کمان مکزیک با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک را مورد بررسی قرار دادند (لويس و همکاران^۷، ۲۰۱۷). تغییرات بعد از تکتونیک مناظر در شمال شرق ایبریا با استفاده از تاثیر توام بالآمدگی و اقلیم را بررسی کردند (بنابدلونهد^۸، ۲۰۱۷). بالآمدگی کنونی ساحل غربی مراکش واقع در اقیانوس اطلس را مورد بررسی قرار دادند (ژو و همکاران^۹، ۲۰۱۸). بالآمدگی تکتونیکی در فلات جنوب شرقی اتیوپی با استفاده از تجزیه و تحلیل مورفوتکتونیکی را بررسی کردند (فیگریندو و همکاران^{۱۰}، ۲۰۱۸). مورفوتکتونیک مربوط به منطقه‌ی با نرخ تکتونیک پایین در منطقه ساحلی اطلس جنوب پرتغال را بررسی کردند (لی و همکاران^{۱۱}، ۲۰۱۸) بالآمدگی متفاوت سنگ در امتداد حاشیه‌ی شمال شرقی فلات تبت را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش برای به دست آوردن بالآمدگی تکتونیکی متفاوت در طول کوه‌های شمال بیرجند از تجزیه و تحلیل ریخت‌زمین‌ساختی استفاده گردید.

موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه

کوه‌های شکراب در شرق ایران و بین طول‌های ۳۷° ۵۸ تا ۱۶° ۵۹ و عرض‌های ۳۲° ۵۰ تا ۰۹° ۳۳ قرار دارد (شکل ۱)، منطقه‌ی مورد مطالعه یکی از سرشاخه‌های انتهایی گسل نهبندان است که در ایالت ساختاری سیستان قرار دارد. شرق ایران در تقسیم‌بندی‌های زمین‌ساختی رسوبی که توسط محققین مختلف ارائه شده است با نام‌های مختلفی معرفی شده

^۱. Burbank and Anderson

^۲. Whipple

^۳. Kirby and Whipple

^۴. Keller and Pinter

^۵. Gaidzik & Ramirez-Herrera

^۶. Lewis et al

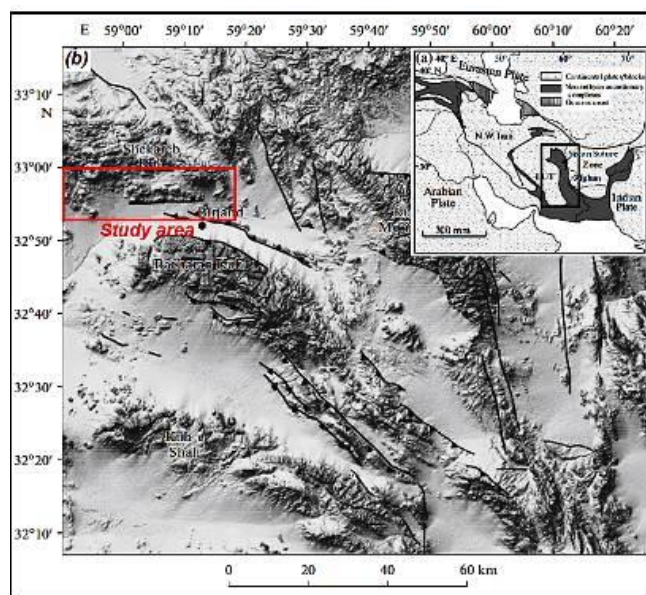
^۷. Benabdellouahed et al

^۸. Xue et al

^۹. Figueiredo et al

^{۱۰}. Li et al

است که از جمله می‌توان به منطقه فلیش و آمیزه رنگین (اشتوکلین و همکاران، ۱۳۵۲)، پهنه زمین درز سیستان (تیرول و همکاران^۱، ۱۹۸۳) و زمین چاک سیستان (بربریان، ۱۳۶۲) اشاره کرد. عملکرد همگرایی مایل بخش مرکزی ایران نسبت به بلوک افغان به سوی شمال شرق منجر به فعالیت پهنه‌ی برشی راستگرد با راستای غالب شمالی- جنوبی شده است (واکر و جکسون^۲، ۲۰۰۲) بنابراین در شرق ایران گسل‌ها از جمله ساختارهای اصلی کنترل‌کننده‌ی هندسه و کینماتیک ساختاری در کوهزادها به شمار می‌آیند (واکر و جکسون^۳، ۲۰۰۴). رشته کوه شکراب از لحاظ سنگ‌شناسی شامل پریدوتیت (کرتاسه بالایی)، فیلیت (کرتاسه بالایی)، فلیش (کرتاسه بالایی-پالئوسن)، توف (ائوسن میانی)، آندزیت (ائوسن بالایی- الیگوسن) و داسیت (نتوزن) می‌باشد.



شکل ۱. موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه: (a) نقشه‌ی تکتونیکی ایران و نواحی اطراف آن، (b) موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه در شرق ایران (Samimi & Gholami, 2017).

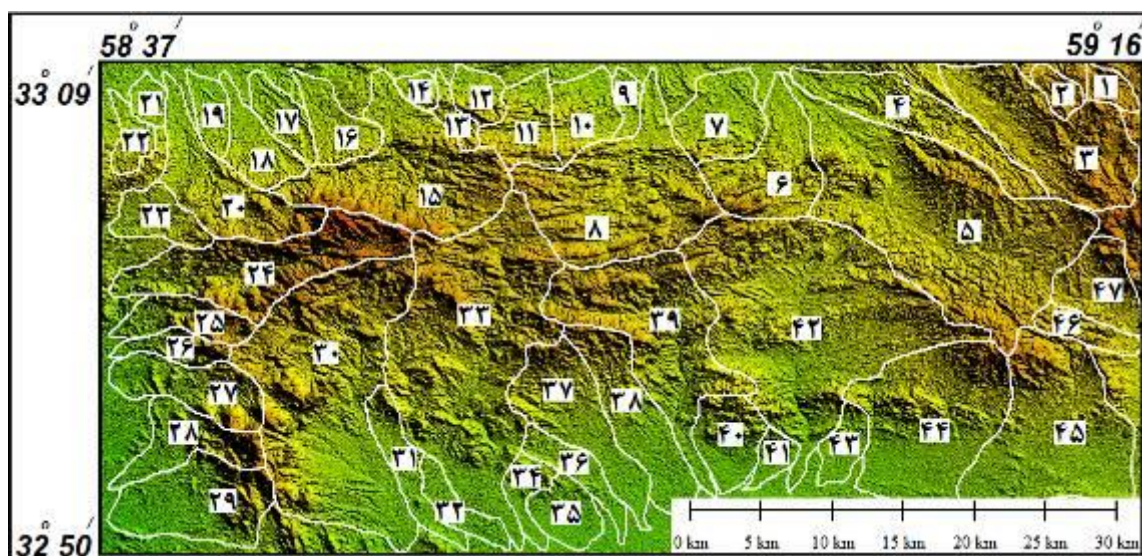
روش تحقیق

در این پژوهش برای تفکیک مناطق با بالآمدگی متفاوت از عملیات صحرایی و شاخص‌های ژئومورفیک استفاده شد، با استفاده از عملیات صحرایی گسل‌ها که یکی از مهم‌ترین ساختارها در منطقه‌ی مورد مطالعه هستند شناسایی گردید. برای به دست آوردن بالآمدگی تکتونیکی شاخص‌های ژئومورفیک که بالآمدگی را نشان می‌دهند شامل: نسبت عرض کف دره به ارتفاع دره (Vf)، انتگرال هیپسومتریک (Hi)، منحنی هیپسومتریک (Hc)، شکل حوضه (Bs) و زمین ساخت فعال نسبی (Iat) محاسبه گردید. برای محاسبه‌ی شاخص‌های ژئومورفیک ابتدا آبراهه‌های اصلی و فرعی منطقه به همراه منحنی میزان‌های ارتفاعی استخراج گردید سپس با استفاده از نقشه‌ی توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰۰ مرز حوضه‌ها مشخص شد، در منطقه‌ی مورد مطالعه ۴۷ حوضه معرفی گردید (شکل ۲)، در نهایت برای به دست آوردن ارتباط بین گسل‌ها و بالآمدگی تکتونیکی داده‌های حاصل از عملیات صحرایی با نتایج به دست آمده از محاسبه‌ی شاخص‌های ژئومورفیک مقایسه شد و تفسیر گردید.

^۱. Tirrul et al

^۲. Walker & Jackson

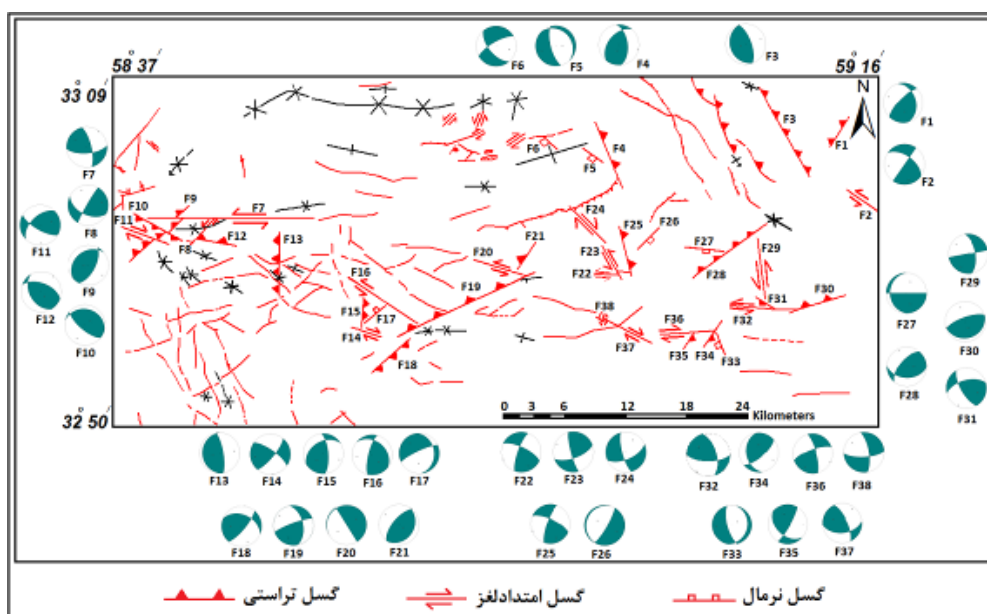
^۳. Walker & Jackson



شکل ۲. موقعیت حوضه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه بر روی DEM.

بحث و یافته‌ها

گسل‌ها یکی از ساختارهای مهم در منطقه‌ی مورد مطالعه هستند که به منظور شناسایی آن‌ها از عملیات صحرایی استفاده گردید، پس از اتمام عملیات صحرایی مشخصات مربوط به هر گسل با استفاده از نرم‌افزار Fault Kin مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و سازوکار هر گسل به دست آمد، سپس نقشه‌ی ساختاری گسل‌های منطقه‌ی مورد مطالعه تهیه گردید. بر اساس استریوگرام‌های ترسیم شده ساز و کار غالب گسل‌های منطقه معکوس با مولفه‌ی امتدادلغز می‌باشد (شکل ۳)، این امر حاکی از غلبه تنش‌های فشارشی در منطقه است. از طرفی عملکرد مولفه‌ی افقی در گسل‌های منطقه می‌تواند متأثر از فعالیت گسل نه‌بندان بر روی کوه‌های شکراب (یکی از سرشاخه‌های انتهایی گسل نه‌بندان) باشد.



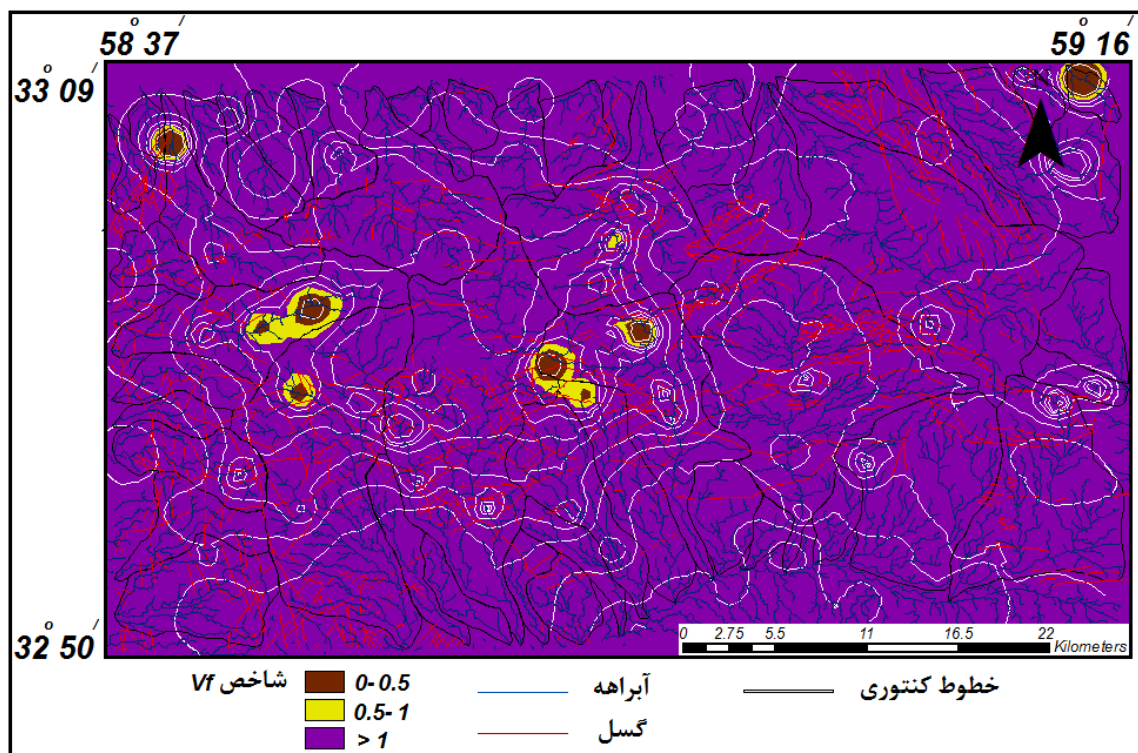
شکل ۳. نقشه‌ی ساختاری منطقه‌ی مورد مطالعه مربوط به گسل‌های برداشت شده در عملیات صحرایی.

نسبت عرض کف دره به ارتفاع دره (Vf):

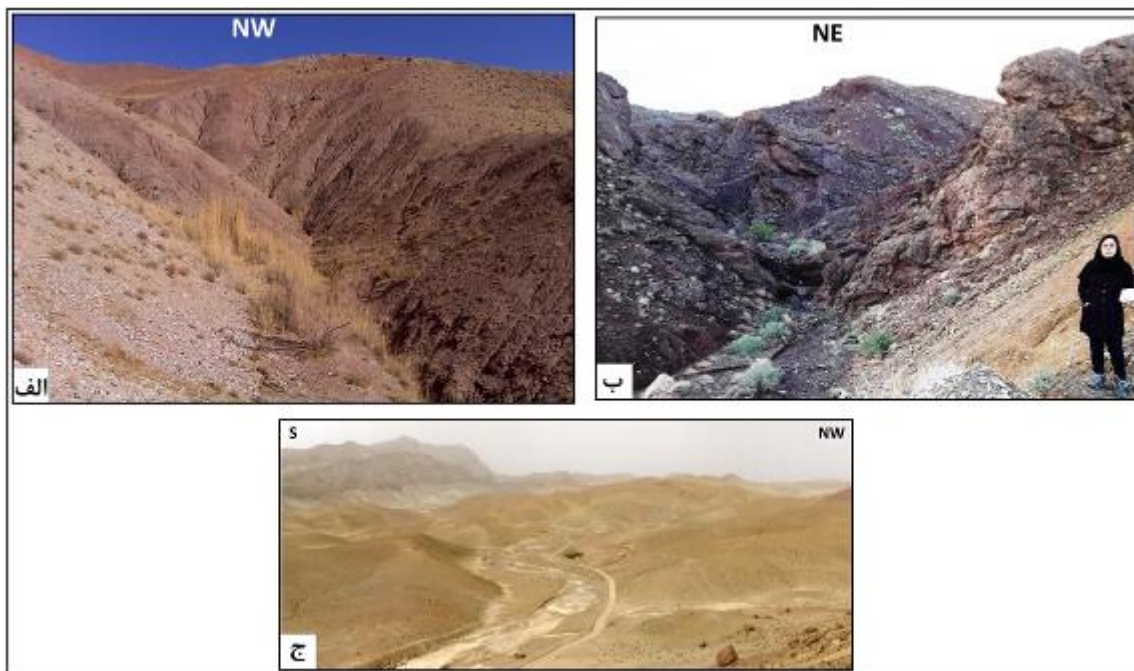
نسبت وسعت کف دره به ارتفاع دره Vf از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$Vf = 2 Vfw / [(Eld - Esc) + (Erd - Esc)] \quad (1)$$

Vfw وسعت کف دره، Eld، Erd، Esc به ترتیب ارتفاع قسمت، ارتفاع قسمت راست و ارتفاع کف دره است. بر اساس روش (El Hamdouni et al., 2008) شاخص Vf به سه دسته رده بندی شده است. رده ۱ ($Vf > 0.5$)، رده ۲ ($0.5 \leq Vf \leq 1$)، رده ۳ ($Vf > 1$). کمترین مقدار شاخص Vf مربوط به بخش‌های غربی (حوضه‌ی شماره‌ی ۲۴) و شمال شرقی (حوضه‌ی شماره‌ی ۱) در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد (شکل ۴). محاسبه‌ی شاخص Vf نشان می‌دهد که بیشترین نرخ بالآمدگی مربوط به قسمت غربی و شمال شرقی منطقه‌ی مورد مطالعه (حوضه‌های شماره‌ی ۲۴ و ۱) می‌باشد، وجود دره‌های V شکل و عمیق در این مناطق شاهدهی بر بالآمدگی تکتونیکی می‌باشد (شکل ۵). یکی از دلایل وجود دره‌های V شکل و کاهش شاخص Vf در قسمت‌های غربی و شمال شرقی کوه‌های شکراب مربوط به تراکم گسل‌های تراستی در این مناطق می‌باشد. بیشترین مقدار شاخص Vf مربوط به قسمت میانی و شرقی کوه‌های شکراب است، دلیل افزایش شاخص Vf و ایجاد دره‌های U شکل در قسمت شرقی منطقه‌ی مورد مطالعه تراکم کمتر گسل‌های تراستی می‌باشد.



شکل ۴. پراکندگی میزان شاخص نسبت عرض کف دره به ارتفاع دره (Vf) در منطقه‌ی مورد مطالعه.



شکل ۵. نمایی از دره‌های منطقه‌ی مورد مطالعه، الف) دره‌ی ۷ شکل مربوط به حوضه‌ی شماره‌ی ۱، ب) دره‌ی ۷ شکل مربوط به حوضه‌ی شماره‌ی ۲۴، ج) دره‌ی U شکل مربوط به حوضه‌ی شماره‌ی ۴۲.

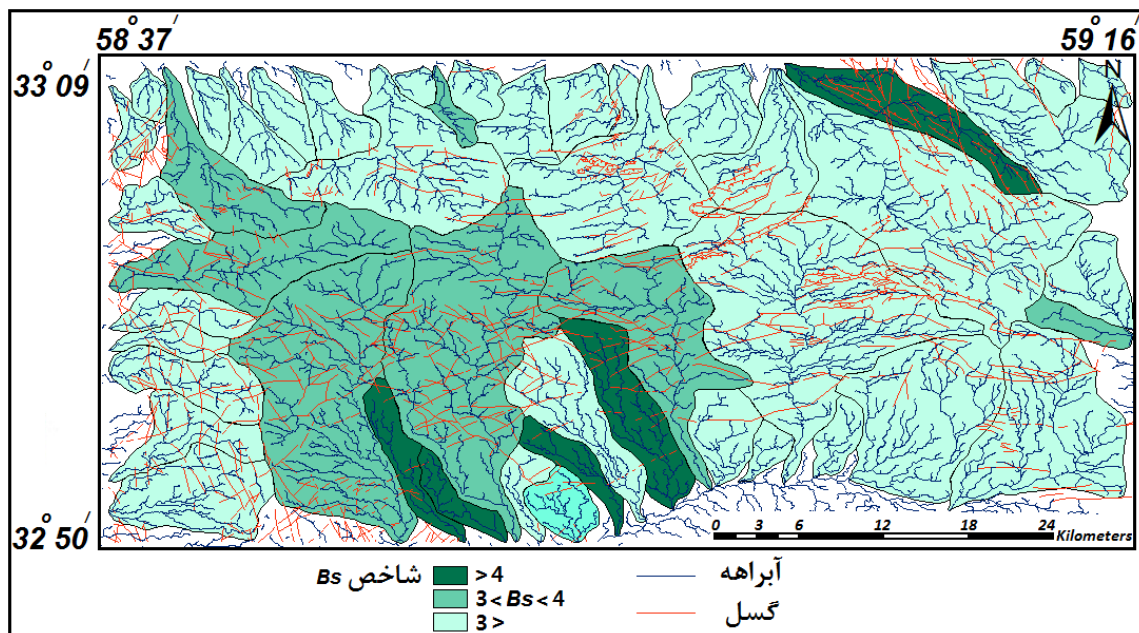
شاخص شکل حوضه (Bs):

تصویر افقی شکل حوضه به وسیله نسبت کشیدگی آن به صورت زیر توصیف می‌گردد:

$$Bs = B_l/B_w$$

(۲)

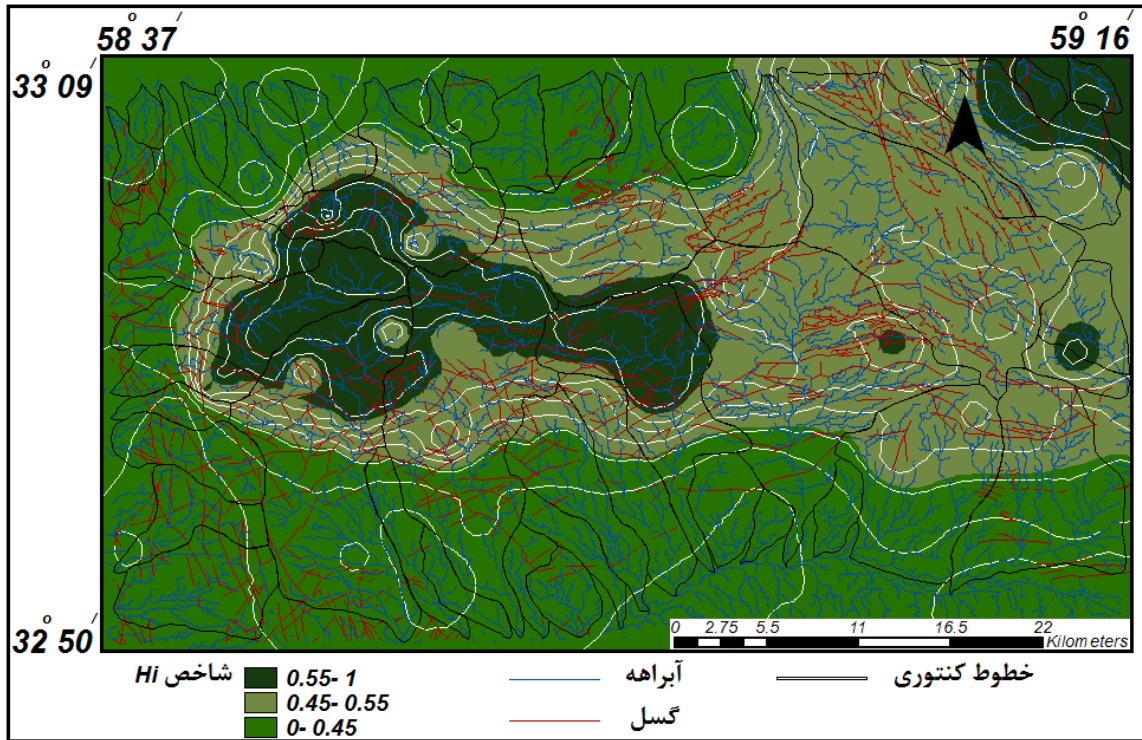
B_l طول حوضه و B_w عرض حوضه می‌باشد. بر اساس روش (El Hamdouni et al., 2008) شاخص شکل حوضه (Bs) به سه رده طبقه‌بندی شده است، رده ۱ ($B_s > 4$)، رده ۲ ($3 < B_s < 4$)، رده ۳ ($B_s < 3$). برای به دست آوردن نرخ بالآآمدگی تکتونیک در منطقه‌ی مورد مطالعه شاخص Bs نیز محاسبه گردید. بیشترین مقدار این شاخص مربوط به قسمت غربی منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد (جدول ۱ و شکل ۶)، وجود حوضه‌های کشیده در قسمت غربی منطقه‌ی مورد مطالعه باعث افزایش شاخص Bs در این بخش از منطقه‌ی مورد مطالعه گردیده است. افزایش شاخص Bs و همچنین وجود حوضه‌های کشیده نشان‌دهنده‌ی بیشترین فعالیت زمین‌ساختی در قسمت غربی منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد. کمترین مقدار شاخص Bs مربوط به بخش‌های میانی و جنوب شرقی کوه‌های شکراب است. کاهش شاخص Bs و حوضه‌های دایره‌ای شکل در قسمت شرقی و میانی منطقه‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد که کمترین فعالیت زمین‌ساختی مربوط به این نواحی از کوه‌های شکراب است. از آنجایی که بالآآمدگی سریع پیشانی کوهستان حوضه‌های کشیده و تندی ایجاد می‌کند (Keller & Pinter, 2002) بنابراین وجود حوضه‌های کشیده و تند در قسمت غربی منطقه‌ی مورد مطالعه از شواهد بالآآمدگی سریع قسمت غربی کوه‌های شکراب می‌باشد.



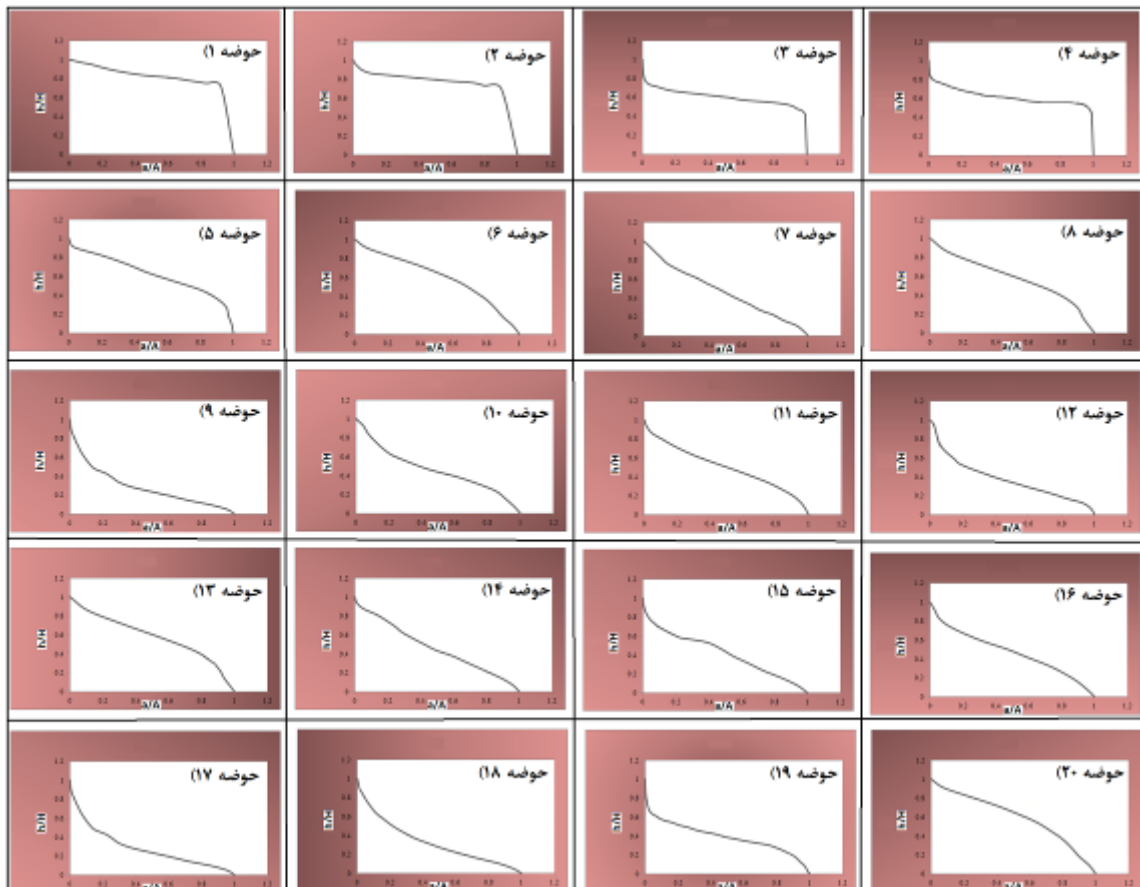
شکل ۶. نقشه‌ی تغییرات شاخص شکل حوضه (Bs) در منطقه‌ی مورد مطالعه.

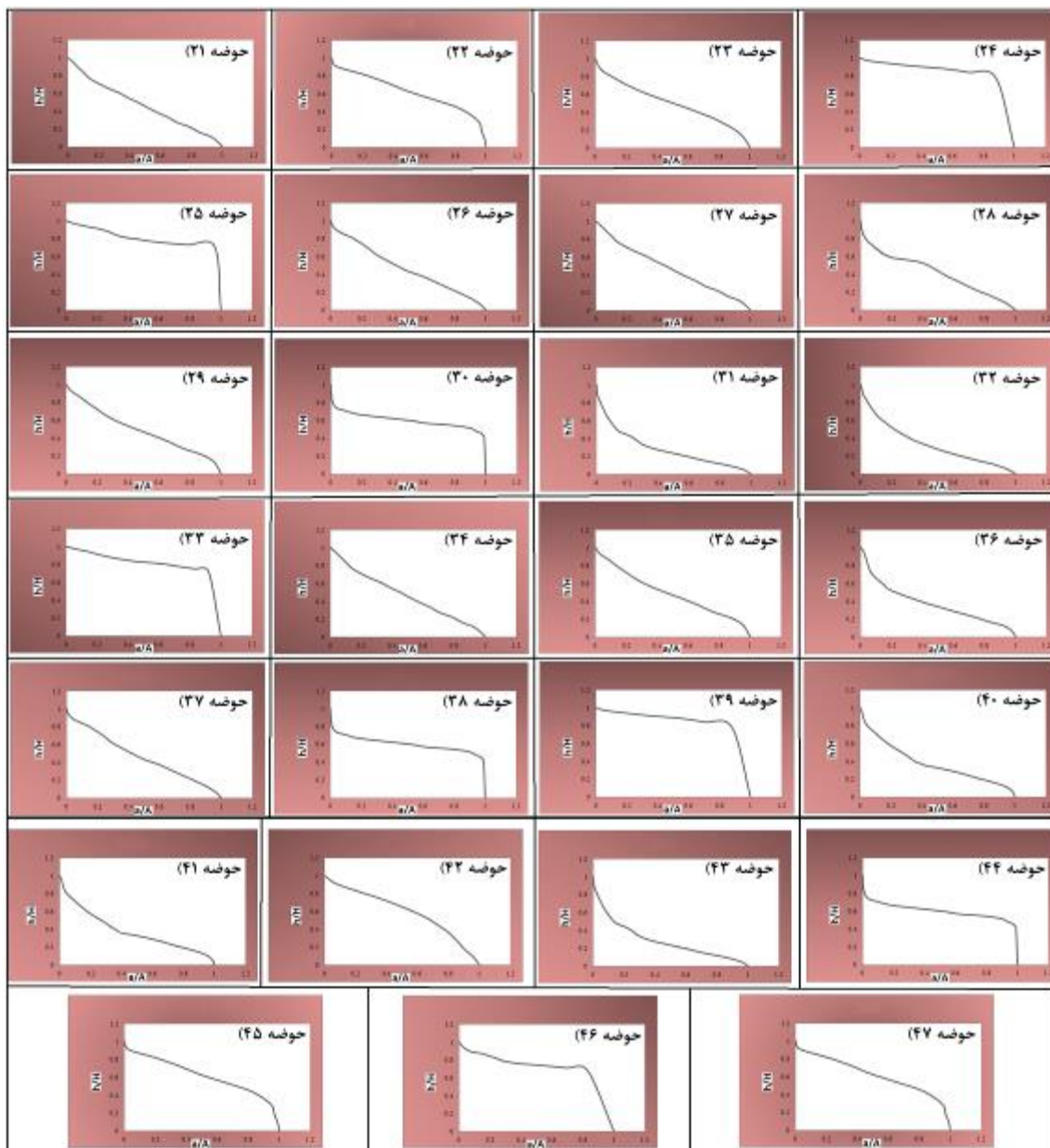
منحنی هیپسومتری (Hc) و انتگرال هیپسومتری (Hi):

منحنی هیپسومتری با به‌دست‌آوردن نسبت‌های h/H و a/A رسم می‌شود که $y=h/H$ و $x=a/A$ است. h ارتفاع یک سطح کانتوری خاص و H ارتفاع کل حوضه‌ی زهکشی است. A مساحت کل حوضه زهکشی است و a مساحت یک خط کانتوری خاص که از بلندترین نقطه‌ی حوضه تا آن خط کانتوری خاص اندازه‌گیری شده است. انتگرال به عنوان مساحت زیر منحنی هیپسومتری تعریف می‌شود (Keller and Pinter, 2002). شاخص انتگرال هیپسومتری (Hc) بر اساس روش (El Hamdouni et al., 2008) به سه دسته رده‌بندی شد: رده ۱ (۰-۰,۵۵)، رده ۲ (۰,۴۵-۰,۵۵) و رده ۳ (۰-۰,۴۵). بیشترین مقدار شاخص‌های انتگرال هیپسومتری مربوط به حوضه‌ی شماره‌ی ۱ (بخش شمال شرقی) منطقه‌ی مورد مطالعه و حوضه‌ی شماره‌ی ۲۴ (بخش غربی) منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد (شکل ۷). نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که بیشترین مقدار بالآمدگی تکتونیکی مربوط به قسمت‌های غربی و شمال شرقی منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد که از دلایل آن می‌توان به تراکم گسل‌های تراستی و رسوبات با مقاومت بالا در این مناطق اشاره نمود. محاسبه‌ی منحنی هیپسومتری نشان می‌دهد که حوضه‌های واقع در قسمت غربی منطقه‌ی مورد مطالعه اغلب در مرحله‌ی جوانی به سر می‌برند (شکل ۸) و در این مناطق مقدار بالآمدگی بیشتر از مقدار فرسایش می‌باشد ولی در قسمت جنوب شرقی و میانی منطقه‌ی مورد مطالعه فرآیندهای ژئومورفیک به طور متوازن عمل می‌کنند. محاسبه‌ی شاخص‌های Hi و Hc در کوه‌های شکراب نشان می‌دهد که فعال‌ترین مناطق از لحاظ بالآمدگی تکتونیکی بخش‌های غربی و شمال شرقی کوه‌های شکراب می‌باشد.



شکل ۷. پراکندگی میزان شاخص انتگرال هیپسومتریک (Hi) در منطقه‌ی مورد مطالعه.



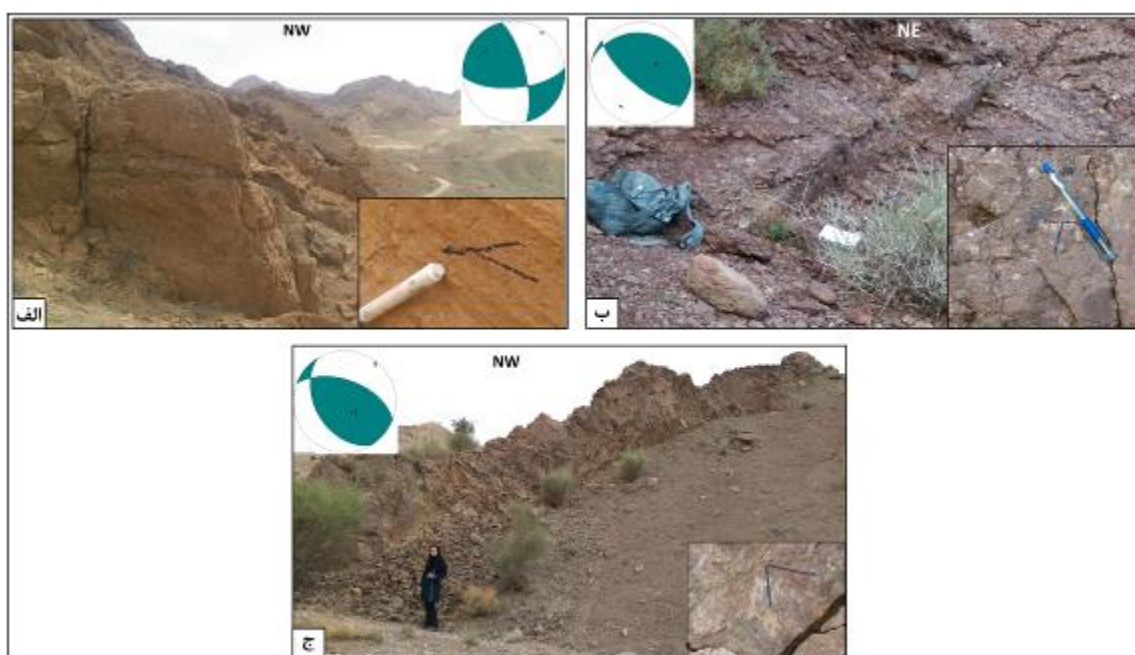


شکل ۸. منحنی هیپسومتریک (Hc) مربوط به حوضه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که وجود گسل‌های با مولفه‌ی تراستی در حوضه‌های مربوط به بخش‌های غربی و شمال شرقی کوه‌های شکراب باعث بالآمدگی تکتونیکی در این مناطق گردیده است. یکی از نشانه‌های بالآمدگی تکتونیکی در یک ناحیه تراس‌های آبرفتی می‌باشد، همان‌گونه که در شکل ۹ نشان داده شده است بیشترین ارتفاع تراس‌های آبرفتی مربوط به بخش غربی کوه‌های شکراب است. بالآمدگی تکتونیکی حوضه‌ی شماره‌ی ۱ (قسمت شمال شرقی) و حوضه‌ی شماره‌ی ۲۴ (قسمت غربی) در منطقه‌ی مورد مطالعه تحت تاثیر عملکرد گسل‌های تراستی با مولفه‌ی امتدادلغز و یا امتدادلغز با مولفه‌ی تراستی می‌باشد (شکل ۱۰) و در مناطقی از کوه‌های شکراب که شاهد بیشترین تراکم گسل‌های تراستی هستیم، تحت تاثیر عملکرد مولفه‌ی فشارشی گسل‌های تراستی بالآمدگی تکتونیکی نیز افزایش یافته است.



شکل ۹. شواهد ریخت‌زمین‌ساختی از فعالیت تکتونیکی در منطقه‌ی مورد مطالعه، الف) تراس آبرفتی مربوط به حوضه‌ی شماره‌ی ۳۰، ب) تراس آبرفتی مربوط به حوضه‌ی شماره‌ی ۲۴.



شکل ۱۰. نمای صحرائی از گسل‌های مربوط به مناطقی که دارای بیشترین بالآمدگی تکتونیکی می‌باشند، a) گسل F7 از نوع امتدادلغز چپگرد با مولفه‌ی معکوس، b) گسل F10 از نوع معکوس با مولفه‌ی راستگرد، c) گسل F12 از نوع معکوس با مولفه‌ی چپگرد.

شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat)

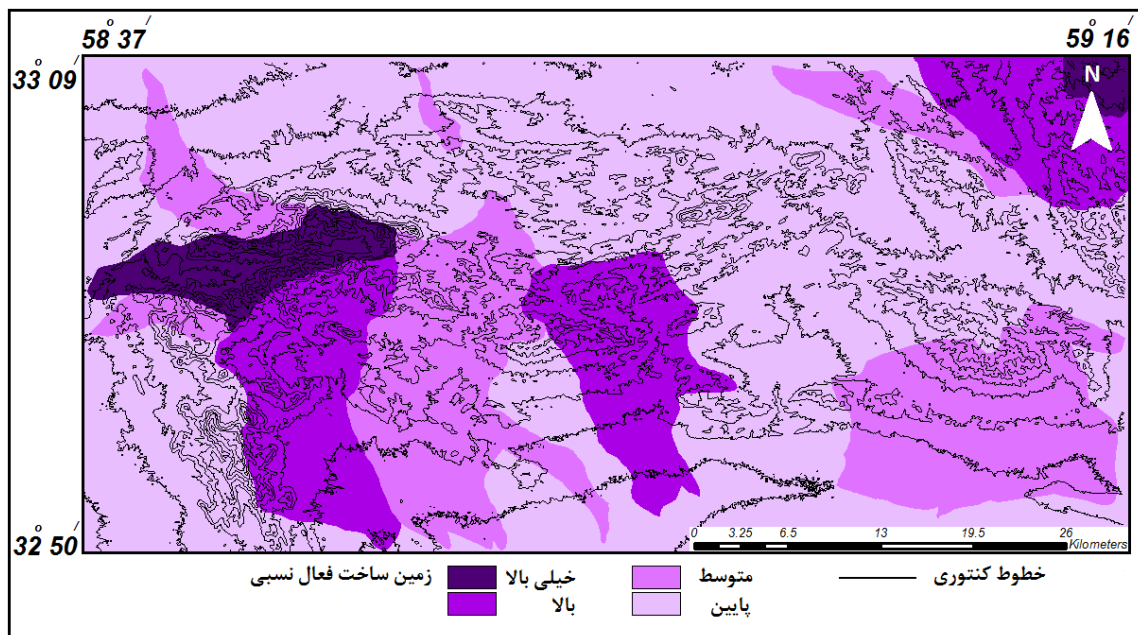
در این پژوهش شاخص‌های مختلف بر اساس روش (El Hamdouni et al., 2008) رده‌بندی گردید سپس با محاسبه و میانگین‌گیری از شاخص‌های مختلف شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) محاسبه شد و از لحاظ زمین‌ساختی به چهار رده تقسیم‌بندی گردید. مقدار S/n بین ۱ تا ۱,۵ به رده ۱، بین ۱,۵ تا ۲ به رده ۲، بین ۲ تا ۲,۵ به رده ۳ و بیشتر از ۲,۵ به رده ۴ تقسیم‌بندی شد (El Hamdouni et al., 2008). بیشترین مقدار شاخص (Iat) مربوط به بخش‌های غربی و شمال‌شرقی کوه‌های شکراب است (شکل ۱۱). همان‌گونه که در نقشه‌ی ساختاری منطقه‌ی مورد مطالعه نشان داده شده است در قسمت‌های غربی و شمال‌شرقی شاهد بیشترین تراکم گسل‌های تراس‌تی می‌باشیم. از آنجایی که عملکرد گسل‌های تراس‌تی در یک منطقه باعث بالآمدگی تکتونیکی می‌گردد، بنابراین در مناطقی که شاهد تراکم گسل‌های تراس‌تی هستیم انتظار بالآمدگی بیشتر را نیز داریم. مقایسه‌ی نتایج مربوط به محاسبه‌ی شاخص‌های

ریخت‌زمین‌ساختی با نقشه‌ی زمین‌شناسی و نقشه‌ی ساختاری در کوه‌های شکراب نشان می‌دهند در مناطقی که شاهد تراکم رسوبات با مقاومت بیشتر و گسل‌های تراستی می‌باشیم شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) نیز افزایش یافته است بنابراین از مهم‌ترین دلایل افزایش شاخص (Iat) در بخش‌های غربی و شمال‌شرقی کوه‌های شکراب می‌توان به تراکم گسل‌های تراستی و رسوبات مقاوم اشاره نمود.

جدول ۱. تقسیم‌بندی شاخص‌های ژئومورفیک در حوضه‌های مربوط به کوه شکراب.

شماره حوضه	Vf	رده (Vf)	HI	رده (HI)	Bs	رده (Bs)	Iat	رده (Iat)
۱	۰,۴	۱	۰,۸	۱	۳,۳	۲	۱,۳۳	۱
۲	۰,۸	۲	۰,۷۶	۱	۳,۱	۲	۱,۶۶	۲
۳	۱,۴	۳	۰,۶	۱	۲,۸	۳	۲,۳۳	۳
۴	۱,۱	۳	۰,۴۸	۲	۴,۱	۱	۲	۳
۵	۲,۱	۳	۰,۴۶	۲	۱,۶	۳	۲,۶۶	۴
۶	۲	۳	۰,۴۹	۲	۱,۸	۳	۲,۶۶	۴
۷	۱,۵	۳	۰,۴۴	۳	۱,۲	۳	۳	۴
۸	۰,۹	۲	۰,۴۲	۳	۱,۱	۳	۲,۶۶	۴
۹	۱,۳	۳	۰,۳۹	۳	۲,۹	۳	۳	۴
۱۰	۱,۱	۳	۰,۴۱	۳	۱,۲	۳	۳	۴
۱۱	۱,۷	۳	۰,۴۳	۳	۱,۵	۳	۳	۴
۱۲	۱,۴	۳	۰,۳۶	۳	۱,۴	۳	۳	۴
۱۳	۲	۳	۰,۵۴	۲	۳,۱	۲	۲,۳۳	۳
۱۴	۲,۳	۳	۰,۴۳	۳	۱	۳	۳	۴
۱۵	۲,۶	۳	۰,۳۷	۳	۱	۳	۳	۴
۱۶	۱,۹	۳	۰,۴۴	۳	۲,۵	۳	۳	۴
۱۷	۱,۸	۳	۰,۳۶	۳	۲,۴	۳	۳	۴
۱۸	۲,۴	۳	۰,۳۵	۳	۲,۱	۳	۳	۴
۱۹	۲,۳	۳	۰,۴۱	۳	۲,۸	۳	۳	۴
۲۰	۰,۴	۳	۰,۵۱	۲	۳,۱	۲	۲,۳۳	۳
۲۱	۰,۹	۲	۰,۳۵	۳	۱,۶	۳	۲,۶۶	۴
۲۲	۱,۷	۳	۰,۴۲	۳	۱,۹	۳	۳	۴
۲۳	۱,۳	۳	۰,۳۸	۳	۱,۲	۳	۳	۴
۲۴	۰,۳	۱	۰,۷۸	۱	۴,۱	۱	۱	۱
۲۵	۱,۱	۳	۰,۷۷	۱	۳,۶	۲	۲	۳
۲۶	۱,۸	۳	۰,۴۲	۳	۲,۸	۳	۳	۴

۴	۳	۳	۱,۳	۳	۰,۴۴	۳	۲,۴	۲۷
۴	۳	۳	۲	۳	۰,۳۸	۳	۱,۸	۲۸
۴	۳	۳	۲,۶	۳	۰,۳	۳	۳	۲۹
۲	۲	۲	۳,۱	۲	۰,۴۶	۲	۰,۹	۳۰
۳	۲,۳۳	۱	۴,۴	۳	۰,۲۹	۳	۱,۵	۳۱
۳	۲,۳۳	۱	۴,۱	۳	۰,۲۶	۳	۲,۸	۳۲
۳	۲	۲	۳,۵	۱	۰,۶۸	۳	۲,۴	۳۳
۳	۲,۳۳	۲	۳,۶	۲	۰,۴۶	۳	۲,۵	۳۴
۴	۳	۳	۱,۴	۳	۰,۳۸	۳	۲,۱	۳۵
۳	۲,۳۳	۱	۴,۲	۳	۰,۳۲	۳	۱,۸	۳۶
۴	۳	۳	۲,۹	۳	۰,۴۱	۳	۱,۱	۳۷
۲	۱,۶۶	۱	۴,۱	۳	۰,۴۴	۱	۰,۴	۳۸
۲	۱,۶۶	۲	۳,۳	۲	۰,۵۰	۱	۰,۴	۳۹
۴	۳	۳	۱,۲	۳	۰,۳۹	۳	۲,۸	۴۰
۴	۳	۳	۱,۸	۳	۰,۳۶	۳	۳,۱	۴۱
۴	۲,۶۶	۳	۱,۵	۲	۰,۵	۳	۱,۵	۴۲
۴	۳	۳	۲,۲	۳	۰,۳۱	۳	۲	۴۳
۳	۲,۳۳	۳	۲,۶	۲	۰,۵۲	۲	۰,۶	۴۴
۳	۲,۳۳	۳	۲,۱	۲	۰,۵۴	۲	۰,۸	۴۵
۳	۲,۳۳	۲	۳,۵	۲	۰,۵۷	۳	۳	۴۶
۴	۲,۶۶	۳	۲,۱	۲	۰,۵۲	۳	۲,۱	۴۷



شکل ۱۱. پراکندگی شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) در منطقه‌ی مورد مطالعه.

نتیجه گیری

در مناطقی که در حال بالآمدگی تکتونیکی هستند توزیع فعالیت‌های تکتونیکی را می‌توان با استفاده از نقشه‌ی شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی نشان داد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که بیشترین ارتفاع تراس‌های آبرفتی مربوط به قسمت غربی منطقه‌ی مورد مطالعه است که مهم‌ترین دلیل آن وجود گسل‌های تراستی در قسمت غربی منطقه‌ی مورد مطالعه است که باعث بالآمدگی و افزایش ارتفاع تراس‌های آبرفتی در قسمت غربی کوه‌های شکراب گردیده است. عمیق‌ترین دره‌های منطقه‌ی مورد مطالعه مربوط به قسمت‌های غربی و شمال شرقی منطقه‌ی مورد مطالعه است. در این پژوهش برای تفکیک مناطق با بالآمدگی تکتونیکی متفاوت از عملیات صحرایی و شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی شامل: نسبت عرض کف دره به ارتفاع دره (Vf)، انتگرال هیپسومتریک (Hi)، منحنی هیپسومتریک (Hc)، شکل حوضه (Bs) و زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) استفاده گردید. محاسبه‌ی شاخص Vf نشان می‌دهد که کمترین مقدار شاخص Vf مربوط به بخش‌های غربی و شمال شرقی کوه‌های شکراب است. مقدار کم شاخص Vf در قسمت‌های غربی و شمال شرقی بیانگر وجود دره‌های V شکل و عمیق می‌باشد که نشان می‌دهد این بخش‌ها از کوه‌های شکراب به طور عادی در حال بالآمدگی می‌باشد. ایجاد دره‌های V شکل در قسمت غربی منطقه‌ی مورد مطالعه به دلیل تراکم بیشتر گسل‌های تراستی می‌باشد که باعث فشارش و بالآمدگی تکتونیکی در این بخش گردیده است، اما وجود دره‌های U شکل و پهن در قسمت جنوب شرقی کوه‌های شکراب شاهدی بر سرعت کمتر بالآمدگی تکتونیکی در این بخش از منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد. اندازه‌گیری شاخص‌های Hi و Hc نشان می‌دهند که در قسمت غربی و شمال شرقی منطقه‌ی مورد مطالعه میزان بالآمدگی تکتونیکی بیشتر از میزان فرسایش می‌باشد ولی در قسمت میانی منطقه‌ی مورد مطالعه عملکرد نیروهای تکتونیکی و نیروهای فرسایشی به صورت متعادل می‌باشد. بیشترین مقدار شاخص Bs مربوط به قسمت غربی کوه‌های شکراب است. افزایش شاخص Bs و همچنین وجود حوضه‌های کشیده در قسمت غربی کوه‌های شکراب نشان‌دهنده‌ی بالآمدگی بیشتر قسمت غربی کوه‌های شکراب نسبت به سایر قسمت‌های منطقه‌ی مورد مطالعه است. محاسبه‌ی شاخص Iat نشان می‌دهد بیشترین نرخ بالآمدگی تکتونیکی مربوط به بخش‌های شمال شرقی و غربی کوه‌های شکراب است. نتایج این پژوهش

نشان می‌دهند که از مهم‌ترین دلایل بالآمدگی تکتونیک‌های بیشتر قسمت‌های غربی و شمال شرقی تراکم گسل‌های با مولفه‌ی تراستی و رسوبات مقاوم‌تر در این بخش از کوه‌های شکراب می‌باشد.

منابع:

- اشوتولین، ی. افتخارنژاد، ج. هوشمندزاده، ع. ۱۳۵۲. بررسی مقدماتی زمین‌شناسی در لوت مرکزی، شرق ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، گزارش شماره ۲۲. ۸۶
- اوهانیان، ت. طاوسی، ش. و افتخارنژاد، ج. ۱۳۶۶. نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ بیرجند، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- بربریان، م. ۱۳۶۲. دگرریختی قاره‌ای در فلات ایران زمین. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، گزارش شماره ۵۲. ۳۰۷-۳۵۲
- روشن‌روان، ج. شجاعی کاوه، ن. بهره‌مند، م. ۱۳۸۶. نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ موسویه، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- وحدتی‌دانشمند، ف. و خلقی، م. ج. ۱۳۶۵. نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ خوسف، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- مددی، عقیل. رضایی مقدم، محمد حسین. رجایی، عبدالحمید. ۱۳۸۳. تحلیل فعالیت‌های تکتونیک با استفاده از روش‌های ژئومورفولوژی در دامنه‌های شمال غربی تالش (باغروداغ). پژوهش‌های جغرافیایی. دانشگاه تهران. شماره ۴۸. صص ۱۳۳-۱۳۸.
- Benabdellouahed, M. Klingelhofer, F. Gutscher, M.A. Rabineau, M. Biari, Y. Hafid, M. Duarte, J.C. Baltzer, A. Pedoja, K. LeRoy, P. Reichert, C. Recent uplift of the Atlantic Atlas (offshore West Morocco): Tectonic arch and submarine terraces, *Tectonophysics* 706-707. pp. 46-58.
- Burbank, D.W. and Anderson, R.S., 2001. *Tectonic Geomorphology*. Malden.
- EL Hamdouni R., Irigaray C., Fernandez T., Chacon J., and Keller E. A., 2008. Assessment of relative active tectonics, southwest border of Sierra Nevada (southern Spain), *Geomorphology*, No. 969, pp. 150-173.
- Figueiredo, P.M. Rockwell, T.K. Cabral, J. Ponte Lira, C., 2018. *Morphotectonics in a low tectonic rate area: Analysis of the southern Portuguese Atlantic coastal region*, *Geomorphology*, pp. 1- 51.
- Gaidzik, K. and Ramirez-Herrera, M.T., 2016. *Geomorphic indices and relative tectonic uplift in the Guerrero of the Mexican forearc*, *Geoscience frontiers*, pp. 1-54.
- Keller, E.A. and Pinter N. 2002, *Active tectonic, Earthquakes, Uplift and Landscape*, Prentice Hall, P. 362.
- Kirby, E. Whipple, K.X., 2012. Expression of active tectonics in erosional and scapes, *J. Struct. Geol.* 44, pp. 54-75.
- Lewis, C.J. Sancho, C. McDonald, E.V. Pena-Monne, J.L. Rhodes, E. Calle, M. Soto. R., 2017. Post-tectonic landscape evolution in NE Iberia using staircase terraces: combined effects of uplift and climate, *Geomorphology* 292, pp. 85-103.
- Li, Q. Pan, B. Geo, H. Wen, Z. Hu, X., 2018, Differential rock uplift along the northeastern margin of the Tibetan Plateau inferred from bedrock channel longitudinal, *Journal of Asian Earth Science*, pp. 1-73.
- Samimi, S. and Gholami, E. 2017. *Geometric and Kinematic Analysis of Structural along North Front of Bagharan Kuh Mountain, NE Iran*, *Geotectonics* 51 (2), pp. 192-208.

- *Tirrul, R., Bell, I.R., Griffis, R.J., and Camp, V.E., 1983, The sistan suture zone of eastern Iran. Geological Society of American Bulletin, 94, 134-156.*
- *Whipple, K.X., 2004. Bedrock rivers and the geomorphology of active orogens. Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 32, pp. 151-185.*
- *Walker, R. Jackson, J., 2002. Offset and evolution of the Gowk fault, SE Iran: a major intra- continental strike- slip system, Journal of Structural Geology, v.24, p 1677-1698.*
- *Walker, R. Jackson, J., 2004. Active tectonics and late cenozoic strain distribution in central and eastern Iran, Tectonics, v.23, 1-24.*
- *Xue, L. Alemu, T. Gani, N.D. Abdelsalam, M.G., 2018, Spatial and temporal variation of tectonic uplift in the southeastern Ethiopian Plateau from morphotectonic analysis, Geomorphology 309, pp. 98-111.*