

پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال هشتم، شماره ۲، پاییز ۱۳۹۸  
صص. ۱۳۷-۱۲۲

## بررسی تکامل ساختاری کوه‌های شمال بیرجند با استفاده از ترسیم مقاطع عرضی

مریم عزتی - دانشجوی دکتری تکتونیک، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم دانشگاه بیرجند  
ابراهیم غلامی\* - دانشیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم دانشگاه بیرجند  
سید مرتضی موسوی - استادیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم دانشگاه بیرجند

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱۰/۱۵      تأیید نهایی: ۱۳۹۸/۰۶/۲۱

### چکیده

گسل‌ها از ساختارهای اصلی کنترل‌کننده هندسه و کینماتیک ساختاری در کوهزادها به شمار می‌آیند. منطقه‌ی مورد مطالعه (کوه‌های شکراب) در استان خراسان جنوبی و قسمت شمالی شهرستان بیرجند قرار دارد. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر گسل‌ها بر تکامل ریخت‌زمین-ساختی منطقه‌ی مورد مطالعه است. در این پژوهش تحلیل ساختاری کوه‌های شکراب واقع در شمال بیرجند با استفاده از عملیات صحرائی، ترسیم مقاطع عرضی و شاخص ژئومورفیک طول-شیب رودخانه (SL) انجام شد. در این پژوهش برای تحلیل ساختاری و مشخص نمودن تأثیر گسل‌ها بر تکامل ساختاری ابتدا با استفاده از عملیات صحرائی گسل‌ها شناسایی گردید و سپس با استفاده از DEM و داده‌های مربوط به گسل‌های منطقه مقاطع عرضی ترسیم شد. مقاطع عرضی عمود بر ساختارهای منطقه (گسل‌های طولی و عرضی) رسم گردید. ترسیم مقاطع عرضی در جهت عمود بر گسل‌ها نشان می‌دهد که در مقطع CD که در قسمت غربی منطقه‌ی مورد مطالعه واقع شده است. شاهد کاهش شیب گسل‌ها از شمال به سمت جنوب هستیم، بنابراین مقطع CD فعال‌ترین مقطع می‌باشد. محاسبه شاخص SL نشان می‌دهد که بیشترین فعالیت تکتونیکی مربوط به قسمت غربی کوه‌های شکراب است که دلیل آن عملکرد اخیر گسل‌های راندگی می‌باشد. تحلیل ساختاری گسل‌های واقع در کوه‌های شمال بیرجند نشان می‌دهند که بیشترین تراکم گسل‌های راندگی مربوط به بخش غربی منطقه‌ی مورد مطالعه است و در مناطقی از کوه‌های شکراب که بیشترین تراکم گسل‌های راندگی وجود دارد بالآمدگی تکتونیکی و فعالیت تکتونیکی نیز افزایش یافته است. فعالیت تکتونیکی در قسمت غربی کوه‌های شکراب تحت تأثیر گسل‌های منطقه و رسوبات مقاوم‌تر نظیر ماسه‌سنگ و آهک می‌باشد که دارای قابلیت فرسایش پذیری پایین هستند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهند که با حرکت در روند E-W کوهستان شاهد شاهد بیشترین فعالیت تکتونیکی در قسمت غربی می‌باشیم.

واژگان کلیدی: ساز و کار گسل، مقاطع عرضی، کوه‌های شکراب، شمال بیرجند.

## مقدمه

اشکال سطح زمین تحت تاثیر فعالیتهای زمین‌ساختی شکل گرفته‌اند و سپس دچار تحول شده‌اند (ایوانس<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۶: ۲۱۱). در علوم زمین واژه‌ی تکتونیک به معماری پوسته زمین، ساختمان‌های تغییرشکل یافته و ارزیابی این عوارض در طول زمان زمین‌شناسی گفته می‌شود (سلیمانی، ۱۳۷۸: ۳۲). در نواحی فعال تکتونیک الگوهای زهکشی خیلی حساس به فرآیندهایی مانند بالآمدگی، چین‌خوردگی، گسل‌خوردگی و کج‌شدگی می‌باشند (شارما<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۸: ۱۰۸). در اثر حرکات زمین‌ساختی سنگ‌های لایه‌ای دگرشکلی حاصل می‌کنند و در اثر این فرآیند سطوح صاف تبدیل به سطوح خمیده می‌شود (مدنی، ۱۳۸۰: ۳۲۰). هدف از این پژوهش بررسی تاثیر گسل‌ها بر تکامل ریخت-زمین‌ساختی کوه‌های شکراب می‌باشد. منطقه‌ی مورد مطالعه (کوه‌های شکراب) در شرق ایران، زمین‌درز سیستان و قسمت شمالی شهرستان بیرجند قرار دارد (شکل ۱). در شرق ایران و به ویژه در زمین‌درز سیستان گسل‌ها از ساختارهای اصلی کنترل‌کننده‌ی هندسه و کینماتیک ساختاری در کوهزادها به شمار می‌آیند (واکر و جکسون<sup>۳</sup>، ۲۰۰۴: ۱۵). دو روند عمده‌ی ساختاری در ایالت سیستان وجود دارد: ۱. روند شمالی-جنوبی: روند کلی این ایالت ساختاری شمالی-جنوبی بوده و گسل‌های حاشیه‌ی آن نیز همین روند را دارند که مهم‌ترین آن سیستم گسل نه است که جداکننده پهنه‌ی لوت از ایالت سیستان می‌باشد (برزگر، ۱۳۵۷: ۳۵). ۲. روند شرقی-غربی: روند شرقی-غربی در بخش‌های شمال‌غرب و جنوب شرق ایالت سیستان تظاهر عمده‌ای پیدا کرده است. گسل‌هایی که دارای این روند می‌باشند اکثراً به صورت راستالغز چپگرد عمل کرده‌اند و بخصوص در بخش‌های شمال‌غربی موجب کشیده شدن بخش‌هایی به داخل پهنه‌ی لوت از ایالت گشته‌اند (خطیب، ۱۳۷۷: ۱۱۲). کوه‌های شکراب یکی از سرشاخه‌های انتهایی گسل نهبندان می‌باشد که در ایالت ساختاری سیستان قرار دارد (نوگل سادات<sup>۴</sup>، ۱۹۷۸: ۱۲۶). در سال‌های اخیر در مطالعات زیادی از مقاطع عرضی برای تفسیر ساختاری استفاده شده است که در این پژوهش به چند مورد اشاره می‌گردد: از مقطع عرضی موازنه شده در عرض سکنس‌های تراسی هیمالیا برای به دست آوردن تکامل ساختاری و کوتاه‌شدگی استفاده گردید (موکوپادیایی و میشرا<sup>۵</sup>، ۲۰۰۵). بازگردانی مقطع عرضی به عنوان ابزاری کاربردی برای شبیه‌سازی تغییر شکل چین‌انشار گسلی در کمربند چین و تراسی کانتربری شمال غرب شبه جزیره‌ی ایرین استفاده شد (ماسینی<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۰). از مقطع عرضی موازنه شده برای ارزیابی جایگیری ماگما در کوه‌های شرقی نوادا آمریکا استفاده شد (مارکو و یوشینوبو<sup>۷</sup>، ۲۰۱۱). نوع تغییرشکل آلپ در کمربند چین و تراسی جنوب غرب آلپ، فرانسه با استفاده از مقطع عرضی مورد بررسی قرار گرفت (جوردون<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۱۴). با استفاده از مقاطع عرضی مدل‌های رشد و به هم پیوستگی گسل‌ها در کمربندهای تراسی پیش‌بوم بررسی شد (واتکینز<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۱۷). از مقطع

۱. Ioannis

۲. Sharma

۳. Walker &amp; Jackson

۴. Nogole-Sadate

۵. Mukhopadhyay &amp; Mishra

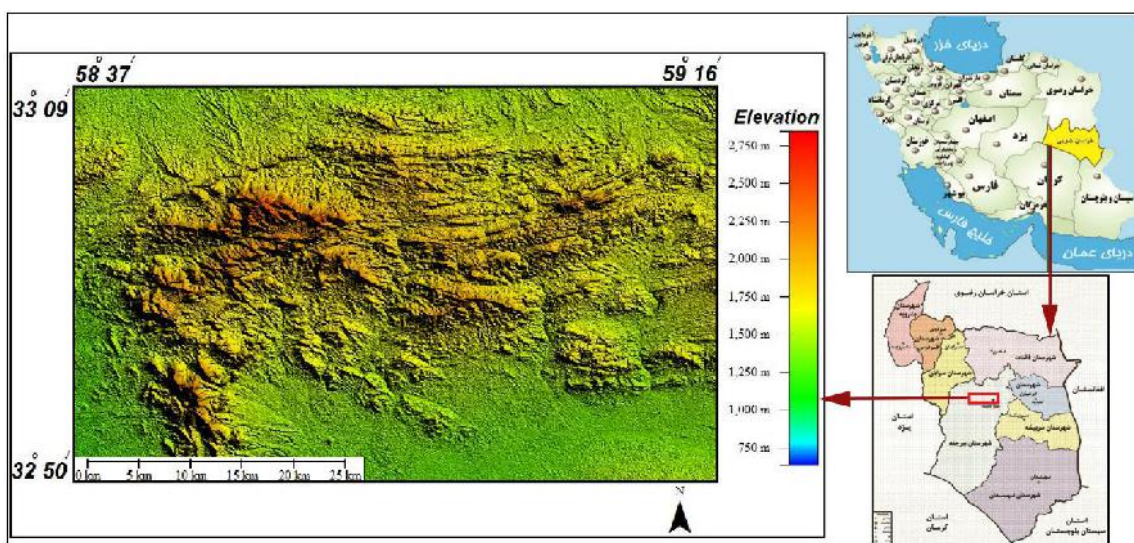
۶. Masini

۷. Marko &amp; Yoshinobu

۸. Jourdon

۹. Watkins

عرضی موازنه شده‌ی زمین‌شناسی در امتداد پروفیل پنکک در اوکراین استفاده گردید (ناکاپلوخ<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۷). هندسه‌ی ساختاری در کمرندهای چین-تراست با استفاده از مقطع عرضی تفسیر شد (باتلر<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۸). از مقطع عرضی برای بررسی دلایل انتشار کمرندهای چین و گسلی بر روی پی‌سنگ‌های گرابنی استفاده گردید (کائر<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۸). نتایج این پژوهش گام موثری در حل پیچیدگی‌های ساختارهای زمین‌ساختی در طول کوهزاد می‌باشد و بینشی جدید از تاریخچه‌ی تکامل ساختاری در روند E-W کوهستان ارائه خواهد نمود.



شکل ۱. موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه در شرق ایران و در قسمت شمالی بیرجند.

### موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه

کوه‌های شکراب در استان خراسان جنوبی و قسمت شمالی شهرستان بیرجند قرار دارد. منطقه‌ی مورد مطالعه دارای طول جغرافیایی ۳۷° ۵۸' تا ۱۶° ۵۹' و عرض جغرافیایی ۵۰° ۳۳' تا ۰۹° ۳۳' می‌باشد. کوه‌های شکراب یکی از سرشاخه‌های انتهایی گسل نهپندان می‌باشد که در شمال بیرجند قرار دارد (شکل ۱). در ایالت ساختاری سیستان هر چه به روند شمالی-جنوبی نزدیک‌تر می‌شویم جابجایی راستگرد بیشتری دیده می‌شود و هر چه حرکت برشی بیشتر باشد چرخش نیز بیشتر خواهد بود (نوگل سادات<sup>۴</sup>، ۱۹۸۵: ۱۱۲). عملکرد همگرایی مایل بخش‌های مرکز ایران نسبت به بلوک افغان به سوی شمال خاور به فعالیت پهنه‌های برشی راستگرد با راستای غالب شمالی-جنوبی منجر شده است (ورنانت<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۴: ۳۹۱، واکر و جکسون<sup>۶</sup>، ۲۰۰۲: ۱۶۸۵). بنابراین در شرق ایران و به ویژه در زمین درز سیستان، گسل‌ها از ساختارهای اصلی کنترل‌کننده‌ی هندسه و کینماتیک ساختاری در

۱ . Nakapelukh

۲ . Butler

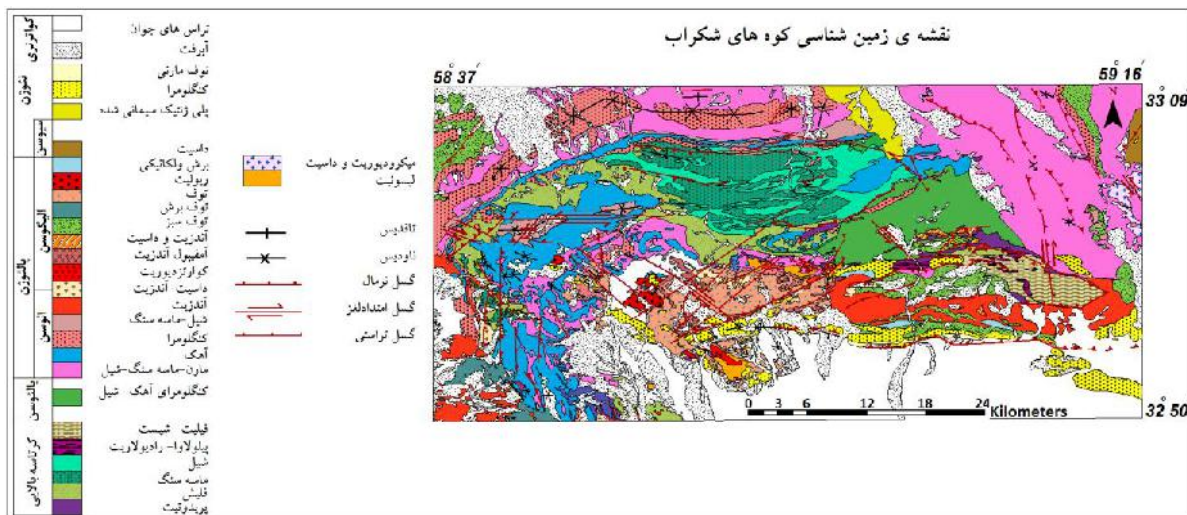
۳ . Caer

۴ . Nogole-Sadate

۵ . Vernant

۶ . Walker and Jackson

کوهزادها به شمار می‌آیند (واکر و جکسون<sup>۱</sup>، ۲۰۰۴: ۱۸). در ایالت ساختاری سیستان در بخش‌های مختلفی چین‌ها شکل گرفته‌اند که از نظر آماری بیشترین درصد چین‌های موجود در این ایالت در واحدهای فلیشی-آذرآوری به وجود آمده‌اند. راستای عمومی محور چین‌ها شمال غرب- جنوب شرق می‌باشد ولی به صورت منطقه‌ای محور چین‌های موجود در فلیش‌های کرتاسه و اتوسن در جهات مختلف دیده می‌شوند با توجه به خمیده بودن محور چین‌ها به احتمال خیلی زیاد در یک سیستم برشی راستگرد دگرشکلی حاصل نموده‌اند (رشیدی و همکاران، ۱۳۹۱: ۴۰). مهم‌ترین مجموعه‌های سنگ-شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه شامل پریدوتیت، فلیش، توف، آهک، آندزیت، شیل و کنگلومرا می‌باشد (شکل ۲).



شکل ۲. نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه برگرفته از (اوهانیان و طاوسیان ۱۳۶۶، وحدتی دانشمند و خلقی ۱۳۶۵ و روشن‌روان و همکاران ۱۳۸۶) با کمی تغییرات.

### روش تحقیق

در این پژوهش برای بررسی تاثیر گسل‌ها بر روی ریخت‌زمین ساخت منطقه ابتدا با استفاده از عملیات صحرایی گسل‌های منطقه شناسایی شد و مشخصات مربوط به هر گسل برداشت گردید. گسل‌ها از مهم‌ترین ساختارهای موجود در منطقه‌ی مورد مطالعه هستند. پس از اتمام عملیات صحرایی مشخصات مربوط به گسل‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای Fault Kin تحلیل شد و سپس نقشه‌ی ساختاری گسل‌های منطقه‌ی مورد مطالعه تهیه گردید. اندازه‌گیری گسل‌ها و چین‌های منطقه در چندین ایستگاه صورت پذیرفت که در نهایت با به دست آوردن موقعیت محور و سطح محوری چین‌ها و امتداد و شیب گسل‌ها این اشکال ساختاری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در این پژوهش برای ترسیم مقاطع عرضی از داده‌های گردآوری شده در عملیات صحرایی و DEM منطقه استفاده شد، و سپس داده‌های مربوط به گسل‌های منطقه بر روی مقاطع عرضی ترسیم شد. مقاطع عرضی عمود بر ساختارهای منطقه (گسل‌های طولی و عرضی) رسم گردید. همچنین برای بررسی ریخت‌زمین ساخت منطقه‌ی مورد مطالعه شاخص ژئومورفیک طول-شیب رودخانه (SL) محاسبه شد.

۱ . Walker and Jackson

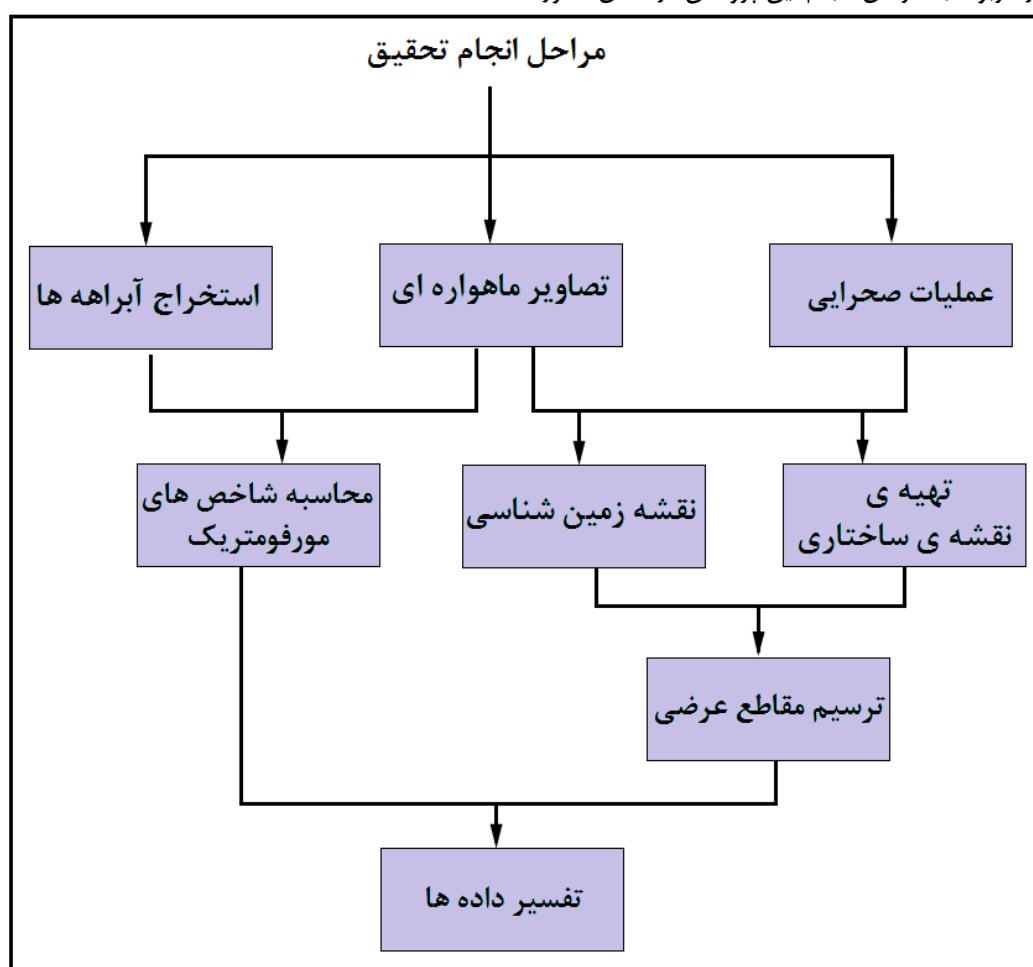
شاخص طول - شیب رودخانه (SL):

$$SL = (\Delta H / \Delta L) L \quad (1)$$

$\Delta H / \Delta L$  شیب محلی رودخانه بین دو خط کانتوری خاص است ( $\Delta H$  تغییرات ارتفاع بین دو نقطه‌ی اندازه‌گیری شده و  $\Delta L$  تغییرات طول بین دو نقطه‌ی اندازه‌گیری شده) و  $L$  طول کل کانال رودخانه از نقطه‌ای که در آن شاخص محاسبه می‌شود به سمت بالا رود تا مرتفع‌ترین نقطه کانال است (کلر و پینتر<sup>۱</sup>، ۲۰۰۲: ۱۲۹). شاخص  $SL$  بر اساس روش (الهمدونی<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۸) به سه دسته رده بندی شده است:

رده ۱ ( $SL \geq 500$ )، رده ۲ ( $300 \leq SL < 500$ )، رده ۳ ( $SL < 300$ )

نمودار مربوط به مراحل انجام این پژوهش در شکل ۳ آورده شده است.



شکل ۳. نمودار مربوط به مراحل انجام تحقیق.

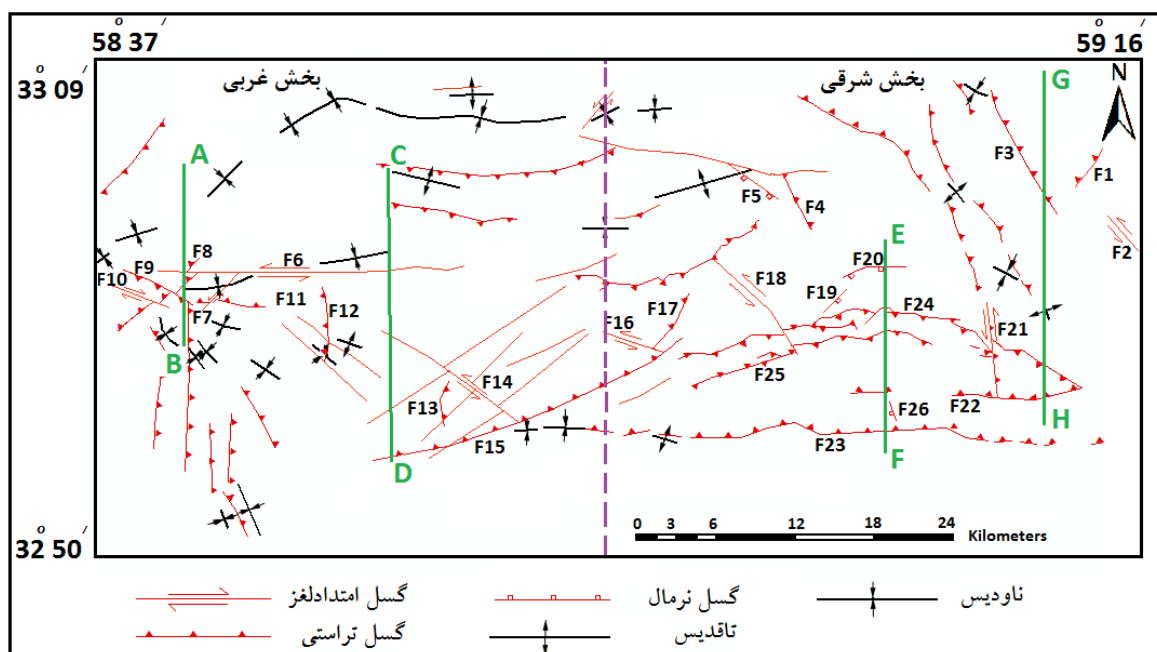
### بحث و یافته‌ها

گسل‌ها از مهم‌ترین ساختارهای موجود در منطقه‌ی مورد مطالعه هستند. بر اساس استریوگرام‌های ترسیم شده ساز و کار غالب گسل‌های منطقه معکوس با مولفه‌ی امتدادلغز می‌باشد (اشکال ۴، ۵ و جدول ۱)، که نشان‌دهنده‌ی غلبه‌ی

۱ . Keller and Pinter



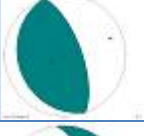






۲ . El Hamdouni



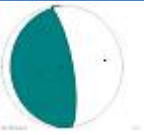




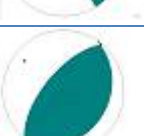



تنش‌های فشارشی در منطقه است. عملکرد راندگی گسل‌های منطقه باعث ایجاد چین‌ها گردیده است. در این پژوهش عناصر ساختاری منطقه شامل گسل‌ها و چین‌ها مورد بررسی قرار گرفت، در شکل ۶ تصویر صحرایی مربوط به چند نمونه از گسل‌های برداشت گردیده در عملیات صحرایی آورده شده است. منطقه‌ی مورد مطالعه بر اساس روند و سازوکار گسل‌ها به دو بخش شرقی و غربی تقسیم شد که در بخش شرقی گسل‌های با روند شمال غرب- جنوب شرق و شرقی- غربی غالب هستند ولی در بخش غربی اغلب گسل‌های با روند شمال شرق- جنوب غرب و شمالی- جنوبی غالب هستند. در این پژوهش برای بررسی تاثیر گسل‌ها بر تکامل ریخت‌زمین ساختی منطقه و تفکیک مناطق با فعالیت تکتونیکی متفاوت چهار مقطع عمود بر گسل‌های منطقه رسم شد. در مقاطع مذکور هر چه از شمال به سمت جنوب حرکت می‌کنیم واحدهای قدیمی بر روی واحدهای جوان‌تر رانده شده‌اند. شمالی‌ترین گسل‌ها در واحدهای قدیمی‌تر قرار دارند و جدیدترین آن‌ها اغلب در مخروط افکنه‌های جوان قرار دارد. در این مقاطع واحدهای کم مقاوم‌تر از جمله شیل و مارن در قسمت‌های جنوبی‌تر مقاطع عرضی ترسیم شده قرار دارند و واحدهای مقاوم‌تر مثل آهک و ماسه‌سنگ در سمت شمالی مقاطع قرار دارند. با توجه به اینکه در مقاطع مختلف با حرکت از سمت شمال به سمت جنوب شاهد تغییر در شیب گسل‌ها از شمال به سمت جنوب می‌باشیم و از آنجایی که در مقطع CD واقع در قسمت غربی منطقه‌ی مورد مطالعه شاهد بیشترین کاهش شیب در گسل‌ها از شمال به جنوب هستیم بنابراین مقطع CD را به عنوان فعال‌ترین مقطع در نظر گرفت (شکل ۷)، تصویر صحرایی از یکی از چین‌های واقع در قسمت غربی کوه‌های شکراب در شکل ۸ آورده شده است. ترسیم مقاطع عرضی نشان می‌دهد که در قسمت شرقی کوه‌های شکراب شاهد تغییر شیب قابل توجهی در جهت شمالی- جنوبی مقاطع رسم شده نمی‌باشیم (شکل ۹).







شکل ۴. موقعیت مقاطع عرضی ترسیم شده بر روی نقشه‌ی ساختاری مربوط به گسل‌های برداشت شده از عملیات صحرایی در کوه‌های شکراب.

جدول ۱. موقعیت هندسی جنبشی مربوط به گسل‌های برداشت شده در عملیات صحرایی.

شماره گسل	موقعیت هندسی	موقعیت خطواره	نوع گسل	مکانیسم کانونی گسل	محل گسل	طول و عرض جغرافیایی
F1	N 45, 72 NW	N 225. 72	معکوس با مولفه‌ی امتدادلغز راستگرد		قسمت شرقی	33° 05' 47.58" N 59° 16' 23.70" E
F2	N 125, 55 NE	N 305. 0	امتدادلغز چپگرد		قسمت شرقی	33° 02' 30.06" N 59° 17' 55. 98" E
F3	N 340, 67 NE	N 70. 67	معکوس		قسمت شرقی	33° 04' 19.20" N 59° 14' 47.10" E
F4	N 353, 54 NE	N 129. 43	معکوس با مولفه‌ی امتدادلغز چپگرد		قسمت شرقی	33° 03' 52.02" N 59° 4' 40. 56" E
F5	N 165, 70 SW	N 227. 67	نرمال با مولفه‌ی امتدادلغز چپگرد		قسمت شرقی	33° 04' 30.36" N 59° 04' 17.64" E
F6	N 85, 65 SE	N 256. 18	امتدادلغز چپگرد با مولفه‌ی معکوس		قسمت غربی	33° 02' 30.05" N 59° 02' 53. 92" E
F7	N 210, 85 NW	N 25. 39	معکوس با مولفه‌ی امتدادلغز چپگرد		قسمت غربی	33° 01' 38.34" N 58° 41' 19.44" E
F8	N 230, 30 NW	N 290. 25	معکوس با مولفه‌ی امتدادلغز راستگرد		قسمت غربی	33° 01' 25.62" N 58° 42' 42.90" E
F9	N 130, 70 SW	N 192. 67	معکوس با مولفه‌ی		قسمت غربی	33° 01' 16.56" N 58° 41' 07.92" E

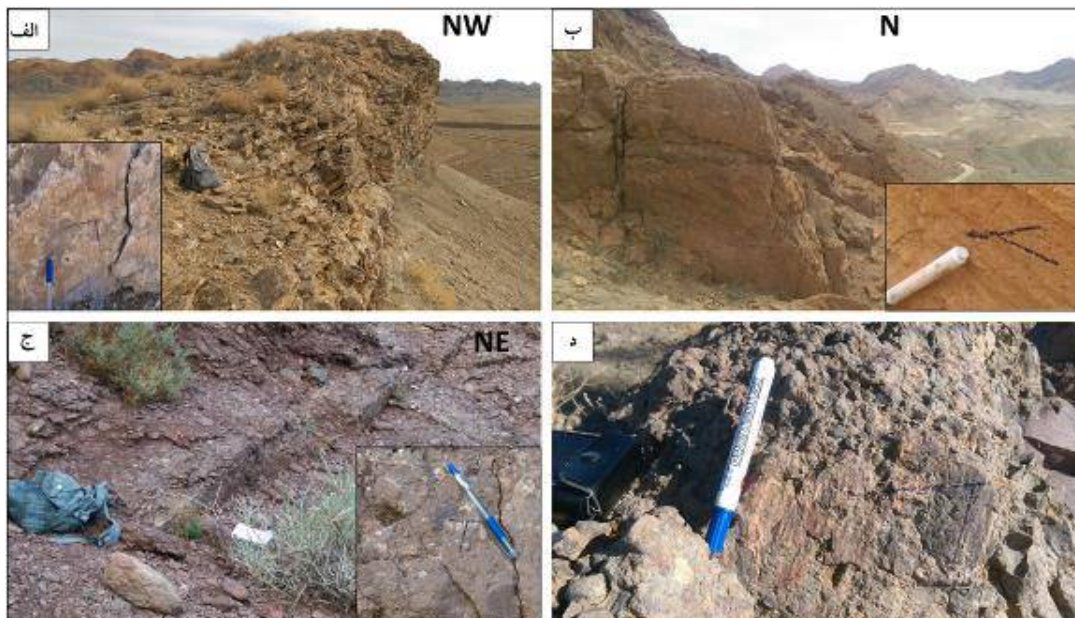
			امتدادلغز راستگرد			
33° 01' 19.14" N 58° 39' 51.24" E	قسمت غربی		امتدادلغز راستگرد با مولفه‌ی معکوس	N 136. 37	N 120, 70 SW	F10
33° 01' 19.32" N 58° 39' 21.06" E	قسمت غربی		معکوس با مولفه‌ی امتدادلغز چپگرد	N 59. 47	N 290, 55 NE	F11
33° 00' 44.22" N 58° 42' 46.98" E	قسمت غربی		معکوس با مولفه‌ی امتدادلغز راستگرد	N 250. 15	N 180, 15 W	F12
32° 59' 15. 24" N 58° 46' 46.98" E	قسمت غربی		معکوس با مولفه‌ی امتدادلغز چپگرد	N 148. 50	N 355, 70 NE	F13
32° 55' 49.14" N 58° 51' 22. 98" E	قسمت غربی		امتدادلغز چپگرد با مولفه‌ی معکوس	N 103. 15	N 310, 32 NE	F14
32° 56' 17.28" N 58° 51' 08. 46" E	قسمت غربی		معکوس با مولفه‌ی امتدادلغز چپگرد	N 258. 39	N 70, 80 NW	F15
32° 58' 17.28" N 58° 51' 08. 46" E	قسمت شرقی		امتدادلغز چپگرد با مولفه‌ی معکوس	N 63. 33	N 238, 50 NE	F16
32° 56' 37.20" N 58° 51' 34.74" E	قسمت شرقی		معکوس با مولفه‌ی امتدادلغز چپگرد	N 223. 64	N 35, 65 NW	F17
32° 54' 12.12" N 58° 52' 29.40" E	قسمت شرقی		امتدادلغز راستگرد با مولفه‌ی معکوس	N 330. 25	N 165, 80 SW	F18
32° 58' 19.62" N 58° 59' 32.04" E	قسمت شرقی		نرمال با مولفه- ی امتدادلغز چپگرد	N 108. 79	N 30, 80 SE	F19
32° 58' 45.66" N 58° 59' 24.30" E	قسمت شرقی		نرمال با مولفه- ی امتدادلغز چپگرد	N 90. 70	N 90, 90 S	F20



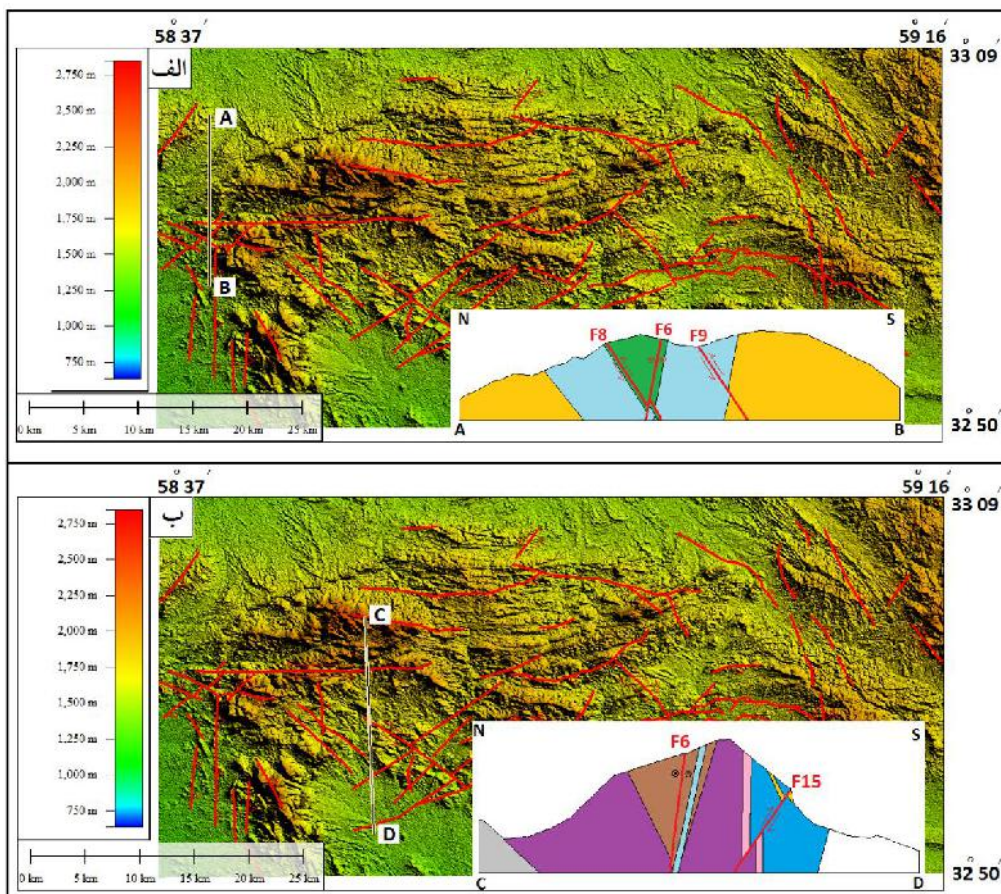
33° 00' 04.80" N 59° 00' 00.18" E	قسمت شرقی		معکوس با مولفه‌ی امتداد لغز چپگرد	N 142, 45	N 349, 50 NE	F21
32° 58' 52.32" N 59° 04' 41.04" E	قسمت شرقی		معکوس با مولفه‌ی امتداد لغز چپگرد	N 75, 40	N 90, 70 N	F22
33° 05' 47.58" N 59° 16' 23.70" E	قسمت شرقی		معکوس با مولفه‌ی امتداد لغز چپگرد	N 36, 55	N 80, 65 NW	F23
33° 02' 30.06" N 59° 17' 55.98" E	قسمت شرقی		معکوس با مولفه‌ی امتداد لغز چپگرد	N 150, 45	N 90, 50 S	F24
33° 04' 19.20" N 59° 14' 47.10" E	قسمت شرقی		معکوس با مولفه‌ی امتداد لغز راستگرد	N 80, 40	N 40, 50 SE	F25
33° 03' 52.02" N 59° 4' 40.56" E	قسمت شرقی		نرمال با مولفه‌ی امتداد لغز راستگرد	N 272, 85	N 165, 75 SW	F26



شکل ۵. تصویر صحرایی از گسل‌های برداشت شده در عملیات صحرایی، الف) گسل F15 از نوع معکوس با مولفه‌ی امتداد لغز چپگرد، ب) گسل F13 از نوع معکوس با مولفه‌ی امتداد لغز چپگرد.



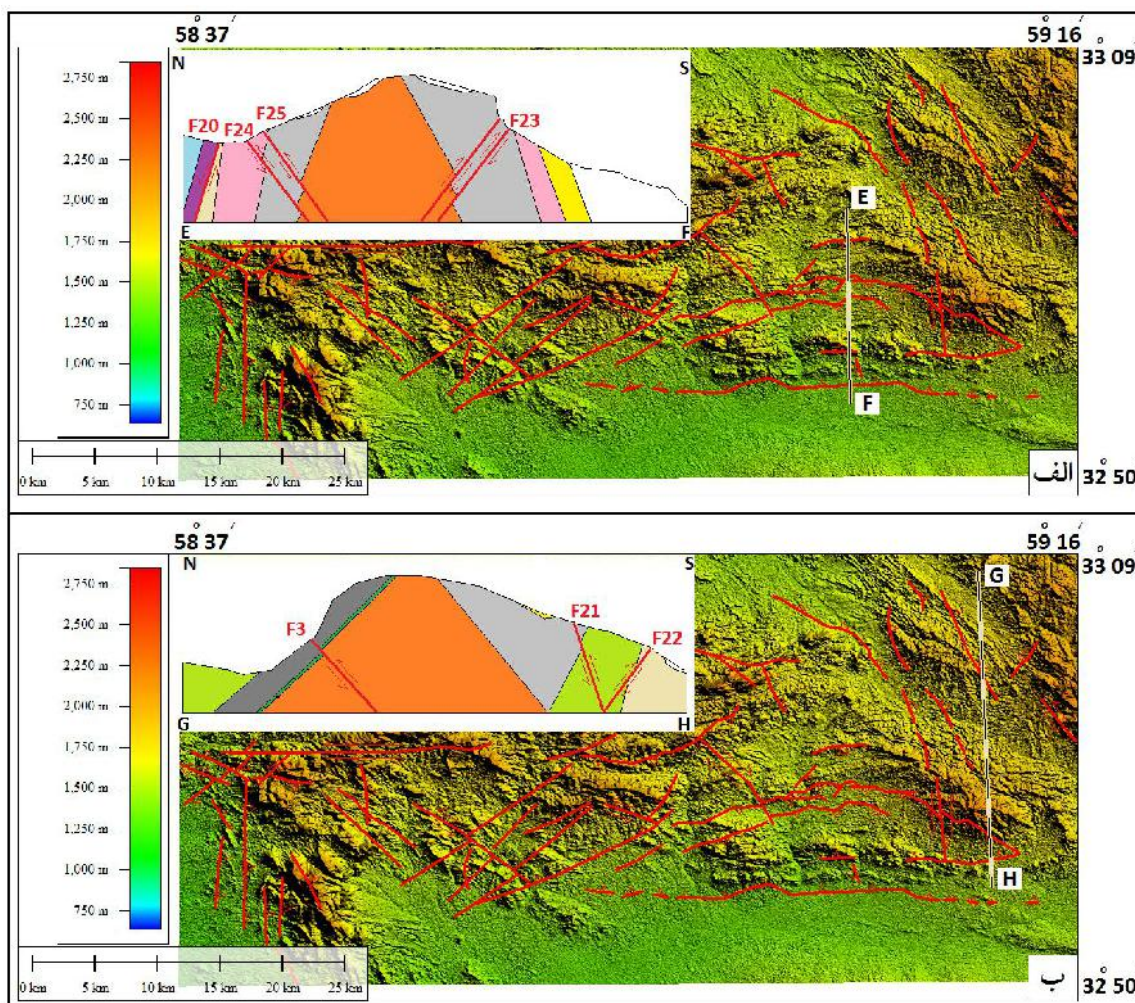
شکل ۶. تصویر صحرایی از گسل‌های برداشت شده در عملیات صحرایی، تصویر صحرایی از گسل‌های برداشت شده در عملیات صحرایی، الف) گسل F17 از نوع معکوس با مولفه‌ی امتداد لغز چپگرد، ب) گسل F6 از نوع امتداد لغز چپگرد با مولفه‌ی معکوس، ج) گسل F9 از نوع معکوس با مولفه‌ی امتداد لغز راستگرد، د) گسل F20 از نوع نرمال با مولفه‌ی امتداد لغز چپگرد.



شکل ۷. موقعیت مقطع عرضی بر روی DEM منطقه و مقطع عرضی ترسیم شده، الف) مقطع عرضی مربوط به سگشن AB در قسمت غربی کوه‌های شکراب، ب) مقطع عرضی مربوط به سگشن CD در قسمت غربی کوه‌های شکراب.

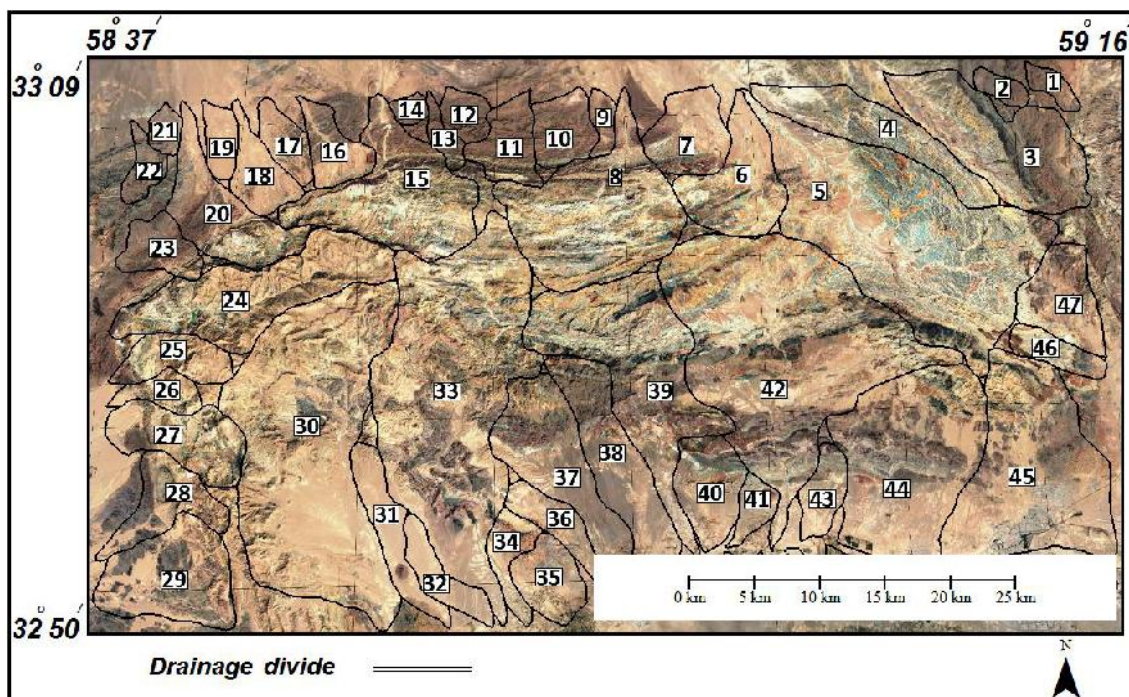


شکل ۸. نمای صحرائی از چین واقع در قسمت غربی کوه‌های شکراب.



شکل ۹. موقعیت مقطع عرضی بر روی DEM منطقه و مقطع عرضی ترسیم شده. الف) مقطع عرضی مربوط به سگشن EF در قسمت شرقی کوه‌های شکراب، ب) مقطع عرضی مربوط به سگشن GH در قسمت شرقی کوه‌های شکراب.

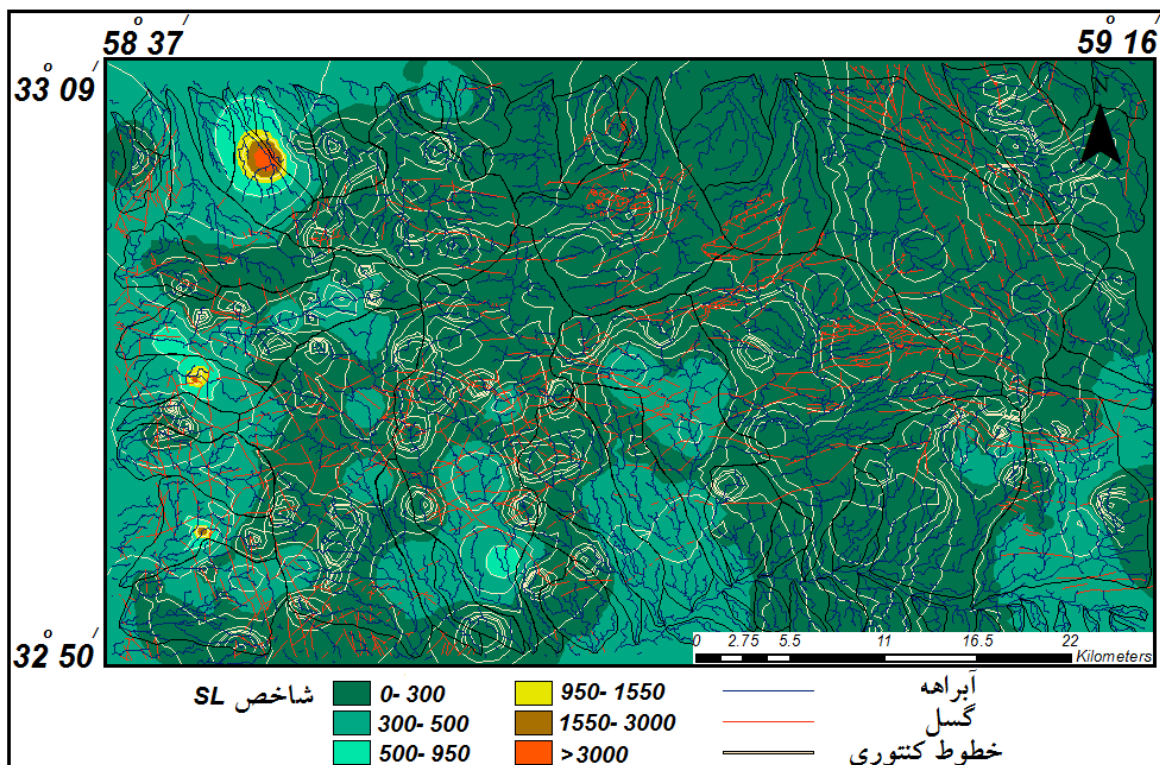
در این پژوهش برای مشخص کردن مناطق دارای بیشترین فعالیت تکتونیکی اخیر شاخص ژئومورفیک طول-شیب رودخانه (SL) محاسبه شد. برای محاسبه‌ی شاخص SL ابتدا منطقه‌ی مورد مطالعه بر اساس رده‌ی بندی آبراهه‌ها حوضه بندی شد که منطقه‌ی مورد مطالعه دارای ۴۷ زیر حوضه است (شکل ۱۰).



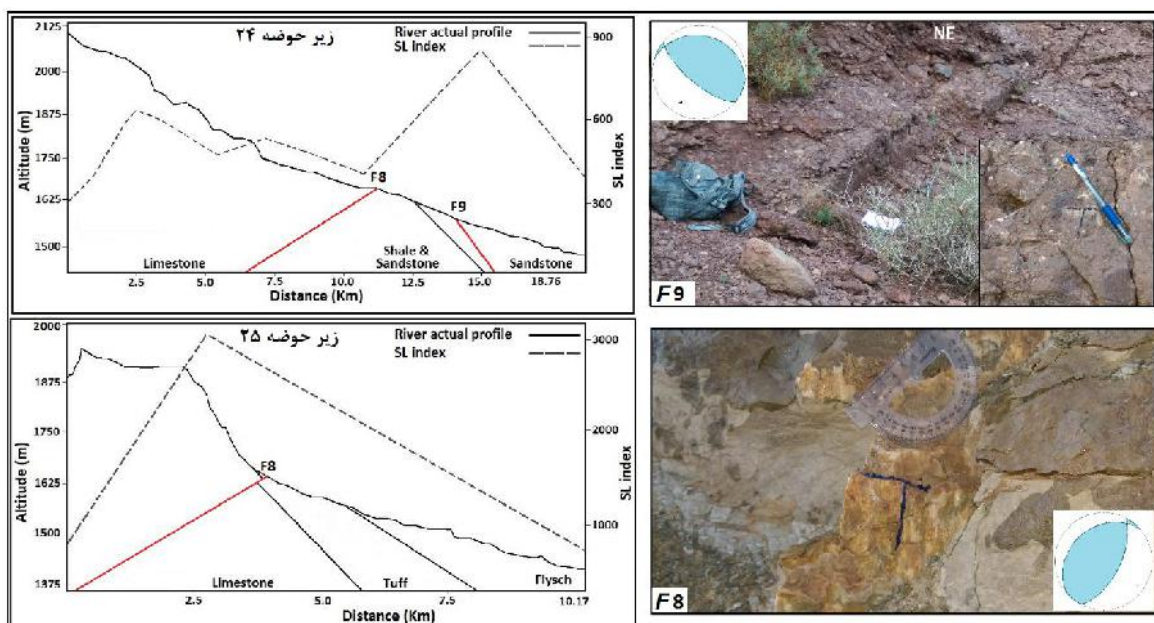
شکل ۱۰. موقعیت حوضه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه بر روی تصویر ماهواره‌ای.

محاسبه‌ی شاخص طول-شیب رودخانه (SL) در منطقه‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد که بیشترین مقدار شاخص SL مربوط به قسمت غربی کوه‌های شکراب است (شکل ۱۱). افزایش شاخص SL نشان دهنده‌ی فعالیت تکتونیکی اخیر در یک منطقه می‌باشد (کلر و پینتر<sup>۱</sup>، ۲۰۰۲: ۱۲۹)، بنابراین افزایش شاخص SL در قسمت غربی کوه‌های شکراب نشان می‌دهد که قسمت غربی اخیرا فعال بوده است. عملکرد گسل F9 که از نوع معکوس با مولفه‌ی راستگرد می‌باشد موجب افزایش ناگهانی شاخص SL در زیر حوضه‌ی شماره‌ی ۲۴ شده است و همچنین عملکرد گسل F8 که از معکوس با مولفه‌ی امتداد لغز راستگرد است باعث افزایش یکباره‌ی شاخص SL در زیر حوضه‌ی شماره‌ی ۲۵ شده است (شکل ۱۲). افزایش شاخص SL در زیر حوضه‌های ۲۴، ۲۵ به دلیل عملکرد مولفه‌ی عمودی گسل‌های F8، F9 می‌باشد که باعث اختلاف ارتفاع ناگهانی و افزایش یکباره‌ی شاخص SL در این زیر حوضه‌ها گردیده است. همان گونه که در شکل ۱۳ نشان داده شده است بیشترین ارتفاع تراس‌های آبرفتی و دره‌های V شکل مربوط به بخش غربی منطقه‌ی مورد مطالعه است که نشان دهنده‌ی بیشترین فعالیت تکتونیکی در قسمت غربی است.

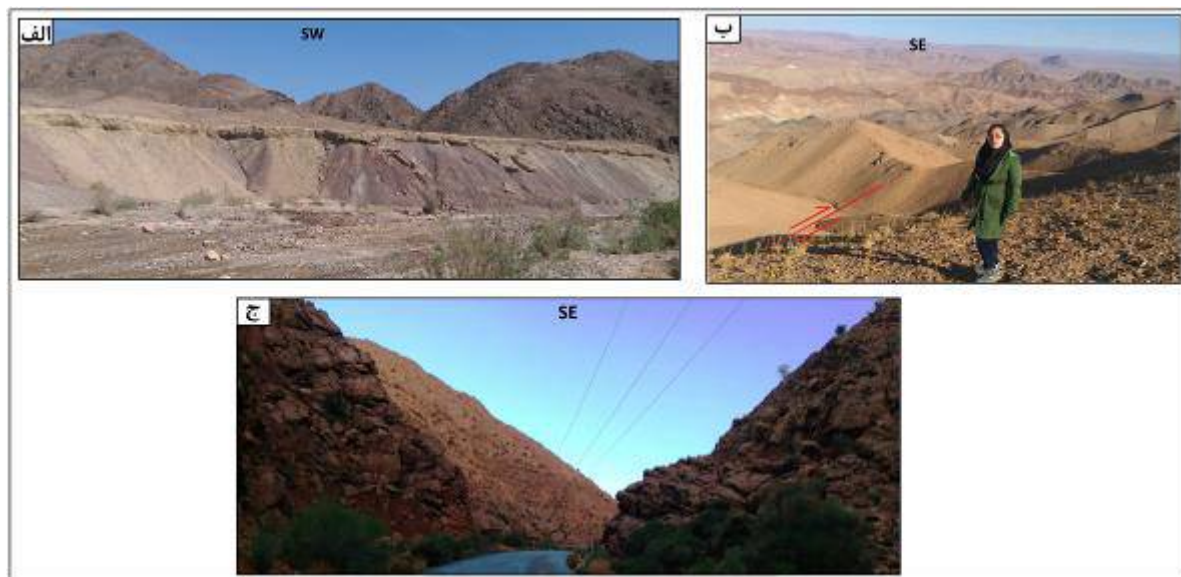
<sup>۱</sup>. Keller and Pinter



شکل ۱۱. نقشه‌ی کانتوری مربوط به پراکندگی میزان شاخص طول- شیب رودخانه (SL) در کوه‌های شکراب.



شکل ۱۲. نمایش نیمرخ طولی همراه با شاخص SL و گسل‌های مسبب افزایش شاخص SL در حوضه‌هایی که شاخص SL افزایش یافته است.



شکل ۱۳. پدیده‌های ریخت‌زمین ساختی منطقه‌ی مورد مطالعه، الف) تراس آبرفتی مربوط به حوضه‌ی شماره‌ی ۳۳، ب) انحراف آبراهه توسط گسل امتدادلغز چیگرد در حوضه‌ی شماره‌ی ۴۴، ج) دره‌ی V شکل مربوط به حوضه‌ی شماره‌ی ۲۴.

### نتیجه گیری

در این پژوهش برای شناسایی مناطق فعال تکتونیکی از عملیات صحرایی و ترسیم مقاطع عرضی استفاده گردید. منطقه‌ی مورد مطالعه بر اساس روند و سازوکار گسل‌ها به دو بخش شرقی و غربی تقسیم شد، برای بررسی تاثیر گسل‌ها بر تشکیل چین‌های منطقه‌ی مورد مطالعه چهار مقطع عرضی زمین‌شناسی عمود بر کمربندهای چین و رانده ترسیم گردید. ترسیم مقاطع عرضی در قسمت شرقی و غربی منطقه‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد که در مقطع CD واقع در قسمت غربی منطقه‌ی مورد مطالعه بیشترین تغییرات شیب وجود دارد و بنابراین فعال‌ترین مقطع عرضی مقطع CD می‌باشد. شمالی‌ترین گسل‌ها در واحدهای قدیمی‌تر قرار دارند و جدیدترین آن‌ها اغلب در مخروط افکنه‌های جوان قرار دارد. در این مقاطع واحدهای کم مقاوم‌تر از جمله شیل و مارن در قسمت‌های جنوبی‌تر مقاطع عرضی ترسیم شده قرار دارند و واحدهای مقاوم‌تر مثل آهک و ماسه‌سنگ در سمت شمالی مقاطع قرار دارند. محاسبه‌ی شاخص SL در منطقه‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد که بیشترین مقدار شاخص SL مربوط به حوضه‌های غربی منطقه‌ی مورد مطالعه است. تحلیل ساختاری گسل‌های واقع در کوه‌های شمال بیرجند نشان می‌دهند که بیشترین تراکم گسل‌های راندگی مربوط به بخش غربی کوه‌های شکراب است و در مناطقی از منطقه‌ی مورد مطالعه که بیشترین تراکم گسل‌های راندگی وجود دارد فعالیت تکتونیکی نیز افزایش یافته است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهند که با حرکت در روند E-W کوهستان شاهد بیشترین فعالیت تکتونیکی در قسمت غربی کوه‌های شکراب هستیم و مستعدترین منطقه برای فعالیت‌های تکتونیکی بعدی قسمت غربی است.

### منابع

- اوهانیان، ترگم؛ طاوسیان، شاهین و افتخارنژاد، جمشید، ۱۳۶۶، نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ بیرجند، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- برزگر، فرخ، ۱۳۵۷، تفسیر شکستگی‌های پوسته در ایران به کمک تصاویر ماهواره‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته زمین‌شناسی، دانشگاه تهران.

- خطیب، محمد مهدی و نوگل سادات، علی اکبر، ۱۳۷۷، هندسه پایانه گسل‌های امتدادلغز. پایان‌نامه دکتری، رشته زمین‌شناسی، دانشگاه شهید بهشتی.
- رشیدی، احمد؛ خطیب، محمد مهدی؛ هیهات، محمود رضا، ۱۳۹۱، سازوکار تشکیل دویشته کوه کمرحاجی در شمال باختر بیرجند، فصل‌نامه زمین‌شناسی ایران، سال ششم، شماره ۲۲، صص. ۳۵-۴۹.
- روشن‌روان، جمال؛ شجاعی کاوه، نسترن و بهره‌مند، مریم، ۱۳۸۶، نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ موسویه. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- سلیمانی، شهریار، ۱۳۷۸، رهنمودهایی در شناسایی حرکات تکتونیک فعال و جوان با نگرشی بر مقدمات دیرینه لرزه‌شناسی. چاپ اول، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران.
- مدنی، حسن، ۱۳۸۰، زمین‌شناسی ساختمانی و تکتونیک. چاپ هفتم، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.
- وحدتی‌دانشمند، فرهاد و خلقی، محمد حسین، ۱۳۶۵، نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ خوسف. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
  - Butler, R.W.H. Bond, C.E. Cooper, M.A. and Watkins, H., 2018. Interpreting structural geometry in fold-thrust belts: Why style matters. *Journal of Structural Geology*.
  - Caer, T. Souloumiac, P. Maillot, B. Leturmy, P. and Nussbaum, C., 2018. Propagation of a fold-and-thrust belt over a basement graben. *Journal of Structural Geology*.
  - 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*, 969, pp. 150-173.
  - Ioannis, M.T. Ioannis, K.K. and Pavlides, S., 2006. Tectonic geomorphology of the easternmost extension of the Gulf Corinth (Beotia, central Greece). *Tectonophysics*, 1453, pp. 211-232.
  - Jourdon, A. Rolland, Y. Petit, C. and Bellahsen, N., 2014. Style of Alpine tectonic deformation in the Castellane fold-and-thrust belt (SW Alps, France): Insights from balanced cross-sections. *Tectonophysics*, 633, pp. 143-155.
  - Keller, E.A. and Pinter N., 2002. Active tectonic, Earthquakes, Uplift and Landscape. Prentice Hall.
  - Masini, M. Bulnes, M. and Poblet, J., 2010. Cross-section restoration: A tool to simulate deformation. Application to a fault-propagation fold from the Cantabrian fold and thrust belt, NW Iberian Peninsula. *Journal of Structural Geology*, 32, pp. 172-183.
  - Marko, W.T. and Yoshinobu, A.T., 2011. Using restored cross sections to evaluate magma emplacement, White Horse Mountains, Eastern Nevada, U.S.A. *Tectonophysics*, No. 500, pp. 98-111.
  - Mukhopadhyay, D.K. and Mishra, M., 2005. A balanced cross section across the Himalayan frontal fold-thrust belt, Subathu area, Himachal Pradesh, India: thrust sequence, structural evolution and shortening. *Journal of Asian Earth Sciences*, 25, pp. 735-746.
  - Nakapelukh, M. Bubniak, I. Yegorova, T. Murovskaya, A. Gintov, O. Shlapinskyi, V. and Vikhot, Yu., 2017. Balanced geological cross-section of the outer Ukrainian Carpathians along the pancake profile. *Journal of Geodynamics*.

- Nogole-Sadate, M.A.A., 1978. Les zones de décrochements et les vibrations structurales en Iran, Consequences des resultants de l analyse Structural de la region du Qom. Unpublished PhD thesis, France, p. 201.
- Nogole-Sadate M.A.A., 1985. Les zones de décrochements et les vibrations structurales en Iran. Consequences des resultants de l analyse Structural de la region de Qom, Translated in Persian. Geol. Surv. Iran. Rep, NO .55.
- Sharma, Gopal. P.K, Champati ray, and S. Mohanty., 2018. Morphotectonic analysis and GNSS observations for assessment of relative tectonic activity in Alaknanda basin of Garhwal Himalaya, India. *Geomorphology* 301, pp. 108–120.
- Vernant P., Nilforoushan F., Hatzfeld D., Abbassi M.R., Vigny C., Masson F., Nankali H., Martinod J., Ashtiani A., Bayer R., Tavakolim F., and Chéry J., 2004. Present-day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman. *Geophysical Journal International*, 157, pp. 381–398.
- Walker R., and Jackson J., 2002. Offset and evolution of the Gowk fault, SE Iran: a major intra- continental strike- slip system. *Journal of Structural Geology*, 24, pp. 1677-1698.
- Walker R., and Jackson J., 2004. Active tectonics and late cenozoic strain distribution in central and eastern Iran. *Tectonics*, 23, pp. 1-24.
- Watkins H., Butler R.W.H., and Bond C.E., 2017. Using laterally compatible cross sections to infer fault growth and linkage models in foreland thrust belts. *Journal of Structural Geology*.