

تحلیل ریخت‌زمین‌ساختی ساختارهای چین‌خورده منطقه آوج (شمال‌باختر ایران)

امیرحسین صدر^{۱*}، رضا علی‌پور^۱ و سحر قمریان^۱

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان

نویسنده مسئول: Sadr_struct@yahoo.com *

دریافت: ۹۳/۱۱/۲۶ پذیرش: ۹۴/۳/۱۸

چکیده

در این پژوهش نقش ساختارهای چین‌خورده بر ریخت‌زمین‌ساخت منطقه آوج، براساس بررسی‌های مورفولوژی رودخانه‌ها و شاخص ریخت‌سنجی گرادیان - طول رودخانه (SL) مورد ارزیابی قرار گرفته است. منطقه مورد مطالعه در مرز پهنه‌های ساختاری ایران مرکزی و پهنه سنندج - سیرجان، در شمال باختر ایران واقع شده است. مهم‌ترین ساختارهای چین‌خورده در منطقه تاقدیس‌های آران و چاروق دره و ناودیس کارخانه با روند کلی شمال‌باختری - جنوب‌خاوری می‌باشند. گسترش جانبی این ساختارهای چین‌خورده باعث شده است که آبراهه‌ها در مسیر خود دچار انحراف شده و به سمت میل (دماغه) چین همگرا شوند و همچنین گسترش جانبی این چین‌ها در منطقه سبب ایجاد آنومالی‌هایی در میزان شاخص SL در محل عبور آبراهه‌ها از ساختارهای چین‌خورده گردیده است. نتایج حاصل از شواهد ریخت‌زمین‌ساختی و شاخص گرادیان - طول رودخانه در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که مورفولوژی آبراهه‌ها و روند آن‌ها از نیروهای فعال زمین‌ساختی تأثیر پذیرفته‌اند، که این حاکی از فعال بودن منطقه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آوج، ساختارهای چین‌خورده، ریخت‌زمین‌ساخت، شاخص ریخت‌سنجی، زمین‌ساخت فعال.

مقدمه

جنوب‌باختر استان قزوین و در مرز دو پهنه ساختاری ایران مرکزی و سنندج - سیرجان واقع شده است (شکل ۱). هدف از این مطالعه تحلیل ریخت‌زمین‌ساختی ساختارهای چین‌خورده منطقه آوج، با استفاده از تغییرات مورفولوژی آبراهه‌ها و شاخص ریخت‌سنجی گرادیان - طول رودخانه (SL) می‌باشد.

جایگاه ساختاری منطقه مورد مطالعه

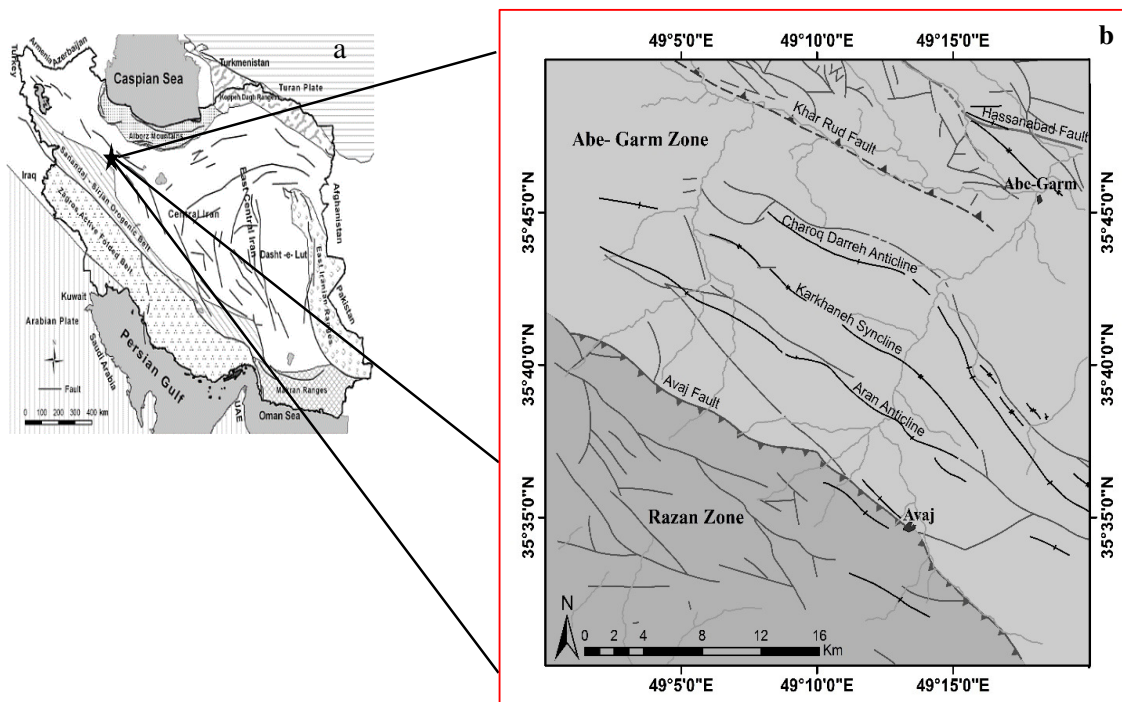
منطقه مورد مطالعه در مرز دو پهنه ایران مرکزی و پهنه سنندج - سیرجان قرار گرفته است و از نظر ساختاری و چینه‌شناسی می‌توان آن را به دو پهنه تقسیم نمود که توسط گسل آوج با روند شمال‌باختری - جنوب‌خاوری از هم جدا شده‌اند [۲] (شکل ۱). محدوده مورد مطالعه در بخشی از پهنه آبگرم و بخشی از شمال‌خاور پهنه رزن قرار دارد و مشخصات این پهنه‌ها بدین صورت است که پهنه آبگرم مربوط به پهنه ایران مرکزی و در بخش جنوبی رشته کوه البرز واقع شده است و در این پهنه توالی نسبتاً کاملی از کامبرین (سازند سلطانیه) تا نهشته‌های عهد حاضر رخنمون دارد. روند این پهنه تقریباً شمال‌باختری -

تحلیل و بررسی ریخت‌زمین‌ساخت در یک منطقه بر پایه برداشت‌های صحرایی و مطالعات آزمایشگاهی بر روی تصاویر و نقشه‌ها صورت می‌گیرد. استفاده هم‌زمان از تمام این مطالعات، می‌تواند ما را در تحلیل درست و منطقی با ضریب خطای کمتر یاری نماید. ریخت‌زمین‌ساخت به مطالعه تقابل بین نیروهای زمین‌ساختی و فرآیندهای سطحی می‌پردازد [۲۵، ۱۷، ۱۶، ۱۴]. شاخص‌های ریخت‌سنجی در ارزیابی سریع مناطق وسیع به کار گرفته می‌شوند [۲۳] و نقطه شروع در این گونه مطالعات، بررسی کمی و کیفی واحدهای توپوگرافی اصلی یک منطقه از جمله: رشته‌کوه‌های حوضه مورد مطالعه، آبراهه‌ها و ... می‌باشد [۱۹]. این روش در پژوهش‌های مختلف دنیا و همچنین در داخل کشور مورد استفاده قرار گرفته است [۲۴، ۲۳، ۲۱، ۲۰، ۱۳، ۱۲، ۶، ۴، ۳]. در این پژوهش به منظور بررسی ریخت‌زمین‌ساخت منطقه آوج از شاخص گرادیان - طول رودخانه^۱ استفاده شده است. منطقه مورد مطالعه با طول جغرافیایی ۴۹° تا ۴۹° ۲۰' خاوری و عرض جغرافیایی ۳۵° ۳۰' تا ۳۵° ۵۰' شمالی، در

^۱ SL: Stream length gradient index

جنوب‌خاوری در بخش جنوب‌باختری منطقه مورد مطالعه واقع شده است. نهشته‌های آن با سنگ‌های کمی دگرگون شده تریاس پسین - ژوراسیک آغاز می‌شود، که توسط کنگلومرا و آهک‌های ژوراسیک‌بالایی - کرتاسه پوشیده شده است و رسوبات ترشیری در این پهنه شباهت زیادی با پهنه آبگرم دارند، در حالی که رسوبات قرمز بالایی در این پهنه وجود ندارد [۲] (شکل ۲).

جنوب‌خاوری می‌باشد که بخش شمال‌خاوری این پهنه به شدت دچار گسل خوردگی شده و دو گسل اصلی حسن‌آباد و خررود با روندی مشابه گسل آوج در این پهنه قرار گرفته است (شکل ۱b). این پهنه توسط گسل حسن‌آباد به دو زیر پهنه تقسیم شده است و براساس موقعیت چینه‌شناسی (نبود نهشته‌های بین پالئوزوئیک و تریاس) از یکدیگر قابل تفکیک می‌باشند [۲]. پهنه رزن متعلق به پهنه ساندج - سیرجان می‌باشد و با روند تقریباً شمال‌باختری -

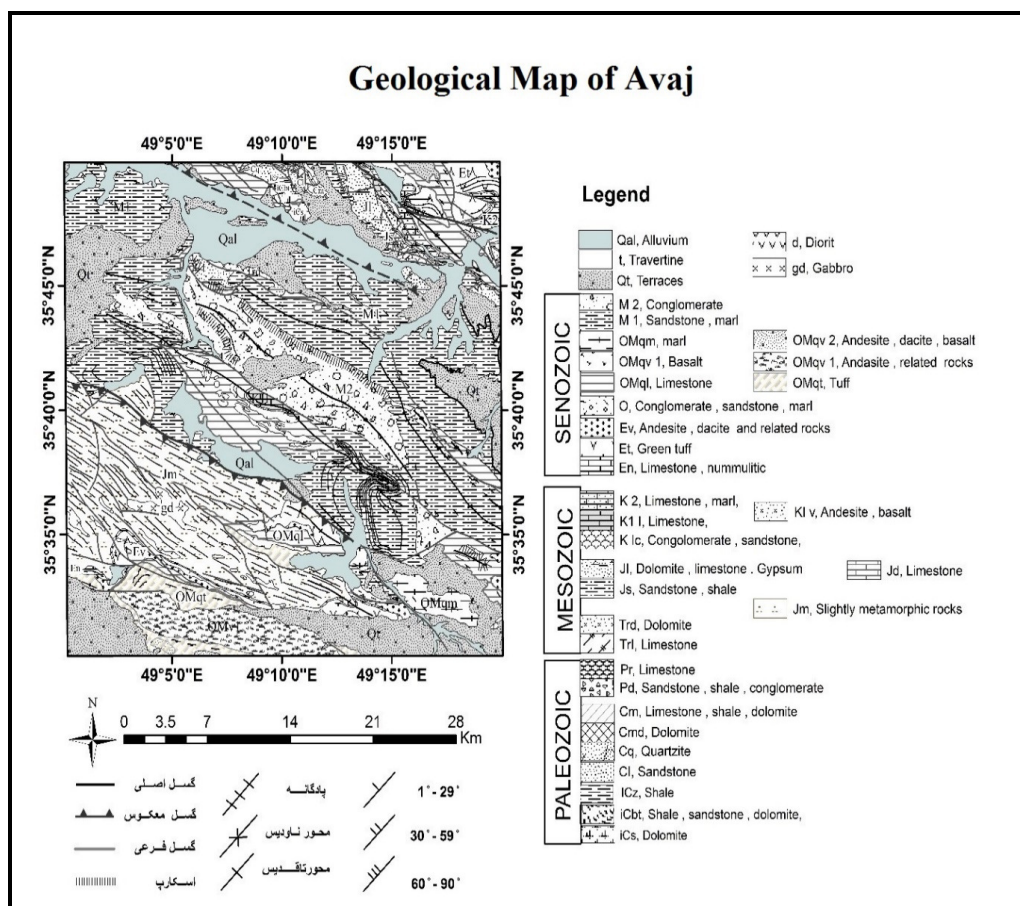


شکل ۱. a. نقشه پهنه‌های ساختاری ایران [۵] و b. چهارگوش منطقه مورد مطالعه در شمال‌باختری ایران را نشان می‌دهد (برگرفته از گزارش پژوهش زمین‌شناسی چهارگوش کبودرآهنگ) [۲].

مدل‌های رقومی و هم‌چنین نرم‌افزارهای ArcGIS و Global Mapper برای بررسی ریخت‌زمین ساخت ساختارهای چین‌خورده و آبراهه‌های منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. ابتدا شبکه آبراهه‌های محدوده مورد مطالعه از مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه در محیط نرم‌افزار ArcGIS استخراج و ترسیم گردیده است، سپس شاخص ریخت‌سنجی گرادیان - طول رودخانه (SL) برای آبراهه‌های اصلی محاسبه و شواهد ریخت‌زمین‌ساختی در منطقه مطالعاتی مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌های رقومی ابعاد وسیعی از انواع ساخت‌های زمین‌شناسی در مقیاس محلی و ناحیه‌ای که مشاهده یا برداشت مستقیم آن‌ها از طریق پیمایش صحرایی ممکن نیست را بررسی نمود [۱۸، ۷، ۹، ۱۰]. اطلاعات بدست آمده از مطالعات غیرمستقیم مثل بررسی تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌های رقومی باید با مشاهدات و شواهد صحرایی مورد مطابقت قرار گیرد. در این پژوهش از نقشه‌های توپوگرافی، نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس یک صد هزار، تصاویر ماهواره‌ای،



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰.۰۰۰ آوج) [۱].

بحث

محاسبه و ارزیابی نمود [۴۰، ۲۲]. این شاخص توسط Hack [۱۱] با استفاده از فرمول زیر برآورد شده است:

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

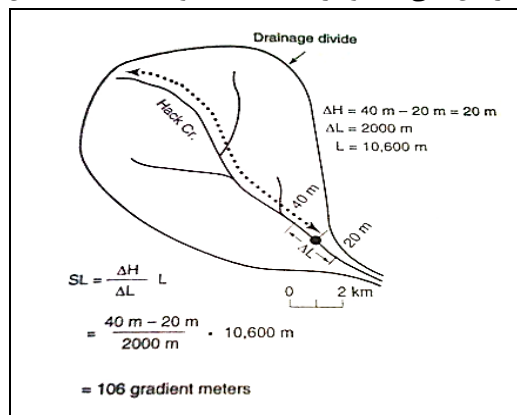
در این رابطه:

SL شاخص گرادیان رودخانه - $\Delta H / \Delta L$ شیب (گرادیان) محلی رودخانه - L طول کانال رودخانه از خط تقسیم آبراهه‌ها تا نقطه میانی (مرکز بخشی که شیب آن محاسبه می‌شود) (شکل ۳).

محاسبه این شاخص، از پایین‌دست آبراهه به سمت بالادست انجام می‌گیرد و در حالت معمول، میزان L (طول کانال رودخانه) به سمت بالادست کاهش یافته در نتیجه مقدار شاخص SL نیز کاهش می‌یابد، به همین دلیل در محاسبه این شاخص یک روند کاهشی از پایین دست به سمت بالا دست قابل پیش‌بینی است، اما هرگونه تغییر از این روند نشانه فعالیت تکتونیکی در منطقه می‌باشد [۱۶]. شاخص SL به تغییرات شیب کانال، مقاومت سنگ، تغییرات سطح اساس و فعالیت تکتونیکی حساس است. این شاخص با توان رودخانه

سیمای ریخت‌زمین‌ساختی، نتیجه موازنه بین نیروهای زمین‌ساختی و فرسایشی مانند آبراهه‌ها و رودخانه‌ها است که بر روی سنگ‌هایی با مقاومت مختلف جریان دارند [۱۷] و این موازنه در نهایت منجر به تعادل دینامیکی می‌شود. برای تعیین میزان نقش هریک از این نیروها و محاسبه فعالیت نسبی تکتونیکی، شاخص‌های ریخت‌سنجی مورد استفاده قرار می‌گیرند و در مطالعات جدید در زمینه ریخت‌زمین‌ساخت معمولاً برحسب هدف مطالعه و مورفولوژی منطقه یک شاخص انتخاب و بسط داده می‌شود. شاخص ریخت‌سنجی گرادیان - طول رودخانه که یکی از شاخص‌های کاربردی در مطالعات آبراهه‌ها می‌باشد و همچنین ابزار مفیدی برای ارزیابی نسبی زمین‌ساخت فعال است [۲۶، ۲۴، ۲۳، ۸] و میزان آن را در مناطق مختلف می‌توان با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی کوچک مقیاس یا به وسیله نقشه‌های رقومی

سنگ‌ها با مقاومت پایین (سنگ‌های رسوبی سست، خردشده و...) که عموماً به فرآیند فرسایش حساس هستند رودخانه‌ها در دره‌های کم‌شیب‌تر جریان می‌یابند و میزان شاخص کاهش نشان می‌دهد [۴] و البته تفکیک حالت‌های ناشی از زمین‌ساخت فعال با حالت‌های ناشی از مقاومت سنگ‌ها مشکل می‌باشد [۲۳].



شکل ۳. تصویر شماتیک از یک حوضه و نحوه محاسبه شاخص گرادیان طول رودخانه (SL) [۱۶].

اندازه‌گیری دقیق شاخص SL، این شاخص در بخش‌هایی مقادیر بسیار بالایی نشان می‌دهد که نشان دهنده فعالیت نسبی بیشتر می‌باشد. این مناطق فعال بیشتر در بخش‌های مرکزی تا جنوب‌خاوری منطقه گسترش پیدا کرده‌اند، که می‌توان بیان کرد برخورد پهنه سلطانیه - آبگرم در بخش خاوری و رشد جانبی ناودیس کارخانه و تاقدیس‌های آران و چاروق دره در بخش مرکزی (پهنه آبگرم) دلیل اصلی این آنومالی است (شکل ۴).

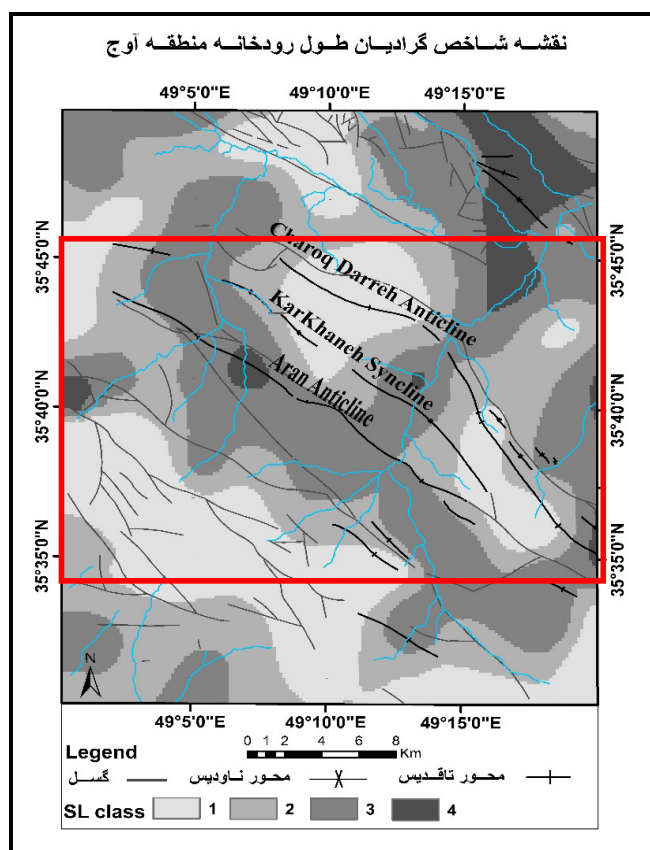
بر اساس بررسی‌ها و مطالعات انجام شده در منطقه آوج توالی رسوبی تحت تاثیر نیروهای تکتونیکی دچار چین‌خوردگی شده‌اند، این چین‌ها در بخش وسیعی از منطقه گسترش یافته و به صورت تاقدیس و ناودیس‌های بزرگ با روند عمومی شمال‌باختری - جنوب‌خاوری (به موازات کمربند چین‌خورده - رانده زاگرس) قرار گرفته‌اند [۲]. فعالیت‌های جدید تکتونیکی و ساختارهای چین‌خورده موجود در محدوده مورد مطالعه سبب ایجاد انحراف در مسیر آبراهه‌ها شده است (شکل ۸) و همان‌طور که در (شکل ۵) مشخص گردیده، آبراهه شماره یک که در باختر منطقه قرار گرفته، به نظر می‌رسد در محل میل شمال‌باختری ناودیس کارخانه، این آبراهه‌ها به سمت در امتداد آبراهه شماره دو نیز گسترش جانبی این ناودیس و هم‌چنین میل جنوب‌خاوری تاقدیس‌های آران

مطابقت دارد چرا که به توانایی رودخانه در فرسایش بستر و حمل رسوبات وابسته است [۱۵]. این شاخص تحت تاثیر میزان مقاومت جنس بستر نیز بوده و با جریان یافتن رودخانه بر روی سنگ‌های با مقاومت بالا یا در مناطقی که حرکات فعال تکتونیکی وجود دارد (نواحی با نرخ بالا آمدگی) میزان SL افزایش می‌یابد و در

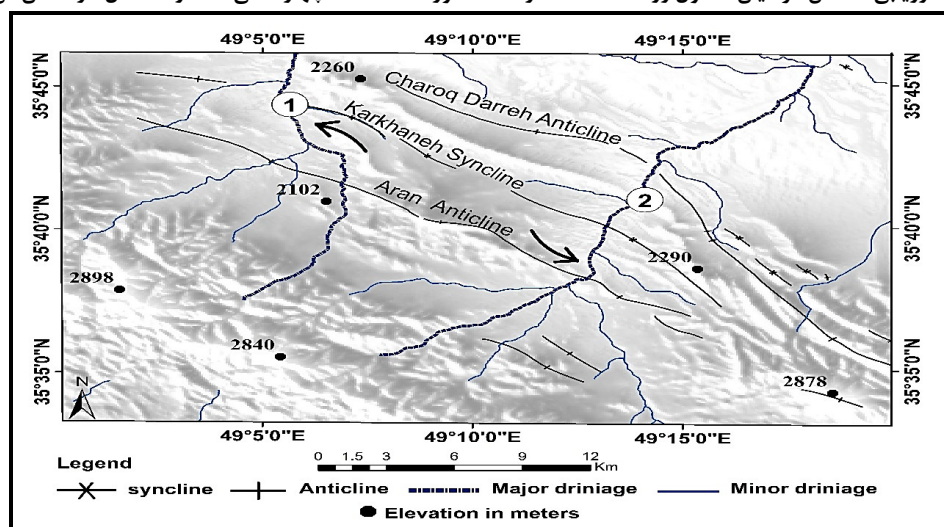
در این مطالعه هدف اصلی بررسی فعالیت ریخت‌زمین‌ساخت آبراهه‌ها در گذر از چین‌ها بوده است و با توجه به نبود مرز کوه و دشت و توپوگرافی منطقه بعضی از شاخص‌ها قابل استفاده نبوده یا جواب‌های دقیق بدست نمی‌دهد. بنابراین شاخص گرادیان - طول رودخانه مورد استفاده قرار گرفته است. آبراهه‌ها در منطقه مورد مطالعه دارای روند جنوب‌باختری - شمال‌خاوری می‌باشند و بنابراین اندازه‌گیری شاخص گرادیان طول رودخانه از شمال‌خاور (پایین دست) به سمت جنوب‌باختر (بالا دست) در قطعات ۵۰ متری صورت گرفته و سپس نقشه کلاس‌بندی شاخص گرادیان - طول رودخانه ترسیم گردیده است (شکل ۴). مقدار این شاخص از ۵۰۰ در مناطق فعال نسبی تکتونیکی تا ۲۴ در مناطق با فعالیت کم تکتونیکی متغیر می‌باشد و بر این اساس شاخص SL به ۴ کلاس (کلاس ۱ - غیر فعال، کلاس ۲ - نسبتاً فعال، کلاس ۳ - فعال و کلاس ۴ - خیلی فعال تکتونیکی) تقسیم‌بندی شده است. با در نظر گرفتن مسیر عبور آبراهه‌های مورد نظر (شکل ۵) از سازندهایی مانند قم، سرخ بالایی و سنگ‌های کمی دگرگون شده متعلق به پهنه رزن (واحد‌های صخره ساز منطقه) و شمال‌باختر منحرف شده و به سمت میل چین (دماغه چین) همگرایی نشان می‌دهد. در بخش خاوری منطقه،

خود نشان می‌دهد (شکل ۶). بر پایه مطالعات ریخت‌زمین‌ساختی و بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی و ساختاری مشخص گردید که گسترش چین‌ها و گسل خوردگی همراه با چین‌خوردگی در واحدهای مختلف زمین‌شناسی قابل مشاهده می‌باشد و نشانگر فعالیت تکتونیکی در نتیجه بالآمدگی و رشد چین‌ها است (شکل ۷).

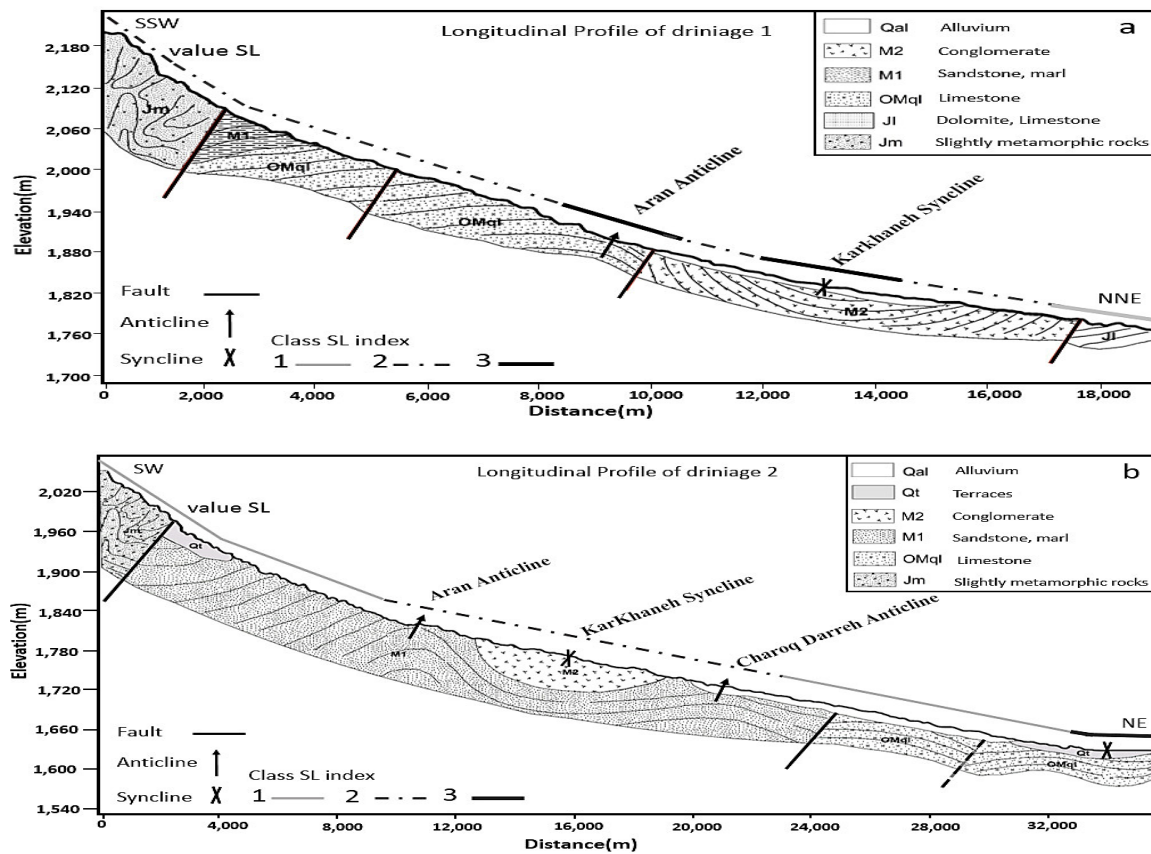
و چاروق دره باعث انحراف آبراهه به سمت خاور شده است. نیمرخ‌های ساختاری تهیه شده در مسیر دو آبراهه مذکور و تلفیق آن‌ها با داده‌های بدست آمده از شاخص SL، نشان می‌دهد که این شاخص در اثر گسترش جانبی چین‌ها در پهنه آبگرم و عملکرد سامانه‌های گسلی فعال جنوب سلطانیه، حسن‌آباد و گسل خررود با روند عمومی شمال‌باختر - جنوب‌خاور در منطقه آنومالی بالایی از



شکل ۴. a. ارزیابی شاخص گرادیان - طول رودخانه (SL) در منطقه مورد مطالعه، b. چهارضلعی، محدوده شکل ۵ را نشان می‌دهد.



شکل ۵. نقشه مدل ارتفاعی، منطقه مورد مطالعه که پیکان‌ها جهت انحراف ایجاد شده در مسیر آبراهه‌ها را نشان می‌دهند. شماره‌های ۱ و ۲ مسیر طی شده در رسم نیمرخ (شکل ۶) را مشخص می‌کند.



شکل ۶. a. نیمرخ طولی آبراهه شماره ۱ (شکل ۵)، b. نیمرخ طولی آبراهه شماره ۲ (شکل ۵).



شکل ۷. تصویری از چین‌های مرتبط با گسل در سازند سرخ‌بالایی (بال شمال خاور تاقدیس آران).



شکل ۸. تصویر انحراف آبراهه در سازند قم (تاق‌دیس آران).

نتیجه‌گیری

با توجه به قرار گرفتن منطقه مورد مطالعه در مرز دو پهنه ساختاری (ایران مرکزی، سنندج - سیرجان)، مطالعات ریخت‌زمین‌ساخت و زمین‌ساخت فعال در منطقه آوج صورت گرفته است، که براساس نتایج به دست آمده از شاخص ریخت‌سنجی گرادیان - طول رودخانه (SL)، شواهد ریخت‌زمین‌ساختی و ترسیم نیمرخ‌های زمین‌شناسی طولی در امتداد مسیر آبراهه‌های منطقه و پلات کردن مقادیر شاخص بر روی این نیمرخ مشخص گردید که بخش مرکزی و شمال‌خاوری دارای بیش‌ترین نرخ فعالیت نسبی می‌باشند و از نظر فعالیت در رده‌های فعال تا خیلی فعال قرار می‌گیرند، که دلیل هر یک را به ترتیب می‌توان گسترش جانبی چین‌های آران، کارخانه و چاروق‌دره در پهنه آبگرم و پهنه برخورد گسل‌های جنوب سلطانیه، حسن‌آباد بیان نمود. چین‌خوردگی‌های فعال و گسلش همراه با چین‌خوردگی در مشاهدات صحرایی، نقشه‌های زمین‌شناسی و مدل‌های رقومی با منحرف شدن مسیر آبراهه‌ها قابل مشاهده است و فعالیت تکتونیکی نسبی بخش‌هایی که در محل میل چین‌خوردگی‌های اصلی منطقه قرار دارند نسبت به سایر بخش‌های منطقه مورد مطالعه بیش‌تر می‌باشد.

منابع

- [۳] مجیدزاده، ر.، حسین‌زاده م.م.، اسماعیلی، ر (۱۳۹۰) ارزیابی کمی مورفوتکتونیک فعال در حوضه‌های البرز شمالی (حد فاصل شهرهای بهشتر تا نکاء)، سی‌امین گردهمایی علوم زمین.
- [4] Alipoor, R., Poorkermani, M., Zare, M., El Hamdouni, R (2011) Active tectonic assessment around Rudbar Lorestan dam site, High Zagros Belt (SW of Iran), *Geomorphology*, 128, p. 1-14.
- [5] Berberian, M., King, G.C (1981) Towards a Paleogeography and Tectonic Evolution of Iran, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18, p. 210.
- [6] Bull, W.B., 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, p.115-138.
- [7] Byrd, J.O.D., Smith, R.B., Geissman, J.W (1994) The Teton fault, Wyoming: neotectonics, and mechanisms of deformation. *J. Geophys. Res.* 99 (B10), 20095-20122.
- [8] Chen, Y.C., Sung, Q., Cheng, K.Y (2003) Along-strike variations of morphotectonic features in the Western Foothills of Taiwan: tectonic implications based on stream-gradient and hypsometric analysis. *Geomorphology* 56, 109-137.
- [9] Chorowicz, J., Dhont, D., Gundogdu, N (1999) Neotectonics in the eastern North Anatolian fault region (Turkey) advocates crustal extension: mapping from SAR ERS imagery and Digital Elevation Model, *J. Struct. Geol.* 21, p. 511-532.
- [10] Florinsky, I.V (1998) Combined analysis of digital terrain models and remotely sensed
- [۱] بلورچی م.ح (۱۹۷۸) نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ ورقه آوج، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- [۲] بلورچی م.ح (۱۳۵۸) پژوهش زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰ چهارگوش کبودرآهنگ، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

- of tectonic and earthquake activity, *Geomorphology* 250, p. 203–226.
- [22] Strahler, A.N (1952) Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin* 63, 1117–1142.
- [23] Troiani, F., Della Seta, M (2008) The use of the Stream Length–Gradient index in morphotectonic analysis of small catchments: A case study from Central Italy, *Geomorphology*, 102, p. 159–168.
- [24] Verrios, S., Zygouri, V., Kokkalas, S (2004) Morphotectonic analysis in the Eliki fault zone (Gulf of Corinth, Greece). *Bulletin of the Geological Society of Greece* 36, 1706–1715.
- [25] Yang, J.C (1985) *Geomorphology* (in Chinese), High Education press. Beijing, 320.
- [26] Zovoili, E., Konstantinidi, E., Koukouvelas, I.K (2004) Tectonic geomorphology of escarpments: the cases of Kompotades and Nea Anchialos faults. *Bulletin of the Geological Society of Greece* 36, 1716–1725.
- data in landscape investigations, *Prog. Phys. Geogr.* 22, p. 33–60.
- [11] Hack, J.T (1973) Stream-profile analysis and stream-gradient index, *Journal of Research of the U.S. Geological Survey* 1 (4), p. 421–429.
- [12] Hamdouni, R.El, Irigaray, C., Fernandez, T., Chacon, J., Keller, E.A (2008) Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (Southern Spain), *Geomorphology*. 96, p.150–173.
- [13] Hessami, K., Nilforoushan, F., Talbot, C.J (2006) Active deformation within the Zagros Mountains deduced from GPS measurements, *Journal of the Geological Society of London* 163, p. 143–148.
- [14] Ioannis, M.T., Ioannis, K.K., Pavlides, S (2006) Tectonic geomorphology of the easternmost extension of the Gulf Corinth (Beotia, central Greece), *Tectonophysics* Vol453 (2008), p. 211–232.
- [15] Keller, E.A., Pinter, N (1996) *Active Tectonic, Earthquake, Uplift and Landscape*, Prentice Hall.
- [16] Keller, E.A., Pinter, N (2002) *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift and Landscape*, Second ed. Prentice Hall, NJ. 362.
- [17] Keller, E.A., Gurrola, L., Tierney, T.E (1999) Geomorphic criteria to determine direction of lateral propagation of reverse faulting and folding, *Geology* 27, p. 515–518.
- [18] Koike, K., S. Nagano, Kawaba, K (1998) Construction and analysis of interpreted fracture plans through combination of satellite image derived lineaments and digital elevation model data, *Computer and geosciences*, 573.
- [19] Morisawa, M., and Hack, J.T (1985) *Tectonic geomorphology*. Boston, Unwin Hyman, P. 390.
- [20] Rockwell, T.K., Keller, E.A., Johnson, D.L (1985) Tectonic geomorphology of alluvial fans and mountain fronts near Ventura, California. In: Morisawa, M. (Ed.), *Tectonic Geomorphology. Proceedings of the 15th Annual Geomorphology Symposium*. Allen and Unwin Publishers, Boston, MA, p. 183–207.
- [21] Silva, P.G., Goy, J.L., Zazo, C., Bardajm, T (2003) Fault generated mountain fronts in Southeast Spain: geomorphologic assessment