

جغرافیا و توسعه شماره ۴۵ زمستان ۱۳۹۵

وصول مقاله : ۱۳۹۴/۱۰/۲۹

تأیید نهایی : ۱۳۹۵/۰۷/۳۰

صفحات : ۱۵۹ - ۱۸۰

ارزیابی نئوتکتونیک گسل کلمرد با استفاده از GIS، منطقه شیرگشت (ایران مرکزی)

رعنا صمدی مقدم^۱، دکتر مریم ده‌بزرگی^{۲*}، دکتر رضا نوزعیم^۳، دکتر محمد محجل^۴

چکیده

به منظور تعیین میزان فعالیت تکتونیکي جوان هر منطقه می‌توان به کمک اندازه‌گیری‌های کمی، چشم‌اندازهای سطح زمین را بررسی و شاخص‌های مورفولوژیک را محاسبه کرد. از جمله مهم‌ترین عناصری که در طبیعت متأثر از فعالیت‌های زمین‌ساختی هستند، رودخانه‌ها و شبکه‌های زهکشی می‌باشند. در این مطالعه نیز به منظور بررسی سطح فعالیت تکتونیکي اخیر منطقه شیرگشت، ۶ اندیس مورفومتری شامل گرادیان طولی رودخانه‌ای (SL)، میزان کج‌شدگی حوضه (Af)، انتگرال هیپسومتری و نمودار هیپسومتری (Hi)، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره (Vf)، نسبت شکل حوضه (Bs) و سینوسیته پیشانی کوهستان (J) اندازه‌گیری شده و نتایج آن با مطالعات لرزه‌خیزی بر روی گسل کلمرد در شمال بلوک طبس (ایران مرکزی) تلفیق شده است. به همین جهت در ابتدا بر روی مدل رقومی ارتفاعی Aster DEM با وضوح ۳۰ متر در محیط ArcGIS آماده‌سازی لازم صورت گرفته و ۸۹ حوضه‌های آبریز و نیز طولانی‌ترین مسیر احتمالی عبور رودخانه برای هر حوضه استخراج گردیده و سپس اندیس‌های مورفومتری مذکور اندازه‌گیری شده است. نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های صورت گرفته پس از تدقیق با بررسی صحرایی نشانگر فعالیت بالای تکتونیکي در ناحیه ی نونگ‌کوه، کوه پیر حاجت می‌باشد. گسل کلمرد نیز دارای فعالیت بعد از نئوژن می‌باشد. وقوع زلزله‌های ۱۰۰ سال اخیر بر روی گسل‌های نام برده گواهی بر این مدعا می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: فعالیت تکتونیکي، شاخص‌های ژئومورفولوژیک، GIS، گسل کلمرد، ایران مرکزی.

std_rana.samadi@khu.ac.ir

m_dehbozorgi@khu.ac.ir

nozaem@sci.ikiu.ac.ir

mohajjel@modares.ac.ir

۱- کارشناس ارشد تکتونیک، دانشگاه خوارزمی، تهران

۲- استادیار زمین‌شناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران *

۳- استادیار زمین‌شناسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین

۴- دانشیار تکتونیک، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

مقدمه

سیمای ظاهری زمین و چشم‌اندازهای آن در طول زمان زمین‌شناسی همواره متأثر از دو فرآیند فعالیت تکتونیکی و متقابلاً فرآیند فرسایش بوده است. این فرآیندها در مقیاس‌های مختلف (از مقیاس جهانی تا محلی) عمل کرده که می‌تواند مورد بررسی و اندازه‌گیری قرار گیرد (Bull, 2009: 32). امروزه مطالعات تکتونیک جوان و ژئومورفولوژی به سبب اهمیت و دقت بالای آن در تشخیص میزان فعالیت تکتونیکی جوان (در زمان‌های هولوسن و پلیستوسن)، تعیین نحوه‌ی شکل‌گیری چشم‌اندازها و عوارض سطحی زمین و نیز تحلیل و بررسی خطر لرزه‌ای بسیار گسترش یافته است (Keller & Pinter, 2002: 54). در این مطالعه به منظور توصیف کمی چشم‌اندازها و مقایسه آن‌ها از مورفومتری بهره‌گیری می‌شود. در این علم با اندازه‌گیری دقیق پارامترهای اندیس مورفومتری، شامل ابعاد، ارتفاع، شیب و مساحت عوارض می‌توان سطح فعالیت تکتونیکی جوان منطقه را اندازه‌گیری و رده‌بندی نمود. پارامترهای مذکور از نقشه‌های توپوگرافی، تصاویر ماهواره‌ای و مدل ارتفاعی رقومی منطقه به دست می‌آیند. کشور ایران نیز به علت قرارگیری در کمربند لرزه‌خیز آلپ-همیمالیا و نیز به جهت برخورد صفحه عربستان به اوراسیا، کشوری با فعالیت تکتونیکی بالا می‌باشد (Allen et al., 2008: 53). در بین گسل‌های فعال موجود در سراسر ایران، بر روی این بخش از گسل کلمرد به عنوان گسلی با ساز و کار امتداد لغز با پتانسیل مورفولوژیکی و لرزه‌خیزی بالا، مطالعه و بررسی متمرکزی صورت نگرفته است؛ لذا در این مطالعه تلاش شده است که با بررسی چشم‌اندازهای موجود در این محدوده و با اندازه‌گیری شاخص‌های مورفومتریکی و نیز تلفیق نتایج آن با پراکندگی

زلزله‌های وقوعی در منطقه، در مورد تکتونیک جوان گسل کلمرد اظهار نظر شود.

محدوده‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه در بلوک طبس، واقع در زون ایران مرکزی، در بلوک شرقی گسل کلمرد می‌باشد (شکل ۱). گسل‌هایی که در محدوده‌ی مورد مطالعه قرار دارند شامل: گسل کلمرد با طول ۳۸۰ کیلومتر (Ruttner et al., 1968: 23) در طی رخدادهای کاتانگایی در غرب بلوک طبس، با روند اولیه شمالی - جنوبی شکل گرفته است؛ اما در بخش شمالی آن دارای امتداد شمال-شمال شرقی است که این چرخش توسط نبوی (۱۳۵۵: ۲۹) به رخدادهای کالدونی نسبت داده شده است. ساز و کار حرکتی این گسل راست‌الغز با مؤلفه معکوس تشخیص داده شده است (شیخ‌الاسلامی و زمانی، ۱۳۷۸؛ سعیدی و همکاران، ۱۳۸۱: ۲۳) که جابجایی افقی آن چیزی در حدود ۴۰ تا ۵۰ کیلومتر تخمین زده شده است (Ruttner et al., 1968: 21). شیب آن نیز در حدود ۷۵ درجه به سمت غرب و شمال غرب می‌باشد (آق‌نابتی، ۱۳۸۳: ۸۸).

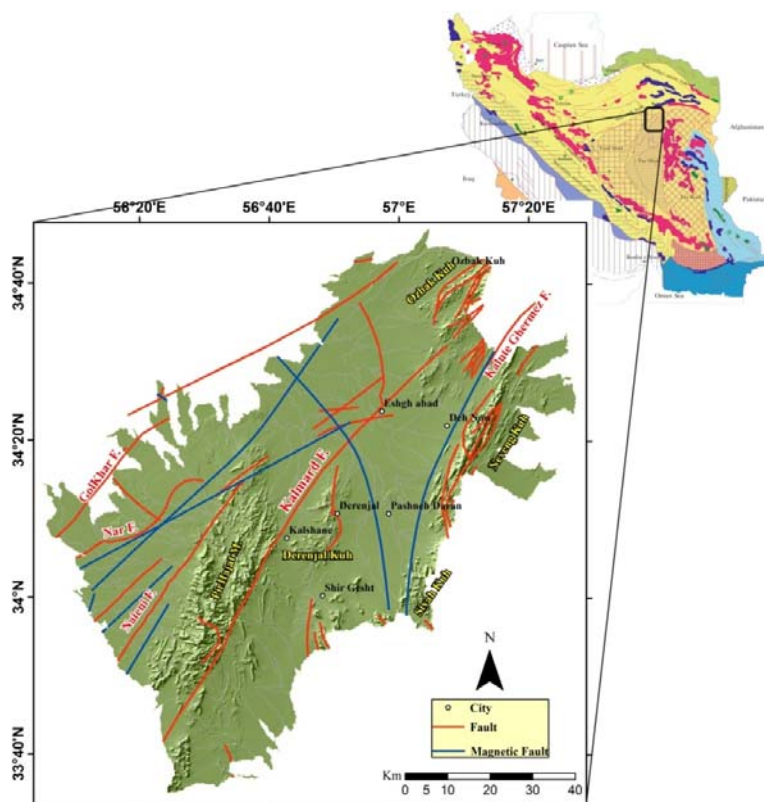
در شمالی‌ترین قسمت آن رسوبات کواترنری بریده شده‌اند که نشان از فعالیت جوان این گسل دارد. در بخش‌های مرکزی نیز این گسل در میان سنگ‌های پالئوزوئیک عمل کرده و در مرز این سنگ‌ها با نهشته‌های کواترنری دیده می‌شود. رخداد زمین‌لرزه ۵ اکتبر ۱۹۳۳ ($M_s=6.0$ و $m_b=6.2$) می‌تواند در اثر عملکرد گسل کلمرد باشد. زمین‌لرزه‌های ۳۰ ژوئن ۱۹۳۹ ($m_b=4.7$)، ۲۲ جولای ۱۹۹۱ ($m_b=4.2$) و ۲۶ آگوست ۱۹۹۴ ($m_b=4.4$) در راستای این گسل به وقوع پیوسته‌اند و به نظر می‌رسد پس‌لرزه ۱۹۷۸/۹/۲۸ زمین‌لرزه طبس با بزرگی ۴/۳ ریشتر ناشی از حرکت گسل کلمرد بوده است (سعیدی و همکاران، ۱۳۸۱: ۱۹).

می‌توان اثر گسله را در ماسه‌سنگ‌های کواترنری و یا برش‌های گسلی مشاهده نمود (سعیدی و همکاران، ۱۳۸۱: ۲۰). در نونگ‌کوه نیز مجموعه از گسل‌های شکل گرفته‌اند که این مجموعه با طول ۳۶ کیلومتر از انشعابات شمالی کوه‌های شتری می‌باشند. روند این بخش برخلاف روند کوه‌های شتری، به سمت شمال شرق جنوب غرب می‌باشد و این مجموعه در پایانه فشاری گسل بزرگ نایبند و در اثر فعالیت آن شکل گرفته‌اند (نبوی، ۱۳۵۵: ۲۹). در ناحیه کلوت قرمز نیز یک گسل به طول ۳۰ کیلومتر، ما بین سازند گردو در شرق و ماسه‌سنگ‌های دگرگون‌شده در غرب نونگ‌کوه جای گرفته است. روند این گسل شمال شرقی-جنوب غربی بوده و ساز و کار آن احتمالاً راستگرد می‌باشد.

گسل نائینی نیز به موازات گسل کلمرد و در غرب آن واقع شده است. این گسل با طولی در حدود ۱۵۲ کیلومتر مرز بین بلوک یزد در شرق و پست بادام در غرب می‌باشد و ساز و کار آن احتمالاً راستگرد می‌باشد. گسل نائینی طی حرکات تریاس پایانی مجدداً فعال شده است (Haghipour, 1974: 154).

این گسل مرز شرقی دگرگونه‌های درجه بالای پرکامبرین با رسوبات ژوراسیک است که به سمت شمال در زیر نهشته‌های کواترنری مدفون شده است (Aghanabati, 1975: 167).

گسل گل‌خار به طول ۷۰ کیلومتر با روند شمال شرقی و شیب به سمت شمال غربی در غرب کوه پیرحاجت قرار دارد. این گسله در بیشتر طول خود از میان نهشته‌های رسی کواترنری گذشته است و به‌ندرت



شکل ۱: تصویر موقعیت مکانی محدوده مورد مطالعه

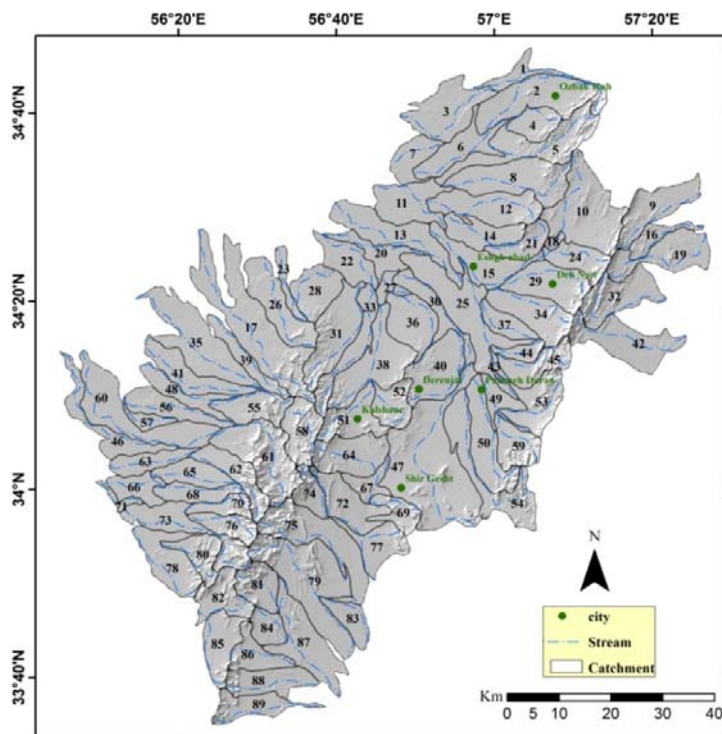
مأخذ: نقشه ایران: نقشه پهنه‌بندی تکتونیک ایران، آقا نباتی ۲۰۰۴، نقشه محدوده مورد مطالعه: نگارندگان ۱۳۹۴

روش مطالعه

در این مطالعه تحلیل و بررسی اندیس‌های مذکور بر روی تصویر ماهواره‌ای Aster DEM صورت گرفت. برای به دست آوردن حوضه‌های آبخیز در ابتدا در محیط GIS 10.1 و با استفاده از برنامه Arc Hydro، جهت جریان رودها استخراج گردید. سپس محل تمرکز جریان^۱ و در نهایت به صورت کامل الگوی آبراهه‌های منطقه مشخص گردید. سپس با استفاده از نقشه آبراهه‌ها، طولانی‌ترین مسیر احتمالی آبراهه‌ها^۲ نیز به دست آمد. در آخرین مرحله بر اساس نقشه طولانی‌ترین مسیر آبراهه، محدوده حوضه‌ها مشخص گردید؛ که در منطقه مورد مطالعه با مساحت تقریبی ۵۴۰۰ کیلومتر مربع، ۸۹ حوضه آبریز به دست آمد (شکل ۲).

اندیس‌های مورفومتریک

شاخص‌های ژئومورفیکی که غالباً در مطالعات مربوط به ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی به کار برده می‌شوند شامل: شاخص گرادیان طولی رود (SI)، عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)، انتگرال هیپسومتریک (Hi)، نسبت شکل حوضه زهکشی (Bs)، نسبت عرض بستر دره به ارتفاع دره (Vf) و شاخص سینوسی پیشانی کوهستان (J) (Keller & Pinter, 2002: 67) می‌باشد که در نهایت منجر به حصول یک اندیس ژئومورفیک نهایی (Iat) می‌شود. به کمک آن می‌توان منطقه مورد مطالعه را از نظر میزان فعالیت تکتونیکی رده‌بندی نماید.



شکل ۲: نقشه توزیع مکانی ۸۹ حوضه آبریز

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

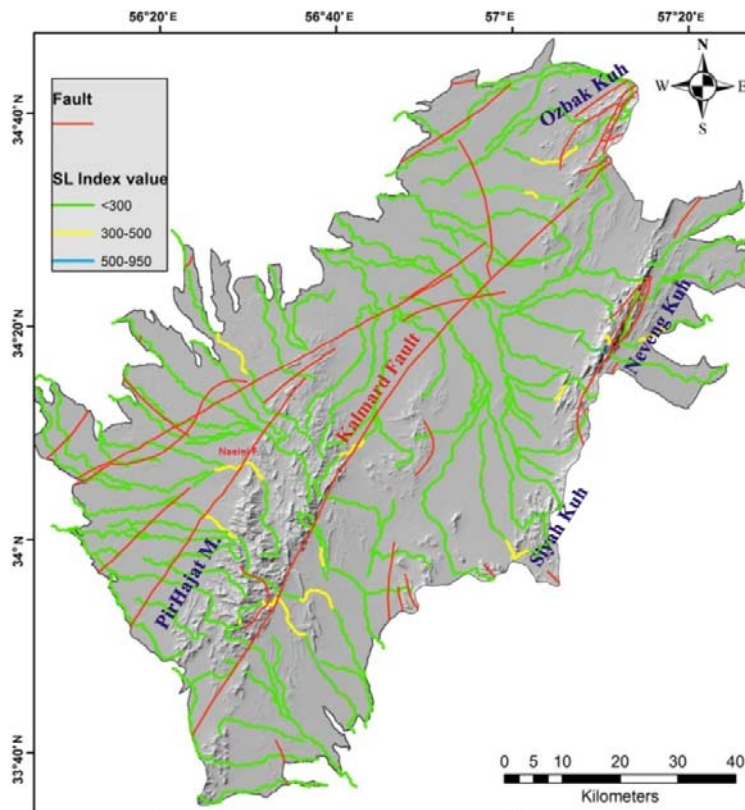
اندیس گرادیان طولی رودخانه (SL)

$$SI = (\Delta H / \Delta L_T) L_{SC} \quad \text{رابطه ۱:}$$

شکل توپوگرافی سطح زمین نتیجه دو عملکرد متفاوت فرسایش توسط جریان رودخانه‌ای و میزان جابجایی‌های قائم زمین توأمأ با هم می‌باشد. در واقع تعادل بین دو عامل فرسایش و تکتونیک، توپوگرافی سطح زمین را شکل می‌دهد. بدین ترتیب این شاخص بین عواملی چون قدرت و دبی رود و میزان فعالیت تکتونیکی (بالآمدگی سطح زمین) ارتباط برقرار می‌کند. به این شکل که هرچه شیب سطح آب در اثر بالآمدگی زمین بیشتر شود، قدرت رود افزایش یافته و در نتیجه میزان حفر بستر و حمل مواد فرسایش یافته نیز افزایش می‌یابد. از طرفی فعالیت‌های تکتونیکی، سبب جابجایی‌های قائم شده و تغییرات بارزی در ارتفاع سطح زمین در طول زمان زمین-شناسی را منجر می‌شود. لذا طبق آنچه گفته شد هر چه میزان بالآمدگی سطح زمین بیشتر باشد (فعالیت تکتونیکی بیشتر)، میزان حفر رود بیشتر و طول کانال به سمت بالادست رود (بیشترین ارتفاع حوضه) کمتر می‌شود. این تغییرات به خوبی توسط این شاخص محاسبه می‌گردند (Hack, 1982: 23). البته شایان ذکر است که جنس بستر رود و میزان مقاومت آن در برابر فرسایش نیز عامل مهمی بوده و نیازمند به بررسی می‌باشد. در رابطه فوق (SL)، شاخص گرادیان طولی رود، ΔH اختلاف ارتفاع تراز توپوگرافی و ΔL_T فاصله کنتورهای توپوگرافی می‌باشد که در مجموع عبارت $\Delta H / \Delta L_T$ شیب کانال یا گرادیان مسیر مشخص شده را بیان می‌کند. L_{SC} نیز طول کانال از نقطه سرچشمه رود تا حد وسط میان دو خط تراز توپوگرافی مجاور برای هر زیر حوضه است

(Keller and Pinter 2002: 123)

در این مطالعه مقادیر $\Delta H / \Delta L_T$ و L_{SC} در ۸۹ حوضه‌ی آبریز اندازه‌گیری شده سپس مقدار شاخص SL برای هر حوضه محاسبه گشته و در نهایت باتوجه به رده‌بندی استاندارد (El Hamdouni et al, 2007: 153) به‌آبراهه با نتایج کوچک‌تر از ۳۰۰ رنگ سبز، ۵۰۰-۳۰۰ رنگ زرد، ۹۵۰-۵۰۰ به رنگ آبی روشن، ۱۵۵۰-۹۵۰ رنگ آبی تیره، ۳۰۰۰-۱۵۵۰ رنگ بنفش و مقادیر بزرگ‌تر از ۳۰۰۰ رنگ قرمز اختصاص داده شد. این رده‌بندی به ترتیب بیانگر فعالیت تکتونیکی بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد می‌باشند. همان‌طور که در نقشه تهیه شده از نتایج اندازه‌گیری این شاخص مشخص است (شکل ۳)، اغلب حوضه‌ها فعالیت تکتونیکی خیلی کم را نشان می‌دهند. حوضه‌های ۵، ۸، ۱۷، ۳۲، ۴۵، ۵۱، ۶۱، ۶۲، ۷۲، ۷۳، ۷۴ مقادیر SL بین ۳۰۰ تا ۵۰۰ (فعالیت زمین‌ساخت کم) را نشان داده‌اند. این حوضه‌ها غالباً در اطراف کوه پیرحاجت و نونگ‌کوه و مقدار کمتری اطراف ازبک‌کوه و سیاه‌کوه قرار دارند. حوضه‌های ۲۹، ۳۴، ۴۲، ۷۹ مقادیر SL بین ۵۰۰ تا ۹۵۰ (فعالیت زمین‌ساختی متوسط) نشان داده‌اند که سه حوضه‌ی اول اطراف نونگ‌کوه و حوضه‌ی ۷۹ در مجاورت کوه پیرحاجت واقع شده‌اند. طبق نتایج حاصل از اندازه‌گیری این اندیس، بیشترین میزان فعالیت تکتونیکی مرتبط با نونگ‌کوه تشخیص داده شده است. علت آنکه عموماً مقادیر به دست آمده از این اندیس فعالیت خیلی کم و یا کم را نشان می‌دهد این است که اندیس گرادیان طولی، با تغییرات ارتفاع در امتداد مقطع طولی رودخانه که متأثر از بالآمدگی-های ناشی از فعالیت تکتونیکی است ارزیابی می‌شود، لذا انتظار می‌رود تا در مناطق گسلی امتداد لغز محض که تغییرات ارتفاعی کمی دارند، مقادیر کمتری نسبت به مناطق گسلی شیب‌لغز حاصل شود.



شکل ۳: نقشه رده‌بندی آبراهه‌ها بر اساس اندیس SI

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)

$$\text{رابطه ۲: } Af = 100(A_r/A_t)$$

شکل هندسی یک شبکه زهکشی و حوضه‌های آبریز آن، می‌تواند متأثر از فعالیت تکتونیکی منطقه باشد. حوضه‌های تشکیل شده در مناطق با فعالیت تکتونیکی بالا، غالباً از الگوی متقارن خارج می‌باشند. بطوری‌که این حوضه‌ها دارای کج‌شدگی جانبی نسبت به امتداد طبیعی رود هستند. میزان عدم تقارن به‌خوبی توسط این اندیس محاسبه می‌شود

(Hare & Gardner, 1985: 132).

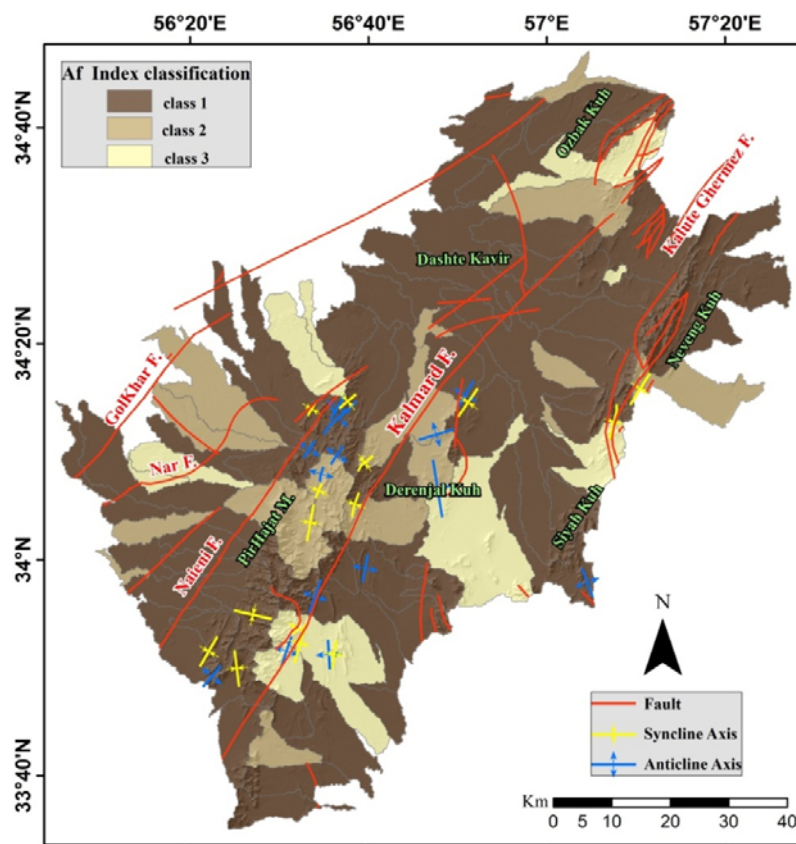
مناطقى که دارای گسلش امتدادلغز با مؤلفه شیب-لغز هستند دقت بالایی در بیان این شاخص دارند. در رابطه فوق (Ar) مساحت قسمت راست حوضه در

جهت پایین‌رود (At) مساحت کل حوضه زهکشی می‌باشد. برای حوضه‌های شکل‌گرفته در مناطق فاقد گسلش با تداوم ثابت رود، مقدار این شاخص باید نزدیک به ۵۰ باشد؛ اما اگر حوضه‌ها شکلی نامتقارن داشته باشند این مقدار به‌کمتر از ۵۰ برای حوضه‌های با کج‌شدگی به راست و بیشتر از ۵۰ برای حوضه‌های کج‌شده به چپ تغییر می‌یابد. عواملی چون اقلیم و سنگ‌شناسی بستر حوضه نیز بر میزان تقارن و یا عدم آن مؤثر است که در اینجا از تأثیر آن در محاسبات صرف‌نظر شده است.

در این مطالعه مقادیر Ar و At در هر ۸۹ حوضه اندازه‌گیری شده است و بر اساس رده‌بندی، مقادیر Af بین ۴۳ تا ۵۷ رده ۳ بین ۳۵ تا ۴۳ و ۵۷ تا ۶۵ رده ۲

کلمرد نیز در جنوب غربی ناحیه ازبک کوه می توان حوضه هایی با رده ۱ فعالیت تکتونیکی را مشاهده کرد. این میزان کج شدگی در حوضه های مذکور نشانگر فعالیت اخیر تکتونیکی این نواحی می باشد. ۱۸٪ حوضه ها در رده ۲ فعالیت تکتونیکی که بیشتر در بخش مرکزی گسل کلمرد در محدوده ی مورد مطالعه جای دارند و ۱۳٪ حوضه ها در رده ۳ فعالیت تکتونیکی دسته بندی شده اند (شکل ۴).

و مقادیر کمتر از ۳۵ و بیشتر از ۶۵ رده ۱ را مشخص می کند (El Hamdouni et al., 2007: 156). طی نتایج به دست آمده از اندازه گیری این اندیس، حدود ۶۹٪ حوضه ها در رده ۱ فعالیت تکتونیکی با بیشترین کج شدگی اند که شامل حوضه های در امتداد نونگ کوه و به علت عملکرد گسل های این ناحیه شکل گرفته اند. در ناحیه پیراجت نیز تحت تأثیر چین های این ناحیه حوضه هایی با رده ۱ فعالیت تکتونیکی ایجاد شده است. همچنین در بخش های بالایی گسل



شکل ۴: نقشه رده بندی حوضه های آبریز بر اساس اندیس Af

تهیه و ترسیم: نگارندگان ۱۳۹۴

حوضه ی آبریز مشخص می کند (Strahler, 1952: 1123). برای ترسیم منحنی هیپسومتری، مقدار ارتفاع هر خط تراز (h) بر مقدار ارتفاع بیشینه هر حوضه (ارتفاع محل سرچشمه) (H) و نیز مساحت هر بخش از خط

شاخص منحنی هیپسومتری و انگرال هیپسومتری (Hi)

منحنی هیپسومتری با ترسیم ارتفاع کلی در برابر مساحت کلی، توزیع ارتفاع سطح زمین را در یک

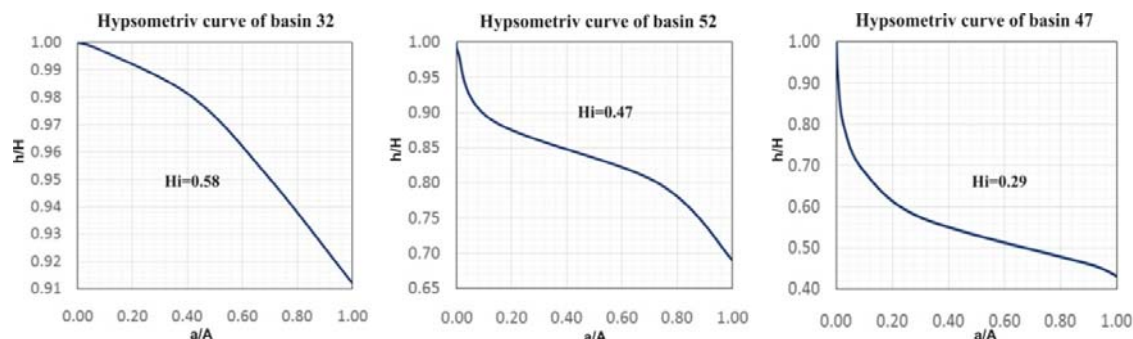
هیپسومتری هر حوضه زهکشی را می‌توان به کمک انتگرال هیپسومتری به مقادیر عددی تبدیل نموده و ارزیابی کرد. بدین ترتیب پارامتر a به عنوان مساحت زیر منحنی هیپسومتری در نظر گرفته می‌شود و این شاخص به شکل رابطه زیر محاسبه می‌گردد.
(Pike & Wilson, 1971: 34; Mayer, 1990: 1081).

تراز تا محل سرچشمه رود (a) بر مقدار مساحت کل حوضه (A) تقسیم می‌شوند. به همین دلیل این مقادیر a/A و h/H کسرهایی فاقد واحد و مستقل از ارتفاع و مساحت بوده و همین امر سبب می‌شود تا حوضه‌های زهکشی مختلف با وجود تفاوت در مساحت و مقیاس به راحتی به کمک شاخص هیپسومتری با یکدیگر قابل قیاس و بررسی باشند. منحنی‌های

$$Hi = (\text{average elevation} - \text{min. elev.}) / (\text{max. elev.} - \text{min. elev.}) \quad \text{رابطه ۳}$$

۲ و ۳ تقسیم‌بندی می‌شوند. بطوری‌که منحنی‌های هیپسومتری یک‌محدب با مقادیر $Hi > 0/5$ (رده ۱) (فعالیت بالا)، منحنی‌های هیپسومتری یک‌محدب-مقعر با مقادیر $Hi > 0/4$ (رده ۲) (فعالیت متوسط) و منحنی‌های هیپسومتری یک‌مقعر با مقادیر $Hi < 0/4$ (رده ۳) (فعالیت کم) فعالیت زمین‌ساختی را ارائه می‌دهند (El Hamdouni et al., 2007: 157). محاسبات صورت گرفته طی اندازه‌گیری این اندیس و نمودارهای هیپسومتری (شکل ۵)، ۱۷ حوضه با میزان فعالیت بالا (رده ۱) و ۲۱ حوضه با فعالیت متوسط (رده ۲) در اطراف ازبک‌کوه و نیز حوضه‌های بخش غربی کوه پیرحاجت و نیز به‌صورت پراکنده حوضه‌های اطراف سیاه‌کوه را نشان می‌دهد.

مقادیر بیشینه و کمینه و میانگین ارتفاعی هر حوضه بطور مستقیم از تصویر ارتفاعی رقومی استخراج می‌شود. مقادیر بالای این شاخص ($< 0/5$) نشانگر توپوگرافی بالا نسبت به میانگین ارتفاع حوضه مانند سطوح بالآمده و یا بریده‌شده توسط رودخانه می‌باشد. درحالی‌که مقادیر کم آن ($> 0/4$) نشانه شکل‌گیری شبکه رودخانه‌ای در محیط کم ارتفاع‌تر می‌باشد و مقادیر بین $0/4$ تا $0/5$ نیز حد متوسط فعالیت تکتونیکی می‌باشد. بدین ترتیب می‌توان مناطق با فعالیت بالا، متوسط و پایین را تفکیک نموده و بطور کلی سطح فعالیت تکتونیکی منطقه را مورد ارزیابی قرارداد. منحنی‌های هیپسومتری با توجه به میزان تقعر و تحدب به سه رده فعالیت تکتونیکی ۱،



شکل ۵: نمودارهای هیپسومتری یک حوضه با سه عملکرد رده فعالیت تکتونیکی (کم، متوسط و زیاد)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

کاهش یافته و میزان زیادی از مواد حمل شده، ته نشست می‌شوند. لذا این منطقه، اطلاعات درستی از شکل ظاهری دره در اختیار نمی‌گذارد (Silva et al., 2003: 211).

در بررسی انجام شده، ۲۲ مقطع عرضی بر روی دره‌های شکل گرفته در پیشانی کوهستان، بر روی تصویر ارتفاعی رقومی منطقه، مورد بررسی قرار گرفته است. مقادیر V_{fw} , Ald, Asc, Ard در هر کدام از حوضه‌ها بطور جداگانه اندازه‌گیری شده و میزان این شاخص برای هر حوضه به دست آمده است. در نهایت مقادیر کمتر از ۰/۵ رده ۱ با سطح فعالیت زیاد (دره V شکل)، مقادیر بین ۰/۵ تا ۱ با سطح فعالیت متوسط رده ۲ و نیز مقادیر بیشتر از ۱ با سطح فعالیت کم تکتونیکی (دره U شکل) به رده‌ی ۳ تقسیم‌بندی شده‌اند (El Hamdouni et al., 2007: 159). قابل ذکر است عواملی چون سنگ‌شناسی بستر رود و اقلیم نیز در اندازه‌گیری و محاسبات این شاخص مؤثر بوده و نیاز به بررسی می‌باشد.

بر اساس نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص V_f تمام حوضه‌های اطراف نونگ‌کوه (حوضه‌های ۹-۲۴-۲۹-۴۲) و بعضی از حوضه‌های کوه‌های پیرحاجت (حوضه‌های ۶۴-۶۸-۷۴-۷۶) بیشترین میزان فعالیت تکتونیکی را نشان داده‌اند و دارای دره‌های ژرف و

نسبت عرض کف بستر به ارتفاع دره (V_f)

رابطه ۴:

$$V_f = V_{fw} / [(Ald - Asc) + (Ard - Asc) / 2]$$

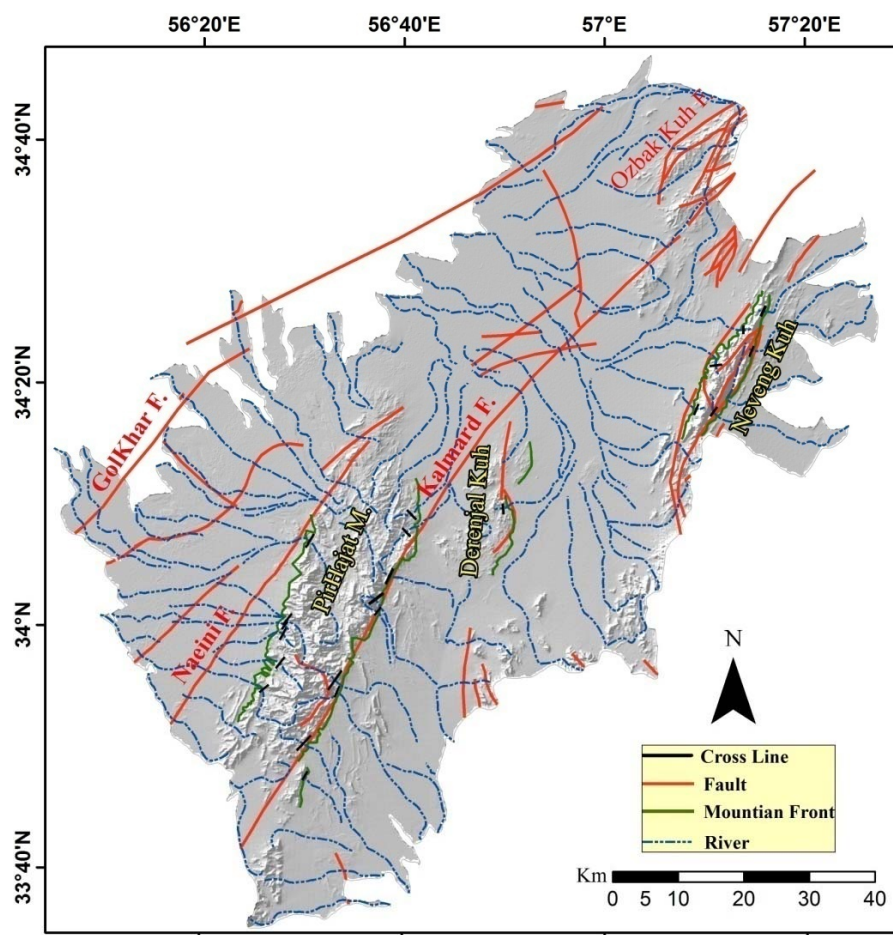
دره‌های ایجاد شده در پیشانی کوهستان از حالت "V" شکل در جوان‌ترین حالت خود تا "U" شکل در اثر فرسایش متغیر هستند. این اشکال می‌توانند مرتبط با فعالیت تکتونیکی نیز حاصل شوند زیرا هرچه میزان بالآمدگی سطح زمین بیشتر باشد، در اثر افزایش شیب سطح زمین رودخانه قدرت بیشتری برای حفر قائم بستر رودخانه پیدا کرده و دره‌های عمیقی شکل می‌دهد. درحالی‌که بدون فعالیت تکتونیکی، سطح زمین هموارتر بوده و رودخانه‌ها قدرت کمتری داشته و به جای حفر بستر رود، بیشتر حاشیه مسیر رود را فرسایش می‌دهند. لذا دره‌های U شکل ایجاد می‌شوند. شکل نیم‌رخ دره به خوبی توسط این شاخص بررسی و کمی‌سازی می‌شود

(Bull and McFadden, 1977: 120)

در رابطه‌ی فوق، V_{fw} پهنای دره، (Ald), (Asc), (Ard)، به ترتیب، ارتفاع کف بستر رود، ارتفاع دیواره چپ و ارتفاع دیواره راست می‌باشند. جهت بررسی این شاخص، حدود ۰/۵ تا ۱ کیلومتر از پیشانی کوه به سمت داخل کوه، مقطع عرضی رود در نظر گرفته می‌شود؛ زیرا در مرز پیشانی و دشت، قدرت رود

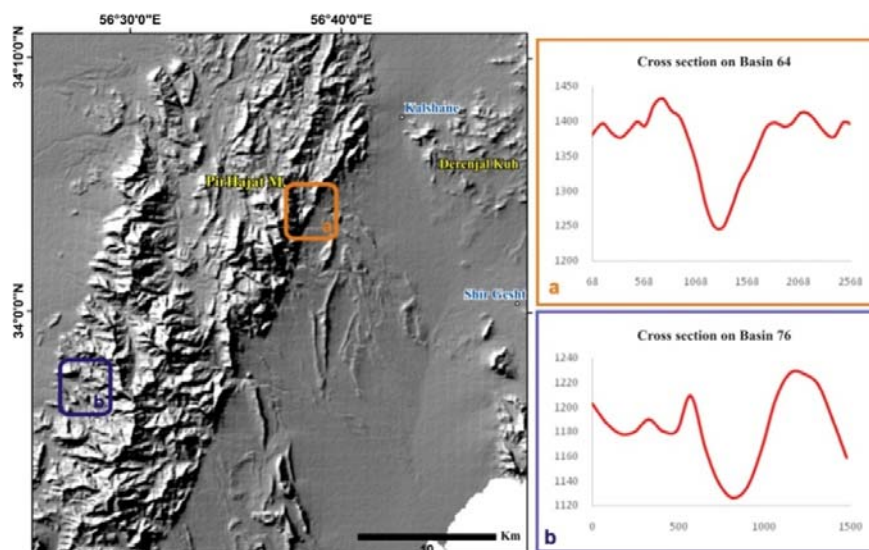
تکتونیک با دره‌های پهن و U شکل، جای می‌گیرند. بدین ترتیب، طبق اندازه‌گیری‌های این اندیس، نونگ‌کوه بیشترین میزان فعالیت را ارائه می‌دهد. موقعیت برش‌های عرضی از رودخانه‌های پیشانی‌های کوهستانی در شکل ۶ آورده شده است.

پرشیب همراه با نرخ بالا آمدگی و بریدگی زیاد هستند (شکل ۷). تعدادی دیگر از حوضه‌های کوه پیراجت (۷۹-۷۵-۷۲-۵۱) و درنجال (حوضه ۳۸) در رده ۲ فعالیت تکتونیک با دره‌های V شکل قرار دارند و سایر حوضه‌هایی که دره‌های موجود در پیشانی کوهستان آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت، در رده ۳ فعالیت



شکل ۶: نقشه موقعیت مقاطع عرضی به منظور اندازه‌گیری اندیس Vf

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴



شکل ۷: نمای برش عرضی از دره‌های تشکیل شده در پیشانی‌های کوه پیرحاجت

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

شکل حوضه زهکشی (Bs)

عریض‌ترین ناحیه آن به تفکیک، میزان شاخص (Bs) برای ۸۹ حوضه آبریز در محدوده‌ی مطالعاتی محاسبه گشت و در نهایت به سه رده زمین‌ساختی ۱، ۲ و ۳ تقسیم شده است. در این رده‌بندی، Bs بیشتر از ۴ در رده ۱، Bs بین ۳ تا ۴ در رده ۲ و Bs کوچک‌تر از ۳ در رده ۳ فعالیت تکتونیکی قرار می‌گیرند (El Hamdouni et al, 2007: 160)

طبق نتایج حاصل از اندازه‌گیری این اندیس و همان‌طور که از نقشه آن (شکل ۸) مشخص است حوضه‌های مجاور گسل‌های نائینی، نار و گل‌خار رده‌های ۱ و ۲ فعالیت تکتونیکی را شامل می‌شود که بیانگر بیشترین میزان کشیدگی در محدوده مطالعه می‌باشند. همچنین در ناحیه ازبک‌کوه و سیاه‌کوه نیز همین میزان از فعالیت وجود دارد؛ اما سایر حوضه‌های موجود در این محدوده از میزان کشیدگی کمتری برخوردارند.

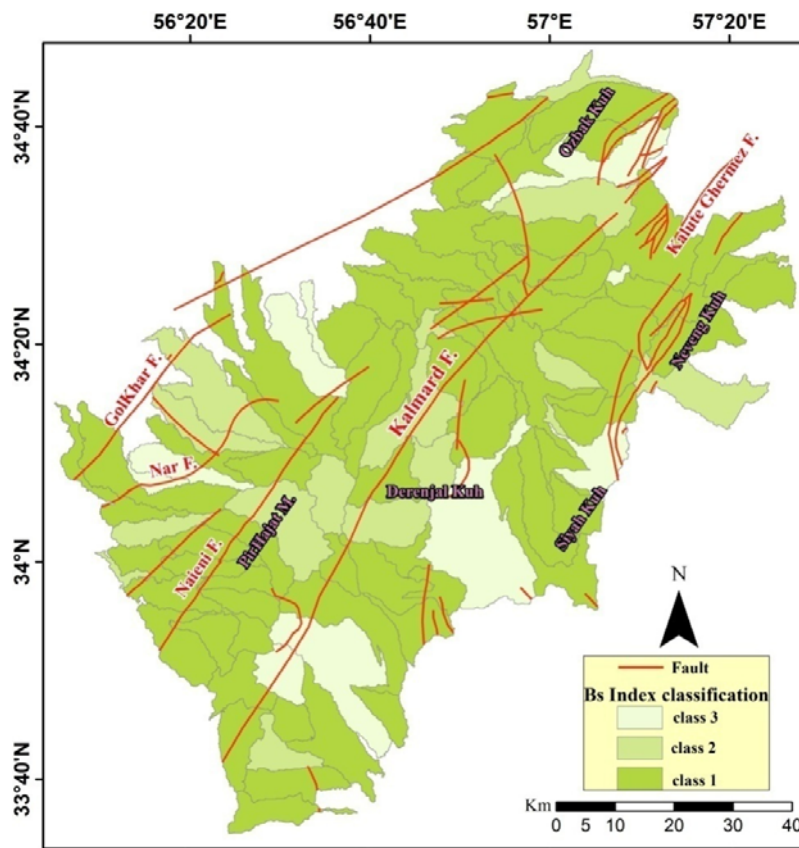
رابطه ۵: $Bs = BI/Bw$

همان‌طور که گفته شد شکل هندسی دو بُعدی یک حوضه می‌تواند اطلاعاتی از سطح و نوع فعالیت تکتونیکی بیان کند. با بررسی نسبت طول به عرض یک حوضه آبریز میزان کشیدگی آن به دست می‌آید که این پارامتر به عنوان شاخصی جهت بررسی سطح فعالیت تکتونیکی به کار می‌رود

(Cannon, 1976: 10 & Herrera, 1998: 17)

غالباً حوضه‌های آبریزی که در مناطقی با فعالیت تکتونیکی بالا شکل می‌گیرند تمایل به کشیدگی دارند (مقادیر بالای شاخص). در حالی که شکل حوضه‌های تشکیل شده در مناطق با فعالیت تکتونیکی کمتر، به حالت دایره‌وار نزدیک‌تر می‌شود (مقادیر کم شاخص)، (Bull and McFadden, 1977: 130)

در این مطالعه با اندازه‌گیری طول (BI) از سرچشمه رود تا بخش خروجی رود از حوضه و عرض (Bs) در



شکل ۸: نقشه‌ی رده‌بندی حوضه‌های آبریز بر اساس اندیس Bs

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

لذا با محاسبه‌ی شاخص سینوسیته پیشانی کوهستان می‌توان به میزان تأثیر و تعادل عوامل فرسایش و تکتونیک منطقه پی برد

(Bull & McFadden, 1977:133; Bull, 2007:122).

در این شاخص L_j ، طول پیشانی کوهستان در امتداد کوهپایه و در محل شکست مشخص شیب و L_s طول خط مستقیم پیشانی کوهستان را نشان می‌دهند. پیشانی‌های جوان شکل گرفته در اثر گسلش در ابتدا به صورت مستقیم می‌باشند و مقادیر کمی از شاخص J را نشان می‌دهند؛ اما در صورت کاهش یافتن فعالیت تکتونیک و افزایش تأثیر عامل فرسایش، پیشانی کوهستان به شکل سینوسیته تغییر

شاخص سینوسیته پیشانی کوهستان (J)

$$J = L_j / L_s \quad \text{رابطه ۶:}$$

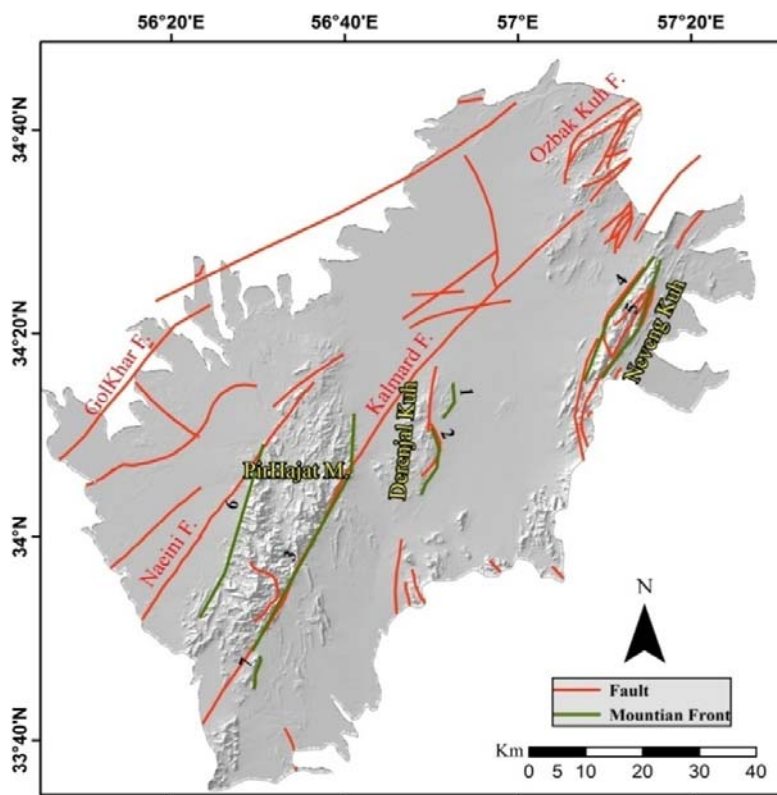
شکل کنونی پیشانی‌های کوهستان نیز متأثر از دو عامل تکتونیک و فرسایش می‌تواند حالت‌های مختلفی داشته‌باشند. عوامل فرسایش‌دهنده در پیشانی کوهستان به صورت عرضی برش ایجاد کرده و ساختارهای خلیجی و چشم‌اندازهای سه‌گوش^۱ ایجاد می‌نمایند که پیشانی را به حالت سینوسی درمی‌آورند (مقدار زیاد شاخص)؛ اما پیشانی‌های شکل گرفته همزمان با عوامل تکتونیک و همچون گسلش‌های سطحی تمایل به شکلی مستقیم با کمترین میزان سینوسیته دارند (مقدار کم شاخص).

یافته و مقدار شاخص J افزایش می‌یابد؛ لذا در طول زمان برتری هر کدام از دو عامل شکل کنونی پیشانی کوهستان را تعیین می‌کند.

در این مطالعه به کمک نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ چاه سرب، فردوس، طبس و بشرویه و نیز مدل ارتفاعی رقومی منطقه، ۷ پیشانی کوهستان برای کوه درنجال، کوه‌های پیرحاجت و نیز کوه سیاه در امتداد گسل‌های کلمرد و نائینی و مجموعه گسلی اسفندیار از انشعابات انتهایی گسل بزرگ نایبند، ترسیم گشت. سپس با اندازه‌گیری پارامترهای L_s و L_j شاخص سینوسیته پیشانی کوهستان اندازه‌گیری شد؛ و در نهایت به سه رده فعالیت تکتونیکی ۱، ۲ و ۳ تقسیم‌بندی شد. در این رده‌بندی، $J < 1.10$ رده ۱ فعالیت بالا، $1.10 > J$

با توجه به نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های اندیس پیشانی کوهستان، در کوه درنجال (پیشانی‌های ۱ و ۲) رده ۲ فعالیت تکتونیکی به دست آمده است. پیشانی‌های کوهستان در اطراف کوه پیرحاجت (پیشانی‌های ۳ و ۶ و ۷) رده ۲ و برای نونگ‌کوه نیز این مقادیر در رده ۱ و ۲ را نشان می‌دهد. بطورکلی مقدار شاخص سینوسی پیشانی کوهستان در گستره مورد مطالعه بین ۱/۰۰۹ تا ۱/۴ بوده و حاکی از فعالیت بسیار زیاد و گسله بودن این پیشانی‌ها در طول منطقه می‌باشد بطوری‌که هیچ پیشانی با رده ۳ در این ناحیه قرار ندارد (شکل ۹).

در این مطالعه به کمک نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ چاه سرب، فردوس، طبس و بشرویه و نیز مدل ارتفاعی رقومی منطقه، ۷ پیشانی کوهستان برای کوه درنجال، کوه‌های پیرحاجت و نیز کوه سیاه در امتداد گسل‌های کلمرد و نائینی و مجموعه گسلی اسفندیار از انشعابات انتهایی گسل بزرگ نایبند، ترسیم گشت. سپس با اندازه‌گیری پارامترهای L_s و L_j شاخص سینوسیته پیشانی کوهستان اندازه‌گیری شد؛ و در نهایت به سه رده فعالیت تکتونیکی ۱، ۲ و ۳ تقسیم‌بندی شد. در این رده‌بندی، $J < 1.10$ رده ۱ فعالیت بالا، $1.10 > J$



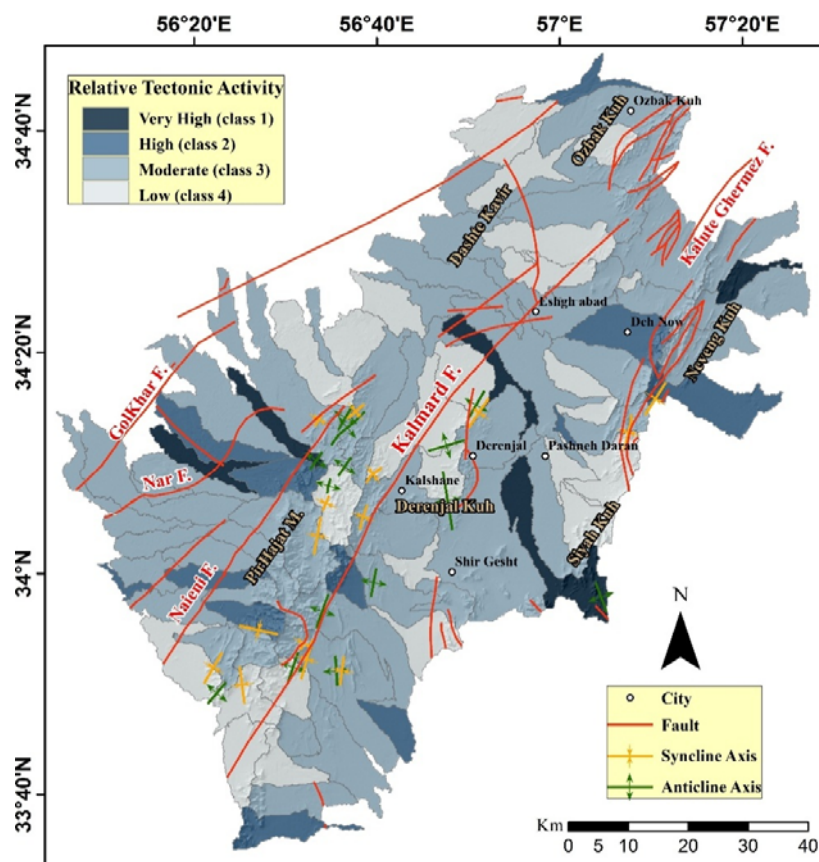
شکل ۹: نقشه رده‌بندی حوضه‌های آبریز بر اساس اندیس J

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

اندیس میزان فعالیت تکتونیکی نسبی (Iat)

پس از اندازه‌گیری هر اندیس ژئومورفولوژی به تفکیک، لازم است تا یک میانگین کلی از نتایج رده-بندی همه اندیس‌ها، جهت تخمین میزان برآیند فعالیت تکتونیکی منطقه صورت گیرد. این عمل در امتداد یک پیشانی گسل و یا یک حوضه آبریز صورت می‌گیرد (*Bull and McFadden, 1977: 134*; *Rockwell et al., 1985: 197*; *Azor et al., 2002: 573*; *Molin et al., 2004: 751*). در این مطالعه همان‌طور که ذکر شد، ۶ اندیس ذکرشده برای هر ۸۹ حوضه آبریز محاسبه شده و به ۳ رده فعالیت تکتونیکی تفکیک گشته است. پس از آن برای هر حوضه میانگین مقادیر رده شاخص‌های ژئومورفیکی (S/n) اندازه‌گیری شده و سپس به ۴ رده که در حقیقت همان رده‌های شاخص تکتونیک فعال (Iat) گستره مورد مطالعه می‌باشند، طبقه‌بندی شده است. در این حالت مقادیر بین ۱ تا ۱/۵ در رده ۱ فعالیت تکتونیکی (خیلی زیاد)، مقادیر بین ۱/۵ تا ۲ در رده ۲ فعالیت تکتونیکی (زیاد)، مقادیر بین ۲ تا ۲/۵ در رده ۳ فعالیت تکتونیکی (متوسط) و مقدار بیش از ۲/۵ در رده ۴ فعالیت تکتونیکی (کم) قرار می‌گیرند (*El Hamdouni et al., 2007: 166*).

میزان فعالیت تکتونیکی نسبی منطقه طبق اندازه‌گیری‌های صورت گرفته و بر اساس نقشه‌ی تهیه شده در محدوده‌ی مورد مطالعه (شکل ۱۰)، نشانگر ۵ حوضه از ۸۹ حوضه کلی منطقه با میزان فعالیت بسیار زیاد (رده ۱) و ۱۲ حوضه با فعالیت زیاد (رده ۲) می‌باشد. برخی از این حوضه‌ها در محدوده‌ی بین سه گسل نائینی، نار و گل‌خار در دامنه غربی کوه پیرحاجت قرار دارند، لذا می‌توان آن‌ها را به عنوان گسل‌های فعال معرفی کرد. در ناحیه نونگ‌کوه نیز به همین ترتیب گسل‌ها عملکرد فعالی از خود نشان می‌دهند. از آنجایی که گسل کلمرد از قطعه‌های مختلف گسلی (Segment) تشکیل شده است فعالیت روی بعضی از این قطعات متوسط تا بالا بوده که اندیس‌ها و شواهد فیلدی (کچ‌شدگی و گسلش در رسوبات نئوژن) و وقوع زلزله این امر را تأیید می‌نماید، اما قطعات دیگری که فاقد فعالیت اخیر بوده‌اند، سبب گردیده‌اند که شاخص‌ها مقادیر کمی نشان داده که شواهدی چون پشته‌های محصور و دشت‌های بریده شده عدم فعالیت این قطعات گسلی را تأیید می‌کند (*Bull, 2007: 234*).



شکل ۱۰: نقشه رده‌بندی حوضه‌های آبریز بر اساس اندیس *Iat*

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

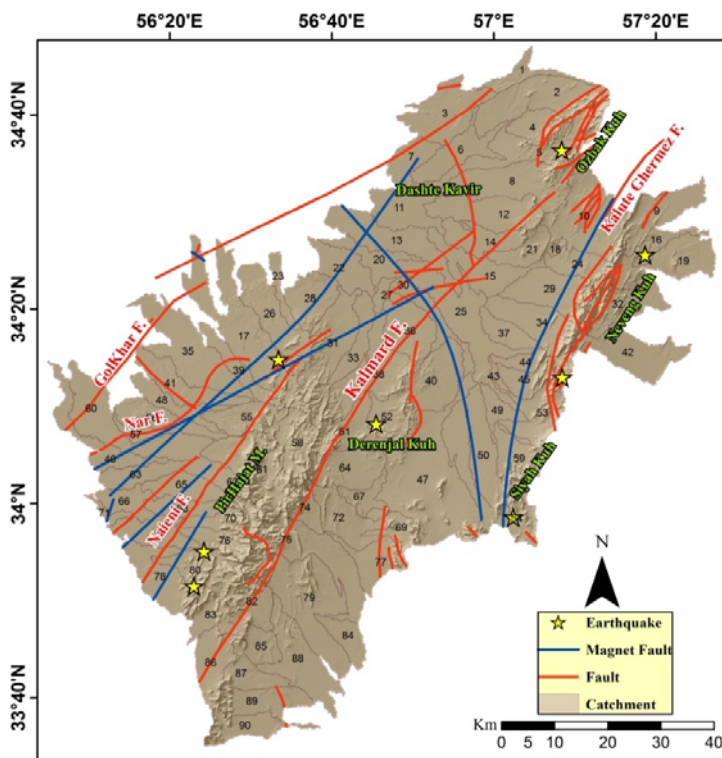
زلزله‌های وقوعی در محدوده‌ی مورد بررسی

چنانچه در بالا به تفصیل اشاره شد، در صورتی‌که فعالیت گسل‌ها شامل بالآمدگی‌ها و یا جابجایی‌های افقی جوان باشند، عامل فرسایش فرصت لازم جهت تخریب آن‌ها را نداشته و چشم‌اندازهای جوانی تشکیل خواهند شد که اندیس‌های مورفومتریک با دقت مناسبی این عوارض را بررسی و دسته‌بندی می‌کند (Bull, 2009: 188). زلزله‌های تاریخی و دستگاهی نیز به عنوان یک شاهد محکم دیگر از فعالیت جوان گسل‌ها می‌باشند. لذا با بررسی موقعیت زلزله‌های وقوعی در گستره مورد مطالعه می‌توان از حرکات اخیر گسل‌ها اطلاعاتی به دست آورد.

در شکل (۱۱) موقعیت زلزله‌های دستگاهی ثبت شده از سال ۱۳۳۹ تاکنون (IIES) آورده شده است (در این مطالعه از بررسی زلزله‌هایی با بزرگی کمتر از ۴ ریشتر صرف‌نظر شده است). زلزله‌های تاریخی بر پایه توصیف کیفی از تخریب سازه‌های ساخت بشر معرفی می‌شوند. از آنجاکه محدوده‌ی شرق ایران در زون ایران مرکزی شرایط کویری داشته و در طول تاریخ، شهرسازی در آن صورت نگرفته است، لذا زلزله تاریخی در این ناحیه ثبت نشده است. همچنین در این نقشه بر اساس نقشه تکتونیک ایران (نوگل‌سادات و الماسیان، ۱۹۹۳) گسل‌های مغناطیسی ترسیم شده است.

غربی کوه پیرحاجت می‌باشند که می‌توان آن‌ها را به گسل نائینی نسبت داد که بر اساس مطالعات اندیس‌های مورفومتریک نیز این پیشانی و حوضه‌های این ناحیه نیز از فعالیت بالای تکتونیکی برخوردار هستند. وقوع زلزله‌ای با بزرگی ۴٫۳ در سال ۱۹۷۸ در مجاورت روستای کلشانه در کوه درنجال نیز اشاره به عملکرد فعال گسل کلمرد دارد. همین امر در خصوص گسل‌های ناحیه ازبک‌کوه با ایجاد زلزله‌ای به بزرگی ۵ ریشتر در سال ۱۹۷۶ نیز صادق است.

در ناحیه‌ی نونگ‌کوه و سیاه‌کوه بر روی گسل‌های این بخش و نیز منطبق بر خطواره این ناحیه سه زلزله با بزرگی کاناموری ۵٫۱ در حوضه ۱۶ (در سال ۱۹۷۸)، ۴٫۹ در حوضه ۴۵ (در سال ۱۹۹۱) و ۵٫۲ در حوضه ۵۴ (در سال ۱۹۷۹) می‌باشد. حوضه‌های ۱۶ و ۵۴ طبق رده‌بندی فعالیت نسبی تکتونیکی (Iat) نیز حوضه‌هایی با فعالیت بسیار زیاد (رده ۱) می‌باشند. حوضه ۱۷ با زلزله‌ای به بزرگی ۴٫۴ (در سال ۱۹۸۱) و حوضه ۸۰ با دو زلزله به بزرگی ۴٫۲ و ۴٫۳ (در سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۰۷) دقیقاً منطبق بر پیشانی



شکل ۱: نقشه پراکنده‌ی زلزله‌های وقوعی در محدوده‌ی مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

شمشک در کوه پیرحاجت با شیبی در حدود ۹۰ درجه در مجاورت گسل کلمرد بیانگر فعالیت بالای تکتونیکی این منطقه می‌باشد (شکل ۱۲). همچنین در جنوب کوه درنجال رسوبات نئوژن با جنس

شواهد صحرایی و بحث

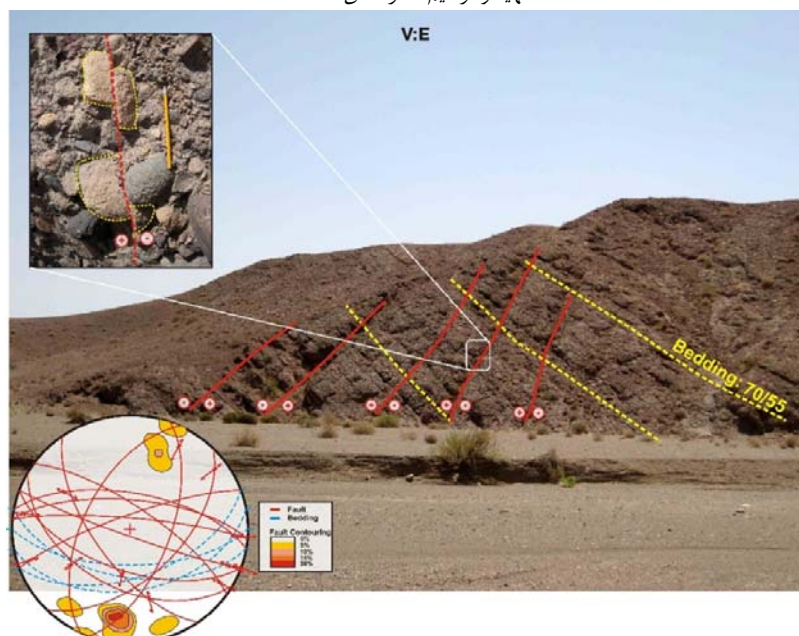
برای کسب اطمینان از میزان فعالیت گسل کلمرد در مجاورت روستای کلشانه مطالعات صحرایی صورت گرفت. در این ناحیه لایه‌های ماسه‌سنگی سازند

گسل‌ها N60W می‌باشد (شکل ۱۳). شیب‌دار بودن کنگلومرای نئوژن و نیز وجود گسلش در آن‌ها بیانگر فعالیت تکتونیک پس از نئوژن^۱ منطقه در اثر حرکت گسل کلمرد می‌باشد

کنگلومرا، به منظور بررسی فعالیت تکتونیک جوان مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. در این واحدها که با شیبی در حدود ۴۰ تا ۶۰ درجه به سمت جنوب قرار دارند. گسلش‌های متعددی رخ داده است. روند غالب این



شکل ۱۲: ماسه‌سنگ‌های تقریباً قائم ژوراسیک در مجاورت گسل کلمرد^۱
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴



شکل ۱۳: لایه‌های شیب‌دار و گسلیده کنگلومرای نئوژن در جنوب کوه درنجال با نمایش استریوگرافیک صفحات لایه‌بندی و گسل
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

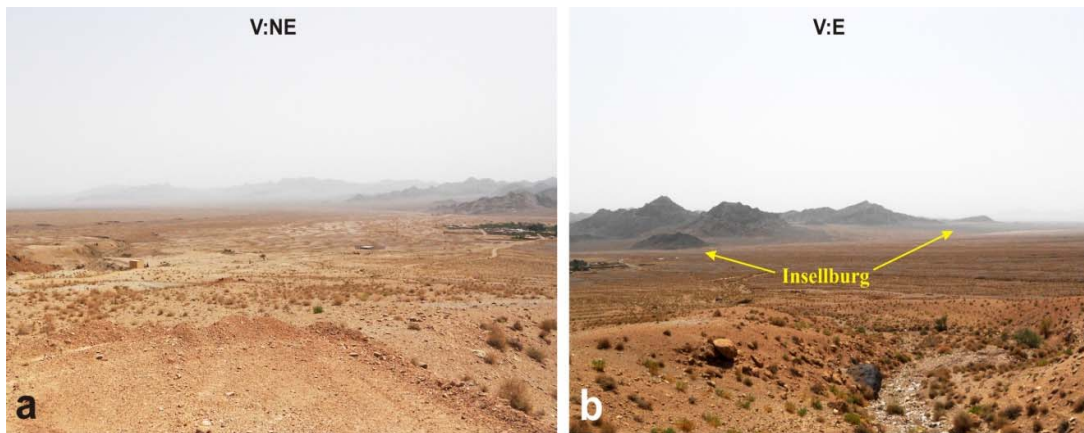
در شرق روستای کالشانه مشاهده می‌شود که این چشم‌اندازها میزان متوسطی از فعالیت را نشان می‌دهد.

اما از طرف دیگر چشم‌اندازهایی مانند رودشکن‌های^۱ پهن و عریض (شکل ۱۴) و دشت‌های بریده‌شده^۲ و پشته‌های محصور^۳ (۱۵) در جنوب کوه درنجال



شکل ۱۴: چشم‌انداز رودشکن (Knick point) با مقطع پهن و عریض نشانگر فعالیت تکتونیکی متوسط

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴



شکل ۱۵: چشم‌اندازهای مرتبط با فعالیت متوسط تا کم تکتونیکی در دشت مجاور گسل کلمرد

(a) دشت بریده شده (Dessected pedimont)، (b) پشته محصور (Insellburg)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

-
- 1-Knick Point
 - 2-Dessected Pedimont
 - 3-Insellburg

نتیجه

در آخرین قدم با تفسیر دقیق از نتایج حاصل از اندازه‌گیری اندیس‌های مذکور و مطابقت دادن آن با ساختارهای شناخته شده منطقه اعم از گسل‌ها و چین‌ها و همچنین بررسی نقشه‌های مغناطیس‌هواپی جهت شناخت گسل‌های پی‌سنگی مدفون و نیز بررسی موقعیت و بزرگی زلزله‌های وقوعی در این گستره، می‌توان فعال‌ترین و کم‌فعال‌ترین بخش‌ها را معرفی کرد. بر این اساس فعال‌ترین بخش‌های منطقه به شرح زیر می‌باشند.

نونگ‌کوه به عنوان منطقه‌ای فعال شناخته می‌شود. فعالیت تکتونیکی این محدوده را می‌توان به گسل بزرگ نایبند اختصاص داد چراکه این بخش دنباله‌ی شمالی کوه‌های شتری می‌باشد که خود در اثر فعالیت و جابجایی گسل‌ها در پایانه فشارشی این گسل بزرگ شکل گرفته است بطوری‌که نونگ‌کوه در امتداد گسل‌های این بخش ارتفاع گرفته است. مقادیر بالای اندیس گرادیان طولی رودخانه (SI)، وجود دره‌های عمیق و باریک (Vf) و همچنین پیشانی کوهستان (J) گسله و مستقیم و وقوع زلزله‌هایی در این نواحی گواهی بر میزان فعالیت بالای این ناحیه هستند. همچنین همان‌طور که در شکل (۱۱) نیز مشخص است، یک خطواره عمیق و زیرسطحی نیز از این ناحیه عبور می‌کند. کوه پیرحاجت نیز یکی دیگر از بخش‌های فعال منطقه را پوشش می‌دهد. این کوه ما بین دو گسل کلمرد و نائینی و در اثر حرکت راستالغز آن‌ها شکل گرفته است به‌همین دلیل اندیس پیشانی (J) کوهستان و اندیس نسبت پهنای کف به ارتفاع دره (Vf) در این ناحیه مقدار بالایی نشان می‌دهد و نیز در اثر

بالآمدگی‌های صورت گرفته در امتداد این دو گسل میزان بالایی از اندیس گرادیان طولی (SI) به‌دست آمد. همچنین در این کوه، چین‌های متعددی وجود دارد که سبب شده تا اندیس کج‌شدگی حوضه (Af) مقادیر بالایی نشان دهد. در بخش غربی این کوه نیز محل تلاقی دو گسل نار و گل‌خار با گسل نائینی نیز محلی با فعالیت بالاست که میزان بالای اندیس‌های کشیدگی حوضه (Bs) و انتگرال هیپسومتری و وقوع سه زلزله ذکر شده و نیز گذر دو خطواره زیرسطحی در این بخش، این امر را تصدیق می‌کند (شکل ۱۱). همان‌طور که در نقشه ترسیم‌شده از رده‌بندی اندیس Iat مشخص است در بخش میانی محدوده‌ی مورد مطالعه با روند NW-SE علی‌رغم عدم وجود گسلش سطحی، حوضه‌هایی با فعالیت بالا وجود دارند. با مطالعه‌ی نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ تکتونیک ایران (نوگل‌سادات و الماسیان، ۱۹۹۳) خطواره‌های مغناطیسی با روند مذکور در شمال کوه درنجال (منطبق بر حوضه‌های ۵۴ و ۳۰ با رده ۱ فعالیت تکتونیکی نسبی Iat) شناسایی شده‌اند. این خطواره‌ها با وجود اینکه در سطح زمین فاقد اثر می‌باشند، اما نشان‌دهنده‌ی سطح فعالیت تکتونیکی کنونی بالایی هستند که این امر در بررسی ژئومورفیک صورت گرفته به وضوح قابل تأیید است. علاوه بر این، در بخش‌های غربی کوه پیرحاجت و نیز در ناحیه سیاه‌کوه تا نونگ‌کوه خطواره‌ای قرار دارد که مجدداً دلیل میزان بالای فعالیت تکتونیکی و وقوع دو زلزله در این مناطق را تقویت می‌کند.

در خصوص میزان فعالیت گسل کلمرد نیز قطعاتی از گسل که فعالیت بالایی داشته‌اند میزان بالای شاخص مورفومتری را ارائه داده که با شواهد فیلدی

- Central Iran, Stratigraphie et tectonique. Thesis, Grenoble, 249 Pages.
- Allen, M.B., and Armstrong, H.A (2008). Arabia-Eurasia collision and the forcing of mid-Cenozoic global cooling, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 265, PP: 52–58.
 - Azor, A., Keller, E.A., Yeats, R.S (2002). Geomorphic indicators of active fold growth: South Mountain–Oak Ridge Ventura basin, Southern California. *Geological Society of America Bulletin* 114, PP:745–753.
 - Bull, William. B(2007). Tectonic geomorphology of mountains: a new approach to paleoseismology. Blackwell, Malden, 289 pages.
 - Bull, William. B (2009). Tectonically Active Landscapes: a new approach to paleoseismology. Blackwell, Malden, 333 Pages.
 - Bull, William. 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, PP:115–138.
 - Cannon, P.J (1976). Generation of explicit parameters for a quantitative geomorphic study of Mill Creek drainage basin. *Oklahoma Geology Notes* 36 (1), PP:3–16.
 - El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacón, J., Keller, E.A (2007). Assessment of relative active tectonics, southwest border of Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology* 96, PP: 150–173.
 - Hack, J.T (1982). Physiographic division and differential uplift in the piedmont and Blue Ridge. *U.S. Geological Survey Professional*, 1265, PP: 1-49.
 - Haghipour, A (1974). Etude Geologique de la region de Bibanak-Bafgh (Central Iran), Petrologie et tectonique du socle precambrian et de sa couverture. Thesis, Grenoble, 223 Pages.
 - Hare, P.W., Gardner, T.W (1985). Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins, Nicoya Peninsula,

بطور کامل مطابقت دارد اما قطعات دیگری از این گسل که فاقد فعالیت بوده‌اند بر روی شاخص‌های مورفومتری تأثیر گذاشته و سبب پایین آمدن این مقادیر شده‌اند. در این خصوص نیز شواهد صحرائی کاملاً این امر را تأیید می‌نمایند.

تقدیر و تشکر

بدین وسیله از زحمات ریاست و کارکنان محترم دانشکده علوم زمین و امور نقلیه دانشگاه خوارزمی جهت فراهم‌سازی امکانات لازم برای برداشت‌های صحرائی، تقدیر و تشکر می‌گردد. همچنین نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند با نهایت ادب و احترام یادی کنند از استاد فقید، زنده‌یاد دکتر محمد محجل که متأسفانه اکنون در میان ما نیستند و در دوم مردادماه سال ۱۳۹۵ به دیار باقی شتافتند. روحشان شاد و یادشان گرامی باد.

منابع

- آفانباتی، علی (۱۳۸۳). زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران، ۷۰۸ صفحه.
- نبوی، محمدحسین (۱۳۵۵). دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران، ۱۵۵ صفحه.
- سعیدی، عبدالله؛ محمدرضا قاسمی؛ منوچهر قریشی؛ پیمان نواب‌پور؛ محمد فریدی؛ نگار حقی‌پور؛ مهناز رضائیان (۱۳۸۱). بررسی زمین‌ساخت و لرزه‌زمین‌ساخت بلوک طبس، گزارش داخلی، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۶۲ صفحه.
- شیخ‌الاسلامی، محمدرضا؛ مسعود زمانی (۱۳۷۸). نقشه زمین‌شناسی حلوان، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰. سازمان زمین‌شناسی کشور.
- Aghanabati, seyed. Ali (1975). Etude geologique de la region de Kalmard (W. Tabas)

- Rockwell, T.K., Keller, E.A., Johnson, D.L (1985). Tectonic geomorphology of alluvial fans&mountain fronts near Ventura, California. In:Morisawa,M(Ed.), Tectonic Geomorphology. P.183-207.
- Ruttner, A., Nabavi, M.H., Hajian, J (1968). Geology of Shirgesht area (Tabas area, East Iran). Geological survey of Iran, Report no.4, 142 Pages.
- Silva, P.G., Goy, J.L., Zazo, C., Bardajm, Tm (2003). Fault generated mountain fronts in Southeast Spain: geomorphologic assessment of tectonic & earthquake activity. *Geomorphology* 250, P: 203–226.
- Strahler, A. N (1952). Hypsometric (area–altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin* 63, PP: 1117–1142.
- Costa Rica. In: Morisawa, M., Hack, J.T. (Eds.), *Tectonic Geomorphology. Proceedings of the 15th Annual Binghamton Geomorphology Symposium*. Allen&Unwin, Boston, PP:123-134.
- Keller, E. A., Pinter, N (2002). *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape* (2ndEd.) Prentice Hall, New Jersey, 319 Pages.
- Mayer, L (1990). *Introduction to Quantitative Geomorphology*. Prentice Hall, Englewood, Cliffs, NJ. *Tectonic Geomorphology*, PP:135-149
- Molin, P., Pazzaglia, F.J., Dramis, F (2004). Geomorphic expression of active tectonics in a rapidly-deforming forearc, sila massif, Calabria, southern Italy. *American Journal of Science* 304, PP: 559–589.
- Nogol-sadat, mir. Ali. Aakbar, Mohsen, Almasian (1993). *Tectonic map of Iran*, Geological Survey of Iran.
- Pike, R.J., Wilson, S.E (1971). Elevation–relief ratio, hypsometric integral and geomorphic area–altitude analysis. *Geological Society of America Bulletin* 82, PP.1079–1084.

