

بررسی نقش عوامل مؤثر در تحول ژئومورفولوژی مخروط افکنه و بستر حوضه اسکوچای

شهرام روستایی^۱

معصومه رجبی^۲

نسرین سمندر^۳

چکیده

رودخانه‌ها نسبت به حرکات تکتونیکی حساس هستند و رابطه نزدیکی بین لندفرم‌های رودخانه‌ای و حرکات تکتونیکی وجود دارد. شاخص‌های ژئومورفیک به‌عنوان ابزاری برای مشخص کردن ساختارهای جدید و فعال این حرکات به کار می‌روند. به‌علت وجود شواهد تکتونیکی فعال در منطقه اسکوچای، مانند دگرشیبی‌ها، وجود گسل، تراس-های رودخانه‌ای و غیره به محاسبه شاخص‌های مربوط به اندازه‌گیری میزان تکتونیک فعال منطقه پرداخته شده است. در این پژوهش شاخص‌های زیر برای حوضه اسکوچای مورد استفاده قرار گرفته‌اند. شاخص شیب طولی رودخانه (SL)، شاخص عدم تقارن آبراهه (AF)، شاخص نسبت عرض کف بستر دره به ارتفاع آن (VF)، شاخص شکل حوضه (BS) و شاخص‌های AF (وسعت مخروط افکنه) و SF (مخروط افکنه) که رابطه بین وسعت مخروط و وسعت حوضه و شیب مخروط و شیب حوضه را بیان کرده و تأثیر تکتونیک در شکل‌گیری مخروط‌ها (شیب و وسعت آنها) را بیان می‌کند، بر روی حوضه محاسبه شد. تمامی این شاخص‌ها از نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی منطقه استخراج و سپس وارد GIS شد و سپس محاسبات مربوط به آنها انجام شد و در طبقاتی با فعالیت تکتونیکی خیلی زیاد، زیاد، متوسط و کم، قرار گرفت. نتایج داده‌های حاصل از تحلیل‌های توپوگرافی، شواهد زمین‌ریخت‌شناسی حاصل از مشاهدات میدانی و مقادیر به‌دست آمده از شاخص‌های ژئومورفیک و بررسی شواهد حاکی از فعال بودن نئوتکتونیک در حوضه است و حوضه براساس طبقه‌بندی LAT در کلاس دو قرار می‌گیرد که نشان‌دهنده فعالیت‌های نئوتکتونیکی بالا در حوضه است و مخروط افکنه حوضه در محیط فعال تکتونیکی تشکیل شده است. مقادیر کمی به‌دست آمده از شاخص‌های ژئومورفیک را شواهد ژئومورفولوژیکی منطقه تأیید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: نوزمین‌ساخت، شاخص‌های ژئومورفیک، مخروط افکنه، رودخانه اسکوچای.

۱ - استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز

۲ - استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز

۳ - دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی دانشگاه تبریز (نویسنده مسئول)

مقدمه

اصطلاح مورفوتکتونیک بیان‌کننده ارتباط بین ژئومورفولوژی و تکتونیک است و در بسیاری از موارد مورفوتکتونیک، برابر تکتونیک ژئومورفولوژی در نظر گرفته می‌شود. شاخص‌های ژئومورفیک از ابزارهای مهم برای ارزیابی درجه فعالیت تکتونیک ناحیه‌ای خاص هستند که با تحلیل آنها می‌توان در مورد وقوع تغییرات مذکور اظهار نظر کرد. رودخانه‌ها از مهم‌ترین اشکالی هستند که نسبت به فعالیت‌های تکتونیک واکنش نشان می‌دهند. گسل‌ها و فعالیت‌های تکتونیک می‌توانند آثاری چون، انفصال در مسیر رود، تغییر الگو، تشکیل رودهای متروک و تغییر و تحول اشکال ژئومورفیک درون و حاشیه رودخانه ایجاد کنند (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۰۲).

شاخص‌های ژئومورفیک در ارزیابی فعالیت‌های تکتونیک ابزاری مفید و قابل اطمینان هستند زیرا از روی آنها می‌توان نواحی‌ای را که در گذشته فعالیت‌های سریع و یا حتی کند تکتونیک را پشت سر گذاشته‌اند، به راحتی شناسایی نمود (رامیز-هررا^۱، ۱۹۹۸: ۳۱۷). مخروط افکنه از جمله این اشکال ژئومورفولوژیک است که فعالیت‌های تکتونیک در کنار تغییرات آب و هوایی مهم‌ترین عامل کنترل‌کننده آن است (لی و همکاران، ۱۹۹۹: ۲۹۹). حرکات تکتونیک، سطح اساس فرسایشی را تغییر داده، فرآیندهای فعال در سطح مخروط-افکنه‌ها و تکامل آنها را تحت تأثیر قرار می‌دهند. بر این اساس می‌توان سطوح مخروط افکنه‌ای را به عنوان خطوط همزمان برای بررسی تاریخ و حرکات گسل‌ها و وقوع زلزله‌ها به کار گرفت (یانگ^۲، ۱۹۸۵: ۱۰). به‌طور کلی می‌توان گفت که نیروهای زمین‌ساختی نقش اصلی و اولیه را در تشکیل مخروط افکنه‌ها دارند و در سیر تحول و تکامل آنها نیز سهم به‌سزایی بر عهده دارند. مخروط افکنه‌ها اشکال تراکمی مربوط به دوره کواترن و عهد حاضر هستند لذا بررسی آنها می‌تواند اطلاعات بسیار مفیدی از فعالیت‌های نئوتکتونیک منطقه‌ای را که در آن شکل گرفته‌اند، در اختیار محققان قرار دهد (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۱: ۸۸). در شماری از مقاله‌های داخلی و خارجی شاخص‌های ژئومورفیک، مانند نسبت پهنای دره به ارتفاع آن، شاخص تقارن حوضه، شاخص شکل حوضه و غیره مورد استفاده قرار گرفته و فعالیت‌های تکتونیک مناطق تفسیر شده‌اند و به نتایج مورد انتظار دست یافته‌اند. خیام و مختاری کشکی (۱۳۸۲) عملکرد فعالیت‌های تکتونیک براساس مورفولوژی مخروط افکنه‌ها را در توده‌ی کوهستانی میشوداغ در شمال غربی ایران بررسی کرده‌اند. براساس این پژوهش، گسل شمال میشو و شاخه‌های فرعی آن مهم‌ترین نقش را در مورفولوژی دامنه شمالی میشوداغ و جبهه کوهستانی مشرف به دشت مرند ایفا کرده‌اند. رضایی مقدم و احمدی (۱۳۸۵) زیرحوضه سریاس استان

1- Ramizz & Hrra, 1998

2- Yang, 1985

کرمانشاه را با روش‌های ژئومورفولوژی کمی الگوی شبکه آبراه‌های به کمک زاویه برخورد آنها تحلیل کردند. مورفومتری شبکه آبراه‌های و ارتباط کمی این عوارض خطی با لیتولوژی و ساختمان زمین‌شناسی از جمله گسل‌ها از تحلیل‌هایی است که در این تحقیق انجام شده است. روستایی و همکاران (۱۳۸۶) نقش فعالیت‌های تکتونیکی در شکل‌گیری و گسترش مخروط‌افکنه‌های جنوبی آلاداغ را مورد بررسی قرار دادند. در کل تأثیر فعالیت‌های تکتونیک در شکل‌گیری و گسترش مخروط‌افکنه‌های جنوبی آلاداغ از جهات شکل‌گیری، جایگزینی، شکل، وسعت، گسترش، ضخامت رسوب‌ها و تکه‌تکه شدن مخروط افکنه را بررسی کرده‌اند. محققان داخلی بسیاری از جمله مختاری (۱۳۸۵)، رجبی و همکاران (۱۳۸۵)، کرمی (۱۳۸۸) و مقصودی و همکاران (۱۳۹۱) یمانی و همکاران (۱۳۹۱) در زمینه تکتونیک کارهای ارزشمندی انجام داده‌اند.

بیتی^۱ (۱۹۶۱) در مطالعه‌ای که در دره مرگ آمریکا انجام داد، به این نتیجه رسید که پادگانه‌های رودخانه‌ای و نیم‌رخ طولی رودخانه‌ها تحت تأثیر حرکات تکتونیکی متحول شده‌اند و تغییر در نیم‌رخ طولی رودخانه، مخروط‌افکنه پایین دست رودخانه را نیز متحول ساخته است. در مطالعه‌ای هم که هاروی^۲ در سال (۲۰۰۲) انجام داد، به بررسی نقش تغییرات سطح اساس بر روی مخروط‌افکنه‌ها پرداخت و تغییرات سطح اساس را نسبت به تغییرات اقلیمی و تغییرات تکتونیکی، مورد بررسی قرار داد. در سال (۲۰۰۳)، در مطالعه‌ای که ویسرس^۳ و همکارانش در منطقه بتیک کوردیلرای اسپانیا انجام دادند، به بررسی اشکال افتراپی مخروط‌افکنه‌هایی که توسط تکتونیک یا ائوستازی کنترل می‌شوند پرداختند. روبستلی و همکارانش^۴ در سال ۲۰۰۵ م. طی پژوهشی به مطالعه کنترل‌های ائوستاتیکی و تکتونیکی بر روی مخروط‌افکنه‌های کواترنری اخیر در امتداد ساحل دریای تیرنه در جنوب ایتالیا پرداختند. حوضه‌آبریز اسکوپای در دامنه شمال شرق توده آتشفشانی سه‌سند واقع شده است. مکانی است که فرصت مطالعه‌ای سیستماتیک را در مورد پیدایش و تحول کواترنری اشکال به‌وسیله فرآیندهای تکتونیکی فراهم می‌سازد. در این زمینه قدم نخست، می‌تواند تحلیل شبکه‌های زهکشی و جبهه‌های کوهستانی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک باشد. هدف این پژوهش تعیین کمی شاخص‌های ژئومورفیک برای ارزیابی نسبی زمین‌ساخت فعال و توسعه توپوگرافی در گستره مورد بررسی است. به این منظور از داده‌های GIS^۵ مشاهدات صحرائی (ساختاری و ژئومورفولوژی) و... استفاده خواهیم کرد. آگاهی از شرایط نئوتکتونیکی منطقه می‌تواند تا حدود زیادی از خسارت‌های جانی و مالی زمین‌لرزه‌ها بکاهد و در کاهش خسارات ناشی از بلایای طبیعی دیگر نظیر حرکات دامنه‌ای موثر واقع شود. مطالعه و شناسایی

1- Bitty, 1961

2- Harrvey, 2002

3- Visseres & et al, 2003

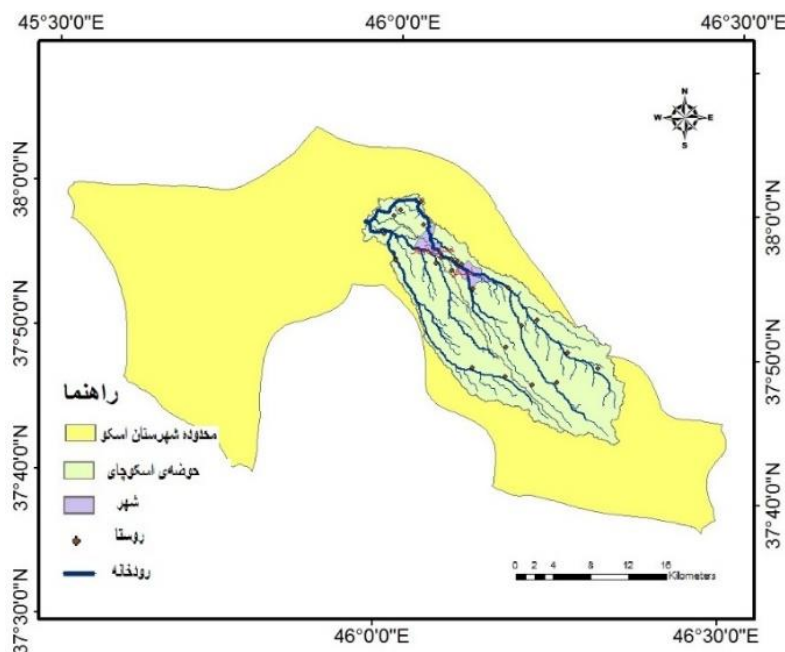
4- Robestly & et al, 2005

5- Geographic information system

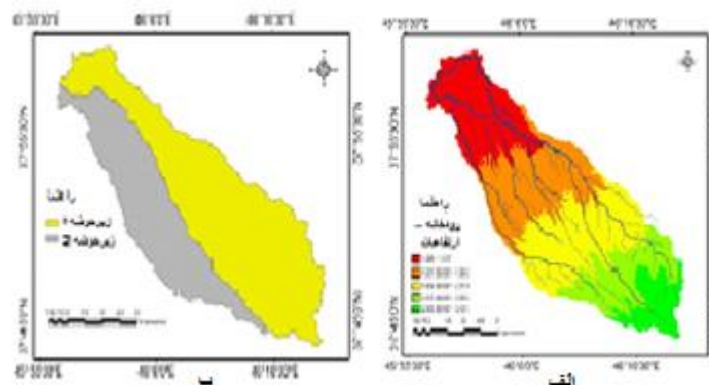
فعالیت‌های نئوتکتونیک در رودخانه اسکوچای برای مقابله با تأثیرات احتمالی این حرکات مفید است. با توجه به مطالب بالا این مطالعه سعی دارد تا با استفاده از چند شاخص ژئومورفولوژی میزان فعال بودن، نیروهای درونی را در حوضه اسکوچای مورد مطالعه و ارزیابی قرار دهد.

مشخصات منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز اسکوچای با مساحت ۴۵۵۷۱ کیلومتر مربع در جنوب شهر تبریز، در طول جغرافیایی ۴۵°۴۲' تا ۴۶°۱۲' شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷°۳۵' تا ۳۷°۵۵' شمالی قرار دارد. اسکوچای از جبهه شمالی سلطان داغی، که از رشته کوه‌های غربی سهند است، سرچشمه می‌گیرد. رودخانه کندوان هم که از ارتفاعات سهند غربی (ارشد داغی) جاری است، به این رودخانه می‌پیوندد. دره اسکو یا چاپاره به علت جریان رودخانه اسکو دارای باغ‌های حاصلخیز میوه و مزارع و کشتزارهای پربرکت است و از مراکز عمده کشاورزی و باغداری حومه تبریز محسوب می‌شود. عمده سنگ‌های تشکیل‌دهنده این حوضه عبارتند از: آندزیت، خاکستر آتشفشانی، کنگلومرا که متعلق به دوران پلیوکواترنری هستند. آندزیت و داستیک آندزیت هم عمده سنگ تشکیل‌دهنده قله مرتفع است که متعلق به دوران ترشیایی (نئوژن) است (نقشه زمین-شناسی اسکو ۱:۱۰۰۰۰۰).



شکل (۱) نقشه موقعیت جغرافیایی حوضه اسکوچای



شکل (۲) (الف) نقشه هیدرولوژی، (ب) نقشه زیرحوضه‌های حوضه اسکوچای

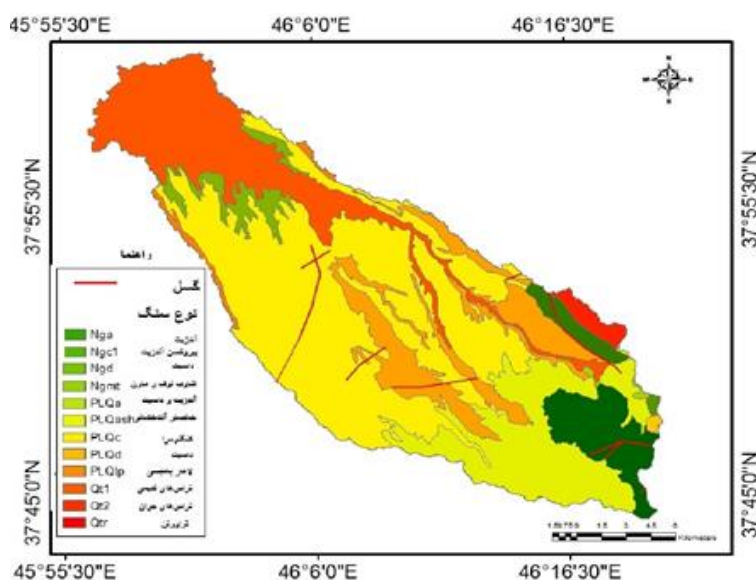
زمین‌شناسی و تکتونیک محدوده اسکوچای: اسکوچای از کوه سلطان داغی در شمال غرب رشته کوه سهند سرچشمه می‌گیرد. این رود از سازند Nga (آندزیت و داستیک آندزیت) شروع شده از روی سازندهای PLQ Ip (لاهار پامیسی) و PLQc (گنگلومرا همراه با لایه‌هایی از لاهار، توف، پامیس، خاکسترهای آتشفشانی همراه با آهک آب شیرین) می‌گذرد و نهشته‌های Qm (نهشته‌های بلوک ولکانیکی) را به جا گذاشته است. این رود در مسیر خود از روستاهای آمان، اسکندان، اسفنجان، فسقندیس و شهر اسکو و روستای کلجاه و در نهایت از خسروشهر عبور کرده و به تلخه‌رود می‌ریزد. (نقشه زمین‌شناسی اسکو ۱:۱۰۰۰۰۰). در منطقه مورد مطالعه با بررسی نقشه زمین‌شناسی اسکو حدود ۸ گسل بزرگ و کوچک شناسایی شد که البته در اطراف حوضه مورد مطالعه تعداد گسل‌ها بسیار بیشتر از این تعداد است. گسل‌های محدوده مورد مطالعه سازندهای آندزیت، پیروکسین آندزیت، داسیت و کنگلومرا را که متعلق به پلیوکواترنر و ترشیاری هستند، قطع می‌کنند و نقش و تأثیر این گسل بر روی آبراهه‌ها با استفاده از شاخص‌هایی در این پژوهش بررسی خواهد شد (نقشه زمین‌شناسی اسکو ۱:۱۰۰۰۰۰).

نقش تکتونیک جدید در مورفولوژی حوضه اسکوچای: نقش تکتونیک در شکل‌گیری و تغییر شکل مورفولوژی منطقه مورد مطالعه را می‌توان حداقل در دو مقوله متذکر شد:

تنش‌های داخلی: بعد از خروج مواد گدازه‌ای ولکانیکی و انفجار آنها در سطح زمین در مرحله انجماد بنا به علی‌القبیل تغییرات شیمیایی گدازه‌ها و عکس‌العمل متفاوت کانی‌های متشکله در مقابل پدیده‌های انجماد و مهم‌تر از همه بر اثر تنش‌های داخلی، شکاف‌ها و درزهای اولیه سنگ‌های داسیتی و آندزیتی به وجود آمده‌اند. وجود این شکاف‌ها و درزهای بزرگ و حتی میکروسکوپی اولیه برای نفوذ آب و بر نتیجه تخریب مکانیکی و متلاشی کردن سنگ‌های ولکانیکی مقاوم (داسیت و آندزیت) بهترین شرایط را فراهم آورده‌اند. به‌عنوان

مثال داسیت‌های موجود سلطان داغی حالتی متورق و فلسی را دارند که ناشی از نحوه به‌جاگذاری این سنگ‌ها در زمان‌های متفاوت و نیز عملکرد تنش‌های داخلی در مرحله انجماد است (رسولی، ۱۳۶۷: ۱۱۰).

تکتونیک شکننده: بعد از آخرین مرحله آتشفشانی و انجماد مواد گدازه‌ای بر اثر عملکرد نیروهای داخلی تشکیلات مذکور در جهات مختلف و مقیاس‌های متفاوت تکتونیزه شده‌اند. آثار ژئومورفولوژی تکتونیک در سنگ‌های مختلف یکسان نیست. به‌عنوان مثال در مجاورت چوبان دره‌سی کوه سلطان‌داغی بر اثر عملکرد نیروهای تکتونیک گسلی با جهت‌گیری جنوب‌غربی شمال‌غربی به‌وجود آمده است. در اثر این گسل دیواره‌ای عمود با ارتفاع بیشتر از ۴۰ متر را ایجاد کرده است، روی این دیواره آینه گسل قابل تشخیص است (رسولی، ۱۳۶۷: ۱۱۰).



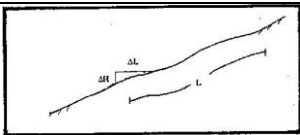
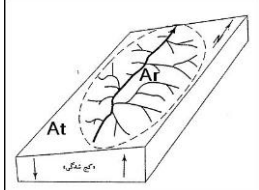
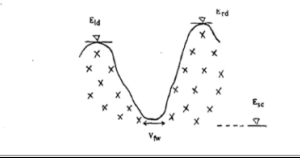
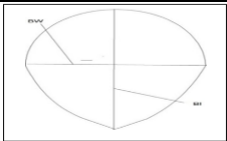
شکل (۳) نقشه زمین‌شناسی و گسل‌های حوضه اسکوچای (مأخذ: نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ اسکو)

مواد و روش‌ها

در این پژوهش برای بررسی نوزمین ساخت در تغییرات بستر و مخروط‌افکنه حوضه اسکوچای از روش‌های کتابخانه‌ای، تاریخی، شاخص‌های ژئومورفیک، شواهد ژئومورفولوژیکی، بازدیدهای میدانی و... استفاده شده است. داده‌های مورد نیاز برای بررسی فعالیت‌های زمین‌ساختی منطقه از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ به‌دست آمده‌اند. نقشه‌ها با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS ترسیم شدند. برای تحلیل و ارزیابی حرکات زمین‌ساختی در حوضه مورد مطالعه با توجه به اعتبار شاخص‌های ژئومورفیک در مطالعات، برای ارزیابی فعالیت‌های کواترنری حوضه اسکوچای از شاخص‌های ژئومورفیک مربوط به جبهه

کوهستان، مانند شاخص‌های تحلیل شبکه‌های زهکشی از قبیل گرادیان طولی رودخانه (SL)^۱، عامل عدم تقارن حوضه (AF)^۲، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن (VF)^۳، نسبت شکل حوضه (BS)^۴، مساحت مخروط افکنه Af^۵، شکل مخروط افکنه و شیب مخروط افکنه استفاده شد و پس از محاسبه شاخص‌های مورد نظر، با استفاده از شاخص LAT^۶ فعالیت نسبی تکتونیک در حوضه اسکوچای ارزیابی شد.

جدول (۱) نحوه محاسبه شاخص‌های ژئومورفیک (سلیمانی ۱۳۷۷)

	$SL = (\Delta H / \Delta L)L$	رابطه (۱)
	$AF = 50 - ([A_r \times 100] \div A_t) $	رابطه (۲)
	$Vf = 2V_{fw} / [E_{id} + E_{rd}] - 2E_{sc}$	رابطه (۳)
	$Bs = Bi / Bw$	رابطه (۴)
	$Af = 3/34 \cdot (Ad)^{0.55}$	رابطه (۵)
	$Af = 0/59 \cdot (Ad)^{0.8}$	رابطه (۶)
	$G = 0.092A^{-0.23}$	رابطه (۷)

شاخص شیب طولی رودخانه (SL): شاخص SL به تغییرات شیب طولی رودخانه و شیب آبراه حساس است و هرگونه بی‌نظمی‌ای را که بر اثر فعالیت‌های تکتونیک یا مقاومت سنگ در شیب طولی آبراه ایجاد شده است، نشان می‌دهد (کرمی، ۱۳۸۸: ۷۰). شاخص مذکور به قدرت رودخانه بستگی دارد و در سنگ‌های دارای مقاومت کم و یا در سنگ‌های یکسان از لحاظ مقاومت می‌تواند بیانگر حرکات تکتونیک فعال و جوان

1- Stream length- gradient Index.

2- Drainage Basin Asymmetry (Asymmetric Factor)

3- Index of Drainage Basin Shape

3- Index of Drainage Basin Shape

5- Area of fan index

6- Index of Relative Active Tectonic

باشد (کلر و پینتر^۱ ۱۹۹۶: ۱۳۰). در این شاخص SL شیب طولی رودخانه (متر)، ΔH اختلاف ارتفاع بین دو نقطه اندازه‌گیری (متر)، ΔL طول مسیر اندازه‌گیری شده بین دو نقطه (متر) و L طول رودخانه از وسط منطقه‌ی اندازه‌گیری شده تا مرتفع‌ترین نقطه آبراهه در بالادست (متر) (گارسیا و تورتوسا^۲، ۲۰۰۸: ۳۸۰) این شاخص به وسیله رابطه (۱) در جدول (۱) بیان می‌شود.

شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی AF: شاخص عدم تقارن روشی برای تشخیص کج‌شدگی ناشی از فعالیت‌های تکتونیکی در حوضه‌های زهکشی است (همدونی و همکاران^۳، ۲۰۰۸: ۱۵۶) این شاخص امکان می‌دهد که کج‌شدگی جانبی یک حوضه نسبت به مسیر اصلی رودخانه اثبات شود (گارنیری و پیروتا^۴، ۲۰۰۸: ۲۶۵). این شاخص با رابطه (۲) در جدول (۱) تعریف می‌شود. $AF =$ شاخص عدم تقارن حوضه $A_f =$ مساحت حوضه (کیلومتر مربع) در سمت راست آبراهه اصلی، $tA =$ مساحت کل حوضه (کیلومتر مربع).

شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن VF: شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن، دره‌های V شکلی را که در پاسخ به بالآمدگی، پایین دست خود را حفر می‌کنند، از دره‌های U شکلی که در اثر ثبات سطح اساس و آرامش تکتونیکی، فرسایش کناری در آن‌ها برتری دارد، متمایز می‌سازد (گارسیا-تورتوسا، ۲۰۰۸: ۳۷۸). این شاخص به صورت رابطه (۳) در جدول (۱) بیان می‌شود. $VF =$ شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن $V_{FW} =$ پهنای کف دره (متر)، E_{fd} و $E_{ld} =$ ارتفاع متوسط خط تقسیم آب در سمت چپ و راست دره (متر)، $E_{sc} =$ ارتفاع متوسط کف دره از سطح آب‌های آزاد (متر).

نسبت شکل حوضه BS: حوضه‌های فعال تکتونیکی شکل کشیده‌ای دارند. شکل حوضه در طول زمان با توقف میزان بالآمدگی، به تدریج دایره‌ای می‌شود (بوربک و اندرسون^۵ ۲۰۰۱: ۲۰۳). حوضه‌هایی که با مقادیر زیاد BS یعنی بیشتر از ۴ مشخص می‌شوند، از نظر تکتونیکی فعال هستند. زمانی که BS بین ۳ تا ۴ باشد از نظر فعالیت زمین‌ساختی در کلاس ۲ قرار دارند و مقادیر کمتر از ۳، حوضه‌های دایره‌ای شکل را نشان می‌دهند که از نظر فعالیت غیرفعال‌اند (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۶۹). این شاخص با رابطه (۴) در جدول (۱) به دست می‌آید.

$BS =$ شاخص شکل حوضه $Bi =$ طول حوضه، فاصله پایین‌ترین ارتفاع حوضه تا دورترین نقطه از آن $Bw =$ عرض حوضه، در عریض‌ترین بخش آن.

1- Keller & Pinter 1996

2- Garsia & Tortosa 2008

3- Hamdooni & et all 2008

4- Garnieri & Pirota 2008

5- Burbank and Anderson, 2003

شاخص مساحت مخروط افکنه (FA)

در شکل‌گیری و گسترش مخروط افکنه‌ها عوامل متعددی دخالت دارند که تکتونیک یکی از مهم‌ترین این عوامل است. این موارد توسط محققانی چون هاروی^۱ (۱۹۹۹)، بول^۲ (۱۹۷۷) و لچه^۳ (۱۹۹۰) مورد مطالعه قرار گرفته است. از این رو می‌توان با بررسی آنها به وجود حرکات تکتونیکی نیز پی برد (تقیان، ۱۳۸۸: ۷۸). برای بررسی ارتباط بین وسعت مخروط افکنه با فعالیت‌های تکتونیکی، شاخص‌هایی وجود دارد. از جمله این شاخص‌ها می‌توان به شاخص Af اشاره نمود. این شاخص، رابطه بین وسعت مخروط افکنه و حوضه زهکشی آن را، با فعالیت‌های تکتونیکی بیان می‌کند و از روابط (۵) و (۶) (جدول ۱) به دست می‌آید: Af: مساحت مخروط افکنه Ad: مساحت حوضه زهکشی (ادوارد و کلر^۴ ۱۹۸۶). رابطه (۵) مشخص‌کننده مخروط افکنه‌هایی است که در جبهه‌های کوهستانی فعال و دارای بالآمدگی تشکیل یافته هستند اما رابطه (۶) نشانگر مخروط افکنه‌هایی است که در مناطق نسبتاً آرام تکتونیکی شکل گرفته‌اند.

شکل مخروط افکنه

در زمانی که منطقه از نظر تکتونیکی آرام باشد، مخروط افکنه به صورت متقارن گسترش می‌یابد و عدم تقارن آنها در صورت مساعد بودن شرایط دیگر، می‌تواند به دلیل فعالیت‌های تکتونیکی باشد. در مخروط افکنه‌هایی که منحنی‌های میزان آنها، بخشی از دایره را تشکیل دهد و مرکز دایره منطبق با جبهه کوهستانی باشد، بیانگر تاثیر کمتر تکتونیک هستند و در حالت عکس، در مخروط افکنه‌های غیرساده که تحت تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی بوده‌اند، منحنی‌های میزان سطح مخروط افکنه به جای دایره، بخشی از یک بیضی را تشکیل می‌دهند و در فاصله‌ای دور از کوهستان شکل می‌گیرند (کلر و پینتر، ۱۹۹۶: ۱۳۰).

شاخص شیب مخروط افکنه (SF)

بسیاری از عواملی که شیب رودخانه را تحت تاثیر قرار می‌دهند، شیب مخروط افکنه‌ها را نیز متأثر می‌سازند (تقیان، ۱۳۸۸: ۷۸). بدین سبب تغییر شیب رودخانه بر نواحی کوهستانی در اثر حوادث و حرکات تکتونیکی در شیب مخروط افکنه‌ها مؤثر است. عامل تکتونیک از طریق تأثیرگذاری در محل استقرار مخروط افکنه‌ها، تأثیر در شیب حوضه آبریز، انحراف و افزایش رسوب‌دهی رودخانه نقش خود را در شکل‌گیری و گسترش مخروط‌ها ایفا می‌کنند (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۸۵). بر اساس فرمول‌ها روی شیب مخروط از

1- Harvey

2- Bull

3- Lecce

4- Edvard & Keller 1986

5- Edvard & Keller 1986

رابطه (۷) از جدول (۱) به دست می‌آید (هاروی، ۲۰۰۲: ۱۲۷). $G = \text{شیب مخروط}$ ، $A = \text{مساحت حوضه}$ ، $0/092$ و $-0/23$ ضرایب ثابت هستند.

طبقه‌بندی شاخص‌ها بر اساس شاخص **LAT**: در طبقه‌بندی ارائه شده برای شاخص‌های SL ، Vf ، BS ، Af توسط همدونی و همکاران (۲۰۰۸: ۱۷۱)، این شاخص‌ها بر اساس مقدار کمی به دست آمده در سه کلاس ۳، ۲، ۱ طبقه‌بندی شده‌اند. در این طبقه‌بندی کلاس ۱ بالاترین فعالیت و کلاس ۳ کمترین فعالیت نئوتکتونیک را دارد (جدول شماره ۲).

جدول (۲) طبقه‌بندی ارائه شده توسط همدونی و همکاران (۲۰۰۸)

شاخص‌ها	کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳
SL	میزان تغییرات زیاد	میزان تغییرات کم	بدون تغییرات
VF	$Vf < 0/5$	$Vf: 0/5 - 1$	$Vf > 1$
BS	$Bs > 4$	$Bs: 4 - 3$	$Bs > 3$
AF	$Af - 50 > 15$	$Af - 50: 7 - 15$	$Af - 50 < 7$

شاخص lat به وسیله میانگین کلاس‌های مختلف شاخص‌های ژئومورفیک (S/n) به دست می‌آید و بر اساس مقدار به دست آمده از (S/n) به چهار کلاس تقسیم می‌شود (جدول ۳) که در این تقسیم‌بندی کلاس ۱ با فعالیت بسیار بالای نئوتکتونیک، کلاس ۲ با فعالیت نئوتکتونیک بالا، کلاس ۳ با فعالیت نئوتکتونیک متوسط و کلاس ۴ با فعالیت نئوتکتونیک کمی فعال مشخص می‌شوند.

جدول (۳) طبقه‌بندی شاخص lat

رده	فعالیت زمین ساختی	s/n
۱	خیلی بالا	۱ - ۱,۵
۲	بالا	۱,۵ - ۲
۳	متوسط	۲ - ۲,۵
۴	پایین	$> 2,5$

یافته‌های تحقیق

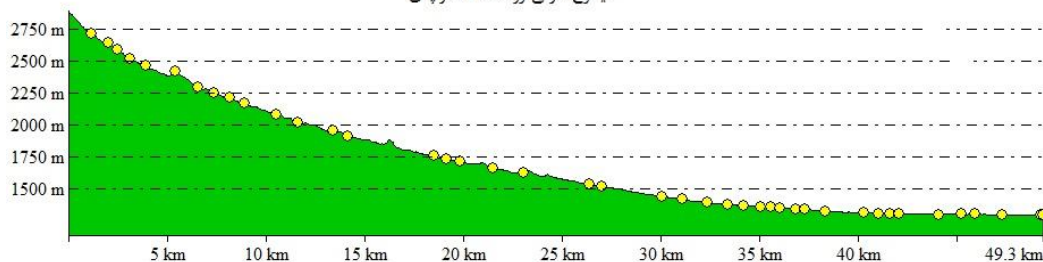
شاخص شیب طولی رودخانه SL: در این پژوهش شاخص SL برای رودخانه حوضه اسکوچای محاسبه شد. در این محاسبه ابتدا نیم‌رخ طولی رودخانه ترسیم شد (شکل ۴) و در فواصل معین ۲۰۰ متری میزان این شاخص برای تمام مسیر آبراهه‌های اصلی در محدوده دره اندازه‌گیری شده و از تمام SL ‌های به دست آمده میانگین گرفته شد (جدول ۳).

جدول (۴) محاسبه شاخص SL برای آبراهه اصلی حوضه اسکوچای

ارتفاع (m)	$\Delta H(m)$	$\Delta L(m)$	L(m)	SI
۲۸۰۰-۲۶۰۰	۲۰۰	۱۶۷۴,۶۶	۱۲۴۶,۷۷	۱۴۸,۸۹
۲۶۰۰-۲۴۰۰	۲۰۰	۲۴۲۱,۳۵	۳۶۰۳,۷۰	۲۹۷,۶۶
۲۴۰۰-۲۲۰۰	۲۰۰	۳۱۶۷,۰۰	۶۳۱۷,۱۰	۳۹۸,۹۳
۲۲۰۰-۲۰۰۰	۲۰۰	۳۵۲۲,۱۴	۹۲۸۷,۶۳	۵۲۷,۳۸
۲۰۰۰-۱۸۰۰	۲۰۰	۵۱۵۸,۱۵	۱۴۰۹۰,۷۱	۵۴۶,۳۴
۱۸۰۰-۱۶۰۰	۲۰۰	۶۱۱۷,۲۸	۱۹۸۴۵,۴۸	۶۴۸,۸۳
۱۶۰۰-۱۴۰۰	۲۰۰	۷۶۷۹,۳۹	۲۶۱۴۹,۵۱	۶۸۱,۰۳
				$\Sigma = ۴۶۴,۱۵ \text{ m}$

بر اساس تقسیم‌بندی همدونی (۲۰۰۸) برای شاخص SL، با مقدار نتیجه حاصله این منطقه در کلاس ۲ قرار می‌گیرد و منطقه با ناهنجاری کم شناخته می‌شود. شاخص شیب رودخانه از پارامترهای ژئومتریک مهم برای بیان تفاوت‌های نسبی بالآمدگی در مناطق مختلف است ولی صرفاً بیانگر فعالیت تکتونیکی نیست بلکه نقش عوامل دیگر مثل لیتولوژی را نیز بیان می‌کند. در حالت کلی این شاخص برای نشان دادن تغییرات شیب بستر رودخانه‌ها به کار می‌رود. در رودخانه اسکوچای یکی از دلایل بالا بودن مقدار شاخص را می‌توان تأثیرات لیتولوژی منطقه در نظر گرفت زیرا آبراهه در روی بستری قرار دارد که تغییرات لیتولوژیکی در آن زیاد است. بنابراین علاوه بر عامل تکتونیک، تفاوت لیتولوژیکی هم در مقدار این شاخص تأثیر دارد.

نیمرخ طولی رودخانه اسکوچای



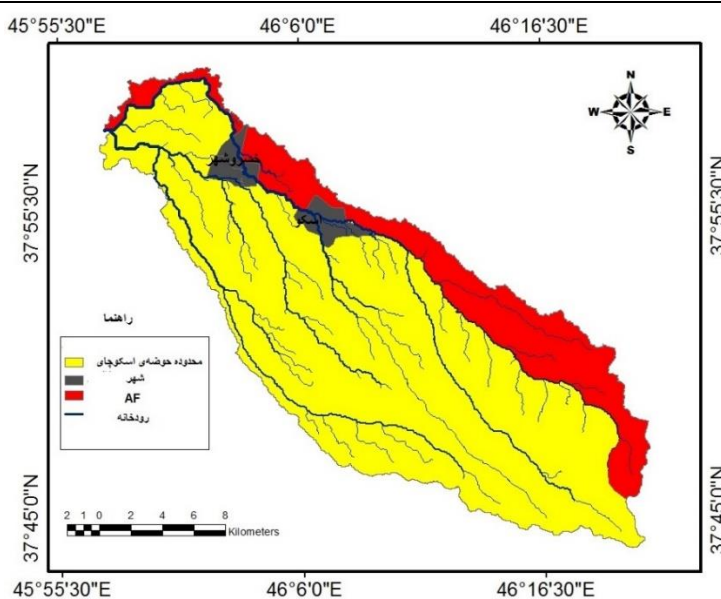
شکل (۴) نیمرخ‌های طولی رودخانه اسکوچای

شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی AF: اگر حوضه‌ای تحت شرایط ثابت، بدون کج‌شدگی و یا انحراف اندک تحول یابد، مقدار AF مساوی یا نزدیک ۵۰ است و مقادیر بیشتر یا کمتر از ۵۰ کج‌شدگی یا انحراف را مشخص می‌سازد. از نظر فعالیت‌های تکتونیکی، $AF > 50 > 15$ کلاس یک و فعال را نشان می‌دهد. در حالی که $7 < AF < 50 < 15$ باشد، کلاس دو و فعالیت متوسط آن حوضه را بیان می‌کند. توقف فعالیت و آرامش تکتونیکی، زمانی مشخص می‌شود که $AF < 7 < 50$ است (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۶۹). مقادیر محاسبه شده این شاخص برای آبراهه اصلی حوضه اسکوچای در جدول ۵ آمده است و هم‌چنین شکل ۵ نیز نمایش گرافیکی از

وضعیت این شاخص را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، میزان عدم تقارن در همه بخش‌های یک حوضه معین یکسان نیست. با توجه به مقادیر به دست آمده برای آبراهه و با استفاده از طبقه‌بندی همدونی (۲۰۰۸) رودخانه اسکوچای در کلاس ۱ و فعال قرار می‌گیرند.

جدول (۵)، مقادیر محاسبه شده شاخص AF برای سه آبراهه اصلی حوضه اسکوچای

نام منطقه	$A_t \text{ Km}^2$	$A_r \text{ Km}^2$	Af %	وضعیت تکتونیکی
رودخانه اسکوچای	۴۵۵,۷۱	۸۲,۹۸	۳۱,۷۹	فعال



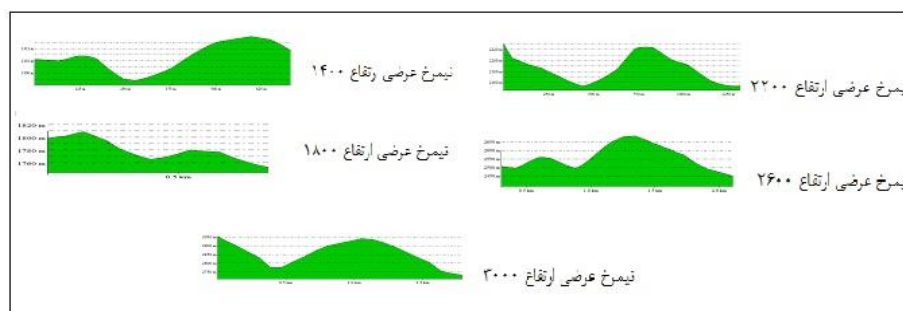
شکل (۵) نقشه شاخص عدم تقارن حوضه برای سه رود اصلی حوضه اسکوچای

شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن VF: نیم‌رخ عرضی دره‌ها با استفاده از نسبت کف به ارتفاع (VF) تعریف می‌شود. این نسبت شاخصی را فراهم می‌کند که حفر پایین دست رودخانه بر اثر پایین افتادن سطح اساس و فرسایش کناری دامنه‌های مجاور رودخانه را نشان می‌دهد. این شاخص دره‌ها را براساس نسبت پهنای بستر به ارتفاع آن به صورت دره‌های U شکل با کف نسبتاً پهن و دره‌های V شکل از همدیگر متمایز می‌سازند. چون بالآمدگی با حفر بستر آبراهه‌ها ارتباط دارد، کم بودن مقدار شاخص VF نشان‌دهنده مقادیر زیاد بالآمدگی، حفر دره و وجود فعالیت تکتونیکی است. جدول ۶ مقادیر محاسبه شده این شاخص برای رودخانه اسکوچای را نشان می‌دهد. شکل ۶ نیم‌رخ‌های عرضی دره‌هایی را که محل انجام محاسبات بودند، نشان می‌دهند.

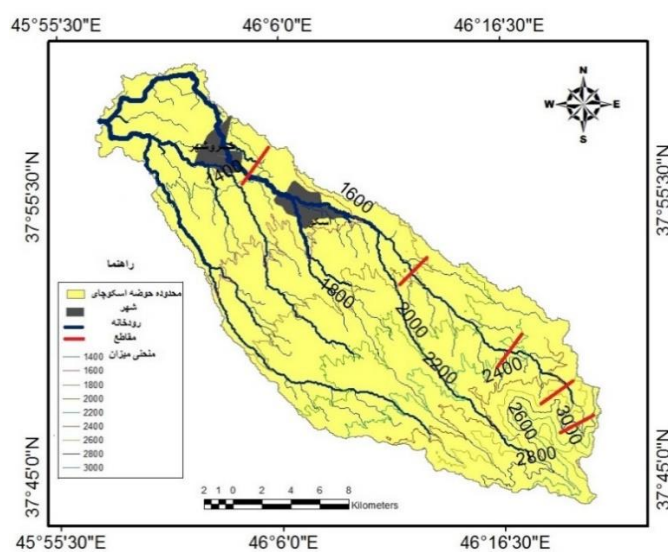
جدول (۶) مقادیر شاخص Vf رودخانه حوضه اسکوچای

Eld(m)	Erd(m)	Esc(m)	Vfw(m)	VF
۲۹۴۹/۱۰	۲۹۴۱/۶۲	۲۷۷۷/۲۲	۸۴/۳۵	۰/۵۰
۲۵۶۴/۳۹	۲۶۷۷/۲۲	۲۴۹۶/۶۹	۳۹/۰۶	۰/۳۱
۲۲۲۹/۰۴	۲۲۲۵/۱۹	۲۱۵۳/۲۹	۵۱/۰۶	۰/۶۹
۱۸۰۸/۳۲	۱۷۸۰/۴۵	۱۷۶۵/۸۹	۳۲/۰۶	۱/۱۲
۱۳۹۰/۶۲	۱۳۸۸	۱۳۸۴/۹۳	۳۰/۵۵	۶/۹۷

برای محاسبه این شاخص ابتدا برای اولین آبراهه اصلی با توجه به منحنی میزانها در فواصل ۴۰۰ متری در ارتفاعات ۱۴۰۰، ۱۸۰۰، ۲۲۰۰، ۲۶۰۰، ۳۰۰۰ متر، نیمرخهای عرضی ترسیم شد و سپس محاسبات روی آنها صورت گرفت که در زیر نیمرخها آورده شده است. با توجه به میانگین به دست آمده از مقادیر محاسبه شده، شاخص VF برای رودخانه اسکوچای مقدار ۱,۹۱ به دست آمد که در طبقه بندی همدونی (۲۰۰۸) در کلاس ۳ و بدون تغییرات قرار می گیرد.



شکل (۷) نیمرخهای عرضی محل محاسبه شاخص Vf اسکوچای



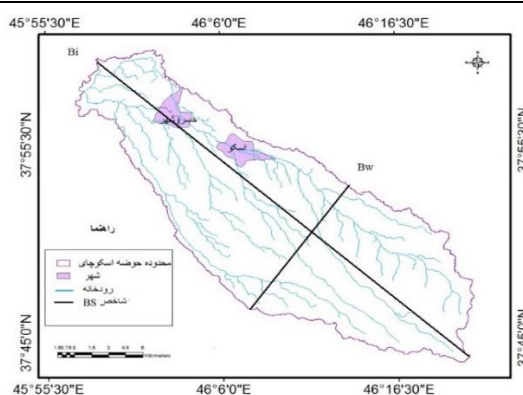
شکل (۸) مقاطع شاخص VF رودخانه اسکوچای

نسبت شکل حوضه (BS)

با توجه به محاسبات انجام شده (جدول ۷) بر روی حوضه مورد مطالعه و مقادیر به دست آمده از اندازه-گیری‌ها (جدول ۶) و با توجه به تقسیم‌بندی همدونی منطقه مورد مطالعه در کلاس ۲ و با تغییرات کم طبقه‌بندی می‌شود.

جدول (۷) مقادیر شاخص BS در حوضه مورد مطالعه

نام حوضه	Bi	Bw	Bs	طبقه‌بندی
اسکوچای	m۴۴۶۷۴/۹۵۶	m۱۴۷۷۴/۶۱۶	۳/۰۲	کلاس ۲



شکل (۹) نقشه شاخص BS اسکوچای

مساحت مخروط افکنه (AF) حوضه اسکوچای

در منطقه مورد مطالعه یک مخروط افکنه شناسایی شد که مساحت آن، هم با استفاده از رابطه‌ای که توسط ادوارد و کلر (۱۹۸۶) بیان شده است به دست آمد و هم با استفاده از نرم‌افزار GIS مساحت مخروط-افکنه برای تطابق با رابطه‌ها استخراج شد.

جدول (۸) مساحت واقعی مخروط افکنه و مساحت‌های به دست آمده از طریق رابطه (۵) و (۶)

روابط	Af به دست آمده از طریق رابطه	Af به دست آمده از طریق نرم‌افزار	Ad (مساحت حوضه)
$Af=3/34(Ad)^{0.55}$	۹۶/۷۷Km ²	۸۴/۳۷Km ²	۴۵۵/۱۷Km ²
$Af=0/5 \cdot (Ad)^{0.8}$	۶۶/۹۱Km ²	۸۴/۳۷Km ²	۴۵۵/۱۷Km ²

با توجه به جدول ۸ می‌کنیم که مساحت مخروط افکنه با رابطه اول بیشتر مطابقت دارد، زیرا اختلاف مساحت واقعی مخروط افکنه و مساحت به دست آمده از طریق روابط مذکور، در رابطه اول $12/4 \text{ Km}^2$ در رابطه دوم، $17/46 \text{ Km}^2$ است. لذا می‌توان اساس را بر رابطه اول قرار داد و نتیجه گرفت که مخروط افکنه حوضه‌ی اسکوچای در یک محیط فعال تکتونیکی شکل گرفته است.

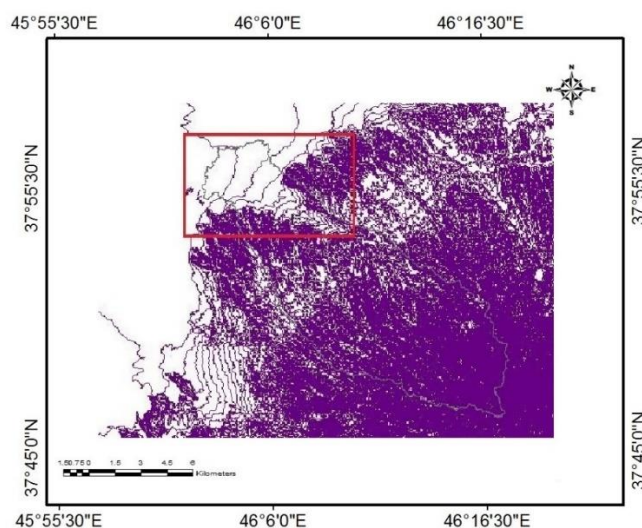
شکل مخروط افکنه

به طور کلی از روی شکل مخروط افکنه می توان به میزان تغییراتی که در فعالیت های تکتونیکی از قبیل ایجاد گسل، بالا آمدگی، خمیدگی و چین خوردگی در امتداد جبهه کوهستانی اتفاق می افتد پی برد. در مخروط-افکنه هایی که منحنی های میزان آن، بخشی از دایره را تشکیل دهد و مرکز دایره منطبق با جبهه کوهستانی باشد، بیانگر تأثیر کمتر تکتونیک است و در حالت عکس، در مخروط افکنه های غیرساده که تحت تأثیر فعالیت های تکتونیکی بوده اند، منحنی های میزان سطح مخروط افکنه به جای دایره، بخشی از یک بیضی را تشکیل می دهند و در فاصله ای دور از کوهستان شکل می گیرند (کلر و پینتر، ۱۹۹۶: ۳۰۰). با این توضیحات و با بررسی شکل مخروط افکنه حوضه اسکوچای و منحنی های میزان تشکیل دهنده آن، می توان چنین برداشت نمود که:

- مخروط افکنه اسکوچای به صورت متقارن گسترش نیافته و منحنی میزان های آن از حالت دایره ای خارج و حالت بیضوی پیدا کرده است. همان گونه که در شکل (۱۰) مشاهده می شود، این کشیدگی به سمت شمال متمایل گشته است.

- در ارتباط با شکل مخروط افکنه اسکوچای، علاوه بر عامل تکتونیکی، رودخانه کندوجان چای از چپ حوضه موجب گسترش مخروط افکنه به سمت شمال شده است. به طور کلی وجود گسل و وجود دو رود اصلی در چپ حوضه موجب خمیدگی مخروط به سمت شمال شده است.

- خمیدگی و تغییر جهت رسوب گذاری در قسمت بالادست مخروط افکنه.



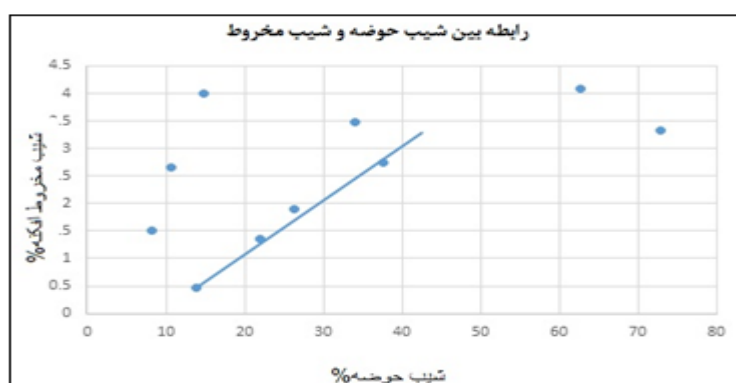
شکل (۱۰) موقعیت مخروط افکنه حوضه اسکوچای

شاخص شیب مخروط افکنه (SF)

نمودار نمایی مربوط به رابطه شیب مخروط افکنه^۱ و شیب حوضه (شکل ۱۱) و جدول مربوط به مقادیر شاخص شیب مخروط و شیب حوضه (جدول ۱۰) در ادامه آمده است.

جدول (۹) مقادیر شاخص شیب مخروط افکنه

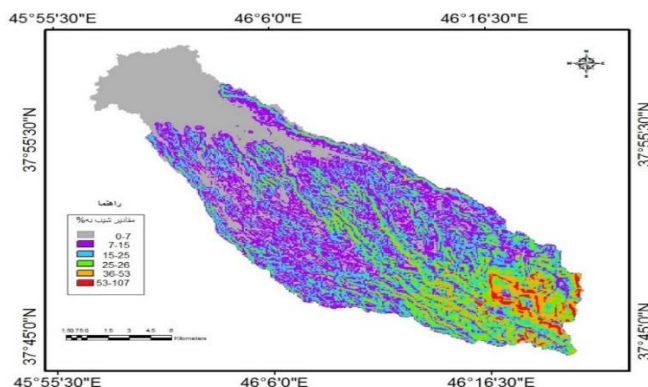
نقاط	شیب مخروط افکنه %	شیب حوضه %
۱	۳/۳۲	۷۲/۸۸
۲	۴/۰۸	۶۲/۷۲
۳	۳/۴۹	۳۴/۰۸
۴	۲/۷۵	۳۷/۶۶
۵	۴	۱۴/۸۰
۶	۱/۸۹	۲۶/۲۶
۷	۱/۵۰	۸/۲۷
۸	۱/۳۵	۲۱/۹۵
۹	۲/۶۵	۰/۶۲
۱۰	۰/۴۷	۱۳/۸۵



شکل (۱۱) رابطه شیب مخروط افکنه به شیب حوضه

طبق محاسبات صورت گرفته میزان همبستگی بین شیب مخروط افکنه و شیب حوضه برابر ۰/۵۵ است که این امر از همبستگی بالایی میان این دو متغیر حکایت می کند که به نوعی نمایانگر اثر فعالیت های تکتونیکی در منطقه است.

$$1-G = 0.092 * 455.71^{0.85} = 16.73$$



شکل (۱۲) نقشه شیب حوضه اسکوچای

طبقه‌بندی شاخص‌ها بر اساس شاخص **LAT**: بر اساس شاخص **lat** فعالیت‌های نئوتکتونیک منطقه مورد مطالعه را ارزیابی کردیم و که نتایج آن در جدول شماره ۱۰ آمده است.

جدول (۱۰) طبقه‌بندی شاخص‌های ژئومورفیک منطقه مورد مطالعه بر اساس شاخص **lat**

نام حوضه	کلاس شاخص‌ها				S/n	Iat
	Sl	Af	Vf	Bs		
اسکوچای	کلاس ۲	کلاس ۱	کلاس ۳	کلاس ۲	۲	۲

بر اساس محاسبات صورت گرفته و ارزیابی مقادیر به‌دست آمده از شاخص‌های محاسبه شده بر روی اسکوچای و با ارزیابی مقادیر به‌دست آمده با جدول ۲ و ۳ حوضه مورد مطالعه فعالیت تکتونیک بالایی دارد و در رده ۲ قرار می‌گیرد (جدول ۱۰).

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر نشان می‌دهد که عوامل بسیار زیادی در تحول ژئومورفولوژی بستر رودخانه و مخروط‌افکنه به ویژه در حوضه اسکوچای نقش دارند. بررسی‌های میدانی و استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی و همچنین منابع کتابخانه‌ای و بهره‌گیری از شاخص‌های تعیین فعالیت تکتونیک اطلاعات ارزشمندی را فراهم می‌نمایند در این‌جا محاسبات صورت گرفته و مقادیر به‌دست آمده از شاخص‌های ژئومورفیک و طبقه‌بندی میزان آنها، نشان‌دهنده فعال بودن نئوتکتونیک در حوضه به‌صورت بالآمدگی و فعالیت گسل‌ها هستند و حوضه اسکوچای دارای فعالیت بالای نئوتکتونیک است و براساس طبقه‌بندی **LAT** در کلاس ۲ قرار می‌گیرد. براین اساس، شواهد ژئومورفولوژیکی حاصل از فعالیت گسل و سطوح آبرفتی شکل گرفته و تحول یافته توسط حرکات نئوتکتونیک نشان‌دهنده وجود و ادامه حرکات نئوتکتونیک فعال در دوران کوتاه‌تر و عصر حاضر در حوضه مورد مطالعه است. در میان شاخص‌های اندازه‌گیری شده شاخص **SL** در مقایسه با دیگر شاخص‌ها نتیجه خوبی نداشت و این امر معلول عواملی است از قبیل واقع شدن رودخانه در دره و کم

بودن شیب رودخانه و همین‌طور شیب توپوگرافی منطقه و وجود رودخانه در بستری از رسوبات دوران کواترنری. این عوامل همگی در میزان شاخص SL تأثیرگذار هستند. با بررسی نیم‌رخ طولی رودخانه و مقادیر محاسبه شده شاخص SL، تغییر می‌کند و توزیع آن در همه بخش‌های منطقه یکسان نیست که این امر حاکی از تنوع شرایط تکتونیکی و لیتولوژیکی منطقه است. به‌طور کلی با ارزیابی شاخص SL با استفاده از شاخص IAT، منطقه در کلاس ۲ و با تغییرات کم طبقه‌بندی شد. شاخص VF محاسبه شده در نقاط مختلف منطقه تفاوت زیادی باهم دارند که نشان‌دهنده این است که میزان فعالیت تکتونیکی و فرسایشی در همه بخش‌های یک حوضه باهم برابر نیستند. بخش‌های شمالی حوضه دارای مقادیر VF کوچک‌تری هستند که نشان‌دهنده فعالیت تکتونیکی بیشتر در بخش‌های شمالی منطقه مورد مطالعه هستند. در طبقه‌بندی حوضه با استفاده از شاخص IAT، منطقه نشان‌دهنده عدم تقارن منطقه مورد مطالعه است. شاخص IAT در کلاس ۲ یعنی با میزان تغییرات کم، ارزیابی می‌شود و شکل حوضه تقریباً کشیده است. شاخص AF محاسبه شده برای منطقه نشان‌دهنده عدم تقارن منطقه مورد مطالعه است. با ارزیابی مقادیر به‌دست آمده توسط شاخص LAT منطقه از نظر تکتونیکی فعال است. اما میزان فعالیت‌های تکتونیکی در سمت راست حوضه بیشتر از سمت چپ حوضه ارزیابی می‌شود. مقدار شاخص AF مخروط‌افکنه با میزان متوسطی که به‌دست آمده است؛ نشانگر کج‌شدگی تکتونیکی حوضه است. با بررسی ارتباط بین وسعت مخروط‌افکنه با فعالیت‌های تکتونیکی، مشخص شد که مخروط‌افکنه منطقه مورد مطالعه در یک محدوده فعال تکتونیکی تشکیل شده است. در منطقه مورد مطالعه با توجه به شکل منحنی میزان‌ها و تمایل مخروط‌افکنه به سمت شمال می‌توان گفت که منطقه تحت تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی است. بسیاری از عواملی که شیب رودخانه را تحت تأثیر قرار می‌دهند، شیب مخروط‌افکنه‌ها را نیز متأثر می‌سازند. با توجه به محاسبات انجام شده و نمودار نمایی مربوط به آن، می‌توان گفت شیب حوضه و شیب مخروط رابطه مستقیم با یکدیگر دارند به‌طوری که مقدار همبستگی بین این دو متغیر ۰/۵۵ درصد است که این میزان همبستگی بالایی است و به‌نوعی نشان‌دهنده تأثیر حرکات تکتونیکی در منطقه است. تغییرات در نیم‌رخ طولی رودخانه، عدم تقارن رودخانه اصلی، عدم تقارن شبکه زهکشی، طول بیشتر رودخانه‌ها در سمت چپ رودخانه اصلی، تغییرات میزان عمق و پهنای بستر رودخانه، شکل و شیب مخروط‌افکنه، همگی حاکی از ادامه فعالیت‌های نئوتکتونیکی در منطقه مورد مطالعه هستند.

منابع

- اسماعیلی، رضا؛ متولی، صدرالدین؛ حسین زاده، محمدمهدی (۱۳۹۱)، بررسی اثرات مورفوتکتونیک در نیمرخ طولی رودخانه واز؛ البرز شمالی استان مازندران، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۳، صص ۱۱۱-۱۰۱.
- تقیان، علیرضا (۱۳۸۸)، تحلیل سیستم‌های شکل‌زای کواترنری در دامنه‌های کرکس، رساله دکتری. دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا.
- خیام، مقصود؛ مختاری کشکی، داود (۱۳۸۲)، ارزیابی عملکرد فعالیت‌های تکتونیکی براساس مرفولوژی مخروط-افکنه‌ها (مورد نمونه: مخروط‌افکنه‌های دامنه شمالی میشوداغ)، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۴، صص ۱۰-۱.
- رجبی، معصومه؛ روستایی، شهرام؛ مقامی‌مقیم، غلامرضا (۱۳۸۵)، تحلیل فعالیت‌های نئوتکتونیکی در دامنه‌های جنوبی ارتفاعات آلاداغ در جنوب شرق ایران، جغرافیا و توسعه، شماره ۸، صص ۱۷۷-۱۹۱.
- رسولی، علی‌اکبر (۱۳۶۷)، بررسی ژئومورفولوژی دامنه‌های شمال غرب سهند حوضه اسکوچای، پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تبریز.
- رضایی‌مقدم، محمدحسین؛ احمدی، محمد (۱۳۸۵)، تحلیل ژئومورفولوژی کمی الگوی زهکشی شبکه آبراه‌ای به کمک زاویه برخورد آنها در زیر حوضه سریاس، استان کرمانشاه، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۸۱، صص ۸۴-۹۸.
- روستایی، شهرام؛ رجبی، معصومه؛ زمردیان، محمدجعفر؛ مقامی‌مقیم، غلامرضا (۱۳۸۶)، نقش فعالیت‌های تکتونیکی در شکل‌گیری و گسترش مخروط‌افکنه‌های دامنه‌های جنوبی آلاداغ، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۳، صص ۱۳۷-۱۵۶.
- سلیمانی، شهریار (۱۳۷۷)، رهنمودهایی در شناسایی حرکات تکتونیکی فعال و جوان با نگرشی بر مقدمات دیرینه‌شناسی، چاپ اول، تهران، انتشارات موسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.
- کرمی، فریبا (۱۳۸۸)، ارزیابی ژئومورفیک فعالیت‌های تکتونیکی در حوضه زهکشی سعیدآبادچای، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۹، صص ۶۷-۸۲.
- مختاری کشکی، داود (۱۳۸۵)، کاربرد شاخص‌های ریخت‌سنجی در تعیین میزان فعالیت گسل‌ها، مورد نمونه: گسل شمالی میشو، علوم زمین، شماره ۵۹، صص ۷۰-۸۳.

- مقصودی، مهران؛ ابراهیم‌خانی، نرگس؛ یمانی، مجتبی (۱۳۹۱)، تأثیر نئوتکتونیک بر مخروط‌افکنه رود حاجی‌عرب (دشت قزوین) با بررسی داده‌های مورفومتری و رسوب‌شناسی، انجمن جغرافیای ایران، شماره ۳۳، ۱۰۶-۸۷.
- یمانی، مجتبی؛ مقصودی، مهران؛ قاسمی، محمدرضا؛ محمدنژاد، وحید (۱۳۹۱)، شواهد مورفولوژیکی و مورفومتریکی تأثیر تکتونیک فعال بر مخروط‌افکنه‌های شمال دامغان، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۲، صص ۱۸-۱.
- Beaty, C.B, (1961), **Topographic effect of faulting of Daeth Vally**, California. Annals of American of Geographers.
- Burbank, D.W., Anderson, R.S, (2001), **Tectonic Geomorphology**, Blackwell Science.
- Garsia-tortosa, F.J., Alfaro, P., Galindo-Zaldivar, J., Gilbert, Lopez- Garrido A.C., Sanz de Galdeano. C., Urena, M., (2008), **Geomorphologic Evidemce of the Avtive Baza Fault (Betic Cordillera, South Spain)**, Geomorphology, 97, PP. 374-391.
- Hamdouni, R.E., Irigaray, C. Fernandez, T., Chacon, T., Keller, E.A., (2008), **Assessment of Relative Active Tectonic, South West Border of the Sierra Nevada (Southern Spain)**, Geomorphology, 96, pp. 150-173.
- Harvey, A.M. (2002), **The role of base level change in the dissection of alluvial fans) case studies from southeast Spain and Nevada**, Geomorphology. Vol 45, PP. 67-87.
- Keller, E.A. & Pinter, N., (1996), **Active tectonics, earthquake, uplift and landscape**, Prentice Hall Publication, London.
- Li, Youli. Yang, Jingchun. Tan, Lihua. Duan, Fengian. (1999), **Impact of tectonics on alluvial landforms in Hexi corridor**, Northwest China, Geomorphology Vol 28. 299-308.
- Ramirez- Herrera, M.T. (1998), **Geomorphic assesment of active tectonics in the Acambay graben, Mexican Volcanic belt**, Earth surface processes and land forms. Vol.23, PP. 317-322.
- Robustelli, Gaetani, Francesco Muto, Fabio Scarciglia, Vincenzo Spina, Salvatore Critelli, (2005), **Eustatic and Tectonic control on Late Quaternary alluvial fans along the Tyrrhenian sea coast of Calabria (South Italy)**, Quaternary Science Reviews. (QSR), Vol .24, PP. 2101-2119.
- Viseras, Ceasar. Marlel Calvache, Juses M. Soria, Juan Fernandez, (2003), **Differential Features of alluvial fans controlled by tectonic of ecstatic accommodation space. Example from the Betic Cordillera**, Spain, Geomorphology, Vol. 50, PP. 181-202
- Yong, J.C. (1985), **Geomorphology (in Chinese)**, High Education press. Beijing.