

جغرافیا و توسعه شماره ۴۷ تابستان ۱۳۹۶

وصول مقاله : ۱۳۹۵/۰۱/۲۵

تأیید نهایی : ۱۳۹۵/۰۶/۰۹

صفحات : ۶۹-۸۸

بررسی عوامل مؤثر در پیدایش و تکامل مخروط‌افکنه‌های دامنه‌های جنوبی ارتفاعات جغتای با تأکید بر نقش تکتونیک (در محدوده‌ی غرب سبزوار)

دکتر جواد جمال‌آبادی^۱، دکتر محمدعلی زنگنه‌اسدی^{۲*}، دکتر ابوالقاسم امیر احمدی^۳

چکیده

هدف از پژوهش حاضر بررسی عوامل مؤثر در پیدایش و تکامل مخروط‌افکنه‌های دامنه‌ی جنوبی ارتفاعات جغتای در محدوده‌ی غرب سبزوار در استان خراسان رضوی است. برای دستیابی به هدف فوق ابتدا محدوده ۲۵ حوضه آبریز و مخروط‌افکنه‌ها با استفاده از نقشه‌ها، عکسهای هوایی و با کمک نرم‌افزار GIS تعیین حدودگردید و با استفاده از برخی شاخص‌های ژئومورفیک به تحلیل فرایندهای مؤثر پرداخته شد. شاخص‌های مورد استفاده در این پژوهش عبارتند از شاخص نسبت پهنای کف دره به عمق دره (Vf)، گرادیان طول رودخانه (SL)، نسبت شکل حوضه (BS)، شاخص تقارن توپوگرافی عرضی (T)، شاخص قرینگی حوضه‌ی آبریز (Af)، سینوسیته جبهه کوهستان (Smf)، شاخص تسطیح شدگی جبهه کوهستان (Fd)، شاخص انتگرال فراز نما (Hi) و شاخص Iat است که متوسطی از نتایج شاخص‌های فوق ارائه می‌نماید. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که ۷۱/۵ درصد شاخص‌ها، منطقه را به لحاظ عملکرد نیروهای تکتونیکی در وضعیت فعال تا نیمه فعال معرفی می‌کنند که این مسأله در شاخص Iat نیز که از میانگین کلاس‌های سایر شاخص‌ها به دست می‌آید، نشان داده می‌شود. بر اساس این شاخص ۴ درصد حوضه‌ها (غرب ساروق) از شرایط تکتونیکی فعال خیلی بالا، ۵۶ درصد حوضه‌ها را در وضعیت تکتونیکی بالا و ۴۰ درصد حوضه‌ها را در شرایط متوسطی از نظر تکتونیک قرار می‌دهد. بنابراین همه شاخص‌ها نقش عوامل تکتونیکی را در توسعه‌ی اکثر مخروط‌افکنه‌های منطقه تأیید می‌نمایند. بعلاوه وجود مخروط‌افکنه‌های نسبتاً بزرگ در انتهای برخی از حوضه‌های کوچک، خود مؤید این امر است. بعد از این عامل می‌توان به تأثیر عوامل مشترک لیتولوژیکی، تکتونیکی با توجه به نوع و ماهیت گسل‌ها اشاره نمود، از جمله گسل‌های راندگی فعال منطقه که باعث روراندگی رسوبات نرم و مارن‌های پلیوسن و واحد فلیش‌اوسن بر روی واحد سخت و کنگلومرای پلیوسن گردیده و تأثیر زیادی در تأمین رسوب منطقه و گسترش مخروط‌افکنه‌های این ناحیه داشته است. بعلاوه مواردی با ایجاد تپه‌های مسدودکننده باعث انحراف کانال اصلی رودخانه از مسیر قبلی خود شده و مخروط‌های چند بخشی، نامتقارن و قطعه قطعه ایجاد نموده است. به این ترتیب می‌توان گفت در توسعه‌ی مخروط‌افکنه‌های منطقه عامل تکتونیک در درجه‌ی اول اهمیت و بعد از آن عامل سنگ‌شناسی و لیتولوژیکی قرار می‌گیرد. همچنین نتایج مطالعات نشان می‌دهد که بین مساحت حوضه‌ی آبریز تغذیه‌کننده با مساحت مخروط‌افکنه رابطه‌ی معناداری وجود دارد.

کلیدواژه‌ها: تکامل مخروط‌افکنه، شاخص‌های ژئومورفیک، دامنه‌ی جنوبی ارتفاعات جغتای، غرب سبزوار.

مقدمه

مخروط‌افکنه‌ها از اشکال آبرفتی مثلثی‌شکلی هستند که در محل ورود رودخانه‌ها به داخل سطوح تقریباً هموار دشت شکل می‌گیرند (Huget, 2003: 196). این پدیده نتیجه یک سیستم فرسایشی- رسوبگذاری بوده (Bull, 1977: 222) که در نواحی خشک و نیمه خشک یا مناطق با خشکی فصلی، یعنی جایی که میزان بالایی از رسوب وجود دارد و تجمع در آن صورت می‌گیرد، به وجود می‌آید (چورلی و همکاران، ۱۳۷۹: ۲۸۶) و از پدیده‌های رایج در دامنه‌های جبهه‌های کوهستانی قلمداد می‌شود. چنین مناطقی عمدتاً در محل گسل‌های طویل یا پیشانی کوههای حاصل از فعالیت تکتونیکی قرار دارد (نوحه‌گر و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۹). اغلب زمین‌شناسان، ژئومورفولوژیست‌ها، هیدرولوژیست‌ها و یا پژوهشگرانی که به نوعی با مطالعات کواترنر در ارتباط هستند، مخروط‌افکنه‌ها را از جهات فرایندی، دینامیکی و مورفولوژیکی و سکنس‌های رسوبی بررسی نموده‌اند (گورابی و همکاران، ۱۳۹۱: ۹۰). ولی بیشتر بررسی‌های انجام گرفته در خصوص تشکیل و تکامل مخروط‌افکنه‌ها در اقلیم‌های خشک تأکید دارند. در صورتی که این لندها می‌توانند در هر جایی از کره‌ی زمین حتی در نواحی قطبی (گورابی و همکاران، ۱۳۹۱)، و مرطوب (Ryder et al, 1971: 298) و حتی حاره‌ای (Kesel, 1985: 154) یافت شوند.

در پیدایش و تکامل مخروط‌افکنه‌ها عوامل متعدد و بسیاری دخیلند از جمله آنها می‌توان به تغییرات اقلیمی کواترنر و اثر آن بر مورفولوژی مخروط، تغییرات سطح اساس، لیتولوژی، شیب، عوامل انسانی و به ویژه فعالیت‌های نئوتکتونیک در نواحی مختلف کره زمین اشاره کرد. دامنه جنوبی ارتفاعات جغتای به دلیل شرایط خاص اقلیمی، توپوگرافی و تکتونیکی دارای چندین مخروط‌افکنه کوچک و بزرگ می‌باشد که در ایجاد و استقرار دهها مراکز جمعیتی شهری و روستایی

نقش مهمی را ایفا کرده و بقا و ماندگاری این کانون‌ها را تضمین نموده است. تاکنون مطالعات زیادی در زمینه‌ی شناسایی علل و عوامل مؤثر در توسعه و تکامل مخروط‌افکنه‌ها در ایران و جهان صورت گرفته است که غالب پژوهش‌ها بر نقش عوامل تکتونیکی تأکید داشته است. از جمله مطالعات انجام شده در این زمینه می‌توان به تحقیقات بول و فادن (۱۹۷۷)؛ بول (۱۹۷۷)؛ تالینگ^۱ و همکاران (۱۹۹۷)؛ الکساندر و لیدر^۲ (۱۹۸۷)؛ گوپتا^۳، لی^۴، (۱۹۹۷)؛ ولز^۵ و همکاران (۱۹۸۸)؛ مالیک^۶ و همکاران (۲۰۰۱)؛ ویسراس^۷ و همکاران (۲۰۰۳)؛ روبوستلی^۸ و همکاران همکاران (۲۰۰۵)؛ کومار^۹ و همکاران (۲۰۰۷) اشاره نمود. از دیگر پژوهش‌های انجام گرفته در این زمینه می‌توان از کارهای نانیگا و واسون^{۱۰} (۱۹۸۵) به منظور محاسبه‌ی حجم فرسایش و عوامل مؤثر در توسعه‌ی مخروط‌افکنه‌ها با استفاده از فرمول‌ها و توابع ریاضی یاد کرد. همچنین چرچ^{۱۱} (۱۹۹۷) بر اساس یک روش ساده حجم مخروط‌افکنه‌های شمال غرب ورمونت در ایالات متحده را محاسبه کرد. لوید^{۱۲} و همکاران (۱۹۹۸) در پیرنه جنوبی استرالیا نتیجه گرفتند که توسعه و تکامل مخروط‌افکنه‌ها متأثر از لیتولوژی و تکتونیک است. کاتن^{۱۳} (۲۰۰۲) بر اساس ویژگی‌های مورفومتریک، حجم مخروط‌افکنه بوون در ورمونت را محاسبه کرد.

همدونی^{۱۴} و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و شاخص Iat به طبقه‌بندی

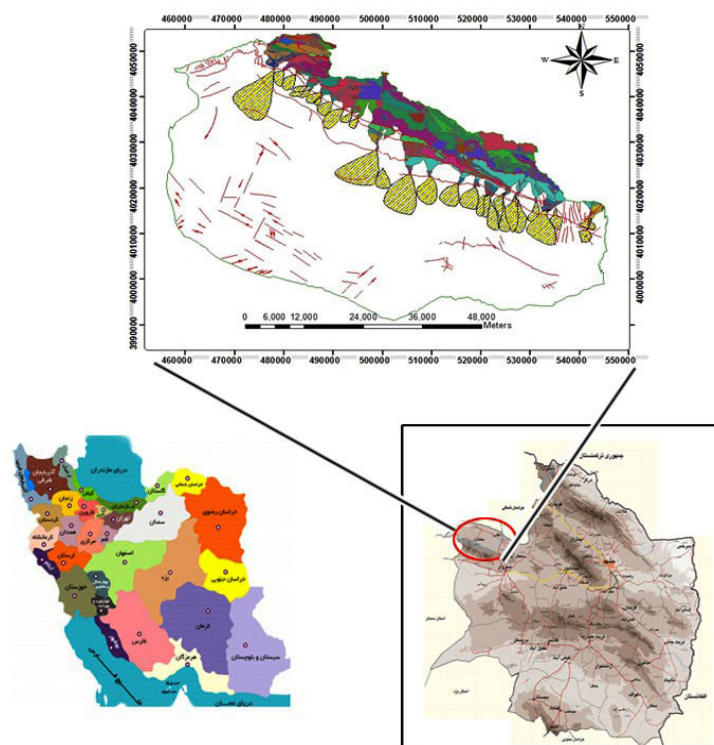
- 1-Talling et al
- 2-Alexander, & Leeder
- 3-Gupta
- 4-Li
- 5-Wells et al
- 6-Malik et al
- 7-Viseras
- 8-Robustelli
- 9- Kumar
- 10-Nanninga & Wasson
- 11-Church
- 12-Loyd et al
- 13-Cotton
- 14-Hamdouni et al

موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه

ارتفاعات جغتای از لحاظ موقعیت ریاضی بین $36^{\circ} 03' 43''$ تا $36^{\circ} 37' 26''$ عرض شمالی و $56^{\circ} 39' 56''$ تا $57^{\circ} 30' 00''$ طول شرقی واقع گردیده است از نظر موقعیت نسبی ارتفاعات جغتای به موازات رشته کوه های آلاداغ- بینالود و در جنوب آن با روند شمال غرب به جنوب شرق کشیده شده است. پهنای آن بین ۱۲ تا ۳۰ کیلومتر متغیر است و این ارتفاعات جداکننده‌ی دشت سبزوار از دشت جویین می‌باشند. منطقه‌ی مورد مطالعه بخشی از پایکوه‌های جنوبی ارتفاعات جغتای بوده که حد شمالی آن به خط‌الرأس ارتفاعات و از جنوب به رودخانه کالشور سبزوار محدود می‌گردد. حد شرقی آن را نصف‌النهار سبزوار و از مغرب به بخش میامی شاهرود محل اتصال کالشور جویین و کالشور سبزوار محدود می‌گردد. در این منطقه که از زیرحوضه‌های کالشور سبزوار می‌باشد، گونه‌های مختلف مخروط‌افکنه با ابعاد و وسعت‌های متفاوت تکوین یافته است. بلندترین نقطه‌ی ارتفاعی منطقه در محلی به نام کوه‌گر با ارتفاع ۲۴۸۰ متر و کمترین ارتفاع نیز در جنوب همین منطقه در کویر مزینان با ارتفاع ۸۰۰ متر در بستر کالشور سبزوار وجود دارد. به لحاظ زمین‌شناسی، منطقه‌ی مورد مطالعه جزء ناهمواری‌های ایران مرکزی بوده که در محدوده‌ی مثلی شکل داخل فلات ایران پراکنده می‌باشند که با توجه به گستردگی این واحد ژئومورفویکی بر اساس اختلافات ساختاری به واحدهای کوچک‌تر تقسیم شده‌اند. یکی از این واحدها رشته‌ی شمال شرقی جزء رشته‌های پراکنده حوضه‌ی دشت کویر می‌باشد که به رشته‌کوه جغتای معروف است. این رشته‌ی عامل جدایی چاله‌ی سبزوار از چاله جاجرم است (علایی‌طالقانی، ۱۳۸۲: ۲۵۹).

از ویژگی‌های این واحد ساختمانی وجود شکستگی‌ها، گسل‌ها و چین‌های وابسته به این گسل‌ها بوده که از طریق انفصال تکتونیکی در سنگ‌ها مشخص می‌گردند.

تکتونیک فعال در جنوب اسپانیا پرداخته و مناطق فعال تکتونیکی را مشخص نمودند. چینه نگاری و تغییرات محیطی مخروط‌افکنه‌های شرق ایران طی پلیستوسن پایانی و هولوسن را والکر و فتاحی^۱ (۲۰۱۱) بررسی کردند. همچنین در مقاله‌ای با عنوان تاریخ‌نگاری رسوبات بستر دریاچه‌ای هولوسن در دشت نیمبولوک در خراسان واقع در شمال شرق ایران را فتاحی و والکر (۲۰۱۵) مطالعه نموده، در این پژوهش رسوبات عمق ۱ متری تا سطح زمین مورد بررسی قرار گرفته و به این نتیجه رسیدند که شرایط ابتدای هولوسن کمی مرطوب‌تر از زمان حال بوده است. در ایران نیز پژوهش‌های زیادی در زمینه‌ی مخروط‌افکنه‌ها انجام شده است. از جمله خیام و مختاری‌کشکی (۱۳۸۲) در دامنه‌ی شمالی میشوداغ؛ یمانی و مقصودی (۱۳۸۲) در چاله سیرجان؛ جمال‌آبادی و همکاران (۱۳۹۳) تأثیر گسل کمایستان در دامنه‌ی شمالی ارتفاعات جغتای و تأثیر آن در شبکه‌ی زهکشی و مخروط‌افکنه‌های منطقه را بررسی کردند. عابدینی و رجایی (۱۳۸۵) در ارتفاعات دره دیز دیوان‌داغی؛ مختاری‌کشکی و همکاران (۱۳۸۶)؛ پیرامون توده کوهستانی میشوداغ؛ مقصودی (۱۳۸۷) در منطقه جاجرود؛ امیراحمدی و همکاران (۱۳۹۴) در منطقه حبله‌رود؛ بهرامی و همکاران (۱۳۹۲) در ۴ مخروط‌افکنه در زاگرس چین‌خورده؛ روستایی و همکاران (۱۳۸۸) در دامنه‌ی جنوبی آلاداغ؛ حبیب‌الهیان و همکاران (۱۳۹۰)؛ رامشت و همکاران (۱۳۸۸) و بسیاری از محققان دیگر مطالعات مبسوطی بر روی مخروط‌افکنه‌ها داشتند. در این جا مخروط‌افکنه‌های دامنه‌های جنوبی ارتفاعات جغتای و عوامل مؤثر در توسعه و تکامل آنها بررسی می‌گردد. هدف از این مطالعه نیز تعیین سهم هر یک از عوامل مؤثر در توسعه‌ی مخروط‌افکنه‌های منطقه می‌باشد.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

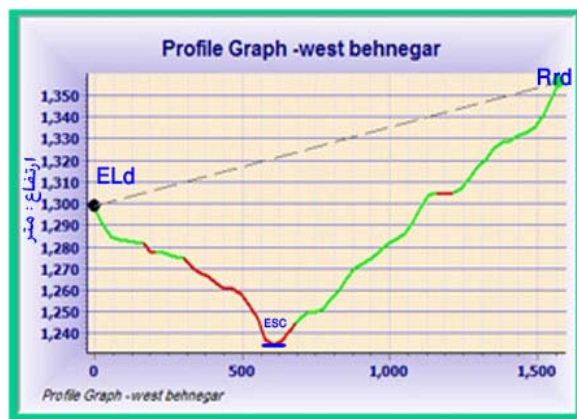
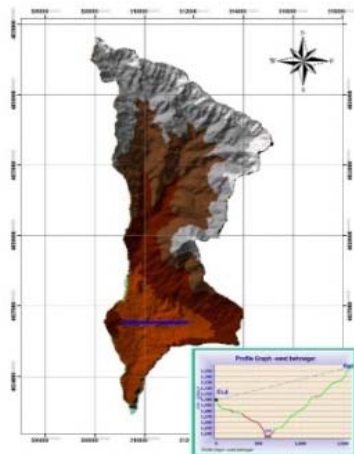
تهیه و ترسیم: نویسندگان، ۱۳۹۴

مواد و روش‌ها

کشور استفاده و تماماً به صورت دستی رقومی گردیده و گسل‌های مختلف منطقه و نوع آنها نیز شناسایی و ترسیم گردیدند. همچنین بازدیدهای میدانی به منظور شناسایی و تکمیل اطلاعات از منطقه به عمل آمد. سپس شاخص‌های مختلف ژئومورفیک از جمله شاخص نسبت شکل حوضه (BS)، قرینگی حوضه (Af)، تقارن توپوگرافی عرضی (T)، تراکم زهکشی (p)، شاخص وسعت مخروط افکنه (AF)، شیب طولی رودخانه (SI)، انتگرال هیپسومتری حوضه (Hi)، نسبت پهنای کف دره به عمق دره (Ed)، شاخص smf (شاخص سینوسیته جبهه کوهستان) و شاخص Iat در محیط نرم‌افزار Arc/GIS 9.3 محاسبه گردید و نقشه‌ها و نیمرخ‌های مورد نیاز تهیه شد، نهایتاً تجزیه و تحلیل داده‌ها بر اساس داده‌های کمی به دست آمده از شاخص‌های ژئومورفیک انجام شده و میزان فعالیت‌های تکتونیکی و تأثیرات حاصله مشخص و در آخر نتایج

فعالیت گسل‌ها و اثرات حاصله را می‌توان از طریق بررسی شواهد تاریخی، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، ژئودزی، ژئوشیمی و ژئوفیزیک تعیین کرد (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۴۰). با توجه به اینکه امکان انجام مطالعات ژئودزی، ژئوشیمی، ژئوفیزیک و لرزه‌شناختی در منطقه وجود ندارد لذا از داده‌ها و امکانات و شواهد ژئومورفیک موجود که نشان‌دهنده تکتونیک فعال هستند، استفاده شده است. در این پژوهش ابتدا مرز حوضه‌های آبریز در روی نقشه‌های توپوگرافی به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی ارتش ترسیم گردیده و سپس در محیط نرم‌افزار Arc/map و با استفاده از تصاویر Google earth، رقومی و لایه‌های مورد نیاز تهیه گردید. به منظور بررسی نقش لیتولوژی در رسوب‌زایی و توسعه مخروط افکنه‌ها نیز از نقشه‌های زمین‌شناسی به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی

این شاخص را معمولاً در فاصله‌ی یک کیلومتری از جبهه کوهستان به طرف بالادست آبراهه اندازه‌گیری می‌کنند. شاخص نسبت پهنا به ارتفاع دره عبارتست از نسبت دو برابر عرض کف دره به اختلاف ارتفاع دیواره دو سمت آن و ارتفاع کف دره، این شاخص منعکس‌کننده‌ی اختلاف بین دره‌های V شکل و U شکل است، به این معنی که هر چه مورفولوژی دره به شکل V نزدیک‌تر شود مقدار Vf به صفر نزدیک شده و حاصل رابطه‌ی بالا به عدد صفر نزدیک می‌شود. به عبارت دیگر مقدار کم Vf نشان‌دهنده‌ی فعال بودن منطقه از نظر تکتونیک و V شکل بودن دره است و مقادیر زیاد این شاخص نشان‌دهنده‌ی عدم فعالیت و کم بودن فعالیت تکتونیک در منطقه است و رودخانه‌ها در این مناطق بستر خود را به صورت جانبی توسعه داده و دره‌های U شکل را ایجاد نموده‌اند (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۳۰).



شکل ۲: نحوه‌ی محاسبه پارامترهای شاخص نسبت پهنا به عمق دره (Vf)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

نقطه مرکزی مقطع اندازه‌گیری شده تا سرچشمه‌ی رودخانه خواهد بود. بسیاری از محققان این شاخص را در چند مقطع از رودخانه اصلی انجام می‌دهند اما در اینجا از کل آبراهه اصلی حوضه یک مقطع ترسیم و متغیرهای مورد نیاز محاسبه شده است.

شاخص گرادیان طول رودخانه (SL)

این شاخص از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$SI = (\Delta H / \Delta L) \times L$$

در این رابطه، SI: شاخص گرادیان طول رودخانه، ΔH : اختلاف ارتفاع در یک مقطع مشخص، ΔL : فاصله افقی در آن مقطع مشخص و L: طول رودخانه از

حاصل از داده‌های ژئومورفیک با شواهد ژئولوژیکی مقایسه گردید. شاخص‌های مورد استفاده در تحقیق به شرح زیر تعریف می‌گردند:

شاخص نسبت پهنا به عمق دره (Vf)

این شاخص به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$Vf = 2vfw / [(Eld - Esc) + (Erd - Esc)]$$

در این جا:

vfw = نسبت پهنا به عمق دره

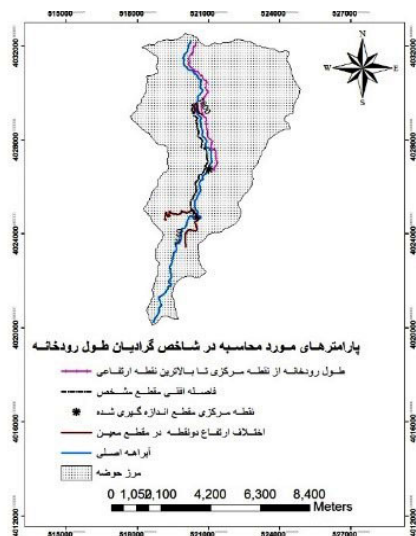
vfw = پهنا به عمق دره یا عرض بستر به متر

Esc = ارتفاع متوسط کف دره از سطح دریا

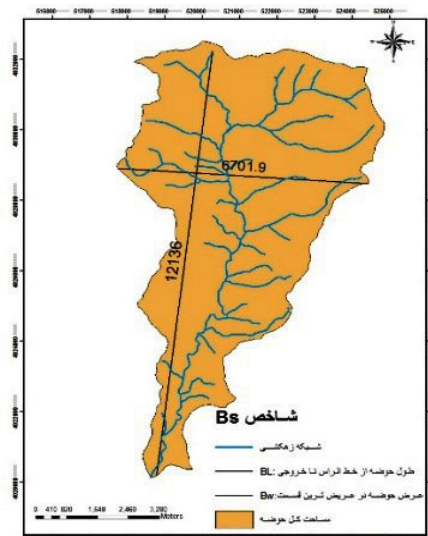
Eld = ارتفاع دیواره‌ی سمت چپ دره یا ارتفاع خط-الرأس سمت چپ رودخانه (خط تقسیم آب سمت چپ از سطح دریا)

Erd = ارتفاع دیواره سمت راست دره یا ارتفاع

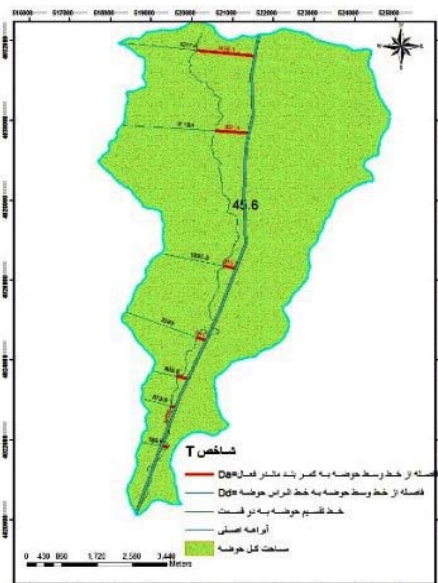
خط‌الرأس سمت راست رودخانه (شکل ۲).



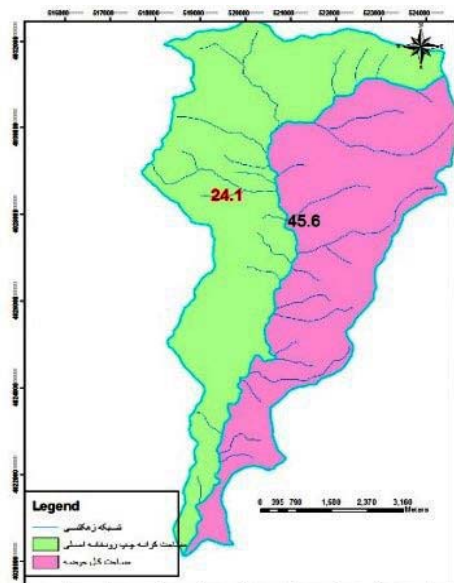
شکل ۴: نحوه محاسبه شاخص نسبت شکل حوضه (Bs) تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵



شکل ۳: نحوه محاسبه شاخص گرادیان - طول رودخانه تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵



شکل ۶: نحوه محاسبه شاخص قرینگی حوضه آبریز (Af) تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵



شکل ۵: نحوه محاسبه شاخص تقارن توپوگرافی عرضی (T) تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

Bs = شاخص نسبت شکل حوضه

Bl = طول حوضه از خط الرأس تا نقطه خروجی

Bw = عرض حوضه در عریض ترین قسمت حوضه

حوضه‌های با نسبت کشیدگی بالا، فعالیت تکتونیکی بیشتری دارند. در حالی که حوضه‌هایی با نسبت کشیدگی

شاخص نسبت شکل حوضه‌ی زهکشی (Bs)

معادله‌ی شاخص نسبت شکل حوضه به شرح زیر است:

$$Bs = Bl / Bw$$

در این معادله :

$$T = Da / Dd$$

در رابطه‌ی فوق Da فاصله از خط میانی حوضه‌ی آبریز تا نوار مئاندری و Dd فاصله‌ی خط میانی حوضه‌ی آبریز از خط مرز حوضه (خط تقسیم آب) می‌باشد (Keller & Pinter, 1996: 33). برای حوضه کاملاً متقارن $T=0$ می‌باشد با افزایش عدم تقارن شاخص T افزایش پیدا می‌کند و در نهایت به ۱ نزدیک می‌شود.

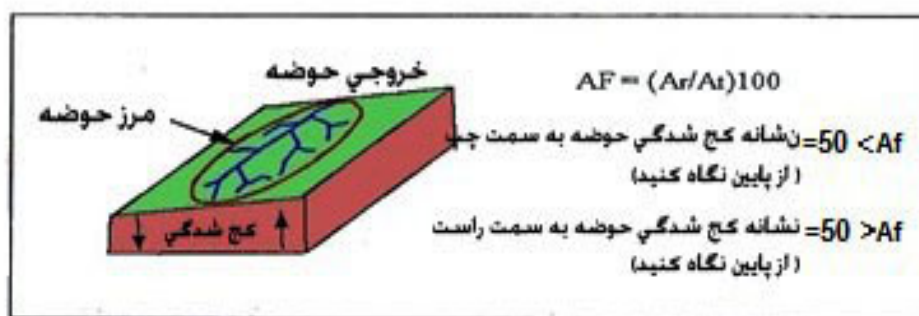
شاخص قربنگی حوضه آبریز (Af)

این شاخص که به صورت زیر تعریف می‌گردد شاخصی برای تشخیص وجود کج‌شدگی ناشی از فعالیت‌های تکتونیکی در حوضه‌های زهکشی می‌باشد.

کمتر، دارای شکل دایره‌ای و از نظر تکتونیکی نیز کمتر فعالند. بالاراندگی شدید و ناگهانی موجب ایجاد حوضه‌هایی کشیده و با شیب زیاد می‌شود و با کاهش یا توقف فعالیت تکتونیکی، پهن شدگی حوضه از راس حوضه شروع می‌شود. همدونی و همکاران (۲۰۰۷) با مطالعه ۳۷ زیر حوضه، مقادیری بین ۱,۶ تا ۵,۸ را برای نسبت شکل حوضه‌ها به دست آورده‌اند (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۳۸).

شاخص تقارن توپوگرافی عرضی (T):

شاخص دیگری که می‌توان از آن در ارزیابی نامتقارن بودن حوضه و متعاقب آن در بررسی حرکات تکتونیکی فعال سود جست، شاخص تقارن توپوگرافی عرضی (T) می‌باشد (شکل شماره ۵). این شاخص با استفاده از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:



شکل ۷: نمایش نحوه‌ی محاسبه‌ی عامل عدم تقارن توسط نمودار مکعبی

مأخذ: Molin et all, 2003

سمت راست آبراهه‌ی اصلی (به کیلومتر مربع)، At : مساحت حوضه در برگیرنده‌ی زهکش‌های فرعی در ساحل سمت چپ و راست آبراهه‌ی اصلی (به کیلومتر مربع).

$$Af = (Ar / At) \times 100$$

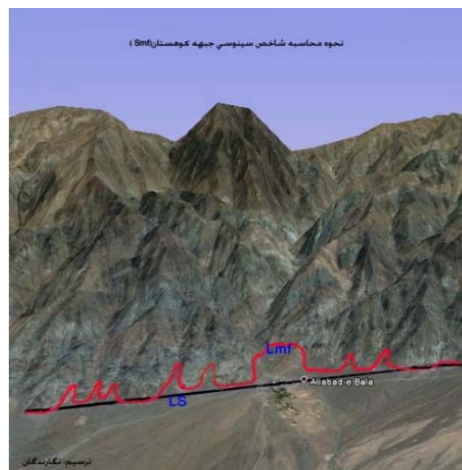
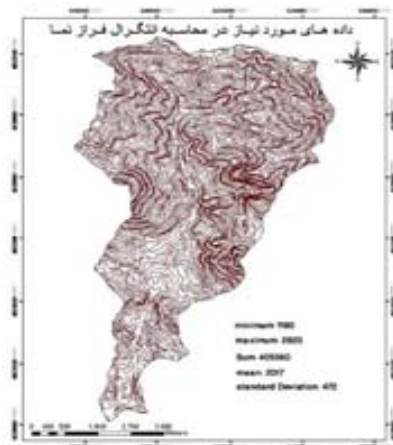
در این رابطه Af : عدم تقارن زهکشی، Ar : مساحت حوضه در برگیرنده‌ی زهکش‌های فرعی در ساحل

Smf : شاخص سینوسی جبهه کوهستان، Lmf : طول جبهه کوهستان در امتداد پایکوه (خط کنیک)، Ls : طول خط مستقیم در جبهه کوهستان. شاخص Smf برای مناطق بسیار فعال تکتونیکی بین (۱ تا ۱/۶)، برای مناطق با فعالیت متوسط بین (۱/۴ تا ۳) و برای جبهه‌ی کوهستان غیرفعال تکتونیکی از حدود ۱/۸ تا بیشتر از ۵ می‌باشد (مددی و همکاران، ۱۳۸۴: ۱۳۵).

شاخص سینوسیته جبهه کوهستان (Smf) ۱ این شاخص تعادل بین شرایط آب و هوایی و نیروهای فرسایش، لیتولوژی و نیروهای تکتونیکی که موجب ایجاد جبهه‌ی کوهستان مستقیم منطبق با کوهستان‌های جهش یافته با گسل فعال می‌باشند را نشان می‌دهد. پیچ و خم جبهه‌ی کوهستان با رابطه‌ی زیر تعریف می‌شود:

$$Smf = \frac{Lmf}{Ls}$$

در اینجا:



شکل ۸: داده‌های مورد نیاز در محاسبه انتگرال فرانزما (سمت راست) و سینوسیته جبهه کوهستان (سمت چپ) تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

مقادیر زیاد انتگرال بیانگر توپوگرافی جوان، پستی و بلندی‌های فراوان به همراه فرایند حفر قائم در دره رودخانه‌ها و مقادیر عددی متوسط تا کم به ترتیب بیانگر توپوگرافی بالغ و پیر می‌باشد. این مقادیر بین صفر و ۱ قرار دارد. بطور مثال عدد ۰/۷۹۵ بیانگر توپوگرافی جوان، عدد ۰/۴۲۰ نشان‌دهنده‌ی توپوگرافی بالغ و عدد ۰/۱۷۶ گویای توپوگرافی پیر می‌باشد.^۱

شاخص تسطیح شدگی جبهه‌ی کوهستان (Fd) این شاخص به صورت زیر تعریف می‌گردد:

شاخص انتگرال فرانزما (Hi)

از روش‌های ساده در تعیین شکل منحنی فرانزما برای یک حوضه‌ی آبریز فرضی، محاسبه انتگرال فرانزما برای آن می‌باشد. این انتگرال به صورت مساحت زیرمنحنی فرانزما تعریف شده است. این انتگرال از رابطه: $1 = \frac{H_{mean} - H_{min}}{H_{max} - H_{min}}$ به دست می‌آید که در این رابطه H_{mean} ارتفاع متوسط حوضه، H_{min} ارتفاع کم‌ترین حوضه و H_{max} ارتفاع بیشینه‌ی حوضه می‌باشد (Keller & Pinter, 1996: 33).

شاخص‌ها بر اساس مقدار کمی به دست آمده در سه کلاس ۱، ۲، ۳ طبقه بندی شده‌اند. در این طبقه‌بندی کلاس ۱ بالاترین فعالیت و کلاس ۳ کمترین فعالیت نئوتکتونیک را دارا می‌باشد. شاخص Iat به وسیله میانگین کلاس‌های مختلف شاخص‌های ژئومورفیک (S/N) به دست می‌آید و بر اساس مقدار به دست آمده از (S/N) به ۴ کلاس تقسیم می‌گردد.

$$Fd = \frac{Lmfd}{Ls}$$

در این رابطه:

Fd = تسطح شدگی جبهه‌ی کوهستان

$Lmfd$ = طول سطح در جبهه‌ی کوهستان

Ls = طول خط مستقیم جبهه‌ی کوهستان (شکل ۸)

شاخص Iat

در طبقه‌بندی ارائه شده برای شاخص‌های Smf ، SL ، T ، Af ، Vf توسط همدونی و همکاران (۲۰۰۸) این

جدول ۱: طبقه‌بندی نواحی بر اساس شاخص Iat

ردیف	میزان فعالیت تکتونیک	فعالیت بسیار بالای نئوتکتونیک	فعالیت نئوتکتونیک بالا	فعالیت نئوتکتونیک متوسط	کمی فعال از نظر تکتونیک
۱	شاخص Iat	$Iat < 1.5 < 1$	$Iat < 2 < 1.5$	$Iat < 2.5 < 2$	$Iat < 2.5$

مأخذ: امیر احمدی و همکاران، ۱۳۹۴

زمینه‌ی نئوتکتونیک در اختیار متخصصان قرار می‌دهند (Harvey, 1987:87). چرا که آنها از جوان‌ترین عرضه‌های ژئومورفیک زمین به شمار می‌آیند. هر چند این عوارض در مقیاس عمر جغرافیایی جوان هستند اما در بازه‌ی عمر انسانی، امکان این که تغییرات آنها را مستقیماً ارزیابی نماییم وجود ندارد. از طرفی مطالعات میدانی و آزمایشگاهی، نقش‌برداری و ژئومتری نیز وقت و هزینه‌ی بسیاری را می‌طلبد. بر این اساس بسیاری از محققان کوشیده‌اند با استفاده از مورفولوژی مخروط‌افکنه‌ها و برخی شاخص‌های ژئومورفومتریک به شناسایی مناطق فعال و غیرفعال تکتونیک بپردازند. زیرا شکل مخروط‌افکنه می‌تواند بیانگر نرخ‌های مختلف فرایندهای تکتونیک فعال همچون فرایش سرچشمه کوهستانی آن مخروط‌افکنه در طول پهنه گسلی و یا کج‌شدگی سطح آن باشد (سلیمانی، ۱۳۷۸: ۲۸).

در این پژوهش سعی شده است با استفاده از برخی شاخص‌های ژئومورفیک مانند شاخص نسبت پهنای کف دره به عمق دره (Vf)، شاخص گرادیان طول

شاخص وسعت مخروط‌افکنه

در شاخص وسعت مخروط‌افکنه، ارتباطی میان وسعت حوضه‌ی زهکشی (Ad) و وسعت مخروط‌افکنه (Af) برقرار شده است که از دو معادله‌ی زیر پیروی می‌کند (سلیمانی، ۱۳۷۸: ۶۱).

$$Af = 3.34 \times Ad^{0.55} \quad \text{— معادله الف:}$$

$$Af = .59 \times Ad^{0.8} \quad \text{— معادله ب:}$$

معادله الف مشخص‌کننده‌ی مخروط‌افکنه‌هایی است که در جبهه‌های کوهستان فعال و دارای نرخ فرایش زیاد به وجود آمده‌اند و با مقادیر عددی شاخص‌های سینوسیته جبهه کوهستان (Smf) و نسبت پهنای دره به عمق (Vf) نیز همخوانی داشته‌اند. (سلیمانی، ۱۳۷۸: ۵۷).

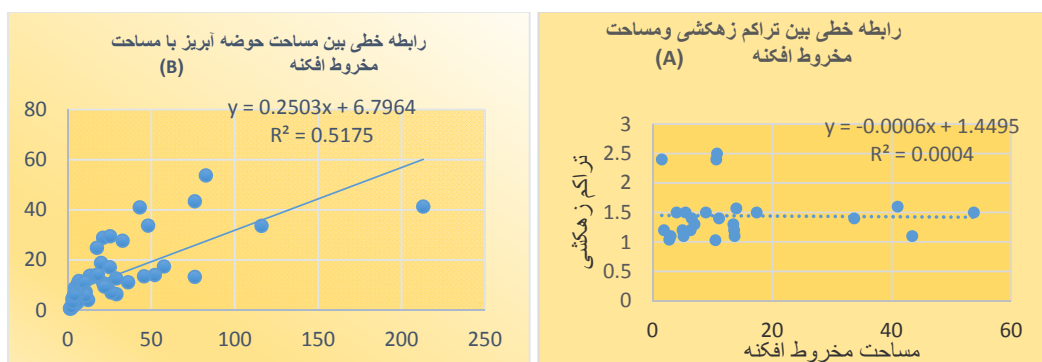
یافته‌های پژوهش

ارزیابی نتایج حاصل از شاخص‌های کمی مورد استفاده در پژوهش:

یکی از فواید بررسی‌های مورفولوژی و رسوب‌شناسی مخروط‌افکنه‌ها، اطلاعات با ارزشی است که آنها در

مساحت هریک از حوضه‌ها محاسبه گردید (جدول ۲). همانگونه که شکل شماره (۱۰) نشان می‌دهد رابطه‌ی خطی مستقیمی بین مساحت حوضه‌ی آبریز و مساحت مخروط‌افکنه وجود دارد. در حالی که شکل (۱۱) نشان می‌دهد که ارتباط معناداری بین تراکم زهکشی و مساحت مخروط وجود ندارد که این مسأله می‌تواند نقش عامل سنگ‌شناسی را در توسعه‌ی مخروط‌افکنه‌ها نشان دهد. بر این اساس می‌توان گفت با توجه به اینکه بخش اعظم مساحت حوضه‌های بالادست مخروط از سازندهای سخت و نفوذناپذیر تشکیل شده است، تراکم زهکشی بالا نتوانسته نقشی در توسعه‌ی مخروط‌افکنه‌ها بازی نماید.

رودخانه (SL)، شاخص نسبت شکل حوضه‌ی زهکشی (BS)، شاخص تقارن توپوگرافی عرضی (T)، شاخص قرینگی حوضه آبریز (Af)، شاخص سینوسیته جبهه کوهستان (Smf)، شاخص انتگرال فرازنا (Hi) و شاخص تسطیح شدگی جبهه کوهستان (Fd) در شناسایی مناطق فعال تکتونیکی استفاده گردد. بدین منظور ابتدا ۲۵ مخروط‌افکنه در دامنه‌ی جنوبی ارتفاعات جغتای شناسایی و مرز و محدوده‌ی آنها به همراه حوضه‌های تغذیه‌کننده‌ی آنها در نرم‌افزار GIS مشخص گردید با توجه به ارتباط مستقیمی که بین تراکم زهکشی (P) و مساحت حوضه‌های تأمین رسوب با مساحت مخروط‌افکنه‌ها دارند، تراکم زهکشی و



شکل ۱۰: A: رابطه‌ی خطی بین تراکم زهکشی و مساحت مخروط‌افکنه B: رابطه‌ی خطی بین مساحت حوضه‌ی آبریز با مساحت مخروط‌افکنه در مرحله‌ی بعد هر یک از شاخص‌های (Vf)، (SL)، (BS)، (T)، شاخص قرینگی حوضه (AF)، شاخص Smf، شاخص انتگرال فراز نما و شاخص تسطیح‌شدگی جبهه‌ی کوهستان (Fd) نیز برای هر یک از حوضه محاسبه و به شرح جدول شماره‌ی (۳) ارائه و مطابق داده‌های جدول شماره‌ی (۶) در کلاس‌های ۱ (فعال)، ۲ (نیمه فعال) و ۳ (غیرفعال) قرار گرفته است.

جدول ۳: نتایج محاسبه هر یک از شاخص‌ها به تفکیک حوضه

ردیف	نام حوضه	P	Vf	Sl	Bs	T	AF	Smf	Hi	Fd	وسعت مخروطافکنه معادله (Af) الف: * 3.33 Ad.55
۱	منیدر	۱/۵	۸/۳	۴۵۹/۴۵	۲	۰.۱۴	۶۰	۱/۵۲	۰.۵۴۵	۰.۳۹	۳۷/۸۵
۲	جنوب منیدر	۱/۵	۱۲/۵	۳۰۱/۵۹	۲/۶۷	۰.۶۲	۴۵/۷	۱/۵۳	۰.۵۰۷	۰.۳۵	۱۰/۱۱
۳	کلاته قلیچ	۱/۴	۰.۳۵	۲۷۸/۹۳	۱/۵	۰.۳۲	۵۶/۶	۱/۶۸	۰.۵۲۷	۰.۵۷	۸/۶۹
۴	کلاته عبدالله	۱/۱	۰.۳۶	۳۳۰/۵	۳	۰.۳۵	۵۵	۱/۷۶	۰.۴۹	۰.۳۲	۷/۵۴
۵	غرب کلاته عبدالله	۱/۲	۱/۳۳	۳۳۶/۳۱۱	۳/۷۹	۰.۴۲	۵۹	۱/۷۶	۰.۴۹۶	۰.۳۴	۶/۳۳
۶	کوه گر	۱/۵	۱/۰۵	۳۷۵/۲۹	۱/۸۸	۰.۳۱	۶۲/۷	۱/۹۲	۰.۵۲۹	۰.۳۲	۹/۱۱
۷	غرب علی آباد بالا	۲/۴	۹	۳۸۹/۲۵	۲/۴۰	۰.۳۵	۳۲	۱/۹۲	۰.۴۹۱	۰.۳۶	۶/۲۲
۸	علی آباد بالا	۱/۲	۱/۰۳	۴۹۳/۹۴	۱/۴۵	۰.۱۰	۵۳/۴	۱/۶۳	۰.۵۴۲	۰.۳۶	۲۱/۱۶
۹	مور	۱/۰۳	۰.۴۱	۵۲۷/۳۰۲	۳/۲۹	۰.۵۵	۴۵	۱/۵۰	۰.۵۰۷	۰.۳۶	۱۰/۴۸
۱۰	آبرود	۱/۱	۱/۲۶	۳۱۶/۸۷	۲/۲۰	۰.۸۰	۳۵	۱/۶	۰.۴۸۴	۰.۳۳	۸/۶۱
۱۱	شمال بیزه	۱/۰۴	۰.۳۸	۳۳۵/۸۴	۴/۲۶	۰.۲۴	۴۹/۴	۱/۶۳	۰.۵۰۹	۰.۳۲	۶/۵۴
۱۲	رودخانه داورزن	۱/۱	۰.۵۲	۵۱۴/۲۳	۱/۹۰	۰.۲۴	۶۴/۳	۱/۷۲	۰.۵۱۲	۰.۴۴	۳۶/۱۵
۱۳	جنوب رودخانه داورزن	۱/۵	۲	۱۹۷/۵۱	۱/۹۴	۰.۳۷	۴۳/۴	۱/۲۷	۰.۴۸۵	۰.۴۴	۷/۲۵
۱۴	رودخانه کمیز	۱/۳	۰.۳۰	۳۱۷/۵۷	۲/۱۶	۰.۲۶	۴۲	۱/۳۲	۰.۶۷۰	۰.۴۷	۲۰/۲۱
۱۵	شمال صدخرو	۱/۶	۱/۸۵	۵۷۴/۳۴	۲/۸۰	۰.۳۸	۶۸/۳	۱/۳۱	۰.۶۵۰	۰.۷۹	۲۶/۳۶
۱۶	غرب بهنگر	۱/۵	۰.۶۵	۵۷۴/۳۴	۲/۴۵	۰.۵۵	۲۰	۱/۲۶	۰.۵۷۷	۰.۵۵	۳۱/۰۱
۱۷	بهنگر	۱/۵۷	۰.۳۵	۵۷۵/۶۲	۱/۸۸	۰.۴۰	۳۳	۱/۴۶	۰.۲۵۲	۰.۳۰	۲۹/۲۲
۱۸	کلاته سادات	۱/۳	۱/۶	۵۹۲/۸۴	۱/۹	۰.۲۷	۵۳	۱/۴۴	۰.۵۱۰	۰.۳۰	۲۷/۳۰
۱۹	جنوب شرق کلاته سادات	۱/۵	۱/۸	۱۹۸/۲۰	۳/۰۶	۰.۳۴	۳۶/۶	۱/۷۲	۰.۴۳۰	۰.۳۴	۸/۸۶
۲۰	کوه نظرگاه	۱/۴	۱/۱۷	۸۲۱/۴۴	۲/۴۵	۰.۲۵	۵۱	۱/۵۰	۰.۵۰۴	۰.۳۲	۲۳/۹۷
۲۱	غرب ساروق	۱/۲	۰.۴۸	۴۸۱/۲۲	۴/۴۲	۰.۴۵	۳۶	۱/۲۷	۰.۴۷۵	۰.۳۹	۱۳/۶۹
۲۲	ساروق	۱/۱	۴/۳	۵۵۱/۹۰	۳/۶۴	۰.۵۷	۳۶	۱/۸۸	۰.۴۸۵	۰.۷۲	۱۴/۰۹
۲۳	کلاته سلطان	۱/۲	۱/۱	۳۰۳/۵۰	۲/۴۷	۰.۵۲	۲۳	۱/۲۹	۰.۵۹۵	۰.۴۲	۹/۰۲
۲۴	ریوند (جدید و قدیم)	۱/۴	۱/۳۳	۷۹۸/۲۹	۳/۹	۰.۲۷	۴۷/۵	۱/۴۳	۰.۵۶۴	۰.۴۸	۲۸/۱۱
۲۵	گود چاه	۱/۴	۳/۷	۱۲۶/۷۸	۱/۱۶	۰.۱۱	۶۴/۴	۱/۶۸	۰.۴۶۵	۰.۳۷	۵/۱۱

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۵

جدول ۵: تقسیم‌بندی فعالیت تکتونیکی مناطق بر اساس میزان به دست آمده از شاخص‌ها

ردیف	میزان فعالیت تکتونیکی شاخص	بسیار فعال	با فعالیت متوسط	غیر فعال
۱	شاخص Vf	Vf < 1	1 < Vf < 2	Vf > 2
۲	شاخص AF (تقارن حوضه)	AF < 50 = فرایش در ساحل راست AF > 50 = فرایش در ساحل چپ	ارزیابی نسبی خواهد بود	حدود 50
۳	شاخص T	T < 1 < .75	T < .75 < .25	T < .25
۴	شاخص Bs	Bs > 4	Bs > 3 > 4	Bs < 3

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۵

جدول ۶: کلاس حوضه‌ها از نظر فعالیت تکتونیکی در شاخص‌های مختلف

ردیف	کلاس حوضه‌ها از نظر از شاخص‌های مختلف									
	Iat	Fd	Hi	Smf	AF	T	Bs	Sl	Vf	
۱	۲	۲	۱	۱	۱	۳	۳	۲	۳	منیدر
۲	۲	۲	۲	۲	۲	۱	۳	۳	۳	جنوب منیدر
۳	۲,۱۲	۳	۲	۲	۱	۲	۳	۳	۱	کلاته قلیچ
۴	۱,۷۵	۱	۲	۲	۱	۲	۲	۳	۱	کلاته عبدالله
۵	۲	۱	۲	۲	۱	۲	۲	۳	۳	غرب کلاته عبدالله
۶	۲	۱	۲	۲	۱	۲	۳	۳	۲	کوه گر
۷	۲,۵	۲	۲	۲	۳	۲	۳	۳	۳	غرب علی آباد بالا
۸	۲,۲۵	۲	۲	۱	۲	۳	۳	۳	۲	علی آباد بالا
۹	۲,۱۲	۲	۲	۱	۳	۲	۳	۳	۱	مور
۱۰	۲	۲	۱	۱	۳	۱	۳	۳	۲	آبرود
۱۱	۱,۶۲	۱	۱	۲	۲	۲	۱	۳	۱	شمال بیزه
۱۲	۲,۲۵	۲	۲	۲	۲	۳	۳	۳	۱	رودخانه داورزن
۱۳	۲,۲۵	۲	۲	۱	۲	۲	۳	۳	۳	جنوب رودخانه داورزن
۱۴	۲	۲	۱	۱	۲	۳	۳	۳	۱	رودخانه کمیز
۱۵	۲	۳	۱	۱	۱	۲	۳	۲	۳	شمال صدخرو
۱۶	۲	۳	۱	۱	۳	۱	۳	۲	۱	غرب بهنگر
۱۷	۱,۷۵	۲	۱	۱	۳	۱	۳	۲	۱	بهنگر
۱۸	۱,۷۵	۱	۲	۱	۲	۲	۲	۲	۲	کلاته سادات
۱۹	۲,۲۵	۱	۳	۲	۲	۲	۲	۳	۳	جنوبشرق کلاته سادات
۲۰	۱,۸۷	۱	۲	۱	۲	۳	۳	۱	۲	کوه نظرگاه
۲۱	۱,۵	۲	۱	۱	۲	۱	۱	۳	۱	غرب ساروق
۲۲	۲,۳۷	۳	۳	۲	۲	۱	۲	۳	۳	ساروق
۲۳	۲	۲	۱	۱	۳	۱	۳	۳	۲	کلاته سلطان
۲۴	۱,۶۲	۲	۱	۱	۲	۳	۱	۱	۲	ریوند (جدید و قدیم)
۲۵	۲,۱۲	۱	۱	۲	۱	۳	۳	۳	۳	گود چاه

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۵

نیمه فعال تکتونیکی شناسایی شدند. همچنین حوضه‌های منیدر، جنوب منیدر، غرب کلاته عبدالله، غرب علی‌آباد بالا، جنوب رودخانه داورزن، شمال صدخرو، جنوبشرق کلاته سادات، ساروق و گود چاه با توجه به این شاخص در وضعیت غیر فعال تکتونیکی قرار گرفتند.

شاخص گرادیان طولی رودخانه (SL) از دیگر شاخص‌های مورد پژوهش منطقه‌ی مورد مطالعه را به جز حوضه‌های منیدر، شمال صدخرو، غرب بهنگر، بهنگر و کلاته‌سادات (با رتبه ۲)، نیمه فعال و کوه

همانگونه که جدول شماره (۶) نشان می‌دهد، بر اساس شاخص نسبت پهنای کف دره به عمق دره (Vf)، از تعداد ۲۵ حوضه‌ی مورد مطالعه تعداد ۹ حوضه‌ی کلاته قلیچ، کلاته عبدالله، مور، شمال بیزه، رودخانه داورزن، حوضه کمیز، غرب بهنگر، بهنگر و غرب ساروق با شرایط فعال تکتونیکی مشخص شدند که نشان‌دهنده‌ی دره‌های V شکل و جوان است که در پاسخ به حرکات قائم و عمودی ایجاد شده‌اند. حوضه‌های کوه‌گر، علی‌آباد بالا، آبرود، کلاته سادات، کوه نظرگاه، کلاته سلطان و ریوند در کلاس ۲ و شرایط

شاخص قرینگی حوضه‌ی آبریز (AF) وجود کج‌شدگی ناشی از فعالیت‌های تکتونیکی در حوضه‌های زهکشی را نشان می‌دهد. چنانچه مقادیر این شاخص در حدود ۵۰ باشد عدم وجود تکتونیک در حوضه‌ی زهکشی را نشان داده، اگر مقادیر این شاخص بیش از ۵۰ باشد نشان‌دهنده‌ی فرایش در ساحل راست رودخانه‌ی اصلی و مقادیر کمتر از ۵۰ فرایش در ساحل چپ رودخانه اصلی را نشان می‌دهد. مقادیر این شاخص مطابق جدول شماره (۶) نشان می‌دهد که تعداد ۷ حوضه (۲۸ درصد مجموع حوضه‌ها) در رتبه ۱ (فعال از نظر تکتونیک)، ۱۲ حوضه (۴۸ درصد) در شرایط نیمه فعال و ۶ حوضه (۲۴ درصد) در وضعیت غیرفعال قرار می‌گیرند. این در حالی است که بر اساس شاخص سینوزیته جبهه کوهستان از مجموع حوضه‌های منطقه مورد مطالعه ۱۴ حوضه با میزان Smf بین ۱ تا ۱٫۶ در وضعیت تکتونیکی فعال و بقیه نیمه فعال قرار می‌گیرند. بنابراین شاخص در مجموع پیشانی کوهستانی مورد مطالعه در نتیجه فعالیت‌های تکتونیکی گرایش به ایجاد جبهه‌های خطی مستقیم و منظم داشته که گاهی با تغییرات ناگهانی در سنگ شناسی نیز مشخص می‌گردند (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۳۴). نتایج حاصل از شاخص انتگرال فراز نما (Hi)، بیش از ۵۰ درصد حوضه‌ها (منیدر، کلاته عبدالله، غرب کلاته عبدالله، کوه گر، شمال بیزه، آبرود، رودخانه کمیز، شمال صدخرو، غرب بهنگر، بهنگر، کوه نظرگاه، غرب ساروق، کلاته سلطان و ریوند) فعال و نشان‌دهنده‌ی توپوگرافی جوان، پستی و بلندی‌های فراوان به همراه فرایند حفر قائم در دره رودخانه‌ها بوده و ۵۰ درصد بقیه در وضعیت نیمه‌فعال تکتونیکی و بالغ قرار می‌گیرند. همچنین مطابق داده‌های جدول (۶) در شاخص تسطیح شدگی جبهه کوهستان از مجموع حوضه‌ها ۸ حوضه را در کلاس ۱ (فعال از نظر تکتونیکی) و ۱۳ حوضه در کلاس ۲ (در وضعیت

نظرگاه و ریوند که در وضعیت فعال شناسایی شده‌اند بقیه حوضه‌ها را دارای شرایط آرام تکتونیکی نشان می‌دهد.

شاخص نسبت شکل حوضه زهکشی (BS) میزان کشیدگی حوضه‌ها را در نتیجه‌ی فعالیت تکتونیکی نشان می‌دهد. حوضه‌هایی که با مقادیر زیاد BS بیشتر از ۴ مشخص شوند کشیده‌تر و از نظر تکتونیکی فعال هستند. زمانی که BS بین ۳ و ۴ باشد از نظر زمین‌ساختی در وضعیت نیمه فعال (کلاس ۲) قرار می‌گیرند و مقادیر کمتر از ۳، حوضه‌های دایره‌ای شکل را نشان می‌دهد که از نظر تکتونیکی غیرفعالند (Hamdouni et all, 2008: 169). بر اساس رتبه‌بندی همدونی و همکاران از بین ۲۵ حوضه‌ی مورد مطالعه، تعداد ۱۷ حوضه در وضعیت غیرفعال قرار گرفته (جدول ۵)، ۵ حوضه در وضعیت نیمه فعال (کلاس ۲) و سه حوضه (ریوند، غرب ساروق و شمال بیزه) در شرایط فعال تکتونیکی قرار می‌گیرند.

شاخص (T) یا همان تقارن توپوگرافی عرضی، عدم تقارن حوضه‌های آبریز را در نتیجه فعالیت‌های تکتونیکی نشان می‌دهد. مقادیر آن بین صفر و یک متغیر بوده و هر چه به یک نزدیک‌تر می‌شود عدم تقارن در نتیجه فعالیت بیشتر تکتونیک افزایش می‌یابد. بر اساس جدول شماره (۶) و شاخص T تعداد ۷ حوضه (جنوب‌منیدر، آبرود، غرب بهنگر، بهنگر، غرب ساروق، ساروق و کلاته سلطان) در کلاس ۱ و با وضعیت فعال تکتونیکی ظاهر شده که نشان‌دهنده‌ی عدم تقارن در نتیجه فعالیت تکتونیکی می‌باشد. تعداد ۱۱ حوضه (کلاته‌قلیچ، کلاته عبدالله، غرب کلاته عبدالله، کوه گر، غرب علی آباد بالا، مور، شمال بیزه، جنوب رودخانه داورزن، شمال صدخرو، کلاته سادات و جنوبشرق کلاته سادات) در کلاس ۲ و وضعیت نیمه فعال و بقیه در شرایط غیرفعال تکتونیکی قرار گرفته‌اند.

شمال راندگی مهر صفحه راندگی دیگری وجود دارد که باعث رانده شدن واحد فلیشی ائوسن بر روی کنگلومرای نئوژن گردیده است که به نظر می رسد به طرف شرق دارای مؤلفه شیب لغز بیشتری بوده که در امتداد آن بخشی قابل ملاحظه‌ای از کنگلومرای نئوژن حذف و یا زیر رانده شده‌اند. این راندگی در بخش انتهایی به چند شاخه‌ی کوچک تحلیل رفته و در مارن‌های میوسن ناپدید می‌گردد. که امتداد این راندگی در ورقه باشتین به راندگی کمیز نامیده می‌شود.

در شمال راندگی کمیز، گسل راندگی ساروق وجود دارد که کنگلومرای پلیوسن را بر روی واحد فلیشی ائوسن رانده است. در شمال راندگی ساروق، راندگی مهم دیگری وجود دارد به گونه‌ای که باعث شده است در طول این صفحه سنگ‌های سرپانتینیته (Sr) و هارزبورزیتی (hZ) بر روی کنگلومرای پلیوسن رانده شوند از این راندگی به راندگی کوه سفید یاد می‌شود. عملکرد این راندگی‌ها در پایین دست حوضه‌ها باعث گردیده است رسوب بیشتری ناشی از مارن‌های پلیوسن، واحدهای فلیشی ائوسن و کنگلومرای نئوژن در اختیار جریانات سطحی قرار گرفته و مخروط-افکنه‌های وسیعی را تشکیل و توسعه بخشد. شکل شماره (۱۱) چندین گسل راندگی را در منطقه نشان می‌دهد که با توجه به سنگ‌شناسی منطقه می‌تواند نقش حائز اهمیتی در تولید رسوب و توسعه‌ی مخروط‌افکنه داشته باشد. بطوری‌که حوضه‌هایی مانند داورزن، مور، کلاته‌سادات و گود چاه تحت تأثیر لیتولوژی منطقه توانسته‌اند مخروط-افکنه‌های بزرگی را ایجاد نمایند.

نیمه‌فعال) و ۴ حوضه در کلاس ۳ (غیرفعال) قرار می‌دهد که در مجموع این شاخص منطقه را در وضعیت فعال تا نیمه فعال تکتونیکی نشان می‌دهد.

نهایتاً نتایج حاصل از شاخص Iat که از میانگین کلاس به دست آمده از سایر شاخص‌ها محاسبه می‌گردد نشان می‌دهد که در بین حوضه‌های مورد مطالعه، حوضه‌ی غرب ساروق با وضعت زمین ساختی خیلی بالا و حوضه‌های منیدر، کلاته عبدالله، غرب کلاته عبدالله، کوهگر، آبرود، شمال‌بیزه، رودخانه کمیز، شمال‌صدخرو، غرب بهنگر، بهنگر، کلاته‌سادات، کوه نظرگاه، کلاته سلطان و ریوند یعنی ۵۶ درصد منطقه در وضعیت تکتونیکی بالا قرار می‌گیرند. سایر حوضه‌ها بر اساس این شاخص از شرایط تکتونیکی متوسط برخوردارند.

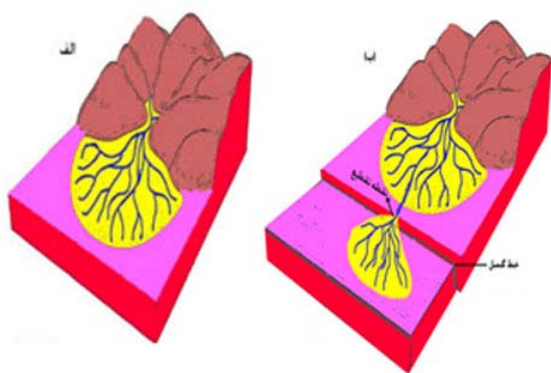
در مورد تعدادی از حوضه‌ها مانند حوضه داورزن، جنوب رودخانه داورزن، کلاته سادات، ساروق و گود چاه که بر اساس این شاخص در شرایط متوسطی از نظر فعالیت تکتونیکی قرار دارند، درحالی‌که تخلیه رسوبی بالایی را به خود اختصاص داده و مخروط-افکنه‌های وسیعی را ایجاد نموده‌اند، می‌توان این پدیده را به شرایط لیتولوژیکی و تکتونیکی و ماهیت گسل‌های فعال در این نواحی توأم مرتب دانست. از آنجایی‌که گسل‌های راندگی یکی از مهمترین عناصر ساختمانی متعلق به کواترنردر ناحیه هستند از جمله این گسل‌ها می‌توان به گسل راندگی مهر در شمال روستای مهر اشاره نمود که باعث راندن واحدهای مارنی پلیوسن بر روی نهشته‌های جوان کواترنر گردیده است. در برخی قسمت‌های این راندگی واحد Qf1 (رسوبات جوان کواترنری) نیز قطع گردیده است. در



شکل ۱۱: گسل‌های راندگی فعال در منطقه‌ی مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

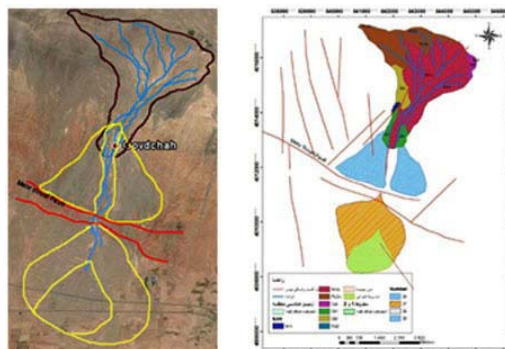
مخروط‌افکنه می‌شود این امر باعث می‌شود تا بخش‌های بالادست مخروط‌افکنه متروک شده و فرسایش خندقی در سطح آنها آغاز شود و مخروط‌افکنه‌ی جدیدتری در مخروط قدیمی تشکیل و این اشکال تراکمی را توسعه بخشد. مانند حوضه‌ی گودچاه در غرب منطقه‌ی مورد مطالعه در نتیجه راندگی مهر و تغییر سطح اساس آبراهه، چندین مخروط تقطیع شده و یا طبقاتی ایجاد شده است.



شکل ۱۳: تصویر شماتیک از نحوه ایجاد مخروط‌افکنه‌های

چندبخشی تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

یکی دیگر از پدیده‌هایی که بر اثر عملکرد گسل‌ها بر روی مخروط‌افکنه ایجاد می‌شود پدیده قطعه‌قطعه شدن مخروط‌افکنه‌ها و نیز جابجایی افقی بین قطعات ایجاد شده می‌باشد. با بالا آمدن رسوبات مخروط‌افکنه‌ای شیب آبراهه‌ی اصلی افزایش یافته و باعث افزایش قدرت حمل جریان گردیده و باعث می‌گردد بستر خود را حفر کرده و به عمق ببرد. چنین فرایندی باعث جابجایی نقطه‌ی تقطیع به سمت پایین‌دست

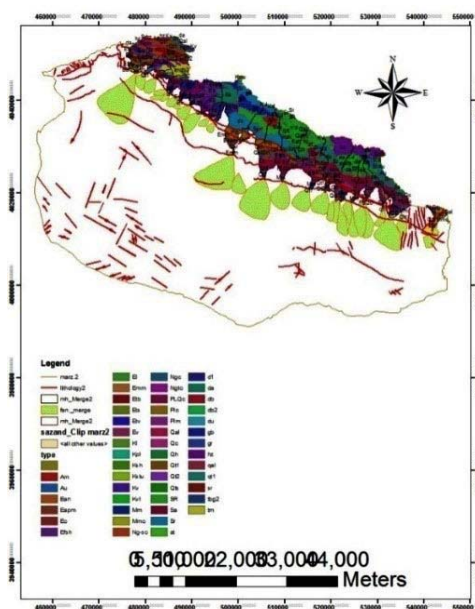


شکل ۱۲: پیدایش مخروط‌افکنه‌های چندبخشی در نتیجه

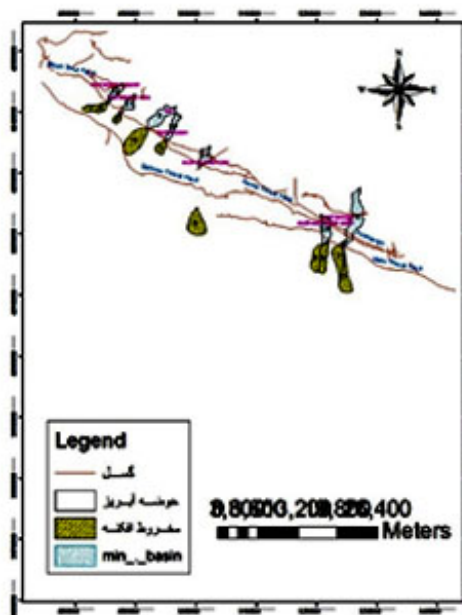
تغییر سطح اساس تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

لیتولوژی و تکتونیک منطقه نشان می‌دهد که در این رسوبزایی عوامل تکتونیک در درجه اول اهمیت و پس از آن عوامل سنگ‌شناسی قرار می‌گیرد. از دیگر آثار فعالیت‌های گسل‌های امتدادلغز فعال بر روی مخروط‌افکنه‌ها ایجاد مخروط‌افکنه‌های نامتقارن و خمیده نسبت به محور طولی کانال اصلی رودخانه می‌باشد. همچنین در برخی جبهه‌های کوهستانی دارای منشاء گسلی در اثر عملکرد گسل‌ها در نتیجه جابجایی، تپه‌های مسدود کننده را می‌توان مشاهده نمود که در دهانه‌ی آبراهه‌ها قرار گرفته و مسیر آنها را مسدود نموده و باعث انحراف به طرفین مسیر قبلی می‌گردند و به توسعه‌ی مخروط‌افکنه منجر می‌شوند.

یکی دیگر از شواهد جبهه‌های کوهستانی فعال وجود مخروط‌افکنه‌های نسبتاً بزرگ در دهانه‌ی آبراهه‌های کوچک است و این موضوع نشانگر زیاد بودن نرخ فرایش در منطقه می‌باشد (سلیمانی، ۱۳۷۸: ۳۲). همان‌طور که در شکل شماره (۱۴) مشاهده می‌شود حوضه‌های غرب کلاته عبدالله با مساحت ۳/۲ کیلومتر مربع، مور با مساحت ۸ کیلومتر مربع، جنوب داورزن با مساحتی معادل ۴/۱ کیلومتر مربع، جنوبشرق کلاته سادات با مساحت ۵/۹ کیلومتر مربع، کلاته سلطان با مساحت ۶/۱ کیلومتر مربع، غرب ساروق با مساحتی معادل ۱۳/۷ کیلومتر مربع و غرب علی‌آباد بالا با مساحت ۳ کیلومتر مربع مخروط‌افکنه‌هایی با مساحت به ترتیب ۴، ۱۱، ۳، ۹، ۵، ۵، ۲۰ و ۲ کیلومتر مربع ایجاد نموده‌اند که نتایج مطالعات بر اساس نقشه‌های



شکل ۱۵: نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵



شکل ۱۴: پیدایش مخروط‌افکنه‌های نسبتاً بزرگ در دهانه‌ی حوضه‌های کوچک تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

منابع

- ۴، ۱۱، ۳، ۹، ۵، ۵، ۲۰ و ۲ کیلومتر مربع ایجاد نموده‌اند. بعد از این عامل می‌توان به نقش مشترک عوامل لیتولوژیکی - تکتونیکی در منطقه اشاره کرد بطوری که برخی از گسل‌های اصلی و مهم این منطقه مانند گسل راندگی مهر، گسل راندگی کمیز و گسل راندگی ساروق در برخی قسمت‌ها باعث ایجاد روراندگی رسوبات نرم و مارن‌های پلیوسن و همچنین واحد فلیش ائوسن بر روی واحدهای سخت و کنگلومرای پلیوسن گردیده از سوی دیگر همجواری رسوبات نرم و فرسایش‌پذیر در جبهه‌ی کوهستانی نقش زیادی در تأمین رسوب جریانات سطحی و گسترش مخروط-افکنه‌های این ناحیه داشته است. از دیگر آثار گسل‌های فعال بر روی مخروط‌افکنه‌ها ایجاد مخروط-افکنه‌های نامتقارن و خمیده نسبت به محور طولی کانال اصلی رودخانه می‌باشد همچنین در برخی جبهه‌های کوهستانی دارای منشأ گسلی در اثر عملکرد گسل‌ها در نتیجه‌ی جابجایی، تپه‌های مسدود-کننده را می‌توان مشاهده نمود که در دهانه‌ی آبراهه‌ها قرار گرفته و مسیر آنها را مسدود نموده و باعث انحراف به طرفین مسیر قبلی می‌گردند و به توسعه‌ی مخروط‌افکنه منجر می‌شوند. به این ترتیب و با توجه به نتایج حاصل از همه متغیرها و شاخص‌های مورد مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که در توسعه‌ی مخروط‌افکنه‌های منطقه، نقش عوامل تکتونیکی در درجه اول اهمیت و بعد از آن عامل سنگ‌شناسی و لیتولوژیکی حوضه‌های تغذیه‌کننده قرار دارد از سوی دیگر رابطه‌ی خطی مستقیمی است که بین مساحت حوضه‌ی آبریز و مخروط‌افکنه وجود دارد و نشان می‌دهد که در شرایط یکسان حوضه‌هایی که از مساحت بیشتری برخوردارند مخروط‌افکنه‌های بزرگ‌تری را نیز توانسته‌اند، ایجاد نمایند.
- ۱-۱۰
- امیراحمدی، ابوالقاسم؛ مجید ابراهیمی؛ سیما پوره‌اشمی (۱۳۹۴). شاخص‌های ارزیابی تکتونیک فعال در برآورد وضعیت تکتونیک در حوضه آبخیز حبله‌رود، جغرافیا و توسعه. ۱۸۴-۱۶۱.
- بهرامی، شهرام؛ محمد معتمدی راد؛ الهه اکبری (۱۳۹۲). بررسی تأثیر تکتونیک در ویژگی‌های کمی شبکه‌ی زهکشی (مطالعه موردی: چهار حوضه زهکشی در شمال شرق کشور) مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، شماره ۱۲. صفحات ۱۰۲-۸۵.
- بهرامی، شهرام؛ کاظم بهرامی (۱۳۹۰). ارزیابی نقش زمین‌ساخت در ریخت‌شناسی مخروط‌افکنه‌های واقع در حاشیه‌ی طاق‌دیس دنه‌خشک، فصلنامه زمین‌شناسی ایران. سال پنجم. شماره نوزدهم. صفحات ۲۹-۱۵.
- جمال‌آبادی، جواد؛ ابوالقاسم امیراحمدی؛ قاسم مونسیان؛ علی‌اکبر شایان‌یگانه (۱۳۹۳). تأثیر گسل کمایستان بر شبکه زهکشی و مخروط‌افکنه‌ها در دامنه شمالی ارتفاعات جغتای با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک، فصلنامه آمایش جغرافیایی فضا. صفحات ۶۴-۴۳.
- ریچارد جی، چورلی؛ استانی ای، شوم؛ دیوید ای سودن (۱۳۷۹). ژئومورفولوژی (جلد سوم): فرایندهای دامنه‌ای، آبراهه‌ای، ساحلی و بادی، ترجمه احمد معتمد ابراهیم مقیمی. سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاهها. چاپ اول ۱۳۷۹.
- حبیب‌الهیان، محمود؛ محمدحسین رامشت (۱۳۹۰). کاربرد شاخص‌های ارزیابی تکتونیک جنبا در برآورد وضعیت تکتونیک بخش علیای زاینده‌رود، جغرافیا و توسعه. شماره ۲۶. صفحات ۱۱۲-۹۹.
- خیام، مقصود؛ داوود مختاری‌کشی (۱۳۸۲). ارزیابی عملکرد فعالیت‌های تکتونیک بر اساس مورفولوژی مخروط‌افکنه‌ها، مجله پژوهش‌های جغرافیایی. صفحات

- روستایی، شهرام؛ محمدجعفر زمردیان؛ معصومه رجبی؛ غلامرضا مقامی‌مقیم (۱۳۸۸). نقش فعالیت‌های تکتونیک در شکل‌گیری و گسترش مخروط‌افکنه‌های دامنه جنوبی آلاداغ، فصلنامه جغرافیا و توسعه. شماره ۱۳. صفحات ۱۵۶-۱۳۷.
- رامشت، محمدحسین؛ عبدالله سیف؛ سمیه سادات شاه‌زیدی؛ مژگان انتظاری (۱۳۸۸). تأثیر تکتونیک جنوب بر مورفولوژی مخروط‌افکنه درختگان در منطقه شهید کرمان، جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای. شماره ۶. صفحات ۴۶-۲۹.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، ۱۳۷۶.
- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، نقشه‌های زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰.
- سلیمانی، شهریار (۱۳۷۸). رهنمودهایی در شناسایی حرکات تکتونیک فعال و جوان با نگرشی بر مقدمات دیرینه لرزه‌شناسی، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.
- علایی‌طالقانی، محمود (۱۳۸۲). ژئومورفولوژی ایران، چاپ دوم. انتشارات قومس.
- عابدینی، موسی؛ عبدالحمید رجایی (۱۳۸۵). بررسی نقش عوامل مؤثر در گسترش و تکامل مخروط‌افکنه‌های ارتفاعات دره دیز- دیوان داغی با استفاده از روش‌ها و تکنیک‌های جدید، مجله پژوهش‌های جغرافیایی. بهار ۱۳۸۵. صفحات ۸۹-۷۳.
- گورابی، ابوالقاسم؛ مصطفی کریمی (۱۳۹۱). روش جدید در استخراج مخروط‌افکنه از مدل رقومی ارتفاع، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، زمستان. صفحات ۱۰۰-۸۹.
- مختاری‌کشکی، داوود؛ فریبا کریمی؛ مریم بیاتی خطیبی (۱۳۸۶). اشکال مختلف مخروط‌افکنه‌ای در اطراف توده کوهستانی میشوداغ (شمال غرب ایران) با تأکید بر نقش فعالیت‌های تکتونیک کواترنر در ایجاد آنها، فصلنامه مدرس علوم انسانی. صفحات ۲۹۲-۲۵۷.
- مقصودی، مهران (۱۳۸۷). بررسی عوامل مؤثر در تحول ژئومورفولوژی مخروط‌افکنه‌ها (مطالعه موردی: مخروط‌افکنه جاجرود)، پژوهش‌های جغرافیایی. صفحات: ۹۲-۷۳.
- مقصودی، مهران؛ وحید محمدنژاد آروق (۱۳۹۰). ژئومورفولوژی مخروط‌افکنه‌ها، انتشارات دانشگاه تهران.
- مقصودی، مهران، مریم جعفری‌اقدم؛ سجاد باقری سیدشکری؛ مسعود مینایی (۱۳۹۰). بررسی تکتونیک فعال در حوضه کفر آور با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و شواهد ژئومورفولوژیکی، جغرافیا و توسعه. سال نهم. شماره ۲۹. صفحات: ۱۳۶-۱۱۱.
- مددی، عقیل؛ محمدحسین رضایی‌مقدم؛ عبدالحمید رجایی (۱۳۸۴). تحلیل فعالیت‌های نئوتکتونیک با استفاده از روش‌های ژئومورفولوژی در دامنه‌های شمال‌غربی تالش، پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۴۸. صفحات ۱۳۸-۱۲۳.
- نوحه‌گر، احمد؛ محمدحسین شکبیا فر؛ غلامرضا زارع (۱۳۹۱). تحلیل عوامل مورفوزن و مورفوانتروپیک بر ایجاد و تحول مخروط‌افکنه‌ها (مطالعه موردی: مخروط‌افکنه کتویه، ریگ‌آباد و چنار-دره گسلی داراب)، پژوهش‌های فرسایش محیطی. شماره ۷. صفحات ۱۰۵-۸۸.
- یمانی، مجتبی؛ مهران مقصود (۱۳۸۲). بررسی نقش تحول کانال‌های گیسویی در سطح مخروط‌افکنه‌ها، مطالعه موردی: مخروط‌افکنه تنگ‌ئویه در چاله سیرجان، پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۶۵. صفحات ۱۱۳-۱۰۳.
- Alexander, J. & Leeder, M.R (1987). Active tectonic control of alluvial architecture In: Ethridge, F. G and Flores, R.M. (eds) *Fluvial Sedimentology*. Special Publication, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 39, 243-252.
- Bull, W.B. McFadden, L (1977). Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. In: Dohring, D.O (ed), *Geomorphology in arid regions*. Publ. In geomorphology, State University of New York, Binghamton.
- Bull, W.B (1977). *The Alluvial-Fan Environment*. Progress in Physical Geography, 1, 222-270.
- Cotton, A (2002). *Stratigraphy & Sedimentology of a Paraglacial Fan Near Hancock, Vermont* [B.A. Thesis] : Middlebury, Vermont, PP: 45.

- mainland Hill Range, Western In- dia. Zeitschrift fur Geomorphologie N.F. 45(1), 81-100.
- Molin, P. Pazzaglia, F.J., and Dramis, F (2003). Geomorphologic Expression of Tectonics in Rapidly Deforming Arc, Sila Massif, Calabria, Southern Italy. *Dipartimento Di Scienze Geologiche, Universita Degli Roma Tre*.
 - Nanninga, P.M., and Wasson, R. J (1985). Calculation of the Volume of an Alluvial Fan. *Mathematical Geology* 17(1), 53-65
 - Robustelli, G., Muto, F., Scarciglia, F., Spina, V. and Critelli, S (2005). Eustatic and tectonic control on Late Quaternary alluvial fans along the Tyrrhenian Sea coast of Calabria (South Italy). *Quaternary Science Reviews*, 24, 2101-2119.
 - Ryder, J. M (1971). The stratigraphy and morphology of paraglacial alluvial fan in southcentral British Columbia: Canadian, *Journal of Earth sciences*, V. 8.
 - Talling, P.J.M.D.stewart, C.P. stark, S.J. Vincent (1997). Regular spacing of drainage outlets from linear fault blocks, basin res, 9, PP: 275- 302.
 - Viseras, Calvache, M. L., Soriano, J. M., Fernandes J (2003). Differential Features of Alluvial Fans Controlled by Tectonic or Eustatic Accommodation Space, Examples from the Betic Cordillera, Spain, *Geomorphology*, Vol.50, PP:181-202.
 - Walker R. T. and Fattahi, M (2011). A framework of Holocene and late Pleistocene environmental change in eastern Iran inferred from the dating periods of alluvial fans abandonment river terracing and lake deposition *Quaternary Science Reviews* 30, 1250-1271.
 - Fattahi, M and Walker R.T.(2015).optical dating of Holocene lake bed Sediment of the Nimbluk Plain, Khorasan, Northeast Iran: implications for the climate change end Palaeo- environment. *Journal of the Earth and Space physics* .Vol.41.No.4.2016. PP: 1-12.
 - Wells, S, G. et al (1988). Regional variation geomorphology along a segmented convergent plate boundary, Pacific coast of Costa Rica. *Geomorphology*, 1: 239-265.
 - Church, A.B (1997). Fan Deposition in Northwestern Vermont: Depositional Activity and Aggradation Rates over the Last 9,500 years [Master's Thesis]: Burlington, University of Vermont, P: 113.
 - Gupta, S (1997). Himalayan drainage patterns and the origin of fluvial megafans in the Ganges foreland basin. *Geology* 25, 11-14.
 - Hamdouni, R. Irigaray, C., Fernandez, T., Hocon, J. Keller, E (2008). Assessment of relative active tectonics. Southwest Border of the Sierra Nevada (Southern Spain), *Geomorphology* 96, 150-173.
 - Harvey, A.M (1987). Alluvial Fan Dissection: Relationship between Morphology and Sedimentation, In: Frostik, L., Reid, I. (Eds.), *Desert Sediments: Ancient and Modern*, Geological Society of London Special Publication, Vol. 35, PP: 87-103.
 - Huget, R. J (2003). *Fundamental of Geomorphology*, Routledge.
 - Kesel, R. H et al (1985). Geomorphologic relationships and ages of soils on alluvial fans in the Rio General Valley, Costa Rica. *Catena*, 12, PP: 149-166.
 - Keller, E.A. & Pinter, N (1996). *Active Tectonic*, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, p 33.
 - Kumar, R., Suresh, N., Sangode, S.J., Kumaravel, V (2007). Evolution of the Quaternary alluvial fan system in the Himalayan foreland basin: Implications for tectonic and climatic decoupling. *Quaternary International*, 159, 6-20.
 - Loyd, M.J., Nichols, G.J and Friend, P.F (1998). Oligo-Miocene alluvial-fan evolution at the southern Pyrenean thrust front, Spain. *Journal of Sedimentary Research* 68(5), 869-878.
 - Li, Youli, Yang, Jingchun, Tan, Lihua, Duan, Fengian (1999). Impact of tectonics on alluvial landforms in Hexi corridor, Northwest China. *Geomorphology* Vol 28.
 - Malik, J.N., Sohoni, P.S., Merh, S.S., and Karanth, R. V (2001). Active tectonic control on alluvial fan architecture along Kachchh