پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال چهارم، شماره ۲، پاییز ۱۳۹٤
صص. ۱۷-۱

واکنش مخروط‌افکنه‌های شرق گرمسار بر جابه‌جایی عمودی و امتدادی گسل‌ها (با تأکید بر مخروط افکنه ده نمک)

وحید محمدنژاد آروق *– استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه ارومیه
صیاد اصغری – استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه ارومیه

پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۱۲/۲۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۴/۰۷/۱۱

چکیده

این پژوهش به بررسی شواهد و آثار گسل‌های فعال بر مورفولوژی مخروط‌افکنه‌های واقع در بخش خاوری گرمسار، به‌ویژه نحوه تحول مخروط‌افکنه بزرگ ده نمک می‌پردازد. روش کار مبتنی بر تحلیل‌های کمّی و کیفی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌های رقومی ارتفاعی، ویژگی‌های مورفومتری مخروط‌ها، اندازه‌گیری میزان جابجایی کانال‌ها، میزان بالاآمدگی رسوبات و تحلیل شیب و نیمرخ‌های طولی و عرضی است. نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰، عکس‌های هوایی ۱:۵۵۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای ETM و IRS و Aster، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و داده‌های ارتفاعی رقومی ابزارهای اصلی پژوهش را تشکیل داده‌اند. همچنین پیمایش‌های میدانی جهت بررسی و اندازه‌گیری شواهد فعالیت گسل‌ها در دو مرحله صورت گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که گسل‌های گرمسار، سرخه کلوت و قربیلک اثرات اصلی و عمده‌ای بر روی مخروط‌افکنه‌ها گذاشته‌اند. فعالیت گسل‌های مذکور موجب بالا آمدن رسوبات مخروط‌افکنه‌ای و رسوبات الیگوسن زیرین شده است. همچنین فعالیت این گسل‌ها موجب ایجاد سطوح مختلف بالاآمده، متروک ماندن سطح مخروط‌ها، جابجایی نقطه تقطیع آبراهه، بالاآمدگی رسوبات مخروط‌افکنه‌ای و جابجایی افقی شبکه زهکشی سطح مخروط‌افکنه‌ها و همین‌طور تأثیر بر فضای قابل‌دسترس مخروط‌افکنه‌ها شده است. مؤلفه قائم گسل گرمسار و قربیلک موجب شکل‌گیری سطوح قدیمی و جدید (فعال و غیرفعال) در سطح اغلب مخروط‌افکنه‌ها شده است. این مخروط‌ها درواقع آثار و بقایای مخروط-افکنه بزرگ و واحدی به نام ده نمک است که در اثر فعالیت گسل‌های گرمسار و قربیلک، طی دوره کواترنری، به شکل امروزی درآمده‌اند.

واژگان کلیدی: گسل گرمسار، گسل قربیلک، مورفولوژی، مخروط‌افکنه، مخروط‌افکنه ده نمک

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۴۳۲۰۹۷۹۲ E-mail: Geovahid@yahoo.com

مقدمه

پیشانی کوهستان‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک همواره با توسعه و گسترش مخروط‌افکنه‌ها مشخص می‌شوند(بول[1]، ۱۹۹۷:۲۲۵. راچوکی[2]، ۱۹۸۱:۵). زمانی که جریان رودخانه از منطقه پرشیب کوهستانی خارج و به دشت کم شیب وارد می‌شود، نیروی حمل آن کاسته شده و رسوب‌گذاری صورت می‌گیرد. بدین ترتیب مخروط‌افکنه‌ها شکل می‌گیرند. مطالعه مخروط‌افکنه‌ها، اطلاعات جالبی از روند تغییرات اقلیمی و عملکرد زمین‌ساخت جدید در طول دوران چهارم به دست می‌دهد (عباس‌نژاد، ۱۳۷۶). مخروط‌افکنه‌ها تحت تأثیر متغیرهای مختلفی قرارگرفته و تحول می‌یابند. حداقل پنج عامل اصلی فرایندهای مخروط‌افکنه‌ای را متأثر می‌سازد(بلیر و مک فرسون[3]، ۱۹۹۴). این فاکتورها عبارت‌اند از سنگ‌شناسی حوضه آبریز، شکل حوضه، شرایط محیط‌های مجاور مخروط‌افکنه‌ها، اقلیم و فعالیت‌های تکتونیکی. این فاکتورها به‌ویژه اقلیم و تکتونیک، رابطه بین انرژی ورودی و خروجی (فراهمی رسوبی) را شکل می‌دهند.

سنگ‌شناسی حوضه آبریز مشخص‌کننده فرایندهای اولیه در تحول مخروط‌افکنه‌ها به شمار می‌رود(بلیر[4]، ۱۹۹۹: ۹۴۳). مقاومت سنگ‌ها در مقابل عوامل مختلف هوازدگی در فراهمی میزان رسوب دخالت مستقیم دارد. از طرف دیگر اقلیم و تغییرات آن اثرات گسترده‌ای بر مخروط‌افکنه‌ها دارد، زیرا مقدار آب در دسترس بر فاکتورهایی چون هوازدگی، تولید رسوب و پوشش گیاهی اثر مستقیم دارد. شرایط اقلیمی نوع جریان‌های مخروط‌افکنه‌ای را کنترل می‌کنند(هاروی و همکاران[5]، ۱۹۹۲: ۲).

فعالیت‌های تکتونیکی نقش بسیار بارزی در تحول مخروط‌افکنه‌ها دارند و درواقع اثر شرایط دیگر را خنثی می‌کنند. بدون وجود فعالیت تکتونیک دائمی، مخروط‌افکنه‌ها به اشکال کوچک و با عمر کوتاه تبدیل می‌شوند(پارسون[6]، ۲۰۰۹: ۴۵۱). بالاآمدگی بخش کوهستان باعث فراهمی مواد رسوبی جدید به سطح مخروط‌افکنه‌ها می‌شود(بیتی[7]، ۱۹۶۳: ۵۲۵). متغیرهای تکتونیکی، بافت و موقعیت مخروط‌ها را متأثر می‌سازند(بول، ۱۹۷۷. هاروی، ۱۹۸۷). جابجایی گسل‌های راستالغز[8] در محل تشکیل مخروط‌افکنه‌ها موجب جابجایی مخروط‌افکنه‌ها و جریانات سطحی آن‌ها می‌شود. شیب سطح مخروط‌افکنه‌ها نیز تا حد زیادی به‌وسیله تکتونیک کنترل می‌شود. ویژگی مورفولوژیکی سطوح مخروط‌افکنه‌ها می‌تواند به‌عنوان شاهد فعالیت‌های تکتونیکی به شمار روند(بول، ۲۰۰۹: ۸۷).

بایستی اشاره کرد که ایران در یک کمربند همگرایی تکتونیکی واقع‌شده است. این کمربند با حرکت شمال غربی صفحه عربی (۲۵ میلی‌متر در سال)، از اواخر سنوزوئیک تشکیل‌شده است(هولینگورث[9]، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۰). همچنین ایران یکی از زلزله‌خیزترین نقاط جهان به شمار می‌رود. با توجه به اثرپذیری شدید مخروط‌افکنه‌ها از فعالیت‌های زمین‌ساختی، مطالعه این اشکال می‌تواند داده‌های بسیار با ارزشی از نوع و میزان جابجایی گسل‌ها در اختیار دانشمندان علوم زمین قرار دهد.

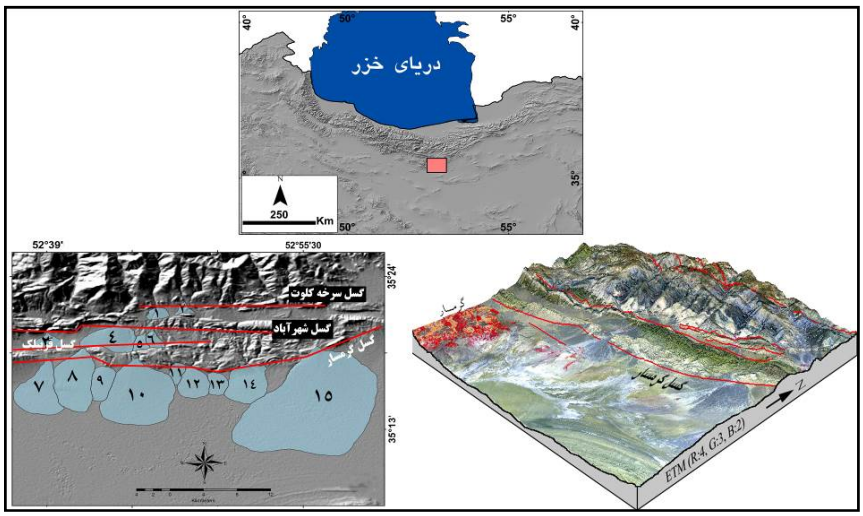
ما در این پژوهش تلاش کرده‌ایم تا با بررسی شواهد و آثار جنبایی گسل‌های گرمسار، قربیلک، شهرآباد و سرخه کلوت در سطح مخروط‌افکنه‌های منطقه، به نحوه تحول این مخروط‌ها طی کواترنری بپردازیم. در کنار این هدف، بررسی و آشکار ساختن نحوه تحول مخروط‌افکنه ده نمک طی کواترنری نیز هدف اصلی و عمده این پژوهش می‌باشد.

---

1 . Bull
2 . Rachocki
3 . Blair & McPherson
4 . Blair
5 . Harvey, et al
6 . Parsons
7 . Beaty
8 - Strike-Slip Fault
9 . Hollingsworth

محدوده موردمطالعه

در این پژوهش به بررسی تحول زمین‌ساختی مخروط‌افکنه‌های شرق گرمسار با تأکید بر مخروط‌افکنه ده نمک، واقع بر دامنه جنوبی البرز شرقی، پرداخته‌شده است(شکل ۱). این منطقه مرز بین ایالت ساختاری البرز و ایران مرکزی به شمار می‌رود. همچنین با توجه به نقشه‌های زمین‌شناسی گسل‌های متعددی در منطقه مشاهده می‌شوند. دامنه‌های جنوبی رشته‌کوه‌های البرز متشکل از مخروط‌افکنه‌هایی است که حاصل رسوب‌گذاری رودخانه‌های مختلف در پیشانی کوهستان می‌باشند. با توجه به اینکه این منطقه مرز بین پهنه‌های ایران مرکزی و البرز می‌باشد، دارای پیچیدگی خاصی بوده به نحوی که در گستره آن علاوه بر فعالیت گسل‌های مختلف، هم سازندهای مربوط به ایران مرکزی و هم البرز مشاهده می‌شوند(آقانباتی، ۱۳۸۳).



شکل ۱: محدوده موردمطالعه

این ناحیه تحت تأثیر گسل‌های مختلفی قرار دارد. گسل گرمسار و گسل قربیلک[1] از مهم‌ترین گسل‌های این ناحیه به شمار می‌روند. گسل گرمسار از نوع گسل راندگی[2] بوده که با جهت باختری ـ خاوری امتدادیافته و مرز بین کوهستان البرز و مخروط‌افکنه‌های جنوبی آن را تشکیل داده است و در امتداد این گسل، گنبدهای نمکی شمال غرب گرمسار قرارگرفته‌اند که به نظر می‌رسد فعالیت این گسل‌ها در بالا آمدن آن‌ها بی‌تأثیر نبوده است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق متکی بر داده‌های کمّی و کیفی است که به روش‌های مختلفی گردآوری‌شده‌اند. محدوده مخروط-افکنه ده نمک، ابتدا با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای IRS p6، استخراج شد. داده‌های کمّی مانند مساحت، شیب، طول مخروط، ارتفاع متوسط مخروط، نیمرخ‌های طولی مخروط و سطوح مختلف آن، با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰، زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، DEM 50m[3] و عکس‌های هوایی ۱:۵۵۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای لندست سنجنده ETM برآورد گردید. علاوه بر آن به‌منظور بررسی وضعیت زمین‌ساختی منطقه از نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و مطالعات تکتونیکی پیشین استفاده شد و نقشه گسل‌های منطقه ترسیم گردید. در مطالعات پیشین، بیشتر، نوع گسل‌ها و ویژگی‌های حرکتی آن‌ها بررسی‌شده است(امیدی، ۱۳۸۱). اشاره شد که بررسی و شناسایی شواهد فعالیت گسل‌ها و تأثیر آن‌ها بر مخروط‌افکنه ده نمک همچنین روند تحولی آن طی کواترنری،

1 - Gharbilak
2 - Thrust Fault
3- Digital Elevation Model

هدف این تحقیق است. بدین منظور از عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و تصاویر Google Earth به‌عنوان ابزارهای مشاهده غیرمستقیم استفاده‌شده است. زیرا این ابزارها قابلیت زیادی در آشکارسازی شواهد مذکور دارند (Walker, 2006). در شناسایی سطوح مختلف مخروط‌افکنه از تکنیک تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و استفاده از روش تجزیه‌وتحلیل مؤلفه‌های اصلی[1]، تحلیل شیب و همین‌طور گسترش ورنی صحرا و درنهایت تغییرات الگوی شبکه زهکشی سطح مخروط‌افکنه در امتداد گسل‌ها استفاده شد.

بررسی‌های میدانی جهت شناسایی و اندازه‌گیری برخی پارامترها صورت گرفت. برای این منظور، نقاط مورد بازدید از روی تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های مذکور بررسی، انتخاب و موقعیت آن‌ها وارد دستگاه GPS شد و در مرحله کارهای میدانی، اندازه‌گیری میزان بالاآمدگی بخش فرارو در اثر حرکات گسل‌ها، جابجایی امتدادی شبکه آبراهه‌ها و همچنین بررسی ورنی صحرا در سطوح مختلف مخروط‌افکنه‌ها صورت پذیرفت. سپس کنترل داده‌ها طی بررسی‌های میدانی انجام و تکمیل گردید. در این میان برای تفسیر الگوی زهکشی و واکنش آن‌ها به فعالیت گسل‌ها از تصاویر ماهواره‌ای IRS p6 استفاده شد. ابزارهای مورداستفاده در طی مراحل این تحقیق عبارت بودند از: GPS، نرم‌افزارهای FreeHand، ENVI 4.7، ArcGIS 9.3 و Google Earth. درنهایت داده‌های به‌دست‌آمده طی مراحل فوق از طریق روش‌های کمی و توصیفی مورد مقایسه و سپس تجزیه‌وتحلیل قرارگرفته و میزان و نحوه تأثیرگذاری تکتونیک فعال در مخروط‌افکنه ده نمک تعیین‌شده است.

بحث و یافته‌ها

موقعیت تکتونیکی و لرزه‌ای

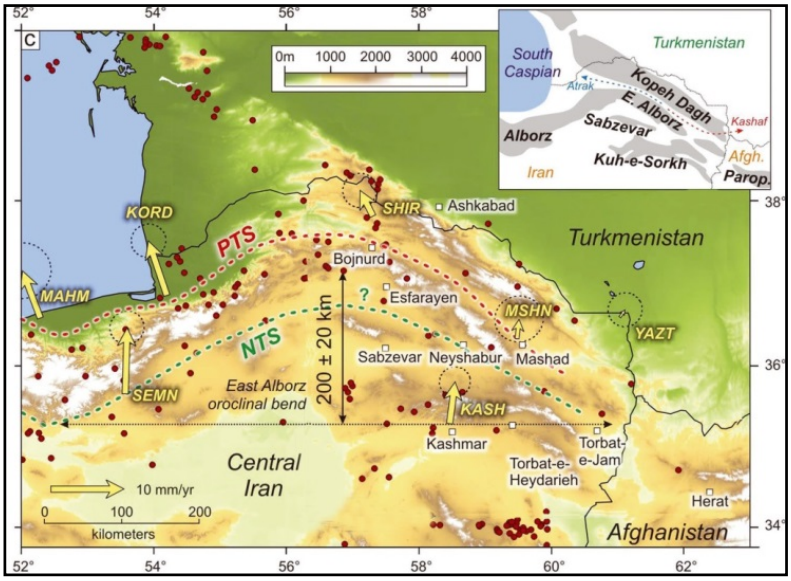
ازنظر زمین‌ساخت، البرز به پهنای ۱۰۰ کیلومتر، بین پهنه ایران مرکزی و حوضه خزر جنوبی واقع‌شده است. مرز شمالی این ارتفاعات، مرز کنونی سواحل جنوبی خزر است. تغییر شکل در البرز به دلیل همگرایی اوراسیا ـ عربستان و مجموعه گسل‌های معکوس موازی با سازوکار امتدادی چپ‌گرد فعالانه صورت می‌گیرد ($۴ \pm ۲ mm/yr^{-1}$). همین امر موجب وقوع زمین‌لرزه‌های متعددی در این ناحیه شده است (شکل ۲). بررسی و تحلیل داده‌های GPS در این بخش از ایران، میزان کوتاه‌شدگی شمالی ـ جنوبی آن را $۵ \pm ۲ mm/yr^{-1}$ نشان می‌دهد (ورنانت و دیگران، ۲۰۰۴). ماسون[2] (۲۰۰۷)، میزان کوتاه‌شدگی البرز در راستای طول جغرافیایی تهران را $۶ mm/yr^{-1}$ و زاگرس در همین امتداد را $۷/۵ mm/yr^{-1}$ به دست آورده است. اما به دلیل باریکی کمربند البرز، میزان تغییر شکل در آن نسبت به زاگرس بیشتر است (گورابی، ۱۳۸۷؛ به نقل از ماسون، ۲۰۰۵).

در زیر البرز توده سخت قرار ندارد (نپروچنوف[3]، ۱۹۶۸). خصوصیات لرزه‌ای و زمین‌شناختی نواحی پیرامونی البرز دلالت بر زیر راندگی بخش اقیانوسی به زیر تالش دارد (گورابی، ۱۳۸۷؛ به نقل از جکسون). بر این اساس حوضه خزر جنوبی نسبت به نواحی مجاور ایران به‌طرف باختر درحرکت است. لذا پیدایش گسل‌های معکوس تالش در باختر و راستالغز و چپ‌بر البرز در جنوب و راست‌گرد کپه‌داغ ناشی از این عامل می‌باشد (آلن[4] و همکاران، ۲۰۰۶).

جابجایی و حرکت گسل‌ها باعث رویداد زمین‌لرزه می‌شود. وجود تنش‌های زمین‌ساختی در این ناحیه، خود نشانگر فعال بودن آن ازنظر زمین‌ساختی است. حضور گسل‌های بنیادی جنبا در کواترنر باعث شده است که گستره البرز به‌عنوان یکی از نواحی لرزه‌خیز پهنه ایران محسوب شود.

---

1 - Principle Components Analyze
2 - Msson
3 - Neprochnov
4 - Allen



شکل ۲: نقشه توپوگرافی البرز خاوری و شمال‌خاور ایران. PTS مرز بسته شدن اقیانوس تتیس قدیم و NTS اقیانوس تتیس جدید را نشان می‌دهد. پیکان‌های زرد، سرعت ژئودینامیکی این بخش از ایران را نشان می‌دهد. نقاط قرمز بیانگر زلزله‌های اخیر هستند (Hollingsworth, 2010)

گسل‌ها

چهار گسل عمده و اصلی در این منطقه وجود دارد. گسل گرمسار، گسل قربیلک، گسل شهرآباد و گسل سرخه-کلوت[1]. روند کلی این گسل‌ها باختری ـ خاوری است و شاخه‌های فرعی دیگری با روندهای متفاوت به این گسل‌ها، وصل می‌شوند (شکل ۳).

طول گسل گرمسار در حدود ۱۰۰ کیلومتر برآورد شده است. در بخش خاوری، مرز بین سازند آبرفتی هزار دره و آبرفت‌های کواترنر را می‌سازد و در زیر مخروط‌افکنه‌های حاصل از فرسایش هزار دره پنهان است. راستای اصلی گسل گرمسار خاوری ـ باختری با سازوکار راندگی است. شیب این گسل به سمت شمال است ولی میزان شیب آن مشخص نشده است. جابجایی این گسل باعث رخنمون شدن گنبدهای نمکی در منطقه شده است.

با توجه به زمین‌لرزه‌های تاریخی صورت گرفته در این منطقه، می‌توان نتیجه گرفت که گسل گرمسار، فعال است. به عقیده بربریان و همکاران (۱۳۶۴)، زمین‌لرزه‌های بهار ۷۴۳ میلادی با بزرگای برآوردی Ms ۷/۲، زمین‌لرزه ۲۱ اردیبهشت ۱۳۳۴ گرمسار با بزرگای Mb ۴/۶، زمین‌لرزه‌های ۱۹۸۲ و ۱۹۸۸ گرمسار با بزرگی Ms ۵/۴ و Mb ۵/۵ نتیجه جنبش دوباره گسل گرمسار بوده است (بربریان، ۱۳۷۵).

گسل قربیلک، در شمال گسل گرمسار و با شیب جنوبی قرارگرفته است. در راستای این گسل، سنگ‌های سازند قم (از سمت جنوب) بر روی سازند قرمز بالایی (در شمال) رانده‌شده‌اند (بربریان و همکاران، ۱۳۷۵). هیچ‌گونه داده سنی و یا لرزه‌خیزی از گسل فشاری قربیلک ثبت‌نشده است.

سازوکار گسل سرخه کلوت از نوع راندگی است. باوجوداینکه بخشی از گسل سرخه‌کلوت رسوبات کواترنر را بریده است، هیچ‌گونه داده لرزه‌خیزی از آن تاکنون به دست نیامده است (بربریان و همکاران، ۱۳۷۵).

1 - Sorkhe Kalut

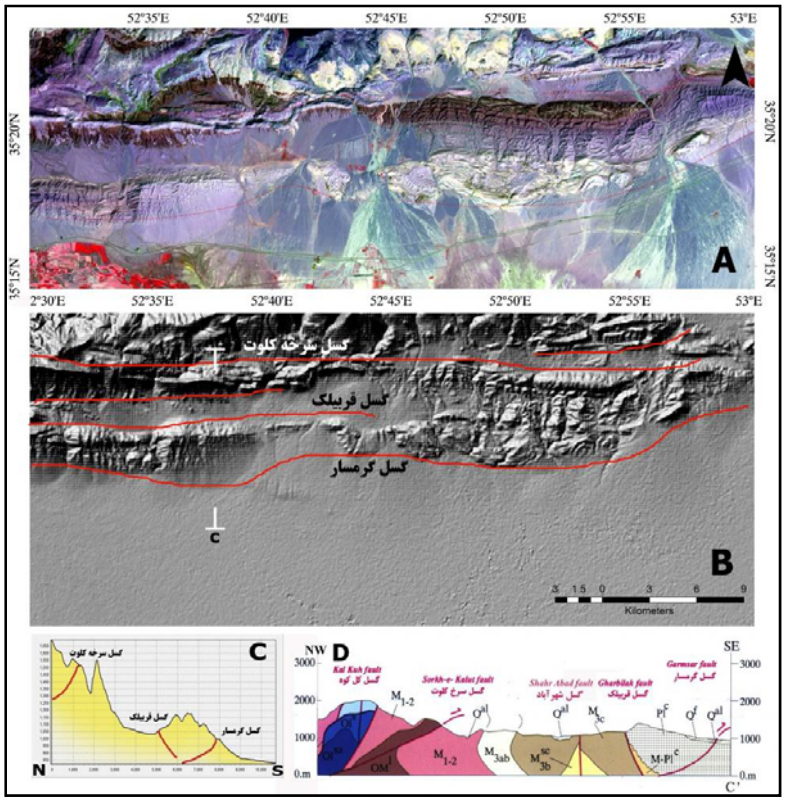
گسل شهرآباد، بین گسل قربیلک در جنوب و سرخه‌کلوت در شمال و موازی با آن‌ها امتدادیافته است. طول این گسل رانده در حدود ۲۰ کیلومتر است. دارای شیبِ شمالی بوده و در امتداد آن سازند قم (از سمت شمال)، بر روی رسوبات سازند قرمز بالایی (در جنوب) رانده‌شده‌اند.

با توجه به شکل ۴ ملاحظه می‌شود که به‌استثناء گسل قربیلک که شیبی به سمت جنوب دارد، بقیه گسل‌ها داری شیب شمالی هستند، ضمن اینکه گسل‌های مذکور از نوع فشاری و راندگی هستند. در امتداد گسل‌های گرمسار، سرخه‌کلوت، قربیلک و شهرآباد مخروط‌افکنه‌های متعددی شکل‌گرفته‌اند. مورفولوژی این مخروط‌ها و تغییرات آن‌ها از جنبش این گسل‌ها تأثیر پذیرفته‌اند.

زمین‌ساخت جدید و مخروط‌افکنه‌ها

در محدوده موردمطالعه علاوه بر مخروط‌افکنه ده نمک، مخروط‌افکنه‌های متعددی وجود دارد که در سطوح مختلف ارتفاعی پراکنده‌شده و هرکدام به‌نوعی تحت تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی قرارگرفته‌اند. در ادامه بحث به شواهد مورفولوژیکی تکتونیک فعال در سطح این مخروط‌افکنه‌ها پرداخته‌شده است. لیکن ازآنجاکه شرایط تحول مخروط‌افکنه ده نمک طی کواترنری، پیچیده بوده است، این مخروط به‌طور دقیق موردبررسی قرارگرفته است.

در جدول شماره ۱، برخی از ویژگی‌های مخروط‌افکنه‌های موردمطالعه، نشان داده‌شده است. جدول مذکور بر اساس مطالعات کمّی نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ استخراج‌شده است و در آن علاوه بر ویژگی مخروط‌افکنه‌ها، مساحت حوضه آبریز هرکدام از آن‌ها نیز نشان داده‌شده است.

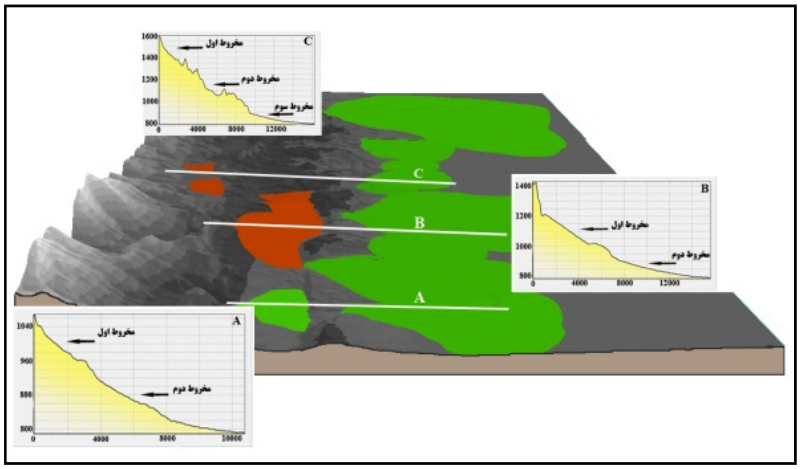


شکل ۳: مورفولوژی کلی مخروط‌افکنه‌های تشکیل‌شده در امتداد گسل‌های گرمسار، سرخه‌کلوت و قربیلک. A) باندهای ٤، ٥ و ۲ سنجنده ETM ماهواره لندست، B) تصویر سایه ـ روشن حاصل از SRTM 90m، C) نیمرخ توپوگرافی عمود بر امتداد گسل‌های مذکور (محل نیمرخ در تصویر B با خط سفید مشخص است)، D) مقطع زمین‌شناسی گسل‌های مذکور را نشان می‌دهد.

جدول شماره ۱: خصوصیات مورفومتریکی مخروط‌افکنه‌های موردمطالعه (مأخذ: نقشه توپوگرافی ۲۵۰۰۰)

شماره	مساحت حوضه آبریز(km^2)	مساحت مخروط واقعی (km^2)	مساحت مخروط ایدئال (km^2)	شیب متوسط (درجه)	ارتفاع متوسط(m)	طول مخروط (km)
۱	۲۷/۷	۲/۷	۱/۹	۳/۸	۱۳۳۰	۱/۶۴
۲	۱۷۱/۷	۱/۶	۲	۴/۵	۱۳۵۶	۱/۶
۳	۲/۸	۴/۸۷	۵/۱۵	۱/۷	۹۷۸	۲/۵
۴	۲۱/۴	۱۳/۹	۱۴/۴	۲/۹	۱۰۷۵	۴
۵	۳/۳	۲/۴۷	۴/۳۶	۲/۶	۱۰۷۴	۲/۴
۶	۷/۶	۲/۷۶	۴/۳۵	۳/۸	۱۰۹۳	۲/۲
۷	۱۰/۳	۲۱/۲۶	۴۳/۲۳	۱/۰۷	۸۲۴	۷/۳
۸	۱۶/۱۴	۲۵/۵۸	۵۶/۵	۱/۴۶	۸۶۳	۸/۵
۹	۵۵/۷	۸/۴۶	۱۶/۷	۱/۵	۸۷۰	۴/۸
۱۰	۱۱۷/۸	۴۶/۵	۶۰/۸	۱/۳	۸۴۵	۸/۷
۱۱	–	۳/۲	۶/۷	۲/۴	۸۷۹	۲/۹
۱۲	–	۱۰/۸	۱۴/۴	۱/۴	۸۳۸	۴/۳
۱۳	–	۴/۹	۷/۹	۱/۳	۸۲۷	۳/۱
۱۴	–	۱۷/۱۷	۲۲/۹	۲/۰۲	۸۴۱	۲/۳
۱۵	–	۱۳۷/۴۸	۱۵۷	۱/۲۵	۸۴۲	۱۴/۳

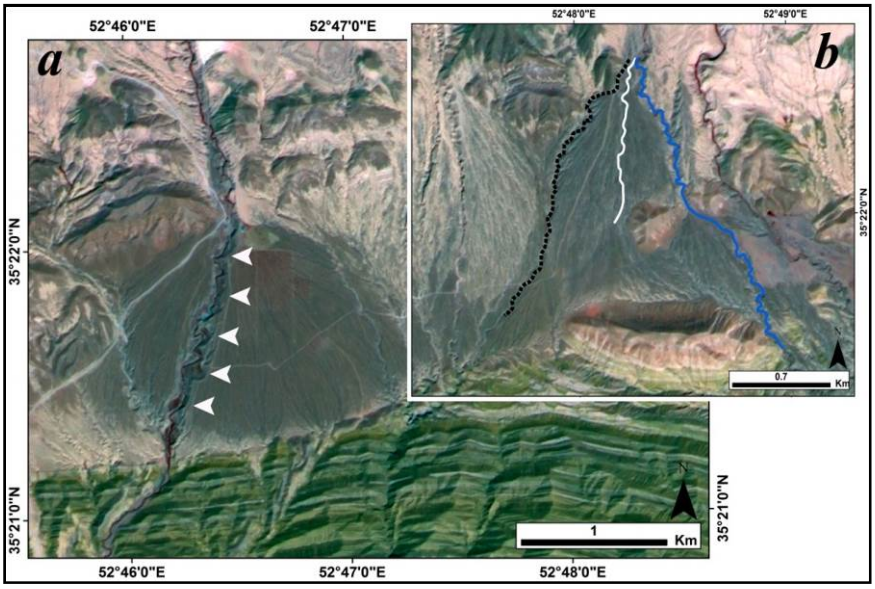
به‌منظور بررسی دقیق روند تحول مخروط‌افکنه‌ها ، لندفرم‌های کواترنری مذکور به سه گروه تقسیم‌شده است. ملاک این تقسیم‌بندی، سطحی از ارتفاع است که مخروط‌افکنه‌ها در آن گسترش‌یافته‌اند. مخروط‌افکنه‌های این گستره به سه گروه تقسیم شدند (شکل ۴).



شکل ٤: توزیع ارتفاعی مخروط‌افکنه‌های گستره گرمسار. تصویر زمینه، تصویر سایه ـ روشن SRTM 90 است. ارتفاع مخروط‌هایی که با رنگ قرمز مشخص است، بیش از ۱۰۰۰ متر و مخروط‌های سبز رنگ کمتر از ۱۰۰۰ متر است. A، B و C نیمرخ توپوگرافی مخروط‌افکنه‌ها را نشان می‌دهد. موقعیت هر یک از نیمرخ‌ها با خط سفید در روی نقشه مشخص‌شده است. مخروط‌های بیش از ۱۰۰۰ متر، جزء مخروط‌های متروک و قدیمی هستند. با توجه به نیمرخ‌های توپوگرافی، شیب مخروط‌ها با افزایش ارتفاع، افزایش می‌یابد.

زمین‌ساخت جدید و مخروط‌های گروه اول (مخروط‌های شماره ۱ و ۲)

بررسی تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی نشان می‌دهد که در سطح مخروط‌افکنه‌های مذکور، فرسایش خندقی توسعه زیادی یافته است. توسعه گالی در سطح مخروط‌افکنه مذکور نشان می‌دهد که به‌شدت تحت تأثیر فرایندهای فرسایشی است. درواقع فرایند رسوب‌گذاری در سطح این مخروط به‌طور کامل متوقف و فرسایش سطح آن گسترش پیداکرده است. تصاویر ماهواره‌ای، نشان‌دهندهٔ جابجایی مسیر مجرای اصلی مخروط‌افکنه شماره ۲، طی دوره کواترنری است (شکل ۵*b*). فعالیت گسل شمالی سرخه کلوت واقع در رأس این مخروط‌افکنه، موجب تغییر مسیر جریان اصلی شده است. موقعیت تغییر مسیر شبکه اصلی و همچنین عمق آن‌ها نشان می‌دهد که زمین‌ساخت باعث این تغییرات شده است. زیرا تغییرات بافت رسوبی و شرایط اقلیمی و سیلاب‌های سطحی مخروط‌افکنه‌ها، بیشتر موجب تغییر مسیر مجراهای گیسوئی و آبراهه‌های بسیار کم‌عمق نواحی فعال مخروط‌افکنه‌ها می‌شود (بلیر، ۲۰۰۰).

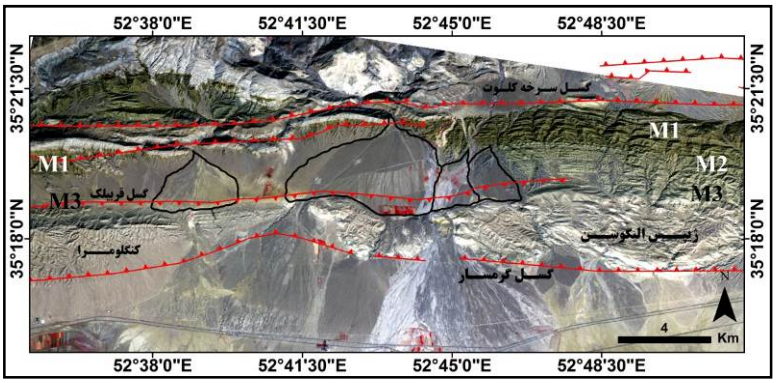


شکل ۵: تصویر سنجنده P6 ماهواره IRS از مخروط‌افکنه‌های گروه یک. *a*) حفر بستر جریان اصلی مخروط‌افکنه شماره ۱ در حدود ۱۵ متر. *b*) تغییر مسیر جریان اصلی و انحراف آن به حاشیه مخروط‌افکنه شماره ۲ در اثر فعالیت‌های نوزمین‌ساختی.

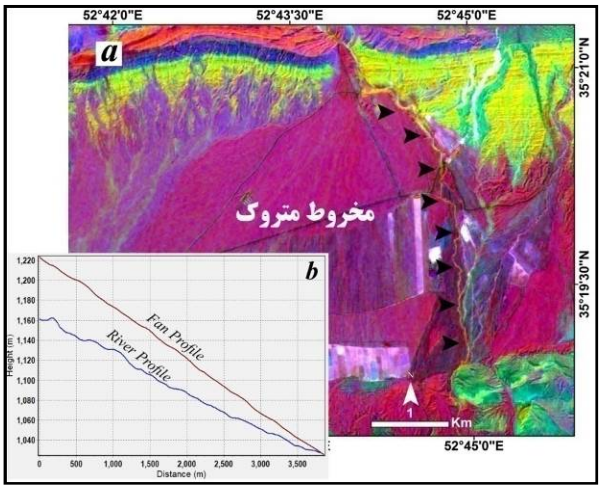
زمین‌ساخت جدید و مخروط‌های گروه دوم (مخروط‌های شماره ۳ الی ٦)

مخروط‌افکنه‌های گروه دوم بین گسل‌های شهرآباد و سرخه کلوت در شمال و گسل قربیلک در جنوب توسعه پیداکرده‌اند (شکل ۶). وجود گسل‌های قربیلک در جنوب و شهرآباد در شمال و فعالیت کواترنری آن‌ها، باعث ارتفاع یافتن مخروط‌افکنه‌های گروه دوم شده است. این فرایند موجب شده تا رودخانه‌ها جهت رسیدن به سطح اساس، بستر خود را حفر کنند. درنتیجه مخروط‌افکنه مذکور حفر و متروک مانده است.

فعالیت‌های نوزمین‌ساختی دو تأثیر عمده بر این گروه گذاشته است. بالاآمدگی زمین‌ساختی در مرحله اول موجب جابجایی موقعیت مجرای اصلی به حاشیه مخروط‌افکنه شده است و ادامه این روند موجب حفر بستر جریان اصلی در حاشیه مخروط‌افکنه شده است (شکل ۷). لیکن میزان حفر بستر این مخروط‌افکنه، کمتر از مخروط‌های گروه یک است (در حدود ۹ الی ۱۳ متر). با جابجایی موقعیت مجرای اصلی، موقعیت رسوب‌گذاری در سطح مخروط‌افکنه نیز تغییر می‌کند. بنابراین نو زمین‌ساخت، موجب متروک و غیرفعال ماندن مخروط‌افکنه قدیمی شده است.

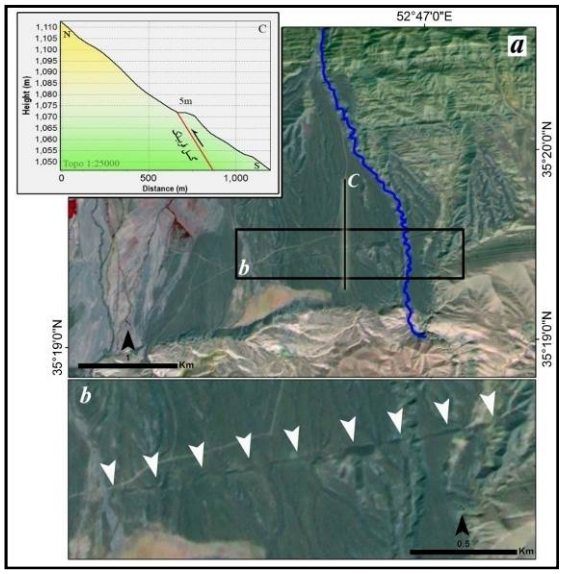


شکل ٦: تصویر Aster (VNIR, 3N, 2, 3) زیربنای مخروط‌افکنه‌های گروه دو را نشان می‌دهد. نهشته‌های سازند سرخ بالایی در بخش خاوری تصویر مشاهده می‌شود. ادامه این سازندها پس از عبور از زیر رسوبات مخروط‌افکنه‌ای، در بخش‌هایی از باختر تصویر برونزد پیداکرده و مشاهده می‌شوند.



شکل ۷: a) تصویر PCA حاصل از تصویر ماهواره‌ای IRS، بخش متروک مخروط‌افکنه و موقعیت فعلی مجرای اصلی را نشان می‌دهد. b) نیمرخ طولی مخروط‌افکنه و جریان اصلی آن. بالاآمدگی زمین‌ساختی طی دوره کواترنری، موجب برخاستگی مخروط-افکنه، جابجایی و حفر بستر مجرای اصلی شده است.

مخروط‌افکنه‌های شماره ۵ و ۶ در بخش شرقی گسل‌های قربیلک و شهرآباد توسعه‌یافته‌اند. مخروط‌افکنه‌های مذکور تحت تأثیر بالاآمدگی زمین‌ساختی قرارگرفته و جریان اصلی بستر خود را حفر کرده است (در حدود ۳ الی ۶ متر). حفر بستر اصلی، موجب متروک ماندن سایر بخش‌های مخروط‌افکنه‌ها شده است. با توجه به ضخامت کمِ رسوبات مخروط‌افکنه‌ای بخش خاوری، فرسایش آب‌های جاری باعث تخلیه این رسوبات به پایین‌دست شده است. این فرایند موجب شده تا سطح این مخروط‌ها، از مورفولوژی خشن و ناهمواری برخوردار باشد. ضمن اینکه تنها جایی که جابجایی قائم گسل قربیلک به‌صورت مستقیم رسوبات کواترنری را متأثر ساخته است، مخروط‌افکنه شماره شش است (شکل ۸ *b*). ۲/۱۴ کیلومتر از انتهای خاوری گسل قربیلک، موجب بالاآمدگی بخش جنوبی رسوبات کواترنری مخروط‌افکنه شماره شش شده است. از طریق مشاهدات میدانی، مقدار جابجایی قائم آن ۵ متر اندازه‌گیری شده است. نیمرخ‌های توپوگرافی حاصل از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ (شکل ۸ *c*)، نحوه عملکرد گسل و جابجایی رسوبات مذکور را نشان می‌دهد. لازم به توضیح است که بررسی تصاویر آیکونوس و IRS و همین‌طور مشاهدات دقیق میدانی، هیچ‌گونه شواهد مورفولوژیکی مبنی بر جابجایی راستالغز گسل مذکور، در محدوده موردمطالعه را اثبات نکرد.



شکل ۸: تأثیر نو زمین‌ساخت بر مورفولوژی مخروط‌افکنه شماره شش. a) تصویر ماهواره‌ای مخروط‌های بالاآمده و موقعیت مجرای اصلی. b) عملکرد گسل قربیلک باعث جابجایی قائم رسوبات مخروط‌افکنه‌ای شده است. c) نیمرخ توپوگرافی عمود بر گسل را نشان می‌دهد.

زمین‌ساخت جدید و مخروط‌های گروه سوم (مخروط‌های شماره ۷ الی ۱۵)

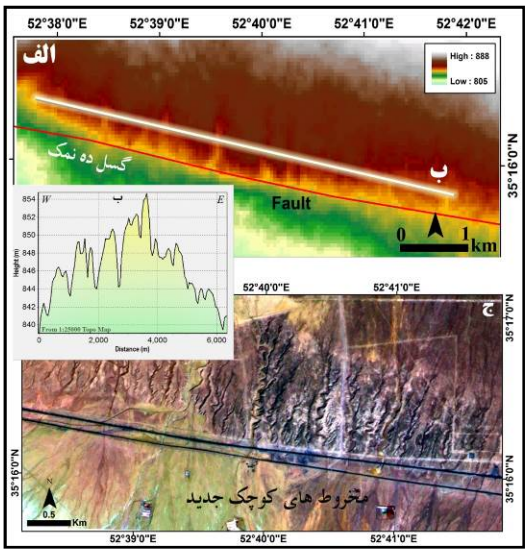
شیب این گروه از مخروط‌افکنه اغلب کمتر از ۲ درصد است. تکتونیک اثرات متفاوتی بر این مخروط‌ها گذاشته است که در ادامه به بررسی این آثار پرداخته‌شده است. بررسی تصاویر ماهواره‌ای IRS و آیکونوس حقایق جالبی را در زمینه تحول مخروط‌افکنه‌های مذکور آشکار کرد. شواهد فعالیت گسل‌های قربیلک، شهرآباد و سرخه‌کلوت و همچنین گسل گرمسار را می‌توان در تغییر، انحراف و جابجایی شبکه زهکشی مشاهده کرد. برای مثال ویژگی‌های مخروط‌های شماره ۷ و ۸ بیان می‌شود.

بین دو مخروط‌افکنه مذکور یک تفاوت اساسی وجود دارد. بر اساس مشاهدات صورت گرفته بر روی تصاویر و بررسی‌های صحرایی، مجرای اصلی مخروط‌افکنه شماره هفت، در حال حاضر فعال است و بستر خود را حفر و به عمق برده است. لیکن سطح این مخروط غیرفعال است و فرسایش بخش‌های مختلف آن را تحت تأثیر قرار داده است. حفر سطح مخروط‌افکنه توسط جریان اصلی باعث متروک ماندن مخروط اصلی و تشکیل مخروط‌افکنه دیگری در پایین‌دست آن شده است. این در حالی است که مجرای اصلی مخروط‌افکنه شماره هشت، غیرفعال بوده و هیچ فرایندی هیدرولوژیکی عمده‌ای در آن صورت نمی‌گیرد. تنها فرایند مجرای اصلی مخروط شماره هشت، زهکشی آب حاصل از بارندگی در سطح مخروط‌افکنه شماره چهار و هشت است.

فرایند متروک ماندن مخروط‌افکنه شماره هشت را می‌توان در ارتباط فضایی آن با مخروط‌افکنه شماره چهار مشاهده کرد. با بررسی تصاویر ماهواره‌ای مشخص شد که جریان اصلی مخروط‌افکنه شماره ۴ که باعث تشکیل مخروط شماره ۸ در پایین‌دست می‌شده است در حدود ۴/۵ کیلومتر به سمت خاور (اندازه‌گیری شده در قاعده مخروط‌افکنه)، تغییر مسیر داده است. این فرایند تحت تأثیر فعالیت کواترنری گسل‌های شهرآباد و به‌احتمال، قربیلک صورت گرفته است. فعالیت این گسل موجب جابجایی مجرای اصلی مخروط شماره ۴ در رأس آن شده است. تغییر مسیر این مجرای که تغذیه‌کننده مخروط‌افکنه شماره هشت نیز بوده است، موجب قطع رسوب‌گذاری در مخروط مذکور و درنهایت متروک ماندن آن شده است.

فعالیت گسل دِه نمک و تأثیر آن بر مخروط شماره ۸ را می‌توان بر روی تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی مشاهده کرد. طول تقریبی این گسل در حدود ۷/۵ کیلومتر است. با توجه به شواهد ریخت زمین‌ساختی این گسل، مشخص شد که میزان جابجایی مؤلفه قائم آن در بخش‌های میانی گسل بیشتر از کناره‌های آن است. این شواهد عبارت‌اند از وجود پرتگاه بلندتر در بخش میانی و حفر عمیق بستر شبکه زهکشی در بخش میانی گسل. لازم به ذکر است که این خصوصیات مختص این گسل نبوده و در اغلب گسل‌های فعال چنین روندی قابل‌مشاهده است. در امتداد این گسل، رسوبات مخروط‌افکنه‌ای دچار برخاستگی شده و در این بخش از مخروط‌افکنه، شیب افزایش پیداکرده است. برخاستگی زمین‌ساختی رسوبات کواترنری موجب شده تا شبکه زهکشی سطحی مخروط‌افکنه‌ها، آن‌ها را حفر و بستر خود را در این رسوبات به عمق برده‌اند (شکل ۹). شواهد زمین‌ساخت فعال از قبیل؛ حفر و فرسایش شدید سطوح قدیمی مخروط‌افکنه‌ها، تشکیل آبراهه‌های عمیق در سطح مخروط‌افکنه‌ها، جابجایی مسیر رودخانه، پرتگاه گسل و مئاندری شدن مسیرهای فرعی شبکه زهکشی ازجمله شواهدی هستند که به‌وضوح بر روی تصاویر مشخص می‌باشند.

بر اساس شواهد موجود، رأس اغلب مخروط‌افکنه‌های گروه سوم تحت تأثیر فعالیت‌های نوزمین‌ساختی قرارگرفته و حفرشده‌اند. لیکن مقادیر آن با توجه به شرایط محلی، متغیر است. برای مثال طبق بررسی‌ها، رأس مخروط‌افکنه شماره ۹، بسیار اندک حفرشده است به نحوی که می‌توان از مقدار آن چشم‌پوشی کرد. این در حالی است که رأس مخروط‌افکنهٔ شماره ۱۱ به‌شدت حفرشده است و در تصاویر ماهواره‌ای به‌راحتی قابل‌تشخیص می‌باشد (جدول ۲ و شکل ۱۰).



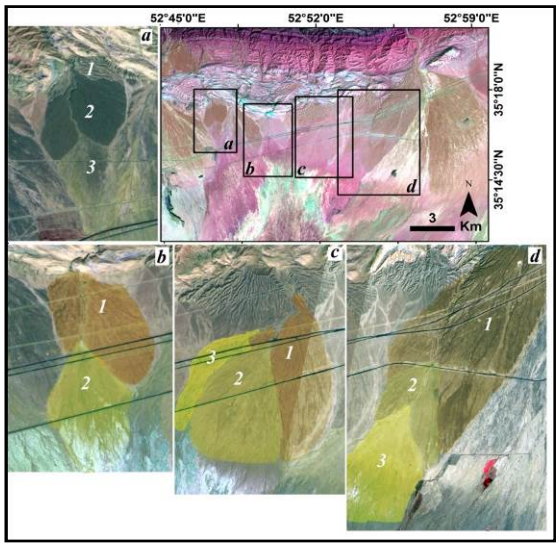
شکل ۹: تأثیر نوزمین‌ساخت بر مخروط‌افکنه‌های گستره گرمسار. الف) تصویر DEM حاصل از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰؛ ب) نیمرخ توپوگرافی در امتداد خط گسل ده نمک، بالاآمدگی رسوبات مخروط‌افکنه‌ای در امتداد گسل مذکور باعث حفر شدید آن‌ها توسط جریانات سطحی شده است. ج) تصویر IRS از رسوبات حفرشده مخروط‌افکنه‌های در راستای گسل ده نمک.

جدول ۲: مقادیر حفر بستر مخروط‌افکنه‌های گروه سه گستره گرمسار

شماره مخروط	میزان حفر بستر(m)	شماره مخروط	میزان حفر بستر(m)
۷	۱/۵	۱۲	۲
۸	۱/۵	۱۳	۲
۹	۱	۱۴	۹
۱۰	۱/۵	۱۵	۷
۱۱	۶		

شکل ۱۰: حفر بستر جریان اصلی مخروط‌افکنه شماره ۱۱ (الف) و مخروط شماره ۱۵ (ب)

درنهایت اینکه فعالیت‌های زمین‌ساختی علاوه بر اثرات بحث شده در بالا، موجب تقطیع مخروط‌های این گروه شده است. این فرایند موجب شده تا سطح مخروط‌افکنه‌ها ازلحاظ شیب، شبکه زهکشی و توسعه ورنی صحرا دچار تغییرات عدیده‌ای شوند (شکل ۱۱). بدین‌صورت که در مخروط‌افکنه‌های این گروه، سطوح قدیمی‌تر دارای شیب و ارتفاع بیشتری نیز هستند. در جهت پایین‌دست و با جوان‌تر شدن سطوح مخروط‌ها، مقادیر شیب و ارتفاع نیز کاهش پیدا می‌کند.

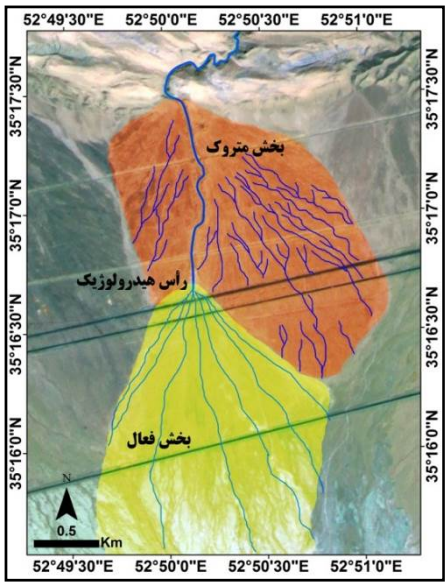


شکل ۱۱: تقطیع مخروط‌افکنه‌های گروه سه. در بیشتر مخروط‌های این گروه، اغلب سه سطح مشخص وجود دارد که شمارهایی مشخص‌شده است. ۱ قدیمی‌ترین سطح و ۳ جدیدترین سطح را نشان می‌دهد. با توجه به تصاویر مشخص است که بخش‌های تقطیع شده مخروط‌ها، ازلحاظ بافت و مورفولوژی با سایر بخش‌ها متفاوت‌اند.

ازنظر شبکه زهکشی: بررسی تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد که تکامل شبکه زهکشی مخروط‌افکنه‌های موردمطالعه در ارتباط با سطوح متروک و فعال آن‌ها متفاوت است. با توجه به ارتفاع و شیب زیاد سطوح غیرفعال مخروط‌افکنه‌ها، عمق مجراهای حفرشده در سطح آن‌ها نیز زیاد است. درواقع تلاش جریان‌ها برای رسیدن به سطح اساس، موجب حفر بیشتر این بخش از مخروط‌افکنه‌ها شده است. چنین فرایندی موجب تضاریس زیاد سطوح غیرفعال در مقایسه با دیگر بخش‌های مخروط‌افکنه‌ها شده است. ازنظر جهت توسعه شبکه زهکشی نیز بین سطوح متروک و فعال تفاوت وجود دارد. شبکه زهکشی سطوح جدیدتر یا فعال مخروط‌افکنه‌ها، در جهت پایین‌دست، به‌صورت واگرا دیده می‌شود. درواقع شبکه از رأس هیدرولوژیک به‌صورت شعاعی به اطراف پخش می‌شود و عمل رسوب‌گذاری و توسعه

مخروط‌افکنه جدید را تکمیل می‌کند درحالی‌که شبکه‌های سطوح متروک، در جهت پایین‌دست، همگرا شده و فرایندهای فرسایشی را به دنبال دارند (شکل ۱۲).

ازنظر توسعه سنگفرش بیابان و ورنی صحرا: هراندازه رسوبات سطح مخروط‌افکنه‌ها مدت‌زمان زیادی تحت تأثیر فرایندهای هوازدگی قرار بگیرند، ورنی صحرا و سنگفرش بیابان بیشتر توسعه پیدا می‌کند (هاروی، ۲۰۰۰). بنابراین توسعه سنگفرش بیابان و ورنی صحرا در سطح مخروط‌افکنه‌ها می‌تواند در ایجاد همبستگی بین سطوح ژئومورفیک و سن نسبی این سطوح مؤثر باشد (Pelletier, 2007). بررسی‌های میدانی نشان می‌دهد که در سطح بخش‌های متروک مخروط‌افکنه‌ها، سنگفرش بیابان و ورنی صحرا به‌خوبی توسعه پیداکرده‌اند (شکل ۱۳). درحالی‌که با جوان‌تر شدن رسوبات، از مقدار توسعه این شاخص‌ها کاسته شده است. چنین تغییراتی را می‌توان از طریق تباین رنگ در تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی شناسایی کرد.



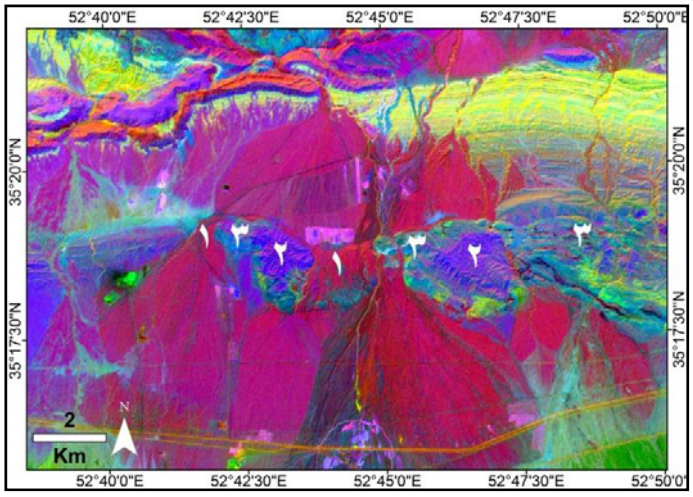
شکل ۱۲: نحوه توسعه شبکه زهکشی در سطوح متروک و فعال مخروط‌افکنه‌ها. شبکه زهکشی در سطح بخش‌های متروک‌شده در جهت پایین‌دست همگرا بوده و شاخه‌های کوچک‌تر به یکدیگر متصل می‌شوند. در این بخش‌ها فرسایش خندقی توسعه پیداکرده است. در پایین‌دست رأس هیدرولوژیک جریان اصلی رودخانه به‌صورت شعاعی به اطراف پخش‌شده و عمل رسوب‌گذاری صورت می‌گیرد.

شکل ۱۳: توسعه سنگفرش بیابانی در سطوح مختلف مخروط‌افکنه‌ای. الف) سطح متروک مخروط‌افکنه شماره ۱۱ و ب) سطح جوان‌تر همان مخروط

زمین‌ساخت جدید و مخروط‌افکنه ده نمک

با توجه به مطالب ذکرشده در بالا، این سؤال پیش می‌آید که مخروط‌افکنه ده نمک در کجای مطالعه قرار دارد؟ باید اشاره کرد که شرایط تحولی مخروط‌افکنه ده نمک کاملاً متفاوت از سایر مخروط‌افکنه‌ها بوده است. این‌طور می‌توان گفت که مخروط‌افکنه موردنظر، طی دوره کواترنری، تحت تأثیر فرایندهای تکتونیکی قرارگرفته و به‌طورکلی ماهیت خود را تغییر داده و به مجموعه‌ای از مخروط‌افکنه‌های کوچک‌تر تقسیم‌شده است. بر اساس بررسی‌های دقیق تصاویر ماهواره‌ای و مشاهدات میدانی و همچنین تهیه PCA از تصاویر IRS، مشخص شد که مخروط‌افکنه‌های شماره ۴، ۸، ۹ و ۱۰ مخروط‌هایی هستند که در اوایل کواترنری، به‌صورت یکپارچه بوده و تشکیل مخروط واحد و بزرگ‌تری را می‌داده‌اند که در این تحقیق مخروط‌افکنه ده نمک نام‌گذاری شده است.

هم‌زمان یا بعد از تشکیل مخروط‌افکنه بزرگ ده نمک، گسل‌های گرمسار و قربیلک فعالیت کرده و در اثر بالا آمدن این گسل‌ها، شرایط مخروط‌افکنه ده نمک تغییر کرده است. به این صورت که: ۱- ارتباط بین بخش بالادست و پایین‌دست مخروط افکنه قطع‌شده است. ۲- با بالا آمدن مخروط‌افکنه، جریان اصلی به‌شدت بستر خود را حفر کرده است. ۳- بخش‌های بالاآمده مخروط، مترو ک مانده‌اند. ۴- رودخانه اصلی در پایین‌دست مخروط قدیمی شروع به رسوب‌گذاری و تشکیل مخروط‌های جدید کرده است. ۵- فعالیت دو گسل مذکور علاوه بر بالا راندن رسوبات مخروط قدیمی، پایه الیگوسنی آن‌ها را نیز بالا رانده است (شکل ۱۴). البته در بخش نتیجه‌گیری این فرایند به‌طور کامل ذکرشده است.



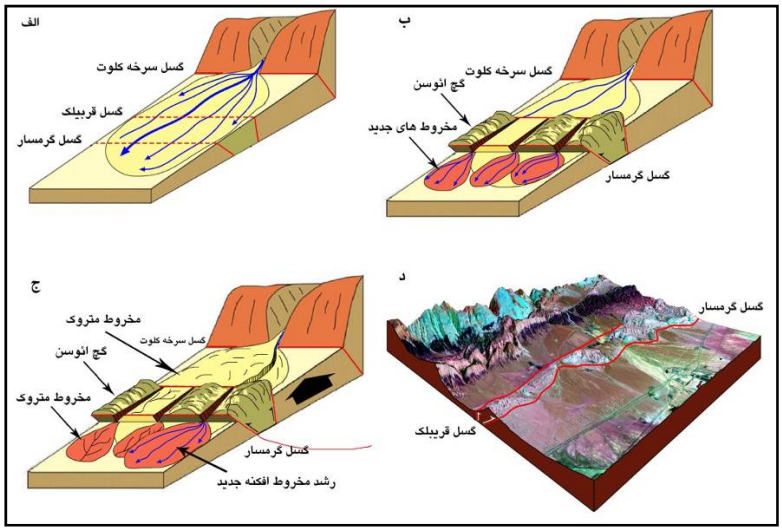
شکل ١٤: تصویر PCA حاصل از تصاویر ماهواره IRS از مخروط‌افکنه‌های گستره گرمسار؛ ۱) نشان‌دهنده بازمانده‌های رسوبات مخروط‌افکنه قدیمی است که در حال حاضر بالاآمده‌اند. ۲) نشان‌دهنده رسوبات کنگلومرای پلیو ـ کواترنری است که همراه با رسوبات الیگوسن (شماره ۳)، ارتفاع یافته‌اند.

نتیجه‌گیری

شرایط و فعالیت‌های نوزمین‌ساختی در گستره گرمسار در تشکیل و تحول مخروط‌افکنه‌ها نقش اساسی دارند. وجود گسل‌های موازی با راستای خاوری ـ باختری در وهله اول موجب شده است تا مخروط‌افکنه‌ها ازنظر ویژگی‌های ارتفاعی، در سطوح ارتفاعی مختلفی قرار بگیرند. همین عامل موجب شده تا فرایندهای سطحی آن‌ها متفاوت باشد. مهم‌ترین تأثیر فعالیت‌های نوزمین‌ساختی را می‌توان در متروک ماندن و توالی مخروط‌افکنه‌ها و همچنین انحراف شبکه اصلی مخروط‌افکنه و حفر و به عمق رفتن بستر مجرای اصلی مشاهده کرد.

شکل ۱۵ نحوه تحول مخروط‌افکنه‌های باختری گستره گرمسار (مخروط‌افکنه ده نمک)، را نشان می‌دهد. آنچه که در نگاه اول مشخص می‌شود، عملکرد گسل‌های کواترنری گرمسار و قربیلک در تغییرات موجود در مخروط‌افکنه-

هاست. به‌طورکلی فعالیت این گسل‌ها به همراه گسل‌های شهرآباد و سرخه کلوت عامل اصلی تحول مخروط‌افکنه‌ها معرفی شد. شواهد اثرات آن پیش‌تر ذکرشده است. با توجه به شکل ۱۶، مشخص می‌شود که طی دوره‌های مرطوب کواترنری مخروط‌افکنه بزرگی در پای دامنه‌های البرز خاوری شکل‌گرفته است. برای تشکیل چنین مخروط‌افکنه بزرگی علاوه بر بارش‌های زیاد، می‌بایست حوضه آبریز آن نیز بزرگ باشد. مورفومتری حوضه‌های آبریز گستره گرمسار نشان می‌دهد که حوضه آبریز مخروط‌افکنه موردنظر، بزرگ‌ترین حوضه منطقه است. مساحت آن در حدود ۱۷۱ کیلومترمربع اندازه‌گیری شده است (از طریق تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰). وجود چنین سطح بزرگی همراه با بارش‌های فراوان و همچنین سازندهای سست و حساسی چون گچ و سازند قم موجب می‌شود تا با اطمینان بالایی وجود یک مخروط‌افکنه قدیمی بزرگ را اثبات کرد. ضمن این‌که شواهد رسوب‌شناختی نیز گویای این مسئله است (ر.ک شکل ۱۴). بنابراین تحت شرایط مناسب محیطی، مخروط‌افکنه بزرگی در حال رسوب‌گذاری و توسعه در بخش باختری گستره گرمسار بوده است (شکل ۱۵ الف). هم‌زمان با رسوب‌گذاری این مخروط‌افکنه یا پس‌ازآن، فعالیت دو گسل اصلی منطقه یعنی گسل گرمسار و قربیلک موجب برخاستگی رسوبات گچی مربوط به دوره الیگوسن در بخش‌های میانی مخروط-افکنه مذکور شده است. برخاستگی رسوبات گچی در اثر جابجایی گسل‌ها، می‌تواند در اثر ویژگی‌های چگالی خود سازند تسریع شده باشد. به‌این‌ترتیب سازندهای الیگوسن با عملکرد گسل‌های گرمسار و قربیلک بالاآمده و باعث شده تا رسوبات مخروط‌افکنه‌ای نیز همراه با این رسوبات ارتفاع یابند. ادامه برخاستگی سازندهای الیگوسن موجب گردیده جریان رودخانه این رسوبات را حفر و در پیشانی آن‌ها مخروط‌افکنه‌های کوچک و جدیدتری ایجاد کند (شکل ۱۵ ب). مخروط-افکنه‌های کوچک مذکور تا زمان تغییر مسیر شبکه اصلی مخروط‌افکنه بزرگ اولیه، توسعه پیداکرده‌اند. ولی روند کلی بالاآمدن ناهمواری‌های البرز و همچنین عملکرد گسل سرخه کلوت واقع در رأس مخروط‌افکنه قدیمی و بزرگ‌تر، موجب بالا آمدن مخروط مذکور، انحراف شبکه اصلی و حفر بستر جریان اصلی آن گردیده است (شکل ۱۵ ج). طی این فرایند برخی از مخروط‌افکنه‌های کوچک جدید، متروک‌شده و جریان اصلی تنها یک مخروط‌افکنه کوچک را تغذیه می‌کند. درنتیجه مخروط‌افکنه کوچک مذکور رشد کرده و توسعه پیدا می‌کند (شکل ۱۵ ج).



شکل ۱۵: تحول مخروط‌افکنه ده نمک. الف) تشکیل و توسعه مخروط‌افکنه بزرگ طی دوره کواترنری. ب) جابجایی گسل گرمسار و قربیلک موجب بالاآمدن بلوک بین این گسل‌ها و سازندهای گچی الیگوسن شده است. بالا آمدن این سازندها موجب بالا آمدن رسوبات مخروط‌افکنه قدیمی نیز شده است که در شکل به رنگ روشن بر روی سازندهای الیگوسن مشاهده می‌شود. ج) جابجایی هم‌زمان گسل سرخه کلوت در رأس مخروط اصلی و بالاآمدن سراسری منطقه باعث متروک ماندن مخروط قدیمی و حفر بستر و درنتیجه قطع تغذیه مخروط‌افکنه‌های جدید کوچک‌تر شده است. با توجه به تغذیه یکی از مخروط‌های جدید، این مخروط‌افکنه رشد کرده و ازنظر مساحت سطح بیشتری را پوشانده است. د) تصویر ETM گستره با بزرگنمایی ارتفاعی ۳/۵ برابر.

منابع

- *Aghanabati, Ali(2004), Geology of Iran, Geological survey of Iran, Tehran, Iran*
- *Beaty, C.B., (1963). Origin of alluvial fans, White Mountains, California and Nevada. Ann. Assoc. Am. Geogr. 53, 516–535.*
- *Berberian et al, (1997), Investigation of neotectonic, seismotectonic and earthquake-faulting risk in Semnan province, Geological Survey of Iran, Iran, Tehran*
- *Blair T.C., (2000), Sedimentology and Progressive tectonic unconformities of the Sheetflood-dominated Hell's Gate Alluvial fan, Death Valley, California, Sedimentary Geology, vol 132, p: 233–262*
- *Blair, T.C., 1999. Sedimentology of the debris-flow-dominated Warm Spring Canyon alluvial fan, Death Valley, CA. Sedimentology 46, 941– 965.*
- *Blair, T.C., McPherson, J.G. (1994), Alluvial fan processes and forms. In: Abrahams, A.D., Parsons, A.J._Eds.., Geomorphology of Desert Environments. Chapman & Hall, London, pp. 354–402.*
- *Bull, W. B, (1972), Recognition of alluvial fan deposits in the stratigraphic record in Hamblin. W. K. and Rigby J. K. (Eds), Recognition of Ancient Sedimentary Environments. Society of Economic Paleontologists Special Publication, 16, pp: 63-83*
- *Bull, W. B, (1977) the alluvial fan environment. Progress in Physical Geography 1, 222–270.*
- *Bull, W. B, (2007); Tectonic Geomorphology of Mountain; Blackwell Publishing Ltd, USA, 2007*
- *Bull, W. B. Bull(2009), Tectonically Active Landscape, John Wiley & sons, Publication,*
- *Harvey, A.M. & Others(1999), The impact of quaternary sea-level and climatic change on coastal alluvial fans in the Cabo de Gate range, southeast Spain, Geomorphology, vol 28, p: 1-22*
- *Harvey, A.M. & Others(2003), The Tabernas of quaternary alluvial fans and lake system, southern Spain, Geomorphology, vol 50, p: 151-171*
- *Harvey, A.M., (1987). Alluvial fan dissection: relationship between morphology and sedimentation. In: Frostik, L., Reid, I. (Eds.), Desert Sediments: Ancient and Modern, vol. 35. Geological Society of London Special Publication, London, pp. 87– 103.*
- *Harvey, A.M., (1997) The role of alluvial fans in arid zone fluvial systems. In: Thomas, D.S.G. (Ed.), Arid Zone Geomorphology, 2nd ed. Wiley, Chichester, pp. 231– 259.*
- *Hollingsworth, J, James Jackson, Richard Walker, Mohammad Reza Gheitanchi and Mohammad Javad Bolourchi. (2006), Strike-slip faulting, rotation, and along-strike elongation in the Kopeh Dagh mountains, NE Iran. Internatuonal journal of geophysics, 166, 1161–1177*
- *Hollingsworth. J Hamid Nazari, Jean‐François Ritz, Reza Salamati, Morteza Talebian, Abbas Bahroudi, Richard T. Walker, Magali Rizza, and James Jackson (2010), Active tect onics of the east Alborz mountains, NE Iran: Rupture of the left‐lateral Astaneh fault system during the great 856 A.D. Qumis earthquake*
- *Maghsudi, M (2002), Arid zone Geomorphology(Study of effects of variables in sirjan alluvial fans geomorphology, Ph.D thesis, Tehran university, Tehran Iran*
- *Omidi, Parviz (1380), formal dynamic analyze of faults zones in south foothill of eastern Alborz, Ph.D thesis, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran*
- *Pelletier, J. (2007), Desert pavement dynamics: numerical modeling and field-based calibration, Earth Surface Processes and Landforms, vol 32, pp 1913-1927*

- *Rachocki. A, (1981), Alluvial fans, an attempt at an empricial approach, John Wiley publications, New York*
- *Walker, R. (2006), remote sensing study of active folding and faulting in southern Kerman province, S.E. Iran, Journal of Structural Geology 28, p 654–668*
- *Yamani, M; Ghoorabi, A. (2010), Morphotectonic of Dehshir area using Geomorphometry techniques, Physical Geographic research, no 71, pp:1-20*