

## تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی بر مورفولوژی مخروط افکنه‌های شمال بیرجند

سید مرتضی موسوی\* - استادیار گروه زمین شناسی، دانشگاه بیرجند.  
محمد مهدی خطیب - استاد گروه زمین شناسی، دانشگاه بیرجند.  
مهدی یوسفی - دانشجوی دکتری زمین شناسی، دانشگاه بیرجند.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۱۸      تأیید نهایی: ۱۳۹۶/۰۸/۱۴

### چکیده

زمین‌ساخت منطقه شمال بیرجند عمدتاً تحت تأثیر عملکرد پهنه گسلی شکرآب قرار دارد. راندگی شکرآب، دارای روند باختری-خاوری با شیب ۶۰ درجه شمالی، در فاصله ۴ کیلومتری از شمال شهر بیرجند قرار دارد که یک چشمه لرزه‌ای برای شهر بیرجند است. بدلیل اینکه گسل شکرآب از قطعات مختلف تشکیل شده است، شاخص‌های مورفومتریکی مخروطه افکنه‌ها جهت تعیین پویایی زمینساختی در سه بخش شرقی، مرکزی و غربی محاسبه گردید. مقادیر بدست آمده از شاخص خمیدگی مخروطه افکنه (β) در سراسر پهنه گسلی نشان می‌دهد که تمامی مخروطه افکنه‌های مورد مطالعه، بیضی شکل هستند و فعالیت بالای تکتونیکی را نشان می‌دهند. میانگین درصد مخروط گرایی در مخروطه افکنه‌های بخش غربی، مرکزی و شرقی گسل شکرآب به ترتیب برابر با ۸۶٪، ۹۲٪ و ۹۰٪ و همچنین میانگین ضریب کشیدگی (BS) به ترتیب برابر با ۳٫۲، ۲٫۳۳ و ۲٫۹۲ است. شیب سطحی مخروطه افکنه‌ها اکثراً بیشتر از ۵ درجه است و نیمرخ ارتفاعی مخروط افکنه‌ها در اکثر قریب به اتفاق آنها، مقعر است که گویای فعالیت کواترنری ناشی از عملکرد سیستم گسلی شکرآب است. شواهد مربوط به تأثیر گسل بر مخروطه افکنه‌ها از جمله بریدگی و جابجایی در مخروطه افکنه‌ها، خندق‌های فرسایشی، مخروطه افکنه‌های نامتقارن و خمیده، موقعیت مخروطه افکنه‌های جدید نسبت به پیشانی کوهستان، حاکی از فعالیت زمین ساختی بالا در منطقه و نیز بیشتر بودن فعالیت در بخش‌های غربی و شرقی نسبت به بخش مرکزی است. هم چنین در بخش‌های غربی و شرقی گسل شکرآب که طول قطعات گسلی فعال بیشتر از بخش مرکزی می‌باشد، وسعت مخروطه افکنه ایجاد شده بیشتر می‌باشند.

واژگان کلیدی: شمال بیرجند، شاخص مورفومتریکی، مخروطه افکنه، تکتونیک فعال.

## مقدمه

مخروط افکنه‌ها اشکال تراکمی مربوط به دوره کواترنر و عهد حاضر هستند که بررسی آنها می‌تواند اطلاعات بسیار مفیدی از فعالیت‌های نئوتکتونیکی منطقه‌ای را که در آن شکل گرفته‌اند، در اختیار محققان قرار دهد (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۱، ۸۰). در این بین، مورفولوژی مخروط افکنه‌ها خود می‌تواند اطلاعات بسیار ارزشمندی را در مورد جریان تکاملی آنها در اختیار بگذارد. از دیدگاه مورفولوژیکی، مخروط افکنه‌ها اشکالی مخروطی هستند که مواد تشکیل دهنده آنها عمدتاً درشت دانه‌اند، لکن مورفولوژی سطح هر کدام از این مخروط افکنه‌ها ویژگی‌های مخصوص به خود را دارند. کوهپایه‌ها و جبهه‌های کوهستانی ایجاد شده در اثر فعالیت‌های تکتونیکی مثل گسلش، در کنار معلومات ما در مورد نحوه تکامل دامنه‌ها و فرایندهای فعال در آنها، اساس تحلیل‌های آثار متقابل تکتونیک و فرسایش را در ایجاد اشکال خاص تشکیل می‌دهند (ساریسو والوا، ۱۹۹۳، ۲۳)<sup>۱</sup>. شاخص‌های ژئومورفیک در ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی ابزاری هستند زیرا از روی آنها می‌توان نواحی را که در گذشته فعالیت‌های سریع و یا حتی کند تکتونیکی را پشت سر گذاشته‌اند، به راحتی شناسایی نمود (رامیرز و هررا، ۱۹۹۸، ۳۲۰)<sup>۲</sup>. حرکات تکتونیکی، سطح اساس فرسایشی را تغییر داده و فرایندهای فعال در سطح مخروط افکنه‌ها و تکامل آنها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بر این اساس می‌توان سطوح مخروط افکنه‌ای را برای بررسی تاریخ و حرکات به کار گرفت (یانگ، ۱۹۸۵، ۲۰۶)<sup>۳</sup>. به طور 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 را بر عهده دارند. در مناطق دارای فعالیت‌های تکتونیکی، اشکال زمین حاصل ترکیب پیچیده‌ای از تأثیرات حرکات عمودی و افقی مربوط به بلوک‌های پوسته و فرسایش یا رسوبگذاری توسط فرایندهای سطحی است. تکتونیک با تغییر سطح اساس موجب تغییر فرایندهای فعال در سطح مخروط افکنه‌ها شده و روند تکاملی مخروط افکنه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد (اوانیس، ۲۰۰۶، ۲۲۴)<sup>۴</sup>. وقوع رویدادهای تکتونیکی، گسلش، چین خوردگی و فرونشینی یا بالا آمدگی، واکنش مخروط افکنه را در پی داشته؛ به گونه‌ای که این واکنش می‌تواند در نوع، اندازه، شکل رسوب و مورفولوژی مخروط افکنه ثبت گردد. برخی از این واکنشها به صورت تقطیع مخروط افکنه، جابه‌جایی مرکز بیشینه رسوبی و کانون‌های واگرافی شبکه هیدروگرافی روی مخروطها ظاهر می‌شود. همچنین فعالیت‌های تکتونیکی نقش بارزی را در تغییر مخروطه افکنه‌ها دارند و در واقع اثر شرایط دیگر را تحت تأثیر قرار دهند. بدون وجود فعالیت تکتونیکی دائمی، مخروطه افکنه‌ها به اشکال کوچک و با عمر کوتاه تبدیل می‌شوند بطوری که بالا آمدگی بخش کوهستان سبب فراهمی مواد رسوبی جدید به سطح مخروطه افکنه‌ها می‌شود (پارسونز، ۲۰۰۶، ۱۴۵)<sup>۵</sup>. همچنین متغیرهای تکتونیکی بافت و موقعیت مخروطها را تحت تأثیر قرار می‌دهند (بال، ۲۰۰۹، ۱۸۴)<sup>۶</sup>. شیب سطح مخروطه افکنه نیز تا حد زیادی به وسیله تکتونیک کنترل می‌شود و بنابراین ویژگی مورفولوژیکی و هندسی سطوح مخروطه افکنه‌ها می‌تواند به عنوان شاهد فعالیت تکتونیکی به شمار روند (یمانی و همکاران، ۱۳۹۱، ۴).

## موقعیت زمین‌ساختی منطقه

این نواختار مورفومتری مخروطه افکنه‌های واقع در شمال شهر بیرجند و ارتباط مقادیر شاخص‌های هندسی مخروطه افکنه‌ها با میزان فعالیت نوزمین‌ساختی سیستم گسلی شکرآب را بررسی می‌نماید. منطقه مورد مطالعه در استان خراسان جنوبی و در شمال شهر بیرجند در بین طول‌های جغرافیایی ۵۵° ۵۸' تا ۱۸' ۵۹° شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۲°

1- Sorriso-Valvo et al

2- Ramirez and Herrera

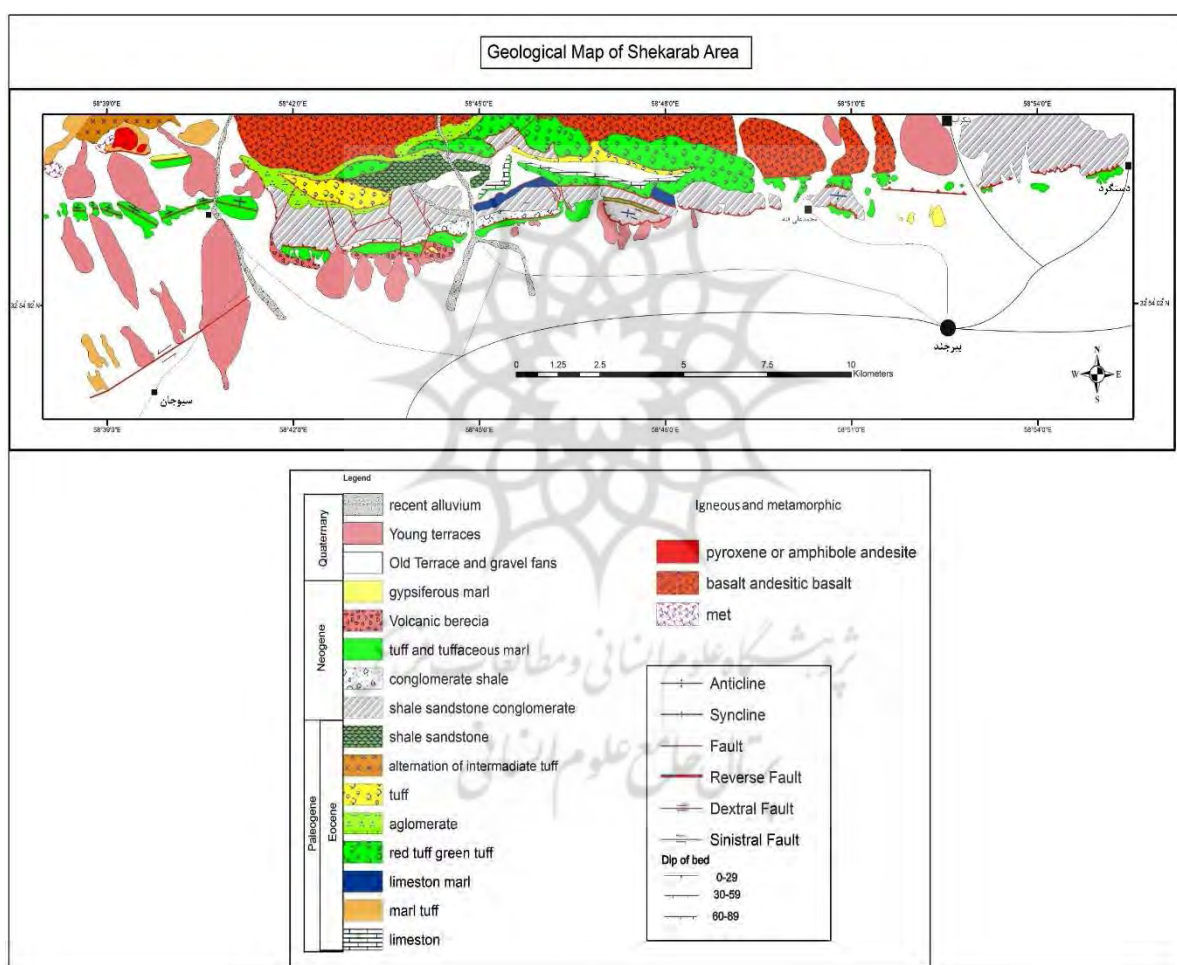
3- Yang, 1985

4- Ioannis

5- Parsons

6- Bull

تا  $30^{\circ} 56' 30''$  شمالی قرار دارد (شکل ۱). ارتفاع بلندترین قله منطقه حدود ۱۸۱۱ متر است. پهنه گسلی شکرآب از سمت شرق به روستای دستگرد و از غرب تا نزدیکی شمالی شهر خوسف محدود می‌باشد. حد شمالی این پهنه گسلی که از چندین قطعه تشکیل شده است، روستای شکرآب می‌باشد. جنوبی‌ترین قطعه گسلی این سیستم در شمال روستای سیوجان قرار دارد. (شکل ۱). پهنه گسلی شکرآب شامل چند سری گسل موازی هم و از سری گسل‌های شرقی غربی مربوط به پایانه گسل نهبندان می‌باشد که دارای مولفه تراستی با شیب به سمت شمال است. بررسی زمین لرزه‌های تاریخی و دستگاهی ثبت شده در منطقه شکرآب، نشان از فعالیت مخرب با مکانیزم راندگی و چپگرد دارد (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۶). با وجود نقش انکارناپذیر گسل شکرآب در دگرریختی کلی منطقه، اثر سطحی این گسل به دلیل پوشیده شدن با آبرفت‌های عهد حاضر در اکثر نقاط قابل دیدن نمی‌باشد.

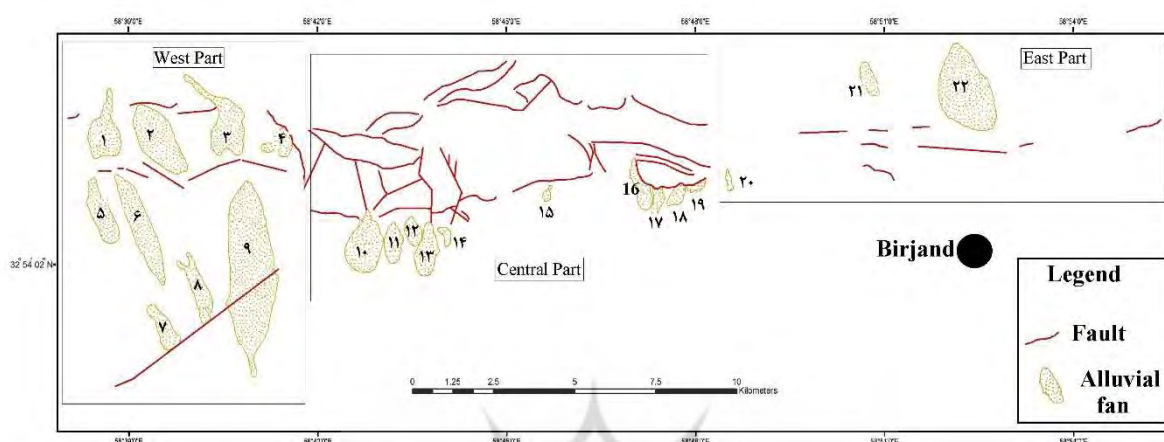


شکل ۱: موقعیت جغرافیایی پهنه گسلی شکرآب در شمال شهر بیرجند.

### روش تحقیق

مخروط افکنه شمال شهر بیرجند در ارتباط با قطعات گسل شکرآب می‌باشند (شکل ۲). محدوده این مخروط افکنه‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره ای و نرم افزارهای ER Mapper و Google Earth مشخص شد و در محیط نرم افزار ARC GIS 10.3 رقومی گردیدند. مقادیر کمی مانند مساحت، شیب، طول، عرض، ارتفاع متوسط و نیمرخ‌های طولی مخروط افکنه‌ها از نقشه‌های توپوگرافی و داده‌های رقومی DEM در نرم افزار ER Mapper محاسبه شد. علاوه بر این بررسی‌های میدانی جهت ترسیم نقشه گسل‌های منطقه و تشخیص سازوکار آنها که عمدتاً معکوس و دارای مولفه چپ

گرد هستند، انجام گرفت. شاخص‌های مورفومتری مخروطه افکنه‌ای از جمله ضریب خمیدگی مخروطه افکنه ( $\beta$ )، ضریب مخروط گرایی، ضریب کشیدگی، تغییرات ارتفاعی و نیمرخ طولی مخروطه افکنه‌ها در این پژوهش محاسبه و تحلیل می‌گردند.



شکل ۲: موقعیت مخروطه افکنه‌ها و قطعات مختلف گسلی شکرآب. (اعداد شماره‌های مخروطه افکنه‌ها را نشان می‌دهند).

## بحث اصلی

### محاسبه شاخص‌های مورفومتریکی مخروطه افکنه‌ها در شمال بیرجند

ویژگی‌های تکتونیکی یک منطقه مانند وقوع بالآمدگی و پایین رفتگی قطعات گسلی و جابجایی امتدادی آنها می‌تواند شکل کلی مخروطه افکنه و توسعه آن را تحت تأثیر قرار دهد (بلیئر و مک پرسون، ۱۹۹۴، ۱۳۲).<sup>۱</sup> در چنین شرایطی ویژگی‌های مورفولوژیکی و مورفومتریکی مخروطه افکنه‌ها می‌تواند به عنوان نشانگرهای فعالیت‌های نوزمینساختی به شمار روند. بدین منظور باتوجه به ویژگی‌های هندسی و ناپیوستگی‌های ساختاری مثل نحوه تمرکز و قرارگیری قطعات گسل، منطقه مورد مطالعه به سه بخش شرقی، مرکزی و غربی تقسیم گردید و شاخص‌های مورفومتری مخروطه افکنه‌ها در این بخش‌ها محاسبه، مقایسه و تحلیل می‌شوند (شکل ۲).

### شاخص خمیدگی مخروطه افکنه‌ها ( $\beta$ )

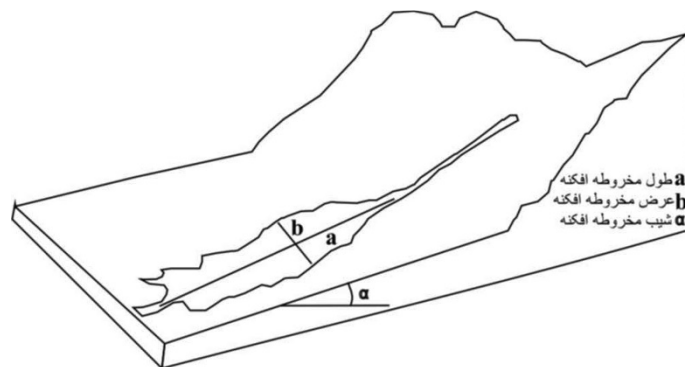
به طور کلی از روی شکل مخروطه افکنه می‌توان به میزان تغییراتی که در فعالیت‌های تکتونیکی از قبیل ایجاد گسل، بالآمدگی، خمیدگی و چین خوردگی در امتداد جبهه کوهستان اتفاق می‌افتد پی برد. در مخروطه افکنه‌هایی که منحنی‌های میزان آن بخشی از دایره را تشکیل می‌دهند و مرکز دایره منطبق با جبهه کوهستانی باشد، بیانگر تأثیر کمتر تکتونیک است و در حالت عکس، در مخروطه افکنه‌های غیرساده که تحت تأثیر تکتونیک بوده اند، منحنی‌های میزان سطح مخروطه افکنه به جای دایره، بخشی از یک بیضی را تشکیل می‌دهند و در فاصله دور از کوهستان شکل می‌گیرند (کلر و پینتر، ۱۹۹۶، ۹۴).<sup>۲</sup> هرچه خمیدگی مخروطه افکنه‌ها در اثر فعالیت تکتونیکی زیاد باشد ضریب خمیدگی مخروطه افکنه ( $\beta$ ) عدد کوچکی را نشان می‌دهد. این شاخص با فرمول زیر محاسبه می‌گردد (شکل ۳)

$$\beta = \arccos\left(\frac{b}{a}\right) \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha \quad (0.5)$$

که در آن  $\beta$ : ضریب خمیدگی مخروطه افکنه،  $a$ : طول قطر بزرگ،  $b$ : طول قطر کوچک،  $\alpha$ : شیب مخروطه افکنه می‌باشند.

<sup>1</sup> - Blair and McPherson

<sup>2</sup> - Keller and Pinter



شکل ۳. پارامترهای مورد نیاز جهت محاسبه شاخص حمیدگی مخروطه افکنه.

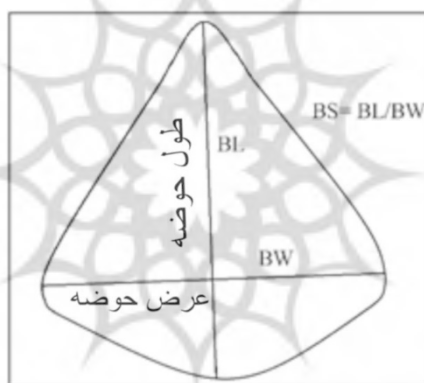
برای محاسبه شاخص فوق در مخروطه افکنه‌های واقع در ۳ بخش شرقی، مرکزی و غربی سیستم گسلی شکرآب واقع در شمال بیرجند، از نرم افزار DEM جهت برآورد شیب استفاده شد و بعد از رقومی کردن مخروطه افکنه‌ها در محیط ARC GIS 10.3 طول و عرض و نهایتاً شاخص مذکور محاسبه گردید که نتایج آن در جدول ۱ آورده شده است. با استفاده از نتایج حاصل از تطبیق منحنی‌های میزان سطح مخروطه افکنه‌های منطقه با دایره و بیضی و محاسبه ضریب  $(\beta)$ ، می‌توان دریافت که تمامی مخروطه افکنه‌های مورد مطالعه بیضی شکل هستند که فعالیت بالای تکتونیکی را گواهی می‌دهند.

### ضریب مخروط گرایی

ضریب مخروط گرایی از دیگر شاخص‌ها در بررسی‌های تکتونیک جوان می‌باشد. از آنجایی که شکل یک مخروطه افکنه ساده شبیه یک مخروط است، فاصله گرفتن از این حالت و کشیده شدن آن نشان تغییرات محیطی و مخصوصاً تکتونیک منطقه می‌باشد. این شاخص از تقسیم مساحت مخروطه افکنه موجود بر مساحت مخروط افکنه ایدال که شکل مخروط کامل دارد بدست می‌آید. بر اساس این رابطه، مخروط افکنه‌ای که شکل آن به مخروط ایده آل نزدیک تر باشد، ضریب مخروطی بالاتری دارد. مخروط افکنه‌ای که شبیه مخروط ایده آل نباشد یا به صورت کشیده باشد و به طور کامل گسترش نیافته باشد، به طور معمول شاخص مخروطی پایینی دارد. شاخص مخروطی عاملی است که چگونگی گسترش مخروط را مشخص می‌سازد؛ بنابراین، چنانچه شرایط آب وهوایی، سنگ شناسی، مساحت حوضه آبریز و فضای قابل دسترس برای رشد مخروط مساعد باشد، مخروط افکنه به شکل مخروطی ایده آل در خواهد آمد و ضریب مخروطی بالایی نیز خواهد داشت. ضریب مخروط گرایی برای یک مخروطه افکنه ساده برابر با ۱ است به عبارتی این مخروطه افکنه کمتر تحت تأثیر عوامل تکتونیکی قرار گرفته است و هرچه این میزان کمتر شود نشان دهنده افزایش میزان تأثیر فرآیند فرسایش بر مخروطه افکنه است که این امر خود در ارتباط با تکتونیک منطقه است. در زمانی که منطقه از نظر تکتونیکی آرام باشد، مخروطه افکنه به صورت متقارن گسترش می‌یابد و عدم تقارن آنها در صورت مساعد بودن شرایط دیگر، میتواند به دلیل فعالیت‌های تکتونیکی باشد. برای محاسبه این شاخص با استفاده از نسبت مساحت مخروطه افکنه‌های موجود به مخروطه افکنه ایدال در بخش‌های مختلف سیستم گسلی شکرآب، از نرم افزار ARC GIS 10.3 استفاده گردید که نتایج آن در جدول ۱ نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود میانگین درصد مخروط گرایی در مخروطه افکنه‌های بخش غربی و مرکزی و شرقی گسل شکرآب به ترتیب برابر با ۸۶٪، ۹۲٪ و ۹۰٪ است. مقایسه اعداد نشان می‌دهند که کمتر بودن این ضریب در بخش شرقی و غربی نسبت به بخش مرکزی به دلیل فعالیت تکتونیکی بیشتر در این بخش‌ها می‌باشد.

## ضریب کشیدگی مخروطه افکنه (BS)

حوضه‌های فعال تکتونیکی شکل کشیده‌ای دارند. شکل حوضه در طول زمان با توقف میزان بالآمدگی، به تدریج دایره‌ای می‌شود (باربنک و اندرسون، ۲۰۰۱، ۲۰۰۹).<sup>۳</sup> به بیانی دیگر، می‌توان چنین برداشت کرد که شکل کشیده از ویژگی‌های حوضه‌هایی است که در مناطق کوهستانی با فعالیت‌های زمینساختی زیاد واقع شده‌اند و با دور شدن از زمان بالآمدگی منطقه، شکل حوضه به دایره نزدیک می‌شود، در مناطق فعال زمین ساختی عرض حوضه‌های آبریز باریک‌تر است؛ زیرا در چنین مناطقی نیروی رودخانه، صرف ژرف کردن بستر خود می‌شود؛ در حالی که پایداری زمین ساختی سبب می‌شود، رودخانه فرصت تعریض بستر خود را داشته باشد. حوضه‌هایی که با مقادیر زیاد BS یعنی بیشتر از ۳ مشخص می‌شوند، از نظر تکتونیکی فعال هستند. زمانی که BS بین ۲ تا ۳ باشد از نظر فعالیت زمینساختی در کلاس ۲ یا متوسط قرار دارند و مقادیر کمتر از ۲، حوضه‌های دایره‌ای شکل را نشان می‌دهند که از نظر فعالیت غیرفعال‌اند. این شاخص با رابطه  $BS=BL/BW$  به دست می‌آید که در آن BL طول حوضه، فاصله پایین‌ترین ارتفاع حوضه تا دورترین نقطه از آن و BW عرض حوضه، در عریض‌ترین بخش آن می‌باشد (شکل ۴) (همدونی و همکارانش، ۲۰۰۸، ۱۵۶).<sup>۴</sup>



شکل ۴: طریقه محاسبه شاخص کشیدگی مخروطه افکنه‌ها. مأخذ: (همدونی و همکارانش، ۲۰۰۸)

نتایج محاسبه این شاخص در مخروطه افکنه‌های واقع در بخش‌های مختلف سیستم گسل شکرآب واقع در شمال بیرجند که با استفاده از رقوم‌سازی در محیط ARC GIS 10.3 بدست آمد در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به جدول ۱ میانگین ضریب کشیدگی در مخروطه افکنه‌ها در بخش‌های غربی و مرکزی و شرقی به ترتیب برابر با ۳،۲، ۲،۳۳ و ۲،۹۲ می‌باشد. همانگونه که مشاهده می‌شود باتوجه به میانگین این اعداد، بخش‌های غربی و شرقی به عنوان بخش فعال و بخش مرکزی به عنوان منطقه ای با فعالیت تکتونیکی متوسط در نظر گرفته می‌شود.

<sup>3</sup> - Barbank and Anderson

<sup>4</sup> - Hamdouni et al

جدول ۱: شاخص‌های محاسبه شده در مخروطه افکنه‌های شمال بیرجند

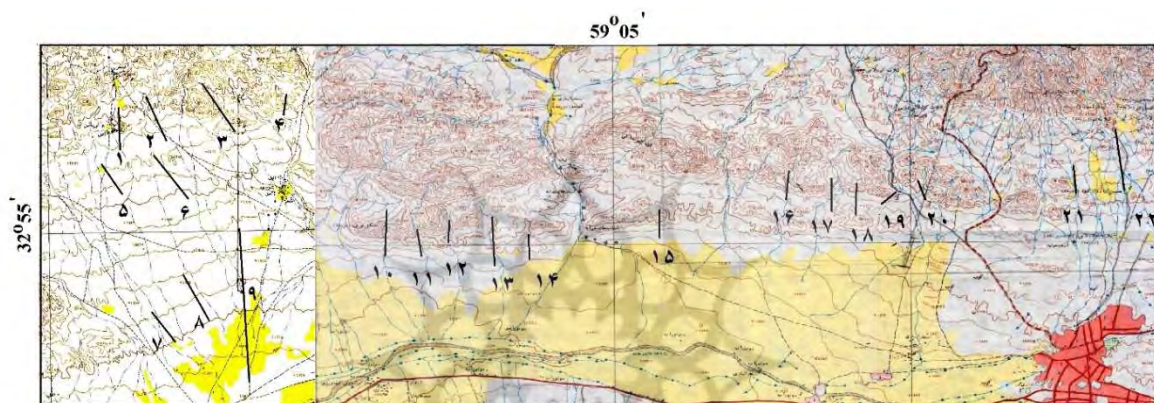
شماره مخروطه افکنه	موقعیت در پهنه گسلی	BL(km) (طول)	BW(km) (عرض)	BS	شیب متوسط	$\beta$	مساحت (km <sup>2</sup> )	ضریب مخروط گرابی %
۱	غرب	۲,۴۳	۱,۱۰	۲,۶۳	۱۲	۱۱,۵	۱,۵۱	۰,۸۳
۲	غرب	۲,۷۸	۱,۳	۲,۱۳	۹	۸,۱	۲,۴۹	۰,۸۷
۳	غرب	۳,۳۲	۱,۵۴	۲,۱۵	۱۰	۸,۸	۱,۹۶	۰,۸۴
۴	غرب	۱,۱۱	۰,۷۱۵	۱,۵۵	۸	۶,۱	۰,۵۶	۰,۹۳
۵	غرب	۲,۳۳	۰,۶۴۴	۳,۶۱	۱۲	۱۱,۵	۱,۲۱	۰,۸۸
۶	غرب	۴,۱۳	۰,۷۲	۵,۷۶	۱۰	۹,۱	۲,۲۵	۰,۷۸
۷	غرب	۱,۶۶	۰,۶۸	۲,۴۴	۹	۸,۲	۰,۷۷	۰,۹
۸	غرب	۲,۴۵	۰,۵۸	۴,۲	۱۲	۱۱,۶	۱,۰۱	۰,۸۹
۹	غرب	۶,۷۴	۱,۶۸	۴	۱۱	۱۰,۶	۷,۴۳	۰,۸۱
۱۰	مرکز	۲,۱۷	۱,۲۳	۱,۷۶	۸	۶,۶	۱,۸۳	۰,۹۲
۱۱	مرکز	۱,۴۲	۰,۶۴۸	۲,۲	۸	۷,۱	۰,۶۵	۰,۹
۱۲	مرکز	۰,۸۴	۰,۵۹	۱,۴۲	۱۰	۷,۱	۰,۳۵	۰,۸۹
۱۳	مرکز	۱,۸۷	۰,۸	۲,۳۳	۷	۶,۳	۰,۹۹	۰,۹۱
۱۴	مرکز	۰,۶۸	۰,۳۲	۲,۱۲	۱۱	۹,۷	۰,۱۷	۰,۹۳
۱۵	مرکز	۰,۵۹	۰,۲۶	۲,۲۷	۶	۵,۴	۰,۱	۰,۹۳
۱۶	مرکز	۱,۸۱	۰,۴۵۸	۳,۹۵	۵	۴,۸	۰,۶۲	۰,۹۴
۱۷	مرکز	۱,۰۲	۰,۳۸	۲,۶۸	۸	۷,۴۲	۰,۳	۰,۹۰
۱۸	مرکز	۰,۹۱	۰,۴۵	۲	۹	۷,۸	۰,۳۱	۰,۸۹
۱۹	مرکز	۰,۷۶	۰,۲۹	۲,۶۲	۶	۵,۵۴	۰,۱۶	۰,۹۵
۲۰	شرق	۰,۷۹	۰,۱۸۳	۴,۳	۱۱	۱۰,۷	۰,۱۱	۰,۸۹
۲۱	شرق	۱,۲۶	۰,۴۷	۲,۶۸	۱۲	۱۱,۱	۰,۴۶	۰,۹۰
۲۲	شرق	۳,۲	۱,۸	۱,۷۷	۹	۷,۴	۴,۰۳	۰,۹۲

## تغییرات ارتفاعی و نیمرخ طولی مخروطه افکنه‌ها

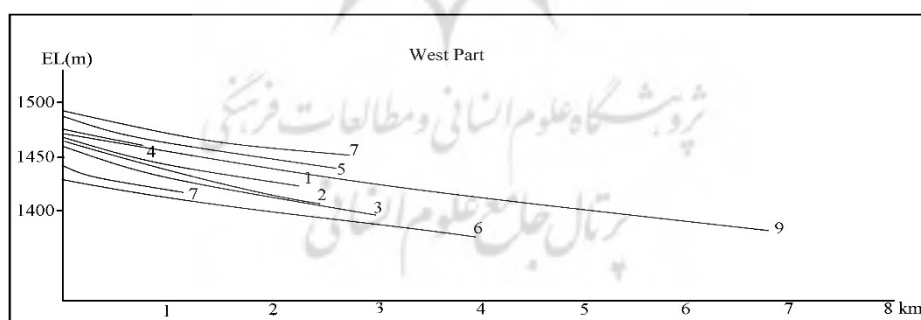
بلیر و مک پرسون (۱۹۹۴، ۱۶۲)<sup>۵</sup> شیب سطح مخروطه افکنه‌ها را تابع عوامل مختلفی همچون نوع فرایند تشکیل دهنده، اندازه رسوبات و میزان تاثیر تکتونیک می‌دانند. بر پایه مطالعات (بلیسن باخ، ۱۹۵۴، ۱۸۰)<sup>۶</sup> مخروطه افکنه‌ها از نظر شیب به سه دسته پرشیب ( $< 5^\circ$ )، شیب ملایم ( $2^\circ$  الی  $5^\circ$ ) و مسطح ( $< 2^\circ$ ) تقسیم می‌شوند. شیب مخروطه افکنه‌ها بطور معمول نسبت عکس با مساحت و شعاع مخروطه افکنه‌ها دارد. در مناطق فعال از نظر تکتونیک به علت بالآمدگی ناشی از حرکات تکتونیک، مخروطه افکنه‌ها نیز تحت تاثیر فعالیت قرار می‌گیرند و دچار بالآمدگی می‌شوند. تغییرات نرخ بالآمدگی در مخروطه افکنه‌ها می‌تواند نشان‌دهنده میزان تغییرات فعالیت تکتونیک در منطقه باشد. بدین منظور نیمرخ-هایی بر روی نقشه‌های توپوگرافی (شکل ۵) بیرجند و خوسف به موازات محور کشیدگی مخروطه‌افکنه‌ها منطقه ترسیم گردید (شکل ۶ الف، ب و ج). بر اساس نیمرخ طولی می‌توان مشاهده کرد که مخروطه‌افکنه‌ها در نزدیک پیشانی کوهستان

<sup>5</sup> -Blair and Mepherson<sup>6</sup> -Blissenbach

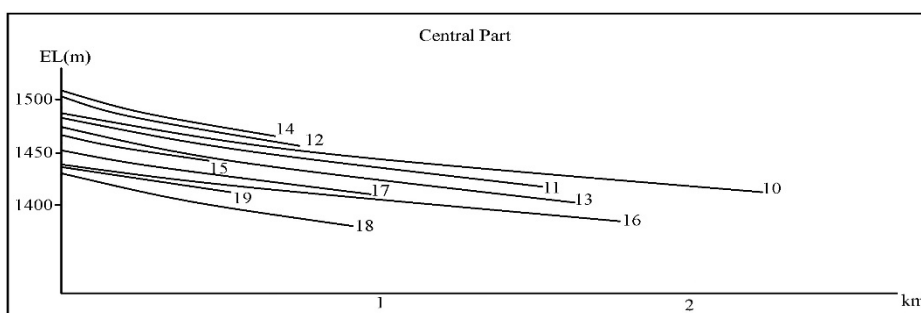
به علت افزایش فعالیت تکتونیکی ناشی از گسل شکرآب دارای بالآمدگی بیشتری هستند. نگاره ۶ نیمرخ‌های طولی مخروطه افکنه‌های منطقه را نشان می‌دهد که در امتداد شعاعی بخش فعال مخروطه افکنه‌ها تهیه شده‌اند. همان طور که مشاهده می‌شود نیمرخ سطح مخروطه افکنه‌ها در اکثر قریب به اتفاق آنها، مقعر است. (مقعر بودن نیمرخ مخروطه افکنه گویای فعالیت کواترنری ناشی از عملکرد گسل شکرآب است). بسیاری از عواملی که شیب رودخانه را تحت تأثیر قرار می‌دهند، شیب مخروطه افکنه‌ها را نیز متأثر می‌سازند. بدین سبب تغییر شیب رودخانه بر نواحی کوهستانی در اثر حوادث و حرکات تکتونیکی در شیب مخروطه افکنه‌ها مؤثر است. عامل تکتونیک از طریق تأثیرگذاری در محل استقرار مخروطه افکنه‌ها، تأثیر در شیب حوضه آبریز، انحراف و افزایش رسوبدهی رودخانه نقش خود را در شکل‌گیری و گسترش مخروطه افکنه‌ها ایفا می‌کند. طبق تقسیم بندی بلیسن باخ مخروطه افکنه‌های بخش‌های شرقی و میانی و غربی در دسته فعال زمینساختی قرار می‌گیرند.



شکل ۵: نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ شمال بیرجند و موقعیت نیمرخ‌های ارتفاعی واقع بر آن. اعداد شماره نیم رخ‌های ارتفاعی را نشان میدهد.

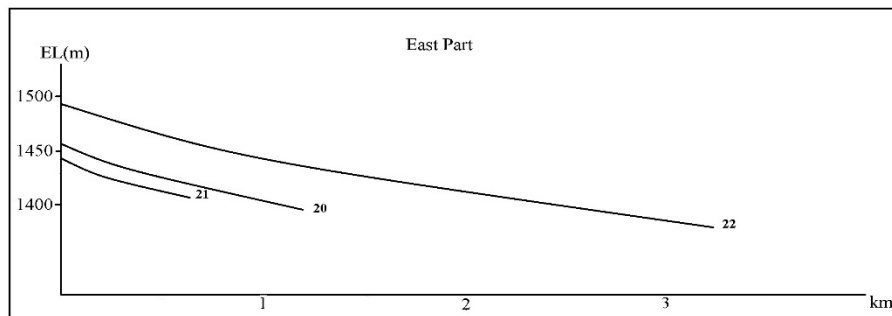


شکل ۶ الف: نیمرخ ارتفاعی مخروطه افکنه‌ها در بخش غربی منطقه.



شکل ۶ ب: نیمرخ ارتفاعی مخروطه افکنه‌ها در بخش مرکزی منطقه.

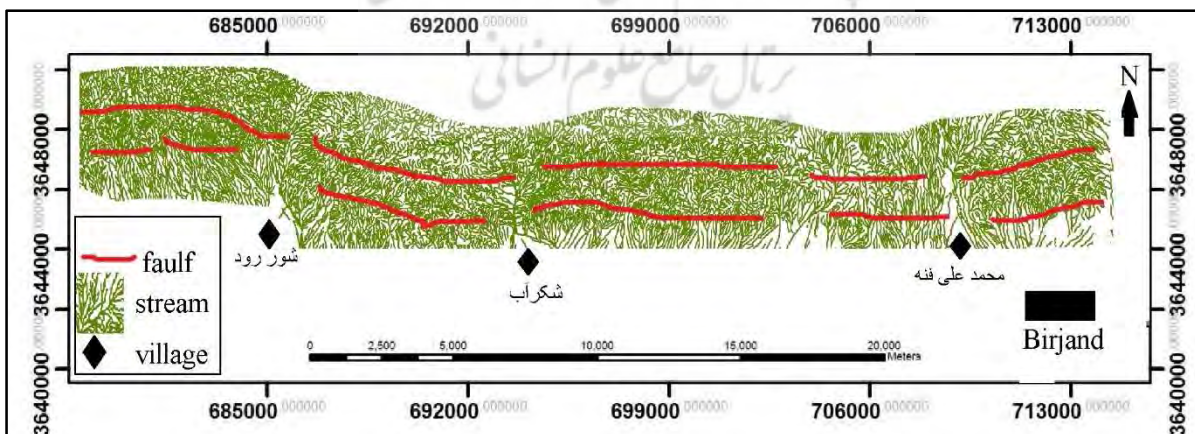




شکل ۶ ج: نیمرخ ارتفاعی مخروطه افکنه‌ها در بخش شرقی منطقه.

### بررسی ابعاد فرکتالی شبکه زهکشی آبراهه‌ها جهت مقایسه فعالیت تکتونیکی گسل شکرآب

مخروطه افکنه‌های پیشانی کوهستان‌های فعال، بخشی عمده‌ای از گسترش شبکه زهکشی آبراهه‌ها را به خود اختصاص می‌دهند. به دلیل اینکه گسل شکرآب از قطعات مختلف تشکیل شده است (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۶) (شکل ۷)، ابعاد فرکتالی آبراهه‌ها در سه بخش شرقی، غربی و مرکزی محاسبه شد. همچنین، به علت رخداد مهاجرت عرضی شمالی-جنوبی در این گسل، ابعاد فرکتالی آبراهه‌ها در دو بخش شمالی و جنوبی منطقه محاسبه شدند. هرچه بُعد فرکتالی آبراهه به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد به معنای تراکم و گسترش سطحی کمتر و در نتیجه بر خاستگی و پویایی بیشتر تکتونیکی است که در این حالت به آبراهه‌ها فرصت پخش و ماندگاری شدن نمی‌دهد. میانگین ابعاد فرکتالی آبراهه‌ها به منظور مقایسه پویایی تکتونیکی در این پهنه گسلی، در بخش شمالی و بخش جنوبی به میزان  $1/11$  و  $1/06$  است (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۶)؛ به دلیل تراکم خطی آبراهه‌ها و دانسیته سطحی کمتر در بخش جنوبی، این اعداد فعالیت تکتونیکی بیشتر در بخش جنوبی نسبت به بخش شمالی گسل را نشان می‌دهند. در تقسیم‌بندی طولی گسل به سه بخش شرقی، مرکزی و غربی و با توجه به کمتر بودن بُعد فرکتالی آبراهه‌ها در بخش‌های شرقی و غربی به ترتیب به میزان  $1/320$  و  $1/393$  نسبت به بخش مرکزی به میزان  $1/436$ ، فعالیت تکتونیکی بیشتر در بخش‌های شرقی و غربی گسل نسبت به بخش مرکزی بیشتر است. بنابراین می‌توان همه بخش‌های گسل شکرآب را به دلیل دارا بودن مقادیر پایین ابعاد فرکتالی آبراهه‌ای، مناطق فعال تکتونیکی معرفی کرد (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۶).

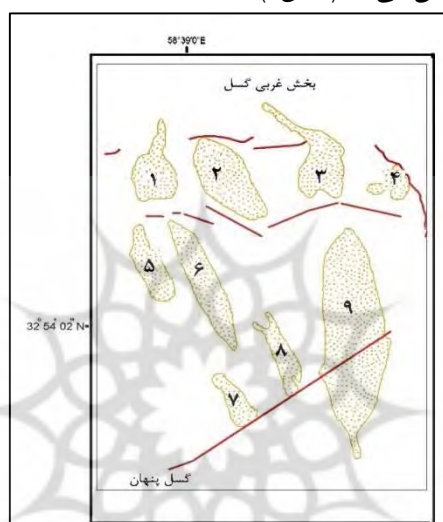


شکل ۷: شبکه زهکشی آبراهه‌های منطقه شکرآب و نمایش گسل‌ها جهت بررسی ابعاد فرکتالی.

## شواهد فعالیت گسل شکرآب در سطح مخروطه افکنه ها

## جابجایی و بریدگی در مخروطه افکنه

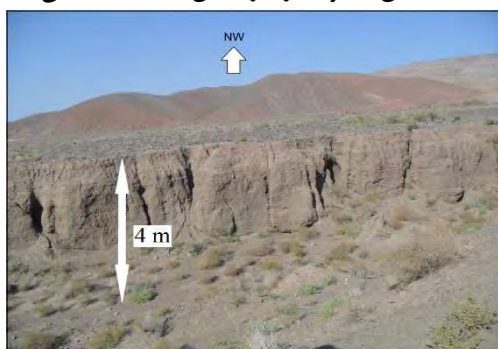
گسل شکرآب از نوع راندگی با شیب به سمت شمال است (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۶). باتوجه به شواهد مورفومتریکی و جابجایی‌ها می‌توان بیان کرد که این گسل دارای حرکت امتدادلغز چپ گرد نیز می‌باشد. در بخش غربی گسل شکرآب شاهد جابجایی و بریدگی واضح در مخروطه افکنه بزرگ (شماره ۹) به شکل چپگرد و تقطیع ناگهانی مخروطه افکنه ها (شماره ۷ و ۸) هستیم که در تصاویر ماهواره ای به خوبی نمایش داده می‌شود. می‌توان آن را گسلی پنهان (Hidden fault) در فرو دیواره گسل اصلی شکرآب نسبت داد که اثر فعالیت و حرکت، خود را بصورت جابجایی و برش چپگرد واضح در مخروطه افکنه‌های جوان نشان می‌دهد (شکل ۸).



شکل ۸: جابجایی و تقطیع مخروطه افکنه ها در غرب گسل شکرآب. شیب قطعات گسل بطرف شمال است.

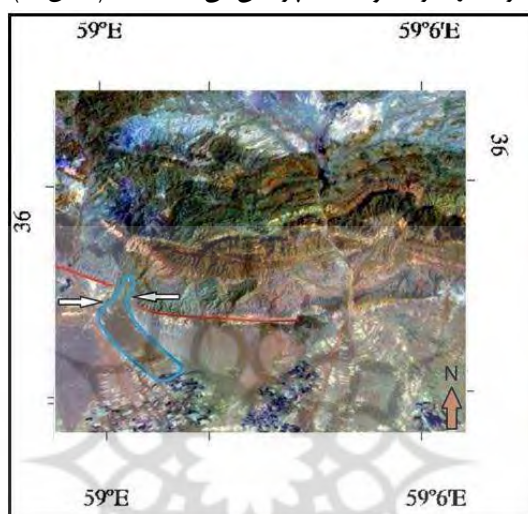
## حفر بستر دیواره رودخانه ها

یکی دیگر از عناصر ریخت‌زمین‌ساختی ایجاد شده در امتداد گسل شکرآب، طرح‌های مئاندری در حال حفر بستر می‌باشد که یکی از مهمترین نشانه‌های تکتونیک فعال می‌باشد؛ زیرا رودخانه با طرح مئاندری نشانگر محلی است که رودخانه با سطح اساس خود نزدیک شده است، سپس بر اثر وقوع یک و یا چند جابجایی قائم، چه به صورت پیوسته و چه به صورت ناگهانی، همان منطقه بالا آمده و رودخانه در پاسخ به این تغییر ارتفاع و در نتیجه تغییر گرادیان، مجدداً شروع به حفر بستر خود نموده و ما رودخانه‌ای با طرح مئاندری ولی دارای دیواره‌های جانبی مرتفع و در حال حفر بستر را مشاهده می‌نماییم. نمونه ای از حفر بستر قایم در اثر فعالیت گسل شکرآب را در شکل ۹ مشاهده نشان داده شده است.



شکل ۹: حفر بستر دیواره رودخانه ها نشان دهنده تکتونیک فعال در شمال بیرجند، دید به سمت شمال غرب (  $32^{\circ}56'36''$  N,  $58^{\circ}58'05''$  E).

تأثیر تکتونیک فعال در ایجاد مخروطه افکنه‌های نامتقارن و خمیده یا تشکیل پشته‌های مسدود کننده یکی از اثرات فعالیت‌های گسل‌های دارای مولفه راستالغزی روی مخروطه افکنه‌ها، ایجاد مخروطه افکنه‌های نامتقارن و خمیده نسبت به محور طولی کانال اصلی رودخانه است (سلیمانی، ۱۳۷۷: ۶۲). از شکل مخروطه افکنه در بخش غربی منطقه، می‌توان برای گسل شکرآب عملکرد چپ بر قائل شد. در اینجا یک پشته مسدودکننده وجود دارد که باعث خمش مخروطه افکنه شده است. این پشته در اثر عملکرد گسل و بدلیل فرازگیری واحد سنگی مارن توفی به وجود آمده است که جلوی حرکت مستقیم مخروطه افکنه و آبراهه را گرفته و باعث چرخش آن شده است (شکل ۱۰).



شکل ۱۰: موقعیت پشته مسدود کننده و حرکت چپگرد در غرب گسل شکرآب.

#### اثر تکتونیک فعال بر موقعیت مخروطه افکنه‌ها نسبت به گسل‌های منطقه

وقتی میزان بالآآمدگی پیشانی کوه‌ها نسبت به میزان حفرشدگی به سمت پایین رود و رسوبگذاری مخروط زیاد باشد، رسوبگذاری در رأس مخروط صورت گرفته و جواترین بخش‌های مخروط در نزدیکی رأس آن ایجاد می‌شوند. اما اگر میزان بالآآمدگی پیشانی کوه‌ها کمتر یا برابر میزان حفرشدگی به سمت پایین رود در کوهستان باشد، رأس مخروط به وسیله رود حفر شده و رسوبگذاری به بخش‌های پایین‌تر منتقل گشته و بخش‌های جواتر در فواصل بیشتری از پیشانی کوه دیده می‌شوند (کلر و پینتر، ۱۹۹۶، ۱۵۶) <sup>۷</sup>. در جنوب پهنه گسلی شکرآب و در مرز کوه ودشت، مخروطه افکنه‌های جواتر (Qf1) در راس مخروطه افکنه قدیمی (Qt2) و نزدیک پیشانی کوهستان تشکیل شده‌اند (شکل ۲). که این امر نشان می‌دهد نرخ بالآآمدگی در طول گسل زیاد است.

#### ایجاد پرتگاه گسلی در مخروطه افکنه‌های منطقه شکرآب

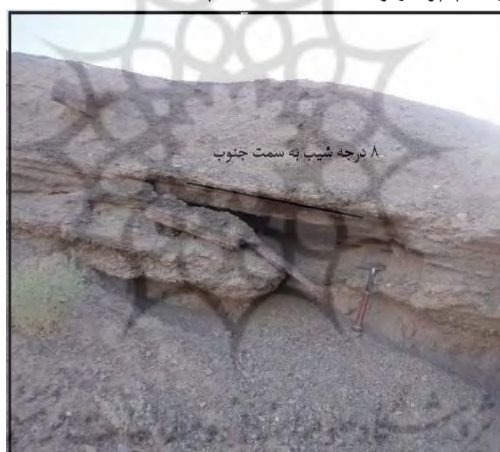
در اثر فعالیت زیاد تکتونیک در یک منطقه، آثار گسلش پنهان به شکل بریدگی یا ایجاد اختلاف ارتفاع در قالب پرتگاه گسل در نهشته‌های عهد حاضر و مخروطه افکنه‌های پیشانی کوهستان دیده می‌شوند. در بخش شرقی منطقه شکرآب پرتگاه گسلی به ارتفاع ۲ متر نشانه حرکت معکوس و برخاستگی در مخروطه افکنه در اثر فعالیت تکتونیک گسل شکرآب می‌باشد (شکل ۱۲).



شکل ۱۲: تصویر ماهواره ای و میدانی از موقعیت پرتگاه گسلی در منطقه با ۲ متر ارتفاع قائم ( $32^{\circ}55'09''$  N,  $59^{\circ}13'27''$  E).

### کج شدگی رسوبات در مخروطه افکنه‌ها

از دیگر شواهد نوزمینساختی در راستای ارزیابی ارتباط بین فعالیت تکتونیکی و مخروطه‌افکنه‌ها درپهنه گسلی شکرآب، می‌توان به ایجاد کج شدگی (tilting) در مخروطه‌افکنه‌های منطقه نام برد. در اثر فعالیت گسل شکرآب و برخاستگی، چین خوردگی در مخروطه افکنه بخش مرکزی منطقه مشاهده می‌شود. در این حالت رسوبات گراولی شیبی حدود ۸ درجه به سمت جنوب پیدا کرده‌اند. (شکل ۱۳). (واکر و خطیب، ۲۰۰۶، ۸).



شکل ۱۳: وجود کج شدگی در مخروطه افکنه در بخش مرکزی منطقه شکرآب (دید به سمت شرق).  $32^{\circ}55'10''$  N,  $59^{\circ}06'09.7''$  E

### ارتباط بین طول قطعات گسل شکرآب و وسعت مخروطه افکنه‌ها

طبق نظرات بلیر و مک پرسون (۱۹۹۴)<sup>۹</sup> و باربنک و اندرسون (۲۰۰۱)<sup>۱۰</sup> در مخروطه افکنه‌هایی که تحت تأثیر تکتونیک فعال هستند، ارتباط مستقیمی بین وسعت مخروطه افکنه‌ها و طول گسل‌های فعال وجود دارد. محاسبات شاخص‌های مورفومتری و شواهد ذکر شده در بالا نشان می‌دهد گسترش مخروطه افکنه‌های شمال بیرجند در ارتباط با عملکرد سیستم گسلی فعال شکرآب می‌باشند به نحوی بخش‌های غربی و شرقی گسل فعال تر از بخش مرکزی می‌باشند. لذا بدین منظور نمودار دو بعدی بین میانگین وسعت مخروطه افکنه‌ها و میانگین طول قطعات گسلی فعال شکرآب در سه بخش غربی، مرکزی و شرقی ترسیم گردید (شکل ۱۴). تحلیل نمودار نشان می‌دهد در بخش‌های غربی و شرقی گسل شکرآب، که طول قطعات گسلی فعال بیشتر از بخش مرکزی است، وسعت مخروطه افکنه ایجاد شده در راس پیشانی کوهستان نیز بیشتر

<sup>8</sup> - Walker and khatib

<sup>9</sup> -Blair and Mepherson

<sup>10</sup> -Barbank and Anderson

است. همچنین در مباحث قبلی مشخص شد بخش‌های غربی و شرقی گسل از بخش مرکزی فعال تر هستند؛ لذا نتیجه می‌گیریم ارتباط خطی و مستقیم بین طول گسل فعال و وسعت مخروطه افکنه ایجاد شده وجود دارد که این مورد ارتباط بین فعالیت بیشتر تکتونیکی و وسعت مخروطه افکنه را نیز تأیید می‌کند.



شکل ۱۴: نمودار خطی بین طول گسلش مسبب مخروطه افکنه و وسعت مخروطه افکنه ایجاد شده.

### نتیجه گیری

بدلیل اینکه گسل شکرآب از قطعات مختلف تشکیل شده است (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۶)، شاخص‌های مورفومتریکی مخروطه افکنه‌ها جهت تعیین پویایی زمینساختی در سه بخش شرقی، مرکزی و غربی محاسبه گردید. براساس نتایج به دست آمده از محاسبه شاخص‌های مخروطه افکنه‌ای و با تلفیق آن‌ها با هم، و همچنین مقایسه با نتایج مطالعات پیشین (بلیر، ۱۹۹۴)<sup>۱۱</sup>، (همدونی، ۲۰۰۸)<sup>۱۲</sup>، (اوانیس، ۲۰۰۶)<sup>۱۳</sup>، یمانی (۱۳۹۱) و مقصودی (۱۳۹۱) که به بیان مورفولوژیکی و تحلیل هندسه مخروطه افکنه‌ها پرداخته‌اند، می‌توان ارتباط بین مورفولوژی مخروطه افکنه‌های منطقه شکرآب با فعالیت تکتونیکی را تبیین کرد. مقادیر بدست آمده از شاخص خمیدگی مخروطه افکنه ( $\beta$ ) در سراسر پهنه گسلی نشان می‌دهد که تمامی مخروطه افکنه‌های مورد مطالعه، بیضی شکل هستند و فعالیت بالای تکتونیکی را نشان می‌دهند. میانگین درصد مخروطه گرایی در مخروطه افکنه‌های بخش غربی، مرکزی و شرقی گسل شکرآب به ترتیب برابر با ۸۶٪، ۹۲٪ و ۹۰٪ و همچنین میانگین ضریب کشیدگی (BS) به ترتیب برابر با ۳٫۲، ۲٫۳۳ و ۲٫۹۲ است. شیب سطحی مخروطه افکنه‌ها اکثراً بیشتر از ۵ درجه است و نیمرخ ارتفاعی مخروطه افکنه‌ها در اکثر قریب به اتفاق آنها، مقعر است که گویای فعالیت کواترنری ناشی از عملکرد سیستم گسلی شکرآب است (جدول ۱). شواهد مربوط به تأثیر گسل بر مخروطه افکنه‌ها از جمله بریدگی و جابجایی در مخروطه افکنه‌ها، خندق‌های فرسایشی، مخروطه افکنه‌های نامتقارن و خمیده، موقعیت مخروطه افکنه‌های جدید نسبت به پیشانی کوهستان، وجود پرتگاه گسلی در مخروطه افکنه‌ها، کج شدگی در مخروطه افکنه‌ها و افزایش اندازه رسوبات به سمت بالا در مقاطع مخروطه افکنه‌ها، حاکی از فعالیت زمین ساختی بالا در منطقه و نیز بیشتر بودن فعالیت تکتونیکی در بخش‌های غربی و شرقی نسبت به بخش مرکزی است. همچنین تحلیل نمودار طول گسل - وسعت مخروطه افکنه نشان می‌دهد در بخش‌های غربی و شرقی گسل شکرآب، که طول قطعات گسلی فعال بیشتر از بخش مرکزی است، وسعت مخروطه افکنه ایجاد شده در راس پیشانی کوهستان بیشتر است (شکل ۱۴). همچنین با مقایسه ابعاد فرکتالی آبراهه‌ها مشخص شد بخش‌های غربی و شرقی گسل از بخش مرکزی فعال تر هستند؛ لذا نتیجه می‌گیریم ارتباط خطی و مستقیم بین طول گسل فعال و وسعت مخروطه افکنه ایجاد شده وجود دارد که این مورد ارتباط بین فعالیت بیشتر تکتونیکی و وسعت مخروطه افکنه را نیز تأیید می‌کند.

<sup>11</sup> - Blair

<sup>12</sup> - Ioannis

<sup>13</sup> - Hamdouni

## منابع

- حیدری آقاگل، مسعود، محمد مهدی خطیب، سید مرتضی موسوی و رضوانه حمیدی، ۱۳۹۵، برآورد تکتونیک فعال نسبی مخروطه افکنه‌های دامنه شرقی زیرکوه، شرق ایران، مجله یافته‌های نوین زمین شناسی کاربردی، دوره ۱۰، شماره ۱۹، صص ۱-۱۵.
- سلیمانی، شهریار، ۱۳۷۷، رهنمودهایی در شناسایی حرکات تکتونیکی فعال و جوان با نگرشی بر مقدمات دیرینه شناسی، چاپ اول، انتشارات موسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران.
- مقصودی، مهران، نرگس ابراهیم خانی و مجتبی یمانی، ۱۳۹۱، تأثیر نتوتکتونیک بر مخروطه افکنه رود حاجی عرب (دشت قزوین) با بررسی داده‌های مورفومتری و رسوب شناسی، انجمن جغرافیای ایران، شماره ۳۳، صص ۱۰۶-۱۰۷.
- نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ بیرجند. ۱۳۵۶. برگ ۷۸۵۵ JV، سری ۷۵۳ K، سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح.
- نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ خوسف. ۱۳۵۶. برگ ۷۷۵۵ J، سری ۷۵۳ K، سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح.
- یمانی، مجتبی، مهران مقصودی، محمدرضا قاسمی و محمدنژاد، وحید، ۱۳۹۱، شواهد مورفولوژیکی و مورفومتریکی تأثیر تکتونیک فعال بر مخروطه‌افکنه‌های شمال دامغان، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال ۴۴، شماره ۲، پیاپی ۸۰، صص ۱-۱۸.
- یوسفی، مهدی، محمد مهدی خطیب و ابراهیم غلامی، ۱۳۹۶، مقایسه پویایی بخش‌های مختلف گسل شکرآب (شمال بیرجند) بر مبنای ابعاد فرکتالی آبراهه‌ها با استفاده از GIS، فصلنامه جغرافیا و آمایش شهری منطقه ای، شماره ۲۲، صص ۱۴۵-۱۴۸.
- *Barbank, D.W. and Anderson, R.S. 2001. Tectonic Geomorphology. Blackwell science.*
- *Blair, T.C. and Mcpherson. J.G., 1994. Alluvial fan processes and forms, Geomorphology of desert environment, Chapman & Hall, London.*
- *Blissenbach, E., 1954. Geology of Alluvial Fans in Semiarid Regions. The Geological Society of America, 65, pp.175-190.*
- *Bull, W.B. 2009. Tectonically Active Landscape, John Wiley & Sons Publication, New York.*
- *Hamdouni, R.E., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacon, T. and Keller, E.A., 2008. Assessment of Relative Active Tectonic, South West Border of the Sierra Nevada (Southern Spain). Geomorphology, 96, pp.150-173.*
- *Ioannis, M.T., Ioannis, K.k. and Pavlides, S. 2006. Tectonic geomorphology of the easternmost extension of the Gulf of Corinth (Beotia ,central Greece). tectonophysis, 453, pp.211-232.*
- *Keller, E.A., and Pinter, N. 1996. Active tectonics, earthquake, uplift and landscape, Prentice Hall Publication, London.*
- *Parsons, A., 2009. Geomorphology of Desert Environments, Springer Science, London.*
- *Pelletier, J., 2007. Desert Pavement Dynamics: Numerical Modeling and Field-based Calibration. Earth Surface Processes and Landforms, 32, pp.1913-1927.*
- *Ramirez-Herrera, M.T., 1998. Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay graben, Mexican Volcanic belt. Earth surface processes and land forms. 23, pp.317-322.*
- *Sorriso-Valvo, M. and Sylvester, A.G., 1993. The relationship between geology and landforms along a coastal mountain front, northern Calabria, Italy. Earth Surface processes and landforms.*
- *Yang, J.C., 1985. Geomorphology (in Chinese), High Education press. Beijing.*
- *Walker, R.T., and Khatib, M.M. 2006. Active faulting in the Birjand region of eastern Iran. Tectonics, 25, pp.1-17.*