

بررسی زمین ساخت فعال در شمال حوضه آبخیز دشت بیرجند با استفاده از فاکتورهای مورفومتریک

آرزو شفیعی* - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه بیرجند.
زینب عباسی - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه بیرجند.
سید محمد تاجیخش - دانشیار دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه بیرجند.
سید مرتضی موسوی - استادیار دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند.
هادی معماریان - دانشیار دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه بیرجند.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۲/۱۱ تایید نهایی: ۱۳۹۹/۰۱/۲۵

چکیده

مورفومتری به عنوان سنجش و توصیف کمی شکل‌ها و چشم اندازهای زمین تعریف شده‌اند. دشت بیرجند در شرق کشور ایران و در استان خراسان جنوبی است. هدف از این پژوهش ارزیابی تکتونیک مناطق فعال با استفاده از پارامترهای مورفومتری می‌باشد. در این تحقیق از داده‌های میدانی و نقشه‌های توپوگرافی استفاده گردیده است. نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌ها بدین صورت است که بیشترین میزان کج شدگی AF در شمال غربی، کمترین میزان کج شدگی شمال حوزه می‌باشد. شاخص T دارای نا مقارن- ترین حالت حوزه در شمال غربی منطقه است. شاخص S بیشترین مقدار در غرب حوزه و کمترین مقدار شمال مرکزی حوزه می‌باشد. بیشترین مقدار Smf در شمال حوزه و کمترین مقدار آن در شمال شرقی حوزه می‌باشد. محاسبه شاخص VF نشان داد که بیشترین تعداد دره‌ها در این مناطق واقع شده است. شاخص انتگرال هیبیسمتری بیشترین میزان بالاً‌مدگی در شمال شرقی و کمترین میزان در شمال را نشان می‌دهد، بیشترین مقدار شاخص Dd در شمال و کمترین مقدار در شمال غربی می‌باشد. بیشترین مقدار شاخص Te در شمال شرقی حوزه و از طرفی کمترین مقدار شاخص Te در شمال غربی است. بیشترین مقدار شاخص C در شمال غربی و کمترین مقدار در شمال حوزه است. بیشترین مقدار شاخص Re در شمال و کمترین مقدار شاخص Re در شمال غربی است. پارامتر Iat نشان می‌دهد که شمال دشت بیرجند از نظر تغییرات مورفومتریک در درجه فعال قرار دارد و در آینده تغییرات جدیدی خواهد داشت.

واژگان کلیدی: شاخص‌های ژئومورفولوژی، مورفومتریک، تکتونیک، حوضه آبخیز

مقدمه

رودخانه‌ها اولین اشکال محیطی هستند که نسبت به وقوع تغییرات در بستر جریان و یا بروز تغییرات در حواشی بستر جریان، عکس العمل نسبتاً سریعی نشان می‌دهند. با توجه به عکس العمل‌های ثابت شده رودخانه‌ها نسبت به وقوع تغییرات غیرعادی- عمده‌ناشی از تکتونیک - می‌توان با تحلیل آن‌ها با استفاده از شاخص‌های مورفو-تکتونیک، در رابطه با وقوع تغییرات مذکور اظهار نظر نمود. شاخص‌های ژئومورفیکی در بررسی فعالیت‌های تکتونیکی ابزار مفید و قابل اطمینانی هستند، زیرا با استفاده از آنها می‌توان مناطقی را که در گذشته، فعالیت‌های زیاد یا کم تکتونیکی داشته‌اند را به آسانی مشخص نمود (رامیز‌هراء، ۱۹۹۸^۱). نئوتکتونیک یا نوزمین ساخت شاخه‌ای از علم تکتونیک است که به بررسی حرکات اخیر تکتونیکی می‌پردازد. برای بررسی نوزمین ساخت منطقه از مطالعه‌ای اشکال و سیماهای ایجاد شده در زمین بر اثر فرایندهای مورفو-تکتونیک یا ریخت زمین ساخت را می‌توان دانش مطالعه‌ای اشکال و سیماهای ایجاد شده در زمین بر اثر فرایندهای تکتونیکی دانست و یا آن را به معنای کاربرد اصول ژئومورفیکی در تحلیل مسائل تکتونیکی تعبیر کرد. مورفومتری به معنی اندازه گیری کمی این امکان را می‌دهد که تفاوت چشم اندازها را به راحتی بتوان مقایسه کرد و پارامترهایی را به دست آورد، که برای تعیین خصوصیات یک منطقه به طور مثال سطح فعالیت تکتونیکی مفید هستند (کلر و پینتر، ۲۰۰۲^۲). گارنیری و پیروتا^۳ (۲۰۰۸) از شاخص ناهنجاری سلسه مراتبی، شاخص انشعابات، برای بررسی تاثیر تکتونیک در چهار حوضه‌ی زهکشی در شمال شرق سیسیلی ایتالیا استفاده کردند. بررسی آنها نشان داد که تکتونیک‌های فعال، نظام شبکه زهکشی را بهم می‌زنند و مقدار شاخص ناهنجاری زهکشی حوضه‌های تکتونیکی با فعالیت بالا بیشتر از حوضه‌های تکتونیکی با فعالیت پایین است. موسوی (۱۳۸۵) تکتونیک فعال منطقه شمال غرب بیرونی را مورد بررسی قرار داد. وی با بررسی فاکتورها و کمیت‌های ساختاری و مورفو-لولوژیکی محاسبه شده اشاره دارد که به دلیل آرایش ساختاری موجود در منطقه، میزان فرایند برخاستگی در بخش مرکزی بیشتر است. ابوالقاسم گورابی در سال ۱۳۸۴ با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژیکی برای بررسی فرایندهای پویا و دینامیک موثر در شکل دهی زمین و چشم اندازهای موجود و طبقه‌بندی فعالیت تکتونیکی حوضه آبخیز در که استفاده کرده است. مریم عزتی نیز در سال ۱۳۹۷ به بررسی بالا آمدگی تکتونیکی در کوه‌های شکراب واقع در شمال بیرونی استفاده از شواهد ریخت زمین ساختی پرداخته و نتایج تحقیق ایشان نشان داده که مناطقی که دارای بیشترین تراکم گسل‌های تراستی است، تحت تاثیر عملکرد مولفه فشارشی گسل‌های تراستی بالا آمدگی تکتونیکی نیز افزایش یافته است. جاسپر نایت و استفان گراب (۲۰۱۸) در مقاله‌ای تحت عنوان مورفومتری شبکه زهکشی و ارزیابی آن در لسوتو شرقی در آفریقای جنوبی این‌گونه دریافتند که تنوع مکانی مورفو-تکتونیک رودخانه و مشخصات شبکه زهکشی در طول مدت زیاد که بسیار زیاد تحت تاثیر نیروهایی روی سطح زمین و اقلیم متفاوت (بارش و آب و هوایا) در طی مدت طولانی از شمال تا جنوب این منطقه می‌باشد. سالوادور ایوو جیانی و همکاران (۲۰۱۸)، به مطالعه شواهد ژئومورفیک تکتونیک کواترنر در یک گسل تحتانی در منطقه جنوب آپنین ایتالیا پرداختند نتایج این کار نشان می‌دهد که چگونه ادغام رشته‌های ترکیب شده ژئومورفولوژی، مورفومتری و چگونگی تحلیل‌ها ممکن است به حل مسائل ژئومورفولوژیکی و زمین‌شناسی تکتونیکی در یک پیکربندی پیچیده کمک کند. شبیر احمد و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی شاخص‌های جغرافیایی تکتونیکی در حوزه ارین، دره کشمیر NE، هند پرداختند و نتایج این مطالعه مقدماتی، به علاوه مطالعات اخیر را ثابت می‌کند که حداقل فشار در قسمت شمال غربی هیمالیا کشمیر جمع می‌شود. هدف اصلی این مطالعه ارزیابی تکتونیک مناطق فعال با استفاده از پارامترهای مورفومتری برای طبقه‌بندی کاربرد شاخص‌های

1 (Ramiez Heerea, 1998)

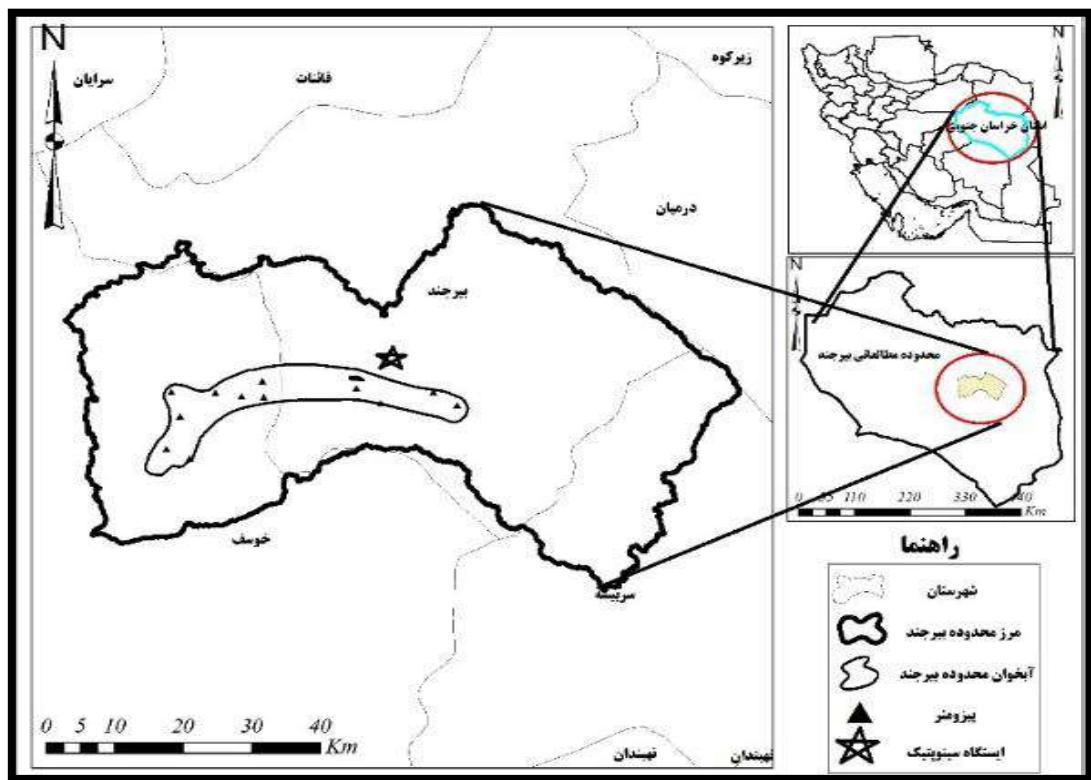
2 (keller and pinter, 2002)

3 (Guarnieri and Pirrotta, 2008)

ژئومورفولوژیکی با توجه به مطالعات زمین شناسی و فیزیوگرافی در حوضه آبخیز است.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در استان خراسان جنوبی قرار دارد. شمال دشت بیرجند در شرق ایران و بین طولهای $58^{\circ} 37'$ تا $59^{\circ} 16'$ و عرضهای $32^{\circ} 50'$ تا $33^{\circ} 09'$ قرار دارد. منطقه مورد مطالعه در ایالت ساختاری سیستان واقع شده است. ایالت ساختاری سیستان در شرق کشور ایران با روند کلی شمالی جنوبی است. گسل‌های شرق کشور ایران به طور عمده دارای روندهای شمالی- جنوبی و یا شرقی- غربی می‌باشند (تیرول و همکاران، ۱۹۸۳). پهنه گسلی مذکور از سمت مشرق به روستای دستگرد و از مغرب تا نزدیکی شهر خوسف محدود می‌شود. این پهنه گسلی از قسمت شمالی خود به چندین قطعه تشکیل شده است که در روستای شکرآباد واقع می‌باشد. در شمال روستای سیوجان جنوبی ترین قطعه گسلی واقع شده است. از نظر توپوگرافی مرتفع‌ترین نقطه آن مربوط به ارتفاعات شمالی منطقه بند دره با ارتفاع ۲۷۸۷ متر و پست‌ترین نقطه آن در خروجی دشت در روستای فدشك با ارتفاع ۱۲۴۰ متر بالاتر از سطح دریاهای آزاد قرار دارد. رودخانه شاهروд مهمترین زهکش سطح دشت بیرجند است (صادقیان و همکاران، ۱۳۹۲). از دیدگاه تقسیم بندی آب و هوایی، دشت بیرجند در ناحیه نیمه بیابانی شرق ایران قرار دارد. میانگین درجه حرارت سالانه حدود ۱۷ درجه سانتیگراد می‌باشد. میزان بارندگی از ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلیمتر در سال متغیر است.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

مواد و روشها

از ابزارهای سودمند برای مطالعه فعالیت‌های تکتونیکی در نواحی مختلف شاخص‌های ژئومورفیک محسوب می‌شوند و به وسیله آنها می‌توان اطلاعاتی در مورد مناطقی که در معرض فعالیت تکتونیکی نسبتاً سریع یا حتی کند قرار دارند، به دست آورد (کلر و پیتر، ۲۰۰۲)، همانطور که تحقیقات در زمینه ریخت سنگی حوزه‌های آبخیز و ویژگی‌های فیزیوگرافی آبراهه

است، از مقادیر کمی به دست آمده از شاخص‌های مورفومتریک نظری: عدم تقارن حوزه زهکشی (AF)، شاخص‌های نسبت پهنه‌ای کف دره به ارتفاع (Vf)، تقارن توپوگرافی (T) و انگرال هیپسومتری (Hi)، سینوزیته رودخانه (Sr)، شاخص نسبت انشعاب (BR)، شاخص نگهدارش کanal (C)، شاخص تراکم زهکشی (Dd)، شاخص عدد ناهمواری (Rn)، شاخص سینوسی جبهه کوهستان (Smf)، شاخص نسبت کشیدگی حوزه (Re)، شاخص بافت (T) استفاده گردیده است. در این مقاله ابتدا برای سهولت و امکان انجام محاسبات و مقایسه نتایج حاصل از بکارگیری شاخص‌ها، دشت بیرجند به ۳۶ زیرحوزه تقسیم شده است. که از زیرحوزه B۱ تا B۲۲ قسمت شمالی دشت بیرجند بوده که شامل رشته کوه‌های شکراب می‌باشد و از زیرحوزه B۲۳ تا B۳۶ قسمت جنوبی دشت بیرجند بوده که شامل رشته کوه‌های باقران می‌باشد. در این تحقیق با به کارگیری از داده‌های میدانی و اطلاعاتی از قبیل نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، از سازمان نقشه برداری، نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰، از سازمان زمین‌شناسی، نقشه گسل ۱:۱۰۰۰۰، از سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشه آبراهه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰، از سازمان آب منطقه‌ای خراسان جنوبی تهیه می‌گردد. در این تحقیق از نرم افزار Arc GIS 10.3 و مأذول‌هایی مانند 3D Analyst, Editor, Analysis Tools Google Earth استفاده می‌شود.

بحث و نتایج

اهمیت مطالعات مورفوتکتونیکی دستیابی به نتایج مهم اساسی است که غالباً از طریق سایر روش‌ها دستیابی به آن‌ها امکان نداشته یا مستلزم صرف وقت و هزینه زیادی می‌باشد. بدین منظور در طی مطالعات مورفوتکتونیکی شاخص‌هایی مورد مطالعه قرار می‌گیرد که می‌تواند در رسیدن تحقیق به نتیجه نهایی کمک شایان توجهی نماید. مجموعه چند شاخص زمین ریختی می‌تواند برای بررسی زمین ساخت فعال نسبی مورد استفاده قرار گیرد. این شاخص‌ها می‌توانند به عنوان روش کمی برای مطالعه زمین ریختی مرتبط با فرایندهای فرسایشی و رسوب گذاری در مجرای رودخانه، نیمرخ طولی و ریخت شناسی دره رود، یا سیماهای زمین ساختی مانند پرتگاه‌های گسلی به کار روند (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸)^۱. همان‌طور که بیان شد در این تحقیق چند پارامتر مورفومتری مورد بررسی قرار گرفته است که هر کدام در زیر به تفصیل آمده است.

شاخص‌های ریخت شناسی

شاخص عدم تقارن حوزه زهکشی (Af)

شاخص عدم تقارن حوزه زهکشی، کج شدگی جانبی حوزه را نسبت به مسیر اصلی رودخانه‌اش در اثر نیروهای تکتونیکی، نشان می‌دهد (گوارنیر و پیروتا، ۲۰۰۸) و از معادله زیر به دست می‌آید:

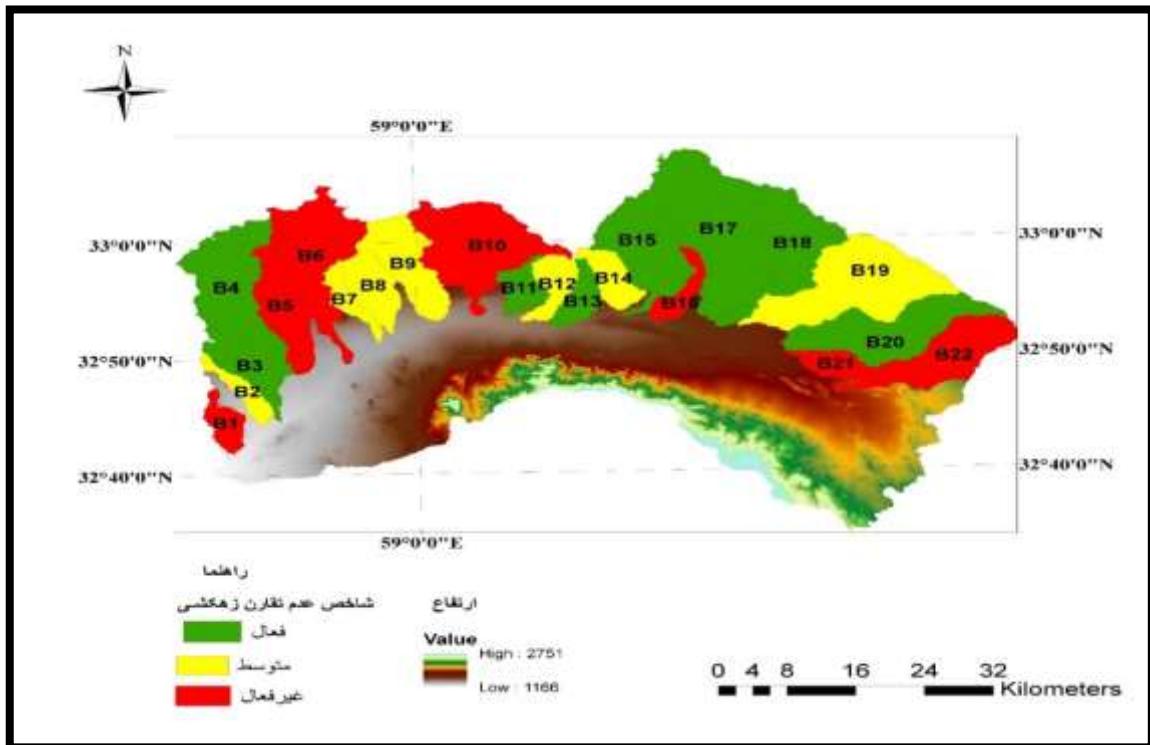
$$AF = 100(Ar / At) \quad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

(Ar) مساحت حوزه در سمت راست آبراهه اصلی (به طرف پایین دست حوزه)

(At) مساحت کل حوزه

چنان‌چه حوزه‌ای تحت شرایط ثابت، بدون کج شدگی و یا انحراف اندک تحول یابد مقدار این شاخص برابر یا نزدیک ۵۰ است و مقادیر بیشتر و یا کمتر از ۵۰ کج شدگی یا انحراف را مشخص می‌سازد. از نظر فعالیت‌های تکتونیکی، $15 < Af - 50 < 7$ باشد کلاس دو و فعالیت متوسط آن حوزه را بیان می‌کند. توقف فعالیت و آرامش تکتونیکی، زمانی مشخص می‌شود که $7 < Af - 50$ است (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸).

حوزه های آبخیز شمالی دشت بیرجند از نظر میزان کج شدگی در سه کلاس بالا قرار می گیرند، بر اساس محاسبات صورت گرفته بیشترین میزان کج شدگی در زیرحوزه B4 ($Af=29.92$) در شمال شرقی منطقه، کمترین میزان کج شدگی مریوط به شمال حوزه در زیرحوزه B10 ($Af=0.07$) می باشد (جدول ۱)، کج شدگی زیرحوزه ها نشان دهنده تکتونیک فعال منطقه است.



شکل ۲: شاخص عدم تقارن حوزه زهکشی شمال دشت بیرجند

شاخص تقارن توپوگرافی (T)

وجود عدم تقارن توپوگرافی در شبکه زهکشی حوزه هایی با لیتوژوئی تقریبا همسان، عملکرد تکتونیک فعال را نشان می دهد (کلر و پینتر، ۲۰۰۲). برای حوزه ای که کاملاً متقارن است، شاخص T مساوی عدد صفر خواهد بود. هر چقدر عدم تقارن توپوگرافی حوزه ای افزایش یابد، مقدار شاخص نیز بالا می رود و به عدد یک نزدیک می شود. لذا شاخص T برداری است با یک جهت که بزرگی آن از صفر تا یک متغیر است (کرمی، ۱۳۸۸)، که از رابطه زیر محاسبه می شود.

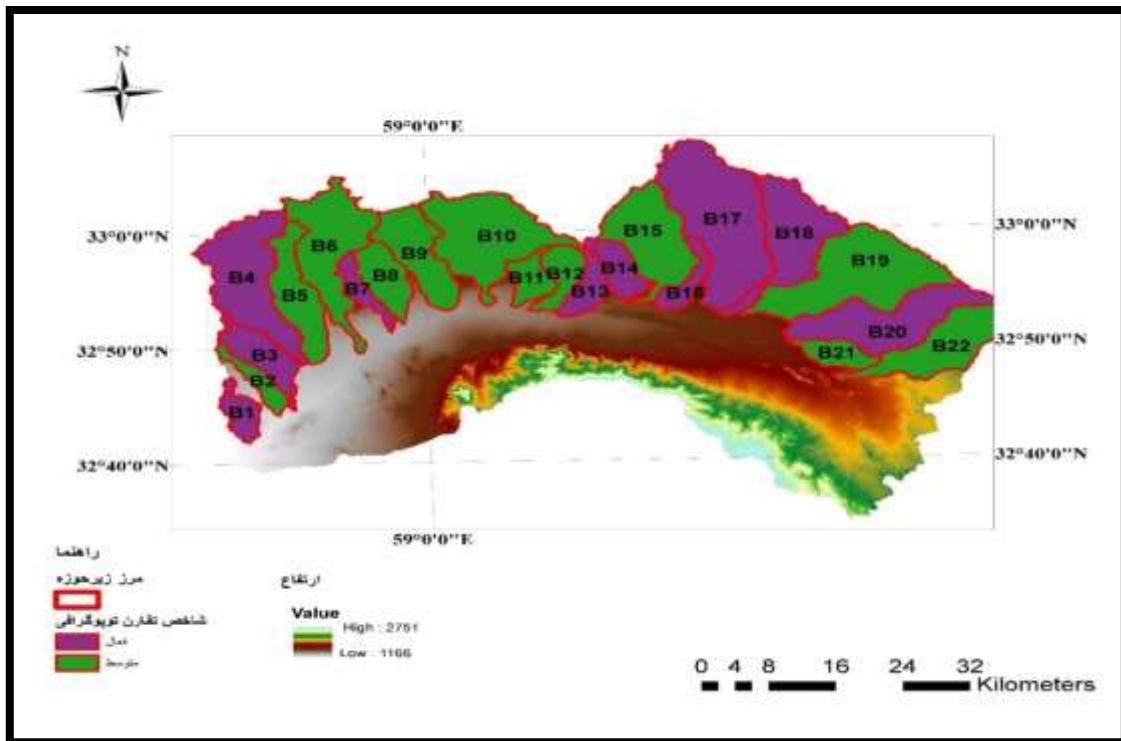
$$T = DA / Dd \quad (2)$$

(DA) فاصله از خط وسط حوضه آبریز به کمرنگ مئاندر فعال

(Dd) فاصله از خط وسط حوضه به خط تقسیم آب است

با این پیش فرض سه کلاس تکتونیکی جهت تشخیص شدت فعالیت تکتونیکی مشخص شده است. کلاس ۱، مقدار($1 < T < 0.5$) که گویای فعالیت شدید تکتونیکی می باشد. کلاس ۲، مقدار($0.5 < T < 0.77$) با کاهش تقارن و شدت فعالیت متوسط همراه است. کلاس ۳، مقدار($T = 0$) که حاکی از تقارن کامل حوضه و عدم فعالیت تکتونیکی می باشد. با توجه به محاسبات صورت گرفته زیرحوزه B4 ($T=0.77$) نا متقارن ترین حالت حوزه در شمال غربی منطقه می باشد، به عبارت دیگر این قسمت از منطقه شمال دشت بیرجند دارای کج شدگی بالایی است که نشان دهنده همبستگی این دو

پارامتر مورفومتریک است. کمترین مقدار شاخص T زیرحوزه‌های B10، B19 (T=0.24) در شمال شرقی حوزه می‌باشد (جدول ۱).



شکل ۳: شاخص تقارن توپوگرافی شمال دشت بیرجند

شاخص پیچ و خم رودخانه اصلی (S)

از نظر چارچوب نظری رودخانه‌ای که تقریباً به حالت تعادل رسیده باشد، رودخانه جهت حفظ تعادل بین شیب با دبی و رسوب‌گذاری پیچ می‌خورد (باربانک و آندرسون، ۲۰۰۰^۱). تغییر شیب بستر رودخانه به علت فعالیت‌های تکتونیکی رابطه مستقیمی با پیچ و خم در مسیر رودخانه دارد (سلیمانی، ۱۳۷۷). هرچه میزان شاخص S بیشتر باشد نشان دهنده فعال بودن تکتونیک در منطقه است (قصودی و همکاران، ۱۳۹۰).

$$(3) \text{ رابطه } S = C / V$$

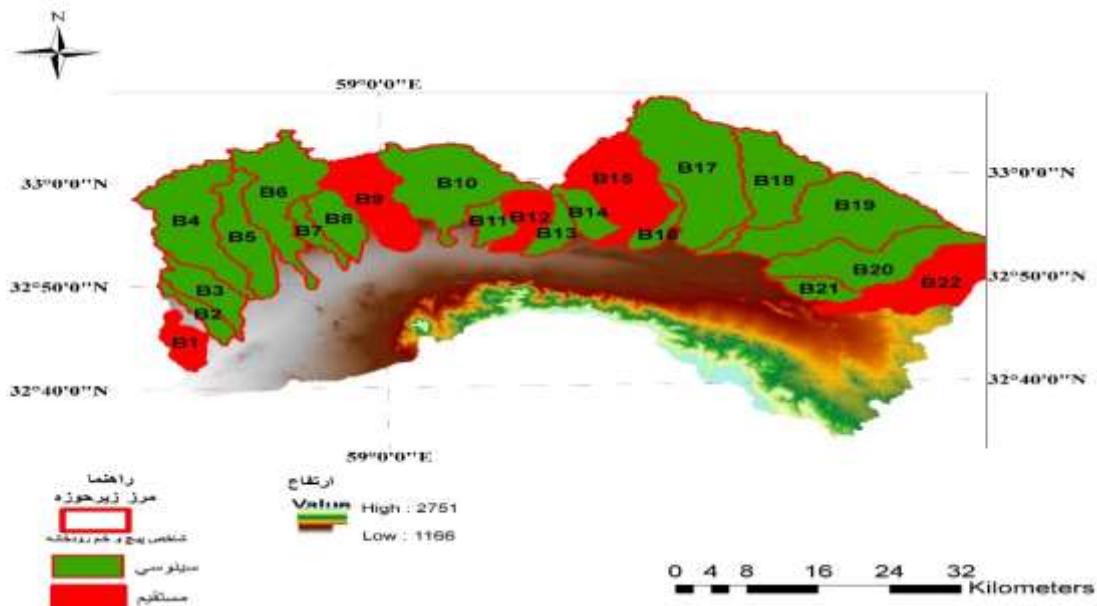
(S) شاخص پیچ و خم رودخانه اصلی

(C) طول رودخانه

(V) طول دره به خط مستقیم

اگر مقدار SR کمتر از ۱,۱ باشد نشان دهنده حالت مستقیم رودخانه است، SR بین ۱,۱ - ۱,۵ باشد رودخانه حالت سینوسی دارد و اگر SR بیشتر از ۱,۵ باشد رودخانه حالت مئاندری دارد. براساس مطالعات صورت گرفته اکثر زیرحوزه‌های منطقه در کلاس ۲ یعنی رودخانه‌های سینوسی هستند و بیشترین مقدار شاخص S در غرب حوزه مطالعاتی در زیرحوزه B2 (S=1.04) می‌باشد (جدول ۱) و کمترین مقدار در شمال مرکزی در زیرحوزه B8 (S=1.20) قرار گرفته است (جدول ۱). با توجه به پژوهش صورت گرفته شاخص S با شاخص AF یا همان کج شدگی حوزه دارای همبستگی می‌

باشد. مطالعات نشان می دهد که زیرحوزه های دارای کج شدگی از مسیر آبراهه سینوسی برخوردار هستند و نشان دهنده فعال بودن و مرحله جوانی حوزه است.



شکل ۴: شاخص پیچ و خم رودخانه اصلی شمال دشت بیرون

شاخص سینوسیته جبهه کوهستان (Smf)

شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان بیانگر توازن بین شدت و تمایل رود ها برای ایجاد یک پیشانی نامنظم و فعالیت تکتونیکی قائم، جهت ایجاد یک پیشانی مستقیم برای کوه است (بول و مک فادن، ۱۹۷۷)^۱. این شاخص نشان دهنده تعادل بین تمایل فرایندهای فرسایشی ناشی از آب های جاری برای ایجاد یک رشته کوه با مورفولوژی نامنظم و مقدار بالا آمدگی فعال که سعی در ایجاد یک رشته کوه با مورفولوژی مستقیم و یا با انحنای کم دارد می باشد. بنابراین پیشانی کوه های که با بالا آمدگی فعال همراه هستند تقریباً مستقیم ($Smf \approx 1$) است. افزایش این کمیت عکس حالت فوق یعنی غلبه ای فرسایش بر بالا آمدگی می باشد و مفهوم آن کاهش شدت فعالیت تکتونیکی است، که سبب تشکیل پیشانی پر پیچ و خم می شود که با گذشت زمان نامنظم تر می گردد.

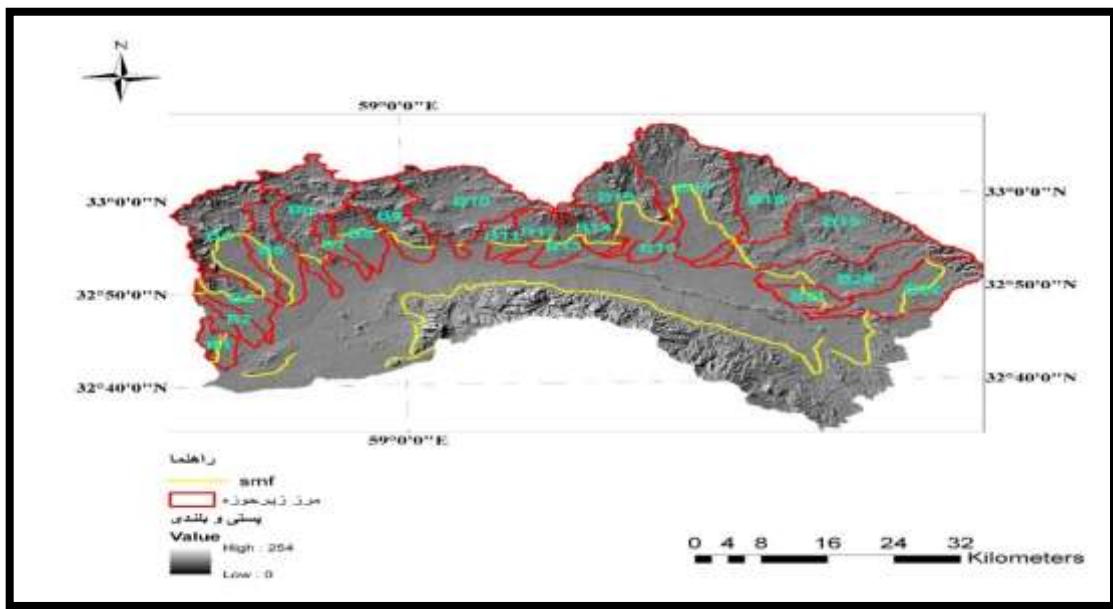
$$Smf = \frac{L_{mf}}{L_s} \text{ رابطه‌ی (۴)}$$

L_{mf} طول مسطحاتی منحنی شکل جبهه کوهستان در امتداد تقاطع دشت سر و کوه یا همان خط کنیک کوهستان L_s طول مستقیم جبهه کوهستان
مقادیر Smf نزدیک به ۱ نشان می دهد که جبهه های کوهستان همراه با فعالیت تکتونیکی بالا هستند. با غالب شدن نیروهای فرسایشی، مقدار این شاخص افزایش می یابد و جبهه کوهستان نامنظمی را ایجاد می کند (زوولی و همکاران، ۲۰۰۴)^۲. با توجه به محاسبات صورت گرفته اکثر زیر حوزه های شمالی دشت بیرون مقدار Smf آنها تقریباً

1 (Bull & McFadden2, 1977)

2 (Zovoili and other,2004)

برابر ۱ می باشد(جدول ۱)، بیشترین مقدار Smf برای زیرحوزه B15 ($Smf=2.12$) در شمال حوزه، کمترین مقدار آن در زیرحوزه ۱۸ ($Smf = 0.88$) واقع در شمال شرقی حوزه می باشد (جدول ۱).



شکل ۵: شاخص سینوسیته جبهه کوهستان شمال دشت بیرجند

شاخص نسبت پهنه‌ای دره به ارتفاع آن (Vf)

نسبت پهنه‌ای کف دره به ارتفاع آن (Vf) دیگر شاخص ژئومورفولوژی است که برای بررسی میزان فعالیت نیروهای زمین ساختی در منطقه استفاده شده است. این شاخص برای دره‌های اصلی که جبهه کوهستان را قطع می کنند محاسبه می شود (سیلووا و همکاران، ۲۰۰۳).^۱ این شاخص مرتبط با شیب دره است و یک شاخص ژئومورفیک است که در ک تفاوت بین دره‌های U شکل، V شکل و دره‌های با کف پهن را ارائه می دهد و با رابطه زیر محاسبه می شود (بول و مک فادن، ۱۹۷۷).

$$(5) \quad Vf = 2fw / [(Eid - Esc) + (Erd - Esc)]$$

Vf نسبت پهنه‌ای کف دره به ارتفاع آن

و Vfw پهنه‌ای کف دره به متر

Erd به ترتیب ارتفاع دیواره سمت چپ و دیواره سمت راست دره و Esc ارتفاع دره با افزایش Vfw (عرض) دره به صورت U شکل و با کاهش آن دره شکل V شکل دارای مقدار VF کمتر (نزدیک به صفر) می باشد. شاخص VF مرتبط با شکل دره است (زوولی و همکاران، ۲۰۰۴).

این شاخص معمولاً نشان می دهد که آیا رود به حفر بستر خود می پردازد و یا اینکه عمدتاً فرسایش به صورت جانی به طرف ارتفاعات و دامنه‌های حاشیه رود انجام می گیرد. مقادیر بالای این شاخص نشان دهنده بالآمدگی انک نو زمین ساختی است. مقادیر کم این شاخص نیز نشان دهنده دره‌های عمیق با رودهایی است که به طور فعال کف بستر خود را حفر کرده و به طور معمول همراه با بالآمدگی نو زمین ساختی است.

اگر نسبت VF کمتر از ۱ باشد نشان دهنده فعالیت شدید تکتونیکی، اگر بین ۱ تا ۲ باشد نشان دهنده فعالیت کم یا متوسط تکتونیکی است و اگر بزرگتر از ۲ باشد بر عدم فعالیتهای تکتونیکی در منطقه دلالت خواهد داشت (بول و مک فادان، ۱۹۹۷).

سازندهایی که از جنس ماسه سنگ، آهک، فیلیت، آندزیت های آتشفسانی توفی هستند میزان Vf محاسبه شده در آن ها کمتر از $0/5$ میباشد سازندهایی فعال هستند و متعلق به کلاس فعال شماره ۱ میباشند. بیشترین تعداد دره ها در این مناطق واقع شده و نشان دهنده فرسایش در بستر رودخانه ها میباشند. از طرفی پراکنش گسل های فراوان فعال در این مناطق بیشتر میباشد. از نظر وسعت پراکندگی، محدوده فعال حدود $41/07$ درصد مساحت منطقه را به خود اختصاص داده است. سازندهای غیرفعال مانند نهشته های آبرفتی، داسیت و توف های آتشفسانی، شیل ها، فلیش های صخره ای میباشند که میزان Vf در این مناطق زیاد است و بیشتر از یک میباشد و با کلاس ۴ نمایش داده شده است. این مناطق بیشتر در محدوده دشت سرها و مخروط افکنه ها واقع شده اند. در این مناطق شب و سرعت جریان آب کاهش یافته و رودخانه ها کمترین میزان فعالیت را دارند؛ فرسایش کمتر و رسوبگذاری بیشتر است. این مناطق کمترین گسل ها را داراست و از نظر تکتونیکی در سطح غیرفعال قرار میگیرند؛ و محدوده ای حدود $31/58$ درصد مساحت را به خود اختصاص میدهند. سازندهای نسبتاً فعال شامل آهک های نومولیتی، آندزیت های لاوایی الیگوسن، مارن و ژپس و ... میباشند و حدود $38/4$ درصد مساحت منطقه را به خود اختصاص میدهند. سازندهای نسبتاً غیرفعال شامل سازندهای گرانیت، دیوریت، انواع رسوبات فلیشی همراه با کنگلومرا، ماسه سنگ، پریودوتیت، دونیت، پلاژیوگرانیت هستند که از نظر شاخص Vf در محدوده نسبتاً غیرفعال قرار گرفته اند و حدود $20/99$ درصد از مساحت منطقه را به خود اختصاص داده اند.

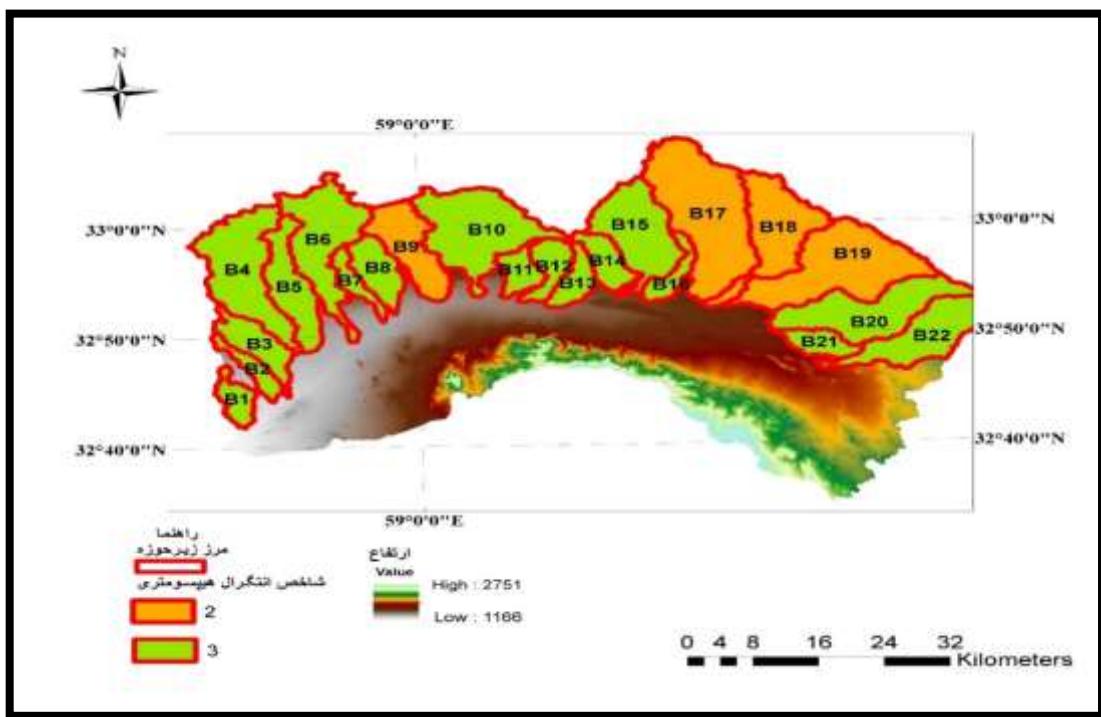
شاخص انتگرال هیپسومتری (HI)

این شاخص، توزیع سطوح ارتفاعی یک منطقه از زمین یا یک حوزه آبخیز را نشان می دهد. رابطه (۶) برای محاسبه این شاخص استفاده می شود که به شکل زیر است (کلر و پیتر، ۲۰۰۲).

$$(6) \quad Hi = (H_{mean} - H_{min}) / (H_{max} - H_{min})$$

که در آن، H_{mean} ارتفاع متوسط حوزه، H_{max} بیشترین ارتفاع حوضه، H_{min} کمترین ارتفاع حوضه است. مقادیر انتگرال هیپسومتری بر اساس نظریه همدونی و همکاران (۲۰۰۸) برای حوزه ها به سه گروه فعال ($Hi \geq 0/5$)، نیمه فعال ($0/5 < Hi < 0/4$) و غیرفعال ($Hi \leq 0/4$) طبقه بندی شده اند. مقادیر بالای این شاخص نشان دهندهی نواحی فعال و جوان بوده و مقادیر پایین آن با نواحی قدیمی که فرایند فرسایش بر آن حاکم است و کمتر تحت تاثیر زمین ساخت فعال منطقه واقع شده است.

نتایج پژوهش نشان می دهد که بیشترین میزان بالا آمدگی در شمال شرقی زیرحوزه ۱۸ ($Hi=0.45$) و زیرحوزه ۹ ($Hi=0.41$) واقع در شمال غربی حوزه می باشد که به علت تراکم گسل های تراستی و امتداد لغز است و محاسبات نشان می دهد که منطقه در مرحله جوانی است. کمترین میزان در قسمت شمال منطقه زیرحوزه ۸ ($Hi=0.21$) می باشد، در این مناطق فرایند های ژئومورفیک به طور متوازن عمل می کنند، در حالی که در مناطق فعال میزان فرسایش بیشتر از فرایند رسوب گذاری است.



شکل ۶: شاخص انتگرال هیپسومتری شمال دشت بیرجند

شاخص تراکم زهکشی (Dd)

تراکم زهکشی یک شاخص ژئومورفولوژی مهم برای حوزه هایی است که آبراهه های آن، بازتاب کننده فرایندهای حاکم بر حفر چشم اندازها می باشد (شوم، ۱۹۹۷)^۱. این شاخص ممکن است نشان دهنده تاثیر زمین ساخت فعل در منطقه باشد (تالینگ و همکاران، ۲۰۱۱)^۲. تراکم زهکشی از نسبت مجموع طول تمام آبراهه های یک حوضه به مساحت آن محاسبه می شود (هورتون ۱۹۴۵).

$$\text{رابطه} \quad Dd = Lu / A \quad (7)$$

(Dd) تراکم زهکشی

(Lu) مجموع طول آبراهه

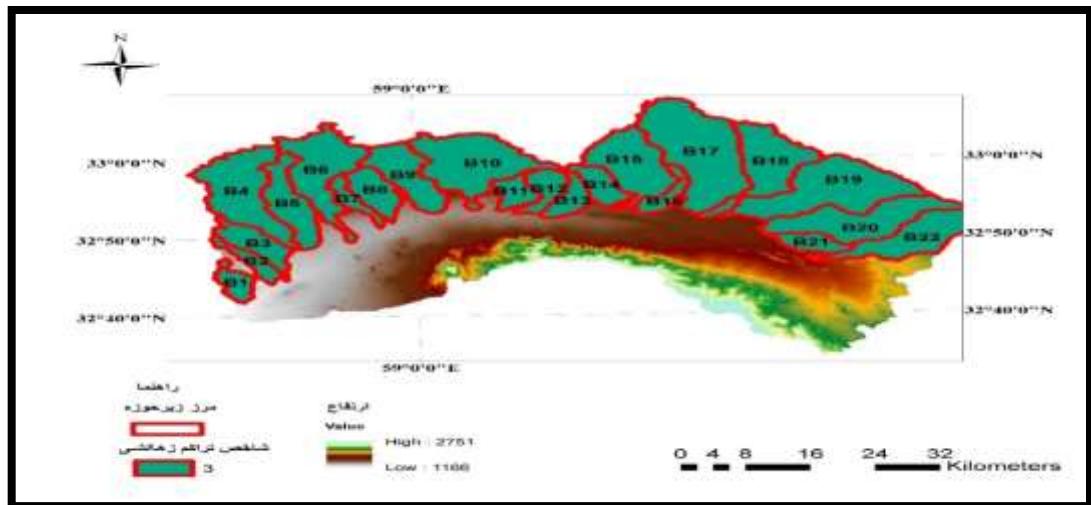
(A) مساحت حوزه زهکشی است.

مقدار این شاخص به درجه فرسایش و میزان برش چشم اندازها در شبکه زهکشی بستگی دارد. شبکه زهکشی در چشم اندازهای قدیمی که در زمان طولانی در سطح زمین قرار دارند، گسترش بیشتری یافته و در نتیجه دارای مقدار تراکم زهکشی بیشتری است. مقدار تراکم زهکشی در حوزه هایی که دارای فعالیت زمین ساختی اخیر می باشند، کمتر است (کلر و پینتر، ۲۰۰۰). نتایج حاصل از تراکم زهکشی را میتوان به سه رده فعالیت زمین ساختی تقسیم کرد، که شامل کلاس (Dd>1.3)، کلاس ۲ (1.3<Dd<1.2) و کلاس ۳ (Dd<1.2) می باشد. بیشترین مقدار شاخص Dd مربوط به زیرحوزه B13 در شمال منطقه (Dd=2.16) می باشد (جدول ۱). نتایج این پژوهش نشان می دهد در مناطقی که از نظر تکتونیکی دارای فعالیت کم یا از تمرکز گسل کمتری برخوردار هستند و فرایندهای فرسایش در آن بر عامل برجستگی غلبه دارد میزان

1 (Schumm and other, 1997)

2 (Talling and other, 2011)

شاخص Dd آن ها بیشتر می باشد، کمترین میزان شاخص Dd در شمال غربی منطقه در زیرحوزه B6 ($Dd=1.60$) می باشد (جدول ۱)، این مناطق دارای بیشترین میزان بر جستگی هستند و از نظر تکتونیکی در مرحله جوانی به سر می برند.



شکل ۷: شاخص تراکم زهکشی شمال دشت بیرجند

شاخص نسبت بافت (Te)

شاخص نسبت بافت، نسبت بین اولین آبراهه و محیط حوزه را تخمین می زند (گانگالاگونتا و اوپی ردی، ۲۰۰۴).^۱

مقدار این شاخص به ژئولوژی زیرین، ظرفیت نفوذ سنگ بستر و پستی و بلندی زیرحوزه ها بستگی دارد (گانگالاکونتا و اوپی ردی، ۲۰۰۴).

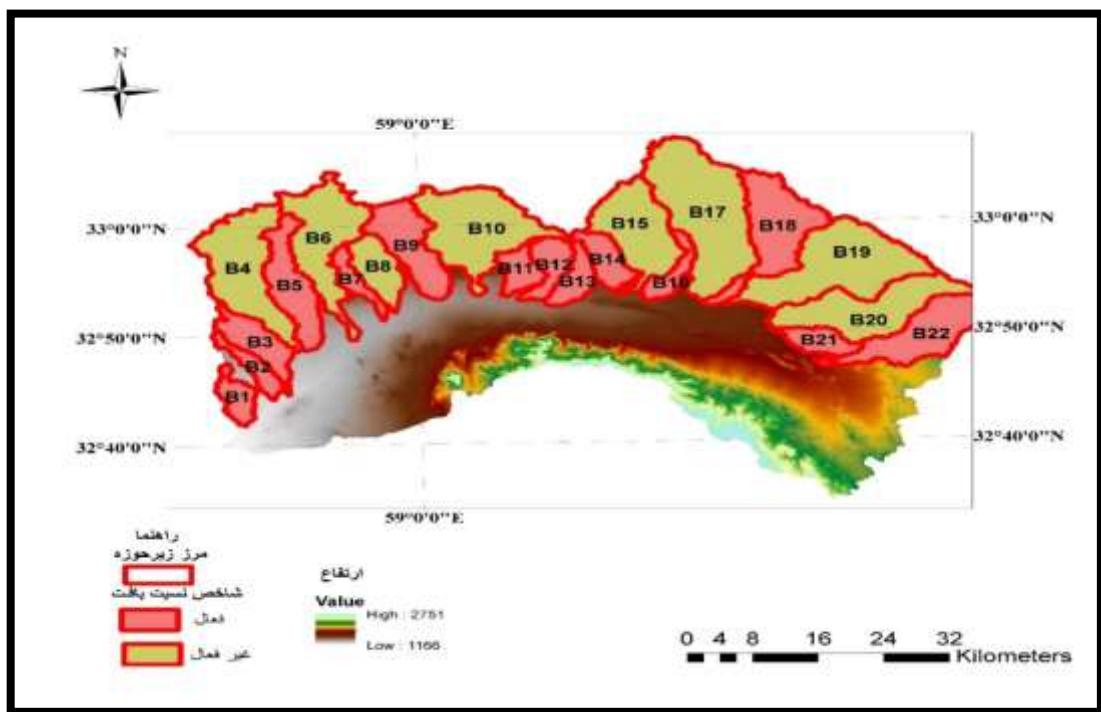
$$T = R / P \quad \text{رابطه‌ی (۸)}$$

(R) طول اولین آبراهه

(P) محیط حوزه،

افزایش میزان نسبت بافت نشان دهنده افزایش تعداد آبراهه درجه یک است که خود سبب افزایش نفوذ پذیری و از طرفی باعث کاهش میزان رواناب در منطقه می شود و نشان دهنده فعالیت کم حوزه است. در نتیجه شاخص T را در دو کلاس فعال، (T < 1.5) با نفوذ پذیری کم و کلاس غیرفعال، (T > 1.5) دارای نفوذ پذیری زیاد تقسیم بندی می کنیم. با توجه به پژوهش صورت گرفته بیشترین مقدار شاخص Te در شمال شرقی حوزه، زیرحوزه B17 ($Te=2.72$) می باشد (جدول ۱)، و از طرفی کمترین مقدار شاخص Te در محدوده شمال غربی حوزه در زیر حوزه B7 ($Te=0.62$) واقع شده است (جدول ۱). از سوی دیگر این پارامتر مورفومتری با پارامتر Dd یا تراکم زهکشی دارای همبستگی می باشد در مناطق فعال تکتونیکی میزان این دو پارامتر در کلاس غیر فعال قرار دارد و علاوه بر آن در مناطق غیرفعال میزان این دو پارامتر افزایش یافته است.

1 (Gangalakunta P. Obi Reddy, 2004)



شکل ۸: شاخص نسبت بافت شمال دشت بیرجند

شاخص نگه داشت کanal (C)

این شاخص به نوع سنگ، نفوذپذیری، رژیم اقلیمی، پوشش گیاهی، پستی و بلندی و فرسایش وابسته است (شوم، ۱۹۵۶). فاکتور C به عنوان معکوس تراکم زهکشی $C = A / L$ [C = A / L] بیان شده است.

$$\text{رابطه‌ی (۹)} \quad C = A / L$$

(C) نگه داشت کanal

(A) مساحت حوزه کشی است

(L) مجموع طول آبراهه

با توجه به نتایج به دست آمده بیشترین مقدار شاخص C در محدوده شمال غربی در زیرحوزه B7 ($C=0.62$) می‌باشد(جدول ۱)، با توجه به مطالعات صورت گرفته مناطقی که مقدار پارامتر C آن بیشتر می‌باشد در واقع جز مناطق فعل تکتونیکی هستند. کمترین مقدار شاخص C در محدوده شمال حوزه مطالعاتی در زیرحوزه B13 ($C=0.46$) می‌باشد(جدول ۱).

شاخص نسبت کشیدگی حوزه Re

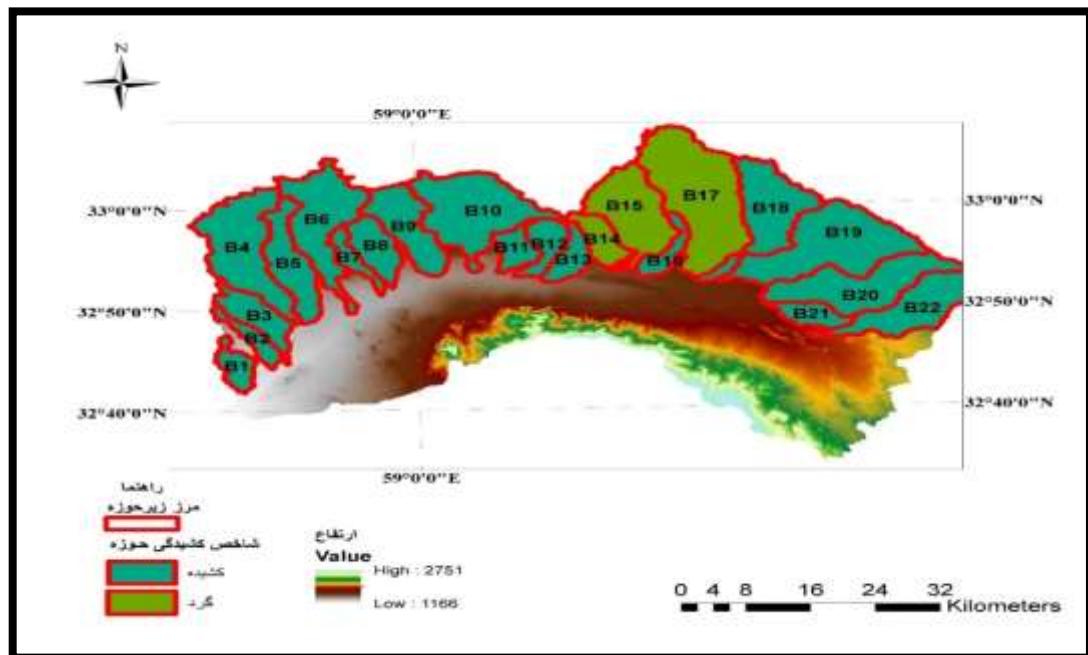
این شاخص اندازه نسبت قطر دایره به بیشترین طول حوزه است (شوم، ۱۹۵۶). کاهش این نسبت، بیشتر به دلیل فعالیت تکتونیکی فرض شده است که باعث به وجود آمدن گسل شده است (بول، ۱۹۷۷). بالآمدگی یا فرونشست حوزه رودخانه را به شکاف واداشته و به حوزه زهکشی اجازه توسعه را نمی‌دهد. بر عکس در حوزه‌هایی که فعالیت تکتونیکی ندارند انتظار می‌رond که حوزه‌هایی با مساحت بیشتر و زهکشی با درجه بیشتر، جزئیات بدون احاطه پیرامون باشند و بنابراین بالاترین زهکشی مربوط به حوزه‌های کشیده می‌باشد (بول، ۱۹۷۷).

$$\text{رابطه‌ی (۱۰)} \quad Re = Dc / L$$

(Dc) قطر دایره هم سطح با حوزه آبخیز

(L) طول حوزه

هرچه به یک نزدیکتر باشد شکل دایره بیشتر است و هرچه به صفر نزدیکتر باشد کشیدگی بیشتر است. مقدار Re کمتر دلالت می‌کند. بیشترین مقدار شاخص Re در زیرحوزه B14 ($Re=0.65$) در شمال حوزه قرار دارد که نشان دهنده گردشگری حوزه است و منطقه از نظر تکتونیکی در درجه فعالیت متوسط قراردارد، کمترین مقدار شاخص Re در محدوده شمال غربی منطقه در زیرحوزه B7 ($Re=0.19$) واقع شده (جدول ۱) کشیده ترین حوزه است.



شکل ۹: شاخص نسبت کشیدگی حوزه شمال دشت بیرجند

شاخص نسبی فعالیت زمین ساختی (Iat)

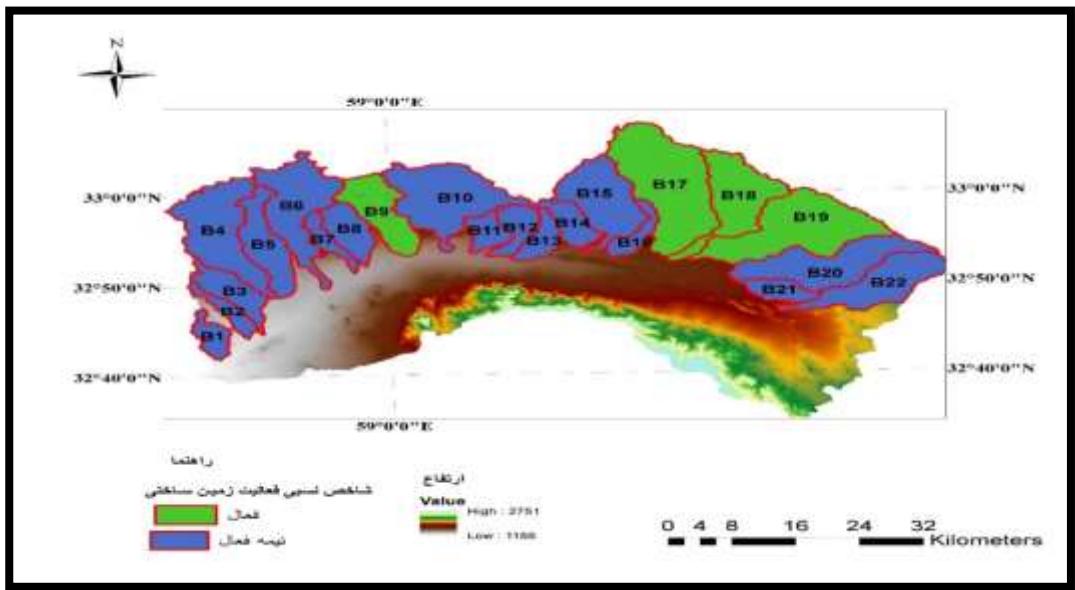
این شاخص برای تجزیه و تحلیل شاخص‌های ژئومورفولوژیک و جمع بندی نتایج آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد تا وضعیت نسبی فعالیت‌های زمین ساختی در منطقه مشخص شود. این شاخص با توجه به رابطه (۶) محاسبه می‌شود.

$$IRAT = S / N \quad (11)$$

(S) مجموع طبقات شاخص‌های ژئومورفیک

(N) تعداد شاخص‌های ژئومورفیک

مقدار شاخص فعالیت نسبی زمین ساخت بر مبنای نظریه همدونی و همکاران (۲۰۰۸) در چهار طبقه: خیلی زیاد (بسیارفعال) ($Iat < 1$)، زیاد (فعال) ($1 < Iat < 2$)، متعادل (نیمه فعال) ($2 < Iat < 5.2$) و پایین (فعالیت کم) ($Iat > 5.2$) طبقه بندی می‌شود. مقاله ارزیابی حوزه دشت بیرجند از نظر این شاخص در محدوده سه کلاس بالا قراردارد با توجه به محاسبات صورت گرفته برای کل منطقه و مبنا قرار دادن محدوده کلاس فعالیت هر یک از پارامترها، نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که ۹۴.۸۵ درصد مساحت حوزه در کلاس ۲ (فعال) قرار دارند و ۵.۱۵ درصد آن در محدوده ۳ (نیمه فعال) قراردادند و این پارامتر نشان می‌دهد که منطقه شمال دشت بیرجند از نظر ریخت‌شناسی و تغییرات مورفومتریک در درجه فعال قرار دارد و ما در آینده شاهد تغییرات جدیدی در این محدوده خواهیم بود.



شکل ۱۰: شاخص نسبی فعالیت زمین ساختی شمال دشت بیرجند

جدول ۱. مقدار پارامترها

نام زیرحوزه	مقدار AF	AF کلاس	مقدار T	T کلاس	مقدار Smf	Smf کلاس	مقدار Hi	Hi کلاس
B1	۲,۹۹	۳	-,۳۹	۲	۱,۱۳	۱	,۳۰	۳
B2	۷,۲۵	۲	-,۴۹	۲	۱,۱۰	۱	,۳۱	۳
B3	۱۷,۹۱	۱	-,۵۳	۱	۱,۱۹	۱	,۲۱	۲
B4	۲۹,۹۱	۱	-,۷۷	۱	۱,۴۲	۱	,۳۸	۳
B5	۶,۳۰	۳	-,۳۵	۲	۱,۱۲	۱	,۲۵	۲
B6	۲,۷۷	۳	-,۳۶	۲	۱,۰۶	۱	,۳۷	۳
B7	۷,۰۸	۲	-,۷۳	۱	۱,۰۹	۱	,۲۸	۲
B8	۹,۵۵	۲	-,۴۲	۲	۱,۱۱	۱	,۲۷	۲
B9	۷,۷۷	۲	-,۳۹	۲	۱,۱۷	۱	,۴۰	۲
B10	۰,۰۸	۳	-,۲۴	۲	۱,۰۰	۱	,۳۲	۳
B11	۲۴,۹۴	۱	-,۳۶	۲	۱,۰۴	۱	,۳۳	۳
B12	۱۱,۳۴	۲	-,۳۹	۲	۱,۰۴	۱	,۳۱	۳
B13	۱۹,۹۱	۱	-,۶۷	۱	۱,۱۲	۱	,۲۱	۲
B14	۱۳,۸۷	۲	-,۷۲	۱	۱,۱۸	۱	,۳۰	۳
B15	۱۹,۱۸	۱	-,۳۱	۲	۲,۱۲	۱	,۳۵	۳
B16	۴,۷۱	۳	-,۶۹	۱	۱,۱۲	۱	,۲۸	۲
B17	۲۱,۰۸	۱	-,۵۲	۱	۲,۰۳	۱	,۴۰	۲
B18	۲۱,۱۶	۱	-,۶۸	۱	۰,۸۸	۲	,۴۲	۲
B19	۱۳,۳۳	۲	-,۲۴	۲	۱,۰۱	۱	,۴۳	۲
B20	۲۲,۸۷	۱	-,۵۱	۱	۱,۲۶	۱	,۳۵	۳

B21	۲,۵۱	۳	-,۲۴	۲	۱,۱۷	۱	۰,۳۹	۳
B22	۳,۸۱	۳	-,۲۶	۲	۱,۳۷	۱	۰,۳۶	۳

نام زیرحوزه	Mقدار Dd	کلاس Dd	Mقدار SR	کلاس SR	Mقدار Re	Re	کلاس Te	Mقدار Te	کلاس C	کلاس امیزان lat	کلاس Iat
B1	۱,۶۸	۳	۱,۰۷	۱	۰,۵۵	۱	۰,۸۸	۱	۰,۶۰	۱	۱,۰۹
B2	۲,۰۰	۳	۱,۲۰	۲	۰,۲	۱	۰,۶۶	۱	۰,۵۰	۱	۱,۹
B3	۱,۸۳	۳	۱,۱۵	۲	۰,۴۵	۱	۰,۸۹	۱	۰,۵۵	۱	۱,۷
B4	۱,۷۵	۳	۱,۱۶	۲	۰,۲۷	۱	۱,۶۷	۲	۰,۵۷	۱	۱,۸
B5	۱,۸۲	۳	۱,۱۲	۲	۰,۲۲	۱	۱,۰۴	۱	۰,۵۵	۱	۲
B6	۱,۶۰	۳	۱,۱۵	۲	۰,۲۲	۱	۱,۱۱	۱	۰,۶۳	۱	۱,۹
B7	۱,۹۶	۳	۱,۱۸	۲	۰,۱۹	۱	۰,۶۲	۱	۰,۵۱	۱	۱,۸
B8	۲,۰۶	۳	۱,۱۶	۲	۰,۲۸	۱	۱,۵۵	۲	۰,۴۶	۱	۲
B9	۱,۶۹	۳	۱,۰۷	۳	۰,۲۹	۱	۱,۴۰	۱	۰,۵۹	۱	۱,۹
B10	۱,۸۱	۳	۱,۱۰	۲	۰,۳۳	۱	۱,۸۰	۲	۰,۵۵	۱	۲,۱
B11	۱,۹۹	۳	۱,۱۳	۲	۰,۲۵	۱	۰,۹۱	۱	۰,۵۰	۱	۱,۸
B12	۲,۰۸	۳	۱,۰۹	۱	۰,۵۹	۲	۱,۰۳	۱	۰,۴۸	۱	۱,۹
B13	۲,۰۶	۳	۱,۱۷	۲	۰,۳۵	۱	۱,۰۹	۱	۰,۴۶	۱	۱,۷
B14	۱,۹۸	۳	۱,۱۲	۲	۰,۶۵	۲	۱,۴۴	۱	۰,۵۰	۱	۱,۹
B15	۱,۹۱	۳	۱,۰۸	۳	۰,۶۲	۲	۱,۹۶	۲	۰,۵۲	۱	۲,۱
B16	۲,۰۵	۳	۱,۱۸	۲	۰,۴۸	۱	۰,۸۲	۱	۰,۴۷	۱	۱,۹
B17	۱,۸۸	۳	۱,۱۶	۲	۰,۶۱	۲	۲,۷۳	۲	۰,۵۳	۱	۱,۸
B18	۱,۸۰	۳	۱,۱۰	۲	۰,۵۳	۱	۱,۴۴	۱	۰,۵۵	۱	۱,۷
B19	۱,۷۰	۳	۱,۱۵	۲	۰,۵۸	۲	۲,۱۴	۲	۰,۵۶	۱	۱,۹
B20	۱,۹۵	۳	۱,۱۸	۲	۰,۴۹	۱	۱,۵۸	۲	۰,۵۱	۱	۱,۷
B21	۲,۰۷	۳	۱,۱۵	۲	۰,۵۷	۲	۱,۲۶	۱	۰,۴۸	۱	۲
B22	۱,۹۶	۳	۱,۰۴	۱	۰,۵	۱	۱,۴۶	۱	۰,۵۱	۱	۱,۸

نتیجه گیری

نتایج به دست آمده از بررسی شواهد ژئومورفیکی یک طبقه بندی نسبی از فعالیت تکتونیکی را نشان می دهد که برای مطالعات و شناسایی منطقه مفید هستند. شاخص های ژئومورفیک استفاده شده در این پژوهه نشان دهنده فعالیت تکتونیکی منطقه می باشد. بر اساس شاخص Af منطقه شمال دشت بیرجند در محدوده کلاس فعال و متوسط قرار دارند حدود ۶۵,۵ درصد از زیرحوزه ها دارای کج شدگی می باشند که نشان دهنده این است که منطقه در مرحله جوانی است. از نظر تقارن توپوگرافی T حدود ۵۶,۷٪ درصد از منطقه در کلاس ۱ قرار دارد و از حالت متقارن خارج شده و اکثر زیرحوزه ها به جهت غرب حوزه کج شده اند. حدود ۴۷٪ منطقه از نظر شاخص Vf در کلاس ۱ واقع شده که شامل دره های عمیق V شکل می باشد و ۵۱٪ منطقه در پهنه کلاس غیرفعال قرار دارد و نشان دهنده وجود دره های پیر U شکل می باشد، بیشتر این دره ها در دامنه های کوه هستان و دره های عمیق در ارتفاعات بالا دست قرار دارند که اکثرا در محدوده گسل های فعال منطقه واقع شده اند. از نظر شاخص انگرال هیپسومتری ۲۲,۸٪ درصد منطقه در محدوده کلاس ۲ (ارتفاع متوسط) واقع گردیده

و بیشتر وسعت داشت بیرجند را مناطقی با ارتفاع کم به خود اختصاص داده اند که حدود ۷۷,۰۶ درصد از مساحت حوزه را شامل می‌شود. شاخص Smf در اکثر زیرحوزه‌ها بیشتر از ۱ است بیش از ۹۶ درصد منطقه در کلاس فعال قرار دارد؛ همچنین شاخص S میزان پیچ و خم رودخانه را نشان می‌دهد، ۷۸,۵۴ درصد از کل زیرحوزه‌های منطقه آبراهه اصلی آن ها به حالت سینوسی می‌باشد. از طرفی ۷۹,۶۰ درصد از زیرحوزه‌های منطقه بر اساس پارامتر Re کشیده و ۲۰ درصد زیرحوزه‌ها گرد می‌باشند. از نظر تراکم زهکشی یا Dd شمال داشت بیرجند در کلاس ۳ فعالیت قراردارد و شاخص نگه داشت کanal که عکس پارامتر Dd است کل منطقه در کلاس ۱ قرار گرفته است. شاخص نسبت بافت Te که نشان دهنده میزان نفوذپذیری است بیان می‌کند حدود ۵۴,۷۷ درصد از زیرحوزه‌ها در کلاس ۱ قرار دارند. به طور کلی نتایج حاصل از شاخص‌های ژئومورفولوژیکی حاکی از آن است که حوزه آبخیز شمال داشت بیرجند از لحاظ نو زمین ساختی فعال است که یکی از دلایل آن وجود گسل تراستی و امتداد لغز می‌باشد و میزان فعالیت حرکات نو زمین ساخت در همه جا یکسان نبوده مناطق بالادست حوضه از این لحاظ فعال تر می‌باشند.

منابع

- سلیمانی، ش.، ۱۳۷۷. رهنمودهایی در شناسایی حرکات تکتونیکی فعال و جوان با نگرش بر مقدمات دیرینه شناسی، موسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.
- صادقیان، آ.، واقعی، ی.، محمدزاده، م.، ۱۳۹۴. پیش‌بینی تغییرات مکانی-زمانی سطح آب زیرزمینی در دشت بیرجند به روش کریجینگ، نشریه آب و فاضلاب، ۱(۲۴): ۹۰-۱۰۰.
- کرمی، ف.، ۱۳۸۸. ارزیابی ژئومورفیک فعالیت‌های تکتونیکی در حوضه زهکشی سعیدآباد چای، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۶۹، ۶۷-۸۲.
- مصطفوی، م.، جفری اقدام، م.، باقری، س.، مینایی، م.، ۱۳۹۰. بررسی تکتونیک فعال حوضه‌ی آبخیز کفرآور با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و شواهد ژئومورفولوژیکی، مجله جغرافیا و توسعه، ۱۱، ۲۵، ۱۳۶-۱۴۱.
- Ahmad, S, Alam, A, Bhat, M. 2018. Tectono-geomorphic indices of the Erin basin, NE Kashmir valley, India^{۲۰۱۸}. *Journal of Asian Earth Sciences* 151 . 16–30
- Bull, W. B and Mc fadden, L., D., 1977. Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault California.8th Annual geomorphology sym, New York.
- Bull, W.B and Mc Fadden, L., D., 1977. Tectonic geomorphology north and south of the Garlock
- Fault California, in Doebring, D.O. (Ed), *Geomorphology in Arid regions, Proceeding of Eighth*
- Annual Geomorphology Symposium, State University of New York, Binghamton, PP. 115-138.*
- Burbank, D. W., and Anderson, R. S (2000). *Tectonic Geomorphology*. Blackwell.
- Devi, R.K.M., Bhakuni and Bora, P.B., 2011. Tectonic implication of drainage set-up in the Sub- Himalaya: a case study of Papumpare district, Arunachal Himalaya, India, *Geomorphology*, No. 127, pp. 14–31.
- ElHandouni, R., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacon, J., and Keller, E.A. (2008). Assessment of relative active tectonic, South west border of the Sierra Nevada (Southern Spain). *Geomorphology*, 96(1), 150-173.
- Gangalakunta P. Obi Reddy, Amal K. Maji, Kothiram S. Gajbhiye (2004), Drainage morphometry and its influence on landform characteristics in a basaltic terrain, Central India – a remote sensing and GIS approach, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 6, pp. 1–16.

- Giano. S, Pescatore. E, Agosta. F, 2018. Geomorphic evidence of Quaternary tectonics within an underlap fault zone of southern Apennines, Italy. *Geomorphology* 303. 172–190
- Guarnieri, P., and Pirrotta, C. (2008). The Response of Drainage Basins to the Late Quaternary tectonics in the Sicilian side of the Messina Strait (NE Sicily). *Geomorphology*, 95(3-4), 260-273.
- Horton, R.E., 1945, Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology, *Geological Society of America Bulletin*, No. 56, PP. 275- 370.
- Keller, E.A. and N. Pinter. 2002. Active tectonics: earthquakes, uplift, and landscape. Prentice Hall, New Jersey, 362 pages.
- Keller, E.A., Pinter, N., 2002, *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape* (2ndEd.), Prentice Hall, New Jersey.
- Knight. J, Stefan W. Grab.2018. Drainage network morphometry and evolution in the eastern Lesotho highlands, southern Africa. *Quaternary International* .470,4-17
- Mayer, L. 1990. *Introduction to quantitative geomorphology*. Prentice Hall, Englewood, Cliffs, NJ, 362 pages.
- Pike, R.J. and S.E. Wilson. 1971. Elevation-relief ratio, hypsometric integral and geomorphic area-altitude analysis. *Geological Society of America Bulletin*, 82(4): 1079–1084.
- Ramirez, H. (1998). Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay Graben, Mexican volcanic belt. *Earth Surface Processes and Landforms*, 23(4), 317-332.
- Schumm, S.A., 1997, Drainage density: problems of prediction. In: Stoddart, D.R. (Ed.), *Process and Form in Geomorphology*, Routledge, London, pp. 15- 45
- Silva, P.G., Goy, J.L., Zazo, C., Bardajam, T., 2003, Fault Generated Mountain Fronts in Southeast Spain: Geomorphologic Assessment of Tectonic and Earthquake Activity, *Geomorphology*.
- Schumm, S. (1956). The Movement of Rocks by Wind: DISCUSSION. *Journal of Sedimentary Research*, 26(3).
- Talling, P.J. and Sowter, M.J., 1999, Drainage density on progressively tilted surfaces with different gradients, Wheeler Ridge, California, *Earth Surface Processes and Landforms*, No. 24, pp. 809- 824.
- Tirrul, R., Bell, I.R., Griffis, R.J., and Camp, V.E., 1983, The sistan suture zone of eastern Iran. *Geological Society of American Bulletin*, 94, 134-156.
- Zovoili E., Konstantinidi E., Koukouvelas I.K. , 2004, TECTONIC GEOMORPHOLOGY OF ESCARPMENTS: THE CASES OF KOMPOTADES AND NEA ANCHIALOS FAULTS, *Bulletin of the Geological Society of Greece* vol. XXXVI, Proceedings of the 10th International Congress, Thessaloniki, April 2004.