پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال نهم، شماره ۱، تابستان۱۳۹۹
صص. ۱۳۳-۱۱۷

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 تاجبخش– 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 تائید نهایی: ۱۳۹۹/۰۱/۲۵

چکیده

مورفومتری به عنوان سنجش و توصیف کمی شکل‌ها و چشم اندازهای زمین تعریف شده‌اند. دشت بیرجند درشرق کشور ایران و دراستان 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 می باشد. شاخصT دارای نا متقارن-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 می باشد. محاسبه شاخص VF نشان داد که بیشترین تعداد دره ها در این مناطق واقع شده است. شاخص انتگرال هیپسومتری بیشترین میزان بالاآمدگی در شمال شرقی و کمترین میزان در شمال را نشان می‌دهد، بیشترین مقدار شاخص Dd در شمال وکمترین مقدار در شمال غربی می باشد. 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 وکمترین مقدار شاخص Re در شمال غربی است. پارامترIat نشان می دهد که شمال دشت بیرجند از نظر تغییرات مورفومتریک در درجه فعال قرار دارد و درآینده تغییرات جدیدی خواهد داشت.

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

---

* نویسنده مسئول: E-mail: Arezooshafiei@yahoo.com

مقدمه

رودخانه‌ها اولین اشکال محیطی هستند که نسبت به وقوع تغییرات در بستر جریان و یا بروز تغییرات در حواشی بستر جریان، عکس‌العمل نسبتا سریعی نشان می‌دهند. با توجه به عکس‌العمل‌های ثابت شده رودخانه‌ها نسبت به وقوع تغییرات غیرعادی- عمدتا ناشی از تکتونیک - می‌توان با تحلیل آن‌ها با استفاده از شاخص‌های مورفوتکتونیک، 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، فعالیت های زیاد یا کم تکتونیکی داشته‌اند را به آسانی مشخص نمود (رامیزهررا،۱۹۹۸)[1]. نئوتکتونیک یا نوزمین ساخت شاخه ای از علم تکتونیک است که به بررسی حرکات اخیر تکتونیکی می‌پردازد. برای بررسی نوزمین ساختی منطقه از مطالعات ریخت زمین ساخت میتوان استفاده کرد. مورفوتکتونیک یا ریخت زمین ساخت را میتوان دانش مطالعه ای اشکال و سیماهای ایجاد شده در زمین براثر فرآیندهای 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)[2]. گارنیری و پیروتا [3](۲۰۰۸) از شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی، شاخص انشعابات، برای بررسی تاثیر تکتونیک در چهار حوضه ی زهکشی در شمال شرق سیسیلی ایتالیا استفاده کردند. بررسی آنها نشان داد که تکتونیک های فعال، نظم شبکه زهکشی را بهم میزنند و مقدار شاخص ناهنجاری زهکشی حوضه های تکتونیکی با فعالیت بالا بیشتر از حوضه های تکتونیکی با فعالیت پایین است. موسوی (۱۳۸۵) تکتونیک فعال منطقه شمال غرب بیرجند را مورد بررسی قرار داد. وی با بررسی فاکتورها و کمیت‌های ساختاری و مورفولوژیکی محاسبه شده اشاره دارد که به دلیل آرایش ساختاری موجود در منطقه، میزان فرآیند 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 طبقه بندی فعالیت تکتونیکی حوضه آبخیز درکه استفاده کرده است. مریم عزتی نیز در سال ۱۳۹۷ به بررسی بالا آمدگی تکتونیکی در کوه های شکراب واقع در شمال بیرجند با استفاده از شواهد ریخت زمین ساختی پرداخته و نتایج تحقیق ایشان نشان داده که مناطقی که دارای بیشترین تراکم گسل های تراستی است، تحت تاثیر عملکرد مولفه فشارشی گسل‌های تراستی بالا آمدگی تکتونیکی نیز افزایش یافته است. جاسپر نایت و استفان گراب (۲۰۱۸) در مقاله ای تحت عنوان مورفومتری شبکه زهکشی و ارزیابی آن در لسوتو شرقی در آفریقای جنوبی اینگونه دریافتند که تنوع مکانی مورفومتریک رودخانه و مشخصات شبکه زهکشی در طول مدت زیاد که بسیار زیاد تحت تاثیر نیروهایی روی سطح زمین و اقلیم متفاوت(بارش و آب وهوا) 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 می دهد که چگونه ادغام رشته‌های ترکیب شده ژئومورفولوژی، مورفومتری و چگونگی تحلیل‌ها ممکن است به حل مسائل ژئومورفولوژیکی و زمین شناسی 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 می کند که حداکثر فشار در قسمت شمال غربی هیمالیا کشمیر جمع می شود. هدف اصلی این مطالعه ارزیابی تکتونیک مناطق فعال با استفاده از پارامترهای مورفومتری برای طبقه بندی کاربرد شاخص های

1 (Ramiez Heerea, 1998)

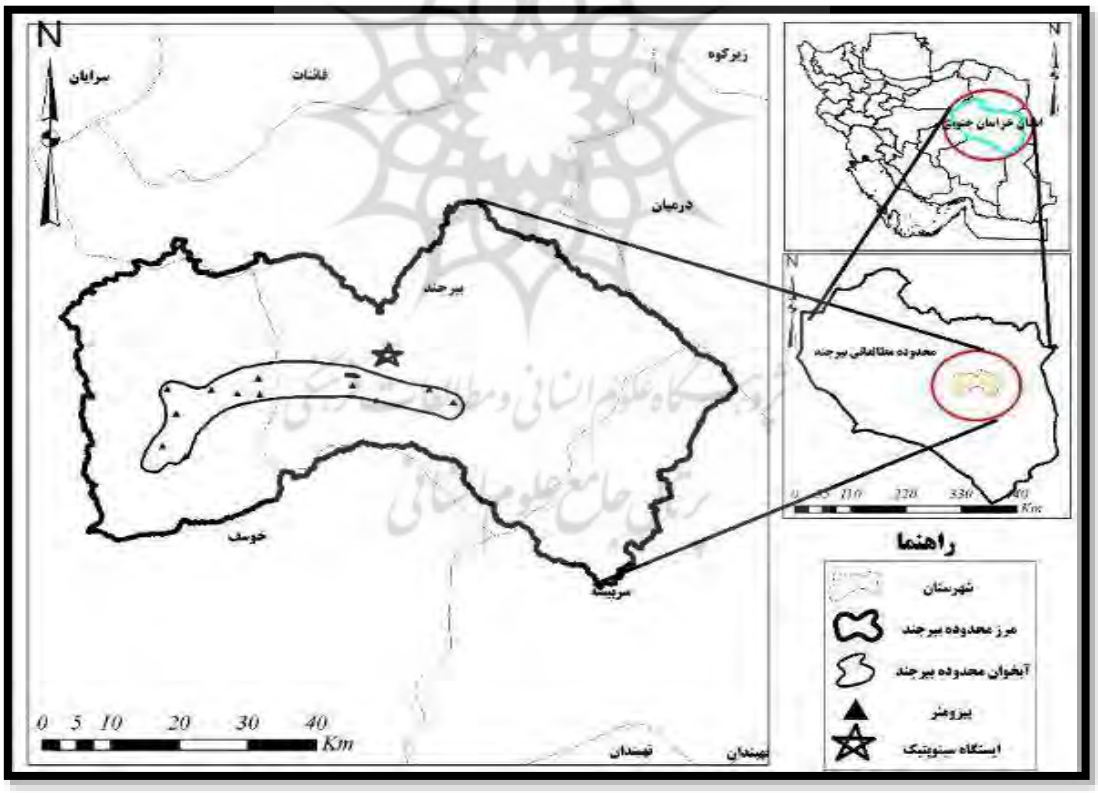
2 (keller and pinter, 2002)

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 ´۳۷ °۵۸ تا ´۱۶ °۵۹ و عرضهای ´۳۲ °۵۰ تا ´۰۹ °۳۳ 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 فدشک با ارتفاع ۱۲۴۰ متر بالاتر از سطح دریاهای آزاد قرار دارد. رودخانه شاهرود 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 نسبتا سریع یا حتی کند قرار دارند، به دست آورد (کلر و پینتر، ۲۰۰۲)، همانطور که تحقیقات در زمینه ریخت سنجی حوزه های آبخیز و ویژگی‌های فیزیوگرافی آبراهه

است، از مقادیرکمی به دست آمده از شاخص های مورفومتریک نظیر: عدم تقارن حوزه زهکشی(AF)، شاخص های نسبت پهنای کف دره به ارتفاع (Vf)، تقارن توپوگرافی (T) و انتگرال هیپسومتری(Hi) ،سینوزیته رودخانه(Sr)، شاخص نسبت انشعاب (BR) ، شاخص نگهداشت کانال (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 ۱:۱۰۰۰۰۰، از سازمان زمین شناسی، نقشه گسل ۱:۱۰۰۰۰۰، از سازمان زمین شناسی کشور، نقشه آبراهه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، از سازمان آب منطقه ای خراسان جنوبی تهیه می‌گردند. در این تحقیق از نرم افزار Arc GIS۱۰,۳ و ماژول‌هایی مانند 3D Analyst, Editor, Analysis Tools و همچنین نرم افزار Google Earth استفاده می‌شود.

بحث و نتایج

اهمیت مطالعات مورفوتکتونیکی دستیابی به نتایج مهم اساسی است که غالبا 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)[1].همان طور که بیان شد در این تحقیق چند پارامتر مورفومتری مورد بررسی قرار گرفته است که هر کدام در زیر به تفصیل آمده است.

شاخص های 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 می آید:

$$AF = 100(Ar / At)$$ رابطه‌ی(۱)

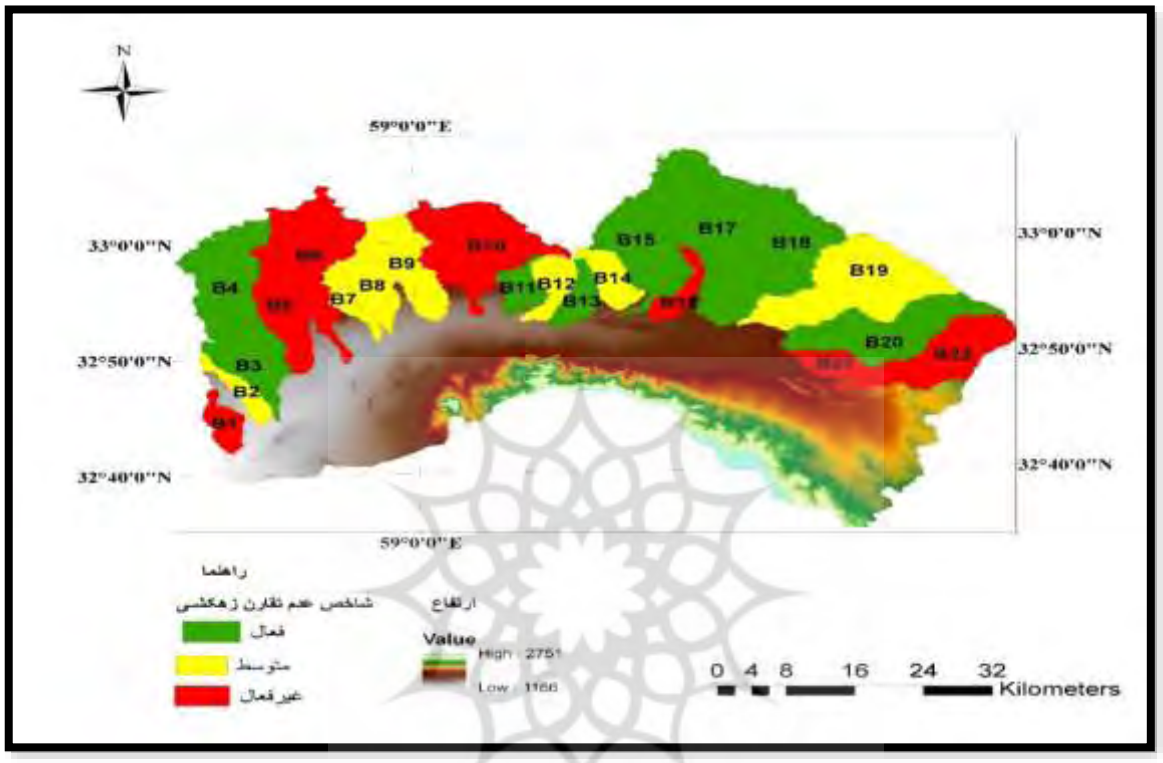
(Ar) مساحت حوزه در سمت راست آبراهه اصلی (به طرف پایین دست حوزه)

(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، ۱۵ < ۵۰-Af کلاس یک و فعال را نشان می‌دهد درحالی که، ۱۵ > ۵۰-Af> ۷ باشد کلاس دو و فعالیت متوسط آن حوزه را بیان می‌کند. توقف فعالیت و آرامش تکتونیکی، زمانی مشخص می‌شود که ۷ > ۵۰- Af است (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸).

1 (Handouni and other)

حوزه های آبخیز شمالی دشت بیرجند از نظر میزان کج شدگی در سه کلاس بالا قرار می‌گیرند، بر اساس محاسبات صورت گرفته بیشترین میزان کج شدگی در زیرحوزه B4 (Af=29.92) در شمال شرقی منطقه، کمترین میزان کج شدگی مربوط به شمال حوزه در زیرحوزه B10 (Af=0.07) می باشد (جدول۱)، کج شدگی زیرحوزه‌ها 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 حوزه‌هایی با لیتولوژی تقریبا همسان، عملکرد تکتونیک فعال را نشان می‌دهد (کلر و پینتر، ۲۰۰۲). برای حوزه‌ای که کاملا متقارن است، شاخص T مساوی عدد صفر خواهد بود. هرچقدر عدم تقارن توپوگرافی حوزه‌ای افزایش یابد، مقدار شاخص نیز بالا می‌رود و به عدد یک نزدیک می‌شود. لذا شاخص T برداری است با یک جهت که بزرگی آن از صفر تا یک متغیر است (کرمی، ۱۳۸۸)، که از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

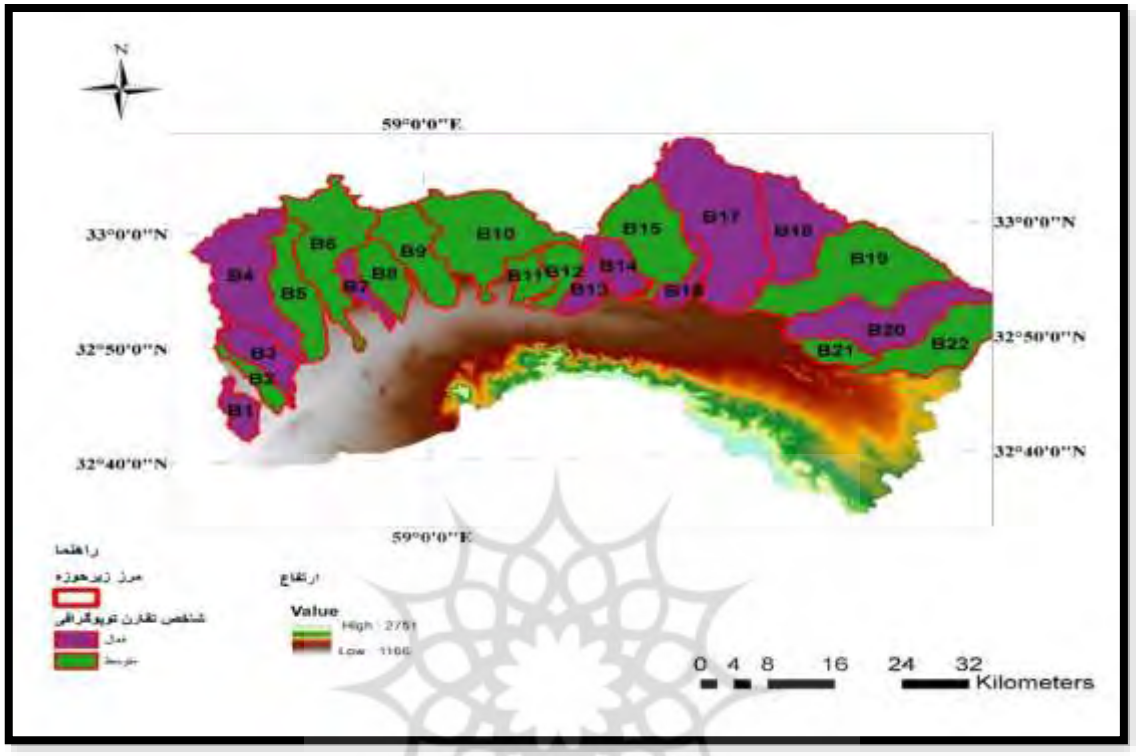
رابطه‌ی (۲) $$T = DA / Dd$$

(DA) فاصله از خط وسط حوضه آبریز به کمربند 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. کلاس۱،مقدار(1>T>0.5) که گویای فعالیت شدید تکتونیکی می‌باشد. کلاس ۲،مقدار(T<0.5) با کاهش تقارن و شدت فعالیت متوسط همراه است. کلاس۳، مقدار(T=0) که حاکی از تقارن کامل حوضه و عدم فعالیت تکتونیکی می‌باشد. با توجه به محاسبات صورت گرفته زیرحوزه B4 (T=0.77) نا متقارن‌ترین حالت حوزه در شمال غربی منطقه می‌باشد، 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 مقدارشاخص T زیرحوزه های B10، B19 (T=0.24) در شمال شرقی حوزه می باشد (جدول۱).



شکل ۳: شاخص تقارن توپوگرافی شمال دشت بیرجند

شاخص پیچ و خم رودخانه اصلی (S)

از نظر چارچوب نظری رودخانه‌ای که تقریبا به حالت تعادل رسیده باشد، رودخانه جهت حفظ تعادل بین شیب با دبی و رسوب‌گذاری پیچ می‌خورد (باربانک و آندرسون، ۲۰۰۰)[1]. 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 (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۰).

$$S = C / V$$ (۳) رابطه‌ی

(S) شاخص پیچ و خم رودخانه اصلی

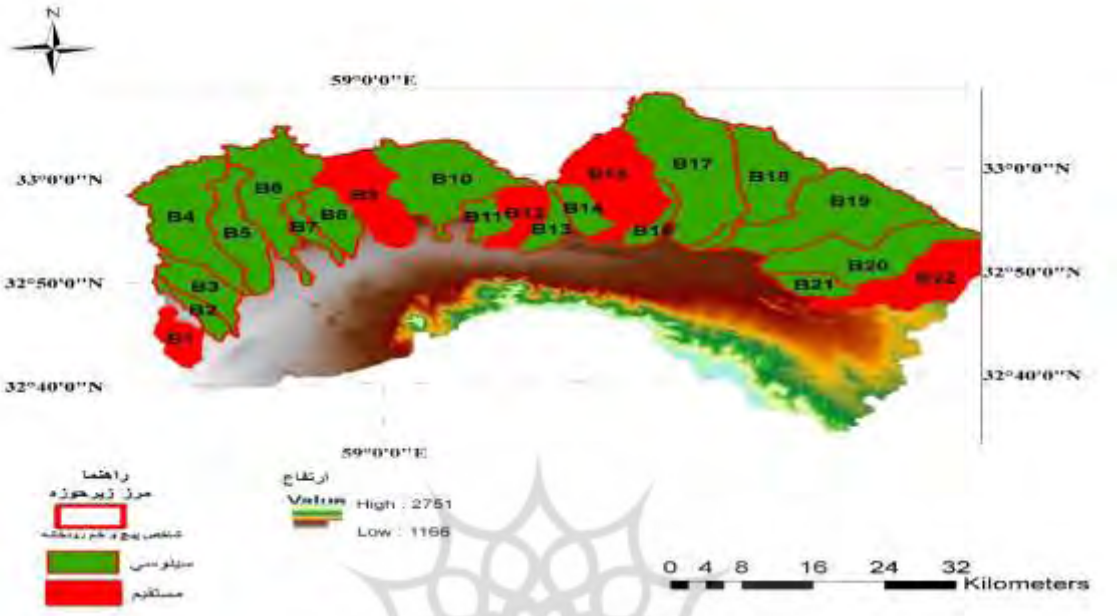
(C) طول رودخانه

(V) طول دره به خط مستقیم

اگر مقدار SR کمتر از ۱٫۱باشد نشان دهنده حالت مستقیم رودخانه است ، SR بین ۱٫۱– ۱٫۵ باشد رودخانه حالت سینوسی دارد و اگر SR بیشتر از۱٫۵ باشد رودخانه حالت مئاندری دارد. براساس مطالعات صورت گرفته اکثر زیرحوزه های منطقه در کلاس ۲ یعنی رودخانه های سینوسی هستند و بیشترین مقدارشاخص S در غرب حوزه مطالعاتی در زیرحوزه B2 (S=1.20) می باشد (جدول۱) و کمترین مقدار در شمال مرکزی در زیرحوزهB8 (S=1.04)قرار گرفته است (جدول۱). با توجه به پژوهش صورت گرفته شاخص S با شاخص AF یا همان کج شدگی حوزه دارای همبستگی می

1 (Burbank and Anderson,2000)

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 بیرجند

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)[1]. این شاخص نشان دهنده تعادل بین تمایل فرایندهای فرسایشی ناشی از آب های جاری برای ایجاد یک رشته کوه با مورفولوژی نامنظم و مقدار بالاآمدگی 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 بالاآمدگی فعال همراه هستند تقریبا مستقیم (Smf≈ 1) است. افزایش این کمیت عکس حالت فوق یعنی غلبه ی فرسایش بر بالاآمدگی 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.

$$Smf = \frac{Lmf}{Ls}$$ رابطه‌ی(۴)

L_{mf} طول مسطحاتی منحنی شکل جبهه کوهستان در امتداد تقاطع دشت سر و کوه یا همان خط کنیک کوهستان

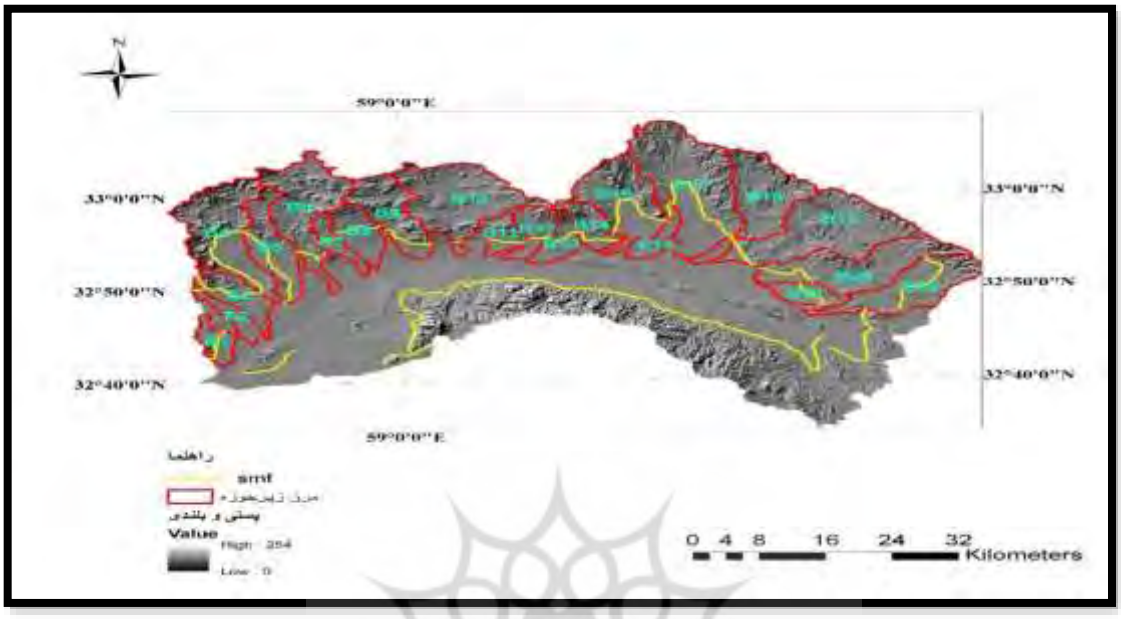
L_s طول مستقیم جبهه کوهستان

مقادیر S_{mf} نزدیک به ۱ نشان می دهد که جبهه های کوهستان همراه با فعالیت تکتونیکی بالایی هستند. با غالب شدن نیروهای فرسایشی، مقدار این شاخص افزایش می یابد و جبهه کوهستان نامنظمی را ایجاد می کند (زوولی و همکاران،۲۰۰۴)[2]. با توجه به محاسبات صورت گرفته اکثر زیر حوزه های شمالی دشت بیرجند مقدار Smf آن‌ها تقریبا

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 B18 (Smf = 0.88) واقع در شمال شرقی حوزه می باشد (جدول ۱).



شکل ۵: شاخص سینوسیته جبهه کوهستان شمال دشت بیرجند

شاخص نسبت پهنای دره به ارتفاع آن (Vf)

نسبت پهنای 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 دره های اصلی که جبهه کوهستان را قطع می کنند محاسبه می شود (سیلوا و همکاران، ۲۰۰۳)[1]. این شاخص مرتبط با شیب دره است و یک شاخص ژئومورفیک است که درک تفاوت بین دره های U شکل، V شکل و دره های با کف پهن را ارائه می دهد و با رابطه زیر محاسبه می شود (بول و مک فادن،۱۹۷۷).

$Vf = 2\,fw / [(Eid - Esc) + (Erd - Esc)]$ رابطه‌ی (۵)

Vf نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن

و Vfw پهنای کف دره به متر

Eid، Erd به ترتیب ارتفاع دیواره سمت چپ و دیواره سمت راست دره و Esc ارتفاع دره

با افزایشVFW (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 معمولا نشان می دهد که آیا رود به حفر بستر خود می پردازد و یا اینکه عمدتا فرسایش به صورت جانبی به طرف ارتفاعات و دامنه های حاشیه رود انجام می گیرد. مقادیر بالای این شاخص نشان دهنده بالاآمدگی اندک نو زمین ساختی است. مقادیر کم این شاخص نیز نشان دهنده دره های عمیق با رودهایی است که به طور فعال کف بستر خود را حفر کرده و به طور معمول همراه با بالاآمدگی نوزمین ساختی است.

1 (Silva and other,2003)

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 آتشفشانی توفی هستند میزان Vf محاسبه شده در آن ها کمتر از ۰/۵ 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 گسل‌های فراوان فعال در این مناطق بیشتر می‌باشد. از نظر وسعت پراکندگی، محدوده فعال حدود ۴۱/۰۷درصد مساحت منطقه را به خود اختصاص داده است. سازندهای غیرفعال مانند نهشته های آبرفتی، داسیت و توف های آتشفشانی، 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. دراین مناطق شیب 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 ازنظر تکتونیکی در سطح غیرفعال قرار می‌گیرند؛ و محدوده ای حدود ۳۱/۵۸ درصد مساحت را به خود اختصاص می‌دهند. سازندهای نسبتا فعال شامل آهک های نومولیتی، آندزیت های لاوایی الیگوسن، مارن و ژیپس و ... می‌باشند و حدود ۶/۳۸درصد مساحت منطقه را به خود اختصاص می‌دهند. سازندهای نسبتا غیرفعال شامل سازندهای گرانیت، دیوریت، انواع رسوبات فلیشی همراه با کنگلومرا، ماسه سنگ، پریودوتیت، دونیت، پلاژیوگرانیت هستند که از نظر شاخص Vf در محدوده نسبتا غیر فعال قرار گرفته اند و حدود ۲۰/۹۹ درصد از مساحت منطقه را به خود اختصاص داده اند.

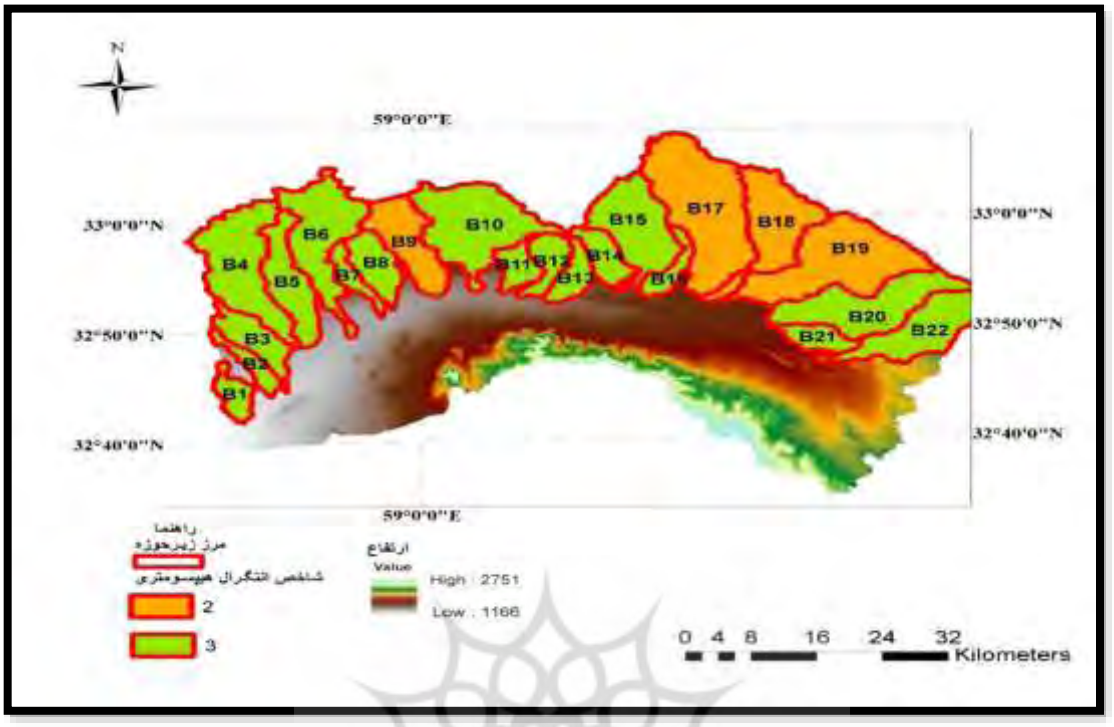
شاخص انتگرال هیپسومتری(HI)

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 پینتر،۲۰۰۲).

$$Hi = (Hmean - H\min)/(H\max - H\min)$$ رابطه‌ی (۶)

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 وهمکاران (۲۰۰۸) برای حوزه‌ها به سه گروه فعال (Hi≥۰،۵)، نیمه فعال (۰,۴ <Hi<۰,۵) و غیرفال (Hi≤۰,۴) 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 بالاآمدگی در شمال شرقی زیرحوزه B18 (Hi=0.45) و زیرحوزه B9 (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 B8 (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 فرایند های حاکم بر حفر چشم اندازها می باشد (شوم، ۱۹۹۷)[1]. این شاخص ممکن است نشان دهنده تاثیر زمین ساخت فعال در منطقه باشد (تالینگ و همکاران،۲۰۱۱)[2]. تراکم زهکشی از نسبت مجموع طول تمام آبراهه های یک حوضه به مساحت آن محاسبه می شود (هورتون ۱۹۴۵).

$$Dd = Lu / A$$ رابطه‌ی (۷)

(Dd) تراکم زهکشی

(Lu) مجموع طول آبراهه

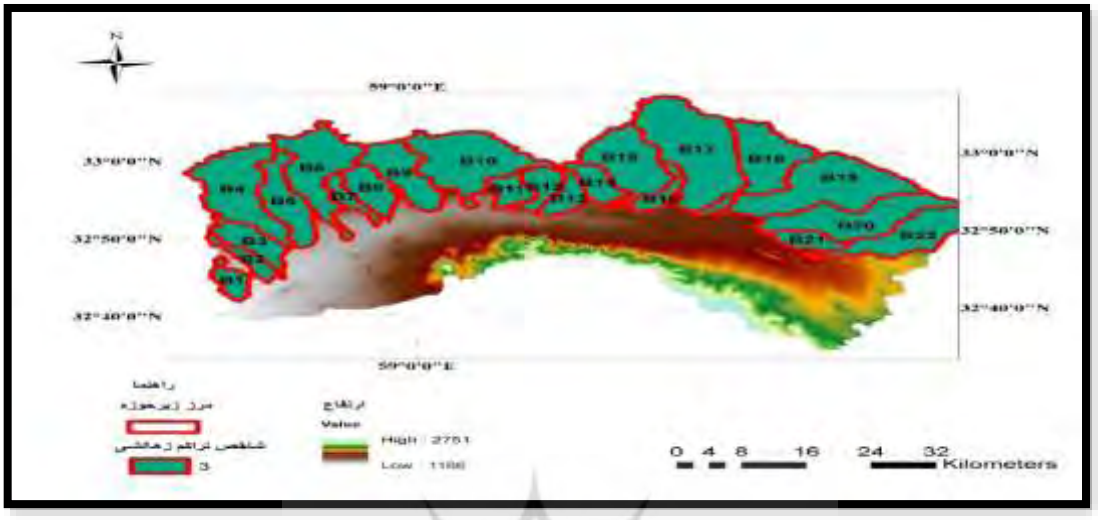
(A) مساحت حوزه زهکشی است.

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 ۱(Dd<1.2)، کلاس ۲(1.3<Dd<1.2) و کلاس ۳(Dd>1.3) می باشد. بیشترین مقدار شاخص Dd مربوط به زیرحوزه B13 در شمال منطقه(Dd=2.16) می باشد(جدول۱). نتایج این پژوهش نشان می دهد در مناطقی که از نظر تکتونیکی دارای فعالیت کم یا از تمرکز گسل کمتری برخوردار هستند و فرایند 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(جدول۱)، این مناطق دارای بیشترین میزان برجستگی هستند و از نظر تکتونیکی در مرحله جوانی به سر می‌برند.



شکل ۷: شاخص تراکم زهکشی شمال دشت بیرجند

شاخص نسبت بافت(Te)

شاخص نسبت بافت، نسبت بین اولین آبراهه و محیط حوزه را تخمین می‌زند(گانگالاگونتا و اوبی ردی،۲۰۰۴)[1].

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

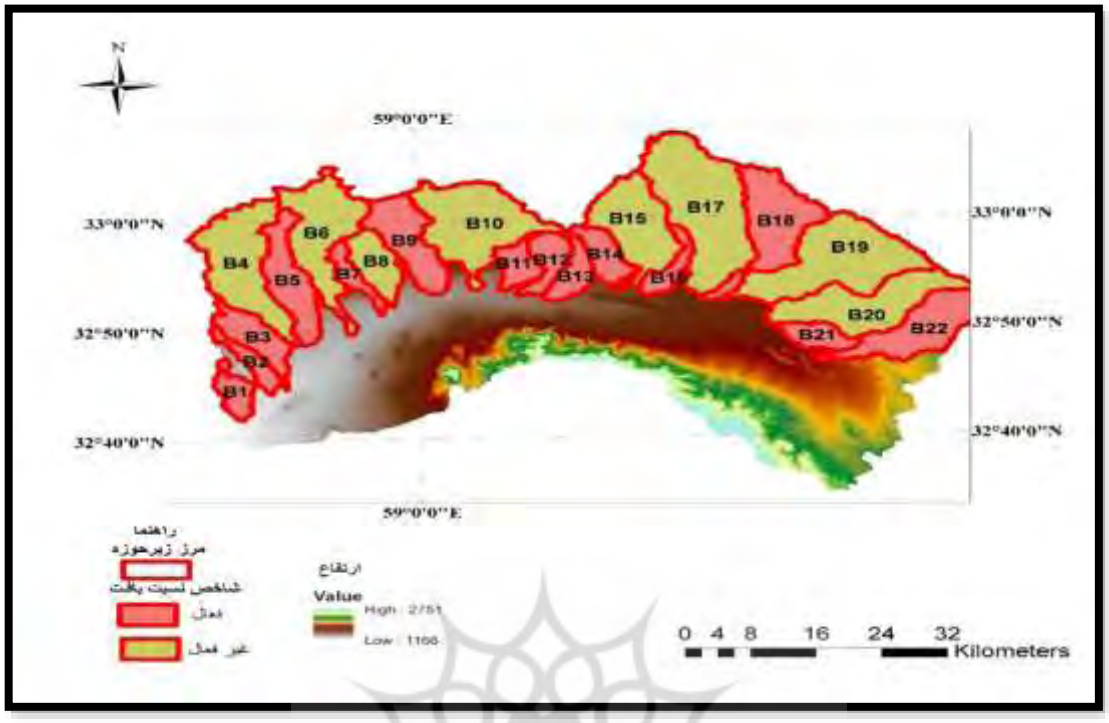
$$T = R / P$$ رابطه‌ی (۸)

(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 می‌شود و نشان دهنده فعالیت کم حوزه است. در نتیجه شاخص T را در دوکلاس فعال ،۱(T<1.5) با نفوذپذیری کم وکلاس غیرفعال ،۲ (T>1.5) دارای نفوذپذیری زیاد تقسیم بندی می‌کنیم. 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 (جدول۱). از سوی دیگر این پارامتر مورفومتری با پارامتر Dd یا تراکم زهکشی دارای همبستگی می‌باشد در مناطق فعال تکتونیکی میزان این دو پارامتر در کلاس غیر فعال قراردارد 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 کانال (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] بیان شده است.

$$C = A / L$$ رابطه‌ی (۹)

(C) نگه داشت کانال

(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) می باشد(جدول۱)، با توجه به مطالعات صورت گرفته مناطقی که مقدار پارامتر C آن بیشتر می باشد در واقع جز مناطق فعال تکتونیکی هستند.کمترین مقدار شاخص C در محدوده شمال حوزه مطالعاتی در زیرحوزه B13(C=0.46) می باشد(جدول۱).

شاخص نسبت کشیدگی حوزه Re

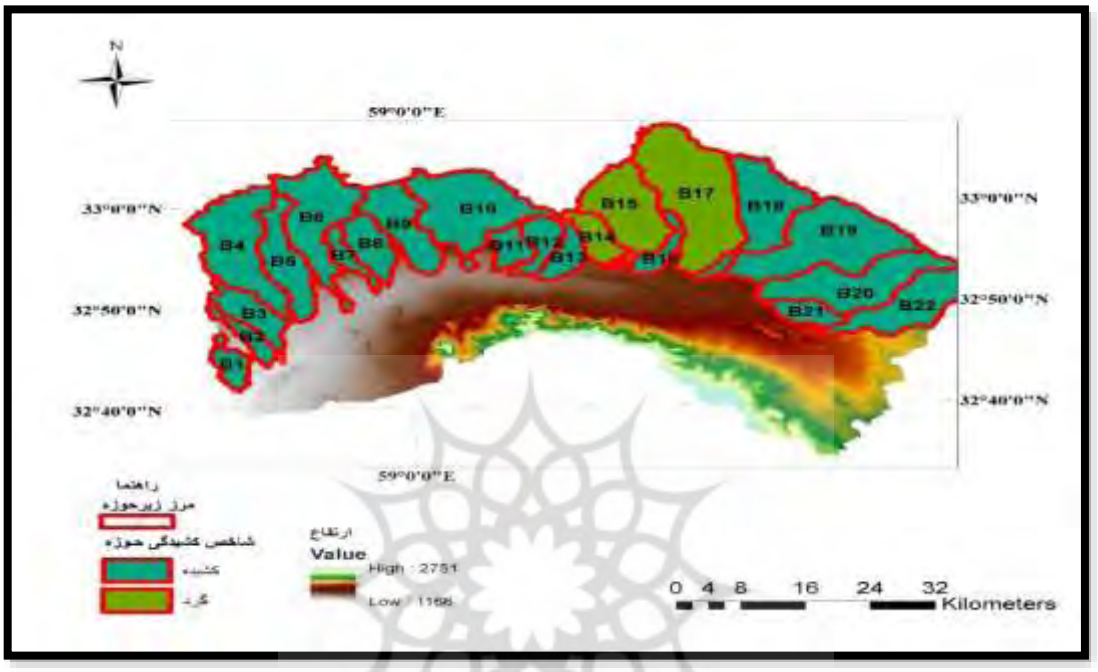
این شاخص اندازه نسبت قطر دایره به بیشترین طول حوزه است (شوم، ۱۹۵۶). کاهش این نسبت، بیشتر به دلیل فعالیت تکتونیکی فرض شده است که باعث به وجود آمدن گسل شده است (بول۱۹۷۷). بالاآمدگی یا فرونشست حوزه رودخانه را به شکاف واداشته و به حوزه زهکشی اجازه توسعه را نمی‌دهد. برعکس در حوزه‌هایی که فعالیت تکتونیکی ندارند انتظار می‌روند 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).

$$Re = Dc / L$$ رابطه‌ی (۱۰)

(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 می کند. بیشترین مقدار شاخص Re (Re=0.65) در زیرحوزه B14 در شمال حوزه قرار دارد که نشان دهنده گردشدگی 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.



شکل۹: شاخص نسبت کشیدگی حوزه شمال دشت بیرجند

شاخص نسبی فعالیت زمین ساختی(Iat)

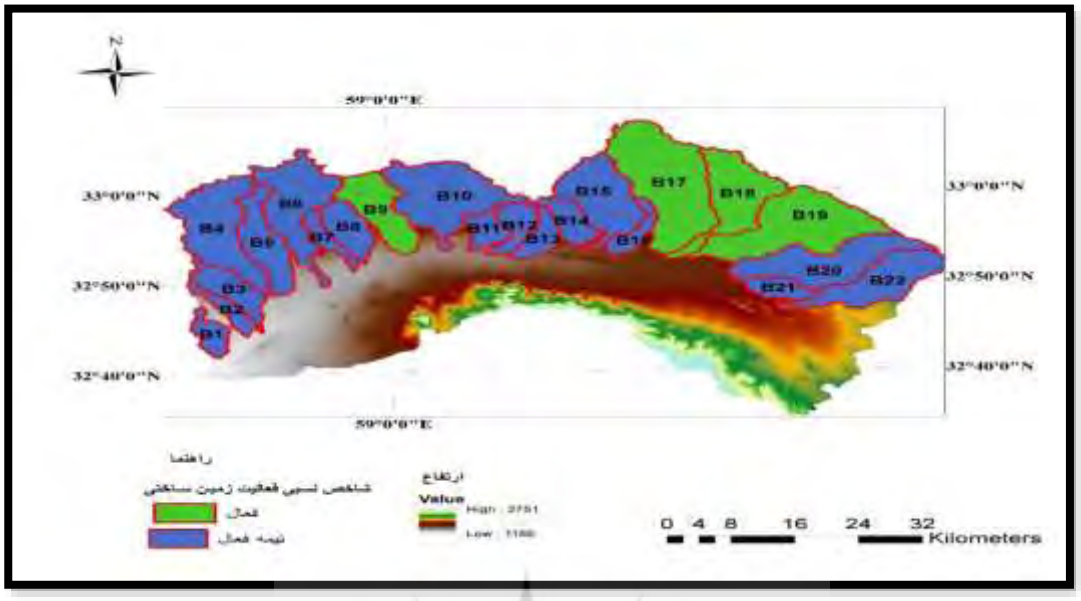
این شاخص برای تجزیه و تحلیل شاخص های ژئومورفولوژیک و جمع بندی نتایج آن ها مورد استفاده قرار می‌گیرد تا وضعیت نسبی فعالیت های زمین ساختی در منطقه مشخص شود. این شاخص با توجه به رابطه (۶) محاسبه می شود.

رابطه‌ی (۱۱) $$IRAT = S / N$$

(S) مجموع طبقات شاخص های ژئومورفیک

(N) تعداد شاخص های ژئومورفیک

مقدار شاخص فعالیت نسبی زمین ساخت بر مبنای نظریه همدونی و همکاران (۲۰۰۸) در چهار طبقه: خیلی زیاد (بسیارفعال) (1<Iat<1.5)، زیاد(فعال) (1.5<Iat<2)، متعادل (نیمه فعال) (2<Iat<5.2) و پایین (فعالیت کم) (Iat<5.2) طبقه بندی می شود. 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 پارامتر ها، نتایج به دست آمده نشان می دهد که 94.85 درصد مساحت حوزه در کلاس ۲ (فعال) قرار دارند و 5.15 درصد آن در محدوده ۳(نیمه فعال) قرارداند و این پارامتر نشان می دهد که منطقه شمال دشت بیرجند از نظر ریخت شناسی 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	کلاس AF	مقدار T	کلاس T	مقدار Smf	کلاس Smf	مقدار Hi	کلاس Hi
B1	۲،۹۹	۳	۰,۳۹	۲	۱،۱۳	۱	۰،۳۰	۳
B2	۷،۲۵	۲	۰,۴۹	۲	۱،۱۰	۱	۰،۳۱	۳
B3	۱۷،۹۱	۱	۰,۵۳	۱	۱،۱۹	۱	۰،۲۱	۳
B4	۲۹،۹۱	۱	۰,۷۷	۱	۱،۴۲	۱	۰،۳۸	۳
B5	۶،۳۰	۳	۰,۳۵	۲	۱،۱۲	۱	۰،۲۵	۳
B6	۲،۷۷	۳	۰,۳۶	۲	۱،۰۶	۱	۰،۳۷	۳
B7	۷،۰۸	۲	۰,۷۳	۱	۱،۰۹	۱	۰،۲۸	۳
B8	۹،۵۵	۲	۰,۴۲	۲	۱،۱۱	۱	۰،۲۷	۳
B9	۷،۷۷	۲	۰,۳۹	۲	۱،۱۷	۱	۰،۴۰	۲
B10	۰،۰۸	۳	۰,۲۴	۲	۱،۰۰	۱	۰،۳۲	۳
B11	۲۴،۹۴	۱	۰,۳۶	۲	۱،۰۴	۱	۰،۳۳	۳
B12	۱۱،۳۴	۲	۰,۳۹	۲	۱،۰۴	۱	۰،۳۱	۳
B13	۱۹،۹۱	۱	۰,۶۷	۱	۱،۱۲	۱	۰،۲۱	۳
B14	۱۳،۸۷	۲	۰,۷۲	۱	۱،۱۸	۱	۰،۳۰	۳
B15	۱۹،۱۸	۱	۰,۳۱	۲	۲،۱۲	۱	۰،۳۵	۳
B16	۴،۷۱	۳	۰,۶۹	۱	۱،۱۲	۱	۰،۲۸	۳
B17	۲۱،۸۸	۱	۰,۵۲	۱	۲،۰۳	۱	۰،۴۰	۲
B18	۲۱،۱۶	۱	۰,۶۸	۱	۰،۸۸	۲	۰،۴۲	۲
B19	۱۳،۳۳	۲	۰,۲۴	۲	۱،۰۱	۱	۰،۴۳	۲
B20	۲۲،۸۷	۱	۰,۵۱	۱	۱،۲۶	۱	۰،۳۵	۳

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

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

نام زیرحوزه	Ddمقدار	کلاس Dd	SRمقدار	کلاس SR	Reمقدار	کلاسRe	Teمقدار	کلاس Te	Cمقدار	کلاس C	Iatمیزان	کلاس Iat
B1	۱،۶۸	۳	۱،۰۷	۱	۰،۵۵	۱	۰،۸۸	۱	۰،۶۰	۱	۱،۰۹	۲
B2	۲،۰۰	۳	۱،۲۰	۲	۰،۲	۱	۰،۶۶	۱	۰،۵۰	۱	۱،۹	۲
B3	۱،۸۳	۳	۱،۱۵	۲	۰،۴۵	۱	۰،۸۹	۱	۰،۵۵	۱	۱،۷	۲
B4	۱،۷۵	۳	۱،۱۶	۲	۰،۲۷	۱	۱،۶۷	۲	۰،۵۷	۱	۱،۸	۲
B5	۱،۸۲	۳	۱،۱۲	۲	۰،۲۲	۱	۱،۰۴	۱	۰،۵۵	۱	۲	۲
B6	۱،۶۰	۳	۱،۱۵	۲	۰،۲۲	۱	۱،۱۱	۱	۰،۶۳	۱	۱،۹	۲
B7	۱،۹۶	۳	۱،۱۸	۲	۰،۱۹	۱	۰،۶۲	۱	۰،۵۱	۱	۱،۸	۲
B8	۲،۱۶	۳	۱،۱۶	۲	۰،۲۸	۱	۱،۵۵	۲	۰،۴۶	۱	۲	۲
B9	۱،۶۹	۳	۱،۰۷	۳	۰،۲۹	۱	۱،۴۰	۱	۰،۵۹	۱	۱،۹	۲
B10	۱،۸۱	۳	۱،۱۰	۲	۰،۳۳	۱	۱،۸۰	۲	۰،۵۵	۱	۲،۱	۳
B11	۱،۹۹	۳	۱،۱۳	۲	۰،۲۵	۱	۰،۹۱	۱	۰،۵۰	۱	۱،۸	۲
B12	۲،۰۸	۳	۱،۰۹	۱	۰،۵۹	۲	۱،۲۳	۱	۰،۴۸	۱	۱،۹	۲
B13	۲،۱۶	۳	۱،۱۷	۲	۰،۳۵	۱	۱،۰۹	۱	۰،۴۶	۱	۱،۷	۲
B14	۱،۹۸	۳	۱،۱۲	۲	۰،۶۵	۲	۱،۴۴	۱	۰،۵۰	۱	۱،۹	۲
B15	۱،۹۱	۳	۱،۰۸	۳	۰،۶۲	۲	۱،۹۶	۲	۰،۵۲	۱	۲،۱	۳
B16	۲،۱۵	۳	۱،۱۸	۲	۰،۴۸	۱	۰،۸۲	۱	۰،۴۷	۱	۱،۹	۲
B17	۱،۸۸	۳	۱،۱۶	۲	۰،۶۱	۲	۲،۷۳	۲	۰،۵۳	۱	۱،۸	۲
B18	۱،۸۰	۳	۱،۱۰	۲	۰،۵۳	۱	۱،۴۴	۱	۰،۵۵	۱	۱،۷	۲
B19	۱،۷۰	۳	۱،۱۵	۲	۰،۵۸	۲	۲،۱۴	۲	۰،۵۶	۱	۱،۹	۲
B20	۱،۹۵	۳	۱،۱۸	۲	۰،۴۹	۱	۱،۵۸	۲	۰،۵۱	۱	۱،۷	۲
B21	۲،۰۷	۳	۱،۱۵	۲	۰،۵۷	۲	۱،۲۶	۱	۰،۴۸	۱	۲	۲
B22	۱،۹۶	۳	۱،۰۴	۱	۰،۵	۱	۱،۴۶	۱	۰،۵۱	۱	۱،۸	۲

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. شاخص‌های ژئومورفیک استفاده شده در این پروژه نشان دهنده فعالیت تکتونیکی منطقه می‌باشد. بر اساس شاخص Af منطقه شمال دشت بیرجند در محدوده کلاس فعال و متوسط قرار دارند حدود ۶۵,۵ درصد از زیرحوزه‌ها دارای کج شدگی می‌باشند که نشان دهنده این است که منطقه در مرحله جوانی است. از نظر تقارن توپوگرافی T حدود ۵۶,۷۲ درصد از منطقه در کلاس ۱ قرار دارد و از حالت متقارن خارج شده و اکثر زیرحوزه ها به جهت غرب حوزه کج شده‌اند. حدود ۴۷٪ منطقه از نظر شاخص Vf در کلاس ۱ واقع شده که شامل دره‌های عمیق V شکل می‌باشد و ۵۱٪ منطقه در پهنه کلاس غیرفعال قرار دارد و نشان دهنده وجود دره‌های پیر U شکل می‌باشد، بیشتر این دره‌ها در دامنه‌های کوهستان و دره‌های عمیق در ارتفاعات بالادست قرار دارند که اکثرا در محدوده گسل‌های فعال منطقه واقع شده اند. از نظر شاخص انتگرال هیپسومتری ۲۲,۸۷درصد منطقه در محدوده کلاس ۲ (ارتفاع متوسط) واقع گردیده

و بیشتر وسعت دشت بیرجند را مناطقی با ارتفاع کم به خود اختصاص داده اند که حدود ۷۷,۰۶ درصد از مساحت حوزه را شامل می شود. شاخص Smf در اکثر زیرحوزه ها بیشتر از ۱ است بیش از ۹۶ درصد منطقه در کلاس فعال قرار دارد؛ همچنین شاخص S میزان پیچ و خم رودخانه را نشان می دهد، ۷۸,۵۴ درصد از کل زیرحوزه‌های منطقه آبراهه اصلی آن ها به حالت سینوسی می‌باشد. از طرفی۷۹,۶۰ درصد از زیرحوزه‌های منطقه بر اساس پارامتر Re کشیده و ۲۰درصد زیرحوزه‌ها گرد می باشند. از نظرتراکم زهکشی یا Dd شمال دشت بیرجند در کلاس۳ فعالیت قراردارد و شاخص نگه داشت کانال 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 دشت 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.، محمد زاده، م.۱۳۹۴.. پیش بینی تغییرات مکانی– زمانی سطح آب زیرزمینی در دشت بیرجند به روش کریجینگ، نشریه آب و فاضلاب، ۱(۲۴): ۹۴-۱۰۰.
- کرمی، ف.، ۱۳۸۸. ارزیابی ژئومورفیک فعالیت‌های تکتونیکی در حوضه زهکشی سعیدآباد چای ، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۶۹، ۶۷-۸۲.
- مقصودی، م.، جعفری اقدام، م.، باقری، س.، مینایی، م.، ۱۳۹۰. بررسی تکتونیک فعال حوضه‌ی آبخیز کفرآور با استفاده از شاخص های ژئومورفیک و شواهد ژئومورفولوژیکی، مجله جغرافیا و توسعه، ۲۵،۱۱۱-۱۳۶.
- *Ahmad. S, Alam. A, Bhat. M.2018. Tectono-geomorphic indices of the Erin basin, NE Kashmir valley, India۲۰۱۸ . Journal of Asian Earth Sciences 151 . 16–30*
- *Bull, W. B and Mc fadden, L., D., 1977. Tectonic geomorphology north and south of the Garlok 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 Doehring, 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., andAnderson, 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., andPirrotta, 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 AcambayGraben, 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.*