

## ارزیابی دقت و صحت شاخص‌های ژئومورفولوژیکی با استفاده از داده‌های ژئودینامیکی (مطالعه موردی: حوضه آبریز جاجرود در شمال شرق تهران)

محمدحسین رامشت: استاد ژئومورفولوژی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران  
هایسده آراء: دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران\*  
سیاوش شایان: استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران  
مجتبی یمانی: دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

وصول: ۱۳۹۰/۲/۲۸ پذیرش: ۱۳۹۰/۶/۲۲، صص ۵۲-۳۵

### چکیده

حوضه آبریز جاجرود به عنوان یکی از حوضه‌های کوهستانی کشور در شمال شرق استان تهران واقع شده است. وجود دو سیستم گسلی اصلی مشاء - فشم به طول تقریبی ۱۷۰ کیلومتر و گسل شمال تهران به طول ۷۵ کیلومتر و گسل‌های فرعی متعدد، نشان دهنده ظهور پدیده‌های مهم زمین ساختی در این منطقه است. بنابراین، هدف از این پژوهش بررسی وضعیت نو زمین ساخت در این حوضه با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژیکی و ارزیابی صحت و دقت نتایج حاصل از این شاخص‌ها با استفاده از داده‌های ژئودینامیکی است. برای دستیابی به این هدف از هفت شاخص ژئومورفولوژیکی: عدم تقارن حوضه زهکشی (AF)، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره (VF)، شکل حوضه (BS)، تقارن توپوگرافی عرضی (T)، منحنی هیسومتری حوضه (Hc)، پیچ و خم رود (S) و گرادیان طولی رود (SL) و همچنین داده‌های ژئودینامیکی ایستگاه دائمی GPS حوضه، به عنوان ابزارهای اصلی پژوهش بهره گرفته شده است. داده‌های مورد استفاده در ارزیابی شاخص‌های ژئومورفولوژیکی، نقشه‌های توپوگرافی، نقشه‌های زمین شناسی و تصاویر راداری بوده و در تحلیل داده‌ها و تهیه نقشه‌های مربوطه از سیستم اطلاعات جغرافیایی و نرم افزار ArcGIS ۹٫۳ استفاده شده است. داده‌های ژئودینامیکی حوضه نیز از بانک مشاهدات ایستگاه‌های دائمی GPS اداره کل نقشه برداری زمینی سازمان نقشه برداری ایران تهیه و با استفاده از نرم افزار GLOBK پردازش شد. نتایج حاصل از شاخص‌های ژئومورفولوژیکی و داده‌های ژئودینامیکی حاکی از آن است که حوضه مورد مطالعه این پژوهش از نظر نو زمین ساختی فعال، اما میزان فعالیت حرکات نو زمین ساخت در همه جا یکسان نبوده و مناطق بالادست حوضه از این لحاظ فعال تر است.

واژه‌های کلیدی: نو زمین ساخت، حوضه آبریز جاجرود، شاخص‌های ژئومورفولوژیکی، داده‌های ژئودینامیکی، سیستم اطلاعات جغرافیایی

### ۱- مقدمه

چند هزار سال اخیر، فعالیت‌های نو زمین ساختی آن را تحت تاثیر خود قرار نداده باشد. در حقیقت می‌توان گفت که نو زمین ساخت فعال در حال تغییر شکل سطح زمین است (والاس، ۱۹۷۷).

زمین سیستمی پویاست که تغییر و تحول از جمله ویژگی‌های آن است (رامشت و همکاران، ۱۳۸۱: ۳۰) و در سطح آن تقریباً منطقه‌ای پیدا نمی‌شود که طی

نوزمین‌ساخت فعال به مطالعه فرایندهای پویا و دینامیک موثر در شکل‌دهی زمین و چشم‌اندازهای موجود در آن می‌پردازد (کلر و پین‌تر، ۲۰۰۲: ۸۰)، در همین ارتباط، می‌توان با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال، در مدت زمان کوتاه فعالیت‌های زمین‌ساختی را مطالعه کرد و در تحقیقات دقیق‌تر آینده به کار گرفت. شاخص‌های ژئومورفولوژیکی در ارزیابی فعالیت‌های نو زمین‌ساختی ابزاری مفید هستند، زیرا با استفاده از آن‌ها می‌توان مناطقی را که در گذشته فعالیت‌های سریع و یا کند زمین‌ساختی را طی نموده‌اند، به راحتی شناسایی کرد (رامیرز و هررا، ۱۹۹۸: ۳۱۷). برخی از این شاخص‌های ژئومورفولوژیکی، به عنوان ابزارهای اساسی برای تشخیص تغییر شکل‌های سریع زمین‌ساختی تجربه و مورد امتحان واقع شده‌اند و به طور وسیع مورد استفاده قرار گرفته‌اند. آنگاه نتایج حاصل در طرح‌های تحقیقاتی، برای کسب اطلاعات جامع و کامل درباره تکتونیک فعال مورد استفاده قرار می‌گیرند. این شاخص‌ها به طور خاص، برای مطالعات تکتونیک فعال استفاده می‌شوند. این موضوع به دلیل نقش این شاخص‌ها در ارزیابی سریع مناطق وسیع از نظر میزان تاثیر فعالیت‌های تکتونیکی می‌باشد (گورابی و نوحه گر، ۱۳۸۶: ۱۷۸). استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژیکی در مطالعه فعالیت‌های نو زمین‌ساختی توسط (بول و مک فادن، ۱۹۷۷) آغاز و به وسیله محققین دیگری همچون (راکول و همکاران، ۱۹۸۵) در جنوب غرب آمریکا، (ولز و همکاران، ۱۹۸۸) در سواحل کاستاریکا، (سیلوا و همکاران، ۲۰۰۳) در سواحل مدیترانه‌ای اسپانیا، (گازنیری و پیروتا، ۲۰۰۸) در شمال شرقی سیسیل مورد استفاده و آزمون قرار گرفته است. در ایران

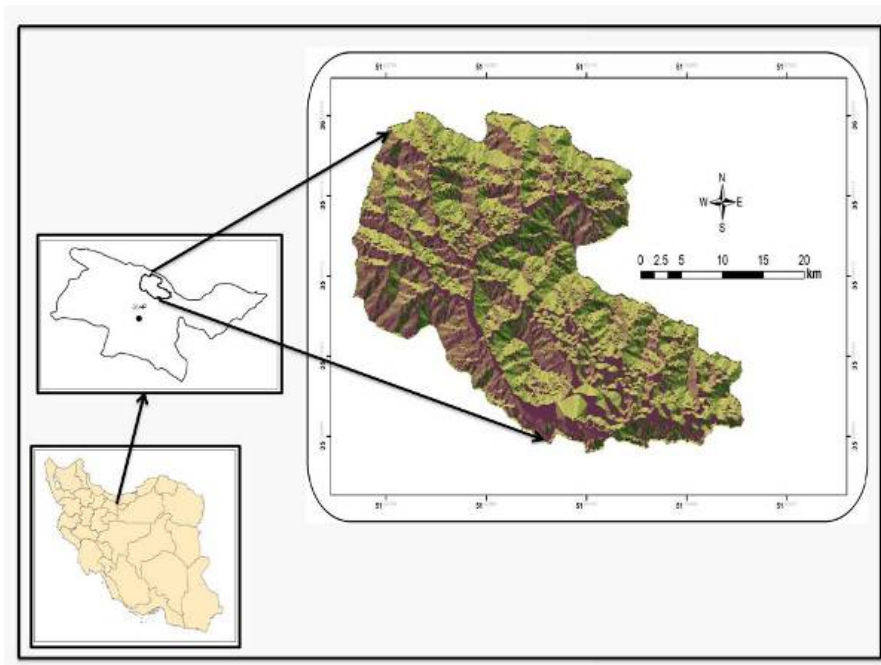
(خیام و مختاری، ۱۳۸۲) در دامنه شمالی می‌شو داغ، (مددی و همکاران، ۱۳۸۳) در دامنه شمال غربی تالش، (وحدتی دانشمندی و همکاران، ۱۳۸۵) برای سپید رود و دشت گیلان، (گورابی و نوحه گر، ۱۳۸۶) برای حوضه آبریز درکه، (یمانی و همکاران، ۱۳۸۷) در دامنه‌های کرکس، (مقصودی و کامرانی، ۱۳۸۷) در مورد رودخانه تجن، (کریمی، ۱۳۸۸) برای حوضه آبریز اوجان چای، (بیاتی خطیبی، ۱۳۸۸) برای حوضه آبریز قرنقوچای، (رامشت و همکاران، ۱۳۸۸) در مخروطه افکنه درختگان شهداد کرمان، (روستایی و همکاران، ۱۳۸۸) در مورد مخروطه افکنه‌های دامنه‌های جنوبی آلا داغ و (سیف و خسروی، ۱۳۸۹) در قلمرو تراسز زاگرس منطقه فارسان، برای مشخص کردن فعالیت‌های نو زمین‌ساختی از این شاخص‌ها، استفاده کرده‌اند. فعال بودن سیستم‌های گسلی اصلی و فرعی در حوضه مورد مطالعه، وجود تراس‌های آبرفتی متعدد در حاشیه رود جاجرود و سرشاخه‌های فرعی آن، تندآب‌ها، پهن و باریک شدن بستر کانال و تغییر مسیر و تغییر در نیمرخ طولی و عرضی رود، همه نشان‌های گذر از یک منطقه فعال تکتونیکی هستند. بنابراین، با توجه به اهمیت ارزیابی کامل فعالیت‌های تکتونیکی، به خصوص حرکات تکتونیکی معاصر و جوان و خطرات ناشی از آنکه از جمله این خطرات، از بین بردن تعادل نسبی دامنه‌ها و فراهم نمودن شرایط برای بروز انواع حرکات بعضاً مخاطره آمیز دامنه‌ای می‌باشد، هدف از این پژوهش نیز مشخص نمودن وضعیت فعالیت‌های نو زمین‌ساختی در حوضه آبریز جاجرود در شمال شرق استان تهران است. اما از آنجا که بسیاری از محققان، برای ارزیابی وضعیت حرکات نئوتکتونیکی در پهنه‌های مورد

گرفته است (اصغری، ۱۳۸۷: ۲۴). این حوضه از شمال و شمال خاوری به حوضه رودخانه لار، از خاور به حوضه رودخانه حبله رود، از خاور و جنوب خاوری به حوضه نم‌رود و از شمال باختری به حوضه رود کرج و از باختر به رودهای کوچک جنوب تهران و کویر نمک محدود می‌شود. (جنت دوست، ۱۳۷۲: ۱۰) (شکل ۱). از نظر لیتولوژی، حوضه مورد مطالعه دارای ۲۶ سازند متفاوت زمین‌شناسی است که بخش اعظم مساحت آن را سازندهای کرج، فجن، شمشک، الیکا و هزار دره تشکیل می‌دهند که عمدتاً از توف، سنگ‌های آذر آواری، شیل، آهک، کنگلومرا، ماسه سنگ و سیلت استون می‌باشد. سن قدیمی‌ترین رسوب‌های حوضه، به پره کامبرین و سن جدیدترین نهشته‌ها به دوره کواترنر باز می‌گردد.

مطالعه خود بیشتر از شاخص‌های ژئومورفولوژیکی استفاده نموده‌اند، محققان این پژوهش سعی داشته‌اند که به لحاظ نوآوری در روش تحقیق، نتایج حاصل از محاسبه و اندازه‌گیری این شاخص‌ها در منطقه مورد مطالعه خود را با نتایج حاصل از داده‌های ژئودینامیکی منطقه تلفیق و در پایان با استناد به این یافته‌ها، در مورد وضعیت نئوتکتونیک حوضه مورد مطالعه این پژوهش قضاوت نمایند.

## ۲- معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه جاجرود بین طول ۵۱ درجه و ۲۲ دقیقه الی ۵۱ درجه و ۵۲ دقیقه شرقی و عرض ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه الی ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی واقع شده است و با مساحتی در حدود ۷۱۰ کیلومتر مربع از مناطق حفاظت شده سازمان محیط زیست، در دامنه‌های جنوبی سلسله جبال البرز مرکزی قرار



شکل ۱- نقشه موقعیت حوضه جاجرود در استان تهران (ماخذ: نویسندگان)

مخروط افکنه‌ها، واریزه‌ها و آبرفت‌های عهد حاضرند که حدود ۸ درصد مساحت حوضه را به خود

نهشته‌های کواترنر حوضه عمدتاً شامل آبرفت‌های کانال رودخانه‌ای، پادگانه‌های آبرفتی قدیمی و جدید،

اختصاص داده‌اند (کرم و همکاران، ۱۳۸۹: ۵۶). ویژگی‌های زمین‌شناسی و لیتولوژیکی حوضه جاجرود و سیستم‌های گسلی مهمی چون گسل مشاء - فشم و گسل شمال تهران در این محدوده، به عنوان بخشی از سیستم تکتونیکی پیچیده یال جنوبی البرز، باعث گردیده تا حوضه مورد نظر فیلد می‌دانی مناسبی برای ارزیابی شاخص‌های تکتونیک جنبا باشد.

### ۳- مواد و روش‌ها

در این پژوهش برای دستیابی به هدف تحقیق، اطلاعات کتابخانه‌ای، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، حوضه مورد مطالعه (۵ شیت) و نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ استان تهران (برای ترسیم لایه خطی گسل‌های منطقه)، تصاویر راداری ماهواره پالسار (برای تهیه DEM) و داده‌های ژئودینامیکی ایستگاه دائمی GPS حوضه جاجرود، مهم‌ترین ابزارهای پژوهش بوده‌اند. به منظور تحلیل و ارزیابی وضعیت نو زمین‌ساختی محدوده مورد مطالعه از شاخص‌های ژئومورفولوژیکی، عدم تقارن حوضه زهکشی، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره، شکل حوضه، تقارن توپوگرافی عرضی، منحنی هیپسومتری حوضه، پیچ و خم رود و گرادیان طولی رود استفاده شده که به منظور محاسبه و اندازه‌گیری این شاخص‌ها و ترسیم شبکه آبراهه‌ها، نقشه‌های توپوگرافی حوضه جاجرود در محیط نرم‌افزاری Arc GIS، زمین مرجع و رقومی گردید. همچنین برای اندازه‌گیری شاخص گرادیان طولی رود، نیمرخ طولی رودخانه جاجرود با استفاده از DEM (به دست آمده از تصاویر راداری ماهواره پالسار) حوضه ترسیم گردید. مشاهدات ایستگاه دائمی GPS حوضه در بازه زمانی مشخص (از سال

۲۰۰۶ میلادی تا سال ۲۰۱۰ میلادی) به صورت روزانه با کمک کارشناسان اداره کل نقشه برداری زمینی سازمان نقشه برداری ایران و با استفاده از نرم افزار GAMIT- GLOBK پردازش و سپس سری‌های زمانی از پردازش‌های به عمل آمده برای سه مولفه مختصات  $E$ ،  $N$ ،  $H$  ترسیم گردید. تکنیک اصلی این پژوهش، تحلیل نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص‌های ژئومورفولوژیکی و تأیید نتایج بدست آمده از محاسبه این شاخص‌ها با استفاده از تحلیل سری‌های زمینی حاصل از داده‌های مشاهداتی ایستگاه دائمی GPS حوضه مورد مطالعه است.

### ۴- بحث اصلی

#### ۴-۱- نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های

#### ژئومورفولوژیکی

شاخص‌های ژئومورفیک به عنوان یکی از ابزارهای اساسی برای پی بردن به وضعیت و میزان تاثیر فعالیت‌های نئوتکتونیکی در سطح زمین می‌باشند که بارها توسط محققان بی‌شماری مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این موضوع به دلیل نقش این شاخص‌ها در ارزیابی سریع مناطق وسیع از نظر تکتونیکی و سهولت دسترسی به نقشه‌های توپوگرافی، تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی برای اندازه‌گیری این شاخص‌ها می‌باشد. بر این اساس نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص‌های مذکور در حوضه مورد مطالعه به شرح ذیل می‌باشد:

#### ۴-۱-۱- شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی:

شکل هندسی شبکه رودها را می‌توان از نظر کیفی و کمی با روش‌های متعددی توصیف کرد. در مناطقی که شبکه زهکشی در حضور تغییر شکل‌های تکتونیکی توسعه پیدا می‌کند، شبکه زهکشی اغلب

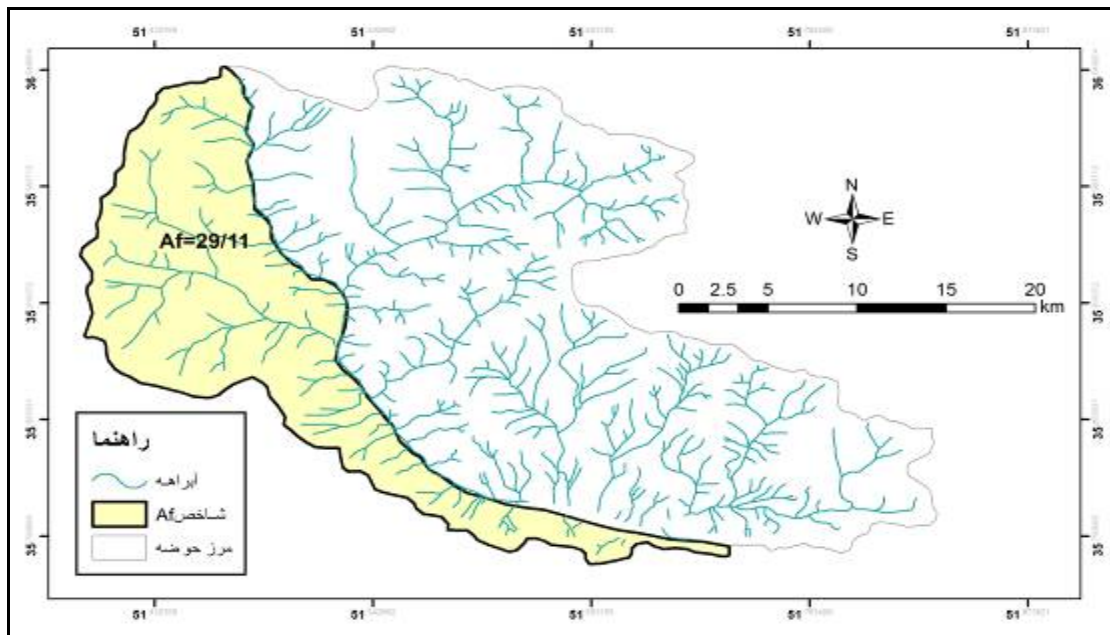
غربی و شرقی حوضه را می‌بایست در جهت جریان رود در نظر گرفت. اگر مقدار عددی این شاخص در حدود ۵۰ باشد، نشان دهنده وجود تقارن در دو سمت آبراهه اصلی و در نتیجه عدم فعالیت نو زمین‌ساختی است. در صورتی که حوضه آبریز تحت تاثیر این نیروها قرار داشته باشد ممکن است که مقدار عددی به دست آمده  $Af$  کمتر یا بیشتر از ۵۰ باشد. اگر میزان این شاخص بزرگتر از ۵۰ باشد نشان دهنده فرازش در سمت غرب آبراهه اصلی است و اگر میزان شاخص کوچکتر از ۵۰ باشد نشان دهنده فرازش در سمت شرق آبراهه اصلی است. (شکل ۲) (گورابی و نوحه گر، ۱۳۸۶: ۱۸۳).

دارای شکل هندسی و الگوی متمایزی می‌باشد. عامل عدم تقارن، برای توصیف و درک ارتباط کج شدگی تکتونیکی در نواحی‌ای با مقیاس حوضه زهکشی و بزرگ‌تر ارتباط داده شده است (گورابی و نوحه گر، ۱۳۸۶: ۱۸۲).

شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی به کج شدگی زمین در اثر فعالیت‌های زمین‌ساختی دلالت داشته و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{رابطه ۱: } Af=100 (Ar/At)$$

در این رابطه  $Af$  عدم تقارن حوضه،  $Ar$  مساحت بخش غرب حوضه نسبت به رود اصلی و  $At$  مساحت کل حوضه است. باید توجه داشت که بخش



شکل ۲- برآورد شاخص  $Af$  در حوضه جاجرود (ماخذ: نویسندگان)

بخش غربی بوده و در نتیجه کج شدگی به سمت غرب حوضه یعنی ساحل غربی رود است.

۴-۱-۲ - شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره: نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن، دیگر شاخص ژئومورفولوژی است که برای بررسی میزان فعالیت نیروهای زمین‌ساختی در یک منطقه استفاده

بر اساس نتیجه حاصل از اندازه‌گیری‌ها در رابطه یک:  $Af = 100 (212.73/696.83) = 29.11$ ، می‌توان گفت که حوضه مورد مطالعه از نظر نو زمین‌ساختی فعال بوده و بخش شرقی حوضه نسبت به بخش غربی آن فعال‌تر است. تحت تاثیر این فعالیت، شاخه‌های فرعی در بخش شرقی حوضه طولانی‌تر از

متوسط کف دره از سطح دریا،  $Erd =$  ارتفاع خط‌الرأس سمت راست رودخانه، خط تقسیم سمت راست (از سطح دریا)،  $Eld =$  ارتفاع خط‌الرأس سمت چپ رودخانه، خط تقسیم سمت چپ (از سطح دریا) (جدول ۱).

جدول ۱- میزان فعالیت زمین‌ساختی با توجه به مقدار

$Vf$  (بول و مک فادن، ۱۹۷۷)

وضعیت تکتونیکی	مقدار $Vf$
فعال	کمتر از ۱
نیمه فعال	۱ تا ۲
غیر فعال	بیشتر از ۲

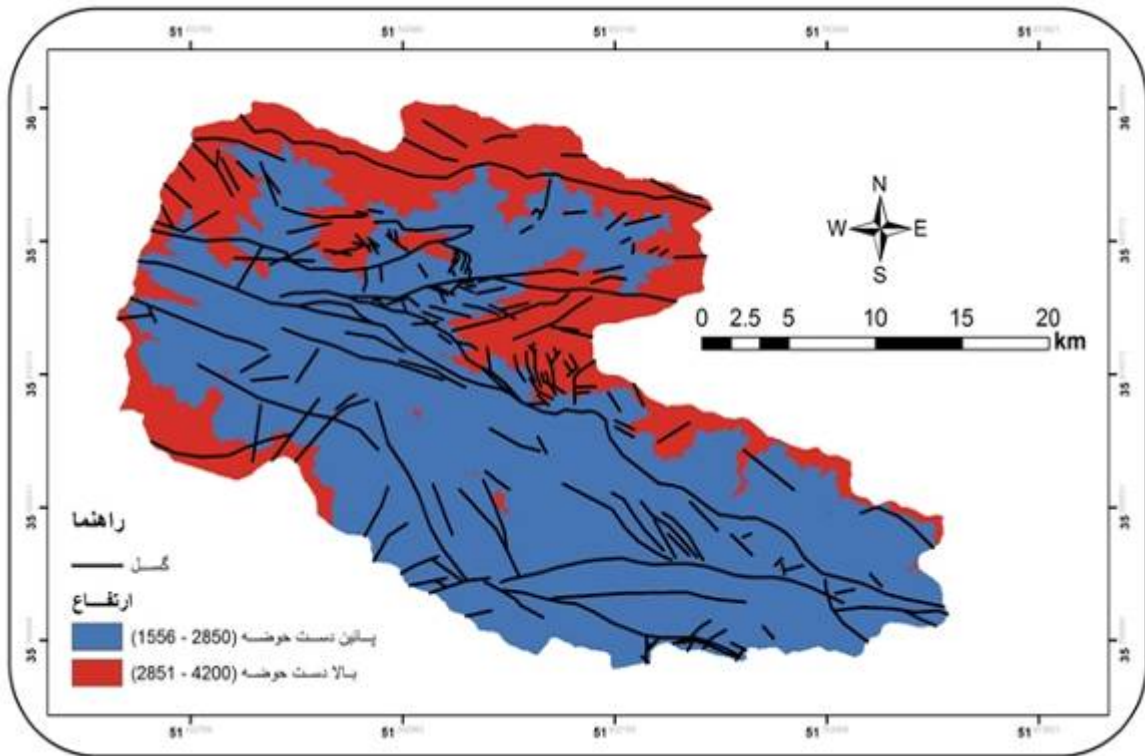
برای اندازه‌گیری این شاخص در محدوده مورد مطالعه، ۱۵ مقطع عرضی تهیه و مقادیر شاخص  $Vf$  برای هر یک از این مقاطع با استفاده از نقشه توپوگرافی به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰۰ محاسبه گردید. با توجه به میانگین مقادیر بدست آمده در بالا دست (ارتفاع ۲۸۵۱ متری تا ۴۲۰۰ متری)، میانه و پائین حوضه (ارتفاع ۱۵۵۶ متری تا ارتفاع ۲۸۵۰ متری)، می‌توان گفت که در راس حوضه حرکات نو زمین‌ساختی فعال‌تر از قسمت‌های پایین دست و خروجی حوضه است (شکل ۳) (جدول ۲). در نتیجه بالآآمدگی حوضه در بخش‌های بالایی (ارتفاع ۲۸۵۱ متری تا ۴۲۰۰ متری) آن بیشتر و دره‌ها تنگ‌تر هستند که می‌توان دلیل آن را فعالیت گسل مشاء - فشم در این بخش از حوضه دانست.

می‌شود. بدون شک مورفولوژی دره‌ها متفاوت است. به عنوان مثال، بعضی دره‌ها  $V$  شکل و بعضی از آنها که عمدتاً در پایکوه قرار دارند، دارای کف پهن یا  $U$  شکل هستند. بنابراین، نسبت پهنای دره‌ها به ارتفاع دیواره‌ها متفاوت خواهند بود. نسبت پهنای دره به ارتفاع آن را معمولاً در فاصله معینی از جبهه کوهستان (معمولاً یک کیلومتر از جبهه کوهستان به طرف بالادست رود) اندازه‌می‌گیرند (بول و مک فادن، ۱۹۷۷: ۱۲۶). این شاخص معمولاً نشان می‌دهد که آیا رود به حفر بستر خود می‌پردازد و یا این که عمدتاً فرسایش به صورت جانبی به طرف ارتفاعات و دامنه‌های حاشیه رود انجام می‌گیرد. مقادیر بالای این شاخص نشان دهنده بالآآمدگی اندک نو زمین‌ساختی است. بنابراین رود پهنای بستر خود را فرسایش می‌دهد و در حال تعریض بستر خود است. مقادیر کم این شاخص نیز نشان دهنده دره‌های عمیق همراه با رودهایی است که به طور فعال کف بستر خود را حفر کرده و به طور معمول همراه با بالآآمدگی نو زمین‌ساختی است. این شاخص بر طبق رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

رابطه ۲:

$$Vf = \frac{2Vfw}{(Eld - Esc) + (Erd - Esc)}$$

در این رابطه،  $Vf =$  نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره،  $Vfw =$  پهنای کف دره،  $Esc =$  ارتفاع



شکل ۳- مناطق پائین دست و بالا دست حوضه (ماخذ: نویسندگان)

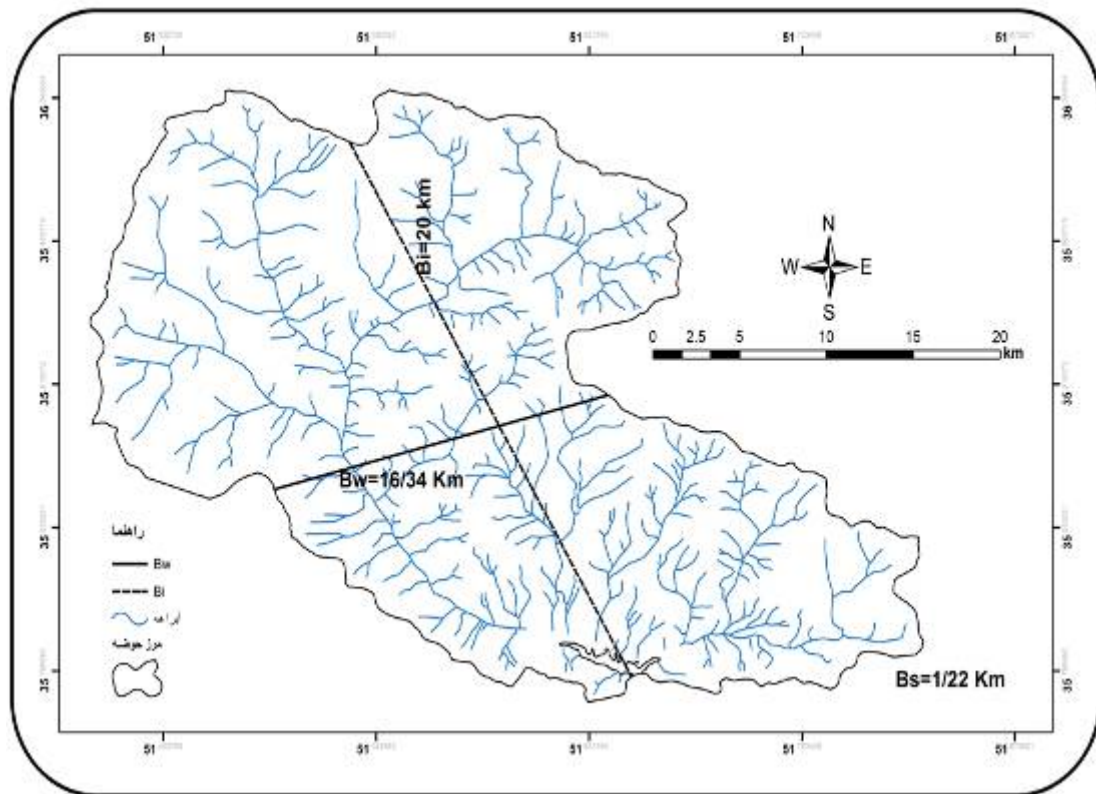
جدول ۲- مقادیر اندازه گیری شده شاخص Vf در حوضه مورد مطالعه (ماخذ: نویسندگان)

مقادیر شاخص Vf	منطقه
۰/۶۰	بالا دست حوضه
۰/۲۷	میانه حوضه
۱/۱	پائین دست حوضه

فرآیندهای فرسایشی، شکل حوضه به تدریج در طی زمان دایره ای می شود و شاخص کاهش می یابد (کرمی، ۱۳۸۸: ۱۴۹) (شکل ۴). این شاخص از طریق رابطه ۳ به دست می آید:

$$Bs = B_l / B_w \quad \text{رابطه ۳:}$$

۴-۱-۳- شاخص شکل حوضه: نسبت شکل حوضه زهکشی نیز شاخصی است که در ارزیابی فعالیت های تکتونیکی به کار می رود. معمولاً حوضه‌هایی که از نظر زمین ساختی فعال هستند، شکل کشیده دارند. با توقف فعالیت یا غلبه



شکل ۴- محاسبه شاخص  $B_S$  در حوضه آبریز مورد مطالعه (ماخذ: نویسندگان)

$T =$  شاخص تقارن توپوگرافی عرضی،  $D_a$  فاصله نوار مائندری فعال از خط میانی حوضه آبی،  $D_d$  فاصله خط میانی حوضه آبی از خط مرز حوضه (شکل ۵). در حوضه‌های کاملاً متقارن مقدار عددی این شاخص صفر است. اما با کاهش تقارن حوضه، میزان شاخص افزایش یافته و به عدد یک نزدیک می‌شود. فرض بر این است که شیب طبقات بر مهاجرت مجرای اصلی رود تاثیر ناچیزی داشته است، در این صورت مهاجرت عمومی و کلی دلیلی بر کج شدگی زمین در جهت خاص است. بنابراین،  $T$  نشان دهنده یک بردار با جهت و مقدار (۰-۱) است. این تجزیه و تحلیل بیشتر برای حوضه های زهکشی با الگوی دندریتیک مناسب است. مناطقی که ارزیابی انشعاب دره ها به خوبی دره یا تنه اصلی باشد،

در این رابطه  $B_I$  طول حوضه آبریز بوده که از خروجی حوضه تا انتهایی‌ترین بخش حوضه را در بر گرفته و  $B_W$  عرض حوضه آبریز است. مقادیر بالای  $B_S$  نشان دهنده فعال بودن نو زمین ساخت حوضه آبریز است. شکل کشیده و مقدار عددی بالای شاخص  $B_S$  برای حوضه آبریز مورد مطالعه که ۱,۲۲ بوده، بیانگر فعال بودن حرکات نو زمین‌ساختی در این حوضه است.

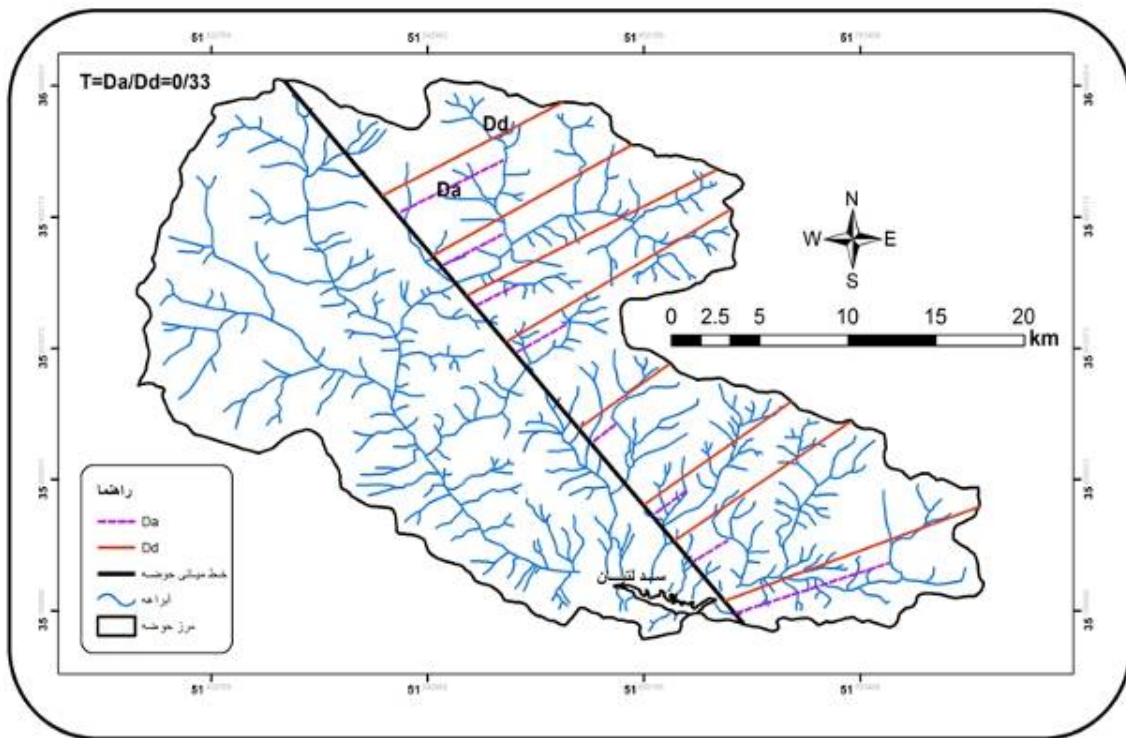
۴-۱-۴- شاخص تقارن توپوگرافی عرضی: این شاخص هم می‌تواند وضعیت تقارن و در نتیجه فعال یا غیرفعال بودن منطقه را مشخص نماید. این شاخص با رابطه ۴ محاسبه می‌شود.

$$T = \frac{D_a}{D_d} \quad \text{رابطه ۴:}$$



مشخص و مقادیر هر یک از آنها طبق رابطه فوق محاسبه شد که میانگین آن ۰,۳۳ است (جدول ۳). این عدد حاکی از فعال بودن نو زمین ساخت در حوضه است و همچنین می‌توان گفت که رود در حال فرسایش بستر خود است.

محدوده‌های مقادیر بزرگ T مجاز است (گورابی، نوحه گر، ۱۳۸۶ : ۱۸۴). مقادیر عددی نزدیک به یک نشان دهنده فرایش در منطقه و در نتیجه نو زمین ساخت فعال است. برای محاسبه این شاخص در حوضه آبریز جاجرود، ۸ مقطع بر روی حوضه



شکل ۵- نحوه محاسبه شاخص تقارن توپوگرافی عرضی (ماخذ: نویسندگان)

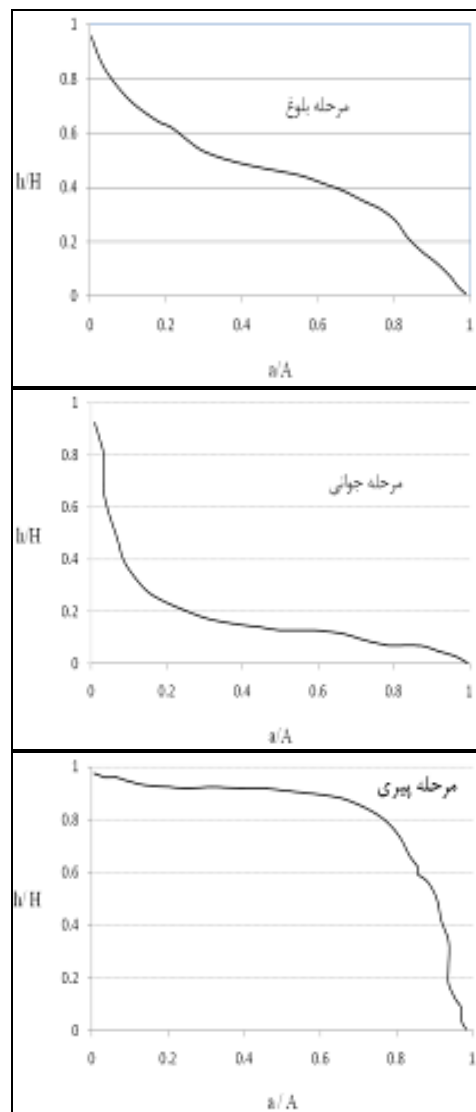
جدول ۳- مقادیر شاخص تقارن توپوگرافی حوضه آبریز جاجرود (ماخذ: نویسندگان)

T	Dd (Km)	Da (Km)	مسیر
۰/۵۸	۱۰/۰۵	۵/۸۴	۱
۰/۳۱	۱۱/۲۰	۳/۴۵	۲
۰/۱۶	۱۳/۸۱	۲/۲۲	۳
۰/۲۴	۱۲/۷۴	۳/۰۸	۴
۰/۲۸	۵/۷۳	۱/۵۸	۵
۰/۲۳	۹/۲۴	۲/۰۸	۶
۰/۲۱	۱۰/۵۳	۲/۲۱	۷
۰/۶۰	۱۲/۹۹	۷/۷۳	۸
۰/۳۳	-	-	میانگین

۴-۱-۵- شاخص منحنی هیپسومتری حوضه:

منحنی‌های هیپسومتری، پراکنش سطوح ارتفاعی یک حوضه را از سطح آبهای آزاد ارزیابی و توصیف می‌کنند. این منحنی‌ها با ترسیم ارتفاع کل در مقابل مساحت کل حوضه ترسیم می‌گردند (علیزاده، ۱۳۸۰: ۴۴۸). با تقسیم مساحت و ارتفاع این نمودار بر مساحت کل حوضه و حداکثر ارتفاع حوضه، می‌توان آن‌را به صورت بی‌بعد نشان داد. از طریق مقایسه

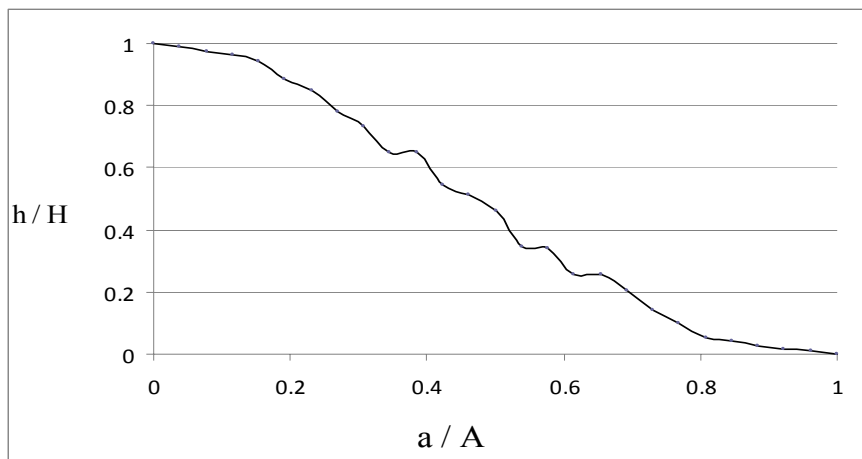
منحنی هیپسومتری بدست آمده با منحنی‌های نظری می‌توان وضعیت نوزمین‌ساخت حوضه را مشخص کرد. در منحنی‌های نظری مذکور، مرحله جوانی، با برش‌های عمیق و برجستگی‌های ناهموار و ناصاف؛ مرحله بلوغ، با بروز فرایندهای ژئومورفیک تقریباً به طور متوازن و متعادل و مرحله پیری با چشم‌اندازهای نزدیک به سطح اساس با برجستگی‌های بسیار هموار شده و مقهور توصیف می‌شود (شکل ۶).



شکل ۶- منحنی‌های هیپسومتری نظری چرخه فرسایش (کلر و پیتتر، ۲۰۰۲)

منحنی بی‌بعد نشان دهنده غلبه فعالیت‌های فرسایشی بر فعالیت نو زمین‌ساختی است. با توجه به نوع شکل نیز می‌توان گفت که این حوضه از نظر نو زمین‌ساختی وضعیتی فعال دارد.

در شکل ۷ منحنی هیپسومتری حوضه آبریز مورد مطالعه نشان داده شده که حاکی از مرحله جوانی در آن است. همچنین تحذب در منحنی بی‌بعد نشان دهنده غلبه فعالیت نو زمین‌ساختی حوضه بر فعالیت‌های فرسایشی است در حالی که تقعر در



شکل ۷- منحنی هیپسومتری بی‌بعد حوضه آبریز مورد مطالعه (ماخذ: نویسندگان)

قابل دسترس رود در محدوده مشخص مجرا، متغیر هیدرولوژیکی مهمی است. زیرا به توانایی یک رود در فرسایش کف بستر آن و همچنین حمل مواد فرسایشی ارتباط دارد (گورابی و نوحه گر، ۱۳۸۶: ۱۸۵). این شاخص از طریق رابطه ۷ حاصل می‌شود:

$$SL = \frac{\Delta H}{\Delta L} \times L \quad \text{رابطه ۷:}$$

در این رابطه  $\Delta H$  اختلاف ارتفاع دو نقطه معین،  $\Delta L$  فاصله افقی همان دو نقطه و  $L$  طول رود از نقطه مرکزی تا سرچشمه رود است. با توجه به رابطه می‌توان گفت که  $\Delta H / \Delta L$  در واقع همان رابطه شیب است. میزان قدرت رود به مقدار دبی و شیب بستر بستگی دارد. از این طریق می‌توان دریافت که این شاخص به تغییرات شیب حساس بوده و همین مسئله سبب شده تا بتوان روابط میان فعالیت‌های

۴-۱-۶- شاخص پیچ و خم رود: بالا بودن پیچ و خم رود نشان دهنده پایداری نسبی نو زمین‌ساختی حوضه است. این شاخص از طریق رابطه ۶ حاصل می‌شود:

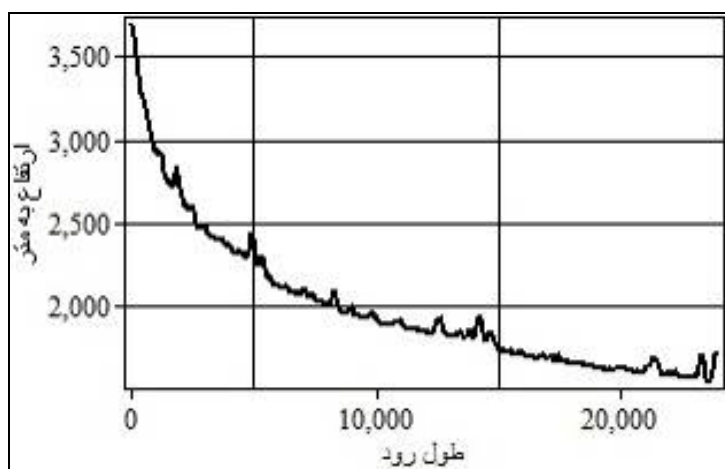
رابطه ۶  $S = c / v$  در این رابطه  $c$  طول رود و  $v$  طول دره در خط مستقیم، می‌باشند. هر چه مقادیر بدست آمده زیاد باشد، حاکی از نزدیک شدن رود به حالت تعادل بوده و هر اندازه کمتر باشد دلیل فعال بودن نو زمین‌ساخت در حوضه است (مددی و همکاران، ۱۳۸۳: ۱۳۱). میزان این شاخص بر اساس رابطه فوق برابر است با:

$$S = 4.6 / 3.4 \quad S = 1.35$$

۴-۱-۷- شاخص گرا دیان طولی رود: این شاخص مرتبط با قدرت جریان رود است. نیروی

رود تهیه و منحنی‌های ۱۰۰ متری از آن ترسیم شد (شکل ۸). مقدار این شاخص در فاصله‌های ۱۰۰ متری محاسبه گردید. با توجه به نتایج حاصل از محاسبات، این شاخص بین ۰٫۱۶ تا ۴۸٫۶۳ است. بیشترین مقدار مربوط به نقاط ۱۶۰۰ متر و ۱۸۰۰ متر بوده و کمترین آنها ارتفاع ۳۴۰۰ متری است.

زمین‌ساختی، مقاومت سنگ و توپوگرافی را ارزیابی کرد (مددی و همکاران، ۱۳۸۳). مقادیر زیاد SL در سنگ‌های با مقاومت کم و یا در سنگ‌هایی که از نظر مقاومت یکسان هستند، می‌تواند نشان دهنده حرکات نو زمین‌ساختی فعال و جوان باشد. برای ارزیابی شاخص گرادیان طولی رود در حوضه آبریز مورد مطالعه با استفاده از مدل رقومی ارتفاع نیمرخ طولی



شکل ۸- نیمرخ طولی رود جاجرود در حوضه آبریز مورد مطالعه (ماخذ: نویسندگان)

همین قلمرو ارتفاعی (سازند لالون)، شیل و تناوب شیل و ماسه سنگ در قلمرو ارتفاعی ۲۵۰۰ متری تا ۲۷۰۰ متری (سازند زاگون) که همگی از درجه مقاومت بالایی برخوردارند با مناطق افزایش شاخص گرادیان طولی رود در حوضه مورد مطالعه منطبق است و بررسی‌ها وجود ارتباط میان افزایش و کاهش شاخص SL و میزان مقاومت سنگها و عملکرد گسل‌ها را به خوبی ثابت کرده است.

روند نیمرخ طولی رود جاجرود با توجه به نمودار بالا در طول مسیر، شیب یکسانی ندارد و در قسمت‌های مختلف آن با تغییراتی همراه است. مراجعه به نقشه زمین‌شناسی حوضه مشخص کرد که شاخص گرادیان طولی رود، ارتباط نزدیکی با شرایط لیتولوژیکی و عملکرد گسل‌های منطقه دارد. غلبه سنگ‌های بازالتی و ماسه سنگ‌های مقاوم با بافت ریزدانه سیلیسی در قلمرو ارتفاعی ۲۵۰۰ متری تا ۴۰۰۰ متری (سازند جیروود)، ماسه سنگ، سنگ آهک و شیل با بافت ریزدانه سیلیسی و ساختمان توده‌ای و لایه لایه در قلمرو ارتفاعی ۲۵۰۰ متری تا ۳۵۰۰ متری (سازند میلا)، ماسه سنگ با بافت ناهمگن در

## ۴-۲- تحلیل رفتاری مشاهدات ایستگاه دائمی GPS

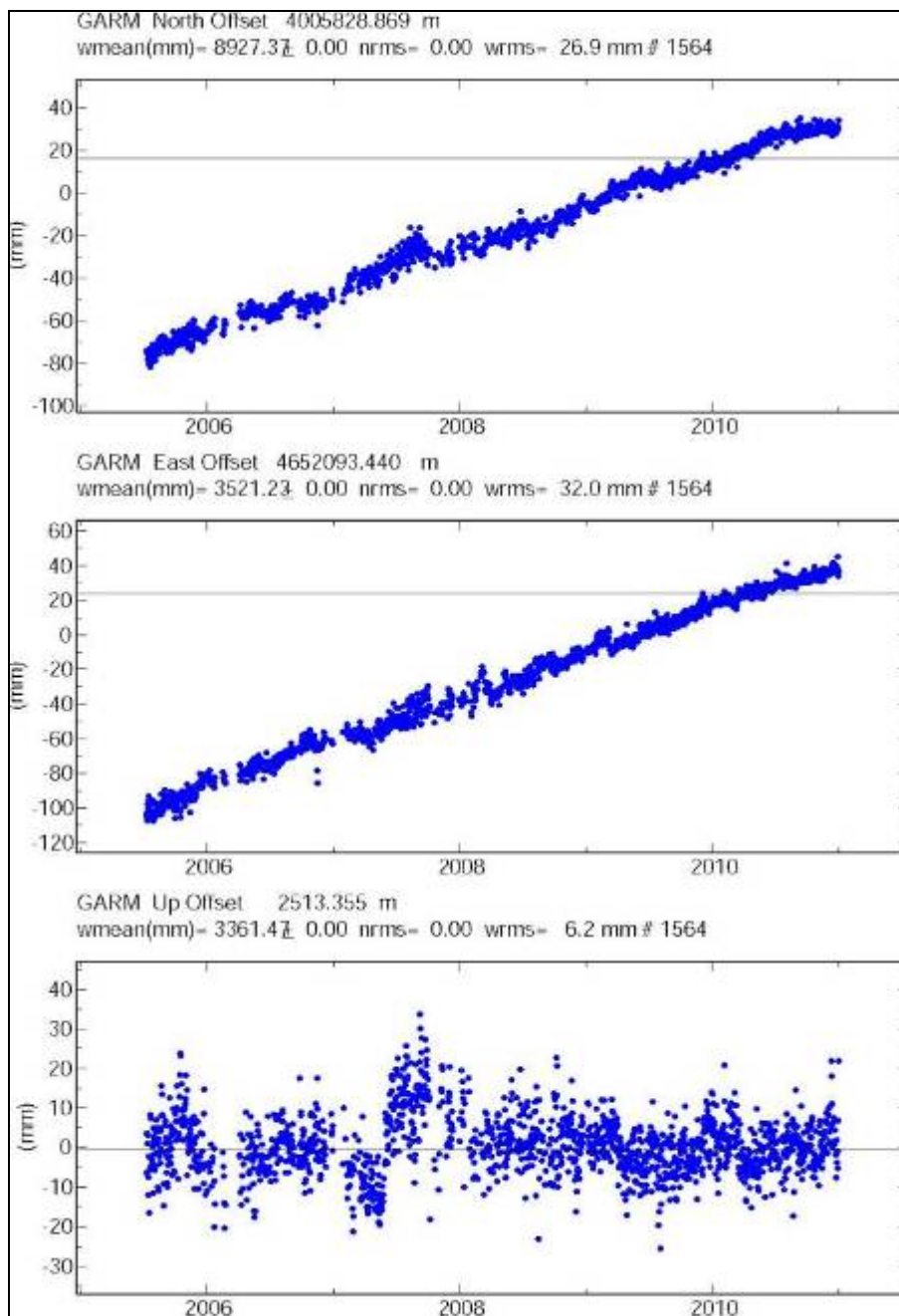
### گرمابدر

بیش از یک دهه است که GPS به یکی از مهمترین ابزارهای مشاهداتی به منظور مطالعه دوران زمین، حرکات صفحات تکتونیکی، تغییر شکل‌های پوسته ای و حرکات ناشی از فعالیت های لرزه‌ای تبدیل شده است. در همین رابطه، اداره کل نقشه برداری سازمان نقشه برداری کشور به عنوان متولی فعالیت های ژئودینامیک کشور، اولین دستگاه دائم GPS را در آذر ماه سال ۱۳۷۷ در تهران راه اندازی کرد (جمور و همکاران، ۱۳۸۴: ۲۶ و ۲۵) و با گذشت زمان یک شبکه شامل ۴۴ ایستگاه تحت عنوان شبکه ژئودینامیک تهران توسط کارشناسان ایرانی و فرانسوی طراحی و ساخته شد. در پژوهش حاضر به تحلیل داده های ایستگاه دائمی گرمابدر به عنوان یکی از ایستگاه های شبکه ژئودینامیک تهران در

حوضه جاجرود بر مبنای مشاهدات ۵ ساله (۲۰۰۶ تا ۲۰۱۰) ایستگاه مربوطه، به منظور نشان دادن تغییر شکل پوسته زمین، حرکات گسل‌های اصلی منطقه و تأیید نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های ژئومورفولوژیکی پرداخته شده است. به همین منظور، تمامی مشاهدات ایستگاه دائمی GPS حوضه مورد مطالعه، در مدت زمان فوق به صورت روزانه پردازش شده و سپس سری‌های زمانی از جواب های روزانه برای هر یک از سه مولفه مختصاتی E (مولفه شرقی - غربی)، N (مولفه شمالی - جنوبی)، H (مولفه ارتفاع) به دست آمد (جدول ۴) (شکل ۹). لازم به ذکر است که بر اساس محاسبات انجام گرفته، سرعت تغییرات مولفه‌های مذکور نسبت به صفحه اوراسیا در ایستگاه گرمابدر، برای مولفه شمالی - جنوبی ۱۰/۸۶ میلی متر و برای مولفه شرقی - غربی ۰/۶۱ میلی متر در سال است.

جدول ۴- حداقل، حداکثر و دامنه تغییرات مولفه های سه گانه مختصاتی طی بازه زمانی ۵ ساله (ماخذ: نویسندگان)

مولفه مختصاتی	حداقل (cm)	حداکثر (cm)	دامنه تغییرات (cm)
E (مولفه شرقی - غربی)	-۱۱	۴/۴	۱۵
N (مولفه شمالی - جنوبی)	-۸	۳/۸	۱۱/۸
H (مولفه ارتفاع)	-۳	۳/۵	۶/۵



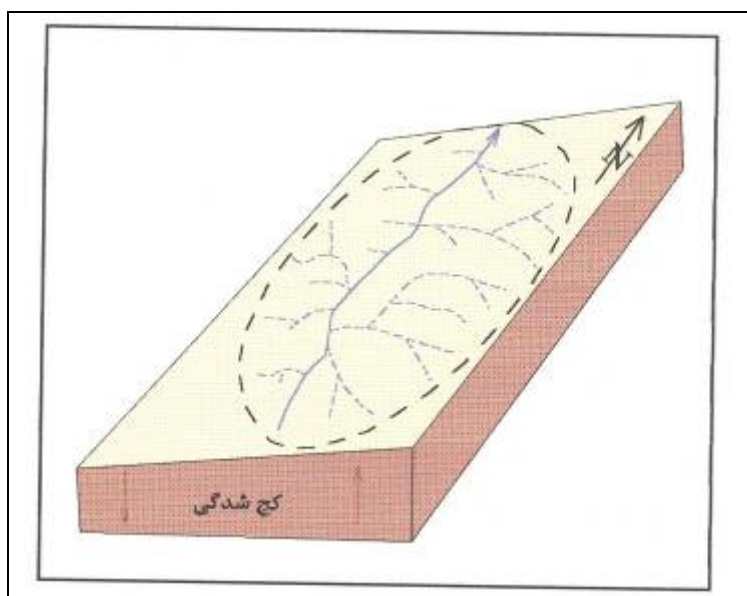
شکل ۹- نمودار سری زمانی ایستگاه دائمی GPS گرمابدر در حوضه مورد مطالعه، از بالا به پایین: مولفه شمالی - جنوبی، مولفه شرقی - غربی و مولفه ارتفاع (بر اساس داده های ژئودینامیکی، سازمان نقشه برداری ایران)

توجهی نداشته، در نتیجه بالآمدگی یا فرونشست های قابل توجهی نیز در سطح منطقه دیده نشده است. با توجه به تغییرات سینوسی مولفه ارتفاعی و تغییرات خطی مولفه شرقی - غربی و مولفه شمالی - جنوبی،

با توجه به نمودار سری های زمانی می توان بیان داشت که جهت حرکت مولفه شمالی - جنوبی به سمت شمال و جهت حرکت مولفه شرقی - غربی به سمت شرق است و مولفه ارتفاعی تغییرات قابل

مهمی در تغییرات پوسته زمین و تحریک گسل‌های مهم منطقه داشته و خود موید فعالیت گسل‌ها و حرکات تکتونیکی فعال در سطح منطقه مورد مطالعه است.

بنابراین، جهت تغییرات در منطقه مورد مطالعه به سمت شمال شرقی بوده که دلیل عمده این تغییرات را می‌توان راندگی مورب پوسته اقیانوسی دریای خزر به زیر بخش شمالی کشور (البرز) دانست که نقش



شکل ۱۰- جهت فرازش در حوضه جاجرود (ماخذ: کی نژاد، ۱۳۷۹: ۳۷۵)

همه نشانه‌های یک منطقه فعال تکتونیکی می‌باشند. در همین رابطه، نتایج حاصل از تحلیل‌های شکل سنجی در این پژوهش نیز نشان داد که این حوضه از لحاظ فعالیت‌های نئوتکتونیکی فعال بوده، اما میزان تاثیر این فعالیت‌ها در همه جای آن یکسان نیست و مناطق بالادست در مقایسه با سایر بخش‌ها از این نظر فعال‌تر می‌باشند (جدول ۵). از سوی دیگر، تغییرات سینوسی مولفه ارتفاعی و تغییرات خطی مولفه شرقی - غربی و مولفه شمالی - جنوبی در سری‌های زمانی حاصل از تحلیل داده‌های مشاهداتی ایستگاه GPS دائمی گرمابدر در منطقه مورد مطالعه که نشان دهنده جهت شمال شرقی تغییرات در منطقه است، تایید

#### ۵- نتیجه‌گیری

شاخص‌های ژئومورفولوژیکی در ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی بسیار با اهمیت می‌باشند، چرا که با استفاده از این شاخص‌ها می‌توان مناطقی که در گذشته فعالیت‌های سریع یا کند تکتونیکی را تجربه کرده‌اند به راحتی شناسایی کرد. حوضه آبریز جاجرود نیز با داشتن سیستم‌های گسلی مهمی همچون، گسل مشاء - فشم و گسل شمال تهران از جمله این مناطق می‌باشد. فعال بودن سیستم‌های گسلی اصلی و فرعی در این منطقه، وجود تراس‌های آبرفتی متعدد در حاشیه رود جاجرود و سرشاخه‌های فرعی آن، تندآب‌ها، پهن و باریک شدن بستر کانال، تغییر مسیر و تغییر در نیمرخ طولی و عرضی رود،

کننده فعالیت گسل‌ها و حرکات تکتونیکی فعال در سطح این منطقه است.

جدول ۵- نتایج حاصل از ارزیابی شاخص‌های ژئومورفیک تکتونیک فعال در حوضه آبریز جاجرود (ماخذ: نویسندگان)

شاخص	نماد	توصیف کمی	توصیف کیفی
عدم تقارن حوضه زهکشی	Af	۲۹/۱۱	فعال
شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره	Vf	۰/۶۹	فعال
شاخص شکل حوضه	Bs	۱/۲۲	فعال
شاخص تقارن توپوگرافی عرضی	T	۰/۳۳	فعال
شاخص منحنی هیپسومتری حوضه	HC	-	مرحله جوانی
شاخص پیچ و خم رود	S	۱/۳۵	فعال
شاخص گرادیان طولی رود	SL	۰,۱۶-۴۸,۶۳	فعال

## منابع

- اصغری سراسکانرود، صیاد، (۱۳۸۷)، ارزیابی توان سیل خیزی حوضه رودخانه جاجرود در ایجاد سیلاب، به راهنمایی منوچهر فرج زاده، پایان نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس تهران، ۱۲۶ صفحه.
- بیاتی خطیبی، مریم، (۱۳۸۸)، تحلیل اثرات نئوتکتونیکی در نیمرخ طولی رودخانه‌های حوضه قرنقوچای واقع در دامنه‌های شرقی سهند، مجله فضای جغرافیایی اهر، شماره ۲۷، ص ۷۹-۱۱۳.
- جمور، یحیی، نانکلی، حمید رضا و توکلی، فرخ، (۱۳۸۴)، بررسی و تجزیه و تحلیل رفتارسنجی ایستگاه دائم GPS تهران، ماهنامه علمی فنی سازمان نقشه برداری، شماره ۶۹، ص ۱۴-۲۵.
- جنت دوست، نادر، (۱۳۷۲)، بررسی فرسایش و انتقال رسوب در حوزه جاجرود و انباشتگی آن در مخزن سد لتیان، به راهنمایی علی بهادری،
- پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی هیدرولوژی، دانشکده عمران، دانشگاه خواجه نصیر الدین طوسی، ۲۵۰ صفحه.
- خیام، مقصود، مختاری، داود، (۱۳۸۲)، ارزیابی عملکرد فعالیت‌های تکتونیکی بر اساس مرفولوژی مخروط افکنه‌ها: مورد نمونه مخروط افکنه‌های دامنه شمالی میشو داغ، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۴، ص ۱-۱۰.
- رامشت، محمد حسین، سیف، عبدال...، شاه زیدی، سمیه و انتظاری، مژگان، (۱۳۸۸)، تاثیر تکتونیک جنبا بر مورفولوژی مخروط افکنه درختگان در منطقه شهداد کرمان، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۶، ص ۲۹-۴۶.
- روستایی، شهرام، رجبی، معصومه، زمردیان، محمد جعفر و مقامی مقیم، غلامرضا، (۱۳۸۸)، نقش فعالیت‌های تکتونیکی در شکل‌گیری و گسترش مخروط افکنه‌های دامنه‌های جنوبی آلاداغ، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۱۳، ص ۱۳۷-۱۵۶.



درکه، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۰، ص ۱۷۸ - ص ۱۹۶.

مددی، عقیل، رضائی مقدم، محمد حسین، رجایی، عبدالمجید، (۱۳۸۳)، تحلیل فعالیت‌های نئوتکتونیک با استفاده از روش‌های ژئومورفولوژی در دامنه‌های شمال غربی تالش، باغرو داغ، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۸، ص ۱۲۳ - ص ۱۳۸.

مقصودی، مهران، کامرانی دلیر، حمید، (۱۳۸۷)، ارزیابی نقش تکتونیک فعال در تنظیم کانال رودخانه‌ها، مطالعه موردی: رودخانه تجن، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۶، ص ۳۷ - ص ۵۵.

وحدتی داشمند، بهارک، قاسمی، محمد رضا، قریشی، منوچهر، حقی پور، نگار، (۱۳۸۶)، نو زمین ساخت سپیدرود و دشت گیلان، فصلنامه علوم زمین، شماره ۶۵، ص ۱۲ - ص ۲۵.

یمانی، مجتبی، مقیمی، ابراهیم، تقیان، علیرضا، (۱۳۸۷)، ارزیابی تأثیرات نو زمین ساخت فعال در دامنه‌های کرکس با استفاده از روش‌های ژئومورفولوژی، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۲۳، ص ۱۱۷ - ص ۱۳۶.

Bull W.B., Mcfadden, L.D., (1977), Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California; In: Doehring, D.O. (Ed.), Geomorphology in arid regions. Proceedings of the 8th annual geomorphology symposium. State University of New York, Binghamton, Pp.115-138.

Guarnieri, P., 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, Pp.260-273.

سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، (۱۳۷۶)، نقشه های توپوگرافی تهران به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰.

سازمان زمین شناسی ایران، (۱۳۸۷)، نقشه زمین شناسی شرق تهران به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، اسم تهیه کننده.

سیف، عبدالله و خسروی، قاسم، (۱۳۸۹)، بررسی تکتونیک فعال در قلمرو تراست زاگرس منطقه فارس، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۲، ص ۱۲۵ - ص ۱۴۶.

علیزاده، امین، (۱۳۸۰)، اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات آستان مقدس رضوی، چاپ نوزدهم، مشهد، ۸۷۲ صفحه.

کی نژاد، آناهیتا، (۱۳۷۹)، بررسی نو زمین ساخت دره جاجرود، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی، به راهنمایی محمدرضا قاسمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، ۴۵۰ صفحه.

کرم، امیر، عبدالهی فوزی، حسین و محمودی، مهران، (۱۳۸۹)، ارزیابی و پهنه بندی حساسیت به زمین لغزش، با استفاده از مدل شبکه های عصبی مصنوعی مطالعه موردی: حوضه آبریز جاجرود - شمال شرق تهران. محیط جغرافیایی. شماره یک، ص ۴۹ - ص ۶۶.

کرمی، فریبا، (۱۳۸۸)، ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیک با استفاده از تحلیل‌های شکل سنجی مورد نمونه: حوضه اوجان چای، شمال شرقی کوهستان سهند، مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، شماره ۳، صفحه ۱۴۹.

گورابی، ابوالقاسم، نوحه گر، احمد، (۱۳۸۶)، شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال حوضه آبخیز

- southeast Spain: geomorphologic assessment of tectonic and seismic activity. *Geomorphology* 50, Pp.203-225.
- Wallace, R.E., (1977), Profiles and ages of young fault scarps north central Nevada, *Geological society of America bulletin*: 6, Pp.114-132.
- Wells, S.G., Bullard, T.F., Menges, C.M., Drake, P.G., Karas, P.A., Kelson, K.I., Ritter, J.B., and Wesling, J.R., (1988), Regional variations in tectonic geomorphology along a segmented convergent plate boundary, Pacific Coast of Costa Rica. *Geomorphology*: 1, Pp. 239–265.
- Keller Edward, A. & Pinter, Nicholas, (2002), *Active tectonics earthquake, uplift, and landscape*. Prentice Hall Publisher, New Jersey.
- Ramirez- Herrera, M.T., (1998), Geomorphic assessment of active tectonic in the Acambay Graben, Mexican volcanic belt. *Earth surface and landforms*, 23, Pp.317-322.
- Rockwell, T. k. & et al. (1984), A late Pleistocene-Holocene soil chronosquence in the Ventura basin southern California, U.S.A., Allen and Unwin, London, Pp.309-327.
- Silva, P.G., Goy, J.L., Zazo, C., Bardji, T., (2003), Fault generated mountain fronts in

## Accuracy and Correctness Assessment of Geomorphologic Indices by Geodynamic Data (Case Study: Jajroud Catchment Basin, NW Tehran)

**M.H. Ramesht. H. Ara. S. Shayan. M. Yamani**

Received: May 18, 2011 / Accepted: September 13, 2011, 11-16 P

### Extended abstract

#### 1- Introduction

Earth is a dynamic system that changes and evolutions are among its adherent characteristics (Ramesht & et al., 2002: 30). Almost during of a few recent thousand years, any regions on the earth's surface are affected by neo-tectonic activities. In fact, today neo-tectonic is changing the earth's surface (Wallace, 1977). Neo-tectonic activity deals with studying the active processes and effective dynamic that are building the earth and landscapes (Keller and Pinnter, 2002: 80). Therefore, using geomorphologic indices of neotectonic activities, studying tectonic activities will be accomplish within a short time and

also are usable for more accurate researches in the future. Geomorphologic indices are useful tools for assessment of neo-tectonic activities, because of using these indices, identify the areas, with fast or slow neo-tectonic activities in the past (Ramirez and Herrera, 1998: 317). These indicators are used for studying the active tectonics particularly. Geomorphologic indicators in the study of neo-tectonic activities was used by Bull and McFadden (1977) for first time and followed by other researchers such as Rockwell et al (1985); Wells et al.(1988); Silva et al ( 2003); Guarnieri& Pirrotta (2008). In Iran , Khayam and Mokhtari (2003); Madady & et al(2003); Vahdati Daneshmand & et al (2005); Gorabi and Nohegar (2006); Yamani et al (2007); Maghsodi and Kamrani (2007); Karami (2008); Bayati Khatibi (2008); Ramesht et al (2008); Roustaei et al (2008); Seif and Khosravi (2009) used these indices for determining the neo-tectonic activities. Major or minor active fault systems, several alluvial terraces in the

---

#### Author(s)

**M.H. Ramesht**

Professor of Geomorphology, University of Isfahan, Isfahan, Iran

**H. Ara**✉

Ph.d Student of Geomorphology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

e-mail: [ara@modares.ac.ir](mailto:ara@modares.ac.ir)

**S. Shayan**

Assistant Professor of Geomorphology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

**M. Yamani**

Associate Professor of Geomorphology, Tehran University, Tehran, Iran

margin of Jajroud River and its sub-branches, waterfalls, widening or narrowing bed channels, changing in flood channel and longitude and width of river profiles indicate that neo-tectonic is active in these regions. Thus, due to the importance of fully evaluating the tectonic activities, especially the young and contemporary tectonic movements and their hazards such as non equilibrium slopes, the present study was designed to determine the neo-tectonic activities in Jajroud Basin in the NE Tehran province (Iran). Further, has been tried for innovating in the methodology, judge about the neotectonic activities in their case study area based on results of calculating and measuring these indices and geodynamic data.

## 2- Methodology

In order to achieve the goals of this research, documentary information, 1:50000 topographic maps (5 sheets) and 1:100000 geological map of Tehran province (in order to drawing the region's fault layers), Palsar radar images (for producing of DEM) and geodynamics data of permanent stations of Jajroud basin have been the important research tools. For the analysis of neo-tectonic activities in the case study area, have been used such geomorphologic indices as Drainage Basin Asymmetry Factor, the Ratio of Valley-Floor width to Valley Height, Basin Shape Factor, Transverse Topographic Symmetric, Hypsometric Integral, River Sinuosity Index and Stream Length-Gradient index. Arc GIS software was used to digitize the topographic maps and drawing of river networks for calculating these indices, also in order to measure the Stream Length- Gradient Index, have been draw

the longitudinal Jajroud river profile using DEM (derived from the Pulsar radar satellite images). GPS observations of the permanent station of Jajroud basin in distinctive time span (from 2006 until 2010) were analyzed by the GAMIT-GLOBK software on daily basis. Then the analyzed times series for the E, N, H elements were drawn. The Basis method of this research is the analysis subsequent of geomorphologic indices and confirmation of them by the analysis of time series obtained from the GPS observations data of the permanent station in the case study catchment.

## 3- Discussion

Results of the calculation of geomorphologic indices Drainage basin asymmetry factor: Based on the results of drainage basin measurements, in the equation;  $Af=100(212.73/696.830)=29.11$ , we can say that the drainage basin is of active neotectonic movements and the east side of the basin is more active than its west side. Lengths of the runoffs in the east side are longer than of in the west side, which is the result of the tilting towards the west of the basin (western bank of the river).

Ratio of valley-floor width to the valley height: 15 longitudinal cross-sections and calculated the VF indices using 1:50000 topographic maps for each cross-section have been draw. Regarding the mean values obtained in the upper, middle and lower sections of river, was concluded that tectonic activities with more than activity in the apex of the basin compare in lower parts and outlet .Uplifts are more in the upper parts and the valleys are narrower, showing that Mosha-Fasham Fault is active in these parts of the basin.

Basin shape factor: the extended shape and high value of the basin shape factor that is about 1/22 show that this basin is very active in terms of neo-tectonic activities.

Transverse topographic symmetric: 8 cross-sections on the basin have been determined and were calculated their values, as 0.33 on average. This value shows the activation of neo-tectonic in the basin and river is eroding.

Hypsometric integral: Hypsometric integral of the basin shows that it is in its young stage. The curves in non-dimensional curving show the domination of neotectonic activities over erosion activities in the study catchment basin, meanwhile the concave in non-dimensional curving shows that erosion activities are active in the basin.

River sinuosity index: The value of this index is  $S = 6.4/3.4 = 1.35$ .

Stream length- gradient index: For evaluation of this index in the basin area, have been used a 100 m DEM and were calculated its value in 100 m distances. The obtained value was 0.16 to 48.63. The maximum values were for the 1600 and 1800 m, and the lowest value was for the 3400 m high. By referring the geologic map of the basin, were found that the longitudinal gradient of the river has a close relation to the lithologic situations of the basin and its faults activities.

Behavioral analysis of the permanent station of Garmabdar's GPS records: In this research, were considered and analyzed the GPS records of Garmabdar geodynamic station in Jajroud basin based on 5 years records (2006 to 2010) in order to determine earth crust deformations, and the main faults of the region movements and also to evaluate the results obtained from the indices calculations. All of the recorded data of the GPS station were

processed based on the daily records and the time series were calculated for the three trajectories of E (east-west), N (north – south) and H (for height). The calculations showed that the speed of changes in relation to the Eurasia plate in Garmabdar station for the N-S trajectory is 10.86 mm/ year and 0.61 mm /year for the E-W trajectory.

According to these changes, it was concluded that the direction of changes in the basin is towards the NE, which can be related to the seduction of oceanic crust of the Caspian sea beneath the north of Iran (Elbruz), which have a considerable role in the crustal movements of the earth and motivation of the main faults of the region .These activities probe tectonic active movements of the study area, correspondingly.

#### 4- Conclusion

The geomorphologic indicators are very important in the assessment of neo-tectonic activities, since using these indicators, were easily identified the areas that have experienced fast or slow tectonic activities. The Jajroud basin with two major fault systems, including Masha-Fasham and North of Tehran faults, is one of these active regions. All of the major or minor active fault systems, several alluvial terraces in the margins of Jajroud River and its sub- branches, waterfalls, widening or narrowing of the bed channel, changing in flood channel and in the longitude and widthwise river profiles show that the region is active one. The results of shape analysis in this research also showed that the region is an active area for neotectonic movements, but values of activities are not the same in all parts of it; the upper parts are more active than the other parts (table 1). On the other hand, sinuous changes in the height

direction, and linear changes in both the E-W and N-S directions in the time series resulted from the GPS station data in Garmabdar show the northward changes

in the study area, and approve faults activities and active tectonic movements in the region, too.

**Table 1: Results of the assessment of geomorphic indices of active tectonic in Jajoud catchment basin (Source: Authors)**

Index	Symbol	Quantitative description	Qualitative description
Drainage basin asymmetry factor	Af	29/11	Active
Ratio of valley – floor width to valley height	Vf	0/69	Active
Basin shape factor	Bs	1/22	Active
Transverse topographic symmetric	T	0/33	Active
Hypsometric integral	HC	-	Young stage
River sinuosity index	S	1/35	Active
Stream length- gradient index	SL	0/16-48/63	Active

**Keywords:** Neotectonic, Jajroud catchment basin, Geomorphologic indices, Geodynamic data, Geographic information system

#### References

- Alizadeh, Amin, (2001), Applied Hydrology Principles, Asatan Ghods Razavi Pub. 19 ed. Mashad, 872 pp.
- Asghari Saraskanrodi, Sayad, (2008), Evaluation of Flooding Potential in Jajroud River Basin, .in Physical Geography Msc Thesis, Faculty of Humanities, Tarbiat Modares University.126pp.
- Bayati Khatibi, Maryam, (2009), Neotectonic affection analysis on longitudinal river profiles in Gharangho Chai basin, the Eastern slope of Sahand, Geographic-space, Ahar, Vol.27.P p.79-113.
- Bull W.B., Mcfadden, L.D., (1977), Tectonic geomorphology of the north and south of the Garlock fault, California; In: Doehring, D.O. (Ed.), Geomorphology in Arid Regions. Proceedings of the 8th Annual Geomorphology Symposium.State University of New York, Binghamton, Pp.115-138.
- Geography Organization of Iran Army, (1997), Tehran 1:50,000 Topographic maps.
- Gorabi, Abolghasem, Nohegar, Ahmad, (2007), Geomorphological evidences of active tectonic in Darake basin, Geographic Researches, vol.60, Pp.178-196.
- Guarnieri, P, 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, Pp.260 - 273.
- Iranian Geology Organization, (2008), East Tehran Geologic Map, in 1: 250,000 scale.

- Janatdost, Nader, (1993), Erosion and transfer of sediments in Jajroud basin and its accumulation in Latian dam reservoir, Msc thesis in Hydrology Engineering, Civil Engineering Faculty, Khaje Nasiredin Toosi University, 250pp.
- Jomor, Yahia, Nankali, Hamidreza and Tavakoli, Farokh, (2005). Analysis and investigation of data behavior of Tehran permanent GPS station, NCC Journal of Iran, vol.69.Pp.14-25.
- Karam, Amir, et al, (2010), Evaluation and zoning of sensitivity to landslides using artificial Neurotic nets (Case: Jajroud Basin, NW Tehran), Geographic Environment, Vol. 1, Pp.49-66.
- Karami, Fariba, (2009), Evaluation of tectonic activities, using analysis of Forms,(Case; Ojan Chai, NE Sahand mountain), Geographic Environment, vol.3, 149 p.
- Keller Edward, A, & Nicholas Pinter, (2002), Active tectonics earthquake, uplift, and landscape. Prentice Hall Publisher, New Jersey.
- Keynejad, Anahita,( 2000), Neotectonic survey of Jajroud valley, Msc. thesis in Geology, Faculty of Sciences, Islamic Azad University of North Tehran, 450 pp.
- Khayam, Maghsoud, Mokhtari, Davood,( 2003), Evaluation of tectonic activities based on alluvial fans morphology, Case: Northern Slope of Mish Dag, Geographic Researches, Vol. 44, Pp.1-10.
- Madady, Aghil & et al,(2004), Neotectonic activities evaluation using geomorphology methods, NW Talesh Slope, Baghro Dag, Geographic Researches, Vol.48, Pp 123-138.
- Maghsodi Mehran, Kamranidelbar, Hamid, (2008), Evaluation of active tectonic on river courses regulations, Case: Tajan River, Physical Geography Researches.Vol.66, Pp.37-55.
- Ramesht, M.H., Seif, A., Shahzeidi, S. and Entezari, M,(2008), Active tectonic affections on Derakhtangan alluvial fan morphology in Shahdad region, Kerman, Geography and Development, Vol.16, Pp.29- 46.
- Ramirez Herrera, M.T., (1998), Geomorphic assessment of active tectonic in the Acambay Graben, Mexican volcanic belt ,Earth Surface and landforms, 23, Pp.317-322.
- Rockwell, T.K. & et al., (1984), A late Pleistocene-Holocene soil chronosquence in the Ventura Basin Southern California, U.S.A., Allen and Unwin, London, Pp. 09-327.
- Roostaei, Shahram, et al., (2009), Role of tectonic activities on formation and extension of south Slope of Misho Dag, Geography and Development, Vol.13. Pp.137-156.
- Seif, Abdullah, Khosravi, Ghasem, (2010), Active tectonic in Zagros trust realm in Farsan, Geographic Researches, Vol.42, Pp.25-146.
- Silva, P.G., Goy .J.L., Zazo, C., Bardji, T., (2003), Fault generated mountain fronts in southeast Spain: Geomorphologic assessment of tectonic and seismic activity. Geomorphology, 50, Pp.203-225.
- Vahdati Daneshmand, Baharak & et al., (2007), Sepidroud and Gilan plain neotectonic, Earth Sciences Quarterly, Vol.56.Pp.12-25.

- Wallace, R.E., (1977), Profiles and ages of young fault scarps north central Nevada, Geological Society of America Bulletin: 6, Pp.114-132.
- Wells, S.G., Bullard, T.F., Menges, C.M., Drake, P.G., Karas, P.A., Kelson, K.I., Ritter, J.B., and Wesling, J.R., (1988), Regional variations in tectonic geomorphology along a segmented convergent plate boundary, Pacific Coast of Costa Rica. Geomorphology: 1, Pp.239–265.
- Yamani, Mojtaba, Moghimi, Ebrahim, Taghian, Alireza, (2008), Evaluation of active neotectonic in Karkas Slope using geomorphology methods, Geographic Researches. Vol.23, Pp.117-136.