

## بررسی فعالیت‌های تکتونیکی بر ژئومتری رودخانه (مطالعه موردی: رودخانه خرتوت از حوزه آبخیز اترک)

زهرا گوهری<sup>۱</sup> - کارشناس ارشد منابع طبیعی، مهندسین مشاور مجدآب شرق  
سید محمد تاج‌بخش - استادیار آبخیزداری، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران  
محبوبه سربازی - کارشناس ارشد منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران  
ناصر نعیمی قصابیان - دکترای زمین‌شناسی گرایش تکتونیک، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۶/۱۳ تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۲/۱۷

### چکیده

مطالعه سیستم‌های رودخانه‌ای در ارتباط با جنبه‌های مختلف محیط طبیعی شامل هیدرولوژی، هیدرولیک، فرآیندهای فرسایش و رسوب‌گذاری و همچنین شکل کانال‌های رودخانه‌ای است. برای درک صحیح از شرایط طبیعی رودخانه، استفاده از مدل‌های مفهومی و پردازش تئوری، یک ضرورت محسوب می‌شود. در این تحقیق مدل هیدرولیکی HEC-RAS از طریق الحاقیه HEC-Geo-Ras جهت بررسی خصوصیات هندسی و هیدرولیکی رودخانه خرتوت واقع در استان خراسان شمالی مورد استفاده قرار گرفت. پس از اجرای مدل، تجزیه و تحلیل نتایج خروجی از مدل برای دبی با دوره بازگشت ۲۵ ساله، برای بازه ۲۵ که ۱۰ بازه آن محل تلاقی گسل‌ها و ۱۵ بازه محل اتصال شاخه‌های فرعی به رودخانه اصلی بوده، انجام شده است. بهترین معادله از روابط رگرسیونی که دارای کمترین خطای استاندارد و ضریب تشخیص بالاتر بود، انتخاب گردید. از طرفی جهت بررسی تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی بر مشخصات هندسی و هیدرولیکی رودخانه، از تحلیل مورفومتری و شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن (Vf) استفاده شده که این شاخص فعالیت‌های تکتونیکی را در ۴ طبقه، فعالیت کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد نشان می‌دهد. در برخی مقاطع وجود گسل‌ها سبب افزایش عمق، عرض، شیب و شعاع هیدرولیکی و در بعضی مقاطع سبب کاهش این پارامترها شده است. نتایج نشان می‌دهد که فعالیت تکتونیکی در طول بازه سبب فروافتادگی یا برخاستگی کف بستر رودخانه می‌شود که تأثیر بسزایی در تغییر وضعیت ژئومتری رودخانه دارد.

**کلیدواژه‌ها:** ژئومتری، شاخص‌های مورفومتری، خصوصیات هیدرولیکی، تکتونیک.

## ۱. مقدمه

رودخانه‌ها به عنوان یک سیستم پویا، به طور پیوسته مکان و خصوصیات خود را بر حسب زمان، عوامل طبیعی و گاه در اثر دخالت بشر تغییر می‌دهند. نتیجه منطقی عکس العمل رودخانه در جهت برقراری موازنه جدید است. این عکس العمل طبیعی در مواقعی، سبب تعریض بستر رودخانه، تخریب دائمی کناره‌ها، زمین‌های کشاورزی مجاور و مشکلات آبیگری و بهره برداری از رودخانه می‌باشد. نقش تنظیم تعادل آبراهه ممکن است در مقیاس‌های زمانی بالای ۱۰ تا ۱۰۰ سال اتفاق بیفتد و مربوط به بی‌ثباتی اشکال رسوبی آبراهه باشد، لذا بازتاب مستقیم یا غیرمستقیم دخالت انسان (مثل کانال‌سازی، تغییر کاربری و ...) یا عوامل محیطی (مانند فعالیت‌های تکتونیکی) بر روی کنترل جریان‌های آب و رسوب که روند آبراهه را تعیین می‌کنند، تأثیرگذار می‌باشد (تلوری، ۱۳۸۳).

با تغییر در هر یک از متغیرها، نظیر تغییر در نیروهای رودخانه‌ای (مانند افزایش یا کاهش دبی) و یا نیروی مقاومتی در بستر، شیب نیمرخ طولی و حتی ارتفاعی شاخه‌های فرعی متصل به رودخانه اصلی نیز تغییر خواهد کرد (بیاتی خطیبی و حیدر زادگان، ۱۳۸۴).

بررسی‌های انجام شده در کوه‌های راکی نشان داد که برخاستگی‌ها سبب افزایش فرسایش و کنش بستر رودخانه‌ها و همچنین برخاستگی‌های آینده نیز خواهد شد که در این مناطق مقدار  $V_f$  نشان دهنده فعالیت تکتونیکی بسیاری بوده است (فرانکل<sup>۱</sup>، ۲۰۰۲).

پروفیل طولی رودخانه‌ها معمولاً به صورت سیستمی در نظر گرفته می‌شوند که چه به طور مستقیم و چه به طور غیرمستقیم، از تغییرات رخ داده در شرایط محیطی متأثر می‌شوند. آزمایش‌های تجربی نشان داده که تغییرات دبی، ابعاد بار بستر و مقاومت لیتولوژیکی، ورود شاخه‌های فرعی و حرکات تکتونیکی در تکامل پروفیل و تفسیر شکل عمومی پروفیل طولی رودخانه اهمیت دارند (رادوان<sup>۲</sup>، ۲۰۰۳).

هر پروفیل طولی رودخانه به صورت منطقه‌ای می‌تواند نقاط شکست و یا حتی مناطق شکستی را در برداشته باشد که نشان از تغییرات لیتولوژیکی بوده و سبب ایجاد تنش‌های برشی در پائین‌دست محل اتصال آبراهه‌ها و همچنین برخاستگی‌های سطحی می‌باشد. از طرفی غیریکنواخت بودن پروفیل‌های طولی رودخانه دلیل بر عدم تعادل رودخانه که نشان دهنده تغییرات در حوزه‌های بالادست آن رودخانه می‌باشد (بی شاپ<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۵).

1 Frankle

2 Radoane

3 Bishop et al

در بررسی‌های انجام شده در هیمالیا نشان دادند در طول گسل‌های رو رانده فعال، مقدار Vf بسیار کم بوده که نشان دهنده فعالیت‌های تکتونیکی بالا بوده و در این مناطق وجود برخاستگی و فرسایش سبب شکل‌گیری مورفولوژی خاصی در رودخانه شده است (تاجبخش و همکاران، ۲۰۰۸).

تحلیل‌های مورفومتری<sup>۱</sup> که ارزیابی کمی ویژگی‌های ژئومتری اشکال زمینی و چشم‌اندازها می‌باشند، از طریق شاخص‌های ژئومورفیک و پارامترهای رتبه‌ای شبکه‌های زهکشی، تکتونیک فعال یک منطقه را بررسی می‌کنند (گوارینری<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۸).

در بررسی‌های انجام شده در شمال شرق هیمالیا (منطقه سیکیم<sup>۳</sup>) و شمال غرب هیمالیا (منطقه گروال<sup>۴</sup>) ۱۲ منطقه شکست در محل تقاطع رودخانه‌ها و گسل‌های اصلی رو رانده در مناطق ذکر شده، مشخص نمودند که نشان از تغییرات لیتولوژیکی قوی و تأثیرگذار بر روی مناطق شکست در رودخانه بوده و منطبق بر گسل‌های اصلی می‌باشد (تاجبخش، ۲۰۰۹).

در این مقاله تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی بر تغییرات ژئومتری رودخانه خرتوت که یکی از زیرحوزه‌های حوزه آبخیز اترک می‌باشد، مورد بررسی قرار گرفته است. از آنجا که هرگونه تغییر در هندسه رودخانه شرایط سیل‌گیری منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و به تبع آن خسارات مالی و جانی نیز متوجه حواشی منطقه سیل‌گیر می‌باشد، مطالعه عوامل مؤثر بر تغییرات ژئومتری رودخانه، امری ضروری به نظر می‌رسد. لذا این تحقیق با اهداف زیر انجام شد:

- تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی بر تغییرات ژئومتری رودخانه؛
- ارتباط پارامترهای مورفومتری با شاخص فعالیت‌های تکتونیکی؛
- تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی بر پروفیل طولی رودخانه.

## ۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

رودخانه خرتوت با طول ۵۷,۳۰ کیلومتر از سرشاخه‌های مهم اترک محسوب می‌شود که در استان خراسان شمالی و شمال شهرستان بجنورد قرار دارد. این رودخانه به لحاظ جغرافیایی در موقعیت ۵۶ درجه و ۵۴ دقیقه تا ۵۷ درجه و ۷ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۵۹ دقیقه عرض شمالی واقع شده است و از کوه‌های راز و آق چیل سرچشمه گرفته و در طول مسیر، مسیل‌های اسفروج، آرچه قلی، حلقه کمر و تنگه ترکمن آن را تغذیه می‌نماید. رودخانه خرتوت، پس از عبور از شهر راز، روستاهای

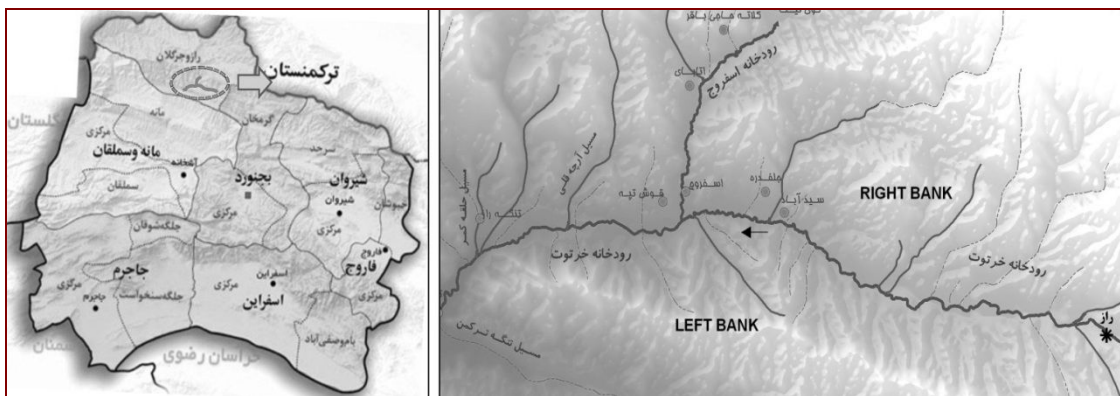
1 Morphometric analysis

2 Guarnieri

3 Sikkim

4 Garhwal

سیدآباد، جلف دره، گوی نیک، آتابای، اسفروج، قوش تپه و تنگه ترکمن را مشروب می‌نماید. مساحت این حوزه آبخیز ۳۷۱/۹۲ کیلومترمربع بوده که حداکثر و متوسط ارتفاع آن به ترتیب ۱۷۴۷ و ۱۳۴۹/۶۹ متر از سطح دریا می‌باشد.



شکل ۱ موقعیت رودخانه خرتوت در استان خراسان شمالی

### ۳. مواد و روشها

#### ۳-۱. ژئومتری رودخانه خرتوت

برای تعیین ژئومتری رودخانه، از خطوط ارتفاعی ۱۰ متری نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و نقاط ارتفاعی حاصل از ترازیبی (نقشه‌برداری در محل) با مقیاس ۱:۵۰۰ استفاده گردید. شکل هندسی رودخانه به صورت مقاطع عرضی بانضمام تعیین سواحل در هر مقطع و فواصل بین مقاطع، در نرم‌افزار ArcGis و با الحاقیه HecGeoRas شبیه‌سازی گردید. سپس محاسبات مربوط به پروفیل سطح آب در نرم‌افزار HecRas انجام شد.

در رودخانه خرتوت ۲۵ مقطع عرضی (۱۰ مقطع، محل تقاطع گسل‌ها و ۱۵ مقطع، محل اتصال مسیل‌های فرعی به رودخانه اصلی)، برداشت گردیده است که هر مقطع عرضی، پهنای باندی برابر فاصله میان دو ساحل سمت چپ و راست رودخانه را در برمی‌گیرد سپس خط مرکزی جریان از بالادست به سمت پائین دست رسم و در مدل اضافه شده و در تعیین ضریب زبری (ضریب مانینگ  $n$ ) تأثیر پارامترهای مختلف که در ایجاد زبری مقاطع رودخانه نقش داشته‌اند از جمله، جنس مصالح رودخانه، شیب کانال، پهنه‌های سیل گیر سواحل چپ و راست رودخانه و ... لحاظ گردیده است. جهت غالب جریان در رودخانه خرتوت، شرقی- غربی بوده و همه پارامترهای هیدرولیکی مورد نیاز، در ۲۵ مقطع عرضی رودخانه با استفاده از نرم افزار HecRas محاسبه گردیده که نتایج آن در جدول (۱) ارائه شده است. شایان ذکر است محل تقاطع گسل‌ها در شکل (۲) با شماره ۱ تا ۱۰ مشخص شده است.

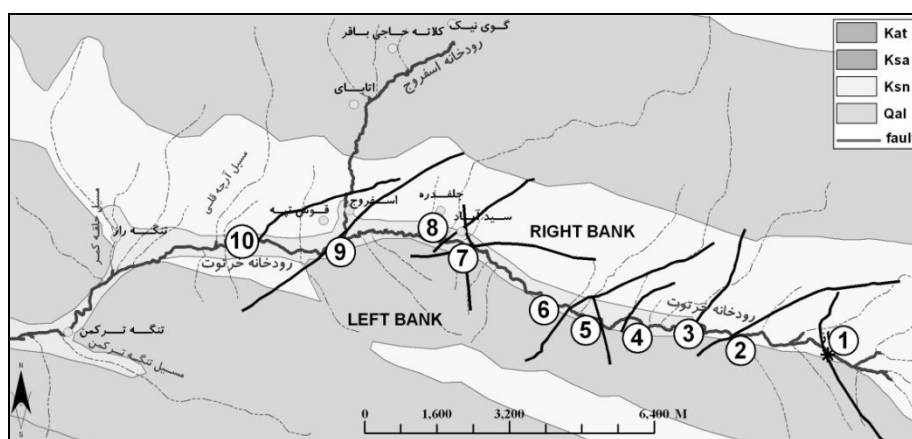
جدول ۱ مشخصات هیدرولیکی مقاطع محل گسل‌ها و اتصال شاخ‌های فرعی

ردیف	دبی m <sup>3</sup> .s	عمق m	عرض M	شیب	سرعت M.S	تنش برشی N.M <sup>2</sup>	شعاع هیدرولیکی m
۱	۱۱/۷	۰/۳۹	۱۸	۰/۰۴۱	۱/۶۷	۷۶/۵	۰/۳۸
۲	۱۳/۹	۰/۴۸	۱۳/۶	۰/۰۳۷	۲/۱۳	۱۳۷/۵	۰/۴۷
۳	۳۱/۲	۰/۸۴	۱۳	۰/۰۱۸	۲/۸۵	۲۲۲/۵	۰/۸۱
۴	۳۱/۸	۰/۸۷	۱۷/۸	۰/۰۳۰	۲/۵۷	۱۹۴/۸	۰/۶۵
۵	۴۶/۵	۱/۰۹	۱۹/۶	۰/۰۲۴	۲/۱۷	۱۱۷/۶	۱/۰۷
۶	۴۹/۱	۱/۳۲	۲۷/۲	۰/۰۱۰	۱/۶۵	۶۷/۸	۱/۰۷
۷	۵۰	۱/۵	۱۵/۷	۰/۰۱۰	۲/۲	۱۲۰/۹	۱/۲۱
۸	۵۸/۶	۰/۹۵	۲۹/۵	۰/۰۱۶	۲/۰۸	۱۱۷/۲	۰/۹۴
۹	۵۸/۶	۱/۳۷	۱۸/۷	۰/۰۱۱	۲/۶۱	۱۷۲/۹	۱/۱۵
۱۰	۶۱/۸	۱/۸۹	۱۷/۵	۰/۰۱۷	۲/۴۱	۱۲۹/۶	۱/۳۳
۱۱	۶۵/۲	۱/۲۷	۲۱/۴	۰/۰۱۸	۳/۰۵	۲۳۱/۵	۰/۹۶
۱۲	۶۵/۲	۱/۱۳	۱۷/۳	۰/۰۲۲	۳/۳۳	۲۶۷/۴	۱/۰۴
۱۳	۶۹/۱	۲/۳۲	۹/۲	۰/۰۲۰	۴/۱۸	۳۷۸/۶	۱/۴۵
۱۴	۷۴/۴	۱/۱۴	۱۶/۶	۰/۰۱۷	۳/۹۸	۴۱۰/۲	۱/۰۷
۱۵	۱۴/۵	۰/۶۱	۱۰/۷	۰/۰۱۷	۲/۲۱	۱۳۸/۱	۰/۵۸
۱۶	۲۱/۳	۰/۷۶	۱۴/۱	۰/۰۱۳	۱/۹۸	۱۰۲/۳	۰/۷۳
۱۷	۳۹/۱	۰/۸۶	۱۶/۷	۰/۰۱۵	۲/۷۳	۱۹۵/۳	۰/۸۳
۱۸	۱۶/۴	۰/۹۷	۹/۴	۰/۰۶۳	۱/۸	۶۱/۸	۰/۸۶
۱۹	۹۲/۷	۱/۱۶	۳۷/۷	۰/۰۰۹	۲/۱۲	۱۰۹/۲	۱/۱۵
۲۰	۷۴/۴	۱/۳۲	۴۷/۷	۰/۰۱۴	۲/۱۱	۱۲۶/۸	۰/۷۳
۲۱	۷۶	۱/۷	۱۷/۵	۰/۰۱۹	۳/۱۴	۲۳۱/۵	۱/۲۸
۲۲	۹۷/۳	۰/۷۶	۴۵/۲	۰/۰۱۹	۲/۸۳	۲۲۵/۳	۰/۷۵
۲۳	۱۱۱/۸	۱/۱۱	۴۷/۳	۰/۰۰۶	۲/۱۲	۱۱۵/۳	۱/۱
۲۴	۱۳۴/۷	۱/۸	۲۳/۹	۰/۰۱۰	۳/۱۳	۱۹۵/۸	۱/۶۴
۲۵	۱۳۵	۰/۹۴	۷۲	۰/۰۱۴	۲/۴۸	۱۴۹/۴	۰/۹۲

## ۲-۳. زمین‌شناسی و تکتونیک منطقه

عوامل زمین‌شناسی و تکتونیکی گرچه از نظر وقوع، گند به نظر می‌رسد، ولی از نظر ایجاد تغییرات بنیادی در مسایل هیدرولوژیکی، هیدروژئولوژیکی و زیست‌محیطی بسیار با اهمیت است (کرمی، ۱۳۸۸). واحدهای زمین‌شناسی موجود در منطقه شامل واحدهای سنگی کرتاسه بوده مانند، سازندهای تیرگان، سرچشمه، سنگانه، آیتامیر و نهشته‌های کواترنری.

عناصر ساختاری منطقه را چین‌ها، گسل‌ها و درزه‌ها تشکیل می‌دهند. سیر تکاملی این ساختمان‌ها را به طور خلاصه چنین می‌توان برشمرد که نخست واحدهای سنگی زیر تأثیر تنش‌های موجود چین خورده‌اند، سپس گسل‌های راندگی بر اثر پیشروی چین، در نقاطی محدود پدیدار شده‌اند. در دنباله اعمال نیرو بر واحدهای سنگی، گسل‌های راستا لغز با مؤلفه‌های چپ‌گرد و راست‌گرد در ناحیه پدید آمده‌اند. شاید با نگاهی دقیق‌تر بتوان گفت که تنش اعمالی بر منطقه مزبور، برآیندی است از همه فشارهایی که در اثر عوامل گوناگون زمین‌ساختی، بر آن وارد می‌شود و فرجام آن فشاری است که سبب تغییرات ساختاری در حوضه رسوبی کپه داغ می‌شود. وجود گسل‌های فعال نشان از وجود و ادامه فرآیند فشاری و زمین‌ساخت فعال در منطقه است (سازمان زمین‌شناسی، ۱۳۸۳).



شکل ۲ واحدهای سنگ‌شناسی و تکتونیک رودخانه خرتوت (محل اتصال گسل‌ها با رودخانه)

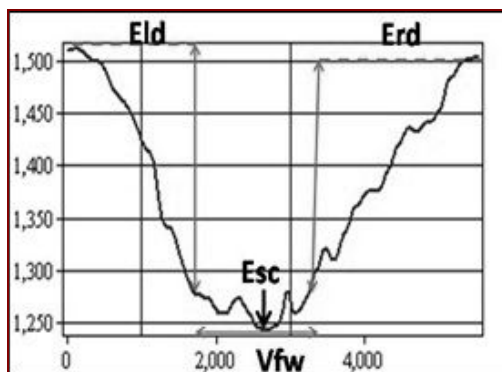
### ۳-۳. بررسی شاخص فعالیت تکتونیکی در رودخانه

شاخص‌های مورفومتریک ابزار سودمندی برای مطالعه فعالیت‌های تکتونیکی در نواحی مختلف محسوب می‌شوند که از جمله این شاخص‌ها می‌توان به نسبت پهنای کف دره به ارتفاع<sup>۱</sup> (Vf)، سینوسی جبهه کوهستان<sup>۲</sup> (Smf)، شیب طولی رودخانه<sup>۳</sup> (SI) و... اشاره نمود که در این تحقیق، از شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع (Vf) استفاده شده است. نیمرخ عرضی دره‌ها با استفاده از نسبت کف به ارتفاع تعریف می‌شوند. مقایسه پهنای کف دره به متوسط ارتفاع آن، شاخصی را فراهم می‌کند که حفر پائین‌دست رودخانه را نشان می‌دهد. این پارامتر در محل ۱۰ گسل متقاطع با رودخانه با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان می‌دهد که مقادیر Vf در دره‌های U شکل با کف نسبتاً پهن و دره‌های V شکل با دیواره‌های شیب‌دار فرق می‌کند. در شکل (۳) روش اندازه‌گیری این شاخص آورده شده است.

1 Ratio of Valley-floor with to Valley Height

2 Mountain Front Sinuosity

3 Stream Length Gradient Index



$$Vf = 2Vfw \cdot [(Eld - Esc) + (Erd - Esc)] \quad -1$$

شکل ۳ نمایش شماتیک مقطع عرضی دره

$Vf$ : شاخص پهنای دره با ارتفاع آن،  $Vfm$ : پهنای کف دره، Eld و Erd: ارتفاع متوسط خط تقسیم آب در سمت چپ و راست دره، Es: ارتفاع متوسط کف دره از سطح آب‌های آزاد در صورتی که  $Vf < 1$  باشد فعالیت تکتونیکی خیلی زیاد را نشان می‌دهد،  $0.5 < Vf < 1$  فعالیت تکتونیکی زیاد،  $1 < Vf < 0.5$  بیانگر فعالیت تکتونیکی متوسط و  $Vf > 1$  فعالیت‌های کم را آشکار می‌سازد.

### ۳-۴. استخراج پروفیل طولی رودخانه

برای استخراج پروفیل طولی رودخانه، ابتدا اقدام به تهیه مدل رقومی ارتفاع<sup>۱</sup> گردید. برای این منظور از خطوط ارتفاعی ۱۰ متری نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و نقاط ارتفاعی حاصل از ترازیبی (نقشه‌برداری) با مقیاس ۱:۵۰۰ استفاده گردید. سپس پروفیل طولی در ۱۰ بازه که محل تقاطع گسل‌ها با رودخانه خرتوت به طول ۴۰۰ متری و با استفاده از نرم‌افزار ArcGis همراه با برنامه‌های جانبی<sup>۲</sup> و آنالیزهای مکانی<sup>۳</sup>، صورت گرفت. قابل ذکر است این مقیاس نقشه برای بررسی تغییرات طولی رودخانه در محل گسل‌ها مناسب می‌باشد.

### ۴. بحث و نتایج

#### ۴-۱. بررسی اطلاعات

به منظور تعیین دبی سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ ساله در حوزه رودخانه خرتوت، (در ۲۵ مقطع نقشه‌برداری شده)، ابتدا خصوصیات فیزیوگرافی حوزه‌های بالادست مقاطع برآورد گردیده و سپس به منظور برآورد سیلاب‌های حداکثر لحظه‌ای، از آمار سیلاب ایستگاه هیدرومتری درکش که در جنوب حوزه قرار دارد استفاده شده است. در این راستا ابتدا آمار ایستگاه با استفاده از برنامه کامپیوتری Hyfa، آنالیز شده که توزیع مناسب با کمترین خطای استاندارد، توزیع لوگ نرمال

1 Digital Elevation Model

2 Extensions

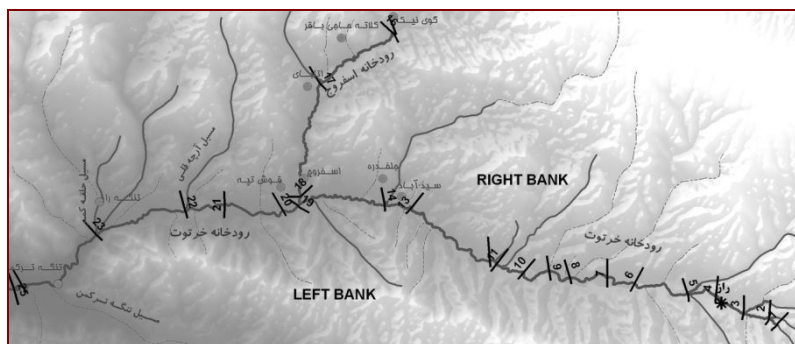
3 Spatial Analyst

سه پارامتری می‌باشد. سپس این مقادیر خروجی از نرم‌افزار با استفاده از رابطه دیکن که در ذیل به آن اشاره گردیده، برای زیرحوزه های مطالعاتی برآورد شده است (جدول ۱).

$$Q1 = Q2(A1.A2)0.75^{-2}$$

A1، مساحت زیرحوزه (km<sup>2</sup>)، A2، مساحت ایستگاه (km<sup>2</sup>)، Q2، سیلاب ایستگاه با دوره

بازگشت‌های مختلف (m3.s)، Q1، سیلاب زیرحوزه با دوره بازگشت‌های مختلف (m3.s)



شکل ۴ موقعیت مقاطع برآورد دبی سیلابی

#### ۴-۲. رابطه ژئومتری و شرایط هیدرولیکی رودخانه

شرایط ژئومتری- هیدرولیکی تأثیر کنترلی بر روی شکل موج سیلاب و ظرفیت انتقال رسوب دارد (ریچارد و همکاران<sup>۱</sup>، ۱۹۸۲). بررسی‌ها نشان می‌دهد مدل‌های رفتاری رودخانه، اغلب بر اساس سرعت و توزیع عمق می‌باشد (میل هوس<sup>۲</sup> و همکاران، ۱۹۸۹). تغییرات شرایط ژئومتری- هیدرولیکی رودخانه‌ها، نشان دهنده اهمیت شرایط ژئومورفولوژیکی هر مکان می‌باشد (پارک<sup>۳</sup>، ۱۹۷۷).

بررسی رابطه ژئومتری- هیدرولیکی رودخانه خرتوت، منجر به یک سری روابط ریاضی و تجربی بین مشخصات رودخانه و سایر پارامترهای جریان گردیده که این روابط از رگرسیون متغیرهای هندسی و هیدرولیکی به دست آمده است. رابطه رگرسیونی بین متغیر وابسته (دبی) و متغیرهای مستقل (عرض، عمق، شعاع هیدرولیکی و شیب جریان) برقرار شده که معادلات آن به شرح ذیل آورده شده است.

$$D = 0.241Q^{0.36} \quad r = 56 \quad -3$$

$$W = 0.003Q^2 - 0.152Q + 15.25 \quad r = 79 \quad -4$$

$$S = 0.174Q^{-0.56} \quad r = 58 \quad -5$$

$$R = -0.0001Q^2 + 0.0179Q + 0.2932 \quad r = 55 \quad -6$$

D: عمق جریان بر حسب متر، W: عرض جریان بر حسب متر، S: شیب بر حسب متر بر متر، R: شعاع

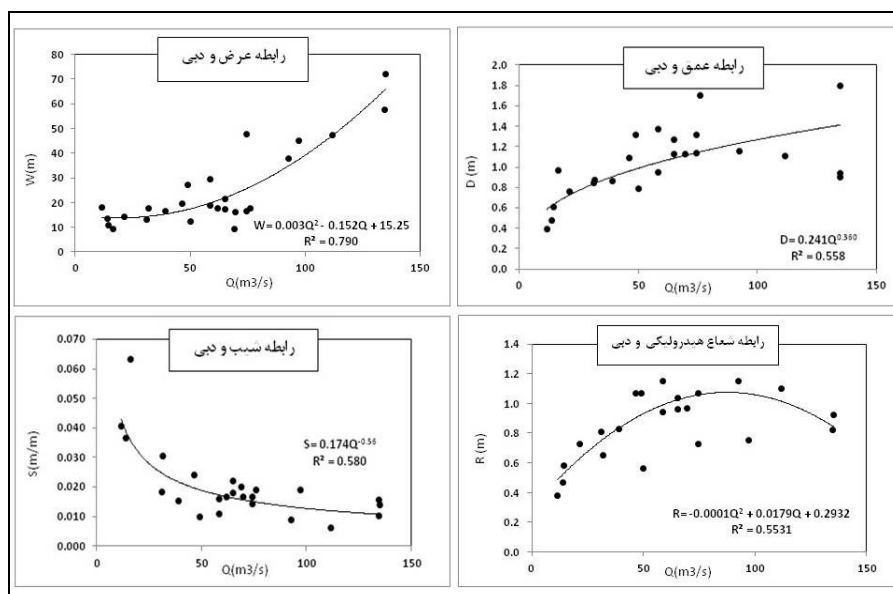
هیدرولیکی بر حسب متر، Q: دبی جریان بر حسب مترمکعب بر ثانیه

1 Richards

2 Milhous

3 Park





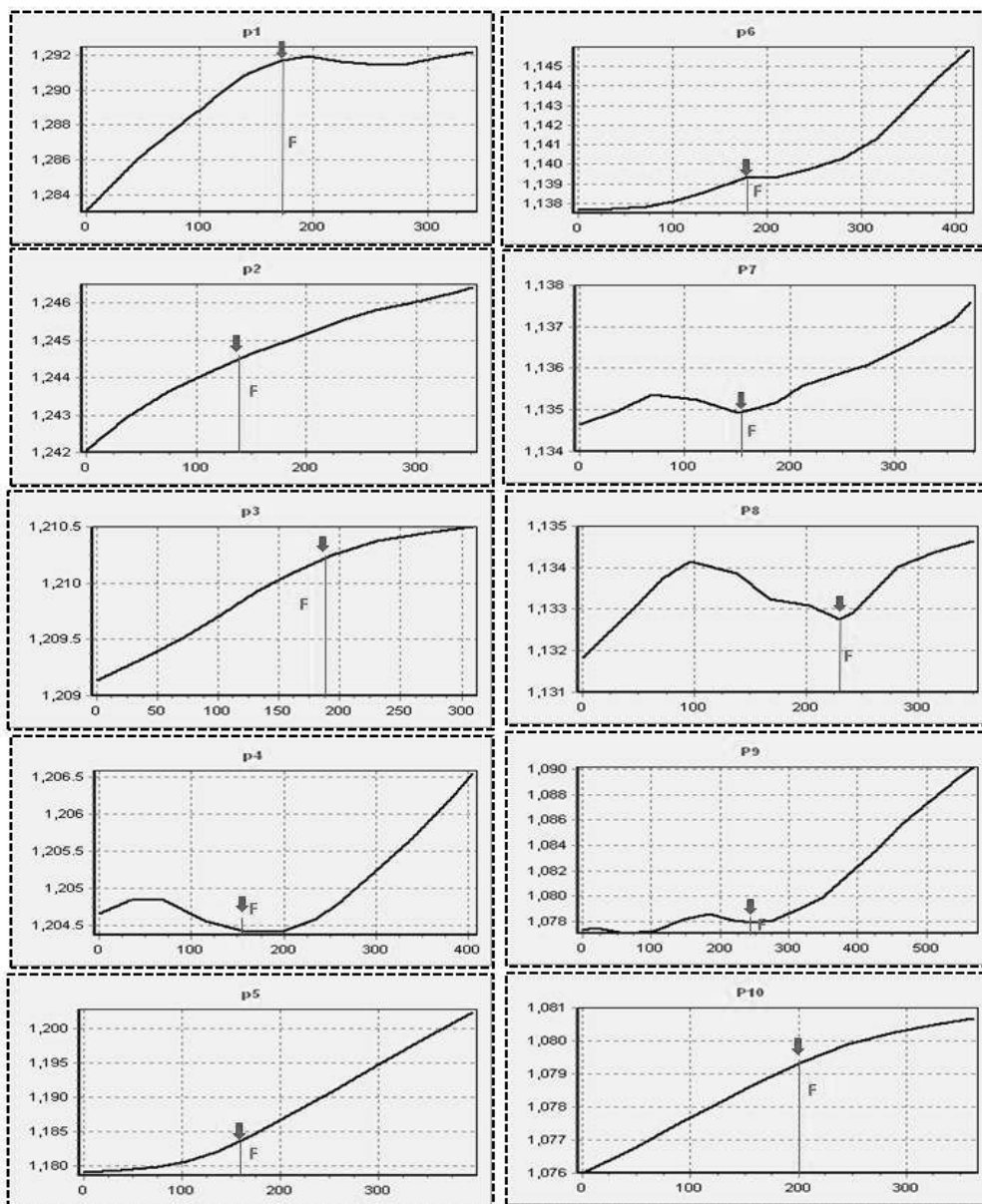
شکل ۵ رابطه‌های ژئومتری- هیدرولیکی رودخانه خرتوت

#### ۳-۴. ارزیابی نسبی فعالیت تکتونیکی در محل گسل‌ها

این شاخص، دره‌ها را بر اساس نسبت پهنای بستر به ارتفاع آن به صورت دره‌های U شکل و V شکل از یکدیگر متمایز می‌سازد که نشان دهنده میزان فعالیت رودخانه می‌باشد (هاندوینی<sup>۱</sup> و همکاران ۲۰۰۸). مقادیر این شاخص در محل گسل‌های متقاطع با رودخانه محاسبه گردیده و نشان می‌دهد که در کلیه مقاطع کمتر از ۰/۵ می‌باشد که بر اساس طبقه بندی‌های موجود، رودخانه به لحاظ فعالیت‌های تکتونیک فعال و در دو مقطع برداشت شده (مقاطع ۴ و ۷) مقدار شاخص به ۰/۱ نزدیک و بسیار فعال می‌باشد. دو مقطع قید شده فوق که دارای فعالیت بسیار زیادی (بر اساس عامل Vf) می‌باشند از نظر سایر پارامترهای هیدرولیکی نیز متمایز می‌باشند بطوریکه سرعت و تنش برشی در این دو مقطع بعد از گسل افزایش نشان می‌دهد که می‌تواند نقش بسزایی در کنش بستر داشته باشد که نتایج این بحث در جدول (۲) آورده شده است. همچنین با رسم پروفیل طولی در این ۱۰ بازه، وضعیت شکستگی‌ها و تأثیر عوامل زمین‌شناسی مورد بررسی قرار گرفت. رسم پروفیل طولی از آن جهت حائز اهمیت است که روند تغییرات شیب در طول مسیر جریان را نشان می‌دهد و سرعت جریان آب در کانال، تابعی از شیب آن است. این سرعت به نوبه خود شکل هیدروگراف جریان را تحت تأثیر قرار می‌دهد و نمایانگر قدرت تخریبی رودخانه نیز می‌باشد (ضیایی، ۱۳۸۰).

همان‌طور که در شکل (۶) ملاحظه می‌شود در پروفیل‌های ۱ و ۶ وجود گسل‌ها، موجب شکستگی‌های آبشاری شده است که در گسل ۱ در طولی کمتر از ۲۰۰ متر، ۸ متر تغییر ارتفاع ایجاد نموده است. گسل‌های شماره ۲، ۳، ۵ و ۱۰ تغییری در شکل نیم‌رخ طولی ایجاد ننموده، اما گسل‌های شماره ۴، ۷ و ۸، سبب تغییر روند پروفیل طولی رودخانه شده که

تأثیر بسزایی در پروفیل سطح آب و به تبع آن افزایش پهنه سیل گیری حاشیه رودخانه خواهد داشت. این برخاستگی در پروفیل شماره ۸ قابل ملاحظه می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد، فعالیت‌های برخاستگی<sup>۱</sup> بر اساس عامل  $Vf$  فعال بوده و کنش بستر<sup>۲</sup> رودخانه در طول آن دیده می‌شود (کلر و پینتر<sup>۳</sup>، ۱۹۹۶).



شکل ۶ پروفیل طولی در محل ۱۰ گسل متقاطع با رودخانه خرتوت

- 1 Uplift
- 2 incision rate
- 3 Keller and Pinter

## ۴-۴. روند تغییرات ژئومتری و هیدرولیکی رودخانه

پارامترهای ژئومتری برای ۲۵ بازه در طول مسیر محاسبه شده که در این بخش برای ارزیابی تأثیر تکتونیک بر شرایط هندسی رودخانه فقط ۱۰ بازه که محل تقاطع گسل با رودخانه و مقاطع پس از آن انتخاب شده‌اند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود فعالیت‌های تکتونیکی تأثیر بسزایی در تغییر شرایط ژئومتری و هیدرولیکی مقاطع پس از گسل را داشته است. بطوریکه در مقاطع ۴ و ۷ که به لحاظ تکتونیکی فعال‌ترین مقاطع محسوب می‌شود تنش برشی و سرعت بررسی جریان را نسبت به مقاطع قبل و بعد از گسل دچار تغییر شده است. در برخی مقاطع وجود گسل‌ها سبب افزایش عمق، عرض، شیب و شعاع هیدرولیکی و در بعضی مقاطع سبب کاهش این پارامترها شده است که بررسی وضعیت پروفیل طولی رودخانه وجود شکستگی یا برخاستگی در طول رودخانه را نشان می‌دهد که این نتایج را توجیه می‌نماید.

جدول ۲ مقایسه پارامترهای هندسی و هیدرولیکی در محل و بعد از گسل‌های متقاطع با رودخانه

شماره گسل	موقعیت مقطع	دبی	عمق	شعاع هیدرولیکی	شیب	تنش برشی	سرعت	عرض	Vf
۱	در محل گسل	۳۱/۸	۰/۸۷	۰/۶۵	۰/۰۳۰	۱۹۴/۷۷	۲/۵۷	۱۷/۶۹	۰/۱۵
	بعد از گسل	۳۱/۸	۱/۱۶	۰/۸۶	۰/۰۱۶	۱۳۶/۶۷	۲/۲۶	۱۲/۶۲	
۲	در محل گسل	۳۱/۸	۱	۰/۷۳	۰/۰۱۱	۷۸/۴۸	۱/۶۶	۷/۱۰	۰/۳۷
	بعد از گسل	۳۱/۸	۱/۳۶	۱/۰۳	۰/۰۰۶	۵۹/۳۲	۱/۵۳	۱۳/۳۹	
۳	در محل گسل	۵۰	۱/۵	۱/۲۱	۰/۰۱۰	۱۲۰/۹	۲/۲	۱۵/۷	۰/۱۱
	بعد از گسل	۵۰	۲/۲۷	۱/۳۲	۰/۰۰۷	۸۹/۶۵	۱/۹۳	۱۶/۷۶	
۴	در محل گسل	۵۸/۵۸	۱/۴۶	۱/۲۱	۰/۰۰۹	۱۰۷/۱۳	۲/۰۸	۱۳/۳۷	۰/۱۰
	بعد از گسل	۵۸/۵۸	۱/۳۴	۰/۹۸	۰/۰۳۲	۳۰۷/۹۷	۳/۴	۱۱/۱۶	
۵	در محل گسل	۶۱/۸	۱/۸۲	۰/۹۴	۰/۰۲۲	۲۰۵/۹	۲/۸۷	۵/۰۷	۰/۱۵
	بعد از گسل	۶۱/۸	۲/۶۴	۱/۵۶	۰/۰۰۴	۵۹/۱۳	۱/۶۷	۵/۴۳	
۶	در محل گسل	۶۵/۲۳	۱/۲۶	۱/۰۶	۰/۰۱۶	۱۷۱/۷۱	۲/۶۷	۱۰/۲۶	۰/۱۳
	بعد از گسل	۶۵/۲۳	۱/۰۶	۰/۷۱	۰/۰۱۷	۱۲۰/۷۸	۲/۱	۱۷/۸۸	
۷	در محل گسل	۶۹/۱	۲/۳	۱/۳۶	۰/۰۰۶	۸۲/۱۷	۱/۹۳	۳/۶۷	۰/۱۰
	بعد از گسل	۶۹/۱	۳/۳۵	۱/۸	۰/۰۰۶	۱۱۳/۵۴	۲/۳۷	۵/۲۳	
۸	در محل گسل	۶۹/۱	۱/۸۳	۱/۳۱	۰/۰۲۸	۳۵۳/۶	۳/۹۷	۹/۸۴	۰/۳۰
	بعد از گسل	۶۹/۷	۱/۱۳	۰/۹۷	۰/۰۴۹	۴۷۰/۳۲	۴/۱۹	۱۴/۶۵	
۹	در محل گسل	۶۹/۷	۱/۲۵	۰/۸۴	۰/۰۰۹	۷۴/۴۳	۱/۶۶	۱۹/۵۱	۰/۳۹
	بعد از گسل	۷۴/۴۲	۱/۵۱	۰/۹۳	۰/۰۰۹	۷۸/۹۲	۱/۷۴	۱۶/۷۷	
۱۰	در محل گسل	۷۶	۱/۱۸	۱/۰۶	۰/۰۲۶	۲۷۴/۵۱	۳/۳۱	۱۸/۵۵	۰/۲۴
	بعد از گسل	۷۶	۱/۰۹	۰/۹۶	۰/۰۱۲	۱۱۲/۶۲	۲/۰۹	۲۰/۳۲	

## ۵. نتیجه گیری

بررسی نتایج تقسیم‌بندی رودخانه از نظر سن زمین‌شناسی و مرحله تکامل، نشان می‌دهد که رودخانه خرتوت، رودخانه‌ای جوان بوده و در حال حاضر از فعالیت تکتونیکی بالایی برخوردار است. بررسی آمار ایستگاه درکش نیز حاکی از افت و خیز تغییرات سیلاب و دبی در رودخانه را داشته که در نتیجه رودخانه خرتوت از جمله رودخانه‌های سیلابی محسوب می‌شود. این رودخانه در بالادست، دارای شیب تند بوده و کوهستانی می‌باشد؛ لذا در زمره رودخانه‌های غیرآبرفتی قرار می‌گیرد. اما در قسمت پایین دست دارای بستر آبرفتی است. رودخانه خرتوت دارای شیب متوسط ۰/۱۸ و متوسط سرعت جریان بر اساس نتایج حاصل از مدل برای دبی با دوره بازگشت ۲۵ سال برای کل مسیر ۲/۵۱ می‌باشد که سرعت نسبتاً بالایی به نظر می‌رسد و سرعت جریان یکی از عوامل اصلی تخریب کف و کناره‌های رودخانه است.

نتایج نشان می‌دهد که فعالیت تکتونیکی در طول بازه سبب فروافتادگی<sup>۱</sup> یا برخاستگی کف بستر رودخانه می‌شود که تأثیر بسزایی در تغییر وضعیت ژئومتری رودخانه دارد و هرگونه تغییر در هندسه رودخانه، سبب افزایش پهنه سیل‌گیری حاشیه رودخانه و مخاطرات طبیعی ناشی از آن می‌شود.

## کتابنامه

- بیاتی خطیبی، مریم و دیگران؛ ۱۳۸۴. تعیین مراحل تحول ژئومورفولوژیکی دره‌های نواحی کوهستانی با روش کلاسیک و ریاضی مطالعه موردی یازده حوزه و دره اصلی توده کوهستانی سهند. مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای. ص ۸۵-۱۱۰
- تلوری، عبدالرسول؛ ۱۳۸۳. اصول مقدماتی مهندسی و ساماندهی رودخانه. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
- کریمی، فریبا؛ ۱۳۸۸. ارزیابی ژئومورفیک فعالیت‌های تکتونیکی در حوزه زهکشی سعیدآباد چای. مجله پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، شماره ۶۹، ص ۸۲-۶۷.
- گزارش کاکلی؛ ۱۳۸۳. سازمان زمین‌شناسی ایران.

Baiaty, M., Heydarzadegan, p., 2005. Determination the Geomorphological evaluation of mountain valleys classical and mathematical method (case study: 11 watersheds in Sahand area).

Bishop, P., Hoey, T. B., Jansen, J. D., and Artza, I. L., 2005. Knick point recession rate and catchment area: the case of uplifted rivers in Eastern Scotland. Earth Surface Process Landform 30,767-778.

- El Handouni, R., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacon, J., Keller E.A., 2008. "Assessment of relative active tectonic, South west border of the Sierra Nevada (Southern Spain)", *Geomorphology* 96, 150-173.
- Erosion and Hydraulic report., 1390. Pazhohab-e- Shargh Consultancy.
- Frankel, K. L., 2002. Quantitative topographic differences between erosional exhumed and tectonically active mountain fronts: Implications for late-Cenozoic evolution of the southern Rocky Mountains, M. S thesis, Lehigh University. 144 p.
- 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, 260-273.
- Kakoly Report., 2004. Geological Survey Of Iran.
- Karami, F., 2009. Geomorphic assessment of tectonic activity in Saeed abad basin. *Physical Geography Research Quaterly*, No69, PP.67-82.
- Keller, E.A., and Pinter, N., 1996. *Active Tectonics* Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs, Published by New Jersey. 338.
- Keller, E.A., 1986. Investigation of active tectonics: use of surficial Earth processes, In: Wallace, R.E. (Ed.), *Active Tectonics, Studies in Geophysics*, National Academy Press, Washington, DC 136-147.
- Milhaus, R.T., Updike, M.A., Schneider, D.M., 1989. *Physical Habitat Simulation System Reference Manual-Version II*. US Fish and Wildlife Service, Fort Collins, Colorado, USA.
- Palmer, M.A., Hakenkamp, C.C., Nelson-Baker, K., 1997. Ecological heterogeneity in streams: why variance matters. *Journal of the North American Benthological Society* 161 (1), 189-202.
- Park, C.C., 1977. World-wide variations in hydraulic geometry exponents of stream channels: an analysis and some observations. *Journal of Hydrology* 33, 133-146.
- Radoane. M, Radoane. N, and Damitriu. D., 2003. Geomorphological evolution of longitudinal river profile in the Carpathians, *Geomorphology*, Vol. 50: 293-306.
- Richards, K.S., 1982. *Rivers, Form and Process in Alluvial Channels*. Methuen, New York, USA.
- Singh, K.P., McConkey, S., 1989. Hydraulic geometry of streams and stream habitat assessment. *Journal of Water Resources Planning and Management* 115 (5), 583-597.
- Tajbakhsh, m., 2009, *TECTONO-GEOMORPHIC AND CLIMATIC CONTROL ON EROSION IN LESSER HIMALAYA (SIKKIM AND GARHWAL)*, PhD Thesis, University of Delhi.
- Telvary, A., 2004. *Introduction of River engineering, Soil conservation watershed management research institute*.
- Ziaee, H., 2001. *Watershed management engineering*, Publication of Astane Quds Razavi.