



## تحلیل و ارزیابی وضعیت پایداری مجرای رودخانه گیوی چای، در شمال غرب ایران، با تأکید بر خصوصیات زمین‌شناسی، هیدروژئولوژیکی و انسانی

الناز پیروزی<sup>۱</sup>، عقیل مددی<sup>۲\*</sup>، صیاد اصغری سراسکانرود<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری مخاطرات ژئومورفولیک، دانشکده‌ی علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲- استاد ژئومورفولوژی، دانشکده‌ی علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۳- دانشیار ژئومورفولوژی، دانشکده‌ی علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۰۶/۲۴

وصول مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۱۶

### چکیده

رودخانه‌ها از اشکال پویای طبیعت هستند و بررسی ژئومورفولوژیکی فرآیندهای حمل و نقل رسوب و پایداری رودخانه‌ها، بسیار مهم می‌باشد. لذا، هدف این مطالعه، بررسی وضعیت پایداری و تنش برشی در رودخانه گیوی چای با استفاده از روش‌های تجربی و ریاضی و مقایسه‌ی نتایج حاصله با مطالعات میدانی، شرایط مورفولوژیکی، هیدروژئولوژیکی، زمین‌شناسی و انسانی حاکم بر هر یک از بازه‌ها می‌باشد. این پژوهش متکی بر کارهای میدانی و آزمایشگاهی، تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های هیدرومتری و نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی و کاربری اراضی می‌باشد. با توجه به نتایج مطالعه، پلان فرم رودخانه، در بازه‌ی اول، دوم و چهارم، به صورت سینوسی و در بازه‌ی سوم به صورت پیچان‌رودی می‌باشد و با در نظر گرفتن مشخصه‌های زاویه مرکزی، به ترتیب بازه‌ی اول، دوم و سوم به صورت پیچان‌رود بسیار توسعه‌یافته و بازه‌ی چهارم از نوع پیچان رود توسعه‌یافته می‌باشند. بیشترین میزان تنش برشی موجود و کناری، در مقاطع ۴، ۳، ۱۱ و ۱۲ دیده می‌شود و بیش‌ترین میزان تنش برشی بحرانی، در مقاطع ۳ و ۷ وجود دارد. بررسی‌های شاخص پایداری نسبی نیز نشان داد که به جز مقاطع ۵ و ۷، سایر مقاطع در تمامی بازه‌ها، به صورت ناپایدار می‌باشند. به طور کلی نتایج مطالعه نشانگر این امر می‌باشد که مقاطع و بازه‌هایی با مواد بستر ریزدانه و آبرفتی نسبت به تغییرات دبی و بار رسوبی حساسیت بیشتری از خود نشان می‌دهند. همچنین با توجه به نتایج مطالعه، در بازه‌های اول و دوم، نتایج روش‌های تجربی با مطالعات میدانی همخوانی دارد و در بازه‌ی سوم و چهارم همخوانی زیادی دیده نمی‌شود.

**کلمات کلیدی:** شاخص تنش برشی، پایداری نسبی، ناپایداری مجرا، رودخانه گیوی چای، شمال غرب ایران.

### ۱- مقدمه

رودخانه‌ها از اشکال پویای چشم‌اندازهای طبیعی هستند که در زمینه‌ی تغییر در کنترل کننده‌های محیطی و دستکاری‌های انسانی در سیستم‌های طبیعی طی مقاطع زمانی و مکانی مختلف، تغییرات متفاوتی از خود نشان می‌دهند (غلامی و حسین‌زاده، ۱۳۹۷:۴۲). می‌توان گفت؛ رودخانه‌ها تحت تأثیر مؤلفه‌های مختلف زمین‌شناسی و تکتونیک، لیتولوژی، هیدرولوژیکی، خاک‌شناسی، توپوگرافی و عوامل انسانی (ایاز و دهایل<sup>۱</sup>، ۲۰۱۹)، باتالا و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۸)، ژانگ و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۷)؛ باندی‌پادهای و کومارده<sup>۴</sup> (۲۰۱۸)؛ چن و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۱۹)، در حال تغییر می‌باشند. اثرات ناشی از عوامل طبیعی در تنظیم رودخانه، در طولانی مدت نمایان می‌شود. با این وجود، استثنائات اندکی نیز وجود دارد که عوامل طبیعی، مانند: سیلاب رودخانه، لغزش زمین یا زمین‌لرزه می‌تواند در مدت زمان بسیار کوتاهی، در کانال تغییراتی را ایجاد کند (چیونگسان و همکاران<sup>۶</sup>، ۲۰۱۹:۱۵۳). در مقابل، فعالیت‌های انسانی می‌توانند تأثیر معنی‌دار و سریعی بر جریانات و فرآیندهای طبیعی داشته باشند (رینالد و سیمون<sup>۷</sup>، ۱۹۹۸:۵۷). ناپایداری مجرای رودخانه، نقش به‌سزایی در ایجاد فرسایش، تخریب سواحل و تاسیسات کنار رودخانه دارد. این نقش به‌ویژه هنگامی تشدید می‌شود که مجرا و بستر رودخانه آبرفتی باشد (رضایی‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۱:۳۳). یک کانال آبرفتی، چه مصنوعی و چه طبیعی، همچنان می‌خواهد مرز خود را در هنگام حمل و نقل آب و رسوبات تغییر دهد (دای و همکاران<sup>۸</sup>، ۲۰۱۸:۲). تنش برشی در بسیاری از معادله‌های هیدرولیکی انتقال رسوب، مدل‌های آشفستگی، تعیین بازه‌های پایدار، فرسایش دیواره‌ها و کف کانال و نیز بری شبیه‌سازی تغییرات هندسه رودخانه کاربرد دارد (هوشمندی و همکاران، ۱۳۹۳، ۲۸۵). در رابطه با مسئله فرسایش رودخانه و

- 
- 1- Ayaz & Dhali
  - 2- Batalla et al.,
  - 3- Zhang et al.,
  - 4- Bandyopadhyay & Kumar De
  - 5- Chen et al.,
  - 6- Chaiwongsaen et al.,
  - 7- Rinaldi & Simon
  - 8- Dai et al.,

بررسی شاخص‌های پایداری و تنش برشی رودخانه مطالعات مختلفی صورت گرفت است که از زمره‌ی آن‌ها عبارتند از: رضایی‌مقدم و همکاران (۱۳۹۱)، وضعیت پایداری مجرای رودخانه‌ی قزل اوزن با استفاده از روش‌های تنش برشی، شاخص مقاومت نسبی بستر را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که در بازه‌ی اول، نتایج روش‌های تجربی با مطالعات صحرایی هم‌خوانی دارد؛ ولی در بازه‌های دوم و سوم نتایج روش‌های تجربی با مطالعات صحرایی هم‌خوانی ندارد. این بررسی نشان داد که روش‌های تنش برشی و شاخص مقاومت نسبی بستر، تنها در مجراهای آبرفتی اهمیت داشته و به نتایج آن‌ها می‌توان استناد کرد. اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۳۹۵)، به بررسی نحوه‌ی توزیع قدرت رودخانه و تنش برشی در محدوده‌ی شهری سراسکاندچای پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که در مقاطع ۱۰، ۱۱، ۱۲، قدرت مخصوص و تنش برشی بیشتر از سایر مقاطع بوده و مقاطع ۹، ۱۵ و ۱۶ به علت عرض بالای بستر رودخانه و شیب کم بستر، قدرت مخصوص و تنش برشی کمتر از سایر مقاطع می‌باشد. خالقی و همکاران (۱۳۹۶)، با استفاده از مدل BEHI به ارزیابی پایداری رودخانه قرانقوی‌چای هشت‌رود پرداختند. طبق نتایج مطالعه‌ی میزان فرسایش در ساحل راست رودخانه بیشتر می‌باشد و علت آن، پایین و دن میزان تراکم ریشه گیاهان در ساحل راست و جنس سست مواد، نسبت به ساحل چپ می‌باشد. خزائی و همکاران (۱۳۹۶)، به بررسی کناره‌های حساس به فرسایش در رودخانه بشار، با استفاده از روش‌های تنش برشی و پایداری نسبی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که بازه‌های اول و سوم به صورت ناپایدار، بازه‌ی چهارم به صورت نیمه‌ی پایدار و بازه‌ی دوم در حالت پایدار می‌باشد و روش‌های تجربی مورد استفاده در این تحقیق، برای بررسی پایداری در رودخانه‌ها و بازه‌های آبرفتی صدق می‌کند. خالقی و همکاران (۱۳۹۸)، طبقه‌بندی مورفولوژیکی و ناپایداری مجرای رودخانه‌ی کلیبرچای را با استفاده از روش رزگن، مورد بررسی قرار دادند. با توجه به نتایج مطالعه‌ی بازه‌ی ۳ و ۵ از گروه تیپ B و ۷ از گروه تیپ C، در وضعیت ضعیف و ناپایدار قرار دارند. همچنین نتایج مطالعه، نشان داده است که تراکم پوشش گیاهی و نوع مواد تشکیل‌دهنده‌ی کناری از مهم‌ترین عوامل دخیل در وضعیت پایداری در محدوده‌ی

مطالعاتی می‌باشند. فیلیبس و دسلوگس<sup>۱</sup> (۲۰۱۴)، با توجه به دبی رودخانه، شیب بستر، عرض مجرا و داده‌های میدانی، قدرت و پایداری رودخانه را محاسبه کردند و نتایج مطالعه نشان داد که میزان حمل رسوبات تحت تأثیر مواد بستر هست و این عامل تحت تأثیر توزیع قدرت رودخانه و تنش برشی می‌باشد. مایتی و مایت<sup>۲</sup> (۲۰۱۷)، رسوب‌گذاری تحت تأثیر تنش برشی متغیر، در پائین رودخانه روپناریان، در بنگال غربی هند را مورد مطالعه قرار دادند. با توجه به نتایج مطالعه، نوسان فصلی تنش برشی موجود در رابطه با تنش برشی بحرانی، اصلی‌ترین عامل ایجادکننده رسوب در قسمت پایین رودخانه روپناریان است. هارون و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۹)، در مطالعه‌ای با توجه به پارامترهای عرض رودخانه، مواد بستر و کناره، سرعت و شیب کانال، به ارزیابی پایداری رود راساوو در مالزی پرداختند. بر اساس نتایج مطالعه، مقاطع ۴ و ۵، با بار رسوب کم تا بسیار زیاد پایدار نیستند و مقاطع ۱، ۲، ۳، ۶، ۷، ۸، به علت داشتن پوشش گیاهی انبوه، به صورت پایدار می‌باشند. رودخانه‌ی گیوی‌چای، از جمله رودخانه‌های دائمی استان اردبیل می‌باشد و مسائل و مشکلات ناشی از فرسایش بستر و دیواره‌ها، در بازه‌های مختلف این رودخانه مشهود می‌باشد و موجب خسارت به اراضی کشاورزی و تأسیسات مجاور رودخانه می‌گردد. به علاوه شایان ذکر می‌باشد که تاکنون مطالعه‌ای به منظور بررسی وضعیت پایداری مجرای رودخانه‌ی گیوی‌چای انجام نشده است و این امر ضرورت انجام تحقیق حاضر را دوچندان نموده است. لذا، در این مطالعه نسبت به بررسی وضعیت پایداری و تنش برشی گیوی‌چای با استفاده از روش‌های تجربی و ریاضی و مقایسه‌ی نتایج حاصله با مطالعات میدانی، شرایط مورفولوژیکی، هیدرولوژیکی، زمین‌شناسی و انسانی حاکم بر هر یک از بازه‌ها اقدام شده است.

## ۲- مواد و روش

### معرفی رودخانه‌ی مورد مطالعه

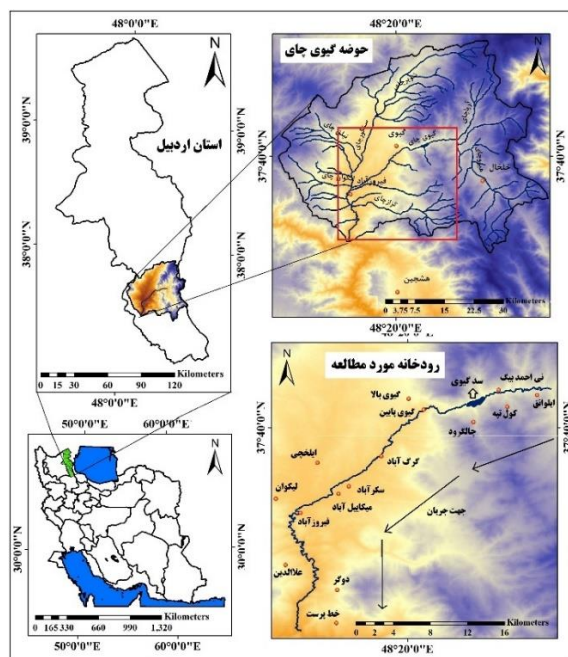
رودخانه‌ی گیوی‌چای به طول تقریبی ۵۴ کیلومتر، از جمله رودخانه‌های دائمی استان

1- Phillips & Desloges

2- Maiti & Maiti

3- Haron et al.,

اردبیل می‌باشد. دو رود هیرو (که از ارتفاعات جنوب شهر خلخال سرچشمه گرفته است) و آریاچای یا همان قوروچای (که از شمال به جنوب جاری است)، در پایین‌دست به هم پیوسته و جریان در نزدیکی روستای (اینالوا)، به سمت غرب منحرف شده و ارتفاعات ما بین خلخال و گیوی را با دره‌ی تنگ و عمیقی بریده و به شهر گیوی می‌رسد. در این منطقه این رود به نام گیوی‌چای معروف است. این رودخانه پس از گذشتن از شهر گیوی و پیوستن به رودخانه‌ی فیروزآباد به قزل اوزن می‌ریزد (شکل ۱).



شکل (۱): نقشه‌ی موقعیت محدوده‌ی مورد مطالعه

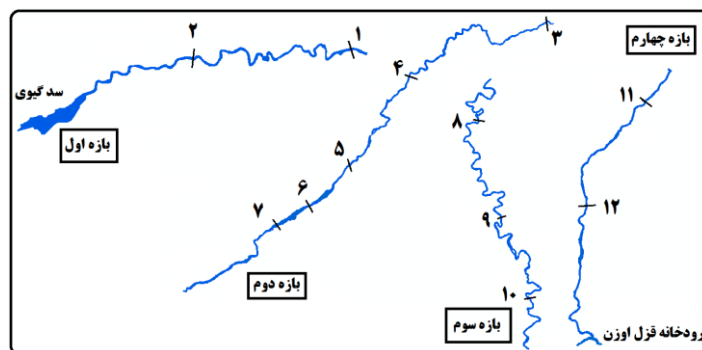
Fig (1): Location map of the study area

#### روش تحقیق

مهم‌ترین داده‌های پژوهش حاضر عبارتند از: نقشه‌ی توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌ی زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و تصاویر google earth و لندست هشت، شامل سنجنده OLI (۲۰۱۹)، نقشه‌های تعیین حد بستر و حریم رودخانه‌ی گیوی‌چای با

مقیاس ۱:۲۰۰۰ (سازمان آب منطقه‌ای استان اردبیل)، داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری آبگرم و فیروزآباد و داده‌های میدانی. در راستای اهداف تحقیق از نرم افزارهای Arc. ENVI، GIS، Excel، HEC RAS استفاده شده است. ابتدا، با استفاده از تصویر لندست هشت (۲۰۱۹)، و بعد از انجام تصحیحات اتمسفری با استفاده از روش FLAASH، با توجه به شاخص‌های آب، شامل: NDWI، MNDWI، AWEI\_no shadow، AWEI\_shadow و WRI؛ نسبت به استخراج مسیر رودخانه اقدام گردید (شکل ۳). با توجه به ضریب کاپا (۰/۹۸) و صحت کلی (۹۹/۴۲)، مسیر رودخانه استخراج شده توسط شاخص AWEI\_sh، مورد تأیید و استفاده قرار گرفت (جدول ۱). در مرحله‌ی بعد، مسیر رودخانه به ۴ بازه تقسیم شد که عبارتند از: بازه یک (بازه‌ی کوهستانی بالادست سد، از محل اتصال دورود هیروچای و آریچای تا محل سد)، بازه‌های پایین دست سد شامل: بازه‌ی ۲ (بازه‌ی دشتی)، ۳ (بازه‌ی کوهستانی) و ۴ (بازه‌ی نیمه کوهستانی) تقسیم گردید. نقشه‌ی زمین‌شناسی رودخانه مورد مطالعه نیز با استفاده از نقشه‌ی زمین‌شناسی گیوی تهیه شد. همچنین جهت بررسی شرایط هیدرولوژیکی رودخانه، شاخص‌های مقدار دبی با درصدهای مختلف احتمال وقوع Q5، Q10، Q15، Q35، Q45، Q50، Q65، Q75، Q90 (برای مثال Q5، میزان دبی جریانی که در ۵ درصد ایام سال دبی مساوی یا بیشتر از مقدار مذکور باشد) و دبی نرمال درحالت پربابی (مقدار جریانی که در ۱/۴ از ایام سال دبی مساوی یا بالاتر از آن است)، دبی نرمال در حالت کم آبی (مقدار جریانی که در ۳/۴ از ایام سال دبی مساوی یا بالاتر از آن است)، دبی عادی (مقدار جریانی که در ۵۰ درصد از ایام سال دبی مساوی یا بالاتر از آن است)، دبی میانگین، دبی میانه، دبی مد، دبی حداقل، دبی حداکثر، دبی سالانه محاسبه گردید. برای بررسی دانه‌بندی رودخانه، از تمامی مقاطع مورد بررسی، نمونه برداشت گردید و نمونه‌های برداشت شده، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مقدار  $D_{50}$  (قطر  $D_{50}$ ، اندازه‌ای است که ۵۰ درصد وزنی ذرات از آن کوچک‌تر هستند)، تعیین گردید. لازم به ذکر می‌باشد در تحقیق حاضر برای استخراج کاربری اراضی محدوده‌ی مورد مطالعه، ابتدا تصحیحات هندسی و اتمسفری بر روی تصاویر با استفاده از روش Flaash، در نرم‌افزار Envi5.3، انجام شد. سپس طبقه‌بندی با روش شیء‌گرا و الگوریتم نزدیک‌ترین همسایگی در نرم‌افزار

Ecognition، صورت گرفت و نتایج حاصله از طبقه‌بندی کاربری‌ها در مطالعه‌ی حاضر، چه از نظر تک‌تک کاربری‌ها و چه از نظر مجموع صحت و آمار کاپا، از صحت قابل قبولی (بزرگ‌تر از ۸۵ درصد)، در ارتباط با اطلاعات تولیدشده برخوردار می‌باشد. در مرحله‌ی بعد، در طول رودخانه‌ی گیوی‌چای، ۱۲ مقطع به عنوان نمونه انتخاب گردید (شکل ۲). قابل ذکر می‌باشد، مقاطع عرضی که احساس می‌شد دارای تغییرات زیادی در فرایندهای مورفولوژیکی جریان به‌واسطه عرض، شیب و عمق رودخانه و یا به واسطه‌ی دخالت عوامل انسانی می‌باشند و می‌توانند جنبه‌ی مقایسه‌ای با هم دیگر داشته باشند، به عنوان مقاطع نمونه جهت بررسی، انتخاب گردید. پارامترهای مورد نیاز با پیمایش‌های میدانی و بررسی تصاویر ماهواره‌ای و گوگل ارث به دست آمد و شاخص‌های مورفولوژیکی هر یک از بازه‌ها و همچنین شاخص‌های تنش برشی موجود (مرزی)، تنش برشی کناری، تنش برشی بحرانی و پایداری نسبی هریک از مقاطع، با توجه به ضرایب و روابط مربوطه، محاسبه گردید.



شکل (۲): موقعیت بازه‌ها و مقاطع مورد بررسی بر روی مسیر رودخانه گیوی‌چای

Fig (2): The position of the studied intervals and sections on the route of the Givi chay River

محاسبه‌ی شاخص‌های ژئومورفولوژی: ضریب خمیدگی با استفاده از رابطه ۱، (ضریب پیتز)، به دست آمد. در رابطه‌ی زیر؛  $k$ : ضریب خمیدگی،  $L$ : طول قوس و  $\lambda/2$ : نصف طول موج می‌باشد.

$$s = \frac{L}{\lambda/2}$$

رابطه‌ی (۱)

زاویه مرکزی قوس‌های زده شده بر روی هر کدام از بازه‌ها نیز با استفاده از رابطه‌ی (۲)، (ضریب کورنیاس) محاسبه شد. در رابطه‌ی زیر؛  $A$ : زاویه مرکزی،  $L$ : طول قوس و  $R$ : شعاع دوایر برآزش شده می‌باشد.

$$A = \frac{180L}{R\pi} \quad \text{رابطه‌ی (۲)}$$

محاسبه‌ی تنش برشی: تنش برشی در واقع بیانگر پتانسیل آب شناختی انرژی جریان رودخانه بوده و چون با مجذور سرعت متناوب است از این رو حساسیت کاربرد آن بیش از عامل سرعت جریان می‌باشد، از دیاد تنش برشی در بستر رودخانه سبب افزایش بار کف و آب شستگی کف بستر می‌گردد، که اثر آن در کناره‌های رودخانه به صورت فرسایش و تخریب و گسستگی دیواره‌ها خواهد بود. اندازه‌گیری مستقیم تنش برشی کار دشواری هست و به همین علت محققان روش‌هایی را برای محاسبه غیر مستقیم تنش برشی ارائه داده‌اند (هوشمندی و همکاران، ۱۳۹۳: ۲۸۶). تنش برشی موجود (مرزی)، تنش برشی کناری، تنش برشی بحرانی، به ترتیب از طریق روابط ۳، ۴ و ۵، محاسبه شدند:

$$\tau = \rho w g R S \quad \text{رابطه‌ی (۳)}$$

$$\tau' = C \gamma g R S \quad \text{رابطه‌ی (۴)}$$

$$\tau c = \theta c (p_s - p_w) g d \quad \text{رابطه‌ی (۵)}$$

در روابط فوق:  $\tau$ : تنش برشی مرزی،  $\tau'$ : تنش برشی کناره،  $\tau c$ : تنش برشی بحرانی،  $p_w$  و  $\gamma$ : چگالی مخصوص آب (برابر است با ۱۰۰۰ کیلوگرم بر مترمربع)،  $g$ : شتاب ثقل (برابر است با ۹/۸۱ متر بر مجذور ثانیه)،  $R$ : شعاع هیدرولیک یا عمق آب بر حسب متر (در مطالعه حاضر عمق آب در نظر گرفته شده است که در هنگام برداشت نمونه‌های آزمایشگاهی، عمق آب نیز برداشت شد)،  $S$ : شیب بستر (با استفاده از نقشه برداری طولی از بازه‌های مورد مطالعه و سپس تقسیم اختلاف ارتفاع بالادست و پایین دست بازه‌ها بر طول آن محاسبه گردید)،  $\theta c$  مقدار ثابت بی بعد بین (۰/۰۴ تا ۰/۰۶)،  $p_s$ : چگالی ذره رسوبی (۲۶۵۰ کیلوگرم بر مترمربع)،  $d$ : اندازه قطر ذرات به میلی‌متر که با نمونه‌برداری از



مقاطع مورد بررسی به دست آمد (گوردن و همکاران<sup>۱</sup>، ۱۷۵:۲۰۰۴، به نقل از اسماعیلی و حسین‌زاده، ۴۷:۱۳۸۹؛ فیلیپس و دسلوگس<sup>۲</sup>، ۳:۲۰۱۴).

محاسبه‌ی شاخص پایداری نسبی (RBS): اولسن و همکاران<sup>۳</sup> (۱۹۹۷) این شاخص را نسبت بین تنش برشی بحرانی به تنش برشی کناره‌ها تعریف کرده‌اند (کافمن و همکاران<sup>۴</sup>، ۱۵۱:۲۰۰۸). جووت<sup>۵</sup> (۱۹۸۹)، پایداری نسبی پایدار را به صورت نسبت سرعت بحرانی مورد نیاز برای حرکت ذره ( $V_c$ )، به سرعت واقعی با تخمینی جریان آب در نزدیک بستر رود ( $V_b$ ) تعریف نمود (گوردن و همکاران، ۱۷۶:۲۰۰۴، به نقل از اسماعیلی و حسین‌زاده، ۴۷:۱۳۸۹). شاخص پایداری نسبی (RBS)، با استفاده از رابطه‌های زیر به دست آمد. در روابط زیر،  $V_c$ : سرعت بحرانی،  $V_b$ : سرعت حقیقی جریان،  $D_{50}$ : قطر ۵۰ درصد ذرات خاک است.

$$RBS = \frac{V_c}{V_b} \quad \text{رابطه‌ی (۶)}$$

$$V_c = 0.155\sqrt{D_{50}} \quad \text{رابطه‌ی (۷)}$$

$$V_b = 0.7 V \quad \text{رابطه‌ی (۸)}$$

### ۳- یافته‌ها و بحث

#### ۳-۱- وضعیت مورفولوژی رودخانه

بررسی وضعیت مورفولوژی بازه‌ها نشان می‌دهد، میانگین ضریب خمیدگی در بازه‌ی اول به مقدار ۱/۴۰ بوده و نوع بازه سینوسی می‌باشد (شکل ۳؛ الف). در بازه‌های دوم و چهارم نیز، بخش اعظم بازه، دارای ضریب خمیدگی ۱/۵-۱/۰۵ می‌باشند و بنابراین پلان فرم مجرا به صورت سینوسی می‌باشد (شکل ۳؛ ب، د)، ولی در بازه‌ی سوم بیش از ۶۰ درصد از محدوده

1- Gorden et al.,  
2- Phillips & Desloges  
3- Olsen et al.,  
4- Kaufmann et al.,  
5- Jute

دارای خمیدگی ۱/۵ تا ۲ می‌باشد و بنابراین الگوی بازه به صورت پیچان‌رودی است (شکل ۳؛ ج). در بازه‌ی دوم و چهارم، انحراف معیار ضریب خمیدگی کم می‌باشد و به طور کلی، نشان‌دهنده‌ی وجود قوس‌های شبیه هم می‌باشند. در بازه سوم، مقدار انحراف معیار، نسبتاً زیاد می‌باشد و این امر بیان‌کننده‌ی قوس‌های غیر شبیه می‌باشند (جدول ۱).

جدول (۱): مشخصه‌های ضریب خمیدگی رودخانه گیوی چای

Table (1): Curve Coefficient Characteristics of Givi-chay River

نوع بازه	انحراف معیار	میانگین	حداکثر	حداقل	تقسیم‌بندی رودخانه بر حسب ضریب خمیدگی (درصد)				بازه
					۱-۱/۰۵	۱/۰۵-۱/۵	۱/۵-۲	۲ > پیچان	
					مستقیم	سینوسی	پیچان‌رودی	رودی شدید	
سینوسی	۰/۴۳	۱/۴۰	۲/۲۹	۱/۰۱	۱۷/۷۵	۶/۲۵	۶۸/۷۵	۶/۲۵	۱
سینوسی	۰/۱۸	۱/۲۵	۱/۹۰	۱/۰۵	-	۱۲/۵	۸۷/۵	-	۲
پیچان‌رودی	۰/۴۶	۱/۸۶	۲/۹۹	۱/۲۰	۲۵/۸۰	۶۴/۵۲	۹/۶۸	-	۳
سینوسی	۰/۱۲	۱/۱۸	۱/۴۷	۱/۰۶	-	-	۱۰۰	-	۴



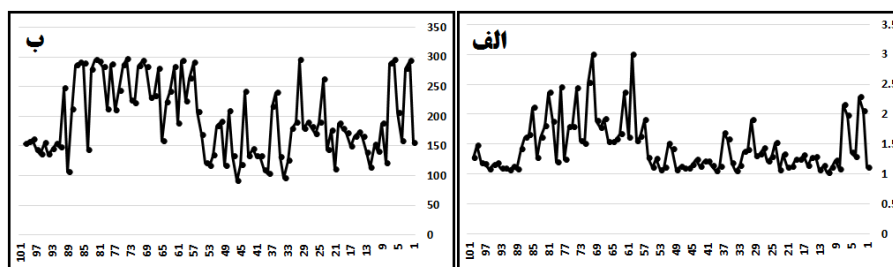
شکل (۳): الف: بخشی از مسیر سینوسی رودخانه در بازه‌ی بالادست سد گیوی؛ ب: نمونه‌ای از الگوی گیسوئی رودخانه در بازه‌ی دوم؛ ج: الگوی مئاندری رودخانه در بازه‌ی سوم؛ د: وجود موانع کوهستانی به عنوان موانع توسعه مئاندر، در بازه‌ی چهارم

Fig (3): a: Part of the sinusoidal path of the river upstream of Givi Dam; B: An example of the arterial pattern of the river in the second interval; A: The meandering pattern of the river in the third interval; D: The existence of mountainous obstacles as obstacles to the development of meander, in the fourth intervals

همچنین، با توجه به نتایج مطالعه (جدول ۲)؛ بازه‌ی اول، دوم و سوم، به صورت پیچان‌رود بسیار توسعه یافته و بازه چهارم، از نوع پیچان‌رود توسعه یافته می‌باشد. در بازه دوم، پیچان‌رودی شدید به علت شیب کم بستر و آبرفتی بودن آن می‌باشد و مئاندرها از نوع آزاد و دشتی است و با افزایش قوس مئاندرها و تمرکز انرژی رودخانه در یک نقطه‌ی مشخص، شدت فرسایش به حداکثر خود می‌رسد و در جایی که قوس مئاندر به طرف کناره‌ها متمرکز شده و با دیواره کنار بستر مماس گردیده، مقدار انبوهی از مواد کناری به داخل بستر سرازیر شده و با شدت گرفتن انرژی مئاندري در محدوده‌ی خمیدگی و قوس مئاندر، پهنای دشت سیلابی به خاطر فرسایش افزایش یافته است. بیشترین عرض کمربند مئاندري شدن در محدوده گیوی پایین می‌باشد که عرض کمربند پیچان‌رودی به ترتیب در ساحل چپ و راست تا ۴۰۰ و ۲۰۰ متر، می‌تواند گسترش یابد. در پایین دست سد گیوی به دلیل کم شدن حجم جریان رودخانه و افزایش عرض بستر کمربند پیچان‌رودی رودخانه منطبق بر بستر کنونی است و در مواقع سیلابی شدن، مئاندرهای رودخانه می‌تواند تغییراتی را در سیلاب‌دشت رودخانه داشته باشند و عرض کمربند مئاندري شدن رودخانه را تا ۲۵۰ متر در نظر گرفت. در بازه سوم، میانگین زاویه مرکزی، نسبت به دیگر بازه‌ها زیاد است، در واقع رودخانه در یک مسیر پرپیچ و خم‌دار جریان یافته است که به علت مقاومت زمین‌شناسی کنار رودخانه و عرض کم منتج از این عامل است و میزان توسعه پیچان‌رودی به طور کامل از لیتولوژی بستر و کناره تأثیر پذیرفته است و چون توپوگرافی منطقه بسیار خشن است و رودخانه در دره‌ی عمیق محاط شده، لذا مرحله تبدیل به نعل اسبی دیده نمی‌شود. بنابراین، به دلیل عبور رودخانه از دره‌ی باریک کمربند مئاندري رودخانه در بخش کوهستانی، نمی‌تواند گسترش چندانی یابد و منطبق بر بستر رودخانه قرار می‌گیرد و این محدوده دارای عرضی در حدود ۶۰ متر در اطراف رودخانه می‌باشد. در شکل (۴)، روند تغییرات ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی در رودخانه گیوی‌چای نمایش داده شده است.

جدول (۲): مشخصه‌های زاویه مرکزی رودخانه گیوی چای  
Table (2): Central Angle River Characteristics of Givi-chay River.

نوع بازه	انحراف معیار	حداکثر میانگین	حداقل	تقسیم‌بندی رودخانه برحسب زاویه مرکزی (درصد)						
				۲۹۶>	۱۵۸-۲۹۶	۸۵-۱۵۸	۴۱-۸۵	۰-۴۱		
بسیار توسعه یافته	۶۳/۶۹	۱۸۹/۷۳	۲۹۴/۷۰	۱۱۲/۹۱	-	۵۶/۲۵	۴۳/۷۵	-	-	۱
بسیار توسعه یافته	۴۷	۱۶۳/۵۰	۲۹۴/۸۱	۹۱/۷۴	-	۵۲/۵	۴۷/۵	-	-	۲
بسیار توسعه یافته	۴۲/۷۱	۲۵۵/۱۲	۲۹۵/۹۲	۱۴۳/۱۶	-	۹۶/۷۷	۳/۲۳	-	-	۳
توسعه یافته	۳۵/۵۷	۱۵۷/۸۴	۲۴۷/۸۱	۱۰۶/۲۳	-	۲۳/۰۸	۷۶/۹۲	-	-	۴



شکل (۴): الف: روند تغییرات ضریب خمیدگی رودخانه‌ی گیوی چای ب: روند تغییرات زاویه مرکزی رودخانه‌ی گیوی چای

Fig (4): A: The trend of changes in the curvature of the Givi-chay River B: The trend of changes in the central angle of the Givi-chay River

### ۲-۳- تنش برشی و پایداری رودخانه

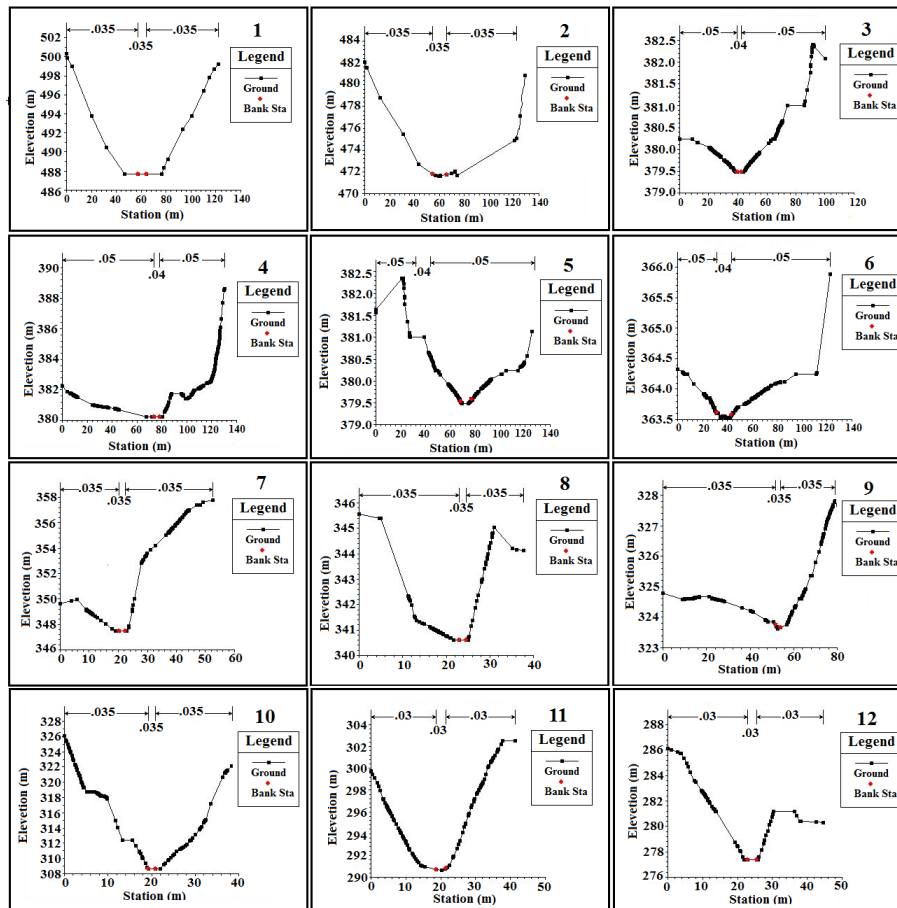
با توجه به نتایج تحقیق، تنش برشی موجود در مقاطع ۳، ۴ (بازه‌ی دوم)، بیش‌تر از سایر مقاطع می‌باشد و با توجه به ارتباط مستقیم میزان تنش برشی با عمق و عرض مقطع، حتی در شرایط فعلی جریان نیز پدیده‌هایی همچون آبشستگی و تخریب دیواره و سواحل رودخانه وجود خواهد داشت و با توجه به اینکه عمده زمین‌های کشاورزی در این بازه‌ها قرار دارد، هرگونه تغییر در مؤلفه‌های ریخت‌شناسی، سبب به هم خوردن تعادل پویایی می‌شود. از لحاظ تنش برشی بحرانی، بیشترین مقدار آن در مقاطع ۳ و ۷ می‌باشد. بر این اساس، فرسایش‌پذیری زیاد و مقاومت برشی کم، سبب افزایش میزان تغییرات مقاطع مورد مطالعه خواهد شد. کم‌ترین مقدار تنش برشی موجود و کناره نیز در مقطع ۵ می‌باشد و

علت آن را می‌توان در افزایش عرض بستر، کاهش سرعت جریان، کاهش شیب و همچنین وجود پوشش گیاهی انبوه در کنار رودخانه دانست (جدول ۳). پروفیل عرضی هر یک از مقاطع مورد بررسی نیز در شکل (۵)، نشان داده شده است. اگر عدد به دست آمده از پایداری نسبی بستر، از یک بزرگ‌تر باشد، نشان‌دهنده‌ی پایداری بستر می‌باشد و هرچه این مقدار بیشتر باشد، نشان می‌دهد که ذرات رسوبی موجود در کف بستر در حالت پایدار باقی می‌ماند. با توجه به مقادیر پایداری نسبی، مقاطع ۵ و ۷ به صورت پایدار هستند و دیگر مقاطع در حالت ناپایدار هستند. در بازه دوم، در مقطعی که میزان پایداری زیاد هست، به علت کاهش سرعت جریان، کاهش شیب و افزایش عرض بستر رودخانه می‌باشد و در دیگر مقاطع مورفولوژی و پایداری رودخانه، تابع شرایط لیتولوژیکی می‌باشد. توزیع تنش برشی مرزی، کناری، بحرانی و پایداری نسبی در بازه‌های مختلف رودخانه گیوی‌چای در اشکال ۶ و ۷، نمایش داده شده است.

جدول (۳): وضعیت پایداری رودخانه با توجه به شاخص‌های تنش برشی و شاخص RBS

Table (3): Stability of the river according to shear stress indices and RBS index

بازه شماره مقطع	عمق جریان	شیب	D50 mm	سرعت متوسط جریان M <sup>3</sup> /sec	تنش برشی موجود	تنش برشی کناره	تنش برشی بحرانی	شاخص پایداری نسبی	وضعیت پایداری
اول	۱	۰/۵۰	۱۶	۱/۴	۶۸/۶۷	۵۰/۸۱	۱۳/۲۰	۰/۶۳	ناپایدار
۲	۰/۴۵	۰/۰۱۴	۱۳	۱/۲	۶۱/۸۰	۴۵/۷۳	۱۰/۷۲	۰/۶۶	ناپایدار
دوم	۳	۰/۶۵	۲۱	۱/۱	۱۱۴/۷۷	۸۴/۹۳	۱۸/۱۵	۰/۹۰	ناپایدار
۴	۰/۶۰	۰/۰۲۵	۱۱	۱/۰۵	۱۴۷/۱۵	۱۰۸/۸۹	۹/۰۷	۰/۶۹	ناپایدار
۵	۰/۵۰	۰/۰۰۷	۱۸	۰/۸۸	۳۴/۳۳	۲۵/۴۰	۱۴/۸۵	۱/۰۶	پایدار
۶	۰/۵۲	۰/۰۰۷	۱۵	۰/۹۵	۳۵/۷۰	۲۶/۴۲	۱۲/۳۷	۰/۹۰	ناپایدار
۷	۰/۵۳	۰/۰۰۷	۲۱	۱	۳۶/۳۹	۲۶/۹۳	۱۶/۵۰	۱/۰۱	پایدار
سوم	۸	۰/۶۷	۱۷	۱/۲	۵۲/۵۸	۳۸/۹۱	۱۴/۰۲	۰/۷۸	ناپایدار
۹	۰/۶۶	۰/۰۱۱	۱۵	۱/۵	۷۱/۲۲	۵۲/۷۰	۱۲/۳۷	۰/۵۷	ناپایدار
۱۰	۰/۶۱	۰/۰۱۱	۱۶	۱/۳	۶۵/۸۲	۴۸/۷۱	۱۳/۲۰	۰/۶۸	ناپایدار
چهارم	۱۱	۰/۸۵	۱۴	۱/۴	۱۱۹/۴۸	۸۸/۴۱	۱۱/۵۵	۰/۵۹	ناپایدار
۱۲	۰/۶۰	۰/۰۲۱	۱۳	۱/۳	۱۲۳/۶۰	۹۱/۴۶	۱۰/۷۲	۰/۶۱	ناپایدار

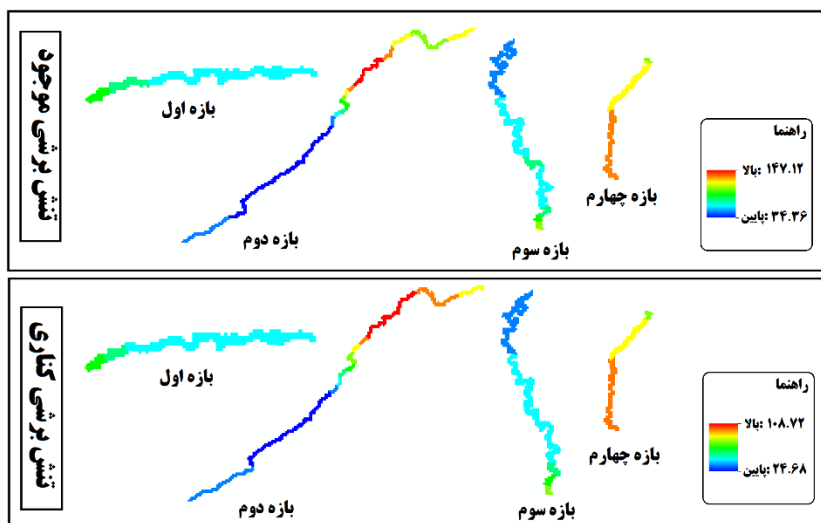


شکل (۵): نیمرخ عرضی مقاطع مورد بررسی رودخانه گیوی چای

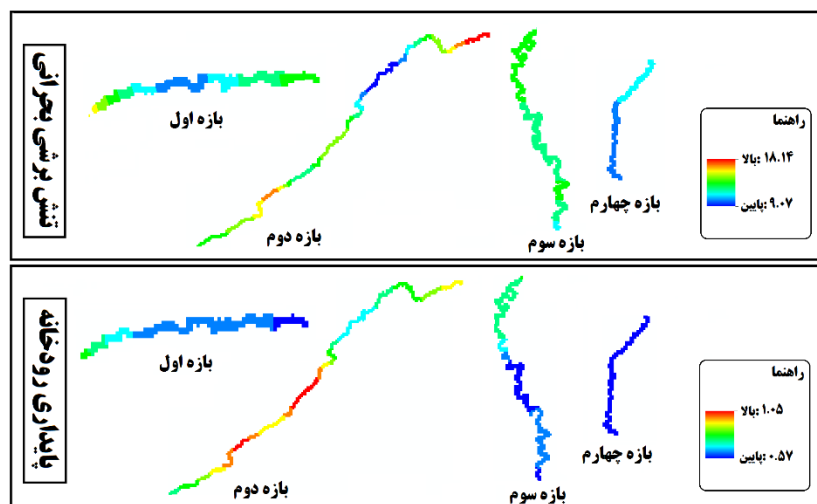
Fig (5): Transverse profile of the studied sections of Givi Chay River

با توجه به اینکه میزان تنش برشی در بستر و کناره‌های رودخانه یکنواخت نیست، میزان تنش برشی جریان بر کف و بستر رودخانه، بستگی به میزان حساسیت خاک و مواد آبرفتی رودخانه به فرسایش آبی دارد (رضایی‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۱:۴۳). با توجه به نقشه‌ی سازندهای زمین‌شناسی بازه‌ها (شکل ۷)، می‌توان گفت: در بازه‌ی اول، رودخانه در بستر دره‌ای جریان دارد و بخش‌هایی از مسیر رودخانه که از سازندهای فرسایش‌پذیر تشکیل

شده (Qt2): رسوبات پادگانه‌های آبرفتی جوان؛ شامل رس، رس‌های ماسه‌دار و شن و قلوه سنگ) و به ویژه در مقاطع نزدیک به سد، فرسایش یافته و عرض رودخانه نیز تقریباً افزایش یافته است و لذا مقاطع ۱ و ۲ که از رسوبات پادگانه‌های آبرفتی عبور می‌کنند، در حالت ناپایدار می‌باشند. به علاوه، در بخش‌هایی که از لایه‌های آندزیتی پورفیری و مگاپورفیری ائوسن تشکیل شده‌اند، این لایه‌ها در هنگامی که در معرض آب قرار می‌گیرند. مقاومت خود را از دست داده و فرسایش می‌یابند. اما میزان فرسایش این سنگ‌ها در مقایسه با میزان فرسایش در لایه‌های و تراس‌های آبرفتی کم است.



شکل (۶): توزیع تنش برشی مرزی و کناری در بازه‌های مختلف رودخانه  
Fig (6): Distribution of boundary and lateral in different river periods



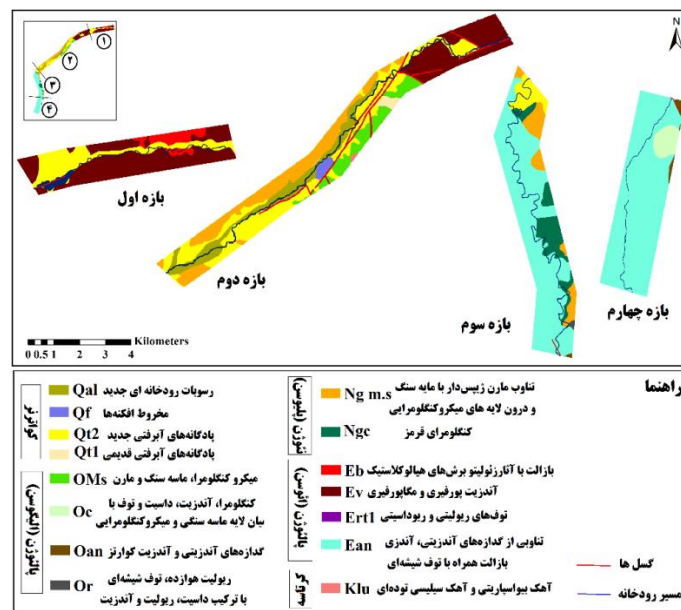
شکل (۷): توزیع تنش برشی بحرانی و پایداری نسبی در بازه‌های مختلف رودخانه  
Fig (7): Distribution of critical shear stresses and relative stability in different

در شکل (۸)، سازندهای زمین‌شناسی بازه‌های مختلف رودخانه‌ی گیوی‌چای نشان داده شده است. در بازه‌ی دوم و بلافاصله بعد از سد گیوی، رودخانه از دره‌های ارتفاعات مشرف به شهر گیوی، عبور می‌کند که در این محدوده عرض بستر ناشی از جنس کرانه‌ها (EV: آندزیت، تراکی آندزیت، تراکی بازالت و آندزیت بازالت) کاهش می‌یابد و بستر رودخانه دارای رسوبات درشت و پوشیده از سنگ‌های شکسته حاصل از سقوط از کرانه‌ها و حمل از بالادست می‌باشد. با فاصله گرفتن از سد و عبور از شهر گیوی رودخانه وارد دشت گیوی در پایین دست شهر و سیلاب دشت اصلی رودخانه، با پهنای بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر و طول بیش از ۱۲ کیلومتر تا فیروزآباد شده و بخش اعظم اراضی زراعی و باغی، در این محدوده در سیلاب‌دشت رودخانه واقع شده است و به دلیل عبور رودخانه از سازندهای فرسایش‌پذیر (Qt2): رسوبات پادگانه‌های آبرفتی جوان؛ شامل رس، رس‌های ماسه‌دار و شن و قلوه سنگ و Qal: رسوبات رودخانه‌ای فعلی و به صورت قلوه سنگ، شن، ماسه و در برخی مناطق رس و سیلت منفصل) به ویژه در حوالی سکرآباد و میکائیل‌آباد، بستر رودخانه عریض شده



و پادگانه‌های جوان مشاهده می‌شود. می‌توان گفت که در بخش‌های بعد از شهر گیوی، شرایط فرسایشی حاکم بوده و تراس‌های آبرفتی دچار فرسایش شده و حجم زیادی از مواد کناره (مخصوصاً در طی سیلاب‌ها) فرسایش یافته و کناره‌های سست منجر به عریض شدن کانال و پشته‌های داخل مجرا می‌شود و این رسوبات به وضوح در خم‌ها، جزایر میانی و اراضی حاشیه‌ای و پرشیب کناری رودخانه مشهود است و به طور مداوم توسط جریان‌ها جابه‌جا شده و فرسایش می‌یابند (شکل ۹؛ الف، ب). در مقطعی که عرض رودخانه زیاده بوده و شیب روند کاهشی داشته ضریب پایداری تقریباً زیاد می‌باشد (مقاطع ۵ و ۷). به علاوه این مقاطع دارای پوشش گیاهی و ریشه‌های درهم تنیده درختان است، و پوشش گیاهی به صورت محافظ عمل نموده و باعث جلوگیری از فرسایش کناره‌ها شده است. به علاوه، بعد از روستاهای گرگ‌آباد (سعیدآباد)، با کاهش شیب و افزایش عرض رودخانه، مئاندرهایی در ناوه اصلی رودخانه، تشکیل می‌شود که رسوب‌گذاری در بخش بیرونی قوس در این مئاندرها صورت می‌گیرد. در ابتدای بازه سوم، محدوده‌ی فیروزآباد در تداوم سیلاب‌دشت بازه قبلی قرار دارد و از رسوبات پادگانه‌های آبرفتی جوان تشکیل شده (مقطع ۸). با الحاق سنگورچای، رود وارد بخش کوهستانی شده و اراضی کرانه دارای دره‌های عمیق با شیب تند می‌باشد و در مسیر رودخانه به دلیل برخورد با ارتفاعات و برونزدهای سنگی تغییر مسیر متناوب داشته و دارای مئاندر می‌باشد و تغییرات رودخانه تابع تغییرات دره است و حالت مئاندری شدن در طول دره دیده می‌شود و مسیر رودخانه در این بازه منطبق بر واحد زمین‌شناسی Ean (تناوبی از گدازه‌های آندزیتی، آندزی بازالت و بازالت همراه با توف شیشه‌ای با ترکیب آندزیتی)، Ngms (تناوب مارن‌های خاکستری و قرمز ژئپس‌دار با ماسه سنگ‌های خاکستری و درون لایه‌های میکرو کنگلومرایبی) و Ngc (کنگلومرای قرمز رنگ) می‌باشد. در بازه چهارم نیز از میزان عرض رودخانه کاسته شده و بستر رودخانه پوشیده از رسوبات درشت دانه است که این امر تا پیوستن به قزل اوزن امتداد دارد و در برخی مناطق به دلیل ریزش مواد سنگی از ارتفاعات پرشدگی آبراهه و تغییر مسیر به وجود آمده است. در این بازه، شکل‌بندی مقاطع تابع مقاومت لیتولوژیکی بستر و کناره‌های رودخانه می‌باشد و کاربری زراعی و کشاورزی در آن دیده نمی‌شود. در

این بازه‌ی مسیر رودخانه، عمدتاً منطبق بر واحد زمین‌شناسی Ean، با روند شمالی-جنوبی می‌باشد (شکل ۹؛ ج، د). در بازه بعد از فیروزآباد تا اتصال به قزل‌اوزن، رودخانه با توجه به چین‌خوردگی کناره‌های رودخانه پرشیب می‌باشد و این امر موجب تشکیل بستر سنگی و عریان رودخانه شده است. لذا، در بازه‌های سوم و چهارم، مورفولوژی بستر بیشتر تحت تأثیر شرایط سنگ‌شناسی قرار دارد و بازه به صورت پایدار می‌باشد. ولی نتایج استفاده از روش‌های تجربی و ریاضی این بازه را به صورت ناپایدار معرفی کرده است و می‌توان گفت که روش‌های تجربی مورد استفاده در این تحقیق، برای بررسی پایداری در رودخانه‌ها و بازه‌های آبرفتی صدق می‌کند و در رودخانه‌های غیر آبرفتی و با بستر سنگی مقاوم، با خطا مواجه است.



شکل (۸): نقشه سازندهای زمین‌شناسی بازه‌های مختلف رودخانه گیوی‌چای  
Fig (8): Geological map of the different sections in Givi chay River



شکل (۹): الف و ب: فرسایش کنار رودخانه به علت وجود مواد سست و فرسایش پذیر؛ ج و د: مقاومت زمین‌شناسی کنار رودخانه و عرض کم منتج از این عامل

**Fig (9):** A and B: river erosion due to loose and erodible materials; C and D: the geological strength of the riverbed and the low latitude resulting from this factor

باید توجه داشت که شکل و الگوی رودخانه‌ها بیش از هر چیزی تحت تأثیر تغییراتی هست که رابطه‌ی بین ظرفیت حمل رودخانه و تدارک رسوب را تحت تأثیر قرار می‌دهند. همچنین جریان‌های رودخانه‌ای بر حسب دبی، دارای توان‌های متفاوتی برای فرسایش و رسوب‌گذاری هستند (اصغری سراسکانرود و همکاران، ۱۳۹۵:۴۶). بنابراین، تغییرات هیدرولوژیکی، به تدریج موجب تغییر موقعیت و مورفولوژی رودخانه‌ها می‌شود. شاخص‌های هیدرولوژیکی محاسبه شده برای بازه‌های بالادست و پایین دست، با توجه به داده‌های ۱۹ ساله‌ی دبی دو ایستگاه آبگرم (بالادست) و فیروزآباد (پایین دست)، در جدول ۴، نمایش داده شده است و با توجه به مقادیر محاسبه شده می‌توان گفت تغییر در دبی‌های (Q5, Q10, Q15)، می‌توانند بر فراوانی تغییرات رژیم‌های رسوبی و تغییر در میزان رطوبت نقش داشته باشند. همچنین در رابطه با شاخص‌های، Q35, Q45, Q65, Q90، قابل ذکر است که از نظر ژئومورفولوژیکی جریان‌های کمینه، فراوانی رژیم‌های رسوب در رودخانه، ذخیره‌سازی و رسوب و انتقال و زمان لازم برای ثبات کانال‌ها و کنار رودخانه را می‌تواند، متأثر سازد (شکل ۱۰؛ الف). همچنین، در زمان جریان کم، فشار برشی در کانال‌ها ضعیف است، که امکان نهشته‌گذاری رسوبات و سنگ‌های ریز را فراهم می‌کند (پتیت<sup>۱</sup>، ۱۹۸۷:۴۶۰). میزان دبی پرآبی در طول دوره آماری در پایین دست بیش‌تر از بالادست بوده است و این امر نشانگر اثرات تنظیمی آب می‌باشد و این عامل احتمال فرسایش کناری

رودخانه (شکل‌های ۱۰؛ ب) و تشکیل موانع طولی و جزایر رسوبی را با نهشته‌گذاری رسوبات در رودخانه افزایش می‌دهد (شکل ۱۰؛ د) و می‌توان گفت که مورفولوژی کلی کانال و تغییرات سیلاب در پایین دست سد، تحت تأثیر احداث سد قرار دارد. مقدار دبی حداکثر نیز در ایستگاه پایین دست افزایش یافته است طبق تئوری گراف<sup>۱</sup> (۲۰۰۶)، دبی حداکثر بر فراوانی تحرک بستر کانال و حمل بار بستری، فرسایش کنار رودخانه و مورفولوژی کلی کانال تأثیر گذاشته و تعداد و اندازه سطوح عملکردی را متحول می‌سازد (شکل ۱۰؛ ج). در رابطه با شاخص دبی میانگین نیز، بین دو ایستگاه تفاوت وجود دارد و با توجه به مطالعات گراف (۲۰۰۶)، می‌توان گفت که دبی میانگین یا متوسط، حجم فرآیندهای تجمع رسوب، اندازه کانال جریان پایین (معمولاً فعال)، الگوی کانال و پیچیدگی ژئومورفیک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین شاخص‌های دبی عادی، دبی میانه، مد نیز می‌توانند به فراوانی رژیم‌های رسوب در کانال و حمل بار بستری کانال و فرسایش کنار رودخانه منجر شوند.

جدول (۴): شاخص‌های هیدرولوژی در دو ایستگاه آبگرم و فیروزآباد

**Table (4):** Hydrological indicators in Abgarm and Firoozabad stations

Q90	Q65	Q45	Q35	Q15	Q10	Q5	شاخص ایستگاه	مقادیر
۰	۰/۲۲	۰/۶۶	۰/۸	۱/۳۲	۲/۱۴	۲/۴۰	آبگرم	حداقل
۰	۰/۰۴	۰/۶۶	۰/۷	۱/۵۰	۱/۹۲	۲/۱۴	فیروزآباد	
۰/۴۳	۱/۴۰	۲/۳۵	۲/۸۰	۱۱/۵	۱۴/۱	۱۹/۶	آبگرم	حداکثر
۰/۷۶	۱/۹۶	۳/۶۲	۴/۳۵	۲۲	۲۷/۷	۳۴/۴	فیروزآباد	
۰/۱۵	۰/۸۴	۱/۲۷	۱/۵۸	۴/۲۴	۵/۴۵	۷/۴۷	آبگرم	میانگین
۰/۱۸	۰/۹۱	۱/۷۸	۲/۲۵	۸/۲۲	۹/۷۰	۱۳/۲۳	فیروزآباد	
۰/۱۳	۰/۳۴	۰/۴۴	۰/۵۷	۲/۶۶	۳/۳۴	۴/۹۲	آبگرم	انحراف معیار
۰/۲۲	۰/۶۳	۰/۷۸	۰/۹۴	۵/۴۱	۶/۵۳	۹/۰۱	فیروزآباد	

ادامه جدول (۴) شاخص‌های هیدرولوژی در دو ایستگاه آبگرم و فیروزآباد

مقادیر	شاخص ایستگاه	دبی نرمال پرآبی	دبی نرمال کم آبی	دبی عادی	دبی میانگین	دبی میانه	دبی مد	دبی حداقل	دبی حداکثر
حداقل	آبگرم	۰/۹۶	۰/۱۰۸	۰/۶۶	۰/۸۱	۰/۶۶	۰	۰	۴/۸۲
	فیروزآباد	۱/۳۳	۰/۱۰۱	۰/۶۵	۰/۸۹	۰/۶۵	۰	۰	۸/۸۰
حداکثر	آبگرم	۳/۸۸	۱/۱۵	۱/۸۳	۴/۶۹	۱/۸۳	۱/۴۷	۰/۳۱	۳۷/۴۰
	فیروزآباد	۷/۲۷	۱/۶۲	۳/۴۵	۷/۳۱	۳/۴۵	۳/۸۲	۰/۲۰	۶۰/۷
میانگین	آبگرم	۲/۳۴	۰/۵۰	۱/۱۶	۲/۰۷	۱/۱۶	۰/۵۹	۰/۰۴	۱۳/۸۴
	فیروزآباد	۳/۴۵	۰/۵۱	۱/۶۰	۳/۲۶	۱/۵۹	۱/۱۹	۰/۰۳	۲۲/۷۶
انحراف معیار	آبگرم	۱/۰۰	۰/۳۳	۰/۳۷	۱/۰۵	۰/۳۷	۰/۵۲	۰/۰۷	۹/۶۸
	فیروزآباد	۱/۷۶	۰/۴۸	۰/۷۴	۲/۱۷	۰/۷۴	۱/۱۴	۰/۰۵	۱۵/۶۶

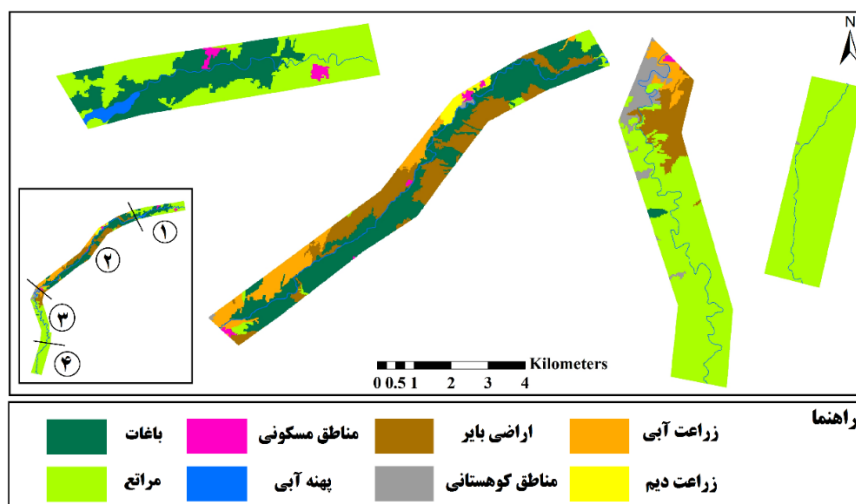


شکل (۱۰): الف- عریض شدن بستر و کاهش دبی رودخانه باعث رشد پوشش‌های گیاهی در بستر رودخانه و در نتیجه قدرت جریانی کم و تنش برشی ضعیف را موجب شده است؛ ب- زیربری و فرسایش کنار رودخانه؛ ج- تحرک بستر کانال و تغییر در سطوح عملکردی؛ د- نهشته‌گذاری رسوبات و تشکیل موانع طولی.

**Figure (10):** A - Bed widening and reduced river discharge caused vegetation growth in the riverbed, resulting in low flow power and poor shear stress; B- Subduction and erosion along the river; C- Channel bed mobility and change in functional levels, D-deposition of sediments and formation of longitudinal barriers.

در شکل (۱۱)، نوع کاربری هریک از بازه‌ها به تفکیک نمایش داده شده است، همانطور که مشاهده می‌گردد، در بازه‌ی اول و دوم بخش اعظمی از مسیر رودخانه از کاربری باغات عبور می‌کند. در بازه‌ی اول به علت کاهش عرض دره، کاربری‌ها در کرانه‌های شیب‌دار رودخانه محدود شده و شامل اراضی در تراس‌ها و باغات می‌باشد که در نوار باریک دره‌ی

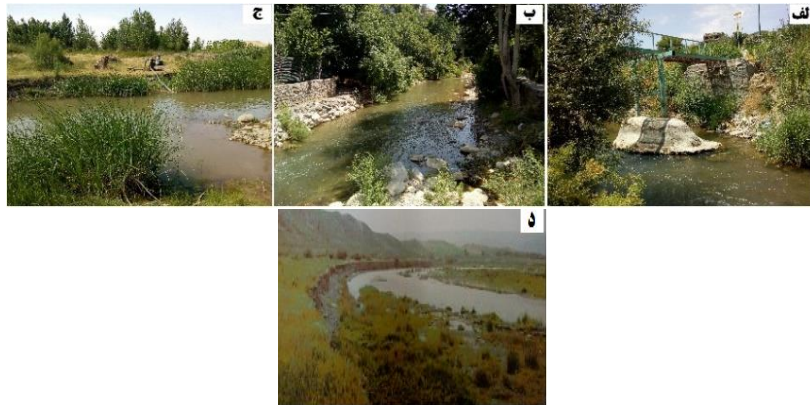
رودخانه امتداد دارند. به علاوه معدن سنگ لاشه‌ی نی‌احمد بیگ، نیز در این محدوده وجود دارد. بازه‌ی دوم از محدوده‌ی رودخانه‌ی گیوی، یکی از بخش‌های مهم رودخانه از نظر بهره‌برداری و کاربری اراضی و باغات و روستاهای حاشیه می‌باشد. رودخانه‌ی گیوی پس از عبور از دره‌های تنگ و سنگی در پایین‌دست سد گیوی با سرازیر شدن به دشت گیوی در پایین‌دست شهر، دارای پهنه‌ی آبرفتی رسوبی با شیب کم‌تر در مقایسه با بالادست می‌باشد و به طور کلی شرایط برای برداشت مصالح رودخانه در برخی از مناطق آن فراهم شده است. به این ترتیب در سنوات گذشته از محدوده‌ی روستای گرگ‌آباد (سعیدآباد) و میکائیل‌آباد و همچنین در قسمت پایین دست آن (قبل از فیروزآباد) برداشت مصالح شن و ماسه رودخانه‌ای صورت گرفته و برخی از این برداشت‌ها در راستای کارهای عمرانی از جمله راه ارتباطی و احداث سد مخزنی بوده است. این امر در بخش‌های از مسیر رودخانه، باعث برهم‌زدگی بستر و مقطع شده و در مناطقی نیز، تخریب و فرسایش کرانه و پایه‌ی پل‌ها را به دنبال داشته است. بازه‌ی سوم و چهارم (از فیروزآباد تا الحاق به قزل اوزن)، کم‌ترین مقدار میزان کاربری و بهره‌برداری در حاشیه رودخانه در مقایسه با سایر محدوده‌ها را دیده می‌شود و در این بازه‌ها کاربری زراعی و کشاورزی وجود ندارد. در بازه‌ی چهارم نیز، معدن سنگ لاشه قره قشلاق در محدوده وجود دارد. از نمونه‌های دیگر، دخالت‌های انسانی در رودخانه گیوی‌چای و به ویژه در بازه‌های پایین دست سد، می‌توان به احداث پل‌ها اشاره کرد (مانند: پل‌های روستای ایلوانق، حمام سنگی، پایین‌دست سد گیوی، کورپوقولاغی، روستای میکائیل‌آباد و روستای فیروزآباد). پایه‌های پل‌ها مشابه یک سد یا بند عمل کرده و سبب پس‌زدگی آب و رسوب‌گذاری در بالادست می‌شود.



شکل (۱۱): نقشه‌ی کاربری اراضی هر یک از بازه‌های مورد مطالعه

Figure (11): Land use map of each study intervals

از دیگر عوامل انسانی؛ ایجاد دیواره‌ها و فنس‌کشی‌ها، جهت جداسازی املاک شخصی و نیز ایجاد رستوران‌ها، تجاوز به حریم رودخانه و تنگ کردن بستر رودخانه می‌باشد. می‌توان گفت که به علت وجود پیچ و خم‌های رودخانه، سرعت زیاد جریان آب و تجاوز کشاورزان به حریم رودخانه باعث کناره‌شویی، کف‌کنی و در برخی مناطق دیگر سبب بالا آمدن سطح آب و ورود آب به اراضی و باغات حاشیه‌ی رودخانه شده است. در محل پیچ‌ها، باغ‌ها و اراضی واقع در ساحل سمت خارج پیچ به دلیل نیروی گریز از مرکز ناشی از حرکت آب بیشتر در معرض فرسایش و تخریب قرار دارند و از نظر مقاوم‌سازی در برابر فرسایش باید مورد حفاظت قرار گیرند. پمپاژ آب رودخانه، جهت آبیاری اراضی زراعی و باغات موجود در اطراف رودخانه، تخلیه‌ی نخاله‌های ساختمانی از دیگر اقدامات انسانی در حواشی رودخانه‌ی گیوی‌چای می‌باشند (شکل ۱۲).



شکل (۱۲): نمونه‌هایی از دخالت‌های انسانی در رودخانه گیوی چای؛ الف: احداث پل‌ها؛ ب: تجاوز به حریم رودخانه و تنگ کردن بستر رودخانه؛ ج: پمپاژ آب رودخانه، د: برداشت مصالح و تغییر مسیر رودخانه  
**Figure (12):** Examples of human intervention in downstream dam A: Construction of bridges; B: encroachment on the river and narrowing the riverbed; A: Pumping river water, D: Removing materials and changing the direction of the river

#### ۴- نتیجه‌گیری

تغییرات مجرای رودخانه، فرسایش بستر و کناره‌ای، فرآیندهای طبیعی رودخانه‌ای هستند و انتقال رسوب پدیده‌ای است که بر روی دینامیک و مورفولوژی رودخانه‌ها تأثیر به‌سزایی دارد. زمین‌های مجاور رودخانه‌ی گیوی چای با خطر تغییر بستر رودخانه و فرسایش کناری مواجه هستند و در این مطالعه به بررسی وضعیت پایداری مجرای رودخانه گیوی-چای با استفاده از شاخص‌های تنش برشی و پایداری نسبی پرداخته شده است. با توجه به نتایج محاسبات شاخص‌های مورفولوژیکی، پلان فرم رودخانه، در بازه‌ی اول، دوم و چهارم، به صورت سینوسی و در بازه سوم به صورت پیچان‌رودی می‌باشد و با در نظر گرفتن مشخصه‌های زاویه مرکزی، به ترتیب بازه‌ی اول، دوم و سوم به صورت پیچان‌رود بسیار توسعه‌یافته و بازه‌ی چهارم از نوع پیچان‌رود توسعه‌یافته است. در بازه‌ی دشتی عامل تأثیرگذار بر پیچان شدن رودخانه، نوع سازند آبرفتی و شیب کم است و مئاندرها از نوع آزاد و دشتی است و در مقابل در بخش کوهستانی تغییرات رودخانه تابع تغییرات دره و مقاومت لیتولوژیکی است. با توجه به مقادیر تنش برشی، کم‌ترین میزان تنش برشی



موجود و کناری در مقاطع ۵، ۶ و ۷ و بیشترین میزان آن، در مقاطع ۴، ۳، ۱۱ و ۱۲ دیده می‌شود. بیش‌ترین میزان تنش برشی بحرانی، در مقاطع ۳ و ۷ و کم‌ترین مقدار آن، در مقاطع ۴، ۲ و ۱۲ می‌باشد. همانند نتایج حاصل از مطالعه‌ی، اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۳۹۵)، که در محدوده شهری سراسکنندچای انجام داده و بیان داشته‌اند که در مقطعی با عرض بستر زیاد و شیب کم، قدرت مخصوص و تنش برشی کمتر از سایر مقاطع می‌باشد. نتایج تحقیق حاضر نیز نشان داد، میان میزان تنش برشی با عمق، شیب و عرض مقاطع، رابطه مستقیمی وجود دارد. به علاوه می‌توان اذعان داشت که در مطالعه‌ی حاضر نیز همانند نتایج پژوهشی که هارون و همکاران (۲۰۱۹)، خالقی و همکاران (۱۳۹۶) و خالقی و همکاران (۱۳۹۸)، انجام داده‌اند. پوشش گیاهی انبوه در کنار رودخانه، منجر به کاهش تنش برشی و پایداری در برخی از مقاطع، شده است.

بررسی وضعیت پایداری نسبی رودخانه نشان می‌دهد که به جز مقاطع ۵ و ۷، در سایر مقاطع بسترها به صورت ناپایدار می‌باشد. رودخانه در بخش‌هایی که از پادگانه‌های آبرفتی عبور می‌کند، در حالت ناپایدارتری قرار دارد و در مقطعی که عرض رودخانه زیاد بوده و شیب بستر و سرعت جریان کم می‌باشد، ضریب پایداری نسبتاً زیاد می‌باشد. مقاطع و بازه‌هایی با مواد بستر ریزدانه نسبت به تغییرات دبی و بار رسوبی حساسیت بیشتری از خود نشان می‌دهند. خالقی و همکاران (۱۳۹۶) و خزایی و همکاران (۱۳۹۶)، نیز در مطالعات خود اشاره داشته‌اند که جنس رسوبات بستر و کناره نقش مهمی در فرسایش‌پذیری و ناپایداری رودخانه دارد و در بخش‌هایی که از سازندهای سست و آبرفتی تشکیل شده است، با فرسایش شدید مواجه‌اند. به علاوه، رضایی‌مقدم و همکاران (۱۳۹۱)، نیز شاخص فرسایش‌پذیری زیاد و مقاومت برشی کم را از عوامل ناپایداری در رودخانه‌ی قزل اوزن بیان کردند. فیلیبس و دسلوگس (۲۰۱۴)، هم در مطالعه خود بیان داشته‌اند که میزان حمل رسوبات تحت تأثیر مواد بستر می‌باشد. باید توجه داشت؛ بازه‌ی سوم و چهارم به صورت بازه‌ی کوهستانی و نیمه‌کوهستانی هستند و به ترتیب دارای الگوی پیچان‌رودی تک مجرائی و سینوسی می‌باشد و در این بازه‌ها عرض رودخانه کم بوده و کاربری زراعی در آنها

دیده نمی‌شود و از لحاظ لیتولوژی، بخش اعظم بازه سوم و کل بازه چهارم، از سازندهای آذرین و آذرآواری ائوسن تشکیل شده‌اند و در برابر فرسایش مقاوم هستند و آبرفت‌های موجود نیز نتیجه‌ی حمل جریان آب از رسوبات بازه‌های دیگر و انباشت آن هنگام فروکش جریان رودخانه‌ای در بازه‌ی مذکور است و لذا مورفولوژی رودخانه تحت تأثیر سنگ‌شناسی قرار دارد و با توجه به شواهد میدانی، بازه به صورت پایدار می‌باشد. ولی نتایج استفاده از روش‌های تجربی و ریاضی بازه‌های سوم و چهارم را به صورت ناپایدار معرفی کرده است. لذا، همانند نتایج مطالعه‌ی؛ رضایی‌مقدم و همکاران (۱۳۹۱) و خزایی و همکاران (۱۳۹۶)، می‌توان اذعان داشت که روش‌های تجربی مورد استفاده در این تحقیق، برای بررسی پایداری در رودخانه‌ها و بازه‌های آبرفتی صدق می‌کند و در رودخانه‌های غیر آبرفتی و با بستر سنگی مقاوم، با خطا مواجه است و نتایج غیر واقعی و دور از انتظار نسبت به شرایط منطقه خواهد داشت. بنابراین، در مقاطع پایدار غیر آبرفتی، شکل مجرا به سنگ بستر بستگی دارد و با مقدار رسوبات منتقل شده در ارتباط نیست. اما در بازه‌های آبرفتی، شکل مجرا و پایداری آن به مقاومت ذرات رسوبی آن بستگی دارد.

## ۵- منابع

- Asghari Saraskanrood, S., Zeinali, B., & Asghari Saraskanrood, S. (2016). Evaluation of River Power Distribution, Shear Stress and Their Hazard Effects on the Urban Range of Saraskand Chay River, *Geographical Research*, 31(1), 56-45.
- Ayaz, S., & Dhali, M.K. (2019). Longitudinal profiles and geomorphic indices analysis on tectonic evidence of fluvial form, process and landform deformation of Eastern Himalayan Rivers, India, *Geology, Ecology, and Landscapes*, 4(1), 1-12. doi:10.1080/24749508.2019.1568130
- Bandyopadhyay, Sh., & KumarDe, S. (2018). Anthropogenic impacts on the morphology of the Haora River, Tripura, India, *Geomorphology relief processes environment*, 24 (2), 151-166. doi:10.4000/geomorphologie.12019.
- Batalla, R.J., Iroume, A., Hernandez, M., Lena, M., & Vericat, D. (2018). Recent geomorphological evolution of a natural river channel in a Mediterranean Chilean basin, *Geomorphology*, 303, 322-337. doi: 10.1016/j.geomorph.2017.12.006.
- Chaiwongsaen, N., Nimnate, P., & Choowong, M. (2019). Morphological Changes of the Lower Ping and Chao Phraya Rivers, North and Central Thailand: Flood and Coastal Equilibrium Analyses, *Open Geosci*, 11 (1), 152-171. doi:10.1515/geo-2019-0013
- Chen, F., Chen, L., Zhang, W., Han, J., & Wang, J. (2019). Responses of channel morphology to flow-sediment variations after dam construction: a case study of the Shashi Reach, middle Yangtze River, *Hydrology Research*, 50 (5), 1359-1375. doi:10.2166/nh.2019.066.
- Dai, W., Joshi, I., Bilal, A., Raj Upreti, A., & He, Z. (2018). Evaluation and Comparison of Extremal Hypothesis-Based Regime Methods, *Water*, 10 (271), 1-19. doi: 10.3390/w10030271
- Esmaili, R., & Hosseinzadeh, M. (2010). Process measurement of longitudinal bar forming in mountainous streams, case study: northeran Alborz, Lavij roud catchments, *Physical geography research quarterly*, 71, 43-50.
- Gholami, P., & Hossienzadeh, M.M. (2019). Assessment of the sustainability and instability of bank and bed of the Masil-Muchan river (Astaneh city - Markazi province), *Environmental Erosion Researches*, 8 (4), 41- 64.

- Graf, W. L. (2006). Downstream hydrologic and geomorphic effects of large dams on American rivers, *Journal of Geomorphology*, 79, 336-360. doi:10.1016/j.geomorph.2006.06.022.
- Haron, A.N., You, G.Q., Sulaiman, M.S., Yusuf, B., & Abood, M.M. (2017). Evaluation of river stability BY morphological assessment, *infrastructure University Kuala Lumpur Research Journal*, 5 (1), 11-20.
- Hooshmandi, F., Zahiri, A., Dehghani, A.A., & Moftah Helaghi, M. (2015). Comparison of methods for estimating shear stress distribution in width of open channels, *Journal of Water and Soil Conservation*, 21 (5), 295-285.
- Kaufman, R., Faustini, M., Larsen, P., & Shirazi, A. (2008). A Roughness corrected Index of Relative Bed Stability for Regional Stream Surveys, *Geomorphology*, 99, 150- 170. doi:10.1016/j.geomorph.2007.10.007
- Khaleghi, S., Hosseinzadeh, M.M., & Fathollah Atikandi, P. (2020). Morphological Classification and Channel Instability of Kaleybarchai River, *Hydrogeomorphology*, 6 (21), 43-64.
- Khaleghi, S., Hosseinzadeh, M.M., & Vahedifar, F. (2017). Analysis and Assessment of Bank Erosion and Stability in Qaranqoo River using BEHI Model, *Hydrogeomorphology*, 10, 145-164.
- Khazaei, M., Nohegar, a., Mahdavi, R., & Telvari, A. (2017). Investigating the Banks Sensitive to Erosion with an Emphasis on Geological, Geometric, and Hydraulic Characteristics: A Case Study of Bashar River, *Environmental Erosion Researches*, 7 (2), 59-77.
- Maity, S.K., & Maiti, R. (2017). Sedimentation under variable shear stress at lower reach of the Rupnarayan River, West Bengal, India, *Water Science*, 31, 67-92. doi:10.1016/j.wsj.2017.02.001Get
- Petit, F., Gob, F., Houbrechts, G. & Assani, A.A. (2005). Critical Specific Stream Power in Gravel- Bed Rivers, *Geomorphology*, 69, 92-101. doi:10.1016/0341-8162(87)90015-4.
- Phillips, R.T.J., & Desloges, R. (2014). Glacially conditioned specific stream powers in low-relief river catchments of the southern Laurentian Great Lakes, *Geomorphology*, 206, 271-287. doi: 10.1016/j.geomorph.2013.09.030.

- Rezaei Moghadam, M. H., Sarvati, M. R., & AsghariSareskanrood, A. (2012). Analysis of the Stability of River Channels Using Methods of Bed Shear Stress and the Relative Strength Index (Ranging Between 30 km Miyaneh City to the Zanjan Political Boundaries), *quantitative geomorphological researches*, 1 (1), 46-33.
- Rinaldi, M., & Simon, A. (1988). Bed-level adjustments in the Arno River, central Italy, *Geomorphology*, 22 (1), 57–71. doi:10.1016/S0169-555X(97)00054-8.
- Zhang, H., Xu, W., Xu, X., & Lu, B. (2017). Responses of Streamflow to Climate Change and Human Activities in a River Basin, Northeast China, *Advances in Meteorology*, 2, 1-9. doi:10.1155/2017/1023821.