

تحلیل ناپایداری بستر کانال با استفاده از تنش برشی بحرانی و دبی واحد بحرانی

(مطالعه موردی رودخانه گلالی قروه، کردستان)

محمد مهدی حسین زاده، میلاد رستمی*

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۲/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۵/۱۴

چکیده

از مسائل مهم و کلیدی در بررسی فرسایش و پایداری رودخانه‌ها مسئله آغاز حرکت ذرات رسوبی می‌باشد. تولید رسوب رودخانه سبب کدورت آب، مشکلات مواد مغذی و آلودگی‌های آب، مدفون نمودن تأسیسات انحراف آب و همچنین پر شدن دریاچه‌های ذخیره آب می‌گردد. جریانی که سبب شروع حرکت ذره خواهد شد، جریان بحرانی نامیده می‌شود. آستانه حرکت اولیه ذرات رسوبی با چند روش مختلف بررسی می‌شود که مهم‌ترین آنها عبارتند از میانگین سرعت بحرانی جریان، روش تنش برشی بحرانی و روش دبی واحد جریان. برای بررسی پایداری رسوبات بستر رودخانه گلالی قروه با توجه به شرایط رودخانه از روش تنش برشی بحرانی و دبی واحد بحرانی استفاده کردیم. با هدف بررسی آستانه حرکت ذرات در بستر این رودخانه شرایط دو مقطع عرضی از این رودخانه بررسی شد. در ادامه تنش برشی بحرانی و دبی واحد بحرانی برای چهار اندازه ذره D_{16} ، D_{50} ، D_{84} و D_{95} در هر دو مقطع محاسبه شد و مشخص گردید که در مقطع عرضی شماره ۱ و ۲ در دبی بانکفول مقطع تمامی ذرات با اندازه‌های D_{16} ، D_{50} ، D_{84} و D_{95} شروع به حرکت می‌کنند و بنابراین در دبی بانکفول شرایط رسوبی بستر رودخانه تغییر کلی خواهد کرد. در مقطع شماره ۳ ذرات با قطر D_{95} و بیشتر از آن در بستر رودخانه پایدار خواهند ماند و سایر ذرات کوچکتر از این اندازه شروع به حرکت می‌کنند. وجود شیب بیشتر بستر و عرض کمتر کانال فعال در مقطع عرضی شماره ۱ و ۲ سبب شده که تمامی ذرات مورد بررسی ناپایدار باشند. در نهایت نتایج به دست آمده از هر دو روش همخوانی بالایی داشتند و این خود تأییدی بر استفاده از این روش‌ها برای مطالعات پایدار سازی و تولید رسوب رودخانه‌ها می‌باشد.

کلید واژه: آستانه حرکت ذرات رسوبی، تنش برشی بحرانی، دبی واحد بحرانی، رودخانه

گلالی

^۱ دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

^۲ * دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

تلفن و ایمیل نویسنده مسئول: rostamimilad1370@gmail.com: ۰۹۳۵۸۷۴۷۱۵۷

مقدمه

رودخانه فراهم کننده آب و انرژی برای طبیعت و انسان است و می توان گفت تأمین آب مهمترین نقش اقتصادی رودخانه است. ناپایداری مجرا و سواحل رودخانه نه تنها موجب خسارات به اراضی مستعد کشاورزی و تأسیسات مجاور رودخانه شده بلکه رسوبات حاصل از فرسایش در برخی از موارد درصد قابل توجهی از مجموع کل رسوبات انتقالی توسط جریان رودخانه را شامل می شوند [۱۲]. کاهش ظرفیت انتقال رودخانه ناشی از عوامل مختلفی است که هر یک به گونه ای با تأثیر گذاری در رفتار جریان و مشخصه های هندسی تشدید حالت سیلابی را سبب می گردد. شکل ظاهری و رفتار رودخانه متأثر از توان جریان (دینامیک جریان) و مقاومت رسوبات در برابر فرسایش است. [۹] درک درست از انتقال رسوب و حساسیت کانال به فرسایش یا رسوب در مدیریت فرایندهای رودخانه ای ضروری است [۱۰]. ناپایداری مجرا و سواحل رودخانه نه تنها موجب خسارات به اراضی مستعد کشاورزی و تأسیسات مجاور رودخانه شده بلکه رسوبات حاصل از فرسایش در برخی از موارد درصد قابل توجهی از مجموع کل رسوبات انتقالی توسط جریان رودخانه را شامل می شوند [۵]. ناپایداری مجرا و سواحل رودخانه ها در توسعه پهنه سیلابی و مدیریت منابع آب اهمیت دارد [۱۲]. مواد بستر و کناره رودخانه نقش مؤثری در تغییرات مورفولوژی رودخانه ایفا می کند. رودخانه های با مواد بستری

ریزدانه نسبت به تغییرات دبی و بار رسوبی، حساسیت بیشتری از خود نشان می دهند [۴]. در حالت کلی معمولاً رودخانه ای که بار رسوبات آن رس و سیلت باشد، نسبت به آبراهه ای که دارای بار رسوبی ماسه و ریگ است، فعال و ناپایدار تر بوده و کانال اصلی معمولاً باریک تر و عمیق تر است. با توجه به این موارد بافت رسوبات موجود در یک رودخانه نقش به سزایی در بررسی میزان فرسایش و میزان پایداری یک رودخانه می تواند داشته باشد [۱۴]. درک حرکت رسوب و حساسیت کانال نسبت به فرسایش یا رسوبگذاری، ضرورتی مهم برای مدیریت رودخانه است. برای مثال غلبه فرآیند رسوبگذاری در یک بازه از رودخانه می تواند انتقال رسوب را کاهش دهد و در نتیجه افزایش قدرت رود و غلبه فرسایش در بازه پایین دست شود، و این فرسایش سبب ناپایداری و خسارت به زیرساخت ها می گردد. طرح های مدیریتی اخیر جهت ارزیابی فرایندهای ژئومورفولوژیکال با هدف طراحی مناسب و پیشنهاد راه حل های مؤثر ارائه می شود [۱۳، ۱۵]. راه حل های متعددی جهت تحلیل ناپایداری کانال رودخانه وجود دارد از جمله آنها روش تنش برشی بحرانی و دبی واحد بحرانی می باشد که در این پژوهش از این دو مدل جهت برآورد میزان ناپایداری در رودخانه گلالی قروه استفاده شده است. تاکنون تحقیقات زیادی توسط محققین داخلی و خارجی در زمینه ناپایداری و فرسایش کانال با روش پیامدهای منبع غیر نقطه ای رسوب (BANCS) برای پیشبینی فرسایش و پایداری کرانه رودخانه در استونی

بعد فرکتالی می باشد و نشان داده شده که هر چه بعد فرکتالی کمتر باشد، تغییرات تنش برشی بحرانی برای فرسایش نسبت به تغییرات غلظت حجمی کمتر خواهد بود. رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۱) در پژوهشی به تحلیل وضعیت پایداری مجرای رودخانه ی قزل اوزن با استفاده از روش های تنش برشی، شاخص مقاومت نسبی بستر و مطالعات صحرایی پرداخته اند. که این بررسی نشان داده است روش های تنش برشی و شاخص مقاومت نسبی بستر، تنها در مجرا های آبرفتی اهمیت داشته و به نتایج آنها می توان استناد کرد. اصغری سراسکانرود و زینالی (۱۳۹۲) به بررسی مقاومت ذرات رسوبی در برابر فرسایش رودخانه سر اسکند چای هشتروود با استفاده از روش های ریاضی پرداخته اند که نتایج پژوهش نشان داده که در اکثر نقاط رودخانه میزان تنش برشی بحرانی بیشتر از تنش برشی کل می باشد که نشان دهنده این است که ذرات رسوبی موجود در بستر رودخانه نسبت به فرسایش در بستر رودخانه مقاوم می باشند بنا بر این رودخانه حالت پایداری دارد و میزان تغییرات رودخانه در آینده بسیار کم و به صورت پایدار خواهد بود.

بروجنی و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی آزمایشگاهی تنش برشی آستانه نهشته شدن رسوبات رسی و سیلتی در غلظت های مختلف پرداخته اند، که نتایج نشان داده که تنش برشی در آستانه نهشته شدن رسوبات معلق ریز دانه مورد آزمایش برابر $1/01$ نیوتن بر متر مربع و تنش برشی آستانه برای نهشته شدن

کلوو کریک در کت اسکیلز پرداخته است. این مطالعه نشان داد که نتایج بدست آمده از طریق روش BANCS ممکن است منجر به بهبود مدیریت آینده حوضه استونی کلوو شود. بیزی و لرنز (۲۰۱۵) به بررسی فرآیند فرسایش و رسوب با استفاده از شاخص قدرت رود به عنوان شاخص حساسیت کانال پرداخته اند. که در پایان منطقه مورد مطالعه را بر اساس تنش برشی بحرانی و دبی واحد بحرانی به چهار کلاس فرسایشی طبقه بندی کرده اند. قمشی و وجدانی (۱۳۸۴) به بررسی تنش برشی بحرانی فرسایش رسوبات چسبنده و نقش آن در کانال های رو باز پرداخته اند که باتوجه به نتیجه به دست آمده برای کانال چمران این انتظار می رود که دبی طراحی کانال، رسوباتی راکه در بستر کانال ته نشین می شود را فرسایش می دهد. حداد چی و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشی معادلات تجربی برآورد دبی بار بستر در رودخانه کوهستانی با بستر شنی را در رودخانه چهل چای در استان گلستان مورد ارزیابی قرار داده اند. نتایج نشان می دهد که معادله ایکرز و وایت بهترین نتایج را با $46/3$ درصد نرخ حمل پیشینی شده در رنج نسبت ناچوری بین $0/5$ تا 2 قرار می دهد. معادلات مییر- پیتر و مولر و ون راین نیز نتایج خوبی را به ترتیب با 43 درصد و 36 درصد نرخ حمل پیش بینی شده ارائه می دهد. فولادفر و همکاران (۱۳۹۱) در پژوهشی به بررسی آزمایشگاهی و مدل سازی تنش برشی بحرانی برای فرسایش سطحی بستر چسبنده پرداخته اند که نتایج نشان داد تنش برشی دارای حساسیت زیادی نسبت به متغیر

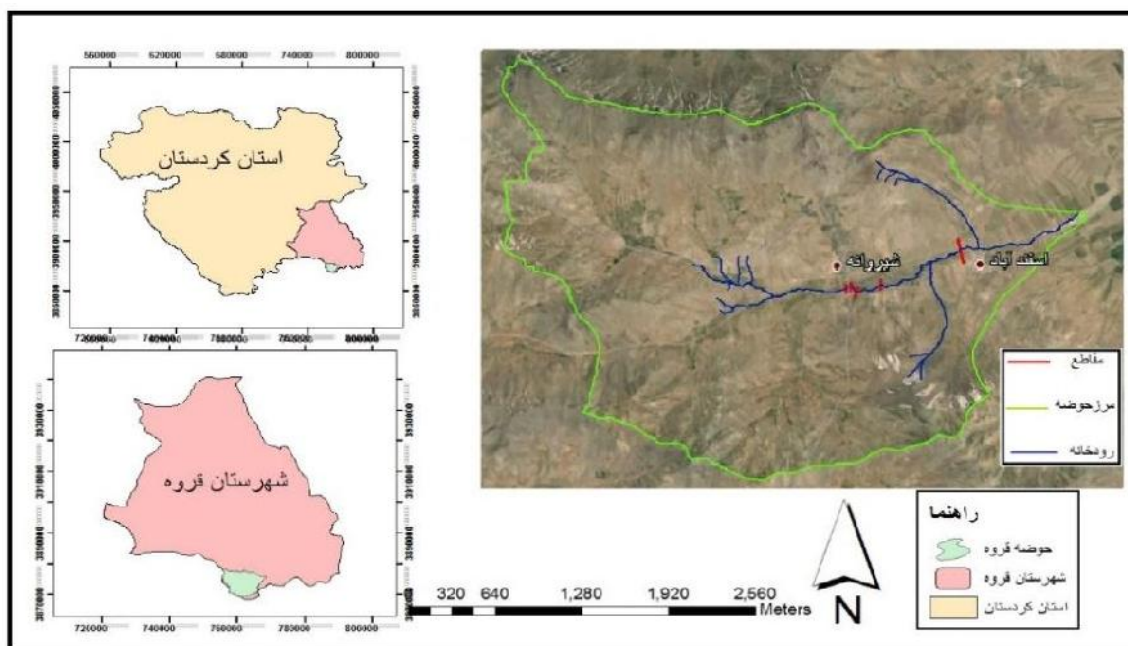
کامل این رسوبات ۰/۰۳۸ نیوتن بر متر مربع به دست آمد و در نهایت محاسباتی برای محاسبه تنش برشی آستانه؛ غلظت تعادلی و درصد نهشته شدن ارایه شد. مددی و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهشی به آشکار سازی تغییرات بستر رودخانه و بررسی مورفولوژی رودخانه ای با توجه به تأثیر ساختار های زمین شناسی در رودخانه زرينه رود پرداخته اند. که میزان فرسایش در کناره و بستر رودخانه در هر مقطع را به دست آورده اند.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز گلالی در فاصله ۴۳ کیلومتری شهرستان قروه، در جنوب شرقی استان کردستان و در موقعیت جغرافیایی ۴۷ درجه و ۵۹ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۴۸ دقیقه طول جغرافیایی، ۳۴ درجه و ۵۶ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۲ دقیقه عرض جغرافیایی واقع شده

است (شکل ۱). مساحت حوضه ۷۵/۲۷ کیلو متر مربع، مرتفع ترین قله آن ۳۱۲۴ متر و کمترین ارتفاع آن ۱۸۲۷ متر است. شش منطقه مسکونی به نام های گلالی، شیروانه، تکیه علیا، تکیه سفلی، درمه و قورمه دره به اضافه یک معدن آهن و یک کارخانه ماسه شویی و آسفالت در منطقه مورد مطالعه قرار دارد. دمای متوسط سالانه منطقه ۱۶/۳ درجه سانتیگراد، متوسط حداکثر دمای ماهانه در مرداد ماه برابر ۲۸/۸ درجه سانتیگراد و متوسط حداقل دمای ماهانه ۱۱/۶ درجه سانتیگراد است. مقدار میانگین بارش سالانه منطقه ۴۱۸/۴ میلیمتر در سال می باشد. اقلیم منطقه مورد مطالعه در روش آمبرژه، اقلیم نیمه خشک سرد است. بازه مورد مطالعه در این مقاله به طول ۳ کیلومتر و از پل کنار روستای شیروانه تا پل بعدی که در روستای گلالی قرار دارد.



شکل ۱: حوضه گلالی و بازه مورد مطالعه

روش مطالعه

جهت بررسی تحرک ذرات بستر رودخانه قره تعداد ۳ مقطع عرضی در بازه مورد نظر از پل روستای شیروانه تا پل روستای گلالی انتخاب شد (شکل ۱) و اقدام به تهیه مقاطع عرضی کانال با استفاده از متر پارچه ای و شاخص نقشه برداری گردید و پارامترهایی نظیر عرض دبی لبالبی، عرض دبی فعال عمق متوسط دبی لبالبی، شیب بستر، اندازه ذرات بستر و سرعت جریان و در پایان دبی اندازه گیری شد. بر پایه داده های اندازه گیری شده از مقاطع، پارامترهای مورد نیاز در اندازه گیری تنش برشی بحرانی و دبی واحد به شرح ذیل محاسبه گردید. برای بررسی اندازه رسوباتی که بیشترین فراوانی را دارند از روش شمارش پیل (ریگ) که به وسیله ولمن در سال ۱۹۵۲ ارائه شده است، استفاده شد. در این روش ۱۰۰ ذره

به صورت اتفاقی انتخاب شده و محور متوسط (D) آن ها اندازه گیری شد. سپس داده های به دست آمده از اندازه ذرات به صورت نمودار تجمعی ترسیم شد و ۵۰ (D) اندازه ذراتی که ۵۰ درصد نمونه مساوی یا کوچکتر از آن هستند) محاسبه می شود (حسین زاده و همکاران، ۱۳۹۴). همچنین اندازه ذرات (D₉₅) اندازه ذراتی که ۹۵ درصد نمونه مساوی یا کوچکتر از آن هستند)، محاسبه می شود (حسین زاده و همکاران، ۱۳۹۴). همچنین اندازه ذراتی که ۸۴ درصد نمونه مساوی یا کوچکتر از آن هستند) و (D₁₆ اندازه ذراتی که ۱۶ درصد نمونه مساوی یا کوچکتر از آن هستند) رسوبات در هر دو مقطع عرضی تعیین شد. بعد از بررسی اولیه مشخصات استخراج شده از مقاطع عرضی، مشخص شده که

دربازه مورد مطالعه شیب بستر بیش از

یک درصد است، غوطه‌وری نسبی کمتر از ۱۰،
و بستر کانال دارای

ریفل و واریزه‌های چوبی می‌باشد،
بنابراین یکی از روش‌های مناسب برای آنالیز
تحرک و پایداری ذرات بستر

روش دبی واحد بحرانی می‌باشد. علاوه
براین روش، با استفاده از معادله اصلاح شده
تنش برشی بحرانی، تنش برشی بحرانی برای
ذرات D16، D50، D84، D95 نیز محاسبه
گردید. علت انتخاب این ذرات برای آنالیز این
است که D95، D84 ذرات کلیدی می‌باشند که
زمانی که شروع به حرکت می‌کنند
نشان‌دهنده حرکت بیشتر اجزاء بستر بوده و
در واقع شروع تغییر در ساختار بستر را نشان
می‌دهند. D50 میانه ذرات بوده و متوسط تنش
برشی را نشان می‌دهد و همچنین اندازه این
ذرات برای اکثر محاسبات لازم است. اندازه
D16 در بسترهای نسبتاً پایدار اهمیت دارد.

معادله تنش برشی بحرانی اصلاح شده
براساس رابطه بین اندازه ذره مورد آنالیز و D50
رسوبات بستر به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\tau_{ci} = \tau_{D50} (\gamma_s - \gamma) D_i^{0.3} D_{50}^{0.7} \quad \text{رابطه شماره ۱:}$$

که در آن τ_{ci} تنش برشی بحرانی برای
ذره مورد نظر (N/m^2) ، τ_{D50} پارامتر بی بعد
شیلدز برای ذرات D_{50} از جدول شیلدز به
دست می‌آید، γ_s وزن مخصوص رسوب، γ
وزن مخصوص آب، D_i اندازه ذره مورد
آنالیز (m) ، D_{50} اندازه ذراتی که ۵۰ درصد
نمونه مساوی یا کوچکتر از آن هستند (m)
می‌باشد.

پس از محاسبه تنش برشی بحرانی
برای چهار اندازه مختلف، تنش برشی بحرانی
در دبی لبالبی (τ_{bf}) با استفاده از رابطه شماره
۲ محاسبه شد. در صورتی که تنش برشی
بحرانی برای ذره مورد نظر بیشتر از تنش
برشی در دبی لبالبی باشد، ذره مورد نظر
پایدار خواهد بود و در صورتی که کوچکتر
باشد ذره در دبی لبالبی حرکت خواهد نمود.

$$\tau_{bf} = gRS \quad \text{رابطه شماره ۲:}$$

τ_{bf} تنش برشی بحرانی در عرض دبی
بانکفول (N/m^2) ، R عرض کانال در حالت
دبی بانکفول (m) ، S شیب بستر
رودخانه (m/m) و g وزن مخصوص آب است.

برای کانال‌های با شیب بیشتر از ۱
درصد $(1/10)$ متر بر متر، جایی که نسبت
عمق جریان به اندازه ذرات کمتر
است (غوطه‌وری نسبی: R/D_{50} کمتر از ۱۰)،
عمق آب کاملاً متغیر است، زیرا سنگ‌های
بزرگ یا واریزه‌های چوبی نزدیک سطح، عمق
آب را کاملاً تحت تأثیر قرار می‌دهند. برای
چنین شرایطی با استفاده از داده‌های فلوم
معادله‌ای برای پیش‌بینی دبی واحد بحرانی
موردنیاز برای آغاز حرکت ذرات D_{50} ارائه
نمودند (رابطه ۳):

$$q_{cD50} = \frac{0.15 g^{0.5} D_{50}^{1.5}}{s^{1.12}} \quad \text{رابطه شماره ۳:}$$

که در آن q_{cD50} دبی واحد بحرانی
برای حمل ذرات (m^2/s) ، D_{50} معادل قطر
میانه و s شیب بستر (m/m) می‌باشند.

برای محاسبه دبی واحد بحرانی برای

رابطه شماره ۲ دبی واحد بحرانی برای اندازه ذرات D_{16} ، D_{85} و D_{95} محاسبه می گردد.

در ادامه دبی واحد درون کانال در هر مقطع با استفاده از رابطه شماره ۶ محاسبه می شود. و در نهایت برای تعیین اینکه اندازه ذرات داده شده در دبی واحد درون کانال حرکت خواهد کرد یا خیر؟ دبی واحد بحرانی ذره مورد نظر با دبی واحد درون کانال فعال (q) مقایسه می شود. در صورتی که دبی واحد بحرانی ذره (q_{ci}) کمتر از دبی واحد درون کانال فعال (q) باشد، ذره کشیده خواهد شد. اگر دبی واحد بحرانی ذره (q_{ci}) بیش از دبی واحد (q) اعمال شده بر روی ذره باشد، ذره حرکت نخواهد کرد.

$$\text{رابطه شماره ۶: } q = Q/w$$

در این رابطه q دبی واحد درون کانال (دبی در واحد عرض) (m^2/s)، Q دبی حداکثر لحظه ای رودخانه (m^2/s) و W عرض کانال فعال (m) در مقطع عرضی مورد نظر می باشد.

پس از تعیین نسبت R/D_{50} ، مشخص شد مناسب ترین روش برای آنالیز تحرک و پایداری ذرات بستر رودخانه گلالی قروه در بازه مورد نظر روش دبی واحد بحرانی می باشد. علاوه بر این روش با استفاده از معادله تنش برشی بحرانی، میزان تنش برشی بحرانی برای ذرات در چهار اندازه مختلف نیز محاسبه گردید. بدین منظور متغیرهای مورد نیاز برای تعیین دبی واحد بحرانی و تنش برشی بحرانی در سه مقطع عرضی در این بازه برداشت شد

آغاز حرکت ذرات در اندازه های مختلف رابطه شماره ۴ را ارائه نمودند:

$$\text{رابطه شماره ۴: } q_{ci} = q_c D_{50} (D_i / D_{50})^b$$

که در آن q_{ci} دبی واحد بحرانی برای حمل ذرات در اندازه مورد نظر (m^2/s)، $q_c D_{50}$ دبی واحد بحرانی برای حمل ذرات D_{50} (m^2/s)، D_i اندازه ذره مورد نظر و D_{50} اندازه ذراتی که ۵۰ درصد نمونه مساوی یا کوچکتر از آن هستند می باشد.

توان b دامنه ای از اندازه ذراتی است که ترکیب بستر کانال را تشکیل می دهند. با وارد کردن توان b در محاسبات تأثیر اندازه ذرات کوچکتر مخفی در پناه ذرات بزرگتر نیز در محاسبات وارد می شود. توان b از رابطه ۵ محاسبه می شود:

$$\text{رابطه شماره ۵: } b = 1.5 (D_{84}/D_{16})$$

که در آن D_{84} اندازه ۸۴ درصد اندازه ذرات و D_{16} اندازه ۱۶ درصد ذرات است.

برای بازه مورد مطالعه پس از اینکه مشخص شد نسبت R/D_{50} کمتر از ۱۰ می باشد (جدول شماره ۱) برای محاسبه دبی واحد بحرانی با این روش مراحل زیر اجرا شده است:

ابتدا با استفاده از رابطه شماره ۱ دبی واحد بحرانی با استفاده از قطر ذرات D_{50} و شیب بستر محاسبه می شود.

با استفاده از رابطه شماره ۳ مقدار توان b را محاسبه نموده و سپس با استفاده از

(جدول شماره ۱). با قطر D_{50} که برای محاسبات اولیه لازم بود از

جدول پارامتر شیلدز محاسبه شد. همچنین تنش برشی کانال در حالت دبی لبالبی نیز با استفاده از رابطه شماره ۲ محاسبه شده است.

با استفاده از رابطه شماره ۱ تنش برشی بحرانی برای سه اندازه ذره کلیدی محاسبه شد (جدول شماره ۲). مقدار تنش برشی ذرات

جدول ۱: مشخصات مقاطع عرضی رودخانه گلالی قروه

شماره مقطع	شیب بستر (S)	عمق جریان (R)	عرض کانال فعال (W)	D_{16} (mm)	D_{50} (mm)	D_{86} (mm)	D_{95} (mm)	R/ D_{50}
۱	۰/۰۲۳	۰/۵	۷/۵	۲۶	۶۴	۱۲۸	۱۸۰	۶/۶۲
۲	۰/۰۲۴	۰/۴۹	۹/۴	۳۲	۹۰	۱۸۰	۲۵۶	۵/۱۶
۳	۰/۰۱۷	۰/۴	۵/۹	۲۶	۹۰	۱۸۰	۲۵۶	۴/۲۷

جدول پارامتر شیلدز محاسبه شد. همچنین تنش برشی کانال در حالت دبی لبالبی نیز با استفاده از رابطه شماره ۲ محاسبه شده است.

با استفاده از رابطه شماره ۱ تنش برشی بحرانی برای سه اندازه ذره کلیدی محاسبه شد (جدول شماره ۲). مقدار تنش برشی ذرات با قطر D_{50} که برای محاسبات اولیه لازم بود از

جدول ۲: تنش برشی محاسبه شده برای اندازه‌های مختلف ذرات در مقاطع عرضی رودخانه گلالی قروه

شماره مقطع	τ_{D16} (N/m ²)	τ_{D84} (N/m ²)	τ_{D95} (N/m ²)	τ_{bf} (N/m ²)
۱	۰/۷۹	۱/۲۶	۱/۸۷	۱/۹۹
۲	۱/۲۲	۱/۹۵	۲/۱۸	۲/۲۷
۳	۱/۱	۱/۹۵	۲/۱۸	۱/۳۳

آن در دبی لبالبی این مقطع حرکت خواهند کرد. در مقطع عرضی شماره ۲ تنش برشی بحرانی ایجاد شده توسط دبی لبالبی رودخانه بیشتر از تنش برشی لازم برای شروع حرکت ذرات با قطر D_{16} ، D_{84} و D_{95} می‌باشد، بنابراین در دبی لبالبی ذرات ذکر شده حرکت خواهند

همانطور که از جدول شماره ۲ قابل ملاحظه است در مقطع عرضی شماره ۱ تنش برشی بحرانی ایجاد شده توسط دبی لبالبی از تنش برشی لازم برای شروع حرکت ذرات با قطر D_{16} ، D_{84} و D_{95} بیشتر است. بنابراین تمامی ذرات دارای این اندازه‌ها یا کوچکتر از

پایدار خواهند بود. در ادامه کار با استفاده از روابط شماره ۳ تا ۶ مقادیر q_{cd16} ، q_{cd50} ، q_{cd84} ، q_{cd95} و q محاسبه شد (جدول شماره ۳).

کرد. در مقطع عرضی شماره ۳ تنش برشی ایجاد شده توسط دبی لبالبی این مقطع عرضی از تنش برشی لازم برای شروع حرکت ذرات با اندازه D_{95} ، D_{84} کمتر است، بنابراین در دبی لبالبی ذرات با اندازه D_{95} و D_{84} بزرگتر از آن

جدول ۳: دبی واحد بحرانی محاسبه شده برای اندازه‌های مختلف ذرات در مقاطع عرضی رودخانه گلالی قروه

شماره مقطع	$Q(m^2/s)$	$q_{cd16}(m^2/s)$	$q_{cd50}(m^2/s)$	$q_{cd84}(m^2/s)$	$q_{cd95}(m^2/s)$
۱	۱/۲	۰/۴۲	۰/۵۱	۰/۵۹	۰/۹۴
۲	۱/۱۵	۰/۶۹	۰/۸۳	۰/۹۴	۱
۳	۱/۱۴	۱/۰۲	۱/۲۲	۱/۳۵	۱/۴۲

ذرات با اندازه‌های D_{16} ، D_{50} و D_{84} بیشتر است. در این مقطع عرضی فقط دبی بحرانی لازم برای شروع حرکت ذرات با اندازه D_{95} و بزرگتر از آن بیشتر از دبی واحد بحرانی در عرض مقطع می‌باشد و در شرایط دبی لبالبی این ذرات پایدار خواهند ماند و حرکت نمی‌کنند.

همان‌گونه که قابل مشاهده است در مقطع عرضی شماره ۱ و ۲ ذرات نسبت به مقطع عرضی شماره ۳ ناپایدارترند و در شرایط دبی لبالبی تمامی ذرات مورد بررسی شروع به حرکت خواهند کرد، بنابراین در دبی لبالبی شرایط کلی بستر رودخانه در این مقطع تغییر خواهد کرد. با توجه به شرایط مقطع شماره ۱ و ۲ انتظار می‌رود که به‌علت شیب بیشتر بستر و عرض کمتر کانال فعال در این مقطع ذرات در اندازه‌های کوچکتر نسبت به مقطع عرضی شماره ۳ شروع به حرکت کنند. در مقطع شماره ۳ نیز در دبی لبالبی اکثر ذرات

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده مشخص شد که در مقطع عرضی شماره ۱ دبی واحد بحرانی لبالبی در عرض رودخانه در مقایسه با دبی واحد بحرانی لازم برای حرکت تمامی ذرات مورد بررسی (اندازه‌های D_{16} ، D_{50} ، D_{84} و D_{95}) بیشتر است. بنابراین ذراتی که اندازه آنها مساوی یا کمتر از این اندازه‌ها باشد در بستر رودخانه پایدار نخواهند ماند و در دبی واحد بحرانی لبالبی رودخانه حرکت می‌کنند. در مقطع شماره ۲ دبی واحد بحرانی لبالبی در عرض رودخانه در مقایسه با دبی واحد بحرانی لازم برای شروع حرکت ذرات با اندازه‌های D_{16} ، D_{50} ، D_{84} و D_{95} بیشتر است. بنابراین ذراتی که اندازه آنها مساوی یا کمتر از این اندازه‌ها باشد در بستر رودخانه پایدار نخواهند ماند و در دبی واحد بحرانی لبالبی رودخانه حرکت می‌کنند. در مقطع شماره ۳ دبی واحد بحرانی لبالبی در عرض رودخانه در مقایسه با دبی واحد بحرانی لازم برای شروع حرکت

حرکت خواهند کرد و فقط ذرات بزرگتر از D_{95} ثابت خواهند ماند.

بحث و نتیجه گیری:

درک حرکت رسوب و حساسیت کانال نسبت به فرسایش یا رسوبگذاری، ضرورتی مهم برای مدیریت رودخانه است. روش‌های متفاوتی برای تعیین آستانه حرکت ذرات رسوبی بستر رودخانه توسط محققین ارائه شده است از جمله این روش‌ها روش تنش برشی بحرانی و روش دبی واحد بحرانی است که در این مقاله به این دو روش پرداخته شده است. متأسفانه، تلاش برای محاسبه یا اندازه‌گیری مقادیر تنش برشی در رودخانه‌ها، بصورت پیچیده‌ای توسط زبری بستر کانال و نوسانات سرعت و آشفتگی جریان تحت تأثیر قرار می‌گیرد (whole, 2000). با این حال هنوز هم یکی از دقیق‌ترین روش‌های برآورد آستانه حرکت ذرات رسوبی بستر رودخانه است. جهت بررسی تحرک ذرات بستر رودخانه گلالی قروه مقطع عرضی در بازه مورد نظر انتخاب شد و پارامترهای مورد نیاز برای برآورد تنش برشی بحرانی و دبی واحد بحرانی در هر سه مقطع استخراج شد. در این مقاطع تنش برشی بحرانی و دبی واحد بحرانی برای شروع

حرکت چهار اندازه کلیدی از ذرات محاسبه شد و با تنش برشی ایجاد شده توسط دبی لبالی و دبی بحرانی در شرایط دبی لبالی در واحد عرض کانال مقایسه گردید. نتایج نشان داد که در مقطع عرضی شماره ۱ و ۲ در دبی لبالی رودخانه تمامی ذرات مورد بررسی ناپایدار می‌باشند و حرکت خواهند کرد. در حالی که در مقطع عرضی شماره ۳ فقط ذرات با اندازه D_{95} پایدار هستند و سایر ذرات در دبی لبالی در واحد عرض رودخانه حرکت خواهند کرد. این امر به شیب بیشتر بستر و عرض کمتر کانال رودخانه در مقطع شماره ۱ و ۲ برمی‌گردد. این پژوهش نشان داد که استفاده از هر دو روش تنش برشی بحرانی و دبی واحد بحرانی نتایج مشابهی در ارتباط با آستانه حرکت ذرات به دست می‌دهد و این خود تأییدی بر استفاده از این روش‌ها برای مطالعات پایداری رودخانه است. استفاده از روش تنش برشی بحرانی و دبی واحد بحرانی برای بررسی آغاز حرکت ذرات رسوبی کانال رودخانه‌ها روش مناسب، مقرون به صرفه و ساده‌ای است که به راحتی می‌توان از نتایج آن برای برنامه‌ریزی‌های پایداری کانال و پیشگیری از فرسایش کناری استفاده نمود.

References:

1. Haddadchi, A., M. H. Omid, & A.A, Dehghani, 2011. Evaluation of Bed Load Discharge Formulas in Alpine Gravel Bed Rivers (Case study: Chehel Chai river in Golestan province). Journal of Water and Soil Conservation, 18(3): 149-167 (In Persian).
2. Khastar Broojeni, M., H. Samadi Broojeni, & K. Esmaeli, 2013. Experimental study of shear stress threshold of sediments deposited clay - silt at different

concentrations. Iranian Water Research Journal, 13: 131-138 (In Persian).

3. Hosseinzadeh, M.M., R. Esmaeali, 2013. Fluvial Geomorphology: concepts, forms and processes, Shahid Beheshti University Press, Tehran (In Persian).

4. Rezayi Moghaddam, M.H., M.R. Servati, & S. Asghari, 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 Zanzan Political Boundaries). Journal of Quantitative Geomorphological Research, 1: 33-46 (In Persian).

5. Asghari Saraskanroud. S., & B. Zeinali, 2014. Investigation Resistance of Sediment Particle to Erosion in Saraskanchai River by Use of Mathematical Methods. Environmental Erosion Research Journal, 12: 30-42 (In Persian).

6. Fooladfar .H, Shafai Bajestan .M ,& Fathi Moghaddam. M,(2012). Experimental study and modeling of critical shear stress for cohesive sediment erosion, Irrigation and water engineering journal. 8 (3): 78-94 (In Persian).

7. Ghamshi, M., & N. Vejdani, 2005. Erosional critical shear stress of sticky sediments and their impact on modelling of outdoor channels, International Journal of Engineering. 18 (3): 83-93 (In Persian).

8. Madadi, A., E. Beheshti Javid, & M.H. Fathi, 2012. Detection of river bed changes and river morphology survey on the effects of geological structures (case study: Zarinerood), Journal of Hydrogeomorphology. 1 (2): 25-40 (In Persian).

9. Niri, H., 2010. Dynamic analysis and duct shape in the catchment area of the Mahabad River, Natural Geography Ph.D thesis, Geomorphology Orientation, Faculty of Geography, Tabriz University (In Persian).

10. Bizzi.,s and Lerner.,D.N. 2015, The use of stream power as an indicator of channel sensitivity to erosion and deposition processes, River research and application River Res.applic.31: 16-27

11. Coryat., M, 2014, Analysis of the Bank Assessment for Non-point Source consequences of Sediment (BANCS) Approach for the Prediction of Streambank Stability and Erosion along stony Clove Creek in the Catskills, Master Theses, Syracuse University.

12. Mighui, Y., Hongyan, W.,Yanjie, L., and Chunyan, H., 2010, Study on Stability of Noncohesive River Bank, International Journal of Sediment Research, Vol. 25, No. 4,pp.391-398

13. Rinaldi M; Simoncini C; Piegay H. (2009). Scientific design strategy for promoting sustainable sediment management: the case of the magra river (central northern Italy) river research and application 25. pp. 607-625.

14. Tokaldany E.A., Darby S. E., and P. Tosswell.,2007. Coupling bank stability and deformation models to predict equilibrium bad topography in river bends. Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 133, No10, pp 1167-1170.

15. Wallerstein N.P; Soar P.J; Thorne C.R. (2006). River energy auditing scheme(REAS) for catchment flood management planning, International conference on fluvial hydraulics. Pp. 1923-1932. Lisbon Portugal.

16. Wohl, E. (2000). Mountain Rivers. American Geophysical Union. Washington, D.C.