

## بررسی فراسایش کناره رودخانه قلعه رودخان گیلان با استفاده از شاخص فراسایش بالقوه کرانه رود

محمد مهدی حسینزاده\*: دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

منیژه سرتیپزاده: کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۶/۳۱ تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۴/۸



### چکیده

تغییرات کanal رودخانه، فرایندهای طبیعی رودخانه و بخشی از عملکرد سیستماتیک رودخانه‌ها است که به تخریب زمین‌های کشاورزی اطراف رودخانه منجر می‌شود و به تأسیسات انسانی و راه‌ها خسارت وارد می‌کند. هدف از اجرای این پژوهش، بررسی فراسایش کناره رودخانه با استفاده از شاخص فراسایش بالقوه کرانه رود اکلاهما - اوزاراک است. حوضه آبخیز قلعه رودخان، در غرب استان گیلان و در شهرستان فومن واقع شده‌است. این رودخانه از دامنه‌های شمالی کوه‌های طالش سرچشمه می‌گیرد و بعد از خروج از کوهستان در منطقه فومن، به جلگه گیلان وارد می‌شود و در نهایت به دریای خزر می‌ریزد. به منظور بررسی فراسایش کناره رودخانه، بخشی از آن به طول تقریبی پنج کیلومتر در نزدیکی فومن مشخص و در هشت بازه پارامترهای موجود در شاخص فراسایش بالقوه کرانه رود بررسی شد. در این روش، هشت عامل ارتفاع کرانه رود، زاویه کرانه، درصدی از کرانه رود که شبیب بیش از هشتاد درجه دارد، شواهد حرکات تودهای، رسوبات منفصل، حفاظت کناره رود، پوشش گیاهی حاشیه رود و انحنای رود امتیازدهی شد. با توجه به نتایج امتیاز نسبی، پوشش گیاهی ریپارین و حفاظت از کرانه مؤثرترین عوامل در ناپایداری کرانه‌های چپ و راست در رودخانه قلعه رودخان است. به طور کلی می‌توان گفت در کرانه‌های رودخانه قلعه رودخان، وضعیت ناپایداری غلبه دارد که این مسئله ناشی از دخل و تصرف انسان در این بخش از رودخانه است.

**وازگان کلیدی:** رودخانه قلعه رودخان، شاخص فراسایش بالقوه کرانه رود، فراسایش کناره رودخانه‌ای، فومن، گیلان.

### ۱- مقدمه

تغییرات کanal رودخانه مانند فراسایش کناره‌ای و ایجاد بریدگی‌ها و رسوب‌گذاری کناره‌ای، فرایندهای طبیعی رودخانه و بخشی از عملکرد سیستماتیک آن است که به تخریب زمین‌های کشاورزی اطراف رودخانه منجر می‌شود و به تأسیسات انسانی و راه‌ها خسارت وارد می‌کند (Gregory, 2006). این اثرات زمانی بیشتر قابل درک است که به طور مستقیم به انسان خسارت وارد شود. فراسایش کناره‌ای، اثرات ژئومورفیک متعددی همچون تخریب کناره رودخانه و ناپایداری مجرای رودخانه را به همراه دارد و این پدیده هنگامی تشدید می‌شود که کanal و بستر رودخانه آبرفتی باشد (رضایی‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۱). میزان فراسایش کناره رود تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارد؛ مانند ترکیب رسوبات

کرانه، ویژگی‌های هندسی کرانه، دبی، پوشش گیاهی و شعاع قوس رودخانه (Janes et al, 2017).

در طی سالیان متمادی، محققان با روش‌ها و شاخص‌های متعددی به بررسی فرسایش کناره‌ای رودخانه پرداخته‌اند که در ادامه به تعدادی از آنها اشاره می‌شود. محققانی چون De Rose and Basher (2011) با ابزارهایی چون تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی و داده‌های لیدار به تحقیق در زمینه ناپایداری کرانه‌ای پرداختند. Coryat (2014) با استفاده از روش پیامدهای منبع غیر نقطه‌ای رسوب (BANCS)، به پیش‌بینی فرسایش و پایداری کرانه در رودخانه استونی کلوفریک پرداخت.

تاکنون برای بررسی فرسایش کرانه رود، از روش‌های متعدد ارزیابی سریع ژئومورفیک استفاده شده‌است که تعدادی از مهم‌ترین آنها عبارتند از: شاخص پایداری کanal (Simon and Downs, 1995), روش ACS (Johnson et al, 1999), شاخص خطر فرسایش کرانه یا BEHI و روش تنفس برشی نزدیک کرانه یا NBS (Rosgen, 2001), روش CSI (Simon and Klimetz, 2008) (Heeren et al, 2012) OSEPI (Zainal Abidin et al, 2017) و روش ROM (RGA) (Rogbari نیویورک، ۲۰۱۰).

همچنین در سال‌های اخیر مطالعات متعددی برای بررسی خطر فرسایش کناره رودخانه در ایران انجام شده‌است. Pasha and Hosseinzadeh (2022) با استفاده از تنفس نزدیک کnarه (NBS)، به بررسی فرسایش‌پذیری کرانه‌های رودخانه هفت چشمۀ قزوین پرداختند. نتایج نشان داد که نسبت شعاع انحنا به عرض دبی لبالی تمامی مقاطع به استثنای مقطع ۹، فرسایش شدید دارد. در نسبت حداقل عمق نزدیک کnarه به عمق دبی لبالی، بیشتر مقاطع فرسایش کم تا متوسط داشته‌اند؛ به جز مقطع ۹ و ۱۰ در کرانه چپ که فرسایش زیاد و شدید داشتند. در نسبت تنفس برشی نزدیک کnarه به تنفس برشی دبی لبالی، تمامی مقاطع فرسایش خیلی کم و کم داشتند. درنهایت، با توجه به بازدهی‌های میدانی مشخص شد که سطح اول مدل یعنی نسبت شعاع انحنا به عرض دبی لبالی، با ویژگی‌های منطقه تناسب بیشتری دارد و با واقعیت منطقه منطبق است. Hosseinzadeh و همکاران (2022) نیز حساسیت کرانه‌ای رودخانه حاجی عرب بوین-زهرا را با استفاده از شاخص پایداری مجرای رود (CSI) به عنوان یکی از روش‌های ارزیابی سریع ژئومورفیک (RGA)، بر اساس نقشه‌برداری از مقاطع عرضی و عملیات میدانی شاخص‌های پایداری و ناپایداری کnarه رود را بررسی کردند. Najafzadeh و همکاران (2021) در پژوهشی با استفاده از شاخص فرسایش بالقوه کرانه رود اکلاهما - اوزاراک OSEPI، به بررسی حساسیت کرانه‌ای رودخانه حاجی عرب بوین-زهرا پرداختند. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل این پژوهش نشان داد که درصد ارتفاع کرانه با زاویه بیش از هشتاد درجه و قوس رود، از عوامل مؤثر بر ناپایداری کرانه رودخانه است. Esmaili and Moalemi (2021) به پهنگندی و تحلیل فرسایش‌پذیری کnarه رود در بالادست رودخانه نکا در مقیاس بازه، با استفاده از روش «پهنگندی آسیب‌پذیری فرسایش کرانه‌ای» یا BEVZ بررسی شد.

Esmaili و همکاران (2019) نیز در مطالعه خود با استفاده از تکنیک‌های ارزیابی سریع ژئومورفیک، به بررسی پایداری کرانه رودخانه سیمره در محدوده شهرستان دره شهر استان ایلام پرداختند.

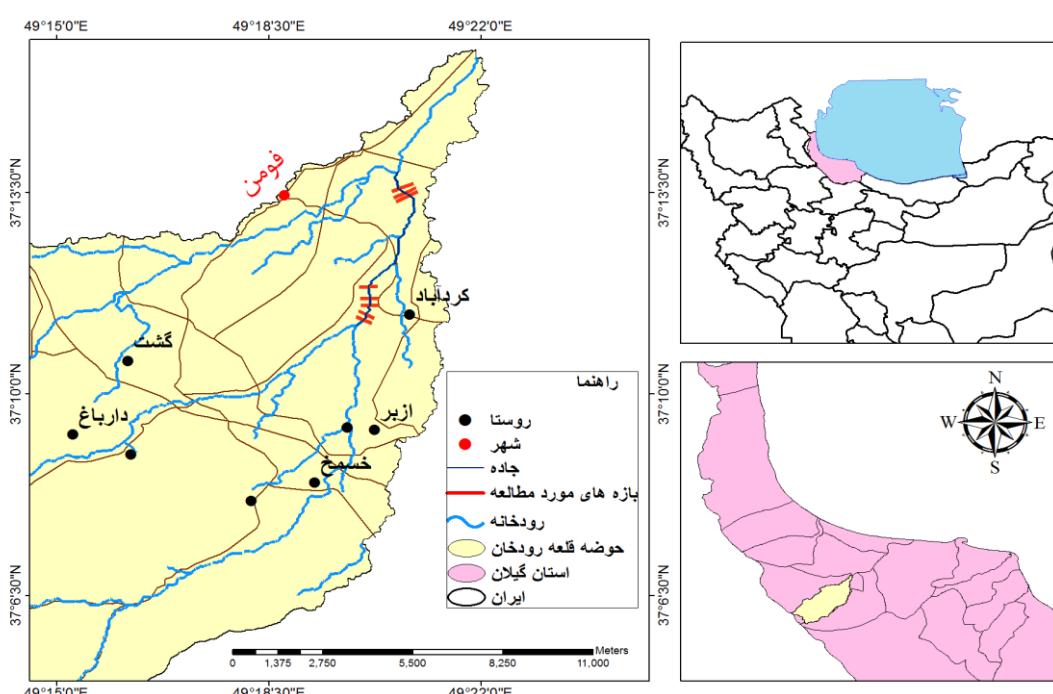
Gholami and Hossienzadeh (2019)، میزان پایداری و ناپایداری کnarه و بستر رودخانه مسیل موچان (شهرستان آستانه - استان مرکزی) را با استفاده از مدل آسیب‌پذیری کanal ارزیابی کردند. Hossienzadeh and

Esmaili (2019) با استفاده از مدل BSTEM، فرایش کناره رودخانه لاویج را بررسی کردند. در این تحقیق همچنین برای شبیه‌سازی فرایش هیدرولیک در پای کرانه و پایداری کرانه در طول یک سلسله وقایع جريانی (دبی لبالی، دبی متوسط سیلان و دبی حداکثر سیلان) بهمنظور ارزیابی تغییرات فعلی (موجود) و بالقوه در فراوانی شکست کرانه (شاخص ایمنی یا FS) و بار رسوبی حاصل از کرانه رود، از مدل BSTEM استفاده شد.

با توجه به وقوع مکرر خطر فرایش کنارهای در رودخانه قلعه رودخان فومن در استان گیلان، شناسایی و تعیین کناره‌های پایدار و ناپایدار و میزان این پایداری می‌تواند در کنترل محیط‌های رودخانه‌ای فرایش‌پذیر و پیشگیری از وقوع خطرهای محیطی نقش مؤثری داشته باشد (Esmaili et al., 2019). هدف از اجرای این پژوهش، بررسی و شناسایی مناطق حساس به فرایش کناره رودخانه قلعه رودخان فومن با استفاده از شاخص فرایش بالقوه کرانه رود اکلاهما – اوزاراک است. همچنین عوامل تأثیرگذار در ناپایداری کرانه، شناسایی و اقدامات لازم برای محافظت از آن پیشنهاد خواهد شد.

## ۲- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز قلعه رودخان، بین "۱۶°۳۰' تا ۱۶°۴۹' طول شرقی و "۳۷°۱۴' تا ۳۷°۲۰' عرض شمالی و در غرب استان گیلان و در شهرستان فومن واقع شده است (شکل ۱). این رودخانه از دامنه‌های شمالی کوه‌های طالش سرچشمه می‌گیرد و بعد از خروج از کوهستان، در منطقه فومن وارد جلگه گیلان می‌شود و در نهایت به دریای خزر می‌ریزد. محدوده مورد مطالعه، قسمتی از بالادست جریان به طول تقریبی پنج کیلومتر در بخش جلگه‌ای در نزدیکی شهر فومن است. جهت کلی جریان در بخش حوضه آبخیز یعنی کوهستان و هم در جلگه، جنوب غرب – شمال شرقی است (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

### ۳- مواد و روش

برای بررسی فرسایش کناره رودخانه، بخشی از آن به طول تقریبی پنج کیلومتر در نزدیکی فومن مشخص و در هشت بازه، پارامترهای موجود در شاخص فرسایش بالقوه کرانه رود (جدول ۱) بررسی شد. بدین منظور، ابتدا برداشت-های میدانی مربوط به نیمروز عرضی و دیگر پارامترهای نیازمند مشاهدات زمینی ثبت شد (شکل ۲).

فصل تابستان به عنوان زمان نقشهبرداری انتخاب شد؛ چون رودخانه در وضعیت دبی پایه است. برای برداشت، در ابتدا با استفاده از متر دو طرف کرانه رودخانه به هم متصل شد. سپس با استفاده از دوربین ترازیاب و میر، مقادیر فاصله و ارتفاع از روی میر می‌باشد در فواصل مشخص بر اساس تغییرات ناهمواری بستر قرائت شد. سپس با استفاده از نرم‌افزارهای آماری، تحلیل و وضعیت هر بازه با توجه به طبقه‌بندی موجود در شاخص طبقه‌بندی شد.

**شاخص فرسایش بالقوه کرانه رود اکلاهما - اوزاراک OSEPI:** هیرن و همکاران (2012) از این روش برای ارزیابی سریع ژئومورفیک فرسایش کناره رودخانه‌های بزرگ استفاده کردند. در این روش، هشت عامل ارتفاع کرانه رود، زاویه کرانه، درصدی از کرانه رود که شبی بیش از هشتاد درجه دارند، شواهد حرکات تودهای، رسوبات منفصل، حفاظت کناره رود، پوشش گیاهی حاشیه رود و انحنای رود، بر اساس جدول ۱ امتیازدهی می‌شود.

براساس امتیازات محاسبه شده برای هر بازه، امتیاز ۰-۲۵ بسیار پایدار، ۳۵-۴۶ پایدار متوسط، ۴۵-۵۵ ناپایدار، ۵۵-۶۵ ناپایدار متوسط و ۶۶-۸۵ ناپایداری زیاد دارند (Najafzadeh et al., 2021). ارتفاع کرانه، زاویه کرانه و درصد ارتفاع کرانه با زاویه بیش از هشتاد درجه را می‌توان از طریق تهیه مقطع و برداشت‌های میدانی اندازه-گیری کرد. شواهد حرکات تودهای جدید، رسوبات منفصل، حفاظت کرانه رود و پوشش گیاهی درختی حاشیه رود را می‌توان از طریق مشاهدات میدانی، تهیه عکس از مقاطع و نمونه‌گیری، ثبت و بررسی کرد. قوس رود نیز از طریق تصاویر گوگل ارث مشخص و محاسبه شد.



شکل ۲: نقشه‌برداری از بازه‌های منطقه مورد مطالعه

برای مشخص کردن عامل مؤثر بر فرسایش کناره‌ای و پایداری کناره رود، از میانگین نسبی امتیازات - که از تقسیم امتیاز هر متغیر بر حداکثر امتیاز آن متغیر به دست می‌آید - استفاده شد. برای تحلیل آماری بازه‌های مورد مطالعه، از دو روش آماری نمودار باکس ویسکر پلات به منظور بررسی میزان تغییرات هر متغیر در هر مدل و ضریب

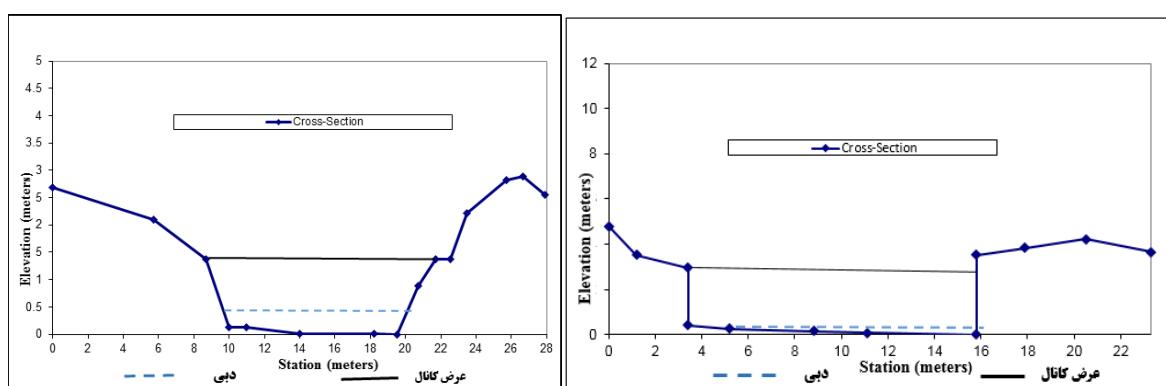
همبستگی به همراه نمودار رگرسیون که به منظور بررسی میزان همبستگی کرانه راست و چپ در شاخص فرسایش بالقوه کرانه‌رود استفاده شده است.

جدول ۱: امتیازات روش شاخص فرسایش بالقوه کرانه رود اکلاهما اوزاراک (Heeren et al, 2012)

۱	ارتفاع کرانه (متر)	مقادیر	امتیاز	امتیاز	۴-۳/۵	۴/۶-۵	۶+
۲	زاویه کرانه (°) <b>BH/FL(°)</b>	مقادیر	امتیاز	۰	۲/۵	۷/۵	۱۰
۳	درصد ارتفاع کرانه با زاویه بیش از ۸۰ درجه (نزدیک به قائم)	مقادیر	امتیاز	۰-۲۰	۶۱-۸۰°	۰۸۱-۹۰°	> ۱۱۹°
۴	شواهد حرکات توده‌ای جدید (برحسب درصد در طول کرانه)	مقادیر	امتیاز	۱۰-٪۰	٪۱۱-۲۵	٪۲۶-۵۰	٪۵۱-۷۵
۵	رسوبات منفصل (درصد کرانه)	مقادیر	امتیاز	۰-۱۰٪	۲/۵	۷/۵	۱۰
۶	حفاظت کرانه رود (درصد کرانه)	مقادیر	امتیاز	۰-۱۰٪	٪۲۶-۵۰	٪۵۱-۷۰٪	٪۵۱-۷۵٪
۷	پوشش گیاهی درختی حاشیه رود	مقادیر	امتیاز	۰-۱۰٪	۱۱-۲۵٪	۱۱-۲۵٪	۷۱-۹۰٪
۸	قوس رود	مقادیر	امتیاز	۱۵	۱۲/۵	۷/۵	۲/۵
		مستقیم	امتحان	۵	۲/۵	۱۰	۰

#### ۴- یافته‌ها (نتایج)

باشه یک و دو: کanal رودخانه از لحاظ شکل، از نوع کanal‌های نامنظم و الگوی رودخانه، از نوع مستقیم است. رسوبات بستر در این بازه نیز گراولی، پوشش گیاهی غالب در کناره‌های رودخانه، علفزار همراه با تک درختان حاشیه رودخانه و کاربری اراضی نیز کشاورزی و مراعع چرای دام است. از اشکال ژئومورفیک متصل به کرانه، موانع متناوب جانبی است. در این بازه، حرکات توده‌ای از نوع لغزش انتقالی مشاهده شد. در این بازه از شواهد انسانی دخیل بر فرم رودخانه می‌توان به پل تخریب شده در بالادست بازه اشاره کرد (شکل ۴، ۵ و ۶).



شکل ۴: نیمروز عرضی رودخانه در بازه دو



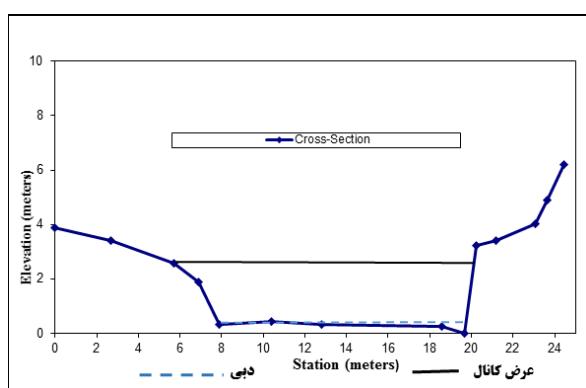
شکل ۳: نیمروز عرضی رودخانه در بازه یک



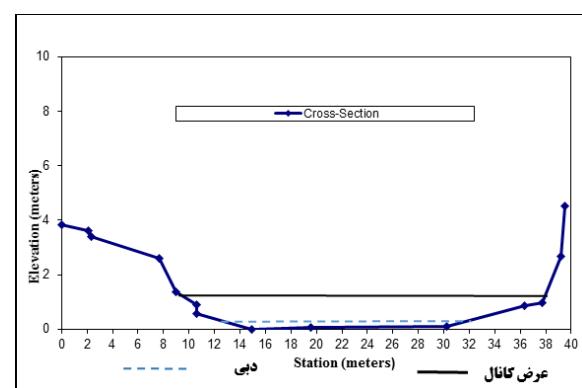
شکل ۶: تصویر موانع جانبی و لغزش‌های کرانه کanal

شکل ۵: تصویر راستای رودخانه و پل تخریب شده

بازه سه، چهار و پنج: رودخانه همانند بازه قبلی، از نوع کانال‌های نامنظم و الگوی رودخانه از نوع مستقیم است و رسوبات بستر در این بازه نیز گراولی، پوشش گیاهی غالب در کناره‌های رودخانه، علفزار همراه با تک درختان حاشیه رودخانه و کاربری اراضی نیز کشاورزی و مراعع چرای دام است. از اشکال ژئومورفیک متصل به کرانه، موانع متناوب جانبی و موانع نقطه‌ای مشاهده شده است. در این سه بازه، می‌توان حرکات توده‌ای از نوع لغزش انتقالی را در حاشیه کanal به صورت متناوب است. مهم‌ترین عارضه دست‌ساخت بازه سه، پل تخریب شده در بالادست بازه است (شکل ۷). در بازه چهار و پنج، از شواهد انسانی دخیل بر فرم رودخانه می‌توان به برداشت شن و ماسه از بستر رودخانه در پایین-دست بازه اشاره کرد (شکل ۸ و ۹).



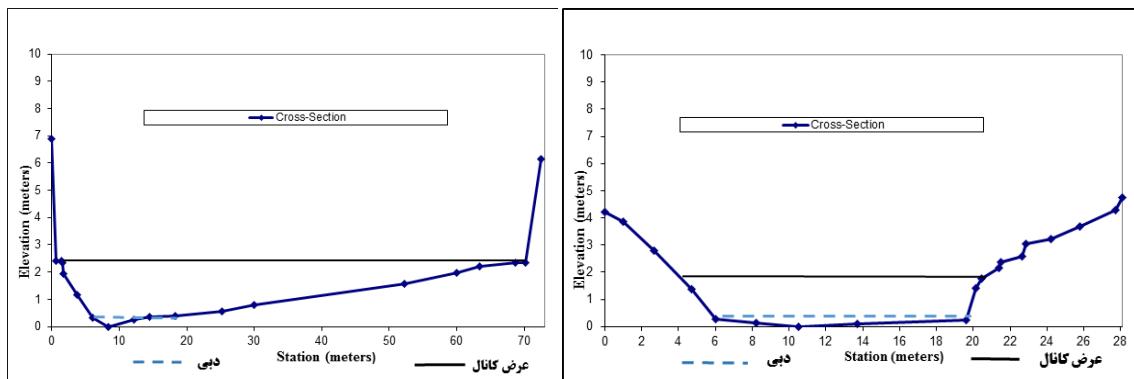
شکل ۸: نیمروز عرضی رودخانه در بازه چهار



شکل ۷: نیمروز عرضی رودخانه در بازه سه

بازه شش: کanal رودخانه از لحاظ شکل، از نوع کانال‌های نامتقارن و الگوی رودخانه از نوع سینوسی است. رسوبات بستر در این نیز گراولی، پوشش گیاهی غالب در کناره‌های رودخانه، علفزار و کاربری اراضی نیز کشاورزی و

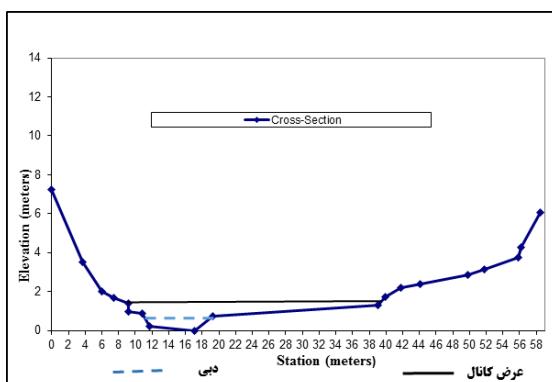
مراعع چرای دام است. از اشکال ژئومورفیک متصل به کرانه، موانع متناوب جانبی و موانع نقطه‌ای است. در این بازه، حرکات توده‌ای از نوع لغزش چرخشی و جریان واریزه‌ای در حاشیه کanal است (شکل ۱۰).



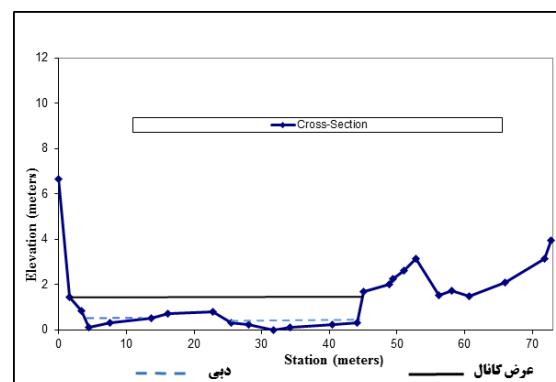
شکل ۱۰: نیم‌رخت عرضی رودخانه در بازه شش

شکل ۹: نیم‌رخت عرضی رودخانه در بازه پنجم

**بازه هفت و هشت:** کanal رودخانه در این دو بازه از لحاظ شکل، از نوع کanal‌های نامتقارن و الگوی رودخانه از نوع پیچان‌رودی است. رسوبات بستر در این بازه نیز گراولی، پوشش گیاهی غالب در کناره‌های رودخانه، علفزار و کاربری اراضی نیز کشاورزی و مراعع چرای دام است. از اشکال ژئومورفیک متصل به کرانه در بازه هفت، موانع متناوب جانبی، موانع نقطه‌ای و کanal فرعی است. در این بازه، حرکات توده‌ای از نوع لغزش انتقالی است (شکل ۱۱). در بازه هشت از اشکال ژئومورفیک متصل به کرانه، موانع متناوب جانبی و در بالا دست رودخانه نیز موانع متناوب جانبی مشاهده شد. در این بازه، حرکات توده‌ای از نوع واریزه‌ای غلبه دارد (شکل ۱۲، ۱۳ و ۱۴).



شکل ۱۲: نیم‌رخت عرضی رودخانه در بازه هشت



شکل ۱۱: نیم‌رخت عرضی رودخانه در بازه هفت



شکل ۱۴: تصویر راستای رودخانه در بازه هشت



شکل ۱۳: تصویر راستای رودخانه در بازه هفت

در جدول ۳ و جدول ۴، به ترتیب خلاصه امتیازات ثبت شده از شاخص فرسایش بالقوه کرانه رود (OSEPI) در کرانه چپ و میانگین نسبی امتیازات و رتبه هر پارامتر ذکر شده است.

جدول ۳: خلاصه ای از امتیازات شاخص های فرسایش بالقوه کرانه رود (OSEPI) در کرانه چپ

ردیف	نام پارامتر	آبگیری	متغیر								
۱	نایدیار	۵۶	۰	۱۵	۱۵	۰	۵	۱۰	۶	۵	بازه
۲	پایدار	۴۲	۰	۱۵	۱۵	۰	۵	۲/۵	۲	۲/۵	۲
۳	پایدار	۴۹/۵	۰	۱۵	۱۵	۰	۲/۵	۱۰	۲	۵	بازه ۳
۴	پایدار	۵۰	۰	۱۵	۱۵	۰	۷/۵	۷/۵	۰	۵	بازه ۴
۵	نایدیار	۵۴/۵	۰	۱۵	۱۵	۰	۱۰	۷/۵	۲	۵	بازه ۵
۶	پایدار	۶۲/۵	۲/۵	۱۵	۱۵	۱۰	۱۰	۰	۰	۱۰	بازه ۶
۷	نایدیاری متوسط	۶۷	۵	۱۵	۱۵	۰	۱۰	۱۰	۲	۱۰	بازه ۷
۸	نایدیار	۶۲/۵	۵	۱۵	۱۵	۰	۷/۵	۱۰	۰	۱۰	بازه ۸

جدول ۴: میانگین نسبی امتیازات و رتبه هر متغیر در شاخص فرسایش بالقوه کرانه رود (OSEPI) در کرانه چپ

ردیف	شاخص‌ها	میانگین امتیازات نسبی	رتبه
۱	ارتفاع کرانه	۰/۷۵	۲
۲	زاویه کرانه	۰/۳۳	۴
۳	درصد زاویه بیش از ۸۰ درجه	۰/۷۵	۲
۴	شواهد حرکات توده‌ای	۰/۳۷	۳
۵	رسوبات منفصل	۰/۲۱	۶
۶	حافظت از کرانه رودخانه	۱	۱
۷	پوشش گیاهی ریپارین	۱	۱
۸	قوس رود	۰/۳۱	۵

در جدول ۵ و ۶، به ترتیب خلاصه‌ای از امتیازات شاخص فرسایش بالقوه کرانه رود (OSEPI) در کرانه راست و میانگین نسبی امتیازات و رتبه هر پارامتر ذکر شده است (شکل ۱۵).

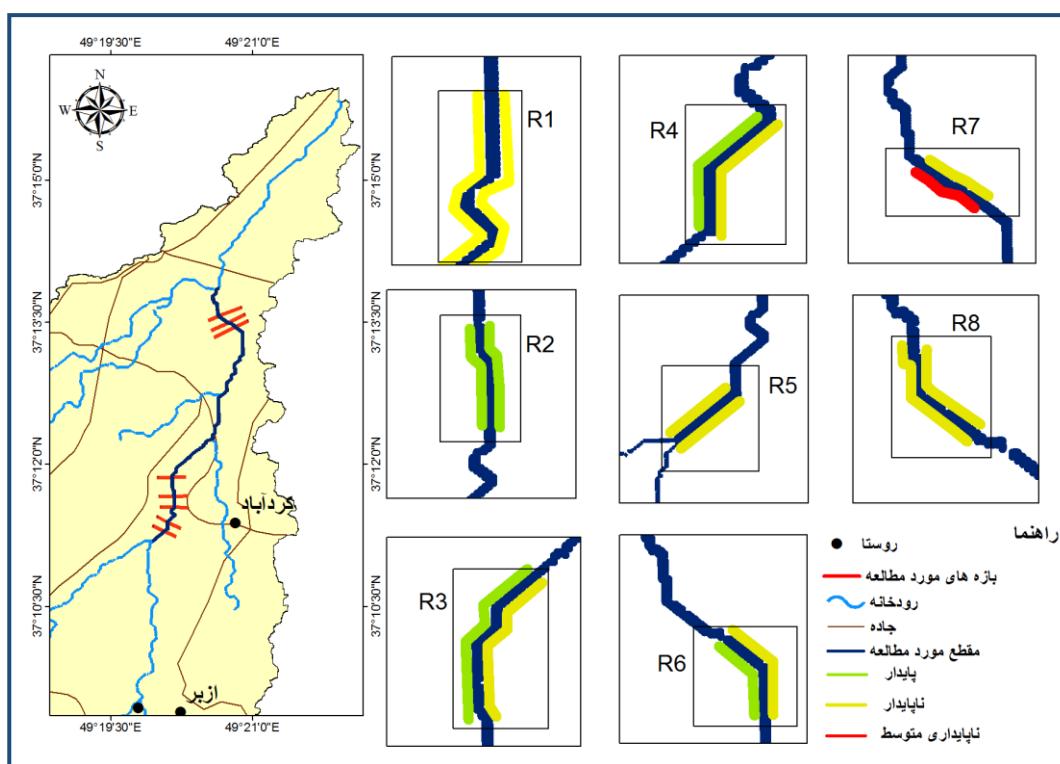
جدول ۵: خلاصه‌ای از امتیازات شاخص‌های فرسایش بالقوه کرانه رود (OSEPI) در کرانه راست

متغیر بازه	بازه ۱	بازه ۲	بازه ۳	بازه ۴	بازه ۵	بازه ۶	بازه ۷	بازه ۸	میانگین نسبی امتیازات	ردیف
نایدار	۵۱	۰	۱۵	۱۵	۰	۱/۵	۱۰	۶	۲/۵	۱
پایدار	۴۲	۰	۱۵	۱۵	۰	۵	۲/۵	۲	۲/۵	۲
نایدار	۵۴	۰	۱۵	۱۵	۰	۱/۵	۱۰	۴	۷/۵	۳
نایدار	۵۲/۵	۰	۱۵	۱۵	۰	۱۰	۷/۵	۰	۵	۴
نایدار	۵۷	۰	۱۵	۱۵	۰	۱۰	۱۰	۲	۵	۵
نایدار	۵۰	۲/۵	۱۵	۱۵	۱۰	۰	۰	۰	۷/۵	۶
نایدار	۵۲	۵	۱۵	۱۵	۰	۰	۱۰	۲	۵	۷
نایدار	۶۰	۵	۱۵	۱۵	۷/۵	۰	۱۰	۰	۷/۵	۸

جدول ۶: میانگین نسبی امتیازات و رتبه هر متغیر در شاخص فرسایش بالقوه کرانه رود (OSEPI) در کرانه راست

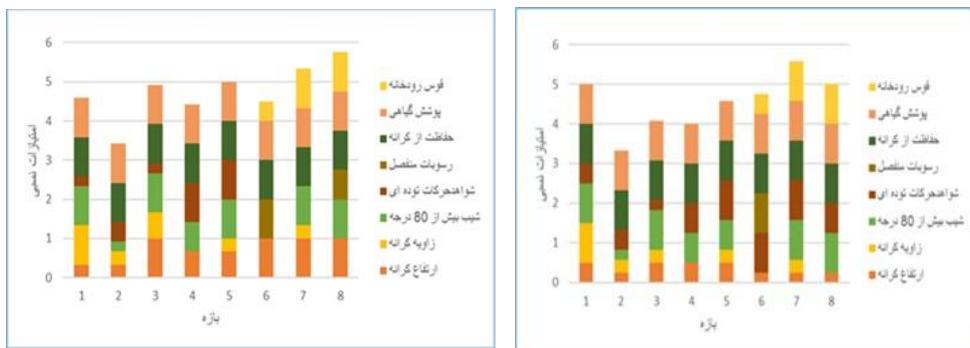
ردیف	شاخص ها	میانگین امتیازات نسبی	رتبه
۱	ارتفاع کرانه	.۷۵	۲
۲	زاویه کرانه	.۳۳	۴
۳	درصد زاویه بیش از ۸۰ درجه	.۷۵	۲
۴	شواهد حرکات توده ای	.۳۷	۳
۵	رسوبات منفصل	.۲۱	۶
۶	حفظاظت از کرانه رودخانه	۱	۱
۷	پوشش گیاهی ریپارین	۱	۱
۸	قوس رود	.۳۱	۵

به طور کلی، کرانه راست رودخانه به جز بازه دوم در حالت ناپایدار ثبت و طبقه بندی شده؛ در حالی که کرانه چپ در بازه های مختلف، طبقه بندی متفاوتی داشته است؛ به طوری که بازه یک، پنج و هشت ناپایدار، بازه دو، سه، چهار و شش پایدار و در بازه هفت ناپایداری متوسط ثبت شده است (جدول ۲ و شکل ۱۵).



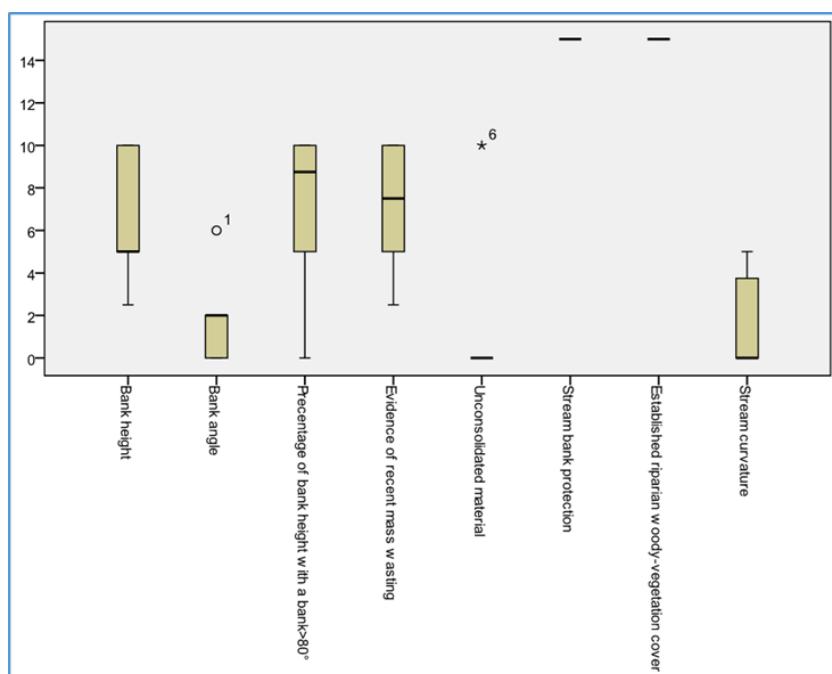
شکل ۱۵: وضعیت فرسایش کرانه رودخانه قلعه رودخان در کرانه راست و کرانه چپ

براساس محاسبه امتیاز نسبی عوامل مؤثر بر فرسایش کرانه رودخانه قلعه رو دخان، عوامل حفاظت از کرانه و پوشش گیاهی ریپارین در هر دو کرانه چپ و راست، مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بود و در موقع خطر فرسایش کناره‌ای بیشترین نقش را داشت (شکل ۱۶).

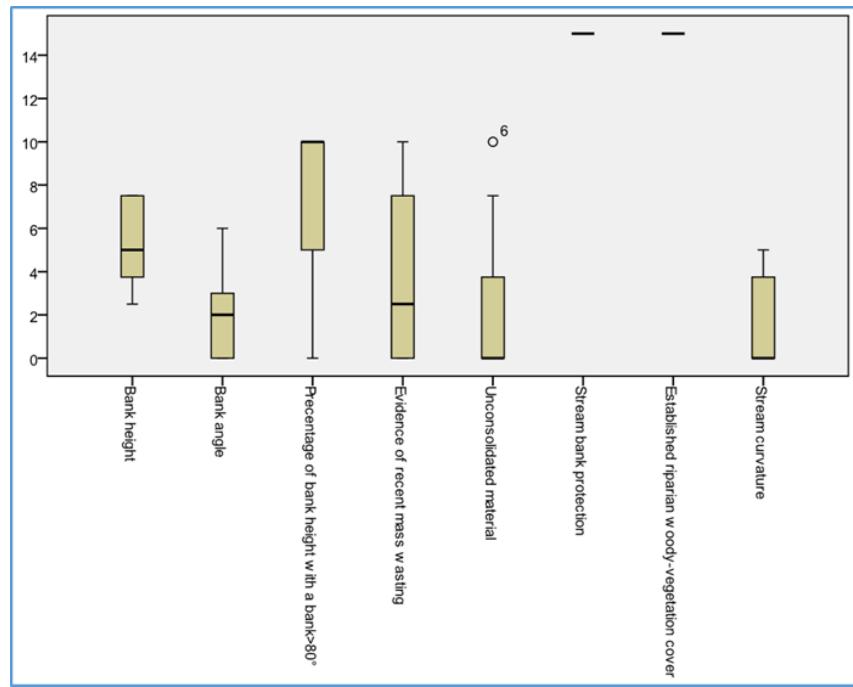


شکل ۱۶: امتیاز نسبی عوامل مؤثر در فرسایش کرانه رودخانه قلعه رو دخان در کرانه راست (نمودار سمت راست) و کرانه چپ (نمودار سمت چپ)

نمودار باکس پلات عوامل مؤثر در ناپایداری کرانه نشان می‌دهد که مقادیر برخی پارامترها همچون دو پارامتر پوشش گیاهی ریپارین و حفاظت از کرانه رود در کرانه چپ و راست، در بازه‌های مختلف تغییری نکرده و مقادیر یکسانی ثبت شده‌است؛ در حالی که در پارامترهای دیگر به خصوص در پارامتر درصد زاویه بیش از هشتاد درجه، میزان تغییرات زیاد بود (شکل ۱۷ و ۱۸).



شکل ۱۷: نمودار باکس پلات امتیازهای هر یک از متغیرها به صورت مجزا برای کرانه چپ در شاخص پتانسیل فرسایش کناره رودخانه پایداری کanal (OSEPI)



شکل ۱۸: نمودار باکس پلات امتیازهای هر یک از متغیرها به صورت مجزا برای کرانه راست در شاخص پتانسیل فرسایش کناره رودخانه پایداری (OSEPI) کانال

## ۵. بحث و نتیجه‌گیری

این مطالعه با هدف تعیین وضعیت کناره‌های رودخانه قلعه رودخان فومن از نظر پایداری و ناپایداری و شناسایی مؤثرترین عامل در پایداری کناره‌های رودخانه مذکور در بازه‌های مورد مطالعه انجام شد. به منظور دستیابی به این هدف، از شاخص پتانسیل فرسایش رود اکلاهما اوزار ک یکی از روش‌های ارزیابی سریع ژئومورفیک استفاده شد. نتایج به دست آمده از امتیازهای پارامترهای مورد مطالعه در شاخص فرسایش بالقوه کرانه رود اکلاهما - اوزار اکلا که در کرانه چپ، بازه‌های ۱، ۵ و ۸ ناپایدار، بازه‌های ۲، ۳، ۴ و ۶ پایدار و بازه ۷ ناپایداری متوسط دارد؛ در حالی که در کرانه راست، همه بازه‌ها به جز بازه ۲ ناپایدار است.

با توجه به نتایج امتیاز نسبی، پوشش گیاهی ریپارین و حفاظت از کرانه مؤثرترین عوامل در ناپایداری کناره‌های چپ و راست در رودخانه قلعه رودخان است و بعد از آن، ارتفاع کرانه و درصد زاویه بیش از هشتاد درجه در مرتبه دوم قرار دارد. به طور کلی، می‌توان گفت در کناره‌های رودخانه قلعه رودخان وضعیت ناپایداری غلبه دارد که این مستله از دخل و تصرف انسان در این بخش از رودخانه سرچشمه می‌گیرد. در واقع، کرانه‌هایی که قادر پوشش درختی و کرانه‌هایی که دارای شب زیاد است و حفاظتی از آن به عمل نمی‌آید، مستعد فرسایش کناره‌ای است. بنابراین، با اجرای اقدامات غیرسازه‌ای از جمله تقویت پوشش گیاهی و کم کردن دخالت‌های انسانی، می‌توان به کم کردن فرسایش کناره‌ای کمک کرد.

در واقع، پوشش گیاهی هر سه فرایند فرسایشی کناره - فرسایش هیدرولیک رودخانه، حرکات توده‌ای و تنفسی مکانیکی و هیدرولیکی مواد کناره که توسط لاولر (1995) بیان شده است - را تحت تأثیر قرار می‌دهد. وین و

مستقیمی (2006) مشخص کردند که تراکم ریشه، تأثیر قابل توجهی بر فرسایش کناره در جنوب غربی ویرجینیا امریکا داشته است.

ضریب همبستگی به دست آمده بین کناره راست و چپ در مدل فرسایش بالقوه کرانه رود اکلاهما اوزاراک، ۰/۲۵۹ است که همبستگی ضعیفی را نشان می‌دهد؛ یعنی تغییر در مقادیر پارامتر در یک کرانه، مشابه مقادیر اندازه-گیری شده در کرانه مقابله نیست. بنابراین، وجود ناپایداری در یک کرانه با ناپایداری در کرانه مقابله همراه نیست؛ به ویژه اگر ویژگی‌های مؤثر در ناپایداری به دلیل مورفوومتری کanal (مانند تفاوت مورفوومتری کanal در قوس پیچانروزی در دو کرانه کاملاً متفاوت) و شرایط محیطی تغییر کند. بررسی مقادیر در هشت بازه مورد مطالعه نشان داد که مقادیر به دست آمده و حساسیت به فرسایش در طول محدوده مورد مطالعه، در کرانه‌های مقابله متفاوت است.

بر اساس نتایج مطالعه Heeren و همکاران (2012)، اگر در بررسی وضعیت خطر فرسایش کناره‌ای از شاخص فرسایش بالقوه کرانه رود مورد استفاده همزمان با تکنیک و روش‌های دیگر تعیین پایداری استفاده شود، نتایج مطمئن-تری به دست می‌آید.

مطالعه Esmaili و همکاران (2019)، در خصوص تحلیل پایداری کرانه رودخانه سیمره با استفاده از روش شاخص پایداری کanal رود (CSI) و شاخص فرسایش بالقوه کرانه رود اکلاهما- اوزاراک (OSPEI) نشان داد که روش OSEPI شاخص‌های مناسب‌تری را ارائه می‌کند و تقسیم‌بندی توصیفی آن بهتر از روش CSI قابلیت تفکیک دارد. یافته‌های Najafzadeh و همکاران (2021) در مطالعه حساسیت کرانه‌ای رودخانه حاجی عرب - بوین زهراء به فرسایش نیز نشان داد که شاخص فرسایش بالقوه کرانه رود می‌تواند ارزیابی سریعی از وضعیت خطر فرسایش کناره رودخانه ارائه دهد.

شاخص فرسایش بالقوه کرانه رود مورد استفاده در این مطالعه نسبت به روش‌های دیگر ارزیابی، کم هزینه است و شناسایی خطر در زمان کوتاه‌تری انجام شده است. برای همین در این مطالعه، امکان ارزیابی سریع ژئومورفیک در خصوص رودخانه قلعه رودخان فومن فراهم شد. بر اساس یافته‌های این مدل، مناطق حساس به فرسایش رودخانه قلعه رودخان شناسایی و در زمینه مدیریت رودخانه، اقدامات اجرایی و عملیاتی زیر پیشنهاد شد. براساس شرایط بازه‌ها می‌توان از روش‌های تلفیقی متعددی برای تشییت و حفاظت دیواره رودخانه استفاده کرد که شامل روش‌های سازه‌ای (سازه‌های مقاوم به شکل روکش)، روش‌های طبیعی (نظیر پوشش گیاهی و تنه درختان) و روش‌های تلفیقی طبیعی و ساختمانی (استفاده همزمان از گایبون، مصالح ساختمانی با پوشش گیاهی) است. ذکر این امر لازم است که در خصوص رودخانه قلعه رودخان با توجه به مورفولوژی و جنس رسوبات کرانه (رسوبات ریزدانه و حساس به فرسایش)، استفاده از روش‌های حفاظت مستقیم دیواره‌ها نسبت به روش‌های نامستقیم (انحراف جریان یا سازه‌های آرام‌کننده) کارایی بیشتری دارد.

## منابع

- 1 .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 of Science Thesis, Syracuse University.175 p.
- 2 .De Rose, R. C., & L. R. Basher., (2011). Measurement of river bank and cliff erosion from sequential LIDAR and historical aerial photography. *Geomorphology*. 126, 132–147. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.10.037>.
- 3 .Esmaili, R.; Yarmohammadian, R.; & G. Lorestanian, 2019. Streambank stability analysis using geomorphic rapid assessment techniques, case study: Saymareh river, Ilam province, Darreh Shar county, *Quantitative Geomorphological Research*, 7(3), 57-70. (in Persian).
- 4 .Esmaili, R., & S. Moalemi., (2021). Zonation and analysis of stream bank erodibility in upstream of Neka River, Mazandaran. *Researches in Earth Sciences*. 12(3), 131-143. doi: 10.52547/esrj.12.3.131. (in Persian).
- 5 .Gregory, k. j., 2006. the Human role in changing River Channels, *Geomorphology*, 84, 277-296.
- 6 .Heeren, D. M.; Mittelstet, A. R.; Fox, G. A.; Storm, D. E.; Al -Madhhachi, A.T.; Midgley, T. L.; Stringer, A. F.; Stunkel, K. B.; & R. D. Tejral, 2012. Using rapid geomorphic assessments to assess stream bank stability in Okkahmoma Ozarak streams, *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 55(3), 957-968.
- 7 .Hosseinzadeh, M. M., & R. Esmaili., (2018). Estimation of stream bank erosion by BSTEM model. *Iranian Journal of Geology*. 11(45), 53-70. (in Persian).
- 8 .Hosseinzadeh, M. M., & S. Pasha., (2021). Investigating the Erosion of the Haft Cheshmeh River Banks in Qazvin Using the Near Bank Stress Model (NBS). *Geography and Environmental Planning*. 32(2), 103-118. doi: 10.22108/gep.2021.123702.1319. (in Persian).
- 9 .Hosseinzadeh, M. M.; Shayan, S.; & F. Najafzadeh, 2022. potential of bank erosion and channel instability in Haji Arab river in Qazvin, *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(1), -. doi: 10.22067/geoeh.2021.71397.1087. (in Persian).
- 10 .Janes, V. J. J.; Nicholas, A. P.; Collins, A. L.; & T. A. Quine, 2017. Analysis of fundamental physical factors influencing channel bank erosion: results for contrasting catchments in England and Wales, *Environ Earth Sci*, 76. DOI 10.1007/s12665-017-6593-x.
- 11 .Johnson, P. A.; Gleason, G. L.; & R. D. Hey, 1999. Rapid assessment of channel stability in Vivtiny of road crossing, *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(6), 645-651.
- 12 .Lawler, D. M., 1995. The impact of scale on the processes of channel-side sediment supply: a conceptual model, *Effects of Scale on Interpretation and Management of Sediment and Water Quality*, 226, 175-184.
- 13 .Najafzadeh, F.; Hosseinzadeh, M. M.; & S. Shayan, 2021. Streambank Sensitivity of Haji arab River to Erosion and It's risks, *Environmental Management Hazards*, 8(2), 137-155. doi: 10.22059/jhsci.2021.322479.646. (in Persian).
- 14 .Qholami, P., & M. M. Hosseinzadeh., (2019). Assessment of the sustainability and instability of bank and bed of the Masil-Muchan river (Astaneh city - Markazi province). *E.E.R..* 8(4), 41-64 (in Persian).
- 15 .Rezaei Moghaddam, M.; Sarvati, M.; & S. Asghari Sareskanrood, 2012. Investigation of geometric alterations of Gezel Ozan River considering Geomorphologic and Geologic parameters, *Geography and Environmental Planning*, 23(2), 1-14. (in Persian).
- 16 .Rosgen, D. L., 2001. A stream channel stability assessment methodology, In *Proceedings of the seventh Federal Interagency Sedimentation Conference*, 1, 18 -26.
- 17 .Simon, A., & L. Klimetz., (2008). Magnitude, frequency and duration relations for suspended sediment in stable (reference) southeastern streams. *Journal of the American Water Resources Association*. 44(5), 1270-1283.
- 18 .Wynn, T. M., & S. Mostaghimi., (2006). The effects of vegetation and soil type on streambank erosion, Southwestern Virginia, USA. *Journal of the American Water Resources Association*. 42 (1), 69-82.
- 19 .Zainal Abidin, R.; Sulaiman, M. S.; & N. Yusoff, 2017. Erosion risk assessment: A case study of the Langat River bank in Malaysia, *International Soil and Water Conservation Research*, 5, 26-35. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.01.002>.

# Investigation of Lateral Erosion of Qaleh Rudkhan River in Guilan Using Streambank Erosion Potential Index

Mohammad Mahdi Hosseinzadeh<sup>1</sup>: Associate Professor, Earth Sciences Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran

Manijeh Sartipzadeh Namin : MSc. in Geomorphology, Earth Sciences Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran

Article History (Received: 2022/06/29)

Accepted: 2022/09/22)



## Extended abstract

### 1- Introduction

River canal changes are natural river processes and part of the systematic functioning of rivers that cause the destruction of agricultural land around the river and damage to human facilities and roads. Due to the frequent occurrence of lateral erosion risk in Qaleh Rudkhan Fooman river in Guilan province, identification and determination of stable and unstable shores and the degree of this stability can play an effective role in controlling erodible river environments, and preventing environmental hazards. The purpose of this study is to investigate riverbank erosion using Oklahoma Ozark streambank erosion potential index (OSEP).

### 2- Methodology

Qaleh Rudkhan watershed is located in the west of Guilan province in Fooman city. This river originates from the northern slopes of the Talesh Mountains and after leaving the mountains in the Fooman region, enters the Guilan Plain and finally flows into the Caspian Sea. The study area is approximately 5 km long, upstream of the river and near the city of Fooman.

In order to investigate the erosion of the river bank, a part of the river with an approximate length of 5 km near Fooman was identified and in 8 reaches, the parameters in the Oklahoma Ozark streambank erosion potential index (OSEP) were examined. In this method, eight factors of bank height, bank angle, percentage of bank height with a bank angle greater than 80 degrees, evidence of recent mass wasting (percentage of bank), unconsolidated material (percentage of bank), streambank protection (percentage of streambank covered by plant roots, vegetation, downed logs and branches, rocks, etc.), established beneficial riparian woody-vegetation cover, and stream curvature are scored. In this method, based on the scores calculated for each reach, the stability situation is as follows: 0-25: highly stable, 26-35: moderately stable, 36-45: stable, 46-55: unstable, 56-65: moderately unstable, 66-85: highly unstable. The relative average of the scores has been used to determine the factor affecting lateral erosion and river bank stability. For statistical analysis of the studied intervals, two statistical methods of Box Whisker plot diagram and correlation coefficient with regression have been used.

### 3- Results

Based on the available findings, in the reaches 1 to 5, the river canal is an irregular one in shape and the river pattern is straight. Bed sediments in this reaches are gravel; the predominant vegetation along the river is grassland along with single trees across the river, and land uses are also agriculture and grazing pastures. One of the geomorphic forms connected to the river bank is intermittent lateral barriers. Along these reaches, massive movements of the transition slip type have been observed. The human evidence influencing the shape of the river includes the destroyed bridge and the sand and gravel resulted from mining operations from the riverbed. In reach 6, the river channel is an asymmetrical channel in shape and the river pattern is sinusoidal. The properties of bed sediments, vegetation and geomorphic forms are similar to previous periods.

In the seventh and eighth reaches, the river channel is asymmetric in terms of shape and the river pattern is of the meandering form. The condition of bed sediments and vegetation is similar to previous reaches. Among the geomorphic forms connected to the river bank in the reach of seven and eight are alternating lateral barriers, point barriers and paleochannel. Along these reaches, mass movements of transfer slip and debris type have been observed.

Based on the results obtained from the eight reaches, in general, the right bank of the river, except for the second reach, has been recorded and classified in an unstable state, while the left bank has had different classifications in different reaches. Therefore, the results of one, five and eight reaches are unstable, the results of two, three, four and six are stable and the results of seven show moderate instabilities. Based on the calculation of the relative scores of effective factors in the erosion of Qaleh Rudkhan river bank, in both left and right banks, streambank protection and established beneficial riparian woody-vegetation cover are the most important influential factors and have the most important role in the occurrence of lateral erosion risk. The Box plot diagram of effective factors in shore instability shows that the values of some parameters such as two parameters of riparian vegetation and riparian protection on the left and right banks did not change at different intervals and the same values were recorded.

The correlation coefficient obtained between the right and left sides of the Oklahoma Ozark streambank erosion potential index (OSEP) is 0.259, which indicates a weak correlation, which means the change in parameter values at one edge is not the same as the values measured at the opposite edge. Therefore, if there is instability on one shore, it is not associated with instability on the other shore. Examination of the values in the 8 studied reaches showed that the values obtained and the sensitivity to erosion varied along the study area on the opposite shores.

### 4- Discussion & Conclusions

The results obtained from the scores of the studied parameters in the Oklahoma Ozark streambank erosion potential index (OSEP) showed that in the left bank, the reaches 1, 5 and 8 were unstable, the reaches 2, 3, 4 and 6 were stable and the reach 7 was moderately unstable, while on the right bank, all the reaches except reach 2 were unstable.

According to the results of relative scores, the streambank protection and established beneficial riparian woody-vegetation cover have been the most effective factors in the instability of the left and right shores of Qaleh Rudkhan river. In general, it can be said that instability has prevailed in the banks of Qaleh Rudkhan River, which is due to human intrusion and occupation in this part of the river.

**Keywords:** Qaleh Rudkhan river, streambank erosion potential index (OSEP), streambank erosion, Fooman city, Guilan province.