



Sustainable Development of Geographical Environment

Journal homepage: <https://egsdejournal.sbu.ac.ir>



Rapid Geomorphic Assessments (RGAs) to Investigating Streambank Stability in Qaleh Rudkhan Fooman River, Guilan

Hosseinzadeh^{1*}, M.M., Sartipzadeh Namin¹, M.,

1. Department of Physical Geography, Earth Sciences Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Keywords:

- Channel stability index
- River
- Streambank erosion
- Fooman city
- Qaleh Rudkhan

Original Article

Article history:

Received: 28/06/2022

Accepted: 03/03/2023

ABSTRACT

River bank erosion is one of geomorphic processes caused by natural and human factors. Qala Rudkhan river is located in the west of Guilan province and Fuman city. This river originates from the north-eastern heights of Souteh village settlement and flows into the Caspian Sea after traveling 40 kilometers from the Qala Rudkhan region. Eight field sites were established at three locations along a 5 km stretch along the principal channel of Qaleh Rudkhan. The field sites are located near the city of Fuman, Gilan. This research applied an existing RGA, the channel stability index, on several reaches along the Qaleh Rudkhan. In this study used a combination of methods including field reconnaissance and detailed data collection, surveying, and statistical software. In this model, variables are Preliminary Data: Bank Heights, Bankface Lengths, River Stage at "Baseflow", Estimated Width of Channel, Average Diameter of Streambed Sediment, Bank Gullies and Primary Bed Material, Bed/Bank Protection, Degree of Incision, Degree of Constriction, Streambank Erosion, Streambank Instability, Established Riparian Woody-Vegetative Cover, Occurrence of Bank Accretion, Stage of Channel Evolution Model Were Scored. Finally, the field sites (reaches) were classified based on erosion rate and instability. The analysis of the channel's stability showed that First, second, third and fourth reaches are in a very unstable condition (high instability) and five, six, seven, and eight reaches are in a medium instability condition. Based on the findings above, the type of bed sediments, bank protection, and riparian vegetation are the most important factors affecting the channel's stability.



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY). license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Citation:

Hosseinzadeh, M.M. and Sartipzadeh Namin, M., (2023). Rapid Geomorphic Assessments (RGAs) to Investigating Streambank Stability in Qaleh Rudkhan Fooman River, Guilan, *Sustainable Development of Geographical Environment*: Vol. 5, No. 8, (139-153).
<https://doi.org/10.52547/sdge.5.8.139>

* Corresponding author E-mail address: (m_hosseinzadeh@sbu.ac.ir) / Orcid ID: 0000-0002-4961-0657

Extended abstract

Background and purpose

Bank erosion is one of the geomorphic processes caused by natural and human factors. This phenomenon, as one of the types of water erosion, can create several geomorphic effects in the river. The increase in river erosion also causes the instability of the river and as a result changes the type of flow, changes the pattern of the river and changes the course of the river. So far, several methods of rapid geomorphic assessment have been used to investigate river bank erosion, and one of the most common and widely used in these assessments is the Channel Instability Index (CSI). The aim of our study was to know the applicability of the channel stability index to identify erosion-sensitive and unstable banks in the Qaleh Rudkhan Fooman river in Gilan.

Methodology

Qaleh Rudkhan river is located in the west of Gilan province in Fooman city. This river originates from the northeast heights of Sote village and flows into the Caspian Sea after traveling 40 kilometers from the Qaleh Rudkhan area. The area of the basin is 347.76 Km². With the aim of studying the bank erosion and stability of the river bank of Qaleh Rudkhan, a part of the river path with a length of approximately 5 km was selected in near the city of Fooman. In this area, 8 reaches were determined based on river conditions (pattern and morphometric differences) and its sensitivity to bank erosion. Then, mapping of cross_sections, Channel morphometry, grain measurement of the bank sediments, state of compaction and stickiness of sediments, and examination of the vegetation characteristics of the bank and flood plain were carried out for each reaches. In eight reaches, using the channel stability index, the streambank erosion situation was investigated. In this model, the primary bed material, bed/bank protection,

degree of incision, degree of constriction, streambank erosion, streambank instability (percentage of mass movements), established riparian woody- vegetative cover, occurrence of bank accretion and stage of channel evolution model are scored.

Findings and discussion

Based on the findings of the channel stability index (CSI) on the left and right banks of Qaleh Rudkhan river, it showed that the index values ranged from 18.5 to 25.5. Based on these values, reaches one, two, three and four are in a very unstable state (high instability) in terms of channel stability, and reaches five, six, seven and eight are in a medium instability state. Based on the relative score method of bed sediments, bank protection and riparian vegetation are the most important factors affecting channel stability. Based on Pox-Whisker Plot diagram, the status of three variables of degree of incision, the available evidence of bank erosion, percentage of mass movements and occurrence of bank accretion are different in different reaches and as a result of these factors, the sensitivity of the river bank of Qaleh Rudkhan to instability is different.

Conclusion

The results of this research show that the three variables of the primary bed material, bank protection and established riparian woody-vegetative cover are the same in all reaches and are considered important factors affecting the stability and river channel stability. Based on the above findings streambank instability, occurrence of bank accretion, degree of incision and stage of channel evolution model are variable factors in each reaches, which cause differences and changes in the intensity of river bank erosion and river channel.

Keywords: Channel stability index, River, Streambank erosion, Fooman city, Qaleh Rudkhan.



ارزیابی سریع ژئومورفیک در بررسی پایداری کرانه رودخانه قلعه رودخان فومن، گیلان

محمد مهدی حسین‌زاده^{۱*}، منیژه سرتیپ زاده نمین^۱

۱. گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده

فرسایش کناره‌های رودخانه یکی از فرآیندهای ژئومورفیک است که به واسطه عوامل طبیعی و انسانی ایجاد می‌شود. رودخانه قلعه رودخان در غرب استان گیلان و در شهرستان فومن واقع شده است. این رودخانه از ارتفاعات شمال شرق آبادی سوته سرچشمه می‌گیرد و بعد از طی ۴۰ کیلومتر از منطقه قلعه رودخان به دریای خزر می‌ریزد. به منظور بررسی فرسایش کناره‌های قسمتی از رودخانه در هشت بازه به طول ۵ کیلومتر در نزدیکی شهر فومن انتخاب و از شاخص پایداری کانال برای بررسی فرسایش کناره‌های استفاده شده است. داده‌های مورد نیاز از طریق برداشت‌های میدانی جمع‌آوری شد؛ سپس با استفاده از نرم‌افزارهای آماری مورد تحلیل قرار گرفتند. در این مدل متغیرهای اندازه رسوبات بستر، حفاظت بستر یا کرانه، درجه فرسایشی، درجه محدودیت کانال، فرسایش کرانه رود، درصد حرکات توده‌ای، پوشش گیاهی درختی در ریپارین، وجود اشکال رسوبی و مرحله تکاملی کانال امتیاز دهی شدند. در پایان، بازه‌ها از نظر ناپایداری طبقه‌بندی شدند. بررسی وضعیت پایداری کانال نشان داد که بازه‌های یک، دو، سه و چهار در وضعیت بسیار ناپایدار (ناپایداری بسیار زیاد) و بازه‌های پنج، شش، هفت و هشت در وضعیت ناپایداری متوسط قرار دارند. بر پایه یافته‌های فوق جنس رسوبات بستر، حفاظت کرانه و پوشش گیاهی ریپارین، مهم‌ترین عوامل موثر بر پایداری کانال بوده‌اند.

اطلاعات مقاله

واژه‌های کلیدی:

- پایداری کانال
- رودخانه
- فرسایش کناره‌ای
- فومن
- قلعه رودخان

مقاله: پژوهشی

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۲



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

استناد:

حسین‌زاده، م.م. و سرتیپ زاده نمین، م. (۱۴۰۲). ارزیابی سریع ژئومورفیک در بررسی پایداری کرانه رودخانه قلعه رودخان فومن، گیلان، توسعه پایدار محیط جغرافیایی: سال ۵، شماره ۸، (۱۳۹-۱۵۳).
<https://doi.org/10.52547/sdge.5.8.139>

مقدمه

رودخانه‌ها، سیستم‌های طبیعی پیچیده‌ای هستند که در آن‌ها مورفولوژی و الگوی کانال در پهنه‌های آبرفتی منعکس کننده سه عنصر اساسی انرژی جریان، اندازه و میزان رسوبات و پوشش گیاهی ریباین است (Vargas-Luna et al, 2019). فرسایش کناره‌ای رودخانه از مجموعه‌ای از فرآیندهای ژئومورفیک ناشی می‌شود که توسط فعل و انفعالات پیچیده بین مکانیسم‌های طبیعی و عوامل تنش‌زای محیطی ایجاد می‌شود (Chassiot et al, 2020) و امروزه با تغییرات آب و هوا و فشار فزاینده انسانی افزایش یافته است (Piegay et al, 2020; Wohl, 2020). فرسایش کناره رود به عنوان یکی از انواع فرسایش آبی می‌تواند اثرات ژئومورفیک متعددی در رودخانه ایجاد نماید. فرسایش پیش رونده کناره رودخانه، یکی از دلایل اصلی آلودگی غیر نقطه‌ای رود است که از طریق افزایش عرضه رسوب ایجاد می‌شود. ورود بیش از حد رسوب و رسوبگذاری آن در بستر رودخانه، یک مشکل محیط زیستی قابل توجهی است که سالانه هزینه‌های هنگفتی را به دولت‌ها تحمیل می‌کند. افزایش فرسایش رودخانه همچنین سبب بی‌ثباتی رود و در نتیجه تغییر نوع جریان و الگوی رودخانه مانند گسترش پیچان‌رودها و تغییر مسیر رودخانه می‌شود. این اثرات نامطلوب را می‌توان در بسیاری از حوضه‌های آبخیز کشور مشاهده کرد. از این رو طی چند دهه اخیر بار رسوب و ناپایداری کناره‌ای رود، نگرانی‌های عمده‌ای را در سطح جهان پدید آورده و مبالغ زیادی برای پایداری کناره‌های رود صرف شده است (Bernhardt et al, 2005). میزان فرسایش کناره رود تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند: ترکیب رسوبات کرانه، ویژگی‌های هندسی کرانه، دبی، پوشش گیاهی و شعاع قوس رودخانه قرار دارد (Collins et al, 2017). تکنیک‌های مختلفی برای اندازه‌گیری فرسایش کرانه‌رود وجود دارد که برخی از آنها با استفاده از عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های لیدار انجام شده است که می‌توان به مطالعات سارما و همکاران (Sarma et al, 2007) باشر و درز (Basher and De Rose, 2011) یمانی و شرفی (۱۳۹۱) رضایی مقدم و پیروزی نژاد (۱۳۹۳) اشاره کرد. به کارگیری این داده‌ها به علت مشکلات در دسترسی و پوشش زمانی نامناسب با محدودیت مواجه است؛ به همین دلیل در پژوهش حاضر، از ارزیابی سریع ژئومورفیک^۱ (RGA) استفاده شده است. ارزیابی سریع ژئومورفیک که روشی سریع برای توصیف جریان است، به بازه‌هایی از یک جریان با خصوصیات مشابه کنار رودخانه‌ای از نظر ارتفاع و چینه‌شناسی و درجه ثبات کانال تعریف می‌شود (Downs and Simon, 1995). با استفاده از این تکنیک‌ها، عوامل مؤثر در وقوع اشکال ژئومورفیک در روی زمین امتیاز دهی می‌شوند و مجموع امتیازات همه عوامل، شرایط مورد نظر را توصیف می‌نماید (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۷). تاکنون روش‌های متعددی از ارزیابی سریع ژئومورفیک برای بررسی فرسایش کرانه‌رود به کار گرفته شده است که یکی از رایج‌ترین و پرکاربرد در این ارزیابی‌ها، شاخص ناپایداری کانال^۲ (CSI) است (Simon and Klimetz, 2008). این شاخص در ابتدا برای نواحی (قبل و بعد پل‌ها) که حساسیت بالایی به فرسایش داشته‌اند طراحی شد. زمانی که مطالعه فرسایش کرانه‌ای رودخانه نزدیک پل‌ها نباشد می‌توان با تغییر معیارهای اولیه، از این شاخص استفاده کرد. فریهاردت و فری (Freihardt and Frey, 2022) در پژوهشی به ارزیابی فرسایش کناره رودخانه در بنگلادش با استفاده از سری زمانی تصاویر رادار سنتینل ۱ در گوگل ارث پرداخته‌اند و نتایج نشان داد که با داده‌های سنتینل ۱ می‌توان مکان‌های فرسایش را یک ماه پس از پایان باران موسمی تعیین کرد. زایمس و همکاران (Zaimis et al, 2021) در پژوهشی با بررسی فرسایش و رسوب رودخانه در آیووا ایالات متحده در یک مطالعه هفت ساله در امتداد رودخانه در مناطق مختلف با کاربری‌های مختلف ریباین، نتیجه گرفتند که بافرهای جنگلی کناره رودخانه و فیلترهای چمن به‌طور چشمگیری فرسایش کناره‌ای را کاهش داده و این در حالی است که چرای مداوم و کشاورزی سنتی فرسایش کناره رودخانه را تسریع کرده‌اند. گاسر و همکاران (Gasser et al, 2020) در پژوهشی، چارچوب جدیدی برای مدل فرسایش کناره‌ای هیدرولیک ایجاد کردند که توجه بیشتر بر روی تاثیر ریشه گیاهان در تثبیت کناره‌های رودخانه بوده است و به این نتیجه رسیدند که ریشه می‌تواند حساسیت فرسایش کرانه را براساس معیارهای هندسی (عرض کانال و شیب کانال) کاهش دهد. یو و همکاران (Yu et al, 2019) در پژوهشی اثرات ریشه‌های ریباین بر ثبات کناره تثبیت نشده کانال‌های مئاندری در رودخانه تاریم چین پرداخته‌اند که نتایج نشان داد

ریشه‌های پوشش گیاهی ریبازین باعث انسجام خاک تثبیت نشده کناره‌های رودخانه می‌شود و ضریب پایداری کناره‌های کانال ضریب پیچانرودی را افزایش می‌دهد. کرزمینسکا و همکاران (Krzeminska et al, 2019) در پژوهشی تاثیر پوشش گیاهی ریبازین را بر پایداری کناره رودخانه در حوضه آبریزهای کوچک کشاورزی پرداخته‌اند که نتایج گویای آن بود که پوشش گیاهی کناره‌های رودخانه عمدتاً تاثیر مکانیکی بر پایداری کناره رودخانه دارد و پوشش گیاهی درختی پایدارترین است و بالاترین ظرفیت را برای انطباق با تنش برشی بالقوه نشان می‌دهد. محققان ایرانی نیز روش‌های متعددی از ارزیابی سریع ژئومورفیک را برای بررسی فرسایش کرانه‌رود به کار گرفته‌اند که می‌توان به مطالعات اسماعیلی و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه پایداری کرانه رودخانه سیمره در محدوده شهرستان دره شهر استان ایلام، با استفاده از تکنیک‌های ارزیابی سریع ژئومورفیک، حسین زاده و همکاران (۱۳۹۹)، آنالیز نرخ فرسایش کناره‌ای کانال با استفاده از ریشه بیرون زده درختان در رودخانه لایوچ مازندران از مدل بهی، نجف زاده و همکاران (۱۴۰۰) استفاده از شاخص فرسایش بالقوه کرانه رود اکلاهما - اوزاراک در بررسی حساسیت کرانه‌ای رودخانه حاجی عرب بوبین زهرا و حسین زاده و همکاران (۱۴۰۱) استفاده از شاخص پایداری مجرای رود CSI در بررسی پتانسیل فرسایش کناره و ناپایداری مجرا در رودخانه حاجی عرب بوبین زهرا اشاره کرد. هدف این مطالعه، شناخت قابلیت کاربرد شاخص پایداری کانال در بررسی کرانه‌های حساس به فرسایش و ناپایداری در رودخانه قلعه رودخان فومن در گیلان بوده است. رودخانه قلعه رودخان یکی از رودخانه‌های استان گیلان، با مشکل فرسایش و ناپایداری کرانه مواجه است و ضرورت دارد کرانه‌های حساس به فرسایش و ناپایداری مورد مطالعه قرار گیرد. این مطالعات می‌تواند نقش مؤثری در کنترل محیط‌های رودخانه‌ای فرسایش پذیر و پیشگیری از وقوع مخاطرات محیطی فراهم سازد.

روش‌شناسی

شاخص پایداری کانال: این روش در سال ۲۰۰۸ توسط سیمون و کلیمتز استفاده شد. این روش فقط برای کناره‌های بحرانی، یعنی کناره‌هایی که ارتفاع داشته و در نزدیکی جریان آب قرار دارند قابل استفاده است. در این روش ۹ عامل در ارزیابی پایداری کانال رود مورد بررسی قرار می‌گیرند (جدول ۱) که عبارتند از: رسوبات بستر رود، حفاظت از بستر یا کناره، درصد فرسایش (حفر کانال)، درصد محدودیت کانال، فرسایش کناره رود، ناپایداری کناره رود، درصد پوشش گیاهی درختی حاشیه رودخانه (ریبازین)، درصد رسوب‌گذاری در کناره‌رود و مرحله مدل تکاملی رود (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۷).

جدول ۱: پارامترهای مورد ارزیابی و امتیازات مربوط به هر پارامتر در شاخص پایداری کانال (حسین زاده و همکاران، ۱۴۰۱)

ردیف	پارامتر	مشخصات	CSII امتیاز شاخص
۱	اندازه رسوبات بستر	مشخصات سنگ بستر	تخته سنگ/قلوه سنگ
			ریگ و شن (گراول)
			ماسه
			سیلت و رس
		امتیاز	۰ ۱ ۲ ۳ ۴
۲	حفاظت بستر یا کرانه	مشخصات هر دو حفاظت شده	بدون حفاظت +
			یک کرانه حفاظت شده
			هر دو کرانه حفاظت شده
		امتیاز	۰ ۱ ۲ ۳
۳	درجه فرسایشی D/(BH+D)	مشخصات (درصد)	۱۰-۰ ۲۵-۱۱ ۵۰-۲۶ ۷۵-۵۱ ۱۰۰-۷۶
		امتیاز	۰ ۱ ۲ ۳ ۴

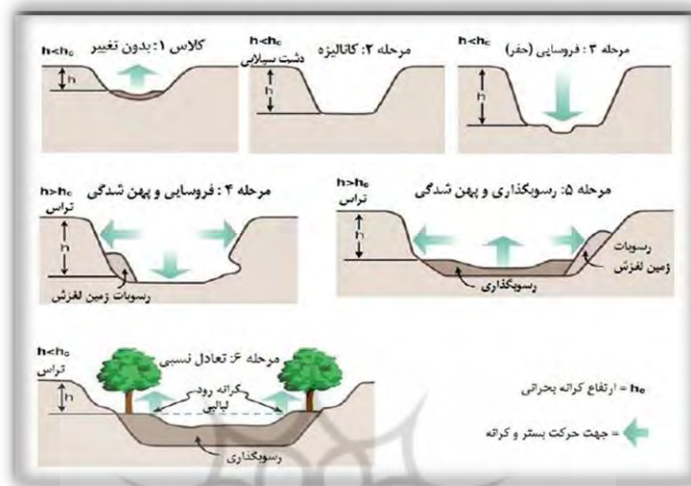
۱۰۰-۷۶	۷۵-۵۱	۵۰-۲۶	۲۵-۱۱	۱۰-۰	مشخصات (درصد)	درجه محدودیت کانال	۴
۰	۱	۲	۳	۴	امتیاز	W/Wa	
۱۰۰-۷۶	۷۵-۵۱	۵۰-۲۶	۲۵-۱۱	۱۰-۰	مشخصات (درصد)	فرسایش کرانه رود ناپایداری کناره رود (درصد حرکات توده ای در کرانه)	۵
۰	۱	۲	۳	۴	امتیاز	مشخصات نوع کرانه بدون فرسایش فرسایش رودخانه ای کرانه دارای حرکات توده ای کرانه دارای	
۱۰۰-۷۶	۷۵-۵۱	۵۰-۲۶	۲۵-۱۱	۱۰-۰	مشخصات (درصد)	ناپایداری کناره رود (درصد حرکات توده ای در کرانه)	۶
۲	۱/۵	۱	۰/۵	۰	امتیاز	چپ و راست	
۱۰۰-۷۶	۷۵-۵۱	۵۰-۲۶	۲۵-۱۱	۱۰-۰	مشخصات (درصد)	پوشش گیاهی درختی در حاشیه رودخانه (ریپارین)	۷
۲	۱/۵	۱	۰/۵	۰	امتیاز	چپ و راست	
۱۰۰-۷۶	۷۵-۵۱	۵۰-۲۶	۲۵-۱۱	۱۰-۰	مشخصات (درصد)	اشکال وجود کرانه در رسوبی رود	۸
۲	۱/۵	۱	۰/۵	۰	امتیاز	چپ و راست	
VI	V	IV	III	II	I	مشخصات	۹
۱/۵	۳	۴	۲	۱	۰	امتیاز	

اندازه رسوبات بستر: براساس جدول ۱ رسوبات هرچه درشت تر باشند امتیاز کمتری می گیرند. اندازه گیری قطر رسوبات بستر براساس برداشت میدانی با روش شمارش ذرات انجام گرفت.

حفاظت بستر یا کرانه: حفاظت بستر و هر دو کرانه با هم امتیاز دهی می شوند اگر هر دو حفاظت شده باشند امتیاز صفر؛ اگر بدون حفاظت باشد یک؛ اگر یک کرانه حفاظت شده باشد ۲ و اگر هر دو کرانه حفاظت شده باشد امتیاز ۳ می گیرند. **درجه فرسایشی:** این شاخص نسبت عمق جریان پایه (D) به مجموع ارتفاع کناره (BH) و عمق جریان پایه (D) تعریف می شود. کانال هایی با فرسایشی زیاد امتیاز بالاتری می گیرند.

درجه محدودیت کانال: از نسبت عرض کانال در مقطع نمونه (W) به عرض بالا دست رود (Wu) محاسبه می شود. فرسایش کرانه رود، ناپایداری کناره رود (درصد حرکات توده ای در کرانه): مقادیر فرسایش رودخانه ای و حرکات توده ای برای هر دو کناره بر حسب درصد در طول بازه محاسبه می شوند و مجموع امتیازهای هر دو کناره در نظر گرفته می شوند. پوشش گیاهی درختی در حاشیه رودخانه (ریپارین): درصد کناره هایی که به وسیله گیاهان حاشیه رودخانه تقویت می شوند برای هر دو کناره چپ و راست تخمین زده می شود و سپس امتیاز دو کرانه با هم جمع می شوند. برای تعیین شواهد فرسایش و حرکات توده ای و تراکم پوشش گیاهی نیز از پروتکل RHS^۳ استفاده شده است. **وجود اشکال رسوبی در کرانه رود:** برای عامل رسوب گذاری در کناره رود، از اشکال رسوبی متصل به کرانه رود مانند موانع رسوبی گراولی و پوینت بارها استفاده شده و درصد وجود این اشکال در پای کرانه محاسبه شده است.

مرحله مدل تکامل کانال: مرحله تکامل رود از مدل شش مرحله‌ای سیمون و کلیمتز (Simon and Klimetz, 2008) تعیین مرحله می‌شود (شکل ۱). بدین صورت که با مشاهده اشکال فرسایشی و رسوب‌گذاری کانال با این مدل شش مرحله‌ای تطبیق داده می‌شود و امتیاز مربوط به هر مرحله، برای بازه مورد بررسی ثبت می‌شود (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۷). مجموع امتیازهای عوامل فوق وضعیت پایداری و ناپایداری کرانه‌رود را نشان می‌دهد. امتیاز کمتر از ۱۰ حالت پایدار، بین ۱۰ تا ۲۰ ناپایداری متوسط و امتیاز بیش از ۲۰ نشان دهنده ناپایداری بسیار زیاد است (Simon and Klimetz, 2008).

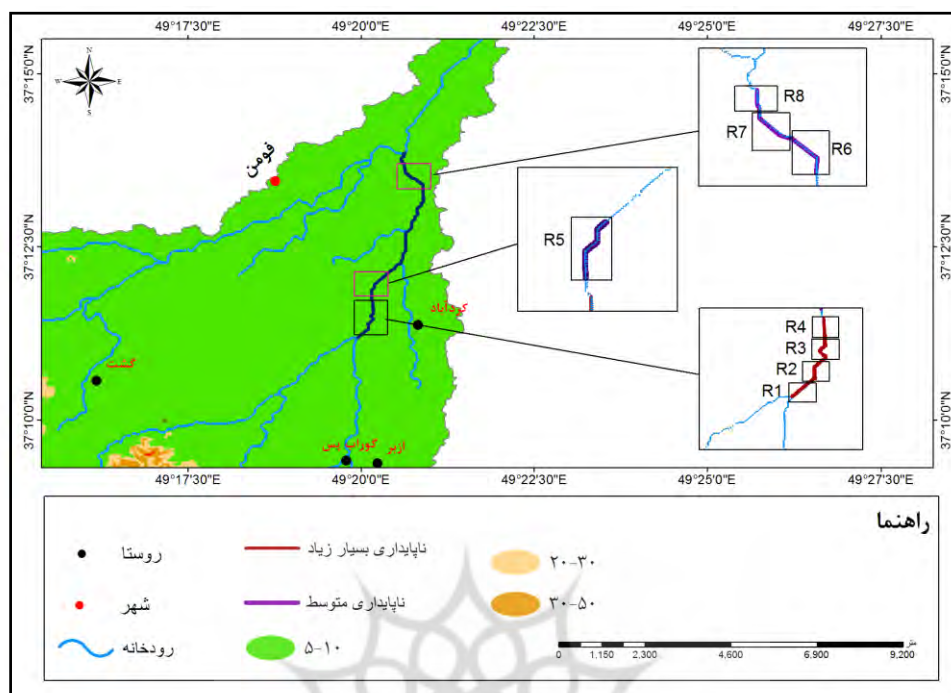


شکل ۱: مدل تکاملی کانال رود (سیمون و هوپ، ۱۹۸۶؛ و سیمون و کلیمتز، ۲۰۰۸)

محدوده مورد مطالعه

حوضه آبخیز قلعه رودخان در ارتفاعات تالش در استان گیلان و در شهرستان فومن واقع شده است (شکل ۲). مساحت حوضه ۳۴۷/۷۶ کیلومترمربع است. این حوضه آبخیز شامل رودخانه‌ها و زیر حوضه‌هایی چون فوشه، حیدرآلات یا همان قلعه رودخان و گشت رودخان می‌شود. محدوده مورد مطالعه قسمتی از بالادست جریان به طول تقریبی ۵ کیلومتر در بخش جلگه‌ای در نزدیکی شهر فومن انتخاب شد. پایین‌ترین نقطه ارتفاعی حوضه در ۱ متری و بلندترین نقطه ارتفاعی در ۲۸۵۰ متر بالاتر از سطح آب‌های آزاد قرار دارد. از نظر زمین‌شناسی دارای چینه‌های زمین‌شناسی مربوط به دوران‌های سنوزوئیک، مزوزوئیک، پالئوزوئیک و پرکامبرین است. میانگین بارندگی سالانه در ایستگاه فومن ۹۵۰/۴۵ میلی‌متر ثبت شده و میانگین دبی سالانه در دوره آماری (۱۳۶۸-۱۳۹۵) در ایستگاه پیرسرا ۲/۶۰ مترمکعب بر ثانیه است (وزارت نیرو، شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۶). منطقه مورد بررسی، بخشی از مسیر رودخانه قلعه رودخان در بخش جلگه‌ای در نزدیکی شهر فومن انتخاب شد. در این محدوده ۸ بازه مطالعاتی براساس شرایط رودخانه (تفاوت الگو و مورفومتری) و حساسیت آن به فرسایش کناره‌ای محدود و مشخص شد. سپس نقشه‌برداری از مقاطع (با استفاده از دوربین نقشه برداری)، مورفومتری کانال، دانه سنجی رسوبات کرانه، وضعیت تراکم و چسبندگی رسوبات و بررسی ویژگی‌های پوشش گیاهی کرانه و دشت سیلابی برای هر بازه انجام گرفت. به منظور تهیه نیم رخ طولی و عرضی رودخانه نقشه‌برداری از مقاطع و طول بازه با استفاده از دوربین نقشه‌برداری به عمل آمد (شکل ۳). در محیط نرم‌افزاری فری هند نیم‌رخ عرضی مقاطع تهیه شد. همچنین براساس مقاطع ترسیم شده ارتفاع کرانه و زاویه کرانه محاسبه و براساس پلان ترسیم شده از روی تصاویر گوگل ارث الگوی رودخانه مشخص شد. در هشت بازه مورد مطالعه با استفاده از شاخص پایداری کانال رود یکی از تکنیک‌های ارزیابی سریع ژئومورفیک، وضعیت فرسایش کناره‌ای و ناپایداری کناره رودخانه مورد بررسی قرار گرفت. برای تعیین موثرترین پارامتر در شاخص فرسایش بالقوه کرانه‌رود از امتیاز نسبی استفاده شد که برای محاسبه

امتیاز نسبی، امتیاز هر متغیر تقسیم بر حداکثر امتیاز آن متغیر شدند. به منظور بررسی پراکندگی داده‌ها از تحلیل‌های آماری (نمودار باکس پلات در محیط نرم‌افزار اس پی اس اس) استفاده شده است.



شکل ۲: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

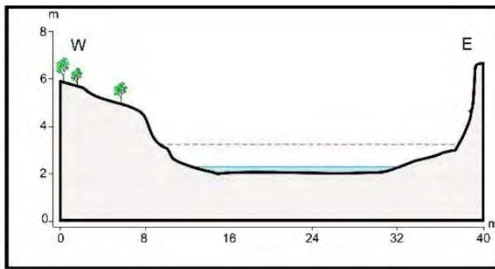


شکل ۳: نقشه‌برداری از بازه‌های منطقه مورد مطالعه

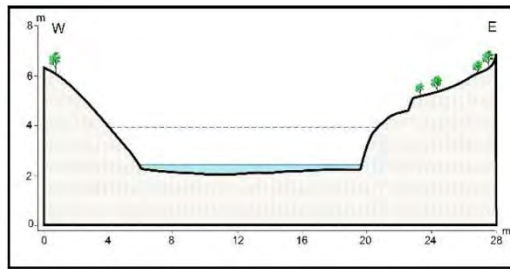
یافته‌ها

سایت مطالعاتی اول: بازه‌های مورد مطالعه یک، دوم، سوم و چهارم در این سایت قرار دارند. رودخانه در این بازه‌ها از نوع کانال‌های نامنظم و الگوی رودخانه از نوع مستقیم است. این بازه‌ها در محل مخروط افکنه و بالادست جریان واقع شده به همین دلیل در گروه رودخانه‌های گراولی (رسوبات بستر گراولی) قرار می‌گیرد. نوع پوشش گیاهی منطقه ریبترین پوشش علفی همراه با تک درختان توسکا، بید و صنوبر حاشیه رودخانه بوده و در خارج از حریم رودخانه کشاورزی و مراتع بوده است. در این بخش در داخل کانال می‌توان اشکال ژئومورفیک متصل به کرانه، موانع متناوب جانبی و موانع نقطه‌ای را مشاهده کرد. در بخش کرانه در این بازه‌ها می‌توان حرکات توده‌ای از نوع لغزش انتقالی را در حاشیه کانال به صورت متناوب مشاهده کرد. در پایین دست بازه یک و دو، از شواهد دخالت‌های انسانی موثر بر فرم رودخانه می‌توان به

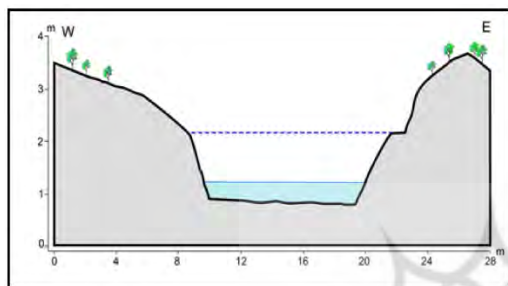
برداشت شن و ماسه از بستر رودخانه اشاره کرد. مهم‌ترین عارضه دست ساخت در بازه سه و چهار پل تخریب شده است (شکل های ۴، ۵، ۶ و ۷).



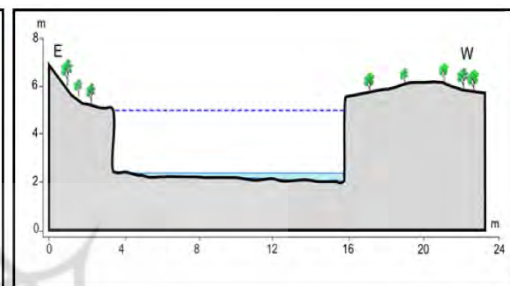
شکل ۵: نیمرخ عرضی بازه دو



شکل ۴: نیمرخ عرضی بازه یک



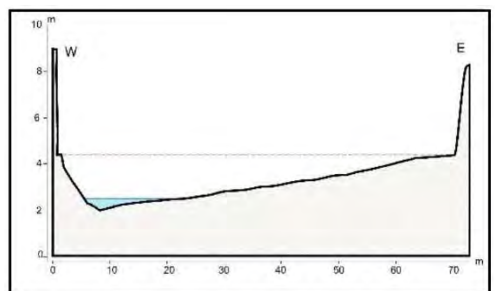
شکل ۷: نیمرخ عرضی بازه چهار



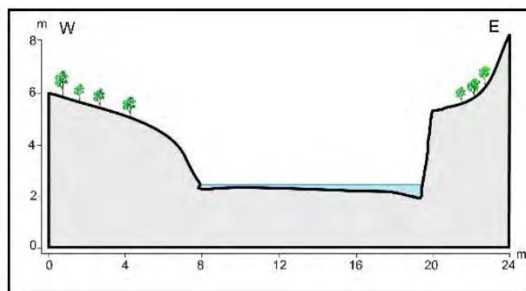
شکل ۶: نیمرخ عرضی بازه سه

سایت مطالعاتی دوم: بازه پنج در این سایت قرار دارند. ویژگی‌های ژئومورفیک و مورفومتریک و نوع پوشش گیاهی ریباز در این بازه مشابه بازه‌های قبلی است. مهم‌ترین تفاوت این بازه نسبت به بازه‌های قبلی افزایش عمق و کاهش عرض کانال در این قسمت است. نوع رسوبات بستر همچنان گراولی اما درصد اندازه رسوبات کوچک (ماسه، شن) در حال افزایش است (شکل ۸).

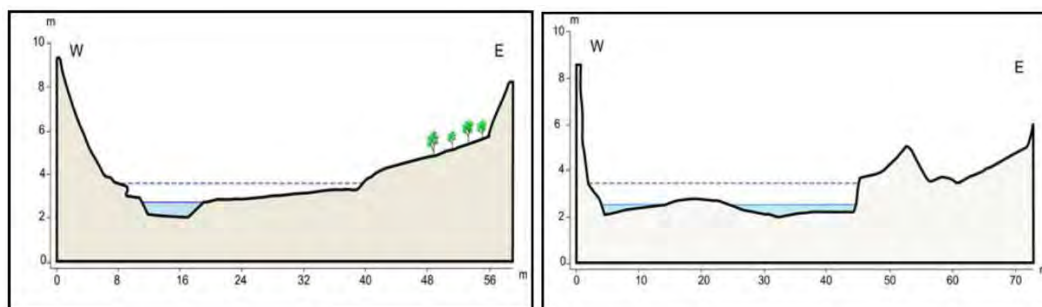
سایت مطالعاتی سوم: بازه‌های مورد مطالعه شش، هفت و هشت در این سایت قرار دارند. شکل کانال رودخانه نامتقارن شده و الگوی رودخانه از حالت مستقیم خارج و به طرف الگوی سینوسی و در ادامه به الگوی پیچانودی تغییر پیدا کرده است. با دور شدن از کوهستان و ورود به بخش جلگه‌ای گیلان به تدریج حفر بستر بیشتر و کانال عمق‌تر شده است و دیواره‌های قائم در حاشیه کانال دیده می‌شود. همچنین رسوبات رودخانه کوچکتر شده است و می‌توان رسوبات گراولی، شن و ماسه را در بستر رودخانه مشاهده کرد. پوشش گیاهی طبیعی و کاربری اراضی حاشیه رودخانه مشابه بازه‌های قبلی، اما نسبت زمین‌های کشاورزی به مراتب افزایش داشته است. از اشکال ژئومورفیک متصل به کرانه، موانع متناوب جانبی، موانع نقطه‌ای و کانال فرعی است. در این بازه حرکات توده‌ای از نوع لغزش چرخشی، لغزش انتقالی و جریان واریزه‌ای در حاشیه کانال غلبه دارد (شکل‌های ۹، ۱۰ و ۱۱).



شکل ۹: نیمرخ عرضی بازه شش



شکل ۸: نیمرخ عرضی بازه پنج



شکل ۱۰: نیمرخ عرضی بازه هفت

شکل ۱۱: نیمرخ عرضی بازه هشت

در جدول ۲ و جدول ۳ به ترتیب امتیازات ثبت شده از شاخص پایداری کانال مربوط به بازه‌های مورد مطالعه ذکر شده است. امتیازهای به دست آمده از بازه‌های مورد مطالعه نشان داد که مقادیر شاخص‌ها بین ۱۸/۵ تا ۲۵/۵ متغیر بوده است. براساس این مقادیر بازه‌های یک، دو، سه و چهار از نظر پایداری کانال در وضعیت بسیار ناپایدار (ناپایداری بسیار زیاد) و بازه‌های پنج، شش، هفت و هشت در وضعیت ناپایداری متوسط قرار دارند (جدول ۲ و شکل ۱۲).

جدول ۲: امتیاز شاخص‌ها در مقاطع مورد مطالعه در مدل CSI

بازه	جنس رسوبات	حفاظت از بستر و رسوبات	فروسایی بستر	درجه محدودیت بستر	فرسایش کرانه	درصد حرکات توده‌ای کرانه	پوشش گیاهی ریبترین	وقوع اشکال رسوبی رود	مدل تکاملی رود	امتیاز	طبقه‌بندی
۱	۲	۱	۳	۱	۴	۴	۴	۲/۵	۴	۲۵/۵	ناپایداری بسیار زیاد
۲	۲	۱	۳	۰	۴	۳/۵	۴	۳	۳	۲۳/۵	ناپایداری بسیار زیاد
۳	۲	۱	۳	۰	۴	۱	۴	۴	۴	۲۳	ناپایداری بسیار زیاد
۴	۲	۱	۲	۰	۴	۰	۴	۴	۴	۲۱	ناپایداری بسیار زیاد
۵	۲	۱	۰	۰	۴	۰/۵	۴	۳	۴	۱۸/۵	ناپایداری متوسط
۶	۲	۱	۲	۰	۲	۲	۴	۲	۳	۱۸	ناپایداری متوسط
۷	۲	۱	۲	۱	۳	۲	۴	۱/۵	۳	۱۹/۵	ناپایداری متوسط
۸	۲	۱	۱	۱	۳	۲	۴	۲	۳	۱۹	ناپایداری متوسط



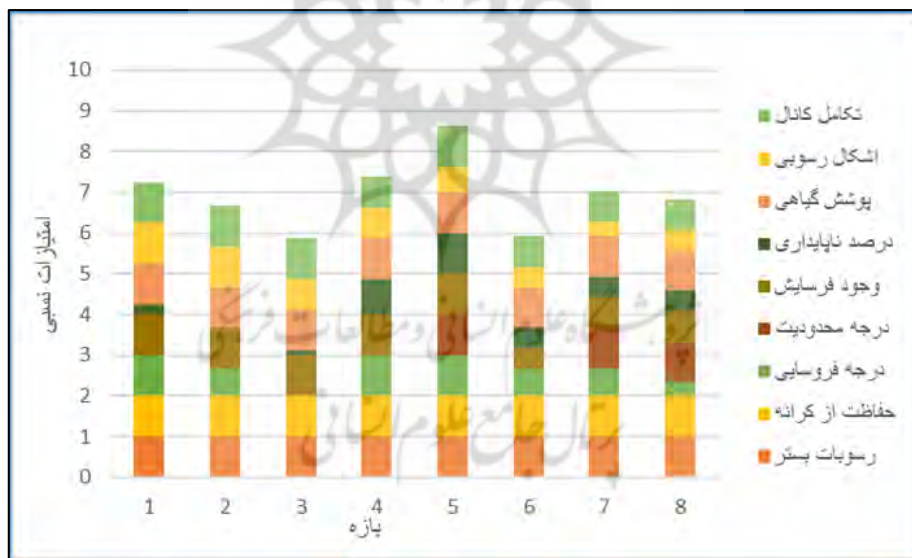
شکل ۱۲: نمودار امتیازات شاخص پایداری کانال CSI

به منظور تعیین مهم‌ترین عوامل موثر در ناپایداری کرانه در منطقه مورد مطالعه از روش امتیاز نسبی استفاده شد. بر پایه یافته‌های فوق جنس رسوبات بستر، حفاظت کرانه و پوشش گیاهی ریبترین مهم‌ترین عوامل موثر بر پایداری کانال

بوده‌اند (جدول ۳ و شکل ۱۳). در تمام بازه‌های مورد مطالعه این سه عامل بیشینه امتیاز در مدل را کسب کرده‌اند یعنی بیشترین حساسیت را در ناپایداری ایجاد کرده‌اند. بعد از آن عامل شواهد وجود فرسایش با امتیاز نسبی ۰/۷۸ (حداکثر امتیاز در بازه‌های ۱ تا ۵) و عامل مدل تکاملی رود براساس الگو و مورفومتری مقطع عرضی کانال با امتیاز نسبی ۰/۷۸ (حداکثر امتیاز در بازه‌های ۱ تا ۵) در مرحله بعدی قرار داشته‌اند. در واقع شرایط ایجاد شده ناشی از عوامل فوق در بازه‌های یک، دو، سه و چهار باعث ناپایداری بسیار زیاد کانال شده است. لازم به ذکر است که در بازه‌های فوق در کنار این پنج عامل، عوامل دیگر نیز بالاترین امتیاز و حداکثر تاثیر را در ناپایداری داشته‌اند.

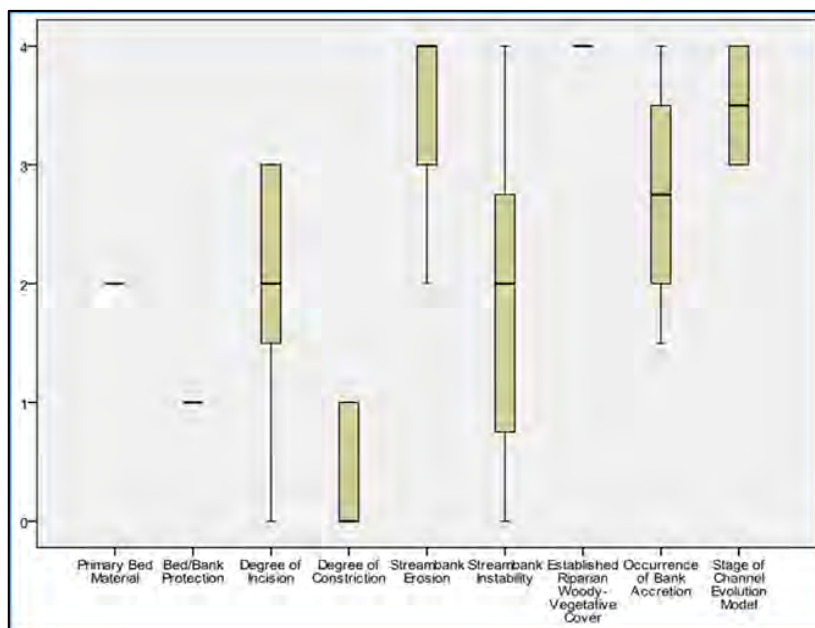
جدول ۳: میانگین نسبی امتیازات و رتبه هر متغیر در شاخص شاخص پایداری کانال

رتبه	میانگین امتیازات نسبی	شاخص‌ها	ردیف
۱	۱	جنس رسوبات بستر	۱
۱	۱	حفاظت از کرانه	۲
۴	۰/۶۶	فروسایی بستر	۳
۶	۰/۳۷	درجه محدودیت بستر	۴
۲	۰/۸۷	فرسایش کرانه	۵
۵	۰/۴۶	درصد حرکات توده‌ای کرانه	۶
۱	۱	پوشش گیاهی ریباین	۷
۳	۰/۶۸	وجود اشکال رسوبی	۸
۲	۰/۸۷	مدل تکاملی رود	۹



شکل ۱۳: نمودار امتیازات نسبی هر متغیر در مدل شاخص پایداری کانال

براساس نمودار پاکس ویسکر پلات (شکل ۱۴) وضعیت سه متغیر جنس رسوبات بستر، حفاظت از بستر یا کرانه و پوشش گیاهی چوبی ریباین در تمامی بازه‌ها تقریباً شرایط یکسانی داشته و مقادیر آن تغییر زیادی نداشته است. در مقابل درجه فرسویی کانال، شواهد موجود مبنی بر فرسایش کرانه، درصد ناپایداری و وجود اشکال رسوبی در بازه‌های مختلف متفاوت بوده و در نتیجه این عوامل باعث تفاوت حساسیت کرانه رودخانه قلعه رودخان فومن نسبت به ناپایداری شده است (شکل ۱۴).



شکل ۱۴: نمودار باکس نشان دهنده تغییرات مقادیر امتیاز متغیرهای مورد مطالعه در روش مدل شاخص پایداری کانال

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش به منظور بررسی پایداری کانال رودخانه از شاخص پایداری کانال استفاده شده است و نتایج نشان می‌دهد که سه متغیر جنس رسوبات بستر، حفاظت کرانه و پوشش گیاهی ریپارین که در تمامی بازه‌ها یکسان بوده است و از عوامل مهم تاثیرگذار در ثبات و پایداری کانال رودخانه به حساب می‌آیند (با توجه به میانگین نسبی و نمودار باکس پلات). براساس یافته‌های فوق درصد حرکات توده‌ای کرانه، وجود اشکال رسوبی درون کانال، فرسایش بستر و مدل تکاملی رود از عوامل متغیر در هر بازه به شمار می‌روند که باعث تفاوت و تغییر وضعیت شدت فرسایش کناره‌ای و کانال رودخانه می‌شوند. بررسی وضعیت پایداری کانال نیز نشان داد که بازه‌های یک، دو، سه و چهار از نظر پایداری کانال در وضعیت بسیار ناپایدار (ناپایداری بسیار زیاد) و بازه‌های پنج، شش، هفت و هشت در وضعیت ناپایداری متوسط قرار دارند. مشاهده تصاویر کانال در بازه‌های یک تا چهار (شکل‌های ۱۵ تا ۱۸) در بخش بالادست منطقه مورد مطالعه و مقایسه آن با تصاویر بازه‌های پنج تا هشت (شکل‌های ۱۹ تا ۲۲) در بخش پایین دست محدوده، گویای تفاوت مورفومتری کانال در دو بخش است. این تفاوت در ویژگی‌های کانال منجر به کسب امتیاز بالا در متغیرهای موثر در حساسیت به فرسایش و بی‌ثباتی کانال بر پایه شاخص پایداری کانال شده است. براساس نتایج مطالعه هیرن و همکاران (Heeren et al, 2012) پیشنهاد می‌شود اگر این روش همزمان با تکنیک و روش‌های دیگر تعیین پایداری به کار گرفته شود می‌تواند نتایج بهتری به دنبال داشته باشد. مطالعه اسماعیلی و همکاران (۱۳۹۷) در خصوص تحلیل پایداری کرانه رودخانه سیمره با استفاده از روش شاخص پایداری کانال رود نشان داد که می‌توان از این شاخص جهت تفکیک بازه‌های ناپایدار در رودخانه سیمره استفاده کرد. یافته‌های نجف زاده و همکاران (۱۴۰۰) در مطالعه پتانسیل فرسایش کناره و ناپایداری مجرا در رودخانه حاجی عرب بویین زهرا- قزوین به فرسایش نیز نشان داد که شاخص پایداری مجرای رود در زمان کم و هزینه کمتر برای بررسی فرسایش کناره رود شاخص مناسبی است به همین منظور در این پژوهش از روش ارزیابی سریع ژئومورفیک استفاده شده است. براساس یافته‌های این مدل، مناطق حساس به فرسایش رودخانه قلعه رودخان شناسایی شده و در زمینه مدیریت رودخانه اقدامات اجرایی و عملیاتی را می‌توان اجرا کرد. لازم به ذکر است که شاخص پایداری کانال نسبت به روش‌های دیگر ارزیابی کم هزینه بوده و شناسایی مخاطره در زمان کوتاه‌تری صورت می‌گیرد به همین دلیل در این مطالعه امکان ارزیابی سریع ژئومورفیک در خصوص رودخانه قلعه رودخان فومن فراهم شده است.



شکل ۱۶: تصویر مقطع بازه دو



شکل ۱۵: تصویر مقطع بازه یک



شکل ۱۸: تصویر مقطع بازه چهار



شکل ۱۷: تصویر مقطع بازه سه



شکل ۲۰: تصویر مقطع بازه شش



شکل ۱۹: تصویر مقطع بازه پنج



شکل ۲۲: تصویر مقطع بازه هشت



شکل ۲۱: تصویر مقطع بازه هفت

سیاسگزاری

از همه کسانی که در این تحقیق ما را یاری کرده‌اند تشکر و قدردانی می‌نماییم.

پی‌نوشت

- 1- Rapid geomorphologic assessment
- 2- Channel stability index
- 3- River habitat survey

منابع

- اسماعیلی، ر.، لرستانی، ق. و محمدیان، ر.، ۱۳۹۷. تحلیل پایداری کرانه رود با استفاده از تکنیک‌های ارزیابی سریع ژئومورفیک مطالعه موردی: رودخانه سیمره در محدوده شهرستان دره شهر استان ایلام، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۳، ۵۷-۷۰. https://www.geomorphologyjournal.ir/article_83339.html
- حسین زاده، م.م.، خالقی، س. و واحدی، فر.، ۱۳۹۶. ارزیابی تغییرات مورفولوژیک و پایداری رودخانه قرانقوچای هشترود با استفاده از مدل BEHI. هیدروژئومورفولوژی، ۱۰، ۱۴۵-۱۶۴. https://hyd.tabrizu.ac.ir/article_6385.html
- حسین زاده، م.م.، شایان، س. و نجف زاده، ف.، ۱۴۰۱. پتانسیل فرسایش کناره و ناپایداری مجرا در رودخانه حاجی عرب بویین‌زهره- قزوین، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۱(۵)، ۳۹-۵۷. doi: 10.22067/geoeh.2021.71397.1087
- رستمی، م.، حسین زاده، م.م. و اسماعیلی، ر.، ۱۳۹۹. بررسی حساسیت کناره رودخانه در برابر فرسایش و راهکارهای حفاظت کناره‌های کانال در رودخانه واز چمستان - مازندران، پژوهش‌های دانش زمین، ۱۱ (۴)، ۱-۱۴. doi: 10.52547/estj.11.4.1
- رضایی مقدم، م. و پیروزی نژاد، ن.، ۱۳۹۳. بررسی تغییرات مجرا و فرسایش کناره‌ای در رودخانه گاماسیاب از سال ۱۳۳۴ تا ۱۳۸۹، جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۴۷، ۱۰۹-۱۳۲. https://geoplanning.tabrizu.ac.ir/article_1441.html
- فیض اله پور، م. و احمدی، خالق.، ۱۳۹۸. تحلیل خطرپذیری فرسایش کناره‌ای با استفاده از مدل BSTEM در حوضه رودخانه کوتره، مخاطرات محیط طبیعی، ۸(۲۱)، ۴۱-۶۰. doi:10.22111/jneh.2018.21872.1313
- نجف زاده، ف.، حسین زاده، م.م. و شایان، س.، ۱۴۰۰. حساسیت کرانه‌ای رودخانه حاجی عرب بویین‌زهره به فرسایش و افزایش مخاطرات آن، مدیریت مخاطرات محیطی، ۸ (۲)، ۱۵۵-۱۳۷. doi: 10.22059/jhsci.2021.322479.646
- وزارت نیرو، شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۶. داده‌های ایستگاه هیدرمتری.
- یمانی، م. و شرفی، س.، ۱۳۹۱. ژئومورفولوژی و عوامل مؤثر در فرسایش کناری رودخانه هررود در استان لرستان، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۳(۴۵)، ۱۵-۳۲. https://gep.ui.ac.ir/article_18528.html
- Basher, L.R. and De Rose, R.C., 2011. Measurement of river bank and cliff erosion from sequential LIDAR and historical aerial photography. *Geomorphology*, 126, 132-147. doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.10.037
- Bernhardt, E.S., Palmer, M.A., Allan, J.D. and et al, 2005. Synthesizing U. S. River restoration efforts, *Science*, 308, 636-637. doi/10.1126/science.1109769
- Chassiot, L., Lajeunesse, P. and Bernier, J.F., 2020. Riverbank erosion in cold environments: review and outlook. *Earth-Sci Rev*, 207, 103-123. doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103231
- Collins, A.L., Janes, V.J.J., Nicholas, A.P. and Quine, T.A., 2017. Analysis of fundamental physical factors influencing channel bank erosion: results for contrasting catchments in England and Wales, *Environ Earth Sci*, 76(307). doi: 10.1007/s12665-017-6593-x.
- Downs, P.W. and Simon, A., 1995. An interdisciplinary approach to evaluation of potential instability in alluvial channels, *Geomorphology*, 3, 215-232. doi.org/10.1016/0169-555X(95)00005-P
- Freihardt, J. and Frey, O., 2022. Assessing riverbank erosion in Bangladesh using time series of Sentinel-1 radar imagery in the Google Earth Engine, *EGUsphere* [preprint], <https://doi.org/10.5194/egusphere-2022-319>.

- Gasser, E., Perona, P., Dorren, L., Phillips, C., Hubl, J. and Schwarz, M., 2020. A New Framework to Model Hydraulic Bank Erosion Considering the Effects of Roots. *Water*: 12, <https://doi.org/10.3390/w12030893>
- Heeren, D.M., Mittelstet, A.R., Fox, G.A., Storm, D.E. and et al, 2012. Using rapid geomorphic assessments to assess stream bank stability in Okkahnoma Ozarak streams, *American Society of ty of Agricultural and Biological Engineers*, 55(3), 9518-968. <https://digitalcommons.unl.edu/biosysengfacpub>
- Krzeminska, D., Kerkhof, T., Skaalsveen, K. and Stolte, J., 2019. Effect of riparian vegetation on stream bank stability in small agricultural catchments, *Catena*, 172, 87-96. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.08.014>
- Piegay, H., Arnaud, F., Belletti, B., Bertrand, M., Bizzi, S., Carbonneau, P., Dufour, S., Liebault, F., Ruiz-Villanueva, V. and Slater, L., 2020. Remotely sensed rivers in the Anthropocene: state of the art and prospects. *Earth Surf Process Landforms*, 45(1), 157-188. doi.org/10.1002/esp.4787.
- Sarma, J.N. and Goswam, U., 2007. Change of river channel and bank erosion of the Burhi Dihing river (ASSAM), assessed using remote sensing and GIS, *Remote Sensing*, 1, 93-100. <https://doi.org/10.1007/BF02991837>
- Simon, A. and Klimetz, L., 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. doi.org/10.1111/j.1752-1688.2008.00222.x
- Vargas-Luna, A., Dur, G., Crosato, A. and Uijttewaal, W., 2019. Morphological adaptation of river channels to vegetation establishment: a laboratory study. *J. Geophys. Res-Earth Surf*. <https://doi.org/10.1029/2018jf004878>.
- Wohl, E., 2020. Rivers in the Anthropocene: The U.S. perspective. *Geomorphology*, 366 p.
- Yu, G., Li, Z., Yang, H., Lu, J., Huang, H. and Yi, Y., 2019. Effects of riparian plant roots on the unconsolidated bank stability of meandering channels in the Tarim River, China, *Geomorphology*, 351(21). <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.106958>.
- Zaimis, G.N., Tamparopoulos, A.E., Tufekcioglu, M. and Schultz, R.C., 2021. Understanding stream bank erosion and deposition in Iowa, USA: A seven-year study along streams in different regions with different riparian land-uses. *J Environ Manage*. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112352>.