

Investigation of Typological Changes in the Riparian Vegetation of Jajrood River Emphasizing the Anthropogenic Impacts

Sahar Darabi Shahmari ¹ , Ali Ahmadabadi ² 

1. Department of Geomorphology, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

Email: sahar.darabi48@yahoo.com

2. (Corresponding Author) Department of Geomorphology, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

Email: ahmadabadi@khu.ac.ir

Article Info

Article type:

[Research Article](#)

Article History:

Received:

24 November 2024

Received in revised form:

26 February 2025

Accepted:

5 April 2025

Available online:

11 May 2025

Keywords:

Anthropogenic changes,
Vegetation typology,
Jajrood River,
Riparian Plants,
Invasive Species.

ABSTRACT

Understanding the interactions among components of the river system in response to external drivers is essential for advancing sustainable river environment management. This study aims to investigate the changes in the typology of riparian vegetation along the Jajrood River during the period from 1988 to 2023. In this research, analog aerial photographs from 1988 and UltraCam images from 2023 were used. The GUS method was applied to segment the river based on geoforms. According to the river's geomorphological analysis, five 800-meter reaches were identified, and the confinement type of the left and right banks, stability, sediment types, slope, and elevation of each reach were examined. The Jajrood River was divided into five geomorphic reaches. Subsequently, a number of quasi-parallel cross-sections were drawn at suitable intervals along the river. Typological classification of vegetation in each cross-section included the river channel, grassland, tall and short woody vegetation, sedimentary islands, marginal sediment deposits, human-made features, and vegetated islands. The vegetation change analysis indicates a reduction in riparian grassland typology in 2023 compared to 1988. The area of vegetated islands within the river channel decreased from 165,415 square meters in 1988 to 265,633 square meters in 2023. Typologies of marginal sediment deposits and human features increased in 2023 compared to 1988, indicating land use change and encroachment into riparian lands along the Jajrood River.

Cite this article: Darabi Shahmari, S., & Ahmadabadi, A. (2025). Investigation of Typological Changes in the Riparian Vegetation of Jajrood River Emphasizing the Anthropogenic Impacts. *Physical Geography Research Quarterly*, 57 (1), 43-61.

<http://doi.org/10.22059/jphgr.2025.387862.1007867>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press

Extended Abstract

Introduction

Rivers operate as hierarchical systems, where large-scale processes and structures profoundly influence local dynamics. Over the past five decades, this understanding has evolved, with geomorphologists increasingly embracing an interdisciplinary approach—integrating geology, biology, and ecology—to conceptualize rivers as interconnected ecosystems. Floodplain environments, in particular, depend on the continuous exchange of water, nutrients, and sediments, which sustains their biodiversity and enhances ecological resilience. Similarly, although coastal zones are spatially limited, they play a crucial role in water filtration, biodiversity conservation, and overall ecosystem stability.

Ensuring environmental sustainability in these vital systems is essential for maintaining their ecological functions. However, human activities have significantly disrupted their balance. Dam construction alters natural flow regimes, restricting the downstream transport of sediments and nutrients. Agricultural practices contribute to habitat degradation and pollution, while industrialization introduces harmful contaminants that degrade water quality and aquatic ecosystems. Moreover, climate change compounds these challenges by shifting precipitation patterns, increasing the frequency of extreme weather events, and driving changes in vegetation and species composition.

These anthropogenic impacts have led to reduced biodiversity and compromised ecosystem functions. To counter these effects, it is crucial to implement sustainable land-use practices, restore degraded habitats, and develop adaptive management strategies that address both human needs and ecological integrity. In Iran, rivers like the Jajrood River have faced significant ecological changes due to dam construction, tourist overcrowding, encroachment on riverbanks, and the cutting of riparian trees. These changes have damaged the geomorphic and ecohydrological patterns of the river, emphasizing the urgent need to incorporate environmental sustainability into river

management practices to prevent further degradation of its ecosystems.

This study aimed to examine changes in the riparian vegetation typology of the Jajrood River between 1988 and 2023, considering both human and natural impacts.

Methodology

This study utilized analog aerial photographs from 1988 and UltraCam images from 2023 to assess changes in river morphology and riparian vegetation. The data were processed and mosaicked, then georeferenced using ENVI software. Georeferencing accuracy was enhanced by selecting 30 to 80 ground control points, which helped minimize RMS error and ensured reliable spatial alignment. The river typology was examined using the GUS (Geomorphic Unit Survey) method, which integrates geomorphic and ecological parameters to describe river morphology and functions. This method categorizes river types based on confinement degree, bed material, and channel planform, offering a comprehensive framework for understanding river dynamics. Semi-parallel cross-sections were established along the river, allowing for systematic analysis of key features such as river channels, grasslands, woody vegetation, sediment islands, riparian sediment loads, and human-made structures. Land cover changes were evaluated by overlaying classified maps in ArcGIS software, focusing particularly on woody vegetation (shrubs and trees) due to their critical role in biogeomorphological feedbacks. The comparison of data from 1988 and 2023 facilitated an in-depth investigation of structural and dynamic changes in vegetation. This integrative methodology provided a robust platform for analyzing spatial and temporal patterns, highlighting significant transformations in the study area over 35 years.

Results and Discussion

The GUS method was used to analyze the Jajrood River typology. Due to the length of the study area (20 km) and the large diversity of habitat units (63 subunits and 35 main units), the river was divided into five segments of 800 to 1000 meters. These segments were differentiated based on

geomorphic features, elevation, and slope, and geomorphic units were mapped for each segment using the GUS method criteria. River stability was examined by comparing satellite images and aerial photographs in ArcGIS. In the various segments, specific features such as branches, sediments, and vegetation types were identified. In the first segment, the river had a 12% slope and an elevation of 1363 meters, showing bed and bank erosion and sediment transfer from upstream. In the second segment, with a lower slope, erosion and sediment transfer from upstream were also observed. The third segment showed more branching and a wider bed. The fourth segment showed more human impact, and the fifth segment showed sediment deposition and the increase of sediment and vegetative islands. Between 1988 and 2023, the Jajrood River underwent notable transformations in riparian vegetation typology, driven largely by human activities and land use changes. A marked decrease in the river channel area was observed, accompanied by an increase in sediment and vegetative islands, highlighting shifts in geomorphic processes and sediment deposition patterns. Simultaneously, agricultural and residential areas expanded significantly, encroaching upon natural habitats and exerting increased pressure on the river ecosystem. One of the most critical changes was the reduction in woody vegetation, which plays a key role in stabilizing riverbanks and supporting biodiversity. In certain segments, the percentage of woody riparian vegetation declined dramatically, replaced by expanding areas of grasslands and vegetative islands. While the increase in vegetative islands may indicate adaptive responses to altered sediment dynamics, the loss of woody vegetation reflects disruptions in biogeomorphological feedbacks crucial for maintaining ecosystem stability.

Conclusion

The observed decrease in the Jajrood River channel area and riparian vegetation,

coupled with an increase in human land uses such as agricultural expansion and the proliferation of human-made features, signifies profound alterations in the river ecosystem. These changes reflect escalating anthropogenic pressures that jeopardize the river's ecological integrity. The expansion of sediment and vegetative islands, alongside the reduction in grassland typology, underscores shift in the river's geomorphological and ecological dynamics, which are likely driven by both natural processes and human interventions. These findings point to the urgent need for sustainable management practices that prioritize the river's ecological balance. Effective strategies could include implementing riparian buffer zones, regulating land-use activities, and enhancing community engagement in conservation efforts. Addressing sediment management and promoting native vegetation restoration are also critical steps to mitigate these impacts and foster a resilient river ecosystem. The study's results serve as a wake-up call for policymakers and stakeholders to integrate environmental sustainability into development plans. By adopting holistic approaches that balance human needs with ecological preservation, the Jajrood River's health can be safeguarded, ensuring its ecological functions and services continue to benefit both the environment and local communities.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.

بررسی تغییرات تیپولوژی پوششی رودخانه جاجرود با تأکید بر تأثیرات انسانی

سحر دارابی شاهماری^۱، علی احمدآبادی^۲ ✉۱- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. رایانامه: sahar.darabi48@yahoo.com۲- نویسنده مسئول، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. رایانامه: ahmadabadi@khu.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۰۹/۰۴

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۳/۱۲/۰۸

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۴/۰۱/۱۶

تاریخ چاپ:

۱۴۰۴/۰۲/۲۱

واژگان کلیدی:

تغییرات آنتروپوژنیک،
تیپولوژی پوششی،
رودخانه جاجرود،
گیاهان حاشیه‌ای،
گیاهان مهاجم.

درک تعاملات اجزای سیستم رودخانه‌ای در پاسخ به محرک‌های خارجی برای پیشبرد مدیریت پایدار محیط رودخانه ضروری است. هدف این تحقیق، بررسی تغییرات تیپولوژی پوشش گیاهی حاشیه رودخانه جاجرود طی دوره ۱۴۰۲-۱۳۶۷ بوده است. در این پژوهش، از عکس‌های هوایی آنالوگ سال ۱۳۶۷ و تصاویر اولتراکم سال ۱۴۰۲ استفاده شد. برای بازه‌بندی رودخانه بر اساس ژئوفرم از روش GUS استفاده شد. بر اساس بررسی ژئومورفولوژی رود، ۵ بازه ۸۰۰ متری تعیین و نوع حصر کرانه‌های چپ و راست رودخانه، پایداری، نوع رسوبات و شیب و ارتفاع هر بازه بررسی شد. رودخانه جاجرود به ۵ بازه ژئومورفیک تفکیک شد. سپس، تعدادی مقطع عرضی شبه موازی در فاصله مناسب در امتداد رودخانه ترسیم شد. طبقه‌بندی تیپولوژی پوششی در هر یک از مقاطع عرضی شامل مجرای رودخانه، چمنزار، پوشش گیاهی چوبی بلند و کوتاه، جزایر رسوبی، بار رسوبی حاشیه‌ای، عوارض انسانی و جزایر گیاهی بود. نوسانات تغییر در پوشش گیاهی بیانگر کاهش تیپولوژی علفزار حاشیه‌ای در سال ۱۴۰۲ نسبت به سال ۱۳۶۷ است. مساحت تیپولوژی جزایر گیاهی میان آبراهه در سال ۱۴۰۲ با ۲۶۵۶۳۳ مترمربع در مقایسه با سال ۱۳۶۷ (۱۶۵۴۱۵ مترمربع) کاهش یافته است. تیپولوژی رسوبات حاشیه‌ای و عوارض انسانی در سال ۱۴۰۲ در مقایسه با ۱۳۶۷ افزایش یافته که حاکی از تغییر کاربری اراضی و تجاوز به اراضی حاشیه‌ای رودخانه جاجرود است.

استناد: دارابی شاهماری، سحر و احمدآبادی، علی. (۱۴۰۴). بررسی تغییرات تیپولوژی پوششی رودخانه جاجرود با تأکید بر تأثیرات انسانی. مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۷ (۱)، ۴۳-۶۱.

<http://doi.org/10.22059/jphgr.2025.387862.1007867>

مقدمه

رودخانه‌ها را می‌توان به‌عنوان مجموعه‌ای از زیرسیستم‌های سازمان‌یافته سلسله‌مراتبی در نظر گرفت که اجزای کوچک‌تر مکانی و زمانی آن‌ها در مقیاس‌های بزرگ‌تر ادغام می‌شوند. این ساختار سلسله‌مراتبی به‌گونه‌ای عمل می‌کند که فرایندها و پدیده‌های مقیاس‌های بزرگ‌تر تأثیر غالبی بر سیستم داشته و درنهایت، فرایندهای مقیاس‌های کوچک‌تر را شکل می‌دهند (Belletti et al., 2017; Rodrigues et al., 2023).

نگرش سیستماتیک ژئومورفولوژیست‌ها به رودخانه‌ها طی نیم‌قرن گذشته به‌طور چشمگیری گسترش یافته است. ژئومورفولوژیست‌ها همواره رودخانه را در پیوند با محیط آن بررسی کرده‌اند و با گذشت زمان، این حوزه علمی بر ادغام اصول زمین‌شناسی (تکتونیک و تکامل توپوگرافی)، زیست‌شناسی (زیست ژئومورفولوژی) و اکولوژی (رودخانه‌ها به‌عنوان اکوسیستم) متمرکز شده است (Wohl, 2016; Medeiros et al., 2014).

اکوسیستم‌های دشت سیلابی در امتداد رودخانه‌ها نقش حیاتی در پایداری محیط‌زیست ایفا می‌کنند و به اتصال هیدرولوژیک برای تبادل آب، مواد مغذی، رسوبات و ارگانسم‌ها وابسته‌اند (Most & Hudson, 2018). این مناطق با وجود اشغال مساحتی کوچک در چشم‌انداز، در حفاظت از کیفیت آب رودخانه، حفظ تنوع زیستی، ذخیره کربن و یکپارچگی اکوسیستم نقشی کلیدی دارند (Zheng et al., 2023; Sharma et al., 2018). نواحی ساحلی به‌عنوان یک مانع اکولوژیک مهم، از ورود رسوبات و آلاینده‌های آلی به رودخانه‌ها جلوگیری می‌کنند (Gong et al., 2023).

پوشش گیاهی حاشیه‌ای، به‌عنوان بخش مهمی از اکوسیستم‌های ساحلی، در پایداری عملکردها و خدمات اکوسیستم نقش حیاتی دارد. این پوشش نه‌تنها در کاهش آلودگی و تنظیم جریان آب مؤثر است، بلکه بر شکل‌گیری و پویایی مورفولوژی کانال رودخانه نیز تأثیر می‌گذارد؛ از جمله تغییر عرض کانال، ایجاد جزایر پایدار و کاهش انشعابات (Hoppenreijis et al., 2022; Chaulagain et al., 2023). همچنین، تغییرات هیدرولوژیک، ژئومورفولوژی و پوشش گیاهی ساحلی، بر دیگر جنبه‌های سیستم رودخانه‌ای مانند اتصال هیدرولوژیک، الگوهای رسوب و زیستگاه تأثیرگذار است. این تغییرات از نوسانات آب‌وهوایی و جریان‌های رودخانه‌ای در مقیاس‌های زمانی فصلی تا چند دهه‌ای ناشی می‌شوند (Yonaba et al., 2021).

وضعیت پوشش گیاهی ساحلی، به‌ویژه درختچه‌ها و گیاهان، به تغییرات محیطی، حتی تغییرات جزئی در رژیم هیدرولوژیک، حساس است. در مقایسه با تغییرات طبیعی، اختلالات ناشی از فعالیت‌های انسانی اغلب چشمگیرتر بوده و اثرات مخربی بر جوامع گیاهی دارند. سدسازی رودخانه‌ها در مقیاس جهانی اثرات منفی قابل‌توجهی بر عملکرد اکوسیستم‌های ساحلی و خدمات آن‌ها داشته است. افزون بر این، این مناطق با تهدیدهایی مانند شیوه‌های کشاورزی، صنعتی شدن، تغییرات جریان رودخانه‌ها، تغییرات اقلیمی، آلودگی و تهاجمات زیستی مواجه هستند (Yang et al., 2022; Hironobu et al., 2003; Ye et al., 2010; Tomlinson & d'Carlo, 2003).

تخریب اکوسیستم‌های ساحلی اکنون به یک چالش جهانی بدل شده است. این تخریب، زیستگاه‌های حاشیه‌ای را به‌شدت تحت تأثیر قرار داده و با همگن‌سازی زیستی، به کاهش تنوع زیستی منجر می‌شود (Habel & Ulrich, 2021). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که عملکردهای اکوسیستم در مناظر ناهمگن و دست‌نخورده به‌مراتب بالاتر از زیستگاه‌های همگن یا تخریب‌شده است (Winqvist et al., 2011). عملکردهای اکوسیستم، پیچیده و چندوجهی بوده و تعاملات زیستی و غیر زیستی را در برمی‌گیرد (Hooper et al., 2005). فعالیت‌های انسانی مختل‌کننده اکوسیستم‌ها، با تغییر در تعاملات زیستی و غیر زیستی، ساختار جوامع گونه‌ها و عملکردهای اکوسیستم را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Felipe-Lucia et al., 2020). به‌عنوان مثال، جنگل‌زدایی گسترده می‌تواند شرایط اقلیمی منطقه‌ای را تغییر داده و

عملکرد اکوسیستم را مختل کند (Lawrence & Vandecar, 2015). همچنین، فعالیت گرده‌افشانی در مناطقی با شدت بالای فعالیت‌های کشاورزی، به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد (Tscharntke et al., 2005). علاوه بر این، زیستگاه‌های تحت سلطه گونه‌های گیاهی مهاجم، عملکردهای اکوسیستمی کمتری نسبت به محیط‌های متنوع و دست‌نخورده ارائه می‌دهند (Habel & Ulrich, 2021). احیای جنگل‌های دشت سیلابی و مناطق ساحلی برای حفظ سلامت اکولوژیک و دستیابی به پایداری زیست‌محیطی ضروری است (Rubin & Görres, 2022). در این راستا، درک دقیق تعاملات سیستم رودخانه‌ای در واکنش به محرک‌های خارجی برای حفاظت و مدیریت پایدار رودخانه‌ها بسیار مهم است. مشاهدات بلندمدت می‌تواند مدیران را در پیش‌بینی واکنش پوشش گیاهی و مورفولوژی کانال به این محرک‌ها یاری کند. افزون بر این، شناخت عمیق از نحوه واکنش جوامع گیاهی ساحلی به تغییرات انسانی، برای حفاظت از تنوع زیستی و گونه‌های در معرض خطر، ضروری است (Lin & Wang, 2002).

در کشور ایران، بسیاری از رودخانه‌ها به دلیل تأثیرات انسانی با تغییرات اکوسیستم خود و پوشش گیاهان حاشیه‌ای مواجه هستند (رحیمی و همکاران، ۱۴۰۳؛ صالحی میلانی و همکاران، ۱۴۰۳). اکوسیستم بسیاری از رودخانه‌ها از جمله رودخانه جاجرود به لحاظ منتهی شدن به سد و نیز اهمیت تأمین منابع آب و برق حائز اهمیت است و از سویی به دلیل احداث سد و عواقب ناشی از آن، اکوسیستم این رودخانه‌ها بسیار شکننده است. بر اساس تحقیقات سربازی و همکاران (۱۳۹۵) و رامشت و همکاران (۱۳۹۱)، الگوی ژئومورفیک رودخانه جاجرود به دلیل فعالیت‌های تکتونیک و نئوتکتونیک، به‌خصوص در بالادست رودخانه، تغییراتی داشته است. ساخت سد و تغییر در محیط طبیعی و آسیب‌های زیست‌محیطی در پهنه‌های اکولوژیک حاشیه رودخانه به دلیل تأثیرات ناشی از ازدحام گردشگران در حوضه رودخانه جاجرود (قنبری، ۱۳۹۹)، توسعه ساخت‌وسازها و تجاوز به حریم آبراهه (لایقی و همکاران، ۱۳۹۴)، قطع درختان حاشیه رودخانه به‌منظور ساخت‌وساز (ایلانلو و کرم، ۱۳۹۹)، و تأثیرات منفی بر اکوهیدرولوژی حوضه (رضایی و همکاران، ۱۴۰۱؛ عطری و همکاران، ۱۴۰۰) از جمله عواملی هستند که به کاهش پایداری محیطی این اکوسیستم منجر شده‌اند. همچنین، تغییرات مورفودینامیک در کنار آبراهه‌ها، دامنه‌ها و مسیر رودخانه (پیروان و همکاران، ۱۳۹۶؛ Allahdadi et al., 2022) و برداشت شن و ماسه از بستر رودخانه (ایلانلو و کرم، ۱۳۹۹) از دیگر مواردی هستند که پایداری محیطی رودخانه را تهدید می‌کنند. در این راستا، هدف این تحقیق، بررسی تغییرات تیپولوژی پوشش گیاهی حاشیه رودخانه جاجرود طی دوره ۱۴۰۲-۱۳۶۷ بوده است.

روش پژوهش

در این پژوهش، از عکس‌های هوایی آنالوگ سال ۱۳۶۷ و تصاویر اولتراکم مربوط به سال ۱۴۰۲ استفاده شده است (جدول ۱). در ابتدا تصاویر موردنظر با استفاده از عوارض مشخص و مشترک در تصاویر مزدوج، اصلاح شده و سپس موزاییک شدند. تصاویر موجود بر اساس مختصات برداشت‌شده از نقاط کنترل زمینی از طریق GPS و نقشه‌های توپوگرافی، در محیط نرم‌افزار ENVI ژئورفرنس شدند.

جدول ۱. اطلاعات داده‌های مورد استفاده

داده	سال	مرجع	Cell Size	تعداد
عکس هوایی آنالوگ	۱۳۶۷	سازمان نقشه‌برداری ایران	۰/۸	۹
عکس‌های هوایی اولتراکم	۱۴۰۲		۰/۲	۱۲

در زمین مرجع سازی هر زوج از تصاویر اولتراکم از حداقل ۶۰ و حداکثر ۸۰ نقطه کنترل و نیز در زمین مرجع سازی هر زوج از عکس‌های هوایی آنالوگ از حداقل ۳۰ و حداکثر ۴۰ نقطه کنترل برای به حداقل رساندن خطای RMS^1 استفاده شد. برای بازه‌بندی رودخانه بر اساس ژئوفرْم از روش GUS استفاده شد (دارابی شاهماری و همکاران، ۱۳۹۹ و ۱۴۰۲). روش GUS با در نظرگیری ویژگی‌های اکولوژیک و ژئومورفیک رودخانه‌ها در بررسی تیپولوژی رودخانه برای ایجاد ارتباط بین مورفولوژی و اکولوژی بسیار مفید است (به‌عنوان مثال شرح الگوهای توزیع، ترکیب و ساختار جوامع بیولوژیک یا جنبه‌های عملکردی اکوسیستم) (Rinaldi et al., 2015; Darabi Shahmari et al., 2024). در روش GUS ۲۱ نوع تیپولوژی مختلف بر اساس درجه حصر بستر (محصور، تا حدی محصور، غیر محصور)، مواد بستر (سنگ‌بستر، تخت سنگ، سنگفرش، گراول، ماسه، سیلت) و پلتفرم کانال (مستقیم/ سینوسی، متاندری، شبه متاندر، سرگردان^۲، گیس بافته، گیس بافته- جزیره‌ای، آنابرنچینگ) ارائه شده است. انواع تیپولوژی‌های اشاره شده با توجه به عملکرد طبیعی رودخانه در نظر گرفته شده‌اند. با توجه به گستردگی ژئوفرْم رود بر اساس مشخصات کامل، ۲۱ نوع تیپولوژی ارائه شده لیست کاملی از ترکیبات محتمل پلتفرم، واحدهای مورفولوژیک، تنظیمات دره و سازه رسوبات نیست، بلکه یک چارچوب کلی برای تشخیص مورفولوژی‌های محدوده حوضه و یا یک منطقه خاص است (Rinaldi et al., 2015). تغییرات در پوشش گیاهی حاشیه رودخانه توسط هم‌پوشانی نقشه‌های پوشش زمین به صورت متوالی شکل گرفت. به این ترتیب از نسبت چشم‌انداز حاشیه‌ای ایجاد شده و یا ازدست‌رفته توسط هر نوع پوشش زمین دیدگاه جامعی به دست آمد. تغییرات در پوشش گیاهی حاشیه‌ای رودخانه، از نظر منطقه سطحی ایجاد شده و ازدست‌رفته توسط پوشش گیاهی (تغییرات در ساختار پوشش گیاهی) و انتقال به دیگر واحدهای چشم‌انداز (دینامیک چشم‌انداز) مطالعه شد. برای بررسی تغییر پوشش گیاهی، تعدادی مقطع عرضی شبه موازی در فاصله مناسب در امتداد مقطع مورد مطالعه انتخاب شد. هر مقطع عرضی بر اساس پوشش زمینی مدنظر، در محیط نرم‌افزار ArcGIS دیجیتایز شد. طبقه‌بندی تیپولوژی پوششی در هر یک از مقاطع عرضی برای مطالعه تغییرات در پوشش گیاهی به صورت زیر بوده است:

مجرای رودخانه (مجراهای اصلی و فرعی)؛ چمنزار؛ پوشش گیاهی چوبی بلند و کوتاه (درختچه‌ها و درختان)؛ جزایر رسوبی (بارهای رسوبی میانی)؛ بار رسوبی حاشیه‌ای؛ عوارض انسانی (نواحی مسکونی، اراضی کشاورزی، تأسیسات صنعتی، پل، معادن شن و ماسه)؛ جزایر گیاهی.

در هر یک از مقاطع عرضی در امتداد رودخانه، تیپولوژی پوششی اندازه‌گیری شد. واحد ژئومورفیک پوشش گیاهی چوبی بلند و کوتاه که در غالب کلنی‌های گیاهی در حاشیه رودخانه وجود داشته‌اند برای تشخیص پهنه‌های بازخوردی بیوژئومورفیک پایدار در حاشیه رودخانه، موردتوجه قرار گرفتند.

محدوده مورد مطالعه

رودخانه جاجرود، واقع در استان تهران، از ارتفاعات البرز مرکزی سرچشمه می‌گیرد و پس از طی مسیری ۱۴۰ کیلومتری، به دریاچه نمک ختم می‌شود. این رودخانه دارای چندین سرشاخه است که مهم‌ترین آن‌ها از دامنه‌های جنوبی خرسنگ و کلون‌بستک سرچشمه می‌گیرند و پس از عبور از مناطق دربند، شمشک و میگون، در ناحیه فشم به هم پیوسته و رودخانه جاجرود را تشکیل می‌دهند. منطقه حفاظت‌شده جاجرود، که رودخانه جاجرود از آن عبور می‌کند، به دلیل تنوع توپوگرافی و تأثیرپذیری از ارتفاعات البرز مرکزی و ناحیه گرمسیری ورامین، دارای پوشش گیاهی متنوعی است. در این

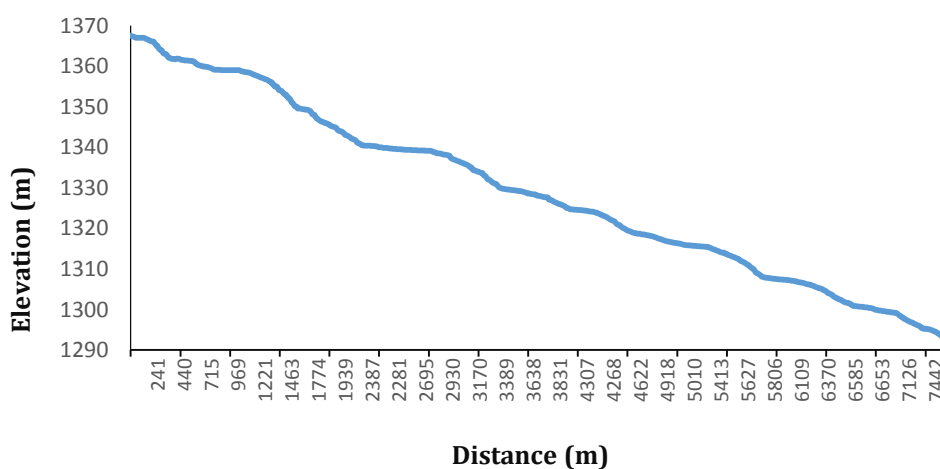
1. Root Mean Square Deviation

2. Wandering

منطقه، ۵۱۷ گونه گیاهی متعلق به ۷۰ تیره شناسایی شده است. با این حال، فعالیت‌های انسانی مانند دفع غیراصولی پساب‌های صنعتی و شیمیایی، به‌ویژه در منطقه جاجرود، منجر به آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی شده است. این آلودگی‌ها تأثیر منفی بر ساختار جوامع بنتیک و کیفیت زیست‌محیطی رودخانه داشته‌اند (رضایی و همکاران، ۱۴۰۱). علاوه بر این، احداث سد لتیان بر روی رودخانه جاجرود، رژیم طبیعی جریان را به‌شدت تغییر داده و باعث آسیب‌های محیط‌زیستی در پایین‌دست رودخانه شده است. این تغییرات هیدرولوژیک بر اکوسیستم رودخانه و تنوع زیستی آن تأثیر منفی داشته‌اند (رضایی و همکاران، ۱۴۰۱). در مجموع، رودخانه جاجرود با اکوسیستمی متنوع و پوشش گیاهی غنی، تحت تأثیر فشارهای انسانی و تغییرات هیدرولوژیک قرار دارد که نیازمند مدیریت پایدار و حفاظت جدی است.

یافته‌ها

برای بررسی تیپولوژی رودخانه جاجرود از روش GUS استفاده شد. گام اول در اجرای این روش، مطالعه واحدهای ژئومورفیک رودخانه است. برای تهیه نقشه واحدهای ژئومورفیک به‌منظور تفکیک پلتفرم رودخانه، به دلیل فراوانی تعداد واحدهای زیستگاهی ماکرو و اصلی (۶۳ واحد فرعی؛ ۳۵ واحد اصلی) و به دلیل طولانی بودن مسیر مورد مطالعه (۲۰ کیلومتر)، بازه‌هایی از رودخانه بر اساس میانگین ارتفاع، شیب و نیز مطالعه بصری ژئوform رودخانه تفکیک شد. بر این اساس، ۵ بازه ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ متری انتخاب شد. در هر یک از بازه‌ها، واحدهای مطالعاتی ماکرو و واحدهای مطالعاتی اصلی از ابتدای مسیر موردنظر تا پایاب بر اساس معیارهای روش GUS ترسیم شد. مساحت، تعداد، غنا و تراکم هر یک از واحدها برای هر یک از بازه‌ها برآورد شد. پایداری رودخانه در دوره‌های موردبررسی با استفاده از مقایسه تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی در نرم‌افزار ArcGIS بررسی شد. پایداری هر یک از بازه‌ها نیز بر اساس مقایسه مرزهای ترسیم‌شده در سال‌های ۱۳۶۸ و ۱۴۰۲ بررسی شد. گام بعدی برای تعیین ژئوform رودخانه با استفاده از روش GUS، تعیین اندازه تقریبی رسوبات بستر رودخانه است. بدین منظور در هر یک از زیر بازه‌های تعیین‌شده در بالادست، میان دست و پایین‌دست بازه موردبررسی، نمونه‌برداری رسوبات با استفاده از ابزار نمونه‌برداری چنگکی (Grab sampler) انجام شد. رسوبات از طریق دستگاه شیکر غربال و سپس وزن شده و سپس نوع رسوبات بر حسب درصد، با استفاده از جدول گرانولومتری تعیین شد.



شکل ۱. نیم‌رخ رودخانه جاجرود

پایداری بازه‌های موردبررسی بر اساس روش GUS در دو سطح پایداری و ناپایداری نسبی (به‌صورت عمودی و جانبی) تعریف شد. متوسط شیب رودخانه جاجرود در بازه مطالعاتی، ۱۰٪ و میانگین ارتفاعی آن ۱۳۳۰ متر بوده است. محدوده مورد مطالعه دارای سه سبک رودخانه‌ای مجزا و ۵ کد پلتفرم بر اساس روش GUS بوده است (شکل ۱؛ جدول ۱). در هر تیپولوژی، مشخصات واحدهای ژئومورفیک متفاوت است. مشخصات هر یک از پلتفرم‌های رودخانه جاجرود بر اساس روش GUS در جدول ۲ ارائه شده است.

بازه ۱ (انشعابی - جزیره‌ای^۱؛ کد ۸)

بازه شماره ۱ در بالادست محدوده مورد مطالعه با میانگین شیب ۱۲٪ و میانگین ارتفاعی ۱۳۶۳ متر در بستری از رسوبات با ترکیبی از گراول و ماسه جریان دارد. مکانیزم ژئومورفیک عمده، فرسایش بستر و کناره و نیز انتقال رسوبات فرسایش یافته از بالادست است. با توجه به فاصله بیش از ۳ کیلومتر از منشأ رودخانه، در این بازه انتقال رسوبات و نیز فرسایش کف و حاشیه بستر بر رسوب‌گذاری برتری دارد و پایداری نسبی بستر نسبت به سایر بازه‌ها وجود دارد. چهره عمده واحدهای ژئومورفیک در واحد مطالعاتی جریان پایه، در جریان‌های با دبی زیاد تا متوسط، حوضچه^۲ و تنداب^۳ است. در بخش‌های با دبی کمتر، برون‌زدگی‌های سنگ‌بستر و نیز بارهای نقطه‌ای واحد غالب هستند. بارهای نقطه‌ای جریان رودخانه را به دلیل ایجاد موانع اجباری در بستر رودخانه با محدودیت مواجه می‌سازند. غلبه تنش هیدرولیک در بستر رودخانه، فرصت ایجاد واحدهای ژئورفیک درون بستری را با محدودیت مواجه ساخته است. نوع پلتفرم رودخانه، مستقیم و تا حدی سینوسی تک آبراهه فاقد انشعابات است (شکل ۲).

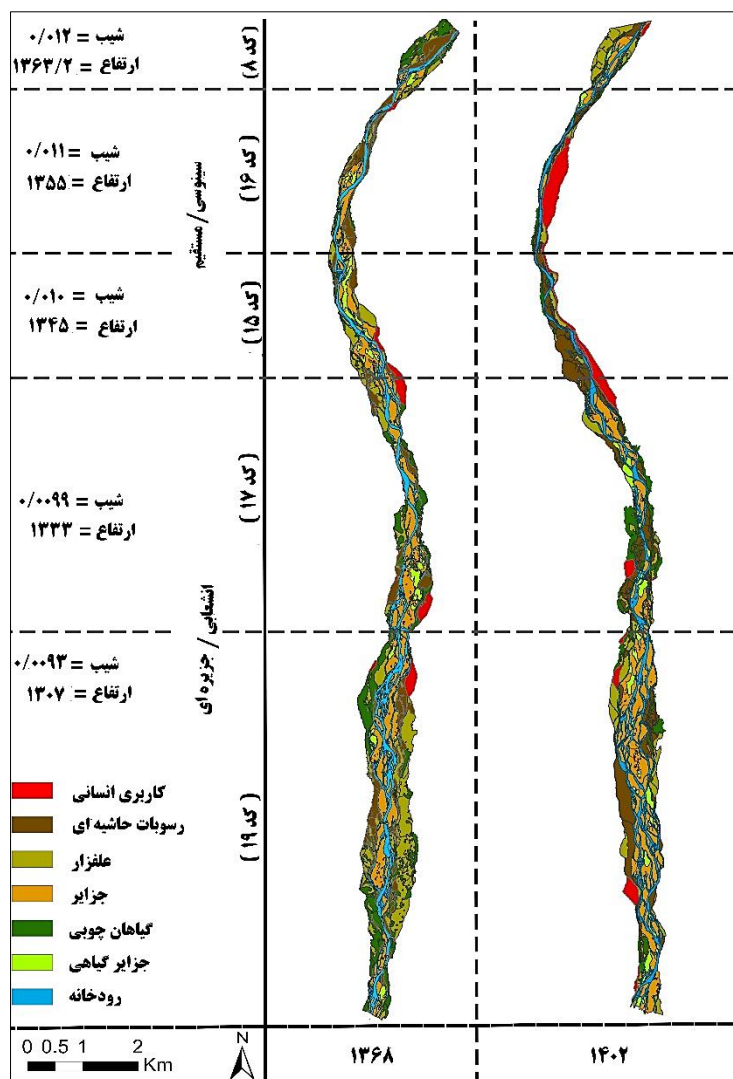
بازه ۲ (سینوسی - مستقیم؛ کد ۱۶)

در این بازه، با شیب ۰/۰۱۱ و متوسط ارتفاع ۱۳۵۵ متر، تعداد انشعابات و طول آن‌ها کم است (شکل ۲). کرانه چپ رودخانه تا حدی محصور در ارتفاعات و کرانه راست مشرف به دشت و نسبتاً غیر محصور است. تهیه رسوبات اغلب از طریق انتقال از بالادست، فرسایش بستر و کناره شکل می‌گیرد. تولید رسوب توسط پدیده واریزه در کرانه راست رودخانه و نیز در دیواره پادگانه‌های حاشیه‌ای با احتمال بیشتری مواجه است. شیب بستر کاهش یافته و میانگین عرض بستر و نسبت رسوب‌گذاری در بازه ۲ با افزایش مواجه است. بستر پلتفرم رودخانه به‌صورت جانبی نسبتاً ناپایدار است. به دلیل افزایش نسبت رسوب‌گذاری در پناه موانع زیست‌توده مستقر در میان بستر، تعداد واحدهای ژئومورفیک واحد مطالعاتی پوشش گیاهی میان بستری افزایش یافته است؛ اما واحد ژئومورفیک جزایر میان بستری با محدودیت مواجه است. تعداد واحد ژئومورفیک بارهای کناری، بارهای کناری مرتفع، بارهای میان بستری و میانی مرتفع نسبت به سایر واحدهای ژئومورفیک در این بازه بیشتر است. آن‌ها بیشتر سال بیرون از سطح آب قرار دارند، اما با افزایش جریان به سمت کناره‌ها، تحت تأثیر آبیگری قرار می‌گیرند. پوشش گیاهی ممکن است به‌طور کامل در سطح بارهای میانی و کناری وجود نداشته باشد، اما در برخی موارد یک پوشش نسبی و ناپیوسته از علف، بوته یا درخت وجود دارد.

1. Island Braided

2. Pool

۳. (Rapid) بخشی از رود که آب در آن با سرعت و تلاطم زیادی جریان دارد. این وضعیت معمولاً به دلیل شیب تند، وجود صخره‌ها یا باریک شدن ناگهانی بستر رودخانه ایجاد می‌شود.



شکل ۲. تنظیمات پلتفرم در امتداد رودخانه جاجرو در دوره مورد مطالعه (۱۳۶۷-۱۴۰۲)

بازه ۳ (جزیره‌ای؛ کد ۱۵)

میانگین عرض بستر رودخانه در این بازه از سایر بازه‌ها بیشتر است. نسبت انشعابات به همراه طول بیشتر در این بازه قابل مشاهده است. در واحد مطالعاتی جریان اصلی، گلايدها با نیمرخ طولی منظم، سطح آب صاف یا موج‌دار وجود دارند که تقریباً موازی با بستر و کم تلاطم هستند. میانگین شیب محلی ۰/۰۱۰ و میانگین ارتفاع ۱۳۴۵ متر است (جدول ۲). سطح آب، موج‌دار و فاقد امواج ایستاده است مگر در مواردی که تخته‌سنگ‌های جدا شده از سطح آب برون‌زدگی پیدا کرده‌اند (شکل ۲). اراضی حاشیه‌ای بستر رودخانه به اراضی کشاورزی و مسکونی در امتداد بخش‌هایی از بستر رودخانه سبب حصر بستر شده است. پوینت بارها^۱ به صورت پراکنده در کناره‌ها جریان قرار دارند و در قسمت‌هایی که جریان پرآب است به صورت موضعی در امتداد آبراهه به صورت ناپایدار استقرار یافته‌اند. بارهای میانی آبراهه از ویژگی‌های فرایند رسوب‌گذاری در مقیاس کلان هستند. تراکم واحد جزایر در این بازه از سایر بازه‌ها بیشتر است. پوششی از گیاهان چندساله شامل بوته‌ها، درختان جوان یا بالغ و سایر ویژگی‌های مشترک در دشت سیلابی در سطح جزایر مشاهده

1. Pointbar

می‌شود. در اغلب این جزایر، یک لایه قابل توجهی از رسوبات عالی که در بالای لایه‌های شنی رودخانه قرار گرفته، وجود دارد. جزایر در این بازه از نوع واحد فرعی جزایر با گیاهان چوبی، جزایر چوبی بالغ، و جزایر چوبی جوان هستند.

جدول ۲. مشخصات بازه‌های مورد مطالعه بر اساس روش GUS

بازه	کد GUS	طول بازه (Km)	طول دره (m)	شیب	میانگین ارتفاع (m)	نوع حضور	نوع رسوب	پلتفرم	واحد های ژئومورفیک	پایداری
۱	۸	۰/۷۱۴	۶۲۱/۳۶	۰/۰۱۲	۱۳۶۳/۲	غیر محصور	گراول /ماسه	گیسویی	رسوبات میانی، حوضچه	ناپایداری عمودی و جانبی
۲	۱۶	۱/۰۰۴	۸۸۵/۸۲	۰/۰۱۱	۱۳۵۵	تا حدی محصور	ماسه گراول	سینوسی /مستقیم	رسوبات آبرفتی، متناوب، حوضچه، ریفل (شکل ۳)	ناپایداری عمودی / مهاجرت جانبی
۳	۱۵	۱/۱۶۹	۱۰۴۴/۱۶	۰/۰۱۰	۱۳۴۵	تا حدی محصور	ماسه گراول	جزیره‌ای	ریفل، رسوبات آبرفتی	ناپایداری عمودی و جانبی
۴	۱۷	۱/۸۲۷	۱۶۶۶/۲۳	۰/۰۰۹۹	۱۳۳۳	تا حدی محصور	ماسه گراول	سینوسی /مستقیم	حوضچه، نیمکت رسوبی، اسکرول بار	ناپایداری جانبی / در معرض مهاجرت جانبی
۵	۱۹	۲/۸۳۹	۲۵۴۲/۷۱	۰/۰۱۲	۱۳۶۳/۲	غیر محصور	سیلت /رس /ماسه	گیسویی /جزیره‌ای	جزایر، ریفل، جزایر گیاهی، مجرای متروک، ریفل	تقریباً پایدار

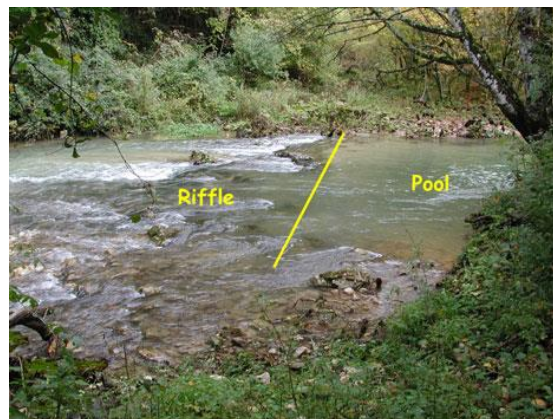
بازه ۴. (انشعابی - جزیره‌ای؛ کد ۸)

اختصاص اراضی طبیعی حاشیه‌ای به کاربری‌های انسانی در این بازه بیش از سایر بازه‌ها مشهود است. در این بازه، فرم انتقالی از پلتفرم جزیره‌ای - انشعابی به تک آبراهه دیده می‌شود. عامل اصلی تک آبراهه دیده شدن رودخانه در این بازه کانالیزه کردن آن تحت تأثیر عوامل انسانی است. پایداری نسبی رودخانه، حاکی از بستر نسبتاً محصور آن است. عمده رسوبات متشکل از سیلت و رس است، و نیز رسوب‌گذاری، فرآیند غالب است. در امتداد کناره‌های مرتفع فاقد پوشش گیاهی، فرسایش حاشیه‌ای و جریان لغزش و واریزه از عوامل تهیه رسوبات به شمار می‌روند. در امتداد بخش‌هایی از رودخانه که کمتر دستخوش تأثیرات آنتروپوژنیک هستند، دشت سیلابی مدرن مساحت بیشتری نسبت به بستر رودخانه را به خود اختصاص داده است. تعداد و تراکم واحدهای ژئومورفیک رسوبات میان بستری و پوشش گیاهی میان بستر در این بازه نسبت به دو بازه قبل کاهش یافته است. کاهش عرض بستر رودخانه، اختصاص بخش‌هایی از دشت سیلابی به اراضی کشاورزی و مسکونی، احداث پل بر روی رودخانه، کانالیزه‌سازی بستر رودخانه از جمله دلایل عدم وجود شرایط مناسب برای استقرار پوشش گیاهی در بستر رودخانه در این بازه است. در این بازه، ترکیبی از پلتفرم سینوسی مستقیم تحت تأثیر عوامل انسانی وجود دارد.

بازه ۵ (انشعابی - جزیره‌ای؛ کد ۱۹)

این بازه در محل پیوستن به سد جاجرود قرار دارد. میانگین شیب و ارتفاع این بازه به ترتیب ۰/۰۰۹۳ و ۱۳۰۷ متر است (شکل ۲). میانگین عرض بستر رودخانه در این بازه از سایر بازه‌ها بیشتر است. سطح آب در واحد مطالعاتی بستر اصلی

کم تلاطم و واحد اصلی گلاید^۱ بیشتر به چشم می‌خورد. فرآیند ژئومورفیک غالب در این بازه، رسوب‌گذاری در مقیاس کلان است. افزایش نسبت رسوب‌گذاری سبب غنای واحدهای اصلی در واحد مطالعاتی رسوبات رودخانه‌ای شده است. تعداد جزایر و رسوبات میان بستری نسبت به طول بازه از سایر بازه‌ها بیشتر است. این بازه کاملاً غیر محصور است. بستر رودخانه و نیز رسوبات میان بستری و کناری در این بازه بسیار ناپایدار هستند.

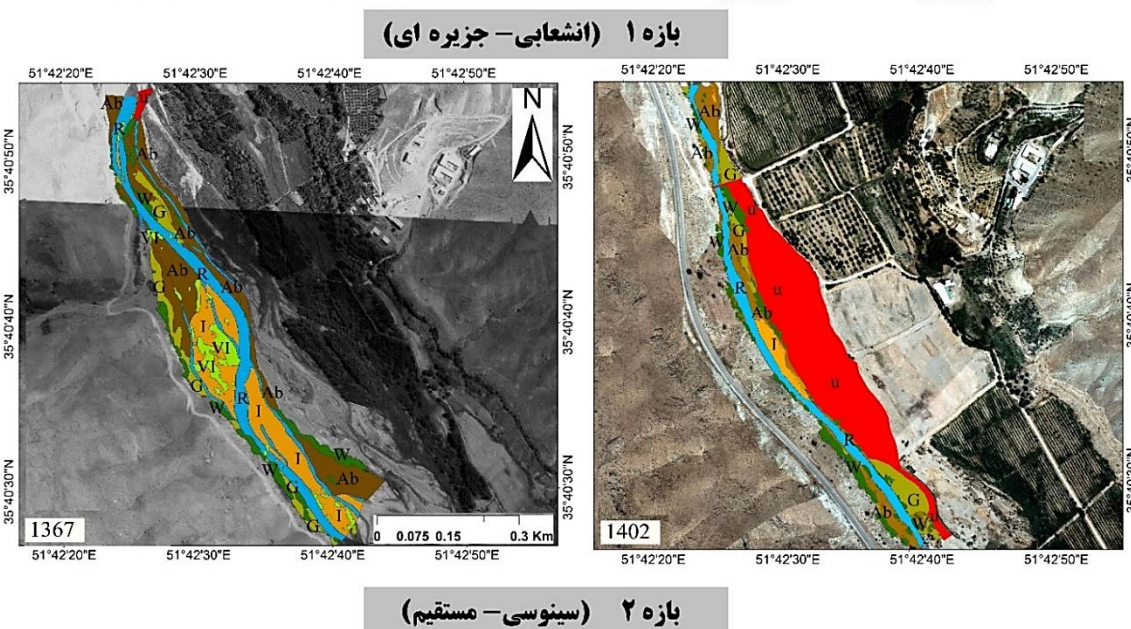
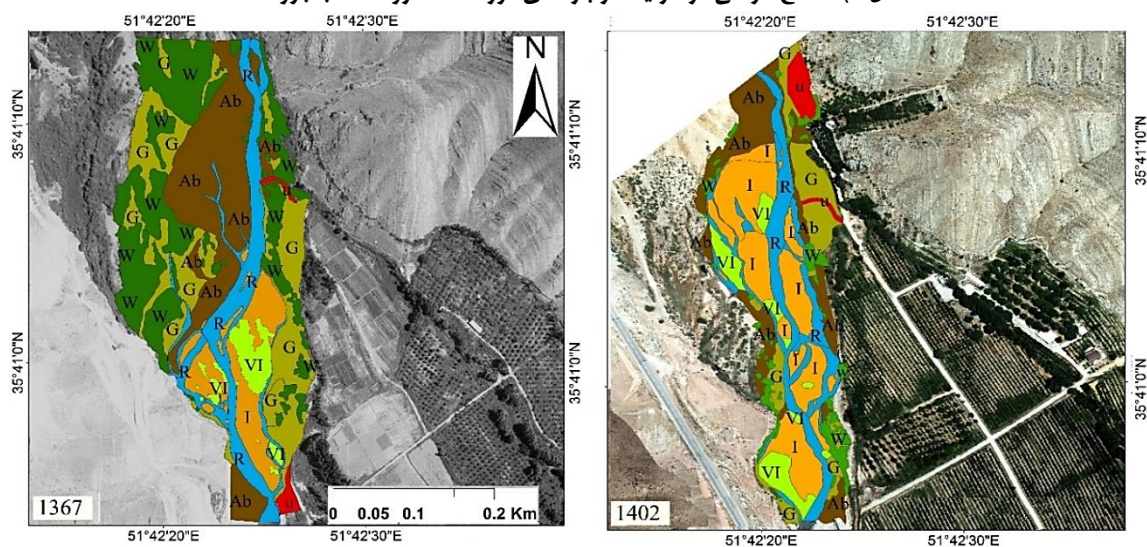
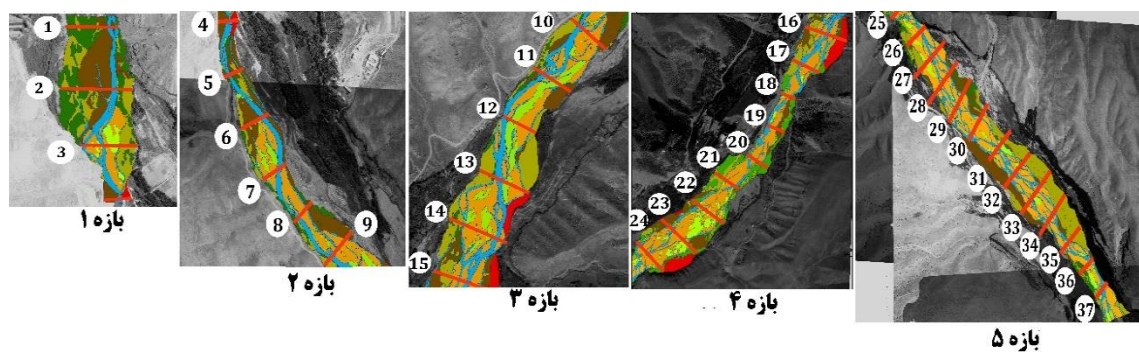


شکل ۳. میکرو فرم‌های ریفل و حوضچه در بستر رودخانه جاجرود

رسوبات میان بستری غالباً از نوع طولی و کشیده با شکل متغیر هستند. جزایر از نوع چوبی ترکیبی با ترکیبی از بوته‌ها و درختان تشکیل شده‌اند. رسوبات کناری و نیز رسوبات مرتفع کناری در بخش‌هایی از بستر توسط کناره‌های با پوشش گیاهی، به دشت سیلابی مدرن متصل شده‌اند. کناره‌های فاقد پوشش گیاهی، در دشت سیلابی مدرن کمتر از یک چهارم بستر اولیه رودخانه را به خود اختصاص داده است. کناره‌های رودخانه کاملاً از رسوبات غیر منسجم تشکیل شده است (شن، شن و ماسه درشت). حداکثر زاویه شیب کناره‌های سست و غیر منسجم برابر با زاویه استقرار مواد است. افزایش عرض بستر نسبت به طول، وجود جزایر و انشعابات، تأثیر بسزایی در شکل‌گیری پلتفرم جزیره‌ای-انشعابی در این بازه داشته است.

تغییرات تیپولوژی پوششی

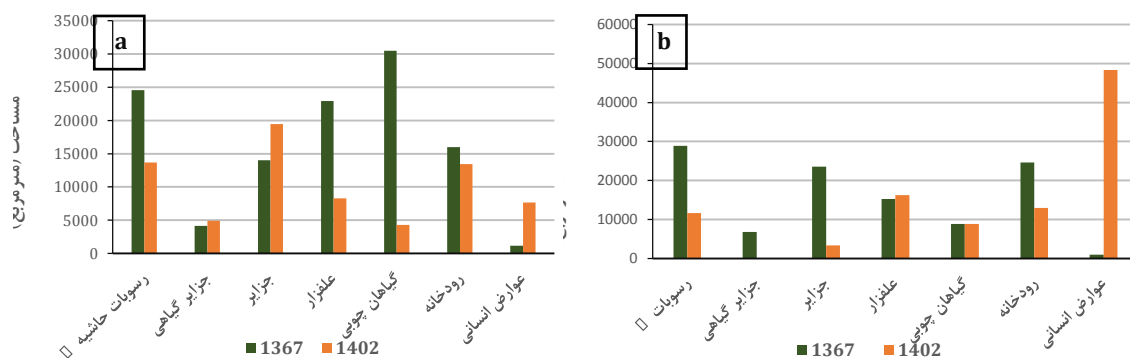
برای سنجش هرچه دقیق‌تر تغییرات تیپولوژی پوششی در دوره مورد مطالعه، در امتداد مسیر مورد مطالعه ۳۴ مقطع عرضی ترسیم شده و واحدهای تیپولوژیک تعیین شده برای هر یک از مقاطع در سال‌های ۱۳۶۷ و ۱۴۰۲ اندازه‌گیری شد (شکل ۴). تیپولوژی پوشش‌های گیاهی رودخانه جاجرود در قالب سه دسته گیاهان چوبی و درختچه، جزایر گیاهی و چمن/علفزار است که درصد پوشش مختلط چوبی و درختچه از دو دسته دیگر بیشتر است. مساحت آبراهه رودخانه در بازه ۱ از سال ۱۳۶۷ تا سال ۱۴۰۲ کاهش یافته و مساحت پوشش گیاهی حاشیه‌ای در این دوره نیز کاهش یافته است. متعاقب کاهش مساحت آبراهه و با توجه به افزایش مساحت جزایر رسوبی و نیز جزایر گیاهی مستقر در میان آبراهه با افزایش کمی روبه‌رو بوده است. مساحت علفزار حاشیه‌ای ۶۳/۹۷٪ کاهش یافته و در مقابل مساحت اراضی چوبی حاشیه‌ای در سال ۱۴۰۲ نسبت به سال ۱۳۶۷ حدوداً ۸۵٪ کاهش یافته است. مساحت کاربری‌های انسانی از جمله اراضی کشاورزی در این دوره ۱۷/۷٪ داشته است (شکل ۵ و ۶).



W گیاهان چوبی	I جزایر	VI جزایر گیاهی	R رودخانه
G چمنزار	Ab رسوبات حاشیه ای	u عوارض انسانی	

شکل ۵. تغییر تیپولوژی پوششی بازه‌های مورد بررسی در رودخانه جاجرو

در بازه ۲ اراضی حاشیه‌ای با کاربری انسانی از ۹۰۶/۹۰۶ مترمربع در سال ۱۳۶۷ به ۴۸۳۵۷ مترمربع در سال ۱۴۰۲ افزایش یافته است. به همین ترتیب درصد مساحت پوشش گیاهی چوبی حاشیه‌ای در سال ۱۳۶۷ از ۸۸۱۲/۹۴ مترمربع به ۸۸۰۶/۳۹ مترمربع در سال ۱۴۰۲ کاهش یافته است. مساحت اراضی علفزار حاشیه‌ای از ۱۵۲۴۴/۹ مترمربع به ۱۶۲۰۰ مترمربع در سال ۱۴۰۲ افزایش یافته است. مساحت واحد رسوبات حاشیه‌ای نیز روند کاهشی طی دوره موردبررسی داشته است (شکل‌های ۵ و ۶).

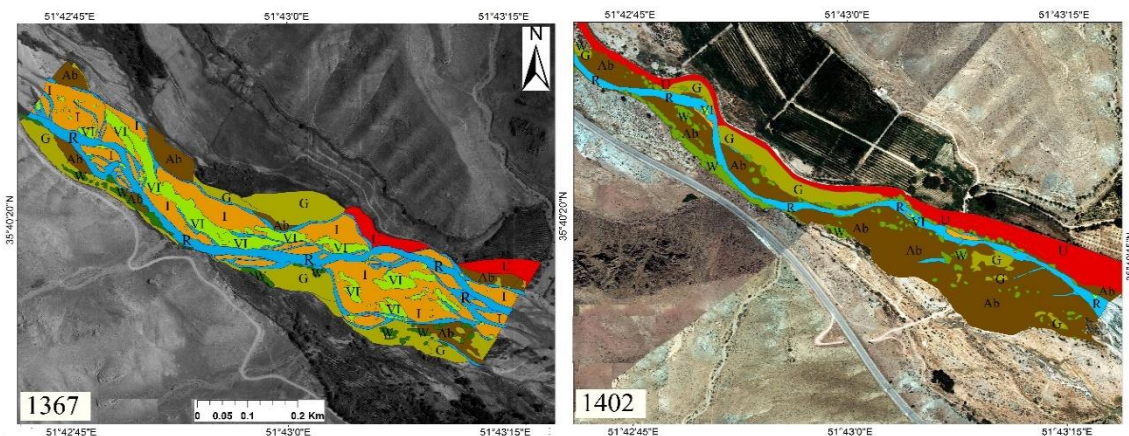


شکل ۶. درصد مساحت تیپولوژی پوششی در بازه ۱ (a) و بازه ۲ (b) رودخانه جاجرود در دوره ۱۳۶۷-۱۴۰۲

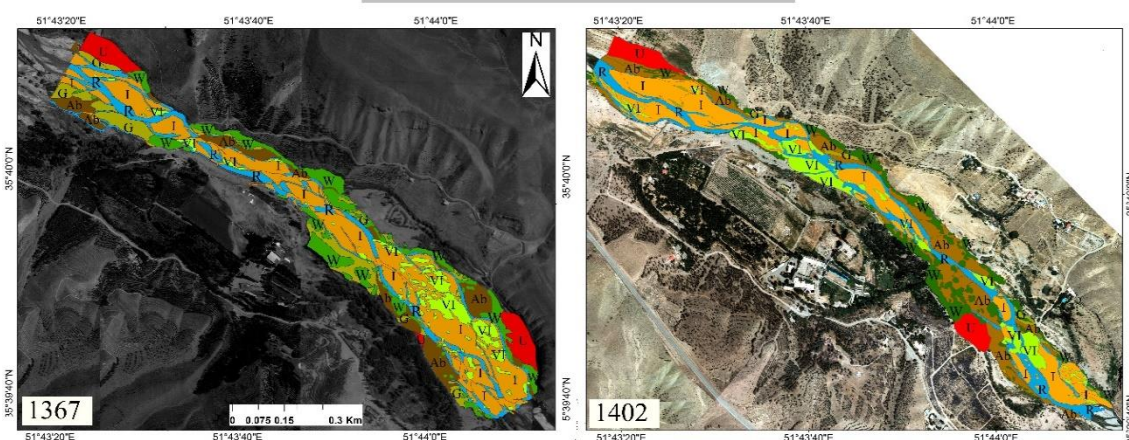
با حرکت به سمت پایین‌دست رودخانه در بازه ۳ تعداد انشعابات رودخانه کمتر شده است. مساحت آبراهه فعال رودخانه در این بازه انشعابی در طی دوره مورد مطالعه روند کاهشی داشته است. تجاوز به حریم رودخانه و اراضی حاشیه‌ای در سال ۱۴۰۲ سبب گسترش مداوم کاربری انسانی در اراضی حاشیه‌ای رودخانه جاجرود در دوره مورد مطالعه شده است. در این بازه نیز روند افزایشی قابل ملاحظه در کاربری‌های انسانی وجود داشته است. مساحت گیاهان چوبی در سال ۱۳۶۷ و ۱۴۰۲ تغییر چندانی نداشته است. رسوبات حاشیه‌ای نسبت به سال ۱۴۰۲ کاهش یافته است. مساحت جزایر رسوبی میانی و جزایر گیاهی نیز در مقابل افزایش مساحت عوارض انسانی کاهش یافته است (شکل‌های ۷ و ۸).

در بازه ۴، مساحت کاربری‌های انسانی افزایش یافته است. مساحت اراضی با پوشش چمن و علفزار در سال ۱۴۰۲ (۶٪/۲۹) نسبت به سال ۱۳۶۷ (۱٪/۶۳) کاهش یافته است. درصد رسوبات حاشیه‌ای افزایش یافته است. مساحت جزایر کاهش و در مقابل مساحت جزایر گیاهی افزایش داشته است. ناپایداری این جزایر رسوبی سبب شده که استقرار پوشش گیاهی در دوره مورد مطالعه در این بازه با کاهش مواجه شود (نمودار ۴-۴). افزایش فرسایش و متعاقب آن افزایش مساحت در بخش گسترده‌ای از مقاطع مورد بررسی، سبب کاهش پوشش گیاهی چوبی حاشیه‌ای شده است. به طوری که مساحت پوشش گیاهی چوبی در سال ۱۳۶۷ از ۴۴۰۴۶/۹ مترمربع به در سال ۱۴۰۲ کاهش یافته است (شکل‌های ۷ و ۸).

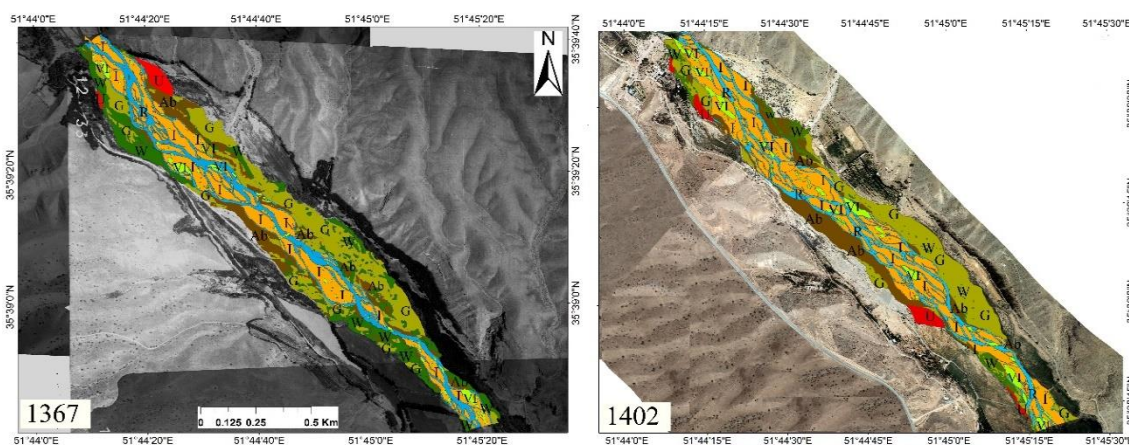
در بازه ۵، افزایش عرض آبراهه فعال رودخانه طی دوره مورد مطالعه مشاهده می‌شود. رسوب‌گذاری میان بستری سبب افزایش درصد مساحت جزایر رسوبی و جزایر حاوی پوشش گیاهی در طول دوره مورد بررسی شده است (شکل ۷). مساحت رسوبات حاشیه‌ای و پوشش گیاهی چوبی و اراضی چمن و علفزار در این بازه با روند کاهشی مواجه بوده است. بنابراین، روند رو به رشد مساحت جزایر رسوبی میانی و نیز جزایر گیاهی نسبت به سایر واحدهای مورد بررسی در این بازه قابل ملاحظه است (شکل ۸). افزایش عرض بستر و نیز میزان رسوب‌گذاری عوامل کلیدی در افزایش مساحت واحدهای مذکور هستند.



بازه ۳ (جزیره ای)



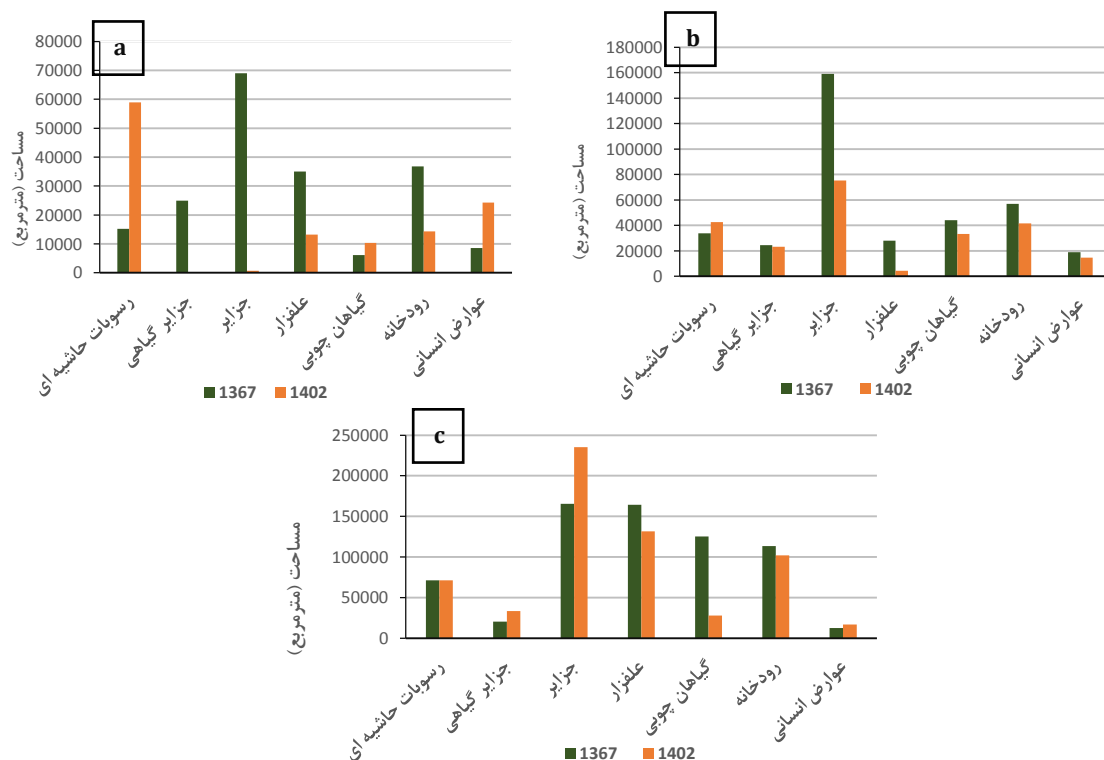
بازه ۴ (انشعابی - جزیره ای)



بازه ۵ (انشعابی - جزیره ای)

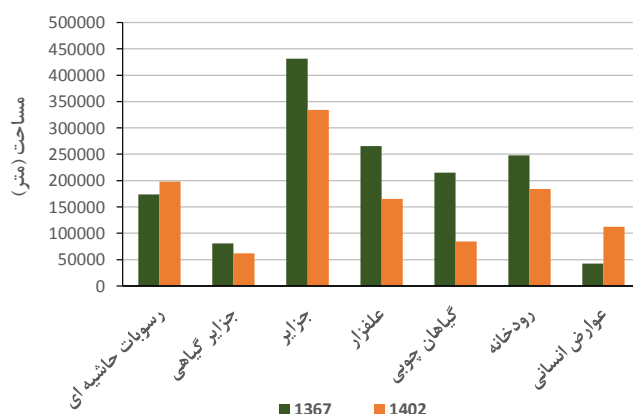
W گیاهان چوبی	I جزایر	VI جزایر گیاهی	R رودخانه
G چمنزار	Ab رسوبات حاشیه ای	u عوارض انسانی	

شکل ۷. تغییر تیپولوژی پوششی بازه‌های موردبررسی در رودخانه جاجرود



شکل ۸. درصد مساحت تیپولوژی پوششی در بازه ۳ (a)، بازه ۴ (b) و بازه ۵ (c) رودخانه جاجرود در دوره ۱۳۶۷-۱۴۰۲

در نمودار ۹ تغییرات تیپولوژی پوششی رودخانه جاجرود به تفکیک سال‌های مورد بررسی ارائه شده است. نوسانات تغییر در پوشش گیاهی بیانگر کاهش تیپولوژی علفزار حاشیه‌ای در سال ۱۴۰۲ نسبت به سال ۱۳۶۷ بوده است. مساحت تیپولوژی جزایر گیاهی میان آبراهه رودخانه جاجرود در سال ۱۴۰۲ با ۲۶۵۶۳۳ مترمربع در مقایسه با سال ۱۳۶۷ (۱۶۵۴۱۵ مترمربع) کاهش یافته است. تیپولوژی رسوبات حاشیه‌ای و عوارض انسانی در سال ۱۴۰۲ در مقایسه با ۱۳۶۷ افزایش یافته که حاکی از تغییر کاربری اراضی و تجاوز به اراضی حاشیه‌ای رودخانه جاجرود است (شکل ۹).



شکل ۹. درصد مساحت تیپولوژی پوششی رودخانه جاجرود در دوره ۱۳۶۷-۱۴۰۲

بحث

در سال‌های اخیر، افزایش نرخ رشد جمعیت و شیوه‌های کشاورزی، از جمله تهدیدهای اصلی برای جنگل‌های بومی وسیع در حوضه‌های رودخانه‌ای بوده‌اند که می‌توانند به تخریب اکوسیستم‌های حاشیه‌ای رودخانه‌ها در دهه‌های آینده

منجر شوند (Sunil et al., 2011). نتایج بررسی تیپولوژی پوشش گیاهی و تغییرات کاربری اراضی حاشیه‌ای رودخانه جاجرود طی دوره مورد مطالعه نشان می‌دهد که تغییرات پوشش گیاهی در حاشیه رودخانه جاجرود به شدت تحت تأثیر مداخلات انسانی بوده و این تغییرات منجر به تحولات ژئومورفیک در بستر و حاشیه رودخانه شده است. روند کلی کاهش پوشش گیاهی، به‌ویژه پوشش چوبی و علفزارهای حاشیه‌ای، هم‌زمان با افزایش کاربری‌های انسانی مانند کشاورزی، توسعه شهری و تجاوز به حریم رودخانه، نشان‌دهنده تغییرات ساختاری در پویایی رودخانه است. در بازه‌های مختلف، کاهش مساحت آبراهه فعال و افزایش جزایر رسوبی و گیاهی بیانگر تغییر در رژیم هیدرولوژیکی و الگوهای رسوب‌گذاری است. این تغییرات را می‌توان به کاهش دبی جریان، افزایش برداشت آب برای مصارف انسانی و توسعه فیزیکی در حاشیه رودخانه نسبت داد. به‌طور خاص، در بازه‌های ۱ و ۲ کاهش مساحت پوشش چوبی و علفزارهای حاشیه‌ای با افزایش اراضی کشاورزی و سایر کاربری‌های انسانی هم‌زمان شده است. این تغییر الگوی پوشش گیاهی باعث کاهش تثبیت خاک و افزایش فرسایش شده که نتیجه آن کاهش عرض آبراهه در برخی مناطق و گسترش جزایر رسوبی میان بستری است. در بازه‌های پایین‌دست، مانند بازه‌های ۳ و ۴، تجاوز به حریم رودخانه به میزان قابل‌توجهی افزایش یافته است که به کاهش انسجام پوشش گیاهی حاشیه‌ای و تسریع فرآیند فرسایش منجر شده است. کاهش پوشش گیاهی در این بازه‌ها به‌ویژه در مناطق دارای جزایر رسوبی، باعث ناپایداری این جزایر شده و در برخی موارد موجب شسته شدن آن‌ها و افزایش رسوبات معلق شده است. درعین‌حال، افزایش رسوب‌گذاری در برخی قسمت‌ها، شکل‌گیری مجدد جزایر را تسریع کرده است. در بازه ۵، افزایش عرض بستر رودخانه و روند رسوب‌گذاری میان بستری موجب رشد جزایر رسوبی و جزایر دارای پوشش گیاهی شده است، اما این تغییرات درعین‌حال منجر به کاهش پوشش گیاهی چوبی حاشیه‌ای شده است که نشان از ناپایداری این تحولات دارد.

از منظر اکوسیستمی، کاهش مساحت مجرای رودخانه و پوشش گیاهی حاشیه‌ای، همراه با افزایش گستره جزایر رسوبی و گیاهی درون کانال، نشان‌دهنده تغییر در تعادل هیدرولوژیک و فرآیندهای رسوب‌گذاری رودخانه است. این تغییرات می‌توانند موجب افزایش فرسایش بستر و کناره‌های رود، تغییر در میزان نفوذپذیری خاک، و کاهش توان خود پالایی رودخانه شوند که درنهایت منجر به کاهش کیفیت آب و تضعیف عملکرد زیست‌بوم رودخانه خواهد شد. از سوی دیگر، کاهش تیپولوژی چمنزارها، که از مهم‌ترین زیستگاه‌های حاشیه‌ای محسوب می‌شوند، باعث کاهش تنوع زیستی، از بین رفتن زیستگاه گونه‌های وابسته به این اکوسیستم، و برهم خوردن زنجیره‌های غذایی طبیعی خواهد شد.

از دیدگاه تأثیر فعالیت‌های انسانی، افزایش کاربری‌های انسانی، به‌ویژه گسترش اراضی کشاورزی و توسعه عوارض انسانی در مجاورت و حتی داخل حریم رودخانه، بیانگر فشار فزاینده‌ای بر ظرفیت تحمل اکوسیستم است. منطبق با نتایج این تحقیق، دخالت‌های انسانی در تجاوز به حریم رودخانه و کاهش عرض بستر در رودخانه طالقان سبب تغییر تیپولوژی پوششی و کاهش پوشش گیاهی حاشیه‌ای در پایین‌دست رودخانه نسبت به بالادست شده است. درحالی‌که در بالادست، وجود کلنی‌های گیاهی و افزایش پوشش گیاهی حاشیه‌ای طی ۳۱ سال گذشته به کاهش عرض بستر و حفظ ژئوفرم رودخانه کمک کرده است (Darabi Shahmari et al., 2024). درواقع، در رودخانه طالقان، روند کاهش پوشش گیاهی و افزایش اثرات انسانی از بالادست به سمت پایین‌دست مشهود است. در مقابل، در رودخانه جاجرود، دخالت‌های انسانی به‌صورت پراکنده در تمامی بازه‌ها، چه در بالادست و چه در پایین‌دست رودخانه، مشاهده شده و روند مکانی خاصی برای این تغییرات قابل‌شناسایی نیست. این مقایسه بر اهمیت مداخله هدفمند و برنامه‌ریزی شده برای مدیریت پایدار محیط‌زیستی در هر رودخانه تأکید دارد. افزایش مساحت کاربری‌های انسانی و تغییر پوشش گیاهان حاشیه‌ای در رودخانه جاجرود در برخی مقاطع سبب کاهش عرض بستر رودخانه به‌ویژه بر اثر کانالیزه‌سازی شده و در برخی مقاطع دیگر باعث

فروریزش دیواره‌های حاشیه‌ای بر اثر افزایش فرسایش خاک و افزایش عرض بستر شده است. حذف گونه‌های بومی، به‌ویژه بیدیان ساحلی، علاوه بر افزایش فرسایش و تأثیر بر عرض بستر، موجب نابودی زیستگاه‌های حاشیه‌ای جانوری و گیاهی می‌شود (Darabi Shahmari et al., 2024).

پوشش گیاهان بومی و پیشگام در منطقه ممکن است با گونه‌های مهاجم جایگزین شوند. بر اساس مطالعه سانیل و همکاران (Sunil et al., 2011)، حضور گونه‌های بومی و غیربومی با شدت اختلالات و تأثیرات انسانی مرتبط است؛ افزایش اختلال، تکثیر گونه‌های غیربومی و انقراض گونه‌های بومی را در پی دارد که بیانگر حساسیت جنگل‌های ساحلی به تغییرات محیطی است. همچنین، بر اساس تحقیق شاینار و زومی (Shigenari & Izumi, 2004)، تهاجم گونه‌های غیربومی در مناطق ساحلی یکی از جدی‌ترین تهدیدها برای تنوع زیستی است که از طریق جابه‌جایی گیاهان بومی رخ می‌دهد. گونه‌های گیاهی بومی و پیشگام در مناطق ساحلی، حتی در حداقل عرض موجود، به دلیل سازگاری و مقاومت بالا برای تأمین زیستگاه‌های جانوری و گیاهی ارزشمند هستند. با این حال، نرخ فزاینده تهاجم گونه‌های گیاهی غیربومی تهدیدی جدی برای یکپارچگی و عملکرد پوشش گیاهی حاشیه رودخانه، به‌ویژه گیاهان چوبی، به شمار می‌آید. این امر نتیجه مدیریت نادرست در اکوسیستم‌های رودخانه‌ای است. مدیریتی که بدون توجه به حیات جانوری و گیاهی، بر ساماندهی رودخانه، کانالیزه‌سازی، و ایجاد محیط‌های سبز مصنوعی متمرکز شده و با از بین بردن پوشش گیاهان حاشیه‌ای، نه تنها مشکل را حل نمی‌کند بلکه آسیب جدی به این اکوسیستم‌های ارزشمند وارد می‌کند. بنابراین، با توجه به تغییرات چشم‌گیر محیط رودخانه جاجرود بر اثر دخالت‌های انسانی، تنظیم رویکرد سیستمی در مدیریت رودخانه و نیز توجه ویژه به حفظ اکوسیستم‌های گیاهی حاشیه‌ای به‌عنوان یکی از عوامل کلیدی در پایداری محیط‌زیستی این منطقه، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

نتیجه‌گیری

کاهش مساحت مجرای رودخانه جاجرود و کاهش پوشش گیاهی حاشیه‌ای، همراه با افزایش کاربری‌های انسانی، بیانگر تغییراتی است که به شکلی پایدار بر ساختار و عملکرد اکوسیستم این رودخانه تأثیر گذاشته است. این تغییرات که عمدتاً ناشی از دخالت‌های انسانی نظیر گسترش اراضی کشاورزی و ایجاد عوارض انسانی هستند، تعادل زیست‌محیطی این منطقه را مختل کرده و به کاهش ظرفیت‌های طبیعی آن برای حفظ پایداری محیطی منجر شده‌اند. از بین رفتن زیستگاه‌های طبیعی در اثر چنین مداخلاتی، نه تنها اکوسیستم بومی را تهدید می‌کند بلکه فشار فزاینده‌ای را بر منابع طبیعی وارد می‌نماید. کاهش پوشش گیاهی حاشیه‌ای رودخانه، که نتیجه تغییرات کاربری اراضی و افزایش فعالیت‌های انسانی است، اثرات مخربی بر تنوع زیستی و اکوسیستم‌های بومی دارد. این تغییرات از یک‌سو زیستگاه گونه‌های گیاهی و جانوری را محدود می‌کند و از سوی دیگر ظرفیت طبیعی رودخانه را در تصفیه آلودگی‌ها و مدیریت جریان‌های آبی کاهش می‌دهد. کاهش این توانایی‌های اکولوژیکی می‌تواند بر چرخه آب و مواد مغذی تأثیر گذاشته و روند پایداری زیست‌محیطی منطقه را مختل سازد.

در همین راستا، افزایش مساحت جزایر رسوبی و گیاهی میان کانال، یکی دیگر از نشانه‌های تأثیرات انسانی و طبیعی بر رودخانه است. این تغییرات، هرچند در نگاه اول ممکن است به‌عنوان فرایندی طبیعی در رسوب‌گذاری تلقی شوند، اما با شدت گرفتن مداخلات انسانی به تغییرات ساختاری در بستر رودخانه منجر می‌شوند. این تغییرات نه تنها بر جریان آب و الگوهای رسوب‌گذاری تأثیر دارند، بلکه زیستگاه‌های گیاهی و جانوری را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند. علاوه بر این، کاهش تیپولوژی چمنزارها در حاشیه رودخانه جاجرود به دلیل تخریب پوشش گیاهی، یکی دیگر از پیامدهای نامطلوب

این تغییرات است. چمنزارها که به‌طور طبیعی در تثبیت خاک و کنترل فرسایش نقش مهمی ایفا می‌کنند، با تخریب مواجه شده و این امر موجب افزایش فرسایش خاک، کاهش ظرفیت ذخیره‌سازی آب و تشدید آسیب‌های زیست‌محیطی می‌شود. چنین روندی نشان‌دهنده ضعف در پایداری اکولوژیکی منطقه است. این تغییرات تأکید می‌کنند که برای حفاظت از رودخانه جاجرود و اکوسیستم‌های مشابه، باید رویکردی مبتنی بر پایداری محیطی اتخاذ شود. چنین رویکردی شامل مدیریت یکپارچه منابع آبی، احیای پوشش گیاهی بومی، محدودیت در تغییر کاربری اراضی و کاهش اثرات منفی فعالیت‌های انسانی خواهد بود. تنها از طریق چنین اقداماتی می‌توان از تداوم روند تخریب جلوگیری کرده و پایداری زیست‌محیطی این رودخانه ارزشمند را حفظ کرد.

حامی مالی

این اثر تحت حمایت مادی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF) برگرفته‌شده از طرح شماره ۴۰۱۵۹۰۳ انجام شده است.

سهم نویسندگان

نویسندگان در تمام مراحل و بخش‌های انجام پژوهش سهم برابر داشتند.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در ارتباط با نویسندگی یا انتشار مقاله ندارند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از تمامی کسانی که در انجام پژوهش حاضر یاری‌رسان بوده‌اند، به‌ویژه کسانی که کار ارزیابی کیفیت مقاله را انجام دادند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

- لایقی، صدیقه؛ کرم، امیر و شایان، سیاوش. (۱۳۹۴). هیدروژئومورفولوژی رودخانه با تأکید بر پتانسیل احیا و وضعیت پوشش گیاهی بر اساس مدل کیفی روزگن (مطالعه موردی: رودخانه جاجرود). *سومین همایش ملی انجمن ایرانی ژئومورفولوژی، ژئومورفولوژی و بحران آب*. ۲۹ اردیبهشت ۱۳۹۴. تهران: دانشکده علوم جغرافیایی.
- سربازی، زهرا؛ ثروتی، محمدرضا و سبک خیز، فاطمه. (۱۳۹۵). تحلیل مقایسه‌ای فعالیت‌های تکتونیک در حوضه‌های حبله رود، رود حاجی عرب و جاجرود با استفاده از روش‌های مورفومتری. *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، ۹(۳۱)، ۷۶-۵۵.
- دارابی شاهماری، سحر؛ قنواتی، عزت اله و احمدآبادی، علی. (۱۴۰۲). بررسی حساسیت ژئومورفیک رودخانه طالقان با تأکید بر نقش پوشش گیاهان حاشیه‌ای. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۱۲(۱)، ۲۰۵-۲۲۳. [Doi:10.22034/GMPJ.2023.384198.1414](https://doi.org/10.22034/GMPJ.2023.384198.1414)
- دارابی شاهماری، سحر؛ قنواتی، عزت اله و احمدآبادی، علی. (۱۳۹۹). تحلیل زیستگاه‌های حاشیه‌ای رودخانه طالقان بر اساس واحدهای ژئومورفیک رودخانه‌ای. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۹(۲)، ۶۰-۸۰. [Doi:10.22034/GMPJ.2020.118225](https://doi.org/10.22034/GMPJ.2020.118225)
- رامشت، محمدحسین؛ آراء، هاید؛ شایان، سیاوش و یمانی، مجتبی. (۱۳۹۱). ارزیابی دقت و صحت شاخص‌های ژئومورفولوژیکی با استفاده از داده‌های ژئودینامیکی (مطالعه موردی: حوضه آبریز جاجرود در شمال شرق تهران). *جغرافیای و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۳(۲)، ۳۵-۵۲.
- قنبری، عاطفه. (۱۳۹۹). *آسیب‌شناسی ورود گردشگران به پهنه‌های اکولوژیک رودخانه‌ای مورد مطالعه حوضه رودخانه جاجرود*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکز، دانشکده ادبیات و علوم انسانی.

عطری، شیده؛ پناهی، مصطفی؛ ارجمندی، رضا و قره گوزلو، علی رضا. (۱۴۰۰). مدل سازی پیش بینی مجموعه حفاظت شده جاجرود، بر اساس ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی ۳۰ سال گذشته با استفاده از نرم افزار InVEST. فصلنامه علوم محیطی،

۲۱۹-۲۳۸، (۱)۱۹. Doi:10.52547/ENVS.32021

ایلانلو، مریم و کرم، امیر. (۱۳۹۹). ارزیابی شرایط هیدرومورفولوژیکی رودخانه جاجرود با استفاده از روش MQI. تحقیقات

جغرافیایی کاربردی، ۲۰(۵۶)، ۳۵-۵۳. Doi:10.29252/jgs.20.56.35

حسین زاده، محمد مهدی؛ صالحی پور میلانی، علیرضا و حیدری، شیدا. (۱۴۰۳). تغییرات ژئومورفیک رودخانه چشمه کله در

محدوده جلگه ساحلی غرب مازندران. پژوهش های جغرافیای طبیعی، ۵۶(۳)، ۹۵-۱۱۴. Doi:10.22059/JPHGR.2024.385658.1007853

رحیمی، نعیمه؛ صالحی پور، علیرضا و خالقی، سمیه. (۱۴۰۳). ارزیابی کمی اثر سیلاب بر تغییرات مجرای رودخانه مطالعه موردی:

رودخانه سدیح استان هرمزگان. پژوهش های جغرافیای طبیعی، ۵۶(۱)، ۱-۲۳. Doi:10.22059/JPHGR.2024.374771.1007823

رضایی، مرضیه؛ یاسی، مهدی و فرهودی، جواد. (۱۴۰۱). بررسی تأثیر احداث سد بر پارامترهای اکولوژیکی رودخانه (جاجرود-

پایین دست لتیان). اکوهیدرولوژی، ۹(۴)، ۷۹۷-۸۱۴. Doi:10.22059/IJE.2023.346827.1669

References

- Allahdadi, Z., Malmasi, S., Montazeralzohour, M., Moein Sadeghi, S., & Khabbazan, M. (2022). Presenting the spatio-temporal model for predicting and determining permissible land use changes based on drinking water quality standards: a case study of Northern Iran. *Resources*, 11(11), 103. <https://doi.org/10.3390/resources11110103>
- Atari, Sh., Panahi, M., Arjamandi, R., & Gharehgozlu, A. R. (2021). Predictive modeling of Jajroud protected area based on evaluation of land use change trends over the past 30 years using InVEST software. *Environmental Sciences Quarterly*, 19(1), 219-238. <https://doi.org/10.52547/ENVS.32021> [in persian].
- Belletti, B., Rinaldi, M., Bussettini, M., Comiti, F., Gurnell, AM., Mao, L., Nardi, L., & Vezza, P. (2017). Characterising physical habitats and fluvial hydromorphology: A new system for the survey and classification of river geomorphic units. *Geomorphology*, 283, 143-57. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.01.032>
- Chaulagain, S., Stone, M. C., Morrison, R. R., Yang, L., Coonrod, J., & Villa, NE. (2023). Determining the response of riparian vegetation and river morphology to drought using Google Earth Engine and machine learning. *Journal of Arid Environments*, 219, 105068. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2023.105068>
- Darabi Shahmari, S., Ghanavati, E., & Ahmadabadi, A. (2020). Analysis of riparian habitats of Taleghan River based on fluvial geomorphic units. *Quantitative Geomorphological Research*, 9(2), 60-80. <https://doi.org/10.22034/GMPJ.2020.118225> [in persian].
- Darabi Shahmari, S., Ghanavati, E., & Ahmadabadi, A. (2023). Geomorphic sensitivity assessment of Taleghan River with emphasis on the role of riparian vegetation. *Quantitative Geomorphological Research*, 12(1), 205-223. <https://doi.org/10.22034/GMPJ.2023.384198.1414> [in persian].
- Darabi Shahmari, S., Ghanavati, E., & Ahmadabadi, A. (2024). Evolution of riparian vegetation in response to anthropogenic effects: The Taleqan River, Iran. *Earth Surface Processes & Landforms*, 49(11), 3620-3637.
- Felipe- Lucia, M. R., Soliveres, S., Penone, C., Fischer, M., Ammer, C., Boch, S., Boeddinghaus, R. S., Bonkowski, M., Buscot, F., Fiore- Donno, A. M., Frank, K., Goldmann, K., Gossner, M. M., Hölzel, N., Jochum, M., Kandeler, E., Klaus, V. H., Kleinebecker, T., Leimer, S., & Allan, E. (2020). Land- use intensity alters networks between biodiversity, ecosystem functions, and services. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117(45), 28140-28149. <https://doi.org/10.1073/pnas.20162101>
- Ghanbari, A. (2020). *Pathology of tourist entry to riverine ecological zones: Case study of Jajroud River basin*. Master's Thesis, Islamic Azad University, Central Tehran Branch, Faculty of Literature and Humanities. [in persian].

- Gong, Y., Ye, C., & Zhang, Q. (2023). Effects of flooding outweigh those of vegetation restoration on key processes of carbon and nitrogen cycling in a degraded riparian zone. *Catena*, 1, 220:106610. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106610>
- Habel, J. C., & Ulrich, W. (2021). Ecosystem functions in degraded riparian forests of southeastern Kenya. *Ecology and Evolution*, 11(18), 12665-75. <https://doi.org/10.1002/ece3.8011>
- Hironobu, S., Varawoot, V., & Whitaker, A. C. (2003). Stochastic flow duration curves for evaluation of flow regimes in rivers. *Journal of the American Water Resources Association*, 39(1), 47–58. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2003.tb01560.x>
- Hooper, D. U., Chapin, F. S., Ewel, J. J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., Lawton, J. H., Lodge, D. M., Loreau, M., Naeem, S., Schmid, B., Setälä, H., Symstad, A. J., Vandermeer, J., & Wardle, D. A. (2005). Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, 75(1), 3–35. <https://doi.org/10.1890/04-0922>
- Hoppenreijts, J. H., Eckstein, R. L., & Lind, L. (2022). Pressures on boreal riparian vegetation: A literature review. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9, 806130. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.806130>
- Hosseinzadeh, M. M., Salehipour Milani, A., & Heydari, Sh. (2024). Geomorphic changes of Cheshmeh Kileh River in the coastal plain area of western Mazandaran. *Physical Geography Research*, 56(3), 95–114. <https://doi.org/10.22059/JPHGR.2024.385658.1007853> [in persian]. <https://doi.org/10.1002/esp.5891>
- Ilanlou, M., & Karam, A. (2020). Assessment of the hydromorphological conditions of the Jajroud River using the MQI method. *Applied Geographical Research*, 20(56), 35–53. <https://doi.org/10.29252/jgs.20.56.35> [in persian].
- Layeghi, S., Karam, A., & Shayan, S. (2015). Hydrogeomorphology of the river with emphasis on rehabilitation potential and vegetation status based on the Rosgen qualitative model (Case study: Jajroud River). *The 3rd National Conference of the Iranian Geomorphology Association: Geomorphology and Water Crisis, May 19, 2015. Tehran: Faculty of Geographical Sciences*. [in persian].
- Lin, Z. S., & Wang, S. G. (2002). Study on the relation s between the animal species extinction and habitat destruction. *Acta Ecologica Sinica*, 22(4), 535–540.
- Medeiros, P. M., Seidel, M., Ward, N. D., Carpenter, E. J., Gomes, H. R., Niggemann, J., Krusche, A. V., Richey, J. E., Yager, P. L., & Dittmar, T. (2015). Fate of the Amazon River dissolved organic matter in the tropical Atlantic Ocean. *Global Biogeochemical Cycles*, 29(5), 677-90. <https://doi.org/10.1002/2015GB005115>
- Rahimi, N., Salehipour, A., & Khaleghi, S. (2024). Quantitative evaluation of the flood impact on river channel changes: Case study of Sedij River in Hormozgan Province. *Physical Geography Research*, 56(1), 1–23. <https://doi.org/10.22059/JPHGR.2024.374771.1007823> [in persian].
- Ramesht, M. H., Ara, H., Shayan, S., & Yamani, M. (2012). Evaluation of the accuracy and reliability of geomorphological indices using geodynamic data (Case study: Jajroud watershed in the northeast of Tehran). *Geography and Environmental Planning*, 23(2), 35–52. [in persian]. <http://irdoi.ir/493-650-999-890>
- Rezaei, M., Yasi, M., & Farhodi, J. (2022). Investigating the impact of dam construction on river ecological parameters (Jajroud – downstream of Latian Dam). *Ecohydrology*, 9(4), 797–814. <https://doi.org/10.22059/IJE.2023.346827.1669> [in persian].
- Rinaldi, M., Belletti, B., Comiti, F., & Nardi, L. (2015). The Geomorphic Units survey and classification System (GUS), Deliverable 6.2, Part 4, of REFORM (REstoring rivers FOR effective catchment Management), a Collaborative project (large-scale integrating project) funded by the European Commission within the 7th Framework Programme under Grant Agreement 282656. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/283539400>
- Rodrigues, J. M., de Souza, J. O., Xavier, R. A., Santos, C. A., & da Silva, R. M. (2023). Geomorphic changes in river styles in a typical catchment of the Brazilian semiarid region. *Catena*, 232, 107423. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107423>
- Rubi, J. A., & Görres, J. H. (2022). The effects of mycorrhizae on phosphorus mitigation and pollinator habitat restoration within riparian buffers on uncaded land. *Restoration Ecology*, 31(1), e13671. <https://doi.org/10.1111/rec.13671>

- Sarbazi, Z., Servati, M. R., & Sabokkhiz, F. (2016). A comparative analysis of tectonic activities in the basins of Hableh Rood, Haji Arab River, and Jajroud River using morphometric methods. *Journal of Physical Geography*, 9(31), 55–76. [in persian].
- Sharma, A., Patel, P. L., & Sharma, P. J. (2022). Influence of climate and land-use changes on the sensitivity of SWAT model parameters and water availability in a semi-arid river basin. *Catena*, 215, 106298. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106298>
- Sunil, C., Somashekar, R. K., & Nagaraja, B. C. (2011). Impact of anthropogenic disturbances on riparian forest ecology and ecosystem services in Southern India. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 7(4), 273-82. <https://doi.org/10.1080/21513732.2011.631939>
- Tomlinson, S. M., & d'Carlo, H. E. (2003). The need for high resolution time series data to characterize Hawaiian streams. *Journal of The American Water Resources Association*. 39(1): 113–123. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2003.tb01565.x>
- Tschumi, M., Ekroos, J., Hjort, C., Smith, H. G., & Birkhofer, K. (2018). Predation- mediated ecosystem services and disservices in agricultural landscapes. *Ecological Applications*, 28(8), 2109–2118. <https://doi.org/10.1002/eap.1799>
- Van der Most, M., & Hudson, P. F. (2018). The influence of floodplain geomorphology and hydrologic connectivity on alligator gar (*Atractosteus spatula*) habitat along the embanked floodplain of the Lower Mississippi River. *Geomorphology*, 302, 62-75. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.09.032>
- Wohl, E. (2014). Time and the rivers flowing: Fluvial geomorphology since 1960. *Geomorphology*, 1(216), 263-82. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.04.012>
- Yang, J., Li, E. H., Yang, C., Xia, Y., & Zhou, R. (2022). Effects of South-to-North water diversion project cascade dams on riparian vegetation along the middle and lower reaches of the Hanjiang River, China. *Frontiers in Plant Science*, 13, 849010. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.849010>
- Ye, F., Chen, Q., & Li, R. (2010). Modelling the riparian vegetation evolution due to flow regulation of Lijiang River by unstructured cellular automata. *Ecological informatics*, 5(2), 108-14. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2009.08.002>
- Yonaba, R., Koïta, M., Mounirou, L. A., Tazen, F., Queloz, P., Biaou, A. C., Niang, D., Zouré, C., Karambiri, H., & Yacouba, H. (2021). Spatial and transient modelling of land use/land cover (LULC) dynamics in a Sahelian landscape under semi-arid climate in northern Burkina Faso. *Land Use Policy*, 103, 105305. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105305>
- Zheng, J., Wang, L., & Li, C. (2023). Trends and Hotspots in Riparian Restoration Research: A Global Bibliometric Analysis during 1990–2022. *Forests*, 14(11), 2205. <https://doi.org/10.3390/f14112205>