



Scientific Journal of

Sustainable Development of Geographical Environment



Vol. 8 No. 18, Autumn 2026

Original Article

Analysis of Changes in the Channel Planform and River Bank Changes During the Period 2009-2024 (Jalair River, Markazi Province)

Mohammadmahdi Hosseinzadeh¹ , Samaneh Derikvand^{1*}

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

Abstract

Introduction: Over the past few decades, the Jalair River has undergone varying degrees of morphological change, resulting in diverse consequences. Accordingly, this study was conducted to investigate and analyze evolutionary trends, examine the resulting changes, and ultimately identify the relationship between these trends and their controlling factors. The analysis was carried out across three time periods (2009, 2014, 2024) for river management purposes, focusing on two reaches: the first reach spanning 3 kilometers (divided into 2 sections) and the second reach spanning 4 kilometers (divided into 3 sections).

Materials and Methods: The Jalair River basin is one of the watersheds in Central Iran, located in the Khazarazan district of Tafresh County. It is a sub-basin of the Qarachai River, which discharges into the Salt Lake (Namak Lake). The highest point of the basin is Siah Kamar Mountain in the southeastern part, at an elevation of 3074 meters above sea level, while the lowest point is at the basin outlet, at 1238 meters above sea level. The required data for this research were collected using hydrometric data from the Jalair station, Google Earth satellite imagery, field observations, and surveys. Subsequently, the data were analyzed using ArcGIS, Google Earth, and Excel software. Given the total length of the Jalair River (7 kilometers), the study area was divided into northern and southern sections. For a more detailed examination, the river course was further segmented into upstream and downstream reaches based on changes in pattern, slope, and channel position. To investigate changes in the channel planform, the right and left banks of each river reach were initially delineated for different years (2009, 2014, and 2024). These delineations were then overlaid to calculate the displaced area. Finally, riverbank changes were analyzed using the River Network Change Index (RNCI) and planform change analysis.

Results and Discussion: The results obtained using the River Network Change Index across the three studied time periods revealed that, in the first period, all right banks of the reaches in this section were aggradational, with Reach 2 experiencing the highest sedimentation. The left bank of Reach 1 was aggradational, while the left bank of Reach 2 was erosional. In the second period, all right banks of the reaches in this section were erosional, with Reach 1 experiencing the highest erosion. All left banks of the reaches were aggradational, with Reach 2 exhibiting the highest sedimentation. In the third period, all left and right banks in Reaches 1 and 2 were aggradational. The highest average rate of periodic change occurred in the second period on the left bank. Furthermore, the analysis of channel planform changes showed that the two adjacent reaches exhibited contrasting behaviors over the 15-year period; Reach 1 experienced a 11% reduction in area (narrowing), while Reach 2 experienced a 11% increase in area (widening). This disparity reveals a strong dependence of each reach's morphological response on local characteristics and the combined effect of extreme hydrological events.

Conclusion: The change analysis indicates a predominant long-term trend of aggradation. However, the occurrence of intermittent erosional phases (particularly on the right bank) and intense changes in specific reaches suggest the influence of extreme hydrological events and non-uniform morphological responses along the river. A persistent pattern of asymmetry between banks is also observed, with the right bank exhibiting a greater tendency toward erosional behavior. Furthermore, different reaches demonstrated varied responses, with Reach 2 being a focal point of intense change. The results of the river planform change study also reveal that the river is a dynamic and non-uniform system. At the long-term scale (15 years), the dominant trend is aggradation, but this trend was not uniform along the river, as two adjacent reaches exhibited opposing behaviors.

Keywords: River Bank Changes, Morphology, Channel Planform, Jalair, Sedimentation.

Citation: Hosseinzadeh, M., & Derikvand, S. (2026). Analysis of Changes in the Channel Planform and River Bank Changes During the Period 2009-2024 (Jalair River, Markazi Province). *Sustainable Development of Geographical Environment*, Vol. 8, No. 18, (1-15). <https://doi.org/10.48308/sdge.2026.243575.1298>

Received: 15/02/2026

Revised: 16/05/2026

Accepted: 25/05/2026

* Corresponding Author's Email: s.derikvand@mail.sbu.ac.ir



Copyright: © 2025 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/>).



تحلیل تغییرات پلنفرم کانال و تغییرات کرانه رودخانه در بازه زمانی ۲۰۲۴-۲۰۰۹

(رودخانه جلایر، استان مرکزی)

محمد مهدی حسین زاده^۱، سمانه دریگوند^{۱*}

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

چکیده

مقدمه: رودخانه جلایر طی چند دهه گذشته تحت تأثیر سطوح مختلفی از تغییرات مورفولوژیک با پیامدهای گوناگون قرار گرفته است. از این رو این تحقیق با هدف بررسی و تحلیل روندهای تکاملی، تجزیه و تحلیل تغییرات ایجاد شده و در نهایت شناسایی ارتباط بین این روندها و عوامل کنترل کننده آنها طی سه بازه زمانی از سال ۲۰۰۹-۲۰۲۴ در راستای مدیریت رودخانه در دو بازه، بازه اول به طول ۳ کیلومتر (بخش ۲) و بازه دوم به طول ۴ کیلومتر (بخش ۳) مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: حوضه آبخیز جلایر یکی از حوضه‌ها در بخش ایران مرکزی در شهرستان تفرش، از زیر حوضه‌های رودخانه فره چای است که به دریاچه نمک می‌ریزد. بلندترین نقطه ارتفاعی حوضه کوه سیاه کمر در جنوب شرقی حوضه با ارتفاع ۳۰۷۴ متر از سطح دریا و پست‌ترین نقطه حوضه در محل خروجی حوضه دارای ارتفاع ۱۲۳۸ متر از سطح دریا است. داده‌های مورد استفاده از داده‌های هیدرومتری ایستگاه جلایر، تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث، مشاهدات و برداشت‌های میدانی جمع‌آوری شد. سپس با استفاده از نرم‌افزارهای Arc GIS، Google Earth، Excel بررسی شد. با توجه به طول رودخانه جلایر (۷ کیلومتر)، محدوده مورد بررسی به دو بخش شمالی و جنوبی تقسیم‌بندی شد. جهت بررسی دقیق‌تر، مسیر رودخانه به دو بازه بالادست و پایین‌دست بر اساس تغییرات الگو، شیب و موقعیت کانال بازه بندی شد. به منظور بررسی تغییرات پلانفرم کانال، ابتدا کناره‌های راست و چپ هر کدام از بازه‌های رودخانه در سال‌های مختلف (برای سال‌های ۲۰۰۹، ۲۰۱۴ و ۲۰۲۴) ترسیم و سپس با روی هم گذاری آنها مساحت جابه‌جاشده محاسبه شد و در انتها تغییرات کرانه رودخانه با استفاده از شاخص تغییرات شبکه رودخانه (RNCI) و تغییرات پلانفرم رود مورد تحلیل قرار گرفت.

نتایج و بحث: نتایج به دست آمده با استفاده از شاخص تغییر شبکه رودخانه در سه دوره زمانی مورد مطالعه نشان داد که در دوره زمانی اول تمام کناره‌های راست بازه‌های این بخش از نوع تراکمی بوده و بازه ۲ بیشترین رسوب‌گذاری را داشته است. کناره چپ بازه ۱ از نوع تراکمی بوده و کناره چپ بازه ۲ فرسایشی است. در دوره زمانی دوم کناره‌های راست از نوع فرسایشی بوده و بازه ۱ بیشترین میزان فرسایش را داشته است. تمام کناره‌های چپ بازه‌های این بخش از نوع تراکمی و بازه ۲ بیشترین میزان رسوب‌گذاری را داشته است. بیشترین میزان میانگین تغییرات دوره‌ای در دوره زمانی دوم در کناره چپ رخ داده است. همچنین بررسی تغییرات پلانفرم کانال نشان داد که دو بازه مجاور در دوره ۱۵ ساله رفتار متضادی داشته‌اند به طوری که بازه ۱ با کاهش ۱۱ درصدی مساحت (تنگ‌شدگی) و بازه ۲ با افزایش ۱۱ درصدی (گسترش) مواجه شده‌اند. این تفاوت، وابستگی شدید پاسخ مورفولوژیک هر بخش به ویژگی‌های محلی و اثر مشترک رویدادهای هیدرولوژیکی حدی را آشکار می‌سازد.

نتیجه‌گیری: تحلیل تغییرات نشان‌دهنده روند غالب رسوب‌گذاری در بلندمدت است، اما وقوع دوره‌های فرسایشی میانی (به‌ویژه در کرانه راست) و تغییرات شدید در بازه‌های خاص، حاکی از تأثیر رویدادهای هیدرولوژیکی شدید و ناهمگونی پاسخ‌های مورفولوژیک در طول رودخانه می‌باشد. همچنین الگوی عدم تقارن پایدار بین کرانه‌ها مشاهده می‌شود، به طوری که کرانه راست تمایل بیشتری به رفتار فرسایشی دارد. همچنین، بازه‌های مختلف پاسخ‌های متفاوتی نشان داده‌اند که بازه ۲ یک نقطه کانونی با تغییرات شدید است. همچنین نتایج مطالعه تغییرات پلان رود نشان می‌دهد رودخانه یک سیستم دینامیک و غیریکنواخت است. در مقیاس بلندمدت (۱۵ ساله)، روند غالب رسوب‌گذاری است، اما این روند در طول رودخانه یکسان نبوده و دو بازه مجاور رفتار متضادی از خود نشان داده‌اند.

واژه‌های کلیدی: تغییرات کرانه رودخانه، مورفولوژی، پلانفرم کانال، جلایر، رسوب‌گذاری

استناد: حسین زاده، م. و دریگوند، س. (۱۴۰۵). تحلیل تغییرات پلانفرم کانال و تغییرات کرانه رودخانه در بازه زمانی ۲۰۰۹-۲۰۲۴ (رودخانه جلایر، استان مرکزی). توسعه پایدار محیط جغرافیایی، دوره ۸، شماره ۱۸، پاییز ۱۴۰۵. (۱-۱۵).

<https://doi.org/10.48308/sdgc.2026.243575.1298>

پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۰۴

بازنگری: ۱۴۰۵/۰۲/۲۶

دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۲۶

* رایانامه نویسنده مسئول: s.derikvand@mail.sbu.ac.ir

مقدمه

رودخانه در ژئومورفولوژی و هیدرولوژی، به عنوان یک سیستم طبیعی پویا تعریف می‌شود که جریان آب سطحی را در یک شبکه هیدرولوژیکی سازمان یافته از طریق کانال‌های تعریف شده به سمت پایین دست (دریا، دریاچه یا اقیانوس) هدایت می‌کند. این سیستم به عنوان بخشی جدایی‌ناپذیر از چرخه هیدرولوژیکی، نقش اساسی در انتقال آب، رسوب، مواد مغذی و انرژی در سطح حوضه آبریز ایفا می‌کند و شکل‌دهنده چشم‌اندازها از طریق فرآیندهای فرسایش، انتقال و رسوب‌گذاری است (Wohl, 2020). رودخانه‌ها و آبراهه‌ها دارای یک سیستم دینامیک هستند و به طور مداوم در حال تغییر و تحول‌اند. عوامل محرکه تغییرات رودخانه‌ها می‌تواند شامل عوامل طبیعی و انسانی باشد (Rahimi et al., 2024). عوامل طبیعی می‌توانند شامل رخداد‌های سیلابی با دوره بازگشت طولانی، تغییرات اقلیمی و هیدرولوژیکی و مقاومت سنگ‌شناسی کناره‌ها و بستر باشد (Khanbabaee et al., 2017) و عوامل انسانی شامل سدسازی و انحراف آب، برداشت مصالح از بستر رودخانه (شن و ماسه)، احیای اراضی و تخریب حریم رودخانه و تغییر کاربری اراضی حوضه آبریز هستند (Hosseinzadeh et al., 2025). رودخانه‌های آبرفتی از عناصر پویای چشم‌اندازها به شمار می‌آیند، آن‌ها در پاسخ به تغییرات جریان و رسوب، پوشش گیاهی و شرایط اقلیمی واکنش‌های مختلفی نشان می‌دهند. اساساً دینامیک کانال، اکوسیستم‌های رودخانه‌ای و دشت سیلابی را شکل می‌دهند. کانال‌ها در نتیجه فرسایش پیشرونده کرانه، فرسایش و رسوب‌گذاری بستر جابه‌جا می‌شوند (Konrad et al., 2011). بررسی جزئیات روند تکاملی رودخانه‌ها در بازه‌های زمانی طولانی‌تر جهت ارزیابی بزرگی فرآیندها، شناسایی روندها و شناسایی علل تغییرات کانال بسیار مهم است؛ زیرا درک بهتر و علمی آن‌ها، برای تفسیر شرایط فعلی کانال یک موضوع حیاتی می‌باشد. تغییرات پلان فرم کانال به دلیل ناپایداری‌های عمودی و جانبی (برش و عریض شدگی) در این گونه از رودخانه‌ها که از پیامدهای فعالیت‌های انسانی (شدیدتر) و طبیعی می‌باشد، باعث ایجاد مشکلات متعددی هم برای مدیران و هم سایر جمعیت بهره‌بردار شده است (surian et al., 2009). تغییرات کانال رودخانه از دیرباز با هدف شناسایی علل آن‌ها و تعیین روابط بین تغییرات محیطی و تأثیرات آن در رودخانه‌ها، توجه دانشمندان را به خود جلب کرده است؛ زیرا شکل کانال یا مورفومتری کانال به عنوان یک ابزار تشخیصی در ارزیابی لن‌دفرم‌های رودخانه‌ای شناخته شده است. جغرافیدان‌ها، ژئومورفولوژیست‌ها و زمین‌شناسان از شکل کانال به عنوان یک پارامتر مهم در طبقه‌بندی، آنالیز و پیش‌بینی پاسخ‌های رودخانه‌ای استفاده کرده‌اند (Esmaeili et al., 2017). در سطح جهان مطالعات زیادی در زمینه تغییرات مورفولوژیک رودخانه‌ها و عوامل مؤثر بر آن‌ها انجام گرفته است. در طول دهه‌های گذشته، پژوهشگران به مطالعات گسترده‌ای در خصوص شناسایی و بررسی روندها و تغییرات بلندمدت مورفولوژی کانال رودخانه (در مقیاس‌های دهه و صدسال) پرداخته‌اند. تحلیل مورفولوژی رودخانه و بررسی روند تغییرات مکانی، از جمله جنبه‌های کلیدی در پژوهش‌های مربوط به این حوزه به شمار می‌رود (Yamani et al., 2010). در بررسی تغییرات مورفولوژی رودخانه از روش‌های مختلفی استفاده شده است که می‌توان به روش تغییر شبکه رودخانه (RNCI)، ترکیب تغییرات طول، عرض و توزیع فازهای آب بر پایه سری‌های زمانی تصویر (RCDI)، ارزیابی تغییرات مقطعی (شکل مقطع) به علاوه پلانفرم (RMCI)، صرفاً تحلیل پلانفرم (طول، عرض، سینوسی، انحراف) (RPCA) و بررسی تغییر در اتصال به وسیله معیار گرافی (RCCI) اشاره کرد.

شاخص تغییرات شبکه رودخانه (RNCI) یک تکنیک مورفولوژیکی برای تشخیص فرایندهای ژئومورفولوژیک کنونی است (Yousefi et al., 2016). در مطالعات متعددی از RNCI برای شناسایی تغییرات کناره رودخانه که تحت تأثیر رویدادهای سیلابی بزرگ قرار گرفته بودند، استفاده شده است (Himayoun & Roshni, 2020; Yousefi et al., 2018).

جابه‌جایی پیچان‌رودها و تغییرات جانبی رودخانه ابرو در اسپانیا با استفاده از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای در بازه زمانی ۱۹۲۷ تا ۲۰۰۳ مورد مطالعه قرار گرفت (Magdaleno & Fernandez, ۲۰۱۱). وضعیت پایداری پیچان‌رودهای رودخانه باراک در آسام هند با استفاده از سیستم سنجش‌ازدور و GIS در فاصله زمانی ۱۹۷۶ تا ۲۰۱۰ مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج این مطالعه نشان داد که پیچان‌رودهای رودخانه در اطراف شهر ناپایدار و بحرانی بوده مناطق شهری در این بخش در معرض خطر

قرار دارد (Polak, ۲۰۱۲). نقش قدرت جریان در تنوع مورفولوژیکی رودخانه یامونا در غرب هندوستان مطالعه شد و به این نتیجه رسید که ارتباط نزدیکی بین قدرت جریان و مورفولوژی کانال وجود دارد (Bawa et al., ۲۰۱۴). با استفاده از تحلیل نقشه تاریخی، تغییرات پلان رودخانه تامارو (جنوب ایتالیا) از سال ۱۸۷۰ تا ۱۹۵۵ مورد بررسی قرار گرفت و نتایج مطالعه نشان داد که علت اصلی تغییرات فعالیت های انسانی می باشد (Maglilo et al., 2016).

در پژوهشی با عنوان ویژگی های مهاجرت کانال رودخانه یامونا از سال ۱۹۵۴ تا ۲۰۱۵ در آگرای هند با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، نتایج نشان داد که کاهش میزان دبی رودخانه در چند دهه اخیر ظرفیت فرسایشی رودخانه و رفتار مهاجرتی متعاقب آن را کاهش داده است (Ali et al., 2019).

در پژوهشی تحت عنوان شناسایی خصوصیات سیلاب ها و مرور راهبردهای مدیریت سیلاب برای افزایش تاب آوری جامعه در یک حوضه رودخانه ای گرمسیری در هند، از روش شاخص تغییرات شبکه رودخانه (RNCI) جهت مطالعه ویژگی های سیلاب ها و مرور راهبردهای مدیریت سیل جهت بهبود تاب آوری جامعه استفاده کرده اند (Ghosh et al., 2023). در پژوهشی با عنوان تغییرات مورفولوژی رودخانه و عوامل تأثیرگذار در رودخانه یللو در طی ۲۵ سال اخیر تغییرات مورفولوژی رودخانه و عوامل تأثیرگذار در رودخانه مورد مطالعه قرار داده اند. در این مطالعه تغییرات مکانی-زمانی مورفولوژی رودخانه با استفاده از پارامترهای مورفولوژی رودخانه مورد بررسی قرار گرفت (Qin et al., 2024).

در پژوهش دیگری با تأکید بر بررسی تغییرات مورفومتری رودخانه های پیچان رودی، تغییرات مورفومتری رودخانه چهل چای-ترماب با استفاده از عکس های هوایی و داده های گوگل ارث حداقل سال های ۱۳۴۵ تا ۱۳۹۲ مورد مطالعه قرار گرفته است (Jokarsarhangi et al., 2017). در پژوهشی با عنوان بررسی کمی تغییرات کانال رودخانه های الموت رود و شاهرود (شمال قزوین) در بازه زمانی (۱۳۶۰-۱۳۹۴)، تغییرات کانال رودخانه را با استفاده از تصاویر ماهواره ای و با استفاده از نرم افزار GIS همراه با نقشه برداری های توپوگرافی و زمین ریخت شناسی جهت ارزیابی روند تکاملی و تعیین شاخص های کلیدی مؤثر بر تغییرات کانال مطالعه کرده اند. نتایج نشان می دهد که شرایط اقلیمی، عوامل آب شناختی و فعالیت های انسان مهم ترین دلایل تغییرات بستر کانال هستند (Pasban et al., 2017). در پژوهشی با عنوان تحلیل تغییرات زمانی و پایداری پلانفرم آبراه رود نکا-مازندران با استفاده از روش ترانسکت و شاخص های مورفومتری و مورفودینامیک به تحلیل تغییرات زمانی و پایداری پلانفرم آبراه در سه مقطع زمانی بین سال های ۱۳۶۴ تا ۱۳۹۹ پرداخته اند. نتایج این مطالعه نشان داد که پارامترهای مورفومتری در طول رودخانه از بالادست به طرف پایین دست کاهش یافته است (Hosseinzadeh et al., 2024).

در پژوهشی با تأکید بر تغییرات مورفولوژیکی رودخانه هراز در اثر فشارهای انسانی در محدوده شهر آمل از سال ۱۳۴۷ تا ۱۴۰۰ نتیجه گرفته شده است که با تنگ شدگی رود و کاهش شدید موانع طولی، پلانفرم رودخانه از حالت شریانی به تک کانالی تغییر یافت. کاهش جریان پایه رود و کانال های آبیاری، تصرف دشت سیلابی و تغییر کاربری اراضی حاشیه رود از مهم ترین عوامل فشار در تغییرات مورفولوژیکی رود در محدوده مورد مطالعه بوده اند (Esmaeili & Norizadeh, 2023). در پژوهشی با عنوان کمی سازی تغییرات ژئومورفولوژیک رودخانه سفیدرود و بررسی ارتباط آن با ویژگی های هیدرولیکی سیلاب، نتایج بررسی نشان دهنده ارتباط شاخص های ژئومورفیک رودخانه با شدت سیلاب با دوره بازگشت های میان مدت بوده است. برخلاف انتظار در نواحی با شدت سیلاب بیشتر تغییرات کانال رودخانه کمتر بوده است. دلایل عمده آن را می توان با تأثیرگذاری هندسه مقطع کانال و شیب طولی کانال رودخانه مرتبط دانست (Amani et al., 2024). در پژوهش دیگری با تأکید بر ارزیابی تغییرات مورفولوژیکی رودخانه سدیج در اثر رخداد سیلاب ها در یک دوره ۱۱ ساله در قاعده دلتای سدیج، با استفاده از شاخص تغییرات شبکه رودخانه (RNCI)، نتیجه گرفته شده است که سیلاب حدی نسبت به دیگر سیلاب ها، تأثیرات زیادتری بر تغییرات ژئومورفولوژیکی عرض کانال و فرسایش شدید کرانه رودخانه داشته است (Rahimi et al., 2024).

در پژوهش دیگری با تأکید بر جابه جایی کانال و فرسایش کناره ای در رودخانه خرم رود طی بازه زمانی ۲۰۲۵-۲۰۰۶، با استفاده از داده های هیدرومتری ایستگاه ها، نقشه های توپوگرافی، تصاویر ماهواره ای گوگل ارث و مشاهدات و برداشت های

میدانی، نتایج نشان دهنده تغییرات عرض کانال و فروسایي رودخانه، فرسایش کناره‌ها با تشکیل دشت‌های سیلابی در رودخانه بوده است (Hosseinzadeh et al., 2025).

پژوهشی با عنوان تغییرات هیدرومورفولوژیک رودخانه چشمه‌علی دامغان در بازه زمانی ۱۹۶۱ تا ۲۰۲۳ چنین نتیجه گرفته شده است که بیشترین جابه‌جایی جانبی در سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۱۳ رخ داده است (Hosseinzadeh et al., 2024). جمع‌بندی نتایج پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهند که تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ها تحت تأثیر ترکیبی از عوامل هیدرولوژیکی (دبی، شدت سیل) و عوامل انسانی (تغییر کاربری اراضی، ساخت سدها، برداشت شن و ماسه) قرار دارد؛ در دوره‌های زمانی مختلف، برخی بخش‌ها با شیب بیشتر به دلیل سرعت جریان بالا و شیب بیشتر، بیشترین فرسایش و جابه‌جایی جانبی را تجربه کرده‌اند، در حالی که در نواحی شیب کم و با تراکم ماسه بالا، کاهش عرض کانال و تشکیل دشت‌های سیلابی مشهود است. در مجموع، روند کلی شامل کاهش عرض کانال، گسترش فروسایي، ناپایداری پلانفرم و تغییرات ناهمگون در نرخ مهاجرت جانبی است که پاسخ سیستم رودخانه‌ای به تغییرات اقلیمی و فشارهای انسانی را به‌صورت غیرخطی و مکان‌محور نمایان می‌سازد. رودخانه جلایر طی چند دهه گذشته تحت تأثیر سطوح مختلفی از تغییرات مورفولوژیک با پیامدهای گوناگونی قرار گرفته است و تاکنون مطالعات جامعی در رابطه با میزان تغییرات ایجاد شده در آن انجام نشده است. از این رو هدف از این تحقیق، بررسی و تحلیل روندهای تکاملی، میزان تغییرات ایجاد شده و در نهایت شناسایی ارتباط بین این روندها در بازه‌های زمانی ۲۰۰۹-۲۰۲۴ در راستای مدیریت رودخانه و کاهش اثرات منفی آن می‌باشد. تحلیل تغییرات رودخانه جلایر در طول دهه‌های گذشته می‌تواند شناخت ما را نسبت به فرآیندهای حاکم بر رودخانه ارتقاء دهد؛ همچنین نتایج به دست آمده از این پژوهش می‌تواند توسط مدیران و تصمیم‌گیرندگان در راستای احیاء و مدیریت رودخانه جلایر مورد استفاده قرار گیرد.

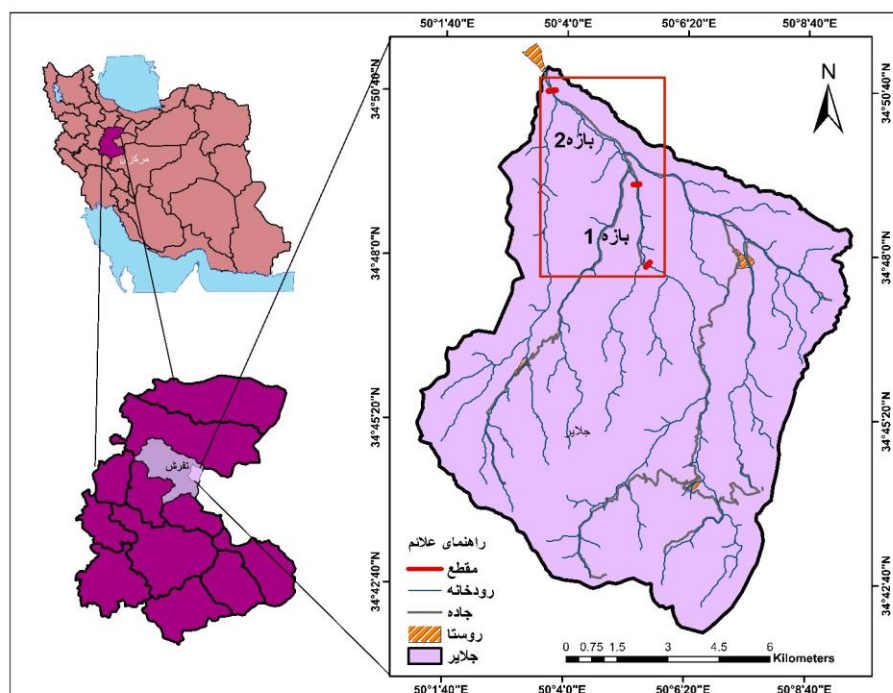
مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

این حوضه یکی از بخش‌های ایران مرکزی است و یکی از زیر حوضه‌های رودخانه قره‌چای که به دریاچه نمک می‌ریزد. زون ایران مرکزی یکی از تقسیمات زمین‌شناسی ایران می‌باشد که به‌صورت یک مثلث مرکز ایران قرار دارد. این زون از شمال به‌وسیله زون البرز بینالود و از شرق به‌وسیله زون نه‌بندان -خاش لوت مکران و از جنوب و غرب توسط زون زاگرس در بر گرفته شده است. تشکیلات و واحدهای موجود در منطقه مورد مطالعه، از قدیم به جدید شامل سنگ‌ها و رخساره‌های رسوبی متعلق به کرتاسه تا کواترنر است. قدیمی‌ترین تشکیلات منطقه مربوط به لوتنین زیرین (اوسن زیرین) می‌باشد که از ایگنبریت گدازه‌های اسیدی لایه‌ای تشکیل گردیده است. لایه‌های جوان‌تر شامل مواد پیروکلاستیک -آندزیت- گدازه آندزیت پورفیری آهک‌های توفی نومولیتی و ژئپس می‌باشد که مربوط به پریبونین (اوسن بالایی) می‌باشند. در اطراف شمالی حوضه تشکیلات قم نیز وجود دارد که عمدتاً اطراف روستای جلایر را شامل می‌گردد. آبرفت رودخانه‌ای که ترکیبی از آبرفت و واریزه دامنه‌های ارتفاعات است، خاک کشاورزی حوضه را تشکیل می‌دهند (kheiri et al., 2025). میانگین بارندگی سالانه محدوده ۵۹۱ میلی‌متر و انحراف معیار آن ۱۸۷ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالانه در حوضه ۱۳/۶ می‌باشد.

حوضه آبخیز جلایر با مساحت ۱۶۵۰۹/۳ هکتار از لحاظ تقسیمات کشوری در استان مرکزی، از لحاظ تقسیمات استانی در (بخش مرکزی) شهرستان تفرش دهستان خرازان واقع گردیده است (شکل ۱). بلندترین نقطه ارتفاعی حوضه کوه سیاه کمر در جنوب شرقی حوضه با ارتفاع ۳۰۷۴ متر از سطح دریا و پست‌ترین نقطه حوضه در محل خروجی حوضه دارای ارتفاع ۱۲۳۸ متر از سطح دریا است. منطقه مورد مطالعه در زون ۳۹ و به ترتیب بین طول‌های " ۵۰° ۰۳' ۱۱" تا " ۵۰° ۰۶' ۳۸" طول شرقی و " ۳۴° ۴۴' ۵۹" تا " ۴۸° ۳۹' ۴۵" عرض شمالی واقع شده است. حوضه مورد مطالعه از نظر طبقات ارتفاعی به ۷ طبقه تقسیم شده است که این طبقات از ارتفاع ۱۳۵۸ متر شروع شده و تا ارتفاع ۳۰۵۹ متر ادامه می‌یابد (نقشه ۱). در این مطالعه ۱۵ مقطع از رودخانه جلایر انتخاب گردید، بر اساس ایستگاه هیدرومتری جلایر حفاصل

روستای خانک تا ابره در و اتصال شاخه‌های فرعی رودخانه به طول ۷ کیلومتر مقاطع به دو بخش تقسیم شد، در قسمت بالادست ۷ مقطع و در پایین دست ۸ مقطع تعیین گردید.



شکل ۱. موقعیت منطقه در کشور و استان مرکزی (منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۵)

روش پژوهش

جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات به منظور بررسی تغییرات مورفولوژیک رودخانه جلایر با استفاده از ابزارهای فیزیکی مانند نقشه‌های توپوگرافی (۱:۲۵۰۰۰)، نقشه زمین‌شناسی تفرش (۱:۱۰۰۰۰۰) و تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث انجام شد. با بررسی آمار داده‌های ایستگاه هیدرومتری جلایر (سال‌هایی که دارای دبی بالاتری بودند که قابلیت ایجاد تغییرات در کانال را داشتند) و کیفیت تصاویر ماهواره‌ای موجود در محیط گوگل ارث از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۴، سال‌های ۲۰۰۹، ۲۰۱۴ و ۲۰۲۴ انتخاب شدند و نقشه‌های مورد نیاز در محیط نرم‌افزار Arc GIS ترسیم و رقومی شد. با توجه به طول رودخانه جلایر (۷ کیلومتر)، محدوده مورد بررسی به دو بخش شمالی و جنوبی تقسیم‌بندی شد. جهت بررسی دقیق‌تر طبق روش رینالدی و همکاران (Rinaldi et al., ۲۰۱۲)، مسیر رودخانه به دو بازه بالادست و پایین دست بر اساس تغییرات الگو، شیب و موقعیت کانال بازه بندی شد. به منظور بررسی تغییرات پلانفرم کانال، ابتدا کناره‌های راست و چپ هر کدام از بازه‌های رودخانه در سال‌های مختلف (برای سال‌های ۲۰۰۹، ۲۰۱۴ و ۲۰۲۴) ترسیم و سپس با روی هم گذاری آن‌ها مساحت جابه‌جا شده محاسبه شد و با استفاده از شاخص تغییر شبکه رودخانه (RNCI)، فرسایشی و تراکمی بودن هر کدام از بازه‌ها مشخص شد. مقدار مثبت RNCI نشان دهنده غلبه فرسایش است در حالی که مقدار منفی آن فرآیند رسوب‌گذاری در امتداد کرانه رودخانه را نشان می‌دهد (Agnihotri et al., ۲۰۱۹). با استفاده از این شاخص و بر اساس کانال فعال رودخانه، منطقه فرسایشی و منطقه رسوب‌گذاری طبق رابطه (۱) محاسبه می‌شود (Hoseinzadeh & Amiri, 2025).

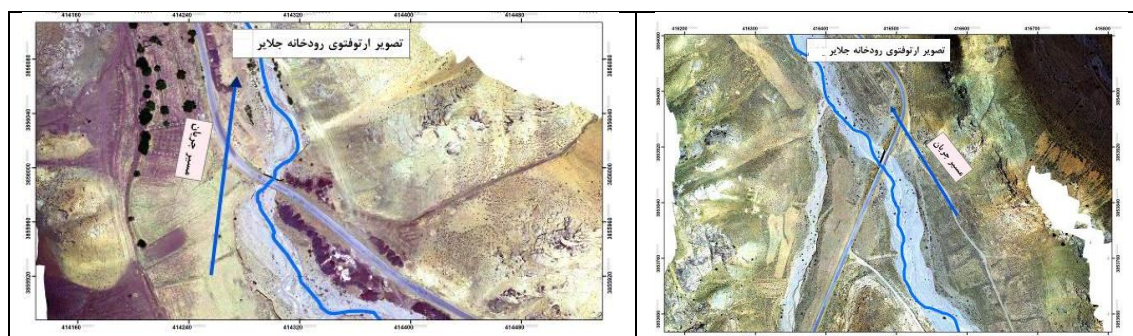
$$RNCI = \left(\frac{\sum EA - \sum DA}{L} \right) / T$$

رابطه ۱.

در این رابطه (DA): ناحیه رسوب گذاری، (EA): ناحیه فرسایش، (L): طول مستقیم مقاطع و (T): دوره زمانی مطالعه است. مساحت پلان در بازه‌ها به صورت مجزا به دست آمد و تغییرات مساحت در هر بازه مورد مطالعه قرار گرفت. کاهش مساحت نشان دهنده فروسایبی و کاهش ظرفیت کانال است و افزایش مساحت نشان دهنده افزایش میزان رسوب است. در ادامه اطلاعات داده‌ها به نرم افزار اکسل منتقل و جداول و نمودارهای آن‌ها ترسیم شدند و در نهایت تغییرات کناره‌های رودخانه در هر دو بخش در سال‌های مورد مطالعه مورد مقایسه و تغییرات آن‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

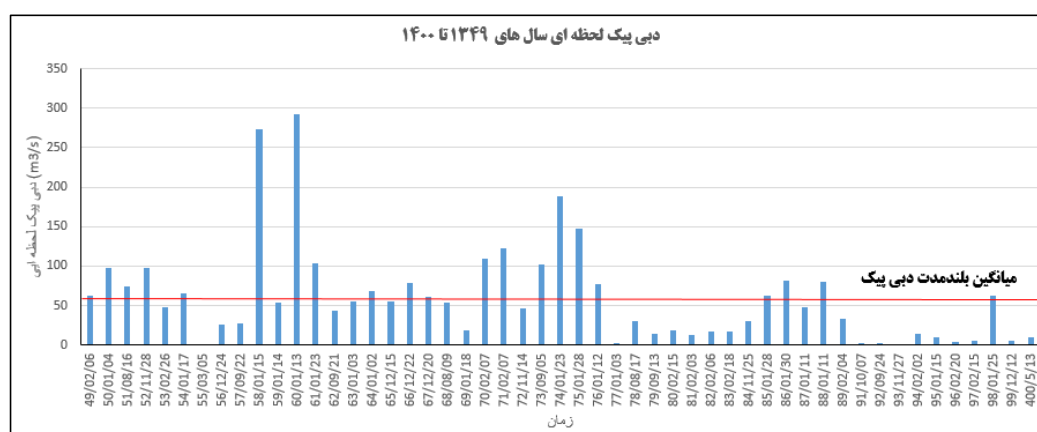
نتایج و بحث

بازه اول به طول ۳ کیلومتر در قسمت بالادست رودخانه جلایر قرار دارد. نوع کاربری در این بازه اغلب از نوع پوشش مرتعی و پوشش گیاهی باغی می‌باشد که در قسمت‌هایی از بازه توسط پوینت بار و بارهای آبرفتی با شیب ملایم محدود شده است. طبق روش بریلی و فریس ۲۰۰۵، الگوی رودخانه در این بازه از نوع مستقیم (ضریب خمیدگی ۱/۰۲) و تک کانالی است. همچنین بازه دوم به طول ۴ کیلومتر در قسمت پایین دست رودخانه جلایر قرار دارد. نوع کاربری در این بازه اغلب از نوع زمین‌های کشاورزی، زمین‌های بایر و پوشش مرتعی است و الگوی رودخانه در این بازه از نوع سینوسی (ضریب خمیدگی ۱/۰۶) و چندکانالی است (شکل ۲).



شکل ۲. تصاویر ارتوفتوی رودخانه جلایر در بازه اول و دوم (منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۵)

منطقه مورد مطالعه دارای یک ایستگاه هیدرومتری (جلایر) می‌باشد. میانگین دبی در دوره آماری (۲۰۰۹-۲۰۱۷) در این ایستگاه $2/7 \text{ m}^3/\text{s}$ می‌باشد. حداکثر دبی مشاهده شده در این ایستگاه $130/5 \text{ m}^3/\text{s}$ در سال ۲۰۰۹ ثبت شده است (شکل ۳). نتایج تغییرات کرانه رودخانه در بازه‌های مورد مطالعه: نتایج به دست آمده با استفاده از شاخص تغییر شبکه رودخانه در سه دوره زمانی مورد مطالعه نشان داد که در دوره زمانی اول، کناره‌های راست ($0/67 -$ متر) و چپ ($0/5 -$ متر) بازه اول از نوع تراکمی بوده در صورتی که در بازه دوم کرانه چپ فرسایشی بوده و $0/44$ متر در سال فرسایش را داشته است و کرانه راست تراکمی ($1/026 -$ متر) و بیشترین رسوب گذاری را در دوره مورد مطالعه داشته است.

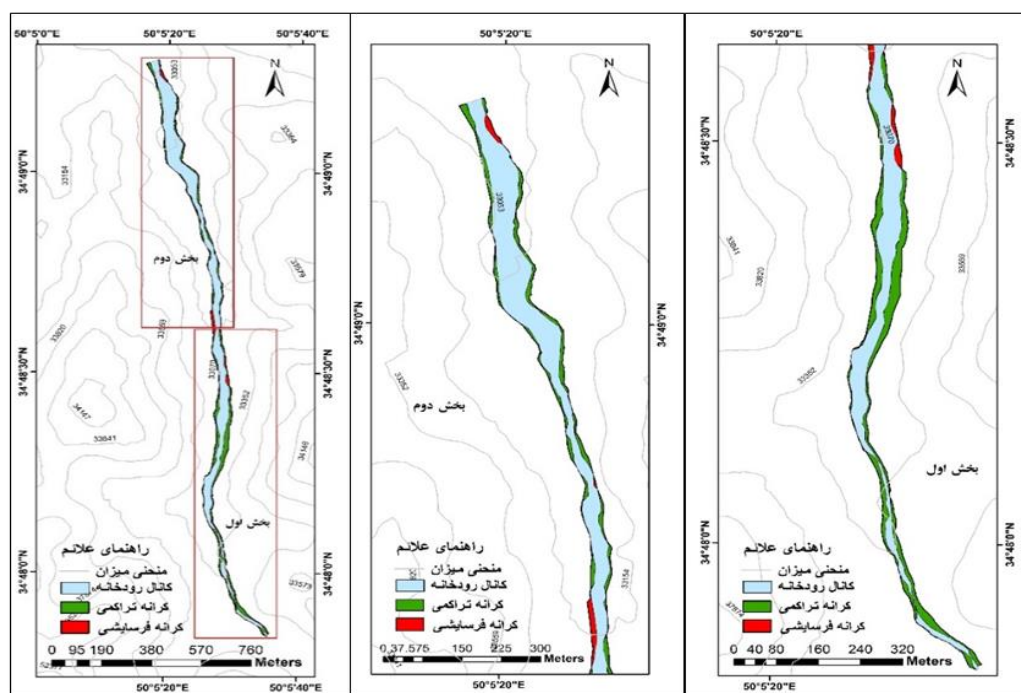


شکل ۳. نمودار دبی حداکثر لحظه‌ای ایستگاه هیدرومتری جلایر (دوره آماری ۱۳۴۹ تا ۱۴۰۰) (منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۵)

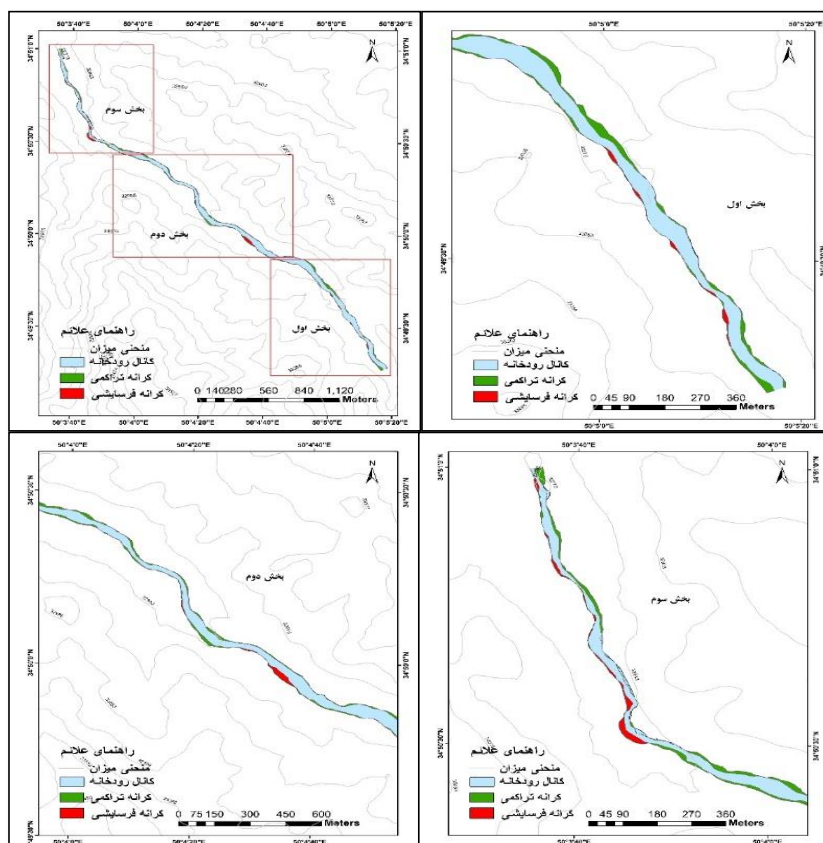
در دوره زمانی دوم کناره‌های راست بازه‌های مورد مطالعه (بازه یک با ۰/۱۵ متر و بازه دو با ۰/۱۴ متر در سال) دارای وضعیت فرسایشی بوده است. در مقابل کرانه چپ در هر دو بازه در شرایط تراکمی بوده است. شرایط تراکمی و رسوب‌گذاری آبرفت در کرانه چپ بازه دو (۰/۲۶ متر) بیشتر از کرانه چپ بازه یک (۰/۱۴ متر) بوده است. داده‌های موجود در دوره زمانی سوم یعنی وضعیت تغییرات کرانه در کل دوره نشان می‌دهد که هر دو کرانه در بازه‌های مورد مطالعه در شرایط تراکمی و کاهش عرض کانال قرار داشته است. لازم به ذکر است که میزان تراکم در هر دو بازه یکسان نبوده و در بازه اول، کرانه چپ رسوب‌گذاری بیشتری داشته (۰/۲۶ متر) در صورتی که در بازه دوم کرانه راست تراکم بیشتری را متحمل شده است (۰/۵۴ متر). میانگین تغییرات در کل دوره نشان داد که بیشترین میزان تغییرات دوره‌ای در دوره زمانی اول در کناره راست با ۰/۸۵ متر به صورت تراکمی، همچنین کمترین تغییرات در کرانه چپ در همین بازه زمانی با ۰/۰۳ متر در سال رخ داده است. (شکل ۴ و ۵).

جدول ۱. تغییرات کرانه رودخانه در بازه اول و دوم بر اساس شاخص تغییرات رودخانه در سال‌های مورد مطالعه (متر در سال)
(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۵)

دوره زمانی Time period		۲۰۰۹-۲۰۲۴		۲۰۱۴-۲۰۲۴		۲۰۰۹-۲۰۱۴	
بازه reach		کرانه چپ Left Bank	کرانه راست Rifgt Bank	کرانه چپ Left Bank	کرانه راست Rifgt Bank	کرانه چپ Left Bank	کرانه راست Rifgt Bank
۱		-۰/۵	-۰/۶۷	-۰/۱۴	۰/۱۵	-۰/۲۷	-۰/۱۲
۲		۰/۴۴	-۱/۰۳	-۰/۲۶	۰/۱۴	-۰/۰۳	-۰/۵۴
میانگین		-۰/۰۳	-۰/۸۵	-۰/۲	۰/۱۵	-۰/۱۱	-۰/۳۳
RNCI		تراکمی depositional	تراکمی depositional	تراکمی depositional	فرسایشی erosion	تراکمی depositional	تراکمی depositional



شکل ۴. تغییرات کرانه رودخانه از نظر شرایط تراکمی و فرسایشی بودن در بازه اول در بخش‌های مورد مطالعه (منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۵)



شکل ۵. تغییرات کرانه رودخانه از نظر شرایط تراکمی و فرسایشی بودن در بازه دوم در بخش‌های مورد مطالعه (منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۵)

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۱، می‌توان گفت سیستم رودخانه مورد مطالعه دارای دینامیکی فعال اما با روند کلی گرایش به‌سوی رسوب‌گذاری و محدودیت کانال است. روند غالب در دو دوره از سه دوره (۲۰۰۹-۲۰۱۴ و ۲۰۲۴) نشان‌دهنده رفتار تراکمی در هر دو کرانه است که احتمالاً ناشی از کاهش کلی توان انتقال رسوب رودخانه یا افزایش عرض کانال در گذشته می‌باشد. با این حال، وقوع یک دوره فرسایشی میانی (۲۰۱۴-۲۰۲۴) که در آن کرانه‌های راست هر دو بازه فرسایشی شده‌اند، نشان‌دهنده یک انحراف مهم از این روند است. این انحراف حاکی از تأثیر یک یا چند رویداد هیدرولوژیکی (مانند سیلاب‌های پرنرزی تاریخ ۱۳۹۸/۱/۲۵) یا مداخلات انسانی در این بازه زمانی خاص است که به صورت موقت تعادل سیستم را به سمت فرسایش تغییر داده است.

در تحلیل جزئی‌تر، یک الگوی عدم تقارن رفتاری پایدار بین کرانه چپ و راست مشاهده می‌شود، به طوری که کرانه راست تمایل بیشتری به نمایش رفتار فرسایشی از خود نشان می‌دهد. این پدیده که می‌تواند تحت تأثیر ساختار زمین‌شناسی نامتقارن حوضه و موقعیت کانال در بازه باشد، در داده‌ها نیز مشهود است. به طور مشخص، میانگین تغییرات در کرانه راست در دوره‌های اول و سوم عدد منفی بزرگتری را نسبت به کرانه چپ نشان می‌دهد. در سطح بازه‌ها نیز تفاوت‌های قابل توجهی دیده می‌شود. بازه ۲ صحنه تغییرات شدیدتر با نرخ‌های بالاتر هم در فرسایش و هم در رسوب است و به ویژه کرانه راست آن یک نقطه کانونی رسوب‌گذاری محسوب می‌شود. در مقابل، بازه ۱ تغییرات ملایم‌تری را تجربه کرده است. یکی از روابط کلیدی که از داده‌ها استنباط می‌شود، الگوی رفتار متقابل بین کرانه‌ها در یک بازه است. برای نمونه، در بازه ۲ در دوره اول، فرسایش شدید در کرانه چپ ($+0.44$ متر/سال) هم‌زمان با بیشترین رسوب‌گذاری ثبت‌شده در کرانه راست (-1.03 متر/سال) رخ داده است. این هم‌زمانی، نمایش کلاسیکی از فرآیند مهاجرت جانبی کانال است که در آن مواد از یک سمت فرسایش یافته و در سمت مقابل ته‌نشین می‌شوند. روند ایجاد شده در این بخش تابع الگوی پیچان‌رودی بازه است که فرسایش قوس خارجی (کرانه چپ)

هم‌زمان با تراکم در قوس داخلی (کرانه راست) به صورت اشکال ژئومورفیک پوینت باری است. در نهایت، این نتایج بر اهمیت در نظر گرفتن مقیاس زمانی در مطالعات ژئومورفولوژیک تأکید می‌کنند. در حالی که روند پانزده ساله حاکی از رسوب‌گذاری است، بازه‌های کوتاه‌مدت‌تر می‌توانند روندهای فرسایشی قوی را آشکار کنند که این مسئله لزوم انجام مطالعات چندزمانه را برای درک کامل رفتار پیچیده رودخانه گوشزد می‌نماید.

بر اساس یافته‌های فوق می‌توان ارتباط بین الگوی رودخانه (مستقیم/سینوسی، تک‌کانالی/چندکانالی) و تغییرات کرانه‌ها (فرسایشی/تراکمی) در دو بازه از رودخانه جلاپیر را تشریح کرد. در بازه اول همراه با الگوی مستقیم و تک‌کانالی، تغییرات کرانه‌ها متقارن‌تر و با شدت کمتر است. حتی زمانی که فرسایش در یک کرانه رخ می‌دهد (مانند دوره دوم)، کرانه مقابل تراکمی می‌شود، اما الگوی غالب همان تراکم و کاهش عرض کانال است. این بازه به دلیل پوشش مرتعی و باغی و وجود پوینت بارها، تمایل به تثبیت دارد؛ اما در بازه دوم با الگوی سینوسی، عدم تقارن رفتاری بین کرانه چپ و راست بارزتر است. فرسایش در قوس خارجی (اینجا کرانه چپ در دوره اول) و تراکم در قوس داخلی (کرانه راست) رخ می‌دهد که نشان‌دهنده مهاجرت جانبی کانال و تشکیل پوینت بار است. نرخ تغییرات (هم فرسایش و هم تراکم) در این بازه بسیار بیشتر از بازه مستقیم است.

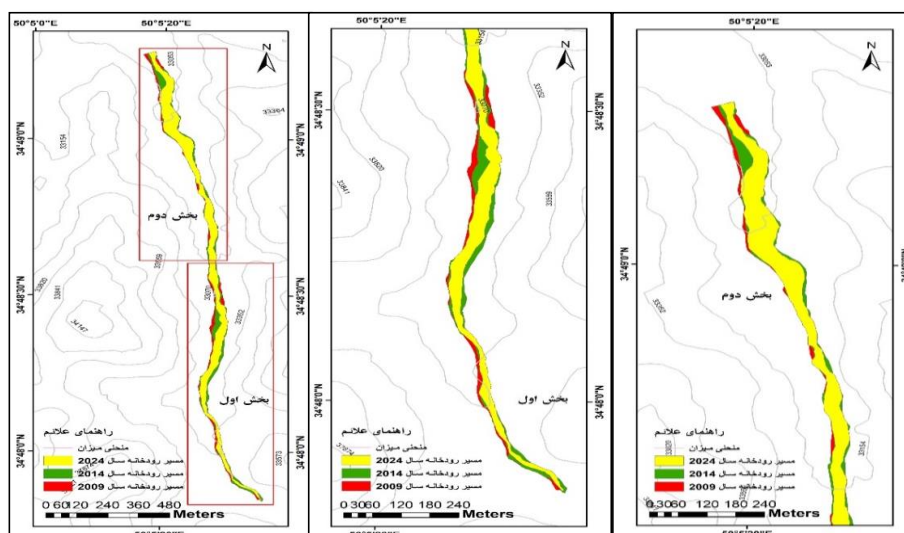
نتایج تغییرات پلان رود در بازه‌های مورد مطالعه: برای بررسی تغییرات کانال در بازه‌های مختلف از تصاویر سال ۲۰۱۴، ۲۰۰۹ و ۲۰۲۴ استفاده شد. برای انجام این کار مساحت هر بازه در بازه‌های زمانی مقایسه گردید.

بررسی داده‌های موجود نشان داد که در بازه ۱ (جدول ۲) افزایش مساحت کانال در سال ۲۰۰۹ مشاهده شده است. در این بازه عرض کانال افزایش پیدا کرده است. در سال ۲۰۱۴ مساحت پلنفرم کانال نسبت به سال ۲۰۰۹ از ۸۴۵۶۰/۵۴ مترمربع به ۸۸۶۴۹/۷۶ مترمربع یعنی ۴/۶ درصد افزایش یافته است. مساحت کانال در سال ۲۰۱۴ نسبت به سال ۲۰۲۴ افزایش یافته است و از ۸۸۶۴۹/۷۶ به ۷۵۱۸۷/۸ کاهش یافته است. بررسی تغییرات از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۴ با استفاده از روی هم گذاری تصویر دو دوره در بازه ۱ نشان می‌دهد که در بازه زمانی ۱۵ سال، مساحت پلنفرم کانال (سطح اشغال روی زمین) ۱۱ درصد کاهش یافته و از ۸۴۵۶۰/۵۴ مترمربع به ۷۵۱۸۷/۸۰ مترمربع رسیده است که نشان‌دهنده کاهش عرض کانال است (شکل ۶ و ۷).

جدول ۲. تغییرات پلان رود در بازه اول بر اساس مساحت کانال در محدوده مورد مطالعه (واحدها برحسب مترمربع) (منبع:

یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۵)

بازه	سال	۲۰۰۹	۲۰۱۴	۲۰۲۴
بازه اول		۸۴۵۶۰/۵۵	۸۸۶۴۹/۷۶	۷۵۱۸۷/۸
درصد تغییرات		—	۴۶٪	۱۱٪



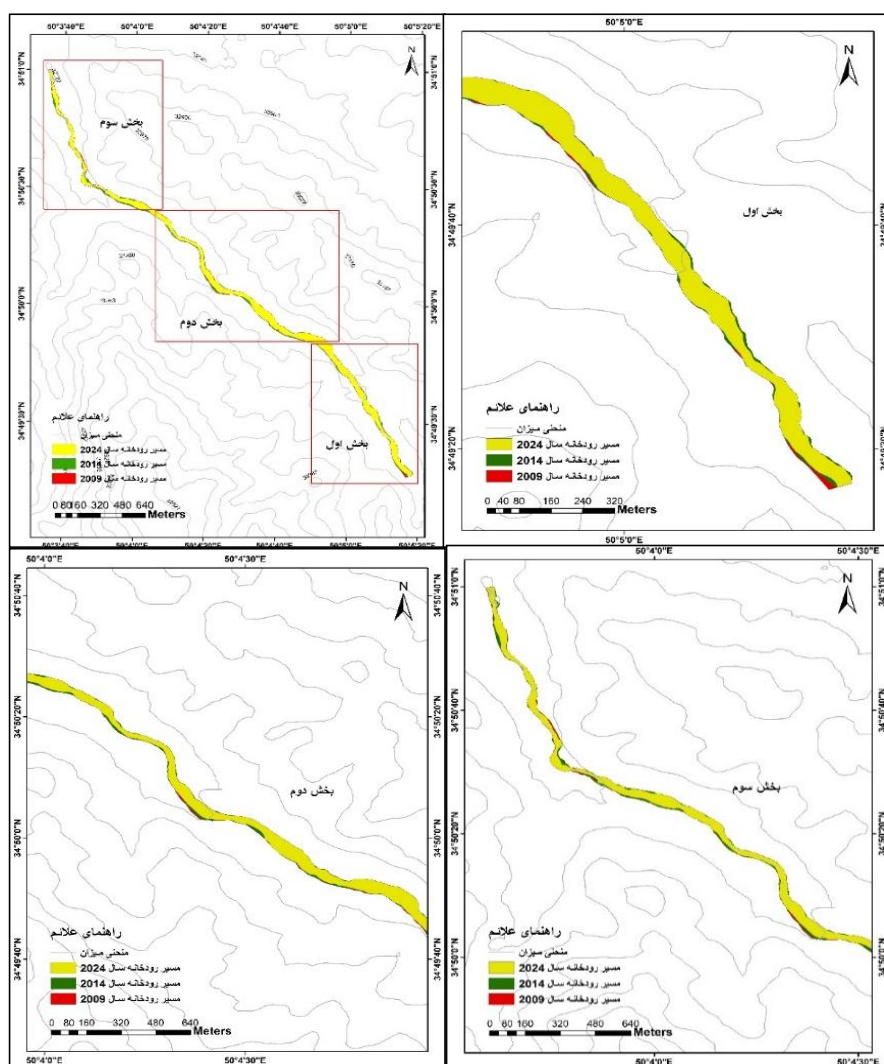
شکل ۶. تغییرات پلان رود در بازه اول بر اساس مساحت (منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۵)

بررسی داده‌های موجود در بازه ۲ (جدول ۳) نشان داد که مساحت پلنفرم کانال (سطح اشغال روی زمین) در سال ۲۰۱۴ نسبت به ۲۰۰۹، ۱۳ درصد افزایش یافته است و از ۱۳۹۶۷۷/۱۳ مترمربع به ۱۶۰۶۱۰/۲۴ مترمربع افزایش یافته است. بررسی تغییرات از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۴ از طریق روی هم گذاری دو تصویر در بازه ۲ نشان می‌دهد که در بازه زمانی ۱۵ سال، مساحت پلنفرم کانال (سطح اشغال روی زمین) ۱۱ درصد افزایش یافته و از ۱۳۹۶۷۷/۱۳ مترمربع به ۱۵۸۱۷۱/۵۵ مترمربع رسیده است که نشان دهنده افزایش عرض کانال است؛ اما مساحت پلنفرم کانال در سال ۲۰۲۴ نسبت به ۲۰۱۴ کاهش یافته است و از ۱۶۰۶۱۰/۲۴ به ۱۵۸۱۷۱/۵۵ رسیده است (شکل ۷).

جدول ۳. تغییرات پلان رود در بازه دوم بر اساس مساحت کانال در محدوده مورد مطالعه (واحدها بر حسب مترمربع) (منبع:

یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۵)

بازه	سال	۲۰۰۹	۲۰۱۴	۲۰۲۴
بازه دوم		۱۳۹۶۷۷.۱۴	۱۶۰۶۱۰.۲۵	۱۵۸۱۷۱.۵۶
درصد تغییرات		—	۱۳٪	۱۱٪



شکل ۷. تغییرات پلان رود در بازه دوم بر اساس مساحت (منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۵)

نتایج حاصل از مقایسه تغییرات مساحت کانال در دو بازه مورد مطالعه، الگوی متفاوت و گاه متضادی را در پاسخ سیستم رودخانه به محرک‌های محیطی یا هیدرولوژیک نشان می‌دهد. این تفاوت بیانگر این اصل مهم در ژئومورفولوژی رودخانه‌ای است که حساسیت و پاسخ کانال‌های مجاور در یک سیستم واحد می‌تواند به دلیل تفاوت در ویژگی‌های مورفولوژیک ذاتی (مانند شیب، نوع رسوب، انحنا کانال) یا تأثیرات محلی، کاملاً متمایز باشد.

در بازه ۱، روند کلی در بلندمدت (۲۰۰۹ تا ۲۰۲۴) کاهش ۱۱ درصدی مساحت کانال است. این کاهش به‌صورت یک روند یکنواخت نبوده، بلکه با یک افزایش موقتی ۴/۶ درصدی در دوره میانی (۲۰۰۹-۲۰۱۴) همراه بوده است. این الگو حاکی از آن است که کانال در این بازه در یک فاز تثبیت یا حتی تنگ‌شدگی قرار دارد. افزایش موقتی مساحت در دوره میانی می‌تواند ناشی از یک یا چند رویداد هیدرولوژیکی یا توان فرسایشی بالا باشد که پس از آن، سیستم با رسوب‌گذاری و بازگشت به حالت پایدارتر، مساحت خود را کاهش داده است، در مقابل، بازه ۲ روند بلندمدت کاملاً متفاوتی را ثبت کرده است. در این بازه، مساحت کانال در دوره ۱۵ ساله ۱۱ درصد افزایش یافته است. مشابه بازه ۱، این افزایش نیز خطی نبوده و با یک افزایش شدید ۱۳ درصدی در دوره میانی (۲۰۰۹-۲۰۱۴) و سپس یک کاهش جزئی (۱/۵ درصد) در دهه آخر (۲۰۱۴-۲۰۲۴) همراه بوده است. این الگو نشان می‌دهد کانال در بازه ۲ در یک فاز فعال‌سازی و گسترش قرار دارد. شدت تغییرات در دوره میانی در این بازه (۱۳ درصد) به مراتب بیشتر از بازه ۱ (۴/۶ درصد) بوده است که بر حساسیت بالاتر یا انرژی هیدرولیکی بیشتر در این بخش از رودخانه دلالت دارد.

مهم‌ترین نکته، عدم یکنواختی پاسخ رودخانه و اختلاف در روند بلندمدت بین دو بازه مجاور است. در حالی که یک بازه در حال تنگ‌شدگی است، بازه دیگر در حال گسترش می‌باشد. این نتایج با یافته‌های حسین زاده و امیری (۲۰۲۵) که نشان دهنده تغییرات عرض کانال و فروسایبی رودخانه خرم رود در دو بازه متفاوت بوده، انطباق دارد. این امر به‌وضوح نشان می‌دهد که مدیریت و تحلیل رودخانه نباید به صورت یکنواخت در کل طول آن صورت گیرد و هر بازه بسته به شرایط محلی خود، نیازمند راهکار خاصی است. این تفاوت می‌تواند ناشی از عواملی مانند تغییر در شیب بستر، نوع مصالح کرانه، وجود یا عدم وجود کنترل‌های مهندسی، یا تفاوت در کاربری اراضی اطراف باشد. تأثیر رویدادهای حدی در دوره زمانی میانی (۲۰۰۹-۲۰۱۴) برای هر دو بازه، دوره‌ای با بیشترین تغییرات (افزایش مساحت) بوده است. این هم‌زمانی قویاً نشان‌دهنده وقوع یک یا چند رویداد هیدرولوژیکی مشترک و مؤثر (مانند سیلاب‌های بزرگ با دوره بازگشت بالا) در این پنج سال است که کل سیستم رودخانه را تحت تأثیر قرار داده است. یافته اخیر با نتایج رحیمی و همکاران (۱۴۰۳) که سیلاب حدی نسبت به دیگر سیلاب‌ها، تأثیرات زیاده‌تری بر تغییرات ژئومورفولوژیکی عرض کانال و فرسایش شدید کرانه رودخانه داشته، انطباق دارد (Rahimi et al, 2024). شدت متفاوت پاسخ (۱۳ درصد در برابر ۴/۶ درصد) بیانگر سهم متفاوت هر بازه از انرژی این رویدادها است. مقیاس زمانی تحلیل این نتایج به‌وضوح نشان می‌دهد که نتیجه‌گیری درباره روند تغییرات رودخانه کاملاً به پنجره زمانی انتخاب‌شده وابسته است. اگر مطالعه فقط دوره ۲۰۰۹-۲۰۱۴ را بررسی کند، نتیجه آن خواهد بود که هر دو بازه در حال گسترش هستند. اگر فقط دوره ۲۰۱۴-۲۰۲۴ را بررسی شود، نتیجه می‌شود که هر دو بازه در حال کوچک شدن هستند؛ اما تنها تحلیل بلندمدت (۲۰۰۹-۲۰۲۴) است که تفاوت ذاتی و جهت‌گیری مخالف این دو بازه را آشکار می‌سازد. برای تفسیر کامل این الگوها، تلفیق این داده‌ها با نتایج تغییرات ضروری است. به عنوان مثال، کاهش نهایی مساحت کانال در بازه ۱ می‌تواند با روند قوی رسوب‌گذاری (تراکمی) که در هر دو کرانه آن در دوره سوم (۲۰۰۹-۲۰۲۴) مشاهده شد، مرتبط باشد. به طور مشابه، گسترش کانال در بازه ۲ در بلندمدت را می‌توان با فرسایش شدید کرانه راست در دوره اول و رسوب‌گذاری بسیار قوی در دوره سوم در همان کرانه مرتبط دانست که نشان‌دهنده یک الگوی پیچیده از مهاجرت و تغییر شکل کانال است.

ارتباط بین الگوی رودخانه و تغییرات کرانه‌ها در دو بازه از رودخانه جلایر نشان می‌دهد که در روند بلندمدت (۱۵ ساله)، هر دو بازه به سمت تراکمی و کاهش عرض کانال پیش رفته‌اند، اما این روند در بازه سینوسی با عدم تقارن بیشتر همراه است. الگوی مستقیم معمولاً با توزیع یکنواخت تر فرسایش و تراکم همراه است، در حالی که الگوی سینوسی باعث تمرکز

فرسایش در یک کرانه (قوس خارجی) و تراکم در کرانه مقابل (قوس داخلی) می‌شود. همچنین وجود پوینت بار در بازه اول نشانه فعالیت‌های تراکمی در کناره‌هاست که با الگوی مستقیم همخوانی دارد. رویداد سیلاب فروردین ۱۳۹۸ توانسته به طور موقت الگوی فرسایش را در هر دو بازه (به ویژه کرانه راست) غالب کند، اما این اثر در بازه سینوسی پررنگ‌تر بوده است.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج تغییرات کرانه رود، روند غالب سیستم رودخانه مورد مطالعه در بلندمدت (۱۵ ساله) به سوی رسوب‌گذاری و پرکنندگی کانال است که نشان‌دهنده کاهش توان انتقال رسوب می‌باشد. با این حال، وقوع یک دوره فرسایشی میانی (۲۰۲۴-۲۰۱۴) حاکی از تأثیر رویدادهای هیدرولوژیکی شدید یا مداخلات انسانی بر سیستم است. رویداد سیلاب فروردین ۱۳۹۸ توانسته به طور موقت الگوی فرسایش را در هر دو بازه (به ویژه کرانه راست) غالب کند، اما این اثر در بازه سینوسی پررنگ‌تر بوده است. الگوی عدم تقارن پایدار بین کرانه‌ها مشاهده می‌شود، به طوری که کرانه راست تمایل بیشتری به رفتار فرسایشی دارد که این وضعیت ناشی از الگوی سینوسی است که باعث تمرکز فرسایش در یک کرانه (قوس خارجی) و تراکم در کرانه مقابل (قوس داخلی) می‌شود. همچنین نتایج مطالعه تغییرات پلان رود نشان می‌دهد رودخانه مورد بررسی یک سیستم دینامیک و غیریکنواخت است. در مقیاس بلندمدت (۱۵ ساله)، روند غالب رسوب‌گذاری است، اما این روند در طول رودخانه یکسان نبوده و دو بازه مجاور رفتار متضادی از خود نشان داده‌اند: بازه ۱ با کاهش مساحت (تنگ‌شدگی) و بازه ۲ با افزایش مساحت (گسترش). این تفاوت آشکار، بیانگر تأثیر تعیین‌کننده ویژگی‌های محلی (مانند شیب، جنس رسوب و کاربری اراضی) بر پاسخ مورفولوژیک هر بخش است. افزون بر این، وقوع یک دوره فرسایشی میانی مشترک در هر دو بازه، اثر نیرومند رویدادهای هیدرولوژیکی حدی (مانند سیلاب‌های بزرگ) را بر سیستم تأیید می‌کند. در نهایت، این یافته‌ها بر دو اصل کلیدی برای مدیریت مؤثر تأکید دارند: نخست، لزوم مطالعه تغییرات در چندین مقیاس زمانی برای پرهیز از تفسیرهای ناقص و دوم، ضرورت اتخاذ راهبردهای مدیریتی متفاوت و خاص هر بازه، چراکه یک راهکار واحد برای کل طول رودخانه کارآمد نخواهد بود.

سیاسگذاری: مقاله حاضر برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته ژئومورفولوژی و آمایش محیط می‌باشد. بدین وسیله از همکاری مشارکت‌کنندگان در این مقاله که سهم مؤثری در جمع‌آوری داده‌ها داشته‌اند، تشکر و قدردانی می‌شود.

حامی مالی: بنا به اظهار نویسنده مسئول، این مقاله حامی مالی نداشته است.

سهم نویسندگان در پژوهش: همه نویسندگان، در نگارش و تنظیم مقاله حاضر نقش و سهم برابر دارند.

تضاد منافع: نویسندگان اعلام می‌دارند هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

References

- Agnihotri, A. K., Ohri, A., Gaur, S., Das, N., & Mishra, S., 2019. Flood inundation mapping and monitoring using SAR data and its impact on Ramganga River in Ganga basin. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(12), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7903-4>
- Ali, P. Y., Jie, D., Khan, A., Sravanthi, N., Rao, L. A., & Hao, C., 2019. Channel migration characteristics of the Yamuna River from 1954 to 2015 in the vicinity of Agra, India: a case study using remote sensing and GIS. *International Journal of River Basin Management*, 17(3), 367–375. <https://doi.org/10.1080/15715124.2019.1566238>
- Amani, K., Hosseini, S. M., Yamani, M., & Maghsoudi, M., 2024. Quantification of geomorphological changes in the Sefidrud River and investigation of its relationship with flood hydraulic characteristics. *Environmental Erosion Research*, 14(4), 39–61. <https://doi.org/10.61186/jeer.14.4.39> (In Persian)
- Bawa, N., Jain, V., Shekhar, S., Kumar, N., & Jyani, V., 2014. Controls on morphological variability and role of stream power distribution pattern, Yamuna River, western India. *Geomorphology*, 227, 60–72. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.05.016>

- Castino, F., 2016. Climate variability and extreme hydro-meteorological events in the Southern Central Andes, NW Argentina. Doctoral dissertation, University of Potsdam. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:kobv:517-opus4-396815>
- Das, P., 2012. Study of Barak River meander and associated hazard around Silchar town, Assam, using remote sensing and GIS. *Earth Science India*, 5(2), 51–59. <http://www.earthscienceindia.info/>
- Esmaili, R., & Nourzadeh Nashli, N., 2024. Assessment of morphological changes in the Haraz River due to human pressures in the Amol city area, Mazandaran. *Hydrogeomorphology*, 11(40), 40–57. <https://doi.org/10.22034/hyd.2024.61151.1733> (In Persian)
- García-Martínez, B., & Rinaldi, M., 2022. Changes in meander geometry over the last 250 years along the lower Guadalquivir River (southern Spain) in response to hydrological and human factors. *Geomorphology*, 410, 108284. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2022.108284>
- Ghosh, S., Hoque, M. M., Islam, A., Barman, S. D., Mahammad, S., Rahman, A., & Maji, N. K., 2023. Characterizing floods and reviewing flood management strategies for better community resilience in a tropical river basin, India. *Natural Hazards*, 115, 1799–1832. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05618-y>
- Himayoun, D., & Roshni, T., 2020. Geomorphic changes in the Jhelum River due to an extreme flood event: a case study. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(1), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4896-9>
- Hosseinzadeh, M. M., & Amiri, S., 2025. Channel migration and bank erosion in the Khoramroud River during the 2006–2025 period. *Geography and Environmental Hazards*, 14(4), 43–65. <https://civilica.com/doc/2466012/> (In Persian)
- Hosseinzadeh, M. M., Esmaili, R., & Nabizadeh Bahnemiri, M., 2022. Analysis of spatiotemporal changes and planform stability of the Neka River channel, Mazandaran. *Geographical Information (Sepehr)*, 31(124), 39–52. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2023.555968.2881> (In Persian)
- Hosseinzadeh, M. M., Bahrami, S., & Babaei, P., 2024. Hydromorphological changes of the Cheshmeh Ali River, Damghan, during the period 1961 to 2023. *Quantitative Geomorphological Research*, 13(4), 1–22. <https://doi.org/10.22034/gmpj.2025.489213.1535> (In Persian)
- Jokar Sarangi, E., Talank, E., & Laristani, G., 2017. Investigation of river morphometric changes with emphasis on meanders (case study: Chehel Chai - Narmab River). *Geographical Space Spatial Planning*, 7(26), 17–30. <https://civilica.com/doc/886101/> (In Persian)
- Khanbabaei, Z., Moghimi, E., Maghsoudi, M., Yamani, M., & Alavi Panah, S. K., 2017. Sediment-geomorphic response of Ilam mountain rivers to the severe flood of 2015. *Quantitative Geomorphological Research*, 6(2), 64–78. <http://noo.rs/wynM2> (In Persian)
- Kheiri, A., Gharibreza, M., Hosseinzadeh, M. M., Ebadifar, A., & Sadough Vanini, S. H., 2025. Investigating the hydromorphological changes due to the construction of bridges on the mountainous Jalair River, Central Iran. *Physical Geography*, 46(5), 438–466. <https://doi.org/10.1080/02723646.2025.2545349>
- Konrad, C., Berge, H., Fuerstenberg, R., Steff, K., Olsen, T., & Guyenet, J., 2011. Channel dynamics in the Middle Green River, Washington, from 1936 to 2002. *Northwest Science*, 85(1), 1–14. <https://doi.org/10.3955/046.085.0101>
- Magdalenó, F., & Fernández-Yuste, J. A., 2011. Meander dynamics in a changing river corridor. *Geomorphology*, 130, 197–207. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.03.016>
- Magliulo, P., Bozzi, F., & Pignone, M., 2016. Assessing the planform changes of the Tammaro River (southern Italy) from 1870 to 1955 using a GIS-aided historical map analysis. *Environmental Earth Sciences*, 75(4), 355. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5266-5>
- Magliulo, P., Bozzi, F., Leone, G., Fiorillo, F., Leone, N., Russo, F., & Valente, A., 2021. Channel adjustments over 140 years in response to extreme floods and land-use change, Tammaro River, southern Italy. *Geomorphology*, 383, 107715. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107715>
- Pasban, E., Khodabakhsh, S., Gharibreza, M. R., Kabiri, S., & Bahiraei, N., 2018. Quantitative investigation of channel changes in the Alamutrud and Shahroud rivers (north of Qazvin) during the period 1981–2015. *Sedimentary Facies*, 11(1), 15–34. <https://doi.org/10.22067/sed.facies.v11i1.64450> (In Persian)
- Qin, Y., Jin, X., Du, K., & Jin, Y., 2024. Changes in river morphology and influencing factors in the upper Yellow River over the past 25 years. *Geomorphology*, 465, 109397. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2024.109397>
- Rahimi, N., Salehipour Milani, A., & Khaleghi, S., 2024. Quantitative assessment of flood impact on channel changes: a case study of the Sadij River, Hormozgan Province. *Physical Geography Research Quarterly*, 56(1), 1–23. <https://doi.org/10.22059/jphgr.2024.374771.1007823> (In Persian)
- Rahimi, N., Khaleghi, S., & Salehipour Milani, A., 2024. The effect of floods on river morphology changes (case study: Sadij River, Hormozgan Province). *Journal of Hydrogeomorphology*, 11(38), 141–160. <https://doi.org/10.22034/hyd.2024.59641.1717> (In Persian)

- Rhoads, B. L., Lewis, Q. W., & Andresen, W., 2016. Historical changes in channel network extent and channel planform in an intensively managed landscape: natural versus human-induced effects. *Geomorphology*, 252, 17–31. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.04.021>
- Rinaldi, M., Surian, N., Comiti, F., Bussettini, M., Belletti, B., Nardi, L., & Golfieri, B., 2016. Guidebook for the evaluation of stream morphological conditions by the Morphological Quality Index (MQI). Version 1, ISPRA, Roma, 85 p. <https://www.isprambiente.gov.it/en/publications/handbooks-and-guidelines/guidebook-for-the-evaluation-of-stream-1>
- Surian, N., Rinaldi, M., Pellegrini, L., Audisio, C., Maraga, F., Teruggi, L., & Ziliani, L., 2009. Channel adjustments in northern and central Italy over the last 200 years. *Geological Society of America Special Papers*, 451, 83–95. [https://doi.org/10.1130/2009.2451\(05\)](https://doi.org/10.1130/2009.2451(05))
- Wohl, E., 2020. Rivers in the landscape: science and management. 2nd ed. Wiley-Blackwell. <https://www.amazon.com/Allen-Wohl/e/B001HCVIYW>
- Yamani, M., Dowlati, J., & Zarei, A., 2010. The influence of hydro-geomorphic factors on spatiotemporal changes in the middle reach of the Atrak River. *Geographical Research*, 25(99), 1–24. <http://noo.rs/0w4gP> (In Persian)
- Yousefi, S., Pourghasemi, H. R., Hooke, J., Navratil, O., & Kidová, A., 2016. Changes in morphometric meander parameters identified on the Karoon River, Iran, using remote sensing data. *Geomorphology*, 271, 55–64. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.07.034>
- Yousefi, S., Mirzaee, S., Keesstra, S., Surian, N., Pourghasemi, H. R., Zakizadeh, H. R., & Tabibian, S., 2018. Effects of an extreme flood on river morphology (case study: Karoon River, Iran). *Geomorphology*, 304, 30–39. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.12.034>