



Channel Changes and Bank Erosion in the Khoramroud River During the Period 2006–2025

Mohammad Mahdi Hosseinzadeh ¹, Shahram Amiri ^{2*}

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

² Ph.D. student, Department of Physical Geography, Earth Sciences Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article History

Received: 26 May 2025

Revised: 11 Auhust 2025

Accepted: 12 August 2025

Available Online: 14 August 2025

Keywords:

Channel Morphodynamics

River Planform Changes

Bank Erosion

Channel Migration

Khorramroud River

ABSTRACT

The Khoramroud River has undergone significant morphological changes with diverse consequences over the past few decades. Therefore, this study aims to investigate and analyze evolutionary trends, assess the changes that have occurred, and determine the relationship between these trends and their controlling factors across four time periods (2006–2025). The objective is to facilitate effective river management and mitigate adverse impacts in two distinct reaches: the first reach spans 16,700 meters and is divided into six sub-reaches (17 cross-sections), while the second reach extends 17,212 meters and is subdivided into seven sub-reaches (18 cross-sections). For this study, hydrometric data from two stations Bahram Jo (Section 1) and Cham Anjir (Section 2) were used, along with topographic maps, Google Earth satellite imagery, field observations, and surveys conducted in these sections to analyze channel dynamics and planform changes. The results indicated that the highest average periodic variations in centerline and channel displacement for both sections occurred during the second time interval (2017–2019). The findings from the first section (2006–2025) revealed a reduction in channel width due to river erosion, whereas the second section exhibited not only erosion but also bank erosion, leading to floodplain formation and subsequent river widening. A comparative analysis of the two sections demonstrated varying degrees of vulnerability in agricultural lands and rural settlements along both river segments. However, the vulnerability level in the first section was significantly higher and more pronounced than in the southern portion of the study area, primarily due to the downstream location of Khorramabad City.

* Corresponding author: Shahram Amiri

E-mail address: s.amiri2010@yahoo.com

How to cite this article: Hosseinzadeh, M. M., & Amiri, S. (2025). Channel Changes and Bank Erosion in the Khoramroud River During the Period 2006–2025. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 14(4), 43-65. <https://doi.org/10.22067/geoeH.2025.93699.1573>



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The exploitation of environmental resources necessitates a conscientious and protective approach, one that pursues development and sustainability concurrently. Alluvial rivers are dynamic landscape components that react to alterations in flow, sediment, vegetation cover, and climatic conditions. Fundamentally, channel dynamics govern the structure and function of river and floodplain ecosystems. In recent decades, intensified human activities and modified hydrological regimes have driven significant transformations in river systems worldwide. While natural fluvial variability is essential for ecological balance, a pronounced increase in anthropogenic interventions has extensively altered natural river courses. Consequently, many rivers are now experiencing substantial adjustments in width and depth. These changes present considerable challenges for nations worldwide, impacting policymakers, resource managers, and communities reliant on these aquatic systems. The long- and short-term consequences of river system alterations are particularly acute in densely populated mountainous regions, where land scarcity and high population density amplify risks. Thus, this issue remains a persistent and critical challenge in environmental management discourse.

As a mountain river, the Khoramroud River has undergone significant morphological changes in recent decades, each with distinct environmental and societal implications. To date, no comprehensive study has quantified the scope and drivers of these changes. This research therefore aims to (1) examine evolutionary trends, (2) quantify the magnitude of morphological change, and (3) identify the relationship between these trends and their controlling factors from 2006 to 2025. The findings are intended to inform improved river management strategies and mitigate adverse impacts.

Material and Methods

Study Area: The study area encompasses a 34-km segment of the Khorramrod River, located within and adjacent to the city of Khorramabad. It is divided into two sections: a northern segment (Reaches 1–7) and a southern segment (Reaches 8–13). The northern section, extending approximately 16,700 m, runs parallel to the Khorramabad–Kermanshah road from Darhoz Village to the Falak al-Din Martyrs Bridge. The southern section spans approximately 17,250 m, from the Yadgar Imam Bridge at the city's downstream limit to the Kesht e Sanat Complex Bridge.

Based on data from the Bahram Jo and Cham Anjir hydrometric stations (2004–2024), the river's average discharge is 2.02 m³/s and 7.87 m³/s, respectively. Geologically, the area lies within the Lorestan region of the Zagros folded thrust belt, northwest of the Dezful depression. The oldest exposed formation in the core of the Khorramabad anticline is the Gro formation.

Climatic data from the Khorramabad meteorological station show a mean annual precipitation of 517 mm and a mean annual temperature of 16.8 °C. According to the De Martonne aridity index, the regional climate is classified as semiarid (Mediterranean type).

Data Collection: This study investigated morphological changes in the Khorramrod River channel between 2006 and 2025. Data were collected through field surveys, direct observations, and physical measurements. Spatial data were processed and digitized using ArcGIS software.

Given the river's length and the central position of Khorramabad city, the study area was divided into northern and southern sections. Following the reach scale analysis framework of Rinaldi (2013), the northern section was further subdivided into six reaches (containing 17 cross sections), and the southern section into seven reaches (containing 18 cross sections). Detailed maps for each section and reach were produced in ArcGIS.

Morphological Change Analysis: Bankline and channel adjustments were assessed using multi temporal satellite imagery and field verification. To quantify planform change, the left and right banks of each reach were delineated for each study year. Superimposing these banklines allowed calculation of the displaced area, from which rates of erosion and accretion per reach were derived using the River Network Change

Index (RNCI). A positive RNCI value indicates net erosion dominance, while a negative value indicates net sedimentation.

Channel dynamics were analyzed by digitizing the channel centerline for each reach and year. Aggregating these centerline shifts yielded the total area of channel displacement, providing a measure of interannual channel mobility.

All quantitative data were processed in Microsoft Excel to generate summary tables and graphs. Finally, spatiotemporal patterns of riverbank change and channel dynamics were compared between the northern and southern sections across the study period, and an integrated analysis of channel variation was conducted.

Results and Discussion

Analysis of channel dynamics across four distinct time periods in the first study section revealed the intervals with the highest rates of change. These were interval 5 in the first period (2006–2017), interval 2 in the second (2017–2019), interval 2 in the third (2019–2025), and interval 6 in the composite fourth period (2006–2025). The highest average rate of change for this section occurred during the second time period, at 2.82 m per year. In the second study section, the highest centerline dynamics were observed in interval 1 of the first period, interval 4 of the second, interval 7 of the third, and interval 7 of the fourth period. Here, the highest average dynamics also occurred during the second time period, at 2.92 m per year.

An assessment of river planform changes in the first section showed that the right and left banks were entirely compact in type during the first, second, and fourth time periods. In contrast, all banks were erosive in type during the third period. The greatest average periodic changes in this section were recorded during the second time period, measuring 1.38 m on the right bank and 5.46 m on the left bank. For the second study section, bank types varied temporally: in the first period, right banks were compact while left banks were erosive; in the second and fourth periods, all banks were compact; and in the third period, all banks were erosive. The highest average periodic changes in this section also occurred during the second time period, reaching 2.24 m on the right bank and 5.09 m on the left bank.

In the first study section, multi-temporal imagery and field observations over the 20-year study period (2006–2025) revealed extensive and significant changes in the river reaches. Prior to major flood events, these reaches experienced erosion accompanied by a notable reduction in channel width. Following flood events, however, a sudden increase in sediment supply and the presence of highly erodible banks triggered substantial lateral expansion in addition to continued bed erosion. A comparative temporal analysis indicated that the six examined reaches underwent not only bed erosion but also a reduction in channel width of up to ten meters.

In the second section, the river exhibited different behavioral patterns. Before major floods, reaches experienced only minor erosion with negligible widening. In the post-flood period, a combination of increased sediment supply, removal and thinning of riparian vegetation, and bed erosion led to significant channel expansion. Temporal comparison showed that the seven studied reaches in this section were subject to both bed erosion and a cumulative channel widening of eight meters.

Conclusion

Although channel banks particularly in alluvial rivers are rarely stable and naturally fluctuate over time due to compaction and erosion, the magnitude of change observed in the study reaches during the investigation period suggests an unnatural river condition. Lateral channel migration is a critical process that sustains river ecosystems and forms an integral part of natural river dynamics; the deviations observed here, however, imply potential anthropogenic influences or altered hydrological regimes.

Given the high land value in this mountainous region, flooding can lead to the loss of agricultural land and damage to infrastructure and residential areas. In addition to affecting agriculture and rural settlements along both river sections, the extent of this vulnerability is significantly greater and more severe in the northern section than in the southern part of the study area. This disparity is largely attributable to the downstream location of the city of Khorramabad. Therefore, to enable more effective and efficient river management in this section, it is essential to identify and regulate areas prone to severe channel adjustment.



جابه‌جایی کانال و فرسایش کناره‌ای در رودخانه خرم‌رود طی بازه زمانی ۲۰۲۵-۲۰۰۶

محمد مهدی حسینی زاده^۱  شهرام امیری^{۲*} 

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

^۲ دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده	اطلاعات مقاله
رودخانه خرم رود طی چند دهه گذشته تحت تاثیر سطوح مختلفی از تغییرات مورفولوژیک با پیامدهای گوناگونی 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 در چهار بازه زمانی از سال ۲۰۰۶-۲۰۲۵ در راستای مدیریت رودخانه و کاهش اثرات منفی آن در دو بخش، بخش اول به طول ۱۶۷۰۰ متر در به ۶ بازه (۱۷ مقطع) و بخش دوم به طول ۱۷۲۱۲ متر در ۷ بازه (۱۸ مقطع) مورد مطالعه قرار گرفت. بدین منظور با استفاده از داده‌های هیدرومتری دو ایستگاه بهرام جو (بخش اول) و چم انجیر (بخش دوم)، نقشه‌های توپوگرافی، تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث، مشاهدات و برداشت‌های میدانی در این بخش‌ها، پویایی کانال و تغییرات پلانفرم مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد بیشترین میزان میانگین تغییرات دوره‌ای در خط مرکزی و جابجایی کانال در هر دو بخش در بازه زمانی دوم (۲۰۱۷-۲۰۱۹) رخ داده است. نتایج بدست آمده در بخش اول در طی دوره زمانی ۲۰۰۶-۲۰۲۵ نشان داد که عرض کانال در این بخش کاهش یافته و رودخانه دچار فرسایش شده است و در بخش دوم نشان داد علاوه بر فرسایش، فرسایش کرانه‌ها با تشکیل دشت‌های سیلابی و در پی آن گسترش عرض رودخانه را باعث شده است. نتایج مقایسه بخش‌ها با همدیگر نشان داد که میزان آسیب پذیری به زمین‌های کشاورزی و نقاط مسکونی روستایی در طول هر دو بخش از رودخانه وجود دارد. اما میزان آسیب پذیری در بخش اول به علت قرار داشتن شهر خرم آباد در پایین دست آن به مراتب خیلی بیشتر و تاثیرگذارتر از بخش جنوبی منطقه مورد مطالعه است.	تاریخچه مقاله: تاریخ ارسال: ۱۴۰۴/۰۳/۰۵ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۲۱
	کلمات کلیدی: پویایی مورفولوژیک کانال تغییرات پلانرود رودخانه فرسایش کناری رودخانه جابه‌جایی جانبی کانال رودخانه خرم رود

مقدمه

بهره‌برداری از منابع محیطی مستلزم نگاهی آگاهانه و حفاظت شده است که بتواند هم‌زمان با بهره‌برداری از این منابع، توسعه و پایداری لازم را نیز به دنبال داشته باشد. در طول قرن‌های گذشته و به‌ویژه در نیمه دوم قرن بیستم، بسیاری از سیستم‌های رودخانه‌ای به‌طور چشمگیری تحت تأثیر تغییرات اساسی هم در سطح حوضه و هم در داخل کانال قرار گرفته‌اند (Magliulo et al., 2021). رودخانه‌های آبرفتی از عناصر پویای چشم اندازها به‌شمار 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 پلانفرم 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 جمعیت‌های بهره‌بردار شده است (Surian et al., 2009). این امر در رودخانه‌های واقع در مناطق پرجمعیت، به‌ویژه در مناطق کوهستانی می‌تواند منجر به از دست دادن زمین‌های کشاورزی، آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها و ساختمان‌های مجاور آن شود. از این رو همواره در بحث‌های مدیریتی به عنوان یک مسئله چالش برانگیز در نظر گرفته می‌شود. در واقع اثرات فرایندهای ژئومورفیک رودخانه‌های کوهستانی می‌تواند از طغیان‌های آنها مهم‌تر باشد (Ruiz-Villanova et al., 2023). رودخانه‌های واقع در این مناطق به دلیل سطح بسیار بالای فشارهای انسانی و طبیعی و متعاقب آن تغییر کانال باعث مشکلات متعددی برای مهندسان، مدیران و جمعیت‌های انسانی وابسته به این جریان‌ها شده است. در عین حال، خطرات مربوط به فرایندهای رودخانه‌ای و پویایی کانال به دلیل درجه بالای شهرنشینی در این قلمروها نگرانی‌های زیادی را به دنبال دارند (Comiti, Lucia & Rickenmann, 2016).

این تغییرات همواره از دیرباز برای بسیاری از کشورها باعث ایجاد مشکلات متعددی هم برای مدیران و هم سایر جمعیت‌های بهره‌بردار شده است. جهت رفع این مشکلات، پژوهشگران زیادی در چند دهه گذشته با استفاده از روش‌های گوناگون به بررسی روندها و تغییرات بلندمدت مورفولوژی کانال رودخانه‌ها (در مقیاس‌های دهه و صد ساله) پرداخته‌اند. مگدالنو و فرناندز (Magdaleno & Fernandez, 2011b) جابه‌جایی پیچان‌رودها و تغییرات جانبی رودخانه ابرو را در اسپانیا بررسی کردند. آنها این کار را با بررسی عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای در ۲۵۰ کیلومتر از مسیر رودخانه در طی سال‌های ۱۹۲۷، ۱۹۵۶ و ۲۰۰۳ انجام دادند. بررسی آنها تغییرات وسیعی را در فعالیت پیچان‌رودها و کناره رودخانه ابرو نشان داده است. مگلیلو و همکاران (Magliulo, Bozzi & Pignone, 2016) در پژوهشی با عنوان ارزیابی تغییرات پلان رودخانه تامارو (جنوب ایتالیا) از سال ۱۸۷۰ تا ۱۹۵۵ با استفاده از تحلیل نقشه تاریخی به این نتیجه دست یافتن که علت اصلی تغییرات فعالیت‌های انسانی می‌باشد. علی و همکاران (Ali et al., 2019) در سال ۲۰۱۹ ویژگی‌های جابه‌جایی کانال رودخانه یامونا را از سال ۱۹۵۴ تا ۲۰۱۵ در مجاورت آگرا مورد بررسی قرار داده‌اند. با کاهش میزان دبی رودخانه در چند دهه اخیر ظرفیت فرسایشی رودخانه و رفتار جابه‌جایی متعاقب آن کاهش یافته است. شاخص‌های سینوسیته نشان می‌دهند که طول رودخانه بعد از سال ۱۹۵۴ هم افزایش و هم کاهش یافته است. آنایات و سیل (Annayat & Sil, 2020) تغییرات در پارامترهای پیچان‌رودی و پیش‌بینی جابه‌جایی کانال در قسمت آبرفتی رودخانه باراکا را با استفاده از تصاویر سنجش از دور، تحقیقات میدانی از بستر کانال و ویژگی‌های کرانه‌ها و پوشش گیاهی کرانه بررسی کردند. مگلیلو و همکاران (Magliulo et al., 2021)

در پژوهشی با عنوان تغییرات کانال در بازه زمانی بیش از ۱۴۰ سال در پاسخ به سیلاب‌های شدید و تغییر کاربری زمین، رودخانه تامارو در جنوب ایتالیا را با استفاده از تجزیه و تحلیل ژئومورفولوژیکی و کاربری زمین مبتنی بر GIS، بررسی‌های میدانی و تجزیه و تحلیل داده‌های هیدرولوژیکی (بارندگی، دبی جریان، سیل‌های شدید) مطالعه کردند و دریافتند که کانال با توجه به تغییرات ایجاد شده واکنش‌های متفاوتی از خود نشان می‌دهد. گارسیا مارتینز و رینالدی (García-Martínez & Rinaldi, 2022) در مطالعه تغییرات کانال در پایین رود گوادالکیویر (جنوب اسپانیا) در ۲۵۰ سال گذشته از سال ۱۷۵۰ تا ۲۰۱۰ را بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که بیشترین تغییرات ایجاد شده در طی صد سال گذشته و در نتیجه احداث سدها بوده است. عظیم (Azim, 2024) تغییرات هیدرومورفولوژیک را در رودخانه نیل در بازه زمانی ۱۹۸۲ تا ۲۰۰۳ از طریق داده‌های عمق‌سنجی و هیدرولوژیک مورد مطالعه قرار داد. نتایج نشان داد که در طی ۲۱ سال رودخانه در بازه مورد مطالعه فروسایی داشته و آسیب‌پذیری کرانه افزایش یافته است. کین و همکاران (Qin, Jin, Du & Jin, 2024) تغییرات مورفولوژی رودخانه و عوامل تأثیرگذار را در رودخانه یللو در طی ۲۵ سال اخیر مورد مطالعه قرار داده‌اند. تغییرات مکانی - زمانی در مورفولوژی رودخانه در UYR با استفاده از پارامترهای مورفولوژی رودخانه (مانند مساحت، عرض کانال، طول خط مرکزی، شاخص سینوسی، نرخ مهاجرت جانبی و پایداری کانال) نشان داد که مساحت و میانگین عرض کل محدوده UYR به طور قابل توجهی تغییر کرده است، به طوری که حداکثر مقدار ۱/۳ برابر حداقل مقدار بوده است، در حالی که طول خط مرکزی و شاخص سینوسی هیچ تغییر ظاهری نشان نداده‌اند و نرخ مهاجرت جانبی حداقل تغییر کرده است.

یمانی و گورابی (Yamani & Goorabi, 2015) در پژوهشی با عنوان پیش‌بینی تغییرات هندسی رودخانه کردان در محدوده طی سالهای ۱۳۳۴ تا ۱۳۷۸ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی انجام دادند. نتایج آنها نشان داد که میزان تغییرات جانبی رودخانه در محدوده مذکور در قسمت‌های مختلف بین ۳۷ تا ۱۶۵ متر متغیر بوده است و با توجه به همین نتایج نسبت به پیش‌بینی ۲۰ سال آینده انجام داده‌اند. حسین‌زاده و همکاران (Hosseinzadeh, Rashidi, Sepehr, Zarei & Khaneh Bad, 2018) در تحقیقی به بررسی علل ایجاد و تغییرات جزایر در طی سال‌های ۱۹۵۴ تا ۲۰۱۱ در رودخانه کارون پرداختند. در این تحقیق از داده‌های ماهواره‌ای لندست و IRS استفاده نموده‌اند و به این نتیجه رسیدند که رودخانه کارون دچار تغییرات چشمگیری در مورفولوژی شده است، همچنین عرض بستر رودخانه در محدوده شهری اهواز کاهش شدیدی داشته است. حسین‌زاده و همکاران (Hosseinzadeh, Esmaeili & Nabizadeh, 2022) در پژوهشی با عنوان تحلیل تغییرات زمانی و پایداری پلانفرم آبراه رود نکا - مازندران، در سه مقطع زمانی بین سال‌های ۱۳۶۴ تا ۱۳۹۹ و با استفاده از روش ترانسکت، سه شاخص مورفومتري، مورفولوژی و مورفودینامیک، تغییرات مسیر این رودخانه را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از بررسی آنها نشان می‌دهد که مقادیر ضریب خمیدگی، زاویه مرکزی و زوایای قوس‌ها در طول رودخانه از بالادست به طرف پایین دست کاهش یافته است. صفاری و همکاران (Saffari, Ghanavati & Alipour, 2023) در پژوهشی با عنوان بررسی تغییرات مورفولوژی رودخانه کارون و مخاطرات ناشی از آن با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ تغییرات مورفولوژی این رودخانه را استخراج کردند. در بین عوامل مؤثر مورد بررسی، تغییرات کاربری، تراکم پوشش گیاهی و رسوب بیشترین اثرگذاری را بر تغییرات ایجاد شده عنوان کرده‌اند. عابدینی و همکاران (Abedini, Fateh Elahi & NezafatTakle, 2024) پژوهشی با عنوان بررسی فرسایش کناری رودخانه دره رود شهرستان هوارند آذربایجان با استفاده از مدل راسکن به این نتیجه رسیدند که بیشتر بازه‌های مورد بررسی در وضعیت ضعیف و ناپایدار قرار دارند و تنها دو بازه در وضعیت مناسبی قرار دارند. نتایج آنها نشان داد که طبقه‌بندی رودخانه در این منطقه با استفاده از این مدل، ارزیابی دقیقی را برای کاربردهای مدیریتی فراهم می‌کند.

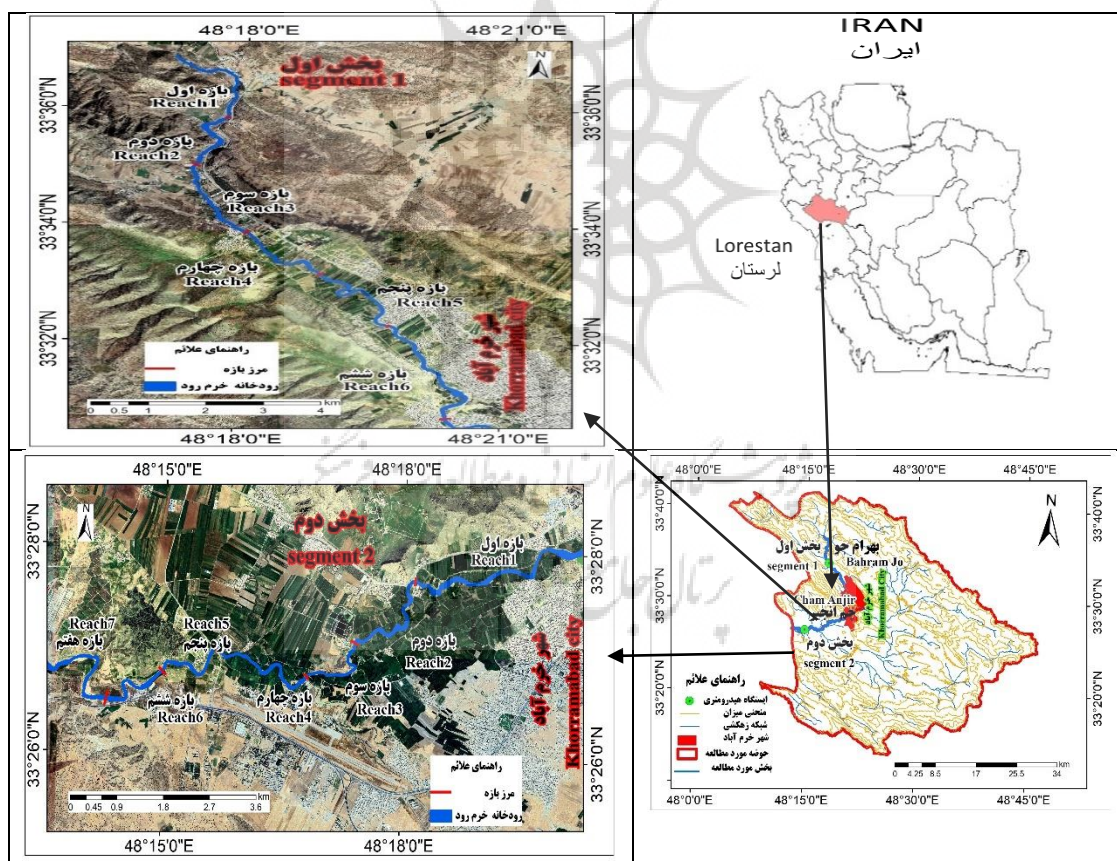
حسین زاده و همکاران (Hosseinzadeh, Salehi Milani & Hydari, 2024) در پژوهشی با عنوان تغییرات ژئومورفیک رودخانه چشمه کیله در محدوده جلگه ساحلی غرب مازندران تغییرات کانال را در این رودخانه به طول ۸۰ کیلومتر در حدفاصل عباس آباد تا رامسر از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۲ را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داده است که میزان تغییرات کرانه در الگوی سینوسی بیشتر از الگوی مستقیم بوده است و بازه‌های واقع در بخش میانی و بالایی جلگه به دلیل شیب بیشتر شرایط مناسب‌تری جهت فرسایش کرانه و ناپایداری کانال را داشته‌اند. رحیمی و همکاران (Rahimi, Khaleghi & Salehipour Milani, 2024) ارزیابی تغییرات مورفولوژیکی رودخانه سدیح در اثر رخداد سیلاب‌ها در یک دوره ۱۱ ساله در قاعده دلتای سدیح را با استفاده از مدل شاخص تغییر شبکه رودخانه (RNCI) مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که سیلاب سال ۱۳۹۷ نسبت به دیگر سیلاب‌ها، تأثیرات زیاده‌تری بر تغییرات ژئومورفولوژیکی عرض کانال و فرسایش شدید کرانه رودخانه داشته است. اسماعیلی و نوری‌زاده (Esmaili & Nourizadeh Nesheli, 2024) ارزیابی تغییرات مورفولوژیکی رودخانه هراز در اثر فشارهای انسانی در محدوده شهر آمل را طی یک دوره ۵۳ ساله (۱۳۴۷-۱۴۰۰) مورد ارزیابی قرار داده‌اند. نتایج نشان داد 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 کانال‌های آبیاری، تصرف دشت سیلابی و تغییر کاربری اراضی حاشیه رود از مهم‌ترین عوامل فشار در تغییرات مورفولوژیکی رود در محدوده مورد مطالعه بوده‌اند.

جمع‌بندی نتایج پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که رودخانه‌ها روندهای مشابهی از تغییرات کانال را تجربه کرده‌اند که از پیامدهای تغییر کاربری زمین در سطح حوضه و دشت سیلابی، تغییر جریان و استخراج رسوب می‌باشد. رودخانه خرم‌رود طی چند دهه گذشته تحت تأثیر سطوح مختلفی از تغییرات مورفولوژیک با پیامدهای گوناگونی قرار گرفته است و تاکنون مطالعه جامعی در رابطه با میزان تغییرات ایجاد شده در آن انجام نشده است. از این رو هدف این تحقیق، بررسی و تحلیل روندهای تکاملی، میزان تغییرات ایجاد شده و در نهایت شناسایی ارتباط بین این روندها و عوامل کنترل‌کننده آن در بازه‌های زمانی ۲۰۲۵ - ۲۰۰۶ در راستای مدیریت رودخانه و کاهش اثرات منفی آن می‌باشد. روش کار مورد استفاده در این پژوهش در سال‌های اخیر در کشورهای مختلف جهت احیاء و مدیریت رودخانه‌ها به کار گرفته شده، برای بررسی تغییرات مورفولوژی رودخانه خرم‌رود انجام شده است. تحلیل تغییرات رودخانه خرم‌رود در طول دهه‌های گذشته (نبود مطالعات مرتبط با مورفولوژی رودخانه خرم‌رود) می‌تواند شناخت ما را نسبت به فرآیندهای حاکم بر رودخانه ارتقاء دهد؛ همچنین نتایج به‌دست آمده از این پژوهش می‌تواند توسط مدیران و تصمیم‌گیرندگان در راستای احیاء و مدیریت رودخانه خرم‌رود مورد استفاده قرار گیرد.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخشی از رودخانه خرم‌رود به طول حدود ۳۴ کیلومتر، شامل دو بخش در قسمت شمالی (بازه ۱ تا ۷) و بخش جنوبی (بازه ۸ تا ۱۳) شهر خرم‌آباد و در طول جغرافیایی $48^{\circ}08'$ تا $49^{\circ}21'$ شرقی و عرض جغرافیایی $33^{\circ}13'$ تا $33^{\circ}34'$ شمالی واقع شده است. بخش اول که به موازات جاده خرم‌آباد - کرمانشاه از روستای دارحوض تا پل شهدای فلک‌الدین و به طول ۱۶۷۰۰ متر است. این بازه از نظر توپوگرافی، در ارتفاعی بین ۱۳۳۰ متر تا ۱۴۱۰ متر و متوسط شیب $0/47\%$ درصد قرار دارد. بخش دوم از پل یادگار امام (انتهای شهر) تا پل مجتمع کشت صنعت به طول ۱۷۲۵۰ متر می‌باشد. این بخش از نظر توپوگرافی، در ارتفاعی بین ۱۲۱۰ متر تا ۱۲۷۰ متر و متوسط شیب $0/34\%$ درصد قرار دارد. میانگین دبی آن در دوره آماری (۲۰۰۴ - ۲۰۲۴) در ایستگاه بهرام‌جو $2/02 \text{ m}^3/\text{s}$ و میانگین حداکثر $6/69 \text{ m}^3/\text{s}$ می‌باشد. در ایستگاه چم انجیر نیز میانگین دبی در دوره آماری $7/87 \text{ m}^3/\text{s}$ و میانگین حداکثر $26/76 \text{ m}^3/\text{s}$ می‌باشد.

از نظر زمین‌شناسی این منطقه در ناحیه لرستان از کمربند چین خورده - رانده زاگرس و در شمال غرب فروافتادگی درفول قرار دارد. از نظر ساختاری تناوبی از تاقدیس‌ها و ناودیس‌های کوچک و بزرگ دیده می‌شود. قدیمی‌ترین سازند برونزده در هسته تاقدیس خرم‌آباد، سازند گرو می‌باشد. روی این سازند سنگ‌های کربناته سازند سروک با سن کرتاسه و سپس سازندهای جوان تر به ترتیب ایلام، امیران، کشکان، آسماری، آغاچاری و نهشته‌های کواترنری قرار گرفته‌اند. رودخانه در حوضه مورد مطالعه هر سه مرحله جوانی، بلوغ و پیری را نشان می‌دهد. در بخش اول از حد فاصل روستای رباط نمکی تا تنگ شیبخون دره به صورت ۷ شکل و با شیب نسبتاً زیاد است (مرحله جوانی) در حد فاصل تنگ شیبخون تا جنوب شهر خرم‌آباد نیمرخ دره U شکل (مرحله بلوغ) و در بخش دوم رودخانه در حدفاصل جنوب شهر خرم‌آباد تا جنوبی‌ترین نقطه از محدوده مورد مطالعه در پایاب، رودخانه مسیر دشت خرم‌آباد را طی می‌کند. رودخانه در این قسمت قوس‌های بزرگی دارد که نشان می‌دهد رودخانه در این قسمت در مرحله پیری دوره تکامل خود قرار دارد. متوسط بارندگی سالیانه ایستگاه هواشناسی خرم‌آباد ۵۱۷ میلیمتر و متوسط دمای سالیانه آن ۱۶/۸ درجه سانتی‌گراد است که بر اساس این آمار و شاخص آب و هوایی دمارتن می‌توان نوع اقلیم به‌دست آمده برای منطقه خرم‌آباد را نیمه خشک یا مدیترانه‌ای قلمداد کرد (Arian Tabar, Jabbari & Farahpour, 2021) (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه خرم‌رود، استان لرستان، ایران

Fig.1. Location of the study area: Khoramroud, Lorestan Province, Iran

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات به منظور بررسی تغییرات مورفولوژیک رودخانه خرم‌رود، با استفاده از ابزارهای فیزیکی مانند نقشه‌های توپوگرافی (۱:۲۵۰۰۰) شیت‌های ۵۶۵۶۱NW، ۵۶۵۶۴NE و ۵۶۵۷۲SW، نقشه زمین‌شناسی خرم‌آباد (۱:۲۵۰۰۰)، تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث و مشاهدات و برداشت‌های میدانی در بهمن ماه ۱۴۰۳ و اردیبهشت ماه ۱۴۰۴ انجام شد. بر پایه برداشت‌های میدانی پارامترهای مورفومتری کانال شامل عرض و عمق مقطع، سرعت جریان، نوع پوشش گیاهی کرانه، بافت رسوبات بستر و کرانه، حد دبی لبالبی و ویژگی‌های کانال و دخالت‌های انسانی ثبت و به‌دست آمد. با بررسی آمار داده‌های ایستگاه هیدرومتری بهرام‌جو و چم انجیر (سال‌هایی که دارای دبی بالاتری بودن که قابلیت ایجاد تغییرات در کانال را داشتند) و کیفیت تصاویر ماهواره‌ای موجود در محیط گوگل ارث از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۵، سال‌های ۲۰۱۷، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۵ انتخاب شدند و نقشه‌های مورد نیاز در محیط نرم‌افزار Arc GIS ترسیم و رقومی‌سازی شد. با توجه به طول رودخانه خرم‌رود (۳۴ کیلومتر) و قرارگیری شهر خرم‌آباد در بخش میانی منطقه مورد مطالعه، محدوده مورد بررسی به دو بخش شمالی و جنوبی تقسیم‌بندی شد. جهت بررسی دقیق‌تر طبق روش رینالدی و همکاران (Rinaldi et al., 2012)، بخش اول به شش بازه (۱۷ مقطع) و بخش دوم به هفت بازه (۱۸ مقطع) بر اساس تغییرات الگو، شیب، موقعیت کانال و سازه‌های احداث شده بازه‌بندی شد. به‌منظور بررسی تغییرات پلانفرم کانال، ابتدا کناره‌های راست و چپ هر کدام از بازه‌های رودخانه در سال‌های مختلف ترسیم و سپس با روی هم گذاری آنها مساحت جابجا شده محاسبه شد و با استفاده از شاخص تغییر شبکه رودخانه ($RNCI^1$)، 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. با استفاده از این شاخص و بر اساس کانال فعال رودخانه، منطقه فرسایشی و منطقه رسوب‌گذاری طبق رابطه (۱) محاسبه می‌شود (Ghosh et al., 2023).

$$RNCI = \frac{(\sum EA - \sum DA)}{L} / T \quad (1)$$

که در آن EA منطقه فرسایشی، DA منطقه رسوبی، L طول بازه و T دوره مورد مطالعه است. به‌منظور بررسی پویایی کانال (CA^2)، خط مرکزی کانال در بخش‌ها و بازه‌های مختلف و برای دوره‌های زمانی مورد بررسی برای هر یک از سال‌های مورد مطالعه ترسیم گردید و سپس با روی هم گذاری آنها مساحت جابه‌جا شده کانال محاسبه و با استفاده از رابطه (۲) (Magdaleno & Fernandez, 2011a) میزان تغییرات در سال‌های مختلف محاسبه شد.

$$CA = \left(\frac{SA}{Lt1} \right) / T2 - T1 \quad (2)$$

CA : میزان فعالیت کانال، SA : مساحت جابه‌جا شده در طی دو زمان، $Lt1$: طول کانال در زمان اول، $T1$: زمان اول (سال اول)، $T2$: زمان (سال دوم).

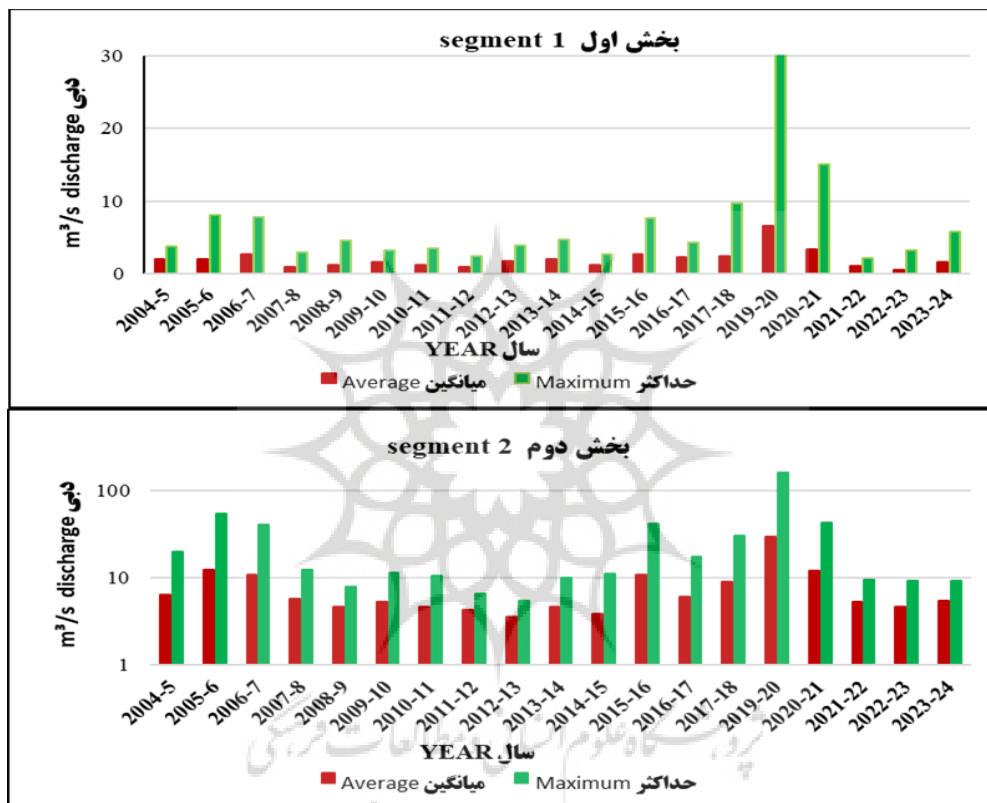
در ادامه اطلاعات و داده‌ها به نرم‌افزار EXCEL منتقل و جداول و نمودارها آنها ترسیم شدند و در نهایت تغییرات کناره‌های رودخانه و پویایی کانال در هر دو بخش در سال‌های مورد مطالعه مورد مقایسه و تغییرات آنها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

1- River network change index

2 - Channel activity

نتایج و بحث

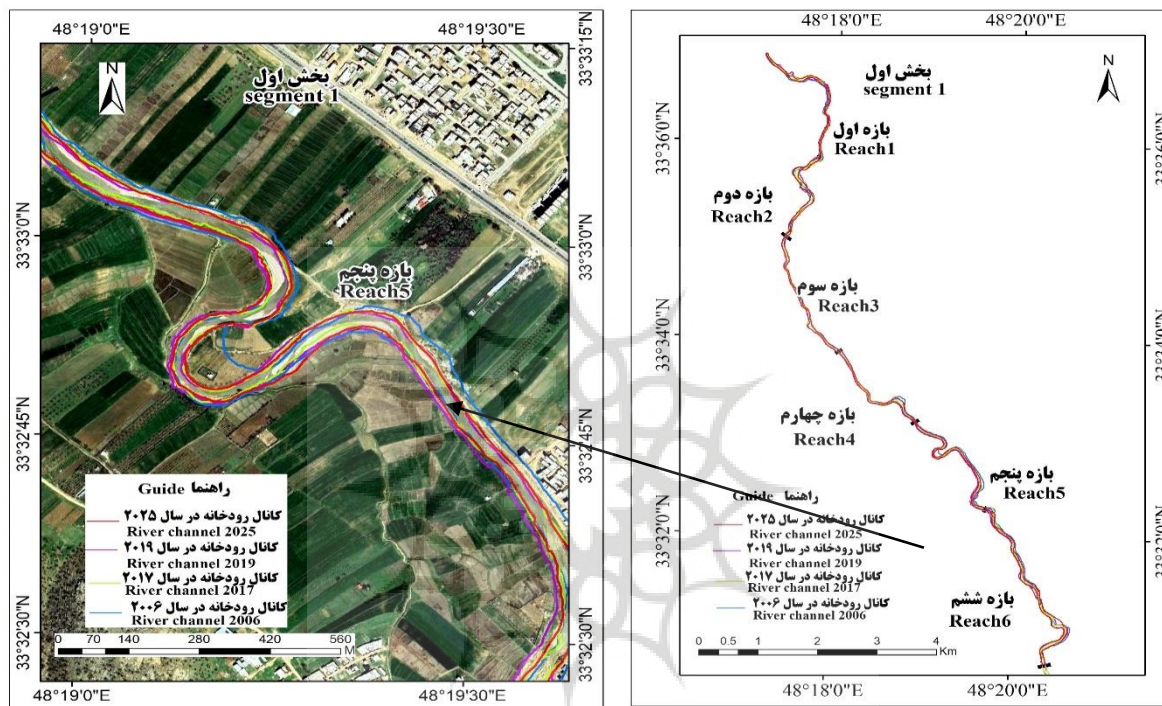
منطقه مورد مطالعه دارای دو ایستگاه هیدرومتری بهرام‌جو (بخش اول) و چم انجیر (بخش دوم) می‌باشد. میانگین دبی در دوره آماری (۲۰۰۴-۲۰۲۴) در ایستگاه بهرام‌جو $2/02 \text{ m}^3/\text{s}$ و میانگین حداکثر $6/69 \text{ m}^3/\text{s}$ می‌باشد. در ایستگاه چم انجیر نیز میانگین دبی در دوره آماری $7/87 \text{ m}^3/\text{s}$ و میانگین حداکثر $26/76 \text{ m}^3/\text{s}$ می‌باشد. حداکثر دبی مشاهده شده در ایستگاه بهرام‌جو ($30/93 \text{ m}^3/\text{s}$) و چم انجیر ($158/67 \text{ m}^3/\text{s}$) در سال ۲۰۱۹ ثبت شده است (شکل ۲).



شکل ۲ - میانگین و حداکثر دبی در دو ایستگاه هیدرومتری بهرام‌جو (بخش اول) و چم انجیر (بخش دوم)
Fig.2. Mean and maximum discharge at the two hydrometric stations: Bahram Jo (segment 1) and Cham Anjir (segment 2)

نتایج پویایی کانال در بخش اول: نتایج به‌دست آمده در چهار دوره زمانی مورد مطالعه در بخش اول، نشان داد که در دوره زمانی اول (۲۰۰۶-۲۰۱۷) بازه‌های ۵ و ۳ (۱/۰۵ و ۰/۴۴ متر در سال)، در دوره زمانی دوم (۲۰۱۷-۲۰۱۹) بازه‌های ۲ و ۳ (۳/۹۴ و ۱/۱۸ متر در سال)، در دوره زمانی سوم (۲۰۱۹-۲۰۲۵) بازه‌های ۲ و ۳ (۳/۹۴ و ۱/۱۸ متر در سال) و در دوره زمانی چهارم (۲۰۲۵-۲۰۲۶) بازه‌های ۶ و ۴ (۰/۶۵ و ۰/۲۴ متر در سال) به‌ترتیب بیشترین و کمترین میزان پویایی کانال را داشته‌اند. بیشترین میانگین تغییرات کل بخش اول در بازه زمانی دوم (۲/۸۲ متر در سال) رخ داده است (جدول ۱ و شکل ۳).

نتایج پویایی کانال در بخش دوم: نتایج به دست آمده در چهار بازه زمانی مورد مطالعه در بخش دوم، نشان داد که در دوره زمانی اول بازه‌های ۱ و ۳ (۱/۰۷ و ۰/۲۰ متر در سال)، در دوره زمانی دوم، بازه‌های ۴ و ۳ (۳/۹۷ و ۱/۷۹ متر در سال)، در دوره زمانی سوم بازه‌های ۷ و ۳ (۳/۴۶ و ۰/۶۲ متر در سال) و در زمانی چهارم بازه‌های ۷ و ۳ (۱/۰۸ و ۰/۱۳ متر در سال) به ترتیب بیشترین و کمترین میزان تغییرات خط مرکزی را داشته‌اند. بیشترین میانگین پویایی در بازه زمانی دوم (۲/۹۲ متر در سال) رخ داده است (جدول ۲ شکل ۴).



شکل ۳- پویایی کانال در دوره‌های زمانی مورد مطالعه در بازه‌های بخش اول

Fig.3. Channel dynamics in the initial channel reaches during the study periods

جدول ۱ - میزان پویایی کانال در بازه‌های بخش اول در سال‌های مورد مطالعه (مقادیر بر حسب متر در سال)

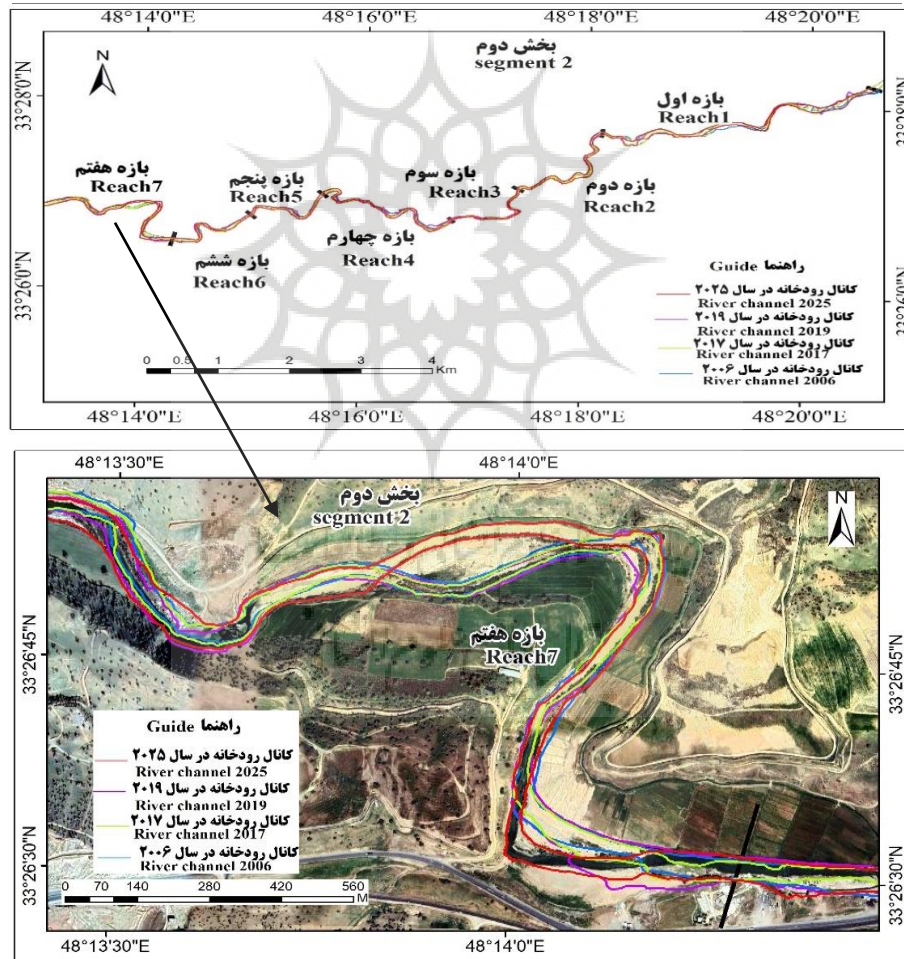
Table 1- Stream channel dynamics in the initial channel reaches during the study periods (m/y)

دوره زمانی				
Time period				
				بازه
				Reach
2006-2017	2017-2019	2019-2025	2006-2025	1
0.77	3.01	0.88	0.30	2
0.74	3.94	1.04	0.50	3
0.44	1.18	0.54	0.25	4
0.56	2.27	0.78	0.24	5
1.05	3.13	0.87	0.60	6
0.76	3.35	1.65	0.65	
0.72	2.82	0.97	0.42	میانگین پویایی
				Average CA

جدول ۲- میزان پویایی کانال در بازه‌های بخش دوم در سال‌های مورد مطالعه (مقادیر بر حسب متر در سال)

Table 2- Stream channel dynamics in the second channel reaches during the study periods (m/y)

دوره زمانی Time period				بازه Reach
2006-2017	2017-2019	2019-2025	2006-2025	
1.07	3.6	1.16	0.9	1
0.22	2.4	1.01	0.34	2
0.20	1.79	0.62	0.13	3
0.70	3.97	1.30	0.44	4
0.34	2.22	0.57	0.25	5
0.64	3.63	0.89	0.45	6
0.41	3.01	3.46	1.08	7
0.51	2.95	1.29	0.51	میانگین پویایی Average CA



شکل ۴ - پویایی کانال در دوره‌های زمانی مورد مطالعه در بازه‌های بخش دوم

Fig.4. Stream channel dynamics in the second channel reaches during the study periods (m/y)

نتایج تغییرات کرانه رودخانه در بازه‌های مورد مطالعه در بخش اول: نتایج به دست آمده با استفاده از شاخص تغییر شبکه رودخانه در چهار بازه زمانی مورد مطالعه در بخش اول (جدول ۳) نشان داد که در دوره زمانی اول تمام کناره‌های راست بازه‌های این بخش از نوع تراکمی بوده و بازه ۱ (۱/۶۷ - متر) بیشترین میزان رسوب گذاری را داشته است. در کناره‌های چپ، بازه‌های ۳ (۰/۲۹ متر فرسایش) و ۶ (۱/۷۳ - متر رسوب گذاری) به ترتیب بیشترین میزان فرسایش و رسوب گذاری را داشته‌اند. در دوره زمانی دوم همه کناره‌های راست بازه‌های این بخش از نوع فرسایشی بوده و بازه ۶ (۷/۴۰ متر) بیشترین میزان فرسایش را داشته است و در کناره‌های چپ، بازه‌های ۴ (۳/۳۲ متر) و ۵ (۰/۳۱ - متر) به ترتیب بیشترین میزان فرسایش و رسوب گذاری را داشته‌اند. در دوره زمانی سوم تمام کناره‌های راست بازه‌های این بخش از نوع تراکمی بوده و بازه ۶ (۱/۲۸ - متر) بیشترین میزان رسوب گذاری را داشته است. در کناره‌های چپ، بازه‌های ۶ (۰/۵۳ متر) و ۱ (۱/۵۴ - متر) به ترتیب بیشترین میزان فرسایش و رسوب گذاری را داشته‌اند. در دوره زمانی چهارم در کناره‌های راست، بازه‌های ۲ (۰/۴۸ متر) و ۱ (۰/۷۵ - متر) و در کناره‌های چپ، بازه‌های ۳ (۰/۰۸ متر) و ۵ (۱/۰۷ - متر) به ترتیب بیشترین میزان فرسایش و رسوب گذاری را داشته‌اند. بیشترین میزان میانگین تغییرات دوره‌ای در بازه زمانی دوم به میزان ۱/۳۸ متر در کرانه راست و ۵/۴۶ متر در کرانه چپ رخ داده است (شکل ۵ و ۶).



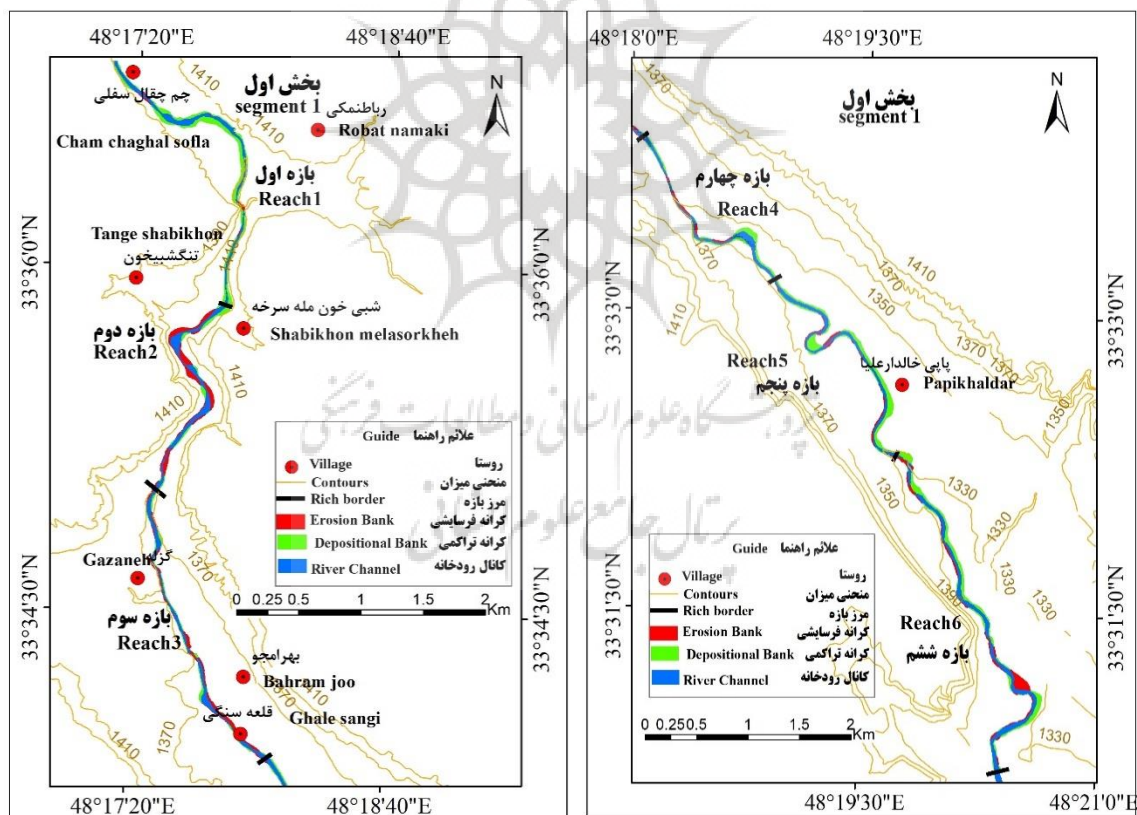
شکل ۵- (الف) برش بستر رودخانه، (ب) فرسایش حاشیه رودخانه در بخش اول
Fig.5. (a) Riverbed cross-section; (b) bank erosion in the initial reach

نتایج تغییرات کرانه رودخانه در بازه‌های مورد مطالعه در بخش دوم: نتایج به دست آمده در چهار بازه زمانی مورد مطالعه، در این بخش (جدول ۴) نشان داد که در دوره زمانی اول در کناره‌های راست، بازه‌های ۱ (۰/۲۷ متر) و ۴ (۱/۱۶ - متر) و در کناره‌های چپ، بازه‌های ۵ (۰/۱۴ متر) و ۱ (۰/۸۱ - متر) به ترتیب بیشترین میزان فرسایش و رسوب گذاری را داشته‌اند. در دوره زمانی دوم همه کناره‌های راست بازه‌های این بخش از نوع فرسایشی بوده و بازه ۴ (۹/۶۸ متر) بیشترین میزان فرسایش را داشته است و در کناره‌های چپ، بازه‌های ۷ (۴/۷۸ متر) و ۵ (۰/۳۲ - متر) به ترتیب بیشترین میزان فرسایش و رسوب گذاری را داشته‌اند. در دوره زمانی سوم در کناره‌های راست، بازه‌های ۷ (۱/۴۹ متر) و ۴ (۲/۱۷ - متر) و در کناره‌های چپ، بازه‌های ۱ و ۷ (۰/۷۷ متر) و ۶ (۱/۳۱ - متر) به ترتیب بیشترین میزان فرسایش و رسوب گذاری را داشته‌اند. در دوره زمانی چهارم در کناره‌های راست، بازه‌های ۱ (۰/۸۰ متر) و ۴ (۰/۳۰ - متر) و در کناره‌های چپ، بازه‌های ۲ (۰/۴۴ متر) و ۱ (۰/۵۵ - متر) به ترتیب بیشترین میزان فرسایش و رسوب گذاری را داشته‌اند. بیشترین میزان میانگین تغییرات دوره‌ای در بازه زمانی دوم به میزان ۲/۲۴ متر در کرانه راست و ۵/۰۹ متر در کرانه چپ رخ داده است (شکل ۷ و ۸).

جدول ۳ - تغییرات پلان بازه‌ها در بخش اول بر اساس مساحت کانال در سال‌های مورد مطالعه (متر در سال)

Table 3- Planform changes of reaches in the initial reach based on channel area during the study years (m/y)

2006-2017		2017-2019		2019-2025		2006-2025		دوره زمانی Time period
کرانه راست Right Bank	کرانه چپ Left Bank	کرانه راست Right Bank	کرانه چپ Left Bank	کرانه راست Right Bank	کرانه چپ Left Bank	کرانه راست Right Bank	کرانه چپ Left Bank	بازه reach
-1.67	-0.18	5.72	1.81	-1.16	-1.54	-0.75	-0.4	1
-0.28	0.23	6.93	2.34	-0.33	-1.16	0.48	0.01	2
-0.33	0.29	3.16	1.91	-0.40	-0.92	0.02	0.08	3
-0.39	-1.4	3.31	3.32	-1.17	0.22	-0.17	-0.4	4
-0.29	-1.72	5.26	-0.31	-1.24	-0.14	-0.03	-1.07	5
-0.39	-1.73	7.40	0.47	-1.28	0.53	0.16	-0.65	6
-0.86	-0.57	1.38	5.46	-0.42	-1	-0.45	-0.05	میانگین Average
تراکمی depositional	تراکمی depositional	فرسایشی erosion	فرسایشی erosion	تراکمی Depositional	تراکمی depositional	تراکمی depositional	تراکمی depositional	RNCI



شکل ۶ - تغییرات پلان رود از نظر شرایط تراکمی و فرسایشی بودن در بازه‌های مورد مطالعه در بخش اول

Fig.6. Planform changes of the river in terms of depositional and erosional conditions in the studied reaches of the initial reach

جدول ۴ - تغییرات پلان بازه‌ها در بخش دوم بر اساس مساحت کانال در سال‌های مورد مطالعه (متر در سال)

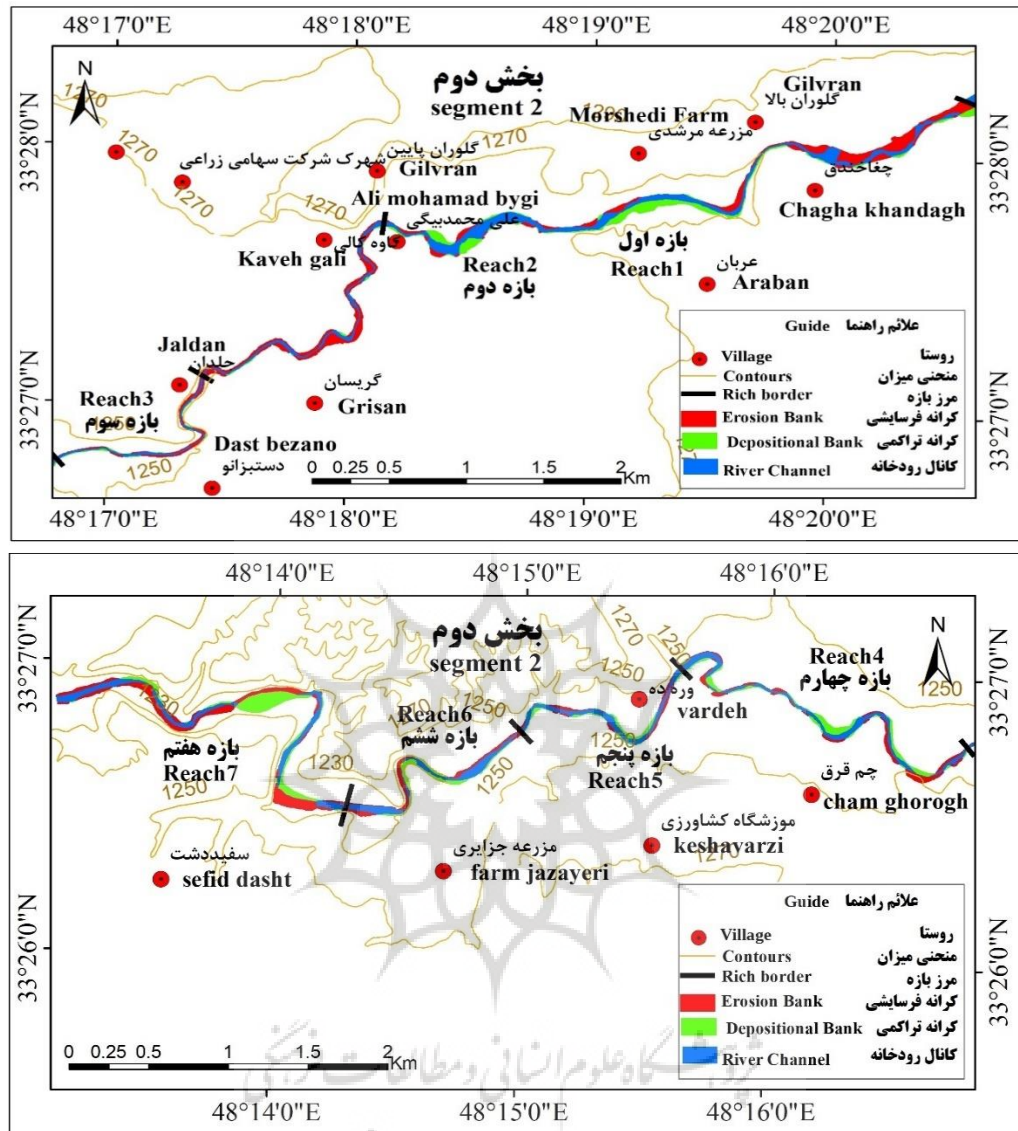
Table 4- Planform changes in the second reach based on channel area during the study years (m/y)

2006-2017		2017-2019		2019-2025		2006-2025		دوره زمانی Time period
کرانه راست Right Bank	کرانه چپ Left Bank	کرانه راست Right Bank	کرانه چپ Left Bank	کرانه راست Right Bank	کرانه چپ Left Bank	کرانه راست Right Bank	کرانه چپ Left Bank	بازه reach
0.27	-0.81	5.83	1.72	0.09	0.77	0.80	-0.55	1
0.09	0.05	4.35	1.52	0.12	-0.34	0.56	0.44	2
0.15	-0.01	3.99	1.33	-0.83	-0.53	0.22	0.03	3
-1.16	0.09	9.68	2.93	-2.17	-0.61	-0.3	0.15	4
-0.39	0.14	3.9	-0.32	-0.75	-0.97	-0.05	-0.09	5
-0.48	-0.47	7.05	2.17	-0.26	-1.31	0.41	-0.34	6
-0.37	0.05	0.53	4.78	1.49	0.77	0.31	0.11	7
-0.23	-0.21	2.24	5.09	-0.62	-0.19	-0.09	.35	میانگین Average
تراکمی depositional	تراکمی depositional	فرسایشی erosion	فرسایشی erosion	تراکمی depositional	تراکمی depositional	تراکمی depositional	فرسایشی erosion	RNCI



شکل ۷- الف) برش بستر رودخانه، ب) فرسایش حاشیه رودخانه در بخش دوم

Fig.7. a) Riverbed cross-section; b) bank erosion in the second reach

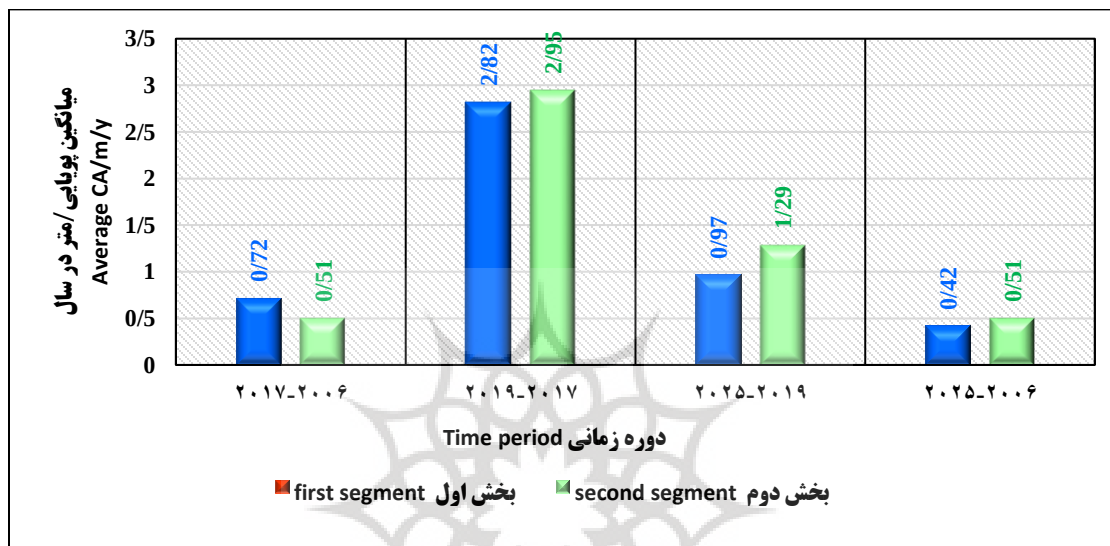


شکل ۸ - تغییرات پلان رود از نظر شرایط تراکمی و فرسایشی بودن در بازه‌های بخش دوم

Fig.8. Planform changes of the river in terms of depositional and erosional conditions in the reaches of the second reach

جابه‌جایی کانال تغییرات در شکل و مورفولوژی کانال را توصیف می‌کند که شامل تغییر جانبی کناره‌های کانال (جابه‌جایی جانبی، عریض شدن و باریک شدن کانال) و یا تغییر عمودی بستر کانال (رسوب‌گذاری، حفر بستر) می‌شود. این تغییرات سیستماتیک زمانی (تکامل کانال) به تحلیل‌گر اجازه می‌دهد تا فرآیندهای کانال در گذشته و حال را تفسیر کند و همچنین تغییرات آینده کانال را پیش‌بینی کند. تغییرات کانال در منطقه مورد مطالعه با استفاده از مقایسه تصاویر سال‌های مختلف (تغییرات عرضی) و مشاهدات میدانی (تغییرات عمودی) انجام شد. مشاهدات اولیه از مقایسه تصاویر، تغییرات قابل توجهی در عرض کانال را در بسیاری از بازه‌ها نشان داد. تغییرات گسترده عرض کانال این امکان را فراهم کرد که میزان تغییرات در

این پژوهش به صورت کمی برآورد شود. مشاهدات میدانی نیز جهت بررسی، جمع‌آوری شواهد و اندازه‌گیری تغییرات عمودی با بررسی سازه‌های هیدرولیکی (پایه پل‌ها) و ویژگی‌های مورفولوژیکی و پوشش گیاهی کناره‌ها انجام شد. در بخش اول با توجه به نتایج به‌دست آمده از مقایسه تصاویر سال‌های مختلف، مشاهدات و برداشت‌های میدانی تغییرات گسترده و قابل ملاحظه‌ای در عرض و عمق کانال در بازه‌های آن مشاهده شد. در دوره زمانی اول خط مرکزی به طور میانگین ۰/۷۲ متر در سال جابه‌جایی داشته است. این پویایی باعث جابه‌جایی کانال در هر دو کرانه چپ و راست شده است (شکل ۹).



شکل ۹- میانگین پویایی کانال در بخش اول و دوم رودخانه خرم رود در بازه زمانی ۲۰۰۶-۲۰۲۵

Fig.9. Average channel dynamics in the first and second reaches of Khorram River during 2006–2025

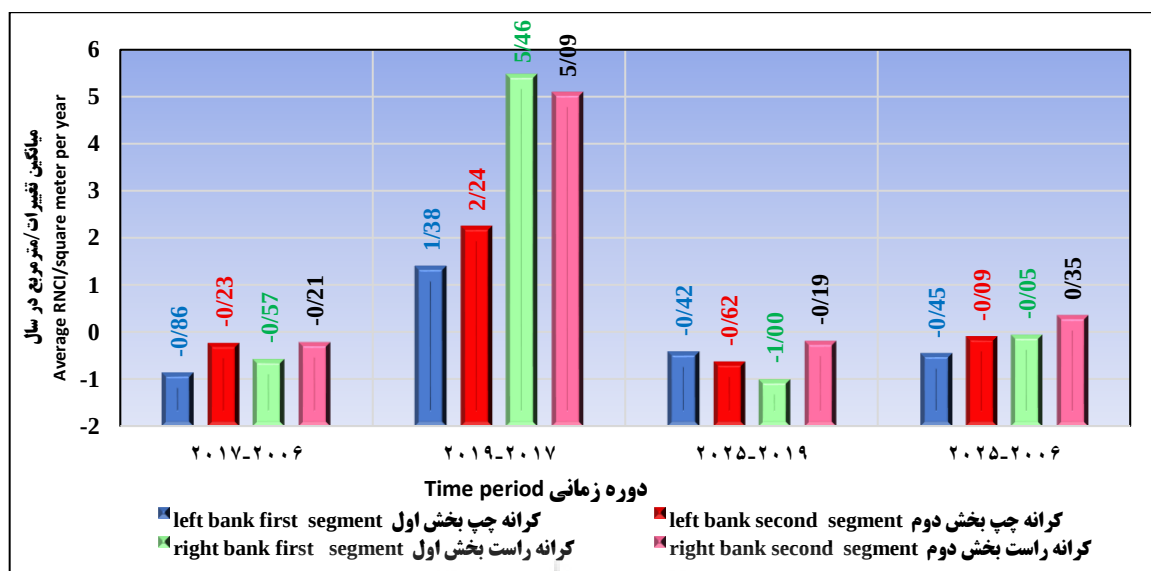
با توجه به میزان دبی رودخانه در طی این دوره زمانی، جابه‌جایی کناره‌های این بخش از نوع تراکمی بوده است. به عبارت دیگر کاهش دبی اوج سیلاب و قدرت جریان در این دوره زمانی باعث شده است که عرض کانال رودخانه از میانگین ۴۰ متر به ۲۸ متر کاهش یابد علاوه بر این به علت کاهش بار بستر و فعالیت‌های انسانی (برداشت رسوب) به‌ناچار بستر خود را نیز حفر کرده است. در طی دوره زمانی دوم، میزان جابه‌جایی خط مرکز کانال به بیشترین میزان خود ۲/۸۲ متر در سال می‌رسد. حجم زیاد جریان و رسوب ناشی از سیلاب شدید (دبی ۳۰/۹۳ متر مکعب بر ثانیه) در سال ۱۳۹۸ کناره‌های رودخانه در این بخش را به شدت فرسایش داده و باعث شده است که عرض کانال نسبت به دوره قبل ۱۵/۵ متر (۴۳/۵ متر) گسترش پیدا کند. در دوره سوم، افت جریان و بار رسوبی باعث جابه‌جایی خط مرکزی و تغییر مسیر جریان شده است که همین امر باعث شده که کناره‌های این بخش از رودخانه بعد از عریض شدن گسترده در دوره قبل به حالت تراکمی تغییر وضعیت بدهند که کاهش ده متری در عرض کانال (۳۳/۵ متر) و عمیق شدن کانال از نشانه‌های تغییرات در این دوره زمانی هستند. به طور کلی بازه‌های رودخانه در این بخش در طی دوره زمانی ۲۰ سال (۲۰۰۶-۲۰۲۵) سطوح شدیدی از تغییرات جانبی کناره‌های کانال شامل جابجایی جانبی، عریض شدن و باریک شدن کانال و تغییرات عمودی بستر کانال را داشته‌اند. این نتایج را می‌توان در مطالعات مگدلنو و فرناندز (Magdaleno & Fernández-Yuste, 2011b) و اسماعیلی و دلیری (Esmaeili &

(Daliri, 2019) مشاهده کرد. بر اساس داده‌های به‌دست آمده در بازه زمانی ۲۰۲۵-۲۰۰۶، رودخانه در وضعیت ناپایدار قرار داشته و نشان دهنده غیر طبیعی بودن تغییرات در رودخانه خرم‌رود است.

در بخش دوم، بازه‌های رودخانه در دوره زمانی اول از نظر میانگین جابه‌جایی خط مرکزی و پویایی کانال (۰/۵۱ متر) شرایط فعالی از خود نشان داده‌اند. با وجود تراکمی بودن بیشتر بازه‌ها در این بخش، تغییرات چشم‌گیری در جابه‌جایی کرانه‌ها ایجاد نشده است. میانگین عرض کانال در سال ۲۰۱۷ (۲۸/۳۶ متر) نسبت به سال ۲۰۰۶ (۲۸/۳۸ متر) اختلاف معناداری را نشان نمی‌دهد. با بررسی نتایج و تصاویر مربوط به این بازه زمانی، علت عدم تعریض رودخانه را می‌توان مربوط به عدم وجود رسوب در جریان در نتیجه کاهش بار رسوبی، تثبیت کناره‌ها توسط پوشش گیاهی و فعالیت‌های انسانی (تغییر الگوی کشت) (Wang et al., 2015) دانست. در این مقطع زمانی رودخانه فاقد تغییرات عرضی بوده اما از نظر تغییرات عمق کانال، با توجه به عوامل ذکر شده در بالا، بستر خود را حفر کرده است. در بازه زمانی دوم، وقوع سیلاب با دبی $158/67 \text{ m}^3/\text{s}$ در سال ۱۳۹۸، باعث ایجاد فرسایش قابل ملاحظه‌ای در بازه‌های این بخش شده است. مطالعه وینتربوتوم (Winterbottom, 2000) نشان داد که تغییرات عرضی و جانبی کانال را در پاسخ به سیلاب‌های شدید رخ می‌دهد و افزایش ناگهانی عرض کانال پس از سیلاب را به دنبال داشته است. در طی چند دهه اخیر، تغییرات هیدرولوژیکی در سطح حوضه باعث شده است دبی اوج سیلاب به شدت افزایش یافته و در نتیجه باعث بالا رفتن نرخ عرضه رسوب در بازه‌های مورد مطالعه شده است. به علت بزرگی این رخداد، خط مرکزی کانال در این بخش ۲/۹۵ متر جابه‌جا شده و در ادامه، عرض کانال از ۲۸/۳۶ متر به ۳۷/۸۱ متر گسترش یافته است. در دوره سوم زمانی، تغییرات خط مرکزی کانال به میزان ۱/۲۹ متر بوده و بیشتر کناره‌های بازه‌ها در حالت تراکمی هستند و نسبت به دوره قبل، کانال علاوه بر باریک‌تر شدن، حفر بستر را نیز داشته باشد. به طور کلی بازه‌های رودخانه در این بخش در طی دوره زمانی ۲۰ سال (۲۰۲۵-۲۰۰۶) رفتار متفاوتی داشته است. دوره قبل از وقوع سیلاب‌های بزرگ، بازه‌ها در این بخش صرفاً دچار فرسایشی شده و کانال عملاً فاقد تعریض‌شدگی می‌باشد. اما در دوره بعد از وقوع سیلاب، با افزایش ناگهانی عرضه رسوب از یک طرف و حذف و تنگ شدن پوشش گیاهی، کرانه‌ها از دو طرف علاوه بر فرسایش بستر، گسترش قابل توجهی (۱۰/۴۵ متر) را تجربه کرده و باعث تشکیل دشت سیلابی در این بخش شده است. همانطور که مطالعه لاور و پارکر (Lauer & Parker, 2008) نشان دهنده تشکیل دشت‌های سیلابی به واسطه تغییرات عرضی کانال است. در حال حاضر رودخانه از نظر تغییرات خط مرکزی (۰/۵۱ متر) به وضعیت سال ۲۰۰۶ تغییر حالت داده است اما با این تفاوت که از نظر تغییرات عرضی (۳۶/۳۳ متر) نسبت به دوره ابتدایی هشت متر افزایش عرض داشته است.

مقایسه بخش شمالی و جنوبی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که بخش شمالی منطقه مورد مطالعه با طول ۱۶۱۳۸ متر و با الگوی سینوسی (۱/۲۹) با بارهای رسوبی پراکنده تا پیوسته در امتداد کناره‌ها با متوسط شیب ۰/۴۷ درصد در ارتفاعی بین ۱۳۳۰ متر تا ۱۴۱۰ متر قرار دارد. بررسی تصاویر و مشاهدات میدانی، توزیع فضایی تغییرات عرضی و عمودی کاملاً آشکاری را در این بخش نشان می‌دهد. مقایسه نتایج به‌دست آمده در طی دوره‌های زمانی این بخش از رودخانه نشان داد که عرض کانال در بازه‌های شش‌گانه در این بخش کاهش یافته و رودخانه دچار فرسایشی شده است. همچنین با کاهش انرژی جریان، رودخانه رسوبات خود را که به طور غالب درشت دانه هستند در طول مسیر به‌ویژه در بازه‌های ابتدایی برجای گذاشته است و باعث تشکیل بارهای فعال و دشت‌های سیلابی در کناره‌های این بخش شده است که این امر کاهش عرض کانال را در پی داشته است. از طرف دیگر گستردگی عرضی کانال و وجود دشت‌های سیلابی در بستر رودخانه شرایط مناسبی را برای جابه‌جایی خط مرکزی کانال فراهم کرده است. جابه‌جایی خط مرکزی کانال نیز باعث جابه‌جایی کناره‌های کانال شده است و باعث حفر بستر و باریک شدن عرض کانال در این بخش از رودخانه شده است.

بخش جنوبی منطقه مورد مطالعه، با طول ۱۷۲۱۲ متر و با الگوی پیچان رودی (۱/۴۵) در ارتفاعی بین ۱۲۱۰ متر تا ۱۲۷۰ متر و متوسط شیب ۰/۳۴ درصد قرار دارد. در این بخش در ابتدای دوره مورد مطالعه رودخانه با وجود تغییر در خط مرکزی کانال، تغییر محسوسی در عرض کناره‌های آن ایجاد نشده است و از نظر تغییرات عرضی نسبت به سال ۲۰۰۶ ثابت مانده است اما رودخانه دچار فرسایشی بستر و فرسایش شدیدتری نسبت به بخش شمالی شده است (شکل ۱۰). این بخش به علت کاهش بار رسوبی جریان و وجود کرانه‌های با رسوبات ریزدانه و مرتفع و تثبیت شده توسط پوشش گیاهی دچار فرسایشی زیادی شده است. پوشش گیاهی کناره‌ها در این بازه زمانی از عوامل مهم کاهش عرضه رسوب به رودخانه بوده و از طرف دیگر با محصور کردن جریان باعث حفظ عرض کانال شده است. کاهش سطح رودخانه در نتیجه فرسایشی در این بخش باعث شده است که پای کناره‌ها فرسایش شدیدی را تجربه کنند و همین امر باعث شده که ارتفاع کناره‌ها افزایش پیدا کند. پس از وقوع سیلاب‌های بزرگ، عرض کانال به علت زیربری و فرسایش کناره‌ها و حذف پوشش گیاهی گسترش پیدا می‌کند. افزایش رسوب و کاهش و حذف پوشش گیاهی کناره‌ها باعث شده است که با جابه‌جا شدن خط مرکزی کانال، کناره‌های آن نیز تغییر پیدا کرده و همین امر باعث تشکیل دشت‌های سیلابی در این بخش شده است. با فرسایش کناره‌ها و تشکیل دشت سیلابی، این بخش از رودخانه نسبت به ابتدای دوره علاوه بر حفر بستر، گسترش عرض کانال را بر خلاف بخش شمالی داشته است. بر اساس یافته‌های فوق و نتایج پژوهش‌های گوش و همکاران (Ghosh et al., 2023)، رحیمی و همکاران (Rahimi et al., 2024) و حسین زاده و همکاران (Hosseinzadeh et al., 2024) شاخص تغییر شبکه رودخانه (RNCI) می‌تواند نواحی مستعد تغییرات شدید کانال را جهت شناسایی و مدیریت بهتر آنها فراهم کند. با وجود اینکه کرانه‌های کانال به ویژه در رودخانه‌های آبرفتی به ندرت ثابت است و در طول زمان با متراکم شدن و فرسایشی کانال نوسان پیدا می‌کند اما میزان این تغییرات در بخش‌های مورد مطالعه در طول دوره زمانی مورد بررسی نشان دهنده وضعیت غیر طبیعی بودن رودخانه می‌باشد. با اینکه گسترش جانبی کانال یک فرآیند حیاتی است که اکوسیستم‌های رودخانه‌ای را حفظ می‌کند و بخشی از عملکرد منظم رودخانه‌ها است. با این حال، با توجه به ارزش بالای زمین در این منطقه به واسطه کوهستانی بودن آن می‌تواند منجر به از دست دادن زمین‌های کشاورزی و آسیب به زیرساخت‌ها و مناطق مسکونی شود. میزان این آسیب‌پذیری علاوه بر ایجاد خسارت به زمین‌های کشاورزی و نقاط مسکونی روستایی در طول هر دو بخش از رودخانه، در بخش شمالی به علت قرار داشتن شهر خرم آباد در پایین دست آن به مراتب خیلی بیشتر و تاثیرگذارتر از بخش جنوبی منطقه مورد مطالعه است. از این رو جهت مدیریت بهتر و کارآمدتر رودخانه در این بخش، شناسایی و مدیریت نواحی که در آن ممکن است تغییرات شدید کانال رخ دهد، ضروری است.



شکل ۱۰- مقایسهٔ پسروی و پیشروی کرانه در بخش شمالی و جنوبی رودخانهٔ خرم‌رود در دورهٔ زمانی ۲۰۰۶-۲۰۲۵

Fig.10. Comparison of bank retreat and advancement in the northern and southern parts of the Khoramroud River during the period 2006-2025

نتیجه‌گیری

مطالعهٔ حاضر به بررسی تغییرات مورفولوژیکی کانال رودخانه خرم‌رود در دو بخش شمالی و جنوبی شهر خرم آباد طی یک دورهٔ ۲۰ ساله (۲۰۰۶-۲۰۲۵) پرداخته است. نتایج نشان می‌دهد که این رودخانه از نظر تغییرات عرضی و فروسایبی کانال در وضعیت ناپایداری نسبتاً زیاد با تغییرات غیر طبیعی در ساختار کانال قرار دارد و رفتار آن تحت تأثیر عوامل هیدرولوژیکی (سیلاب‌ها، تغییرات دبی و بار رسوبی) و فعالیت‌های انسانی (برداشت رسوب، تثبیت کناره‌ها توسط پوشش گیاهی و فعالیت‌های انسانی از طریق تغییر الگوی کشت) بوده است. در بخش شمالی، رودخانه در دوره‌های مختلف شاهد نوسانات شدید عرض رودخانه (کاهش از ۴۰ به ۲۸ متر در دوره‌های تراکمی و سپس افزایش به ۴۳ متر در اثر سیلاب‌های شدید) و جابجایی خط مرکزی کانال (تا ۲/۸۲ متر در سال) بوده است. این تغییرات عمدتاً ناشی از وقوع سیلاب‌های شدید (مانند سیلاب ۱۳۹۸ با دبی ۳۰/۹۳ مترمکعب بر ثانیه) و کاهش بار رسوبی بوده که منجر به فرسایش کناره‌ها، تشکیل دشت‌های سیلابی و حفر بستر شده است. در مقابل، بخش جنوبی با الگوی پیچان‌رودی، اگرچه در ابتدا ثبات نسبی در عرض کانال داشت، ولی پس از سیلاب‌ها به دلیل فرسایش کناره‌ها و حذف پوشش گیاهی، گسترش عرضی قابل توجهی (۱۰/۴۵ متر) را تجربه کرد.

تفاوت اصلی بین دو بخش، در واکنش به تغییرات هیدرولوژیکی و نقش پوشش گیاهی بوده است. در بخش شمالی، کاهش دبی و بار رسوبی باعث باریک شدن کانال و غلبه رسوبات گراولی (درشت دانه)، در حالی که در بخش جنوبی، پوشش گیاهی ابتدا از گسترش عرضی جلوگیری کرد، ولی پس از سیلاب بزرگ سال ۱۳۹۸، فرسایش کناره‌ها و تشکیل دشت سیلابی رخ داد. این تغییرات نه تنها نشان‌دهنده تأثیرپذیری شدید رودخانه از رویدادهای حدی است، بلکه بیانگر نقش کلیدی فعالیت‌های انسانی در تشدید ناپایداری مورفولوژیکی است. بنابراین عوامل کلیدی مؤثر بر این تغییرات شامل نوسانات دبی جریان، تغییرات بار رسوبی، فعالیت‌های انسانی (برداشت رسوب، تغییر الگوی کشت)، و نقش پوشش گیاهی در تثبیت یا تشدید فرسایش

بودند. این تغییرات نه تنها تعادل هیدرومورفولوژیکی رودخانه را مختل کرده، بلکه با تهدید زمین‌های کشاورزی و زیرساخت‌ها، به‌ویژه در بخش شمالی (به دلیل مجاورت با شهر خرم‌آباد)، پیامدهای جدی به همراه دارد. از دیدگاه مدیریتی، یافته‌های این پژوهش حاکی از ضرورت اتخاذ راهبردهای پایدار برای کنترل تغییرات کانال، به‌ویژه در بخش شمالی است که نزدیکی به شهر خرم‌آباد، خطرات اقتصادی و اجتماعی بیشتری را به همراه دارد. اقداماتی مانند تثبیت کناره‌ها با روش‌های مهندسی اکولوژیک، مدیریت پوشش گیاهی و کنترل برداشت رسوب می‌تواند به کاهش آسیب‌پذیری سیستم رودخانه کمک کند. همچنین، پیش‌بینی تغییرات آینده با استفاده از مدل‌های مورفودینامیکی و در نظر گرفتن سناریوهای تغییر اقلیم، به عنوان گام بعدی پژوهش پیشنهاد می‌شود. در نهایت، این مطالعه بر اهمیت یکپارچه‌نگری عوامل طبیعی و انسانی در مدیریت پایدار رودخانه‌های آبرفتی تأکید دارد.

References

- Abedini, M., Fateh Elahi, P., & NezafatTakle, B. (2024). Investigating the lateral erosion of Darehroud river and its classification using Rasgen model (Case study: Horand city - East Azerbaijan). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 13(3), 101-128. [In Persian] <https://doi.org/10.22067/geoeoh.2022.78374.1272>
- 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>
- Annayat, W., & Sil, B. S. (2020). Changes in morphometric meander parameters and prediction of meander channel migration for the alluvial part of the Barak River. *Journal of the Geological Society of India*, 96(3), 279-291. <https://doi.org/10.1007/s12594-020-1548-3>
- Arian Tabar, H., Jabbari, E., & Farahpour, M. M. (2021). Investigating the Role of the Movements of Khorram Abad's Hidden Thrust Fault in the Evolution of Khorram Abad River's Drainage System. *Geographical Research*, 36(2), 205-216. [In Persian] <https://georesearch.ir/article-1-1020-fa.html>
- Azim, N. M. A. (2024). Long-term hydro-morphological changes in rivers: a case study. *Water Practice & Technology*, 19(8), 3285-3296. <https://doi.org/10.2166/wpt.2024.196>
- Comiti, F., Lucia, A., & Rickenmann, D. (2016). Large wood recruitment and transport during large floods: a review. *Geomorphology*, 269, 23-39. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.06.016>
- Esmaili, R., & Daliri, R. (2019). Morphological and morphodynamic analysis of meanders of the Shelman Rud River, Gilan Province. *Earth Science Research*, 10(39), 141-153. [In Persian] <https://doi.org/10.52547/esrj.10.3.141>
- Esmaili, R., & Nourizadeh Nesheli, N. (2024). Evaluation of the morphological changes of Haraz river following human pressures in the Amol city, Mazandaran. *Journal of Hydrogeomorphology*, 11(40), 57-40. [In Persian] <https://doi.org/10.22034/hyd.2024.61151.1733>
- 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(2), 1799-1832. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05618-y>

- Hosseinzadeh, M. M., Esmaeili, R., & Nabizadeh Bahnamiri, M. (2022). Analysis of temporal changes and stability of the Neka River watershed planform - Mazandaran. *Quarterly Scientific-Research Journal of Geographic Information "Sepehr"*, 31(124), 39-52. [In Persian] <https://doi.org/10.22131/sepehr.2023.555968.2881>
- Hosseinzadeh, M. M., Salehi Milani, A. R., & Hydari, S. (2024). Hydrogeomorphic changes of the Cheshmeh Kileh River in the coastal plain Western Mazandaran. *Physical Geography Research*, 56(3), 95-114. [In Persian] https://jphgr.ut.ac.ir/article_100260_en.html
- Hosseinzadeh, S. R., Rashidi, M., Sepehr, A., Zarei, H., & Khaneh Bad, M. (2018). Study of geomorphological changes in the Karun River bed and its causes from 1954-2011 (1955 to 2012). *Quantitative Geomorphological Research*, 5(1), 43-59. [In Persian] <https://doi.org/20.1001.1.22519424.1395.5.1.4.4>
- 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>
- Lauer, J. W., & Parker, G. (2008). Net local removal of floodplain sediment by river meander migration. *Geomorphology*, 96(1-2), 123-149. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.08.003>
- Magdaleno, F., & Fernández, J. A. (2011a). Hydromorphological alteration of a large Mediterranean river: relative role of high and low flows on the evolution of riparian forests and channel morphology. *River Research and Applications*, 27(3), 374-387. <https://doi.org/10.1002/rra.1368>
- Magdaleno, F., & Fernández-Yuste, J. A. (2011b). Meander dynamics in a changing river corridor. *Geomorphology*, 130(3-4), 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>
- 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., Khaleghi, S., Salehipour Milani, A. (2024). The effect of floods on river morphology changes Case study: Sadij River, Hormozgan Province. *Hydrogeomorphology*, 11(38), 141-160 [In Persian] <https://doi.org/10.22034/hyd.2024.59641.1717>
- Rezaei Moghadam, M. H., Mohammadfar, A., & Valizadeh Kamran, K. (2013). Changes Detection and identification of erosion risk areas of Aji Chay River between Khaje to Vanyar. *Geography and Environmental Planning*, 23(4), 1-14. [In Persian] <https://doi.org/20.1001.1.20085362.1391.23.4.1.5>
- Rinaldi, M. (2003). Recent channel adjustments in alluvial rivers of Tuscany, Central Italy. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 28(6), 587-608. <https://doi.org/10.1002/esp.464>
- Rinaldi, M., Surian, N., Comiti, F., Bussetini, M., Belletti, B., Nardi, L., ... & Golfieri, B. (2012). Guidebook for the evaluation of stream morphological conditions by the Morphological Quality Index (MQI). *Version*, 1, 85.
- Ruiz-Villanueva, V., Piégay, H., Scorpio, V., Bachmann, A., Brousse, G., Cavalli, M., ... & Wyżga, B. (2023). River widening in mountain and foothill areas during floods: Insights from a meta-analysis of 51

- European Rivers. *Science of the Total Environment*, 903, 166103. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166103>
- Saffari, A., Ghanavati, E., & Alipour, D. A. H. (2023). Investigation of morphology changes in Karun River and its hazards (Case Study: Bandagir to Khorramshahr). *Applied Researches in Geographical Sciences*, 23(68), 199-222. [In Persian] <http://dx.doi.org/10.52547/jgs.23.68.199>
- 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. In: James, L.A., Rathburn, S. L. & Whittecar, G. R. (Eds.). *Management and restoration of fluvial systems with broad historical changes and human impacts*. Geological Society of America, 451, 83-95. [https://doi.org/10.1130/2009.2451\(05\)](https://doi.org/10.1130/2009.2451(05))
- Wang, Z. B., Van Maren, D. S., Ding, P. X., Yang, S. L., Van Prooijen, B. C., De Vet, P. L. M., ... & He, Q. (2015). Human impacts on morphodynamic thresholds in estuarine systems. *Continental Shelf Research*, 111, 174-183. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2015.08.009>
- Winterbottom, S. J. (2000). Medium and short-term channel planform changes on the Rivers Tay and Tummel, Scotland. *Geomorphology*, 34(3-4), 195-208. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(00\)00007-6](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(00)00007-6)
- Yamani, M., & Goorabi, A. (2015). Prediction of kordan river geometric changes in the meandering Range. *Environmental Erosion Research Journal*, 5(3), 1-14. [In Persian] <https://doi.org/20.1001.1.22517812.1394.5.3.1.1>

