

Hydrogeomorphic changes of the Cheshmeh Kileh River in the coastal plain Western Mazandaran

Ali Reza Salehi Milani¹, Mohammad Mahdi Hosseinzadeh²✉, Shyda Hydari³

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

Email: ar.salehipour@gmail.com

2. (Corresponding Author) Department of Physical Geography, Earth Sciences Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran

Email: m_hosseinzadeh@sbu.ac.ir

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

Email: sheida.heydari.2022@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article History:

Received:

4 June 2024

Received in revised form:

27 August 2024

Accepted:

30 September 2024

Available online:

8 November 2024

Keywords:

River pattern,
Channel activity,
Riverbank evolution,
Cheshmeh kileh, DSAS.

ABSTRACT

Rivers serve as very important geomorphological features in coastal plains, and their morphological changes over time significantly influence human settlements. This research focused on examining the morphological alterations of the Cheshmeh Kileh River across various periods, aiming to enhance the understanding of river dynamics in coastal regions. The Cheshmeh Kileh River basin is situated in the western Mazandaran province, stretching between Abbasabad and Ramsar. With a length of 80 km, the river ultimately discharges into the Caspian Sea after traversing Tonekabon. The study specifically analyzed channel changes from 2014 to 2022, employing DSAS software for a quantitative assessment of riverbank changes over time. The findings indicated that the pattern of the river despite changes in the curvature coefficient, the overall pattern of the river has not changed. Also throughout all observed reaches, the left bank of the river consistently experienced erosion and retreat. The average rate of these morphological changes was approximately 1 meter per year along the river's length. Furthermore, the analysis revealed that the rate of bank alterations followed a sinusoidal pattern, which was more pronounced than that of the straight pattern. The reaches of the river located in the middle and upper regions of the coastal plain exhibited more favorable conditions for bank erosion and channel instability, attributed to the steeper slopes present in these areas.

Cite this article: Salehi Milani, A. R., Hosseinzadeh, M. M., & Hydari, Sh. (2024). Hydrogeomorphic changes of the Cheshmeh Kileh River in the coastal plain Western Mazandaran. *Physical Geography Research Quarterly*, 56 (3), 95-114.

<http://doi.org/10.22059/jphgr.2024.385658.1007853>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press

Extended abstract

Introduction

In coastal plains, rivers are very important geomorphological elements. Changes and evolutions of their morphology in different periods have a great impact on human settlements. River ecosystems are constantly changing, and these changes over time create different landscapes. Geomorphological Changes can negatively impact agricultural, irrigation, and drainage network infrastructure riverbanks. Therefore, detecting environmental changes is important in proper planning for sustainable development and rational utilization of natural facilities. Understanding these river dynamics is essential for effective management practices in reducing flood risks and maintaining ecological integrity. By focusing on the relationship between discharge changes and morphological evolution, researchers can develop more effective strategies for managing river systems during continuous environmental changes over periods. Historical environmental changes have a profound impact on current river morphology and shape the physical characteristics and dynamics of river systems. Understanding these impacts is very important, especially in the context of ongoing environmental changes driven by natural processes and human activities. This study aimed to investigate morphological changes in the Cheshmeh Kileh River over different periods and also contribute to a more comprehensive understanding of river dynamics in coastal areas.

Methodology

The Cheshme Kileh River Basin is located in the western part of Mazandaran Province, between Abbasabad and Ramsar Cities. This River is the largest in the western parts of Mazandaran provinces and has the maximum discharge in this region. The average annual discharge of the Cheshme Kileh River in the 18-year statistical period is 12.25 cubic m per second. The Cheshme Kileh originates from the Do-Hezar and Se-Hezar basins in the Takht-e- Soleyman and the Alamut Mountains. The river is 80 kilometers long and flows into the Caspian Sea after passing through Tonekabon city.

The study area in this study is the coastal plain section of the Cheshme Kileh River, which is divided into five sections according to River patterns. Geologically, the mountainous section of the basin is located in the Alborz zone. The predominant sediments in the plain section are alluvium deposits. This study the changes in the Cheshmeh Kileh River channel in western Mazandaran evaluated between 2014 and 2022. to assessments of this river channel change satellite data available in the Google Earth system was used and the river banks were extracted in different periods. Quantitative analysis of river bank changes over periods was performed using DSAS software and ARC GIS 10.5 software. This plugin determines the rate of changes in the right and left banks of the river using the distance of each measured point to the baseline and the date of the extracted shorelines. In this study, Net shoreline movement (NSM), Shoreline change envelope (SCE), Liner regression rat (LRR), and endpoint rate (EPR) indices were used to quantitatively assess the changes in the river bank. The method of Magdanloo and Fernandez (2011) was used to assess the Channel Activities (CA). In this method, to identify and measure the lateral migration rate of the Cheshmeh Kileh River between 2014-2022, the centerline of the river was drawn for years, and then by superimposing layers.

Results and discussion

The results indicate that the pattern of the river despite changes in the curvature coefficient, the overall pattern of the river has not changed between 2014 and 2022. The results of the channel activity revealed that the highest channel activity was between 2014 and 2015 and the lowest was between 2015 and 2019. Data obtained from the changes in the left and right banks of the Cheshmeh Kileh River separately in different periods from 2014 to 2022 showed that in the NSM index on the left bank of the Cheshmeh Kileh River, the maximum retreat (bank erosion) was -113.05 m, the maximum prograde (sedimentation and land formation on the bank) was 31.78 m, the average bank changes were -35.8 m. In the SCE index, the maximum retreat of -113.05 m and the

average of these changes of -23.82m occurred during 8 years. The highest rate of bank prograde occurred in the central part of the river. The dominant trend on the left bank of the Cheshmeh Kileh River during this period was the retreat and erosion of the bank. According to the EPR index, the maximum retreat rate was -14.1 m/year, the maximum prograde rate was 10.35 m/year, and the average bank changes were -1.03 m/year. According to this index, the maximum retreat rate was -12.96 m/year, the maximum prograde rate was 8.63 m/year, and the average bank changes were -1.34 m/year. Based on the average NSM index data on the right bank of the Cheshmeh Kileh River in the period 2014 to 2022, the maximum prograde was -108.36 m, the maximum retreat was 48.44 m, and the average bank change was -85.7 m. The dominant trend on the right bank of the Cheshmeh Kileh River in the 8 years was the type of prograde and occurrence of sedimentation on the bank. According to the (EPR) index, the maximum advance rate was -13.56 m/year, the maximum retreat rate was 60.06 m/year, and the average bank changes were -0.99 m per year. According to the (LRR), the maximum advance rate was -14.45 m/year, the maximum retreat rate was 6.02 m/year, and the average bank changes were -1.03 m/year.

The results of this research indicates that, due to the general convexity of the river towards the west, the dominant bank erosion has occurred on the left side of the river. The results of the study of the changes of the left and right banks of the channel in the studied periods show that the process of changes is not the same and due to changes in the river discharge, the processes of prograde and

retreat of the channel can change simultaneously with erosion and sedimentation. In these periods when the river discharge decreases, the sedimentation processes intensify and provide the basis for the progression of the channel banks and lead to a decrease in the channel width. When the river discharge increases or extreme floods occur in the river, the process of changes in the river will be erosive.

Conclusion

The results indicate that the channel dynamics in Cheshmeh Kileh River with a sinusoidal pattern are more than in straight rivers. The effect of floods in these rivers increases in the width of the rivers, and this effect is more noticeable in sinusoidal rivers.

The evaluation of the values obtained from the model data also showed that at all times, river bank recession and erosion occurred on the left bank. The average rate of these changes along the river was approximately 1 m/year. The intervals located in the middle and upper parts of the plain had more suitable conditions for bank erosion and channel instability due to the greater slope.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

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



Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

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

تغییرات ژئومورفیک رودخانه چشمه کیله در محدوده جلگه ساحلی غرب مازندران

علیرضا صالحی میلانی^۱، محمد مهدی حسین‌زاده^۲  ، شیدا حیدری^۳

۱- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران. رایانامه: ar.salehipour@googlemail.com

۲- نویسنده مسئول، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران. رایانامه: m_hoseinzadeh@sbu.ac.ir

۳- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران. رایانامه: shaida.heydari.2022@gmail.com

چکیده

اطلاعات مقاله

در جلگه‌های ساحلی، رودخانه‌ها از عناصر ژئومورفولوژیکی بسیار مهم هستند و تغییرات مورفولوژی آن‌ها در دوره‌های زمانی مختلف بر سکونت‌گاه‌های انسانی تأثیرگذار است. هدف این مطالعه بررسی تغییرات مورفولوژی رودخانه چشمه کیله در بازه‌های زمانی مختلف بوده همچنین به درک جامع‌تری از پویایی رودخانه‌ها در مناطق ساحلی کمک می‌کند. حوضه رودخانه چشمه کیله در بخش غربی استان مازندران در حدفاصل عباس‌آباد تا رامسر قرار دارد. طول رودخانه ۸۰ کیلومتر است که بعد از عبور از شهر تنکابن به دریای خزر می‌ریزد. در این مطالعه تغییرات کانال در حدفاصل سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۲ مورد بررسی قرار گرفت. تحلیل کمی تغییرات کرانه‌های رودخانه در دوره‌های زمانی با استفاده از نرم‌افزار DSAS انجام گرفت. نتایج نشان داده است که با وجود تغییرات در ضریب خمیدگی در طول دوره مورد مطالعه در بازه‌های مختلف، الگوی کلی رودخانه در مدت مورد مطالعه تغییر نکرده است. همچنین در تمام بازه‌ها و در تمام بازه‌های زمانی در کرانه چپ پس‌روی و فرسایش کناره رودخانه رخ داده است. میانگین نرخ این تغییرات در طول رودخانه به تقریب ۱ متر در سال بوده است. نتایج نشان داده است که میزان تغییرات کرانه در الگوی سینوسی بیشتر از الگوی مستقیم بوده است. بازه‌های واقع در بخش میانی و بالایی جلگه به دلیل شیب بیشتر شرایط مناسب‌تری جهت فرسایش کرانه و ناپایداری کانال را داشته‌اند.

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۰۳/۱۵

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۳/۰۶/۰۶

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۰۷/۰۹

تاریخ چاپ:

۱۴۰۳/۰۸/۰۸

واژگان کلیدی:

الگوی رودخانه،
پویایی کانال،
تحول کرانه رودخانه،
چشمه کیله،
DSAS

استناد: صالحی میلانی، علیرضا؛ حسین‌زاده، محمد مهدی و حیدری، شیدا. (۱۴۰۳). ارزیابی هوازگی سنگ‌ها در محیط‌های شهری با استفاده از سنگ‌قبر مطالعه موردی: شهر یزد. *مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۶ (۳)، ۹۵-۱۱۴.

<http://doi.org/10.22059/jphgr.2024.385658.1007853>

مقدمه

در جلگه‌های ساحلی، رودخانه‌ها از عناصر ژئومورفولوژیکی بسیار مهم هستند و تغییرات و تحولات مورفولوژی آن‌ها در دوره‌های زمانی مختلف تأثیر بسیار زیادی را بر سکونت‌گاه‌های انسانی به‌جای می‌گذارد. رودخانه‌ها اکوسیستم‌هایی هستند که پیوسته در حال تغییر هستند و این تغییرات در طول زمان سبب ایجاد چشم‌اندازهای متفاوتی می‌شوند. تغییرات می‌تواند بر روی ساختارهای زیربنایی مهم کشاورزی و شبکه‌های آبیاری و زهکشی و پروژه‌های انسانی که بر روی رودخانه‌ها و یا حاشیه رودخانه‌ها ساخته شده‌اند، تأثیر منفی بگذارد. لذا آشکارسازی تغییرات محیطی در برنامه‌ریزی مناسب جهت توسعه پایدار و بهره‌برداری منطقی از امکانات و پتانسیل‌های طبیعی منطقه اهمیت بسیار زیادی دارد. مطالعات سال‌های اخیر نشان داد که درک این تغییرات هیدروژئومورفیک اهمیت دارد زیرا آن‌ها مستقیماً بر روی زیستگاه‌های اکولوژیکی، کیفیت آب و مدیریت خطر سیل تأثیر می‌گذارند (Wolf et al, 2021). تکامل مورفولوژیکی رودخانه‌ها نه تنها پاسخی به فرآیندهای طبیعی است، بلکه بازتابی از تأثیرات انسانی مانند سدسازی، تغییرات کاربری زمین و شهرنشینی است. این فعالیت‌های انسانی می‌توانند رژیم‌های جریان طبیعی را مختل کنند که منجر به تغییر دینامیک رسوب و مورفولوژی کانال شود. علیرغم ارتباط بین تغییرات دبی و مورفولوژی رودخانه، شکاف قابل‌توجهی درک چگونگی تجلی این تغییرات در طول زمان در رودخانه‌های جاری در جلگه‌های ساحلی وجود دارد. به‌طور خاص، مشکل در ارزیابی جامع چگونگی تأثیر نوسانات در دبی رودخانه بر تکامل مورفولوژیکی بلندمدت این سیستم‌ها نهفته است. این شامل بررسی چگونگی تأثیر تغییرات در دبی بر پایداری پلان فرم کانال، دینامیک انتقال رسوب، و در دسترس بودن زیستگاه برای موجودات آبی است. به‌طور مشابه، سیل نقش مهمی در شکل دادن مورفولوژی رودخانه‌ایفا می‌کند. با این حال، اثرات آن‌ها می‌تواند بسته به مدت و شدت دبی جریان متفاوت باشد. این مطالعات می‌تواند بینش‌هایی در مورد اینکه چگونه واکنش‌های هیدروژئولوژیکی فوری به تکامل طولانی‌مدت رودخانه کمک می‌کند، ارائه دهد (Boothroyd et al. 2021). درک این پویایی‌ها برای شیوه‌های مدیریت مؤثر رودخانه با هدف کاهش خطرات سیل و حفظ یکپارچگی اکولوژیکی ضروری است. اگرچه پرداختن به تغییرات هیدروژئومورفیک در رودخانه‌های جلگه‌ها و دشت‌های ساحلی نیازمند یک رویکرد چندوجهی است که هم فرآیندهای طبیعی و هم اثرات انسانی را در نظر می‌گیرد. با تمرکز بر رابطه بین تغییرات دبی و تکامل مورفولوژیکی، محققان می‌توانند استراتژی‌های مؤثرتری برای مدیریت سیستم‌های رودخانه در میان تغییرات محیطی مداوم ایجاد کنند.

تغییرات محیطی تاریخی تأثیر عمیقی بر مورفولوژی رودخانه فعلی دارد و ویژگی‌های فیزیکی و پویایی سیستم‌های رودخانه را شکل می‌دهد. درک این تأثیرات برای مدیریت مؤثر رودخانه‌ها، به‌ویژه در زمینه تغییرات محیطی مداوم که توسط فرآیندهای طبیعی و فعالیت‌های انسانی هدایت می‌شود، ضروری است (Kasvi et al. 2017; Wolf et al, 2021). رودخانه چشمه کیله مهم‌ترین عنصر ژئومورفولوژیکی بخش جلگه‌ای شهرستان تنکابن محسوب می‌گردد. هرگونه تغییرات مورفولوژی آن در دوره‌های زمانی مختلف می‌تواند تأثیر بسیار زیادی بر سکونت‌گاه‌های انسانی به‌جای گذارد. این رودخانه در محدوده جلگه‌ای از روستاهای مختلف و شهر تنکابن عبور می‌کند و در طول این مسیر بهره‌برداری‌های مختلف از جمله آبیاری و برداشت شن و ماسه از آن به عمل می‌آید. ایجاد بندهای مختلف و احداث سازه‌های عرضی از جمله پل باعث شده روند طبیعی تحول رودخانه دچار تغییر گردد. در نتیجه با وقوع سیلاب‌های متعدد در سال‌های، تخریب کرانه و جابجایی کانال در بخش‌های مختلف رودخانه در طول جلگه مشاهده شده است. این تغییرات و ناپایداری کانال، تخریب زمین‌های کشاورزی و سازه‌های موجود بر روی رودخانه را به دنبال داشته است. بنابراین شناسایی مناطق مستعد تغییر و جابجایی کرانه می‌تواند در جلوگیری از آسیب‌های ناشی از این جابجایی‌ها مفید باشد.

درک تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ها برای مدیریت منابع آب، پیش‌بینی سیل و حفظ اکوسیستم‌ها ضروری است. مطالعات سال‌های اخیر نشان‌دهنده استفاده از روش‌ها و تکنیک‌های مختلفی در چند دهه گذشته برای بررسی این تغییرات است. تکنیک‌های سنجش‌ازدور به دلیل توانایی آن در پوشش مناطق وسیع و ارائه داده‌های زمانی به ابزاری محوری در مطالعه مورفولوژی رودخانه تبدیل شده است. از تصاویر ماهواره‌ای با وضوح بالا برای تحلیل تغییرات در عرض رودخانه، پیچ‌وخم، و هندسه پلان در طول زمان استفاده می‌شود.

امروزه نرم‌افزارهای مختلفی که امکان خودکارسازی استخراج عرض رودخانه‌ها و تشخیص تغییرات در شکل رودخانه را فراهم می‌کنند، توسعه یافته‌اند. این برنامه‌های کاربردی تحلیل‌های پیشرفته را با امکان محاسبه خطوط مرکزی رودخانه‌ها، عرض‌ها و نرخ فرسایش کرانه با استفاده از مجموعه‌های تصاویر چند زمانی تسهیل کرده‌اند (Kasvi et al. 2017). بررسی‌های میدانی برای اعتبارسنجی داده‌های سنجش از راه دور و ارائه اطلاعات دقیق زمینی ضروری است. تکنیک‌های اندازه‌گیری مستقیم ابعاد کانال، توزیع رسوب و فرسایش سواحل از طریق برداشت‌های میدانی در امتداد سواحل رودخانه فراهم می‌کنند (Boothroyd et al. 2021). پایش مستمر در ایستگاه‌های هیدرولوژیکی به جمع‌آوری داده‌ها در مورد نرخ جریان، بارهای رسوب و سایر پارامترهای حیاتی برای درک دینامیک رودخانه کمک می‌کند (Kasvi et al. 2017). مدل‌های ژئومورفولوژیکی برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات مورفولوژیکی بر اساس عوامل محیطی مختلف استفاده می‌شوند. مدل‌های هندسه هیدرولیک نیز بین دبی رودخانه و ابعاد کانال ارتباط برقرار می‌کنند و به درک چگونگی تأثیر تغییرات جریان بر مورفولوژی کمک می‌کنند. مدل‌های انتقال رسوب اغلب از دینامیک انتقال رسوب برای توضیح تغییرات مورفولوژیکی ناشی از فعالیت‌های انسانی مانند ساخت سد و استخراج شن و ماسه استفاده می‌کنند (Li et al. 2017 L; Wolf et al. 2021).

تغییرات و جابجایی‌های کلی و حتی جزئی الگوی رودخانه از عمده‌ترین مباحث مربوط به ژئومورفولوژی رودخانه‌ای به شمار می‌رود. به همین علت تحقیقات و مطالعات زیادی توسط محققین مختلف انجام گرفته تا شرایط کنونی و پتانسیل تغییرات احتمالی آن را در آینده بهتر درک کرده و همچنین پاسخ رودخانه را نسبت به تغییرات طبیعی و انسانی پیش‌بینی کنند.

در این خصوص می‌توان به بررسی الگوی پیچان‌رودی تالار با استفاده از شاخص‌های ضریب خمیدگی (به روش لئوپلد و ولمن) و نیز زاویه مرکزی (به روش کورنایس) در جلگه ساحلی مازندران اشاره کرد (یمانی و حسین‌زاده، ۱۳۸۳). میانگین ضریب خمیدگی قوس‌ها نشان‌دهنده بالا بودن نسبت پیچ‌وخم دار بودن رودخانه تالار است. همچنین از طرفی با توجه به نتیجه به‌دست‌آمده از شاخص ضریب خمیدگی، ۲۶٫۴۵ درصد از قوس‌های این رودخانه در زمره الگوی پیچان‌رودی تکامل‌یافته قرار می‌گیرند. همچنین با توجه به شاخص زاویه مرکزی بیشتر قوس‌ها در زمره پیچان‌رود توسعه‌یافته و پیچان‌رودهای خیلی توسعه‌یافته قرار دارند. بر اساس یافته‌های فوق ضرورت تثبیت میان‌مدت و کوتاه‌مدت بستر از طریق روش‌های مدیریتی و مهندسی سازه وجود دارد.

معصومی و همکاران (۱۳۹۰) مورفولوژی و الگوی پیچان‌رودی رودخانه زهره در جلگه ساحلی هندیجان را مورد مطالعه قرار داده‌اند. نتایج این مطالعه نشان داد که قطع‌شدگی کانال و تعداد پیچش افزایش‌یافته و شعاع انحنا رودخانه و طول موج پیچش‌ها افزایش پیدا کرده است.

المدرسی و همکاران (۱۳۹۷) نقش عوامل مؤثر بر پیچان‌رود شدن و تغییرات رودخانه دالکی با استفاده از سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی را مطالعه کرده‌اند. نتایج این بررسی نشان داد که شیب و جنس سازندها، مهم‌ترین عوامل تغییرات و پیچان‌رود شدن رودخانه دالکی است.

پیچان رودهای قزل‌اوزن در محدوده ماه‌نشان توسط خوش‌رفتار و همکاران (۱۳۹۸) مطالعه شد. در این مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای IRS و تصاویر گوگل ارث جهت محاسبه و اندازه‌گیری پارامترهای هندسی رودخانه استفاده شد. بر اساس این مطالعه رودخانه ماه‌نشان به‌طور میانگین در هر چهار بازه زمانی با کاهش انحنای قوس‌ها و افزایش تعداد قوس‌ها مواجه شده است.

اسماعیلی و دلیری (۱۳۹۸) مورفولوژیکی و مورفودینامیکی پیچان‌رودهای رودخانه شلمان رود، استان گیلان را مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج نشان داد میانگین مقادیر پارامترهای هندسی پیچان‌رودها طی دوره ۵۱ ساله تفاوت مشخصی نداشته‌اند. پارامترهای مورفودینامیک تغییرات کاهشی مشخصی را تجربه کرده‌اند همچنین رودخانه شلمان رود در طی دوره‌های مورد بررسی از تعادل دینامیک به تعادل استاتیک تغییر یافته است.

تغییرات مورفولوژی رودخانه کارون و مخاطرات ناشی از آن در محدوده بندقیق تا خرمشهر توسط صفاری و همکاران (۱۴۰۲) مطالعه شد. در این تحقیق با استفاده از تصاویر لندست برای سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۸ تغییرات مورفولوژی رودخانه بررسی و مشخص گردید مقطع عرضی رودخانه کاهش یافت و علل این کاهش تغییرات کاربری، تراکم پوشش گیاهی و رسوب شناسایی شد. رحیمی و همکاران (۱۴۰۳) تأثیر سیلاب بر تغییرات مورفولوژی رودخانه سدیج در استان هرمزگان را بررسی کرده‌اند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که سیلاب‌ها تأثیرات زیاده‌تری بر تغییرات ژئومورفولوژیکی عرض کانال و فرسایش شدید کرانه رودخانه داشته است.

همچنین در بخش مطالعات خارجی نیز می‌توان ارزیابی تغییرات ساحل رودخانه سرخ در هانوی با استفاده از سنجش‌ازدور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و تحلیل خط ساحلی دیجیتال (DSAS) در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۶ توسط ناهان و همکاران (Nhan et al, 2018) اشاره کرد. نتایج نشان می‌دهد که فرسایش کرانه عمدتاً در امتداد دو طرف ساحل رودخانه سرخ با میانگین نرخ فرسایش بین ۱٫۵ متر در سال تا ۳ متر در سال رخ داده است. بر اساس یافته‌ها، در آینده نیز تغییر حاشیه رودخانه سرخ ادامه خواهد یافت.

علی و همکاران (Ali et al. 2019) ویژگی‌های مهاجرت کانال رودخانه یامونا از سال ۱۹۵۴ تا ۲۰۱۵ را در آگرای هند با استفاده از سنجش‌ازدور و GIS مطالعه کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که کاهش میزان دبی رودخانه در چند دهه اخیر ظرفیت فرسایشی رودخانه و رفتار مهاجرتی متعاقب آن را کاهش داده است. نتیجه این مطالعه نشان می‌دهد که روش DSAS پتانسیل ارزیابی و کمی‌سازی مهاجرت کانال گذشته و بالقوه آینده، و سپس تعیین مرزهای مهاجرت را دارد. نونس و همکاران (Nones et al, 2020) از چهار تصویر Landsat که در سال‌های ۱۹۸۵، ۱۹۹۴، ۲۰۰۴ و ۲۰۱۷ به دست آمد و تکنیک‌های سنجش‌ازدور و GIS برای نظارت بر تغییرات مورفولوژیکی در امتداد رودخانه ویستولا در کشور لهستان استفاده کرده است. در این مطالعه مشاهده شد که بازه‌ها در کل دوره از نظر مورفولوژیکی کاملاً پایدار بوده‌اند اگرچه روند رسوب‌گذاری در دهه گذشته کاهش یافته است.

همچنین می‌توان به تغییرات مورفولوژیکی در پایین رودخانه Lancang به دلیل فعالیت‌های گسترده انسانی توسط وانگ و همکاران (Wang et al, 2020) اشاره کرد. در این مطالعه از داده‌های سنجش‌ازدور در بازه طولانی‌مدت استفاده شد. نتایج نشان داد که در طی سال‌های ۱۹۹۳-۲۰۱۶، تغییرات قابل توجهی به‌صورت غلبه فرسایش در کرانه سمت راست و رسوب‌گذاری در کرانه چپ این رودخانه رخ داده است.

جی یو و همکاران (Guo et al. 2021) در مطالعه خود ویژگی‌های مورفولوژیک و تغییرات دو رودخانه پیچان‌رودی در کین قایی فلات تبت را مورد بررسی قرار داده‌اند. در این بررسی با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور، مورفولوژی کانال و تغییرات جانبی قوس‌ها در دو رودخانه مشخص گردید. تحلیل‌ها نشان داد که بیشترین نرخ مهاجرت در خم‌هایی با انحنای

متوسط رخ می‌دهد. به‌طور کلی، دو رودخانه پریپچ‌وخم مورد مطالعه آهسته‌تر از بسیاری از رودخانه‌های پریپچ‌وخم دیگر در سراسر جهان مهاجرت کردند، که به خم‌های آن‌ها اجازه داد تا به ساختارهای پلانی پیچیده تبدیل شوند.

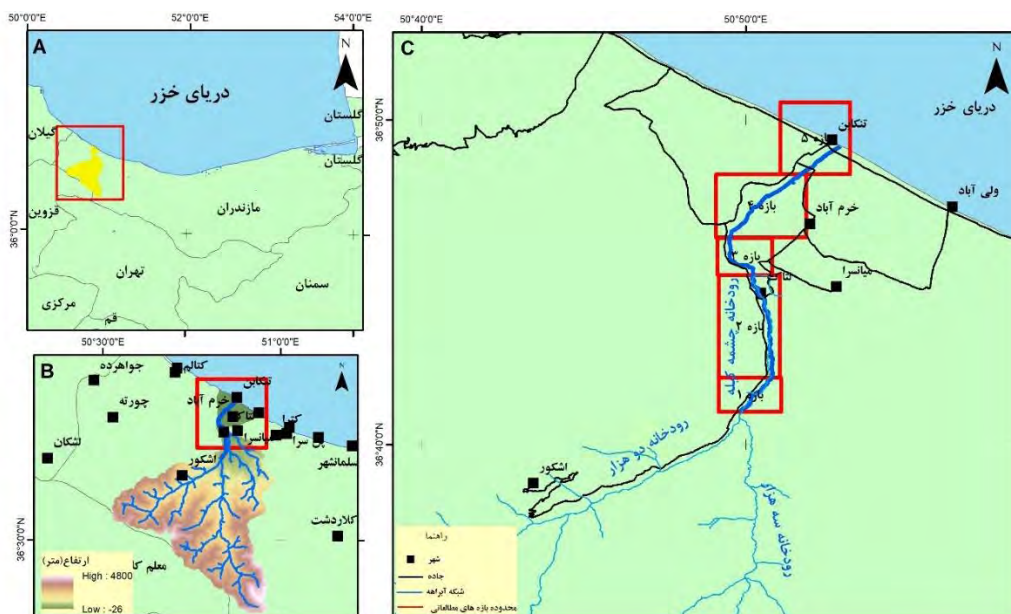
یان و همکاران (Yan et al, 2021) مهاجرت و جابه‌جایی رودخانه در دلتای اکوانگو در بوتسوانا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای را مورد تحلیل قرار داده‌اند. مهاجرت رودخانه در دلتای اکوانگو با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Google Earth و تأسیسات ماهواره‌ای آلاسکا (ASF) تجزیه و تحلیل می‌شود. چهار پارامتر خصوصیات پیکربندی برای به تصویر کشیدن و اندازه‌گیری رودخانه پریپچ‌وخم انتخاب شده است. در بررسی چهار پارامتر شاخص سینوسی (S)، انحنای (C)، اختلاف زاویه انحراف در طول جریان و ضریب انبساط مطالعه گردید.

کویین و همکاران (Qin et al, 2024) تغییرات مورفولوژی رودخانه و عوامل مؤثر در رودخانه زرد بالایی را در ۲۵ سال گذشته مورد مطالعه قرار داده‌اند. در این پژوهش تغییرات در مورفولوژی رودخانه از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۲۳ مورد بررسی و تغییرات مکانی-زمانی در مورفولوژی رودخانه محاسبه گردید. نتایج نشان داد که آبراهه‌های تک کانالی پایداری قوی‌تری نسبت به آب‌های چند کاناله دارد همچنین عوامل طبیعی (یعنی بارش سالانه، رواناب سالانه، تخلیه سالانه رسوب) تأثیر قابل توجهی بر مورفولوژی تک کاناله و چند کاناله داشتند. در همین حال، در بخش‌هایی که مورد دخل و تصرف فعالیت‌های انسانی نبوده، تغییرات به تدریج رخ داده است. همان‌طور که از مطالعات صورت گرفته استنباط می‌شود بررسی تغییرات مورفولوژی رودخانه با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور و تکنیک‌های مختلف پردازش و تحلیل داده‌ها انجام می‌گیرد. در این بین استفاده از تحلیل خط ساحلی دیجیتال (DSAS) جهت تحلیل تغییرات کرانه رودخانه استفاده شده و امکان برآورد تغییرات و نرخ تغییرات در سال‌های آتی را فراهم ساخته است.

هدف این مطالعه بررسی تغییرات مورفولوژی رودخانه چشمه کیله در بازه‌های زمانی مختلف بوده همچنین به درک جامع‌تری از پویایی رودخانه‌ها در مناطق ساحلی کمک می‌کند.

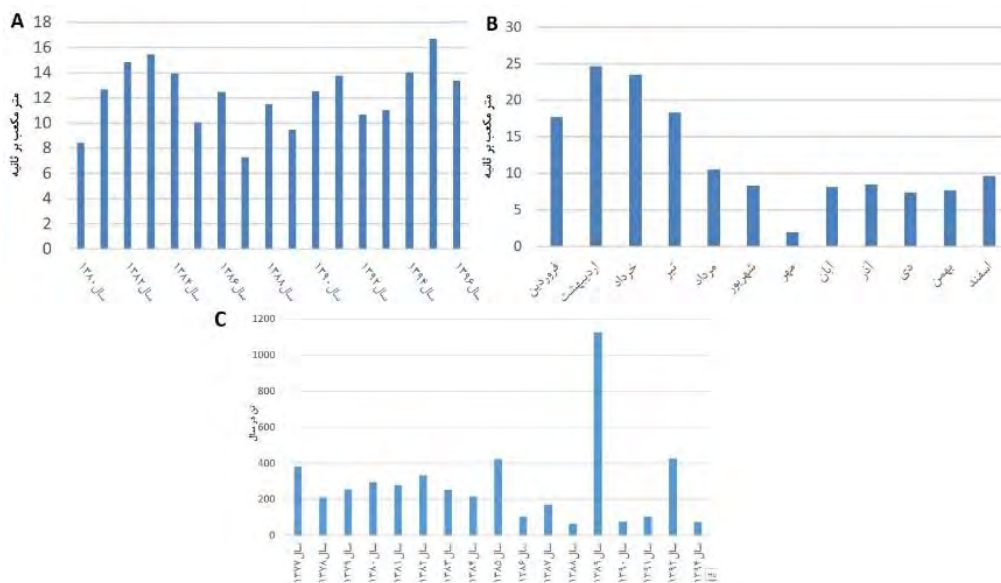
محدوده مورد مطالعه

حوضه رودخانه چشمه کیله در بخش غربی استان مازندران در حدفاصل عباس‌آباد تا رامسر (شهرستان‌های رامسر و تنکابن و چالوس) در موقعیت جغرافیایی $33^{\circ} 23' 8''$ تا $50^{\circ} 59' 40''$ و 50° درجه طول شرقی و $36^{\circ} 19' 46''$ و تا $52^{\circ} 36' 58''$ درجه، عرض شمالی قرار دارد. حداکثر ارتفاع این حوضه قله علم‌کوه با ۴۸۵۰ متر و حداقل ارتفاع ۲۸/۸۵- متر از سطح دریا است (شکل ۱). رودخانه چشمه کیله یا رودخانه مزر، بزرگ‌ترین و پرآب‌ترین رودخانه شهرستان تنکابن است. چشمه کیله دارای دو شعبه اصلی است. شعبه اول به نام دو هزار از کوه‌های دو هزار و شعبه دوم به نام سه هزار از کوه‌های سه هزار سرچشمه می‌گیرند. این دو شعبه عمده در محلی به نام چاله دره (چالدره) در ۲۴ کیلومتری جنوب شهرستان تنکابن به هم متصل می‌شوند. حوضه آبخیز رودخانه چشمه کیله با وسعتی برابر ۷۷۳ کیلومترمربع یکی از آبخیزهای سیلابی منطقه غرب استان مازندران است. طول رودخانه ۸۰ کیلومتر است که قسمت اعظم آن کوهستانی، مرتفع و پوشیده از جنگل و دارای رژیم بارانی و برفی است. این رودخانه پس از خروج از کوهستان به نام چشمه کیله و در قسمت جلگه به نام مزر نامیده می‌شود و بیشتر ایام سال دارای آب فراوانی می‌باشد. این رودخانه بعد از عبور از شهر تنکابن به دریای خزر می‌ریزد. محدوده مورد مطالعه در این پژوهش بخش جلگه‌ای رودخانه چشمه کیله است که به پنج بازه تفکیک شده است (بازه یک نزدیک روستای دراز لات، بازه ۲ مجاورت روستای گلعلی‌آباد و روستای ولمرود، بازه ۳ از حدفاصل روستای آغوز کله، بازه ۴ حدفاصل روستای ملا عظیم رزگانه و قنبرآباد و بازه ۵ نزدیک دریا و محدوده شهر تنکابن).



شکل ۱. نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه و بازه بندی رودخانه چشمه کيله

از نظر زمین‌شناسی بخش کوهستانی حوضه در پهنه البرز قرار دارد. رسوبات غالب منطقه جلگه‌ای آبرفت‌های سخت نشده عهد حاضر است. رسوبات دریایی (Qm2) که آنلز و همکاران (۱۹۷۵) آن‌ها را به پلیستوسن نسبت داده‌اند، بخش زیادی از جلگه ساحلی منطقه را شامل می‌شود. هرچند در حال حاضر تمامی سطح آن با شالیزار، باغ مرکبات و مناطق مسکونی پوشیده شده است. در مناطقی که این واحد (Qm2) گسترش دارد، ریخت‌شناسی سطح آن به صورت بسیار مسطح و یا با شیب بسیار کم به سمت دریا و گاهی به سمت کوهستان مشخص است. رسوبات ساحلی (Qb22) عمدتاً به صورت ماسه‌ای (Sand) بوده، ضمن آنکه در بعضی مناطق، به ویژه در مصب رودخانه‌های بزرگ به صورت ریگ (gravel) درمی‌آید. در این نهشته‌ها، به سمت دریا ویژگی‌های محیط کم‌عمق و به سمت خشکی تپه‌های ماسه‌ای (Sand dunes) که توسط رودخانه‌ها قطع می‌گردند، قابل‌شناسایی هستند. بررسی دبی ماهانه رودخانه چشمه کيله نشان‌دهنده این است که بیشترین میزان دبی مربوط به اردیبهشت‌ماه با $24/66$ مترمکعب بر ثانیه و کمترین میزان دبی مربوط به مهرماه با $1/94$ مترمکعب بر ثانیه در ماه است (شکل B ۲). میانگین دبی سالانه رودخانه چشمه کيله در دوره آماری ۱۸ ساله $12/25$ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد (شکل A ۲). همچنین میانگین دبی رسوب سالانه خروجی از حوضه چشمه کيله مقدار $281/77$ تن در سال بوده است (شکل C ۲).



شکل ۲. A: دبی سالانه، B: دبی ماهانه و C: رسوب سالیانه رودخانه چشمه کیله

روش پژوهش

رودخانه‌ها تحت تأثیر عوامل انسانی و طبیعی دچار تغییرات می‌شوند و تغییرات به‌صورت تغییرات کرانه و پلنفرم رودخانه قابل بررسی و مطالعه بوده و قابلیت کمی سازی دارد و ابزارهای مختلفی برای بررسی این تغییرات مورد بررسی قرار می‌گیرند. در این مطالعه تلاش شده است تغییرات کانال رودخانه چشمه کیله در غرب مازندران در حدفاصل سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۲ در ۵ بازه مورد بررسی قرار گیرد. تفکیک بازه‌ها بر اساس موقعیت کانال (محدود، نسبتاً محدود و نامحدود)، الگوی رودخانه و محل اتصال شاخه‌های فرعی انجام گرفت. مرسوم‌ترین داده‌های بررسی تغییرات پلنفرم کانال عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای سال‌های مختلف هستند به‌منظور بررسی تغییرات رودخانه در بازه زمانی سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۰ از داده‌های ماهواره‌ای موجود در سامانه گوگل ارث استفاده گردید و کرانه‌ها و خط مرکزی رودخانه در بازه‌های زمانی مختلف استخراج گردید.

با هدف ارزیابی تغییرات الگوی رودخانه از روش بری رلی و فریرس (Brierley and Fryirs, 2005) استفاده گردید و کانال‌ها با نسبت سینوسیته کمتر از ۱/۰۵ به‌عنوان الگوی مستقیم، نسبت بین ۱/۰۶ تا ۱/۳ به‌عنوان الگوی سینوسی و بزرگ‌تر از ۱/۳ نیز به‌عنوان رودخانه‌های پیچان‌رودی استفاده گردید (حسین زاده و اسماعیلی، ۱۳۹۴). به‌منظور ارزیابی میزان پویایی کانال (CA) از روش مگدانلو و فرناندز (Magdaleno and Fernández-Yuste, 2011) استفاده شد. در این روش به‌منظور شناسایی و اندازه‌گیری میزان مهاجرت جانبی رودخانه چشمه کیله در بازه زمانی ۲۰۱۴-۲۰۲۲، خط وسط رودخانه برای هر یک از سال‌های مورد مطالعه ترسیم گردید و سپس با روی هم گذاری آن‌ها مساحت جابه‌جاشده کانال و همچنین فعالیت کانال محاسبه گردید (رابطه، ۱) (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۸).

$$CA = (SA / LT1) / (T2 - T1) \quad \text{رابطه ۱}$$

CA: میزان فعالیت کانال، SA: مساحت جابه‌جاشده در طی دو زمان و LT1: طول کانال در زمان اول، T1، زمان اول (سال اول) و T2 (سال دوم).

تحلیل کمی تغییرات کرانه‌های رودخانه در دوره‌های زمانی با استفاده از نرم‌افزار DSAS و در نرم‌افزار ARC GIS 10.5 انجام گرفت. این افزونه آمار نرخ تغییرها را برای یک‌سری از داده‌های بردار خط ساحلی محاسبه می‌کند. این افزونه

با استفاده از فاصله هر نقطه اندازه‌گیری شده تا خط مبنا و تاریخ خطوط کرانه استخراج شده، نرخ تغییرهای کرانه‌های راست و چپ رودخانه را مشخص می‌نماید. خط مبنا به فاصله ۱۰۰ متری از خط کرانه رودخانه ترسیم گردید و به منظور دقت بیشتر مطالعه، فاصله ترانسکت‌ها ۲۰ متر در نظر گرفته شد. در این مطالعه شاخص‌های تغییر متوسط خط‌های کرانه (NSM^۱)، نرخ جابه‌جایی خط‌های کرانه (SCE^۲)، نرخ رگرسیون خطی (LRR^۳)، نرخ نقطه پایانی (EPR^۴) جهت ارزیابی کمی تغییرات خطوط کرانه رودخانه مورد استفاده قرار گرفت. تحلیل کمی تغییرات کرانه رودخانه چشمه کیله در دو بخش شامل بررسی کل محدوده مورد مطالعه در بازه‌های زمانی مختلف و بررسی تغییرات به تفکیک بازه انجام گرفت.

یافته‌ها

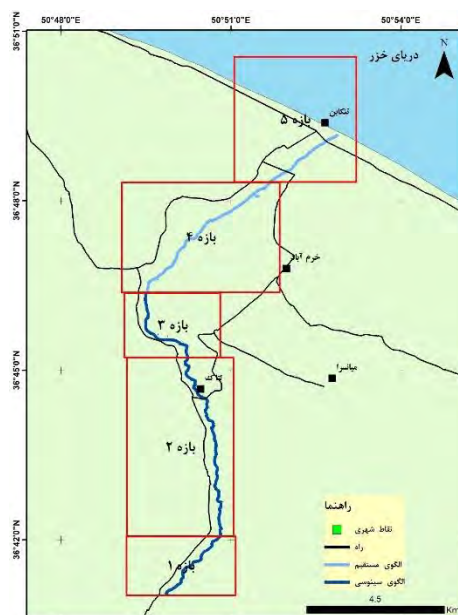
الگوی رودخانه چشمه کیله

نتایج حاصل از ارزیابی الگوی رودخانه چشمه کیله در حدفاصل سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۲ نشان می‌دهد که الگوی رودخانه در تمام این سال‌ها سینوسی و ضریب خمیدگی ۱/۲ آن است. علاوه بر آن بررسی تغییرات الگوی رودخانه در بازه زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۲ نشان می‌دهد که بازه‌های اول، دوم و سوم دارای الگوی سینوسی و بازه‌های چهارم و پنجم دارای الگوی مستقیم است. با وجود تغییرات در ضریب خمیدگی در طول دوره مورد مطالعه در بازه‌های مختلف، الگوی کلی رودخانه در مدت مورد مطالعه تغییر نکرده است (شکل ۳ و جدول ۱).

جدول ۱. تغییرات الگوی بازه‌های مختلف رودخانه چشمه کیله در بازه زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۲

بازه	۲۰۱۴		۲۰۱۹		۲۰۲۲	
	ضریب سینوسیته	نوع فرم	ضریب سینوسیته	نوع فرم	ضریب سینوسیته	نوع فرم
کل رودخانه	۱/۲	سینوسی	۱/۲	سینوسی	۱/۲	سینوسی
بازه ۱	۱/۱۱	سینوسی	۱/۰۹	سینوسی	۱/۰۹	سینوسی
بازه ۲	۱/۱۱	سینوسی	۱/۱	سینوسی	۱/۱	سینوسی
بازه ۳	۱/۲۲	سینوسی	۱/۲	سینوسی	۱/۱۸	سینوسی
بازه ۴	۱/۰۵	مستقیم	۱/۰۴	مستقیم	۱/۰۲	مستقیم
بازه ۵	۱/۰۳	مستقیم	۱/۰۲	مستقیم	۱/۰۲	مستقیم

1. Net shoreline movement
2. Shoreline change envelope
3. Liner regression rate
4. End point rate



شکل ۳. سینوسیته و بازه بندی رودخانه چشمه کیله

پویایی کانال رودخانه چشمه کیله

به منظور ارزیابی و پایش تغییرات کانال رودخانه چشمه کیله از شاخص فعالیت رودخانه (CA) استفاده گردید. نتایج بررسی میزان فعالیت کانال در حدفاصل سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۲ نشان داد که بیشترین فعالیت کانال مربوط به سال ۲۰۱۵-۲۰۱۴ و کمترین آن مربوط به سال ۲۰۱۹-۲۰۱۵ است و همچنین تغییرات کانال در بازه زمانی ۲۰۱۴-۲۰۲۲ به میزان ۱/۱۱ متر در سال بوده است (جدول ۲).

جدول ۲. میزان پویایی کانال رودخانه چشمه کیله در بازه زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۲

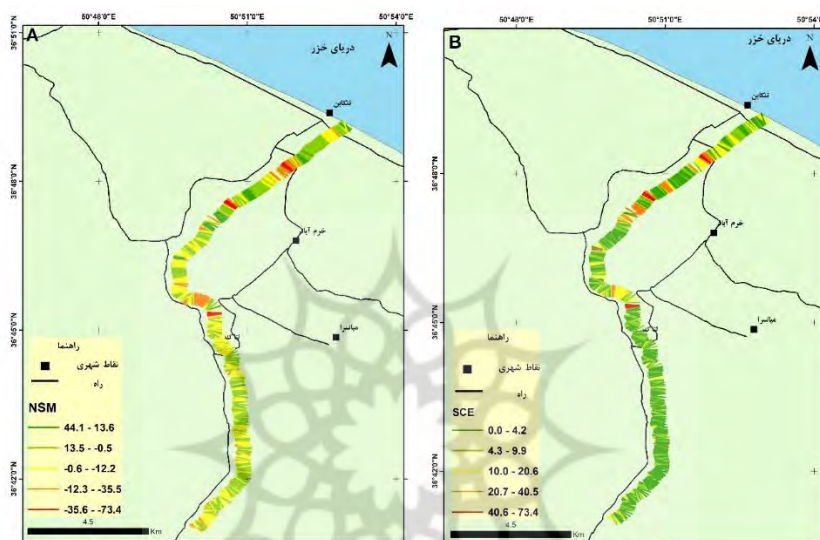
دوره مطالعاتی	مساحت (مترمربع)	طول سال ابتدا (متر)	طول سال انتها (متر)	T2-T1	SA/LT1	CA
۲۰۱۴-۲۰۱۵	۱۰۷۴۳۲/۱۴	۱۹۷۸۷/۴۵	۱۹۷۸۷/۴۵	۱	۵/۴۲	۵/۴۲
۲۰۱۵-۲۰۱۹	۱۹۶۰۰۹/۲۷	۱۹۷۸۷/۲۵	۱۹۶۰۵/۶۴	۵	۹/۹	۱/۹۸
۲۰۱۹-۲۰۲۲	۱۴۲۷۱۹/۱۶	۱۹۶۰۵/۶۴	۱۹۴۷۱/۰۲	۳	۷/۲۷	۲/۴۲
۲۰۱۴-۲۰۲۲	۱۷۴۱۲۶/۸۴	۱۹۴۷۱/۰۲	۱۹۷۸۷/۲۵	۸	۸/۹۴	۱/۱۱

تغییرات مورفولوژی کرانه‌های کانال رودخانه چشمه کیله

تغییرات کرانه‌های چپ و راست رودخانه چشمه کیله به صورت مجزا در بازه زمانی مختلف ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۲ مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس داده‌های به دست آمده، حداکثر پس‌روی کرانه نسبت به خط مرکزی کانال (فرسایش کرانه) در ساحل چپ رودخانه چشمه کیله در بازه زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۴، به میزان ۷۳/۳۹ متر در بازه‌های میانی و ابتدایی، همچنین حداکثر پیشروی کرانه رودخانه به طرف خط مرکزی کانال و کاهش عرض رودخانه (رسوب‌گذاری و تشکیل خشکی در کرانه) به میزان ۴۴/۰۸ متر و میانگین تغییرات کرانه (مجموع تمام مقادیر تغییرات کرانه در دو بازه زمانی تقسیم بر تعداد کل ترانسکت‌ها) به میزان ۲/۲۰ متر پس‌روی کرانه بوده است. داده‌های فوق نشان می‌دهد که روند غالب در کرانه چپ رودخانه چشمه کیله فرسایشی بوده است (جدول ۳ و شکل ۴).

جدول ۳. تغییرات کرانه چپ رودخانه چشمه کیله در بازه زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۲

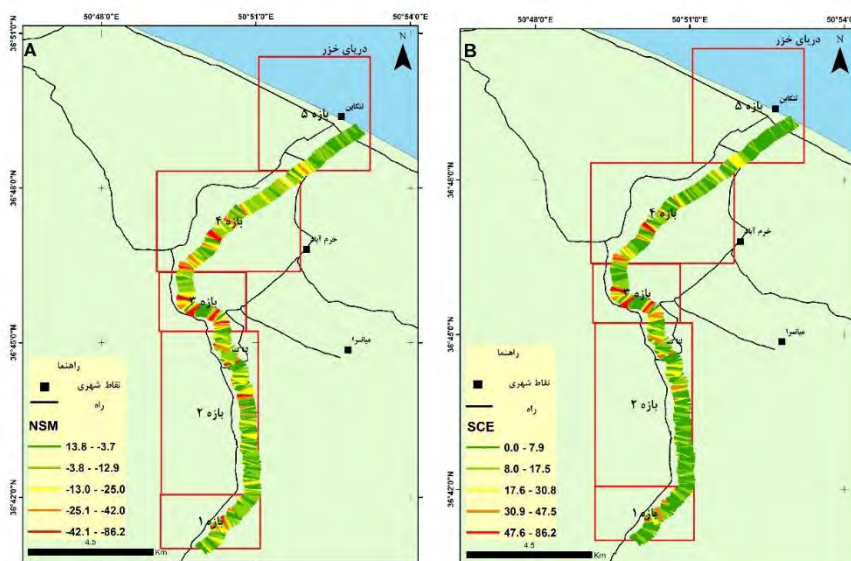
چشمه کیله چپ	تغییرات کرانه	NSM (m)	SCE (m)
	حداکثر رسوب‌گذاری	۴۴/۰۸	۰
۲۰۱۴-۲۰۱۵	حداکثر فرسایش کرانه	-۷۳/۳۹	-۷۳/۳۹
	میانگین تغییرات کرانه	-۲/۲۰	-۷/۸۱
	حداکثر رسوب‌گذاری	۱۳/۷۸	۰
۲۰۱۹-۲۰۱۵	حداکثر فرسایش کرانه	-۸۶/۱۸	-۸۶/۱۸
	میانگین تغییرات کرانه	-۱۲/۴۱	-۱۳/۲۳
	حداکثر رسوب‌گذاری	۸۸/۲۱	-۰/۰۱
۲۰۲۲-۲۰۱۹	حداکثر فرسایش کرانه	-۳۲/۶۴	-۸۸/۲۱
	میانگین تغییرات کرانه	۶/۰۰	-۹/۳۲



شکل ۴. تغییرات کرانه چپ رودخانه چشمه کیله ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۰ با توجه به شاخص NSM (A) و شاخص SCE (B)

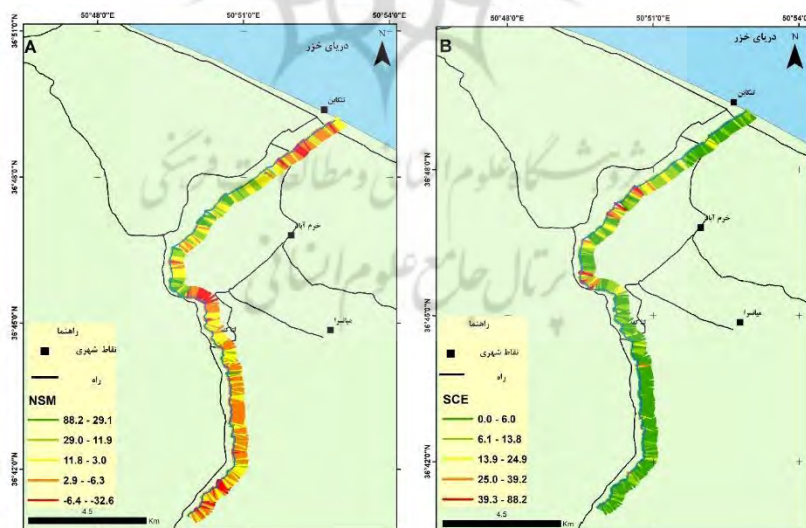
بیشترین دامنه تغییرات فرسایش کرانه در طول ساحل چپ به میزان ۷۳/۳۹ متر و میانگین این تغییرات ۷/۸۱ در طول یک سال در این بازه زمانی رخ داده است. بیش‌ترین میزان فرسایش کرانه در این سال در بخش مرکزی رودخانه و در حفاصل روستای لتاک تا خرم‌آباد و تنکابن مشاهده شده است. با وجود کاهش عرض رودخانه در بخش‌هایی از رودخانه چشمه کیله، روند غالب در ساحل چپ رودخانه چشمه کیله در این سال از نوع تعریض کانال و وقوع فرسایش کرانه‌ای بوده که نشان‌دهنده در معرض خطر بودن زمین‌های حاشیه رودخانه است.

در بازه زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹ حداکثر پس‌روی کرانه نسبت به خط مرکزی کانال (فرسایش کرانه) در ساحل چپ به میزان ۸۶/۱۸ متر در بازه‌های میانی، حداکثر کاهش عرض رودخانه (رسوب‌گذاری و تشکیل خشکی در کرانه) به میزان ۱۳/۷۸ متر و میانگین تغییرات کرانه به میزان ۱۲/۴۱ متر پس‌روی و فرسایش کرانه بوده است (جدول ۳ و شکل ۵). بیشترین دامنه تغییرات فرسایش کرانه در طول ساحل چپ ۸۶/۱۸ متر و میانگین این تغییرات ۱۳/۲۳ متر در طول ۴ سال رخ داده است. بیش‌ترین میزان فرسایش کرانه در این بازه زمانی همانند دوره قبلی در بخش مرکزی رودخانه مشاهده شده است. همچنین روند غالب در ساحل چپ رودخانه چشمه کیله از نوع پس‌روی کرانه نسبت به خط مرکزی کانال و وقوع فرسایش کرانه‌ای بوده است.



شکل ۵. تغییرات کرانه چپ رودخانه چشمه کیله با توجه به شاخص NSM (A) و شاخص SCE (B)

در بازه زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۲ حداکثر پس روی کرانه نسبت به خط مرکزی کانال (فرسایش کرانه) در ساحل چپ رودخانه به میزان ۳۲/۶۴ متر، حداکثر کاهش عرض رودخانه (رسوب‌گذاری و تشکیل خشکی در کرانه) به میزان ۸۸/۲۱ متر و میانگین تغییرات کرانه به میزان ۶ متر بوده است. بیشترین دامنه تغییرات فرسایش کرانه در طول ساحل چپ به میزان ۸۸/۲۱ متر و میانگین این تغییرات ۹/۳۲ متر در طول ۳ سال در این بازه زمانی رخ داده است. در این بازه زمانی همانند دوره قبلی بیش‌ترین میزان فرسایش کرانه در بخش مرکزی رودخانه مشاهده شده است. همچنین روند غالب در ساحل چپ رودخانه چشمه کیله از نوع پیشروی بوده است (جدول ۳ و شکل ۶).



شکل ۶. تغییرات کرانه چپ رودخانه چشمه کیله ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۰ با توجه به شاخص NSM (A) و شاخص SCE (B)

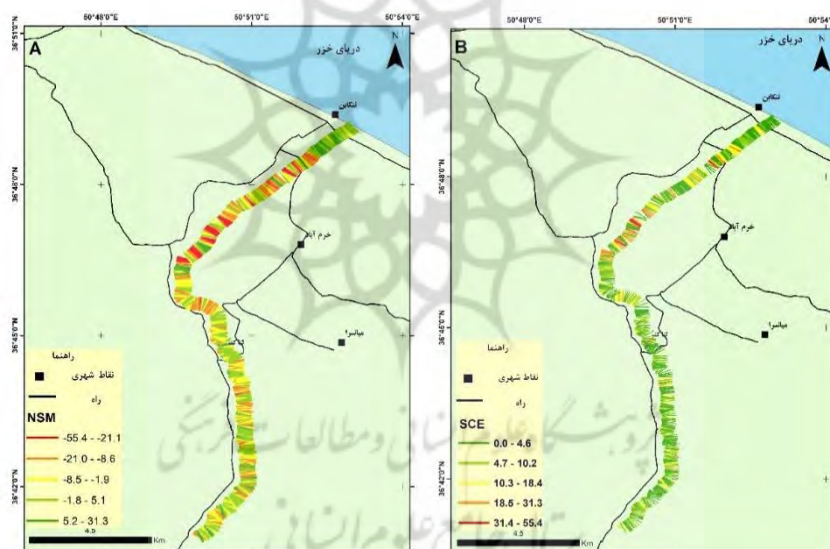
تغییرات کرانه راست رودخانه چشمه کیله در بازه‌های زمانی مورد مطالعه

تغییرات کرانه راست در بازه زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۵، نشان داده است که حداکثر پیشروی کرانه رودخانه به طرف خط مرکزی کانال و کاهش عرض رودخانه (رسوب‌گذاری و تشکیل خشکی در کرانه) به میزان ۵۵/۳۹ متر، حداکثر پس روی

کرانه نسبت به خط مرکزی کانال (فرسایش کرانه) به میزان ۳۱/۳۲ متر و میانگین تغییرات کرانه (مجموع تمام مقادیر تغییرات کرانه در دو بازه زمانی تقسیم بر تعداد کل ترانسکت‌ها) به میزان ۴/۶۳ متر فرسایش کرانه بوده است یعنی روند تغییرات به صورت پس‌روی کرانه و افزایش عرض رودخانه بوده است (جدول ۴ و شکل ۷). بر اساس داده‌های به‌دست‌آمده میانگین تغییرات ۷/۰۸ متر در طول یک سال در این بازه زمانی رخ داده است. همچنین بیش‌ترین میزان رسوب‌گذاری و تشکیل خشکی در کرانه در بخش مرکزی رودخانه رخ داده است.

جدول ۴. تغییرات کرانه راست رودخانه چشمه کپله در بازه زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۰

چشمه کپله راست	دامنه تغییرات	NSM (m)	SCE (m)
	حداکثر فرسایش کرانه	۳۱/۳۲	-
۲۰۱۴-۲۰۱۵	حداکثر رسوب‌گذاری	-۵۵/۳۹	-۵۵/۳۹
	میانگین تغییرات کرانه	-۴/۶۳	۷/۰۸
	حداکثر فرسایش کرانه	۸۶/۱۸	-
۲۰۱۵-۲۰۱۹	حداکثر رسوب‌گذاری	-۱۳/۷۸	۸۶/۱۸
	میانگین تغییرات کرانه	۱۲/۴۱	۱۳/۲۳
	حداکثر فرسایش کرانه	۹۵/۰۶	-
۲۰۱۹-۲۰۲۲	حداکثر رسوب‌گذاری	-۶۷	۹۵/۰۶
	میانگین تغییرات کرانه	۴/۳۲	۱۰/۰۱

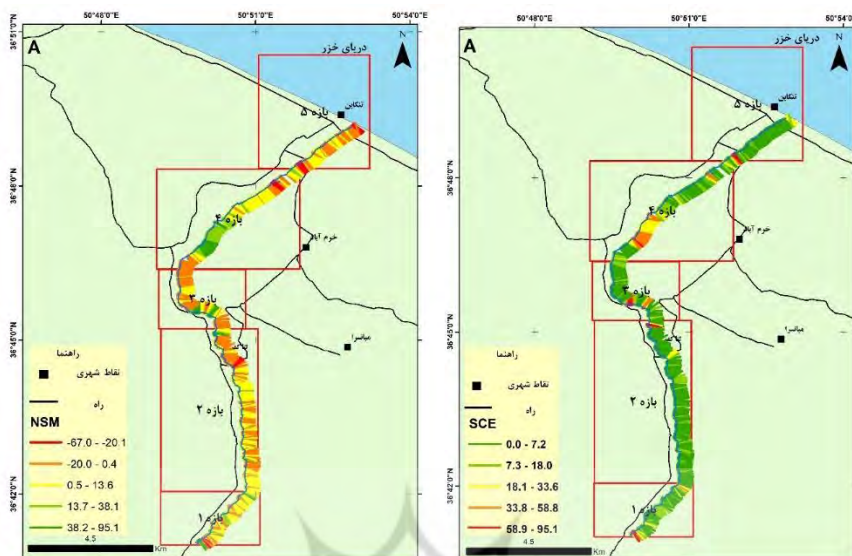


شکل ۷. تغییرات کرانه راست ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۵ رودخانه چشمه کپله با توجه به شاخص NSM (A) و شاخص SCE (B)

در ساحل راست رودخانه چشمه کپله در بازه زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹، حداکثر پیشروی کرانه رودخانه و کاهش عرض رودخانه (رسوب‌گذاری و تشکیل خشکی در کرانه) به میزان ۱۳/۷۸ متر، حداکثر فرسایش کرانه به میزان ۸۶/۱۸ متر و میانگین تغییرات کرانه به میزان ۱۲/۴۱ متر و روند غالب رسوب‌گذاری و تشکیل خشکی در کرانه بوده است (جدول ۴). در این بازه زمانی، میانگین تغییرات کرانه ۱۳/۲۳ متر در طول ۴ سال رخ داده است. بیش‌ترین میزان خشکی‌زایی در کرانه رودخانه در این بازه زمانی همانند گذشته در بخش مرکزی رودخانه رخ داده و در این ساحل ایجاد خشکی در کرانه فرآیند غالب بوده است.

در بازه زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۲ نیز حداکثر پیشروی کرانه رودخانه به طرف خط مرکزی کانال و کاهش عرض رودخانه (رسوب‌گذاری و تشکیل خشکی در کرانه) به میزان ۶۷ متر، حداکثر پس‌روی کرانه نسبت به خط مرکزی کانال (فرسایش

کرانه) به میزان ۹۵/۰۶ متر و میانگین تغییرات کرانه به میزان ۴/۳۲ متر بوده است. میانگین تغییرات ۱۰/۰۱ متر در طول ۳ سال در این بازه زمانی رخ داده و رسوب گذاری و تشکیل خشکی در بخش مرکزی رودخانه و در شمال روستاهای لتاک و تنکابن مشاهده شده است (جدول ۴ و شکل ۸).



شکل ۸. تغییرات کرانه راست رودخانه ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۲ چشمه کیله با توجه به شاخص A: NSM (A) و B: شاخص SCE

تغییرات کرانه رودخانه چشمه کیله در حداث سالهای ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۲

به طور کلی بر اساس داده‌های به دست آمده در مدت زمان ۸ ساله، در ساحل چپ، حداکثر فرسایش کرانه به میزان ۱۱۳/۰۵ متر، و حداکثر رسوب گذاری و تشکیل خشکی در کرانه به میزان ۷۸/۳۱ متر و میانگین تغییرات کرانه به میزان ۸/۳۵ متر به صورت فرسایش کرانه بوده است (جدول ۵ و شکل ۹). در ساحل راست رودخانه چشمه کیله نیز در این مدت، حداکثر رسوب گذاری و تشکیل خشکی در کرانه به میزان ۱۰۸/۳۶ متر و حداکثر فرسایش کرانه به میزان ۴۸/۴۴ متر و میانگین تغییرات کرانه به میزان ۷/۸۵ متر کاهش عرض رودخانه را به دنبال داشته است (جدول ۵ و شکل ۱۰).

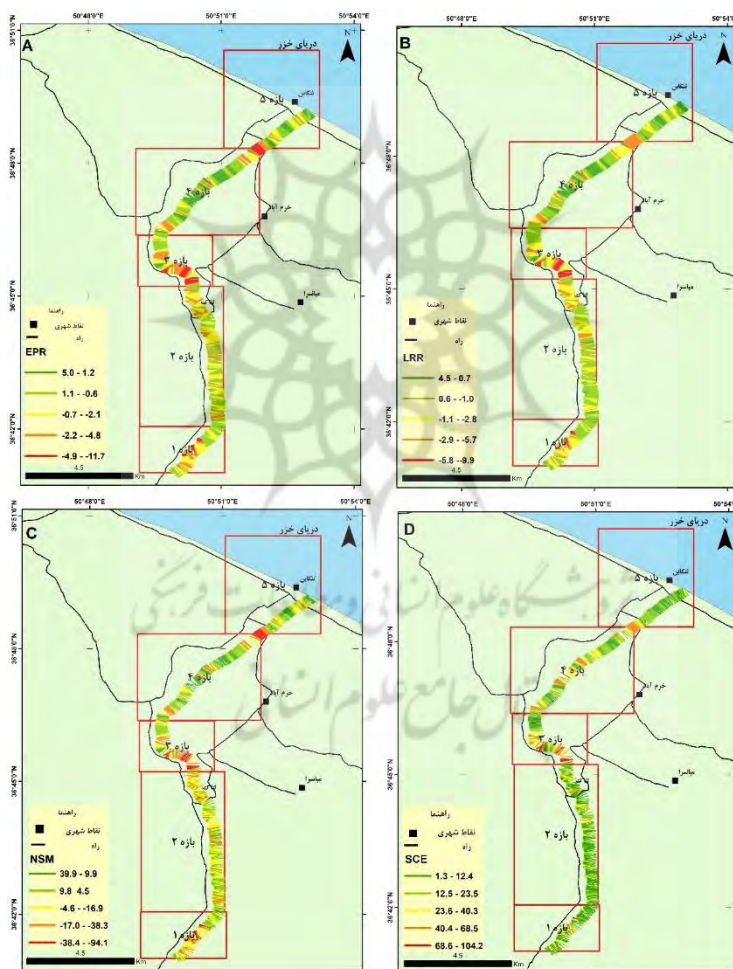
دامنه تغییرات فرسایش کرانه در طول ساحل چپ ۱۱۳/۰۵ متر و میانگین این تغییرات ۲۳/۸۲ متر، در کرانه راست ۱۳۵/۱۸ متر و میانگین این تغییرات ۱۱/۲۲ متر در طول ۸ سال رخ داده است. بیشترین میزان پیشروی و پسروی کرانه در این ۸ سال در بخش مرکزی رودخانه رخ داده است. در طول ۸ سال گذشته، روند غالب در ساحل چپ رودخانه چشمه کیله وقوع فرسایش در کرانه و افزایش عرض و در ساحل راست رودخانه از نوع پیشروی و وقوع خشکی زایی در کرانه بوده است.

نتایج نشان داد که در طول کرانه چپ، حداکثر تغییرات کرانه به صورت فرسایش کرانه ۱۴/۱ متر در سال و مقدار حداکثر رسوب گذاری و تشکیل خشکی در کرانه ۱۰/۳۵ متر در سال و میانگین تغییرات کرانه ۱/۰۳ متر در سال با غلبه فرسایش کرانه بوده است. همچنین در طول کرانه راست، حداکثر تغییرات کرانه به صورت رسوب گذاری و کاهش عرض کانال ۱۳/۵۶ متر در سال و مقدار حداکثر فرسایش کرانه ۶۰/۰۶ متر در سال و میانگین تغییرات کرانه ۰/۹۹ متر در سال با غلبه رسوب گذاری در طول کرانه بوده است. شاخص نرخ رگرسیون خطی (LRR) نیز نشان داد که میزان حداکثر فرسایش کرانه ۱۲/۹۶ متر در سال و مقدار حداکثر رسوب گذاری و کاهش عرض کانال ۸/۶۳ متر در سال و میانگین تغییرات کرانه ۱/۳۴

متر در سال با غلبه فرسایش کرانه بوده است. در صورتی که در ساحل راست رودخانه، میزان حداکثر فرسایش کرانه ۶/۰۲ متر در سال و مقدار حداکثر رسوب‌گذاری و کاهش عرض کانال ۱۴/۴۵ متر در سال و میانگین تغییرات کرانه ۱/۰۳ متر در سال با غلبه رسوب‌گذاری در حاشیه کرانه بوده است.

جدول ۵. تغییرات کرانه راست رودخانه چشمه کیله در بازه زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۲

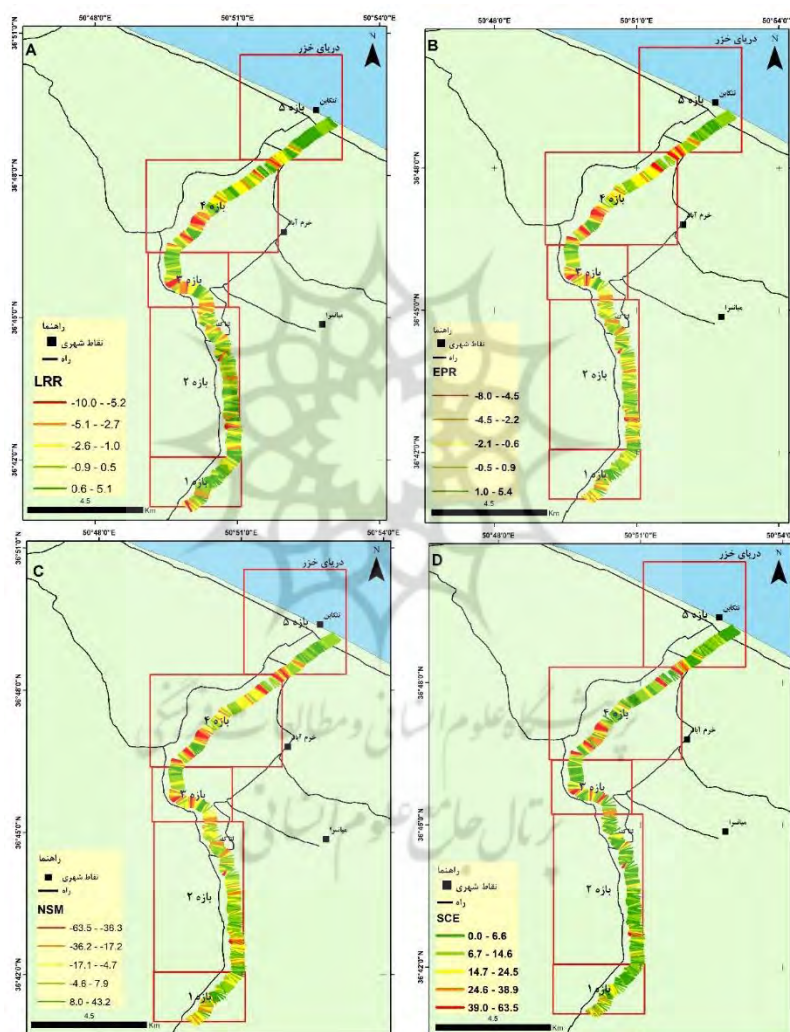
نوع تغییرات	LRR (متر در سال)	EPR (متر در سال)	SCE (متر)	NSM (متر)	رودخانه
میانگین رسوب‌گذاری کرانه	۸/۶۳	۱۰/۳۵	-۰/۷۹	۷۸/۳۱	خط کرانه چپ
میانگین فرسایش کرانه	-۱۲/۹۶	-۱۴/۱	-۱۱۳/۰۵	-۱۱۳/۰۵	
میانگین تغییرات کرانه	-۱/۳۴	-۱/۰۳	-۲۳/۸۲	-۸/۳۵	خط کرانه راست
میانگین فرسایش کرانه	۶/۰۲	۶/۰۶	۱۳۵/۱۸	۴۸/۴۴	
میانگین رسوب‌گذاری کرانه	-۱۴/۴۵	-۱۲/۵۶	۰/۴۶	-۱۰۸/۳۶	خط کرانه راست
میانگین تغییرات کرانه	-۱/۰۳	-۰/۹۹	۲۲/۱۱	-۷/۸۵	



شکل ۹. تغییرات کرانه چپ رودخانه چشمه کیله ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۲ با توجه به شاخص (A) EPR، (B) LRR، (C) NSM و شاخص (D) SCE

تغییرات کرانه‌های رودخانه چشمه کیله در بازه‌های مطالعاتی

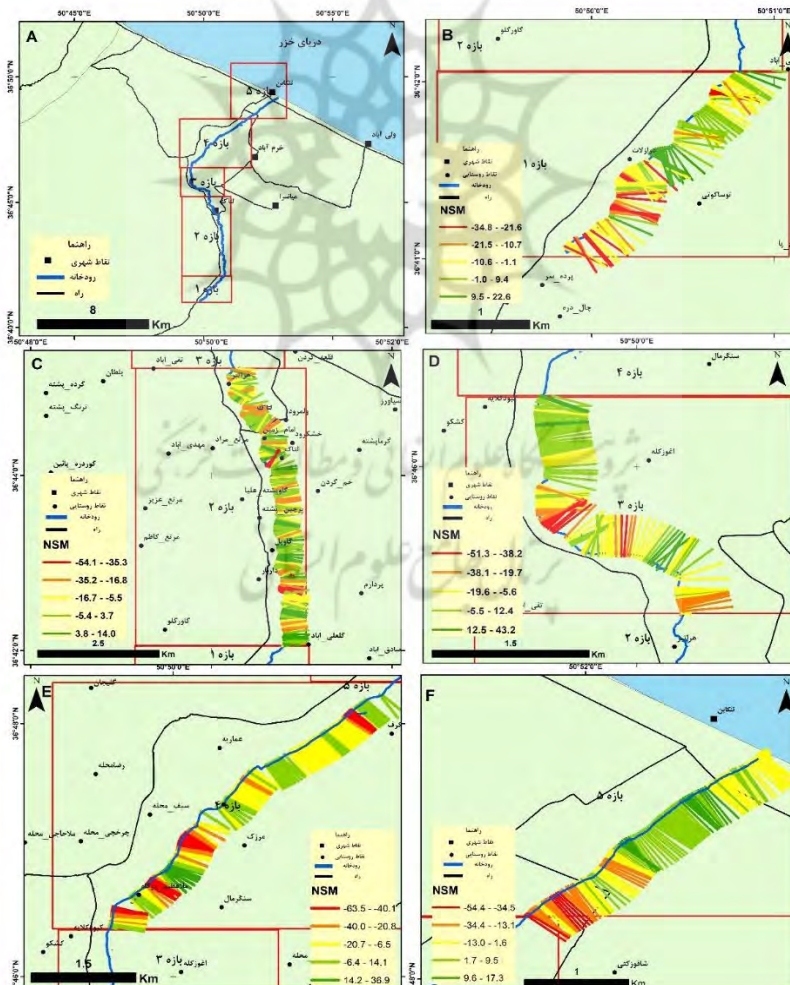
با هدف بررسی تفاوت تغییرات کرانه چپ و راست رودخانه از بالادست تا ساحل دریا، رودخانه چشمه کیله به ۵ بازه تفکیک گردید و تغییرات کرانه در بازه زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۲ مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۱۱، شکل ۱۲ و جدول ۶). نتایج نشان داد که در تمام بازه‌ها تغییرات از نوع پس‌روی کرانه نسبت به خط مرکزی کانال و فرسایش کرانه غلبه داشته است. نتایج نشان داد که بیشترین فرسایش کرانه به ترتیب در بازه اول و بازه سوم در کرانه چپ رخ داده است. در واقع بازه‌های بالادست و نزدیک کوهستان ناپایداری بیشتری دارا هستند. در ساحل راست رودخانه مقادیر تغییرات نشان داد که در تمام بازه‌ها رودخانه در وضعیت پیشروی و خشکی‌زایی است. در این سمت بازه‌های سوم و چهارم بیشترین پیشروی و خشکی‌زایی و کاهش عرض کانال را داشته‌اند (جدول ۶).



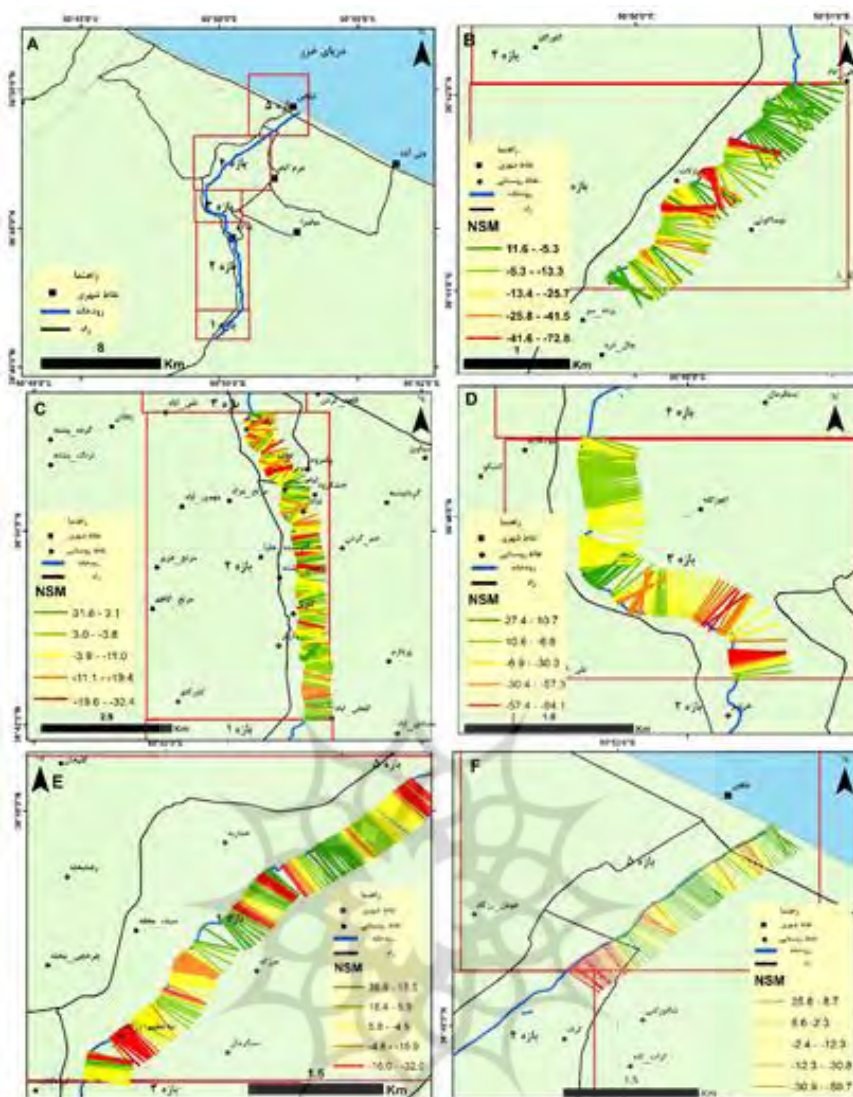
شکل ۱۰. تغییرات کرانه راست رودخانه چشمه کیله ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۲ با توجه به شاخص (A) EPR، (B) LRR، (C) NSM و شاخص (D) SCE

جدول ۶. تغییرات کرانه‌های رودخانه چشمه کیله در بازه زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۲

کرانه راست چشمه کیله			کرانه چپ چشمه کیله		
NSM (متر)	دامنه تغییرات	رودخانه	NSM (متر)	دامنه تغییرات	رودخانه
۲۲/۶۵	حداکثر فرسایش کرانه	بازه ۱	۱۱/۵۹	حداکثر رسوب‌گذاری	بازه ۱
-۳۴/۸۴	حداکثر رسوب‌گذاری		-۷۲/۷۸	حداکثر فرسایش کرانه	
-۴/۷۸	میانگین (کاهش عرض)		-۹۷/۱۵	میانگین (تعریض)	
۱۴/۰۳	حداکثر فرسایش کرانه	بازه ۲	۳۱/۸۲	حداکثر رسوب‌گذاری	بازه ۲
-۵۴/۱۳	حداکثر رسوب‌گذاری		-۳۲/۳۸	حداکثر فرسایش کرانه	
-۶/۴۲	میانگین (کاهش عرض)		-۷/۱۳	میانگین (تعریض)	
۴۳/۱۶	حداکثر فرسایش کرانه	بازه ۳	۲۷/۴۴	حداکثر رسوب‌گذاری	بازه ۳
-۵۱/۲۵	حداکثر رسوب‌گذاری		-۹۴/۰۷	حداکثر فرسایش کرانه	
-۹/۰۷	میانگین (کاهش عرض)		-۱۷/۲۳	میانگین (تعریض)	
۳۶/۸۵	حداکثر فرسایش کرانه	بازه ۴	۳۹/۹۲	حداکثر رسوب‌گذاری	بازه ۴
-۶۳/۵۵	حداکثر رسوب‌گذاری		-۳۲/۰۴	حداکثر فرسایش کرانه	
-۱۴/۹۲	میانگین (کاهش عرض)		۰/۰۵	میانگین (تعریض)	
۱۷/۲۸	حداکثر فرسایش کرانه	بازه ۵	۲۷/۴۶	حداکثر رسوب‌گذاری	بازه ۵
-۵۴/۳۷	حداکثر رسوب‌گذاری		-۵۹/۶۹	حداکثر فرسایش کرانه	
-۴/۰۸	میانگین (کاهش عرض)		-۹/۱۸	میانگین (تعریض)	



شکل ۱۱. تغییرات کرانه راست رودخانه چشمه کیله ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۲ در بازه‌های مورد مطالعه با توجه به شاخص NSM: بازه ۱ (A)، بازه ۲ (B)، بازه ۳ (C)، بازه ۴ (D)، بازه ۵ (E)



شکل ۱۲. تغییرات کرانه چپ رودخانه چشمه کیله ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۲ در بازه‌های مورد مطالعه با توجه به شاخص NSM؛ بازه ۱ (A)، بازه ۲ (B)، بازه ۳ (C)، بازه ۴ (D)، بازه ۵ (E)

بحث

نتایج مطالعه تغییرات کانال در رودخانه‌های چشمه کیله نشان می‌دهد که با توجه به تحدب کلی رودخانه به سمت غرب، فرسایش کرانه‌ای غالب در سمت چپ رودخانه رخ داده است. بررسی مقادیر به دست آمده از داده‌های مدل نیز نشان داده است که در تمام بازه‌ها و در تمام بازه‌های زمانی در کرانه چپ پس‌روی و فرسایش کناره رودخانه رخ داده است. میانگین نرخ این تغییرات در طول رودخانه به تقریب ۱ متر در سال بوده است. نتایج همچنین نشان داده است که میزان تغییرات کرانه در الگوی سینوسی بیشتر از الگوی مستقیم بوده است. بازه‌های واقع در بخش میانی و بالایی جلگه به دلیل شیب بیشتر شرایط مناسب‌تری جهت فرسایش کرانه و ناپایداری کانال را داشته‌اند.

با توجه به شواهد وقوع سیلاب‌های متعدد در این منطقه، هرچند در برخی از سال‌ها روند تغییرات کانال به صورت کاهش عرض کانال بوده است، ولی روند غالب تغییرات در رودخانه مورد مطالعه در طول دوره‌های مورد مطالعه با پس‌روی کامل کرانه‌ها و همچنین افزایش عرض رودخانه همراه می‌باشد.

نتایج حاصل از بررسی تغییرات کرانه‌های چپ و راست کانال در بازه‌های زمانی مورد مطالعه نشان می‌دهد که روند تغییرات یکسان نیست و به دلیل تغییرات در دبی رودخانه، روندهای پیشروی و پس‌روی کانال که می‌تواند هم‌زمان با فرسایش و رسوب‌گذاری تغییر کند. در بازه‌های زمانی که دبی رودخانه‌ها کاهش می‌یابد، فرایندهای رسوب‌گذاری تشدید شده و زمینه پیشروی کرانه‌های کانال را فراهم آورده و منجر به کاهش عرض کانال می‌گردد و در زمانی که دبی‌های رودخانه افزایش یابد یا سیلاب‌های حدی در رودخانه روی دهد، روند تغییرات در رودخانه فرسایشی خواهد بود. همان‌طور که در تغییرات کانال در رودخانه چشمه کیله مشاهده می‌شود، در حدفاصل سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۵ با وجود این‌که روند تغییرات کانال پس‌روی بوده است (میانگین ۲/۲۰ متر در کرانه چپ و ۴/۶۳ در کرانه راست ولی این پس‌روی نسبت به دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹ (۱۲/۴۱ متر در کرانه چپ و... در کرانه راست) کمتر است. در سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ (دوره ۲۰۱۴ - ۲۰۱۵) میزان دبی رودخانه نسبت به میانگین دوره مورد مطالعه در حدفاصل سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۶ که ۱۲/۲۴ مترمکعب بر ثانیه بوده است کمتر بوده و به ترتیب ۱۰/۶ و ۱۱ مترمکعب بر ثانیه بوده است ولی در حدفاصل سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۷ (۱۳۹۴ تا ۱۳۹۶) میزان دبی رودخانه بیش از میانگین بوده است و به خصوص در سال ۱۳۹۵ بیشترین دبی را در طول دوره مورد مطالعه این رودخانه ثبت شده است که معادل ۱۶/۶۷ مترمکعب بر ثانیه بوده است. این افزایش دبی در طول دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۷ (۱۳۹۴ تا ۱۳۹۶) هم‌زمان با فرسایش بیشتر کرانه‌ها بوده است که نشان از تأثیر تغییرات دبی رودخانه در طول دوره مورد مطالعه دارد.

نتیجه‌گیری

تغییرات ژئومورفیک در رودخانه‌هایی که از میان جلگه‌های ساحلی جریان می‌یابند برای درک پویایی سیستم‌های رودخانه‌ای و تعامل آن‌ها با محیط اطراف حیاتی هستند. نتایج نشان داد پویایی کانال در رودخانه‌هایی با الگوی سینوسی بیش از رودخانه‌های مستقیم است. تأثیر سیلاب‌های این رودخانه‌ها منتج به افزایش عرض رودخانه‌ها شده و این تأثیر در رودخانه‌های سینوسی بیشتر به چشم می‌خورد.

نتایج بررسی تغییرات الگوی رودخانه نشان می‌دهد که با وجود تغییرات در ضریب خمیدگی بازه‌های مختلف در سال‌های مختلف، این تغییرات منجر به تغییر در الگوی رودخانه نشده است.

بررسی مقادیر به‌دست‌آمده از داده‌های مدل نیز نشان داده است که در تمام بازه‌ها و در تمام بازه‌های زمانی در کرانه چپ پس‌روی و فرسایش کناره رودخانه رخ داده است. میانگین نرخ این تغییرات در طول رودخانه به تقریب ۱ متر در سال بوده است. نتایج همچنین نشان داده است که میزان تغییرات کرانه در الگوی سینوسی بیشتر از الگوی مستقیم بوده که مشابه نتایج جی‌یو و همکاران (Guo et al. 2021) بوده است. بازه‌های واقع در بخش میانی و بالایی جلگه به دلیل شیب بیشتر شرایط مناسب‌تری جهت فرسایش کرانه و ناپایداری کانال را داشته‌اند. بر اساس یافته‌های فوق و نتایج پژوهش علی و همکاران (Ali et al. 2019) و کوئین و همکاران (Qin et al, 2024) با استفاده از تحلیل خط ساحلی دیجیتال (DSAS) امکان برآورد تغییرات و نرخ تغییرات در سال‌های آتی و مناطق در معرض خطر فراهم خواهد است.

این اثر حامی مالی نداشته است.

سهم نویسندگان در پژوهش

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

تضاد و منافع

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

تقدیر و تشکر

نویسندگان از همه کسانی که در انجام این پژوهش به ما یاری رساندند، به‌ویژه کسانی که کار ارزیابی کیفیت مقالات را انجام دادند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

- اسماعیلی، رضا و دلیری، راحیل. (۱۳۹۸). تحلیل مورفولوژیکی و مورفودینامیکی پیچان‌رودهای رودخانه شلمان رود، استان گیلان. *پژوهش‌های دانش زمین*، ۱۰ (۳۹)، ۱۴۱ - ۱۵۳.
- المدرسی، سید علی؛ خبازی، مصطفی؛ اولیایی، علی و شهبازی، میثم. (۱۳۹۷). بررسی نقش مؤثر بر پیچان‌رود شدن و تغییرات رودخانه دالکی با استفاده از سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۹ (۱)، ۱۶۵ - ۱۷۶.
- حسین زاده، و اسماعیلی، رضا. (۱۳۹۴). ژئومورفولوژی رودخانه‌ای، مفاهیم، فرم‌ها و فرآیندها. چاپ اول، تهران: انتشارات دانشگاه شهید بهشتی.
- خوش‌رفتار، رضا؛ احمدی ترکمانای، اصغر؛ فیض‌الله پور، مهدی و حامدی، نصرین. (۱۳۹۸). بررسی پیچان‌رودهای قزل‌اوزن در محدوده شهرستان ماه‌نشان - زنجان. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۷ (۴)، ۱۵ - ۳۰.
- معصومی، حمیدرضا؛ غریب رضا، محمدرضا و معتمد، احمد. (۱۳۹۰). بررسی مورفولوژی و الگوی پیچان‌رودی رودخانه زهره در جلگه ساحلی هندبجان. *مهندسی و مدیریت آبخیز*، ۳ (۲)، ۱۰۲ - ۱۱۲.
- یمانی، مجتبی و حسین زاده، محمد مهدی. (۱۳۸۳). بررسی الگوی پیچان‌رودی رودخانه تالار با استفاده از شاخص‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی. *جغرافیا*، ۱۹ (۲)، ۱۴۴ - ۱۵۴.
- صفاری، امیر؛ قنوتی، عزت‌الله و علیپور دزفولی اصل، حمید. (۱۴۰۲). بررسی تغییرات مورفولوژی رودخانه کارون و مخاطرات ناشی از آن (مطالعه موردی: بندقیق تا خرمشهر). *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی (علوم جغرافیایی)*، ۲۳، ۱۹۹-۲۲۲.
- رحیمی، نعیمه؛ خالقی، سمیه و صالحی پور میلانی، علیرضا. (۱۴۰۳). تأثیر سیلاب بر تغییرات مورفولوژی رودخانه مطالعه موردی: رودخانه سدیح استان هرمزگان. *هیدروژئومورفولوژی* ۱۱ (۳۸)، ۱۴۱-۱۶۰.

References

- Ali, P. Y., Jie, D., Khan, A., Sravanthi, N., Rao, L. A. K., & 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. Doi.org/10.1080/15715124.2019.1566238
- Boothroyd, R. J., Nones, M., & Guerrero, M. (2021). Deriving Planform Morphology and Vegetation Coverage From Remote Sensing to Support River Management Applications. *Front. Environ. Sci*, 9, 657354: Doi: 10.3389/fenvs.2021.657354
- Brierley, G. J., & Fryirs, K. A. (2005). *Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework*, Blackwell Publishing. DOI:10.1002/9780470751367
- Guo, Xiwei., Gao, Peng., & Li, Zhiwei. (2021). Morphological characteristics and changes of two meandering rivers in the Qinghai-Tibet Plateau, China. *Geomorphology*, 379, 107-129: Doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107626

- Kasvi, E., Laamanen, L., Lotsari, E., & Alho, P. (2017). Flow Patterns and Morphological Changes in a Sandy Meander Bend during a Flood-Spatially and Temporally Intensive ADCP Measurement Approach, *Water*, 9, 106. [Doi:10.3390/w9020106](https://doi.org/10.3390/w9020106).
- Li, C., Zhu, L., Dai, Z., & Wu, Zheng. (2021). Study on Spatiotemporal Evolution of the Yellow River Delta Coastline from 1976 to 2020. *Remote Sensing*, 13 (23), 47-69. [DOI: 10.3390/rs13234789](https://doi.org/10.3390/rs13234789).
- Magdaleno, F., & Fernández-Yuste, J. A. (2011). Meander dynamics in a changing river corridor. *Geomorphology*, 130(3-4), 197-207. [Doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.03.016](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.03.016)
- Nhan, N. T., Tung, N. X., Anh, B. T., & Thanh, N. X. (2018). Application of remote sensing, gis and digital shoreline analysis system (dsas) to assess the changes of the red river bank in the area from son tay to gia lam (HANOI) Vietnam. *Journal of Marine Science and Technology*, 8 (3), 35-51. [DOI: 10.15625/1859-3097/18/3/11028](https://doi.org/10.15625/1859-3097/18/3/11028)
- Nones, M. (2020). Remote sensing and GIS techniques to monitor morphological changes along the middle-lower Vistula river, Poland. *International Journal of River Basin Management*, 19(3), 345-357. [Doi.org/10.1080/15715124.2020.1742137](https://doi.org/10.1080/15715124.2020.1742137).
- Wang, P., Fu, K., Huang, J., Duan, X., & Yang, Z. (2020). Morphological changes in the lower Lancang River due to extensive human activities, *Peer J*, 23, e9471. [Doi: 10.7717/peerj.9471](https://doi.org/10.7717/peerj.9471).
- Wolf, S., Esser, V., Schüttrumpf, H., & Lehmkuhl, F. (2021). Influence of 200 years of water resource management on a typical central European river. Does industrialization straighten a river?. *Environ Sci Eur*, 33 (15). [Doi.org/10.1186/s12302-021-00460-8](https://doi.org/10.1186/s12302-021-00460-8)
- Yan, X., Zhang, J., Li, Y., & Sun, L. (2021). Channel Migration of the Meandering River Fan: A Case Study: of the Okavango Delta, *Water*, 13, 19-33: [DOI: 10.3390/w13233319](https://doi.org/10.3390/w13233319)
- 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. [Doi.org/10.1016/j.geomorph.2024.109397](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2024.109397)
- Esmaili, R., & Daliri, R. (2019). Morphological and morphodynamic analysis of Meanders in Shalmanrood River, Gilan Province. *Researches in Earth Sciences*, 10(3), 141-153. [doi: 10.52547/esrj.10.3.141](https://doi.org/10.52547/esrj.10.3.141) [In Persian]
- Almodaresi, S. A., khabazi, M., Olyae, A., & shahbazi, M. (2018). Analyzing the Role of the Effective Factors on Meandering and Changes of Dalaki River using Remote Sensing and GIS. *Geography and Environmental Planning*, 29(1), 165-176. [doi: 10.22108/gep.2018.97778.0](https://doi.org/10.22108/gep.2018.97778.0) [In Persian]
- Hosseinzadeh, m.m., & Esmaili, R. (2016). Fluvial Geomorphology, Concepts, Forms and Processes, *Publish SBU*. 338 p. [In Persian]
- khoshraftar, R., ahmadi, A., fayzolah poor, M., & hamed, N. (2019). A Study of Gezel Ozan River Meanders in Mahneshan County-Zanjan province. *Quantitative Geomorphological Research*, 7(4), 15-30. [In Persian]
- Masoomi, H. R., Gharibreza, M. R., & Motamed, A. (2011). Investigation of Meandering and Morphology Pattern of Hendijan River in Delta Plain Area. *Watershed Engineering and Management*, 3(2), 102-112. [doi: 10.22092/ijwmse.2011.101923](https://doi.org/10.22092/ijwmse.2011.101923). [In Persian]
- Yamani, m., & Hosseinzadeh, m.m. (2004). A study on the meandering pattern of talar river in the coastal plain of the caspian sea. *Geographical research*, 19(2(73)), 144-154. [In Persian]
- Saffati, A., ghanavati, E., & Alipour Dezdouli Asl, H. (2023). Investigation of morphology changes in Karun River and its hazards (Case Study: Bandagir to Khorramshahr). *jgs*. 23(68), [doi:10.52547/jgs.23.68.199](https://doi.org/10.52547/jgs.23.68.199). [In Persian]
- 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), 160-141. [doi: 10.22034/hyd.2024.59641.1717](https://doi.org/10.22034/hyd.2024.59641.1717). [In Persian]