



Assessment of Geomorphological Quality of the Nirchai River in Ardabil Province Using the MQI Method

Behrouz Nezafat Takleh ¹, Fariba Esfandyari ^{1*}, Raoof Mostafazadeh ²,

Mousa Abedini ¹

¹ Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

² Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 29 September 2025

Revised: 24 October 2025

Accepted: 28 November 2025

Available Online:

29 November 2025

Keywords:

Morphological Quality Index (MQI)

River Geomorphology

Morphological Stability

Hydromorphological Assessment

Anthropogenic Pressure

ABSTRACT

The aim of this study is to assess the geomorphological quality of the Nirchai River in Ardabil Province. To achieve this objective, the Morphological Quality Index (MQI), which is based on functional and artificial factors and is used to evaluate the condition and morphological stability of river systems, was employed. First, the river network was divided into six homogeneous reaches based on total channel length and the geomorphic quality index method. Subsequently, the relevant morphological indicators, including bank stability, channel pattern, cross-sectional changes, sedimentation potential, and compatibility with the surrounding environment, were calculated. The MQI criteria consist of thirteen functional indicators and twelve artificial indicators. According to the results, the MQI of the Nirchai River effectively reflects the geomorphological conditions. Reach 2, with an excellent score of 0.85, falls within the very good class, indicating its morphological stability due to minimal human intervention. In the following ranks, Reach 4 (0.54) and Reach 3 (0.62) fall into the moderate class. Ultimately, Reach 6, with the lowest score (0.43), is classified as having very poor quality, which is directly attributed to excessive human interventions and extensive artificial alterations to the river channel as a result of urban development in Nir. Therefore, it is concluded that Reach 2, with the highest score, has the best geomorphological quality and greater morphological stability compared to the other reaches, whereas Reach 6, with the lowest score, represents the poorest condition. Finally, it is recommended that future studies evaluate temporal changes in the MQI of the Nirchai River using satellite data.

* Corresponding author: Fariba Esfandyari

E-mail address: Esfandyari@uma.ac.ir

How to cite this article: Nezafat Takleh, B., Esfandyari, F., Mostafazadeh, R., & Abedini, M. (2026). Assessment of Geomorphological Quality of the Nirchai River in Ardabil Province Using the MQI Method. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 15(1), 47-71. <https://doi.org/10.22067/geoeH.2025.95694.1611>



©2026 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

River flow regimes are among the most fundamental drivers of river evolution. Beyond their roles in runoff conveyance and sediment transport, rivers provide essential ecological functions by supporting aquatic habitats, interacting laterally with riparian ecosystems, and forming longitudinal corridors that connect terrestrial and marine environments (Downs & Gregory, 2014).

The necessity of investigating the Nirchai River arises from the increasing hydromorphological pressures imposed on this river system as a result of land-use changes, excessive substrate extraction from the riverbed, and recent climatic transformations. These pressures have contributed to the degradation of channel morphology, intensification of bank erosion, and progressive deterioration of riparian ecosystems. Despite its environmental and socio-economic importance, the Nirchai River has not previously been evaluated using a standardized geomorphological assessment framework.

Accordingly, the application of the Geomorphological Quality Index (MQI) a quantitative and standardized method for assessing river morphological quality and stability is particularly warranted. The present study represents the first application of the MQI method to the Nirchai River, with the primary objective of evaluating its geomorphological quality and identifying reaches most affected by human intervention.

Material and Methods

In terms of research design, this study is descriptive-analytical and, with respect to its objectives, constitutes applied research. Primary data were collected through comprehensive library studies and detailed field surveys conducted along the course of the Nirchai River. Initially, geomorphic data (including topographic and geomorphological maps and aerial imagery), geological information, climatic records, and hydrological data such as discharge statistics from the Nirchai hydrometric station and information on tributaries and water resources were compiled to define reference conditions and establish the core components required for MQI calculation. Subsequently, anthropogenic pressures and engineering structures along the riverbanks were systematically documented.

Spatial analyses and extraction of geometric parameters were carried out using ArcGIS and Google Earth imagery. Quantitative calculations of the Geomorphological Quality Index (MQI) and the associated Pressure Index (IP), along with statistical processing of the results, were performed using Microsoft Excel. The MQI method applied in this study is based on a set of functional (F1–F11) and artificial (A1–A12) indicators, which collectively quantify the morphological status and stability of the river system.

Results and Discussion

Analysis of Index Data Across Different River Reaches

In light of the results presented in Table 3, the data pertaining to the scores of various indices across diverse reaches provide a robust opportunity to investigate the trend of performance changes and to identify the factors influencing the improvement or degradation of performance quality. This analysis is predicated upon data collected from six distinct reaches, with scores assigned to indices ranging from F1 to A12, ultimately leading to the derivation of the Geomorphological Quality Index (MQI).

Descriptive Analysis and Overall Data Trend

The aggregate score across all questionnaire items has increased from 53 in the initial reach to 82 in the sixth reach. This ascending trend signifies an overall improvement in the collective performance of the indices over time. Similarly, the total score for Class C criteria has advanced from 37 to 57, corroborating the positive trajectory in the overall quality index.

Index fluctuations across the reaches are varied; certain indices, notably A3 and A10, have maintained consistently high and stable scores across all periods, indicating sustained optimal performance. Conversely, indices such as F11 and F12 experienced a noticeable score decrement in the latter reaches, necessitating more rigorous investigation and follow-up.

Temporal Trend Analysis and Index Variation

An examination of the score variations across the time intervals reveals that a number of indices exhibited a statistically significant upward trend. For instance, index F7 increased from a score of zero in the first reach to five in subsequent reach, denoting substantial amelioration. Furthermore, key indices within Group A, particularly A3 and A10, have consistently attained high scores, positioning them as pivotal determinants of the Geomorphological Quality Index. This escalating trend suggests the positive impact of implemented interventions or favorable environmental factors on index quality enhancement, thereby guiding the development of future planning strategies.

Correlation Analysis with Overall Performance

A correlation assessment between the scores of each individual index and the total score of all questions, as well as Class C, demonstrated that specific indices—namely A3, A10 and F7 exhibit a strong positive correlation with overall performance. These indices play a pivotal role in the comprehensive performance enhancement, and focused attention on them can significantly amplify the efficacy of upgrading programs.

Index Classification and Cluster Analysis

The classification of indices based on their functional attributes and temporal variations enables the identification of groups sharing analogous characteristics. Cluster analysis revealed three distinct groupings: one cluster comprised indices with high performance and an increasing trend (e.g., A3, A10, and F7); a second cluster consisted of indices with moderate scores and limited fluctuation; and the third cluster was composed of indices demonstrating low performance or severe volatility.

Summary of Scores and Geomorphological Assessment of Nirchai River Reaches

As presented in Table 4, Reach 2 records the highest MQI coefficient (0.85) and is classified in the “very good” category, indicating the highest level of geomorphological quality and morphological stability among the studied reaches. Reaches 1 and 6, both with a coefficient of 0.43, fall within the poor to very poor category, reflecting intense human interference and extensive artificial alterations. Reach 5, with a coefficient of 0.75, is classified as good, while Reaches 3 and 4 occupy an average quality class.

Conclusion

This study provides a comprehensive assessment of the geomorphological quality and morphological stability of the Nirchai River using the Geomorphological Quality Index (MQI). The results derived from field observations and satellite imagery indicate that Reach 2, with an MQI value of 0.85, exhibits the highest morphological stability and is categorized as having very good geomorphological quality. In contrast, reaches 1 and 6, with MQI values of 0.43, are classified as poor, reflecting substantial human intervention within the river channel and adjacent areas.

These anthropogenic disturbances contribute to increased sediment production, channel instability, and accelerated erosion processes. The findings emphasize the necessity of implementing targeted river management and restoration strategies, particularly in reaches experiencing severe human pressure, to improve geomorphological conditions and ensure the long-term stability of the Nirchai River system.



ارزیابی کیفیت ژئومورفولوژیکی رودخانه نیرچای استان اردبیل با استفاده از روش MQI

بهروز نضافت تکه^۱، فریبا اسفندیاری درآباد^{۱*}، رئوف مصطفی زاده^۲، موسی عابدینی^۱

^۱ گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
^۲ گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخچه مقاله: تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۰۷ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۸/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۰۷	هدف از این پژوهش، ارزیابی کیفیت ژئومورفولوژیکی رودخانه نیرچای در استان اردبیل است. به منظور دستیابی به این هدف، از روش شاخص کیفیت ژئومورفولوژیکی (MQI)، که مبتنی بر فاکتورهای عملکردی و مصنوعی است و برای سنجش وضعیت و پایداری مورفولوژیکی رودخانه‌ها به کار می‌رود استفاده شده است. ابتدا شبکه رودخانه بر اساس طول کلی و همچنین روش شاخص کیفیت ژئومورفیک به شش بازه همگن تقسیم می‌شود. سپس شاخص‌های مورفولوژیکی مرتبط نظیر پایداری کرانه، الگوی کانال، تغییرات مقاطع عرضی، پتانسیل رسوب‌گذاری و سازگاری با محیط پیرامونی محاسبه می‌شوند. معیارهای شاخص کیفیت ژئومورفولوژیک، از سیزده شاخص عملکردی و دوازده شاخص مصنوعی تشکیل شده است. بر اساس نتایج حاصله، شاخص کیفیت ژئومورفیک رودخانه نیرچای به خوبی شرایط ژئومورفولوژیکی را منعکس می‌کند بدین صورت که بازه ۲ با کسب امتیاز عالی ۰/۸۵ در طبقه خیلی خوب قرار گرفته است که نشان دهنده پایداری مورفولوژیک آن به دلیل کم‌ترین مداخلات انسانی است. در رتبه‌های بعدی، بازه ۴ (با امتیاز ۰/۵۴)، بازه ۳ (با امتیاز ۰/۶۲) در طبقه متوسط قرار گرفتند و در نهایت، بازه ۶ با کسب پایین‌ترین امتیاز (با مقدار ۰/۴۳) در طبقه کیفیت خیلی ضعیف قرار گرفت که این امر مستقیماً ناشی از مداخلات بیش از حد انسانی و تغییرات مصنوعی گسترده در کانال رودخانه به دلیل توسعه شهری نیر است. بنابراین نتیجه‌گیری می‌گردد که بازه ۲ رودخانه با کسب بالاترین امتیاز دارای بهترین کیفیت ژئومورفولوژیکی و پایداری مناسب‌تری نسبت به سایر بازه‌ها است، در حالی که بازه ۶ با کسب پایین‌ترین امتیاز، ضعیف‌ترین وضعیت را دارد. در نهایت پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی، تغییرات شاخص کیفیت ژئومورفولوژیکی (MQI) رودخانه نیرچای در بازه‌های زمانی مختلف با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای ارزیابی شود.
کلمات کلیدی: شاخص کیفیت ژئومورفولوژیکی (MQI) ژئومورفولوژی رودخانه پایداری مورفولوژیکی ارزیابی هیدرومورفولوژیکی مداخلات انسانی	

مقدمه

رژیم‌های جریانات رودخانه از مهم‌ترین نیروهای اساسی تکامل رودخانه به حساب می‌آیند. رودخانه‌ها علاوه بر نقش خود در انتقال رواناب و حمل رسوب، عملکردهای اکولوژیکی مهمی را انجام می‌دهند؛ زیستگاه ارزشمندی برای گیاهان و جانوران آبی هستند، به صورت جانبی با اکوسیستم‌های ساحلی در ارتباط بوده و یک کریدور طولی بین محیط‌های زمینی و دریایی را تشکیل می‌دهند. (Downs & Gregory, 2014). گرچه رودخانه‌ها به طور طبیعی فرایندهای دینامیک و پویایی هستند که مستعد تغییرات هیدرولوژیکی و مورفولوژیکی می‌باشند، اما به نظر می‌رسد تأثیرات انسانی باعث تسریع قابل توجه این فرایندها شده است (Downs & Piégay, 2019). به عبارتی فعالیت‌های انسان بر وضعیت اکوسیستم‌های رودخانه‌ای از طریق تأثیرات مستقیم بر بیوسنوز رودخانه (به عنوان مثال، معرفی گونه‌های بیگانه و مهاجم)، تغییرات در کیفیت آب یا وضعیت فیزیکی زیستگاه‌ها تأثیر می‌گذارد. این رودخانه‌ها توسط تعدادی از زیرساخت‌های آبی مانند سدها، سرریزهای انحرافی، سازه‌های کنترل سیل و تله‌های رسوب تغییر می‌کنند. چنین تغییراتی، هیدرولوژی، پیوستگی و کیفیت زیستگاهی پهنه‌های آبی رودخانه را تغییر داده و وضعیت کلی اکولوژیکی آن‌ها را تخریب می‌کند (Gündüz & Şimşek, 2021). اما با عدم مداخله انسان نیز در کانال‌های رودخانه و دشت‌های سیل، شرایط هیدرومورفولوژیک ثابت نیست بلکه با تغییر شرایط محیطی رودخانه‌ها در آبشارها و کف دره‌ها، تغییرات مداوم را تجربه می‌کند (Dufour & Piégay, 2009). بسیاری از ویژگی‌های کانال‌های رودخانه‌ای، از جمله پیچ و خم رودخانه، تناوبی از ریزابه‌ها، حوضچه‌ها و جریان‌ها و دشت سیلابی، نتیجه این امر هستند. این ویژگی‌ها توسط رودخانه از طریق چرخه‌های فرسایش و رسوب‌گذاری شکل می‌گیرند که به نوبه خود به شدت تحت تأثیر تعادل بین منابع دوگانه آب و رسوبات قرار دارند. ارزیابی ژئومورفولوژیکی رودخانه، تعامل پویا بین رودخانه‌ها و مناظر آن‌ها را در شکل‌گیری کانال‌های رودخانه‌ای و شبکه‌های زهکشی بررسی می‌کند. ژئومورفولوژی رودخانه‌ای کاربردهای عملی زیادی در مدیریت رودخانه دارد و درک ما را از تأثیرات ناشی از تغییر در تأمین آب یا رسوب، تغییرات انسانی در کانال رودخانه و تغییر کاربری زمین در حوضه آبریز افزایش می‌دهد. قدرت جریان، حاصل دبی و شیب، توانایی جریان را در بسیج و انتقال مواد توصیف می‌کند (Allan et al., 2021). رژیم‌های جریان متحول شده در سیستم رودخانه، بر میزان کیفیت رودخانه، منابع انرژی، زیستگاه فیزیکی و میزان ارتباطات زیست‌محیطی اثر می‌گذارد و باعث آسیب رساندن به یکپارچگی زیست محیطی رودخانه‌ها می‌شود (Guo, Jiao, Zhou, Zhu & Wang, 2022). تغییرات هیدرومورفولوژیکی هم‌چنین ممکن است بر ارتباط بین آب‌های سطحی و زیرزمینی نیز تأثیر بگذارد (Hasenmüller & Robinson, 2016). به همین دلیل در خصوص این موضوع مطالعات متعددی در داخل و خارج از ایران انجام شده است که به صورت مختصر به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

نصرتی و همکاران (Nosrati, Rostami & Etmianan, 2020)، به ارزیابی شرایط هیدروژئومورفولوژی رودخانه‌ی طالقان با استفاده از شاخص کیفی مورفولوژیک پرداختند و به این نتیجه رسیدند بازه شماره‌ی ۱ با محدوده امتیاز ۰/۷۱ در طبقه خوب قرار گرفته است که از دلایل آن دخالت‌های کم انسانی و واقع بودن در بالادست رودخانه بوده است. اما بازه‌های ۲، ۳، ۵ و ۶ به ترتیب با امتیازهای ۰/۵۸، ۰/۵۴، ۰/۵۹ و ۰/۶۱ در طبقه متوسط قرار می‌گیرند که این بازه‌ها نسبت به بازه ۱ میزان دخالت‌های انسانی در آن‌ها بیش‌تر بوده است و در بازه ۴، امتیاز ۰/۴۹ می‌باشد که در طبقه ضعیف قرار می‌گیرد و دلیل آن دخالت‌های انسانی از جمله برداشت شن و ماسه و سازه‌هایی مانند پل می‌باشد. ایلانلو و کرم (Ilanloo & Karam, 2020)، به ارزیابی شرایط هیدرومورفولوژیکی رودخانه جاجرود با استفاده از روش MQI پرداختند و به این نتیجه رسیدند که تمامی بازه‌های منطقه از لحاظ روش MQI در شرایط ضعیف و خیلی ضعیف قرار گرفته‌اند که این مسائل ناشی از قطع درختان به منظور ایجاد ساخت‌وسازهای انسانی، برداشتن شن و ماسه، ایجاد تفرجگاه‌های متعدد در حواشی رودخانه و تغییر الگوی رودخانه می‌باشد. رضائی و همکاران (Rezaei, Khaleghi & Hosseinzadeh, 2022)، به ارزیابی شرایط هیدرومورفولوژی طالقان رود جهت برنامه‌ریزی محیطی با استفاده از روش‌های MQI و RQI پرداختند. نتایج به دست آمده از روش RQI در پژوهش آن‌ها نشان داد که بازه‌های ۱ تا ۶ که در بالادست سد قرار دارند، دارای وضعیت فقیر بوده و از نظر مدیریتی نیازمند بازسازی سیستم‌های پوشش گیاهی است و بازه‌های ۷ و ۸ نیز در محدوده سد طالقان

و پایین دست، دارای وضعیتی متوسط هستند که لازم است تا اقدامات حفاظتی در مورد آن‌ها اجرا شود. هم‌چنین نتایج حاصل از ارزیابی وضعیت مورفولوژیکی رودخانه بیانگر آن است که مناطق بالادست، یعنی بازه‌های ۱ تا ۵ به علت ضعیف شدن فرایندهای فرسایشی ناشی از تغییرات سطح اساس، دارای وضعیت پویایی مورفولوژیکی خیلی ضعیف و بازه ۶ که در محدوده ورودی سد قرار دارد از نظر شاخص MQI دارای وضعیت دینامیک ضعیف است. بازه‌های ۷ و ۸ به دلیل تغییرات کمتر، دارای بالاترین ضریب هستند و از نظر دینامیک ژئومورفولوژی، پویایی بیش‌تری نسبت به سایر بازه‌ها دارند. فندرسکی و همکاران (Fendereski, Masoudian & Rttcher, 2022)، به ارزیابی شرایط هیدرومورفولوژیکی رودخانه تجن با استفاده از روش HMQI پرداختند. آن‌ها نتیجه گرفتند رودخانه تجن در بازه‌های مورد مطالعه عمدتاً در طبقه کیفی متوسط قرار گرفته، در حالی که از نظر شرایط هیدرومورفولوژیک در طبقه ضعیف گزارش شده که دلیل اصلی آن وجود سد در حوضه بالادست در محدوده ۳۴ کیلومتری (تمامی بازه‌ها به جز ۴ و ۷) و تغییرات دبی و رسوب، دخالت انسانی و تغییر کاربری اراضی است. میرزائی و همکاران (Mirzaei, Ahmadabadi, Eftekhari & Lotfi, 2024)، به ارزیابی و پهنه‌بندی کیفیت ژئومورفولوژی رودخانه وردآورد تهران با استفاده از مدل MQI پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند به علت توسعه شهری تهران و تغییرات مصنوعی زیاد در کانال رودخانه وردآورد بازه‌های ۱، ۳، ۴، ۶، ۷ به دلیل دخالت‌های زیاد انسان و کانال‌کشی، مسیر رودخانه امتیاز ۰/۲ را کسب نموده و در طبقه خیلی ضعیف قرار گرفته است. هم‌چنین بازه‌های ۲ و ۵ امتیاز ۰/۳ را کسب نموده و در طبقه ضعیف قرار دارند و بازه‌های ۸ و ۹ به دلیل دخالت‌های کم انسان و طبیعی ماندن مسیر رودخانه امتیاز ۰/۶ را کسب نموده و در طبقه متوسط از لحاظ کیفیت مورفولوژیکی قرار گرفته‌اند. طالبی و همکاران (Talebi, Ayyoubzadeh, Mostafavi, Hosseinzadeh & Shafizadeh, 2024)، به تحلیل و ارزیابی مورفولوژیک رودخانه مبتنی بر ویژگی‌های مورفولوژیک، سازه‌های مصنوعی و تنظیمات آبراهه در رودخانه تالار پرداختند. آن‌ها نتیجه گرفتند که بیش‌تر مسیرهای رودخانه تالار نیازمند اقدامات فوری برای بازسازی و احیاء است. علاوه بر این، اگرچه روش MQI می‌تواند ابزار مناسب و مؤثری در تشخیص چالش‌های هیدرومورفولوژیکی باشد، با این حال، هنوز برای مدیریت یکپارچه و احیاء کافی نیست و باید با سایر شاخص‌های فشار انسانی مانند کیفیت آب، فشار هیدرولوژیکی و بیولوژیکی ادغام شود. نظافت تکلّه و همکاران (Nezafat Taklhe, Esfandiyari, Mostafazadhe & Abedini, 2025)، به ارزیابی و تحلیل شرایط هیدرومورفولوژیکی رودخانه قوری‌چای استان اردبیل با استفاده از شاخص کیفیت مورفولوژیکی پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند رودخانه قوری‌چای از بازه ۳ تا ۶ در وضعیت ضعیف قرار داشته و شرایط مطلوبی ندارد ولی بر عکس در بازه‌های ۱ و ۲ دارای پویایی مناسبی می‌باشد. احمدی و همکاران (Ahmadi, Karam & Hajehforoshnia, 2025)، در پژوهشی تحت عنوان تحلیل کیفیت مورفولوژیک کریدور رودخانه‌ای شهری زاینده رود در اصفهان با استفاده از روش MQI به این نتیجه رسیدند که بازه‌های اول، پنجم و ششم با امتیازهای ۰/۵۸، ۰/۶۶، ۰/۵۷ در طبقه کیفیت مورفولوژیک متوسط قرار دارند؛ این بازه‌ها خارج از محدوده شهری هستند و به لحاظ ژئومورفولوژیک در وضعیت بهتری نسبت به سایر بازه‌ها هستند. بازه‌های دوم و سوم و چهارم نیز به ترتیب با امتیازهای ۰/۴۸، ۰/۴۱، ۰/۳۸، در محدوده شهری قرار گرفته‌اند و بیش‌ترین تغییرات انسانی را متحمل شده‌اند و به لحاظ ژئومورفولوژیک در ضعیف‌ترین حالت قرار دارند. هم‌چنین در ذیل به برخی از مطالعات خارجی اشاره می‌گردد. هاجدوکیویز و همکاران (Hajdukiewicz et al., 2017)، به ارزیابی کیفیت هیدرومورفولوژیکی رودخانه با استفاده از روش RHQ پرداختند. آن‌ها در پژوهش خود تفاوت‌های قابل توجهی را در کیفیت هیدرومورفولوژیکی بین مقاطع رودخانه‌ای مدیریت نشده و کانالیزه شده مشاهده کردند، که نشان‌دهنده تنظیم کانال به عنوان علت اصلی تخریب هیدرومورفولوژیکی بالا و تأیید انتخاب کریدور رودخانه‌ای فرسایش‌پذیر به عنوان روش مناسب احیای آن است. گوندوز و سیمسک (Gündüz & Şimşek, 2021)، به ارزیابی تغییرات رودخانه با استفاده از شاخص هیدرومورفولوژیکی جدید پرداختند. ایشان نتیجه گرفتند که اثرات مانع در کاهش تداوم رودخانه بسیار مهم بوده و اصلاح بستر برای کنترل سیل منجر به تخریب کیفیت زیستگاه‌های درون رودخانه و کناره رودخانه شده است.

فلیسیا و همکاران (Felisia, Sternberg, Ratner, Drori & Egozi, 2022)، در پژوهشی تحت عنوان ارزیابی تغییرات رودخانه با استفاده از شاخص هیدرومورفولوژیکی جدید به این نتیجه رسیدند که اثرات مانع در کاهش تداوم رودخانه بسیار مهم بوده و اصلاح بستر برای کنترل سیل منجر به تخریب کیفیت زیستگاه‌های درون رودخانه و کناره رودخانه شده است. بنابراین روش شاخص توسعه یافته می‌تواند به عنوان ابزاری سیستماتیک برای ارزیابی هیدرومورفولوژی و تأثیر مرتبط با آن در وضعیت اکولوژیکی رودخانه‌ها عمل کند. ایلانو (Ilanloo, 2025)، به ارزیابی هیدرومورفولوژی رودخانه میگون- فشم با استفاده از شاخص کیفیت مورفولوژیکی پرداخت. وی به این نتیجه رسید تغییرات زیادی در بستر این بخش از رودخانه رخ داده است. در قسمت‌های شمالی، به دلیل محدودیت رودخانه در دو طرف، شدت تغییرات کمتر است، درحالی‌که در قسمت‌های میانی رودخانه، با توجه به ساخت و سازهای متعدد در دو طرف رودخانه، شدت تخریب نیز بیش‌تر است. مطالعات پیشین داخلی و خارجی بر ارزیابی کمی کیفیت ژئومورفولوژیکی رودخانه‌ها، عمدتاً با بهره‌گیری از شاخص‌هایی نظیر MQI، تمرکز کرده و اختلالات ناشی از برداشت مصالح و تغییر کاربری اراضی را به عنوان عامل اصلی کاهش مقاومت اکولوژیکی شناسایی کرده‌اند. ضرورت و اهمیت بررسی رودخانه نیرچای در این پژوهش، از این لحاظ است که این رودخانه به عنوان شریان اصلی به طور فزاینده‌ای تحت تأثیر فشارهای هیدرومورفولوژیکی ناشی از تغییرات کاربری اراضی، برداشت‌های بی‌رویه از بستر رودخانه و دگرگونی‌های اقلیمی قرار دارد و این تنش‌ها به طور مستقیم منجر به تخریب ساختار هیدرومورفولوژیکی، تشدید فرسایش کناره‌ها و تخریب اکوسیستم‌های حاشیه رودخانه می‌شوند. هم‌چنین این رودخانه تاکنون به عنوان یک نمونه مطالعاتی در این چارچوب مورد ارزیابی قرار نگرفته است؛ از این رو به کارگیری روش کمی و استاندارد شاخص کیفیت ژئومورفولوژیکی (MQI)، که برای نخستین بار بر روی این سیستم رودخانه‌ای اعمال می‌گردد، امری ضروری است؛ بنابراین هدف از پژوهش حاضر ارزیابی کیفیت ژئومورفولوژیکی رودخانه نیرچای با استفاده از شاخص MQI می‌باشد.

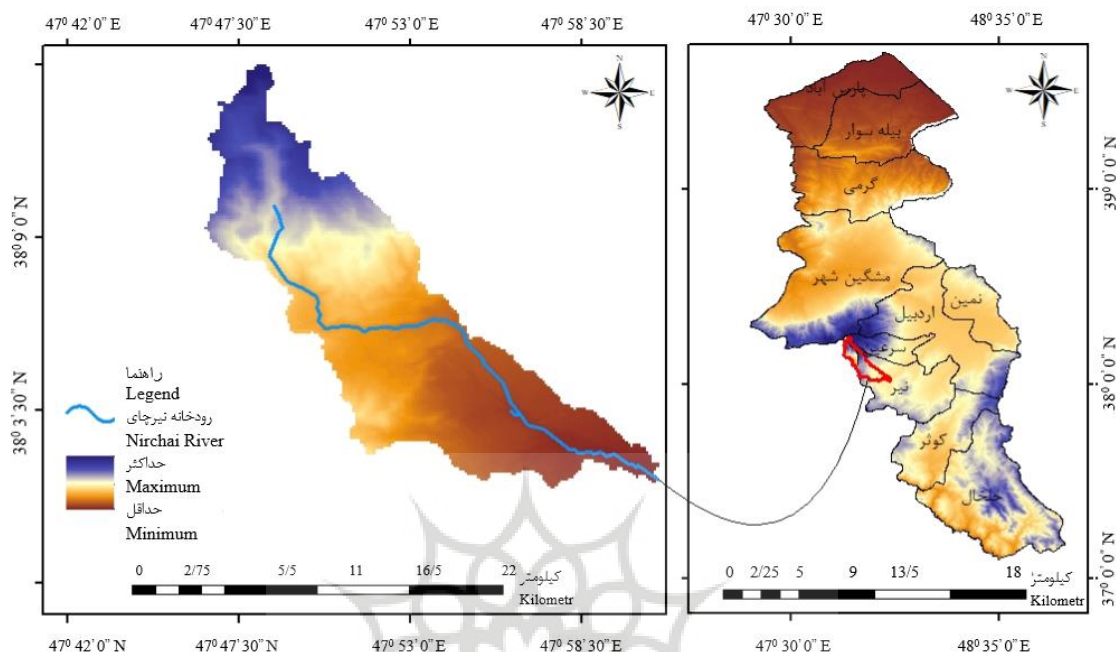
منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز رودخانه نیرچای، منطقه‌ای با توپوگرافی مشخص است که بخش اعظم مساحت آن در ارتفاعات بین ۱۶۰۰ تا ۲۲۰۰ متر از سطح دریا واقع شده است. رودخانه نیرچای با مختصات جغرافیایی ۴۷ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۱ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی یکی از شریان‌های اصلی این حوضه آبخیز می‌باشد (شکل ۱). نیرچای از نظر سیاسی - اداری در محدوده شهرستان‌های نیر و سرعین در استان اردبیل و سراب در استان آذربایجان شرقی قرار گرفته است. آبراهه اصلی حوضه نیرچای، رودخانه نیرچای به طول تقریبی ۴۲ کیلومتر می‌باشد که از ارتفاعات توده آتشفشانی سبلان سرچشمه می‌گیرد. این رودخانه پس از زهکشی قسمت‌هایی از دامنه‌های جنوبی توده آتشفشانی سبلان و دریافت چندین انشعاب فرعی پس از عبور از شهر نیر به رودخانه بالیخلی چای منتهی می‌شود (Esfandiyari Darabad & Nezafat-Takleh, 2023).

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر از لحاظ ماهیت توصیفی تحلیلی بوده و از منظر هدف، در گروه پژوهش‌های کاربردی قرار می‌گیرد. در این مطالعه، جمع‌آوری داده‌های اولیه از طریق مطالعات کتابخانه‌ای و بازدیدهای میدانی دقیق از مسیر رودخانه نیرچای صورت پذیرفت. در گام نخست، داده‌های ژئومورفیک (شامل نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای)، داده‌های زمین‌شناسی، داده‌های اقلیمی، و اطلاعات جامع هیدرولوژیکی، از جمله آمار دبی ایستگاه نیرچای و جزئیات آبراهه‌ها و منابع آب، برای تعیین شرایط مرجع و مؤلفه‌های اصلی شاخص MQI گردآوری شدند. در گام بعدی، اطلاعات مربوط به فشارهای انسانی و سازه‌های مهندسی در حاشیه رودخانه مستندسازی گردید. برای تهیه نقشه‌های موقعیت جغرافیایی و مشخص کردن بازه‌ها، از نرم‌افزار Arc GIS و تصاویر Google Earth بهره گرفته شد. در نهایت، محاسبات کمی شاخص‌های MQI (شاخص کیفیت ژئومورفولوژیکی^۱) و IP (شاخص فشار) و پردازش‌های آماری

مربوطه، با استفاده از نرم افزار Excel Estat انجام گرفت تا ارزیابی ساختاریافته از وضعیت هیدرومورفولوژیک رودخانه نیرچای ارائه شود.



شکل ۱- موقعیت جغرافیای رودخانه نیرچای در استان اردبیل

Fig.1. Geographical location of the Nirchai River in Ardabil Province

شاخص کیفیت ژئومورفولوژیک

یکی از روش‌های طبقه‌بندی رودخانه که امروزه مورد توجه قرار گرفته است روش طبقه‌بندی بر اساس شاخص کیفیت ژئومورفولوژیک (MQI) است. این روش در سال ۲۰۱۳ توسط رینالدی و همکاران (Rinaldi et al., 2013) مطرح شد. به عبارتی این روش با در نظر گرفتن اشکال و فرایندهای رودخانه‌ای به ارزیابی کیفیت ژئومورفولوژیک می‌پردازد. در این روش شرایط هیدروژئومورفولوژیکی از معیارهای تعریف شده (MQI)، پیروی می‌کند. به عبارتی در شاخص کیفیت ژئومورفولوژیک نمرات پایین نشان دهنده شرایط طبیعی و نمرات بالا نشان دهنده عناصر مصنوعی می‌باشد (Rinaldi, Gurnell, Del Tánago, Bussetini & Hendriks, 2016).

معیارهای شاخص کیفیت ژئومورفولوژیک (MQI)، از ۱۳ شاخص عملکردی (F1-F13)، ۱۲ شاخص مصنوعی (A1-A12) تشکیل شده است.

شاخص‌های عملکردی: به ارزیابی میزان انطباق اشکال و فرایندهای جاری کانال با الگوهای مورفولوژی مورد انتظار می‌پردازند. شاخص‌های مصنوعی: عناصر مصنوعی را در حوزه و امتداد بازه‌ها بررسی می‌کنند. این عناصر مصنوعی نیز در سه جنبه پیوستگی (ایجاد سدها و تغییرات دبی و رسوب از بالادست به پایین دست)، مورفولوژی (مانند سازه‌های عرضی، محافظ‌های کرانه، خاکریزهای مصنوعی و غیره) پوشش (جابه‌جایی واریزه‌های چوبی موجود در بازه و قطع و تخریب گیاهان حاشیه رود به وسیله انسان)، مورد بررسی قرار می‌گیرند.

شاخص تعدیلی: برای کانال‌های بزرگ (عرض بزرگ‌تر از ۳۰ متر) ارزیابی می‌شوند. چگونگی تعریف طبقه‌ها و امتیازات در جدول ۱ آمده است.

به منظور تحلیل و تجزیه شرایط شاخص کیفیت ژئومورفولوژیکی رودخانه، پس از امتیازدهی شاخص‌ها، ابتدا با استفاده از رابطه (۱)، شاخص کیفیت ژئومورفولوژیکی رودخانه محاسبه می‌شود.

$$MAI = Stot / Smax \quad (1)$$

در اینجا منظور از Stot مجموع امتیازات و Smax حداکثر امتیاز طبقه C هر شاخص است. بر این اساس دامنه MAI از صفر (بدون تغییرات) تا ۱ (حداکثر تغییرات) را در برمی‌گیرد (رابطه ۲).

$$MQI = 1 - MAI \quad (2)$$

بر همین اساس، در این شاخص: نسبت کاملاً مستقیمی با کیفیت بازه و نسبت معکوسی با تغییرات بازه دارد و از امتیاز صفر (حداقل کیفیت)، تا امتیاز ۱ (حداکثر کیفیت) در نوسان است. در شاخص آشفتگی مورفولوژیکی (MAI)، $MAI = 0$ به این معنی است که سیستم تغییری ندارد و $MAI = 1$ به این معنی است که سیستم به شدت تغییر کرده است. هم‌چنین در شاخص کیفیت مورفولوژیکی (MQI)، $MQI = 0$ به معنای کیفیت پایین سیستم است و $MQI = 1$ به معنای کیفیت عالی سیستم است. به عبارتی یک سیستم طبیعی با کیفیت بالا و دست نخورده دارای $MAI = 0$ و $MQI = 1$ خواهد بود (Rinaldi et al., 2013).

جدول ۱- شاخص عملکردی ژئومورفولوژیکی، شاخص مصنوعی، شاخص تعدیل‌کننده کانال: توصیف طبقه‌ها و امتیازات

Table 1- Geomorphological functional index, artificial index, and channel-modifying index: class descriptions and scores (Rinaldi et al., 2013)

شاخص عملکردی ژئومورفولوژیکی		
Geomorphological Functional Index		
نحوه بررسی	طبقه‌ها و امتیازات	شاخص‌ها
Assessment Method	Classes and Scores	Indicators
بازدیدها و برداشت‌های میدانی	پیوستگی طولی در رسوب	F1
Field Visits and Observations	Longitudinal Sediment Continuity A:0, B:3, C:5	
بازدیدها و برداشت‌های میدانی	دشت سیلابی	F2
Field Visits and Observations	Floodplain A:0, B:3, C:5	
بازدیدها و برداشت‌های میدانی	پیوستگی رودخانه و دامنه	F3
Field Visits and Observations	River and Slope Continuity A:0, B:3, C:5	
بازدیدها و برداشت‌های میدانی	فرایند پس‌روی کرانه	F4
Field Visits and Observations	Bank Recession Process A:0, B:2, C:3	
بازدیدها و برداشت‌های میدانی	وجود کریدور بالقوه فرسایش پذیر	F5
Field Visits and Observations	Existence of Potential Erosion Corridor	
بازدیدها و برداشت‌های میدانی	اشکال بستر و شیب دره	F6
Field Visits and Observations	Valley Bed and Slope Shapes A:0, B:3, C:5	
بازدیدها و برداشت‌های میدانی	اشکال الگوی کانال	F7
Field Visits and Observations	Channel Pattern Shapes A:0, B:3, C:5	
بازدیدها و برداشت‌های میدانی	اشکال معمولی در دشت	F8
Field Visits and Observations	Typical Plain Shapes A:0, B:2, C:3	
بازدیدها و برداشت‌های میدانی	تغییرات مقطع عرضی	F9
Field Visits and Observations	Cross-sectional changes A:0, B:3, C:5	
بررسی میدانی و ارزیابی بصری	ساختار بستر کانال	F10
Field survey and visual assessment	Channel bed structure A:0, B:2, C1:5, C2:6	

بررسی میدانی و ارزیابی بصری Field survey and visual assessment	وجود چوب‌های بزرگ در درون کانال Presence of large trees in the channel A:0, B:3	F11
اندازه‌گیری عرض متوسط پوشش Measurement of average width of vegetation cover	محدوده گیاهان عملکردی Functional plant range A:0, B:2, C:3	F12
اندازه‌گیری عرض متوسط پوشش Measurement of average width of vegetation cover	گسترش خطی گیاهان عملکردی Linear expansion of functional plants A:0, B:3, C:5	F13
شاخص مصنوعی Artificial index		
داده‌های هیدرولیکی، تغییرات در دبی Hydraulic data, changes in discharge	تغییر در بالادست جریان Upstream flow change A:0, B:3, C:6	A1
بازدیدها و برداشت‌های میدانی Field Visits and Observations	تغییر در بالادست دبی رسوبی Upstream sediment discharge change A:0, B1:0 B2:3, C1:6, C2:12	A2
داده‌های هیدرولیکی Hydraulic data	تغییر جریان Flow change A:0, B:3, C:6	A3
بازدیدها و برداشت‌های میدانی Field Visits and Observations	تغییر دبی رسوب Sediment flow change A:0, B:4, C:6	A4
بازدیدها و برداشت‌های میدانی Field Visits and Observations	سازه‌های عرضی Transverse structures A:0, B:2, C:3	A5
بازدیدها و برداشت‌های میدانی Field Visits and Observations	محافظت کناره Bank protection A:0, B:3, C:6	A6
بازدیدها و برداشت‌های میدانی Field Visits and Observations	خاک‌ریزهای مصنوعی Artificial embankments A:0, B:3, C:6	A7
اطلاعات تاریخی و کتابخانه‌ای، بازدیدها و برداشت‌های میدانی Historical and library information, field visits and observations	تغییرات مصنوعی Artificial changes A:0, B:2, C:3	A8
بازدیدها و برداشت‌های میدانی Field Visits and Observations	سایر عوامل ثابت‌کننده بستر Other bed stabilization factors A:0, B:3, C1:6, C2:8	A9
بازدیدها و برداشت‌های میدانی Field Visits and Observations	حرکات رسوب Sediment movements A:0, B:3, C:6	A10
بازدیدها و برداشت‌های میدانی Field Visits and Observations	حرکات چوب Timber movements A:0, B:2, C:5	A11
بازدیدها و برداشت‌های میدانی Field Visits and Observations	مدیریت پوشش Vegetation management A:0, B:2, C:5	A12

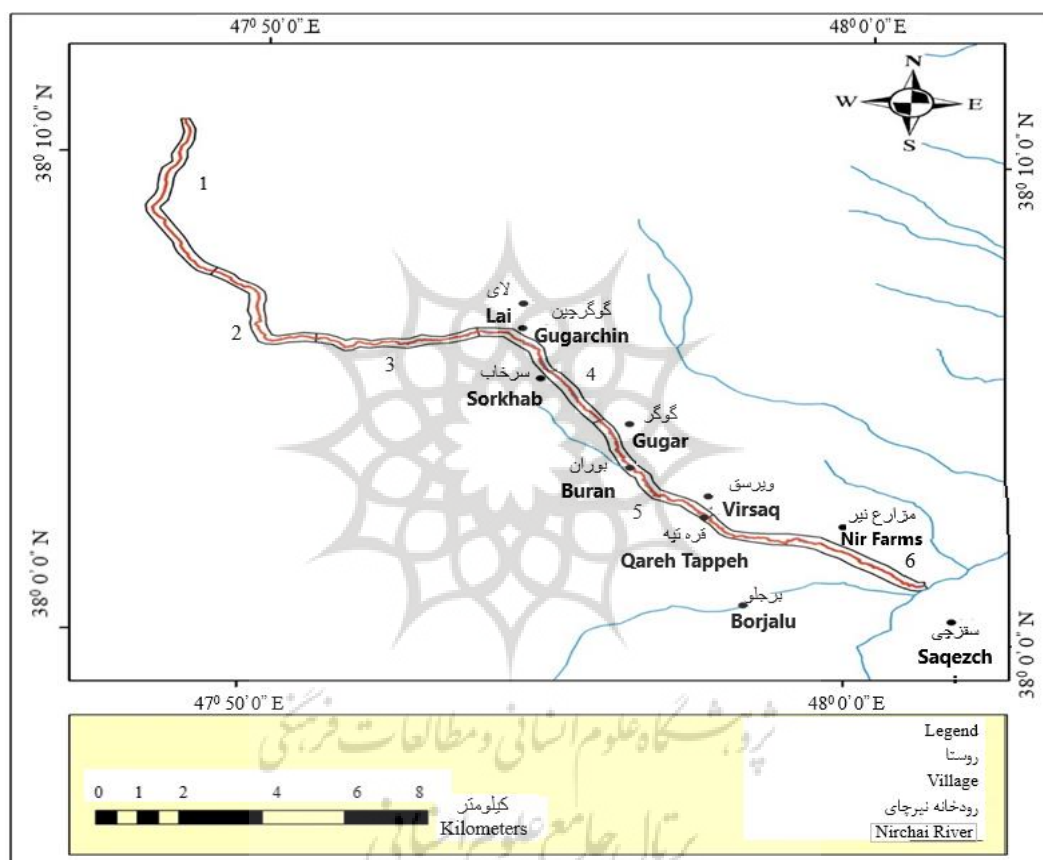
جدول ۲- مقادیر شاخص کیفیت ژئومورفولوژیکی

Table 2- Geomorphological quality index values

کم‌تر از 0/3	0/3 تا 0/5	0/5 تا 0/7	0/7 تا 0/85	بیش از 0/85	MQI
خیلی ضعیف	ضعیف	متوسط	خوب	خیلی خوب	کیفیت
Very poor	Poor	Average	Good	Very good	Quality

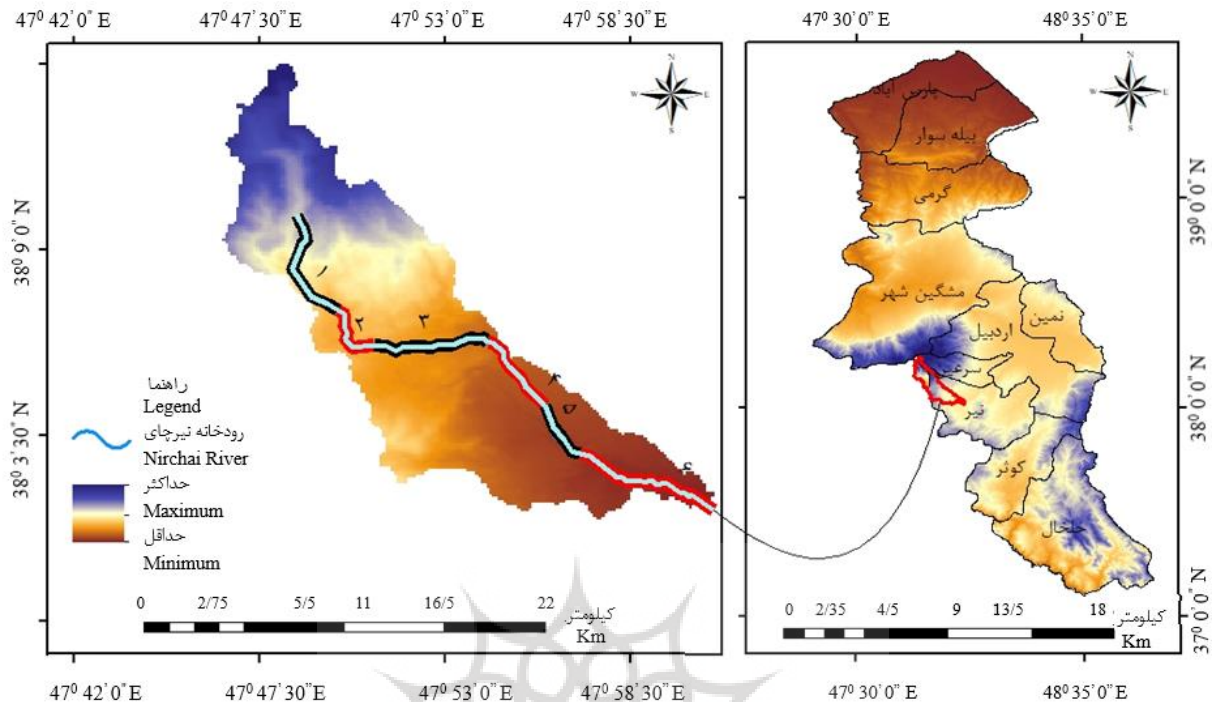
نتایج و بحث

نتایج حاصله از ارزیابی شاخص کیفیت ژئومورفولوژیک (MQI)، در رودخانه نیرچای استان اردبیل پژوهش حاضر با هدف ارزیابی کیفیت ژئومورفولوژیکی رودخانه نیرچای (استان اردبیل) با استفاده از شاخص (MQI)، رودخانه را به ۶ بازه مجزا تقسیم‌بندی کرد (اشکال ۲ و ۳). این تفکیک فضایی، ضرورتی است برای درک توزیع ناهمگن پویایی رودخانه که تحت تأثیر عوامل طبیعی و مداخلات انسانی قرار دارد که بر اساس طول کلی رودخانه و روش شاخص کیفیت ژئومورفیک صورت گرفته است.



شکل ۲- بازه‌های مورد مطالعه در رودخانه نیرچای در استان اردبیل

Fig. 2. Study reaches in the Nirchay River in Ardabil Province



شکل ۳- موقعیت جغرافیایی بازه‌های مورد مطالعه در رودخانه نیرچای استان اردبیل

Fig. 3. Geographical location of the study reaches along the Nirchay River in Ardabil Province

نتایج ارزیابی شاخص کیفیت ژئومورفولوژیک در بازه ۱

مطابق با مشاهدات میدانی، طول رودخانه نیرچای در بازه اول به میزان ۷ کیلومتر اندازه‌گیری شده است. عرض رودخانه در این بخش به طور قابل توجهی بین ۱ تا ۸ متر متغیر است. این تفاوت‌ها ناشی از ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی منطقه، نظیر شیب، جنس بستر رودخانه و تغییرات فصلی در جریان آب می‌باشد. در این بازه، رودخانه در یک منطقه کوهستانی با شیب‌های تند قرار دارد که موجب افزایش پیچ‌وخم‌های مسیر رودخانه شده است. طبق تحلیل‌ها و مشاهدات (شکل ۴)، بازه اول رودخانه دارای ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی برجسته‌ای است که شامل دره‌های عمیق سنگلاخ و رفتار هیدرولوژیکی ناپایدار می‌باشد. رودخانه در این بخش دارای مسیری پیچیده است که نتیجه آن افزایش خطر فرسایش بستر و دیواره‌ها و همچنین تغییرات در الگوی جریان آب می‌باشد. علاوه بر این، پوشش گیاهی ضعیف در این منطقه، نشان‌دهنده شرایط خاص زیست‌محیطی است که ناشی از عواملی چون رطوبت پایین، شیب‌های تند، و همچنین جریان سریع‌تر آب می‌باشد. با عنایت به ماهیت بکر و فقدان مداخله انسان ساخت در این بخش، کسب ضریب پایداری ۰/۴۳ نشان‌دهنده تسلط فرآیندهای هیدرودینامیکی و عوامل ذاتی ژئومورفولوژیکی (مانند گرا دیان طولی شدید) است که پتانسیل خودتنظیمی رودخانه را محدود نموده و عملکرد آن را از منظر پایداری کلی، در جایگاه بهینه قرار نمی‌دهد. این مقدار نشان‌دهنده وضعیت ضعیف پایداری ژئومورفیک در این منطقه است. به عبارت دیگر، رودخانه در این بخش با خطراتی همچون فرسایش بستر، تغییرات ناگهانی در جریان آب، و تخریب دیواره‌های رودخانه مواجه است که می‌تواند منجر به تغییرات اساسی در ویژگی‌های هیدرودینامیکی منطقه شود. بر این اساس، نتایج حاصل از شاخص کیفیت ژئومورفیک و مشاهدات میدانی نشان می‌دهند که بازه اول رودخانه نیرچای در وضعیت پایداری نسبتاً ضعیفی قرار دارد. این وضعیت می‌تواند ناشی از عوامل مختلفی باشد، از جمله:

۱. شیب تند و پیچ‌های زیاد در مسیر رودخانه که موجب افزایش سرعت جریان آب و در نتیجه افزایش فرسایش بستر می‌شود.

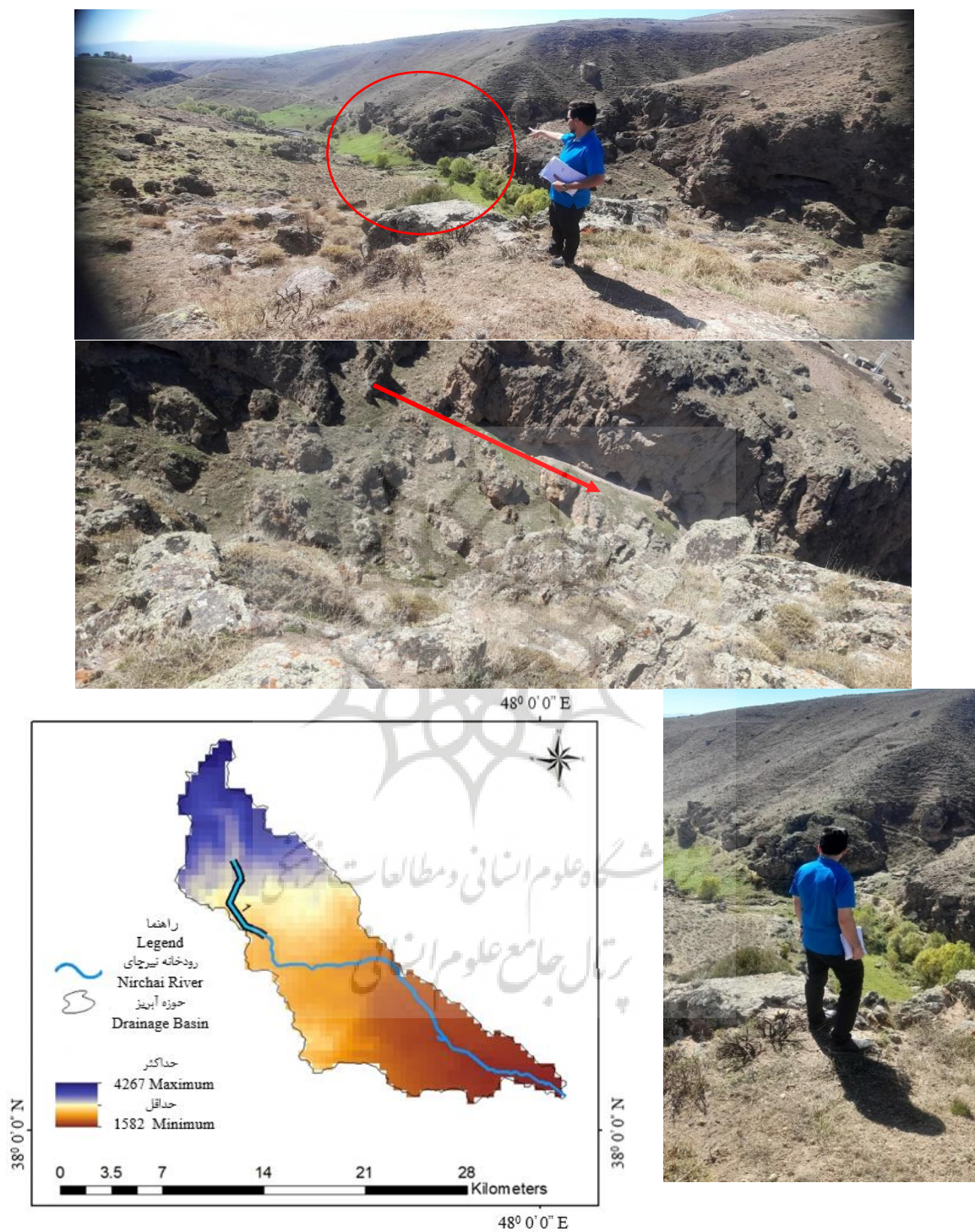
۲. ساختار زمین‌شناسی منطقه شامل سنگ‌های سخت و مقاوم است که اگر چه در برابر فرسایش مقاومت بالایی دارند، اما در نواحی دارای شکستگی‌ها و درزه‌های فعال، می‌توانند موجب ناپایداری موضعی و ریزلغزش‌های محدود در دیواره‌ها شوند. ۳. پوشش گیاهی که می‌تواند در تثبیت خاک و کاهش فرسایش نقش مؤثری داشته باشد، اما در این منطقه به طور قابل توجهی کم است. ۴. عدم دخالت انسانی که اگر چه از منظر بکر بودن مفید است، اما ممکن است نشان دهنده کمبود اقدامات حفاظتی یا مدیریت منابع در این منطقه باشد.

نتایج ارزیابی شاخص کیفیت ژئومورفولوژیک در بازه ۲

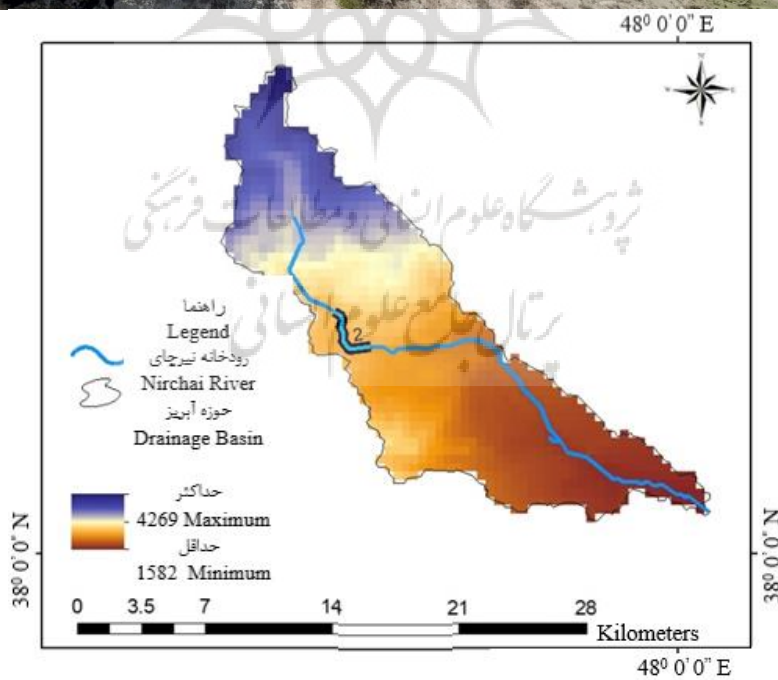
بازه دوم رودخانه نیرچای، به عنوان یک قطعه طولی به طول ۴ کیلومتر، دارای یک تطابق بسیار پویا است که دامنه تغییرات آن از ۲ متر تا ۱۲ متر را در بر می‌گیرد. این تنوع عرضی، نشان دهنده توزیع نابرابر تنش برشی در بستر رودخانه است. اصلی‌ترین عامل کنترل‌کننده دینامیک این بازه، رسیدن به سطح پایه هیدرولوژیکی است که منجر به کاهش شدید و تدریجی شیب پروفیل طولی شده است. این کاهش شیب، به طور مستقیم ظرفیت حمل رسوب را کاهش داده و نیروی محرکه اصلی برای رسوب‌گذاری درشت‌دانه در دشت‌های آبرفتی حاشیه‌ای می‌شود. بر اساس مطالعات میدانی، مداخلات انسانی در این بازه کمتر از سایر بازه‌ها بوده است. به عبارتی نتایج حاصله از شاخص کیفیت ژئومورفیک نشان می‌دهد که هر چقدر مداخلات انسانی و تغییرات انسانی کمتر باشد به همان میزان رودخانه دارای پایداری بهتری خواهد بود و این امر در این بازه نسبت به سایر بازه‌ها کاملاً مشهود است. بنابراین نتایج کمی حاصل از شاخص کیفیت ژئومورفیک (MQI)، یک یافته کلیدی را آشکار می‌سازد: ضریب پایداری ۰/۸۵ که رودخانه را در رده خیلی خوب قرار می‌دهد (جداول ۳ و ۴).

نتایج ارزیابی شاخص کیفیت ژئومورفولوژیک در بازه ۳

بر اساس نتایج به دست آمده و بازدیدهای میدانی، بازه سوم رودخانه نیرچای، طولی معادل ۴ کیلومتر را شامل می‌شود و عرض کانال نیز در این بازه تغییرپذیری بالایی را نشان می‌دهد و از حداقل ۲ متر تا حداکثر ۸ متر متغیر است؛ این نوسان در عرض کانال، نشان‌دهنده پاسخ‌های متفاوتی به شرایط هیدرولوژیکی و لیتولوژیکی محلی است. بررسی الگوی پلتفرم کانال، همان‌طور که در شکل ۶ مستند شده است، نشان‌دهنده سینوزیته بالا و وجود پیچ‌وخم‌های مکرر و متعدد است. این ویژگی بیانگر یک فرآیند طبیعی انتقال انرژی است که در آن جریان رودخانه با توجه به شیب کم یا متوسط و مواد بستر قابل فرسایش، مسیر خود را به صورت جانبی توسعه داده است. از جنبه اکوزئومورفولوژیکی، وجود پوشش گیاهی حاشیه رودخانه یک امتیاز حیاتی و یک عامل تثبیت‌کننده بیومکانیکی مهم برای کناره‌ها محسوب می‌شود که مقاومت آن‌ها را در برابر تنش‌های برشی جریان‌های ثانویه افزایش می‌دهد؛ علاوه بر این، نتایج حاکی از اتصال مستقیم دامنه، به کانال رودخانه است. این اتصال به معنای محدودیت جانبی کانال است که تبادل رسوب و انرژی بین رودخانه و دشت سیلابی را محدود می‌کند. هم‌چنین در بخش‌های ابتدایی بازه سوم، یک پسرروی کوچک در کناره‌های رودخانه مشاهده می‌شود. با این حال، میزان دخالت‌های انسانی و تغییرات مصنوعی در ساختار رودخانه در این بخش نسبتاً کم ارزیابی شده است، که نشان می‌دهد فرآیندهای ژئومورفولوژیکی در این بخش عمدتاً تحت کنترل عوامل طبیعی قرار دارند. هم‌چنین نتایج محاسبات بر اساس شاخص‌های عملکردی و مصنوعی، که جزئیات آن‌ها در جداول ۳ و ۴ ارائه شده است، نشان داد که ضریب پایداری بازه سوم برابر با ۰/۵۳ است که رودخانه را در طبقه کیفیت متوسط قرار می‌دهد.

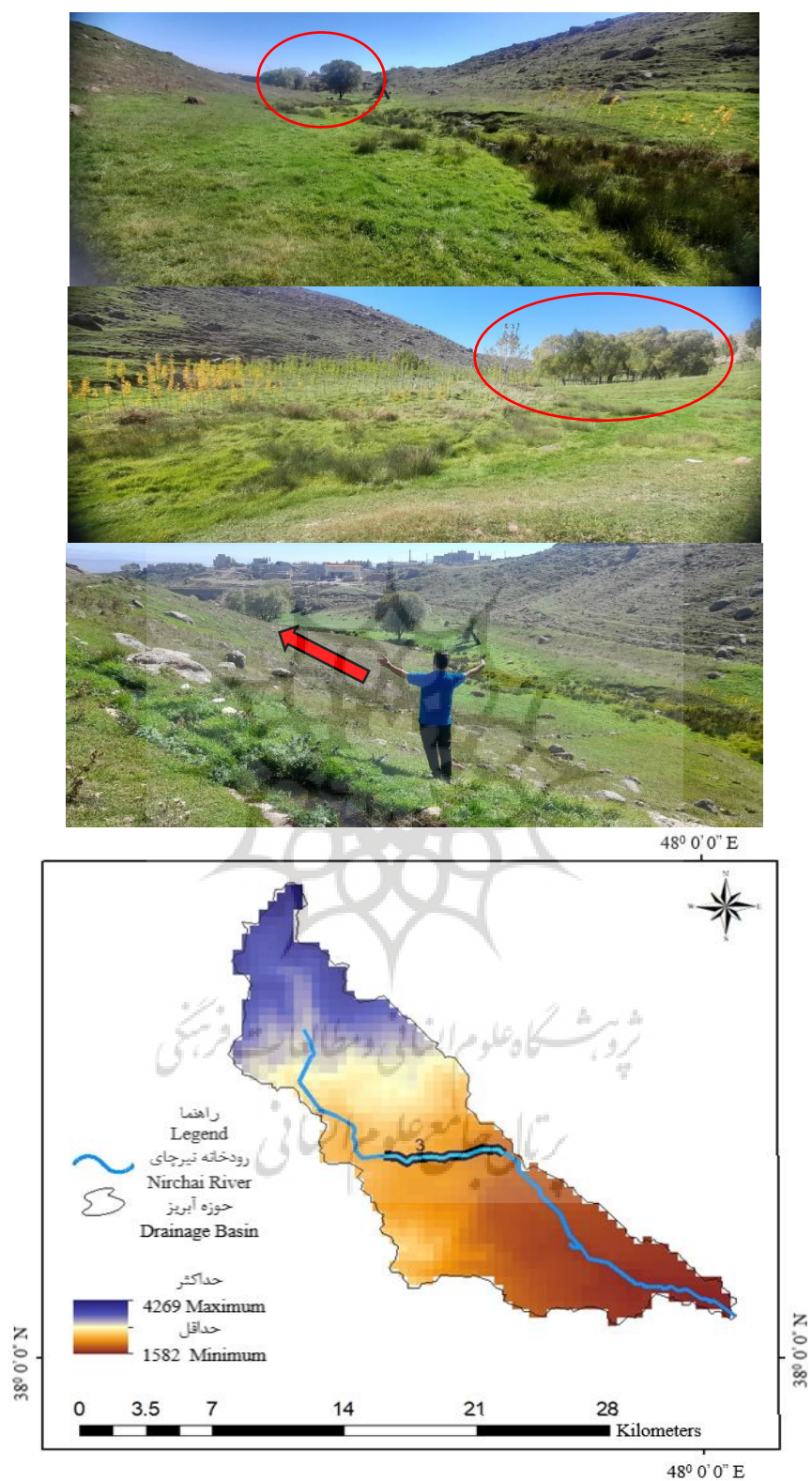


شکل ۴- تصاویر بازه ۱ رودخانه نیرجای در استان اردبیل
Fig.4. Images of Reach 1 of the Nirchai River in Ardabil Province



شكل ۵- تصاوير بازه ۲ رودخانه نيرچاي در استان اردبيل

Fig.5. Images of Reach 2 of the Nirchai River in Ardabil Province



شکل ۶- تصاویر بازه ۳ رودخانه نیرچای در استان اردبیل

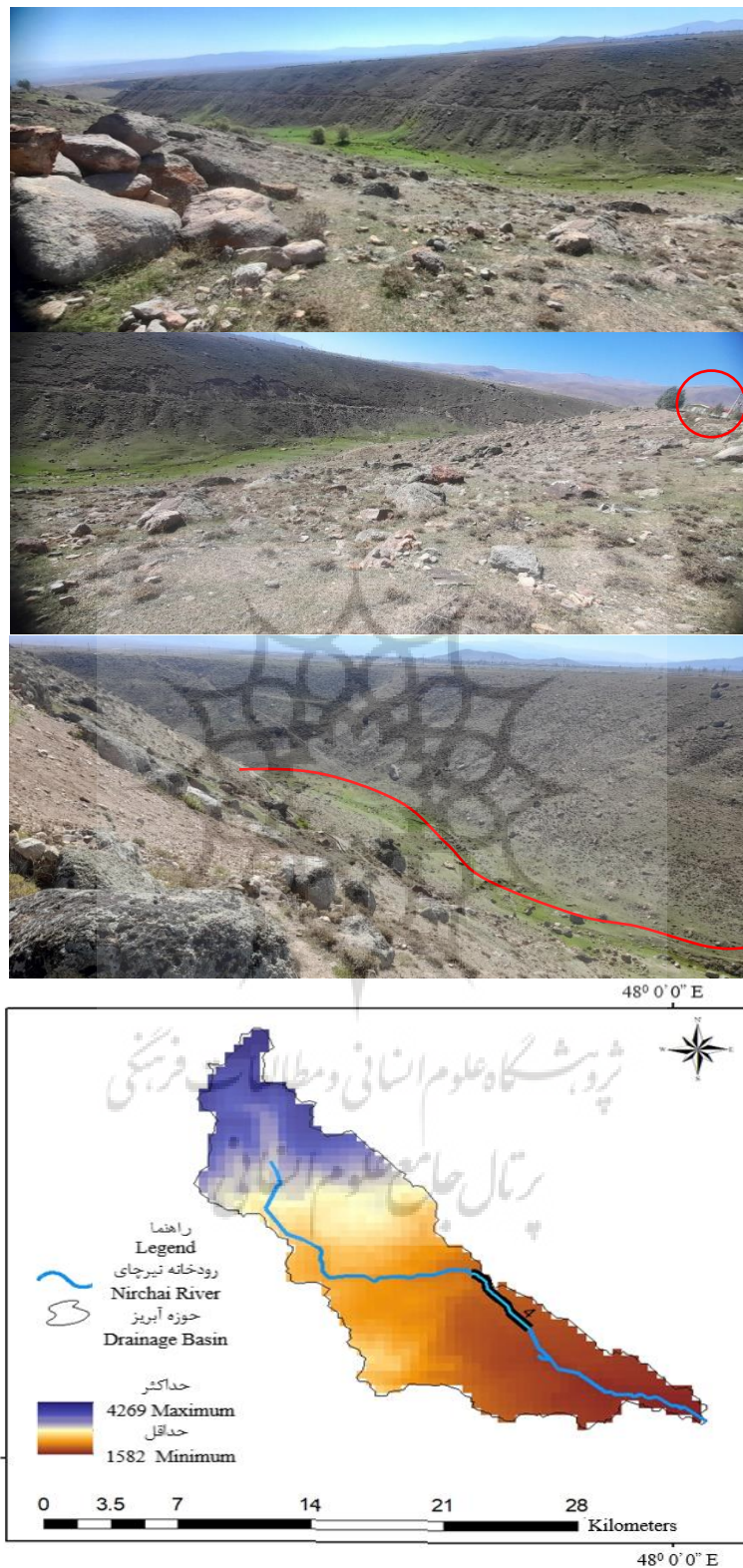
Fig.6. Images of Reach 3 of the Nirchai River in Ardabil Province

نتایج ارزیابی شاخص کیفیت ژئومورفولوژیک در بازه ۴

بر اساس نتایج حاصله از ارزیابی بازه چهارم رودخانه نیرچای با شاخص کیفیت ژئومورفولوژیکی، این بازه، به طول ۵ کیلومتر و با گستره‌ای از منطقه گوگرچین تا گوگر یک مقطع پیچان رود فعال را به نمایش می‌گذارد که با نوسانات شدید در عرض کانال، از ۳ تا ۱۵ متر، مشخص می‌شود؛ این میزان از عدم یکنواختی هندسی، منعکس کننده فعالیت‌های متمرکز فرسایشی و رسوب گذاری موضعی در پاسخ به تنوع شرایط زمین‌شناختی و هیدرولیکی بستر است. تحلیل مورفودینامیک کانال، الگویی متناوب از پس‌روی در بخش ابتدایی و سپس پیش‌روی یا مهاجرت جانبی را در ادامه نشان می‌دهد که بر دینامیک فعال این بازه و جابه‌جایی افقی پیچان‌رودها دلالت دارد. همچنین یافته‌های حاصل از مشاهدات میدانی و تحلیل‌های مربوطه، پوشش گیاهی ضعیف را در اطراف بازه سوم تأیید می‌کند که پیامدهای جدی برای پایداری کناره‌های رودخانه و کیفیت اکولوژیکی آن در پی دارد. همچنین، عدم احداث هرگونه سازه مصنوعی، اتصال طولی را برای جریان آزاد رسوب و انرژی حفظ کرده است. با این وجود، ضریب پایداری ژئومورفیک بازه چهارم برابر با ۰/۵۴ است که آن را در طبقه متوسط قرار می‌دهد؛ این نمره، نشان دهنده یک تعادل پویا است که در آن، تنش‌های هیدرولیکی داخلی و بار رسوبی بالا، با وجود اثر تثبیت‌کنندگی پوشش گیاهی، سیستم را در آستانه حساسیت نگه داشته و قابلیت بالای رودخانه برای تنظیم خودکار در برابر عدم تعادل‌های مورفولوژیکی را نمایان می‌سازد.

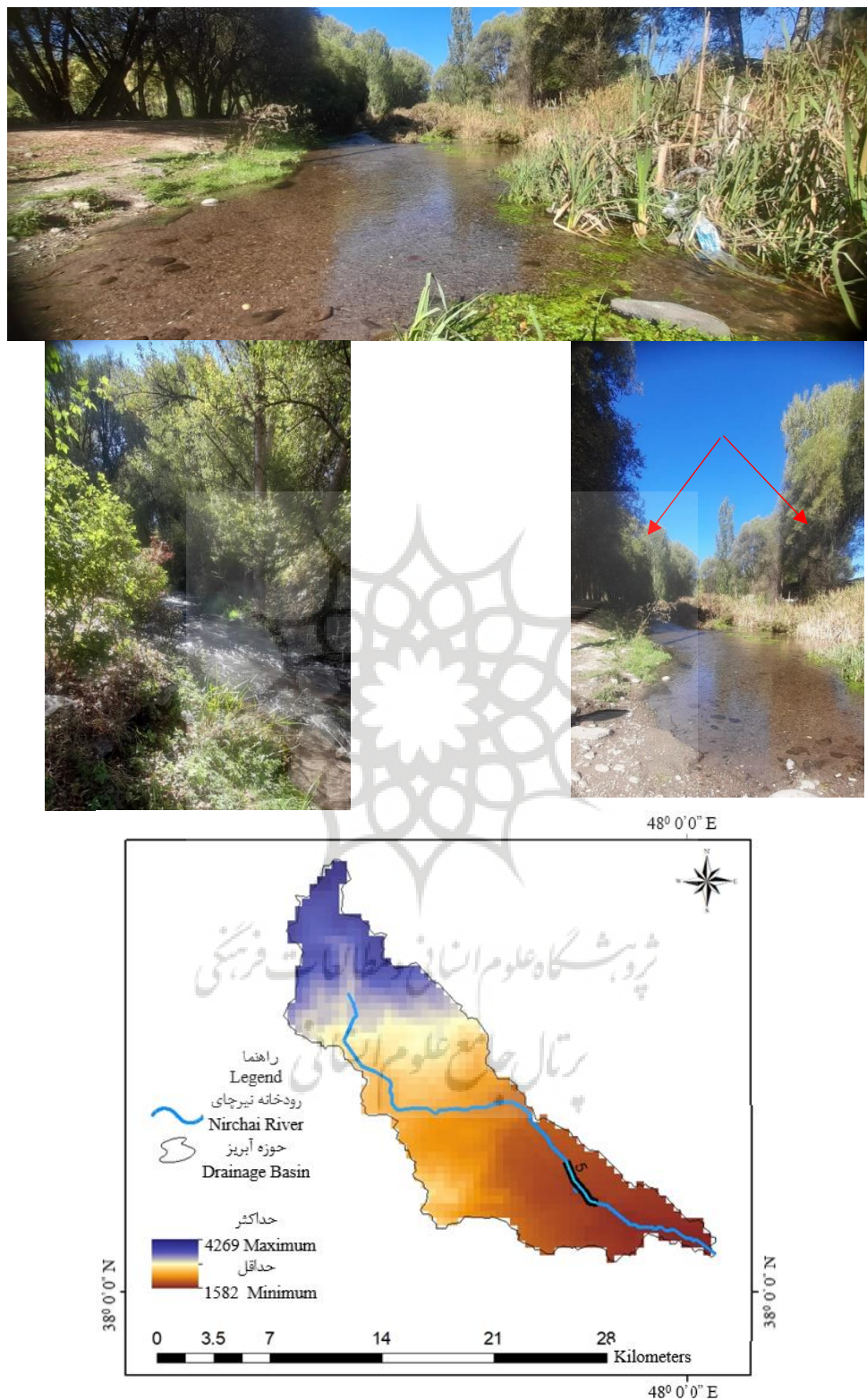
نتایج ارزیابی شاخص کیفیت ژئومورفولوژیک در بازه ۵

بازه پنجم رودخانه نیرچای، به‌عنوان یکی از مقاطع پایانی موردبررسی، با طول ۵ کیلومتر و دامنه تغییرات عرضی گسترده‌تر در بخش‌های کم‌عمق‌تر، از منطقه گوگر تا قره‌تپه امتداد می‌یابد و مشخصه بارز آن گسترش پهنای کانال، با عرضی متغیر بین ۴ تا ۱۵ متر است. این افزایش پهنای، به ویژه در مقایسه با عرض‌های حداکثری در بازه‌های قبلی، اغلب نشان‌دهنده کاهش نیروی برشی فعال در کف و دیواره‌های رودخانه، یا تبدیل شدن به یک سیستم توزیع‌کننده است که در آن، انرژی جریان در سطح وسیع‌تری تلف می‌شود. نکته حائز اهمیت در این بازه، تأثیر مستقیم دخالت انسانی است؛ احداث پل در مسیر جریان، به عنوان یک مانع موضعی، سبب اختلال در الگوی طبیعی انتقال رسوب و فرآیندهای فرسایش/تراکم شده و می‌تواند به‌عنوان یک کانون تنش ژئومورفولوژیکی موضعی عمل کند که ممکن است منجر به ایجاد تغییرات هیدرولیکی غیرطبیعی در بالادست یا پایین‌دست سازه شود. علی‌رغم این دخالت، بازه پنجم دارای پوشش گیاهی طولی فراوان است که عاملی قوی در تثبیت کناره‌ها و جلوگیری از فرسایش جانبی در غیاب جریان‌های شدید محسوب می‌شود؛ هرچند که این پوشش گیاهی در محدوده دشت سیلابی بسیار کوچک جای گرفته است، که نشان دهنده محدودیت فضای جانبی رودخانه برای توسعه طبیعی و سازگاری با فرآیندهای سیلابی وسیع است. مهم‌تر از همه، شاخص کیفی ژئومورفیک برای بازه پنجم، با کسب امتیاز ۰/۷۵، آن را به بالاترین طبقه پایداری، یعنی طبقه خوب، ارتقا داده است؛ این بهبود قابل توجه نسبت به بازه‌های قبلی، به وضوح نشان می‌دهد که ترکیبی از تثبیت‌کنندگی قوی بیولوژیکی (پوشش گیاهی)، احتمالاً در ترکیب با کاهش شیب طولی مؤثر و همچنین کنترل پدیده‌های شدید مورفولوژیکی توسط عوامل ساختاری (پایداری ناشی از پل به‌عنوان یک تکیه‌گاه مصنوعی در کنار تأثیرات پوشش گیاهی)، موجب شده است که سیستم به یک وضعیت تعادل دینامیکی تثبیت شده دست یابد و پتانسیل آن برای تغییرات ناگهانی و مخرب ژئومورفولوژیکی به حداقل برسد.



شکل ۷- تصاویر بازه ۴ رودخانه نیرچای در استان اردبیل

Fig.7. Images of Reach 4 of the Nirchai River in Ardabil Province



شکل ۸- تصاویر بازه ۵ رودخانه نیرچای در استان اردبیل

Fig.8. Images of Reach 5 of the Nirchai River in Ardabil Province

نتایج ارزیابی شاخص کیفیت ژئومورفولوژیک در بازه ۶

بر اساس ارزیابی‌های انجام‌شده، بازه ششم رودخانه نیرچای، با طول ۶ کیلومتر، به‌عنوان طولانی‌ترین مقطع مطالعه شده، وضعیت پایداری ژئومورفولوژیکی بسیار نامطلوبی را نشان می‌دهد؛ این بازه با نوسان عرض کانال از ۵ تا ۳۰ متر، شاهد گسترش شدید پهنای جریان است که این امر، به‌ویژه در مقاطع شهری، اغلب ناشی از کاهش توانایی جریان برای حفظ پروفیل عرضی پایدار یا گسترش سطح در زمان عبور از محدودیت‌های هندسی است. شکل ۹ به وضوح نشان می‌دهد که این منطقه، تحت تأثیر بیش‌ترین و متراکم‌ترین مداخلات انسانی قرار دارد؛ نقطهٔ کانونی این اختلال، احداث پل در مرکز شهر نیر است که عملکرد رودخانه را به طور اساسی تغییر داده است. این دست‌کاری ساختاری منجر به فرآیندهای ژئومورفولوژیکی نامطلوبی شده است، از جمله تولید نقطه‌ای رسوب و انحراف مسیر جریان، که هر دو نشان‌دهندهٔ گسیختگی در تعادل دینامیکی سیستم است. این سطح از اختلال، مستقیماً با شاخص کمی پایداری بازتاب یافته است؛ هم‌چنین ضریب شاخص کیفیت ژئومورفیک در بازهٔ ۶ برابر با ۰/۴۳ است که آن را به طور قطع در طبقهٔ ضعیف قرار می‌دهد و این کمترین امتیاز ثبت شده در میان تمام بازه‌ها می‌باشد. این سطح پایین نشان می‌دهد که مداخلات مهندسی و ساخت‌وساز، که بر انتقال رسوب و سرعت جریان تأثیر می‌گذارند، مهم‌ترین عامل کاهش پایداری رودخانه در محیط‌های شهری هستند؛ این سیستم در حال حاضر از وضعیت تعادل خارج شده و به شدت مستعد فرسایش‌های فاجعه‌بار موضعی و تغییر شکل‌های نامطلوب در پاسخ به هرگونه تغییر ورودی هیدرولوژیکی یا رسوبی است.

نتایج ارزیابی پویایی ژئومورفولوژی رودخانه نیرچای با استفاده از روش MQI

تحلیل داده‌های شاخص‌ها در بازه‌های زمانی مختلف

با توجه به نتایج جدول ۳، داده‌های مربوط به نمرات شاخص‌های مختلف در بازه‌های زمانی متنوع، فرصت مناسبی برای بررسی روند تغییرات عملکرد شاخص‌ها، شناخت عوامل مؤثر بر بهبود یا کاهش کیفیت عملکرد استخراج شد. این تحلیل بر اساس داده‌های شش بازهٔ زمانی و نمرات اختصاص یافته به شاخص‌های F1 تا A12 صورت گرفته است. تا در نهایت شاخص کیفیت ژئومورفیک استخراج گردد.

تحلیل توصیفی و روند کلی داده‌ها

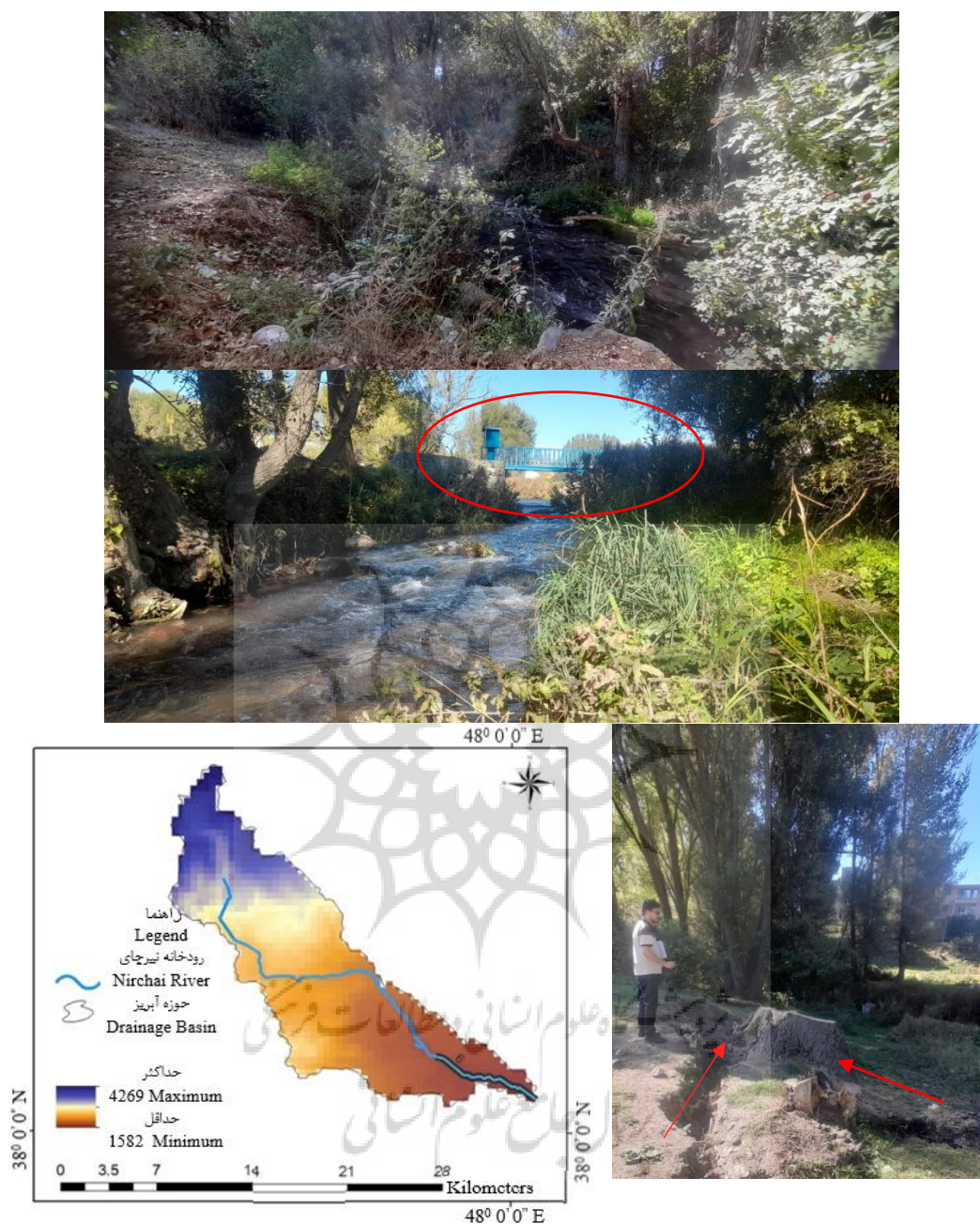
مجموع نمرات کلیه سؤالات در بازه‌های زمانی از ۵۳ در بازهٔ اول به ۸۲ در بازهٔ ششم افزایش یافته است. این روند صعودی بیانگر بهبود عملکرد کلی شاخص‌ها در طول زمان است. هم‌چنین مجموع نمرات کلاس C نیز از ۳۷ به ۵۷ ارتقاء یافته که تأییدکننده روند مثبت در شاخص کیفیت می‌باشد.

نوسانات شاخص‌ها در طول بازه‌ها متنوع است؛ برخی شاخص‌ها مانند A3 و A10 دارای نمرات پایدار و بالاتر در تمامی بازه‌ها بوده‌اند، که نشان‌دهندهٔ پایداری عملکرد مطلوب این شاخص‌هاست. در مقابل، برخی شاخص‌ها مانند F11 و F12 در بازه‌های انتهایی کاهش نمره قابل توجهی را تجربه کرده‌اند که نیازمند بررسی و پیگیری دقیق‌تر است.

تحلیل روند زمانی و تغییرات شاخص‌ها

با بررسی تغییرات نمرات در طول بازه‌های زمانی، مشاهده می‌شود که تعدادی از شاخص‌ها روند افزایشی معناداری داشته‌اند؛ برای مثال شاخص F7 از نمره صفر در بازهٔ اول، به پنج در بازه‌های بعدی افزایش یافته که نشانگر بهبود قابل توجه است. هم‌چنین شاخص‌های کلیدی گروه A به‌خصوص A3 و A10 به‌طور مستمر نمرات بالایی کسب کرده‌اند که می‌تواند به عنوان عوامل کلیدی شاخص کیفیت ژئومورفیک تلقی شود.

این روند افزایشی حاکی از تأثیر مثبت اقدامات اجراشده یا عوامل محیطی در بهبود کیفیت شاخص‌ها است و می‌تواند مسیر توسعه برنامه‌های آتی را مشخص سازد.



شکل ۹- تصاویر بازه ۶ رودخانه نیرچای در استان اردبیل

Fig.9. Images of Reach 6 of the Nirchai River in Ardabil Province

تحلیل همبستگی شاخص‌ها با عملکرد کلی

بررسی همبستگی بین نمرات هر شاخص و مجموع نمرات کلیه سؤالات و همچنین کلاس C نشان داده است که برخی شاخص‌ها مانند A3، A10 و F7 دارای همبستگی مثبت و قوی با عملکرد کلی هستند. این شاخص‌ها نقش محوری در بهبود عملکرد کلی ایفا می‌کنند و توجه ویژه به آن‌ها می‌تواند اثربخشی برنامه‌های ارتقا را افزایش دهد.

طبقه‌بندی شاخص‌ها و تحلیل خوشه‌ای

طبقه‌بندی شاخص‌ها بر اساس ویژگی‌های عملکردی و تغییرات زمانی، امکان شناسایی گروه‌های با ویژگی‌های مشابه را فراهم می‌سازد. تحلیل خوشه‌ای نشان داده است که: یک خوشه شامل شاخص‌های با عملکرد بالا و روند افزایشی مانند A3، A10 و F7؛ خوشه‌ای با شاخص‌های دارای نمرات متوسط و نوسان محدود و خوشه‌ای متشکل از شاخص‌های با عملکرد پایین یا نوسانات شدید شامل شد (جدول ۳).

جدول ۳- امتیازدهی به بازه‌ها در رودخانه نیرچای بر اساس شاخص‌های مورد استفاده در روش MQI

Table 3- Scoring of the reaches along the Nirchai River based on the indices used in the MQI method

بازه ۶ Reache 6	بازه ۵ Reache 5	بازه ۴ Reache 4	بازه ۳ Reache 3	بازه ۲ Reache 2	بازه ۱ Reache1	بازه‌ها Reaches شاخص‌ها Indicators
3	3	0	3	3	0	F1
5	3	5	5	5	5	F2
5	5	0	0	3	3	F3
2	3	2	2	2	3	F4
2	2	3	3	2	0	F5
5	3	0	0	5	0	F6
5	5	5	5	5	0	F7
3	3	3	3	3	3	F8
5	5	3	3	3	3	F9
0	2	2	6	2	6	F10
0	0	3	3	0	3	F11
0	0	3	3	0	3	F12
0	0	5	5	5	5	F13
6	3	3	3	3	6	A1
3	0	0	0	6	0	A2
3	6	6	6	6	6	A3
4	4	0	0	4	0	A4
3	0	2	0	2	0	A5
6	3	3	0	3	0	A6
3	3	3	0	3	0	A7
3	3	3	2	2	2	A8
6	3	0	0	3	0	A9
3	6	3	3	6	3	A10
2	2	2	0	2	2	A11
5	5	2	0	2	0	A12
82	72	51	55	65	53	مجموع نمرات کلید سؤالات Total marks of all questions
57	41	33	36	35	37	مجموع نمرات کلاس C Total marks of class C

جمع‌بندی امتیازات و ارزیابی وضعیت بازه‌ها در رودخانه نیرچای

بر اساس نتایج حاصله از جدول ۴، بازه ۲ با ضریب ۰/۸۵ دارای بالاترین ضریب و از نظر دینامیک ژئومورفولوژی دارای پویایی بیش‌تری نسبت به سایر بازه‌ها است. بازه ۱ و ۶ با ضریب ۰/۴۳ از نظر دینامیک ژئومورفولوژی در وضعیت بسیار ضعیف قرار دارد. بازه ۵ نیز با مقدار ضریب ۰/۷۵ در رده خوب پویایی مناسبی قرار دارد. هم‌چنین بازه ۳ و ۴ در رده متوسط قرار دارند.

جدول ۴- محاسبه مقادیر MQI برای بازه‌های مورد مطالعه در رودخانه نیرچای

Table 4- Calculation of MQI values for the studied reaches of the Nirchai River

بازه ۶	بازه ۵	بازه ۴	بازه ۳	بازه ۲	بازه ۱	بازه
Reache 6	Reache 5	Reache 4	Reache 3	Reache 2	Reache 1	Reaches
۰/۴۳	۰/۷۵	۰/۵۴	۰/۵۲	۰/۸۵	۰/۴۳	MQI
ضعیف	خوب	متوسط	متوسط	خیلی خوب	ضعیف	کیفیت
Poor	Good	Average	Average	Very good	Poor	Quality

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر به ارزیابی کیفیت ژئومورفولوژیکی و پایداری رودخانه نیرچای با استفاده از شاخص (MQI)، پرداخته شده است. بنابراین نتایج حاصل از بازدیدهای میدانی، تصاویر ماهواره‌ای و ارزیابی بازه‌های شش‌گانه رودخانه نیرچای، به وضوح نشان داد که پویایی ژئومورفولوژیکی این سیستم تحت تأثیر نوسانات فضایی قابل توجه در شرایط طبیعی و اثرات مخرب مداوم مداخلات انسانی قرار دارد. شاخص کیفیت ژئومورفیک به‌عنوان ابزار اصلی سنجش، یک توزیع عملکردی بسیار ناهمگن را در طول رودخانه ترسیم می‌کند که این امر لزوم تفکیک مسیر رودخانه به واحدهای مدیریتی متمایز را تأکید می‌نماید. در یک‌سوی طیف، بازه دوم با کسب بالاترین پایداری با مقدار ۰/۸۵ در رده کیفیت خیلی خوب قرار می‌گیرد. این بازه نمایانگر یک رژیم هیدروژئومورفولوژیکی بهینه شده است؛ جایی که عوامل تثبیت‌کننده طبیعی توانسته‌اند بر فرسایش غلبه کنند و سیستمی با ظرفیت خودتنظیمی بالا ایجاد نمایند، که این وضعیت عمدتاً ناشی از تأثیر سازه‌هایی است که جریان‌های اوج را تعدیل کرده‌اند. در نقطه مقابل این پایداری، بازه‌های اول و ششم با ضریب برابر ۰/۴۳ (وضعیت ضعیف)، آسیب‌پذیری ذاتی سیستم را در برابر نیروهای دینامیکی غالب در آن مقاطع نشان می‌دهند. محور اصلی این تحلیل، نقش تخریبی دخالت‌های انسانی است. در حالی که برخی مداخلات، همچون در بازه پنجم با مقدار ۰/۷۵ در رده خوب، توانسته‌اند با کمک عوامل بیولوژیکی و تثبیت کناره‌ها به یک تعادل شبه‌پایدار دست یابند، بازه ششم به طور مشخص گویای گسست کامل تعادل دینامیکی است. این بخش، به دلیل تمرکز بالای سازه‌های ساختمانی در محیط شهری، دچار گسترش شدید عرض کانال و تبدیل شدن به کانون تولید رسوب شده است، وضعیتی که سیستم را در معرض خطر بالای فرسایش‌های منطقه‌ای قرار می‌دهد. در نهایت، علیرغم اینکه روند کلی تغییرات در طول زمان نشان دهنده یک بهبود تجمعی در عملکرد پارامترها است، این بهبود کلی نتوانسته است بر ضعف‌های فضایی حاد تأثیر قابل ملاحظه‌ای بگذارد. بنابراین، نتیجه‌گیری نهایی این است که دستیابی به مدیریت پایدار رودخانه نیرچای منوط بر گذار از راهکارهای عمومی به برنامه‌های مداخله هدفمند فضایی است؛ برنامه‌هایی که اولویت اصلی آن‌ها معطوف به خنثی‌سازی اثرات مخرب سازه‌های موجود بر انتقال رسوب و احیای ظرفیت خودتنظیمی در بخش‌هایی با کمترین امتیاز پایداری خواهد بود. این رویکرد دوگانه برای تضمین بقای بلندمدت سیستم در برابر تغییرات آتی هیدرولوژیکی امری حیاتی است. این پژوهش مشابهت فراوانی با پژوهش میرزائی و همکاران (Mirzaei et al., 2024) دارد؛ زیرا در این پژوهش نیز توسعه شهری و دخالت‌های مصنوعی باعث شده بیش‌تر بازه‌های رودخانه از نظر کیفیت ژئومورفولوژیکی در رده‌های «ضعیف» و «خیلی ضعیف» قرار گیرند و تنها دو بازه که مسیر طبیعی‌تری داشتند، موفق به کسب امتیاز «متوسط» شده‌اند. در نتیجه برای مدیریت پایدار رودخانه نیرچای، لازم است مدیران منابع آب و توسعه شهری مداخلات خود را در بازه‌های ۱ و ۶ رودخانه نیرچای متوقف کنند و تمام منابع را به پروژه‌های مهندسی بیولوژیکی هدفمند برای تثبیت رسوب و احیای ظرفیت خودتنظیمی در این بخش‌های بحرانی اختصاص دهند. اقدام عملیاتی باید شامل توقف هر گونه ساخت‌وساز جدید در حریم رودخانه و آغاز فاز اول پروژه‌های مهندسی بیولوژیکی برای تثبیت دیواره‌ها در این دو بازه باشد.

References

- Ahmadi, M., Karam, A., & Hajehforoshnia, S. (2025). Morphological quality analysis of urban river corridor of Zayandeh Rood in Isfahan using the MQI method (from Najvan Park to Ashkavand Bridge). *Environmental Erosion Research Journal*, 14(4), 96-118. <http://dx.doi.org/10.61186/jeer.14.4.96>
- Allan, J. D., Castillo, M. M., & Capps, K. A. (2021). Fluvial Geomorphology. In: *Stream Ecology*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-61286-3_3
- Downs, P. W., & Piégay, H. (2019). Catchment-scale cumulative impact of human activities on river channels in the late Anthropocene: implications, limitations, prospect. *Geomorphology*, 338, 88-104. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.03.021>
- Downs, P., & Gregory, K. (2014). *River channel management: towards sustainable catchment hydrosystems*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203770344>
- Dufour, S., & Piégay, H. (2009). From the myth of a lost paradise to targeted river restoration: forget natural references and focus on human benefits. *River Research and Applications*, 25(5), 568-581. <https://doi.org/10.1002/rra.1239>
- Esfandyari Darabad, F., & Nezafat-Takleh, B. (2023). Evaluation and analysis of neotectonic activities and seismic potential of faults (Case study: Nir watershed). *Geography and Human Relations*, 5(4), 568-589. [in Persian] <https://doi.org/10.22034/gahr.2023.393039.1844>
- Felisia, O. R. M., Sternberg, M., Ratner, T., Drori, E., & Egozi, R. (2022). Customizing the Morphological Quality Index (MQI) for the assessment of streams in Eastern Mediterranean ecosystems. *Environmental Challenges*, 9(10), 100612. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100612>
- Fendereski, N., Masoudian, M., & Klaus, R. (2022). Evaluating the hydromorphological condition of Tajan River using HMQI Method. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 14(2), 185-201. [in Persian] <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2021.353586.1881>
- Gündüz, O., & Şimşek, C. (2021). Assessment of river alteration using a new hydromorphological index. *Environ Monit Assess*, 193, 226. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09018-w>
- Guo, W., Zhou, H., Jiao, X., Huang, L., & Wang, H. (2022). Hydrologic regime alteration and influence factors in the Jialing River of the Yangtze River, China. *Science of the Total Environment*, 807, 150902. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150902>
- Hajdukiewicz, H., Wyżga, B., Zawiejska, J., Amirowicz, A., Oglecki, P., & Radecki-Pawlik, A. (2017). Assessment of river hydromorphological quality for restoration purposes: an example of the application of RHQ method to a Polish Carpathian river. *Acta Geophysica*, 65(3), 423-440. <https://doi.org/10.1007/s11600-017-0044-7>
- Hasenmueller, E. A., & Robinson, H. K. (2016). Hyporheic zone flow disruption from channel linings: Implications for the hydrology and geochemistry of an urban stream, St. Louis, Missouri, USA. *Journal of Earth Science*, 27(1), 98-109. <https://doi.org/10.1007/s12583-016-0632-5>
- Ilanloo, M. (2025). Evaluation of River Hydromorphology Using the Morphological Quality Index (MQI): A Case Study of the Megun-Fasham River Section. *Revista Brasileira De Engenharia De Biosistemas*, 19. <https://doi.org/10.18011/bioeng.2025.v19.1251>
- Ilanloo, M., & Karam, A. (2020). Assessment of hydromorphological conditions of the river using the MQI method (Case study area: JAJROOD River). *Applied Researches in Geographical Sciences*, 20(56), 35-53. [in Persian] <http://dx.doi.org/10.29252/jgs.20.56.35>
- Mirzaei, N., Ahmadabadi, A., Eftekhari, S., & Lotfi, A. (2024). Evaluation and zoning of the geomorphological quality of the Vardavard River in Tehran. *Applied Researches in Geographical Sciences*, 24(75), 196-213. [in Persian] <http://dx.doi.org/10.61186/jgs.24.75.25>

- Nezafat Takleh, B., Esfandiyari Darabad, F., Mostafazadeh, R. & Abedini, M. (2025). Evaluation and analysis of hydromorphological conditions of the Qorichay River in Ardabil Province using the morphological quality index. (e231233). *Journal of Urban and Regional Sustainable Development Studies (JSURDS)*, e231233. [in Persian] https://www.srds.ir/article_231233.html?
- Nosrati, K., Rostami, M., & Etminan, Z. (2020). Assessment of Taleghan River Hydrogeomorphological Conditions Using Morphological Quality Index. *Hydrogeomorphology*, 6(21). 133-154. [in Persian] <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23833254.1398.6.21.7.2>
- Rein Moshe, F., Sternberg, M., Ratner, T., Drori, I., & Egozi, R. (2022). Customizing the Morphological Quality Index (MQI) to evaluate streams in Eastern-Mediterranean ecosystems. *Environmental Challenges*, 9, 100612. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100612>
- Rezaei, M., Khaleghi, S., & Hosseinzadeh, M., M. (2022). The Evaluation of Hydromorphological Conditions of Taleghan River Using MQI and RQI Methods for Environmental Planning. *Geography and Environmental Sustainability*, 12(4), 101-117. [in Persian] <https://doi.org/10.22126/ges.2022.7973.2548>
- Rinaldi, M., Belletti, B., Van deBund, W., Bertoldi, W., Gurnell, A. M., & Buijse, T. (2013). *Restoring rivers for effective catchment management: D1.1 review on eco-hydromorphological methods*. Reform Deliverable 1.1, 1-109. https://www.researchgate.net/publication/282283692_Review_on_ecohydromorphological_methods
- Rinaldi, M., Gurnell, A. M., Del Tánago, M. G., Bussetini, M., & Hendriks, D. (2016). Classification of river morphology and hydrology to support management and restoration. *Aquatic sciences*, 78(1), 17-33. <https://doi.org/10.1007/s00027-015-0438-z>
- Talebi, Z., Ayyoubzadeh, S. A., Mostafavi, H., Hosseinzadeh, M. M., & Shafizadeh, H. (2024). Morphological Analysis and Assessment of a River Based on Morphological Characteristics, Artificial Structures and Channel Adjustment (Case Study: Talar River - Upstream of the Shirgah). *Advanced Environmental Sciences*, 22(1), 21-38. [in Persian] <https://doi.org/10.48308/envs.2023.1250>