



Assessment of Hydromorphological Quality of the Sulachay River in Ardabil Province, Iran, using the Morphological Quality Index (MQI)

Behrouz Nezafat Taklhe¹, Fariba Esfandiyari^{2*}, Raoof Mostafazadeh³, Musa abedini⁴

1-Ph.D. student of Geomorphology, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

2-Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

3-Associate Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Member of .Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

4-Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Corresponding Author's Email: Esfandiyari@uma.ac.ir

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Keywords:

anthropogenic interventions, Ardabil Province, hydromorphological quality, integrated river management, Morphological Quality Index (MQI), Sulachay River.

Introduction

The natural flow regime of a river varies across daily, seasonal, annual, and long-term time scales. To describe the regular pattern of flow magnitude, timing, and variability, multiple observational data from water-level gauge curves are required. River flow regimes exhibit regional patterns that are primarily determined by basin size and geographical characteristics, including climate, geology, topography, and vegetation cover. Rivers, under various environmental conditions, possess considerable complexity and diversity, and both natural and human factors influence them and alter their hydromorphological conditions. In fact, hydromorphological degradation caused by human interventions and river-channel modification is considered one of the most fundamental causes of river alteration. Several methods have been developed to assess the hydromorphological condition of rivers. One such method is the Morphological Quality Index (MQI), first introduced by Rinaldi et al. (2013), as a modern and comprehensive tool for evaluating the morphological quality of streams and river.

Materials and Methods

As previously mentioned, the Morphological Quality Index (MQI), is one of the most comprehensive methods currently used for evaluating the morphological condition of rivers by Rinaldi et al. (2013). This index quantitatively assesses river morphological quality of a by considering three main groups of indicators:

- Functionality (13 indicators, F1–F13): these evaluate the continuity and naturalness of channel and floodplain processes and forms compared with reference conditions.
- Artificiality (12 indicators, A1–A12): these quantify human interventions and artificial elements in three aspects: (i) longitudinal continuity (dams and alterations in flow and sediment regime), (ii) channel

How to cite:

Nezafat Taklhe, B. Esfandiyari, F. Mostafazadeh, R. abedini, M. *Assessment of Hydromorphological Quality of the Sulachay River in Ardabil Province, Iran, using the Morphological Quality Index. (MQI)* Journal of Hydraulics and Water Science, 35 (3):9-8.

<https://doi.org/10.22034/hws.2025.69865.1035>



This is an open-access article under the CC BY NC license
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)



morphology (cross-section structures, bank protections, levees, and realignments), and (iii) vegetation in the riparian corridor (removal of woody debris and degradation of natural vegetation).

- Channel adjustments: these indicators account for recent morphological changes and are used to adjust the final score according to local conditions

The final MQI value ranges from 0 (very poor morphological quality and fully artificial conditions) to 1 (completely natural and highly dynamic conditions). Accordingly, the closer the MQI value is to 1, the more natural, functional, and morphologically stable the river reach

Results and Discussion

The results that Reach 2 achieved the highest raw score (88) and an the highest adjusted index value of ($C = 68$), whereas Reach 5 recorded the lowest raw score and Reach 4 the lowest adjusted index value (43). his pattern highlights the pronounced adverse impact of the upstream dam on the morphological dynamics of Reach 4. Examination of the functional indicators (F1–F13) shows that Reach 2 performed well in most indicators related to channel and floodplain forms and processes. however, it obtained very low scores in the critical dynamism indicators (F8, F10, F12, and F13). Consequently, despite its high raw score, the final MQI value for Reach 2 was only 0.29, indicating very poor morphological quality. The artificial indicators (A1–A12) exhibit favorable conditions throughout all reaches. Indicators related to transversal and longitudinal structures (A1–A3) received the maximum score (6) in all every reach, confirming the absence of major direct interventions such as dams, bridges, or artificial bank protections. Similarly, bank stability (A12) was rated highly (5) across all reaches. These results demonstrate that, apart from the dam located in Reach 2, no significant direct anthropogenic interventions were observed in the channel bed or banks. Overall, the substantial gap between the high raw scores and the low final MQI value in Reach 2 underscores the strong weighting assigned to natural dynamism indicators within the MQI methodology.

Conclusion

The assessment of the morphological quality of the Sulachay River using the Morphological Quality Index (MQI) revealed values range from 0.29 to 0.81, exhibiting a clear decreasing trend from upstream to downstream reaches. The upstream sections (Reaches 1 and 4), attained the highest MQI values of 0.81, and were classified as “Good”, while Reach 2, with a value of 0.29, was categorized as “Very Poor.” The middle and downstream reaches (Reaches 3, 5, and 6) yielded values between 0.61 to 0.65, falling within the “Moderate” class. These variations are primarily attributed to the intensity of anthropogenic interventions, land-use changes, and the reduction of riparian vegetation cover. The highest morphological quality was recorded in the upstream reaches, characterized by gentle slopes, stable geological formations, and minimal human disturbance. In contrast, the construction of a dam in Reach 2 represents the most critical factor disrupting longitudinal continuity, suppressing channel dynamism, and causing a sharp decline in morphological quality. The middle and lower reaches although moderately stable, remain vulnerable to agricultural activities, urban development, and bank erosion. Overall, the Sulachay River currently exhibits a semi-stable to relatively stable morphological condition. However, continuation of existing human pressures could rapidly destabilize this equilibrium. To improve morphological quality and ensure long-term ecological and hydromorphological stability, integrated management measures are recommended, including channel and bank stabilization, restoration of riparian vegetation, continuous monitoring of sedimentation processes, and strict regulation of construction within the river corridor. Future research should focus on the application of artificial intelligence models and advanced spatial analyses techniques to predict and monitor morphological and hydrological changes in the river system.

Keywords: anthropogenic interventions, Ardabil Province, hydromorphological quality, integrated river management, Morphological Quality Index (MQI), Sulachay River.



ارزیابی کیفیت هیدرومورفولوژیک رودخانه سولاچای در استان اردبیل با استفاده از شاخص کیفیت مورفولوژیک (MQI)

بهروز نظافت تکل^۱، فریا اسفندیاری^{۲*}، رئوف مصطفی زاده^۳، موسی عابدینی^۴

۱- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۲- استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۳- دانشیار گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۴- استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: Esfanyari@uma.ac.ir

چکیده

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی کیفیت هیدرومورفولوژیک رودخانه سولاچای در استان اردبیل با استفاده از شاخص کیفیت مورفولوژیک (MQI) انجام شد. این شاخص با تلفیق مؤلفه‌های عملکردی، مصنوعی و تعدیلی، پایداری مورفولوژیکی و شدت مداخلات انسانی را در بازه‌های مختلف رودخانه به‌طور کمی می‌سنجد. در این تحقیق، رودخانه سولاچای به شش بازه مجزا تقسیم گردید و ۲۵ شاخص مرتبط با فرم و فرآیندهای هیدرومورفولوژیکی در هر بازه ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که مقدار MQI در بازه‌های مورد مطالعه بین ۰/۲۹ تا ۰/۸۱ متغیر است. بازه‌های ۱ و ۴ با مقدار ۰/۸۱ در طبقه «خوب» قرار گرفتند که بیانگر پایداری ساختاری، پوشش گیاهی مناسب و کمترین میزان مداخلات انسانی است. در مقابل، بازه ۲ با مقدار ۰/۲۹ در طبقه «خیلی ضعیف» قرار گرفت؛ ضعف بازه ۲ عمدتاً ناشی از احداث سد، کاهش پوشش گیاهی حاشیه‌ای و تغییر رژیم جریان و رسوب است. بازه‌های ۳، ۵ و ۶ در طبقه «متوسط» (۰/۶۱ تا ۰/۶۵) جای گرفتند و از ثبات نسبی اما با اثرات محسوس فعالیت‌های انسانی برخوردارند. به‌طور کلی، روند کاهش MQI از بالادست به پایین‌دست حاکی از افزایش تدریجی شدت مداخلات انسان‌زاد و تغییر کاربری اراضی است که منجر به تضعیف پویایی طبیعی و توان خودتنظیمی رودخانه شده است. رودخانه سولاچای در حال حاضر در وضعیت نیمه‌پایدار تا پلیدار نسبی قرار دارد، لذا تداوم بهره‌برداری ناپلیدار می‌تواند این تعادل را برهم زند. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی از مدل‌های هوش مصنوعی و تحلیل‌های مکانی پیشرفته برای پایش مستمر تغییرات مورفولوژیکی و هیدرولوژیکی بهره گرفته شود. کلمات کلیدی: رودخانه سولاچای، شاخص کیفیت هیدرومورفولوژیک (MQI)، مداخلات انسانی، مدیریت یکپارچه رودخانه، استان اردبیل.

۱- مقدمه

رژیم جریان طبیعی یک رودخانه در مقیاس‌های زمانی روزانه، فصلی، سالانه و بلندمدت متفاوت است. برای توصیف الگوی منظم مقدار جریان، زمان‌بندی و تغییرپذیری آن، داده‌های مشاهداتی متعدد از منحنی سنجه آب ب مورد نیاز است (پوف و همکاران ۱۹۹۷). رژیم‌های جریان رودخانه الگوهای منطقه‌ای را نشان می‌دهند که عمدتاً با اندازه حوضه و ویژگی‌های جغرافیایی شامل آب‌وهوا، زمین‌شناسی، توپوگرافی و پوشش گیاهی تعیین می‌شوند. به عبارت دیگر، رژیم جریان طبیعی، اکوسیستم‌های رودخانه‌ای را سازماندهی می‌کند. در رودخانه‌ها، ساختار فیزیکی زیستگاه تا حد زیادی توسط فرآیندهای فیزیکی، به‌ویژه حرکت آب و رسوب در کانال و دشت سیلابی تعریف می‌شود. زیستگاه فیزیکی یک رودخانه شامل اندازه و ناهمگونی رسوبات، مورفولوژی کانال و دشت سیلابی و سایر ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی است. این ویژگی‌ها به‌صورت رسوبات موجود، بقایای چوبی و سایر مواد قابل حمل توسط جریان جابه‌جا و منتقل می‌شوند. بنابراین، شرایط زیستگاه مرتبط با کانال و دشت سیلابی در رودخانه‌های مختلف متفاوت است و متناسب با ویژگی‌های جریان و نوع و در دسترس بودن مواد قابل حمل، ویژگی‌های متنوع زیستگاهی توسط طیف گسترده‌ای از جریان‌ها ایجاد و نگهداری می‌شوند (پوف و همکاران، ۱۹۹۷).

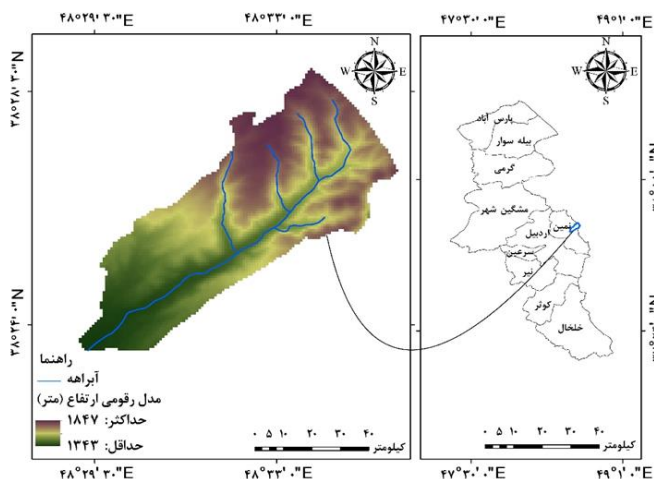
رودخانه‌ها در شرایط محیطی مختلف از پیچیدگی و تنوع زیادی برخوردارند و عوامل طبیعی و انسانی بر آن‌ها تأثیر می‌گذارند و شرایط هیدرومورفولوژیکی آن‌ها را تغییر می‌دهند. در حقیقت، تخریب هیدرومورفولوژیکی به‌دلیل مداخلات انسانی و تعدیل کانال رودخانه، یکی از اساسی‌ترین علل تغییرات رودخانه‌ها به‌شمار می‌رود. روش‌های متعددی برای بررسی هیدرومورفولوژیکی رودخانه‌ها ابداع شده است. یکی از این روش‌ها، شاخص کیفیت مورفولوژیک (MQI)، است که برای نخستین بار در سال ۲۰۱۳ توسط رینالدی و همکاران مطرح شد و به‌عنوان ابزاری نوین برای ارزیابی کیفیت مورفولوژیکی جریان رودخانه ارائه گردید. رینالدی و همکاران (۲۰۱۳)، شاخص MQI را در رودخانه‌های ایتالیایی با طیف گسترده‌ای از شرایط فیزیکی و فشارهای انسانی به‌کار بردند و نشان دادند که این روش امکان آزمون روش‌شناسی کلی، اصلاح شاخص‌ها و بهبود نظام امتیازدهی را فراهم می‌کند. رودخانه‌ها از مهم‌ترین اجزای اکوسیستم‌های طبیعی و منابع آبی به‌شمار می‌روند و نقش حیاتی در تأمین آب شرب و کشاورزی، کنترل سیلاب، انتقال رسوب و حفظ تعادل زیست‌محیطی ایفا می‌کنند. تغییرات رژیم رواناب و رسوب در این رودخانه‌ها می‌تواند پیامدهای گسترده‌ای بر پایداری مورفولوژیکی رودخانه و سلامت اکوسیستم‌های وابسته به آن داشته باشد.

در داخل و خارج از ایران مطالعات متعددی با بهره‌گیری از شاخص کیفیت مورفولوژیک (MQI) انجام شده است. نصرتی و همکاران

(۱۳۹۸) در رودخانه طالقان نشان دادند که بازه ۱ با مقدار ۰/۷۱ در طبقه «خوب» قرار می‌گیرد که عمدتاً ناشی از دخالت‌های انسانی اندک و موقعیت بالادست آن است. بازه‌های ۲، ۳، ۵ و ۶ با مقادیر ۰/۵۸، ۰/۵۴، ۰/۵۹ و ۰/۶۱ در طبقه «متوسط» و بازه ۴ با مقدار ۰/۴۹ در طبقه «ضعیف» جای گرفتند. کاهش کیفیت در بازه‌های پایین‌دست عمدتاً به برداشت شن و ماسه و احداث سازه‌های عرضی (پل) نسبت داده شد. نتایج این پژوهش تأیید کرد که روش MQI برای طبقه‌بندی وضعیت مورفولوژیکی رودخانه‌های دامنه جنوبی البرز مناسب است. ایلاتلو و کرم (۱۳۹۹) شرایط هیدرومورفولوژیکی رودخانه جاجرو را با استفاده از روش MQI بررسی کردند و دریافتند که تمام بازه‌های مورد مطالعه در طبقه «ضعیف» و «خیلی ضعیف» قرار دارند. مهم‌ترین عوامل مؤثر بر این وضعیت عبارت بودند از: قطع درختان حاشیه‌ای برای ساخت و ساز، برداشت بی‌رویه شن و ماسه، ایجاد تفرجگاه‌های متعدد در کناره‌ها و تغییر الگوی طبیعی رودخانه.

خالقی و همکاران (۱۴۰۰) شرایط هیدرومورفولوژیکی رودخانه حاجی‌عرب در شهرستان بوئین‌زهرا را با استفاده از شاخص کیفیت مورفولوژیک (MQI) ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که مقدار MQI در بازه‌های مورد مطالعه بین ۰/۷۴ تا ۰/۸۲ متغیر است؛ بازه‌های ۱، ۲، ۳ و ۶ با مقدار ۰/۸۲، بازه ۸ با مقدار ۰/۷۴، ه‌رتیب بیشترین و کمترین امتیاز را کسب کردند. در مجموع، رودخانه حاجی‌عرب در طبقه «خوب» جای گرفت و شرایط مناسبی دارد که عمدتاً ناشی از صفر بودن شاخص مصنوعی و فقدان مداخله مستقیم انسانی است. رضایی و همکاران (۱۴۰۱) با بهره‌گیری از روش‌های MQI و RQI، شرایط هیدرومورفولوژیکی طالقان‌رود را برای برنامه‌ریزی محیطی بررسی کردند. یافته‌ها حاکی از آن بود که بازه‌های ۱ تا ۵ بالادست به‌دلیل تضعیف فرآیندهای فرسایشی ناشی از تغییرات سطح اساس، پویایی مورفولوژیکی «خیلی ضعیف» و بازه ۶ (ورودی سد) پویایی «ضعیف» دارد. در مقابل، بازه‌های ۷ و ۸ به‌دلیل تغییرات کمتر، بالاترین مقدار شاخص را کسب کرده و از پویایی مورفولوژیکی بیشتری نسبت به سایر بازه‌ها برخوردارند. احمدی و همکاران (۱۴۰۳) کیفیت مورفولوژیک کریدور شهری زاینده‌رود در شهر اصفهان (از پارک ناژوان تا پل اشکاون) را با روش MQI ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که بازه‌های اول، پنجم و ششم (خارج از محدوده شهری) با مقادیر ۰/۵۸، ۰/۶۶ و ۰/۵۷ در طبقه «متوسط» و در وضعیت بهتری قرار دارند؛ در حالی که بازه‌های دوم، سوم و چهارم (داخل محدوده شهری) به‌ترتیب با مقادیر ۰/۴۸، ۰/۴۱ و ۰/۳۸ در طبقه «ضعیف» و «خیلی ضعیف» جای گرفتند و بیشترین تأثیر مداخلات انسانی را متحمل شده‌اند.

خسروی و تیموری (۱۴۰۳) کاربرد تلفیقی شاخص‌های MQI و MQIm را برای ارزیابی گرایش وضعیت مورفولوژیکی رودخانه خرمارود بررسی کردند. نتایج نشان داد که بر اساس MQI، ۱۵ بازه در طبقه «خیلی ضعیف» و «ضعیف»، ۹ بازه در طبقه «متوسط» و تنها



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی رودخانه سولاچای در استان اردبیل.

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

شاخص کیفیت (MQI) یکی از پیشرفته‌ترین روش‌های طبقه‌بندی وضعیت مورفولوژیکی رودخانه است که نخستین بار توسط رینالدی و همکاران (۲۰۱۳) ارائه شد. این شاخص با بررسی اشکال و فرایندهای طبیعی رودخانه‌های (عملکردی)، مداخلات و سازه‌های مصنوعی و همچنین مکانیسم‌های تعدیلی، کیفیت مورفولوژیکی رودخانه را به‌صورت کمی ارزیابی می‌کند. در روش MQI، مقدار شاخص بین ۰ (وضعیت بسیار ضعیف و کاملاً مصنوعی) و ۱ (وضعیت کاملاً طبیعی و پویا) تغییر می‌کند؛ بنابراین هرچه مقدار MQI به ۱ نزدیک‌تر باشد، وضعیت مورفولوژیکی رودخانه طبیعی‌تر و پایدارتر است (رینالدی و همکاران ۲۰۱۳ و ۲۰۱۶). این شاخص از سه گروه اصلی تشکیل شده است:

۱۳۰ شاخص عملکردی (F1-F13) مرتبط با فرایندها و

اشکال طبیعی کانال و دشت سیلابی

۱۲۰ شاخص مصنوعی (A1-A12) مرتبط با مداخلات و

سازه‌های انسانی

• شاخص‌های تعدیلی برای تنظیم امتیازات بر اساس شرایط

خاص محلی

شاخص‌های عملکردی (F1-F13)

این شاخص‌ها انطباق اشکال و فرایندهای کانال و دشت

سیلابی را با وضعیت طبیعی مورد انتظار ارزیابی می‌کنند.

شاخص‌های مصنوعی (A1-A12)

۲ بازه در طبقه «خوب» جای می‌گیرند. اختلاف مقادیر MQI بین بازه‌ها و همچنین اختلاف مقادیر MQIm پیش و پس از مداخلات انسانی در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. در اکثر بازه‌ها، کمترین امتیازها به‌ترتیب به شاخص‌های پوشش گیاهی، عملکرد مورفولوژیکی، تغییرات آبراهه و مورفولوژی کانال اختصاص یافت. میرزایی و همکاران (۱۴۰۳) کیفیت مورفولوژیکی رودخانه وردآورد تهران را با استفاده از شاخص MQI پهنه‌بندی کردند. یافته‌ها حاکی از آن بود که به‌دلیل توسعه شهری تهران و تغییرات مصنوعی گسترده، بازه‌های ۱، ۳، ۴، ۶ و ۷ با مقدار ۰/۲ در طبقه «خیلی ضعیف»، بازه‌های ۲ و ۵ با مقدار ۰/۳ در طبقه «ضعیف» و بازه‌های ۸ و ۹ (با حداقل دخالت انسانی و حفظ وضعیت طبیعی) با مقدار ۰/۶ در طبقه «متوسط» قرار گرفتند.

لی و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیکی (IHA) روند تغییرات جریان رودخانه مکنونک در پایین‌دست سد را در ویتنام بررسی کردند. نتایج حاکی از کاهش قابل توجه دبی در فصول مرطوب و افزایش غیرطبیعی جریان در فصل خشک بود. فیلسا و همکاران (۲۰۲۲) کیفیت مورفولوژیکی رودخانه‌های مدیرانه شرقی را با روش MQI ارزیابی کردند و دریافتند که برداشت آب و تنظیم مصنوعی جریان در بخش‌های پایین‌دست، جریان آب و فرایندهای طبیعی رسوب‌گذاری را به‌شدت کاهش داده است. آن‌ها تأکید کردند که MQI با اعمال اصلاحات محلی، ابزاری بسیار مناسب برای ارزیابی بلندمدت رودخانه‌های مدیرانه‌ای است. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی کیفیت هیدرومورفولوژیک رودخانه سولاچای در استان اردبیل با استفاده از شاخص کیفیت مورفولوژیک (MQI) انجام شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه

رودخانه سولاچای از زیرحوضه‌های حوزه آبخیز قره‌سو به‌شمار می‌رود و حوزه آبخیز آن با مساحت ۸۵/۴۳ کیلومتر مربع در شرق شهرستان نمین، در استان اردبیل و در بالادست روستای سولا قرار دارد. مختصات جغرافیایی این حوزه بین طول‌های جغرافیایی ۴۸°۲۹′۵″ تا ۴۸°۳۳′۴۷″ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۸°۲۳′۱۴″ و ۳۸°۴۱′۴۳″ شمالی واقع شده و نقطه خروجی آن به ایستگاه هیدرومتری سولا منتهی می‌شود. متوسط ارتفاع حوزه از سطح دریای آزاد ۱۵۵۰ متر است (طولابی و همکاران ۱۳۹۴).

شاخص عملکردی مورفولوژیکی		
شاخص‌ها	طبقه‌ها و امتیازات	نحوه بررسی
F1	پیوستگی طولی در رسوب A:0, B:3, C:5	بازدیدها و برداشت‌های میدانی
F2	دشت سیلابی (A:0, B:3, C:5)	بازدیدها و برداشت‌های میدانی
F3	پیوستگی رودخانه و دامنه (A:0, B:3, C:5)	بازدیدها و برداشت‌های میدانی
F4	فرایند پس‌روی کرانه (A:0, B:2, C:3)	بازدیدها و برداشت‌های میدانی
F5	وجود کریدور بالقوه فرسایش پذیر (A:0, B:2, C:3)	بازدیدها و برداشت‌های میدانی
F6	اشکال بستر و شیب دره (A:0, B:3, C:5)	بازدیدها و برداشت‌های میدانی
F7	اشکال الگوی کانال (A:0, B:3, C:5)	بازدیدها و برداشت‌های میدانی
F8	اشکال معمولی در دشت (A:0, B:2, C:3)	بازدیدها و برداشت‌های میدانی
F9	تغییرات مقطع عرضی (A:0, B:3, C:5)	بازدیدها و برداشت‌های میدانی
F10	ساختار بستر کانال (A:0, B:2, C1:5, C2:6)	بررسی میدانی و ارزیابی بصری
F11	وجود چوب‌های بزرگ در درون کانال (A:0, B:3)	بررسی میدانی و ارزیابی بصری
F12	محدوده گیاهان عملکردی (A:0, B:2, C:3)	اندازه‌گیری عرض متوسط پوشش گیاهی
F13	گسترش خطی گیاهان عملکردی (A:0, B:3, C:5)	اندازه‌گیری عرض متوسط پوشش گیاهی
شاخص مصنوعی		
A1	تغییر در بالادست جریان (A:0, B:3, C:6)	داده‌های هیدرولیکی، تغییرات در دبی
A2	تغییر در بالادست دبی رسوبی (A:0, B1:0 B2:3, C1:6, C2:12)	بازدیدها و برداشت‌های میدانی
A3	تغییر جریان (A:0, B:3, C:6)	داده‌های هیدرولیکی
A4	تغییر دبی رسوب (A:0, B:4, C:6)	بازدیدها و برداشت‌های میدانی
A5	سازه‌های عرضی (A:0, B:2, C:3)	بازدیدها و برداشت‌های میدانی
A6	محافظت کناره (A:0, B:3, C:6)	بازدیدها و برداشت‌های میدانی
A7	خاکریزه‌های مصنوعی (A:0, B:3, C:6)	بازدیدها و برداشت‌های میدانی
A8	تغییرات مصنوعی (A:0, B:2, C:3)	اطلاعات تاریخی و کتابخانه‌ای، بازدیدها و برداشت‌های میدانی
A9	سایر عوامل ثابت‌کننده بستر (A:0, B:3, C1:6, C2:8)	بازدیدها و برداشت‌های میدانی
A10	حرکات رسوب (A:0, B:3, C:6)	بازدیدها و برداشت‌های میدانی
A11	حرکات چوب (A:0, B:2, C:5)	بازدیدها و برداشت‌های میدانی
A12	مدیریت پوشش گیاهی (A:0, B:2, C:5)	بازدیدها و برداشت‌های میدانی

مداخلات و عناصر مصنوعی را سه جنبه پیوستگی (سدها و تغییرات دبی و رسوب)، مورفولوژی کانال (سازه‌های عرضی، حفاظت مصنوعی کناره‌ها، خاکریزها و اصلاح مسیر) و پوشش گیاهی حاشیه‌ای (جابه‌جایی واریزه‌های چوبی و تخریب گیاهان طبیعی توسط انسان) ارزیابی می‌کنند. طبقه‌بندی و نظام امتیازدهی هر یک از شاخص‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

در چارچوب روش کیفیت مورفولوژیک (MQI) و مطابق با رینالدی و همکاران (۲۰۱۳)، این کلاس‌ها بیانگر میزان سلامت یا اختلال مورفولوژیک هر شاخص هستند، به‌طوری‌که:

• کلاس A نشان‌دهنده شرایط طبیعی یا نزدیک به طبیعی، با حداقل اختلال مورفولوژیک و امتیاز صفر است؛

• کلاس B بیانگر شرایط نیمه‌تغییر یافته با اختلال متوسط در فرآیندهای مورفولوژیکی و امتیاز میانی است؛

• کلاس C نشان‌دهنده شرایط به‌شدت تغییر یافته یا مختل، با بیشترین میزان مداخله انسانی یا ناپایداری مورفولوژیک و بالاترین امتیاز است.

جدول ۱. شاخص عملکردی، مصنوعی روش کیفیت مورفولوژیک (MQI): توصیف طبقه‌ها و نظام امتیازدهی (رینالدی و همکاران ۲۰۱۳).

Table 1. Synthetic Morphological Quality Index (MQI): Description of classes and scoring system (Rinaldi et al. 2013).

محاسبه شاخص کیفیت مورفولوژیک (MQI)

پس از امتیازدهی به شاخص‌ها، ابتدا شاخص آشفستگی مورفولوژیکی (MAI) و سپس شاخص کیفیت مورفولوژیک (MQI) با استفاده از روابط زیر محاسبه گردید.

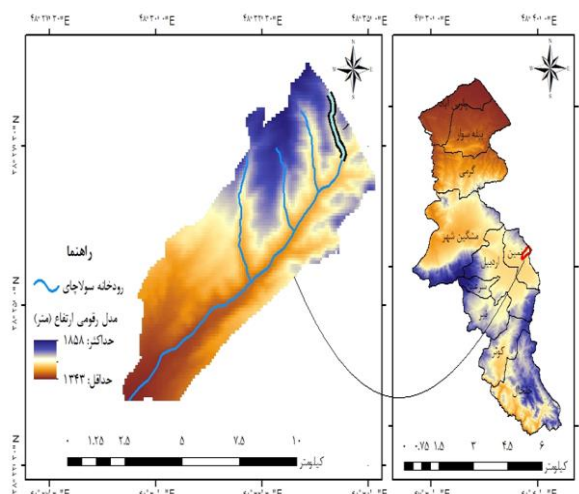
$$MAI = S_{tot} / S_{max} \quad (۱)$$

$$MQI = 1 - MAI \quad (۲)$$

که در آن، S_{tot} مجموع امتیازات کسب‌شده در طبقه C برای تمام شاخص‌ها و S_{max} حداکثر امتیاز طبقه C هر شاخص است. دامنه تغییرات MAI از صفر (بدون هیچ‌گونه تغییر مصنوعی) تا ۱ (حداکثر تغییر) و دامنه MQI از صفر (کیفیت مورفولوژیک بسیار پایین) تا ۱ (کیفیت عالی و کاملاً طبیعی) است. بنابراین، یک سیستم کاملاً طبیعی و بدون مداخله انسانی دارای $MAI = 0$ و $MQI = 1$ خواهد بود (رینالدی و همکاران ۲۰۱۳).

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تقسیم‌بندی بازه‌ها و ویژگی‌های کلی حوزه



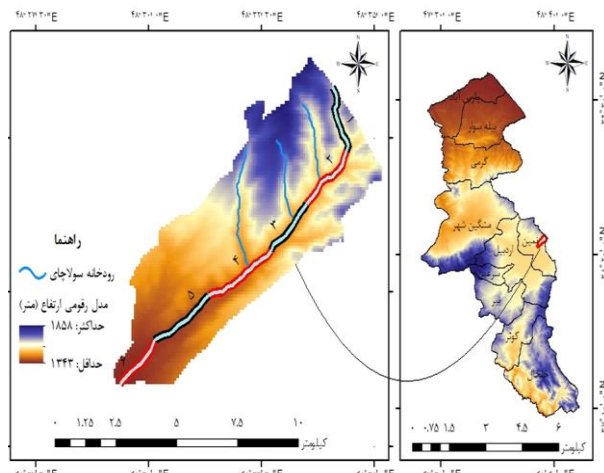
شکل ۳. موقعیت جغرافیایی و بازدید میدانی بازه ۱ رودخانه سولاچای در استان اردبیل.

Fig 3. Geographic location and field visit of section 1 of the Solachay River in Ardabil Province.

نتایج ارزیابی شاخص MQI در بازه ۲

طول بازه دوم رودخانه سولاچای ۵ کیلومتر و عرض کلنال آن بین ۲ تا ۱۱ متر متغیر است. این بازه در ارتفاعی پایین‌تر از بازه اول قرار دارد و تپه‌های اطراف آن شرایط توپوگرافی و زمین‌شناسی متفاوتی نسبت به بخش‌های بالادست ایجاد کرده‌اند. شاخص کیفیت مورفولوژیکی (MQI) در این بازه ۰/۲۹ محاسبه شد که پایین‌ترین مقدار در کل مسیر بوده و در طبقه «خیلی ضعیف» جای می‌گیرد. مهم‌ترین عامل این وضعیت، احداث سد در ابتدای بازه است، که با اختلال جدی در در پیوستگی طولی، تغییر رژیم جریان و الگوی رسوب‌گذاری، پویایی طبیعی کانال را به شدت تضعیف کرده است. کاهش پوشش گیاهی حاشیه‌ای نیز پایداری کناره‌ها را کاهش داده و فرسایش جانبی را تشدید نموده است. در مجموع، بازه دو بحرانی‌ترین بخش رودخانه سولاچای از نظر مورفولوژیکی محسوب می‌شود و نیازمند اقدامات فوری مدیریتی شامل اصلاح یا حذف سد، بازسازی پوشش گیاهی و تثبیت کناره‌ها است بنابراین، حفظ و تقویت پوشش گیاهی، کنترل و مدیریت ساخت و سازهای انسانی، به

رودخانه سولاچای به شش بازه مورفولوژیکی تقسیم شد (شکل ۲). این بازه‌بندی بر اساس تغییرات آشکار در مورفولوژی کانال، شیب طولی، نوع پوشش گیاهی حاشیه‌ای و شدت مداخلات انسانی انجام گرفت.



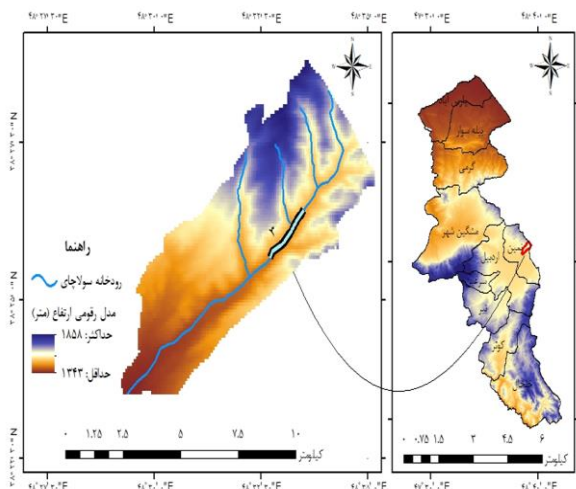
شکل ۲. موقعیت جغرافیایی بازه‌های مورد مطالعه رودخانه سولاچای در استان اردبیل.

Fig 2. Geographical location of the studied sections of the Solachay River in Ardabil Province.

نتایج ارزیابی شاخص MQI در بازه ۱

طول بازه اول رودخانه سولاچای ۴ کیلومتر و عرض کانال آن بین ۱ تا ۸ متر متغیر است. این بازه در ناحیه کوهستانی با شیب نسبتاً ملایم قرار دارد و شرایط مورفولوژیکی مناسبی برای پایداری ساختار کلنال فراهم می‌کند. با وجود احداث سدهای متعدد در این بخش، تغییرات قابل توجهی در الگوی جریان طبیعی رودخانه ایجاد شده که اثرات آن به صورت افزایش رسوب‌گذاری در پایین‌دست مشهود است. سدها با کاهش سرعت جریان آب در محدوده بالادست، رسوبات معلق را ته‌نشین کرده و در نتیجه حجم رسوبات انتقال یافته به پایین‌دست را افزایش می‌دهند. این فرآیند باعث تجمع رسوبات در پایین‌تر از سدها و تشدید تغییرات در ساختار بستر و بانک‌های رودخانه شده که می‌تواند به کاهش پایداری مورفولوژیکی این قسمت منجر شود. شاخص کیفیت مورفولوژیکی (MQI) در این بازه برابر با ۰/۸۱ به‌دست آمد و در طبقه «خوب» قرار گرفت. این مقدار بالا نشان‌دهنده حفظ تعادل مناسب بین فرآیندهای طبیعی و مداخلات انسانی، پیوستگی طولی و عرضی مطلوب، تنوع مورفولوژیکی مناسب و پوشش گیاهی حاشیه‌ای نسبتاً متراکم است. در مجموع، بازه اول همچنان از پایداری قابل قبولی برخوردار است و می‌تواند به‌عنوان الگویی برای مدیریت پایدار سایر بخش‌های رودخانه مورد توجه قرار گیرد (شکل ۳).

کناره‌ها را تا حدی تهدید می‌کند. در مجموع، بازه سوم از وضعیت متعادل و قابل مدیریت برخوردار است. حفظ پوشش گیاهی موجود، کنترل فعالیت‌های کشاورزی در حریم رودخانه و جلوگیری از برداشت مصالح بستر می‌تواند به ارتقای کیفیت مورفولوژیکی این بازه کمک شایانی کند. همچنین، توجه به کنترل رسوب‌گذاری و حفظ تعادل هیدرودینامیکی رودخانه ضروری است تا پایداری اکوسیستم‌های پیرامون تضمین شود. در نهایت، این بازه به عنوان منطقه‌ای با کیفیت متوسط، ظرفیت خوبی برای بهبود و مدیریت پایدار دارد که نیازمند اقدامات هدفمند در حوزه حفاظت از بستر و حریم رودخانه می‌باشد (شکل ۵).



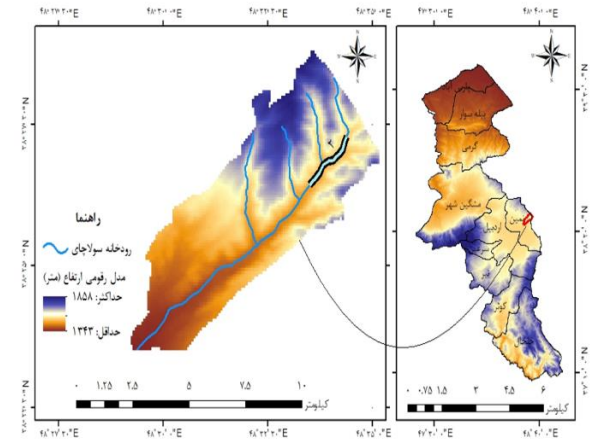
شکل ۵. موقعیت جغرافیایی و بازدید میدانی بازه ۳ رودخانه سولاچای در استان اردبیل.

Fig 5. Geographic location and field visit of section 3 of the Solachay River in Ardabil Province.

نتایج ارزیابی شاخص MQI در بازه ۴

طول بازه چهارم رودخانه سولاچای ۵ کیلومتر و عرض کانال آن بین ۳ تا ۲۵ متر متغیر است. این تغییرات عرضی نشان‌دهنده وجود

خصوص سدهای، و اجرای طرح‌های مهندسی رودخانه‌ای با هدف کاهش فرسایش و بهبود وضعیت بستر رودخانه از مهم‌ترین راهکارهای پیشنهادی برای ارتقاء شاخص کیفیت این بازه می‌باشد (شکل ۴).



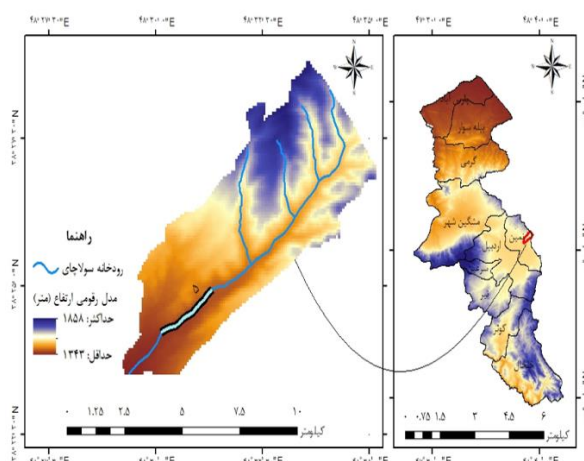
شکل ۴. موقعیت جغرافیایی و بازدید میدانی بازه ۲ رودخانه سولاچای در استان اردبیل.

Fig 4. Geographic location and field visit of section 2 of the Solachay River in Ardabil Province.

نتایج ارزیابی شاخص MQI در بازه ۳

طول بازه سوم رودخانه سولاچای برابر با ۴ کیلومتر و عرض کانال آن بین ۲ تا ۱۵ متر متغیر است. این بازه در منطقه‌ای با کاربری اراضی متنوع (مرتع، زراعی و مسکونی) قرار دارد و دارای پیچ‌وخم‌های متعدد و فرآیندهای فعال رسوب‌گذاری است. شاخص کیفیت مورفولوژیکی (MQI) در این بازه ۰/۶۱ محاسبه شد که در طبقه «متوسط» جای می‌گیرد. این مقدار نشان‌دهنده ثبات نسبی مورفولوژیکی همراه با تأثیرات قابل توجه کاربری اراضی اطراف است. وجود پیچ‌وخم‌های طبیعی و فرآیندهای رسوب‌گذاری فعال، پتانسیل پویایی مورفولوژیکی مناسبی را حفظ کرده است، اما گسترش زمین‌های کشاورزی و کاهش جزئی پوشش گیاهی حاشیه‌ای، پایداری

تغییرات ساختاری قابل توجه است که به‌طور مستقیم بر رفتار هیدرومورفولوژیکی رودخانه تأثیر می‌گذارد. بر اساس مشاهدات میدانی و موقعیت جغرافیایی (شکل ۷)، فرسایش کناره‌ها و تولید رسوب در این بخش قابل توجه بوده و عمدتاً ناشی از تغییرات کاربری اراضی (کشاورزی و سکونتگاه‌ها) و کاهش پوشش گیاهی حاشیه‌ای است. پیچ‌وخم‌های رودخانه نیز با ایجاد تغییرات موضعی در الگوی جریان، فرسایش را در نقاط خاص تشدید کرده‌اند. شاخص کیفیت مورفولوژیکی (MQI) در این بازه ۰/۶۱ محاسبه شد که در طبقه «متوسط» قرار گرفت. این مقدار بیانگر ثبات نسبی همراه با فشارهای انسانی و طبیعی است؛ با این حال، بازه هنوز ظرفیت خودتنظیمی نسبی را حفظ کرده است. برای جلوگیری از افت بیشتر کیفیت مورفولوژیکی، تقویت پوشش گیاهی حاشیه‌ای، کنترل فعالیت‌های کشاورزی و انسانی در حریم رودخانه و اجرای اقدامات تثبیت کناره‌ها ضروری است (شکل ۷).



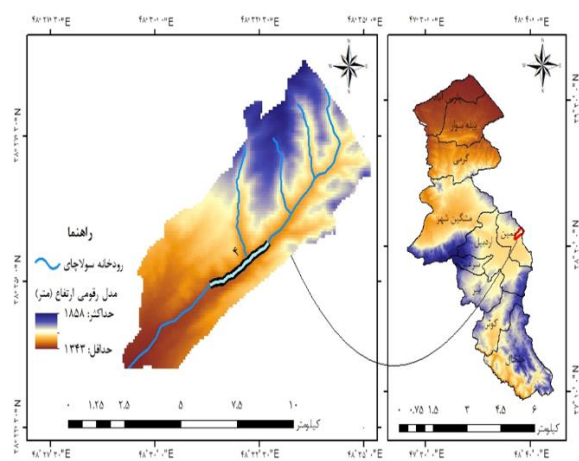
شکل ۷. موقعیت جغرافیایی و بازدید میدانی بازه ۵ رودخانه سولاچای در استان اردبیل.

Fig 7. Geographic location and field visit of section 5 of the Solachay River in Ardabil Province.

نتایج ارزیابی شاخص MQI در بازه ۶

طول بازه ششم رودخانه سولاچای ۳ کیلومتر است و عرض کانال آن بین ۳ تا ۱۲ متر متغیر می‌باشد. این بازه پایین‌دست‌ترین بخش

تنوع ساختاری در بستر رودخانه است که می‌تواند ناشی از عوامل طبیعی و انسانی مختلف باشد. این بازه با وجود فرسایش قابل توجه کناره‌ها و تولید رسوب بالا (ناشی از فعالیت‌های کشاورزی و ساخت‌وساز در حریم رودخانه)، شاخص کیفیت مورفولوژیکی (MQI) برابر با ۰/۸۱ کسب کرد و در طبقه خوب قرار گرفت (شکل ۶). این وضعیت مطلوب عمدتاً به دلیل حفظ پیوستگی عرضی مناسب، وجود پیچ‌وخم‌های طبیعی فعال، پوشش گیاهی حاشیه‌ای نسبتاً متراکم و نبود سازه‌های مسدودکننده عمده در مسیر است که توانسته‌اند فشارهای فرسایشی و رسوبی را تا حد زیادی تعدیل کنند. با این حال، ادامه روند تغییر کاربری اراضی و فعالیت‌های انسانی می‌تواند به سرعت این تعادل را برهم زند. بنابراین، اجرای فوری اقدامات حفاظتی شامل تثبیت کناره‌ها، محدودسازی کشاورزی در حریم رودخانه و بازسازی پوشش گیاهی برای حفظ وضعیت «خوب» این بازه ضروری است (شکل ۶).



شکل ۶. موقعیت جغرافیایی و بازدید میدانی بازه ۴ رودخانه سولاچای در استان اردبیل.

Fig 6. Geographical location and field visit of section 4 of the Solachay River in Ardabil Province.

نتایج ارزیابی شاخص MQI در بازه ۵

طول بازه پنجم رودخانه سولاچای ۴ کیلومتر بوده و عرض کانال آن بین ۳ تا ۲۰ متر متغیر است. این بازه دارای پیچ‌وخم‌های متعدد و

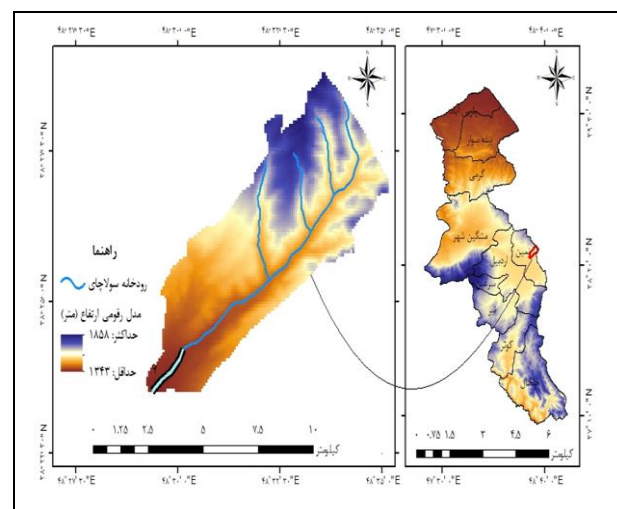
شاخص‌های مصنوعی (A1-A12) در تمام بازه‌ها وضعیت مطلوبی نشان دادند؛ به‌طوری که شاخص‌های A1 تا A3 (سازه‌های عرضی و طولی) در همه بازه‌ها امتیاز ۶ (عدم وجود مداخله مستقیم مانند سد، پل یا حفاظت مصنوعی) و شاخص A12 (پایداری کناره‌ها) همه بازه‌ها امتیاز ۵ کسب کردند که نشان‌دهنده پایداری کلی در همه بازه‌ها است. این نتایج تأیید می‌کند که به‌جز سد موجود در بازه ۲، مداخلات مستقیم و گسترده‌ای در بستر و کناره‌های کانال مشاهده نشده است. به‌طور کلی، تفاوت فاحش بین امتیازات خام بالا و مقدار نهایی MQI پایین در بازه ۲ نشان‌دهنده وزن بسیار بالای شاخص‌های پویایی طبیعی در روش MQI است (جدول ۲).

جدول ۲. امتیازدهی به بازه‌ها در رودخانه سولاچای براساس شاخص‌های مورد استفاده در روش MQI.

Table 2. Scoring of intervals in the Sulachay River based on the indicators used in the MQI method.

شاخص‌ها	بازه ۱	بازه ۲	بازه ۳	بازه ۴	بازه ۵	بازه ۶
F1	۳	۵	۵	۳	۵	۵
F2	۵	۵	۰	۳	۰	۵
F3	۰	۵	۳	۳	۰	۰
F4	۲	۰	۰	۰	۰	۲
F5	۳	۲	۰	۳	۳	۳
F6	۰	۵	۳	۳	۳	۰
F7	۵	۳	۳	۳	۵	۵
F8	۳	۰	۲	۲	۰	۰
F9	۵	۵	۵	۵	۵	۳
F10	۲	۰	۰	۲	۲	۲
F11	۰	۰	۰	۳	۳	۳
F12	۳	۰	۰	۳	۰	۲
F13	۳	۰	۰	۳	۳	۵
A1	۶	۶	۶	۶	۶	۶
A2	۶	۶	۶	۳	۳	۳
A3	۶	۶	۶	۶	۶	۶
A4	۴	۴	۴	۴	۰	۴
A5	۲	۲	۲	۲	۲	۲
A6	۳	۳	۳	۶	۶	۳
A7	۳	۳	۳	۶	۶	۳
A8	۳	۳	۳	۳	۳	۳
A9	۳	۶	۳	۳	۳	۳
A10	۳	۶	۶	۶	۶	۶
A11	۲	۵	۵	۲	۲	۲

مورد مطالعه بوده و بیشترین شدت مداخلات انسانی را متحمل شده است. تخریب گسترده پوشش گیاهی طبیعی، گسترش زمین‌های کشاورزی، ساخت‌وساز در حریم رودخانه و تغییرات مصنوعی مسیر، مهم‌ترین عوامل مؤثر هستند که به افزایش فرسایش خاک، ورود رسوب به کانال و کاهش ظرفیت جریان منجر شده‌اند. شاخص کیفیت مورفولوژیکی (MQI) در این بازه ۰/۶۵ محاسبه شد و در طبقه «متوسط» قرار گرفت. این مقدار نشان‌دهنده وضعیت نیمه‌پایدار است؛ یعنی با وجود فشارهای انسانی شدید، بازه هنوز برخی قابلیت‌هایی بازبایی و حفظ تعادل نسبی را داراست. با این حال، ادامه روند فعلی می‌تواند به سرعت کیفیت مورفولوژیکی را به سمت طبقه «ضعیف» تنزل دهد. بنابراین، اجرای فوری اقدامات مدیریتی شامل محدودسازی ساخت‌وساز در حریم، بازسازی پوشش گیاهی، لایروبی هدفمند و کنترل فرسایش حوزه ضروری است (شکل ۸).



شکل ۸. موقعیت جغرافیایی بازه ۶ رودخانه سولاچای در استان اردبیل.

Fig 8. Geographical location of section 6 of the Solachay River in Ardabil Province.

تحلیل کلی پویایی مورفولوژیکی رودخانه سولاچای بر اساس شاخص MQI

نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که بازه ۲ با مجموع امتیاز خام ۸۸ و شاخص تعدیلی C برابر ۶۸ بالاترین امتیاز کلی را کسب کرده است، در حالی که بازه ۵ کمترین مجموع امتیاز کل و بازه ۴ کمترین امتیاز شاخص C (۴۳) را به خود اختصاص داده‌اند. این امر بیانگر تأثیر منفی عوامل کنترل‌کننده (به‌ویژه سد بالادست) بر پویایی مورفولوژیکی بازه ۴ است. تحلیل شاخص‌های عملکردی (F1-F13) حاکی از آن است که بازه ۲ در اغلب شاخص‌های فرم و فرآیند امتیازات بالایی کسب کرده، اما در شاخص‌های کلیدی پویایی کانال (F10, F8, F12 و F13) امتیاز بسیار پایینی داشته است. این ضعف باعث شده که با وجود امتیاز خام بالا، مقدار نهایی MQI در این بازه تنها ۰/۲۹ (خیلی ضعیف) باشد.

۴- نتیجه گیری نهایی

ارزیابی کیفیت مورفولوژیک رودخانه سولاچای با استفاده از شاخص MQI نشان داد که مقدار این شاخص از ۰/۲۹ تا ۰/۸۱ متغیر است و روند کاهشی مشخصی از بالادست به پایین دست دارد. بازه های ۱ و ۴ با مقدار ۰/۸۱ در طبقه «خوب» و بازه ۲ با مقدار ۰/۶۵ در طبقه «خیلی ضعیف» قرار گرفتند؛ بازه های ۳، ۵ و ۶ نیز با مقادیر ۰/۶۱ تا ۰/۶۵ در طبقه «متوسط» جای گرفتند. این تغییرات عمدتاً تابعی از شدت مداخلات انسانی، تغییر کاربری اراضی و کاهش پوشش گیاهی حاشیه ای است. بالاترین کیفیت مورفولوژیک در بخش های بالادست مشاهده شد که از شیب ملایم، ساختار زمین شناسی پایدار و حداقل دخالت انسانی برخوردارند. در مقابل، احداث سد در بازه ۲ مهم ترین عامل اختلال در پیوستگی طولی، تضعیف پویایی کانال و افت شدید MQI بوده است. بازه های میانی و پایین دست نیز تحت تأثیر فعالیت های کشاورزی، ساخت و ساز و فرسایش کناره ها از ثبات نسبی اما شکننده ای برخوردارند. در مجموع، رودخانه سولاچای در وضعیت نیمه پایدار تا پایدار نسبی قرار دارد، اما تداوم روند فعلی مداخلات انسانی می تواند این تعادل را به سرعت برهم زند. برای ارتقاء کیفیت مورفولوژیک و حفظ پایداری بلندمدت اکولوژیک و هیدرومورفولوژیک رودخانه، اجرای راهبردهای مدیریت یکپارچه شامل تثبیت بستر و کناره ها، بازسازی پوشش گیاهی حاشیه ای، پایش مستمر رسوب گذاری و کنترل ساخت و ساز در حریم رودخانه ضروری است. پیشنهاد می شود در مطالعات آتی از مدل های هوش مصنوعی و تحلیل های مکانی پیشرفته برای پیش بینی و پایش تغییرات مورفولوژیک و هیدرومورفولوژیک استفاده شود.

منابع

- Ahmadi M, Karam A and Hajeforoshnia S, 2025. Morphological quality analysis of urban river corridor of Zayandeh Rood in Isfahan using the MQI method (from Nazhvan Park to Ashkavand Bridge). Journal of Environmental Erosion Research, 14(4): 96-118, doi:10.61186/jeer.14.4.96 [In Persian with English Abstract].
- Ahmadi N, Mostafavi H, Piri K and Zeinivand H, 2023. Evaluation of hydro-ecological alteration of Halilrud Basin and analysis of the role of operating dams in causing it. Advanced Environmental Sciences, 21(1): 65-86, doi:10.48308/envs.2022.1228 [In Persian with English Abstract].
- Ilanloo M and Karam A, 2019. Evaluation of hydromorphological conditions of Jajrood River using MQI method, Journal of Applied Research in Geographical Sciences, 20(56): 53-35 [In Persian with English Abstract].
- Li D, Long D, Zhao J, Lu H and Hong Y, 2017. Observed changes in flow regimes in the

A12	۵	۵	۵	۵	۵	۵
مجموع	۸۱	۷۱	۷۸	۷۶	۸۸	۸۰
مجموع نمرات	۴۹	۴۵	۴۳	۴۷	۶۸	۴۴
کلاس C						

جمع بندی وضعیت مورفولوژیک بازه های رودخانه سولاچای

شاخص کیفیت مورفولوژیک (MQI) مقداری نرمال شده بین صفر (بسیار ضعیف) و ۱ (بسیار خوب) است که نشان دهنده وضعیت کیفی مورفولوژیک یک بازه رودخانه ای است. هرچه این عدد به ۱ نزدیک تر باشد، وضعیت طبیعی تر و پویاتر است.

• کیفیت خوب (MQI = 0.81)

بازه های ۱ و ۴ در طبقه «خوب» قرار گرفتند. این وضعیت ناشی از پویایی مورفولوژیک بالا، تنوع فرمی مناسب و پوشش گیاهی متراکم حاشیه ای و حداقل مداخله انسانی مستقیم است.

• کیفیت متوسط (MQI = 0.61–0.65)

بازه های ۳، ۵ و ۶ در طبقه «متوسط» جای گرفتند. این بازه ها از ثبات نسبی برخوردارند، اما تحت تأثیر تغییر کاربری اراضی، کاهش پوشش گیاهی و فرسایش موضعی قرار دارند. در بازه ۵، شاخص های فرآیندهای رسوب گذاری و پایداری ساحلی (F3-F4)، امتیاز صفر کسب کردند که بیانگر بی ثباتی مورفولوژیک موضعی است.

• کیفیت خیلی ضعیف (MQI = 0.29)

بازه ۲ با وجود بالاترین مجموع امتیاز (۸۸) و شاخص تعدیلی C برابر ۶۸، پایین ترین مقدار MQI را کسب کرد. علت اصلی، ضعف شدید در شاخص های کلیدی پویایی کانال (F10, F8, F12 و F13) به دلیل احداث سد و اختلال جدی در پیوستگی طولی است. روش MQI وزن بسیار بالایی به پویایی طبیعی می دهد؛ از این رو ضعف در این شاخص ها افت شدید در مقدار نهایی ایجاد کرد.

جدول ۳. مقادیر شاخص کیفیت مورفولوژیک (MQI) و طبقه بندی نهایی بازه های رودخانه سولاچای.

Table 3. Morphological Quality Index (MQI) values and final classification of the Sulachai River intervals.

بازه	بازه ۱	بازه ۲	بازه ۳	بازه ۴	بازه ۵	بازه ۶
MQI	۰/۸۱	۰/۲۹	۰/۶۱	۰/۸۱	۰/۶۱	۰/۶۵
کیفیت	خوب	خیلی ضعیف	متوسط	خوب	متوسط	متوسط

- Mekong River basin, *Journal of Hydrology*, 551: 217-232, doi:10.1016/j.jhydrol.2017.05.061 .
- Li Z, Cai S, Lei X and Wang L, 2022. Diagnosis of basin eco-hydrological variation based on index sensitivity of similar years: A Case Study in the Hanjiang River Basin. *Water*, 14(12), 1931. doi:10.3390/w14121931.
 - Mirzaei N, Ahmadabadi A and Safari A, 2023. Assessing and zoning of geomorphological quality of the Wardavard River in Tehran. *Applied Research in Geographical Sciences*, 75(24): 196–213, doi:10.61186/jgs.24.75.25 [In Persian with English Abstract].
 - Nosrati K, Rostami M and Etminan Z, 2020. Assessment of Taleghan River of hydrogeomorphological conditions using morphological quality index, *Hydrogeomorphology*, 6(21): 133-154, doi:10.1001.1.23833254.1398.6.21.7.2 [In Persian with English Abstract].
 - Poff NL, Allan JD, Bain MB, Karr JR, Prestegard KL, Richter BD, Sparks RE and Stromberg JC, 1997. The natural flow regime, A part for river conservation and restoration, *Bioscience*, 47(11): 769–784, doi:10.2307/1313099.
 - Poff NL, Richter BD, Arthington AH, Bunn SE, Naiman RJ, Kendy E and Acreman M, 2010. The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): A new framework for developing regional environmental flow standards, *Freshwater Biology*, 55(1): 147-170, doi:10.1111/j.1365-2427.2009.02204.x.
 - Rezaei M, Khaleghi S and Hosseinzadeh MM, 2023. The evaluation of hydromorphological conditions of Taleghan River using MQI and RQI methods for environmental planning, *Geography and Environmental Sustainability*, 12(4): 101-117, doi:10.22126/GES.2022.7973.2548 [In Persian with English Abstract].
 - Rinaldi M, Belletti B, Van de Bund W, Bertoldi W, Gurnell AM, Buijse T and Mosselman E, 2013. Restoring rivers for effective catchment management: D1.1 review on eco-hydromorphological methods. Reform. REFORM Deliverable 1.1, 1–109.
 - Rinaldi M, Gurnell AM, Del Tánago MG, Bussettini M and Hendriks D, 2016. Classification of river morphology and hydrology to support management and restoration. *Aquat Sci.* 78(1): 17-33, doi: 10.1007/s00027-015-0438-z
 - Tolabi S, Abedini M and Esmaali AA, 2016. Efficiency of WEPP model to predict sediment yield in Sulachai Watershed-Ardabil, *Journal of Watershed Management* 6(12): 184-192 [In Persian with English Abstract].