

## Research Paper



## Evaluating and Determining the Morphological State of Khormaroud River Using integrated Approach of the MQI and MQIm Indices



Gholamreza Khosravi<sup>1</sup>, Mehdi Teimouri<sup>2\*</sup>



This paper is an open access and licenced under the CC BY NC licence.



DOI:10.22034/HYD.2024.62649.1752

**Reference to this article:** Khosravi, Gholamreza; Teimouri, Mehdi. (2024). Evaluating and Determining the Morphological State of Khormaroud River Using integrated Approach of the MQI and MQIm Indices. *Hydrogeomorphology*, 11(41): 162 – 178.

### Keywords

**River rehabilitation,  
Morphological  
assessment,  
River management,  
Hydromorphology,  
Khormaroud,  
Golestan province.**

**Receive Date:** 2024/07/25

**Accept Date:** 2024/10/09

**Available:** 2025/01/19

### ABSTRACT

To describe and evaluate all the complexities and to develop river ecosystem management plans, it is necessary to examine all the components at different spatial and temporal scales. In this regard, a key step for this is hydromorphological characterization, looking at rivers from a perspective that discloses the relevant processes and forms. The aim of this study is to classify, evaluate, and determine the hydromorphological condition of the Khormaroud River in Golestan province, Iran, by employing the integrated application of the Morphological Quality Index (MQI) and the Morphological Quality Index for monitoring (MQIm). In the first step, using remote sensing and GIS, field survey as well as some data and hydromorphological information, the river system was divided into spatial units including bio-geographical regions, watersheds, landscapes, river segments, river reaches, and geomorphic units. In the second step, the main characteristics studied from the geographical units to the river segment and reach units were described. The above information is used to determine the hydromorphological status of reaches by MQI and MQIm methods. Based on the analysis of MQI, 15 reaches are placed in very poor and poor classes. In contrast, nine and two reaches are placed in moderate and good classes, respectively. The difference among MQI index values across the reaches is significant at 5% level. In addition, the difference among MQIm index values for the two periods, before and after human interventions, in the investigated reach is significant at 5% level. For most reaches, the lowest scores are related to the indicators of vegetation, functional, morphology, and stream changes, respectively. By integrating the MQI and MQIm indices, a more comprehensive view of the hydromorphological condition can be gained, particularly regarding its temporal changes, trends, and tendencies. The integration of the MQI and MQIm indices for hydromorphological condition assessment can be applied to other river basins in Iran by adapting the methods and approaches presented in the results of this study.

\* **Corresponding Author:** Mehdi Teimouri, M.T.

**E-mail:** [m.teimouri@ub.ac.ir](mailto:m.teimouri@ub.ac.ir)

1. Ph.D Graduated of Watershed Management Science and Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. [gh.khosravi63@gmail.com](mailto:gh.khosravi63@gmail.com)

2. Associate professor, Department of Nature Engineering, Shirvan Faculty of Agriculture. University of Bojnord. Iran. [m.teimouri@ub.ac.ir](mailto:m.teimouri@ub.ac.ir)

## Extended Abstract

### Introduction

To describe and evaluate all the complexities and to develop river ecosystem management plans, it is necessary to examine all the components at different spatial and temporal scales to describe and evaluate all the complexities to develop river ecosystem management plans. In this regard, a key step is hydromorphological characterization, looking at rivers from a perspective that discloses the relevant processes and forms. The aim of this study is to classify, evaluate, and determine the hydromorphological condition of the Khormarud River in Golestan province, Iran, by employing the integrated application of the Morphological Quality Index (MQI) and the Morphological Quality Index for monitoring (MQIm).

### Methodology

Hydro-morphological assessment framework and management plan cycle in river basins consists of four main steps of delineation and characterization of spatial units, hydro-morphological assessment of past, current and future trends, identification and prioritization of pressures and developing management plan and implementing measures for restoration and rehabilitation which this paper focuses on the second step of the aforementioned framework. In the first step, using remote sensing and GIS, field survey as well as some data and hydromorphological information, the river system was divided into spatial units including biogeographical regions, watersheds, landscapes, river segments, river reaches, and geomorphic units. At the second step, the main characteristics studied at the geographical scale include vegetation and climate type; in the watershed and landscape scales the main characteristics include geomorphology, hydrological balance, land cover/land use, water and sediment yield, and physical pressures on flow and sediment regime. Also, these characteristics in both river segment and reach scales include hydrological flow regime, sediment supply and transport, river morphology, river flow power and energy, distribution and longitudinal continuity, width of riparian vegetation, and physical pressures. The above information is used to determine the hydromorphological status of reaches by MQI and MQIm methods.

### Results and Discussion

Based on the analysis of MQI, 15 reaches are placed in very poor and poor classes. In contrast, nine and two reaches are placed in moderate and good classes, respectively. The difference among MQI index values across the reaches is significant at 5% level. In addition, the difference among MQIm index values for the two periods, before and after human interventions, in the investigated reach is significant at 5% level. For most reaches, the lowest scores are related to the indicators of vegetation, functional, morphology, and stream changes, respectively.

### Conclusions

Both the MQI and MQIm morphological evaluation indices are used in different time scales, so they can be considered as complements and not substitutes for hydromorphological condition assessment. By integrating the MQI and MQIm indices, a more comprehensive view of the hydromorphological condition can be gained, particularly regarding its temporal changes, trends, and tendencies. The integration of the MQI and MQIm indices for hydromorphological condition assessment can be applied to other river basins in Iran by adapting the methods and approaches presented in the results of this study.

## مقاله پژوهشی



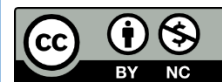
## کاربرد تلفیقی شاخص های MQI و MQIm به منظور ارزیابی و تعیین گرایش وضعیت مورفولوژیکی رودخانه خرمارود



غلامرضا خسروی<sup>۱</sup>، مهدی تیموری<sup>۲\*</sup>



این مقاله به صورت دسترسی باز و با لایسنس CC BY NC کپی‌رایت‌یو کامانز قابل استفاده است.



ارجاع به این مقاله: خسروی، غلامرضا؛ تیموری، مهدی (۱۴۰۳). کاربرد تلفیقی شاخص های MQI و MQIm به منظور ارزیابی و تعیین گرایش وضعیت مورفولوژیکی رودخانه خرمارود. هیدروژنومورفولوژی، ۱۱(۴۱): ۱۶۲-۱۷۸.

DOI:10.22034/hyd.2024.62649.1752



## چکیده

برای تو صیف و ارزیابی تمام پیچیدگی‌ها و همچنین تدوین برنامه‌های مدیریتی اکو سیستم‌های رودخانه‌ای بررسی تمام مؤلفه‌ها در مقیاس‌های مکانی و زمانی مختلف ضروری است. در این خصوص ارزیابی و توصیف هیدرومورفولوژیکی با هدف تعیین و تشریح فرآیندها و شکل‌های هیدرومورفولوژیکی به عنوان یک گام کلیدی محسوب می‌شود. هدف از این تحقیق، طبقه‌بندی، ارزیابی و تعیین گرایش وضعیت هیدرومورفولوژیکی رودخانه خرمارود در استان گلستان با استفاده از ادغام شاخص‌های ارزیابی مورفولوژیکی MQI و MQIm است. بدین منظور ابتدا با استفاده از تکنیک‌های سنجش از راه دور و GIS و عملیات پیمایش میدانی، واحدهای مکانی مختلف تفکیک و سپس ویژگی‌های مورد بررسی در مقیاس ناحیه جغرافیایی بررسی و اطلاعات فوق برای تعیین وضعیت مورفولوژیکی بازه‌های مکانی توسط روش‌های شاخص محور MQI و MQIm به کار گرفته شد. با توجه به نتایج طبقه‌بندی مورفولوژیکی MQI، ۱۵ بازه مکانی در طبقه خیلی ضعیف و ضعیف، ۹ بازه در طبقه متوسط و دو بازه در طبقه خوب قرار دارند. اختلاف مقادیر شاخص MQI در بین بازه‌های مکانی مورد مطالعه، در سطح پنج درصد معنی‌دار است. همچنین اختلاف مقادیر شاخص MQIm برای دو دوره قبل و بعد از مداخلات انسانی در بازه مکانی مورد بررسی نیز در سطح ۵ درصد معنادار است. برای اکثر بازه‌ها، کمترین امتیازها به ترتیب مربوط به شاخص‌های پوشش گیاهی، عملکرد، مورفولوژی و تغییرات آبراهه است. همچنین نتایج نشان داد با ادغام این دو شاخص می‌توان اطلاعاتی را در مورد تغییرات احتمالی از وضعیت کلی بازه‌های مکانی بخصوص روند یا گرایش آن فراهم نمود. کاربرد تلفیقی این شاخص‌ها با اعمال تغییرات موردی که در نتایج این تحقیق ارائه شده است برای سایر حوضه‌های رودخانه‌ای ایران قابل تعمیم است.

## کلیدواژه‌ها

احیا رودخانه،  
ارزیابی مورفولوژیکی،  
مدیریت رودخانه،  
هیدرومورفولوژی،  
خرمارود،  
استان گلستان.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۰/۳۰

\* نویسنده مسئول: مهدی تیموری

رایانامه: m.teimouri@ub.ac.ir

۱. دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران. gh.khosravi63@gmail.com

۲. دانشیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی شیروان، دانشگاه بجنورد، ایران. m.teimouri@ub.ac.ir

پایش رودخانه‌ها نقش مهمی در درک فرایندهای مرتبط با آب دارد که امروزه متأثر از دخالت انسان به سرعت در حال تغییر است (مانفردا و همکاران،<sup>۱</sup> ۲۰۲۴: ۶۵۷). سیستم‌های رودخانه‌ای دارای روابط پیچیده و واکنش‌های متقابل زیستی-زمین‌ساختی دارند و این پیچیدگی‌ها با فرایندها و تنوع زیستی رودخانه‌ها مرتبط است (ویلیامز و همکاران،<sup>۲</sup> ۲۰۲۰: ۱۳). اگرچه پیچیدگی یک تعریف جامع ندارد ولی به طور کلی به تغییرپذیری، بی‌نظمی، ناهموازی و تنوع شکلی زمین‌ساختاری مرتبط است و درک شرایط توپوگرافی سطحی مستلزم شناخت طیف وسیعی از روش‌های تحلیلی و بهره‌مندی از تنوع بیشتر رویکردهایی است که قادر به چنین بررسی‌هایی هستند (داوسن و همکاران،<sup>۳</sup> ۲۰۲۴: ۸۵۶). بر مبنای دستورالعمل شورای راهبری آب<sup>۴</sup> اتحادیه اروپا، از سال ۱۹۸۳ تا ۲۰۱۳ چندین روش ارزیابی وضعیت سیستم رودخانه در کشورهای اروپایی و غیر اروپایی توسعه یافته است. این دستورالعمل، کشورهای عضو اتحادیه اروپا را متعهد می‌کند که باید به وضعیت اکولوژیکی و شیمیایی مناسب همه پهنه‌های آبی دست یابند (مسلمان و همکاران،<sup>۵</sup> ۲۰۲۴: ۱). اغلب این روش‌ها مربوط به روش‌های ارزیابی زیستگاه‌های فیزیکی می‌باشند؛ در صورتی که ارزیابی کیفیت هیدرومورفولوژیکی و تغییرات آن مستلزم ارزیابی‌های دقیق شامل فرآیندهای فیزیکی و اشکال رودخانه‌ای و زیستگاه‌های فیزیکی در مقیاس مکانی و زمانی مناسب است (فریزر،<sup>۶</sup> ۲۰۱۵: ۶۵۲). برای هر یک از این روش‌ها، خصوصیات، اشکال، فرآیندها، شاخص‌ها، نقاط قوت و ضعف، محدودیت‌ها و امکان تلفیق رویکردهای مختلف و نیازها برای توسعه آینده، در منابع مختلف از جمله (بلیتی و همکاران،<sup>۷</sup> ۲۰۱۵: ۲۰۸۱)، به تفصیل تشریح شده است. هدف کلی از این ارزیابی‌ها، ساده‌سازی فرایندهای هیدرولیکی و رسوبی و پیش‌بینی رفتار رودخانه است (حسین زاده و همکاران، ۱۳۹۸: ۴۴). به طور کلی ۱۳۹ روش ارزیابی وجود دارند که بر اساس هدف، تمرکز اصلی و مقیاس مکانی در پنج گروه ارزیابی (ارزیابی زیستگاه فیزیکی، ارزیابی زیستگاه جوامع کناره رودخانه ارزیابی مورفولوژیکی، ارزیابی تغییرات رژیم هیدرولوژیکی و ارزیابی امکان و میزان تحرکات طولی ماهی‌ها در امتداد کانال) از هم متمایز شده‌اند. به طور کلی نقاط ضعف و محدودیت عمده اغلب روش‌های ارزیابی وضعیت هیدرومورفولوژی رودخانه به شرح زیر است:

الف) تمرکز و توجه ناکافی به فرآیندهای فیزیکی در ارزیابی وضعیت هیدرومورفولوژی یک محدودیت مهم است؛ زیرا توصیف زیستگاه‌های فیزیکی به تنهایی نمی‌تواند درک مناسبی از تغییرات، علت فشارها و بازخوردها را فراهم نماید (ماگلیولو و همکاران،<sup>۸</sup> ۲۰۲۲: ۳۵۶).  
 ب) در بسیاری از روش‌های ارزیابی رودخانه روی واحد مکانی بازه تمرکز دارند؛ بنابراین این روش‌ها برای ارزیابی و درک مناسب فرآیندهای فیزیکی و علت تغییرات رودخانه دارای محدودیت می‌باشند. زیرا اگرچه واحد مکانی بازه به عنوان مقیاس مکانی کلیدی رودخانه و دشت سیلابی است، اما وضعیت و پایداری آن تحت تأثیر فرآیندهای هیدرومورفولوژیکی و فعل و انفعال‌های مقیاس‌های مکانی بزرگتر و تغییرات آن‌ها در طول زمان است (هارون و همکاران،<sup>۹</sup> ۲۰۲۲: ۲).  
 ج) در بسیاری از روش‌های ارزیابی وضعیت رودخانه، به وضعیت حال حاضر و یا مقیاس زمانی کوتاه‌مدت پرداخته شده است. عدم توجه به مؤلفه‌های زمانی (زمان و گرایش تغییرات) و اثر مداخلات انسانی یکی از عمده‌ترین محدودیت‌های بسیاری از روش‌های طبقه‌بندی ژئومورفیکی است (رینالدی و همکاران،<sup>۱</sup> ۲۰۱۳: ۹۷، ۲۰۱۶a: ۱۸).

با توجه به محدودیت‌های روش‌های ارزیابی اشاره شده در فوق، طی پروژه REFORM، مطابق با اصول و الزامات WFD اتحادیه اروپا، به منظور ارزیابی و گرایش وضعیت هیدرومورفولوژیکی رودخانه‌ها، روش‌هایی را برای ارزیابی هیدرومورفولوژیکی مبتنی بر فرآیند توسعه ارائه شد که چگونگی شکل‌گیری پویایی رودخانه‌ها تحت تأثیر تغییرات طبیعی و انسانی در مقیاس کوچک و مقیاس بزرگ، در گذشته و حال را در نظر می‌گیرد. در این راستا یک چارچوب چند مقیاسی جدید بر مبنای تنظیمات اروپایی مانند چارچوب‌های سلسله‌مراتبی قبلی توسط گورنل و همکاران (۲۰۱۶) تنظیم شد. این چارچوب به کشورهای عضو اروپایی اجازه می‌دهد مجموعه داده‌ها، روش‌ها

1 - Manfreda et al

2 - Williams et al

3 - Dawson et al

4 - Water Framework Directive (WFD)

5 - Mosselman et al

6 - Fryirs

7 - Belletti et al

8 - Magliulo et al

9 - Haron et al

1 - Rinaldi et al

1 - Gurnell et al

0

1

و ابزارهای مدل سازی خود را ترکیب نموده و به مدل اضافه کنند. در این مدل می توان واحدهای فضایی را در مقیاس های مختلف مانند منطقه، حوضه آبریز، واحد، بخش، بازه، واحد ژئومورفیکی، واحد هیدرولیکی متمایز کرد. رینالدی و همکاران (۲۰۱۵) چارچوب جدید را با چهار مرحله ترسیم حوضه و خصوصیات فضایی سیستم رودخانه ای، ارزیابی تغییرات زمانی و شرایط فعلی، ارزیابی روندهای آینده مبتنی بر سناریو و مدیریت اصلاح نمودند. در نهایت شاخص کیفی مورفولوژیکی (MQI)<sup>۱</sup> و همچنین شاخص کیفی مورفولوژیکی برای پایش (MQIm) در چارچوب رویکرد سلسله مراتبی چند مقیاسی زمانی و مکانی توسعه داده شد (رینالدی و همکاران، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۶a). هدف روش MQI، ارزیابی، طبقه بندی و نظارت بر وضعیت مورفولوژیکی فعلی و هدف روش MQIm نظارت بر تمایل مورفولوژیکی شرایط (احیا یا تخریب) است. این شاخص ها در مقیاس های مکانی و زمانی متفاوت انجام می شوند، بنابراین می توان آنها را به عنوان مکمل هم در نظر گرفت. شاخص MQIm برای محاسبه تغییرات کوچک و مقیاس های زمانی کوتاه طراحی شده است. بنابراین این شاخص برای پایش و ارزیابی اثرات محیطی مداخلات مناسب است (رینالدی و همکاران، ۲۰۱۷). در مطالعات مختلف هر دو روش بکار گرفته شد و مشخص شد علیرغم اینکه شاخص MQI در اکوسیستم های فاقد پوشش گیاهی چوبی و متاثر از اثرات انسانی نیز نتایج خوبی به همراه داشته است (موشه و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۲۲) و مولر و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۲۲))، روش MQI به تنهایی قادر به تشخیص شرایط حاد رودخانه نبوده و مدل توسعه ای در ارزیابی، عملکرد بهتری داشته است (مانند بلتی و همکاران (۲۰۱۸) و رینالدی و همکاران (۲۰۲۰)).

در ایران نیز مطالعات صورت گرفته با شاخص MQI به کارا بودن این مدل نسبت به مدل های قبلی به دلیل نمره دهی اثر مداخلات انسانی (مانند نصرتی و همکاران (۱۳۹۸) و طالبی و همکاران (۱۴۰۰)) اشاره داشته اند. همچنین دخالت انسان و تغییر کاربری را دلیل اصلی قرار گرفتن رودخانه در طبقه متوسط عنوان نموده اند (مانند فندرسکی و همکاران، ۱۴۰۱). شرایط فیزیکی خاص آبریز تیل آباد و رودخانه خرمارود مانند شیب زیاد، سازندهای فرسایش پذیر و از طرفی مداخلات شدید انسانی در سطح حوضه و قلمرو این رودخانه، منجر به تغییرات شدید رژیم جریان و رسوب و به تبع وضعیت نامطلوب مورفولوژیکی رودخانه شده است. همچنین از آنجایی که در مطالعات قبلی به مقایسه و تلفیق هر دو مدل در چارچوب سلسله مراتب چند مقیاسی پرداخته نشده است، لذا در این تحقیق با استفاده از شاخص های توسعه یافته MQI و MQIm در چارچوب سلسله مراتب چند مقیاسی، گرایش وضعیت مورفولوژیکی بازه های مکانی رودخانه خرمارود در استان گلستان ارزیابی و تعیین می شود.

## مواد و روش ها

### حوضه آبریز مورد مطالعه

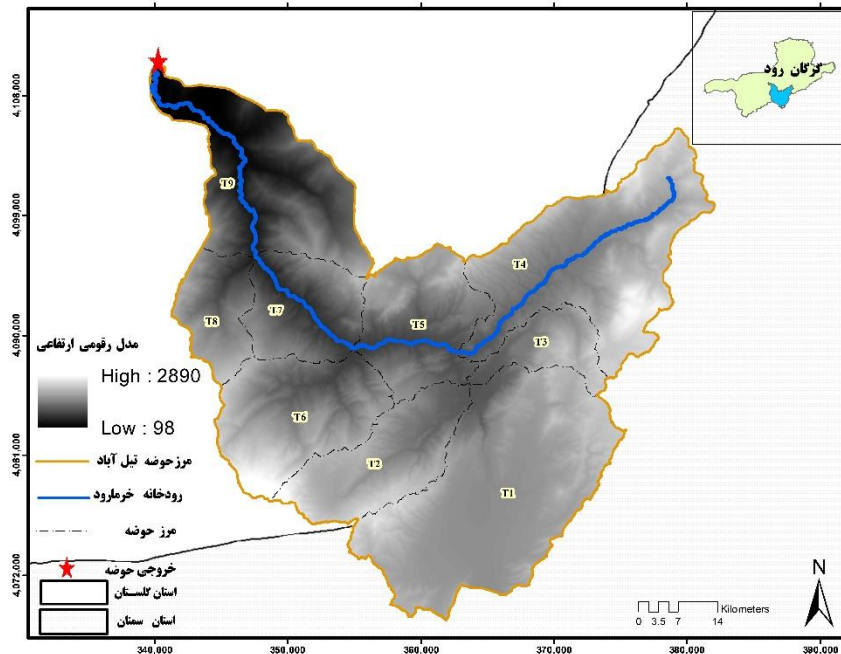
حوضه آبخیز تیل آباد که رودخانه خرمارود، آبراهه اصلی آن محسوب می شود در شمال کشور و شرق استان گلستان واقع شده و زیر حوضه ای از گرگان رود می باشد که از دامنه های شمالی رشته کوه های البرز سرچشمه گرفته و پس از پیوستن شاخه های فرعی متعددی به آن به دریای خزر می ریزد. این آبخیز حدود ۹/۳ درصد از کل حوضه گرگان رود را شامل شده و دارای ۹ واحد کاری یا پارسل می باشد. منطقه مورد مطالعه با مساحتی بالغ بر ۸۸۹۷۰ هکتار در عرض های جغرافیایی ۲° ۴۵' ۳۶" تا ۰° ۵' ۳۷" شمالی و طول های جغرافیایی ۷۵° ۱۲' ۵۵" تا ۳۷° ۴۰' ۵۵" شرقی قرار دارد. حداقل، حداکثر و میانه ارتفاع آبریز تیل آباد به ترتیب ۹۸، ۲۸۹۰ و ۱۳۵۰ متر از سطح دریا است. ایستگاه هیدرومتری تیل آباد و پل غزنوی در بالادست و ایستگاه هیدرومتری نوده خاندوز در پایین دست حوضه واقع شده اند (خسروی و همکاران، ۱۳۹۸). شکل ۱، موقعیت حوضه آبریز تیل آباد را در حوضه گرگان رود، استان گلستان و کشور ایران نشان می دهد.

<sup>۱</sup>- Morphological Quality Index (MQI)

<sup>۲</sup>- Morphological Quality Index for monitoring (MQIm)

<sup>۳</sup> - Moshe et al

<sup>۴</sup> - Muller et al



شکل (۱): موقعیت حوضه آبریز تیل آباد در حوضه گرگان رود، استان گلستان و کشور ایران

Figure (1): Location of the Til-abad Watershed in Gorganrud river basin, Golestan Province and Iran

### روش تحقیق

به طور کلی چهارچوب ارزیابی هیدرومورفولوژیکی و چرخه برنامه مدیریت در حوضه های رودخانه ای شامل چهار مرحله اصلی: (۱) مرزبندی و توصیف خصوصیات واحدهای مکانی (۲) ارزیابی وضعیت هیدرومورفولوژیکی گذشته تاکنون و گرایش آینده (۳) شناسایی محرکها، فشارها و اثرات در مقیاس های مکانی مختلف حوضه رودخانه (۴) تدوین برنامه مدیریتی و پیاده سازی اقدامات ساماندهی و احیا است که در منبع گرزل و همکاران (۲۰۱۴) تشریح شده است. تحقیق حاضر روی دومین گام چرخه مذکور تمرکز دارد و به ارزیابی وضعیت مورفولوژیکی سیستم رودخانه خرما رود با استفاده از شاخص MQI و MQIm پرداخته است.

### شاخص MQI، ساختار و ارزیابی

شاخص MQI در ابتدا به طور خاص برای حوضه های رودخانه ای کشور ایتالیا توسعه داده شده است سپس در طی پروژه REFORM، این روش با در نظر گرفتن دامنه گسترده تر از وضعیت های فیزیکی و همچنین منطبق با چارچوب سلسله مراتب چند مقیاسی مکانی و زمانی، برای طبقه بندی مورفولوژیکی رودخانه ها در مقیاس قاره اروپا، اصلاح و توسعه یافته است (رینالدی و همکاران، ۲۰۱۶b) که در آن علاوه بر ساختار کانال، فرآیندها نیز در نظر گرفته می شوند. مؤلفه های زمانی نیز با بررسی و تجزیه و تحلیل های شاخص های تغییرات ساختار کانال در طول زمان مورد بررسی قرار می گیرند.

در این روش برای ارزیابی کیفی مورفولوژیکی رودخانه بر اساس استاندارد CEN<sup>۱</sup> و الزامات WFD سه جنبه ۱- تداوم فرآیندهای رودخانه ای شامل پیوستگی عرضی و طولی؛ ۲- وضعیت مورفولوژی آبراهه شامل الگوی آبراهه، پیکربندی مقاطع عرضی و لایه بندی رسوبات بستر و ۳- پوشش گیاهی در نظر گرفته شده است. این جنبه ها در قالب سه مؤلفه ای (۱) عملکرد ژئومورفولوژیکی فرآیندها و اشکال رودخانه ای (F)، (۲) سازه و مداخلات انسانی (A) و (۳) تغییرات کانال (CA)، مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرند. همانطور که در جدول ۱ نشان داده شده است ۲۸ شاخص در روش MQI به کار برده شده است. شاخص های ارزیابی مؤلفه عملکرد ژئومورفولوژیکی

<sup>۱</sup> - Comité Européen de Normalisation

فرآیندها و اشکال رودخانه‌ای (F)، شامل پیوستگی انتقال بار رسوب و چوب، فرسایش کناره‌ای، دوره بازگشت طغیان سیلاب در دشت سیلابی، تنوع مورفولوژیکی در پلانفرم و مقاطع عرضی، قابلیت تحرک رسوبات بستر و فرآیندهای تحت تاثیر پوشش گیاهی است.

جدول (۱): لیست شاخص‌های روش MQI بر مبنای جنبه‌های اصلی و مؤلفه‌های ارزیابی (رینالدی و همکاران، ۲۰۱۵b).

Table (1): MQI index list based on main aspects and evaluation components (Rinaldi et al., 2015b)

تغییرات آبراهه (CA)	ساختارهای مصنوعی (A)	عملکردی (F)	پیوستگی	مورفولوژی
	A1,A2,A3,A4,A5	F1	طولی	
	A6,A7	F2,F3,F4,F5	جانبی	
CA1	A8 (A6)	F6, F7, F8	الگوی آبراهه	
CA2, CA3	(A4, A9, A10)	F9	مقطع عرضی	مورفولوژی
	A9, A10, A11	F10, F11	رسوبات بستر	
	A12	F12, F13	پوشش گیاهی	

لیست کلاس‌ها و امتیازات مربوط به شاخص‌ها در منبع رینالدی و همکاران (۲۰۱۳) ارائه شده است. سیستم امتیاز دهی به شاخص‌ها بر اساس نتایج کمی و کیفی فاز اول و همچنین قضاوت‌های کارشناسی توسعه داده شده است. به طور کلی بجز برای تعداد محدودی، برای هر یک از شاخص‌ها سه کلاس تعریف شده است (A- وضعیت بکر و یا وجود تغییرات ناچیز (قابل اغماض)؛ B- تغییرات متوسط؛ C- وضعیت بسیار تغییر یافته).

ابتدا وضعیت مرجع برای هر شاخص با توجه به سه مؤلفه قبلی (عملکردی، سازه و مداخلات انسانی و تغییرات کانال) تعیین می‌شود و در صورت عدم وجود یا وجود تغییرات ناچیز (کلاس A) و مقدار صفر به این کلاس داده می‌شود. برای شاخص‌های عملکردی، امتیاز ۲ تا ۳ که نشان دهنده تغییرات متوسط (کلاس B)، و امتیاز ۵ تا ۶ برای کلاس C (بیشترین تغییرات) بسته به اهمیت نسبی هر شاخص داده می‌شود. برای برخی از شاخص‌ها (به عنوان مثال: F2 و F10) یک کلاس چهارم برای بهتر نشان دادن اختلاف طبقات تغییرات اضافه شده است. برای شاخص‌های مصنوعی نیز یک رویکرد و امتیازدهی مشابه اتخاذ شده است. برای شاخص A2 (تغییرات دبی رسوب در بالادست) و A9 (سایر ساختارهای تثبیت کننده بستر)، بیش از سه کلاس تعیین شده است و بیشترین امتیاز به کلاس C2 و A2 (وجود یک سد در محدوده بالادست یک بازه) داده شده است زیرا این یک عامل بسیار قوی مصنوعی است. در خصوص شاخص‌های تغییرات کانال (CA1 و CA2) امتیاز ۳ برای کلاس B و امتیاز ۶ برای کلاس C داده می‌شود. در حالی که برای شاخص تغییرات سطح اساس بستر (CA3) یک کلاس چهارم (C2) با امتیاز ۱۲ معین شده است تا برای مواردی که تغییرات سطوح بستر چشمگیر (بیشتر از شش متر) است محاسبه شود.

امتیاز کل از طریق مجموع امتیازات همه مولفه‌ها محاسبه می‌شود. ابتدا شاخص تغییرات مورفولوژیکی<sup>۱</sup> بر اساس رابطه ۱ تعیین می‌شود.

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

که در آن مجموع امتیازات معین شده برای هر شاخص و Smax مجموع امتیاز حداکثر همه شاخص‌ها در کلاس C است. بنابراین دامنه MAI از صفر (بدون تغییرات) تا یک (حداکثر تغییرات) متغیر است، سپس شاخص MQI به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$MQI = 1 - MAI = 1 - Stot/Smax \quad (2)$$

این شاخص نسبت مستقیمی با کیفیت مورفولوژیکی بازه و نسبت معکوسی با شاخص تغییرات مورفولوژیکی بازه دارد و از صفر (حداقل کیفیت) تا یک (حداکثر کیفیت) متغیر است. طبقه بندی کیفی شاخص مورفولوژیکی MQI در جدول ۲ ارائه شده است.

<sup>1</sup> - Morphological Alteration Index (MAI)

جدول (۲): طبقه بندی کیفی شاخص مورفولوژیکی MQI (رینالدی و همکاران، 2015a).

Table (2): Qualitative classification of MQI index (Rinaldi et al., 2015b)

کلاس کیفی	MQI
خیلی ضعیف یا بد	$0 \leq MQI < 0/3$
ضعیف	$0/3 \leq MQI < 0/5$
متوسط	$0/5 \leq MQI < 0/7$
خوب	$0/7 \leq MQI < 0/85$
خیلی خوب یا عالی	$0/85 \leq MQI \leq 1$

### شاخص MQIm

شاخص MQIm به صورت خاص برای بررسی تغییرات کوچک (مانند بخش های نسبتا کوچک بازه) و مقیاس زمانی کوتاه (چند سال) طراحی شده است. بنابراین برای ارزیابی اثرات زیست محیطی مداخلات و اقدامات انسانی از جمله کنترل سیلاب و فعالیت های ساماندهی، مناسب است. امتیازدهی در بسیاری از شاخص های MQIm بر اساس توابع پیوسته ریاضی است. در این روش، شاخص ها بر اساس وجود و یا عدم وجود معیارها و عمدتا بر اساس مشاهدات و تفسیرهای میدانی تعیین می شوند. با این حال برای این شاخص ها، یک سری توابع ریاضی بر اساس پارامترهای کمی نیز در نظر گرفته شده است (جدول ۳).

جدول (۳): شاخص های روش MQIm (بلتی و همکاران، ۲۰۱۵a)

Table (3): MQIm method indicators (Belletti et al., 2015)

عملکردی	اقدامات مصنوعی
F2, F3, F5, F6, F7, F9, F12, F13	A2, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A12

مشابه روش MQI، شاخص کیفی مورفولوژیکی برای پایش (MQIm) نیز بر اساس معادله زیر تعیین می شود.

$$MQIm = 1 - Stot/Smax \quad (3)$$

که در آن  $Stot$ ، مجموع امتیازهای به دست آمده از شاخص ها و  $Smax$  حداکثر امتیازی که می توان به دست آورد و این زمانی است که تمام شاخص ها حداکثر امتیاز ممکن را کسب کرده باشند.

### نتایج و بحث

تفکیک واحدهای مکانی حوضه آبریز در چارچوب رویکرد سلسله مراتبی - چند مقیاسی

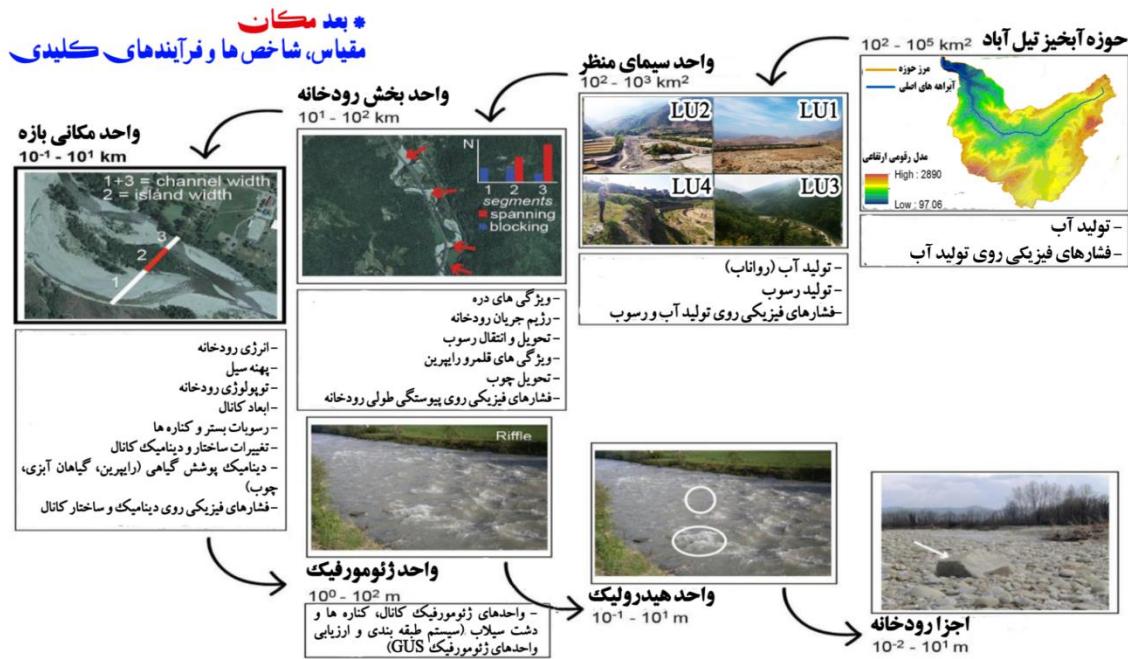
در این بخش نتایج نهایی تفکیک واحدهای مکانی به صورت سلسله مراتبی (از واحد ناحیه جغرافیایی تا واحد بازه رودخانه) در جدول ۴ آورده شده است. در شکل ۲ نمایی از سلسله مراتب تفکیک واحدهای مکانی حوضه مورد مطالعه و ویژگی های بررسی شده در هر واحد مکانی را نشان می دهد.



جدول (۴): ویژگی‌های مورفولوژیکی بازه‌های مکانی رودخانه آبریز تیل آباد  
Table (4): The reach units' morphological characteristics of the Til-abad watershed

میانگین عرض دشت سیلابی (m)	میانگین عرض مقطع کانال (m)	قطر رسوبات غالب	شیب بستر (%)	مورفولوژی	نوع محدودیت	طول (m)	بازه	بخش	سیمای منظر	زیرحوضه
۶۳/۵	۲۴/۳	C/B	۶/۶	SS	C	۱۴۲۸	R.1.1	S1	LU1	T1, T2, T3, T4
۸۰/۷۵	۳۲	C	۴/۳	SS	C	۱۲۸۴	R.1.2			
۸۹	۶۰/۵	C/G	۳/۹	SS	C	۳۳۶۰	R.1.3			
۱۳۲/۵	۵۹	C/G	۳/۴	TW	PC	۳۵۹۴	R.1.4			
۲۶۸/۵	۸۳/۴	G/C	۳/۶	MB	PC	۱۸۸۳	R.1.5			
۲۰۰/۳	۸۱	G/C	۲/۸	MB	PC	۱۳۴۷	R.1.6			
۱۸۰	۸۵	G/C	۲/۹	MB	PC	۱۹۵۷	R.2.1	S2	LU2	T5, T6, T7
۱۵۲/۷	۱۰۴/۵	G/C	۳	MB	C	۶۲۳۲	R.2.2			
۲۲۰	۱۲۰	G/C	۲/۸	TW	PC	۲۶۳۴	R.2.3			
۱۴۷/۴	۱۰۸/۵	G/C	۲/۲	TW	C	۱۱۱۸	R.2.4			
۳۰۵/۵	۱۶۱/۵	G	۲/۳	MB	PC	۳۰۳۸	R.3.1	S3	LU3	T8, T9
۲۶۸	۱۱۷/۵	G/C	۲/۳	MB	PC	۲۶۵۳	R.4.1	S4		
۳۰۲/۷	۹۴	G	۲/۱	MB	PC	۲۲۴۱	R.4.2			
۲۵۰	۱۰۹	G/S	۲/۶	MB	PC	۳۰۸۵	R.5.1	S5		
۲۰۷	۱۲۸/۷	G/S	۱/۹	TW	PC	۱۴۷۸	R.5.2			
۲۳۰	۱۱۰/۵	G/S	۱/۵	TW	PC	۸۱۰	R.5.3			
۱۵۰/۸	۹۹/۵	G/S	۲/۸	TW	C	۲۶۹۵	R.5.4			
۱۷۶/۷	۹۴/۸	G/S	۲/۵	TW	PC	۲۷۲۳	R.5.5			
۲۱۰/۸	۱۰۴/۸	G/S	۲	TW	PC	۳۶۳۶	R.6.1	S6	LU3	T8, T9
۱۲۲	۸۸	G/C	۲/۳	SS	C	۴۲۱۲	R.6.2			
۲۴۲/۴	۸۴/۵	G/S	۱/۵	SS	PC	۱۰۱۸	R.6.3			
۳۰۳/۵	۱۱۵/۵	G/S	۱/۸	SS	PC	۱۵۲۸	R.7.1	S7	LU3	T8, T9
۴۵۷/۴	۱۰۹/۵	S/G	۱/۷	-	Ha	۲۲۸۵	R.7.2			
۱۶۶۱	۱۰۸/۷	S/G	۱/۴	SS	U	۲۹۵۱	R.8.1	S8	LU4	T9
۱۰۱۱	۹۷/۸	S/Si	۱	SM	U	۶۰۲۲	R.8.2			
۱۰۰۱/۵	۱۲۹/۳	Fs/Si	۰/۸	SM	U	۱۷۵۸	R.8.3			

نوع محدودیت (C=محدود، PC=نسبتاً محدود، U=نامحدود)، Ha=مجاری نوع صفر، مورفولوژی الگوی کانال (SS=تک شاخه‌ای - سینو سی، SM=تک شاخه‌ای - پیچان رود، TW=انتقالی سرگردان، MB=چند شاخه‌ای - شریانی)، قطر رسوبات غالب (B=تخته سنگ، C=قلوه سنگ، G=شن، S=ماسه، Fs=ماسه ریز، Si=سیلت)



شکل (۲): نمایی از سلسله مراتب تفکیک واحدهای مکانی حوزه مورد مطالعه

Figure (2): A view of the spatial units of the studied watershed

### ارزیابی وضعیت بازه های مکانی توسط شاخص MQI

نتایج امتیازهای مربوط به هر شاخص و طبقه مورفولوژیکی MQI برای بازه های مکانی مختلف به طور خلاصه در جدول ۵ نشان داده شده است همچنین در شکل ۳ به طور نمونه برای بازه های واحد بخش یک، نتایج کمی امتیاز شاخص های عملکردی، مداخلات انسانی و تغییرات کانال و مقایسه بین آنها نشان داده شده است. بر اساس نتایج جدول ۵، دو بازه در طبقه خیلی ضعیف، ۱۳ بازه در طبقه ضعیف، ۹ بازه در طبقه متوسط و ۲ بازه در طبقه خوب قرار دارند. به طور کلی از بالادست رودخانه به سمت پایین دست، وضعیت هیدرومورفولوژیکی بازه ها ضعیف تر می شود. برای اکثر بازه ها، کمترین امتیازها به ترتیب مربوط به شاخص های پوشش گیاهی، عملکردی، مورفولوژی و تغییرات آبراهه است. تراکم و پیوستگی عرضی و طولی پوشش گیاهی در تمامی بازه های مورد مطالعه از گذشته تا کنون به علت مداخلات و تعرضات انسانی، کاهش شدید و معنی داری داشته است. به منظور بررسی سطح معنی داری تفاوت مقادیر شاخص MQI بین بازه های مکانی مورد مطالعه از آزمون تحلیل واریانس استفاده شد. نتایج این بخش در جدول ۶ آورده شده است. همان طور که مشخص است اختلاف مقادیر شاخص MQI در بین بازه های مکانی مورد مطالعه، در سطح ۵ درصد معنی دار است. تمامی شاخص ها برای بازه های شماره R.7.1 و R.8.2 نسبت به سایر بازه ها کمتر است و در طبقه خیلی ضعیف قرار دارند این بازه ها علاوه بر تحت تاثیر قرار گرفتن تغییر رژیم جریان و رسوب بالادست، مداخلات و تعرضات زیادی در قلمرو آن وجود دارد به طوری که مورفولوژی و رژیم جریان و رسوب بازه های پایین دست نیز تحت تاثیر این بازه ها قرار گرفته است.

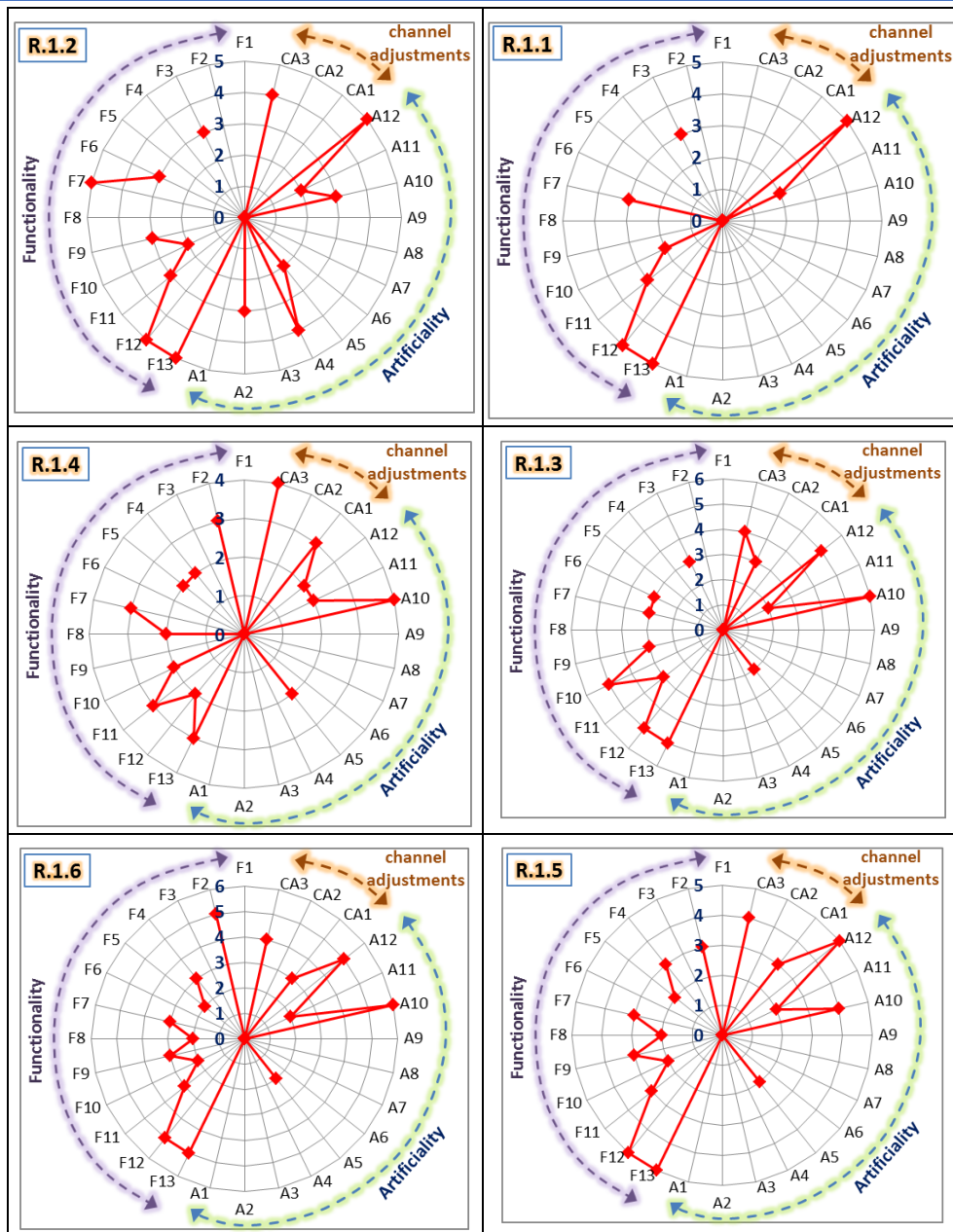
نتایج امتیازهای مربوط به هر شاخص و طبقه مورفولوژیکی نتایج امتیازهای مربوط به هر شاخص و طبقه مورفولوژیکی بازه های مکانی مختلف به طور خلاصه در جدول ۵ نشان داده شده است همچنین در شکل ۳ به طور نمونه برای بازه های واحد بخش یک، نتایج کمی امتیاز شاخص های عملکردی، مداخلات انسانی و تغییرات کانال و مقایسه بین آنها نشان داده شده است. بر اساس نتایج جدول ۵، دو بازه در طبقه خیلی ضعیف، ۱۳ بازه در طبقه ضعیف، ۹ بازه در طبقه متوسط و ۲ بازه در طبقه خوب قرار دارند. به طور کلی از بالادست رودخانه به سمت پایین دست، وضعیت هیدرومورفولوژیکی بازه ها ضعیف تر می شود. برای اکثر بازه ها، کمترین امتیازها به ترتیب مربوط به شاخص های پوشش گیاهی، عملکردی، مورفولوژی و تغییرات آبراهه است. تراکم و پیوستگی عرضی و طولی پوشش گیاهی در تمامی بازه های مورد مطالعه از گذشته تا کنون به علت مداخلات و تعرضات انسانی، کاهش شدید و معنی داری داشته است. به منظور بررسی سطح معنی داری تفاوت مقادیر شاخص بین بازه های مکانی مورد مطالعه از آزمون تحلیل واریانس استفاده شد. نتایج این بخش در جدول ۶ آورده شده است. همان طور که مشخص است اختلاف مقادیر شاخص در بین بازه های مکانی مورد مطالعه، در

سطح ۵ درصد معنی دار است. امتیاز تمامی شاخص ها برای بازه سایر بازه ها کمتر است و در طبقه خیلی ضعیف قرار دارند این بازه ها علاوه بر تحت تاثیر قرار گرفتن تغییر رژیم جریان و رسوب بالادست، مداخلات و تعرضات زیادی در قلمرو آن وجود دارد به طوری که مورفولوژی و رژیم جریان و رسوب بازه های پایین دست نیز تحت تاثیر این بازه ها قرار گرفته است. نسبت به سایر بازه ها کمتر است و در طبقه خیلی ضعیف قرار دارند این بازه ها علاوه بر تحت تاثیر قرار گرفتن تغییر رژیم جریان و رسوب بالادست، مداخلات و تعرضات زیادی در قلمرو آن وجود دارد به طوری که مورفولوژی و رژیم جریان و رسوب بازه های پایین دست نیز تحت تاثیر این بازه ها قرار گرفته است.

جدول (۵): شاخص های هیدرومورفولوژیکی MQI برای بازه های مکانی رودخانه خرمارود  
Table (5): MQI hydromorphological indices for the spatial units of Khormarood River

طبقه	MQI	تغییرات آبراهه			سازه/مداخلات انسانی												عملکردی										بازه				
		CA3	CA2	CA1	A12	A11	A10	A9	A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	F13	F12	F11	F10	F9	F8	F7	F6	F5	F4		F3	F2	F1	
خوب	۰/۷۷	A	A	A	C	B	A	A	#	#	A	A	A	A	A	A	C	C	C	B	A	#	B	A	#	#	B	#	A	R.1.1	
متوسط	۰/۵۷	B	A	A	C	B	B	A	#	#	A	B	B	A	B1	A	C	C	C	B	B	#	C	B	#	#	B	#	A	R.1.2	
متوسط	۰/۵۸	B	B	A	C	B	C	A	#	#	A	B	A	A	A	A	C	C	C	C1	B	#	B	B	#	#	B	#	A	R.1.3	
خوب	۰/۷۳	B	A	B	B	B	B2	A	A	A	A	B	A	A	A	A	B	B	C	B	A	B	B	#	B	B	#	B2	A	R.1.4	
متوسط	۰/۶۶	B	A	B	C	B	B2	A	A	A	A	B	A	A	A	A	C	C	C	B	B	B	B	#	B	C	#	B2	A	R.1.5	
متوسط	۰/۶۸	B	A	B	C	B	C	A	A	A	A	B	A	A	A	A	C	C	C	B	B	B	B	#	B	C	#	B2	A	R.1.6	
متوسط	۰/۶۴	B	A	B	C	B	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	C	C	B	B	B	B	#	B	C	#	C	A	R.2.1	
متوسط	۰/۶۴	B	A	B	C	B	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	C	C	B	B	B	B	#	B	C	#	C	A	R.2.2	
ضعیف	۰/۴۶	B	B	B	C	A	C	A	B	B	A	B	B	A	B1	A	C	C	C	C1	C	B	B	#	B	C	#	C	C	R.2.3	
ضعیف	۰/۴۶	B	B	B	C	A	C	A	B	B	A	B	B	A	B1	A	C	C	C	C1	C	B	B	#	B	C	#	C	C	R.2.4	
متوسط	۰/۵۳	B	C	B	B	A	C	A	B	A	A	A	A	A	B1	B	C	C	C	C1	B	C	B	#	B	C	#	C	B	R.3.1	
ضعیف	۰/۴۸	B	C	B	C	A	C	A	C	A	B	A	A	A	B1	B	C	C	C	C1	B	C	B	#	B	C	#	C	B	R.4.1	
ضعیف	۰/۴۸	B	C	B	C	A	C	A	C	A	B	A	A	A	B1	B	C	C	C	C1	B	C	B	#	B	C	#	C	B	R.4.2	
ضعیف	۰/۴۴	B	B	B	C	B	C	A	C	A	C	B	A	A	B1	B	C	C	C	C1	C	C	B	#	B	B	#	C	B	R.5.1	
ضعیف	۰/۴۸	B	B	B	C	B	C	A	C	A	B	A	A	A	B1	B	C	C	C	C1	C	C	C	B	#	B	B	#	C	B	R.5.2
ضعیف	۰/۴۹	B	B	B	C	B	C	A	C	A	C	A	B	A	A	B1	B	C	C	C	C1	C	C	B	#	B	B	#	C	B	R.5.3
ضعیف	۰/۴۸	B	B	A	B	B	C	A	#	#	A	B	A	A	B1	B	C	C	C	C1	B	#	B	B	#	#	C	#	B	R.5.4	
ضعیف	۰/۴۷	B	C	B	B	B	C	A	C	A	B	B	A	A	B1	B	C	C	C	C1	B	B	B	#	B	B	#	C	B	R.5.5	
ضعیف	۰/۴۷	B	C	B	B	B	C	A	B	B	C	A	A	A	B1	B	C	C	C	C1	C	B	B	#	B	B	#	C	A	R.6.1	
متوسط	۰/۶۹	B	B	A	B	B	B	A	#	#	A	A	A	A	B1	B	B	B	C	#	A	#	B	#	#	#	B	#	A	R.6.2	
ضعیف	۰/۴۶	B	B	B	B	B	C	A	C	A	C	B	A	A	B1	B	C	C	C	C1	C	C	B	#	B	C	#	C	B	R.6.3	
ضعیف	۰/۴۰	C1	B	C	B	B	B2	C	C	A	C	C	A	A	B1	B	C	C	C	C1	B	C	C	#	C	C	#	C	B	R.7.1	
خیلی ضعیف	۰/۲۹	C1	B	C	B	B	B2	B	C	A	C	C	B	C	B1	B	C	C	C	C1	C	C	C	#	C	C	#	C	C	R.7.2	
متوسط	۰/۵۱	B	B	B	B	B	C	A	C	A	A	A	B	B	B1	B	B	C	C	C1	B	C	B	#	A	A	#	C	C	R.8.1	
خیلی ضعیف	۰/۲۹	B	B	C	C	B	B2	A	C	B	B	B	B	B	B1	B	C	C	C	C1	C	C	C	#	C	C	#	B2	C	R.8.2	
ضعیف	۰/۴۲	B	B	C	B	A	B2	B	C	A	B	B	B	A	B1	B	C	C	C	C1	C	B	C	#	B	C	#	C	C	R.8.3	

# با توجه به ویژگی های بازه مورد نظر، شاخص به آن تعلق نمی گیرد



شکل (۳): امتیاز شاخص های عملکردی، مصنوعی و تغییرات کانال در روش MQI برای بازه های واقع در واحد مکانی بخش شماره ۱  
 Figure (3): The score of functional, artificial and channel change indicators in the MQI method for the intervals located in the spatial unit of sector number 1

جدول (۶): نتایج آزمون سطح معنی داری تفاوت مقادیر شاخص های MQI بین بازه های مکانی مورد مطالعه

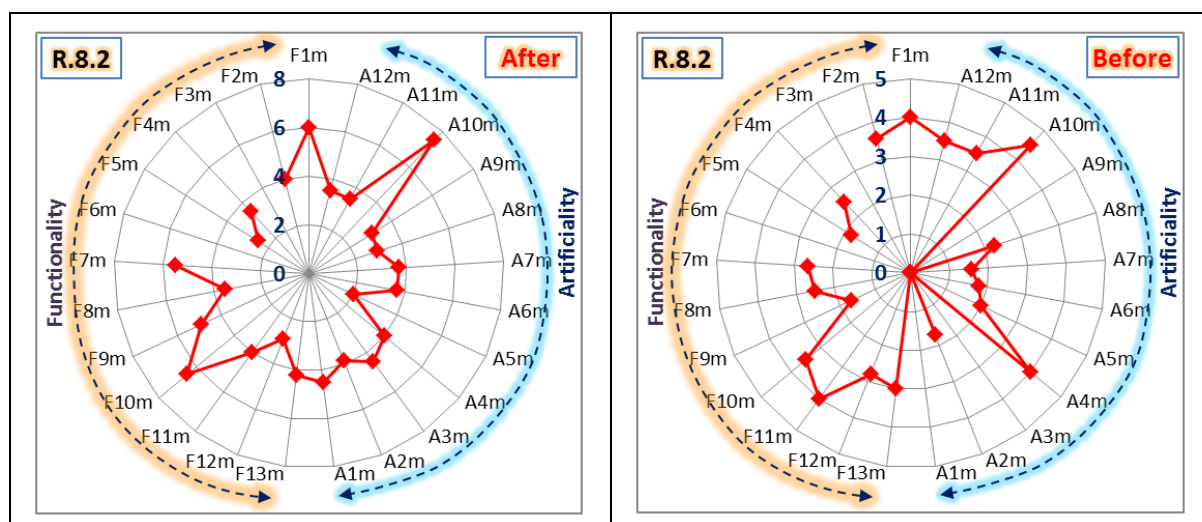
Table (6): The results of the significance test in MQI index values between the studied spatial units

Sig.	F	حداکثر	حداقل	انحراف از معیار	میانگین شاخص های MQI	تعداد بازه	طبقه MQI
		۰/۷۷	۰/۷۳	۰/۰۲۸	۰/۷۵	۲	خوب
		۰/۶۹	۰/۵۱	۰/۰۶۵	۰/۶۱	۹	متوسط
۰/۰۰	۵۵/۸	۰/۴۹	۰/۴۰	۰/۰۲۶	۰/۴۶	۱۳	ضعیف
		۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۰۰	۰/۲۹	۲	خیلی ضعیف

ارزیابی وضعیت بازه های مکانی توسط شاخص MQIm

همانطور که اشاره گردید برای ارزیابی اثرات مداخلات انسانی روی ویژگی های هیدرومورفولوژیکی بازه توسط شاخص MQIm نیاز به اطلاعات دقیق و با جزئیات بیشتر است. لذا با وجود اینکه اغلب بازه های مکانی مورد مطالعه متاثر از مداخلات انسانی و تغییراتی مصنوعی شده است، اطلاعات مورد نیاز از گذشته تا کنون برای بازه های مورد مطالعه اندک است. از طرفی به علت تعداد زیاد بازه ها، تحلیل شاخص مذکور به صورت موردی برای بازه R.8.2 به منظور ارزیابی اثرات قبل و بعد از مداخلات انسانی (برداشت مصالح، سازه و تعرض به حریم رودخانه) در ادامه آورده شده که در شکل ۴ نتایج ارائه شده است. امتیاز شاخص قبل از اختلال ۰/۷۵ و بعد از اختلال ۰/۵۵ محاسبه شد.

به منظور ارزیابی سطح معنی داری اثرات مداخلات انسانی روی ویژگی های هیدرومورفولوژیکی بازه مکانی R.8.2، نتایج شاخص MQIm برای دو دوره قبل و بعد از مداخلات انسانی با استفاده از آزمون t جفت شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بخش در جدول ۷ آورده شده است. همان طور که مشخص است اختلاف مقادیر شاخص MQIm برای دو دوره قبل و بعد از مداخلات انسانی در بازه مکانی R.8.2 در سطح ۵ درصد معنی دار است. نمونه ای از مستندات میدانی و سنجش از دوری چند بازه به عنوان نمونه در شکل های ۵ تا ۱۰ آورده شده است.



شکل (۴): مقادیر شاخص های MQIm برای بازه مکانی R.8.2 در دو شرایط قبل و بعد از اختلالات ناشی از مداخلات انسانی  
 Figure (4): Values of MQIm indices for spatial interval R.8.2 in two conditions before and after disturbances caused by human interventions

جدول (۷): نتایج آزمون سطح معنی داری اختلاف مقادیر شاخص های MQIm برای بازه مکانی R.8.2 در دو شرایط مداخلات انسانی با استفاده از آزمون t جفت شده

Table (7): The results of the significance test of the MQIm indicators for the spatial interval R.8.2 in two conditions of human interventions using the paired t test

شاخص	قبل/بعد مداخلات	تعداد شاخص	میانگین شاخص	انحراف از معیار	سطح معنی داری
عملکردی	قبل	۱۱	۲/۹	۰/۷۹	۰/۰۳
	بعد		۴/۳	۱/۲۷	
	قبل	۱۲	۲/۰۶	۱/۵۶	
سازه / مداخلات انسانی	بعد		۳/۸۶	۱/۳۳	۰/۰۴



شکل (۵): نمایی از پروفیل طولی و عمقی بستر اخیر و تاریخی رودخانه، نمونه برای قلمرو بازه R.8.3

Figure (5): A view of the longitudinal and depth profile of the recent and historical riverbed, an example for the reach of the R.8.3



شکل (۶): نمایی از تراس های رودخانه ای قدیم و جدید، نمونه برای قلمرو بازه R.8.1 و R.8.2

Figure (6): A view of the old and new river terraces, example for the reach of the R.8.2 and R.8.1



شکل (۷): نمایی از وضعیت برداشت غیراصولی مصالح رودخانه، نمونه برای قلمرو بازه R.7.2 و R.6.3

Figure (7): A view of the situation of non-principal harvesting of river materials, example for the reach of R.7.2 and R.6.3



شکل (۸): نمایی از وضعیت اراضی زراعی در بستر سیل، نمونه برای قلمرو بازه R.6.1

Figure (8): A view of the condition of agricultural lands in the flood bed, an example for the reach of the R.6.1



شکل (۹): نمونه ای از تغییرات پلان رودخانه در واحد بخش ۷ و ۸ در سه بازه زمانی ۱۳۳۴، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۶

Figure (9): An example of the changes in the river plan in the 7th and 8th sectors in three periods of 1955, 2011 and 2017



شکل (۱۰): نمایی از وجود دامنه و کناره های لغزشی و فرسایش پذیر، نمونه برای قلمرو بازه R.1.5 و R.8.1

Figure (10): A view of the existence of the domain and the sliding and eroding sides, an example for the territory of the reach of the R.8.1 and R.1.5

### نتیجه گیری

روش های  $MQI$  و  $MQIm$  در مقیاس زمانی متفاوت انجام می شود، بنابراین می توان آنها را به عنوان مکمل و نه جایگزین هم در نظر گرفت. در نتیجه می توان اطلاعاتی را در مورد تغییرات احتمالی از وضعیت کلی بازه های مکانی بخصوص روند یا گرایش آن فراهم نمود. بر اساس نتایج این تحقیق، ضمن تایید مناسب بودن هر دو روش که بلتی و همکاران (۲۰۱۸) نیز به آن اشاره نموده بودند، جمع بندی طبقه بندی و ارزیابی وضعیت مورفولوژیکی و روند تغییرات در بازه های مکانی مختلف به شرح زیر می باشد:

- با توجه به نتایج طبقه بندی مورفولوژیکی  $MQI$ ، ۲ بازه در طبقه خیلی ضعیف، ۱۳ بازه در طبقه ضعیف، ۹ بازه در طبقه متوسط و ۲ بازه در طبقه خوب قرار دارند. برای اکثر بازه ها، کمترین امتیازها مربوط به ترتیب مربوط به شاخص های پوشش گیاهی، عملکردی، مورفولوژی و تغییرات آبراهه است. تراکم و پیوستگی عرضی و طولی پوشش گیاهی در تمامی بازه های مورد مطالعه از گذشته تاکنون به علت مداخلات انسانی، کاهش شدید و معنی داری داشته است.

- اختلاف مقادیر شاخص  $MQIm$  برای دو دوره قبل و بعد از مداخلات انسانی در بازه مکانی R.8.2 در سطح ۵ درصد معنی دار است.  
- شاخص های مورفولوژیکی  $MQI$  و  $MQIm$  با در نظر گرفتن موارد زیر برای اغلب حوضه های رودخانه ای در ایران قابلیت تعمیم دارد که نصرتی و همکاران (۱۳۹۸) نیز در مورد روش  $MQI$  به آن اشاره داشتند:

۱- در این روش برای بازه هایی که تحت تأثیر یک نوع مداخلات انسانی مخرب مانند برداشت مصالح در بستر و یا دشت آبرفتی قرار گرفته اند، فقط امتیاز مربوط به شاخص A10، برداشت رسوب که حداکثر امتیاز آن ۶ است در نظر گرفته شده است و در صورت بالا بودن امتیاز سایر شاخص ها، در مجموع اهمیت شاخص اقدام مخرب مانند برداشت مصالح کم می شود. لذا با وجود تغییرات شدید مورفولوژیکی ناشی از برداشت مصالح و خارج شدن از وضعیت طبیعی اغلب رودخانه های در ایران، ضرورت دارد دامنه امتیاز شاخص های مربوط به اقدامات مخرب اصلاح نمود.

- ۲- برخی از شاخص‌های روش MQI و دامنه امتیازهای آنها منطبق با شرایط رودخانه‌های مناطق سرد و خشک و گرم و خشک کشور ایران نمی‌باشد، در این خصوص نیاز هست طی مطالعات موردی، این روش را برای مناطق مختلف بومی سازی نمود. موشه و همکاران (۲۰۲۲) نیز به نتایج مناسب ناشی از بومی سازی مدل MQI اشاره داشتند.
- ۳- برای شاخص F13 باید شرایط حادثه در مورد پوشش کنار رودخانه‌ای و عملکردی ارائه و اضافه کرد.
- ۴- این روش دیدگاه ژئومورفولوژیکی دارد و رودخانه‌هایی که شرایط آزاد و بدون مداخلات دارند بیشترین امتیاز را کسب می‌کنند. حتی استفاده از بندهای اصلاحی تثبیت رسوب منجر به کاهش امتیاز می‌شود.
- ۵- شاخصی مانند وجود مداخلات و تصرفات انسانی مانند منازل مسکونی در حریم رودخانه تعیین نشده است.
- ۶- به طور کلی در بخش امتیازدهی روش MQI، وضعیت‌های خیلی حادثه‌تری هم وجود دارد که در نظر گرفته نشده است؛ زیرا وضعیت مرجع در رودخانه‌های اروپا مناسب‌تر است و شرایطی که اغلب رودخانه‌ها در ایران دارند برای آن‌ها وجود ندارد.

## منابع

- Belletti, B., Nardi, L., Lastoria, B. & Golfieri, B. (2015a), Guidebook for the evaluation of stream morphological conditions by the Morphological Quality Index (MQI), Deliverable D6.2 Part 3. Of REFORM (REstoring rivers FOR effective catchment Management), a Collaborative project (large-scale integrating project) funded by the European Commission within the 7th Framework Programme under Grant Agreement 282656.
- Belletti B., Rinaldi M., Gurnell A. M., Buijse A. D. & Mosselman, E. (2015b). A review of methods for river hydromorphological assessment. *Environmental Earth Sciences*, 73, 2079–2100.
- Belletti, B., Nardi, L., Rinaldi, M. et al. (2018). Assessing Restoration Effects on River Hydromorphology Using the Process-based Morphological Quality Index in Eight European River Reaches. *Environmental Management*, 61, 69–84.
- Dawson, C., Ashmore, P., & Corry, R. (2024). Evaluating river morphology change with a geomorphic form variation approach. *Earth Surface Processes and Landforms*, 49(2), 855-874.
- Fendereski, N., Masoudian, M., & Roucher, K. (2022). Evaluating the hydromorphological condition of Tajan River using HMQUI Method. *Watershed Engineering and Management*, 14(2), 185-201.
- Fryirs, K. A. (2015). Developing and using geomorphic condition assessments for river rehabilitation planning, implementation and monitoring. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 2(6), 649-667.
- Gurnell, A. M., Rinaldi, M., Belletti, B., Bizzi, S., Blamauer, B., Braca, G., ... & Ziliani, L. (2016). A multi-scale hierarchical framework for developing understanding of river behaviour to support river management. *Aquatic sciences*, 78, 1-16.
- Gurnell, A.M., Bussettini, M., Camenen, B., González Del Tánago M., Grabowski, R.C., Hendriks, D., Henshaw, A., Latapie, A., Rinaldi, M. & Surian, N. (2014). A hierarchical multi-scale framework and indicators of hydromorphological processes and forms. Deliverable 2.1, of REFORM (REstoring Rivers FOR effective catchment Management).
- Haron, N. A., Yusuf, B., Sulaiman, M. S., Razak, M. S. A., & Nurhidayu, S. (2022). Morphological Assessment of River Stability: Review of the Most Influential Parameters. *Sustainability*, 14(16), 10025.
- Hosseinzadeh, M., Khaleghi, S., & Fathollah Atikandi, P. (2020). Morphological Classification and Channel Instability of Kaleybarchai River. *Hydrogeomorphology*, 6(21), 43-64.
- Khosravi, G., Sadoddin, A., Ownegh, M., Bahremand, A., & Mostafavi, H. (2020). Application of a hierarchical multi-scale framework to delineating spatial units of watersheds (Case study: the Til-abad Watershed, Golestan Province). *Journal of Water and Soil Conservation*, 26(6), 1-29.



- Magliulo, P., Sessa, S., Cusano, A., Beatrice, M., Giannini, A. & Russo, F. (2022). Assessing the Morphological Quality of the Calore River (Southern Italy). *Geographies*, 2, 354–378.
- Manfreda, S., Miglino, D., Saddi, K. C., Jomaa, S., Eltner, A., Perks, M., ... & Rode, M. (2024). Advancing river monitoring using image-based techniques: challenges and opportunities. *Hydrological Sciences Journal*, 69(6), 657–677.
- Moshe, F. O. R., Sternberg, M., Ratner, T., Drori, I. (2022). Customizing the Morphological Quality Index (MQI) to evaluate streams in Eastern-Mediterranean ecosystems. *Environmental Challenges*, 9, 100612.
- Mosselman, E., Rinaldi, M., & de Jalón, D. G. (2024). The European REFORM Project for Hydromorphological Quality in River Basin Management. In *Inland Waters: Ecology, Limnology and Environmental Protection [Working Title]*. IntechOpen.
- Müller, H., Hörbinger, S., Franta, F., Mendes, A., Li, J., Cao, P., ... & Rauch, H. P. (2022). Hydromorphological assessment as the basis for ecosystem restoration in the Nanxi River Basin (China). *Land*, 11(2), 193.
- Nosrati, K., Rostami, M., & Etminan, Z. (2020). Assessment of Taleghan River Hydrogeomorphological Conditions Using Morphological Quality Index. *Hydrogeomorphology*, 6(21), 133-154.
- Rinaldi, M., Baena, RE., Nardi, L., Guerrero-Amador, IC. & García-Martínez, B. (2020). An assessment of the hydromorphological conditions of the middle and lower Guadalquivir River (southern Spain). *Physical Geography*, 41,254-271.
- Rinaldi, M., Belletti, B., Bussettini, M., Comiti, F., Golfieri, B., Lastoria, B., ... & Surian, N. (2017). New tools for the hydromorphological assessment and monitoring of European streams. *Journal of environmental management*, 202, 363-378.
- Rinaldi, M., Gurnell, A. M., Del Tánago, M. G., Bussettini, M., & Hendriks, D. (2016a). Classification of river morphology and hydrology to support management and restoration. *Aquatic sciences*, 78, 17-33.
- Rinaldi, M., Surian, N., Comiti, F., & Bussettini, M. (2015). A methodological framework for hydromorphological assessment, analysis and monitoring (IDRAIM) aimed at promoting integrated river management. *Geomorphology*, 251, 122-136.
- Rinaldi, M., Surian, N., Comiti, F., & Bussettini, M. (2013). A method for the assessment and analysis of the hydromorphological condition of Italian streams: The Morphological Quality Index (MQI). *Geomorphology*, 180, 96-108.
- Rinaldi, M., Surian, N., Comiti, F., Bussettini, M., Belletti, B., Nardi, L., ... & Golfieri, B. (2016b). Guidebook for the evaluation of stream morphological conditions by the Morphological Quality Index (MQI). REstoring rivers FOR effective catchment Management. Deliverable D6.2 Part 3.
- 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). *Environmental Sciences*, 22(1), 21-38.
- Williams, R. D., Bangen, S., Gillies, E., Kramer, N., Moir, H., & Wheaton, J. (2020). Let the river erode! Enabling lateral migration increases geomorphic unit diversity. *Science of the Total Environment*, 715, 136817.