Quantitative Geomorphological Researche

Online ISSN: 2251-9424

Journal Homepage: www.geomorphologyjournal.ir

Comparative Assessment of Morphological Quality in Rivers on the Northern and Southern Slopes of the Alborz Mountains: A Case Study of the Vaz River and Hajimahrud (Chamestan-Noor), Hablehrud River (Garmsar), and Shahrud River (Rajaei Dasht-e Alamut)

Mohammad Mahdi Hosseinzadeh [1] , *Maryam Rashidi* [2] , *Reza Esmaili* [3]

[1]. *(Corresponding Author)Department of Physical Geography, Earth Sciences Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.*
Email: m_hoseinzadeh@sbu.ac.ir
[2]. *Department of Physical Geography, Earth Sciences Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.*
Email: m_rashidi@sbu.ac.ir
[3]. *Department of Geography, Faculty of Humanities and Social Sciences, Mazandaran University, Babolsar, Iran*
Email: r.esmaili@umz.ac.ir

Article Info

Article Type:
Research Article

Article History:
Received:
25 April 2025
Received in revised form:
2 August 2025
Accepted:
15 September 2025
pp.1-23

Keywords:
Hablerud River, Human pressure indices, Morphometric changes, Morphological quality, Vaz River.

A B S T R A C T

In recent decades, river morphology has undergone frequent alterations as a result of climate change and anthropogenic factors. In Iran, rivers have been subjected to intense pressures from extensive human interventions, including sand and gravel mining, dam construction, bank stabilization, and water resource exploitation. A key tool in this field is the Revised Morphological Quality Index (rMQI). This study aims to understand the dynamic processes shaping channel formation and morphological changes in the Vaz, Hajimahrud, Hablehrud, and Shahrud rivers over time. The revised Morphological Quality Index (rMQI) was employed to assess the morphological quality of the studied rivers. This method evaluates river quality conditions using two key indices: the Pressure Index (PI) and the Adjustment and Functionality Index (AI).The rMQI-based assessment revealed that the studied reaches of the Vaz River and Hajimahrud exhibit moderate morphological quality. This condition results from three intense and one moderate anthropogenic pressure, as well as unfavorable morphological adjustments and channel functionality. Similarly, the examined reaches of the Hablehrud River display comparable conditions to the Vaz River, placing them in the moderate morphological quality category. In contrast, the studied reaches of the Shahrud River demonstrate good morphological quality due to minor anthropogenic pressures and favorable conditions in channel functionality and planform changes over time.The findings from the Vaz, Hajimahrud, Hablehrud, and Shahrud rivers indicate that human interventions—such as sand mining, embankment construction, and unsustainable water extraction—have significant adverse effects on their hydrogeomorphological conditions.

Cite this article: hoseinzadeh,M. , Rashidi,M. and Esmaili,R. (2025). Comparative Assessment of Morphological Quality in Rivers on the Northern and Southern Slopes of the Alborz Mountains: A Case Study of the Vaz River and Hajimahrud (Chamestan-Noor), Hablehrud River (Garmsar), and Shahrud River (Rajaei Dasht-e Alamut). *Quantitative Geomorphological Research*, *14*(2).1-23.
Doi: 10.22034/gmpj.2025.518899.1558

Extended Abstract
Introduction
Extended Abstract
Introduction
Rivers have garnered increasing attention due to their role in delivering diverse ecosystem services. In recent decades, river morphology has undergone frequent alterations as a result of climate change and anthropogenic factors. In Iran, rivers have been subjected to significant pressures due to extensive human interventions, including sand and gravel mining, dam construction, channel diversion, bank stabilization, and water resource exploitation.

A key tool in this field is the Revised Morphological Quality Index (rMQI), developed to enable a more precise analysis of riverine physical processes. This index provides a comprehensive assessment of a river's physical condition by evaluating three critical aspects: the intensity of anthropogenic pressures, the degree of morphological alterations, and the ecological and geomorphological functionality of the river.

The objective of this study is to understand the dynamic processes shaping the channel and the morphological changes of the Vaz, and Hajimahrud Hablehrud, and Shahrud rivers over time. Using the Revised Morphological Quality Index (rMQI) method—based on the Human Pressure Index, Channel Form Adjustment Index, and Meandering Functionality Index—the morphological quality of the studied rivers was assessed. The findings of this research can inform decision-making processes aimed at mitigating environmental risks and optimizing river management practices.

Methodology

The rivers studied in this research include the Vaz River and Hajimahrud (Chamestan, Nour), the Hablehrud River (Garmsar), and the Shahrud River (Rajaei Dasht-e Alamut). To collect high-resolution morphometric data, field surveys and unmanned aerial vehicles (UAVs), or drones (using stereoscopic imaging or short-range photogrammetry), were employed for image acquisition. Based on field surveys and the use of a digital elevation model (DEM), morphometric parameters of the channel, channel characteristics, and human interventions were recorded and derived.

The revised Morphological Quality Index (rMQI) method was used to assess the morphological quality of the studied rivers. This method evaluates the qualitative status of rivers by applying and measuring a set of indicators, including Pressure Indicators (PI) and Channel Adjustment and Functioning Indicators (AI). The rMQI method examines the morphological quality status based on 12 human pressure indicators and 21 channel alteration indicators, consisting of 10 channel form adjustment indicators and 11 functional indicators.

Results and discussion

Through field surveys and processing of drone-captured images at different time intervals, the relevant indicators for each river segment were identified. Subsequently, measurements, calculations, and data scoring were performed using the rMQI method.

Hajimahrud River: The values obtained from the pressure index parameters in the first and second segments were 37.5 % and 42.19 %, respectively, while the channel adjustment change/trend indicators in the first segment were 70 % and 70 % in the second segment. Based on these data, the rMQI values were calculated as 45.18 % for the first segment and 47.53 % for the second segment. The morphological quality of both segments of the Vaz River was assessed as moderate.

Vaz River: The study area along the Vaz River was divided into two segments. The values obtained from the pressure index parameters in the first and second segments were 31.25% and 54.39%, respectively, while the channel adjustment change/trend indicators in the first segment were 54.39% and 51.75% in the second segment. Based on these data, the rMQI values were calculated as 42.82% for the first segment and 41.5% for the second segment. The morphological quality of both segments of the Vaz River was assessed as moderate.

Hablehrud River:The study area along the Hablehrud River was divided into three segments. The values obtained from the pressure index parameters were 7.87% in the first segment, 28.75% in the second, and 15.63% in the third. The channel adjustment change/trend indicators were 64.91% in the first segment, 60.53% in the second, and 67.54% in the third. Based on these data, the rMQI values were calculated as 36.39% for the first segment, 44.64% for the second, and 41.58% for the third. The morphological quality of all three segments of the Hablehrud River was assessed as moderate.
Shahrud River: The study area along the Shahrud River was divided into two segments. The values obtained from the pressure index parameters were 20.31% in the first segment and 25% in the second, while the channel adjustment change/trend indicators were 30.7% in both segments. Based on these data, the rMQI values were calculated as 25.51% for the first segment and 27.85% for the second. The morphological quality of both segments of the Shahrud River was assessed as good.

Conclusion

The assessment of the morphological quality of the studied river sections using the rMQI method revealed that the examined reaches of the Vaz River and Hajimahrud exhibit moderate quality. This condition is attributed to the presence of three severe and one moderate anthropogenic pressure, as well as unfavorable morphological alterations and channel functionality. Similarly, the studied reaches of the Hablehrud River were found to be in a comparable state to those of the Vaz River, resulting in a moderate morphological quality. In contrast, the examined sections of the Shahrud River demonstrated good morphological quality, owing to minimal human pressures and favorable conditions in channel planform dynamics and functionality over time. The superior morphological quality of the Shahrud River may be linked to the absence of intensive management and exploitation pressures. These studied reaches are located in mountainous areas, distant from densely populated urban and rural settlements.

The findings from the Vaz, Hajimahrud, Hablehrud, and Shahrud Rivers indicate that human interventions—such as sand and gravel mining, channelization, and unsustainable water extraction—have significant adverse impacts on the hydrogeomorphological conditions of rivers.

Keywords: Hablerud River, Human pressure indices, Morphometric changes, Morphological quality, Vaz River.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

Authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved thecontent of the manuscript and agreed on all aspects of the work declaration of competing interest none.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

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

مجلـــه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی

شاپا الکترونیکی: ۹۴۲۴-۲۲۵۱

Journal Homepage: www.geomorphologyjournal.ir

ارزیابی مقایسه ایی کیفیت مورفولوژیکی رودخانه های دامنه شمالی و جنوبی البرز ، مطالعه موردی رودخانه های واز و حاجی ماهرود (چمستان نور)، حبله رود (گرمسار) و شاهرود (رجایی دشت الموت)

محمد مهدی حسین‌زاده[۱] ✉، مریم رشیدی[۲]، رضا اسماعیلی[۳]

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

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

۳- گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران. رایانامه: r.esmaili@umz.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۴/۰۲/۰۵
تاریخ بازنگری:
۱۴۰۴/۰۵/۱۱
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۴/۰۶/۲۴
صص. ۲۳-۱

واژگان کلیدی:
شاخص های فشار انسانی،
رودخانه حبله رود،
تغییرات مورفومتری،
کیفیت مورفولوژیک،
رودخانه واز.

چکیده

مورفولوژی رودخانه در چند دهه اخیر به طور مکرر به دلیل تغییرات آب و هوا و عوامل انسانی تغییر کرده است. در ایران رودخانه‌ها به‌واسطه‌ی مداخلات گسترده انسانی نظیر برداشت شن و ماسه، ساخت سدها، تثبیت سواحل و بهره‌برداری از منابع آب، تحت فشارهای شدید قرار گرفته‌اند. یکی از ابزارهای مهم در این حوزه، شاخص کیفیت مورفولوژیکی اصلاح‌شده (rMQI) است. هدف این مطالعه درک فرآیندهای پویا شکل دهنده کانال و تغییرات مورفولوژی رودخانه های واز، حاجی ماهرود، حبله رود و شاهرود در طول زمان است. در این پژوهش از روش شاخص کیفیت مورفولوژیک بازبینی شده(rMQI) به‌منظور ارزیابی از کیفیت مورفولوژیکی رودخانه های مورد مطالعه استفاده گردید. این روش با به‌کارگیری شاخص های فشار(PI) و تعدیل کانال و عملکرد کانال (AI) به بررسی وضعیت کیفی رودخانه می پردازد. بررسی کیفیت مورفولوژیکی رودخانه های مورد مطالعه با استفاده از روش rMQI نشان داد که بازه های مورد مطالعه در رودخانه واز ، حبله رود و حاجی ماهرود دارای کیفیت متوسط است. این وضعیت نتیجه وجود سه فشار شدید و یک فشار متوسط انسانی همچنین شرایط نامناسب در تغییرات مورفولوژیک و عملکرد کانال است. بازه های مورد مطالعه در رودخانه شاهرود به دلیل وجود فشارهای انسانی جزئی و شرایط مناسب در عملکرد و تغییرات پلانفرم کانال در طول زمان دارای کیفیت مورفولوژیک خوب است. نتایج بررسی رودخانه های واز، حاجی ماهرود، حبله رود و شاهرود نشان داد که مداخلات انسانی مانند برداشت شن و ماسه، دیوار کشی و برداشت های نامناسب آب تاثیرات منفی زیادی بر وضعیت هیدورژئومورفولوژیکی رودخانه ها برجای می گذارد.

استناد: حسین زاده, محمد مهدی , رشیدی,مریم و اسماعیلی,رضا . (۱۴۰۴). ارزیابی مقایسه ایی کیفیت مورفولوژیکی رودخانه های دامنه شمالی و جنوبی البرز ، مطالعه موردی رودخانه واز و حاجی ماهرود (چمستان نور)، حبله رود (گرمسار) و شاهرود (رجایی دشت الموت) . *پژوهشهای ژئومورفولوژی کمّی*. ۱۴(۲). ۲۳-۱.

Doi: 10.22034/gmpj.2025.518899.1558

مقدمه

رودخانه ها به دلیل اعمال عملکردهای خدمات اکوسیستمی مختلف، باعث توجه روزافزون شده است. عملکردهای خدمات اکوسیستم رودخانه ها شامل تامین آب و خدمات مرتبط مانند حمل و نقل و تولید برق آبی، عملکردهای حمایتی اکولوژیکی، خدمات زیبایی شناختی و فرهنگی و غیره است. اگرچه اهمیت اکولوژیکی رودخانه ها به خوبی شناخته شده است، اما بسیاری از رودخانه ها در سراسر جهان با تخریب های اکولوژیکی مواجه هستند (پوستل و همکاران، ۱۹۹۶؛ پوستل، ۱۹۹۸). رودخانه به عنوان ارتباط اساسی بین خشکی و اقیانوس، جزء حیاتی چرخه جهانی آب و انرژی است (وانگ و همکاران ۲۰۱۹). مورفولوژی رودخانه به مطالعه شکل فیزیکی و تغییرات دینامیکی کانال‌های رودخانه در طول زمان که توسط فرآیندهای طبیعی مانند فرسایش، رسوب‌گذاری و فعالیت‌های زمین ساختی هدایت می‌شود، می پردازد. تغییرات مورفولوژیکی به دلیل عواملی مانند تغییرات در دبی، عرضه رسوب، پویایی پوشش گیاهی و مداخلات انسانی مانند ساخت سد رخ می دهد .این تغییرات روی نیمرخ طولی رودخانه، شکل مقطع، و الگوهای پلانی، انتقال بین الگوهای پیچانرودی، شریانی و انشعابی یا مستقیم رودخانه تأثیر می‌گذارد.

تغییر اقلیم با تغییر رژیم‌های هیدرولوژیکی و انتقال رسوب، مورفولوژی را بیشتر تحت تأثیر قرار می‌دهد، که منجر به تنظیمات در عرض، عمق، شیب و سینوسی کانال می‌شود (زانگ و همکاران، ۲۰۱۹).

مورفولوژی رودخانه در چند دهه اخیر به طور مکرر به دلیل تغییرات آب و هوا و عوامل انسانی تغییر کرده است (وان ولیت و همکاران، ۲۰۱۳؛ گریل و همکاران، ۲۰۱۹). به ویژه در مناطق شکننده و پرجمعیت از نظر اکولوژیکی، فعالیت‌های انسانی فشرده به شدت بر تکامل مورفولوژی رودخانه تأثیر گذاشته و آن را محدود کرده است و بوم‌شناسی رودخانه با فشار فزاینده‌ای مواجه است (تولبور و همکاران، ۲۰۱۶؛ یوسفی و همکاران، ۲۰۱۷؛ زانگ و همکاران، ۲۰۱۹). در این مناطق، مورفولوژی رودخانه درجه بالایی از غیرخطی بودن، بی نظمی و پیچیدگی را نشان می‌دهد که هنوز روش واحدی در مورد چگونگی نمایش دقیق ویژگی‌های مورفولوژیکی آن وجود ندارد (آگنیهوتری و همکاران، ۲۰۲۰؛ بوتا و همکاران، ۲۰۲۱).

در دهه‌های اخیر، در نتیجه فعالیت‌های انسانی، فشارهای متعددی بر اکوسیستم‌های رودخانه‌ای وارد آمده است که منجر به تغییرات چشمگیر در ساختار و عملکرد طبیعی این سامانه‌ها شده است. گسترش شهرنشینی، کشاورزی، احداث سدها، کانال‌کشی، تثبیت کناره‌ها و مدیریت نادرست منابع آب از جمله عوامل اصلی هستند که موجب تخریب ویژگی‌های مورفولوژیکی رودخانه‌ها می‌شوند (بلیتی و همکاران[1]، ۲۰۱۵). در این راستا، استفاده از ابزارهای دقیق و معتبر برای ارزیابی وضعیت هیدرومورفولوژیکی، به‌ویژه در مناطقی که ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی متنوعی دارند، ضروری به‌نظر می‌رسد. با افزایش فشارهای انسانی بر سامانه‌های رودخانه‌ای، توجه به ارزیابی و پایش وضعیت اکولوژیکی و ژئومورفولوژیکی این سیستم‌های پویا به یکی از اولویت‌های اصلی در مدیریت منابع آب تبدیل شده است.

کیفیت مورفولوژیکی یک رودخانه به ویژگی های فیزیکی و فرآیندهای پویا که شکل و ساختار کانال را شکل می دهند، اشاره دارد. این ویژگی ها شامل عواملی مانند ترکیب رسوب، فرسایش، رسوب و دینامیک جریان است که با شرایط محیطی مانند پوشش گیاهی و ویژگی‌های زمین‌شناسی تعامل دارند. فعالیت های انسانی، مانند ساخت سد یا تغییرات کاربری زمین نیز به طور قابل توجهی مورفولوژی رودخانه را از طریق تغییر رژیم های جریان و انتقال رسوب تحت تاثیر قرار داده و فرآیندهای طبیعی و تعادل اکولوژیکی را مختل کرده است. این تغییرات منجر به باریک شدن کانال و کاهش رسوب رسانی به اقیانوس ها شده است. شهرنشینی و کشاورزی، فرسایش و رسوب را از طریق افزایش رواناب سطحی و جنگل زدایی تشدید کرده است. این تغییرات اکوسیستم‌های رودخانه‌ای را به خطر انداخته و بر چرخه مواد مغذی تأثیر داشته و خطرات سیل را تشدید کرده است (مک لین و لوین، ۲۰۱۹؛ بست و داربی ، ۲۰۲۰؛ لی و همکاران، ۲۰۲۲؛ یو و

[1]. Belletti

همکاران، ۲۰۲۳). درک مورفولوژی رودخانه برای ارزیابی پایداری ژئومورفیک، سلامت اکولوژیکی و مدیریت پایدار سیستم‌های رودخانه‌ای ضروری است (زیوی و همکاران، ۲۰۲۲).

در طول چند دهه گذشته، داده‌های رودخانه ایی و مدل‌های مطالعه فرآیندهای رودخانه به طور قابل توجهی بهبود یافته است. مورفولوژی رودخانه فرصت‌هایی را برای درک جامع مورفولوژی رودخانه فراهم کرده‌اند .تعداد مقالات مرتبط با مورفولوژی رودخانه به طور پیوسته در حال افزایش است و جنبه های مختلف مرتبط با مورفولوژی مورد پژوهش قرار گرفته است (کلین هانس و همکاران، ۲۰۱۰؛ استکا و همکاران، ۲۰۱۹؛ هابرساک و همکاران، ۲۰۱۶). از روش بررسی کیفیت مورفولوژیکی رودخانه می‌توان برای ارزیابی کیفیت اکولوژیکی استفاده کرد. علاوه بر این با استفاده از آن می توان یک ارزیابی هیدروژئومورفولوژیکی برای تخمین وضعیت کلی شبکه‌های جریان انجام داد (لمای[1] و همکاران، ۲۰۲۱). مطالعه اکوسیستم های مدیترانه غربی با استفاده از شاخص کیفیت مورفولوژیک توسط رین موش [2]و همکاران نشان داد که اقدامات مدیریتی از جمله برداشت آبا در بازه های پایین دست، تنظیم جریان آب و تغییر در فرایندهای روی گذاری طبیعی باعث تغییر شرایط هیدرومورفولوژیک رودخانه و کاهش کیفیت مورفولوژیک رودخانه گردید

علاوه بر این، استخراج آب در بخش‌های پایین دست و تلاش‌های تنظیم جریان، جریان آب و فرآیندهای رسوب‌گذاری طبیعی را تا حد زیادی کاهش داده است (رین ماش و همکاران، ۲۰۲۲).

در ایران رودخانه‌ها به‌واسطه‌ی مداخلات گسترده انسانی نظیر برداشت شن و ماسه، ساخت سدها، تغییرات مسیر، تثبیت سواحل و بهره‌برداری از منابع آب، تحت فشارهای شدید قرار گرفته‌اند. تحقیقات متنوعی در ایران بر روی رودخانه های مختلف با استفاده از شاخص کیفیت مورفولوژیکی انجام شده است. بررسی ها نشان داده است که کیفیت مورفولوژیکی رودخانه طالقان در بالادست و پایین دست سد طالقان وضعیت بسیار ضعیفی دارد که علت آن مئاندرشدگی و دخالت‌های انسانی در بخش بالادست حوزه است(رضایی و همکاران، ۱۴۰۱). بر اساس ارزیابی انجام شده، در طول رودخانه تالار، بازه هایی که در محدوده شهری قرار دارند بعلت حجم زیاد کاربری، توسعه شهری و عبور جاده دارای کلاس کیفیت مورفولوژیک ضعیف و خیلی ضعیف هستند و بازه هایی که در محدوده جنگلی ، بکر و دست نخورده قرار دارند دارای کیفیت مورفولوژیک خوب ارزیابی گردیده اند . نتایج نشان می دهد که بیشتر مسیرهای رودخانه تالار نیازمند اقدامات فوری برا ی بازسازی و احیاء است (طالبی و همکاران، ۱۴۰۳). ارزیابی هیدرومورفولوژیکی رودخانه جاجرود با روشMQI انجام شده و نشان داده است که تمامی بازه‌های مورد مطالعه از نظر MQI در شرایط ضعیف و خیلی ضعیف قرار دارند که ناشی از قطع درختان و ساخت و سازهای انسانی است (ایلانلو و کرم،۱۳۹۹). از دیگر مطالعات انجام گرفته در زمینه کیفیت مورفولوژیک رودخانه‌ها با استفاده از شاخص‌های MQI وrMQI می توان به ارزیابی و تحلیل شرایط هیدرومورفولوژیکی رودخانه‌ی لاویج با استفاده از شاخص کیفیت مورفولوژیکی (اسماعیلی و ولی خانی، ۱۳۹۷)، ارزیابی شرایط هیدرومورفولوژیکی رودخانه تجن با شاخص‌های MQI وHMQI (فندرسکی و همکاران، ۱۴۰۱)، تحلیل شرایط مورفولوژیک کریدور رودخانه‌ای کن در کلان‌شهر تهران با استفاده از روشMQI (کرم و همکاران، ۱۴۰۰) و ارزیابی کیفیت مورفولوژیک رودخانه طالقان (یعقوب نژاد اصل و همکاران، ۱۳۹۹) اشاره کرد.

ژئومورفولوژیست ها مورفولوژی رودخانه را با استفاده از چارچوب های مختلفی همچون ویژگی های فیزیکی (شکل پلان و الگوهای کانال)، هیدرولوژیکی (انتقال آب و رسوب، نوع رسوب غالب و روش های حمل) و اکولوژیکی طبقه بندی می کنند. تکنیک‌های مطالعه کیفیت مورفولوژیکی رودخانه بر ارزیابی ساختار فیزیکی و دینامیک آن برای درک تغییرات در طول زمان تمرکز دارد. روش‌ها شامل اندازه‌گیری‌های میدانی مانند بررسی مقاطع عرضی، تحلیل رسوب، و نیمرخ های

[1]. Lemay
[2]. Rein Moshe

سرعت است که داده‌های کمی را در مورد هندسه کانال و ویژگی‌های جریان ارائه می‌دهد. ابزار سنجش از دور و GIS به طور فزاینده‌ای برای ارزیابی‌های مقیاس بزرگ استفاده شده و نقشه‌برداری از الگوهای فرسایش و پیوستگی زیستگاه را ممکن می‌سازد. علاوه بر این، سیستم های طبقه بندی مانند روش روزگن یا شاخص کیفیت مورفولوژیکی (MQI) پایداری ژئومورفیک و انحراف از شرایط مرجع را ارزیابی می کنند .این رویکردها پارامترهای هیدرولوژیکی، رسوبی و اکولوژیکی را برای اطلاع رسانی مدیریت پایدار رودخانه ادغام می کنند (رینالدی و همکاران، ۲۰۱۳؛ بلتی و همکاران، ۲۰۱۵؛ ایونا–توروماک و همکاران، ۲۰۱۵).

هدف این مطالعه درک فرآیندهای پویا شکل دهنده کانال و تغییرات مورفولوژی رودخانه های واز، حبله رود و شاهرود در طول زمان است. رودخانه های مورد مطالعه از محیط های مختلف از نظر ویژگی های محیطی و وجود سازه ها و کاربری های ساخت انسان انتخاب گردید. ساخت پل و جاده بر روی رودخانه شاهرود، کانال های آبرسانی، پل، اختصاص باغات انار در حریم رودخانه در رودخانه حبله رود مهمترین فشارهایی است که در این رودخانه ها وجود دارد. در مقابل رودخانه واز و حاجی ماهرود در یک شرایطی با حداقل فشارهای انسانی انتخاب گردید تا نقش تفاوت فشارهای موجود و توپوگرافی منطقه در کیفیت رودخانه مورد مقایسه قرار گیرد. در این پژوهش با استفاده از روش شاخص کیفیت مورفولوژیکی بازبینی شده (rMQI) و بر اساس شاخص فشار های انسانی[1]، شاخص تعدیل فرم کانال[2] و شاخص عملکرد پیچان رودشدگی[3] وضعیت کیفیت مورفولوژیکی رودخانه های مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعات می تواند جهت تصمیم گیری برای کاهش خطرات زیست محیطی و بهینه سازی شیوه های استفاده از رودخانه استفاده شود.

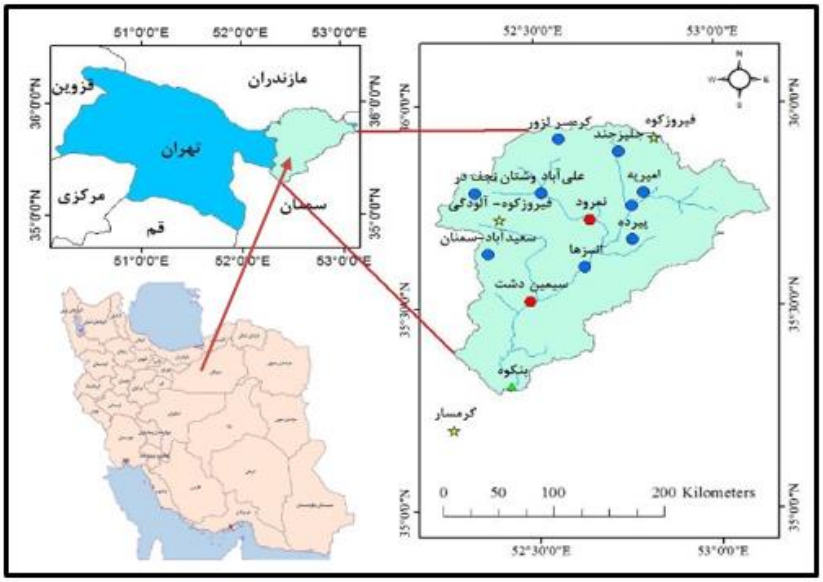
یکی از ابزارهای مهم در این حوزه، شاخص کیفیت مورفولوژیکی اصلاح‌شده (rMQI) است که با هدف تحلیل دقیق‌تر فرآیندهای فیزیکی رودخانه‌ها توسعه یافته است. این شاخص با تمرکز بر پویایی رودخانه، انسجام کناره‌ها، پیچ و تاب طبیعی مسیر و میزان دخالت‌های انسانی، قادر است تصویری جامع از وضعیت سلامت مورفولوژیکی رودخانه ارائه دهد. ویژگی ممتازrMQI ، رویکرد فرآیندمحور و کمّی آن است که آن را نسبت به ابزارهای پیشین مانندMQI ، HEMوQBR ، به مراتب دقیق‌تر و قابل تعمیم‌تر می‌سازد. این شاخص، با در نظر گرفتن سه جنبه کلیدی شامل شدت فشارهای انسانی، درجه تغییرات مورفولوژیکی و عملکردهای اکولوژیکی و ژئومورفولوژیکی رودخانه، ابزاری جامع برای تحلیل وضعیت فیزیکی رودخانه فراهم می‌کند (استفانیدیس[4] و همکاران، ۲۰۲۲).

منطقه مورد مطالعه

رودخانه حبله رود: منطقه مورد مطالعه در جنوب کوههای البرز در مرز بین استانهای سمنان (گرمسار و ایوانکی) و تهران (فیروزکوه و دماوند) واقع شده است. مساحت منطقه مورد مطالعه ۳۲۷۲۴ کیلومربع می باشد (شکل ۱). حوضه آبریز حبله رود از نظر زمین شناسی در مرز پهنه های ساختاری البرز جنوبی – ایران مرکزی واقع شده ا ست. وجود اختلاف ارتفاعی بین ۹۷۵ متر در جنوب منطقه در محل خروج از پیشانی کوهستان تا ۴۰۵۰ متر در غرب منطقه و ارتفاعات کوه سفیدآب سبب گردیده تا شرایط قلیمی متفاوتی در سراسر منطقه حکم فرما باشد. در محدوده مورد مطالعه علاوه بر فاکتورهای اقلیمی (دما و بارش) عوامل ساختاری نظیر گنبد نمکی، چینها و گسلها در شکل دادن به لندفرمهای متنوع منطقه در طی کواترنری نقش داشته اند. دبی متوسط این حوضه ۲۵۰ تا ۲۷۰ متر مکعب بر ثانیه است. شاخه های اصلی این رودخانه شامل گور سفید، نمرود، دره ده و دلیچای هستند که پس از عبور از روستای بن کوه وارد دشت گرمسار می شود.

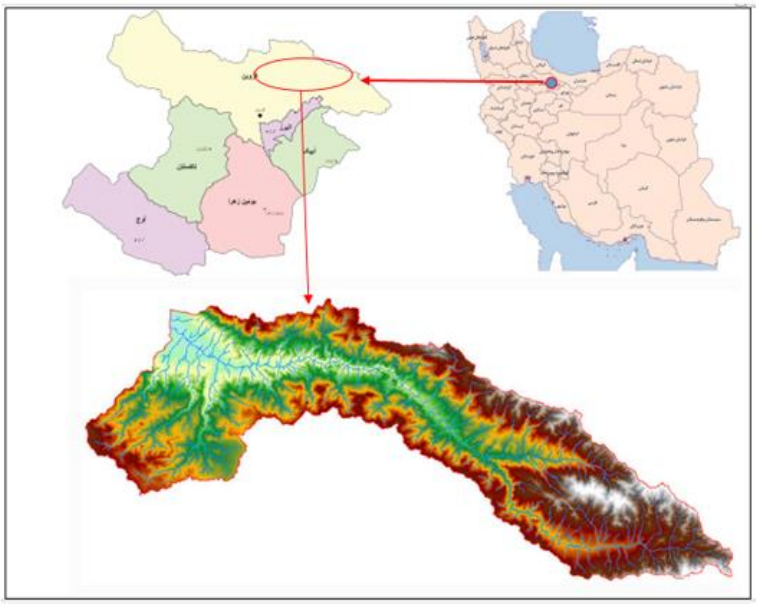
---

1 - Channel form adjustments
2 - Meandering functionality
3- Stefanidis



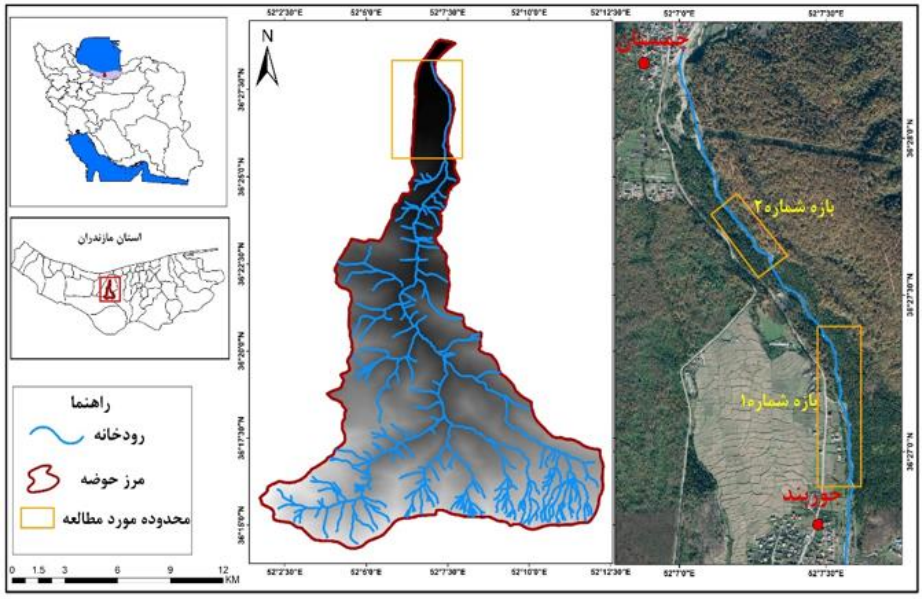
شکل ۱: منطقه مورد مطالعه رودخانه حبله رود

رودخانه شاهرود: این رودخانه از بهم پیوستن رودخانه های الموت رود و طالقان رود در البرز غربی تشکیل شده است. حوضه رودخانه شاهرود با مساحت ۴۸۵۳/۶ کیلومتر مربع و رودخانه شاهرود به طول ۱۷۵ کیلومتر، رودخانه ای کوهستانی است که از کوه های تخت سلیمان سرچشمه گرفته و در جهت شرق به غرب در شمال غربی قزوین وارد محدوده البرز غربی شده و پس از سد منجیل و پیوستن شاخه قزل اوزن، رودخانه سپید رود را تشکیل داده و در نهایت در استان گیلان به دریای خزر می ریزد. این رود در حاشیه خود از روستاهای کمال آباد، قسطین رود، رجایی دشت، هریان، رازمیان، کتکان، بهرام آباد عبور کرده و به سمت رودخانه قزل اوزن از استان خارج می شود. واحدهای زمین شناسی منطقه در بخش شرقی به طور غالب سنگ های تخریبی میوسن و در بخش میانی و جنوبی سنگ های آتشفشانی ائوسن است. بیشینه ارتفاع این حوضه آبریز کوهستانی ۴۳۴۱ و کمینه آن ۳۱۸ متر است. شاهرود همواره طغیانی است و تا اواخر بهار، رسوبات فراوان همراه آب حمل می شود (شکل ۲).



شکل۲: منطقه مورد مطالعه رودخانه شاهرود

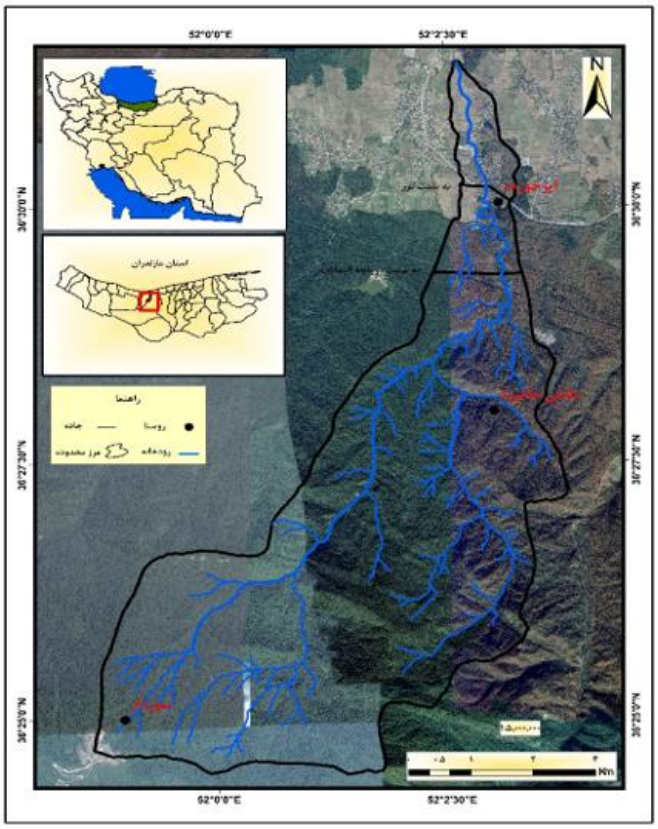
رودخانه واز: حوضه آبخیز واز در دامنه شمالی سلسله جبال البرز و در جنوب شهر چمستان واقع شده است که از نظر تقسیمات سیاسی، این حوضه در شهرستان نور از استان مازندران قرار دارد. حوضه واز در شمال به آبادی جوربند، در شرق به حوضه‌های ناپلار رود و آلش رود، در جنوب به حوضه رود هراز و در غرب به حوضه لاویج رود منتهی می‌شود. حوضه واز دارای جهتی شمالی- جنوبی بوده که قسمت جنوبی خوضه (سرآب) پهن‌تر از قسمت شمالی حوضه (نقطه خروجی) می‌باشد و در نهایت به دریای خزر می‌ریزد (شکل ۳). پایین‌ترین نقطه ارتفاعی حوضه مورد مطالعه حدود ۳۰۰ متر و بلندترین نقطه آن بیش از ۳۵۰۰ متر بالاتر از سطح آب‌های آزاد قرار دارد. ارتفاع متوسط حوضه آبخیز مورد مطالعه معادل ۱۸۰۰ متر از سطح دریا برآورد گردیده است.



شکل ۳: منطقه مورد مطالعه رودخانه واز

رودخانه حاجی ماهرود: از نظر تقسیمات سیاسی، این حوضه در شهرستان نور از استان مازندران قرار دارند (شکل۴). منطقه مورد مطالعه بین عرض جغرافیایی ۳۴ ۲۴ ۳۶ تا ۰۹ ۳۵ ۳۶ شمالی و طول جغرافیایی ۴۶ ۵۵ ۵۱ تا ۲۲ ۰۵ ۵۲ شرقی واقع شده است. این محدوده با مساحتی معادل ۱۳۵ کیلومترمربع از شمال به دریای خزر، از غرب به حوضه گلندرود، از شرق و جنوب به حوضه لاویج منتهی می شود. روستاهای گندیاب، سلیاکتی، ناتل، خوریه، خرکلا، دارجار، آرویج کلا، ایزخورده، افراسیابکلا، سرکاج، کاردگرکلا، کلینخونی، هردو رود، مرداب، نصرت آباد و شهر نور در این محدوده مطالعاتی قرار گرفته اند.

از نظر زمین‌شناسی حوضه آبریز واز و حاجی ماهرود جزء البرز مرکزی و از نظر تکتونیکی در منطقه فعال البرز قرار گرفته است. سازندهای موجود عمدتاً متعلق به زمان مزوزوئیک به بعد می‌باشند که از قدیم به جدید عبارتند از: تریاس (سازند الیکا که قسمت اعظم حوضه های مورد مطالعه از این سازند پوشیده شده است)، ژوراسیک (سازند شمشک)، کرتاسه (سنگ آهک، مارن و ...)، ائوسن، میوسن و رسوبات کواترنر. رودخانه واز و حاجی ماهرود در جهتی موافق با شیب ارتفاعات و مخالف با روند گسل های منطقه جریان دارد. متوسط بارندگی سالیانه منطقه نیز برابر ۶۹۴/۶ میلیمتر در سال می‌باشد. میانگین دمای سالانه حوضه از ۱۴ درجه سانتیگراد در ارتفاعات ۳۰۰ متر تا حدود ۵ درجه سانتیگراد در ارتفاعات بیش از ۳۰۰۰ متر متغیر است. از کل مساحت این منطقه‌ای، ۶۰ درصد حوضه را عرصه جنگل و ۴۰ درصد نیز عرصه مرتع در بر گرفته است (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۱).



شکل ۴: منطقه مورد مطالعه رودخانه حاجی ماهرود

روش تحقیق

در این پژوهش متناسب با اهداف موردنظر از روش های کمی و کیفی استفاده شده است. ابتدا با استفاده از روش کتابخانه‌ای مقالات علمی داخلی و خارجی مطالعه شد تا پیشینه و روش‌های مختلف بررسی کیفیت مورفولوژیکی در مطالعات رودخانه‌ای بررسی شود و چارچوب مطالعاتی تهیه گردید. با توجه به اینکه مطالعه در مقیاس بازه می‌باشد در راستای تکمیل اطلاعات بدست آمده در بازدید های میدانی نیاز به داشتن تصاویر با قدرت تفکیک بالا وجود داشت که از روش سنجش از دور و پرنده هدایت پذیر از دور یا پهپاد (تصویربرداری استرئوسکوپی یا روش فتوگرامتری برد کوتاه) جهت برداشت تصاویر استفاده شد. مشخصات مسیر پرواز در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: مشخصات پرواز با پهپاد جهت برداشت

مدل پهپاد	ارتفاع پرواز	نوع پرواز	خط پرواز	طول پرواز(متر)	پوشش طول و عرضی
Mavic 2 Pro	۷۰ متر	اتوماتیک	۳-۵	۱۵۰-۲۰۰	۸۰ درصد

پس از عکس‌برداری پردازش آن در نرم‌افزار متاشیپ (Metashape 1.5.5) انجام و تصویر با کیفیت و مدل ارتفاعی رقومی(DEM) با دقت سانتی متر جهت تهیه مقاطع عرضی تولید شد. سپس جهت بهره برداری لازم از عکس ها از نرم افزار Arc GIS استفاده شد. تولید مدل ارتفاعی رقومی و تصویر با کیفیت بالا(ارتوفتو) به صورت مراحل زیر می‌باشد:

۱) قبل از برداشت: شامل کالیبره کردن دوربین پهپاد و بررسی تنظیمات زاویه پرواز، رزولیشن و تنظیم خطوط پرواز در بازه مورد نظر.

۲) برداشت: شامل الف: توزیع GCP (Ground Comtrol Station) یا نقاط کنترل زمینی، ب: پرواز پرنده طبق خط پرواز، ج: برداشت مشخصات نقاط کنترل زمینی با GPS یا دوربین توتال، د: برداشت‌های تکمیل کننده مانند اندازه گیری عمق آب، دبی لبالبی.

۳) پس از برداشت: شامل مراحل: الف: انتقال عکس‌ها به محیط نرم‌افزار متاشیپ، ب: توجیح نسبی(تولید ابر نقاط نیمه متراکم)، ج: معرفی نقاط کنترل زمینی، ح: تولید ابر نقاط متراکم، و: کلاسه‌بندی ابرنقاط به نقاط زمینی و غیر زمینی، هـ: تولید شبکه چند ضلعی، ن: تولید مدل ارتفاع رقومی، و: تولید ارتوفتو

۴) انتقال لایه رقومی ارتفاع و ارتوفتو به محیط نرم‌افزار ArcGIS جهت ترسیم پروفیل‌های عرضی و طولی.

بر پایه برداشت های میدانی و استفاده از مدل ارتفاعی رقومی پارامترهای مورفومتری کانال شامل عرض و عمق مقطع، سرعت جریان، نوع پوشش گیاهی کرانه، بافت رسوبات بستر و کرانه، حد دبی لبالبی و ویژگی های کانال و دخالت های انسانی ثبت و بدست آمد. با استفاده از نرم افزار آماری Excel و یک صفحه توسعه یافته در محیط نرم افزار Excel (Modify Calculation of discharge with Manning for each section) مقاطع کانال مدلسازی شده و بر اساس داده های ورودی شامل شیب بازه، هندسه کانال و ضریب مانینگ، پارامترهای هیدرولوژیک شامل شعاع هیدرولیک، نسبت عرض به عمق، مساحت، حداکثر عمق کانال محاسبه شد. در محیط Arc GIS با استفاده از تصاویر برداشت شده با پهپاد، پارامترهای تغییرات و الگوی کانال شامل، ضریب پیچان رودی، تغییرات عرض کانال، اندازه‌گیری طول و تغییرات خط مرکزی، شعاع قوس‌ها و نسبت شعاع به عرض کانال بدست آمد. معیار های شاخص فشار و تغییرات اعمال شده توسط انسان بر پایه تصاویرگوگل ارث برای سال های گذشته و تصاویر برداشت شده با پهپاد برای سال جدید تهیه شد. دخالت‌های انسانی با عنوان اندیکاتورهای فشار و پارامترهای مرتبط با آن (پیوستگی طولی، عرضی، تغییرات لایه های تشکیل دهنده بستر و سایر تاثیرات انسانی) بر اساس مشاهدات میدانی و تصاویر با قدرت تفکیک بالا بدست آمد. در ادامه طبق روش

مورداستفاده نسبت به امتیازدهی پارامترهای شاخص‌ها اقدام شد و در نهایت کیفیت مورفولوژیکی رودخانه های مورد مطالعه مشخص شد.

شاخص کیفیت مورفولوژیکی بازبینی شده (rMQI)

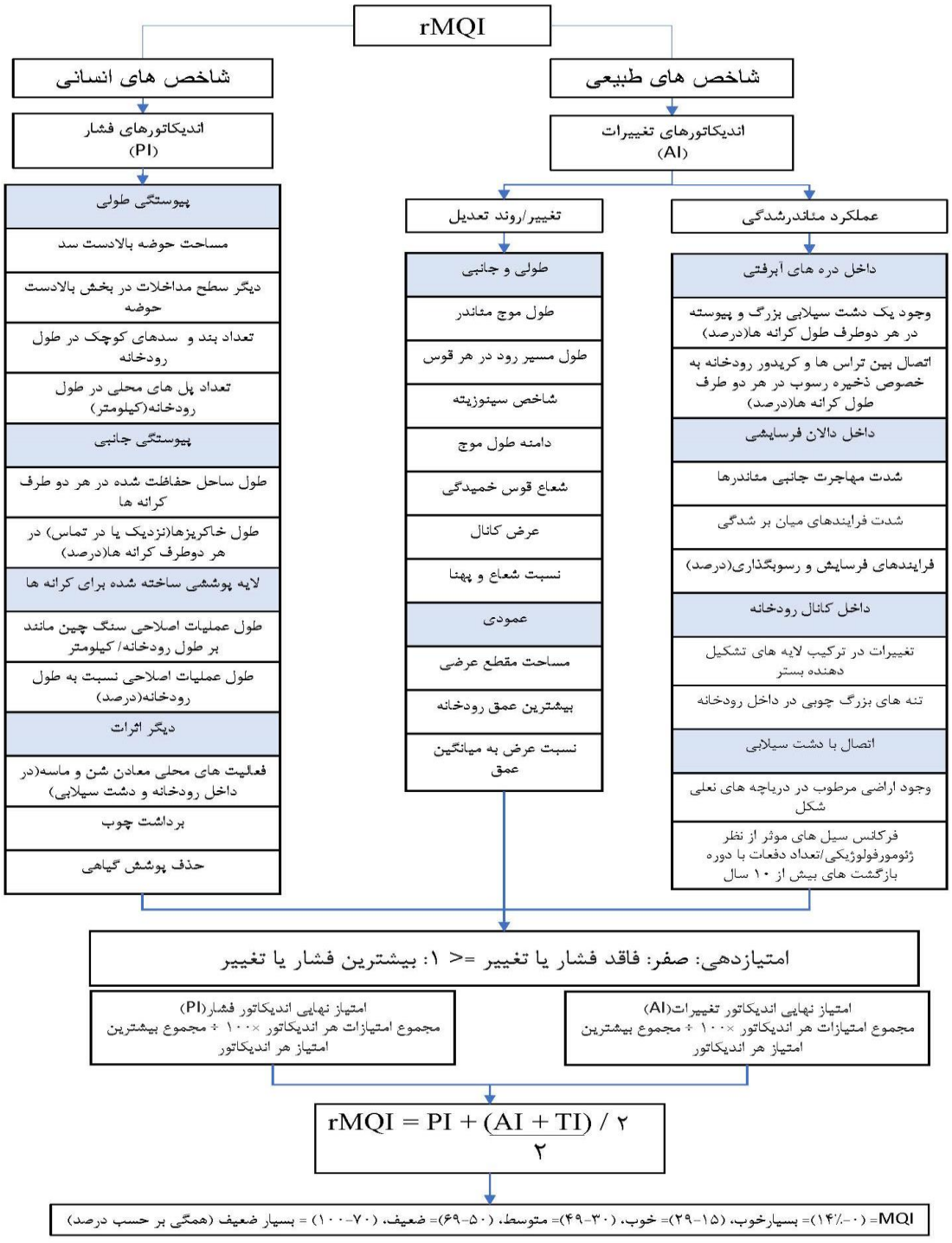
روش شاخص کیفیت مورفولوژیک بازبینی شده (rMQI) به‌منظور ارزیابی از کیفیت مورفولوژیکی رودخانه ها توسط یوانا–توریماک[1] و همکاران (۲۰۱۵) ارائه گردید. این روش با به‌کارگیری و اندازه گیری مجموعه ای از شاخص ها تحت عنوان اندیکاتورهای فشار(PI) و تعدیل کانال و عملکرد کانال (AI) به بررسی وضعیت کیفی رودخانه می پردازد (جدول۲). روش شاخص کیفیت مورفولوژی بازبینی شده بر پایه روش شاخص کیفیت مورفوژیکی رودخانه (MQI) که ابتدا توسط رینالدی[2] و همکاران در سال ۲۰۱۳ ارائه شد قرار دارد. با این تفاوت که در این روش برای تعیین درجه تغییرات، از دو شاخص: شاخص سطح فشار، شاخص سطح تغییرات و شاخص عملکردی رودخانه استفاده می‌شود. این روش بر اساس ۱۲ شاخص فشار های انسانی، و ۲۱ شاخص تغییرات کانال شامل ۱۰ شاخص تعدیل فرم کانال و ۱۱ شاخص عملکردی وضعیت کیفیت مورفولوژیکی رودخانه را مورد بررسی قرار می دهد.

برای ارزیابی احتمال وقوع فشارهای انسانی برای بازه های رودخانه ایی، بر اساس تأثیر فضایی آنها به چهار گروه (پیوستگی طولی، پیوستگی جانبی ،لایه پوششی ساخته شده در بستر رودخانه و سایر تاثیرات انسانی) تقسیم بندی شده اند (شکل ۴). ارزیابی شاخص تغییرات کانال در گروه طولی، عرضی و پیوستگی طولی کانال و در شاخص عملکردی در چهار گروه (داخل دره آبرفتی، داخل دالان فرسایش پذیر ، داخل کانال رودخانه و اتصال با دشت سیلابی) انجام شد (شکل ۴).

[1]. Ioana-Toroimac
[2]. Rinaldi

جدول۲: شاخص ها، دامنه و نحوه امتیازدهی به آنها(یوانا-توریماک و همکاران،۲۰۱۵)			
شاخص	شاخص ها	دامنه	امتیاز
شاخص های انسانی	مساحت مخازن حوضه بالادست	>۶۶٪-۰	۹-۰
	دیگر سطح مداخلات در بالادست حوضه	A-M-I	۶-۰
	تعداد خاک ریزهای محی یا سدهای تنظیمی در طول رودخانه(کیلومتر)	>٪۱/۱-۰	۶-۰
	تعداد پل های محلی در طول رودخانه(کیلومتر)	>٪۱/۱-۰	۳-۰
	طول ساحل حفاظت شده در هر دو طرف کرانه ها(درصد)	<٪۵->٪۳۳	۶-۰
	طول کرانه بازجنگل کاری شده در هر دو طرف کرانه ها	<٪۵->٪۳۳	۳-۰
شاخص‌های فشار(PI)	طول خاک ریزها(نزدیک یا در تماس) در هر دو طرف کرانه ها(درصد)	<٪۱۰->٪۵۰	۶-۰
	طول عملیات اصلاحی سنگ چین مانند بر طول رودخانه/ کیلومتر	>٪۱/۱-۰	۶-۰
	طول عملیات اصلاحی نسبت به طول رودخانه(درصد)	>۰-۱۰٪	۳-۰
	معادن شن و ماسه(در داخل رودخانه و دشت سیلابی)	A-I	۶-۰
	برداشت چوب	A-I	۵-۰
	حذف پوشش گیاهی کناره ای	A-I	۵-۰
شاخص های طبیعی	طول موج مئاندر(متر)	NC-C	۶-۰
	طول مسیر رود(متر)	NC-C	۶-۰
	شاخص سینوزیته	NC-C	۶-۰
	دامنه(متر)	NC-C	۶-۰
	شعاع قوس خمیدگی(r_c)	NC-C	۶-۰
	عرض کانال(w) (متر)	NC-C	۶-۰
	نسبت شعاع بر عرض کانال	NC-C	۶-۰
شاخص‌های تعدیل/روند	مساحت مقطع عرضی	T-NT	۶-۰
	حداکثر عمق کانال	T-NT	۶-۰
	نسبت عرض کانال به میانگین عمق	T-NT	۶-۰
شاخص های عملکردی کانال	وجود یک دشت سیلابی بزرگ و پیوسته در هر دوطرف طول کرانه ها(درصد)	<۱۰->۶۶	۵-۰
	اتصال بین تراس ها و رودخانه در دو طرف طول کرانه ها(درصد)	<۳۳->۹۰	۵-۰
	شدت مهاجرت جانبی مئاندرها در یک بازه زمانی معین(متر)	I-A	۵-۰
	شدت فرایندهای میان بر شدگی	همان شدت یا شدت	۶-۰
	وجود اشکال تراکمی به صورت انباشتگی رسوب (متر)	I-A	۳-۰
	طول یک کریدور فرسایش پذیر در هر دو طرف کرانه ها (درصد)	<۳۳->۶۶	۶-۰
	تغییرات در ترکیب لایه پوششی بستر	تا تغییر به یک ذره با اندازه همان دانه	۵-۰
	الوارهای بزرگ در داخل رودخانه	P-A	۳-۰
	وجود اراضی مرطوب در دریاچه های نعلی شکل	P-A	۶-۰
	دوره بازگشت دبی لبالبی(سال)	چندین بار- هرگز	3-6
	فرکانس سیل های موثر از نظر ژئومورفولوژیکی/تعداد دفعات با دوره بازگشت های بیش از ۱۰ سال	چندین بار- هرگز	۶-۰

A فقدان، M متوسط،I شدید، NC بدون تغییر،C تغییر،T روند،NT بدون روند،P وجود



شکل۴: نمودار روش کیفیت مورفولوژی بازبینی‌شده (یوانا-توریماک و همکاران،۲۰۱۵)

در این بخش، منظور از طولی و جانبی اندازه‌گیری خصوصیات مقاطع عرضی در طول رودخانه است. مفهوم عمودی، اندازه‌گیری آن دسته از خصوصیاتی است که به‌طور عمودی مانند اندیکاتورهای مساحت مقطع عرضی و بیشینه عمق رودخانه اندازه‌گیری می‌شوند. داخل دره‌های آبرفتی، منظور آن دسته از لندفرم‌هایی است که در داخل دره وجود دارند که باید اندازه‌گیری شوند. منظور از داخل کریدور فرسایشی آن دسته از عوارض رودخانه‌ای است که یا حاصل فرآیندهای

فرسایشی است و یا منجر به ایجاد فرسایش کناره‌ای می‌شوند. مفهوم دیگر در این رابطه، داخل کانال رودخانه است که منظور تجمع بعضی از بقایای گیاهی و درختی در داخل کانال رودخانه است و منظور از اتصال با دشت سیلابی آن دسته از لندفرم‌هایی است که در اثر فرآیندهای رودخانه‌ای مانند سیل و تغییر و تحول پیچانرودها رخ می‌دهند (شکل۴).

با استفاده از تصاویر برداشت شده در دو بازه زمانی و مشاهدات میدانی، در این روش ابتدا اندیکاتورهای فشار و تغییرات تعیین می شوند، سپس هر اندیکاتور در مقایسه با شرایط مرجع طبقه بندی می شود. در نهایت به هر اندیکاتور امتیاز (صفر کمترین امتیاز برای نبود تغییرات و ۶ بیشترین امتیاز برای وجود تغییرات زیاد) تعلق می‌گیرد. امتیاز نهایی هر اندیکاتور در عدد ۱۰۰ ضرب و سپس تقسیم بر مجموع بیشترین امتیاز برای هر اندیکاتور می‌شود. در نهایت با محاسبه میانگین اندیکاتورها وضعیت کیفیت مورفولوژیکی رودخانه به دست می‌آید که به‌صورت درصد بیان می‌شود. در این روش، کیفیت مورفولوژیک رودخانه در پنج کلاس طبقه‌بندی می‌شود. کیفیت مورفولوژیکی بسیار خوب (۰–۱۴ درصد) که منعکس کننده وضعیت طبیعی است، کیفیت مورفولوژیکی خوب (۱۵–۲۹ درصد)، کیفیت مورفولوژیکی متوسط (۳۰–۴۹ درصد)، کیفیت مورفولوژیکی ضعیف (۵۰–۶۹ درصد) و یک کیفیت مورفولوژیکی بسیار ضعیف (۷۰–۱۰۰ درصد) که منعکس کننده یک وضعیت به شدت تغییر یافته است طبقه‌بندی می‌شود (یوانا–توریماک و همکاران، ۲۰۱۵) (شکل۴).

یافته ها

بررسی کیفیت مورفولوژیکی رودخانه های مورد مطالعه

با استفاده از بازدیدهای میدانی و پردازش عکس هوایی برداشت شده با پهپاد (شکل ۵) در بازه های زمانی مختلف اندیکاتور های موجود برای هر بازه از رودخانه شناسایی شد. سپس اقدام به اندازه گیری، محاسبه و امتیازدهی به داده ها با استفاده از روش rMQI شد.

رودخانه حاجی ماهرود: محدوده مورد مطالعه در رودخانه حاجی ماهرود به دو بازه تفکیک گردید. مقادیر پارامترهای بدست آمده از شاخص فشار در بازه اول به میزان ۳۷/۵ درصد و بازه دوم ۴۲/۱۹ درصد، شاخص های تغییر/روند تعدیل کانال در بازه اول و در بازه دوم به میزان ۷۰ درصد بدست آمد. بر اساس داده فوق، مقادیر rMQI در بازه اول به میزان ۴۵/۱۸ درصد و در بازه دوم به میزان ۴۷/۵۳ درصد محاسبه گردید و کیفیت مورفولوزیک در هر دو بازه رودخانه حاجی ماهرود متوسط ارزیابی شده است (جدول ۳ و ۴). نتایج نشان می دهد شاخص های فشار یعنی دخالت های انسانی تاکنون نتوانسته است بر کیفیت مورفولوژیکی رودخانه تاثیرهای منفی قابل توجهی داشته باشد و رودخانه با استفاده از شاخص‌های طبیعی (شاخص‌های عملکردی، تغییر و تعدیل) شرایط محیطی خود را محفوظ نگه داشته است.

شکل ۵: الف و ب مناطق بکر و دست نخورده در بازه مورد مطالعه رودخانه حاجی ماهرود ج و د مناطق تحت تاثیر اندیکاتورهای فشار انسانی شامل برداشت شن و ماسه و ساخت سطح اساس بعد پل

جدول۳: اندیکاتورها، مقادیر و امتیازدهی به آن ها در رودخانه حاجی ماهرود

اندیکاتور	شاخص ها	مقادیر		امتیاز	
		بازه۱	بازه۲	بازه۱	بازه۲
شاخص های انسانی	مساحت مخازن سد در بالادست	۰	۰	۰	۰
	دیگر سطوح مداخلات در بالادست حوضه	I	I	۶	۶
	تعداد بند یا سدهای تنظیمی در طول رودخانه(کیلومتر)	۰	۰	۰	۰
	تعداد پل های محلی در طول رودخانه(کیلومتر)	۰/۰۳	۰/۰۵	۲	۳
	طول ساحل حفاظت‌شده در هر دو طرف کرانه ها(درصد)	۰	۰	۰	۰
اندیکاتورهای فشار(PI)	طول کرانه درختکاری‌شده در هر دو طرف کرانه ها	۹۳٪/۵	۶۵٪	۲	۳
	طول خاک ریزها در هر دو طرف کرانه ها(درصد)	۰	۰	۰	۰
	طول عملیات اصلاحی سنگ چین مانند بر طول رودخانه/ کیلومتر	۰	۰	۰	۰
	طول عملیات اصلاحی نسبت به طول رودخانه(درصد)	۰	۰	۰	۰
	معادن‌شن و ماسه(در داخل رودخانه و دشت سیلابی)	I	I	۶	۶
	برداشت چوب	I	M	۵	۴
	حذف پوشش گیاهی کناره ای	M	I	۲	۵
شاخص های طبیعی	طول موج مئاندر(متر)	C	C	۶	۶
	طول مسیر رود در هر قوس(متر)	C	C	۶	۶
	شاخص سینوزیته	C	C	۶	۶
	دامنه طول موج(متر)	C	C	۶	۶
	شعاع قوس خمیدگی(rc)	C	C	۶	۶
	عرض کانال(W) (متر)	C	C	۶	۶
	نسبت‌شعاع بر عرض کانال	C	C	۶	۶
	مساحت مقطع عرضی	T	T	۰	۰
	بیشترین عمق کانال	T	T	۰	۰
	نسبت عرض کانال به میانگین عمق	T	T	۰	۰
اندیکاتورهای تغییر/روند تعدیل کانال(AI)	وجود کشت سیلابی بزرگ و پیوسته در دوطرف طول کرانه ها(درصد)	۸٪/۵	۱۵٪	۰	۳
	اتصال بین تراس ها و رودخانه در دو طرف طول کرانه ها(درصد)	٪۶۸/۵	٪۸۷/۸	۳	۰
	شدت مهاجرت جانبی مئاندرها در یک بازه زمانی معین(متر)	A	A	۵	۵
	شدت فرایندهای میان برشدگی	A	A	۶	۶
	وجودکانال ترانسی به صورت قطعاتگی رسوب(متر)	I	I	۰	۰
	طول یک کریدور فرسایش پتیر در هر دو طرف کرانه ها(درصد)	۸۸٪/۲	٪۹۶/۸	۰	۰
	تغییرات در ترکیب لایه پوششی بستر	NC	NC	۰	۰
	چوب های بزرگ در داخل رودخانه	P	P	۰	۰
	وجود اراضی مرطوب در دریاچه های تعلیق‌کانال	A	A	۶	۶
	دوره بازگشت سیل لالایی(سال)	۱	۱	۰	۰
	فرکانس سیل های موثر از نظر ژئومورفولوژیکی(تعداد دفعات با دوره بازگشت های بیش از ۱۰ سال	۱۰	۱۰	۰	۰

جدول ۴: ارزیابی شاخص کیفیت مورفولوژیکی رودخانه حاجی ماهرود

نام رودخانه	PI		AI		(PI+AI)/2		وضعیت کیفیت مورفولوژیکی(rMQI)	
	بازه ۱	بازه ۲	بازه ۱	بازه ۲	بازه ۱	بازه ۲	بازه ۱	بازه ۲
حاجی ماهرود	۳۷/۵	۴۲/۱۹	۷۰	۷۰	۴۵/۱۸	۴۷/۵۳	متوسط	متوسط

مهمترین شاخص فشارهای فشار در این رودخانه، معادن شن و ماسه (در داخل رودخانه و دشت سیلابی)، برداشت چوب و حذف پوشش گیاهی کرانه رودخانه بوده است. در خصوص شاخص های تغییر/روند تعدیل کانال، شاخص های طول موج مئاندر، طول مسیر رود در هر قوس، شاخص سینوزیته، دامنه طول موج، شعاع قوس خمیدگی، عرض کانال و نسبت شعاع بر عرض کانال و در بخش شاخص عملکردی عدم وجود مهاجرت جانبی مئاندرها، نبود فرایندهای میان بر

شدگی و عدم وجود اراضی مرطوب در دریاچه های هلالی شکلبیشترین تاثیر منفی را در کیفیت رودخانه حاجی ماهرود داشته است (جدول ۴).

رودخانه واز: محدوده مورد مطالعه در رودخانه واز به دو بازه تفکیک گردید. مقادیر پارامترهای بدست آمده از شاخص فشار در بازه اول و دوم به میزان ۳۱/۲۵ درصد، شاخص های تغییر/روند تعدیل کانال در بازه اول معادل ۵۴/۳۹ درصد و در بازه دوم به میزان ۵۱/۷۵ درصد بدست آمد. بر اساس داده فوق، مقادیر rMQI در بازه اول به میزان ۴۲/۸۲ درصد و در بازه دوم به میزان ۴۱/۵ درصد محاسبه گردید و کیفیت مورفولوزیک در هر دو بازه رودخانه واز متوسط ارزیابی شده است (جدول ۵ و ۶). نتایج نشان می دهد اندیکاتورهای فشار که همان مداخلات انسانی می باشد تاکنون نتوانسته است بر کیفیت مورفولوژیکی رودخانه اثرگذار باشد و رودخانه با استفاده از شاخص‌های طبیعی (شاخص‌های عملکردی، تغییر و تعدیل) شرایط محیطی خود را محفوظ نگه داشته است.

جدول۵: اندیکاتورها، مقادیر و امتیازدهی به آن ها در رودخانه واز

اندیکاتور	شاخص ها	مقادیر		امتیاز	
		بازه۱	بازه۲	بازه۱	بازه۲
شاخص های انسانی	مساحت مخازن سد در بالادست	۰	۰	۰	۰
	دیگر سطوح مداخلات در بالادست حوضه	I	I	۶	۶
	تعداد بند یا سدهای تنظیمی در طول رودخانه(کیلومتر)	۰	۰	۰	۰
	تعداد پل های محلی در طول رودخانه(کیلومتر)	۰	۰	۰	۰
	طول ساحل حفاظت‌شده در هر دو طرف کرانه ها(درصد)	۰	۰	۰	۰
اندیکاتورهای فشار(PI)	طول کرانه درختکاری‌شده در هر دو طرف کرانه ها	۶۷٪/۵	۹۳٪	۳	۳
	طول خاک ریزها در هر دو طرف کرانه ها(درصد)	۰	۰	۰	۰
	طول عملیات اصلاحی سنگ چین مانند بر طول رودخانه/ کیلومتر	۰	۰	۰	۰
	طول عملیات اصلاحی نسبت به طول رودخانه(درصد)	۰	۰	۰	۰
	معادن‌حذر و ماسه(در داخل رودخانه و کنده سیلابی)	I	I	۶	۶
	برداشت چوب	I	I	۵	۵
	حذف پوشش گیاهی کناره ای	A	A	۰	۰
شاخص های طبیعی	طول موج منظم(متر)	C	C	۶	۶
	طول مسیر رود در هر قوس(متر)	C	C	۶	۶
	شاخص سینوزیته	C	C	۶	۶
	دامنه طول موج(متر)	C	C	۶	۶
	شعاع قوس خمیدگی(Rc)	C	C	۶	۶
	عرض کانال(W) (متر)	C	C	۶	۶
	نسبت‌شعاع بر عرض کانال	C	C	۶	۶
	مساحت مقطع عرضی	T	T	۰	۰
	بیشترین عمق کانال	T	T	۰	۰
	نسبت عرض کانال به میانگین عمق	T	T	۰	۰
اندیکاتورهای تغییر/روند تعدیل کانال(AI)	وجود کنکت سیلابی بزرگ و پیوسته در دوطرف طول کرانه ها(درصد)	۸٪/۵	۹٪/۹	۰	۰
	اتصال بین تراس ها و رودخانه در دو طرف طول کرانه ها(درصد)	٪۸۷/۵	٪۹۳/۸	۰	۳
	شدت مهاجرت جانبی منظم‌ها در یک بازه زمانی معین(متر)	A	A	۵	۵
	شدت فرایندهای میان برشدگی	A	A	۶	۶
	وجودشکال تراکمی به صورت قطعشدگی رسوب(متر)	I	I	۰	۰
	طول یک کریدور فرسایش پتیر در هر دو طرف کرانه ها(درصد)	۹۵٪/۲	٪۹۳/۸	۰	۰
	تغییرات در ترکیب لایه پوششی بستر	NC	NC	۰	۰
	چوب های بزرگ در داخل رودخانه	P	P	۰	۰
	وجود اراضی مرطوب در دریاچه های نعل‌شکل	A	A	۶	۶
	دوره بازگشت سیل لایه‌ای (سال)	۱	۱	۰	۰
	فرکانس سیل های موثر از نظر ژئومورفولوژیکی(تعداد طغیان با دوره بازگشت های بیش از ۱۰ سال	۱۰	۱۰	۰	۰

جدول ۶: ارزیابی شاخص کیفیت مورفولوژیکی رودخانه واز

نام رودخانه	PI		AI		(PI+AI)/2		وضعیت کیفیت مورفولوژیکی(rMQI)	
	بازه ۱	بازه ۲	بازه ۱	بازه ۲	بازه ۱	بازه ۲	بازه ۱	بازه ۲
واز	۳۱/۲۵	۳۱/۲۵	۵۴/۳۹	۵۱/۷۵	۴۲/۸۲	۴۱/۵	متوسط	متوسط

شکل ۶: الف و ب مناطق بکر و دست نخورده در بازه مورد مطالعه رودخانه واز ج و د مناطق تحت تاثیر اندیکاتورهای فشار انسانی شامل برداشت شن و ماسه

مقدار شاخص فشار از سه فشار شدید (یعنی سایر راه‌حل‌های مدیریت رودخانه در بالادست، معادن شن و ماسه (در داخل رودخانه و دشت سیلابی)، برداشت چوب) و یک فشار متوسط انسانی (یعنی طول کرانه درختکاری شده در هر دو طرف کرانه ها) به دست می‌آید، و مقدار شاخص تغییرات بر اساس ۷ تغییر شدید (یعنی طول موج مئاندر، طول مسیر رود در هر قوس، شاخص سینوزیته، دامنه طول موج، شعاع قوس خمیدگی، عرض کانال و نسبت شعاع بر عرض کانال) و مقدار شاخص عملکردی بر اساس ۳ تغییر با شدت زیاد (یعنی شدت مهاجرت جانبی مئاندرها، شدت فرایندهای میان بر شدگی و وجود اراضی مرطوب در دریاچه های هلالی شکل) و بر اساس ۱ تغییر با شدت متوسط (اتصال بین تراس ها و رودخانه در دو طرف طول کرانه) بدست آمده است (جدول ۶).

رودخانه حبله رود: با استفاده از تصاویر برداشت شده در دو بازه زمانی و مشاهدات میدانی شاخص های مربوط به اندیکاتورهای فشار (PI) و اندیکاتورهای تغییر/روند تعدیل کانال (AI) در رودخانه حبله رود شناسایی شده اند (شکل ۶ و جدول ۷).

محدوده مورد مطالعه در رودخانه به سه بازه تفکیک گردید. مقادیر پارامترهای بدست آمده از شاخص فشار در بازه اول ۷/۸۷ درصد، بازه دوم ۲۸/۷۵ درصد و بازه سوم ۱۵/۶۳ درصد، شاخص های تغییر/روند تعدیل کانال در بازه اول معادل ۶۴/۹۱ درصد، بازه دوم ۶۰/۵۳ و در بازه سوم به میزان ۶۷/۵۴ درصد بدست آمد. بر اساس داده فوق، مقادیر rMQI در بازه اول به میزان ۳۶/۳۹ درصد، در بازه دوم ۴۴/۶۴ درصد و در بازه سوم به میزان ۴۱/۵۸ درصد محاسبه گردید و کیفیت مورفولوزیک در هر سه بازه رودخانه حبله رود متوسط ارزیابی شده است (جدول ۸). نتایج نشان می دهد اندیکاتورهای

فشار یعنی مداخلات انسانی بر روی کاهش کیفیت مورفولوژیکی خیلی موثر نبوده است بلکه تاثیر شاخص‌های طبیعی (شاخص‌های عملکردی، تغییر و تعدیل) و شرایط محیطی بیشترین نقش را در کاهش کیفیت مورفولوژیکی رودخانه داشته است.

جدول ۷: اندیکاتورها، مقادیر و امتیازدهی به آن ها در رودخانه حبله رود

شاخص	شاخص ها	مقادیر			امتیاز		
		بازه۱	بازه۲	بازه۳	بازه۱	بازه۲	بازه۳
شاخص های انسانی	مساحت مخازن سد در بالادست	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	دیگر سطوح مداخلات در بالادست حوضه	M	A	A	۳	۰	۰
	تعداد بند یا سدهای تنظیمی در طول رودخانه(کیلومتر)	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	تعداد پل های محلی در طول رودخانه(کیلومتر)	۰	۰،۰۳	۰	۰	۲	۰
شاخص‌های فشار(PI)	طول ساحل حفاظت‌شده در هر دو طرف کرانه ها(درصد)	۰	۱۹٪	۱۳٪/۵	۰	۳	۳
	طول کرانه درختکاری‌شده در هر دو طرف کرانه ها	۲۳٪/۵	۰	۰	۲	۰	۰
	طول خاک ریزها در هر دو طرف کرانه ها(درصد)	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	طول عملیات اصلاحی سنگ چین مانند در طول رودخانه/ کیلومتر	۰	۰/۲۳	۰/۱۳	۰	۴	۴
	طول عملیات اصلاحی نسبت به طول رودخانه(درصد)	۰	۱۸٪/۸	۱۰٪/۱	۰	۳	۳
	معادن‌کن و ماسه(در داخل رودخانه و کنت سیلابی)	A	A	A	۰	۰	۰
	برداشت چوب	A	A	A	۰	۰	۰
	حذف پوشش گیاهی کناره ای	A	A	A	۰	۰	۰
شاخص های طبیعی	طول موج ماندار(متر)	C	C	C	۶	۶	۶
	طول مسیر رود در هر قوس(متر)	C	C	C	۶	۶	۶
	شاخص سینوزیته	C	C	C	۶	۶	۶
شاخص‌های تعدیل/روند	دامنه طول موج(متر)	C	C	C	۶	۶	۶
	شعاع قوس خمیدگی(rc)	C	C	C	۶	۶	۶
	عرض کانال(W) (متر)	C	C	C	۶	۶	۶
	نسبت‌شعاع بر عرض کانال	C	C	C	۶	۶	۶
	مساحت مقطع عرضی	T	T	T	۰	۰	۰
	بیشترین عمق کانال	T	T	T	۰	۰	۰
	نسبت عرض کانال به میانگین عمق	T	T	T	۰	۰	۰
شاخص های عملکردی کانال	وجود کنت سیلابی بزرگ و پیوسته در دوطرف طول کرانه ها(درصد)	۶۸٪/۸	۷۵٪	۲۹٪/۴	۰	۰	۳
	اتصال بین تراس ها و رودخانه در دو طرف طول کرانه ها(درصد)	۲۷٪/۸	۳۸٪/۶	۲۵٪/۶	۵	۳	۵
	شدت مهاجرت جانبی مانادرها در یک بازه زمانی معین(متر)	A	A	A	۵	۵	۵
	شدت فرایندهای میان برشدگی	A	A	A	۶	۶	۶
	وجودکنکال تراکمی به صورت لیتکنکی رسوب(متر)	I	I	I	۰	۰	۰
	طول یک گریدور فرسایش پتیر در هر دو طرف کرانه ها(درصد)	۶۵٪/۱۵	۸۰٪/۴	۶۴٪/۸	۳	۰	۳
	تغییرات در ترکیب لایه بندی بستر	NC	NC	NC	۰	۰	۰
	چوب های بزرگ در داخل رودخانه	A	A	A	۳	۳	۳
	وجود اراضی مرطوب در دریاچه های نعلی‌شکل	A	A	A	۶	۶	۶
	دوره بازگشت دبی لبالبی(سال)	۲	۲	۲	۱	۱	۱
	فرکانس سیل های موثر از نظر ژئومورفولوژیکی/تعداد طغیان با دوره بازگشت های بیش از ۱۰ سال	۲	۲	۲	۳	۳	۳

جدول۸: ارزیابی شاخص کیفیت مورفولوژیکی در رودخانه حبله رود

نام رودخانه	PI			AI			(PI+AI)/2			وضعیت کیفیت مورفولوژیکی(rMQI)		
	بازه ۱	بازه ۲	بازه ۳	بازه ۱	بازه ۲	بازه ۳	بازه ۱	بازه ۲	بازه ۳	بازه ۱	بازه ۲	بازه ۳
حبله رود	۷/۸۷	۲/۷۵۸	۱۵/۶۳	۶۴/۹۱	۶۰/۵۳	۶۷/۵۴	۳۶/۳۹	۴۴/۶۴	۴۱/۵۸	متوسط	متوسط	متوس ط

شکل ۶: الف مناطق بکر و دست نخورده در بازه مورد مطالعه رودخانه و ب مناطق تحت تاثیر اندیکاتورهای فشار انسانی شامل ساخت دیواره و کانال انتقال آب

مقدار شاخص فشار از پنج فشار متوسط (یعنی سایر راه‌حل‌های مدیریت رودخانه در بالادست، حفاظت شده در هر دو طرف کرانه ها، درختکاری در هر دو طرف کرانه، عملیات اصلاحی سنگ چین مانند در طول رودخانه و دیگر عملیات اصلاحی) و یک فشار زیاد انسانی یعنی طول عملیات اصلاحی سنگ چین به دست می‌آید، و مقدار شاخص تغییرات بر اساس ۷ تغییر شدید (یعنی طول موج مئاندر، طول مسیر رود در هر قوس، شاخص سینوزیته، دامنه طول موج، شعال قوس خمیدگی، عرض کانال و نسبت شعاع بر عرض کانال) و مقدار شاخص عملکردی بر اساس ۴ تغییر با شدت زیاد (یعنی اتصال بین تراس ها و رودخانه در دو طرف کرانه، شدت مهاجرت جانبی مئاندرها، شدت فرایندهای میان بر شدگی و عدم وجود اراضی مرطوب در دریاچه های هلالی شکل) و بر اساس ۴ تغییر با شدت متوسط (وجود دشت سیلابی بزرگ و پیوسته، طول یک کریدور فرسایش پذیر، چوب های بزرگ در داخل رودخانه و فرکانس سیل های موثر از نظر ژئومورفولوژیکی) بدست آمده است (جدول ۸).

رودخانه شاهرود: پس از بررسی های میدانی و استفاده از تصاویر برداشت شده با پهپاد و همچنین استفاده از تصاویر گوگل ارث اندیکاتورهای موجود برای رودخانه شاهرود شناسایی شد (شکل ۷ و جدول ۹).

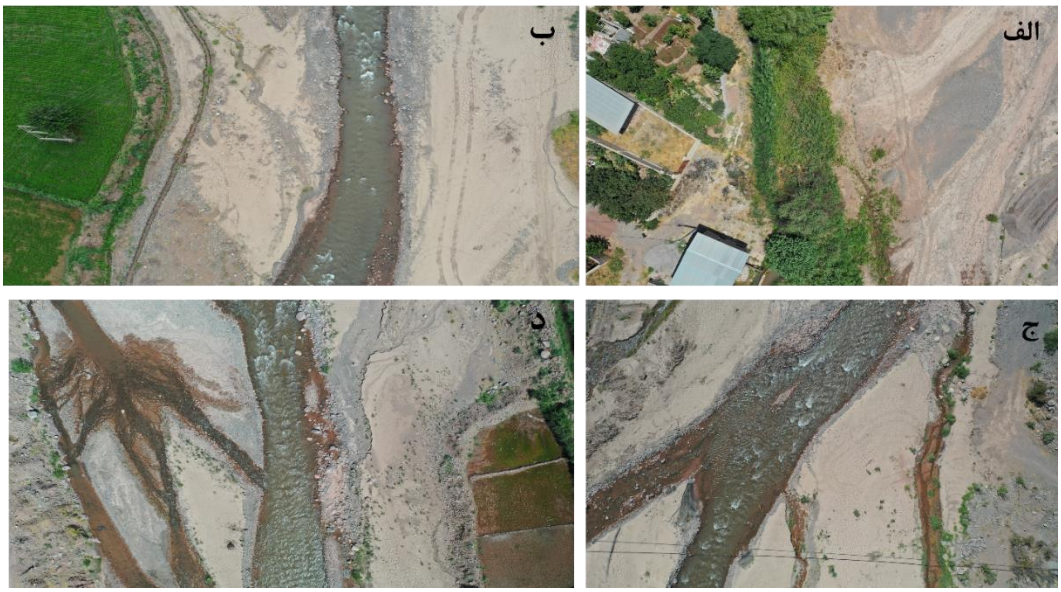
محدوده مورد مطالعه در رودخانه به دو بازه تفکیک گردید. مقادیر پارامترهای بدست آمده از شاخص فشار در بازه اول ۲۰/۳۱ درصد و بازه دوم ۲۵ درصد، شاخص های تغییر/روند تعدیل کانال در بازه اول معادل ۳۰/۷ درصد و بازه دوم ۳۰/۷ درصد بدست آمد. بر اساس داده فوق، مقادیر rMQI در بازه اول به میزان ۲۵/۵۱ درصد و در بازه دوم ۲۷/۸۵ درصد محاسبه گردید و کیفیت مورفولوزیک در هر دو بازه رودخانه شاهرود خوب ارزیابی شده است (جدول ۱۰). نتایج نشان می دهد اندیکاتورهای فشار یعنی مداخلات انسانی همانند شاخص‌های طبیعی(شاخص‌های عملکردی، تغییر و تعدیل) و شرایط محیطی بر روی کاهش کیفیت مورفولوژیکی خیلی موثر نبوده است.

جدول ۹: اندیکاتورها، مقادیر و امتیازدهی به آن ها در رودخانه شاهرود

شاخص	شاخص ها	مقادیر		امتیاز	
		بازه۱	بازه۲	بازه۱	بازه۲
شاخص های انسانی	مساحت مخازن سد در بالادست	۰	۰	۰	۰
	دیگر سطوح مداخلات در بالادست حوضه	M	I	۳	۶
	تعداد بند یا سدهای تنظیمی در طول رودخانه(کیلومتر)	۰	۰	۰	۰
	تعداد پل های محلی در طول رودخانه(کیلومتر)	۰/۰۷	۰/۰۷	۲	۲
	طول ساحل حفاظت‌شده در هر دو طرف کرانه ها(درصد)	۸٪/۳	۵٪/۵	۰	۰
شاخص‌های فشار(PI)	طول کرانه درختکاری‌شده در هر دو طرف کرانه ها	۲۸٪/۲	۱۳٪/۳	۲	۲
	طول خاک ریزها در هر دو طرف کرانه ها(درصد)	۰	۰	۰	۰
	طول عملیات اصلاحی سنگ چین مانند در طول رودخانه/ کیلومتر	۰/۰۵	۰/۰۳۶	۴	۴
	طول عملیات اصلاحی نسبت به طول رودخانه(درصد)	۸٪/۳	۵٪/۵	۲	۲
	معادن‌کن و ماسه(در داخل رودخانه و کنت سیلابی)	A	A	۰	۰
	برداشت چوب	A	A	۰	۰
	حذف پوشش گیاهی کناره ای	A	A	۰	۰
شاخص های طبیعی	طول موج متاندر(متر)	NC	NC	۰	۰
	طول مسیر رود در هر قوس(متر)	NC	NC	۰	۰
	شاخص سینوزیته	NC	NC	۰	۰
شاخص‌های تعدیل/روند	دامنه طول موج(متر)	NC	NC	۰	۰
	شعاع قوس خمیدگی(rc)	NC	NC	۰	۰
	عرض کانال(W) (متر)	C	C	۶	۶
	نسبت‌شعاع بر عرض کانال	NC	NC	۰	۰
	مساحت مقطع عرضی	T	T	۰	۰
	بیشترین عمق کانال	T	T	۰	۰
	نسبت عرض کانال به میانگین عمق	T	T	۰	۰
شاخص های عملکردی کانال(AI)	وجود کنت سیلابی بزرگ و پیوسته در دوطرف طول کرانه ها(درصد)	۳۰٪/۵	۳۸٪/۱	۳	۳
	اتصال بین تراس ها و رودخانه در دو طرف طول کرانه ها(درصد)	٪۳۲/۶	٪۴۲/۷	۳	۳
	شدت مهاجرت جانبی متاندرها در یک بازه زمانی معین(متر)	A	A	۵	۵
	شدت فرایندهای میان برشدگی	A	A	۶	۶
	وجودکانال تراکمی به صورت لایه‌بندی رسوب(متر)	I	I	۰	۰
	طول یک کریدور فرسایش پتیر در هر دو طرف کرانه ها(درصد)	۶۵٪/۱	۴۰٪	۳	۳
	تغییرات در ترکیب لایه پوششی بستر	NC	NC	۰	۰
	چوب های بزرگ در داخل رودخانه	A	A	۳	۳
	وجود اراضی مرطوب در دریاچه های هلالی‌شکل	A	A	۶	۶
	دوره بازگشت دبی لبالبی(سال)	۱	۱	۰	۰
	فرکانس سیل های موثر از نظر ژئومورفولوژیکی(تعداد حضات یا دوره بازگشت های بیش از ۱۰ سال	۷	۷	۰	۰

جدول ۱۰: ارزیابی شاخص کیفیت مورفولوژیکی در رودخانه شاهرود

نام رودخانه	PI		AI		(PI+AI)/2		وضعیت کیفیت مورفولوژیکی(rMQI)	
	بازه ۱	بازه ۲	بازه ۱	بازه ۲	بازه ۱	بازه ۲	بازه ۱	بازه ۲
شاهرود	۲۰/۳۱	۲۵	۳۰/۷	۳۰/۷	۲۵/۵۱	۲۷/۸۵	خوب	خوب



شکل ۷: الف، ج و د مناطق بکر و دست نخورده در بازه مورد مطالعه رودخانه و ب مناطق تحت تاثیر اندیکاتورهای فشار انسانی شامل ساخت دیواره و کانال انتقال آب

مقدار شاخص فشار از چهار فشار متوسط (یعنی سایر راه‌حل‌های مدیریت رودخانه در بالادست، تعداد پل های محلی، طول کرانه درختکاری شده و دیگر عملیات اصلاحی) و یک فشار زیاد انسانی یعنی طول عملیات اصلاحی سنگ چین به دست می‌آید، و مقدار شاخص تغییرات بر اساس یک تغییر شدید یعنی عرض کانال و مقدار شاخص عملکردی بر اساس ۳ تغییر با شدت زیاد (شدت مهاجرت جانبی مئاندرها، شدت فرایندهای میان بر شدگی و عدم وجود اراضی مرطوب در دریاچه های هلالی شکل) و بر اساس ۴ تغییر با شدت متوسط (وجود دشت سیلابی بزرگ و پیوسته، اتصال بین تراس ها و رودخانه، طول یک کریدور فرسایش پذیر و چوب های بزرگ در داخل رودخانه) بدست آمده است (جدول ۱۰).

بحث و نتیجه گیری

بررسی کیفیت مورفولوژیکی رودخانه های مورد مطالعه با استفاده از روش rMQI نشان داد که بازه های مورد مطالعه در رودخانه واز و حاجی ماهرود دارای کیفیت متوسط است. این وضعیت نتیجه وجود سه فشار شدید و یک فشار متوسط انسانی همچنین شرایط نامناسب در تغییرات مورفولوژیک و عملکرد کانال است. در بازه های مورد مطالعه در رودخانه حبله رود نیز شرایط مشابه رودخانه واز حاکم بوده و باعث شده این بازه ها در وضعیت کیفیت مورفولوژیک متوسط باشند. بازه های مورد مطالعه در رودخانه شاهرود به دلیل وجود فشارهای انسانی جزئی و شرایط مناسب در عملکرد و تغییرات پلانفرم کانال در طول زمان دارای کیفیت مورفولوژیک خوب است.

بررسی فشارهای انسانی اعمال شده در رودخانه واز و جبله رود نشان داد که عمده فشارهای موجود، فشارهای محلی در قالب برداشت شن و ماسه، ساخت پل و بند، تغییر کاربری و دیگر دستکاری هایی است که در بخش ریپارین رخ داده و باعث کاهش عملکرد و تعدیل کانال گردید. بنابراین می توان نقش همزمان فشارهای انسانی و عوامل طبیعی را در تعیین کیفیت مورفولوژیک رودخانه های مورد مطالعه نشان می دهد (لیبولت و همکاران، ۲۰۰۲؛ فورت و آرنود–فاستا، ۲۰۰۴؛ زیلیانی و سورین، ۲۰۱۲).

بررسی تغییرات پارامترهای هندسی رودخانه واز، حاجی ماهرود و حبله رود نشان داد که مقادیر پارامترهای فوق یعنی طول موج مئاندر، طول مسیر رود در هر قوس، شاخص سینوزیته، دامنه طول موج، شعال قوس خمیدگی، عرض کانال و نسبت شعاع بر عرض کانال کاهش پیدا کرده است. ایجاد شرایط فوق می تواند نتیجه کاهش دبی آب و رسوب رودخانه، در نتیجه کاهش فراوانی و شدت سیلاب در سال های اخیر باشد (کیس و بلانکا، ۲۰۱۲). تحت شرایط فوق پدیده هایی چون مهاجرت جانبی پیچانرودها، وقوع فرایندهای میان بر شدگی، وجود اراضی مرطوب در دریاچه های هلالی شکل، وجود دشت سیلابی بزرگ و پیوسته، کریدور فرسایش پذیر و چوب های بزرگ در داخل رودخانه مشاهده نشود. شرایطی که می تواند باعث بهبود کیفیت مورفولوژیکی و زیستگاهی رودخانه واز و حبله رود شود (ویزگا و همکاران، ۲۰۱۲).

کیفیت مورفولوژیک خوب رودخانه شاهرود می تواند به دلیل عدم وجود فشارهای ناشی از مدیریت و بهره برداری از رودخانه شاهرود باشد. بازه های مورد مطالعه در منطقه کوهستانی و به دور از سکونتگاههای متراکم شهری روستایی قرار دارد.

نتایج بررسی رودخانه های واز، حاجبی ماهرود، حبله رود و شاهرود نشان داد که مداخلات انسانی مانند برداشت شن و ماسه، دیوار کشی و برداشت های نامناسب آب تاثیرات منفی زیادی بر وضعیت هیدورژئومورفولوژیکی رودخانه ها برجای می گذارد. ارزیابی هیدرومورفولوژیکی رودخانه‌ها ابزاری اساسی در مدیریت پایدار منابع آبی است. شاخص rMQI با رویکرد فرآیندمحور، توانسته است دیدگاهی دقیق‌تر و جامع‌تر در تحلیل سلامت فیزیکی رودخانه‌ها ارائه دهد.

ارزیابی کیفیت مورفولوژیک رودخانه با این روش نیازمند داده های مورفولوژیک مناسب است. بنابراین با هدف تهیه داده های با دقت بالا از تصاویر پهپاد با قدرت تفکیک ۳۰ تا ۵۰ سانتیمتر استفاده شده است.

روش rMQI به دلیل استفاده از شاخص های مختلف انسانی و طبیعی، همچنین بررسی رودخانه در مقیاس های مختلف می تواند ابزار مفیدی جهت ارزیابی و مقایسه بازه های مختلف یک رودخانه و یا مقایسه رودخانه های مختلف مورد استفاده قرار داد. یافته های بدست آمده نشان دهنده تغییرات شرایط مورفولوژیک رودخانه در طول زمان است. پژوهش‌های مورد بررسی تأکید دارند که ترکیب این شاخص با سایر ابزارهای ارزیابی، می‌تواند نتایج معتبرتری برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی به‌همراه داشته باشد.

منابع

اسماعیلی، ر.، متولی، ص و حسین زاده، م.م.، ۱۳۹۱. بررسی اثرات مورفوتکتونیک در نیمرخ طولی رودخانه واز؛البرز شمالی، استان مازندران .*پژوهش های ژئومورفوژئوژی کمی*، ، شماره۳ ،صص ۱۰۱ – ۱۱۴.

اسماعیلی، ر و ولی خانی، س.، ۱۳۹۷. ارزیابی و تحلیل شرایط هیدرومورفولوژیکی رودخانه‌ی لاویج با استفاده از شاخص کیفیت مورفولوژیکی، *پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی، دوره۲، شماره۴،صص۳۷-۵۳.*

ایلانلو، م و کرم، ا.، ۱۳۹۹. ارزیابی شرایط هیدرومورفولوژیکی رودخانه جاجرود با استفاده از روش. rMQI . *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، دوره۲۰، شماره۵۶، صص ۳۵-۵۳.

رضایی، م.، خالقی، س و حسین زاده، م.م.، ۱۴۰۱. ارزیابی شرایط هیدرومورفولوژی طالقان رود جهت برنامه ریزی محیطی با استفاده از روش های MQI و RQI *جغرافیا و پایداری محیط*، دوره ۱۲، شماره۴ ،صص ۱۰۱ – ۱۱۷.

طالبی، ز.، ایوب زاده، س ع.، مصطفوی.، ح.، حسین زاده، م م و شفیع زاده، ح .، ۱۴۰۳. تحلیل و ارزیابی مورفولوژیک رودخانه مبتنی بر ویژگی‌های مورفولوژیک، سازه‌های مصنوعی و تنظیمات آبراهه (مطالعه موردی: رودخانه تالار– از بالادست تا شیرگاه) . *علوم محیطی*، دوره۲۲، شماره۱، صص ۲۱-۳۸.

فندرسکی، ن.، مسعودیان, م و راتچر، ک .، ۱۴۰۴. ارزیابی شرایط هیدرومورفولوژیکی رودخانه تجن با استفاده از روش.HMQI، *مهندسی و مدیریت آبخیز*، دوره۱۴، شماره۲، صص ۱۸۵-۲۰۱.

کرم، ا.، صفاری، ا.، سلیمانی، م و الهیاری، ا.، ۱۴۰۰. تحلیل شرایط مورفولوژیک کریدور رودخانه‌ای کن در کلان‌شهر تهران با استفاده از روشMQI ، *اقتصاد و برنامه ریزی شهری* دوره ۲، شماره ۴، صص ۳۲۶-۳۳۹.

یعقوب نژاد اصل، ن.، اسفندیاری داراباد، ف.، اصغری سراسکانرود، ص و کرم، ا.، ۱۳۹۹. ارزیابی کیفیت مورفولوژیک رودخانه طالقان، *.مهندسی و مدیریت آبخیز*، دوره۱۲، شماره۳، صص ۶۵۷-۶۶۹.

References

Agnihotri, A. K., Ohri, A., & Mishra, S. (2020). Channel planform dynamics of lower Ramganga River, Ganga basin, GIS and remote sensing analyses. *Geocarto International*, *35*(9), 934-953.

Arnaud-Fassetta, G., & Fort, M. (2004). La part respective des facteurs hydroclimatiques et anthropiques dans l'évolution récente (1956-2000) de la bande active du Haut Guil, Queyras, Alpes françaises du Sud. *Méditerranée*, *102*(1), 143-156.

Belletti, B., Rinaldi, M., Buijse, A. D., Gurnell, A. M., & Mosselman, E. (2015). A review of assessment methods for river hydromorphology. *Environmental Earth Sciences*, *73*, 2079-2100.

Best, J., & Darby, S. E. (2020). The pace of human-induced change in large rivers: Stresses, resilience, and vulnerability to extreme events. *One Earth*, *2*(6), 510-514.

Boota, M. W., Yan, C., Idrees, M. B., Li, Z., Soomro, S. E. H., Dou, M., ... & Yousaf, A. (2021). Assessment of the morphological trends and sediment dynamics in the Indus River, Pakistan. *Journal of Water and Climate Change*, *12*(7), 3082-3098.

Esmaili, R. & Valikhani, S. (2018). Evaluation and analysis of hydromorphological conditions of Lavij River using morphological quality index, *Quantitative Geomorphological Research*, *2*(4), 37-53. **[**in Persian**]**

Esmaili, R., Motevalli, S. & Hosseinzadeh, M.M. (2012). Investigation of morphotectonic effects in the longitudinal profile of the Vaz River; Northern Alborz, Mazandaran Province, *Quantitative Geomorphological Research*, *1*(3), 101-114. **[**in Persian**]**

Fendersky, N., Masoudian, M. & Ratcher, K. (2015). Assessment of hydromorphological conditions of the Tajan River using the HMQI method., Watershed Engineering and Management, 14 (2), 185-201. **[**in Persian**]**

Grill, G., Lehner, B., Thieme, M., Geenen, B., Tickner, D., Antonelli, F., ... & Zarfl, C. (2019). Mapping the world's free-flowing rivers. *Nature*, *569*(7755), 215-221.

Habersack, H., Hein, T., Stanica, A., Liska, I., Mair, R., Jäger, E., ... & Bradley, C. (2016). Challenges of river basin management: Current status of, and prospects for, the River Danube from a river engineering perspective. *Science of the Total Environment*, *543*, 828-845.

Ilanloo, M. & Karam, A. (2020). Assessment of hydromorphological conditions of the river using the MQI method (Case study area: JAJROOD River). *jgs*. *20*(56), 35-53. doi:10.29252/jgs.20.56.35 URL: http://jgs.khu.ac.ir/article-1-3017-fa.html. **[**in Persian**]**

Ioana-Toroimac, G., Zaharia, L., & Minea, G. (2015). Using pressure and alteration indicators to assess river morphological quality: case study of the Prahova River (Romania). *Water*, *7*(6), 2971-2989.

karam, A., saffari, A., soleimani,M. & allahyari, A. (2021). Analysis of morphological conditions of Kan river corridor in Tehran metropolis using MQI method. *Urban Economics and Planning*, *2*(4), 326-339. doi: 10.22034/UE.2022.2.04.06. **[**in Persian**]**

Kiss, T., & Blanka, V. (2012). River channel response to climate-and human-induced hydrological changes: Case study on the meandering Hernád River, Hungary. *Geomorphology*, *175*, 115-125.

Kleinhans, M. G., De Haas, T., Lavooi, E., & Makaske, B. (2012). Evaluating competing hypotheses for the origin and dynamics of river anastomosis. *Earth Surface Processes and Landforms*, *37*(12), 1337-1351.

Lemay, J., M. Biron, P., Boivin, M., Stämpfli, N.,& Foote, K. (2021). Can the Morphological Quality Index (MQI) be used to determine the ecological status of lowland rivers?. *Geomorphology*, 395, ,108002,ISSN 0169-555X, https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.108002.

Li, Z., Yan, C., & Boota, M. W. (2022). Review and outlook of river morphology expression. *Journal of Water and Climate Change*, *13*(4), 1725-1747.

Liébault, F., & Piégay, H. (2002). Causes of 20th century channel narrowing in mountain and piedmont rivers of southeastern France. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, *27*(4), 425-444.

Macklin, M. G., & Lewin, J. (2019). River stresses in anthropogenic times: Large-scale global patterns and extended environmental timelines. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, *43*(1), 3-23.

Orah 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,ISSN 2667-0100, https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100612.

Postel, S. L., Daily, G. C., & Ehrlich, P. R. (1996). Human appropriation of renewable fresh water. *Science*, *271*(5250), 785-788.

Postel, S. L. (1998). Water for food production: will there be enough in 2025?. *BioScience*, *48*(8), 629-637.

Zhang, L., Yuan, B., Yin, X., & Zhao, Y. (2019). The influence of channel morphological changes on environmental flow requirements in urban rivers. *Water*, *11*(9), 1800.

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. doi: 10.22126/ges.2022.7973.2548. **[**in Persian**]**

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.

Stecca, G., Zolezzi, G., Hicks, D. M., & Surian, N. (2019). Reduced braiding of rivers in human-modified landscapes: Converging trajectories and diversity of causes. *Earth-science reviews*, *188*, 291-311.

Stefanidis, K., Kouvarda, T., Latsiou, A., Papaioannou, G., Gritzalis, K., & Dimitriou, E. (2022). A comparative evaluation of Hydromorphological assessment methods applied in rivers of Greece. *Hydrology*, *9*(3), 43.

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. doi: 10.48308/envs.2023.1250, **[**in Persian**]**

Tulbure, M. G., Broich, M., Stehman, S. V., & Kommareddy, A. (2016). Surface water extent dynamics from three decades of seasonally continuous Landsat time series at subcontinental scale in a semi-arid region. *Remote Sensing of Environment*, *178*, 142-157.

Van Vliet, M. T., Franssen, W. H., Yearsley, J. R., Ludwig, F., Haddeland, I., Lettenmaier, D. P., & Kabat, P. (2013). Global river discharge and water temperature under climate change. *Global Environmental Change*, *23*(2), 450-464.

Wyżga, B., Zawiejska, J., Radecki-Pawlik, A., & Hajdukiewicz, H. (2012). Environmental change, hydromorphological reference conditions and the restoration of Polish Carpathian rivers. *Earth Surface Processes and Landforms*, *37*(11), 1213-1226.

Yousefi, S., Moradi, H. R., Keesstra, S., Pourghasemi, H. R., Navratil, O., & Hooke, J. (2019). Effects of urbanization on river morphology of the Talar River, Mazandarn Province, Iran. *Geocarto International*, *34*(3), 276-292.

Yaghoub Nejad Asl, N., Esfandiari Darabad, F., Asghari Saraskanroud, S. & Karam, A. (2019). Morphological quality assessment of Taleghan River. Watershed Engineering and Management, 12 (3), 657-669. **[**in Persian**]**

Yu, S. Y., Li, W. J., Zhou, L., Yu, X., Zhang, Q., & Shen, Z. (2023). Human disturbances dominated the unprecedentedly high frequency of Yellow River flood over the last millennium. *Science Advances*, *9*(8), eadf8576.

Ziliani, L., & Surian, N. (2012). Evolutionary trajectory of channel morphology and controlling factors in a large gravel-bed river. *Geomorphology*, *173*, 104-117.