




Morphological Analysis and Assessment of a River Based on Morphological Characteristics, Artificial Structures and Channel Adjustment (Case Study: Talar River - Upstream of the Shirgah)

Received: 2022.11.24
Accepted: 2023.01.31

Zohreh Talebi,¹ Seyyed Ali Ayyoubzadeh,¹ Hossein Mostafavi,^{2*} 
Mohammad Mehdi Hoseinzadeh,³ Hossein Shafizadeh Moghaddam¹

¹ Department of Water Engineering and Management, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

² Department of Biodiversity and Ecosystem Management, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

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

How to cite this article:

Talebi, Z., Ayyoubzadeh, S.A., Mostafavi, H., Hoseinzadeh, M.M. and Shafizadeh, H., 2024. Morphological Analysis and Evaluation of a River Based on Morphological Characteristics, Artificial Structures and Channel Adjustment (Case Study: Talar River - Upstream of the Shirgah). Environ. Sci. 22(1): 21-38

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Alterations in river systems are inevitable and affect the environment. Rivers have played a very important role in creating and maintaining life on the earth since a long time ago. In other words, rivers are vital for sustaining life and ecosystems, providing essential freshwater for irrigation, drinking, and industry. However, human interventions including changes in land use patterns, construction near rivers, exploitation of water resources, and flood and storm management have significantly impacted on these crucial environmental systems. They can actually alter the spatial distribution and velocity of geomorphological processes such as sediment transport, erosion, and deposition, consequently leading to significant changes in river morphology. Therefore, assessing their morphological quality is important for their management and restoration. In this study, morphological assessment from the upstream to the midstream of the Talar River as a pilot has been conducted using the Morphological Quality Index (MQI) to evaluate the morphological status.

Material and Methods: First, Talar River was divided into two landscape units, three segments and 23 reaches based on the hierarchical approach and according to the physiographic condition. Then, geomorphological functionality, artificial structure and Indicators of channel adjustment have been assessed by MQI which includes 28 parameters.

Results and Discussion: The results obtained from 28 MQI parameters in 23 reaches showed that about 15% of the reaches have a "good" condition; almost 35% have a "moderate" condition, and more than 50% have "poor" and "very poor" conditions. Based on the assessment along the Talar river, the areas that are in the urban area due to the large amount of agriculture, urban development and road crossing have poor and very poor morphological quality class, and the areas that are in the forest area are natural and have good morphological quality. Also, the results of the assessment indicate that the average quality class of the investigated reaches is in "moderate" conditions.

Conclusion: The results show that most reaches of Talar River requires urgent measures for its restoration. In addition, although the MQI method can be appropriate and effective tool in diagnosing hydromorphological challenges. However, it is not still enough for an integrated management and restoration, and it should be integrated with other indices regarding human pressures i.e. water quality, hydrological and biological pressures.

Keywords: Morphological assessment, MQI, Talar River, River Restoration

* Corresponding Author Email Address: h-mostafavi@sbu.ac.ir
DOI: 10.48308/envs.2023.1250



تحلیل و ارزیابی مورفولوژی رودخانه مبتنی بر ویژگی‌های مورفولوژیک، سازه‌های انسان ساخت و تنظیمات آبراهه (مطالعه موردی: رودخانه تالار- از بالادست تا شیرگاه)

زهره طالبی^۱، سید علی ایوب‌زاده^۱، حسین مصطفوی^{۲*}، محمد مهدی حسین‌زاده^۲،
حسین شفیع‌زاده مقدم^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۱

چکیده مبسوط

سابقه و هدف: تغییرات در سیستم‌های رودخانه‌ای امری جدایی‌ناپذیر و اثرگذار بر محیط زیست محسوب می‌شود. رودخانه‌ها از دیرباز نقش بسیار مهمی در ایجاد و حفظ زندگی بر روی زمین ایفا می‌کرده‌اند. به عبارتی دیگر، رودخانه‌ها برای حفظ زندگی و اکوسیستم‌ها حیاتی هستند و آب شیرین ضروری برای آبیاری، شرب و صنعت را فراهم می‌کنند. با این حال، مداخلات انسانی از جمله تغییر در الگوهای کاربری زمین، ساخت و ساز در نزدیکی رودخانه‌ها، بهره برداری از منابع آب، و مدیریت سیل و طوفان به طور قابل توجهی بر این سیستم‌های زیست محیطی حیاتی تأثیر گذاشته است. آنها می‌توانند توزیع مکانی و سرعت فرآیندهای ژئومورفیکی مانند انتقال رسوب، فرسایش و رسوبگذاری را تغییر داده و در نتیجه، تغییرات قابل توجهی در مورفولوژی رودخانه‌ها ایجاد کنند. در این پژوهش، ارزیابی مورفولوژیکی از بالادست تا میانه رودخانه تالار به‌عنوان پایلوت با استفاده از شاخص کیفیت مورفولوژیکی (MQI) برای ارزیابی وضعیت مورفولوژیکی انجام شده است.

مواد و روش‌ها: در ابتدا رودخانه تالار براساس رویکرد سلسله‌مراتبی و با توجه به وضعیت فیزیوگرافی به دو واحد چشم‌انداز، سه بخش و ۲۳ بازه تقسیم‌بندی گردید. سپس طی بررسی‌های میدانی عملکرد ژئومورفولوژیکی فرآیندها و اشکال رودخانه‌ای، سازه‌های انسان ساخت و تنظیمات آبراهه‌ها توسط MQI که شامل ۲۸ پارامتر است، مورد ارزیابی قرار گرفتند.

نتایج و بحث: نتایج بدست آمده از ۲۸ پارامتر MQI در ۲۳ بازه، نشان می‌دهد؛ حدود ۱۵٪ بازه‌ها دارای وضعیت "خوب"، تقریباً ۳۵٪ بازه‌ها دارای وضعیت "متوسط" و بیش از ۵۰٪ دارای وضعیت "ضعیف" و "خیلی ضعیف" هستند. بر اساس ارزیابی انجام شده، در طول رودخانه تالار، بازه‌هایی که در محدوده شهری قرار دارند بعلت حجم زیاد کشاورزی، توسعه شهری و عبور جاده دارای کلاس کیفیت مورفولوژیک ضعیف و خیلی ضعیف هستند و بازه‌هایی که در محدوده جنگلی، بکر و دست نخورده قرار دارند دارای کیفیت مورفولوژیک خوب ارزیابی گردیده‌اند. همچنین نتایج ارزیابی حاکی از آن است که میانگین کلاس کیفی بازه‌های مورد بررسی در شرایط "متوسط" قرار دارند.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان می‌دهد که بیشتر مسیرهای رودخانه تالار نیازمند اقدامات فوری برای بازسازی و احیاء است. علاوه بر این، اگرچه روش MQI می‌تواند ابزار مناسب و موثری در تشخیص چالش‌های هیدرومورفولوژیکی باشد. با این حال، هنوز برای مدیریت یکپارچه و احیاء کافی نیست و باید با سایر شاخص‌های فشار انسانی مانند کیفیت آب، فشار هیدرومورفولوژیکی و بیولوژیکی ادغام شود.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی مورفولوژیکی، MQI، رودخانه تالار، احیای رودخانه

^۱ گروه مهندسی و مدیریت آب،
دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت
مدرس، تهران، ایران

^۲ گروه تنوع زیستی و مدیریت
اکوسیستم‌ها، پژوهشکده علوم
محیطی، دانشگاه شهیدبهشتی،
تهران، ایران

^۳ گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده
علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی،
تهران، ایران

استناد به این مقاله: طالبی، ز.
س.ع. ایوب‌زاده، ح. مصطفوی، م.م.
حسین‌زاده و ح. شفیع‌زاده، ۱۴۰۳.
تحلیل و ارزیابی مورفولوژی رودخانه
مبتنی بر ویژگی‌های مورفولوژیک،
سازه‌های انسان ساخت و تنظیمات
آبراهه (مطالعه موردی: رودخانه
تالار- از بالادست تا شیرگاه).
فصلنامه علوم محیطی. ۲۲(۱):

۳۸-۲۱

* Corresponding Author Email Address: h-mostafavi@sbu.ac.ir

DOI: 10.48308/envs.2023.1250



مقدمه

کیفیت هیدرومورفولوژیکی آن را امکان پذیر سازد، بلکه تشخیص دقیق آن دسته از ویژگی‌های هیدرومورفولوژیکی اکوسیستم رودخانه که باید در یک مکان معین بهبود یابد را نیز فراهم سازد (Radecki-Pawlik and hernik., 2010). از این رو شاخص کیفیت مورفولوژیکی بعنوان یک ارزیابی جامع و فرآیند محور توسط Rinaldi *et al.* (2013) پیشنهاد شده است. Muller *et al.* (2022) به بررسی وضعیت هیدرومورفولوژی سامانه رودخانه نانشی در شرق چین با استفاده از MQI (Morphological Quality Index) پرداختند. ارزیابی رودخانه نانشی با طول ۱۶۱ کیلومتر توسط آنها نشان داد که وضعیت هیدرومورفولوژیکی این رودخانه به صورت «متوسط» تا «بد» است. Ioana-Toroimac *et al.* (2015) با استفاده از شاخص کیفیت مورفولوژی به ارزیابی کیفیت مورفولوژی پایین دست رودخانه پروخوا در کشور رومانی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که رودخانه پروخوا در پایین دست دارای کیفیت مورفولوژی خوب است. Campana *et al.* (2014) به ارزیابی هیدرومورفولوژی رودخانه اهر در جنوب تیروال در ایتالیا پرداختند. نتایج کار نشان داد که به منظور دستیابی به تغییرات مربوطه از نظر کیفیت مورفولوژیکی، حذف عناصر انسان ساخت، تعریض آبراهه و افزایش تراز بستر رودخانه برای افزایش فرآیندهای انتقال رسوب در یک حد مشخص انجام شود و اقدامات بازگردانی و احیاء نباید بدون تجزیه و تحلیل دقیق از چگونگی پیشرفت تخریب آبراهه در طول سال‌ها انجام شود. Fendereski *et al.* (2022) به ارزیابی شرایط هیدرومورفولوژیکی رودخانه تجن با استفاده از روش MQI و HMQI پرداختند. نتایج ارزیابی نشان داد رودخانه تجن از نظر شاخص کیفیت مورفولوژیک در بازه‌های مورد مطالعه عمدتاً در طبقه کیفی متوسط قرار گرفته، در حالی که از نظر شرایط هیدرومورفولوژیک در طبقه ضعیف گزارش شده و دلیل اصلی آن وجود سد در حوضه بالادست در محدوده‌ی ۳۰ کیلومتری، تغییرات بده، دخالت‌های انسانی

مداخلات و فعالیت‌های انسانی از دلایل اصلی تخریب رودخانه‌ها است. تغییر فرآیندهای هیدرومورفولوژیکی در رودخانه‌ها توسط انسان، عامل اصلی کاهش سلامت رودخانه و تضعیف اهداف زیست محیطی پیش بینی شده توسط سیاست‌های حفاظت از رودخانه است (Bussetini *et al.*, 2017; Ahmadi *et al.*, 2023). شناسایی این مداخلات در هیدرومورفولوژی رودخانه برای بازسازی و مدیریت پایدار آبراهه‌ها اهمیت زیادی دارد (Newson and Large, 2006). همچنین برای بررسی رفتار و درک عملکرد رودخانه‌ها، استفاده از روش‌های طبقه‌بندی یکی از مهمترین محورهای کاری در مطالعات مهندسی رودخانه محسوب می‌شود (Sabzivand *et al.*, 2006; Esmacili *et al.*, 2009). طبقه‌بندی رودخانه‌ها می‌تواند واکنش آبراهه‌ها را در بازه‌های مختلف مورد ارزیابی قرار دهد تا خطرات ناشی از فرآیندهای رودخانه‌ای را به حداقل برساند. در واقع طبقه‌بندی سبب درک صحیح و سریع شرایط ژئومورفولوژیکی و ارزیابی مدیریت آبراهه می‌شود. به طور کلی روش‌های طبقه‌بندی متعددی در سطح جهان براساس فرآیندهای رودخانه‌ای، قدرت رود، اهداف مدیریتی و ویژگی‌های سلسله‌مراتبی توسعه یافته و مورد استفاده قرار می‌گیرد (Buffington and Montgomery, 2013). در مطالعات پیشین رودخانه‌ها براساس ساختار شبکه آبراهه، تولید و انتقال رسوب، مورفولوژی آبراهه، مرحله تکامل، الگوی شکل پلان رودخانه، روابط کمی شیب - بده و بر مبنای مورفولوژی آنها (شامل پارامترهای کمی و کیفی) تقسیم‌بندی شده‌اند (Horton, 1945; Strahler, 1957; Leopold and Wolman, 1957; Lane, 1957; Rosgen, 1994; Montgomery and Buffington, 1997; Mostafavi *et al.*, 2022). دستورالعمل چارچوب آب اتحادیه اروپا (the European Communities, 2000) برای دستیابی رودخانه‌ها به وضعیت اکولوژیکی مناسب، نیاز به یک روش ارزیابی وجود دارد که نه تنها طبقه‌بندی رودخانه بر اساس

مورفولوژیک (MQI) پرداختند. به این منظور ۶ بازه در بالادست رودخانه‌ی طالقان مشخص شد و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای میدانی میزان MQI برای هر بازه مشخص گردید. برای ارزیابی کیفیت مورفولوژیک بازه‌های رودخانه سه جنبه‌ی پیوستگی فرآیندهای رودخانه-ای (طولی و عرضی)، شرایط مورفولوژیکی آبراهه، شکل مقطع عرضی، رسوبات بستر و پوشش گیاهی مورد توجه قرار گرفت، که این جنبه‌ها در قالب سه مؤلفه عملکردهای ژئومورفولوژیک، فرآیندها و اشکال رودخانه‌ای (F)، انسان-ساخت (A) و تنظیمات آبراهه (CA) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده بیانگر آن بود که مدل MQI جهت طبقه‌بندی رودخانه در دامنه‌ی جنوبی البرز مناسب است. (Esmaeili and Valikhani (2014) با استفاده از روش شاخص کیفیت مورفولوژیک به ارزیابی و تحلیل کیفیت مورفولوژیک رودخانه لاریج پرداختند. نتایج حاصله نشان داد که MQI روش خوبی برای ارزیابی کیفیت مورفولوژیک رودخانه می‌باشد. (Ahmadi et al. (2022) به ارزیابی کیفیت هیدروژئومورفولوژی رودخانه کرج در بازه شهری کرج (از پل بیلقان تا پل راه آهن) پرداختند. شاخص IHG تعداد نه پارامتر را در سه گروه (کیفیت عملکرد رودخانه، مورفولوژی آبراهه، پوشش گیاهی کنار رود) ارزیابی می‌کند. مقدار هر پارامتر بین ۱ تا ۱۰، متناسب با وضعیت طبیعی و عملکرد حوضه رودخانه قرار دارد. نتایج بدست آمده نشان داد که شاخص IHG نشانگر و حسگر مناسبی برای ارزیابی کیفیت هیدروژئومورفولوژیکی رودخانه‌ها است.

رودخانه تالار به شدت توسط فعالیت‌های انسانی مانند تغییرات کاربری اراضی (شهری، کشاورزی)، برداشت شن و ماسه، پرورش ماهی و تعداد سازه‌های عبوری که منجر به ناپیوستگی‌های طولی و عرضی رودخانه می‌شود؛ تخریب شده است. تاکنون، مطالعات مورفولوژیک جامعی در سطح حوضه گزارش نشده است. این پژوهش با هدف ارزیابی و بررسی وضعیت مورفولوژیک رودخانه بر اساس شاخص کیفیت مورفولوژیکی (MQI) و در راستای تأمین اطلاعات

و تغییرات کاربری اراضی است. Yaghoub Nejad Asl (2020) به ارزیابی وضعیت مورفولوژیکی رودخانه طالقان در بازه زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۶ پرداختند و برای این منظور از ۳۲ شاخص تحت عنوان شاخص‌های فشار (PI, Pressure Index) و تغییر/روند تنظیم آبراهه (AI, Alteration Index) در ۶ بازه از رودخانه طالقان در قالب روش rMQI استفاده نمودند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که رودخانه طالقان در تمامی بازه‌ها وضعیت خوبی ندارد. (Rigon et al. (2013) با استفاده از شاخص کیفیت مورفولوژی به ارزیابی کیفیت مورفولوژی رودخانه کوردوول پرداختند. نتایج نشان داد که ۴۸٪ درصد از بازه‌های تحلیل شده دارای وضعیت بسیار خوب یا خوب هستند و ۳۸٪ کیفیت مورفولوژی متوسط دارند و تنها ۱۴٪ آنها از ویژگی‌های کیفی ضعیف یا خیلی ضعیف برخوردار بودند. (Khaleghi et al. (2021) در پژوهشی به طبقه‌بندی کیفیت مورفولوژیکی رودخانه با استفاده از شاخص کیفیت مورفولوژیکی در رودخانه حاجی عرب واقع در غرب شهرستان بوبین‌زهره پرداختند. نتایج حاصله بیانگر این است که رودخانه حاجی عرب در طبقه خوب قرار می‌گیرد و شرایط مناسبی دارد. شاخص انسان-ساخت در این رودخانه صفر بوده که نتیجه عدم دخالت انسان در رودخانه است.

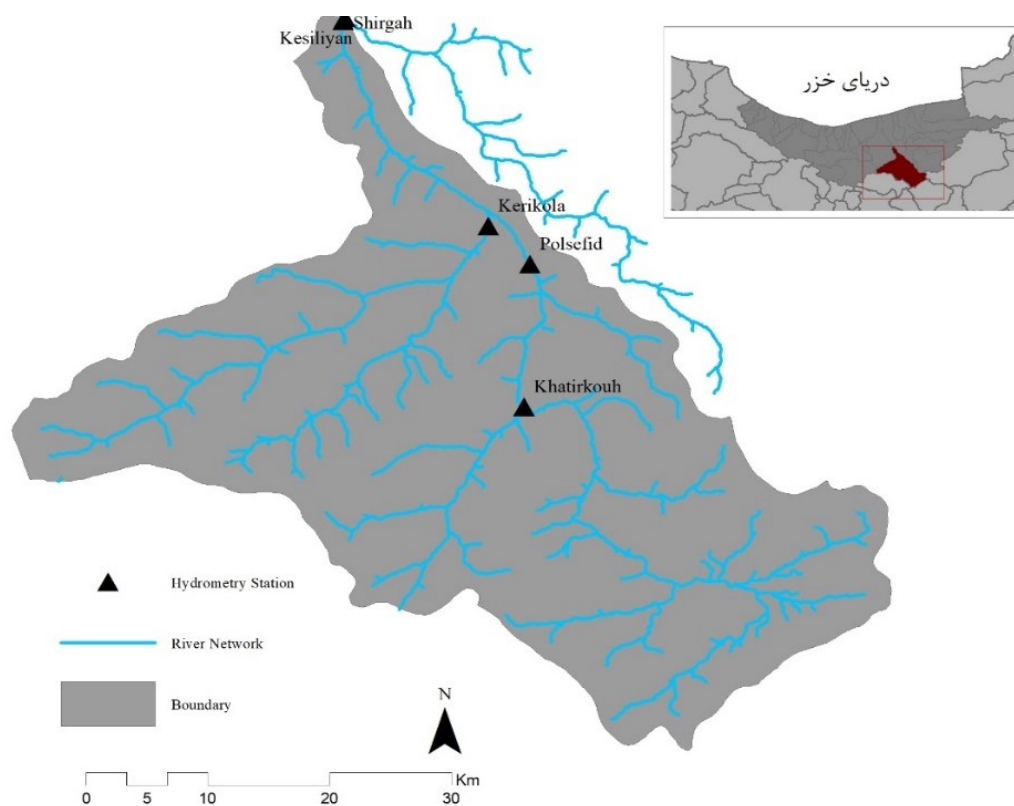
Ilanloo and Karam (2019) به ارزیابی شرایط هیدرومورفولوژیکی بخشی از رودخانه جاجرود با استفاده از روش MQI پرداختند. این مطالعه بر پایه برداشت‌های میدانی و تصاویر ماهواره‌ای سال ۲۰۱۸ لندست ۸ و سال ۱۹۷۶ لندست ۴ از منطقه انجام گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که تمامی بازه‌های منطقه از لحاظ روش MQI در شرایط ضعیف و خیلی ضعیف قرار گرفته‌اند که این مسائل ناشی از قطع درختان به منظور ایجاد ساخت و سازهای انسانی، برداشت شن و ماسه، ایجاد تفرجگاه‌های متعدد در حواشی رودخانه و تغییر الگوی رودخانه می‌باشد. (Nosrati et al. (2018) به ارزیابی شرایط هیدروژئومورفولوژی رودخانه طالقان واقع در استان البرز با استفاده از شاخص کیفی

مجزا تشکیل شده است: قسمت سرآب: که شیب آن تند و در حدود ۴٪ و قسمت پایاب: که شیب آن کمتر از شیب قسمت سرآب و در حدود ۱٪ است. اغلب شاخه‌های فرعی به رودخانه می‌پیوندند و سبب افزایش بده رودخانه در قسمت‌های مختلف آن به دفعات می‌گردد. حوضه رودخانه در منطقه معتدل مرطوب و کوهستانی واقع شده است. میانگین دمای سالانه در حوضه آبریز ۸/۹ درجه سانتیگراد (با حداقل ۱/۴ و حداکثر ۱۶/۴ درجه سانتیگراد) و میزان بارش سالانه مربوطه به طور متوسط ۴۰۶/۵ میلی‌متر و میانگین بده جریان و بار رسوب در طول دوره ۹۰-۴۴ در ایستگاه هیدرومتری تالار به ترتیب ۷/۵ مترمکعب در ثانیه (معادل حدود ۲۳۷ میلیون مترمکعب در سال) و ۲۷۲۰/۹ تن در روز (معادل سالانه حدود ۱ میلیون تن) است. بنابراین غلظت میانگین سالانه بار رسوبی معادل حدود ۴۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. بستر منطقه مطالعاتی رسوبی و عمدتاً از ماسه سنگ و سنگ آهک تشکیل شده است.

مورد نیاز به منظور اولویت‌بندی اقدامات بازگردانی و مدیریت رودخانه به عنوان پایلوت انجام شده است.

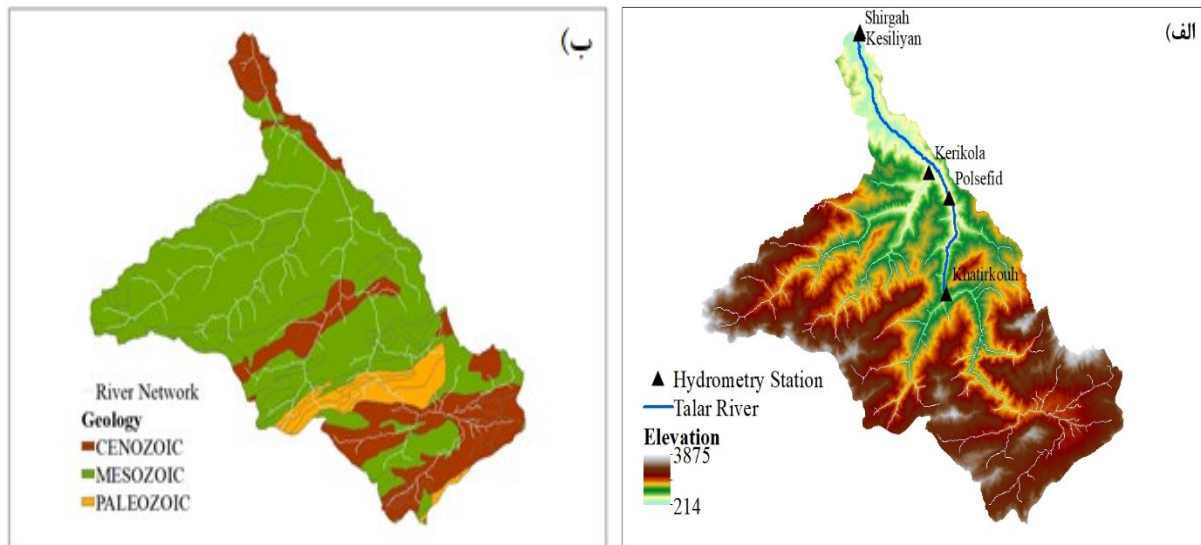
منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه تالار با مساحت ۲۶۸۱ کیلومتر مربع در استان مازندران واقع شده است. طول رودخانه اصلی حدود ۱۷۰ کیلومتر در ۵۲ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). در این پژوهش ۴۵/۷ کیلومتر از طول رودخانه تالار (از بالادست رودخانه تا محل شیرگاه) مورد بررسی قرار گرفته است. ارتفاع منطقه مورد مطالعه برحسب متر از سطح دریا از ۲۱۵ شروع و تا ۳۸۴۰ ادامه دارد. محدوده مورد مطالعه را می‌توان از نظر توپوگرافی به دو واحد مشخص مناطق مرتفع کوهستانی و تپه ماهور (دشت‌های مرتفع دامنه) تقسیم نمود. مطابق با نمودار آلتی‌متری ارتفاع متوسط حوضه ۲۰۲۷ متر از سطح دریا است. نیمرخ طولی رودخانه تالار از دو قسمت



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

Fig. 1- Case Study



شکل ۲- الف) طبقات ارتفاعی. ب) ویژگی‌های زمین‌شناسی
Fig. 2- a) Elevation b) Geological features

مواد و روش‌ها

بر اساس روش‌های مورفولوژیکی توسعه یافته در پروژه ریفرم، ارزیابی مورفولوژیکی رودخانه تالار در دو مرحله صورت گرفت:

۱) تعریف و مشخص کردن واحدهای مکانی براساس سیستم طبقه‌بندی سلسله‌مراتبی با استفاده از داده‌های بدست آمده از محیط گوگل ارث، مدل رقومی ارتفاع و بازدید میدانی.

۲) ارزیابی وضعیت مورفولوژیکی رودخانه با استفاده از اعمال شاخص MQI (Rinaldi et al., 2013, 2017, 2016). تعریف واحدهای مکانی یک مرحله ضروری قبل از ارزیابی است. در این حالت رودخانه به بازه‌هایی تقسیم شده و سپس شاخص MQI بر روی آن بازه‌ها اعمال می‌شود. همچنین اینکار سبب می‌گردد تا دانش اولیه‌ای از شرایط فیزیکی لازم برای کاربرد بسیاری از پارامترهای MQI فراهم گردد (Rinaldi et al., 2019). در این تحقیق، ترسیم و توصیف واحدهای مکانی حوضه آبریز تالار براساس مراحل زیر صورت گرفته است:

در ابتدا منطقه مورد مطالعه بر اساس نقشه‌های موجود، الگوهای کلی آب و هوایی و پوشش طبیعی زمین‌شناسایی گردید. در این منطقه به دلیل تعدد حوضه، حوضه آبریز

تالار به دلیل گستردگی آن انتخاب و بر اساس نقشه‌های توپوگرافی موجود تعیین حدود شد. حوضه تالار بر اساس الگوهای عمومی در ارتفاع، توپوگرافی، زمین‌شناسی و کاربری اراضی به واحدهای کوچکتر با عنوان چشم انداز تفکیک و واحد چشم انداز نیز بر اساس ناپیوستگی در شیب، محدودیت دره و وجود سرشاخه‌های اصلی به چندین قطعه تقسیم شد. واحد اصلی مورد استفاده در مطالعات رودخانه-ای واحد بازه است بنابراین تمامی قطعه‌های تفکیک شده بر اساس ویژگی‌هایی مانند محدودیت دره (نامحدود، نیمه محدود، محدود)، شبکه آبراهه، ضریب خمیدگی رودخانه و وجود سازه‌های اصلی مانند سرریز به واحدهای کوچکتر با عنوان بازه تفکیک گردید. برای انجام موارد فوق از نقشه‌های توپوگرافی، مدل رقومی ارتفاع و تصاویر گوگل ارث استفاده شد.

روش ارزیابی کیفیت رودخانه تالار در این مطالعه، روش شاخص کیفیت مورفولوژیک (MQI) است. در این روش بر اساس سه مشخصه ذیل وضعیت کیفیت مورفولوژیک رودخانه مورد ارزیابی قرار گرفت:

۱) عملکرد ژئومورفولوژیکی فرآیندها و اشکال رودخانه‌ای (F, Functionality)

۲) سازه‌های انسان ساخت (A, Artificiality) و

هر یک از شاخص‌ها، وضعیت غالباً در سه کلاس (تعدادی دو کلاس) تعریف شده که A- وضعیت بکر و دست نخورده و یا وجود تغییرات ناچیز؛ B- تغییرات متوسط؛ C- وضعیت بسیار تغییر یافته است. بعد از امتیازدهی به شاخص‌ها، کیفیت مورفولوژیکی به صورت رابطه ۱ تعریف می‌گردد:

$$MQI = 1 - \frac{S_{tot}}{S_{max}} \quad (1)$$

که در آن S_{tot} جمع امتیازات، S_{max} حداکثر امتیازات زمانی - تمام پارامترها در کلاس C قرار می‌گیرند. روش ارزیابی پارامترهای MQI بر اساس جدول ۱ و طبقه‌بندی کیفی مورفولوژیکی نیز بر پایه جدول ۲ انجام می‌شود.

۳) تنظیمات آبراهه (CA, Channel Adjustment)،

گروه اول شاخص‌ها شامل شاخص‌های عملکردی ژئومورفولوژیکی است. این مجموعه شاخص‌ها (F1- F13) برای بررسی اینکه آیا اشکال و فرآیندهای آبراهه منطبق با نوع مورفولوژی مورد انتظار هستند یا خیر، مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. شاخص‌های گروه دوم (A1- A12)، شاخص‌های انسان ساخت هستند و عوامل انسان ساخت را در حوضه و در امتداد بازه‌ها ارزیابی می‌کنند. شاخص‌های گروه سوم (CA1-CA3) تغییرات مورفولوژیکی نسبتاً اخیر را ارزیابی می‌کند که نشان‌دهنده‌ی بی‌ثباتی مربوط به عوامل انسانی است (Rinaldi *et al.*, 2019). بر اساس روش MQI، برای

جدول ۱- پارامترهای MQI و روش‌های ارزیابی (Rinaldi *et al.*, 2017, 2016)
Table 1. MQI parameters and assessment methods (Rinaldi *et al.*, 2017, 2016)

مولفه‌های ارزیابی Assessed parameters	شاخص‌های عملکردی ژئومورفولوژیکی Indicators of geomorphological functionality
وجود سازه‌های عرضی تغییردهنده‌ی پیوستگی جریان رسوب و چوب Presence of crossing structures alter natural flux of sediment and wood along the reach	F1- پیوستگی طولی در رسوبات و شار چوبی sediment and wood flux F1- Longitudinal continuity in
طول و عرض سیلابدشت جدید floodplain Width and longitudinal length of a modern	F2- وجود سیلابدشت جدید F2 – Presence of a modern floodplain
وجود و طول المان‌های قطع کننده در هر طرف از رودخانه disconnection (e.g., roads) within a buffer Presence and length of elements of 50-m wide for each river side	F3- پیوستگی کریدور رودخانه F3 – Hillslope – river corridor connectivity
وجود یا عدم وجود سواحل عقب‌نشینی شده Presence/absence of retreating banks	F4- فرآیندهای عقب‌نشینی سواحل F4 – Processes of bank retreat
امتداد عرضی و طولی یک کریدور فرسایش‌پذیر erodible corridor Width and longitudinal length of an	F5- وجود یک کریدور فرسایش‌پذیر F5 – Presence of a potentially erodible corridor
شناسایی شکل بستر و مقایسه با شکل بستر پیش‌بینی شده براساس شیب دره Identification of bed configuration and comparison with expected bed configuration based on valley slope	F6- شکل بستر - شیب دره F6 – Bed configuration – valley slope
درصد طول بازه رودخانه با تغییرات الگوی پلانفرم Percentage of the reach length with alteration of planform	F7- الگوی پلانفرم F7 – Planform pattern
وجود / عدم وجود پلانفرم در سیلابدشت floodplain Presence/absence of landforms in the	F8- وجود پلان‌فرم‌های آبرفتی در سیلابدشت F8 – Presence of typical fluvial landforms in the floodplain
درصد طول بازه رودخانه با تغییرات طبیعی ناهمگنی مقطع عرضی مورد انتظار alteration of the natural heterogeneity of Percentage of the reach length with cross section expected	F9- تغییرات مقطع عرضی F9 – Variability of the cross section
وجود/عدم وجود تغییرات رسوبات بستر sediment Presence/absence of alterations of bed	F10- ساختار بستر آبراهه F10 – Structure of the channel bed
وجود/عدم وجود چوب بزرگ Presence/absence of large wood	F11- حضور چوب بزرگ درون آبراهه F11 – Presence of in-channel large wood
عرض متوسط پوشش گیاهی عملکردی در کریدور آبرفتی Mean width of functional vegetation in the fluvial corridor	F12- عرض پوشش گیاهی عملکردی F12 – Width of functional vegetation
امتداد طولی پوشش گیاهی عملکردی در امتداد سواحل Longitudinal length of functional vegetation along the banks	F13- گسترش خطی پوشش گیاهی عملکردی F13 – Linear extension of functional vegetation and presence of emergent aquatic macrophytes

ادامه جدول ۱- پارامترهای MQI و روش‌های ارزیابی (Rinaldi et al., 2017, 2016)
Table 1. MQI parameters and assessment methods (Rinaldi et al., 2017, 2016)

مولفه‌های ارزیابی Assessed parameters	سازه‌های انسان ساخت Indicators of artificial structure
میزان تغییرات در بده، ناشی از مداخلات بالادست Amount of changes in discharge caused by interventions upstream	A1- تغییرات جریان‌های بالادست A1 – Upstream alteration of flows
وجود، نوع و موقعیت سازه‌های مناسب معقول برای جدا کردن بار بستر Presence, type, and location of relevant structures responsible for bedload interception	A2- تغییرات بالادست بده رسوب A2 – Upstream alteration of sediment discharges
مقدار تغییرات بده ناشی از مداخلات در بازه Amount of alterations of discharge caused by interventions within the reach	A3- تغییرات جریان در بازه A3 – Alteration of flows in the reach
نوع و تراکم مکانی سازه‌ها جداکننده‌ی بار بستر در امتداد بازه Typology and spatial density of structures intercepting bedload (check dams, weirs) along the reach	A4- تغییرات بده رسوب در بازه A4 – Alteration of sediment discharge in the reach
تراکم مکانی سازه‌های عرضی Spatial density of crossing structures	A5- سازه‌های عرضی A5 – Crossing structures
طول سواحل محافظت شده Length of protected banks	A6- حفاظت سواحل A6 – Bank protections
طول و فاصله از خاکریزهای انسان‌ساخت آبراهه Length and distance from the channel of artificial levées	A7- خاکریز انسان‌ساخت A7 – Artificial levées
درصد طول بازه با تغییرات انسان‌ساخت مسیر رودخانه Percentage of the reach length with documented artificial modifications of the river course	A8- تغییرات انسان‌ساخت مسیر رودخانه A8 – Artificial changes of river course
وجود، تراکم مکانی و نوع سازه‌های تثبیت‌کننده بستر Presence, spatial density and typology of other bed-stabilizing structures	A9- دیگر سازه‌های تثبیت‌کننده بستر A9 – Other bed stabilization structures
وجود و شدت نسبی فعالیت‌های برداشت رسوبات گذشته Existence and relative intensity of past sediment mining activity	A10- برداشت رسوبات A10 – Sediment removal
وجود و شدت نسبی حذف چوب درون آبراهه Existence and relative intensity of in-channel wood removal	A11- برداشت چوب A11 – Wood removal
وجود و تراکم نسبی کاهش پوشش گیاهی Existence and relative intensity of riparian vegetation cuts	A12- مدیریت پوشش گیاهی A12 – Vegetation management
مولفه‌های ارزیابی Assessed parameters	تنظیمات آبراهه Indicators of channel adjustment
تغییرات در الگوی آبراهه بر اساس تغییر در شاخص‌های سینوزیته، در هم پیچیدگی و شاخه‌های فرعی Changes in channel pattern based on changes in sinuosity, braiding, and anastomosing indices	CA1- تنظیمات در الگوی آبراهه CA1 – Adjustments in channel pattern
تغییرات در عرض آبراهه Changes in channel width	CA2- تنظیمات در عرض آبراهه CA2 – Adjustments in channel width
تغییرات سطح بستر Bed-level changes	CA3- تنظیمات سطح بستر CA3 – Bed-level adjustments

جدول ۲- طبقه‌بندی شاخص کیفیت مورفولوژیک (MQI)
Table 2. Classification of morphological quality index (MQI)

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	$0.85 \leq MQI \leq 1$

کیفیت مورفولوژیک در این پژوهش است. خلاصه‌ای از ویژگی‌های واحدهای مکانی در جدول ۴ گزارش شده است. دو واحد چشم انداز بر اساس لایه‌های زمین‌شناسی (شکل ۲-ب) و ویژگی‌های فیزیوگرافی (ارتفاع و شیب، شکل ۲-الف) تفکیک شد، (شکل ۳). بر اساس تقاطع سرشاخه‌های اصلی با واحدهای چشم انداز و محدودیت دره، رودخانه تالار به سه بخش و ۲۳ بازه تقسیم شد (شکل ۳). ۱۵ بازه در بخش یک قرار دارد که تمام بازه‌ها نیمه محدود هستند و بر اساس تغییرات مربوطه در شیب بستر و وجود سرشاخه‌های اصلی مشخص شدند. پنج بازه در بخش دو

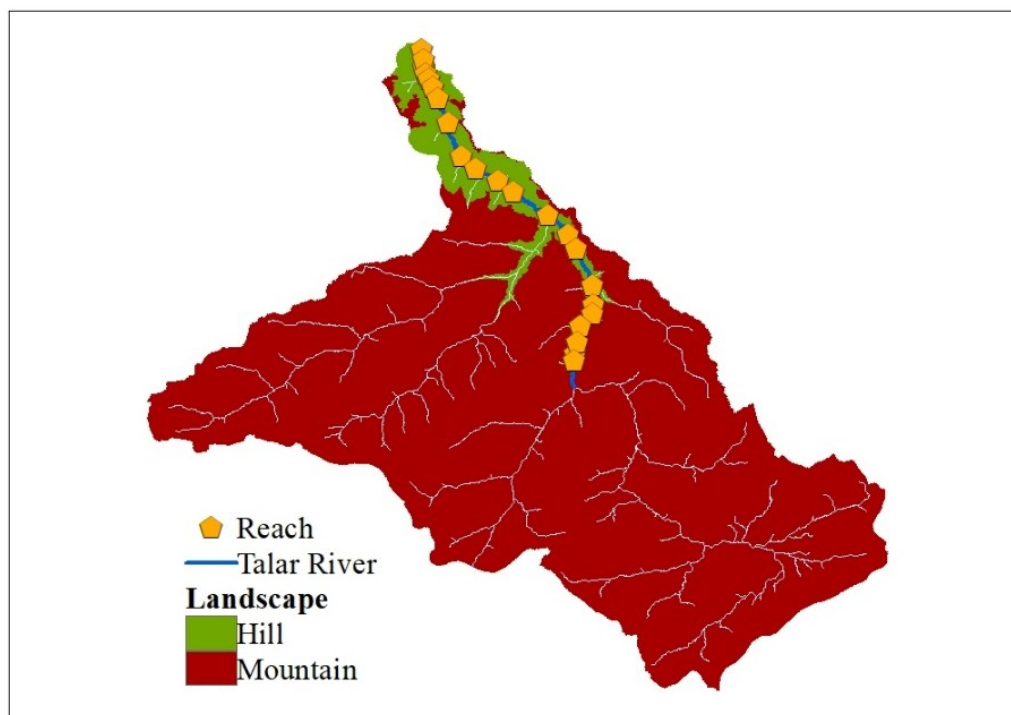
نتایج و بحث
ترسیم و مشخصات واحدهای مکانی
طبقه‌بندی سلسله‌مراتبی اولین گام برای ارزیابی شاخص

محدود و از نظر الگوی آبراهه از نوع مستقیم، سینوسی و پیچانرودی (شاخص ضریب خمیدگی در محدوده ۱ تا ۱/۵۴) است و طول بازه‌ها بین ۶۷۲ تا ۴۵۴۰ متر متغیر است و متوسط طول بازه ۱۹۸۹ متر بدست آمد (جدول ۳).

قرار گرفت و بر اساس مورفولوژی آبراهه، و وجود ناپیوستگی‌ها (شاخه‌های اصلی و سرریز) مشخص گردید و سه بازه در بخش سه قرار گرفت که براساس ناپیوستگی‌ها مشخص شدند. با توجه به شکل ۴ تمامی بازه‌ها نیمه

جدول ۳- ویژگی‌های ریخت‌شناسی رودخانه تالار
Table 3. Morphological characteristics of Talar River

پلانفرم رودخانه River planform	شیب Slope	عرض آبراهه (m) Channel width (m)	شاخص محدودیت Confinement index	ضریب خمیدگی Sinosity	طول بازه (m) Reach length (m)	شماره بازه Reach No.
سینوسی Sinuous	0.28	11.3	4.7	1.22	3090	1
سینوسی Sinuous	1.08	9.7	10.7	1.13	738	2
مئاندری Meander	0.49	10.6	19.5	1.37	1570	3
سینوسی Sinuous	0.36	9.7	10.4	1.27	2070	4
سینوسی Sinuous	0.37	11.25	13.05	1.09	1910	5
سینوسی Sinuous	0.69	11.55	12.8	1.23	970	6
سینوسی Sinuous	0.31	11.4	10.1	1.07	2070	7
سینوسی Sinuous	0.15	15.9	9.8	1.07	4100	8
مستقیم Straight	0.32	11.8	9.9	1.05	1730	9
سینوسی Sinuous	0.18	10.8	16.3	1.1	3020	10
سینوسی Sinuous	0.11	16.6	12.6	1.12	4530	11
مستقیم Straight	0.24	23	12.4	1.01	1780	12
مستقیم Straight	0.15	28	12.9	1.05	2690	13
سینوسی Sinuous	0.2	24.9	10.3	1.07	1950	14
سینوسی Sinuous	0.09	19.8	14.02	1.16	3980	15
سینوسی Sinuous	0.12	11.4	8.6	1.12	2730	16
مئاندری Meander	0.21	16.5	7.4	1.3	1540	17
سینوسی Sinuous	0.34	13.3	8.1	1.23	888	18
سینوسی Sinuous	0.42	10.8	8.3	1.14	711	19
سینوسی Sinuous	0.39	13.2	8.4	1.1	674	20
مئاندری Meander	0.22	25.6	15.8	1.7	1120	21
سینوسی Sinuous	0.22	29.9	14.4	1.06	1060	22
مئاندری Meander	0.24	22.2	12.3	1.67	966	23



شکل ۳- تقسیم‌بندی واحد چشم انداز در حوضه تالار

Fig. 3- Division of landscape unit in Talar Catchment

جدول ۴- طبقه‌بندی چشم انداز، بخش و بازه‌های رودخانه تالار (رینالدی و همکاران، ۲۰۱۳)
Table 4. Classification of landscape, segment and reaches of Talar River (Rinaldi *et al.*, 2013)

ویژگی‌های اصلی Main characteristics	واحد چشم‌انداز Landscape units
مناطق کوهستانی با ارتفاعی بالاتر از ۸۰۰ متر از سطح زمین، شیب‌دار	(۱) کوهستانی
بخش‌هایی با ارتفاع غالب ۲۰۰ تا ۸۰۰ متر، مناطق تپه‌ای که با سنگ‌های نسبتاً نرم و فرسایش‌پذیر و شیب‌های ملایم مشخص می‌شوند.	(۲) تپه ماهور
ویژگی‌های اصلی Main characteristics	بخش‌های مرتبط با واحد چشم‌انداز Segments related to the landscape unit
بازه‌ها Reaches	
بازه ۱۵ (نیمه محدود)	(۱) کوهستانی
بازه ۵ (نیمه محدود)	(۲) تپه ماهور
بازه ۳ (نیمه محدود)	(۳) تپه ماهور

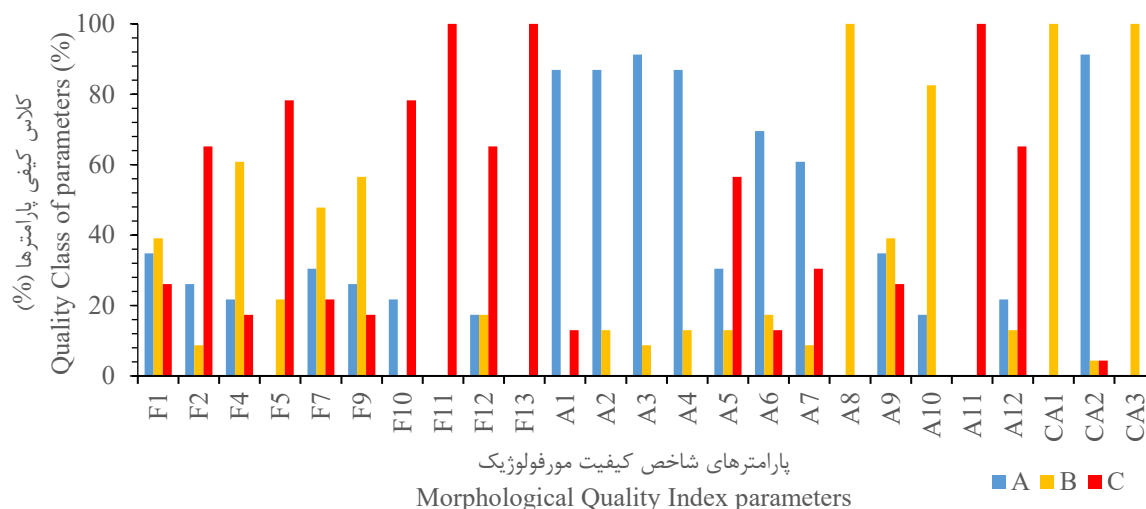
ارزیابی کیفیت مورفولوژیکی رودخانه

در اولین مرحله ارزیابی تمرکز بر درصد وقوع کلاس‌ها برای هر پارامتر شاخص کیفیت مورفولوژیک است. نتایج شاخص کیفیت مورفولوژیک از نظر درصد وقوع طبقات در شکل ۴ نشان می‌دهد که کلاس خوب (A) با ۴۸٪ برای بیشتر پارامترهای انسان‌ساخت غالب است (کلاس متوسط (B) با ۲۶٪ و کلاس ضعیف (C) با ۲۵٪ و کلاس

غالب برای پارامتر تنظیمات آبراهه، متوسط (B) با ۶۸٪ (کلاس خوب (A) با ۳۱/۵٪ و کلاس ضعیف (C) با ۱/۵٪) است و برای پارامترهای عملکردی، کلاس ضعیف (C) با ۵۷٪ (کلاس خوب (A) با ۱۸٪ و کلاس متوسط (B) با ۲۵٪) غالب می‌باشد. با توجه به جدول ۵ پارامترهای حضور قطعات چوبی بزرگ درون آبراهه (F11)، گسترش خطی پوشش گیاهی عملکردی (F13)، برداشت چوب

شرایط خیلی ضعیف تا خوب را توصیف می‌کند، میانگین این شاخص، در تمام بازه‌ها ۰/۵۶ بود که نشان دهنده وضعیت متوسط است. نتایج کلی شاخص کیفیت مورفولوژیک نشان می‌دهد که کلاس ضعیف در رودخانه تالار غالب است (۳۷٪ درصد از طول رودخانه) و تعداد کمی در کلاس خوب و خیلی ضعیف (۱۴٪ و ۱۲٪) و مابقی در طبقه متوسط (۳۵٪) قرار می‌گیرند.

(A11) در تمامی بازه‌ها کاملاً در شرایط تغییر یافته قرار دارند. کمترین تغییرات مربوط به پارامترهای تغییرات جریان‌های بالادست (A1)، تغییرات بالادست بده رسوب (A2)، تغییرات جریان در بازه (A3) و تغییرات بده رسوب در بازه (A4) می‌باشد که علت آن عدم وجود سدهای مخزنی و انحرافی در سطح حوضه می‌باشد. باتوجه به جدول ۵، مقادیر شاخص کیفیت مورفولوژیک محدوده‌ای از ۰/۲۲ تا ۰/۸۳ را پوشش می‌دهد، که

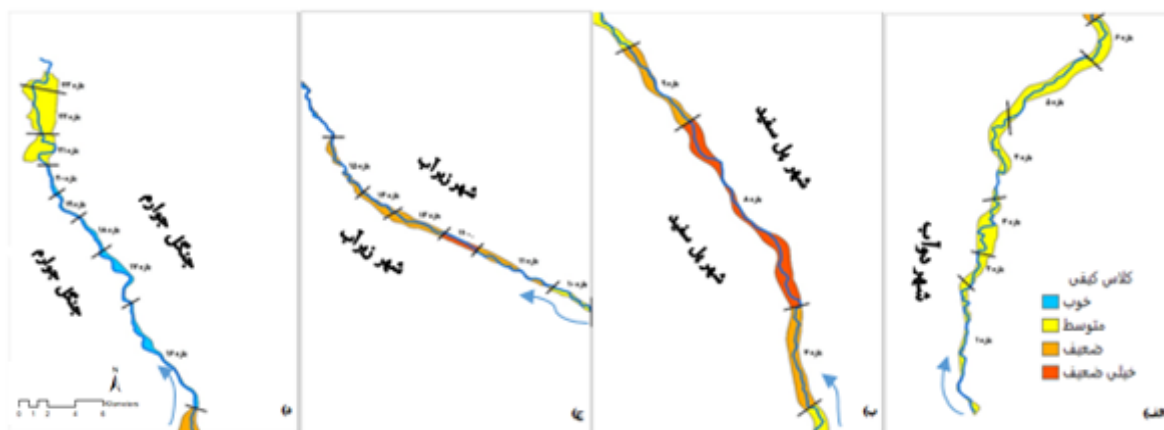


شکل ۴- تناوب کلاس‌های پارامترهای شاخص کیفیت مورفولوژیک (A= بدون تغییر، B= تغییرات کم، C= تغییرات شدید)
 Fig. 4- Frequency of classes of morphological quality index parameters (A = No change, B = Moderate changes, C = High changes)

جدول ۵- ارزیابی مورفولوژی بازه‌های مختلف رودخانه تالار با استفاده از شاخص کیفیت مورفولوژیک و امتیازات سه گروه پارامترها (F عملکردی، A انسان ساخت، CA تنظیمات آبراهه)، بعنوان درصدی از مقدار کل ممکن امتیاز برای هر دسته بندی

Table 5. Morphological assessment of different reaches of Talar River using morphological quality index and scores of three groups of parameters (functional (F), artificial (A), channel adjustment (CA), as a percentage of the total possible score for each category

CA (%)	A (%)	F (%)	MQI (%)	شماره بازه Reach No.	CA (%)	A (%)	F (%)	MQI (%)	شماره بازه Reach No.
29.1	43.6	91.3	35	13	29.1	31	76	50	1
29.1	31.9	76	48	14	29.1	20.2	56.5	63	2
29.1	33	76	47	15	29.1	23.4	76	54	3
29.1	7.5	21.7	83	16	29.1	23.4	80.4	53	4
29.1	7.5	28.2	81	17	29.1	22.3	80.4	53	5
29.1	7.5	21.7	83	18	29.1	22.3	69.5	57	6
29.1	7.5	21.7	83	19	29.1	37.2	80.4	43	7
29.1	11.7	26	78	20	29.1	56.4	91.3	22	8
29.1	17	69.5	60	21	29.1	39.3	89.1	37	9
29.1	17	69.5	60	22	29.1	29.8	76	58	10
29.1	17	63	63	23	29.1	39.3	63	47	11
					29.1	54.2	91.3	28	12



شکل ۵- طبقه‌بندی کیفیت بازه‌ها در رودخانه تالار (از راست به چپ بازه‌ها در چهار کلاس کیفی: خوب، متوسط، ضعیف و خیلی ضعیف به صورت شماتیک نمایش داده شده است)

Fig. 5- Classification of the quality of reaches in the Talar River (from right to left, the reaches are shown schematically in four quality classes: good, moderate, poor, and very poor)

مسیر رودخانه فرآیند فرسایش سواحل (F4) (۶۱٪) در کلاس متوسط (B) و ۱۷/۵٪ در کلاس ضعیف (C) و برداشت چوب (F11) در کلاس ضعیف (C) با ۱۰۰٪ قرار دارد. بعلاوه اینکه چوب در حوضه تالار جزو منابع با ارزش بشمار می‌آید در مواقع وقوع سیل اجازه ورود چوب به رودخانه را نمی‌دهند، در نتیجه هیچگونه شار چوبی در رودخانه مشاهده نگردید و علت وضعیت ضعیف بعضی از بازه‌های رودخانه ناشی از این مداخلات انسانی است (Fendereski *et al.*, 2021). شکل ۶ نمونه‌هایی از موانع پیوستگی را در بازه‌های مختلف رودخانه نشان می‌دهد.

با توجه به توسعه شهری و کشاورزی و کانال‌سازی رودخانه در حوزه شهری، شاخص تغییرات مقطع عرضی (F9) عمدتاً در کلاس متوسط (B) با ۵۶/۵٪ و در کلاس ضعیف (C) با ۱۷/۵٪ قرار دارد. در رودخانه تالار بازه‌ها کاملاً تغییراتی در الگوی آبراهه را تجربه کردند (CA1)، ۱۰۰٪ در کلاس متوسط (B). در ۹٪ بازه‌ها، تنگ‌شدگی عرضی اتفاق افتاده است (CA2)، ۴/۵٪ و ۴/۵٪ به ترتیب در کلاس متوسط (B) و ضعیف (C). کریدورهای بطور بالقوه فرسایش‌پذیر (شاخص F5) بشدت ناپیوسته و کم عرض هستند که دستکاری‌های انسانی منجر به تخریب و نابودی کریدورهای رودخانه‌ای شده است که در ۷۸٪ موارد در کلاس ضعیف (C) و در ۲۲٪ موارد در کلاس متوسط (B) قرار گرفته‌اند

شکل ۵ وضعیت کیفیت مورفولوژیک را به صورت شماتیک در بازه‌های مختلف نشان می‌دهد.

نتایج کلی پارامترهای MQI نشان می‌دهد که میانگین بازه‌ها در کلاس متوسط قرار دارند و با توجه به گسترش کشاورزی و توسعه شهری در حوضه، اقدامات انسان‌ساخت در حد بستر و حریم رودخانه شدید است که کاملاً در جدول ۶ مشاهده می‌شود که امتیازات کلی مربوط به پارامترهای انسان‌ساخت در مقایسه با امتیازهای مربوط به شاخص عملکردی و تنظیمات آبراهه کم است.

شاخص کیفیت مورفولوژیک فرآیندها و فشارهای در حال وقوع را شناسایی کرده و منجر به تمایز داخلی کیفیت هیدرومورفولوژیکی در حوضه رودخانه تالار شده و بر اساس شناسایی فشارها، رتبه‌بندی داخلی با وضعیت مورفولوژیکی تکمیل شد (Muller *et al.*, 2022). توسعه شهری و کشاورزی در طول مسیر رودخانه دلیل مهمی برای تغییرات رودخانه تالار بشمار می‌آید. با توجه به اینکه سازه‌های عرضی (سرریزها و پل‌ها) در محدوده حوضه شهری زیرآب و پل سفید متعدد وجود دارد باعث تغییراتی در پیوستگی طولی (F1) در ۶۵٪ بازه‌ها (۳۹٪ در کلاس متوسط (B) و ۲۶٪ در کلاس ضعیف (C)) و همچنین پارامتر سازه‌های عرضی (A5) نیز در ۵۶/۵٪ در کلاس ضعیف (C) و ۱۳٪ در کلاس متوسط (B) قرار گرفته است. بعلاوه وجود جاده در

کلاس متوسط (B) و کلاس ضعیف (C) به ترتیب در ۹٪ و ۶۵٪ و سیلاب‌دشت‌های تاریخی بشدت مورد استفاده کشاورزی قرار گرفته است. از دیگر فشارهایی که در رودخانه تالار رخ می‌دهد تغییرات کاربری اراضی می‌باشد. افزایش شدت کشاورزی در حوضه آبریز تالار باعث افزایش فرسایش خاک بعلت تامین رسوبات ریز در شبکه رودخانه می‌شود مشابه آنچه که در دیگر حوضه‌های آبریز مشاهده شده است (Rinaldi et al., 2019; Fendereski et al., 2021)

(Fendereski et al., 2021). شاخص A7 که مربوط به وجود خاکریزهای انسان‌ساخت می‌باشد در ۳۰/۵٪ موارد در کلاس ضعیف (C) و در ۹٪ موارد در کلاس متوسط (B) قرار دارد. شواهد میدانی نشان می‌دهد که شکاف بستر در بیشتر بازه‌های مورد مشاهده در رودخانه تالار اتفاق افتاده است که در ۱۰۰٪ موارد بازه‌ها در کلاس متوسط (B) قرار دارند. سیلاب‌دشت‌های مدرن در طول رودخانه تالار بوجود آمده است اما در بیشتر موارد نازک و ناپیوسته است (F2 در



شکل ۶- نمونه‌ای از موانع پیوستگی در بازه‌های مختلف رودخانه (الف) نمای از بالای موانع پیوستگی شهر پل سفید؛ (ب) سازه عرضی (سرریز) موجود در بازه ۸؛ (ج) سازه عرضی (سرریز) موجود در بازه ۱۳ رودخانه تالار

Fig. 6- An example of connectivity barriers in different reaches of the river (a) View from above the connectivity barriers of Pol Sefid city; b) Transverse structure (overflow) existing in reach 8; c) Transverse structure (overflow) existing in the 13th reach of the Talar River



شکل ۷- توسعه شهری و کانالیزه کردن رودخانه تالار در محدوده شهری پل سفید (نقاط زرد= سایت‌های بازدید میدانی، نقاط قرمز= شماره بازه)
Fig. 7- Urban development and channelization of the Talar River in the urban area of Pol Sefid (yellow points = field visit sites, red points = Reach number)

به مراتب بدتری مشاهده شده است. در شکل ۷، توسعه شهری و کانالیزه کردن آبراهه در محدوده ۷ کل دو طرف بازه در یک بافر ۱۰۰ متری در بازه ۱۲ رودخانه، نشان

بازه ۱۲ از بخش ۱، به دلیل توسعه شهرنشینی (در بافر ۱۰۰ متری اطراف رودخانه) و کانالیزه کردن آبراهه در محدوده ۷ شهری در ۱۰۰٪ نوار ساحلی رودخانه شرایط

بازه‌های ۲، ۳، ۴، ۵، ۱۰، ۱۱، ۱۳، ۱۴ و ۱۵، پوشش گیاهی در این بازه‌ها کاملاً از بین رفته و عرض پوشش گیاهی عملکردی در ۶۵٪ موارد در کلاس ضعیف (C) و ۱۷٪/۵ موارد در کلاس متوسط (B) قرار دارد و گسترش خطی پوشش گیاهی عملکردی کاملاً در کلاس ضعیف (C) قرار گرفته است. شکل ۸ وضعیت پوشش گیاهی عملکردی و کریدورهای فرسایش‌پذیر در بازه‌های مختلف نشان داده می‌شود.

بعلت وجود محدود سازه‌های طولی انسان ساز که در پیوستگی جانبی اثر میگذارد، حفاظت سواحل (شاخص A6) به صورت مقطعی و در مناطق شهری پل سفید و زیرآب در بازه‌های ۷، ۱۳، ۱۴ و ۱۵ با ۱۷٪/۵ در کلاس متوسط (B) و در بازه‌های ۸، ۹ و ۱۲ با ۱۳٪ در کلاس ضعیف (C) قرار گرفته است.

داده شده است. شاخص F10 که مرتبط با تغییرات بستر هست در ۷۸٪ موارد در کلاس ضعیف (C) مشاهده شده است. در طول بازه‌های شهری و در پایین‌دست بازه‌ها مستقیم‌سازی و در نتیجه تغییرات الگوی آبراهه با شاخص A8 نشان داده شده است که همیشه در کلاس متوسط (B) قرار دارد. بعضی از فعالیت‌ها مانند برداشت رسوب، نشان دهنده تغییرات اضافی در سطح بستر است که با شاخص A10 نشان داده شده است که در ۸۲٪/۶ موارد در کلاس متوسط (B) قرار دارد. از دیگر ویژگی‌های ضعیف وجود پوشش گیاهی ساحلی عملکردی (F12) و (F13) است. با توجه به اینکه رودخانه تالار از محدوده شهرهای پل سفید و زیرآب می‌گذرد؛ بعلت حجم وسیع فعالیت‌های کشاورزی در دو طرف حاشیه رودخانه در



شکل ۸- وضعیت کریدورهای فرسایش‌پذیر و پوشش گیاهی عملکردی در بازه‌های مختلف رودخانه
Fig. 8- The condition of erodible corridors and functional vegetation cover in different sections of the river

جدول ۶- نتایج ارزیابی محققین با استفاده از شاخص کیفیت مورفولوژیک
Table 6. The results of the researchers' assessment using the morphological quality index

میانگین کیفیت مورفولوژیک Average morphological quality	متوسط بده Average Q (m ³ /s)	مساحت Area (km ²)	طول رودخانه مورد مطالعه The length of the river	رودخانه مورد مطالعه Case study	سال Year	نام محققین Name of researchers
متوسط Moderate	38-114	57000	656	گوادالکیویر Guadalquivir	2019	رینالدی و همکاران Rinaldi <i>et al</i>
متوسط Moderate	12.81	4000	9	تجن Tajan	2022	فندرסקی و همکاران Fendereski <i>et al</i>
خیلی خوب Very Good	0.62	131	7.45	حاجی عرب Haji arab	2019	خالقی و همکاران Khaleghi <i>et al</i>
ضعیف Poor	7.5	2600	172	تالار Talar	-	تحقیق حاضر Current Research

گرفته شده است. نتایج به شرح زیر است:

۱. مقادیر شاخص کیفیت مورفولوژیک محدوده ۱-ای از ۰/۲۲ تا ۰/۸۳ را پوشش می‌دهد، که شرایط خیلی ضعیف تا خوب را توصیف می‌کند، میانگین در تمام بازه‌ها ۰/۵۶ بود که نشان دهنده وضعیت متوسط است.

۲. در طول رودخانه تالار، بازه‌هایی که در محدوده شهری قرار دارند بعلاوه حجم زیاد کشاورزی و توسعه شهری و عبور جاده دارای کلاس کیفیت مورفولوژیک خیلی ضعیف و ضعیف هستند و بازه‌هایی که در محدوده جنگلی و بکر قرار دارند دارای کیفیت مورفولوژیک خوب می‌باشند.

۳. باتوجه به اینکه طبق بازدید میدانی صورت گرفته، هیچگونه واریزه چوبی در مسیر جریان مشاهده نگردید. پارامتر A11 (برداشت واریزه‌های چوبی در مسیر جریان) امتیاز کمی را به خود اختصاص داده است. با توجه به مزایای این پارامتر برای اکوسیستم‌های آبی باید جزو پروژه‌های بازگردانی رودخانه قرار گیرد.

۴. به طور کلی وجود درختان و واریزه‌های چوبی باعث پیوستگی آبراهه اصلی و سیلابدشت رودخانه می‌شود. در مواقع پرابی و سیلابی می‌تواند مانعی برای جریان آب عمل کند و همچنین منجر به ایجاد زیستگاه‌های آبی متنوع شده که به استراحت، تخم‌ریزی و مخفیگاه آبیان نیز کمک می‌کند. با توجه به اینکه توسعه شهری و کشاورزی و برداشت رسوب در حدبستر و حریم رودخانه صورت گرفته و پوشش گیاهی اطراف رودخانه در اکثر بازه‌ها از بین رفته است. اقداماتی از جمله آزادسازی حد بستر و حریم رودخانه از کاربری‌های غیرمجاز، کاشت گیاهانی در حاشیه رودخانه و عدم برداشت رسوب مازاد برآورد سالانه رودخانه به بازگردانی رودخانه در بسیاری از بازه‌ها کمک خواهد نمود.

سپاسگزاری

از دانشگاه تربیت مدرس به جهت حمایت‌های مادی و معنوی در انجام این پژوهش تشکر می‌گردد.

به طور مشابه محققین دیگر با استفاده از شاخص کیفیت مورفولوژیک MQI به ارزیابی رودخانه‌های مختلف پرداختند که به طور خلاصه در جدول ۶ آورده شده است. نتایج تحقیقات صورت گرفته توسط محققین دیگر با نتایج تحقیقات این پژوهش همخوانی دارد و نشان دهنده آن است که شاخص کیفیت مورفولوژیک روش مناسبی برای ارزیابی وضعیت مورفولوژیک رودخانه‌ها می‌باشد.

برای احیاء رودخانه و اقدامات بازگردانی به جهت افزایش کیفیت بازه‌ها بسته به نیاز هر بازه که باید بررسی‌های علمی بیشتری بر روی آن صورت گیرد، موارد زیر پیشنهاد می‌گردد:

۱. استفاده از الوار چوبی (LWD, Large Woody Debris) در رودخانه که علاوه بر تاثیر آن بر روی جریان و شکل آبراهه، باعث ایجاد زیستگاه‌های مهم برای ماهیان می‌شود.

۲. رفع موانع پیوستگی برای بازگرداندن پیوستگی رودخانه، که کارآمدترین راه حل برای افزایش تبادلات بین آبراهه و کریدور رودخانه است و با راه‌حل‌های موقتی مانند مدیریت سازه‌های هیدرولیکی یا منابع آبی، اثرات موانع را نیز می‌توان کاهش داد.

۳. استفاده از پوشش گیاهی ساحلی رودخانه که نقش مهمی در حفاظت از خاک، تنوع زیستی زیستگاه، جانوران و اکوسیستم‌های آبی دارد.

۴. عدم برداشت شن و ماسه بیش از حد ظرفیت مجاز

نتیجه‌گیری

استفاده از روش شاخص کیفیت مورفولوژیک به دلیل استفاده از طیف وسیعی از شرایط فیزیکی، انسانی در ارزیابی مورفولوژیک رودخانه‌ها از جمله رودخانه تالار مفید است. شاخص کیفیت مورفولوژیک شرایط مورفولوژیک را مشخص می‌کند ولی به تنهایی برای طبقه‌بندی کلی هیدرومورفولوژیکی کافی نیست و باید از طریق استفاده از یک روش خاص برای ارزیابی تغییرات رژیم هیدرولوژیکی یکپارچه شود. روش شاخص کیفیت مورفولوژیک در حوضه آبریز تالار برای ارزیابی کیفیت مورفولوژی حوضه آبریز بکار

References

منابع

- Ahmadi, A., Ghafourpour Anbaran, P., Ghanavati, E.A. and Yasi, M., 2022. Hydromorphological analysis of the Karaj River in the urban area from Beylaqan to the railway bridge. *Geography and Environmental Sustainability Journal*. 13 (1), 21-39. DOI: 10.22126/GES.2022.8026.2552.
- Ahmadi, N., Mostafavi, H., Piri, K. and Zeinivand, H., 2023. Assessment of hydro-ecological alteration of Halil-Rud Basin and analysis of the role of operating dams in causing it. *Environmental Sciences*, 21(1), 65-86.
- Buffington, J.M., Montgomery, D.R., 2013. Geomorphic classification of rivers. In: Shroder, J. (Editor in Chief), Wohl, E. (Ed.), *Treatise on Geomorphology*. Academic Press, San Diego, CA.
- Bussetini, M., Rinaldi, M. and Grant, G., 2017. A hydromorphological framework for the evaluation of e-flows. In EGU General Assembly Conference Abstracts (p. 18119).
- Campana, D., Marchese, E., Theule, J.I. and Comiti, F., 2014. Channel degradation and restoration of an Alpine river and related morphological changes. *Geomorphology*. 221, 230-241.
- Commission of the European Communities., 2000. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. Office for Official Publications of the European Communities.
- Esmaili, R., Rezaei Moghadam, M. H., and Hosseinzadeh M. M., 2010. Classification of types of rivers based on Steel River method, case study: Northern Alborz, Lavij River watershed.
- Esmaili, R. and Valikhani, S., 2013. Evaluation and analysis of hydromorphological conditions of Lavij River using morphological quality index. *Quantitative Geomorphology Research*. 2(4), 37-53.
- Fenderski, N., Masoudian, M., and Ratcher, K., 2022. Evaluation of hydromorphological conditions of Tajen river using HMQI method. *Watershed Engineering and Management*, 14(2), 185-201. DOI: 10.22092/ijwmse.2021.353586.1881
- Horton, R.E., 1945. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*. 56(3), 275-370.
- Ioana-Toroimac, G., Zaharia, L. and 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.
- Ilanloo, M. and Karam, A., 2020. Assessment of hydromorphological conditions of the river using the MQI method (Case study area: JAJROOD River). *Journal of Applied researches in Geographical Sciences*. 20(56), 35-53.
- Khaleghi, S., Hosseinzadeh, M.M., and Hashemi Boueini, Z., 2021. The Assessment and Analysis of the Hydromorphological Condition of Haji- Arab River, Bouein Zahra County. *Geography and environmental sustainability Journal*, 11 (2), 75-89. DOI: 10.22126/GES.2021.6068.2363
- Lane, E. W., 1957. Study of the shape of channels formed by natural streams flowing in erodible material, A (Doctoral dissertation, Colorado State University. Libraries).
- Leopold, L. B., and Wolman, M. G., 1957. River channel patterns: braided, meandering, and straight. US Government Printing Office.
- Montgomery, D.R. and Buffington, J.M., 1997. Channel-reach morphology in mountain drainage basins. *Geological Society of America Bulletin*. 109(5), 596-611.
- Mostafavi, H., Teimori, A. and Hughes, R.M., 2022. Habitat and river riparian assessment in the Hyrcanian Forest Ecoregion in Iran: providing basic information for the river management and rehabilitation. *Environmental Monitoring and Assessment*. 194(11), 793.
- Muller, H., Horbinger, S., Franta, F., Mendes, A., Li, J., Cao, P., Baoligao, B., Xu, F. and Rauch, H.P., 2022. Hydromorphological assessment as the basis for ecosystem restoration in the Nanxi River Basin (China). *Land*. 11(2), 193. <https://doi.org/10.3390/land11020193>
- Newson, M.D. and Large, A.R., 2006. Natural rivers, hydromorphological quality and river restoration: a challenging new agenda for applied fluvial geomorphology. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 31(13), pp.1606-1624. DOI: 10.1002/esp.1430
- Nosrati, K., Rostami, M. and Etminan, Z., 2020. Assessment of Taleghan River Hydrogeomorphological Conditions Using Morphological Quality Index. *Hydrogeomorphology*. 6 (21), 133-154
- Rigon, E., Moretto, J., Rainato, R., Lenzi, M.A. and Zorzi, A., 2013. Evaluation of the morphological quality index in the Cordevole river (BI, Italy). *Journal of Agricultural Engineering*. 44(3), e15-e15.
- Rinaldi, M., Baena-Escudero, R., Nardi, L., Guerrero-Amador, I.C. and García-Martínez, B., 2020. An assessment of the hydromorphological conditions of the middle and lower Guadalquivir River (southern Spain). *Physical Geography*. 41(3), 254-271.

Rinaldi, M., Surian, N., Comiti, F. and Bussetini, 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., Bussetini, M., Surian, N., Comiti, F., & Gurnell, A. M., 2016. Guidebook for the evaluation of stream morphological conditions by the Morphological Quality Index (MQI). Version 2. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.

Rinaldi, M., Belletti, B., Bussetini, M., Comiti, F., Golfieri, B., Lastoria, B., Marchese, E., Nardi, L. and Surian, N., 2017. New tools for the hydromorphological assessment and monitoring of European streams. *Journal of Environmental Management*. 202, 363-378.

Rosgen, D.L., 1994. A classification of natural rivers. *Catena*. 22(3), 169-199.

Sabzivand, R., Hashemi Avanj, S.J., Majdzadeh Tabatabai, M.R., and Shafa'i Bejestan, M., 2006.

Classification of rivers from the morphological point of view, Stavand Publications, Yazd.

Schumm, S.A., 1977. *The fluvial system*.

Strahler, A.N., 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Eos, Transactions American Geophysical Union*. 38 (6), 913-920.

Radecki-Pawlik, A. and Hernik, J., 2010. A method for the assessment of hydromorphological river quality and its application to the Czarny dunajec river, polish carpathians.

Yaghoob Nejad ASL, N., Esfandiary Darabad, F., Asghari, S. and Karam, A., 2020. Evaluation of morphological status of Taleghan River from 2006 to 2016. *Quantitative Geomorphological Research*. 9(1), 67-85.



*This page is intentionally
right blank.*