Geography and Environmental Sustainability
Homepage: http://ges.razi.ac.ir/
Print ISSN: 2322-3197
Online ISSN: 2676-5683

The Assessment and Analysis of the Hydromorphological Condition of Haji- Arab River, Bouein Zahra County

Somaiyeh Khaleghi[1]*, Mohammad Mahdi Hosseinzadeh[1], Zahra Hashemi Boueini[1]

[1] *Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran*

ARTICLE INFO

Article Type: Research article

Article history:
Received 23 April 2021
Accepted 19 August 2021
Available online 19 August 2021

Keywords:
Hydro Geomorphology, Morphological Quality Index, River Management, Haji-Arab River.

Citation: Khaleghi, S., Hosseinzadeh[1], M. M., Hashemi Boueini Z. (2021). The Assessment and Analysis of the Hydromorphological Condition of Haji- Arab River, Bouein Zahra County. *Geography and Environmental Sustainability*, *11* (2), 75-89.
doi: 10.22126/GES.2021.6068.2363

ABSTRACT

Rivers have a lot of complexity and diversity in different environmental conditions, and various natural and human factors affect rivers and change their hydromorphological conditions. In fact, hydromorphological degradation is one of the most important types and causes of river changes which happens due to human interventions and consequently the adjustment of the river channel. Several methods have been developed to study the hydrogeomorphology of rivers. One of these methods is the morphological quality index, which has been proposed as a new protocol to assess the morphological quality of river flow. The present study aims to classify hydromorphological quality of the Haji-Arab River (which is located in the west of Bouin-Zahra city) by Morphological Quality Index (MQI). In this study, two main phases and three sub-phases are used for each phase and applied to eight spans. Various indicators such as: functionality index, artificiality index and adjustment index have been applied on this river. The results show that the amount of MQI in the studied intervals was between 0.82 to 0.74%. Among these, the maximum value was in the spans of 1,2,3,6 with a score of 0.82, while the minimum value was in the span of 8 with a score of 0.74. In terms of quality, Haji-Arab River is on a good class and has good conditions. The functionality index in this river was zero, which was the result of non-intervention of human in the river. Therefore, it is suggested to protect Haji-Arab River appropriately by proper management.

*. Corresponding author E-mail address: s_khaleghi@sbu.ac.ir
© The Author(s).
Publisher: Razi University

جغرافیا و پایداری محیط
وبگاه نشریه: http://ges.razi.ac.ir/
شاپای چاپی: ۳۱۹۷-۲۳۲۲
شاپای الکترونیکی: ۵۶۸۳-۲۶۷۶

ارزیابی و تحلیل شرایط هیدرومورفولوژیکی رودخانهٔ حاجی‌عرب، شهرستان بوئین‌زهرا

سمیه خالقی[1*]، محمدمهدی حسین‌زاده[1]، زهرا هاشمی بوئینی[1]

[1] گروه جغرافیای طبیعی، دانشکدهٔ علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

مشخّصات مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچهٔ مقاله:
دریافت ۳ اردیبهشت ۱۴۰۰
پذیرش ۲۸ مرداد ۱۴۰۰
دسترسی آنلاین ۲۸ مرداد ۱۴۰۰

کلیدواژه‌ها:
هیدرومورفولوژی، شاخص کیفیت مورفولوژیکی، مدیریت رودخانه، رودخانهٔ حاجی‌عرب.

استناد: خالقی، سمیه؛ حسین‌زاده، محمدمهدی؛ هاشمی بوئینی، زهرا (۱۴۰۰). ارزیابی و تحلیل شرایط هیدرومورفولوژیکی رودخانهٔ حاجی‌عرب، شهرستان بوئین‌زهرا. *جغرافیا و پایداری محیط*، *۱۱* (۲)، ۷۵-۸۹.
doi: 10.22126/GES.2021.6392.2381

چکیده

در شرایط محیطی مختلف رودخانه‌ها پیچیدگی و تنوع زیادی دارند و عوامل مختلف طبیعی و انسانی بر رودخانه‌ها تأثیرگذار بوده و شرایط هیدرومورفولوژیکی آن‌ها را تغییر می‌دهد. در واقع تخریب هیدرومورفولوژیکی به‌علّت مداخلات انسان و درنتیجه تعدیل کانال رودخانه، یکی از مهم‌ترین انواع و علل تغییرات رودخانه است. روش‌های متعدّدی برای بررسی هیدروژئومورفولوژی رودخانه‌ها ابداع شده است. یکی از این روش‌ها، شاخص کیفیت مورفولوژیکی است که به‌عنوان پروتکل جدیدی برای ارزیابی کیفیت مورفولوژیکی جریان رودخانه ارائه شده است؛ بنابراین هدف از نوشتار پیش رو طبقه‌بندی کیفیت مورفولوژیکی رودخانه با استفاده از شاخص کیفیت مورفولوژیکی در رودخانهٔ حاجی‌عرب واقع در غرب شهرستان بویین‌زهرا است. این مطالعه شامل دو مرحلهٔ اصلی و سه مرحلهٔ فرعی است که روی هشت بازه اعمال شده است. در مرحلهٔ اوّل موقعیّت عمومی منطقه بررسی شد و در مرحلهٔ دوم با استفاده از شاخص‌های مختلف کیفیت مورفولوژیکی رود ارزیابی شد است. با استفاده از برداشت‌های میدانی (نقشه‌برداری و نمونه‌برداری رسوب) و تصاویر ماهواره‌ای شاخص‌های مختلفی ازجمله شاخص عملکردی، شاخص مصنوعی و شاخص تعدیلی بر روی این رودخانه اعمال شده است. نتایج حاصله بیانگر این است که مقدار شاخص کیفیت مورفولوژیکی در بازه‌های مورد مطالعه بین ۰/۸۲٪ تا ۰/۷۴٪ است که در این میان حداکثر مقدار در بازه‌های ۱، ۲، ۳، ۶ با امتیاز ۰/۸۲ و حداقل مقدار در بازهٔ ۸ با امتیاز ۰/۷۴ است. درمجموع، از نظر کیفیت، رودخانهٔ حاجی‌عرب در طبقهٔ خوب قرار می‌گیرد و شرایط مناسبی دارد. شاخص مصنوعی در این رودخانه صفر است که نتیجهٔ عدم دخالت انسان در رودخانه است؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود که از این رودخانه با کیفیت مورفولوژیکی خوب با مدیریت درست و به‌جا حفاظت شود.

*. رایانامهٔ نویسندهٔ مسئول: s_khaleghi@sbu.ac.ir
حق‌مؤلف © نویسندگان.
ناشر: دانشگاه رازی

مقدّمه

اصطلاح هیدروژئومورفولوژی، تغییرات در رژیم رودخانه، حمل رسوب، مورفولوژی رودخانه، تغییرات جانبی مجرا را مورد توجّه قرار می‌دهد که در مطالعات هیدرولوژی، ژئومورفولوژی و اکولوژی کاربرد داشته و فرایندهای طبیعی را در اقدامات و استراتژی‌های مربوط به مدیریت رودخانه دربر می‌گیرد (لارج و نیوسون[۱]، ۲۰۰۶). روش‌های متعدّدی برای بررسی هیدروژئومورفولوژی رودخانه‌ها ابداع شده است. در واقع تخریب هیدرومورفولوژیکی به‌علّت مداخلات انسان (رینالدی و سورین[۲]، ۲۰۰۳)؛ همچنین، خطرات مربوط به فرایندهای رودخانه‌ای و دینامیک کانال به‌خاطر افزایش شهرنشینی اهمّیت زیادی دارد؛ بنابراین استراتژی‌های مدیریت آینده نیاز به تعادل مسائل زیست‌محیطی با نیازهای اجتماعی و اقتصادی و ادغام اهداف متضاد با روش‌های یکپارچه دارد (بریرلی و فریریز[۳]، ۲۰۰۸).

روش‌های ارزیابی هیدرومورفولوژیکی به پنج دسته تقسیم شده است که چندین ابزار در اروپا و جهان برای ارزیابی این روش‌ها توسعه یافته‌اند: ۱- ارزیابی زیستگاه طبیعی[۴] (باربور[۵] و همکاران، ۱۹۹۹؛ لورنز[۶]، ۲۰۱۱)، ارزیابی روش هیدرولوژیکی[۷] (حفاظت از طبیعت[۸]، ۲۰۰۹؛ مارتینز سانتا ماریا و فرناندز یوست[۹]، ۲۰۱۰)، ارزیابی مورفولوژیکی[۱۰] (بریرلی و فریرز، ۲۰۰۵؛ روزگن[۱۱]، ۱۹۹۶ و ۲۰۰۶؛ شوم[۱۲] و همکاران، ۱۹۸۴؛ رینالدی و همکاران، ۲۰۱۳)، ارزیابی زیستگاه اطراف رودخانه[۱۳] (گونزالس دلتاناگو و گارسیا دی جالون[۱۴]، ۲۰۱۱)، ارزیابی تداوم و استمرار حیات ماهی‌ها (بورن[۱۵] و همکاران، ۲۰۱۱). وزارت محیط زیست ایتالیا به‌تازگی استانداردهای نظارت و طبقه‌بندی دستورالعمل چارچوب آب[۱۶]، (اِم.اِی.تی.اِم.[۱۷]، ۲۰۱۰) را با معرّفی شاخص کیفیت مورفولوژیکی که در نوشتار پیش رو شرح داده شده است، به‌عنوان پروتکل جدیدی برای ارزیابی کیفیت مورفولوژیکی جریان رودخانه ارائه داده است (رینالدی، ۲۰۱۲).

مرور منابع درزمینهٔ شاخص کیفیت مورفولوژیکی نشان داد که این روش اوّلین‌بار روی رودخانه‌های ایتالیا اعمال شده است (رینالدی و همکاران، ۲۰۱۳) و سپس همراه با شاخص‌های دیگر در رودخانه‌های شمال ایتالیا مقایسه شد (گولفیری[۱۸] و همکاران، ۲۰۱۸). هم‌اکنون نیز در رودخانه‌های اروپا (بلتی[۱۹] و همکاران، ۲۰۱۸) و مواردی از رودخانه‌های ایران استفاده شده است. ازجمله این روش در رودخانهٔ لاویج در استان مازندران (اسماعیلی و ولی‌خانی، ۱۳۹۳)؛ در رودخانهٔ طالقان در البرز جنوبی (نصرتی و همکاران، ۱۳۹۸) و در

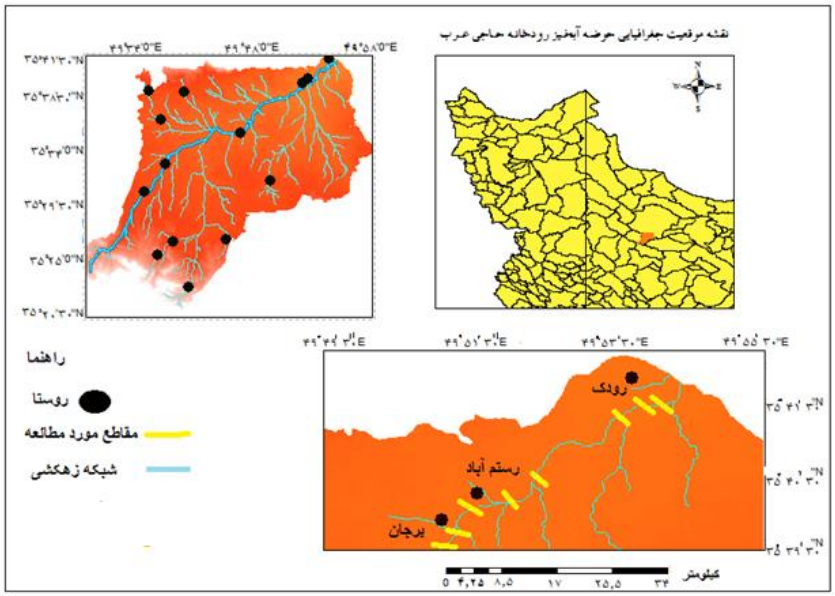
1- Large &Newson
2- Rinaldi &Surian
3- Brierley & Fryirs
4- Physical habitate assessment
5- Barbour
6- Lorenz
7- Hydrological assessment
8- The Nature Conservancy
9- Martínez Santa-María & Fernández Yuste
10- Morphological assessment
11- Rosgen
12- Schumm
13- Riparian assessment
14- González Del Tánago & García De Jalón
15- Bourne
16- Water Framework Directive
17 - MATTM
18- Golfieri
19- Belletti

رودخانهٔ جاجرود در شمال شرق تهران (ایلانلو و کرم، ۱۳۹۹) استفاده شده است.

در نوشتار پیش رو با توجّه به وجود ایستگاه هیدرومتری بر روی رودخانهٔ حاجی‌عرب و سدّ در حال احداث در بالادست، از شاخص کیفیت مورفولوژیک رود استفاده شده است تا از طرفی، کیفیت هیدرومورفولوژیکی رودخانهٔ حاجی‌عرب و میزان مداخلات انسانی و از طرف دیگر، کارایی این روش در این منطقه ارزیابی شود. مطالعهٔ وضعیّت هیدروژئومورفولوژی رودخانه‌ها به‌منظور یافتن راهکارهایی برای مدیریت آن‌ها اهمّیت خاصّی دارد که با توجّه به اهمّیت موضوع و در راستای اهداف موضوع مورد مطالعه، در نوشتار پیش رو به بررسی طبقه‌بندی مورفولوژیکی رودخانهٔ حاجی‌عرب شد. به‌منظور بررسی وضعیّت هیدروژئومورفولوژی رودخانهٔ محدودهٔ مورد مطالعه با استفاده از اطّلاعات به‌دست‌آمده از راه بازدیدهای میدانی و همچنین بررسی‌های سنجش‌ازدوری، وضعیّت هیدروژئومورفولوژی بازه‌ها با استفاده ۲۸ شاخص و برمبنای مدل شاخص کیفیت مورفولوژیکی ارزیابی شد.

معرّفی منطقهٔ مورد بررسی

منطقهٔ مورد مطالعه در ۱۰ کیلومتری جنوب باختر بویین‌زهرا قرار دارد. رودخانهٔ اصلی این منطقه رودخانهٔ حاجی‌عرب است (شکل ۱) که از ارتفاعات کوه‌های مرکزی سرچشمه می‌گیرد و تا سگزآباد ادامه دارد. در بعضی از سال‌ها، به‌علّت وجود سیلاب‌ها، آب این رود زیاد می‌شود. رود حاجی‌عرب دارای دو شاخهٔ اصلی به نام نصرت‌آباد و چناقچی است. آب این رودخانه پس از مشروب‌کردن اراضی کشاورزی و باغی اطراف وارد دشت قزوین شده و در نهایت به منطقهٔ شوره‌زار مرکزی دشت قزوین می‌رسد. مساحت کلّ حوضه ۱۳۰/۶۵۷ کیلومتر مربع و طول بازهٔ مورد مطالعه ۷/۴۵ کیلومتر است. از نقطه‌نظر تقسیمات زمین‌شناختی ایران نیز این منطقه بخشی از نوار ماگمایی ارومیه - بزمان در پهنهٔ ایران مرکزی است (آقانباتی، ۱۳۸۳: ۴۳۷). بازه‌های مورد مطالعه در طبقات ارتفاعی کمتر از ۱۵۰۰ متر و ۱۵۰۰ تا ۱۵۵۰ متر و در شیب کمتر از ۴٪ قرار گرفته‌اند. نوع کاربری اراضی تمامی بازه‌ها باغ است. از نظر اقلیم، ایستگاه حاجی‌عرب با ۲۷۴/۷۸ میلی‌متر بارندگی بیشترین میزان میانگین بارندگی و ایستگاه رودک با ۲۲۶/۹۱ میلی‌متر بارندگی کمترین حجم بارندگی در حوضهٔ مورد مطالعه را دارد. متوسّط دبی سالانه ۰/۶۲ متر مکعب در ثانیه و حداکثر جریان ۱۵۲ متر مکعب در ثانیه است.



شکل ۱. نقشهٔ موقعیّت منطقهٔ مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

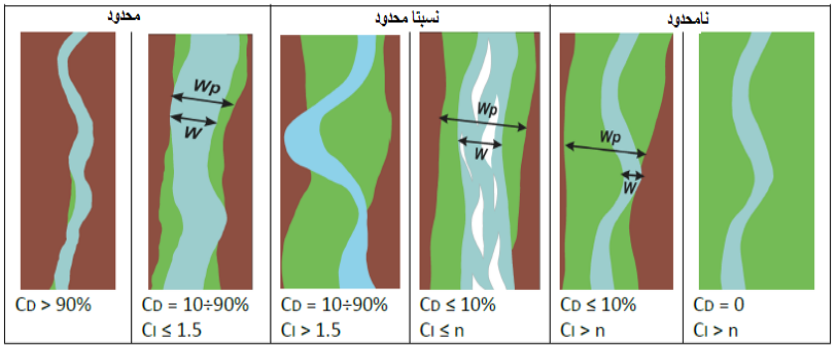
روش شاخص کیفیت مورفولوژیک رود از دو مرحلهٔ اصلی و چند مرحلهٔ فرعی تشکیل شده است. در مرحلهٔ اوّل، موقعیّت عمومی منطقه بررسی شد و در مرحلهٔ دوم با استفاده از شاخص‌های مختلف کیفیت مورفولوژیکی رود ارزیابی شده است. در تمامی این مراحل از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای، سیستم اطّلاعات جغرافیایی، بازدید میدانی (اندازه‌گیری مقاطع عرضی با دوربین نقشه‌برداری و سایر تجهیزات، نمونه‌برداری از رسوبات بستر و انجام کارهای آزمایشگاهی ازجمله آزمایش هیدرومتری و تعیین اندازهٔ ذرّات رسوبی) استفاده شده است.

مرحلهٔ اول روش شاخص کیفیت مورفولوژیکی شامل چهار گام است که عبارت‌اند از:

گام اول: ویژگی‌های زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، آب‌وهوا و کاربری اراضی کلّ حوضه بر اساس نقشه‌های زمین‌شناسی ۱۰۰۰۰۰، توپوگرافی ۲۵۰۰۰، کاربری اراضی و داده‌های اقلیمی ایستگاه حاجی‌عرب مورد بررسی قرار می‌گیرد که نتیجهٔ آن شناسایی واحدهای فیزیوگرافی (واحد کوهستان، تپّه، دشت بین کوهی و دشت) است.

گام دوم: محدودیت جانبی رود با جزئیات بیشتری بررسی می‌شود و سه موقعیّت محدود، نسبتاً محدود و نامحدود (از طرفین آزاد) شناسایی می‌شوند (بریرلی و فریریز، ۲۰۰۵). شاخص محدودیت به‌صورت نسبت بین عرض دشت سیلابی و عرض کانال تعریف می‌شود (رینالدی و سورین، ۲۰۱۲). این اصطلاحات دربارهٔ درّه‌های طبیعی استفاده می‌شود که به‌صورت جانبی پهنای آن‌ها با دامنه‌ها یا تراس‌های قدیمی محدود می‌شود. محدودیت‌های جانبی، یعنی اندازه‌گیری درجهٔ محدودیت یا به عبارتی درصدی از کرانه که با دامنه‌ها و تراس‌های قدیمی در تماس بوده و به‌طور مستقیم با دشت سیلابی در تماس نیستند (شکل ۲). پارامترهای مربوط به محدودیت جانبی از روی تصاویر گوگل‌ارث[1] اندازه‌گیری شدند.

گام سوم: در این مرحله مورفولوژی کانال بر اساس محدودیت کانال و الگوی کانال رودخانه به هفت طبقهٔ مستقیم، سینوسی، پیچان‌رودی، تک‌کانالی، شریانی سرگردان، شریانی و انشعابی (بازپیوندی)[2] تقسیم می‌شوند. در نوشتار پیش رو به‌منظور بررسی وضعیّت مورفولوژی کانال بازه‌های مورد مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای گوگل‌ارث سال ۲۰۲۰ استفاده شده است. برای تعیین انواع الگوی رود با استفاده از فرمول ضریب خمیدگی برای هر قوس استفاده شده است. در این رابطهٔ طول آبراهه و طول موج پیچان‌رودی (L) محاسبه می‌شود (رابطهٔ ۱).



شکل ۲. کلاس‌های محدودیت. رنگ سبز: دشت سیلابی؛ رنگ قهوه‌ای: تپّه‌های کوهستانی (تراس‌های قدیمی). رنگ آبی: کانال رودخانه. CD: درجهٔ محدودیت؛ Ci: شاخص محدودیت، Wp: عرض دشت سیلابی (شامل کانال) و W: عرض کانال

1- Google Earth
2- anastomosing

رابطهٔ ۱ $P = L/2$

برای اندازه‌گیری الگوی شریانی از شاخص بریس استفاده گردیده است. در این فرمول طول هر یک از موانع درون کانال (a) محاسبه و تقسیم بر طول بازه (L) شده است (رابطه ۲). جدول ۱ نشان‌دهنده انواع الگو است.

رابطهٔ ۲ $BI = (a1 + a2 + a3 + a40)/L$

گام چهارم: با توجّه به وجود ناپیوستگی در کانال رود مانند ناپیوستگی‌های هیدرولوژیکی (زیرشاخه‌های رود، سدها)، شیب بستر (به‌ویژه برای بازه‌های محدود)، تغییرات مرتبط با عرض کانال، پهنای دشت آبرفتی و بار رسوب رودخانه به بازهای نسبتاً همگن تقسیم‌بندی می‌شود. این بازه‌ها به‌طور معمول به طول چند کیلومتر نشان‌دهندهٔ واحدهای اوّلیه برای ارزیابی شرایط مورفولوژیک هستند. در این مرحله با استفاده از بازدید میدانی و تصاویر گوگل‌ارث، ۸ بازه انتخاب شد.

مرحلهٔ دوم: ساختار و شاخص‌های ارزیابی است. برای ارزیابی کیفیت مورفولوژیک بازه‌های رودخانه‌ای سه جنبهٔ زیر مورد توجّه بوده است: ۱- پیوستگی فرایندهای رودخانه‌ای، شامل پیوستگی طولی و عرضی. ۲- شرایط مورفولوژیکی کانال شامل الگوی کانال، شکل مقطع عرضی و رسوبات بستر. ۳- پوشش گیاهی. این جنبه‌ها در قالب سه مؤلّفهٔ ۱- عملکردهای ژئومورفولوژیکی فرایندها و اشکال رودخانه (F)، ۲- مصنوعی (A) و ۳- تعدیل کانال (CA)، بررسی می‌شود.

گروه اوّل شامل شاخص‌های عملکردی ژئومورفولوژیکی است. این مجموعه شاخص‌ها (F1-F13) برای ارزیابی اینکه آیا فرم کانال و فرایندها با توجّه به نوع مورفولوژی مورد بررسی هستند. مجموعهٔ دوم شاخص‌ها (A1-A12) برای ارزیابی عناصر مصنوعی در بازه‌ها و حوضهٔ آبریز است. این شاخص‌ها از سه جنبه ارزیابی می‌شوند. پیوستگی (سدها، تغییرات رسوب و دبی از بالادست به پایین‌دست)، مورفولوژی (سازه‌های عرضی، حفاظت از کرانهٔ رودخانه، خاک‌ریزهای مصنوعی، تغییرات مصنوعی مسیر رودخانه، سنگ‌چینی بستر) و پوشش‌گیاهی (حذف موادّ چوبی در بازه، برش پوشش‌گیاهی کرانه). شاخص‌های نوع سوم (CA1-AC3) ارزیابی تعدیل کانال (تغییرات پلانیمتریک و عمودی) است که طی دهه‌های گذشته رخ داده است. شاخص‌های تعدیلی فقط برای کانال‌های بزرگ (عرض بزرگ‌تر از ۳۰ متر) ارزیابی می‌شوند. جدول ۲ نشان‌دهندهٔ شاخص‌های عملکردی، مصنوعی و تعدیل کانال هستند که امتیازدهی و طبقه‌بندی شده‌اند. چگونگی تعریف طبقه‌ها و امتیازات در کار رینالدی و همکاران (۲۰۱۲) و اسماعیلی و ولی‌خانی (۱۳۹۳) آمده است.

جدول ۱. انواع الگوی رودخانه

چندکانالی	تک‌کانالی	سینوسیته
شریانی	مستقیم	سینوسیته کم ۱/۵>
انشعابی	پیچان‌رودی	سینوسیته زیاد ۱/۵<

جدول ۲. شاخص عملکردی ژئومورفولوژیکی: توصیف طبقه‌ها و تعریف امتیازات

شاخص‌ها	طبقه‌ها و امتیازات	روش ارزیابی
	شاخص عملکردی	
F1	پیوستگی طولی در رسوب و شار چوب، A: ۰؛ B: ۳؛ C: ۵	بازدید میدانی و سنجش‌ازدور
F2	وجود یک دشت سیلابی جدید؛ A: ۰؛ B: ۳؛ C: ۵	بازدید میدانی و اندازه‌گیری، تصاویر ماهواره‌ای

ادامهٔ جدول ۲.

شاخص‌ها	طبقه‌ها و امتیازات	روش ارزیابی
F3	پیوستگی رودخانه و دامنه؛ A: ۰؛ B: ۳؛ C: ۵	بازدید میدانی و ســـنجش‌ازدور و سیستم اطّلاعات جغرافیایی[1]
F4	فرآیند پس‌روی کرانه؛ A: ۰؛ B: ۲؛ C: ۳	بازدید میدانی و ســـنجش‌ازدور
F5	وجود کریدور بالقوه فرسایش پذیر؛ A: ۰؛ B: ۲؛ C: ۳	بازدید میدانی و ســـنجش‌ازدور
F6	اشکال بستری- شیب دره؛ A: ۰؛ B: ۳؛ C: ۵	نقشه‌های توپوگرافی و بازدید میدانی و برداشت نمونه‌های رسوب و آزمایش هیدرومتری
F7	اشکال و فرآیندهای الگوی کانال؛ A: ۰؛ B: ۳؛ C: ۵	ســـنجش‌ازدور و بازدید میدانی
F8	حضور اشکال معمولی رودخانه‌ای در دشت آبرفتی؛ A: ۰؛ B: ۲؛ C: ۳	ســـنجش‌ازدور و بازدید میدانی
F9	تغییرات مقطع عرضی؛ A: ۰؛ B: ۳؛ C: ۵	بازدید میدانی و ســـنجش‌ازدور
F10	ساختار بستر کانال؛ A: ۰؛ B: ۲؛ C1: ۵؛ C2: ۶	بررسی میدانی و ارزیابی بصری
F11	وجود چوب‌های بزرگ درون کانال؛ A: ۰؛ B: ۳	بررسی میدانی و ارزیابی بصری
F12	محدوده گیاهان عملکردی؛ A: ۰؛ B: ۲؛ C: ۳	ســـنجش‌ازدور و اندازه‌گیری عرض متوسّط پوشش گیاهی حاشیهٔ رود
F13	گسترش خطی پوشش گیاهی عملکردی؛ A: ۰؛ B: ۳؛ C: ۵	ســـنجش‌ازدور و اندازه‌گیری امتداد طولی پوشش گیاهی در حاشیهٔ رود
شاخص مصنوعی		
A1	تغییر در بالادست جریان؛ A: ۰؛ B: ۳؛ C: ۶	داده‌های هیدرولوژیکی، تغییـــرات در دبی بـه‌علّـت مـداخلات در بالادســت رود
A2	تغییر در بالادست دبی رسوبی؛ A: ۰؛ B1: ۳؛ B2: ۶؛ C1: ۹؛ C2: ۱۲	ســـنجش‌ازدور و سیستم اطّلاعات جغرافیایی
A3	تغییر جریان در بازه؛ A: ۰؛ B: ۳؛ C: ۶	داده‌های هیدرولوژیکی
A4	تغییر دبی رسوب در بازه؛ A: ۰؛ B: ۴؛ C: ۶	ســـنجش‌ازدور و سیستم اطّلاعات جغرافیایی
A5	سازه‌های عرضی؛ A: ۰؛ B: ۲؛ C: ۳	ســـنجش‌ازدور و سیستم اطّلاعات جغرافیایی
A6	محافظت کناره؛ A: ۰؛ B: ۳؛ C: ۶	ســـنجش‌ازدور و سیستم اطّلاعات جغرافیایی
A7	خاک‌ریزهای مصنوعی؛ A: ۰؛ B: ۳؛ C: ۶	ســـنجش‌ازدور و سیستم اطّلاعات جغرافیایی
A8	تغییرات مصنوعی مسیر رودخانه؛ A: ۰؛ B: ۲؛ C: ۳	اطّلاعات تاریخی و کتابخانه‌ای و ســـنجش‌ازدور
A9	سایر تثبیت‌کننده‌های بستر؛ A: ۰؛ B: ۳؛ C1: ۶؛ C2: ۸	ســـنجش‌ازدور و سیستم اطّلاعات جغرافیایی

1- Geographic Information System (GIS)

ادامهٔ جدول ۲.

شاخص‌ها	طبقه‌ها و امتیازات	روش ارزیابی
A10	جابه‌جایی رسوب؛ A: ۰؛ B: ۳؛ C: ۶	بازدید میدانی و سنجش‌از دور
A11	جابه‌جایی چوب؛ A: ۰؛ B: ۲؛ C: ۵	بازدید میدانی و سنجش‌ازدور
A12	مدیریت پوشش‌گیاهی؛ A: ۰؛ B: ۲؛ C: ۵	بازدید میدانی و سنجش‌ازدور
	شاخص تعدیلی	
CA1	تعدیل الگوی کانال؛ A: ۰؛ B: ۳؛ C: ۶	سنجش‌ازدور (عکس‌های هوایی ۱۳۳۴ و تصاویر گوگل‌ارث) و سیستم اطّلاعات جغرافیایی
CA2	تعدیل عرض کانال؛ A: ۰؛ B: ۳؛ C: ۶	سنجش‌ازدور (عکس‌های هوایی ۱۳۳۴ و تصاویر گوگل‌ارث) و سیستم اطّلاعات جغرافیایی
CA3	تعدیل سطح اساس بستر؛ A: ۰؛ B: ۴؛ C1: ۸؛ C2: ۱۲	مقطع عرضی یا پروفیل طولی، برداشت میدانی: نشانه‌هایی از حفر و رسوب‌گذاری (به‌صورت کیفی یا کمی)

به‌منظور تجزیه و تحلیل شرایط کیفیت مورفولوژیکی رودخانه، پس از امتیازدهی شاخص‌ها، ابتدا با استفاده از رابطهٔ ۳ شاخص تغییرات مورفولوژیک شاخص کیفیت مورفولوژیکی رودخانه محاسبه می‌شود (رابطهٔ ۳):

$$MAI = Stot / Smax$$ رابطهٔ ۳

در رابطهٔ ۳ S_{tot}: مجموع امتیازات و S_{max} حداکثر امتیاز طبقه C هر شاخص است؛ بنابراین دامنهٔ MAI از صفر (بدون تغییرات) تا ۱ (حداکثر تغییرات) شامل می‌شود (رابطهٔ ۴):

$$MQI=1-MAI$$ رابطهٔ ۴

بنابراین شاخص، نسبت مستقیمی با کیفیت بازه و نسبت معکوسی با تغییرات بازه دارد و از صفر (حداقل کیفیت) تا ۱ (حداکثر کیفیت) متغیّر است. بر اساس این ساختار، شرایط مرجع، یعنی طبقهٔ A هر شاخص برابر است با MQI = 1، یعنی عملکرد کامل فرایندهای ژئومورفیک در طول بازه، عدم وجود یا وجود ناچیز عناصر مصنوعی در طول بازه یا کمی گسترش در سطح حوضه (برحسب شار جریان آب و رسوب)، عدم وجود تعدیل‌های مشخّص در کانال (پیکربندی بستر، عرض و ارتفاع بستر) در یک دورهٔ زمانی حدود ۱۰۰ سال. در نهایت مقادیر MQI به‌صورت جدول ۳ طبقه‌بندی می‌شود.

نتایج

با توجّه به نتایج به‌دست‌آمده بازه‌های ۱، ۲ و ۳ در واحد دشت و بازه‌های ۴ تا ۸ در واحد دشت بین کوهی قرار گرفته است؛ همچنین با توجّه به ویژگی درجهٔ محدودیت، تمامی مقاطع از نظر وضعیّت رودخانه نسبتاً محدود هستند؛ زیرا مقاطع بین ۱۰٪ تا ۹۰٪ درجه محدودیت دارند. بیشترین مقدار محدودیت در مقطع ۱ با ۹/۷ متر عرض کانال و ۲۰/۸۴ متر عرض دشت سیلابی (شاخص محصوریت:۴۶/۵۴) و کمترین مقدار محدودیت در مقطع ۷ با ۸/۷۲ متر عرض کانال و ۷۱/۳۸متر عرض دشت سیلابی (شاخص محصوریت:۱۲/۲۱) هستند. از نظر انواع الگو، به‌غیراز بازه ۳ (چندکانالی) سایر بازه‌ها تک‌کانالی هستند.

جدول ۳. مقادیر شاخص کیفیت مورفولوژیکی

MQI	بیشتر از ۰/۸۵	۰/۷ تا ۰/۸۵	۰/۵ تا ۰/۷	۰/۳ تا ۰/۵	کمتر از ۰/۳
کیفیت	خیلی خوب	خوب:	متوسّط	ضعیف	خیلی ضعیف

الف: شاخص‌های عملکردی

F1: این شاخص بر حرکت رسوب و چوب در طول رودخانه تأکید دارد. به‌منظور امتیازدهی به بازه‌های مورد مطالعه بر اساس این شاخص، از اطّلاعات سنجش‌ازدور به‌دست‌آمده از راه بازدید میدانی استفاده شده است. نتایج ارزیابی این شاخص بیانگر این است که همهٔ بازه‌ها، در کلاس A با امتیاز صفر، عدم تغییرات در تداوم حمل رسوب و چوب را دارند.

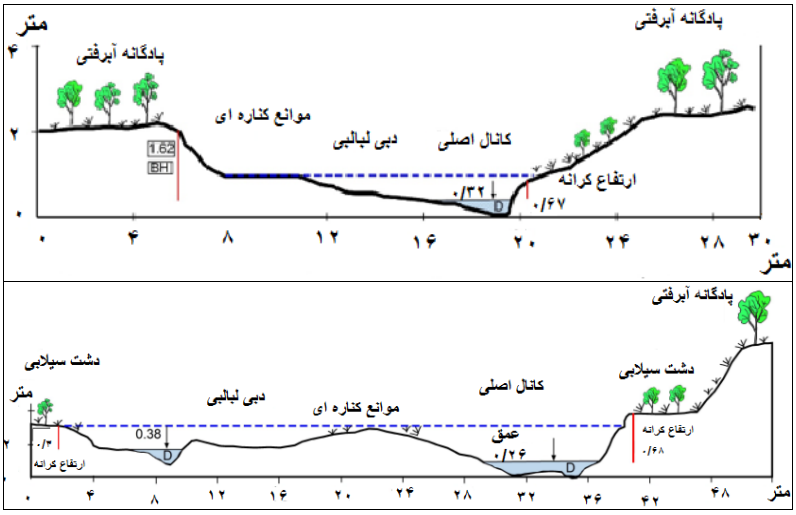
F2: این شاخص بر عرض دشت سیلابی بازه‌ها تأکید دارد. نتایج ارزیابی‌ها بیانگر این است که مقاطع ۱، ۲، ۴ و ۵ در کلاس C با امتیاز ۵ دارای عدم وجود دشت سیلابی یا قابل اغماض (کمتر از ۱۰٪ پهنا)، مقاطع ۳، ۶، ۷ و ۸ در کلاس B با امتیاز ۳ یک دشت سیلابی ناپیوسته دارند (شکل ۳). شکل ۳ (راست) مقطع شمارهٔ ۲ بدون وجود دشت سیلابی و شکل ۳ (چپ) دارای دشت سیلابی ناپیوسته است.

F3: این شاخص بر اتّصال دامنه به رودخانه تأکید دارد. نتایج ارزیابی نشانگر این است که بازه‌های ۶ و ۷ در کلاس A با امتیاز صفر دارای اتصال کامل بین دامنه‌ها و رودخانه در حالی که بازه ۳ در کلاس C با امتیاز ۵ با اتّصال به یک بخش کوچک بازه است و بازه‌های ۱، ۲، ۴، ۵ و ۸ در کلاس B با امتیاز ۳ اتّصال به بخش قابل ملاحظه‌ای از بازه است.

F4: این شاخص بر پس‌روی کرانه‌ها تأکید دارد. برای ارزیابی این شاخص از اطّلاعات سنجش‌ازدوری و بازدیدهای میدانی استفاده شده است. با توجّه به ارزیابی‌های به‌دست‌آمده، بازهٔ ۷ در کلاس B با امتیاز ۲ با پس‌روهای کمتر کرانه (شکل ۴) و سایر بازه در کلاس C با عدم پس‌روی کرانه با امتیاز ۳ قرار دارند.

F5: این شاخص بر وجود کریدورهای فرسایش‌پذیر در مسیر رودخانه تأکید دارد. برای ارزیابی این شاخص از اطّلاعات سنجش‌ازدوری استفاده شده است. همهٔ بازه‌ها یک کریدور بالقوّهٔ فرسایش‌پذیر در بیش از ۶۶٪ طول بازه داشته و در کلاس A با امتیاز صفر قرار دارند.

F6: بر سازگاری اشکال بستر با میانگین شیب درّه تأکید دارد که در جدول ۴ روابط بین شیب درّه و فرم بستر نشان داده شده است. نتایج به‌دست‌آمده از بازدید میدانی (اندازه‌گیری شیب بستر، نمونه‌برداری رسوب بستر) به این صورت است که بازه‌های ۳، ۴، ۵ و ۸ در کلاس A یعنی اشکال بستری سازگار با شیب درّه هستند ولی بازه‌های ۱، ۲، ۶ و ۷ دارای اشکال بستری ناسازگار با شیب درّه و اندازهٔ ذرّات هستند و در کلاس B قرار می‌گیرند. به‌منظور مشاهدهٔ روابط بین شیب دامنه و فرم بستر به رینالدی و همکاران (۲۰۱۲) مراجعه شود.



شکل ۳. نیم‌رخ عرضی مقطع شمارهٔ ۲ (راست) و نیم‌رخ عرضی مقطع شمارهٔ ۳ (چپ)

جدول ۴. سازگاری اشکال بستر با میانگین شیب درّه و اندازهٔ ذرّات در بازه‌های مورد مطالعه

بازه	فرم بستر	اندازهٔ غالب	شیب بستر
۱	بستر موج‌دار	قلوه‌سنگ	۰/۰۰۹۶
۲	بستر موج‌دار	شن بسیاردرشت	۰/۳۹
۳ اصلی	بستر مسطّح	شن بسیاریز	۱/۰۵۲
۳ متروک	بستر مسطّح	شن بسیاردرشت	۱/۰۵۲
۳ فرعی	بستر مسطّح	شن درشت	۱/۰۵۲
۴	بستر مسطّح	قلوه‌سنگ	۱/۵۲
۵	بستر مسطّح	قلوه‌سنگ	۱/۵۲
۶	بستر موج‌دار	قلوه‌سنگ	۰/۷۹۶
۷	بستر موج‌دار	شن بسیاردرشت	۴/۵۸
۸	بستر موج‌دار	شن درشت	۰/۱۵

F7: این شاخص بر تغییر الگوی رودخانه ناشی از دخالت انسان تأکید دارد. برای ارزیابی این شاخص از اطّلاعات سنجش‌ازدوری و بازدیدهای میدانی استفاده شده است. با توجّه به نتایج به‌دست‌آمده بازهٔ ۳ در کلاس B یعنی تغییر در بخش محدودی از بازه رخ داده است که امتیاز ۳ گرفته است در حالی که بقیهٔ بازه‌ها در کلاس A، یعنی فقدان تغییر نامتجانس اشکال است که امتیاز صفر گرفته‌اند.

F8: این شاخص به وجود اشکال دشت آبرفتی در طول مسیر رودخانه تأکید دارد. نتایج ارزیابی این شاخص بیانگر این است که بازه‌های ۱، ۲، ۴، ۶، ۷ و ۸ در کلاس C با امتیاز ۵ به‌منظور نبود اشکال دشت آبرفتی فعّال و بازه‌های ۳ و ۵ به‌دلیل داشتن کانال‌های ثانوی که در دوره‌های قبل فعّال بوده است، در کلاس B با امتیاز ۳ قرار گرفته است. شکل ۴ نشان‌دهندهٔ بازهٔ شمارهٔ ۳ با الگوی شریانی و دارای کانال‌های ثانویه است.

F9: این شاخص بر وجود سازه‌های تثبیت‌کنندهٔ کناره و تغییرات مقطع عرضی رودخانه تأکید دارد. با توجّه به بازدیدهای میدانی، تمامی بازه‌ها در کلاس A با امتیاز صفر قرار گرفته‌اند که به‌معنی عدم تغییر (۵٪ یا کمتر) مقاطع عرضی است.

F10: این شاخص بر رسوبات بستر رودخانه تأکید دارد. برای ارزیابی آن از بازدیدهای میدانی و نمونه‌برداری و آزمایش هیدرومتری استفاده شده است. تمامی بازه‌ها در کلاس A به‌منظور عدم ناهمگونی طبیعی بستر و با امتیاز صفر هستند.

F11: این شاخص بر وجود چوب‌های بزرگ در کانال رودخانه اشاره دارد. برای ارزیابی آن از بازدیدهای میدانی استفاده شده است. با توجّه به ارزیابی انجام‌شده، هر هشت بازه در کلاس B با امتیاز ۳ و فقدان چوب‌های بزرگ هستند.

شکل ۴. سمت راست بازهٔ ۷ همراه با پس‌روی کرانه راست (نگاه به‌سمت بالادست)، سمت چپ بازهٔ ۳ الگوی چندکانالی با کانال‌های ثانوی

F12: این شاخص وجود پوشش‌گیاهی در کانال رودخانه را ارزیابی می‌کند. با توجّه به نتایج، بازه‌های ۶ و ۷ در کلاس B با امتیاز ۲ عرض متوسّط پوشش‌گیاهی است. سایر بازه‌ها در کلاس C با امتیاز ۳ به‌منظور پهنای کم پوشش‌گیاهی مرتبط با کانال است.

F13: این شاخص بر گسترش خطّی پوشش‌گیاهی در کانال رودخانه تأکید دارد. نتایج ارزیابی‌ها بیانگر این است که تمامی بازه‌ها در کلاس C با امتیاز ۵ به‌منظور گسترش خطّی پوشش‌گیاهی کمتر از ۳۳٪ (وجود باغات و زمین‌های کشاورزی) قرار گرفته‌اند.

ب: شاخص‌های مصنوعی

A1: این شاخص بر تغییرات دبی کانال تأکید دارد. برای ارزیابی آن از اطّلاعات و شواهد و بازدیدهای میدانی استفاده شده است. با توجّه به نتایج به‌دست‌آمده هر هشت بازه در کلاس A و با امتیاز صفر معرّفی می‌شوند؛ زیرا در این بازه‌ها عدم تغییرات مشخّص (کمتر از ۱۰٪) دبی شکل‌دهندهٔ کانال و دبی با دورهٔ بازگشت بیشتر از ۱۰ سال است.

A2: این شاخص سازه‌هایی که از حرکت رسوب جلوگیری می‌کند را ارزیابی می‌کند. با توجّه به ارزیابی‌های انجام‌شده و نبود سازه‌هایی مانند سد و غیره در محدودهٔ مورد مطالعه، هر هشت بازه در کلاس A با امتیاز صفر قرار گرفته‌اند.

A3: این شاخص بر تغییرات دبی ناشی از مداخلات انسانی در طول بازه‌ها تأکید دارد. نتایج ارزیابی‌ها بیانگر این است که با توجّه به اینکه در طول بازه‌ها تغییرات دبی ناشی از مداخلات انسانی وجود ندارد (شکل ۶)، به تمامی بازه‌ها امتیاز صفر داده شده است.

A4: این شاخص بر تغییرات دبی رسوب ناشی از مداخلات انسانی در طول بازه‌ها تأکید دارد. نتایج ارزیابی‌ها بیانگر این است که با توجّه به اینکه در طول بازه‌ها عدم تغییرات دبی رسوب ناشی از مداخلات انسانی است، به تمامی بازه‌ها امتیاز صفر داده شده است و همگی در کلاس A قرار می‌گیرند.

A5: این شاخص بر وجود سازه‌های عرضی در مسیر رودخانه تأکید دارد. برای ارزیابی آن از اطّلاعات سنجش‌ازدوری و بازدیدهای میدانی استفاده شده است. تمامی بازه‌ها امتیاز صفر گرفته و در کلاس A قرار دارند که به‌معنای نبود سازهٔ عرضی (پل، آبگیر و غیره) است.

A6: این شاخص بر وجود کرانه‌های محافظت‌شده اشاره دارد. با توجّه به ارزیابی‌های انجام‌شده، تمامی بازه‌ها در کلاس A با امتیاز صفر به‌منظور نبود کرانه‌های محافظت‌شده در مسیر رودخانه است.

A7: این شاخص وجود خاک‌ریزها در مسیر رودخانه را بررسی می‌کند. با توجّه به ارزیابی‌های انجام‌شده، هر هشت بازه در کلاس A با امتیاز صفر و نبود خاک‌ریز هستند.

A8: وجود تغییرات مصنوعی در کانال رودخانه با این شاخص مطالعه می‌شود. با توجّه به ارزیابی انجام‌شده تمامی بازه‌ها به در کلاس A یعنی نبود تغییرات مصنوعی با امتیاز صفر قرار دارند.

A9: این شاخص بر تغییرپذیری کف رودخانه ناشی از مداخلهٔ عوامل انسانی تأکید دارد. با توجّه به ارزیابی انجام‌شده، تمامی بازه‌ها در کلاس A با امتیاز صفر، یعنی نبود سازه‌ها (کف‌بندها یا رمپ‌ها) و فقدان سنگ‌چین‌ها قرار گرفته‌اند.

A10: این شاخص برداشت رسوب در بازه‌ها را ارزیابی می‌کند. با توجّه به مشاهدات انجام‌شده، تمامی بازه‌ها در کلاس A، با امتیاز صفر، یعنی عدم جابه‌جایی رسوب حداقل در طی ۲۰ سال اخیر قرار می‌گیرند.

A11: این شاخص بر جابه‌جایی موادّ چوبی در طول بازه‌ها تأکید دارد. برای ارزیابی این شاخص از بازدیدهای میدانی استفاده شده است. تمامی بازه‌ها در کلاس A و عدم جابه‌جایی موادّ چوبی و با امتیاز صفر قرار گرفته‌اند.

A12: این شاخص بر قطع پوشش‌گیاهی به‌وسیلهٔ عوامل انسانی تأکید دارد. برای ارزیابی این شاخص از بازدیدهای میدانی استفاده شده است. با توجّه به ارزیابی‌های انجام‌شده، تمامی بازه‌ها در کلاس A با امتیاز صفر و عدم قطع پوشش‌گیاهی به‌وسیلهٔ انسان قرار گرفته‌اند.

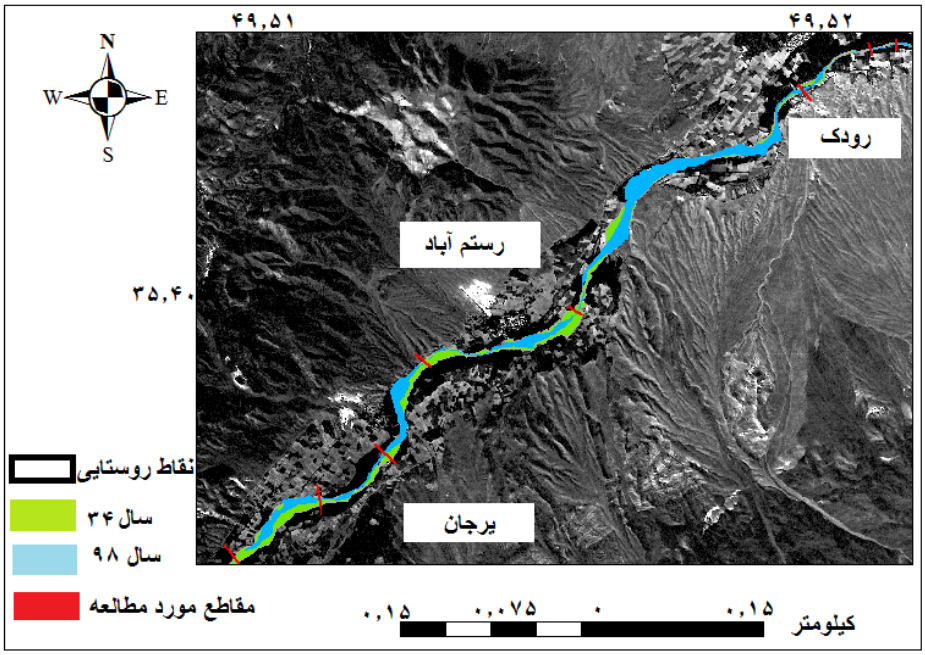
ج: شاخص‌های تعدیلی کانال

این شاخص تغییرات و تعدیل الگوی کانال، عرض و سطح اساس بستر رود را برای رودهای با عرض بیش از ۳۰ متر ارزیابی می‌کند؛ امّا شاخص‌های تعدیلی برای مسیر مورد مطالعه محاسبه شده است.

CA1: این شاخص بر تغییرات الگوی رودخانه تأکید دارد. با توجّه به ارزیابی‌های انجام‌شده، بازه‌های ۱، ۲، ۳ و ۶ در کلاس A با امتیاز صفر به‌منظور فقدان تغییر کانال، همچنین بازه‌های ۴، ۵، ۷ و ۸ در کلاس C به‌منظور تغییر یک الگوی کانال متفاوت با توجّه به بازهٔ زمانی ۶۵ ساله (۱۳۳۴-۱۳۹۸) با امتیاز ۵ هستند. این چهار کانال از الگوی شریانی به الگوی تک‌کانالی پیچان‌رودی تغییر کرده‌اند.

CA2: این شاخص بر تغییرات عرض رودخانه تأکید دارد. با توجّه به بررسی‌های صورت‌گرفته و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سال ۱۳۹۸ و عکس‌های هوایی سال ۱۳۳۴، بازه‌های ۱، ۲ و ۳ در کلاس A با امتیاز صفر و عدم تغییرات در عرض کانال هستند، در حالی که بازه‌های ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸ در کلاس C و تغییرات شدید در عرض کانال، امتیاز ۶ را گرفته‌اند. شکل ۵ نشان‌دهندهٔ تمامی مقاطع در کلاس C است.

CA3: این شاخص بر تغییرات سطح اساس تأکید دارد. با توجّه به ارزیابی‌های انجام‌شده، بازه ۱، ۲، ۳، ۴ و ۶ در گروه A با امتیاز صفر، یعنی تغییرات ناچیز سطح اساس (کمتر از ۰/۵) و بازه‌های ۵، ۷ و ۸ در گروه B با امتیاز ۴، یعنی تغییرات محدود یا سطح اساس متوسّط (۰/۵ تا ۳ متر) است.



شکل ۵. تغییر شدید در عرض کانال در تمامی مقاطع در سال ۱۳۳۴ (سبز) و سال ۱۳۹۸ (آبی)

با توجّه به محاسبهٔ شاخص‌های یادشده، بیشترین مقدار برای شاخص عملکردی با امتیاز ۰/۹۹٪ و کمترین مقدار برای شاخص مصنوعی با امتیاز صفر است. میزان شاخص اصلی در حالت کلّی ۰/۷۵٪ است که در ردهٔ خوب قرار دارد. مقدار کیفیت مورفولوژیکی رودخانه در بازه‌های مورد مطالعه بین ۰/۸۲٪ تا ۰/۷۴٪ است که در این میان حداکثر مقدار در بازه‌های ۱، ۲، ۳ و ۶ با امتیاز ۰/۸۲٪ و حداقل مقدار در بازهٔ ۸ با امتیاز ۰/۷۴ است (جدول ۵).

بحث

نتایج نشان داد که از نظر کیفیت رودخانهٔ حاجی‌عرب در طبقهٔ خوب قرار می‌گیرد و شرایط مناسبی دارد. این شرایط خوب و مناسب بیانگر دو مسئله است: اول اینکه که شاخص مصنوعی که در آن تأثیرات انسانی را بررسی می‌کند، کمترین امتیاز را در بازه‌های مورد مطالعه گرفته‌اند؛ زیرا تغییرات دبی و دبی رسوب در بالادست حوضه و در بازه‌ها در اثر مداخلات انسانی کم بوده، سازه‌های عرضی و متقاطع (سد، بند و غیره)، خاک‌ریزها، محافظت کرانه، برداشت رسوب، قطع پوشش‌گیاهی، تغییرات مصنوعی کف رودخانه (کف بند و غیره) وجود نداشته است. دوم اینکه در رودخانهٔ حاجی‌عرب، فرایندهای ژئومورفیک عملکرد کمابیش کاملی دارند و در طول بازه یا در سطح حوضه، حضور عناصر مصنوعی ناچیز است؛ و همچنین با توجّه به اینکه عرض هیچ‌کدام از مقاطع بیشتر از ۳۰ متر نبود؛ امّا شاخص‌های تعدیلی (تعدیل بستر، عرض و ارتفاع بستر) در یک دورهٔ زمانی حدود ۶۵ ساله محاسبه شده و نشان از تعدیل‌های نسبتاً کم کانال بوده است.

بر اساس مطالعات رینالدی و همکاران (۲۰۱۳)، شاید دلیل این امر این است که شاخص‌های تعدیل کانال برای کانال‌های بزرگ ارزیابی می‌شود که به‌دلیل خطاهای مرتبط با اندازه‌گیری به‌وسیلهٔ عکس‌های هوایی و دشواری ارزیابی تغییرات سطح اساس برای جریان‌های کوچک است. این روش نقطهٔ شروع اقدامات مدیریتی یا احیاء است؛ زیرا به کیفیت بازه‌ای خاص و فرصتی برای شروع ایجاد یک دانش ژئومورفولوژیک صحیح از کلّ سیستم رودخانه و همچنین از یک بازه می‌دهد. بر اساس نظر رینالدی و همکاران (۲۰۱۳) همانند هر طرح طبقه‌بندی یا ابزار ارزیابی، یک سری محدودیت‌ها یا ضعف‌ها برای روش شاخص کیفیت مورفولوژیکی قابل شناسایی است. مهم‌ترین مزیت این روش استفاده از شاخص‌های ساده بر اساس اطّلاعات محدود است؛ بنابراین با این روش می‌توان بازه‌های زیادی را در مدّت‌زمان کوتاه بررسی کرد.

هدف این روش کیفیت مورفولوژیکی رودخانه است نه ارزیابی کمّی فرایندها یا فهم عمیق دینامیک و تکامل مجرا. این روش می‌تواند به‌طور بالقوّه در اروپا یا کشورهای غیر اروپایی به‌کار رود. با این حال، گسترش بالقوّهٔ طرح طبقه‌بندی ایتالیا به مناطق دیگر باید بااحتیاط انجام شود. کاربرد این روش در رودخانهٔ شریانی حاجی‌عرب با بستر گراولی و آب‌وهوای نیمه‌خشک نشان داد که همانند مطالعات اسماعیلی و ولی‌خانی (۱۳۹۳)؛ نصرتی و همکاران (۱۳۹۸)، یعقوب‌نژاد و همکاران (۱۳۹۹) و ایلانلو و کرم (۱۳۹۹) در محیط ایران با آب‌وهواهای متفاوت، شاخص کیفیت مورفولوژیکی، روشی مناسب برای ارزیابی کیفیت مورفولوژیکی است؛ امّا نتایج روش شاخص کیفیت مورفولوژیکی در مطالعات ایلانلو و کرم (۱۳۹۹) در رودخانهٔ جاجرود، اسماعیلی و ولی‌خانی (۱۳۹۳) در رودخانهٔ لاویج و یعقوب‌نژاد اصل و همکاران (۱۳۹۹) در رودخانهٔ طالقان نشان از وضعیّت ضعیف و بسیارضعیف ناشی از دخالت‌های انسانی دارد

جدول ۵. میزان شاخص MQI برای بازه‌های مورد مطالعه

بازه‌ها	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
MQI	۰/۸۲	۰/۸۲	۰/۸۲	۰/۷۵	۰/۷۷	۰/۸۲	۰/۷۷	۰/۷۴
کیفیت هیدرومورفولوژیکی	خوب	خوب	خوب	خوب	خوب	خوب	خوب	خوب

در حالی که در رودخانهٔ حاجی‌عرب، دخالت‌های انسانی کم بوده و کیفیت مورفولوژیکی خوب ارزیابی شد؛ بنابراین مقایسهٔ کاربرد این شاخص در رودخانهٔ حاجی‌عرب با رودخانه‌های یادشده، از نظر کیفیت خوب و سهم بیشتر شاخص‌های عملکردی، مشابه برخی از بازه‌های رودخانهٔ لاویج و طالقان بوده و از نظر عدم دخالت‌های انسانی و شاخص‌های مصنوعی با رودخانهٔ جاجرود و بازه‌هایی از رودخانه‌های طالقان و لاویج متفاوت است.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بازدیدهای میدانی ازجمله مشاهدهٔ وضعیّت بازه‌ها از نظر پوشش‌گیاهی، عوارض مصنوعی، نمونه‌برداری از رسوبات کناره و بستر و دانه‌بندی آن‌ها در آزمایشگاه، نقشه‌برداری از مقاطع عرضی و ارزیابی شرایط رودخانهٔ حاجی‌عرب بر اساس روش کیفیت مورفولوژیکی رودخانه نشان داد که از نظر کیفیت مورفولوژیکی، همهٔ بازه‌های مورد مطالعه رودخانهٔ حاجی‌عرب در طبقهٔ خوب قرار می‌گیرند؛ یعنی این رودخانه شرایط پایداری دارد که این شرایط پایدار در اثر عملکرد طبیعی مورفولوژیکی رودخانه و عدم دخالت مؤثّر فعّالیت‌های انسانی در مجرای این رودخانه است. روش شاخص کیفیت مورفولوژیکی رود، روش مناسبی به‌شمار می‌رود؛ زیرا در رودخانهٔ حاجی‌عرب با کمترین آثار دخالت انسانی، ارزیابی درستی ارائه داده است؛ بنابراین با توجّه به کیفیت هیدرومورفولوژیکی مناسب رودخانهٔ حاجی‌عرب پیشنهاد می‌شود از این رودخانه و محیط اطراف آن حفاظت به‌عمل آید؛ همچنین سایر روش‌های ارزیابی شرایط هیدرومورفولوژی رودخانه ازجمله ارزیابی هیدرولوژیکی، ارزیابی زیستگاه کریدور اطراف رودخانه و حیات آبزیان در مطالعهٔ آتی مدّ نظر قرار گیرد و بهتر است در سال‌های آینده تأثیر سدّ در حال احداث در بالادست رودخانه بر شرایط هیدرومورفولوژیکی رودخانه بررسی شود.

منابع

آقانباتی، علی (۱۳۸۳). *زمین‌شناسی ایران*. تهران: سازمان زمین‌شناسی کشور.

اسماعیلی، رضا؛ ولی‌خانی، ساره (۱۳۹۳). ارزیابی و تحلیل شرایط هیدرومورفولوژیکی رودخانهٔ لاویج با استفاده از شاخص کیفیت مورفولوژیکی. *مجلّهٔ پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۲ (۴)، ۳۷-۵۳.

ایلانلو، مریم؛ کرم، امیر (۱۳۹۹). ارزیابی شرایط هیدرومورفولوژیکی رودخانه با استفاده از روش MQI (منطقهٔ مورد مطالعه: رودخانهٔ جاجرود). *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۰ (۵۶)، ۳۵-۵۳.

نصرتی، کاظم؛ رستمی، میلاد؛ اطمینان، زهرا (۱۳۹۸). ارزیابی شرایط هیدروژئومورفولوژی رودخانهٔ طالقان با استفاده از شاخص کیفی مورفولوژیک. *مجلّهٔ هیدروژئومورفولوژی*، ۶ (۲۱)، ۱۳۳-۱۵۴.

یعقوب‌نژاد اصل، نازیلا؛ اسفندیاری دارآباد، فریبا؛ اصغری سراسکنارود، صیاد؛ کرم، امیر (۱۳۹۹). ارزیابی کیفیت ریخت‌شناسی رودخانهٔ طالقان. *مهندسی و مدیریت آبخیزداری*، ۹ (۱)، ۶۵۷-۶۶۹.

References

Aghanabati, A. (2014). *The Geology of Iran*. Tehran: Geological Survey of Iran (In Persian).

Barbour, M. T., Gerritsen J., Snyder B. D. & Stribling J. B. (1999). *Rapid Bioassessment Protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates, and fish.* Second edition. EPA(841)-B-99-002 U.S.

Belletti, B., Nardi, L., Rinaldi, M., Poppe, M., Brabec, K., Bussettini, M., Comiti, F., Gielczewski, M., Golfieri, B., Hellsten, S., Kail, J., Marchese, E., Marcinkowski, P., Okruszko, T., Paillex, A., Schirmer, M. Stelmaszczyk, M. & Surian, N. (2018). Assessing Restoration Effects on River Hydromorphology Using the Process-based Morphological

Quality Index in Eight European River Reaches. *Environmental Management*, (61), 69-84.

Bourne, C., Kehler D., Wiersma, Y. & Cote, D. (2011). Barriers to fish passage and barriers to fish passage assessments: the impact of assessment methods and assumptions on barrier identification and quantification of watershed connectivity. *Aquatic Ecology*, 45 (3), 389-403.

Brierley, G. J. & Fryirs, K. A. (2005). *Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework*. Blackwell, UK, Oxford.

Brierley, G. J. & Fryirs, K. A. (2008). *River Futures: An Integrative Scientific Approach to River Repair.* Society for Ecological Restoration International, Island Press, Washington, DC, USA.

Environmental Agency (EA). (2010). *Mapping hydropower opportunities and sensitivities in England and Wales.* Environment Agency Technical Report.

Golfieri, B., Surian, N. & Hardersen, S. (2018). Towards a more comprehensive assessment of river corridor conditions: A comparison between the Morphological Quality Index and three biotic indices. *Ecological Indicators*, (84), 525-534.

González Del Tánago, M. & García De Jalón, D. (2011). Riparian Quality Index (RQI): a methodology for characterizing and assessing environmental conditions of riparian zones. *Limnetica, 30* (2), 235-254.

Ilanloo, M. & Karam, A. (2020). Evaluation of hydromorphological conditions of the river using MQI method (study area: Jajroud river). *Applied research in geographical sciences*, (56), 53-35 (In Persian).

Ismaili, R. & Vali Khani, S. (2014). Investigation and analysis of hydromorphological conditions of Lavij river using morphological quality index. *Journal of Quantitative Geomorphological Research*, (4), 53-37 (In Persian).

Large, A. R. G. & Newson, M. D. (2006). Natural rivers, 'hydromorphological quality' and river restoration: a challenging new agenda for applied fluvial geomorphology. *Earth Surface Processes and Landforms*,(31), 1606-1624.

Lorenz, A. (2011). *Ecohydromorphological assessment of streams and rivers in Germany*. UDE. REFORM Kick off Meeting, November 2011, Florence. Unpublished presentation.

Martínez Santa-María, C., Fernández Yuste, J. A. (2010). IAHRIS 2.2. Indicators of Hydrologic Alteration in Rivers. User's Manual. Ministry of the Environment - Polytechnic University of Madrid – CEDEX.

MATTM. (2010). *Italian Ministry of Environment and Land and Sea Protection. Ministerial Decree 260/2010. 'Regolamento recante i Criteri tecnici per la classificazione dello stato dei corpi idrici superficiali, per la modifica delle norme tecniche del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, recante norme in materia ambientale, predisposto ai sensi dell'articolo75, comma 3, del medesimo decreto legislativo'*. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana 30 7th February 2011. (In Italian).

Nosrati, K., Rostami, M. & Etminan, Z. (2020). Assessment of Taleghan River Hydrogeomorphological Conditions Using Morphological Quality Index. *Hydrogoemorphology*, (21), 133-154 (In Persian).

Rinaldi, M. & Surian, N. (2003). Morphological response to river engineering and management in alluvial channels in Italy. *Geomorphology*, 50 (4), 307-326.

Rinaldi, M., Surian, N., Comiti, F. & Bussettini, M. (2012). Guidebook for the Evaluation of Stream Morphological Conditions by the Morphological Quality Index (MQI). *Geomorphology*, 180-181, 96-108.

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.

Rosgen, D. L. (1996). *Applied River Morphology.* Wildland Hydrology, Pagosa Springs, CO, 390 p. In: Rosgen D. (2006). The Natural Channel Design Method for River Restoration (+ 1996_StreamNotesReview). Wildland Hydrology.

Rosgen, D. L. (2006). *A Watershed Assessment for River Stability and Sediment Supply (WARSSS).* Wildland Hydrology Books, Fort Collins, CO.

Schumm, S. A., Harvey, M. D. & Watson, C. C. (1984). Incised Channels: Morphology, Dynamics and Control. Water Resources Publications, Littleton, Colorado, pp. 200. In: Darby S.E. and Simon A. (eds.) (1999): Incised River Channels: processe, forms, engineering and management. *John Wiley & Sons*, (2), 19-33.

The Nature Conservancy (2009). *Indicators of Hydrologic Alteration*. Version 7.1. User's Manual.

Yaghoob Nejad ASL, N., Esfandiary Darabad, F., Asghari Saraskanroud, S. & Karam, A. (2020). Morphological Quality Evaluation of Taleghan River. *Watershed Engineering and Management*, *9* (1), 657-669 (In Persian).