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

Hydro-Morphological Analysis of Karaj River in the Urban Area from Beylqan to the Railway Bridge

Parastoo Ghaforpur-Anbaran[1]| Ali Ahmadabadi[2]| Ezzatollah Ghanavati[3]| Mehdi Yasi[4]

1. Department of Geomorphology, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran. E-mail: parastooghaforpur@yahoo.com
2. Department of Geomorphology, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran. E-mail: ahmadabadi@khu.ac.ir
3. Department of Geomorphology, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran. E-mail: ghanavati@khu.ac.ir
4. Department of Irrigation and Rehabilitation Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj Campus, Iran. E-mail: m.yasi@ut.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 11 Jul 2022
Received in revised form: 05 Sep 2022
Accepted: 11 Sep 2022
Available online: 21 Jan 2023

Keywords:
Hydro-geomorphological Index (IHG),
River Management,
River Morphology,
Urban Development,
Karaj River.

ABSTRACT

Urban development and land use change have seriously damaged the quality and conditions of geomorphological equilibrium, drainage capacity and river ecosystem services. On the other hand, these changes and human interventions have affected the environmental sustainability of the area. To manage and prevent the loss of natural and geomorphological functions of rivers, it is necessary to assess the morphological quality of the river. In the Karaj River, due to the expansion of urbanization, encroachment on the riverbed, channeling, sand extraction, etc., serious damage has been inflicted on the river ecosystem. In the present study, the hydro-geomorphological quality of the Karaj River in the urban area of Karaj of Iran (from Beylqan Bridge to the railway bridge) was evaluated. Using IHG hydro-geomorphological index along the main river, the basin was divided into seven sections and the value of this index was determined for each section. The IHG index evaluates 9 parameters in three groups (Functional Quality, Channel Quality, Riparian Quality). The value of each parameter calculated between 1 and 10 depending on the physical state and performance of the river basin. Based on the results of this study, sections of 1, 2, 3, 4, 6 and 7 have poor hydro-morphological quality; and section 5 due to human activity (including changes in morphological pattern, construction of engineering structures, disconnection of the main waterway and floodplain) have very poor quality. Also, the hydro-geomorphological quality of the urban area of Karaj River has the most negative effects due to the expansion of city and residential space, urban facilities and uncontrolled extraction of sand. The results show that the IHG index is a good indicator and sensor for assessing the hydro-geomorphological quality of rivers.

Cite this article: Ghaforpur-Anbaran, P., Ahmadabadi, A., Ghanavati, E. & Yasi, M. (2023). Hydro-Morphological Analysis of Karaj River in the Urban Area from Beylqan to the Railway Bridge. *Geography and Environmental Sustainability, 13* (1), 21-39. DOI: 10.22126/GES.2022.8026.2552

© The Author(s).
Publisher: Razi University
DOI: 10.22126/GES.2022.8026.2552

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

تحلیل هیدرومورفولوژیک رودخانه کرج در بازه شهری از بیلقان تا پل راه‌آهن

پرستو غفورپور عنبران[۱]| علی احمدآبادی[۲]| عزت‌اله قنواتی[۳]| مهدی یاسی[۴]

۱. گروه ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. رایانامه: parastooghaforpur@yahoo.com
۲. نویسنده مسئول، گروه ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. رایانامه: ahmadabadi@khu.ac.ir
۳. گروه ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. رایانامه: ghanavati@khu.ac.ir
۴. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: m.yasi@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخچهٔ مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۲۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۰
دسترسی آنلاین: ۱۴۰۱/۱۱/۰۱

کلیدواژه‌ها:
شاخص هیدروژئومورفولوژیک (IHG)،
ساماندهی رودخانه،
مورفولوژی آبراهه،
توسعه شهری،
رودخانه کرج.

چکیده

توسعه شهری و تغییر کاربری اراضی، آسیب‌های جدی بر کیفیت و شرایط تعادل ژئومورفولوژیک، ظرفیت آبگذری و خدمات زیست‌بوم رودخانه وارد کرده است. از طرفی این تغییرات و دخالت‌های انسانی، پایداری محیطی محدوده را تحت‌تأثیر قرار داده است. برای مدیریت و جلوگیری ازدست‌رفتن عملکردهای طبیعی و ژئومورفولوژیک رودخانه‌ها ضرورت ارزیابی کیفیت مورفولوژیک رودخانه وجود دارد. در رودخانه کرج به دلیل گسترش شهرنشینی، تجاوز به بستر و حریم رودخانه، آبراهه‌سازی، برداشت شن و ماسه و غیره، آسیب‌های جدی بر اکوسیستم رودخانه تحمیل شده است. در پژوهش حاضر، کیفیت هیدروژئومورفولوژی رودخانه کرج در بازه شهری کرج (از پل بیلقان تا پل راه‌آهن) مورد ارزیابی قرار گرفت. با استفاده از شاخص هیدروژئومورفولوژیکی IHG در طول مسیر اصلی رودخانه، حوضه به هفت بخش (بازه) تقسیم شد و مقدار این شاخص برای هر بازه تعیین گردید. شاخص IHG تعداد ۹ 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. بر اساس نتایج این تحقیق، بازه‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۶ و ۷ از کیفیت هیدرومورفولوژی ضعیف؛ و بازه ۵ به دلیل دخالت‌های انسانی (از جمله تغییر در الگوی مورفولوژی، ایجاد سازه‌های مهندسی، قطع پیوستگی آبراهه اصلی و سیلاب‌دشت)، از کیفیت خیلی ضعیف برخوردار هستند. همچنین، کیفیت هیدروژئومورفولوژی بازه شهری رودخانه کرج به دلیل گسترش فضای شهری و سکونتگاهی، تأسیسات شهری و استخراج بی‌رویه شن و ماسه، بیشترین اثرات منفی را دارد. نتایج نشان می‌دهد که شاخص IHG نشانگر و حسگر مناسبی برای ارزیابی کیفیت هیدروژئومورفولوژیکی رودخانه‌ها است.

استناد: غفورپور عنبران، پرستو؛ احمدآبادی، علی؛ قنواتی، عزت‌اله؛ یاسی، مهدی (۱۴۰۲). تحلیل هیدرومورفولوژیک رودخانه کرج در بازه شهری از بیلقان تا پل راه‌آهن. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۱۳ (۱)، ۲۱-۳۹. DOI: 10.22126/GES.2022.8026.2552

ناشر: دانشگاه رازی

© نویسندگان.

مقدمه

از زمان تمدن بشری، ویژگی‌های هیدرولوژیکی و ریخت شناختی بیشتر رودخانه‌ها به‌شدت توسط دخالت‌های انسان تغییر کرده است (Biswas et al., 2021). گسترش سکونتگاه‌های انسانی در قالب افزایش ساخت‌وسازها و دامنه نفوذ انسان و بهره‌برداری هر چه بیشتر از طبیعت موجب تخریب محیط طبیعی و برهم‌خوردن اکوسیستم طبیعی می‌گردد. برهم‌خوردن تعادل اکوسیستم آن هم در این زمان کم، خود ناپایداری منابع آب را تشدید کرده و اکولوژی گیاهی، جانوری و در نهایت انسانی در حوضه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. در این صورت با این روند گسترش سکونتگاه‌ها و تغییرات کاربری زمین و افزایش دخالت‌های انسانی، پایداری محیطی با آسیب جدی مواجه خواهد شد (رحمانی فضلی و صالحیان بادی، ۱۳۹۵).

تأثیر مداخله انسان بر سامانه رودخانه به‌عنوان یک موضوع مهم در زمینه جغرافیای طبیعی مطرح می‌شود. حدود ۵۰ درصد از سطح زمین در اثر تلاش انسان تغییریافته است (Hooke et al., 2012; Rhoads et al., 2016; Biswas et al., 2021). همواره زندگی بشر در کناره رودخانه‌ها، تغییرات زیادی در بستر و کناره رودخانه‌ها ایجاد کرده است و آسیب‌های زیادی بر اکوسیستم، ظرفیت آبگذری و شرایط تعادل ژئومورفولوژیکی وارد کرده است که این آسیب‌ها مشکلات فراوانی را نیز برای خود بشر به وجود آورده است (محمدرضاپورطبری و همکاران، ۱۳۹۶). توسعه مناطق مسکونی در اطراف سامانه‌های رودخانه‌ای نقش زیادی در کنترل ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی رودخانه‌ها، به‌ویژه باریک شدن رودخانه‌ها ایفا کرد (Yousefi et al., 2019). پیامدهای مستقیم نقش انسان که در آن فعالیت انسانی از طریق کارهای مهندسی از جمله کانال‌سازی، سدسازی، انحراف و کالورت سازی بر آبراهه رودخانه تأثیر می‌گذارد، مدت‌هاست که شناخته شده است (Gregory, 2006). پایداری رودخانه و واکنش به شرایط محیطی در حال تغییر به‌شدت به ویژگی مکانی و موضعی (نوع کانال و درجات آزادی؛ ماهیت رسوبات، رژیم‌های هیدرولوژیکی و پوشش گیاهی؛ محدودیت‌های انسانی؛ و مداخلات طبیعی و انسانی گذشته) وابسته است (Buffington, 2012).

برای جلوگیری از تخریب رودخانه‌ها و اکوسیستم‌های آبی نیاز است که چاره‌اندیشی شود و رویکردی برای حفاظت از محیط و عملکرد طبیعی رودخانه‌ها اتخاذ شود رویکردهایی که در کشورهای پیشرو در زمینه احیاء رودخانه‌ها در نظر گرفته می‌شود همگی روی حداکثر تلاش برای بازگشت به وضعیت قبل از دست‌کاری رودخانه می‌باشد (سازمان مشاور فنی و مهندسی شهر تهران، شهرداری تهران،۱۳۹۶).

مفاهیم هیدرولوژی و ژئومورفولوژی برای پروژه‌های احیای رودخانه شامل تغییرپذیری در زمان و مکان، تأثیر اثرات محلی و پایین‌دست بر فرایندهای آبراهه است، درک تغییرپذیری هیدروژئومورفیک در اکوسیستم‌های رودخانه‌ای برای تدبیر و ارائه راهکار مؤثر برای حفاظت و بازیابی سامانه‌های رودخانه‌ای مهم و ضروری است (Montgomery & Bolton, 2003). دینامیک و پویایی هیدروژئومورفولوژیکی رودخانه عامل کلیدی در سامانه‌های رودخانه‌ای است. این نه‌تنها از نظر عملکردی، بلکه از نظر ارزش اکولوژیکی، چشم‌انداز و زیست‌محیطی سامانه‌ها نیز حائز اهمیت است (Ollero et al., 2011). واژه هیدروژئومورفولوژی، تغییرات در رژیم رودخانه، حمل رسوب، مورفولوژی رودخانه، تغییرات جانبی مجرا را موردتوجه قرار می‌دهد که شامل مجموعه مطالعات هیدرولوژی، ژئومورفولوژی و اکولوژی بوده و فرایندهای طبیعی را در اقدامات و راهبردهای مربوط به مدیریت رودخانه در برمی‌گیرد (Newson & Large, 2006؛ خالقی و همکاران، ۱۴۰۰).

شاخص ارزیابی هیدروژئومورفولوژیکی (IHG)[1] برای اجرای دستورالعمل EU/۶۰/۲۰۰۰ برای کاهش نابودی سامانه‌های رودخانه‌ای، شناسایی، درک، حل یا کاهش مشکلات زیست‌محیطی این سامانه‌ها، بهبود و حفظ عملکرد و طبیعی بودن آنها، تأیید و تشخیص ارزش هیدروژئومورفولوژیکی آنها، برای آموزش مدیران و دانشجویان و افزایش آگاهی در جامعه استفاده می‌شود. این شاخص برای اولین‌بار در آوریل ۲۰۰۶ در بارسلونا در کارگاهی در زمینه ابزارهایی برای ارزیابی کیفیت هیدرومورفولوژیکی رودخانه‌ها توسط آژانس آب کاتالونیا برگزار شد، ارائه گردید. نسخه اول در مجلات

1- Hydro-Geomorphological Index

Geographicali (Ollero et al., 2007) و Limnetica (Ollero et al., 2008) منتشر شد و یک راهنمای کاربر در وب‌سایت سازمان آب حوضه ابرو (Ollero et al, 2009) موجود است. شاخص IHG در بیش از ۴۰۰ رودخانه و بازه‌های رودخانه مورداستفاده قرار گرفته است. همچنین توسط گروه‌های تحقیق دیگری موردتوجه و استفاده قرار گرفته است: از جمله Raven et al., 2010؛ و Alvarez et al., 2010 و Rinaldi et al., 2010. تجربیات به‌دست‌آمده از این کاربردها باعث شده تا نویسندگان برخی تغییرات روش‌شناختی را در این شاخص ارائه دهند. این تغییرات شامل ارزیابی تأثیرات انسانی بیشتر و اصلاح برخی امتیازات است. همچنین ارزیابی کیفیت پوشش گیاهی کنار رودی (ری پارین) کریدورها نیز بازسازی شده است (Ollero et al., 2011).

تحقیق دیگری توسط (Ollero et al., 2015) برای رودخانه البرو و انشعابات آن در اسپانیا بر اساس روش IHG انجام شده است. اهداف این مطالعه ارائه مروری بر برخی از مشکلات جاری برای جریان‌های شمال شرقی شبه‌جزیره ایبری، بررسی پروژه‌های مختلف ژئومورفیک و مدیریت رودخانه، ارائه پیشنهادها و راهبردهای مدیریتی برای پروژه‌های آتی به‌ویژه در ارتباط با مفاهیم اصلی رویکرد قلمرو رودخانه‌ای است. (Barboza et al., 2017) در مقاله‌ای کیفیت هیدروژئومورفولوژیکی رودخانه اوتکابامبا[1]، واقع در حوضه آمازون، را مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج نشان داد که رودخانه اوتکوبامبا تحت‌تأثیر اثرات مهم دخالت‌های انسانی که شرایط هیدروژئومورفولوژیکی را تغییر می‌دهد، با آسیب بیشتری، به منبع رودخانه در قسمت خروجی آسیب می‌رساند. در تحقیق دیگری توسط (Barboza et al., 2018) با عنوان کاربری اراضی موجود و کیفیت هیدروژئومورفولوژیکی رودخانه سن آنتونیو: گزینه‌هایی برای ترمیم رودخانه در شمال پرو، به ارزیابی کاربری اراضی موجود و کیفیت هیدروژئومورفولوژیکی در رودخانه سان آنتونیو[2]، واقع در استان‌های چچاپویاس[3] و رودریگز دو مندوزا[4] در بخش آمازوناس[5] (پرو) پرداختند. (Sánchez & Talavera, 2019) به تحلیل تأثیر سد به‌عنوان یک منبع آبی، بر پویایی رودخانه پرداخته‌اند. هدف این پژوهش این بوده است که درجه طبیعی بودن هیدروژئومورفولوژیکی بخشی از رودخانه سگورا[6] بین مخزن فوئنسانتا[7] و دهانه رودخانه تایبیلا[8] ارزیابی شود. برای این منظور، از شاخص هیدروژئومورفولوژی (IHG) استفاده کرده‌اند که قبلاً با موفقیت در مشخصات هیدروگرافی ابرو توسعه داده شد. (Rojas Briceño et al., 2020) در مقاله خود یک چارچوب روش‌شناختی یکپارچه برای اولویت‌بندی مورفومتریک، طبقه‌بندی ژئومورفولوژیکی رودخانه‌ها و ارزیابی هیدروژئومورفولوژیکی حوضه‌های هیدروگرافی ارائه شده است. مطالعات دیگری توسط Stefanidis و همکاران در سال ۲۰۲۲، El Hourani و همکاران در سال ۲۰۲۲، Müller و همکاران در سال ۲۰۲۲ در ارتباط با ارزیابی هیدروئومورفولوژی رودخانه صورت‌گرفته است هم چنین Sánchez Giménez در سال ۲۰۱۸ و Rojas در سال ۲۰۱۸، Cuchí Moreno در سال ۲۰۲۱، انجام شده است که از روش IHG در رساله‌های خود بهره برده‌اند.

در ایران ارزیابی کیفیت هیدروژئومورفولوژی رودخانه توسط پژوهشگرانی از جمله اسماعیلی و ولی خانی (۱۳۹۳)، ایلانلو و کرم (۱۳۹۹)، خالقی و همکاران (۱۴۰۰) ، نصرتی و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از روش کیفیت مورفولوژیکی رودخانه (MQI) و بررسی خصوصیات هیدروژئومورفولوژی رودخانه توسط احمدآبادی و همکاران (۱۳۹۶) و غفورپور عنبران (۱۳۹۴) صورت‌گرفته است. باتوجه‌به اینکه در اکثر تحقیقات داخل کشور ایران، شرایط و کیفیت

1- Utcubamba River
2- San Antonio River
3- Chachapoyas
4- Rodríguez de Mendoza
5- Amazonas
6- Segura River
7- Fuensanta reservoir
8- Fuensanta reservoir

هیدرومورفولوژیکی رودخانه با استفاده از روش‌هایی همچون روش MQI مورد بررسی قرار گرفته، لزوم استفاده از سایر روش‌های هیدرومورفولوژیکی جهت ارزیابی شرایط و کیفیت هیدرولوژیکی، مورفولوژیکی و اکولوژیکی رودخانه ضروری به نظر می‌رسد. به همین دلیل، در تحقیق حاضر سعی بر آن است که روش IHG که شرایط مورفولوژی، هیدرولوژیکی و اکولوژی را به‌صورت یکپارچه و جامع در نظر می‌گیرد، به‌عنوان روش تحلیلی تحقیق به کار گرفته شود.

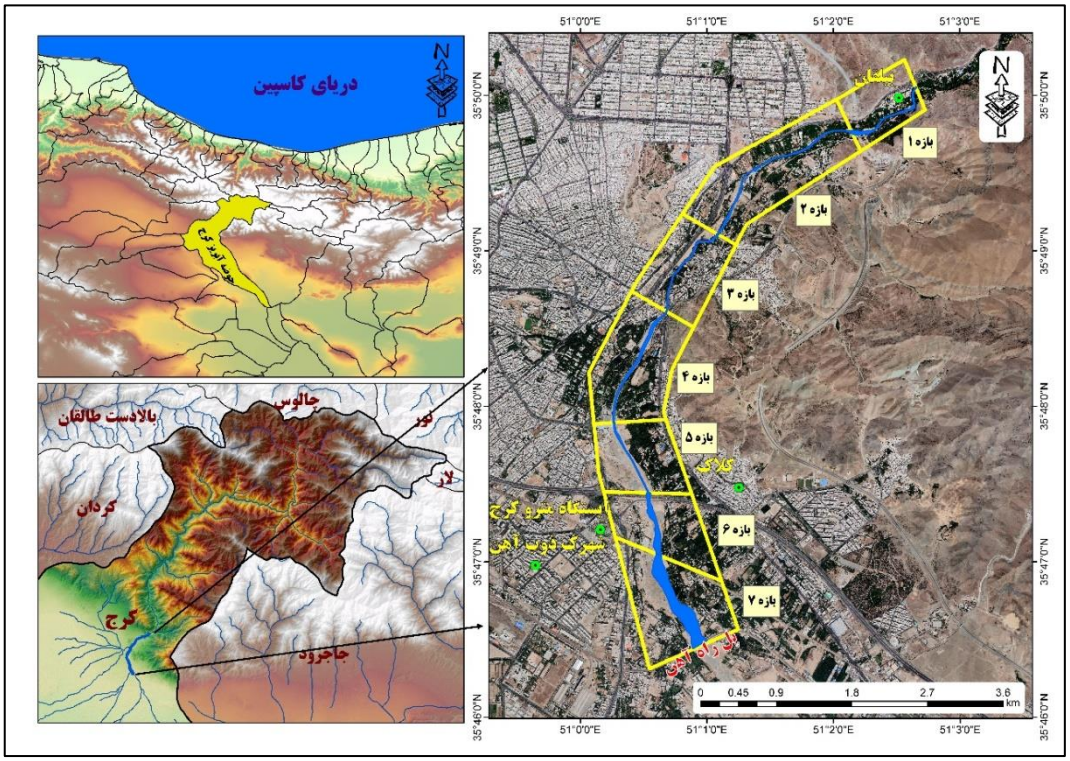
رودخانه کرج اهمیت و تأثیرات مهمی در تأمین حق آبه کشاورزی، تغذیه سفره‌های زیرزمینی، تأمین آب شرب منطقه و فضای سبز و طبیعی محور کرج - چالوس دارد، در سال‌های اخیر، به دلیل گسترش شهرنشینی، تجاوز به حریم رودخانه، ساماندهی رودخانه با روش‌های سنتی مهندسی از جمله آبراهه سازی و مستقیم کردن رودخانه، هدایت فاضلاب‌های غیربهداشتی، تخریب پوشش گیاهی، برداشت شن و ماسه از رودخانه و افزایش سطوح نفوذناپذیر و آسفالته شهری، افزایش رواناب شهری و...آسیب‌های جدی را بر اکوسیستم رودخانه کرج وارد کرده است. کاهش مقطع جریان، کاهش زمان تمرکز حوضه، افزایش حجم رواناب و سیلاب، ازبین‌رفتن محیط اکولوژیکی موجود در آب رودخانه، فرسایش خاک در حوضه، انواع حرکات توده‌ای در امتداد کانال‌های رودخانه‌ای، از جمله مواردی هستند که ناشی از استفاده غیراصولی انسان‌ها از محیط طبیعی و سامانه رودخانه (حوضه و کانال رود) می‌باشد. همه این عوامل، بر شرایط هیدرومورفولوژی رودخانه و عملکرد طبیعی آن تأثیر می‌گذارد و بنابراین نیاز به ارزیابی شرایط هیدرومورفولوژیکی رودخانه کرج احساس می‌شود. ضرورت دارد که مطالعات مربوط به رودخانه، ساماندهی و احیای رودخانه با ارزیابی شرایط هیدرومورفولوژی در بازه‌های مختلف و شناسایی بازه‌های آسیب‌پذیر صورت گیرد. باتوجه‌به توضیحات فوق، هدف تحقیق حاضر، ارزیابی و تحلیل تأثیر دخالت‌های انسانی بر شرایط هیدروژئومورفولوژی رودخانه اعم از شرایط مورفولوژیکی، هیدرولوژیکی، اکولوژی و پوشش گیاهی حاشیه رود و شناسایی بازه‌های آسیب‌پذیر و ارائه راهکارهایی جهت ساماندهی و احیای رودخانه است.

در این پژوهش ارزیابی شرایط هیدروژئومورفولوژیکی رودخانه کرج در بازه‌های شهری از پل بیلقان تا پل راه‌آهن با استفاده از شاخص هیدروژئومورفولوژیکی (IHG) بررسی می‌شود. در نهایت، نتایج این تحقیقات می‌تواند برای مدیریت رودخانه در زمینه احیا و ساماندهی، طرح‌ها و پروژه‌های مهندسی مفید واقع شده و مشارکت هرچه بیشتر ژئومورفولوژیست‌ها را در زمینه مدیریت و برنامه‌ریزی محیطی به دنبال داشته باشد.

مواد و روش‌ها

- معرفی منطقه مورد بررسی

حوضه آبریز کرج در دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی بین مختصات ۵۱ تا ۳۵ / ۵۱° طول شرقی ۵۰ / ۳۵° تا ۱۱ / ۳۶° عرض شمالی قرار دارد. این منطقه از شمال به خط تقسیم آب رودخانه‌های حوضه آبریز دریای مازندران، از مغرب به حوضه برغان و طالقان، از جنوب به دشت کرج و شهریار، از شرق به حوضه‌های شمال تهران و از جنوب شرقی به دشت تهران و رباط‌کریم محدود می‌گردد (حجه فروش نیا، ۱۳۹۴: ۶۳). این رودخانه از کوه‌های جنوبی از کوهی به نام کلون بستک در خط الراس سرکچال در شمال روستای دربندسر قرار گرفته است. حوضه آبریز دامنه شمالی دره، رودخانه ولایت‌رود بوده که در جهت شرق به غرب، از شمال این قله گذشته و پس از ادغام با وارنگه‌رود، رودخانه کرج را تشکیل می‌دهد. در بلندی‌های خرسنگ سرچشمه می‌گیرد و پس از طی مسیری رودخانه ولایت‌رود نیز به کرج پیوسته و پس از گذر کردن از حاشیه شرقی شهر کرج و سیراب نمودن دشت‌های کرج و شهریار به جاجرود می‌پیوندد. آب رودخانه کرج پس از پیمودن ۲۰ کیلومتر رو به غرب به وارنگه‌رود می‌رسد و به آب دیزین می‌پیوندد و به سمت جنوب جریان پیدا می‌کند (شرکت مهندسین مشاور سازه پردازی ایران،۱۳۹۵). در پژوهش حاضر محدوده موردمطالعه، بازه شهری رودخانه کرج، از محدوده پل بیلقان با مختصات جغرافیایی ۵۰۳۹۹۷,۸۱ طول شرقی و ۳۹۶۵۵۶۴,۴۴ عرض شمالی تا پل راه‌آهن با مختصات جغرافیایی ۵۰۱۴۱۷,۸۴ طول شرقی و ۳۹۵۸۹۵۲,۹۹ عرض شمالی به طول تقریبی ۹ کیلومتر مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز کرج و مسیر مطالعاتی رودخانه کرج را نشان می‌دهد.



شکل ۱. نقشه موقعیت جغرافیایی محدوده موردمطالعه از حوضه و رودخانه کرج

- داده‌ها و روش تحقیق

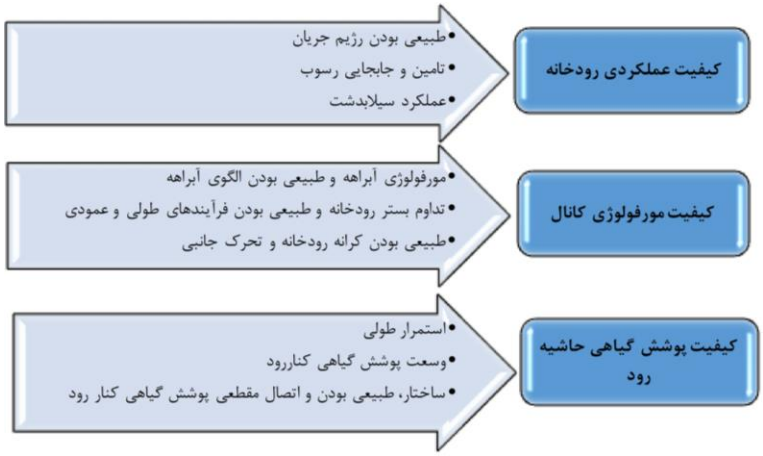
این پژوهش در مرحله اول باتوجه‌به شناسایی بازه‌های آسیب‌پذیر بر اساس ویژگی‌های هیدرولوژیکی، مورفولوژیکی و اکولوژیکی، از نوع تحقیقات اکتشافی می‌باشد. از طرف دیگر به دلیل بررسی تأثیر دخالت‌های انسانی بر ویژگی هیدروژئومورفولوژی رودخانه در محدوده‌های شهری و کاربرد نتایج حاصله در حوزه‌های مدیریت شهری و ارائه راهکار مدیریتی جهت احیا و ساماندهی رودخانه، جنبه کاربردی دارد. داده‌ها و اطلاعات موردنیاز از طریق بررسی و استفاده از اسناد و مدارک معتبر علمی از جمله مقالات، پایان‌نامه‌ها و کتاب و گزارش‌های مرتبط با موضوع پژوهش، همچنین اطلاعات هیدرومتری، پوشش گیاهی، ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی حوضه آبریز رودخانه کرج از طریق سازمان‌های متولی و جمع‌آوری‌کننده داده‌ها شامل سازمان هواشناسی کشور، سازمان آب منطقه‌ای استان البرز، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، سازمان نقشه‌برداری کشور، سازمان آب منطقه‌ای استان البرز و مرکز منطقه‌ای مدیریت آب شهری تهیه شده است.

داده‌های مورداستفاده در این پژوهش شامل نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، مدل ارتفاعی رقومی (DEM) ۱۲/۵ متر راداری سنجنده PALSAR، تصاویر ماهواره لندست سنجنده TM ,OLI و تصاویر Google Earth و داده‌های ایستگاه هیدرومتری شامل دبی و رسوب ایستگاه بیلقان و سیرا می‌باشد. به‌منظور تکمیل فرایند تجزیه‌وتحلیل تحقیق، بازدید میدانی از منطقه موردمطالعه صورت‌گرفته است. برای بازدید از منطقه موردمطالعه، از ابزارهایی از جمله دوربین عکس‌برداری، متر، شاخص به‌منظور برداشت فاکتورهایی مثل عرض و عمق رودخانه، دستگاه GPS برای برداشت مختصات نقاط استفاده می‌شود. جهت دستیابی به اهداف تحقیق، ارزیابی و تحلیل هیدرومورفولوژیک رودخانه کرج با استفاده از شاخص هیدروژئومورفولوژیکی (IHG) انجام شده است. شناسایی منطقه موردمطالعه و روش ارزیابی هیدروژئومورفولوژیکی در بخش‌های زیر شرح داده شده است.

- شاخص هیدروژئومورفولوژیکی (IHG)

شاخص IHG در مطالعات رودخانه شامل ۹ پارامتر است (شکل ۲) که مطابق جدول ۱ در سه گروه قرار می‌گیرند: ۱-کیفیت

عملکرد سامانه رودخانه‌ای، ۲-کیفیت مورفولوژی آبراهه و ۳-کیفیت پوشش گیاهی کنار رود. ۹ پارامتر شامل نمره دهی هر پارامتر، متناسب با وضعیت طبیعی و عملکرد سامانه رودخانه، در دامنه ۱ تا ۱۰ قرار دارد. مقدار حداکثر ۱۰ نشانگر عملکرد کاملاً طبیعی رودخانه یا وجود اثرات ناچیزی است که بر طبیعی بودن سامانه رودخانه تأثیر نگذارد.گرچه، پس از ارزیابی تأثیرات و مداخلات انسانی، بر اساس معیارهای مختلف امتیاز از این مقدار اولیه کسر می‌شود. بر اساس جدول ۱، ارزیابی کامل هیدروژئومورفولوژیکی با شاخص IHG از مجموع نمرات ۹ پارامتر انجام می‌شود. بالاترین امتیاز ممکن ۹۰ امتیاز است. کیفیت هیدروژئومورفولوژیکی در امتیاز بین ۷۵ و ۹۰ بسیار مناسب؛ از ۶۰ تا ۷۴ خوب؛ از ۴۲ تا ۵۹ متوسط؛ از ۲۱ تا ۴۱ ضعیف؛ و از ۰ تا ۲۰ امتیاز بسیار بد در نظر گرفته می‌شود. بااین‌حال، این شاخص همچنین می‌تواند برای ارزیابی کیفیت سامانه بر اساس یک گروه واحد از پارامترها استفاده شود: عملکرد، کیفیت بستر رود، کیفیت پوشش گیاهی کنار رود. در چنین مواردی، فقط مقادیر ۳ پارامتر موجود در هر یک از این گروه‌ها با حداکثر ۳۰ امتیاز اضافه می‌شود. شرح جزئی پارامترها و روش امتیازدهی برای هر یک از سه گروه جدول ۱ توسط Ollero et al. (2011) ارائه شده است. برای استفاده از شاخص IHG، مسیر رودخانه مورد ارزیابی باید به‌صورت طولی در بازه‌ها تقسیم شود. نتایج بازه بندی رودخانه در بخش بعدی آمده است.



شکل ۲. پارامترهای شاخص ارزیابی هیدروژئومورفولوژیکی (IHG)

جدول ۱. نمرات کل و جزئی برای هر بخش از شاخص‌های IHG و کلاس‌های کیفیت هیدروژئومورفولوژیکی (Ollero et al, 2011)

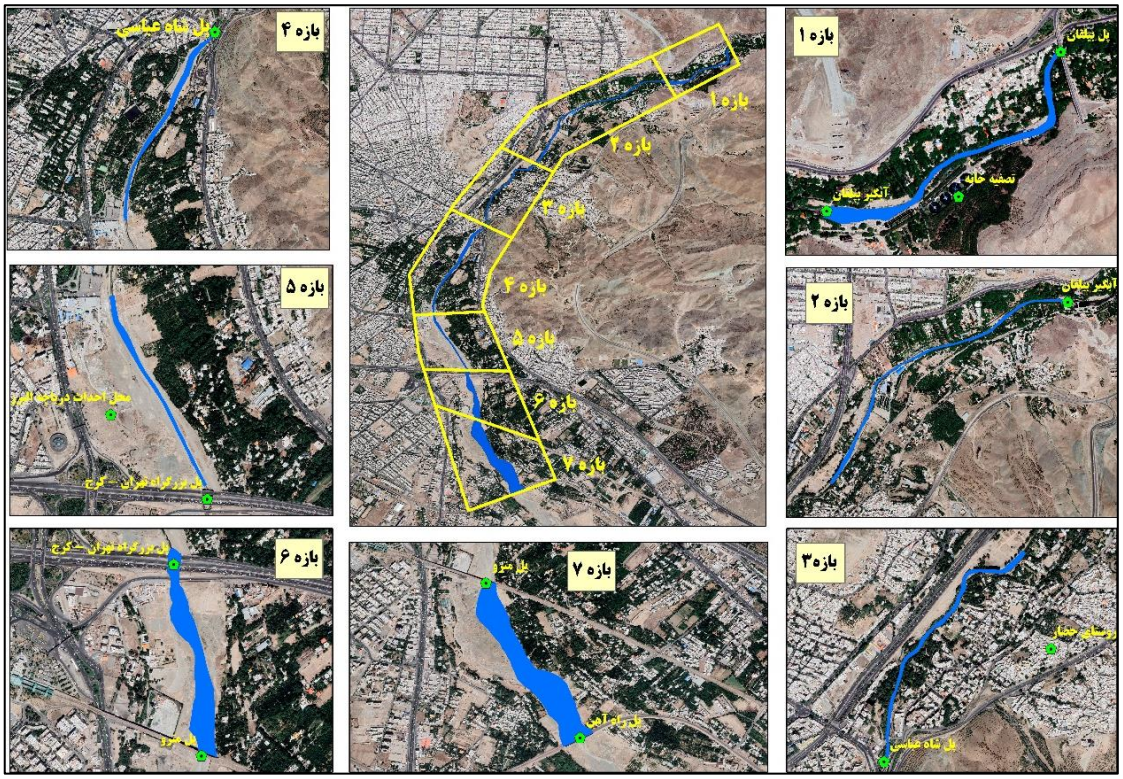
کیفیت عملکردی		کیفیت مورفولوژیکی		کیفیت پوشش گیاهی حاشیه رود		مجموع شاخص هیدروژئومورفولوژی (IHG)	
۲۵-۳۰	خیلی خوب	۲۵-۳۰	خیلی خوب	۲۵-۳۰	خیلی خوب	۷۵-۹۰	خیلی خوب
۲۰-۲۴	خوب	۲۰-۲۴	خوب	۲۰-۲۴	خوب	۶۰-۷۴	خوب
۱۴-۱۹	متوسط	۱۴-۱۹	متوسط	۱۴-۱۹	متوسط	۴۲-۵۹	متوسط
۷-۱۳	ضعیف	۷-۱۳	ضعیف	۷-۱۳	ضعیف	۲۱-۴۱	ضعیف
۰-۶	خیلی بد	۰-۶	خیلی بد	۰-۶	خیلی بد	۰-۲۰	خیلی بد

نتایج

- بازه‌بندی رودخانه کرج

شاخص IHG به‌عنوان ابزاری برای ارزیابی کیفیت هیدروژئومورفولوژیک سامانه‌های رودخانه‌ای ارائه شده است. این شاخص بر اساس فشارهای انسانی و تأثیرات بر عناصر هیدروژئومورفولوژیکی، فرایندها و عملکردهای سامانه رودخانه است. در تحقیق حاضر، مجرای مطالعاتی رودخانه کرج از بیلقان تا پل راه‌آهن به طول تقریبی ۹ کیلومتر، بر اساس ویژگی‌های مورفولوژی، اثرات انسانی، عرض سیلاب‌دشت، هیدرولوژی و ... به هفت بازه تقسیم شده است (شکل ۳). سپس، شاخص هیدروژئومورفولوژی (IHG) برای هفت بازه موردنظر بر اساس مشاهدات میدانی، تصاویر ماهواره‌ای Google Earth و مستندات موجود، ارزیابی شده است. در ابتدا، وضعیت و ویژگی بازه‌ها شرح داده شده است سپس کیفیت عملکردی، کیفیت

مورفولوژی و کیفیت پوشش گیاهی حاشیه رود بررسی و امتیازدهی شده است و در نهایت، مجموع امتیازات بخش‌های قبل، به‌عنوان کیفیت هیدروژئومورفولوژی در نظر گرفته شده است.



شکل ۳. موقعیت بازه‌های محدوده شهری رودخانه کرج، از پل بیلقان تا پل راه‌آهن

- ارزیابی کیفیت هیدروژئومورفولوژی بازه‌ها

بازه شماره ۱: این بخش از رودخانه بین پل بیلقان تا آبگیر بیلقان را در برمی‌گیرد. کرانه راست آبراهه توسط عوارض انسان‌ساخت و بافت سکونتگاهی محدوده شده است که روستای بیلقان در این بخش از بازه قرار گرفته است. در این بازه عوارض و دخالت‌های انسانی به‌صورت مستقیم در بازه، کاملاً مشهود است، به‌طوری‌که در بخشی از کناره مجرای رودخانه، احداث دیواره و عدم پیوستگی به سواحل و کناره رودخانه مشاهده می‌شود. از عوارض و فعالیت‌های انسان‌ساخت دیگر، دو آبگیر (آبگیر بالادست و پایین‌دست بیلقان) در طول بازه احداث شده است که در موقعیت ابتدایی و انتهایی بازه قابل رویت است. در سمت چپ بازه، تأسیسات تصفیه‌خانه و پل و آبگیر بیلقان در طول مجرای رودخانه و جاده کرج –چالوس وجود دارد که به‌عنوان اثرات آنتروپوژنیک قابل‌مشاهده است (شکل ۴، ۵).

این بازه از رودخانه به لحاظ کیفیت عملکردی، به دلیل انجام فعالیت‌های انسانی از جمله احداث سد امیرکبیر در بالادست جریان، احداث آبگیر بالادست و پایین‌دست بیلقان، تغییر کاربری و گسترش سکونتگاه در محدوده عملکردی، رژیم فصلی جریان را تغییر داده است. همچنین وجود سد امیرکبیر در بالادست حوضه و احداث دو آبگیر در محدوده بازه موردنظر (آبگیر بالادست و پایین‌دست بیلقان) که بیش از ۷۵ درصد از مساحت بالادست حوضه را رسوب‌گیری می‌کند موجب محدودیت عملکرد حفر و حمل رسوب و ته‌نشینی رسوب در پشت آبگیرها شده است. از طرفی به دلیل عوارض و تأسیسات شهری و انسان‌ساخت، قطع ارتباط آبراهه با دره و سیلاب‌دشت در بازه مشهود است. وجود دیواره‌های حفاظتی در کرانه چپ بازه، به‌عنوان موانع انسان‌ساخت هستند که فرایندهای طولی، عمودی و رفتار هیدرولوژیکی رودخانه را تحت‌تأثیر قرار داده است و موجب انقطاع تداوم طولی رودخانه شده است. ساخت‌وسازی شهری، تأسیسات و تجهیزات شهری که در امتداد مجاری بازه وجود دارد که مقطع عرضی سیلاب‌دشت را تغییر داده و عملکرد هیدروژئومورفولوژی و طبیعی سیلاب‌دشت را مختل کرده است.

شکل ۴. تصویر آبگیر بالادست بیلقان در بازه شماره ۱، منبع: تصاویر Google Earth

شکل ۵. تصویر آبگیر پایین‌دست بیلقان و تجهیزات آن در بازه شماره ۱، منبع: تصاویر Google Earth

به لحاظ کیفیت مورفولوژیکی، در امتداد حدود ۸۰۰ متر (بین ۲۵ تا ۵۰ درصد طول بازه) مسیر آبراهه با هجوم هر دو ساحل تغییریافته و عرض طبیعی آن کاهش‌یافته است. گسترش فضای کالبدی شهری و تجاوز به حریم رودخانه، ویژگی طبیعی بودن آبراهه و تحرک جانبی را تغییریافته است که تعادل فرایند فرسایش و رسوب آبراهه را نیز مختل کرده است. از نظر کیفیت پوشش گیاهی، در هر دو کرانه رودخانه پوشش گیاهی از نوع درخت مشهود است که در بیشتر امتداد آبراهه به‌صورت پیوسته و دایمی وجود دارند در برخی از نقاط به دلیل فعالیت‌های انسانی و تخریب پوشش گیاهی، ناپیوستگی پوشش گیاهی بین ۲۵ تا ۳۵ درصد در بازه قابل‌مشاهده است. بر اساس توضیحات فوق امتیازدهی شاخص IHG انجام شد و نتایج این شاخص حاکی از آن است که در بازه شماره یک کیفیت عملکردی با امتیاز کلی ۵ از وضعیت خیلی بد، کیفیت مورفولوژی با امتیاز کلی ۷ از وضعیت ضعیف و پوشش گیاهی با امتیاز ۱۶ از وضعیت متوسط برخوردار است (جدول ۲).

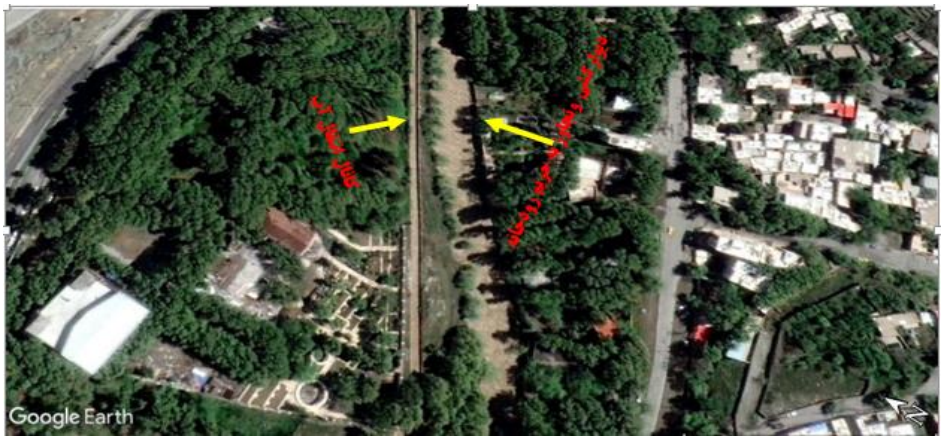
جدول ۲. ارزیابی کیفیت هیدروژئومورفولوژی بازه شماره ۱

	پارامترها	امتیاز	امتیاز کلی	کیفیت بازه
ارزیابی کیفیت عملکردی رودخانه	طبیعی بودن رژیم جریان	۲	۵	خیلی بد
	تأمین و جابه‌جایی رسوب	۱		
	عملکرد سیلاب‌دشت	۲		
ارزیابی کیفیت مورفولوژی رودخانه	مورفولوژی آبراهه و طبیعی بودن الگوی آبراهه	۳	۷	ضعیف
	تداوم بستر رودخانه و طبیعی بودن فرایندهای طولی و عمودی	۳		
	طبیعی بودن کرانه رودخانه و تحرک جانبی	۱		
ارزیابی کیفیت پوشش گیاهی کنار رود رودخانه	استمرار طولی	۷	۱۶	متوسط
	وسعت پوشش گیاهی کناررود	۴		
	ساختار، طبیعی بودن و پیوستگی مقطعی پوشش گیاهی کنار رود	۵		

بازه شماره (۲): بازه موردنظر از آبگیر بیلقان شروع شده و تا ابتدای روستای حصار را دربر می‌گیرد. در این محدوده، مجرای

رودخانه دارای مورفولوژی سینوسی است. به‌تدریج با ورود به محدوده شهری کرج، مناظر و بافت اطراف رودخانه دستخوش تغییراتی نسبت به بالادست آن شده است. در سمت چپ مجرای رودخانه عوارض طبیعی و محدوده کوهستانی بیشتر نمود یافته است. به لحاظ کیفیت عملکردی، احداث سدها، آبگیرها، پل‌ها و کانال‌های انحرافی جهت انتقال آب به بخش‌های پایین‌دست و دشت‌های اطراف، تأسیسات شهری و گسترش شهرنشینی پیرامون بازه به‌عنوان فشارها و دخالت‌های انسانی موجب تغییر در روند روزانه و فصلی بده جریان رودخانه شده است.

احداث سد امیرکبیر و آبگیرهای بیلقان و سایر نگهدارنده‌های رسوب انسان‌ساخت که قابلیت حفظ و نگهداری رسوب را به‌ویژه در بالادست بازه دارند، فرایند حمل و حفر رسوب را در طی حوضه و بازه موردنظر مختل کرده است و محدودیت عملکردی را برای حوضه و بازه به همراه داشته است. از طرفی گسترش شهرنشینی و قطع پیوستگی با سیلاب‌دشت و دره در تأمین و تحرک رسوب اثرات منفی را در پی دارد. در امتداد بازه به دلیل گسترش سکونتگاه‌ها و احداث عوارض انسان‌ساخت از جمله احداث دیواره‌ها در کرانه‌های رودخانه به‌منظور حفاظتی و جلوگیری از سرریز سیلاب در مناطق پیرامون، به‌عنوان مانع ثابت و غالب در امتداد بازه موجب قطع پیوستگی رودخانه با سیلاب‌دشت و اراضی پیرامون آن شده است (شکل ۶). مقطع عرضی سیلاب‌دشت به دلیل وجود ساختمان‌ها و پل‌ها و راه‌های ارتباطی، دچار تغییراتی شده است که فرایندهای هیدروژئومورفولوژی را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. هم چنین گسترش سطوح نفوذناپذیر و عوارض شهری که قابلیت نفوذپذیری را کاهش می‌دهد، عملکرد طبیعی سیلاب‌دشت را مختل کرده است.



شکل ۶. تصویر احداث دیواره و کانال در کرانه رودخانه و تجاوز به حریم رودخانه در بازه شماره ۲، منبع: تصاویر Google Earth

به لحاظ تغییرات مورفولوژی و کیفیت آن، گسترش فضای کالبدی و آبراهه سازی محصور کردن آبراهه در کانال در دو طرف کرانه، سکونتگاه‌ها، راه‌های ارتباطی به‌صورت ناپیوسته، طبیعی بودن کرانه را تغییر داده است. به لحاظ کیفیت و وسعت پوشش گیاهی، در امتداد بازه در بیشتر نقاط کرانه رودخانه و پهنه‌های سیلاب‌دشت هیچ‌گونه پوشش گیاهی وجود ندارد و به‌صورت بایر در تصاویر ماهواره‌ای مشهود است. طبق امتیازدهی شاخص IHG، بازه موردنظر از وضعیت ضعیف با امتیاز کلی ۷ به لحاظ کیفیت عملکردی و پوشش گیاهی برخوردار است و از نظر کیفیت مورفولوژیکی در وضعیت متوسط قرار دارد (جدول ۳).

جدول ۳. ارزیابی کیفیت هیدروژئومورفولوژی بازه شماره ۲

	پارامترها	امتیاز	امتیاز کلی	کیفیت بازه
ارزیابی کیفیت عملکردی رودخانه	طبیعی بودن رژیم جریان	۲	۷	ضعیف
	تأمین و جابه‌جایی رسوب	۴		
	عملکرد سیلاب‌دشت	۱		
ارزیابی کیفیت مورفولوژی رودخانه	مورفولوژی آبراهه و طبیعی بودن الگوی آبراهه	۴	۱۴	متوسط
	تداوم بستر رودخانه و طبیعی بودن فرایندهای طولی و عمودی	۷		
	طبیعی بودن کرانه رودخانه و تحرک جانبی	۳		
ارزیابی کیفیت پوشش گیاهی کنار رود رودخانه	استمرار طولی	۲	۷	ضعیف
	وسعت پوشش گیاهی کناررود	۲		
	ساختار، طبیعی بودن و پیوستگی مقطعی پوشش گیاهی کنار رود	۳		

بازه شماره (۳): این بازه از ابتدای روستای حصار تا پل شاه‌عباسی را در بر می‌گیرد. سمت راست رودخانه توسط سکونتگاه‌های روستای حصار و عوارض شهری، اختصاص‌یافته است و سمت چپ بازه، در برخی قسمت‌ها، اراضی بایر و جاده‌ها و ساختمان‌ها قابل‌مشاهده است. این بازه به لحاظ کیفیت عملکردی، در بالادست محدوده موردمطالعه، دخالت‌های مستقیم انسانی از جمله سد امیرکبیر و آبگیرهای بیلقان وجود دارد که عملکرد طبیعی جریان را تغییر داده است. به لحاظ کیفیت مورفولوژی، ایجاد دیواره یا کانال در امتداد بازه، منجر به کاهش عملکرد طبیعی سیلاب‌دشت شده است و ارتباط آبراهه با پهنه‌های سیلاب‌دشتی را قطع کرده است. این موانع (دیواره یا کانال) مقطع عرضی رودخانه را تغییر داده است (شکل ۷).

ایجاد موانع و کانال در امتداد بازه و وجود پل، تداوم طولی و عمودی آبراهه را تحت‌تأثیر قرار داده است و موجب انقطاع در تداوم آبراهه شده است. در برخی از بخش کرانه آبراهه، در اثر گسترش فضای کالبدی و انسان‌ساخت و تجاوز به بستر و حریم رودخانه به طور ناپیوسته، کرانه آبراهه به‌صورت مصنوعی تغییریافته است. این عناصر مصنوعی، مورفولوژی طبیعی آبراهه را تحت‌تأثیر قرار داده و از طرفی تعادل بین فرایند فرسایش و رسوبگذاری آبراهه را مختل کرده است. از نظر کیفیت پوشش گیاهی کنار رود، ایجاد عوارض شهری و دیواره در امتداد بازه مانع از رشد و گسترش پوشش گیاهی کناررود قطع مقطعی آن شده است. بر اساس جدول ۴، کیفیت عملکردی و پوشش گیاهی بازه شماره ۳، از وضعیت ضعیف و کیفیت مورفولوژی کانال از وضعیت متوسط برخوردار است.

شکل ۷. تصویر احداث دیواره و کانال در کرانه رودخانه و گسترش ساخت‌وساز در حاشیه رودخانه در بازه شماره ۳، منبع: تصاویر Google Earth

جدول ۴. ارزیابی کیفیت هیدروژئومورفولوژی بازه شماره ۳

	پارامترها	امتیاز	امتیاز کلی	کیفیت بازه
ارزیابی کیفیت عملکردی رودخانه	طبیعی بودن رژیم جریان	۲	۹	ضعیف
	تأمین و جابه‌جایی رسوب	۵		
	عملکرد سیلاب‌دشت	۲		
ارزیابی کیفیت مورفولوژی رودخانه	مورفولوژی آبراهه و طبیعی بودن الگوی آبراهه	۴	۱۴	متوسط
	تداوم بستر رودخانه و طبیعی بودن فرایندهای طولی و عمودی	۶		
	طبیعی بودن کرانه رودخانه و تحرک جانبی	۴		
ارزیابی کیفیت پوشش گیاهی کناررود رودخانه	استمرار طولی	۳	۱۲	ضعیف
	وسعت پوشش گیاهی کناررود	۲		
	ساختار، طبیعی بودن و پیوستگی مقطعی پوشش گیاهی کنار رود	۷		

بازه شماره (۴): بازه شماره ۴ از پل شاه‌عباسی تا پایین‌دست پارک چمران که ابتدای محدوده عملیات و پروژه دریاچه البرز است، را در بر می‌گیرد. کناره‌های این بازه توسط دیواره‌های انسان‌ساخت تثبیت شده است به‌طوری‌که مورفولوژی طبیعی آبراهه دستخوش تغییرات شده است. ایجاد دیواره در امتداد بازه، به‌عنوان موانع ثابت که مستقیماً به آبراهه غالب است منجر

به کاهش و محدودیت عملکرد طبیعی سیلاب‌دشت می‌شود (شکل ۸). در سیلاب‌دشت کاربری‌های انسان‌ساخت گسترش‌یافته است که عملکرد طبیعی آن را کاهش می‌دهد و به دلیل آبراهه‌سازی از آبراهه دور نگه داشته شده است. رودخانه کاملاً آبراهه‌سازی شده است یا در کنار کرانه‌ها، استحکامات (ساختمان‌ها، راه‌های ارتباطی، دیواره‌های حفاظتی) به طور ناپیوسته وجود دارد و حرکت جانبی کرانه را مختل کرده است.

در ابتدای بازه پوشش گیاهی کناررود به دلیل حذف و نبود پوشش گیاهی، احداث دیواره، وسعت کمتری پوشش داده است. در بخشی از بازه، با وجود پارک عقیق در کرانه چپ و پارک چمران در کرانه راست، پوشش گیاهی مشهود است؛ اما به دلیل دیوارکشی‌ها در دو طرف کرانه، ارتباط پوشش گیاهی با آبراهه قطع شده است. بر اساس ارزیابی کیفیت هیدرومورفولوژی بازه ۴، این بازه به لحاظ کیفیت عملکردی، مورفولوژی و پوشش گیاهی به ترتیب با امتیاز کلی ۱۰، ۱۲، ۱۱ در وضعیت ضعیف قرار دارد (جدول ۵).

شکل ۸. تصویر احداث دیواره در کرانه راست و چپ رودخانه و قطع پیوستگی سیلاب‌دشت با آبراهه در بازه شماره ۴، منبع: تصاویر Google Earth

جدول ۵. ارزیابی کیفیت هیدروژئومورفولوژی بازه شماره ۴

	پارامترها	امتیاز	امتیاز کلی	کیفیت بازه
ارزیابی کیفیت عملکردی رودخانه	طبیعی بودن رژیم جریان	۲	۱۰	ضعیف
	تأمین و جابه‌جایی رسوب	۵		
	عملکرد سیلاب‌دشت	۳		
ارزیابی کیفیت مورفولوژی رودخانه	مورفولوژی آبراهه و طبیعی بودن الگوی آبراهه	۳	۱۲	ضعیف
	تداوم بستر رودخانه و طبیعی بودن فرایندهای طولی و عمودی	۸		
	طبیعی بودن کرانه رودخانه و تحرک جانبی	۱		
ارزیابی کیفیت پوشش گیاهی کناررود رودخانه	استمرار طولی	۷	۱۱	ضعیف
	وسعت پوشش گیاهی کناررود	۲		
	ساختار، طبیعی بودن و پیوستگی مقطعی پوشش گیاهی کنار رود	۲		

بازه شماره (۵): این بازه از ابتدا تا انتهای محدوده پروژه احداث دریاچه البرز را در برمی‌گیرد. کناره راست رودخانه به دلیل اجرای عملیات احداث دریاچه دستخوش تغییراتی در بستر و کرانه شده است که به طور واضح در تصاویر ماهواره‌ای قابل‌مشاهده است. این بازه نیز به طور کامل توسط دیواره‌های حفاظتی محصور شده است به‌طوری‌که مورفولوژی رودخانه از حالت شریانی به وضعیت مستقیم تغییر کرده است (شکل ۹). بررسی روند تغییرات مورفولوژی بر اساس تصاویر ماهواره‌ای، تغییرات تدریجی در مورفولوژی و الگوی رودخانه را نشان می‌دهد که ناشی از گسترش فعالیت‌های انسانی و ایجاد زیرساخت‌ها و عملیات عمرانی در بازه است. این تغییرات، عملکرد طبیعی سیلاب‌دشت همچون اتلاف انرژی سیلاب و پراکندگی سیلاب را نیز مختل کرده است. دخالت‌های انسانی در این بازه، عملکرد طبیعی جریان و رسوب را مختل کرده و از سویی هیچ گونه ارتباط با سیلابدشت و اراضی پیرامون وجود ندارد. این امر فرایند حمل و جابه‌جایی رسوب و فرسایش را نیز

مختل کرده است. به لحاظ پوشش گیاهی کرانه، به دلیل دخالت‌های انسانی، در کرانه بازه پوشش گیاهی وجود ندارد. پوشش گیاهی به‌صورت اراضی باغی در محدوده روستای کلاک قابل‌مشاهده است که به‌خاطر وجود دیواره هیچ‌گونه ارتباط با آبراهه ندارد. نتایج شاخص IHG برای بازه شماره ۵، حاکی از وضعیت خیلی بد به لحاظ کیفیت عملکردی، مورفولوژی و پوشش گیاهی است (جدول ۶).

شکل ۹. آبراهه سازی نامناسب و غیرقانونی در محدوده شهری رودخانه کرج و ازبین‌رفتن الگوی طبیعی آبراهه در بازه ۵، منبع: تصاویر Google Earth

جدول ۶. ارزیابی کیفیت هیدروژئومورفولوژی بازه شماره ۵

	پارامترها	امتیاز	امتیاز کلی	کیفیت بازه
ارزیابی کیفیت عملکردی رودخانه	طبیعی بودن رژیم جریان	۲	۶	خیلی بد
	تأمین و جابه‌جایی رسوب	۳		
	عملکرد سیلاب‌دشت	۱		
ارزیابی کیفیت مورفولوژی رودخانه	مورفولوژی آبراهه و طبیعی بودن الگوی آبراهه	۰	۴	خیلی بد
	تداوم بستر رودخانه و طبیعی بودن فرایندهای طولی و عمودی	۴		
	طبیعی بودن کرانه رودخانه و تحرک جانبی	۰		
ارزیابی کیفیت پوشش گیاهی کناررود رودخانه	استمرار طولی	۰	۰	خیلی بد
	وسعت پوشش گیاهی کناررود	۰		
	ساختار، طبیعی بودن و پیوستگی مقطعی پوشش گیاهی کنار رود	۰		

بازه شماره (۶): این بازه از پل بزرگراه تهران - کرج تا پل مترو تعیین شده است. رودخانه در این قسمت، دارای عرض نسبتاً زیاد است و مورفولوژی رودخانه به‌صورت شریانی (آناستومات) است. در این محدوده مورفولوژی رودخانه در اثر برداشت بی‌رویه شن و ماسه، دستخوش تغییرات زیادی شده است. به‌طوری‌که برداشت شن و ماسه و پیشروی آن به سمت دیواره‌های رودخانه می‌تواند فرسایش کناره رودخانه را تشدید کند. تغییرات مورفولوژی مصنوعی و تغییرات مستقیم انسانی در مورفولوژی آبراهه در الگو (پلان فرم) تغییراتی ایجاد کرده است. تغییرات گذشته و تدریجی را می‌توان در بازه در مورفولوژی و شکل آبراهه به دلیل فعالیت‌های انسانی به‌خصوص برداشت شن و ماسه و تأثیر زیرساخت‌ها مشاهده می‌شود (شکل ۱۰).

در بازه عملکردی، به دلیل وجود موانع و پل بالاتر از ۱۰ متر، تغییرات مقطعی وجود دارد که تداوم آن را قطع می‌کند. علاوه بر این، کاربری‌های غیر قابل بازیابی یا پایدار زمین (شهرسازی، کارخانه‌ها، گودال‌های شن، زیرساخت‌های خطی پایدار، پل‌ها،

موانع حفاظتی، گودال‌ها ...) وجود دارد که تداوم طولی پوشش گیاهی کناررود را قطع کرده است. دخالت‌های انسانی در منطقه کناررود (حذف گیاهان، کندن درخت، ساختمان‌ها ...) که باعث تغییراتی در ساختار آن می‌شود. بر اساس ارزیابی شاخص IHG، بازه شماره ۶، از نظر کیفیت عملکردی و پوشش گیاهی به ترتیب با امتیاز ۱۲ و ۱۰ در وضعیت ضعیف و از نظر مورفولوژی رودخانه در وضعیت متوسط با امتیاز کلی ۱۶ قرار دارد (جدول ۷).

شکل ۱۰. محل برداشت شن و ماسه از بستر رودخانه در بازه شماره ۶، منبع: تصاویر Google Earth

جدول ۷. ارزیابی کیفیت هیدروژئومورفولوژی بازه شماره ۶

	پارامترها	امتیاز	امتیاز کلی	کیفیت بازه
ارزیابی کیفیت عملکردی رودخانه	طبیعی بودن رژیم جریان	۲	۱۲	ضعیف
	تأمین و جابه‌جایی رسوب	۳		
	عملکرد سیلاب‌دشت	۷		
ارزیابی کیفیت مورفولوژی رودخانه	مورفولوژی آبراهه و طبیعی بودن الگوی آبراهه	۴	۱۶	متوسط
	تداوم بستر رودخانه و طبیعی بودن فرایندهای طولی و عمودی	۴		
	طبیعی بودن کرانه رودخانه و تحرک جانبی	۸		
ارزیابی کیفیت پوشش گیاهی کناررود رودخانه	استمرار طولی	۲	۱۰	ضعیف
	وسعت پوشش گیاهی کناررود	۲		
	ساختار، طبیعی بودن و پیوستگی مقطعی پوشش گیاهی کنار رود	۶		

بازه شماره (۷): این بازه از پل مترو تا پل راه‌آهن مشخص شده است. در این بازه نیز اثرات آنتروپوژنیک به‌صورت برداشت شن و ماسه موجب تغییرات گسترده‌ای در مجرای رودخانه شده است (شکل ۱۱). سیلاب‌دشت راست رودخانه توسط فضای کارگاهی و سکونتگاهی و در برخی موارد توسط پوشش گیاهی تنک اشغال شده است و در سیلاب‌دشت چپ رودخانه، محدوده باغات و فضای سکونتگاهی مشهود است. تغییرات مستقیم انسانی بخصوص برداشت شن و ماسه، مورفولوژی طبیعی آبراهه را تغییر داده است. طبق بررسی عکس‌های ماهواره‌ای (Google Earth)، شاخه‌ای از جریان با فرسایی کرانه، دچار انحراف به سمت راست جریان شده است. فعالیت معادن شن و ماسه و ایجاد تغییرات بسیار زیاد در میزان رسوب و پایین‌افتادگی بستر ناشی از استخراج شن و ماسه، موجب شکل‌گیری بستر منقطع و نابسامان شده است که شرایط اکولوژی

بخصوص فعالیت آبزیان و زیستمحیطی رودخانه کرج را تحتتأثیر قرار داده است. نتایج شاخص IHG بازه شماره ۷ نشان می‌دهد که این بازه به لحاظ کیفیت عملکردی و پوشش گیاهی از وضعیت ضعیف و از نظر کیفیت مورفولوژی در وضعیت متوسط قرار دارد (جدول ۸).

شکل ۱۱. محل برداشت شن و ماسه از بستر رودخانه در بازه شماره ۷، منبع: تصاویر Google Earth

جدول ۸. ارزیابی کیفیت هیدروژئومورفولوژی بازه شماره ۷

	پارامترها	امتیاز	امتیاز کلی	کیفیت بازه
ارزیابی کیفیت عملکردی رودخانه	طبیعی بودن رژیم جریان	۲	۱۱	ضعیف
	تأمین و جابه‌جایی رسوب	۳		
	عملکرد سیلاب‌دشت	۶		
ارزیابی کیفیت مورفولوژی رودخانه	مورفولوژی آبراهه و طبیعی بودن الگوی آبراهه	۸	۱۸	متوسط
	تداوم بستر رودخانه و طبیعی بودن فرایندهای طولی و عمودی	۳		
	طبیعی بودن کرانه رودخانه و تحرک جانبی	۷		
ارزیابی کیفیت پوشش گیاهی کناررود رودخانه	استمرار طولی	۴	۱۲	ضعیف
	وسعت پوشش گیاهی کناررود	۲		
	ساختار، طبیعی بودن و پیوستگی مقطعی پوشش گیاهی کنار رود	۶		

بر اساس سه معیار کیفیت هیدروژئومورفولوژی (IHG) شامل کیفیت عملکردی، مورفولوژی و پوشش گیاهی حاشیه رود، بازه‌های شماره ۱، ۲، ۳، ۶،۴ و ۷ دارای وضعیت ضعیف و بازه شماره ۵ که محدوده اجرای پروژه دریاچه البرز را در برمی‌گیرد، از کیفیت خیلی بد برخوردار است (جدول ۹). این وضعیت نشان می‌دهد که کیفیت هیدروژئومورفولوژی رودخانه‌ای از حالت طبیعی خارج شده است و مورد دخل و تصرف انسانی شدیدی قرار گرفته است که تغییرات قابل‌توجه و نیاز به تلاش مداخله‌ای دارد. در این بازه‌های شهری، فعالیت‌های مدیریتی و توسعه شهری به‌صورت دخل و تصرف در بستر و حریم مسیل‌ها، ساخت‌وساز، ایجاد سطوح نفوذناپذیر، مستقیم‌سازی رودخانه، تغییر ابعاد کانال، تثبیت کانال و کرانه رود پیامدی‌هایی همچون کاهش مقطع جریان، کاهش زمان تمرکز حوضه، افزایش حجم رواناب و سیلاب را به دنبال دارد. از این نظر، مداخلات انسانی در مجرای اصلی و ناحیه ساحل رودخانه بیشترین تأثیر را بر عملکرد طبیعی سامانه، کاهش کیفیت عملکردی هم از لحاظ کاهش جریان آب رودخانه و هم به لحاظ تأمین و جابه‌جایی رسوب، مورفولوژی و پوشش گیاهی رودخانه گذاشته است. به‌طوری‌که توسعه فضای شهری به‌عنوان تغییری که به رودخانه تحمیل شده است موجب پاسخ

متفاوت رودخانه، برهم‌زدن تعادل رودخانه و عملکرد طبیعی آن شده است در نهایت ماهیت سامانه هیدروژئومورفیک رودخانه دچار تغییروتحول شده است و شرایط پایداری رودخانه به مخاطره افتاده است به‌نحوی‌که رودخانه کـرج در بـازه‌هـای موردمطالعه از وضعیت ناپایداری برخوردار است.

جدول ۹. ارزیابی نهایی کیفیت هیدروژئومورفولوژی بازه‌های رودخانه کرج

بازه‌ها	امتیاز نهایی شاخص هیدروژئومورفولوژی (IHG)	کیفیت هیدروئومورفولوژی (IHG)
بازه شماره ۱	۲۸	ضعیف
بازه شماره ۲	۲۸	ضعیف
بازه شماره ۳	۳۵	ضعیف
بازه شماره ۴	۳۳	ضعیف
بازه شماره ۵	۱۰	خیلی بد
بازه شماره ۶	۳۸	ضعیف
بازه شماره ۷	۴۱	ضعیف

بحث

در این پژوهش، شرایط هیدرومورفولوژی رودخانه کرج در بازه شهری از بیلقان تا پل راه‌آهن با استفاده از شاخص هیدروژئومورفولوژیکی رودخانه (IHG) بررسی شده است. بر اساس نتایج سه معیار کیفیت عملکردی رودخانه، کیفیت مورفولوژیکی و پوشش گیاهی حاشیه‌رود شاخص هیدروژئومورفولوژیکی رودخانه (IHG) می‌توان چنین استنتاج کرد که به دلیل مداخلات و فعالیت‌های انسانی از جمله گسترش فضای کالبدی شهری و ساخت‌وسازها در حاشیه و حریم رودخانه، احداث سازه‌های عرضی و متقاطع (سد، پل، آبگیر)، ایجاد سطوح نفوذناپذیر، مستقیم‌سازی رودخانه، تغییر ابعاد کانال، تثبیت کانال و کرانه رود، برداشت شن و ماسه دچار تغییرات شدیدی در شرایط عملکردی، مورفولوژیکی و پوشش گیاهی شده است.

به‌طورکلی می‌توان بیان کرد که شرایط هیدرومورفولوژیکی رودخانه از وضعیت نامناسب برخوردار است. به‌نحوی‌که مداخلات انسانی، موجبات ناپایداری رودخانه بخصوص شرایط مورفولوژیکی، هیدرولوژیکی و اکولوژیکی آن را فراهم کرده و عملکرد طبیعی رودخانه را بر هم زده است. بر اساس مطالعات ترابی و حسینی (۱۳۹۲)، دست‌کاری‌های انسانی و مداخلات در ۴۵ سال گذشته، در محدوده پایین‌دست (بازه شهری) تغییراتی را به بستر طبیعی رودخانه تحمیل کرده است. بر اساس عکس هوایی و نقشه‌هایی که در مطالعه نامبرده استفاده شده است به‌روشنی می‌توان تغییرات بستر رود را در بخش جنوبی دید. ارزیابی‌ها و تحلیل‌های محیطی، نشانگر آن است که در طول رودخانه به سبب وجود زمینه‌های متنوع فرهنگی، اجتماعی و اقتصادی، ارتباط رودخانه با محیط دستخوش تغییراتی می‌گردد.

شاخص ارزیابی هیدروژئومورفولوژیکی (IHG) برای اجرای دستورالعمل EU/۶۰/۲۰۰۰ برای کاهش نابودی سامانه‌های رودخانه‌ای، شناسایی، درک و حل یا کاهش مشکلات محیط زیستی این سامانه‌ها، بهبود و حفظ عملکرد و طبیعی بودن آنها، تأیید و تشخیص ارزش هیدروژئومورفولوژیکی آنها، برای افزایش آگاهی در جامعه استفاده می‌شود. مزیت مهم در این شاخص، ارزیابی تأثیرات انسانی بیشتر و لزوم توجه به تغییرات ناشی از مداخلات انسانی است. همان‌طور که Ollero و همکاران طبق مطالعه‌ای جهت توضیح و تشریح شاخص ارزیابی هیدروژئومورفولوژیکی (IHG) در سال ۲۰۱۱ این نکته را بیان کرده‌اند. باتوجه‌به هدف و موضوع پژوهش حاضر که تحلیل هیدرومورفولوژیکی رودخانه در بازه شهری است و در این بازه بیشترین دخل و تصرف و دخالت‌های انسانی به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم صورت‌گرفته است، بنابراین روش موردنظر می‌تواند پاسخگوی اهداف این پژوهش باشد.

نتیجه‌گیری

رودخانه کرج اهمیت و تأثیرات مهمی در تأمین حق آبه کشاورزی، تغذیه سفره‌های زیرزمینی، تأمین آب شرب منطقه و فضای سبز و طبیعی شهر کرج و پایین‌دست دارد که طی سال‌های اخیر در معرض تغییرات زیادی در اثر دخالت‌های

مستقیم و غیرمستقیم انسان از جمله گسترش ساخت‌وساز شهری، عملیات مهندسی و کم عرض کردن مجرای رودخانه قرار گرفته است و شرایط هیدرولوژیکی، مورفولوژیکی و اکوسیستم رودخانه را ناپایدار کرده است.

نتایج ارزیابی هیدروژئومورفولوژیکی از سه پارامتر ارزیابی شده در سامانه رودخانه: (۱) کیفیت عملکردی (۲)کیفیت کانال و (۳) کیفیت ساحلی در پاسخ به اقدامات و فشارهای انسانی خاص ایجاد شده در کانال و دشت سیلابی هر بخش عملکردی رفتار متفاوتی را بیان می‌کنند. هم چنین نشان می‌دهد که سامانه رودخانه‌ای بر اساس ویژگی‌ها و خصوصیات خود، به مداخلات انسانی، متفاوت پاسخ می‌دهند. نتایج کیفیت عملکردی نشان می‌دهد که تغییرات ناشی از اقدامات انسانی (استفاده تفریحی، شهرنشینی و ساخت‌وسازهای خاص در سواحل و بستر رودخانه‌ها، استخراج شن و ماسه) مستقیماً بر بستر رودخانه تأثیر می‌گذارد و کیفیت آن را کاهش داده است.

کیفیت نامناسب مورفولوژیکی می‌تواند ناشی از مداخله انسان از طریق ایجاد زیرساخت‌های عرضی مانند پل‌ها، استخراج، انحرافات و کانال‌ها باشد که باعث ازبین‌رفتن طبیعت و تنوع پوشش گیاهی و به‌خطرافتادن پویایی رودخانه‌ها و وضعیت اکولوژیکی کانال شود. کیفیت پوشش گیاهی کنار رود به دلیل آبراهه‌سازی و گسترش فضای کالبدی شهری باعث تخریب پوشش گیاهی و تنوع زیستی ساکن در آنها می‌شود. جایی که طبیعی بودن پوشش گیاهی ساحلی در اثر همین اقدامات انسانی تغییریافته است و هیچ‌گونه ارتباطی بین پوشش گیاهی کنار رود و بستر رودخانه وجود ندارد. به‌طورکلی، بر اساس نتایج سه معیار اصلی کیفیت عملکردی، مورفولوژی و پوشش گیاهی حاشیه رود در شاخص IHG، بازه‌های موردمطالعه رودخانه کرج به دلیل تأثیر مداخلات انسانی، از وضعیت نامناسبی برخوردار است.

مهم‌ترین تأثیرات و دخالت‌های مستقیم انسانی در حوضه آبریز کرج، احداث سد امیرکبیر، سامانه تصفیه‌خانه در مجاورت روستای بیلقان، آبگیرهای پایین‌دست و بالادست بیلقان، آبراهه سازی در امتداد سواحل رودخانه و ساخت‌وساز شهری و گسترش سطوح نفوذناپذیر و... که اغلب پیامدهای برگشت‌ناپذیر و گاهی مخرب را به همراه دارد. از طرفی استخراج انبوه و بی‌رویه و شن و ماسه باعث برش جانبی رودخانه و تخریب پایین‌افتادگی بستر گردیده که بر روی کرانه رودخانه و مناطق تجمع رسوبات طبیعی بستر رودخانه تأثیر نامطلوب بر جای گذاشته است. دشت سیلابی مورداستفاده کاربری‌ها و تأسیسات و تجهیزات شهری واقع شده است و حاشیه رودخانه کاملاً کانالیزه شده و موانع فراوان در امتداد طولی و عرضی رودخانه قابل‌مشاهده است. وجود این موانع در امتداد رودخانه، عملکرد طبیعی رودخانه را مختل کرده است.

این وضعیت نشان می‌دهد که رودخانه شرایط ناپایداری دارد که این شرایط ناپایدار در اثر دخالت و گسترش فعالیت‌های انسانی و ازدست‌رفتن عملکرد طبیعی رودخانه در مجرای این رودخانه است. بنابراین کیفیت هیدروژئومورفولوژیکی رودخانه کرج در هفت بازه موردمطالعه (از پل بیلقان تا پل راه‌آهن) که از بافت سکونتگاهی و شهری کرج عبور می‌کنند، ارزش‌های کیفیت پایین را ارائه می‌دهند. این نتایج اشاره می‌کنند که تأثیرات روی سامانه رودخانه زمانی بیشتر است که مجرای رودخانه در شهرها یکپارچه شود. ازدست‌دادن کیفیت هیدروژئومورفولوژیکی ارتباط نزدیکی با فشار انسانی ناشی از افزایش کاربری‌های مصنوعی در کانال و دشت سیلابی دارد، اما همچنین تحت‌تأثیر تغییرات کاربری زمین در حوضه، مانند افزایش بافت شهری و تأسیسات و تجهیزات آن است. نتایج کلی حاکی از آن است که شاخص IHG ابزار مناسبی برای ارزیابی کیفیت هیدروژئومورفولوژیکی رودخانه است. اگرچه نیاز به دانش جامع از سامانه رودخانه دارد، کاربرد در حوضه‌های کوچک امکان‌پذیر است.

از سوی دیگر، یکی از جنبه‌های مثبت آن این است که تأثیرات انسانی و بر سامانه رودخانه‌ای، کانال و سواحل شناسایی می‌شود. جهت پیشنهاد و ارائه راهکار، انتشار و پیاده‌سازی این روش در سایر بخش‌های رودخانه و زیرحوضه‌ها برای ادامه ارزیابی سامانه‌های رودخانه‌ای و بر اساس این نتایج، شروع به اندیشیدن در مورد مدیریت یکپارچه حوضه آبریز مهم تلقی می‌شود. ارزیابی هیدرو ژئومورفولوژیکی انجام شده یک ورودی علمی - فنی مهم برای مدیریت یکپارچه منابع آب است. اطلاعات تولید شده با کاربرد IHG امکان طبقه‌بندی قلمرو رودخانه‌ای و استفاده پایدار از آن، شناسایی پتانسیل‌ها و محدودیت‌های سامانه رودخانه‌ای را مطابق با معیارهای هیدرو ژئومورفولوژیکی فراهم می‌کند.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت و مساعدت مالی صندوق حمایت از پژوهشگران ریاست‌جمهوری با شماره طرح ۹۹۰۳۰۲۴۹ انجام شده است. بدین‌وسیله نهایت سپاس و قدردانی را ابراز می‌نماییم.

منابع

احمدآبادی، علی؛ کیانی، طیبه؛ غفورپور عنبران، پرستو (۱۳۹۶). تحلیل اثرات عملیات آبخیزداری بر روی خصوصیات هیدروژئومورفولوژی حوضه آبریز عنبران چای با استفاده از مدل نیمه توزیعی SWAT. *برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، ۲۱ (۲)، ۳۵-۵۵.

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

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

ترابی، زهره؛ حسینی، حسین (۱۳۹۲). راهکارهای طراحی شهری رود کناره‌ها جهت کاهش آثار سوء سیل: موردمطالعه: رودخانه کرج. *کنفرانس ملی مدیریت سیلاب*، تهران.

حجه فروش نیا، شیلا (۱۳۹۴). *سبک شناسی (استایل) سیستم رودخانه ای، رویکردی نوین برای مدیریت و کاهش مخاطرات در حوضه کرج*. رساله دکتری رشته ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی.

خالقی، سمیه؛ حسین‌زاده، محمدمهدی؛ هاشمی بوئینی، زهرا (۱۴۰۰). ارزیابی و تحلیل شرایط هیدرومورفولوژیکی رودخانه حاجی عرب، شهرستان بوئین‌زهرا. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۱۱(۲)، ۷۵-۸۹.

سازمان مشاور فنی و مهندسی شهر تهران (۱۳۹۶). *گزارش چارچوب و رویکردهای مناسب احیاء و ساماندهی رودخانه‌ها باتوجه‌به تجربیات جهانی و درنظرگرفتن ویژگی‌های محلی هر رودخانه (مفاهیم اولیه، قواعد اصلی و تبیین اهداف "طرح جامع احیاء و ساماندهی رودخانه‌ها و قنوات شهر تهران")*. شهرداری تهران.

شرکت مهندسین مشاور سازه‌پردازی ایران (۱۳۹۵). *مطالعات ساماندهی فاز ۲ (کنترل سیلاب) رودخانه کرج. گزارش مطالعات کاربری اراضی*، سازمان آب منطقه‌ای البرز.

رحمانی فضلی، عبدالرضا؛ صالحیان بادی، سعید (۱۳۹۵). بررسی پایداری محیطی گسترش سکونتگاه‌های انسانی در حوضه آبریز رودخانه زاینده‌رود. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۸، ۱۰۵-۱۲۵.

غفورپور عنبران، پرستو (۱۳۹۴). *بررسی اثرات عملیات آبخیزداری بر خصوصیات هیدرو ژئومورفولوژی حوضه آبریز عنبران چای*. پایان‌نامه مقطع کارشناسی ارشد رشته ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی تهران.

محمدرضاپورطبری، محسن؛ بنی حبیب، محمدابراهیم؛ نجفی مرغملکی، سجاد (۱۳۹۶). احیای رودخانه‌ها. *چهارمین کنفرانس بین‌المللی برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست*، تهران.

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

References

Ahamadabadi, A., Kiani, T., & Ghaforpur Anbaran, P. (2017). The effects of watershed management practices in Hydro-geomorphological characteristics in Anbaranchay watershed. *The Journal of Spatial Planning*,*21* (2), 35-55 (In Persian).

Alvarez-caber, M., Barquín, J., & Juanes, J.A. (2010). Spatial and seasonal variability of macroinvertebrate metrics: Do macroinvertebrate communities track river health? *Ecological Indicators*, *10*(2), 370–379.

Barboza, E., Corroto, F., Salas, R., Gamarra, O., Ballarín, D., & Ollero, A. (2017). Hydrogeomorphology on tropical areas: Application of the Hidrogeomorphologic Index (IHG) in the Utcubamba river (Peru). *Ecología Aplicada*, *16* (1), 39-47.

Barboza, E., Salas, R., Mendoza, M., Oliva, M., & Corroto, F. (2018). Current land use and hydrogeomorphological quality of the San Antonio River: alternatives for the fluvial restoration in northern Peru. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, *20*(2), 203-214.

Biswas, S., Ghosh, S., & Halder, R. (2021). Impact of human intervention on assessing downstream

channel behavior of Ichamati River on the lower Gangetic Plain of West Bengal, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, *7* (3), 1651-1665.

Buffington, J.M. (2012). *Changes in channel morphology over human time scales [Chapter 32]*. In: Church, Michael; Biron, Pascale M.; Roy, Andre G., eds. Gravel-Bed Rivers: Processes, Tools, Environments. Chichester, *UK: Wiley*, 435-463.

Cuchí Moreno, J. (2021). *Analysis and diagnosis of the Escuriza River basin (Teruel) for the elaboration of good proposals in river restoration*, University of Zaragoza.

El Hourani, M., Härtling, J., & Broll, G. (2022). Hydromorphological Assessment as a Tool for River Basin Management: Problems with the German Field Survey Method at the Transition of Two Ecoregions. *Hydrology*, *9* (7), 120.

Esmaili, R., & Valikhani, S., (2014). Evaluation and analysis of the hydromorphological conditions of Lavij river using the morphological quality index. Quantitative Geomorphological Research. 2(4), 37-53 (In Persian).

Ghaforpur Anbaran, P. (2014). Investigating the effects of watershed operations on the hydrogeomorphological characteristics of AnbaranChai catchment. Master's thesis in Geomorphology, Kharazmi University, Tehran (In Persian).

Gregory, K.J. (2006). The human role in changing river channels. *Geomorphology*, *79* (3-4), 172-191.

Hajjeforoshnia, Sh. (2014). Style of the river system, a new approach to manage and reduce risks in the Karaj basin. Ph.D. thesis in the field of Geomorphology, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University (In Persian).

Hooke, R.L., Martín Duque, J.F., & Pedraza Gilsanz, J.D. (2012). Land transformation by humans: a review. *GSA today*, *22* (12),4-10.

Ilanloo, M., & 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 (In Persian).

Khaleghi, S., Hosseinzadeh, 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. (In Persian).

MohammadRezapor Tabari, M; Bani Habib, M, I; Najafi Marghmolki, S. (2016). Restoration of rivers. The 4th International Conference on Environmental Planning and Management, Tehran (In Persian).

Montgomery, D.R., & Bolton, S.M. (2003). Hydrogeomorphic variability and river restoration. *Strategies for Restoring River Ecosystems: Sources of Variability and Uncertainty in Natural and Managed Systems, American Fisheries Society, Bethesda, Maryland*, 39-80.

Müller, H., Hörbinger, S., Franta, F., Mendes, A., Li, J., Cao, P., Baoligao, B., Xu, F., & Rauch, H.P. (2022). Hydromorphological Assessment as the Basis for Ecosystem Restoration in the Nanxi River Basin (China). *Land*, *11*(2), 193.

Newson, M.D., & 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), 1606-1624.

Nosrati, K., Rostami, M., Etminan, Z. (2020). Assessment of Taleghan River Hydrogeomorphological Conditions Using Morphological Quality Index. *Hydrogeomorphology*, *6*(21), 133-154 (In Persian).

Ollero, A., Ballarín, D., Díaz, E., Mora, D., Sánchez, M., Acín, V., Echevarria, T., Granado, D., Ibisate, A., Sanchez, L. & Sanchez, N. (2008). IHG: An index for the hydro-geomorphological assessment of fluvial systems. *Limnetica*, *27*(1), 171-188.

Ollero, A., Ballarín, D., MORA, D. (2009). Aplicacion del ındice hidrogeomorfologico IHG en la cuenca del Ebro. Gua metodologica. Zaragoza: Confederacion Hidrografica del Ebro, 93 pp. (In Spanish).

Ollero, A., Ferrer, D.B., Bea, E.D., Mur, D.M., Fabre, M.S., Naverac, V.A., Amedo, M.T.E., García, D.G., de Matauco, A.I.G., Gil, L.S., & Gil, N.S. (2007). IHG: An index for the hydro-

geomorphological assessment of fluvial systems. *Geographicalia*, (52), 113-142.

Ollero, A., Granado, D., Acín, V., Gimeno, M., Gonzalo, L.E., Ballarín, D., Díaz, E., Domenech, S., Sánchez, M., Horacio, J., & Mora, D. (2011). The IHG index for hydromorphological quality assessment of rivers and streams: updated version, *Limnetica, 30* (2), 255-262.

Ollero, A., Ibisate, A., Granado, D., & de Asua, R.R. (2015). *Channel responses to global change and local impacts: Perspectives and tools for floodplain management, Ebro River and Tributaries, NE Spain*. In Geomorphic approaches to integrated floodplain management of lowland fluvial systems in North America and Europe. Springer, New York, NY, 27-52.

Rahmani Fazli, A., & Salehian Badi, S. (2017). Investigating the Environmental Sustainability of Spreading Human Settlements in Zayandeh-Rud River Basin, *Journal of Geography and Environmental Hazards, 5* (2), 105-125 (In Persian).

Raven, P. J., Holmes, N. T., Vaughan, I. P., Dawson, F. H., & Scarlett, P. (2010). Benchmarking habitat quality: observations using River Habitat Survey on near-natural streams and rivers in Northern and Western Europe. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 20: S13–S30.

Rhoads, B.L., Lewis, Q.W., & Andresen, W. (2016). Historical changes in channel network extent and channel planform in an intensively managed landscape: Natural versus human-induced effects. *Geomorphology, 252*, 17-31.

Rinaldi, M., Surian, N., Comiti, F., & Bussettini, M. (2010). Manuale tecnico-operativo per la valutazione ed il monitoraggio dello stato morfologico dei corsi d'acqua. *Ver. 0, ISPRA, Roma*.

Rojas Briceño, N. B. (2018). *Evaluation of the hydrogeomorphological state for fluvial restoration in the livestock micro-basins of Leymebamba and Molinopampa, Chachapoyas Province*, Amazonas (In Spanish).

Rojas Briceño, N.B., Barboza Castillo, E., Gamarra Torres, O.A., Oliva, M., Leiva Tafur, D., Barrena Gurbillón, M.Á., Corroto, F., Salas López, R., & Rascón, J. (2020). Morphometric prioritization, fluvial classification, and hydrogeomorphological quality in high Andean livestock micro-watersheds in northern Peru. *ISPRS International Journal of Geo-Information, 9*(5), 305.

Sánchez Giménez, J. R. (2018). *River rehabilitation in the urban area. Case study: the Isuela River*. Trabajo fin de Grado en Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza (in Spanish).

Sazeh Pardazi Iran Consulting Engineers Company .(2015). *Studies on organizing phase ۲(flood control) of the Karaj River. Land use studies report*, Regional Water Campany of Alborz (In Persian).

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.

Talavera, J.M., & Sánchez, R.N. (2019). Application of the hydrogeomorfological index (IHG) in the Segura´scuenca: embalse de la fuensanta-llano de la vida (taibilla´s river mouth). *GeoGraphos: Revista Digital para Estudiantes de Geografía y Ciencias Sociales, 10*(120), 238-268.

Tehran Technical and Engineering Consultant Organization. (2016). *The report of the appropriate framework and approaches for restoration and organization of rivers according to global experiences and taking into account the local characteristics of each river (basic concepts, main rules and explanation of the goals of the "Master Plan for the restoration and Organization of Rivers and Qanats of Tehran").* Municipality of Tehran. (In Persian).

Turabi, Z., & Hosseini, H. (2012). Urban design strategies of riverbanks to reduce the effects of floods: Study case: Karaj River. *National Flood Management Conference*, Tehran (In Persian).

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.