Journal of Marine Science and Technology

Spring 2025, Vol. 24, No.1, pp. 60- 85.

Available Online: ***http://jmst.kmsu.ac.ir***

Original Article

Evaluation and Interpretation of the Hydromorphological Conditions of the Tajan River using the RHAT Technique

Mahdiyeh Bagheri [1], Mohsen Masoudian [1,2*], Ali Afrous [1,3]

1. Department of Civil Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.

2. Department of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU), Sari, Iran.

3. Department of Water Engineering, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran.

[*] **Corresponding Author Email:** mohsen_masoudian@yahoo.com

Received: 30 May 2023 **Revise Date:** 4 July 2023 **Accepted:** 2 August 2023

DOI: 10.22113/jmst.2023.398632.2532

Abstract

Tajan river in Sari city, as one of the most important rivers in Mazandaran province, due to the growth of population and the expansion of urbanization, has experienced an increase in urban land use change, especially in the riverside areas. Therefore, in order to improve the security of the residents of the riverside, to provide the human need to benefit from the natural space of the riverside to reduce the stress of life, and to carry out improvement activities in the corridor of this river in the city, it is expanding day by day. In this research, in order to prove the unstable condition of the Tajan river and emphasize the need to reduce the pressure on this vital resource, with the help of remote sensing and information extracted from the Landsat satellite image, Google Earth Pro software, aerial photographs of 1966, data The field and RHAT technique were used to investigate and evaluate the hydromorphological situation in the area of one kilometer upstream of the railway bridge (including two 500-meter reach). So that by developing the RHAT technique to a new scoring method; It was possible to compare all the indexes in the studied reaches. The results showed that although in terms of WFD class, both reaches are in average condition with hydromorphological scores of 0.54 and 0.59, respectively. But the indexes related to the characteristics of the river channel have a similar situation in both reaches. Also, the variety and condition of the bed, the condition of the bank and its stability, including the connection of the river channel with the floodplain in the lower reaches, have more favorable conditions. On the other hand, due to the change in land use along the river and the increase in intensity and concentration of services due to the construction of urban infrastructures in the downstream areas, index 7 in the downstream urban areas will have a more unfavorable situation than in the upstream areas. Therefore, stopping the development of human interventions and carrying out revitalization measures in this area are among the necessities of preserving this source of available fresh water.

Keywords: Tajan river, hydromorphological assessment, EU-WFD Directive, RHAT technique, ecological status of the river.

Copyrights:
Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted Journal of Marine Science and Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons. org/licenses/ by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. INTRODUCTION

The term hydromorphology was introduced by WFD to describe the characteristics and physical processes of the river and to determine the state of the river ecosystem. So that the main elements that indicate the hydromorphological quality of the river include the hydrological regime, the continuity of the river and the morphological conditions; And the hydromorphological assessment process means the assessment and classification of hydrological and geomorphological flow conditions (Licciardello et al., 2021; Raven et al., 2002). Following the introduction and development of this concept as a human framework linking hydrology and geomorphology, several methods were proposed to assess water bodyes (Vaughan et al., 2009; Newson, 2022). Different methods of assessing the hydromorphological condition of the river are mostly focused on one or more vital factors. Most of these methods use indicators that are critical components of integrated river ecology assessment to express quantitative assessments of habitat quality, hydrology or morphology (Gündüz and Şimşek, 2021). In other words; The process of hydromorphological assessment means describing hydromorphological conditions using developed methods and finally classifying the condition of the water body (Rinaldi et al., 2013; Rabanaque et al., 2022).

2. MATERIALS AND METHODS

In this study, three categories of data include: 1) remote sensing data including satellite images extracted from Landsat satellite and Google Earth Pro software and aerial photograph of the study area in 1345; 2) field data including field observations and photography; 3) RHAT technique; was used. Figure 2 shows the steps of research.

3. RESULTS

The attributes related to the characteristics of the river channel have a similar situation in both reaches. The diversity and substrate condition are better in the lower reaches. Also, the condition of the bank and its stability, including the connection of the river channel with the floodplain in the downstream reaches, have more favorable conditions. On the other hand, due to the change in riparian land use and the increase in intensity and concentration of services due to the construction of urban infrastructure in the lower reaches, attribute 7 in the lower urban reaches will have a more unfavorable situation than the upper reaches.

4. CONCLUSION

According to Table 2; Although the sum of attributes scores in the first reach was lower than the sum of attributes scores in the second reach, but in terms of the WFD class, both reaches are in a moderate status. These results are consistent with the research results of Fendereski et al. (2022) on Tajan River, which was carried out by the HMQI method, is consistent. This is a proof of the accuracy of the results obtained in this research.

5. REFERENCE

Fendereski, N., Masoudian, M. and Röttcher, K., 2022. Evaluating the hydromorphological condition of Tajan River using HMQI Method. *Watershed Engineering and Management*, *14*(2), pp.185-201. https://doi.org/10.22092/ijwmse.2021.353586.1881

Gündüz, O. and Şimşek, C., 2021. Assessment of river alteration using a new hydromorphological index. *Environmental Monitoring and Assessment*, *193*(4), p.226. https://doi.org/10.1007/s10661-021-09018-w

Licciardello, F., Barbagallo, S., Muratore, S.M., Toscano, A., Giuffrida, E.R. and Cirelli, G.L., 2021. Hydro-Morphological Assessment of Dittaino River, Eastern Sicily, Italy. *Water*, *13*(18), p.2499. https://doi.org/10.3390/w13182499Newson, 2022

Newson, M., 2022. 'Fluvial geomorphology and environmental design': Restitution for damage, rehabilitation, restoration or rewilding?. *Earth Surface Processes and Landforms*, *47*(2), pp.409-421. https://doi.org/10.1002/esp.5256

Rabanaque, M.P., Martínez-Fernández, V., Calle, M. and Benito, G., 2022. Basin-wide hydromorphological analysis of ephemeral streams using machine learning algorithms. *Earth Surface Processes and Landforms*, *47*(1), pp.328-344. https://doi.org/10.1002/esp.5250

Raven, P.J., Holmes, N.T.H., Charrier, P., Dawson, F.H., Naura, M. and Boon, P.J., 2002. Towards a harmonized approach for hydromorphological assessment of rivers in Europe: a qualitative comparison of three survey methods. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, *12*(4), pp.405-424. https://doi.org/10.1002/aqc.536

Rinaldi, M., Surian, N., Comiti, F. and Bussettini, M., 2013. A method for the assessment and analysis of the hydromorphological condition of Italian streams: The Morphological Quality Index (MQI). *Geomorphology*, 180, pp.96-108. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.09.009

Vaughan, I.P., Diamond, M., Gurnell, A.M., Hall, K.A., Jenkins, A., Milner, N.J., Naylor, L.A., Sear, D.A., Woodward, G. and Ormerod, S.J., 2009. Integrating ecology with hydromorphology: a priority for river science and management. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, *19*(1), pp.113-125. https://doi.org/10.1002/aqc.895.

مجله علوم وفنون دریایی، فصل نامه ی علمی پژوهشی

دوره ۲۴، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، صفحات ۶۰ تا ۸۵

مقاله پژوهشی

Available Online: *http://jmst.kmsu.ac.ir*

ارزیابی و تفسیر شرایط هیدرومورفولوژیکی رودخانه تجن با استفاده از تکنیک RHAT

مهدیه باقری [۱]، محسن مسعودیان * [۲،۱]، علی افروس [۳،۱]

۱. گروه مهندسی عمران، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران.

۲. گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

۳. گروه مهندسی آب، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران.

* **نویسنده مسئول، پست الکترونیک:** mohsen_masoudian@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۰۹ **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۲/۰۴/۱۳ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۲/۰۵/۱۱

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22113/jmst.2023.398632.2532

چکیده

رودخانه تجن در شهر ساری به‌عنوان یکی از مهمترین رودخانه‌های استان مازندران به دلیل رشد جمعیت و گسترش شهرنشینی دچار افزایش تغییر کاربری اراضی شهری خصوصاً در نواحی رودکناری شده است. لذا برای ارتقای امنیت ساکنین حواشی رودخانه، تأمین نیاز انسان به بهره‌مندی از فضای طبیعی حاشیه رودخانه برای کاهش استرس زندگی و ... انجام فعالیت‌های بهسازی در کریدور این رودخانه درون شهری روز به روز در حال گسترش است. در این پژوهش برای اثبات وضعیت نابسامان رودخانه تجن و تأکید بر لزوم کاهش فشارهای وارده به این منبع حیاتی، به کمک سنجش از دور و اطلاعات استخراجی از تصویر ماهواره Landsat، نرم‌افزار Google Earth Pro، عکس‌هوایی سال ۱۳۴۵، داده‌های میدانی و تکنیک RHAT به بررسی و ارزیابی وضعیت هیدرومورفولوژیکی در محدوده یک کیلومتری بالادست پل راه‌آهن (شامل دو بازه ۵۰۰ متری) پرداخته شد. به‌طوری‌که با توسعه تکنیک RHAT به روش امتیازدهی جدید؛ امکان مقایسه تمامی شاخص‌ها در بازه‌های مورد مطالعه مقدور گردید. نتایج نشان داد اگرچه به لحاظ کلاس WFD هر دو بازه به ترتیب با امتیاز هیدرومورفولوژیکی ۰/۵۴ و ۰/۵۹ در وضعیت متوسط به سر می‌برند. ولی شاخص‌های مرتبط با ویژگی‌های کانال رودخانه در هر دو بازه وضعیت مشابهی دارند. همچنین تنوع و شرایط بستر، وضعیت کناره و پایداری آن به انضمام اتصال کانال رودخانه با سیلابدشت در بازه‌های پایین‌دست‌تر، شرایط مطلوب‌تری دارند. از طرفی به دلیل تغییر کاربری اراضی حاشیه رودخانه و افزایش شدت و تمرکز خدمات ناشی از احداث زیرساخت‌های شهری در محدوده‌های پایین‌دست‌تر، شاخص ۷ در نواحی شهری پایین‌دست اوضاع نامطلوب‌تری نسبت به بازه‌های بالادست خواهد داشت. بنابراین توقف مداخلات انسانی رو به توسعه و انجام اقدامات باززنده‌سازی در این محدوده جزو ضروریات حفظ این منبع آب شیرین در دسترس است.

واژگان کلیدی: رودخانه تجن، ارزیابی هیدرومورفولوژیکی، رهنمود EU-WFD، تکنیک RHAT، پهنه‌های آبی، انحراف از حالت مرجع، وضعیت اکولوژیکی رودخانه، مهندسی رودخانه

Copyrights:
Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted Journal of Marine Science and Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons. org/licenses/ by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

۱. مقدمه

امروزه بسیاری از رودخانه‌های درون شهری به دلیل مداخلات انسانی دچار تغییرات متعددی شده‌اند. ساخت سازه‌های هیدرولیکی درون بستر و در مجاورت کانال رودخانه، انجام اقدامات بهسازی رودخانه از جمله مستقیم‌الخط کردن و کانالیزه کردن، بتن‌ریزی بستر و دیواره کانال، استفاده از مصالح بنّایی برای ساخت دیواره‌های پایدار در کانال، تغییر کاربری اراضی حاشیه رودخانه و ... تبعات زیست محیطی متعددی را به‌بار آورده که منجر به تغییر در وضعیت اکولوژیکی کریدور رودخانه شده است. به‌طوری‌که تغییر رژیم طبیعی بسیاری از رودخانه‌ها در نواحی شهری به‌صورت واضحی قابل مشاهده می‌باشد. این موضوع از این جهت دارای اهمیت است که تغییر اجباری رژیم طبیعی رودخانه به تقلیل و تغییر گونه‌های بومی جانوری و گیاهی موجود در کریدور رودخانه، تغییر همیشگی هیدرولوژی و در نتیجه تشدید فشارهای وارد بر سیستم اکولوژیکی کریدور رودخانه منتهی می‌شود. نتیجه تداوم فشارهای ناشی از تغییرات مورفولوژیکی مخصوصاً در مناطقی که این فشارها رو به فزونی است پیامدی جز تشدید انحراف وضعیت رودخانه از حالت مرجع نخواهد داشت. لذا لازم است با انجام مطالعات هیدرولوژیکی رودخانه‌های متعدد، وضعیت فعلی پهنه‌های آبی شیرین در دسترس را تعیین نموده و برای حفظ تعادل در بخش‌های مختلف بیولوژیکی، مورفولوژیکی و هیدرولوژیکی آن، با تدوین برنامه‌های مدیریتی در راستای کاهش میزان فشارها و مداخلات انسانی به نزدیک شدن رودخانه به شرایط طبیعی (مرجع) و یا تقریباً طبیعی همت گماریم. یقیناً پیامدهای بهبود کیفیت پهنه‌های آبی خصوصاً در نواحی شهری، منجر به تأمین منافع متعدد جامعه انسانی خواهد شد.

در راستای انجام فعالیت‌های بازسازی رودخانه به‌عنوان یکی از جنبه‌های مهم مدیریت رودخانه و با هدف ایجاد انگیزه بیشتر برای احیای رودخانه‌ها، تغییراتی در قوانین آب اروپا (دستورالعمل زیستگاه‌ها: Habitats Directive) و دستورالعمل چارچوب آب (WFD: Water Framework Directive) ایجاد شد که تأکید بیشتری بر فرآیندهای حامی اکولوژی رودخانه دارد (England et al., 2008; Gumiero et al., 2013; Stubbington et al., 2018; England et al., 2021; Belletti et al., 2020; Waylen et al., 2019). این تغییرات صراحتاً به‌عنوان یک الزام قانونی بر احیاء یا بهبود زیستگاه‌هایی که در شرایط مناسب نیستند، تأکید می‌کند (Cliquet, 2014; Rouillard et al., 2018; Van Rees et al., 2021). بنابراین دستورالعمل چارچوب آب با هدف دستیابی به «وضعیت خوب»، کشورهای عضو را ملزم به حفاظت، تقویت و احیای تمام پهنه‌های آبی می‌نماید (Clarke et al., 2003; Josefsson, 2015; Grizzetti et al., 2019). در این راستا مفهوم «وضعیت خوب» با پارامترهای مختلف اکولوژیکی، مورفولوژیکی و شیمیایی و مفهوم وضعیت اکولوژیکی به‌عنوان "بیانی از ساختار و عملکرد اکوسیستم‌های آبی" تعریف می‌شود (Directive, 2000; Wharton and Gilvear, 2007; Street and Longford, 2015)

اصطلاح هیدرومورفولوژی برای توصیف ویژگی‌ها و فرآیندهای فیزیکی رودخانه و تعیین وضعیت اکوسیستم رودخانه توسط WFD معرفی گردید. به‌طوری‌که عناصر اصلی گویای کیفیت هیدرومورفولوژیکی رودخانه شامل رژیم هیدرولوژیکی، تداوم رودخانه و شرایط مورفولوژیکی و فرآیند ارزیابی هیدرومورفولوژیکی به معنای ارزیابی و طبقه بندی شرایط جریان هیدرولوژیکی و ژئومورفولوژی است (Directive, 2000; Raven et al., 2002; Licciardello et al., 2021). در پی معرفی و توسعه این مفهوم به‌عنوان یک چارچوب انسانیِ پیونددهنده هیدرولوژی و ژئومورفولوژی، روش‌های متعددی برای ارزیابی پهنه‌های آبی پیشنهاد شد (Vaughan et al., 2009; Newson, 2022). روش‌های مختلف ارزیابی وضعیت هیدرومورفولوژیکی رودخانه، بیشتر روی یک یا چند عامل حیاتی متمرکز هستند. اکثر این روش‌ها از شاخص‌هایی که اجزای حیاتی ارزیابی یکپارچه اکولوژی رودخانه هستند برای بیان ارزیابی‌های کمّی کیفیت زیستگاه، هیدرولوژی یا مورفولوژی استفاده می‌کنند (Gündüz and Şimşek, 2021). به‌عبارت دیگر؛ فرآیند ارزیابی هیدرومورفولوژیکی به‌معنای توصیف شرایط هیدرومورفولوژیکی به کمک بهره‌گیری از روش‌های توسعه-یافته و نهایتاً طبقه‌بندی وضعیت پهنه آبی است (Rinaldi et al., 2013; Del Tánago et al., 2021; Rabanaque et al., 2022).

اهمیت مطالعه وضعیت هیدرومورفولوژیکی رودخانه از آن جهت است که مطابق ضمیمه پنجم دستورالعمل چارچوب آب، منظور از وضعیت اکولوژیکی رودخانه وضعیت عناصر بیولوژیکی و عناصر هیدرومورفولوژیکی پشتیبان آن می‌باشد (Josefsson and Baaner, 2011; Nones et al., 2017; Raven et al., 2002; Napiórkowska-Krzebietke et al., 2020). به همین دلیل با اجرایی شدن WFD، اکثر کشورهای عضو به ارزیابی وضعیت اکولوژیکی رودخانه‌ها در محدوده طرح‌های مدیریت حوضه رودخانه پرداختند. اغلب روش‌های توسعه‌یافته در کشورهای مختلف با هدف ارزیابی وضعیت فعلی رودخانه‌ها و انجام اقدامات بیشتر برای تعالی آن‌ها به وضعیت خوب، بر یک جنبه خاص از وضعیت کلی اکولوژیکی رودخانه و یا عمدتاً بر شرایط خاص آن کشور متمرکز شدند (Gündüz and Şimşek, 2021). در این راستا تاکنون بیش از ۱۳۹ روش اروپایی و غیراروپایی برای تعیین وضعیت اکولوژیکی رودخانه‌ها تعریف شده است (Birk , 2008; Belletti et al., 2015; Müller et al., 2022). بسیاری از روش‌های

موجود، به لحاظ مفاهیم، اهداف، مقیاس‌های فضایی، داده‌های جمع آوری شده و در نتیجه کاربرد آن‌ها، به‌طور گسترده‌ای متفاوت هستند (El Hourani et al., 2022). ولی می‌توان تمامی آن‌ها را در پنج دسته کلی معرفی کرد:

الف) روش‌های ارزیابی زیستگاه فیزیکی (PH: Physical Habitat Assessment): به‌عنوان رایج‌ترین روش ارزیابی وضعیت هیدرومورفولوژیکی رودخانه، شامل روش‌هایی برای شناسایی، بررسی و ارزیابی زیستگاه‌های فیزیکی موجود است.

ب) روش‌های ارزیابی زیستگاه ساحلی (RH: Riparian Habitat Assessment): مشابه روش‌های ارزیابی زیستگاه فیزیکی اما به‌صورت خاص‌تر برای زیستگاه‌های ساحلی و پوشش گیاهی است. این روش، تکنیک غالب ارزیابی در کشور استرالیا است.

ج) روش‌های ارزیابی مورفولوژیکی (M: Morphological Assessment): بعد از روش ارزیابی زیستگاه فیزیکی، به‌عنوان پر-کاربردترین روش ارزیابی هیدرومورفولوژیکی شامل: روش‌های انجام یک سنجش کلی‌تر از شرایط مورفولوژیکی (فشار- پاسخ) است. این روش، تکنیک غالب ارزیابی در آفریقای جنوبی است.

د) روش‌های ارزیابی تغییرات رژیم هیدرولوژیکی (HRA: Hydrological Regime Alteration Assessment): روش‌های خاص برای ارزیابی رژیم هیدرولوژیکی هستند.

ه) روش‌های ارزیابی تداوم طولی ماهیان (LFC: Longitudinal Fish Continuity Assessment): روش‌های خاص برای ارزیابی تداوم طولی جوامع ماهی‌ها هستند (Feld et al., 2007; Sanz et al., 2012; Shuker et al., 2017; Radinger et al., 2018; Wiatkowski and Tomczyk, 2018; Huang et al., 2019; Jumani et al., 2020; Boota et al., 2021; Del Tánago et al., 2021; Stefanidis et al., 2022).

مطابق دستورالعمل چارچوب آب به دلایل زیر باید هیدرومورفولوژی در ارزیابی‌های WFD پوشش داده شود:

الف) برای ایجاد شرایط هیدرومورفولوژیکی خاص

ب) برای شناسایی فشارهای هیدرومورفولوژیکی که مانع رسیدن یک پهنه آبی به اهداف زیست محیطی خود می‌شوند

ج) برای طبقه‌بندی پهنه آبی در وضعیت عالی و برای اطمینان از این‌که هیدرومورفولوژی "سازگار با دستیابی به" سایر سطوح وضعیت اکولوژیکی است

د) به‌منظور تعریف حداکثر پتانسیل اکولوژیکی برای هیدرومورفولوژی با توجه به پهنه‌های آبی شدیداً تغییریافته و مصنوعی

ث) جهت تهیه برنامه راهکارهای بهبود یا بازیابی شرایط هیدرومورفولوژیکی برای دستیابی به اهداف زیست‌محیطی (Rinaldi et al., 2017; Ioana-Toroimac, 2018; Stefanidis et al., 2022). در ادامه به برخی از مطالعات انجام شده در این زمینه می‌پردازیم:

Williams (2005) با کمک داده‌های میدانی تهیه شده از طریق روش‌های آماری غیرپارامتریک به اثبات اهمیت مواد بستر رودخانه در کیفیت کلی و تنوع حیات زیستگاه درون رودخانه و پایداری کانال در ۷۶ بازه از رودخانه Tennessee Ridge در ایالات متحده پرداخت. او دلیل انجام این مطالعه را نیاز به توسعه روش‌های بهتر ارزیابی حداکثر بار روزانه کل (TMDL: Total Maximum Daily Load) برای برقراری ارتباط میان آسیب رسوب با یکپارچگی بیولوژیکی رودخانه بیان نمود. نتایج کار او نشان داد که ناهمگونی زیستگاه‌های دارای مواد بستر بزرگ‌تر ممکن است به یکپارچگی بیولوژیکی نسبت به اثرات ضعیف‌تر رسوبات ریز مرتبط باشد.

Newson و Large (2006) مطالعات و پیشنهاداتی را برای شرایط اکولوژیکی خوب سیستم‌های رودخانه‌ای بریتانیا در قالب یک دستور کار جدید و کاربردی برای ژئومورفولوژی رودخانه‌های طبیعی، کیفیت هیدرومورفولوژیکی و احیای آن‌ها ارائه دادند.

Palmer et al. (2010) با هدف باززنده‌سازی رودخانه، کیفیت زیستگاه‌ها و بی‌مهرگان را در ۷۸ سیستم رودخانه‌ای مستقل در ایالات متحده بررسی کرده و مشکلاتی که مانع احیای رودخانه هستند را بیان نمودند. آن‌ها با باور به اینکه عوامل استرس‌زا در اکوسیستم‌های جریان موجب از بین‌رفتن گونه‌های حساس و کاهش کلی تنوع می‌شوند، نتیجه گرفتند که افزایش ناهمگونی زیستگاه‌ها (HH: Habitat Heterogeneity) با ترمیم تنوع زیستی به‌عنوان یک الگوی غالب در احیای اکولوژیکی محسوب می‌گردد. به‌طوریکه تحقق این امر در پروژه‌های باززنده‌سازی، با پیکربندی مجدد کانال‌ها برای افزودن پیچ و خم‌ها و افزودن ساختارهای فیزیکی برای بازیابی تنوع‌زیستی با افزایش ناهمگونی ساختاری انجام‌پذیر است.

Belletti et al. (2015) با هدف مرور روش‌های ارزیابی وضعیت هیدرومورفولوژیکی رودخانه‌ها به بررسی ۱۲۱ روش مورد استفاده پرداختند. نتایج آن‌ها گویای شکاف اصلی در اکثر روش‌ها به‌دلیل در نظر گرفتن ناکافی فرآیندهای فیزیکی بود. لذا اعلام کردند که روش‌های جدید تجزیه و تحلیل هیدرومورفولوژیکی یکپارچه در پهنه‌های آبی که اجزای مورفولوژیکی و هیدرولوژیکی بخش‌های کلیدی هستند، ضروری می‌باشد.

Hajdukiewicz et al. (2017) با هدف برنامه‌ریزی و ارزیابی اقدامات باززنده‌سازی، تکنیک RHQ (RHQ: River

Hydromorphological Quality) را ایجاد کرده و آن‌را در رودخانه Biała در کشور لهستان مورد استفاده قرار دادند. آن‌ها با آگاهی از اینکه برنامه‌ریزی و اجرای پروژه‌های باززنده‌سازی موثر، مستلزم ارزیابی مناسب وضعیت هیدرومورفولوژیکی رودخانه است به انجام این پژوهش پرداخته و استاندارد اروپایی در مورد ارزیابی هیدرومورفولوژی رودخانه‌ها و روش‌های ارزیابی هیدرومورفولوژیکی مورد استفاده در کشور لهستان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها گویای تفاوت‌های قابل‌توجهی در کیفیت هیدرومورفولوژیکی بین مقاطع رودخانه‌ای مدیریت‌نشده و کانالیزه‌شده بود. آن‌ها همچنین تنظیم کانال را عامل اصلی تنزل کیفیت هیدرومورفولوژیکی رودخانه Biała شناسایی کرده و پیش‌بینی نمودند که احتمالاً با حذف سازه‌های حفاظت از کناره و اجازه جابجایی آزاد کانال، بیشترین بهبود در وضعیت اکولوژیکی اتفاق خواهد افتاد.

Szoszkiewicz et al. (2020) تکنیک HIR:) HIR Hydromorphological Index for Rivers) را با هدف نظارت بر وضعیت هیدرومورفولوژیکی آب‌های جاری در لهستان و همچنین توسعه یک برنامه ملی باززنده‌سازی رودخانه برای پیش‌بینی تأثیر اقدامات پیشنهادی بر وضعیت هیدرومورفولوژیکی توسعه دادند.

جالب توجه آنکه با وجود گذشت بیش از دو دهه از تدوین رهنمود آب اروپا، همچنان محدودیت‌هایی برای انجام مطالعات ارزیابی وضعیت هیدرومورفولوژیکی پهنه‌های آبی وجود دارد. از جمله محدودیت‌های عمومی فعلی عبارتند از:

الف) عدم توجه به فرآیندهای فیزیکی مهم‌ترین نقص روش‌های ارزیابی هیدرومورفولوژیکی است. این نقص موجب محدود شدن توسعه درک صحیح از علل تغییرات و پاسخ به آن‌ها می‌شود (Gündüz and Şimşek, 2021; Stefanidis et al., 2022).

ب) ارزیابی زیستگاه فیزیکی تنها یکی از اجزای یک روش ارزیابی کلی هیدرومورفولوژیکی است. و تعداد کمی از کشورهای عضو اتحادیه اروپا تلاش نمودند تا اجزای دیگر را در یک ارزیابی هیدرومورفولوژیکی کاملاً یکپارچه بگنجانند (Belletti et al., 2015).

ج) استفاده یکپارچه‌تر از اجزای بیش‌تر برای دستیابی به یک ارزیابی و پایش هیدرومورفولوژیکی کلی در آینده نیاز می‌باشد. لذا تأکید جدی‌تر بر روش‌های مورفولوژیکی و هیدرولوژیکی مفید خواهد بود.

با توجه به مطالب فوق می‌توان نتیجه گرفت اگرچه در راستای ارزیابی تغییرات هیدرومورفولوژیکی رودخانه‌های متعدد در سراسر دنیا، مطالعات گوناگون با روش‌های بومی شده در کشورهای مختلف انجام شده ولی در ایران مطالعات موردی محدودی داریم که به لحاظ روش ارزیابی هم محدود هستند. به‌طوریکه تاکنون از روش مورد استفاده در این پژوهش برای ارزیابی هیچ رودخانه‌ای بهره نگرفتند. کما اینکه روش‌های مورد استفاده نه توسعه داده شده و نه بومی‌سازی گردیده‌اند. لذا در این پژوهش با هدف تعیین وضعیت هیدرومورفولوژیکی رودخانه تجن در بازه مورد مطالعه و تدوین برنامه‌ها و سیاست‌های مدیریتی لازم برای نیل به اهداف رهنمود آب اروپا در راستای بهبود شرایط اکولوژیکی رودخانه و تعالی وضعیت آن به شرایط مرجع؛ به ارزیابی وضعیت هیدرومورفولوژیکی بازه‌ای از رودخانه تجن به طول یک کیلومتر در بالادست پل فلزی راه‌آهن با تکنیک ایرلندی RHAT می‌پردازیم.

موضوع مهم آنکه در این پژوهش در راستای ارائه نتایج دقیق‌تر برای مقایسه کیفیت هیدرومورفولوژیکی بازه‌های مورد مطالعه به توسعه تکنیک مزبور با استفاده از شیوه وزن‌دهی جدید برای شاخص های ۵ تا ۸ مبادرت می‌ورزیم. در حقیقت این توسعه با افزودن یک گام به گام‌های متداول در تکنیک RHAT محقق می‌گردد. به‌عبارت دیگر؛ برای مقایسه شاخص‌های ۵ تا ۸ در بازه‌های مختلف، نمی‌توان صراحتاً یک نمره واحد برای آن‌ها اعلام نمود چون این شاخص‌ها برای کناره‌های چپ و راست به‌صورت مجزا امتیازدهی می‌شوند. بنابراین نمی‌توان وضعیت کلی این شاخص‌ها را در بازه‌های مورد ارزیابی با یکدیگر مقایسه کرد. در حالی‌که از منظر مدیریتی برای کنترل آسیب‌های وارده به رودخانه باید ارتقای شاخص دارای کمترین امتیاز را در اولویت برنامه‌ها قرار داد. چون در موارد استراتژیک؛ اولویت با شاخصی خواهد بود که نامساعدترین شرایط را دارد. لذا حسن افزودن این گام در آن است که می‌توان حتی شاخص‌های ۵ تا ۸ را در بازه‌های مختلف با یکدیگر مقایسه نمود و آن‌ها را بر اساس اولویت انجام اقدامات باززنده‌سازی، در برنامه کار مسئولین و مدیران قرار داد. در نتیجه؛ این امر خود به‌عنوان نقطه قوت و تفاوت روش کار این پژوهش با سایر مطالعات انجام شده مشابه محسوب می‌شود.

مضافاً آنکه در انتهای پژوهش با تفکیک جامعه به سه دسته اثرگذار (الف: پژوهشگران، ب: خبرگان و متخصصین با تجربه، ج: مدیران، سیاست گذاران، مسئولین و عموم جامعه) راهکارهای مدیریتی برای تقلیل آسیب‌های وارده به رودخانه‌های درون شهری پیشنهاد و ارائه می‌گردد که این هم به‌عنوان یکی دیگر از وجوه تمایز این پژوهش با سایر مطالعات انجام شده قلمداد می‌گردد. بنابراین در این پژوهش؛ رودخانه تجن به‌عنوان یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های درون شهری استان مازندران مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. ضرورت انجام این پژوهش به‌دلیل وقوع مداخلات انسانی متعدد روی کریدور رودخانه تجن در بخش مرکزی شهر ساری و تشدید و حتی گسترش روزافزون این مداخلات و افزایش فشارهای وارده بر سیستم رودخانه‌ای در محدوده‌های بالادست و پایین‌دست این ناحیه می‌باشد. به‌طوری‌که محدوده مورد مطالعه جزو محدوده

در حال انجام و رو به گسترش فرایندهای بهسازی رودخانه است. بنابراین لازم می‌باشد تا با تأکید بر پیامدهای منفی ناشی از انجام پروژه‌های بهسازی بر اکوسیستم رودخانه‌ای، مدیران و مسئولان را متوجه عواقب اجرایی شدن این پروژه‌ها نمود. به امید آنکه با کاهش فشارهای وارده و توقف پروژه‌های بهسازی، شرایط مساعد برای بازگشت رودخانه به شرایط مرجع فراهم شده و به بهبود کیفیت منابع آب شیرین در نواحی شهری کمک شایان توجهی نمائیم.

۲. مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، بازه یک کیلومتری بالادست پل فلزی راه‌آهن در رودخانه تجن واقع در محدوده شهر ساری در شمال ایران است. اهمیت محدوده مورد مطالعه به‌دلیل تفاوت بارز دو ناحیه بالادست و پایین‌دست پل راه‌آهن به لحاظ دخل و تصرف‌های انسانی از جمله انجام عملیات متعدد بهسازی رودخانه، تغییر کاربری اراضی، تشدید و حتی گسترش روزافزون این مداخلات و افزایش فشارهای وارده بر سیستم رودخانه است، که پیامدهای زیست‌محیطی مختلفی در پی داشته و زندگی انسان را تحت تأثیر قرار داده است. جزئیات موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه بر اساس مختصات UTM در شکل (۱) آمده است.

در این مطالعه سه دسته داده شامل موارد زیر به کار گرفته شد:

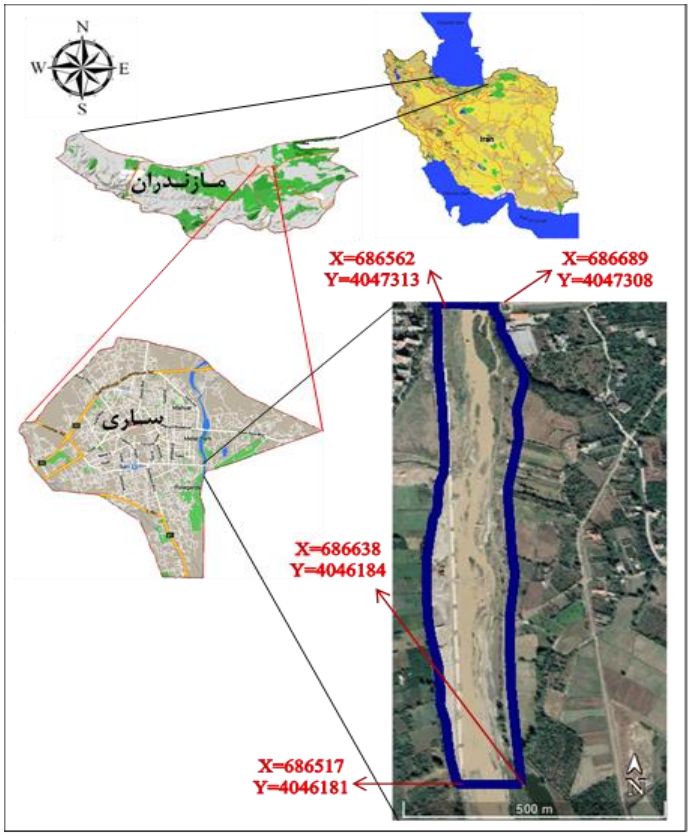
۱) داده‌های سنجش از دور مشتمل بر تصویر ماهواره‌ای استخراجی از ماهواره Landsat و نرم‌افزار Google Earth Pro و عکس‌هوایی سال ۱۳۴۵ محدوده مورد مطالعه

۲) داده‌های میدانی شامل مشاهدات میدانی و عکس‌برداری؛

۳) تکنیک RHAT.

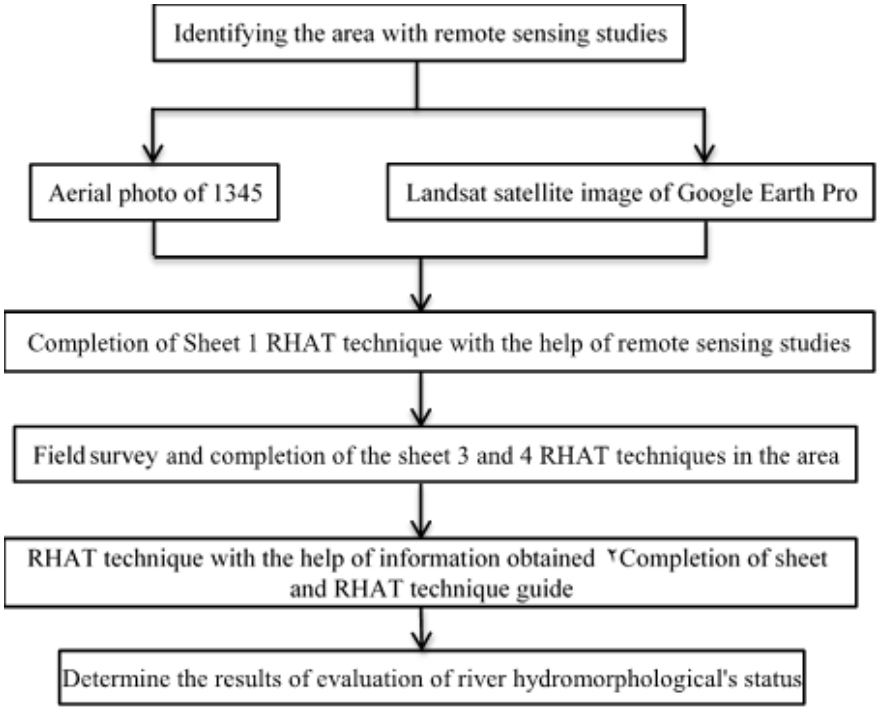
شکل (۲) مراحل انجام تحقیق را نشان می‌دهد.

از آن‌جا که بخشی از اطلاعات کار برگ شماره (۱) تکنیک RHAT بایستی پیش از مراجعه حضوری به محدوده و صرفاً توسط بررسی‌های سنجش از دور تکمیل شود؛ لذا با استخراج تصویر ماهواره‌ای فعلی محدوده مورد مطالعه از ماهواره Landsat و نرم-افزار Google Earth Pro و مقایسه و تطبیق آن با عکس‌هوایی سال ۱۳۴۵ در محیط نرم افزار ArcGIS، بخشی از مولفه‌های مورد ارزیابی وابسته به مطالعات سنجش از دور، طی دوره زمانی حدود ۵۵ سال مورد ارزیابی قرار گرفتند.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه بر اساس مختصات UTM (Google Earth, Google Maps)

Fig. 1- Geographical location of the study area based on UTM coordinates (Google Maps and Google Earth)



شکل ۲- مراحل انجام تحقیق

Fig. 2- Steps of Research

همچنین فعالیت میدانی؛ پیمایش و عکس‌برداری از محدوده مورد مطالعه با هدف شناسایی بهتر وضعیت مولفه‌های مورد ارزیابی در تکنیک RHAT انجام شد. در همین راستا پیمایش در محدوده از طریق بازدید در امتداد هر دو کناره راست و چپ و همچنین بازدید در درون کانال در نقاطی که قابل دسترس و امکان‌پذیر بود صورت گرفت.

تکنیک RHAT (River Hydromorphology Assessment Technique) جزو روش‌های ارزیابی زیستگاه فیزیکی و زیستگاه ساحلی محسوب می‌شود. اغلب ارزیابی‌های زیستگاه فیزیکی بر اساس بررسی‌های میدانی گسترده انجام می‌شوند. لذا غالباً از نقشه‌ها و تکنیک‌های سنجش از دور برای شناسایی اولیه رودخانه و تعیین نحوه دسترسی استفاده می‌کنند (Nadeau et al., 2015; Marcinkowski et al., 2022). مقیاس فضایی اکثر روش‌های ارزیابی‌های زیستگاه فیزیکی نسبتاً کوچک (یعنی حدود چند صد متر از طول رودخانه) است. با وجود این‌که تمامی این روش‌ها روی کانال رودخانه (کناره‌ها و مناطق رودکناری) تمرکز دارند؛ اما حدود ۷۵ درصد آن‌ها به سیلاب دشت اطراف گسترش می‌یابند. ضمن اینکه تمامی روش‌ها با توجه به مقیاس زمانی آن‌ها، وضعیت فعلی رودخانه را در زمان بررسی، ارزیابی می‌کنند. در واقع در مقیاس زمانی از اطلاعات هیدرولوژیکی برای توصیف وضعیت در زمان ارزیابی استفاده می‌شود (Kondolf et al., 2016; Licciardello et al., 2021; Del Tánago et al., 2021).

در روش‌های ارزیابی زیستگاه فیزیکی، ویژگی‌های کانال معمولاً شامل ابعاد کانال، اندازه و ترکیب رسوبات غالب بستر، فرم کانال و واحدهای ژئومورفیک (تعداد نقاط دارای آب جاری با عمق کم و زیاد) و ویژگی‌های مصنوعی (سد، سرریز، کالورت، منحرف کننده و ...) است. رایج‌ترین ویژگی‌های ثبت شده در کناره‌های رودخانه‌ها و مناطق رودکناری شامل ساختار فیزیکی کناره و وجود عناصر مصنوعی و رایج‌ترین ویژگی‌های سیلابدشت شامل کاربری زمین و وجود شکل‌های مختلف جریان (دریاچه‌های نعل اسبی و تالاب‌ها) می‌باشد. غالباً پیوستگی طولی و جانبی بر اساس حضور عوارض مصنوعی به‌عنوان فرآیندهای رودخانه ارزیابی می‌شوند. که تنها حدود ۱۲ درصد از روش‌ها شامل بررسی فرآیندهای اصلاح کانال (تعریض یا باریک شدن، بهبود یا تخریب کانال) هستند (Cochero et al., 2016; Debnath et al., 2017; Golfieri et al., 2018; Hohensinner et al., 2018; Han and Brierley, 2020). از آن‌جا که در محدوده مورد مطالعه این پژوهش، اقدامات بهسازی رودخانه از جمله فرآیندهای اصلاح کانال در حال انجام است؛ به همین دلیل تکنیک RHAT که جزو ۱۲ درصد روش‌های دقیق‌تر دسته ارزیابی زیستگاه فیزیکی

محسوب می‌شود، برای ارزیابی وضعیت رودخانه تجن انتخاب گردید. در ادامه به تشریح این تکنیک می‌پردازیم.

در سال ۲۰۰۵ میلادی آژانس حفاظت از محیط زیست (EPA: Environmental Protection Agency) در جمهوری ایرلند و آژانس محیط زیست ایرلند شمالی، تکنیک ارزیابی سریع (RAT: Rapid Assessment Technique) را به‌عنوان روش ارزیابی میدانی برای طبقه بندی WFD ایجاد کردند. پروفسور Keith Richards و دکتر Rachel Horn توسعه‌دهندگان اولیه این تکنیک بودند. بعدها با استفاده از دانش تخصصی، راهنمایی کمیته استانداردسازی اروپا (CEN: European Committee for Standardisation) و کاربرد عملی، روش RAT و فرم‌های آن از پیش‌نویس اولیه تغییر یافتند. و روش توسعه‌یافته را روش ارزیابی هیدرومورفولوژیکی رودخانه (RHAT) نام نهادند (Murphy and Toland, 2014). از آن‌جا که این روش به‌طور مخصوص برای انطباق با رهنمود چارچوب آب توسعه داده شد و چون روش ارزیابی زیستگاه رودخانه (RHS) به‌عنوان روشی خوب برای ارزیابی زیستگاه رودخانه در سطح جهانی و قبل از WFD و حتی وسیع‌تر از آن توسعه داده شده بود، بخش‌های مرتبط با روش RHAT را با RHS ترکیب کردند (Britain, 2003; Raven et al., 1998). نسخه نهایی و تجدیدنظر شده این تکنیک در سال ۲۰۱۴ ارائه گردید.

در واقع تکنیک RHAT طراحی شد تا یک ارزیابی جامع بصری بر اساس اطلاعات ناشی از مطالعات دسکتاپ با استفاده از داده‌های GIS، عکس‌هوایی، داده‌های تاریخی و بررسی‌های میدانی باشد. برای تهیه یک طبقه‌بندی پهنه‌آبی منطبق با دستورالعمل چارچوب آب، باید حداقل یک محدوده ۵۰۰ متری برای بررسی کامل RHAT و دو بررسی کنترل نقطه‌ای در هر پهنه‌آبی انجام شود. بررسی کنترل نقطه‌ای همان اطلاعات را در بالادست و پایین‌دست جریان از نقاط موردنظر به‌عنوان یک ارزیابی کامل RHAT جمع‌آوری می‌کند (Murphy and Toland, 2014). انجام ارزیابی با این تکنیک مستلزم تکمیل ۴ کاربرگ مختلف برای هر بازه ۵۰۰ متری است. در زیر توضیحاتی در این خصوص ارائه می‌گردد:

الف) کاربرگ شماره (۱): اطلاعات ناشی از سنجش از دور و بازدید میدانی برای شناسایی سایت مورد مطالعه شامل؛ نام رودخانه، مختصات نقطه شروع و پایان محدوده مورد ارزیابی، نوع و تیپ رودخانه، نوع پوشش گیاهی، نوع زمین شناسی، تاریخ و ساعت بازدید، شرایط آب و هوایی، عرض و عمق کانال، شکل درّه، جزئیات دسترسی و ... .

ب) کاربرگ شماره (۳): مشاهدات میدانی در قطعات ۵۰ متری در امتداد محدوده مورد ارزیابی شامل: قابلیت روئیت (بستر، کناره‌ها، کاربری و پوشش اراضی حاشیه)، ویژگی‌های فیزیکی (مواد کناره، تغییرات و اصلاحات کناره، نسبت ارتفاع کناره به عرض آن، لایه بستر کانال، انواع جریان، تغییرات و اصلاحات کانال)، پوشش گیاهی کانال، کاربری و پوشش اراضی حاشیه رودخانه و بالای کناره، تعداد سازه‌های کانال (پل، منحرف کننده‌ها، مسیر ماهی رو، کالورت و ...).

ج) کاربرگ شماره (۴): مشاهدات میدانی فراگیر شامل: تغییرات و اصلاحات کانال (مستقیم الخط کردن، عمیق کردن، عریض کردن، باریک کردن و ...)، تغییرات و اصلاحات کناره (بخش‌بندی مجدد، کاملاً تقویت شده، فقط در بالا تقویت شده، فقط در پنجه تقویت شده، خاکریز، خاکریز پشتی یکدست، تجاوز شده، طبیعی-سازی مجدد و ...)، وسعت درختان در امتداد منظر کناره و بالای کناره، کناره غیربومی یا گونه‌های مهاجم، ویژگی‌های ساختاری زیستگاه (سایه کانال، درختان افتاده، زیستگاه چوبی بزرگ، بقایای سد و ...)، ویژگی‌های کناره و کانال (گیاهان و جانوران کانال، تغییرات لایه بستر، ویژگی‌های کانال طبیعی، ویژگی‌های حاشیه‌ای و کناره، سایر عوارض طبیعی)، استفاده از منبع (کشاورزی، زمین پارک، شهری، حومه شهری، جاده یا مسیر آسفالت شده، نیروی برق آبی، جنگل کاری یا جنگل زدایی، کشتی رانی، کارخانه و ...)، محدودیت جریان به صورت جانبی.

د) کاربرگ شماره (۲): در عمل، آخرین کاربرگی است که تکمیل خواهد شد و نتایج آن گویای وضعیت پهنه‌آبی می‌باشد. در این برگه هشت معیاری که توسط RHAT نمره‌دهی می‌شوند عبارتند از:

۱) مورفولوژی کانال و انواع جریان

۲) پوشش گیاهی کانال

۳) تنوع و شرایط بستر

۴) موانع تداوم

۵) ساختار و پایداری کناره

۶) پوشش گیاهی کناره و بالای کناره

۷) کاربری زمین‌های رودکناری

۸) تعامل با سیلابدشت (Murphy and Toland, 2014).

امتیازات معیارهای ۱ تا ۴ از ۰ تا ۴ متغیر بوده و امتیازات معیارهای ۵ تا ۸ که بایستی برای هر دو کناره به‌صورت مجزا لحاظ گردد از ۰ تا ۲ متغیر هستند. اگر معیاری قابل امتیازدهی نیست باید عبارت غیرقابل مشاهده را تیک زده و نمره موقتی ۲ را برای

معیارهای ۱ تا ۴، و نمره موقتی ۱ را برای معیارهای ۵ تا ۸ وارد کرد.

در گام پایانی چون روش RHAT مطابق با استانداردهای CEN توسعه داده شد (Murphy and Toland, 2014)؛ مطابقEN 15843، کلاس‌های هیدرومورفولوژیکی رودخانه به کمک جدول (۱) تعریف می‌شود.

دو استاندارد CEN برای راهنمایی هیدرومورفولوژی وجود دارد:

الف) EN 14614 (CEN 2004) که در نوامبر ۲۰۰۴ اصول و اصطلاحات عمومی را برای ارزیابی هیدرومورفولوژی رودخانه ارائه کرد.

ب) EN 15843 (CEN 2010) که در سال ۲۰۱۰، راهنمایی‌های لازم را در تعیین درجه تغییر برای هیدرومورفولوژی رودخانه ارائه داد.

جدول ۱- تعیین کلاس WFD (Murphy and Toland, 2014)

Table 1- Determination of the WFD Class (Murphy and Toland, 2014)

WFD Class	HM Score	Σ Att Scores
High	≥ ۰/۸	≥ ۲۶
Good	۰/۶ ≤ ۰/۸	< ۲۶ تا ≥ ۱۹/۵
Moderate	۰/۴ ≤ ۰/۶	< ۱۹/۵ تا ≥ ۱۳
Poor	۰/۲ ≤ ۰/۴	< ۱۳ تا ≥ ۶/۵
Bad	< ۰/۲	< ۶/۵

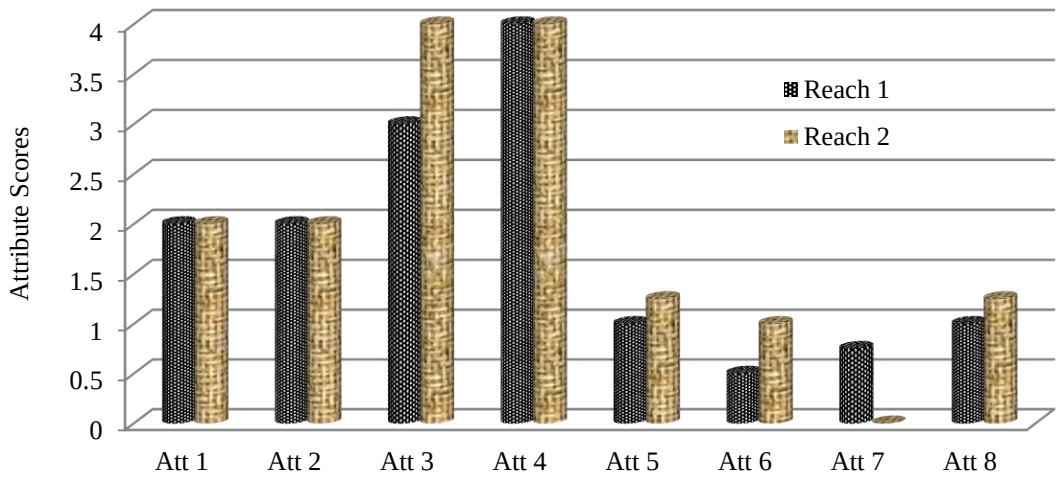
۳. نتایج

چون بخشی از فرآیند ارزیابی توسط بازدیدهای میدانی انجام می‌شود، برخی تصاویر حاصل از بازدیدها در جدول ضمیمه مقاله آمده‌است. لذا مطابق مطالعات انجام شده توسط سنجش از دور و مشاهدات میدانی؛ نتایج ارزیابی تغییرات هیدرومورفولوژیکی محدوده مورد مطالعه در رودخانه تجن بر اساس تکنیک RHAT به شرح جدول ۲ و شکل‌های (۳) و (۴) است.

جدول ۲- نتایج ارزیابی بر اساس RHAT

Table 2- Assessment results based on RHAT technique

Attribute		Reach 1		Reach 2	
		Score	Status	Score	Status
1- Channel form and flow types		2	Moderate	2	Moderate
2- Channel vegetation		2	Moderate	2	Moderate
3- Substrate condition		3	Good	4	High
4- Barriers to continuity		4	High	4	High
5- Bank structure & stability	Left Bank	0	Bad	1	Moderate
	Right Bank	2	High	1/5	Good
6- Bank vegetation	Left Bank	0	Bad	0/5	Poor
	Right Bank	1	Moderate	1/5	Good
7- Riparian land use	Left Bank	1	Moderate	0	Bad
	Right Bank	0/5	Poor	0	Bad
8-Floodplain connectivity	Left Bank	0	Bad	1	Moderate
	Right Bank	2	High	1/5	Good
Σ Attribute Scores		17/50		19/00	
HM Score		17/5÷32=0/54		19/00÷32=0/59	
WFD Class		Moderate		Moderate	



شکل ۳- نمرات شاخص های مورد ارزیابی برای دو بازه

Fig. 3- Scores of the attributes evaluated for two reaches

شکل ٤- وضعیت محدوده مورد مطالعه بر اساس نتایج ارزیابی

Fig. 4 - Status of the study range based on the assessment results

نتایج حاصل از بررسی جدول (۲) و شکل (۳) به شرح زیر است:

- شاخص‌های ۱، ۲ و ۴ در هر دو بازه به لحاظ نمره و وضعیت؛ شرایط مشابهی دارند. سایر شاخص‌ها برای دو بازه وضعیت متفاوتی را نشان می‌دهند، به‌طوری‌که شرایط شاخص ۳ در بازه دوم بهتر از بازه اول است.
- برای مقایسه شاخص‌های ۵ تا ۸ برای هر دو بازه به روش متداول RHAT نمی‌توان اظهار نظر کرد. لذا در این پژوهش

با توسعه تکنیک مزبور به کمک روش امتیازدهی جدید، امکان مقایسه این شاخص‌ها هم فراهم می‌شود. برای این منظور با اختصاص نمرات ۰، ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ به ترتیب برای وضعیت‌های بد، ضعیف، متوسط، خوب و عالی به میانگین‌گیری نمرات این شاخص‌ها در کناره چپ و راست می‌پردازیم. به این ترتیب مشابه شاخص‌های ۱ تا ۴، شاخص‌های ۵ تا ۸ نیز با یک نمره واحد تعریف می‌شوند.

- مطابق توضیحات بند فوق، پس از نمره‌دهی شاخص‌های ۵ تا ۸ به میانگین‌گیری نمرات هر شاخص پرداختیم. لذا شاخص‌های ۵، ۶ و ۸ در بازه دوم (به ترتیب با نمرات ۱/۲۵، ۱ و ۱/۲۵) شرایط بهتری نسبت به بازه اول (به ترتیب با نمرات ۱، ۰/۵ و ۱) دارند. و شاخص ۷ در بازه اول با نمره ۰/۷۵ شرایط بهتری نسبت به بازه دوم با نمره ۰ دارد.

- به‌طورکلی شاخص ۴ در هر دو بازه و همچنین شاخص ۳ در بازه دوم با نمره ۴ و وضعیت عالی، بهترین شرایط را دارند. پس از آن‌ها شاخص ۳ در بازه اول با نمره ۳ و وضعیت خوب، بهترین شرایط را دارا می‌باشد. شاخص‌های ۱ و ۲ در هر دو بازه با نمره ۲ و وضعیت متوسط در مرتبه بعدی قرار می‌گیرند. شاخص‌های ۵ و ۸ در بازه دوم با نمره میانگین ۱/۲۵، شاخص‌های ۵ و ۸ در بازه اول و شاخص ۶ در بازه دوم با نمره میانگین ۱، شاخص ۷ در بازه اول با نمره میانگین ۰/۷۵ در مراتب بعدی قرار دارند. و شاخص ۷ در بازه دوم با نمره میانگین صفر بدترین شرایط را دارد.

در یک جمع‌بندی کلی می‌توان نتیجه گرفت که شاخص‌های مرتبط با ویژگی‌های کانال رودخانه در هر دو بازه وضعیت مشابهی دارند. تنوع و شرایط بستر در بازه‌های پایین‌دست‌تر از اوضاع بهتری برخوردارند. همچنین وضعیت کناره و پایداری آن به انضمام اتصال کانال رودخانه با سیلابدشت در بازه‌های پایین‌دست، شرایط مطلوب‌تری دارند. از طرفی به دلیل تغییر کاربری اراضی حاشیه رودخانه و افزایش شدت و تمرکز خدمات ناشی از احداث زیرساخت‌های شهری در محدوده‌های پایین‌دست‌تر، شاخص ۷ در نواحی شهری پایین‌دست اوضاع نامطلوب‌تری نسبت به بازه‌های بالادست خواهد داشت.

در ادامه با توجه به بازدیدهای میدانی مکرر انجام شده در محدوده مورد مطالعه به ارائه دلایلی که منجر به انحراف هر یک از شاخص‌های مورد ارزیابی از حالت مرجع شده می‌پردازیم:

- مورفولوژی کانال و انواع جریان در هر دو بازه در وضعیت متوسط هستند. طبق بازدیدهای انجام شده ویژگی‌های بستر شامل ترکیبات متعدد سنگ‌ها از ۲ تا ۶۴ میلی‌متر و مواد طبیعی چسبنده نارنجی رنگ تا قهوه‌ای و خاکستری است. همچنین امکان جابجایی طبیعی کانال به‌واسطه عوامل طبیعی هیدرولوژیکی و مورفولوژیکی به‌علت احداث دایک های بتنی و مستقیم‌الخط کردن مسیر رودخانه، مقدور نمی‌باشد. ضمناً در محدوده مورد مطالعه جزایر متعددی در نقاط مختلف کانال رودخانه دیده می‌شود که برخی دارای پوشش گیاهی؛ شامل و فاقد درختچه هستند. همچنین کانال‌های باریک جریان در امتداد کناره‌ها مشاهده می‌شوند که برخی از آن‌ها به جریان اصلی رودخانه متصل و برخی مسدود می‌گردند. در زمان کاهش دبی جریان رودخانه، همواره نواری از ته‌نشینی مواد بستر در کانال بوجود می‌آید. در خصوص انواع جریان در محدوده مورد مطالعه امواج خیلی ملایم و چندین نوع جریان فعال مثل امواج شکسته و جریان شوت قابل ملاحضه است. بنابراین علت این میزان انحراف از حالت مرجع را می‌توان در احداث دایک‌های بتنی در امتداد مسیر جریان رودخانه و تغییر کناره‌ها از دیواره خاکی طبیعی به دیواره‌های مصنوعی با انجام فرآیندهای مهندسی سخت دانست.

- پوشش گیاهی کانال در هر دو بازه در وضعیت متوسط است. توضیح آن‌که به‌دلیل جایگزینی دیواره‌های خاکی طبیعی با دایک‌های بتنی در کناره‌های رودخانه؛ امکان اتصال میان گونه‌های گیاهی و جانوری روی کناره با ناحیه بالادست و پایین‌دست کناره‌ها و کانال رودخانه قطع شد. بنابراین احداث این سازه‌های هیدرولیکی موازی جریان رودخانه با مصالح مصنوعی (بتن) منجر به ایجاد تداخل در روند طبیعی رویش گیاه مخصوصاً گیاهان بومی در کریدور رودخانه گردید. کما اینکه در نواحی پایین‌دست محدوده مورد مطالعه که تعدد سازه‌های هیدرولیکی در آنجا بیشتر است و علاوه بر سازه‌های موازی جریان، شاهد احداث سازه‌های متعدد متقاطع جریان در فواصل نه چندان زیاد از یکدیگر هستیم؛ وجود و شیوع گونه‌های گیاهی غیربومی در نقاط مختلف کریدور رودخانه مخصوصاً در حواشی کانال و در مجاورت کناره‌ها بسیار مشهود است. با توجه به بازدیدهای میدانی مکرری که طی چندین سال انجام دادیم و تصاویر و عکس‌های موجود می‌توان اثبات کرد که عامل اصلی ایجاد و گسترش گونه‌های غیربومی از جمله نی‌های بلند در کریدور رودخانه تجن؛ تغییر شرایط جریان به‌دلیل احداث دایک‌های بتنی در کناره‌ها و احداث سازه‌های درون کانال (از جمله پایه‌های پل، جزیره پارک ملل، سد لاستیکی، بند انحرافی تجن و ...) است. چون عملاً رشد و گسترش این نی‌ها از نقاط همجوار این سازه‌ها رو به توسعه بوده و هست. لذا این امر تاکیدی بر پیامدهای مخرب ناشی از فعالیت‌های بهسازی در کریدور رودخانه است که همگی آن‌ها منجر به تحمیل فشارهای متعدد به اکوسیستم رودخانه خواهند شد.

- تنوع و شرایط بستر در بازه اول در وضعیت خوب و در بازه دوم در وضعیت عالی می‌باشد. مطابق مشاهدات میدانی انجام شده در بازه اول به‌دلیل انجام فعالیت‌های بهسازی در دست اقدام، بخش اعظم جریان توسط عوامل انسانی تحت کنترل و هدایت قرار گرفته است. ایجاد کانال‌های باریک جانبی در امتداد کناره‌ها و برگشت آب و گاهی راکد شدن آب در این کانال‌ها روی فرایندهای طبیعی انتقال رسوب اثر گذاشته و نتیجتاً شیب و دانه‌بندی مصالح بستر را تحت تاثیر قرار خواهد داد. همچنین به‌دلیل برداشت شن و ماسه در این قسمت؛ قطعاً تنوع مواد و مصالح موجود در بستر از

حالت مرجع خود خارج شده است. کما اینکه با ادامه فعالیت‌های مزبور و تداوم فشارهای انسانی وارده، انتظار داریم میزان انحراف از حالت مرجع برای این شاخص در این بخش از رودخانه بیشتر شود. اما در بازه دوم به‌دلیل اتمام فرایندهای بهسازی کانال و رها نمودن کانال به حال خود؛ رودخانه توانسته است تا حد زیادی بستر طبیعی خود را احیا نماید. لازم به ذکر می‌باشد در صورت احداث دراپ، پل، سد لاستیکی و هر گونه سازه هیدرولیکی متقاطع جریان با مصالح مصنوعی از جمله بتن در کانال رودخانه، قطعاً به‌دلیل تغییر دائمی بخشی از بستر رودخانه در آن قسمت، در عین رها سازی رودخانه به حال خود، امکان احیای بستر به وضعیت مرجع توسط فرایندهای طبیعی هیدرولوژیکی و مورفولوژیکی رودخانه امکان‌پذیر نخواهد بود.

- موانع تداوم در هر دو بازه در وضعیت عالی هستند. علت آن است که در محدوده مورد مطالعه شاهد احداث هیچگونه سازه هیدرولیکی متقاطع جریان نیستیم. لذا هیچگونه مانعی در راستای برقراری ارتباط میان جریان بالادست و پایین‌دست محدوده مورد مطالعه وجود ندارد. همین امر تا حد زیادی منجر به حفظ ارتباط جوامع زیستی ناحیه بالادست و پایین‌دست این محدوده خواهد شد.

- ساختار و پایداری کناره در بازه اول برای کناره چپ در وضعیت بد، برای کناره راست در وضعیت عالی، در بازه دوم برای کناره چپ در وضعیت متوسط و برای کناره راست در وضعیت خوب است. زیرا مطابق مشاهدات میدانی انجام شده؛ فعالیت‌های بهسازی کریدور رودخانه در محدوده مورد مطالعه متمرکز بر کناره چپ رودخانه تجن است. در حالی‌که کناره راست این محدوده در وضعیت کاملاً طبیعی (زمین بکر) و نسبتاً پایدار می‌باشد. از نظر میزان تجاوز صورت گرفته، کناره چپ تحت تاثیر تجاوزات ناشی از فعالیت‌های زندگی شهرنشینی (عبور انسان‌ها، وسایل نقلیه، احداث راه، تامین فضای تفریح و تفرج) و کناره چپ تحت تاثیر فعالیت‌های کشاورزی و گاهاً دامپروری می‌باشد. لذا میزان تجاوزات صورت گرفته در کناره چپ خیلی بیشتر از کناره راست است.

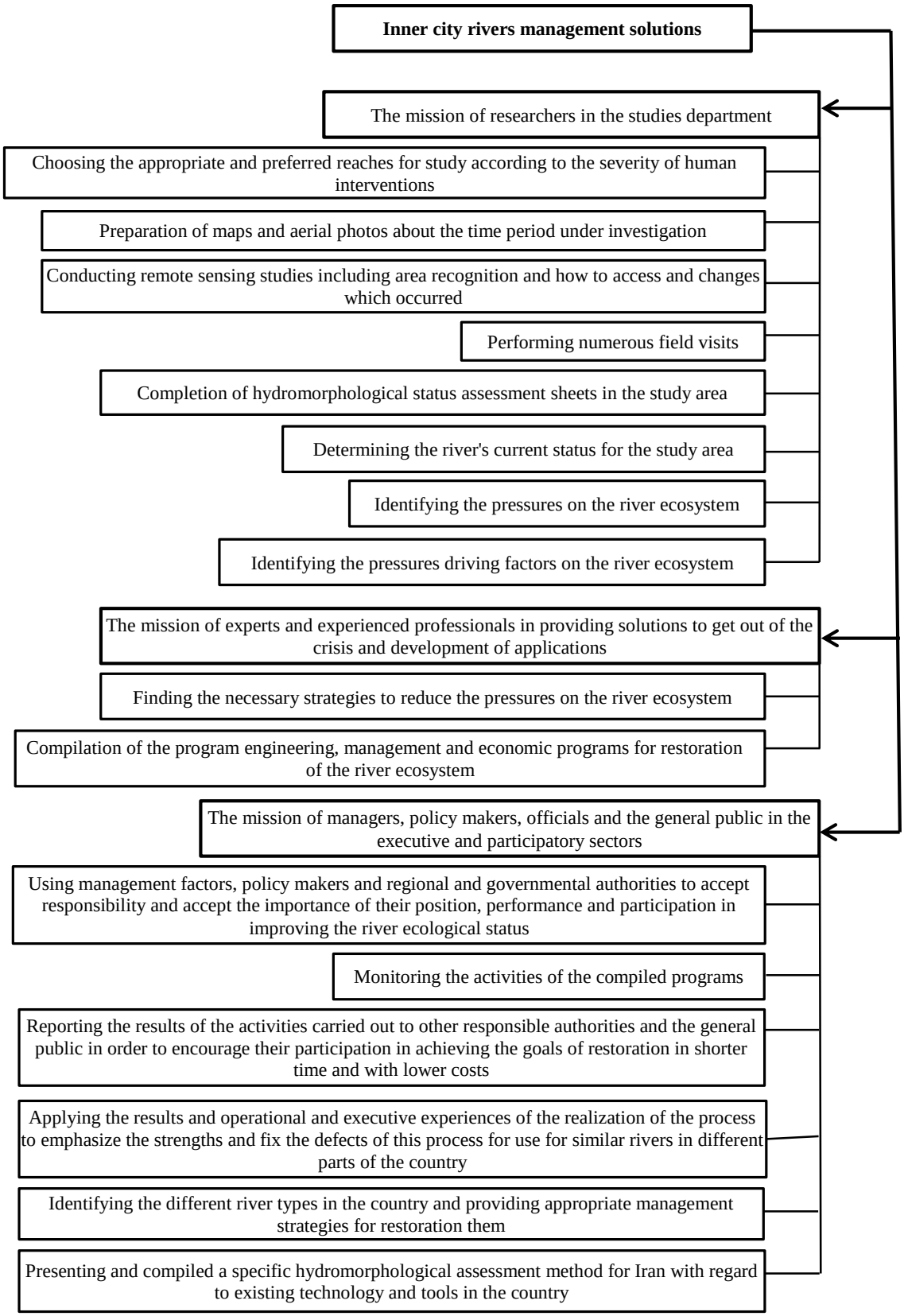
- پوشش گیاهی کناره در بازه اول برای کناره چپ در وضعیت بد، برای کناره راست در وضعیت متوسط، در بازه دوم برای کناره چپ در وضعیت ضعیف و برای کناره راست در وضعیت خوب می‌باشد. با توجه به بازدیدهای میدانی انجام شده، گیاهان همیشگی چندین ساله با تنوع و گستردگی متفاوتی قابل مشاهده هستند. به‌طورکلی وضعیت پوشش گیاهی کناره چپ به‌دلیل در دست اقدام بودن فعالیت‌های بهسازی رودخانه و تامین فضای سبز شهری برای تفریح و تفرج شهروندان، دچار انحراف بیشتری از حالت مرجع شده است. در حالی‌که در کناره راست محدوده مورد مطالعه به‌دلیل نوع کاربری اراضی که در بیش از ۸۰ درصد از نوع کشاورزی باشد، این میزان انحراف از حالت مرجع کمتر است.

- کاربری اراضی حاشیه‌ای در بازه اول برای کناره چپ در وضعیت متوسط و برای کناره راست در وضعیت ضعیف است. در حالی‌که در بازه دوم برای هر دو کناره در وضعیت بد می‌باشد. این شاخص به‌معنای ارزیابی کاربری اراضی کناره و پوشش گیاهی کناره شامل سه ناحیه (الف: بالادست کناره تا فاصله ۱ متری، ب: بالادست کناره از فاصله ۱ متری تا ۵ متری، ج: بالادست کناره از فاصله ۵ متری تا ۲۰ متری) است. کناره چپ هر دو بازه و کناره راست بازه اول شامل درخت یا بوته‌های کوتاه و رشد نکرده، درختچه، علف و گیاه و کناره راست در بازه دوم شامل گیاهان بلند و کوتاه و علف می‌باشد. نوع کاربری اراضی کناره چپ بازه اول شامل زمین‌های کشاورزی، حومه شهری (در حال تبدیل شدن به پارک) و مسیر خاکی؛ کناره راست بازه اول شامل زمین‌های کشاورزی و حومه-شهری است. در بازه دوم، کاربری اراضی کناره چپ شامل ناحیه حومه‌شهری (در حال تبدیل شدن به پارک)، شهری، جاده و مسیر خاکی و همچنین جاده آسفالته (زیرگذر) و کناره راست شامل ناحیه حومه‌شهری، زمین کشاورزی، ناحیه شهری و حتی فضایی برای ماهیگیری و گاهاً شنا می‌باشد.

- اتصال سیلابدشت در بازه اول برای کناره چپ در وضعیت بد، برای کناره راست در وضعیت عالی، در بازه دوم برای کناره چپ در وضعیت متوسط و برای کناره راست در وضعیت خوب می‌باشد. کاربری اراضی کناره راست محدوده مورد مطالعه غالباً از نوع کشاورزی و در انتهای محدوده از نوع شهری است، ضمن اینکه اختلاف ارتفاع کم میان بستر کانال و اراضی کناره راست و همچنین طبیعی بودن کناره (زمین بکر دارای پوشش گیاهی با تراکم متنوع) امکان جابجایی طبیعی کریدور رودخانه را در این بخش فراهم می-کند. بنابراین در صورت سیلابی شدن رودخانه امکان گسترش جریان سیلابی به زمین‌های همجوار فراهم بوده و همین مسئله موجب کاهش انحراف این شاخص از حالت مرجع در کناره راست می‌باشد. در انتهای محدوده مورد مطالعه که به ناحیه شهری می-رسیم، به‌دلیل وجود صخره‌های طبیعی مرتفع؛ سیلابدشت محدودتری در شرایط سیلابی در اختیار رودخانه قرار دارد و همین عامل موجب تفاوت وضعیت این شاخص در بازه اول و دوم است. در کناره چپ به‌دلیل احداث دایک‌های بتنی و ایجاد اختلاف ارتفاع بیشتر با اراضی حاشیه‌ای (در مقایسه با کناره راست)، امکان توسعه و انتقال جریان سیلابی به اراضی حاشیه‌ای سخت‌تر است.

٤. بحث

با توجه به جدول (۲)؛ اگرچه جمع نمرات شاخص‌ها در بازه اول کمتر از جمع نمرات شاخص‌ها در بازه دوم شد اما به لحاظ کلاس WFD هر دو بازه در وضعیت متوسط به سر می‌برند.



شکل ۵- راهکارهای مدیریتی برای تقلیل آسیب های وارده به رودخانه های درون شهری

Fig. 5- Management solutions to reduce damages to inner rivers

این نتایج با نتایج پژوهش Fendereski et al. (2022) روی رودخانه تجن که با روش HMQI صورت گرفته مطابقت دارد. که این خود دلیلی بر صحت نتایج بدست آمده در این پژوهش می‌باشد.

بنابراین طبق تکنیک RHAT هر دو بازه به‌دلیل مداخلات انسانی که رو به توسعه است، در وضعیت نامناسبی هستند. ضمن اینکه با توجه به ارزیابی‌های انجام شده، عامل اصلی تنزل کیفیت هیدرومورفولوژیکی رودخانه تجن؛ انحراف شاخص کاربری اراضی حاشیه‌ای از حالت مرجع است که این نتیجه هم با نتیجه پژوهش Fendereski et al. (2022) کاملاً منطبق است. از طرفی می‌توان نتیجه گرفت که انحراف سایر شاخص‌های ارزیابی شده از حالت مرجع؛ در حقیقت تبعات ناشی از تغییر کاربری اراضی حاشیه رودخانه هستند. دلیل این مدعا آن است که با توجه به رشد جمعیت شهرنشین، نیاز به فضای کافی برای تأمین مسکن بوجود می‌آید. که این نیاز در شهرهای بزرگ و مراکز استان‌ها بیشتر محسوس است.

همچنین با توجه به افزایش فشارهای روحی و روانی ناشی از زندگی شهری و صنعتی، نیاز به تأمین فضای سبز به‌عنوان فضای طبیعی و بکر برای تقلیل استرس‌های انسانی رو به فزونی می‌باشد. همین موضوع کافیست تا مسئولین و مراجع ذی‌صلاح برای تسهیل بهره‌مندی شهروندان از فضای سبز حاشیه رودخانه به ساخت سازه‌های متعدد از جمله راه‌های دسترسی به حاشیه رودخانه و حتی ارتباط میان سواحل رودخانه اقدام نمایند. از طرفی شهر ساری به دلیل مرکز استان بودن، جنبه جذب توریست دارد. لذا موضوع افزایش پتانسل شهر برای ارتقای سطح درآمد گردشگری نیز مطرح می‌شود. که این خود دلیل مضاعفی برای انجام اقدامات متعدد بهسازی رودخانه تجن و ساخت سازه‌های هیدرولیکی در فواصل کوتاه به منظور تمرکز و جمع‌آوری آب برای مقاصد قایق‌رانی، ایجاد فضای مطلوب و آرامش‌بخش و ... است. کمااینکه توسعه فضای پارک ملل به ناحیه بالادست شهر ساری گواهی بر این مدعاست. بنابراین با وجود فشارهای فعلی و افزایش این فشارها بر کریدور رودخانه تجن، انتظار داریم در صورت عدم توقف این طرح‌ها، میزان انحراف وضعیت اکولوژیکی رودخانه از حالت مرجع با سرعتی بیش‌تر از قبل ادامه یابد. لذا پیش‌بینی می‌شود مطابق مطالعات و ارزیابی‌های انجام شده پیشین در کشورهای مختلف و در پروژه‌های گوناگون؛ و همچنین با توجه به شناسایی عوامل ایجاد کننده انحراف از شرایط مرجع در رودخانه تجن، به‌عنوان گام اول فرآیند باززنده سازی تجن احتمالاً با حذف سازه‌های حفاظت از کناره و نتیجتاً برقراری امکان جابجایی آزاد جریان در کریدور رودخانه، بیشترین بهبود در وضعیت هیدرومورفولوژیکی و نهایتاً ارتقای وضعیت اکولوژیکی رودخانه تجن محقق گردد. لذا انجام اقدامات باززنده‌سازی در این محدوده شهری جزو ضروریات حفظ منابع آب شیرین در دسترس است. از طرفی با توجه به نتایج ارزیابی این محدوده و با عنایت به میزان شدت مداخلات انسانی در بازه‌های پایین‌دست‌تر، می‌توان دریافت که قطعاً نواحی پایین‌دست این محدوده شرایط هیدرومورفولوژیکی نامساعدی خواهند داشت. این نتایج بر لزوم توقف فشارهای وارده به اکوسیستم رودخانه در ناحیه شهری ساری و کاهش دخل و تصرف‌های ناشی از فعالیت‌های مهندسی رودخانه با نگاه قدیم تأکید دارد. که در این میان، اقشار مختلف جامعه نقش آفرین هستند و بایستی به اهمیت جایگاه و میزان اثرگذاری آن‌ها بر بهبود وضعیت رودخانه دقت نمود.

در یک جمع‌بندی نهایی برای نیل به اهداف این پژوهش می‌توان سه گام مجزا تحت عنوان الف) رسالت پژوهشگران در بخش مطالعات رودخانه‌ای؛ ب) رسالت خبرگان و متخصصین با تجربه در بخش ارائه راهکارهای برون رفت از بحران و تدوین برنامه‌های کاربردی؛ ج) رسالت مدیران، سیاست گذاران، مسئولین و عموم جامعه در بخش‌های اجرایی و مشارکتی را به‌عنوان راهکارهای مدیریتی برای تقلیل آسیب‌های وارده به رودخانه‌های درون شهری پیشنهاد کرد که مطابق شکل (۵) شامل زیربخش‌های مختلفی می‌باشند. امید است با بازنگری طرح‌های در دست اقدام و انجام مطالعات به‌روز با رویکرد نوین مهندسی رودخانه بتوان موجبات بهبود وضعیت رودخانه‌های کشور به شرایط عالی را شاهد بود.

Refrences:

Belletti, B., Garcia de Leaniz, C., Jones, J., Bizzi, S., Börger, L., Segura, G., Castelletti, A., Van de Bund, W., Aarestrup, K., Barry, J. and Belka, K., 2020. More than one million barriers fragment Europe's rivers. *Nature*, *588*(7838), pp.436-441. https://doi.org/10.1038/s41586-020-3005-2

Belletti, B., Rinaldi, M., Buijse, A.D., Gurnell, A.M. and Mosselman, E., 2015. A review of assessment methods for river hydromorphology. *Environmental Earth Sciences*, 73, pp.2079-2100. https://doi.org/10.1007/s12665-014-3558-1

Birk, S., 2008. Review of European assessment methods for rivers and streams using Benthic Invertebrates, Aquatic Flora, Fish and Hydromorphology *(Doctoral dissertation, Diplomarbeit, Duisburg, Essen, Universität Duisburg-Essen)*.

Boota, M.W., Yan, C., Idrees, M.B., Li, Z., Soomro, S.E.H., Dou, M., Zohaib, M. and

England, J., Angelopoulos, N., Cooksley, S., Dodd, J., Gill, A., Gilvear, D., Johnson, M., Naura, M., O'hare, M., Tree, A. and Wheeldon, J., 2021. Best practices for monitoring and assessing the ecological response to river restoration. *Water*, *13*(23), p.3352. https://doi.org/10.3390/w13233352

England, J., Skinner, K.S. and Carter, M.G., 2008. Monitoring, river restoration and the Water Framework Directive. *Water and Environment Journal*, *22*(4), pp.227-234. https://doi.org/10.1111/j.17476593.2007.00090.x

Feld, C.K., de Bello, F., Bugter, R., Grandin, U., Hering, D., Lavorel, S., Mountford, O., Pardo, I., Pärtel, M., Römbke, J. and Martins da Silva, P., 2007. Assessing and monitoring ecosystems–indicators, concepts and their linkage to biodiversity and ecosystem services. D4. 1 Review paper on ecological indicators.

Fendereski, N., Masoudian, M. and Röttcher, K., 2022. Evaluating the hydromorphological condition of Tajan River using HMQI Method. *Watershed Engineering and Management*, 14(2), pp.185-201. https://doi.org/10.22092/ijwmse.2021.353586.1881

Golfieri, B., Surian, N. and 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, pp.525-534. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.09.011

Grizzetti, B., Liquete, C., Pistocchi, A., Vigiak, O., Zulian, G., Bouraoui, F., De Roo, A. and Cardoso, A.C., 2019. Relationship between ecological condition and ecosystem services in European rivers, lakes and coastal waters. *Science of the Total Environment*, 671, pp.452-465. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.155

Gumiero, B., Mant, J., Hein, T., Elso, J. and Boz, B., 2013. Linking the restoration of rivers and riparian zones/wetlands in Europe: Sharing knowledge through case studies. *Ecological Engineering*, 56, pp.36-50. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.12.103

Gündüz, O. and Şimşek, C., 2021. Assessment of river alteration using a new hydromorphological index. *Environmental Monitoring and Assessment*, *193*(4), p.226. https://doi.org/10.1007/s10661-021-09018-w

Yousaf, A., 2021. Assessment of the morphological trends and sediment dynamics in the Indus River, Pakistan. *Journal of Water and Climate Change*, *12*(7), pp.3082-3098. https://doi.org/10.2166/wcc.2021.125

Britain, G., 2003. River Habitat Survey in Britain and Ireland: Field Survey Guidance Manual. *Environment Agency*.

Clarke, S.J., Bruce-Burgess, L. and Wharton, G., 2003. Linking form and function: towards an eco-hydromorphic approach to sustainable river restoration. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, *13*(5), pp.439-450. https://doi.org/10.1002/aqc.591

Cliquet, A., 2014. International and European law on protected areas and climate change: need for adaptation or implementation?. *Environmental Management*, *54*(4), pp.720-731. https://doi.org/10.1007/s00267-013-0228-0

Cochero, J., Cortelezzi, A., Tarda, A.S. and Gómez, N., 2016. An index to evaluate the fluvial habitat degradation in lowland urban streams. *Ecological indicators*, 71, pp.134-144. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.06.058

Debnath, J., Pan, N.D., Ahmed, I. and Bhowmik, M., 2017. Channel migration and its impact on land use/land cover using RS and GIS: A study on Khowai River of Tripura, North-East India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 20(2), pp.197-210.https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.01.009

Del Tánago, M.G., Martínez-Fernández, V., Aguiar, F.C., Bertoldi, W., Dufour, S., de Jalón, D.G., Garófano-Gómez, V., Mandzukovski, D. and Rodríguez-González, P.M., 2021. Improving river hydromorphological assessment through better integration of riparian vegetation: Scientific evidence and guidelines. *Journal of Environmental Management*, 292, p.112730. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112730

Directive, W.F., 2000. EU Water framework directive. *EC Directive*, *60*.

El Hourani, M., Härtling, J. and 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), p.120. https://doi.org/10.3390/hydrology9070120

Hajdukiewicz, H., Wyżga, B., Zawiejska, J., Amirowicz, A., Oglęcki, P. and Radecki-Pawlik, A., 2017. Assessment of river hydromorphological quality for restoration purposes: an example of the application of RHQ method to a Polish Carpathian river. *Acta Geophysica*, 65, pp.423-440. https://doi.org/10.1007/s11600-017-0044-7

Han, M. and Brierley, G., 2020. Channel geomorphology and riparian vegetation interactions along four anabranching reaches of the Upper Yellow River. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 44(6), pp.898-922. https://doi.org/10.1177/0309133320938768

Hohensinner, S., Hauer, C. and Muhar, S., 2018. River morphology, channelization, and habitat restoration. *Riverine ecosystem management: science for governing towards a sustainable future*, pp.41-65. https://doi.org/10.1007/978-3-319-73250-3

Huang, X., Suwal, N., Fan, J., Pandey, K.P. and Jia, Y., 2019. Hydrological Alteration Assessment by Histogram Comparison Approach: A Case Study of Erdu River Basin, China. *Journal of Coastal Research*, *93*(SI), pp.139-145. https://doi.org/10.2112/SI93-020.1

Ioana-Toroimac, G., 2018. Outcomes of the hydromorphology integration in the Water Framework Directive: A review based on science mapping. *Journal of environmental management*, 206, pp.1135-1144. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.078

Josefsson, H., 2015. Ecological status as a legal construct—Determining its legal and ecological meaning. *Journal of Environmental Law*, *27*(2), pp.231-258. https://doi.org/10.1093/jel/eqv009

Josefsson, H. and Baaner, L., 2011. The Water Framework Directive—a directive for the twenty-first century? *Journal of Environmental Law*, 23(3), pp.463-486. https://doi.org/10.1093/jel/eqr018

Jumani, S., Deitch, M.J., Kaplan, D., Anderson, E.P., Krishnaswamy, J., Lecours, V. and Whiles, M.R., 2020. River fragmentation and flow alteration metrics: a review of methods and directions for future research. *Environmental Research Letters*, *15*(12), p.123009. https://doi.org/10.1088/1748-9326/abcb37

Kondolf, G.M., Piégay, H., Schmitt, L. and Montgomery, D.R., 2016. Geomorphic classification of rivers and streams. *Tools in fluvial geomorphology*, pp.133-158. https://doi.org/10.1002/9781118648551.ch7

Licciardello, F., Barbagallo, S., Muratore, S.M., Toscano, A., Giuffrida, E.R. and Cirelli, G.L., 2021. Hydro-Morphological Assessment of Dittaino River, Eastern Sicily, Italy. *Water*, 13(18), p.2499. https://doi.org/10.3390/w13182499

Marcinkowski, P., Kiczko, A. and Kardel, I., 2022. Large-scale assessment of spatial variability in stream power distribution: An indicator of channel erosion and deposition potential. *Journal of Hydrology*, 605, p.127319. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127319

Müller, H., Hörbinger, S., Franta, F., Mendes, A., Li, J., Cao, P., Baoligao, B., Xu, F. and Rauch, H.P., 2022. Hydromorphological assessment as the basis for ecosystem restoration in the Nanxi River Basin (China). *Land*, *11*(2), p.193. https://doi.org/10.3390/land11020193

Murphy, M. and Toland, M., 2014. River Hydromorphology Assessment Technique (RHAT) Training Manual–Version 2. https://doi.org/10.13140/2.1.1877.1201

Nadeau, T.L., Leibowitz, S.G., Wigington, P.J., Ebersole, J.L., Fritz, K.M., Coulombe, R.A., Comeleo, R.L. and Blocksom, K.A., 2015. Validation of rapid assessment methods to determine streamflow duration classes in the Pacific Northwest, USA. *Environmental management*, 56, pp.34-53. https://doi.org/10.1007/s00267-015-0466-4

Napiórkowska-Krzebietke, A., Chybowski, Ł., Prus, P. and Adamczyk, M., 2020. Assessment criteria and ecological classification of Polish lakes and rivers: Limitations and current state. *Polish River Basins and Lakes–Part II: Biological Status and Water Management*, pp.295-325. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12139-6_14

Newson, M., 2022. Fluvial geomorphology and environmental design: Restitution for damage, rehabilitation, restoration or rewilding?. *Earth Surface Processes and Landforms*, 47(2), pp.409-421. https://doi.org/10.1002/esp.5256

Newson, M.D. and Large, A.R., 2006. 'Natural'rivers, 'hydromorphological quality'and river restoration: a challenging new agenda for applied fluvial

environmental management, 202, pp.363-378. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.11.036

Rinaldi, M., Surian, N., Comiti, F. and Bussettini, M., 2013. A method for the assessment and analysis of the hydromorphological condition of Italian streams: The Morphological Quality Index (MQI). *Geomorphology*, 180, pp.96-108. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.09.009

Rouillard, J., Lago, M., Abhold, K., Röschel, L., Kafyeke, T., Mattheiß, V. and Klimmek, H., 2018. Protecting aquatic biodiversity in Europe: How much do EU environmental policies support ecosystem-based management?. *Ambio*, 47, pp.15-24. https://doi.org/10.1007/s13280-017-0928-4

Sanz, C.B., Dunbar, M., María, J., Torres, H., Quintana, J.R. and Puyuelo, R.S., 2012. ENVIRONMENTAL FLOWS IN THE EU.

Shuker, L.J., Gurnell, A.M., Wharton, G., Gurnell, D.J., England, J., Finn Leeming, B.F. and Beach, E., 2017. MoRPh: a citizen science tool for monitoring and appraising physical habitat changes in rivers. *Water and Environment Journal*, *31*(3), pp.418-424. https://doi.org/10.1111/wej.12259

Stefanidis, K., Kouvarda, T., Latsiou, A., Papaioannou, G., Gritzalis, K. and Dimitriou, E., 2022. A comparative evaluation of Hydromorphological assessment methods applied in rivers of Greece. *Hydrology*, *9*(3), p.43. https://doi.org/10.3390/hydrology9030043

Street, G.W. and Longford, C., 2015. *Environmental report*.

Stubbington, R., Chadd, R., Cid, N., Csabai, Z., Miliša, M., Morais, M., Munné, A., Pařil, P., Pešić, V., Tziortzis, I. and Verdonschot, R.C., 2018. Biomonitoring of intermittent rivers and ephemeral streams in Europe: Current practice and priorities to enhance ecological status assessments. *Science of the total environment*, 618, pp.1096-1113. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.137

Szoszkiewicz, K., Jusik, S., Gebler, D., Achtenberg, K., Adynkiewicz-Piragas, M., Radecki-Pawlik, A., Okruszko, T., Giełczewski, M., Marcinkowski, P., Pietruczuk, K. and Przesmycki, M., 2020. Hydromorphological Index for Rivers (HIR): A new method for hydromorphological assessment and classification for flowing

geomorphology. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, *31*(13), pp.1606-1624. https://doi.org/10.1002/esp.1430

Nones, M., Gerstgraser, C. and Wharton, G., 2017. Consideration of hydromorphology and sediment in the implementation of the EU water framework and floods directives: A comparative analysis of selected EU member states. *Water and Environment Journal*, *31*(3), pp.324-329. https://doi.org/10.1111/wej.12247.

Palmer, M.A., Menninger, H.L. and Bernhardt, E., 2010. River restoration, habitat heterogeneity and biodiversity: a failure of theory or practice? *Freshwater biology*, 55, pp.205-222. https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02372.x

Rabanaque, M.P., Martínez-Fernández, V., Calle, M. and Benito, G., 2022. Basin-wide hydromorphological analysis of ephemeral streams using machine learning algorithms. *Earth Surface Processes and Landforms*, 47(1), pp.328-344. https://doi.org/10.1002/esp.5250

Radinger, J., Hölker, F., Horký, P., Slavík, O. and Wolter, C., 2018. Improved river continuity facilitates fishes' abilities to track future environmental changes. *Journal of Environmental Management*, 208, pp.169-179. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.12.011

Raven, P.J., Holmes, N.T.H., Charrier, P., Dawson, F.H., Naura, M. and Boon, P.J., 2002. Towards a harmonized approach for hydromorphological assessment of rivers in Europe: a qualitative comparison of three survey methods. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 12(4), pp.405-424. https://doi.org/10.1002/aqc.536

Raven, P.J., Holmes, N.T.H., Dawson, F.H. and Everard, M., 1998. Quality assessment using river habitat survey data. *Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems*, 8(4), pp.477-499. https://doi.org/10.1002/(SICI)10990755(199807/08)8:4%3C477::AIDAQC299%3E3.0.C;2-K

Rinaldi, M., Belletti, B., Bussettini, M., Comiti, F., Golfieri, B., Lastoria, B., Marchese, E., Nardi, L. and Surian, N., 2017. New tools for the hydromorphological assessment and monitoring of European streams. *Journal of*

waters in Poland. *Journal of Ecological Engineering*, 21(8).

Van Rees, C.B., Waylen, K.A., Schmidt-Kloiber, A., Thackeray, S.J., Kalinkat, G., Martens, K., Domisch, S., Lillebø, A.I., Hermoso, V., Grossart, H.P. and Schinegger, R., 2021. Safeguarding freshwater life beyond 2020: Recommendations for the new global biodiversity framework from the European experience. *Conservation Letters*, *14*(1), p.e12771. https://doi.org/10.1111/conl.12771

Vaughan, I.P., Diamond, M., Gurnell, A.M., Hall, K.A., Jenkins, A., Milner, N.J., Naylor, L.A., Sear, D.A., Woodward, G. and Ormerod, S.J., 2009. Integrating ecology with hydromorphology: a priority for river science and management. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, *19*(1), pp.113-125. https://doi.org/10.1002/aqc.895

Waylen, K.A., Blackstock, K.L., Van Hulst, F.J., Damian, C., Horváth, F., Johnson, R.K., Kanka, R., Külvik, M., Macleod, C.J., Meissner, K. and Oprina-Pavelescu, M.M., 2019. Policy-driven monitoring and evaluation: Does it support adaptive management of socio-ecological systems?. *Science of the total environment*, 662, pp.373-384. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.462

Wharton, G. and Gilvear, D.J., 2007. River restoration in the UK: Meeting the dual needs of the European Union Water Framework Directive and flood defence?. *International Journal of River Basin Management*, 5(2), pp.143-154. https://doi.org/10.1080/15715124.2007.9635314

Wiatkowski, M. and Tomczyk, P., 2018. Comparative assessment of the hydromorphological status of the rivers Odra, Bystrzyca, and Ślęza using the RHS, LAWA, QBR, and HEM methods above and below the hydropower plants. *Water*, 10(7), p.855. https://doi.org/10.3390/w10070855

Williams, K.H., 2005. Linking channel stability and bed sediment characteristics to biological integrity in Tennessee Ridge and Valley streams. https://trace.tennessee.edu/utk_gradthes/2542

Appendix Tables: Field visits and attributes assessment

شاخص ۱- مورفولوژی کانال و انواع جریان
Attribute 1- Channel form and flow types

	Reach 1	**Channel Substrate**
	Reach 2	
	Reach 1	**Flow Type**

	Reach 2	
	Reach 1	Channel Modifications
	Reach 2	
	Reach 1	Natural Channel Features
	Reach 2	

شاخص ۲- پوشش گیاهی کانال
Attributr 2- Channel vegetation

	Reach 1	Channel vegetation present
	Reach 2	
	Reach 1	Riparian land cover and banktop vegetation structure

	Reach 2	
	Reach 1	Extent of Trees along Bankface and Banktop
	Reach 2	

شاخص ۳- تنوع و شرایط بستر
Attribute 3- Substrate condition

	Reach 1	Number of Channel Structures
	Reach 2	
	Reach 1	Other natural features

	Reach 2

شاخص ٤- موانع تداوم
Attribute 4- Barriers to continuity

	Reach 1
	Reach 2

شاخص ٥- ساختار و پایداری کناره
Attribute 5- Bank structure and stability

	Left Bank	Reach 1
	Right Bank	Bank Material
	Left Bank	Reach 2

	Right Bank		
	Left Bank	Reach 1	Bank Modifications
None	Right Bank		
	Left Bank	Reach 2	
None	Right Bank		
The bankfull height is not more than a quarter of the bankfull width	Left Bank	Reach 1	Full height to full width ratio for bank
	Right Bank		
	Left Bank	Reach 2	
	Right Bank		
None	Left Bank	Reach 1	
	Right Bank		
	Left Bank	Reach 2	Marginal & bank features
	Right Bank		

شاخص ٦- پوشش گیاهی کناره
Attribute 6- Bank vegetation

Butterbur	Left Bank	Reach۱	Bank Non-Natives
	Right Bank		
	Left Bank	Reach 2	
	Right Bank		

شاخص ۷- کاربری زمین رود کناری
Attribute 7- Riparian land use

	Left Bank	Reach 1	Riparian land use/cover and banktop vegetation structure
	Right Bank		
	Left Bank	Reach 2	
	Right Bank		
Agriculture Suburban Dirt road or trail	Left Bank	1 Reach	Resource Use
Agriculture Suburban	Right Bank		
Suburban Dirt road or trail Urban Paved road or trail	Left Bank	Reach 2	
Suburban Agriculture Urban House Fishing Recreation	Right Bank		

شاخص ۸- پیوستگی سیلابدشت
Attribute 8- Floodplain connectivity

	Left Bank	Reach 1
	Right Bank	
	Left Bank	Reach 2
	Right Bank	

شکل ۱- راهکارهای مدیریتی برای تقلیل آسیب‌های وارده به رودخانه‌های درون شهری
Fig. 1- Management solutions to reduce damages to inner rivers