Morphological quality analysis of urban river corridor of Zayandeh Rood in Isfahan using the MQI method (from Najvan Park to Ashkavand Bridge)

Marzieh ahmadi [a], amir karam [b], shila hajehforoshnia[c]*
[a]*Master's degree of Geomorphology, Faculty of Geographical Science, Kharazmi University, Tehran, Iran*
[b]*Associate professor of Geomorphology, Faculty of Geographical Science, Kharazmi University, Tehran, Iran*
[c] *Assistant professor, Research Division of Natural Resources, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Isfahan, Iran*

Research Full Paper
Article History (Received: 2024/06/18 Accepted: 2024/11/3)

Extended abstract

1- Introduction

The drying of the river in recent years has caused disruption of the river ecosystem and loss of aquatic life and vegetation. Among the other main problems of the drying up of the Zayandeh Rood River, the following can be mentioned: disturbance of the form and process and function of the geomorphology of the river, loss of vegetation, destruction of the aquatic ecosystem and water pollution, reduction of the groundwater level. And finally, the destruction of the environment of the Gavkhoni wetland and as a result of it becoming a center of micro-pollution and from the point of view of the city dwellers, tourism has decreased, the view and the beautiful view of the city along the river has also been lost. This issue has also had a negative impact on the microclimate of the city. Therefore, it is necessary to carry out deep and comprehensive studies and investigations on the current morphological and hydrological conditions of the river in order to minimize these problems and issues by finding suitable solutions. Considering the drying up of Zayandeh Rood river and severe human changes in this urban river, the purpose of this research is to evaluate the condition and morphological quality of Zayandeh Rood river in the urban part of Isfahan. For this purpose, the MQI morphological quality index method will be used. This method is a new method for classifying the quality and performance of rivers. This method provides an approach to evaluate the morphological quality of rivers and its improvement strategies by considering all river forms and processes, past analysis and adjustment and changes of the river channel.

2- Methodology

In this research, the morphological quality of the Zayandeh Rood River has been investigated and analyzed with the MQI model (from Najvan Park to Ashkavand Bridge). In this study, a 16 km path of the river was divided into 6 sections.
The River Morphological Quality Index (MQI) method consists of two main phases and several sub-phases. The first phase studied the current trends in the assessment of the morphological conditions of the river and includes the investigation of the natural characteristics of the basin, the investigation of the morphology of the river channel and the division of the river. These ranges represent the primary units for evaluating morphological conditions
In the second phase, to evaluate the morphological quality of river basins, the following three aspects are taken into consideration: Continuity of river processes, including longitudinal and transverse continuity, The morphological conditions of the conduit including the conduit pattern, cross section shape and bed sediments, Vegetation.

3-result

To implement the MQI method, the area and route of this 16 km section of the river from Najvan Park (Kalamkar Bridge) to Ashkavand Ring Bridge was divided in the inner city and the urban outskirts of Isfahan. This division is based on criteria such as changes in the width of the channel, changes in the width of the alluvial plain, the presence of bridges, the presence and changes of marginal vegetation, the presence of artificial structures, the channel planform (straight, winding), the presence or absence of banks It is fixed, the changes in the size of bed

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.96]

sediment, as well as field investigations and visual evaluation of Google Earth images, and it was divided into 6 intervals. The morphological quality of the river basins including: continuity of river processes, morphological conditions of the channel and vegetation were evaluated. With field studies, the use of Google Earth images and the implementation of the MQI model, the results of this research showed that the first, fifth, and sixth ranges with scores of 0.57, 0.66, and 0.58 are in the category of medium morphological quality, these ranges are outside the urban area. are located and geomorphologically, they are in a better condition than other ranges. The second, third, and fourth ranges are located in the urban area with scores of 0.38, 0.41, and 0.48, respectively, and have suffered the most human changes and are in the weakest state in terms of geomorphology.

4- Discussion & Conclusions

By classifying the types of river channels and evaluating their morphological and functional quality, it is possible to use many specific management solutions, including various restoration methods and hard to soft engineering to improve their conditions. Regarding the revitalization of the Zayandeh Rood urban river, it is necessary to consider the basic flow of water for the river by respecting the water rights of the river and providing a minimum discharge, reducing the pumping of water from the river upstream for agricultural purposes, especially in the highlands.

In the field investigations that were conducted in the study route and six river sections, the complete dryness of the river bed, longitudinal sedimentary barriers were created, some rocky outcrops, islands and sedimentary barriers between channels, mainly artificial sedimentary embankments, destruction of natural vegetation, changes Land use and human intervention and stabilization of the banks were clearly observed.

Key Words: River restoration, human changes, morphological quality, Zayandeh Rood urban river corridor, MQI model

Cite this article: Ahmadi, M., Karam, A., & Hajehforoshnia, Sh. (2025). Morphological quality analysis of urban river corridor of Zayandeh Rood in Isfahan using the MQI method (from Najvan Park to Ashkavand Bridge). *Journal of* Environmental *Erosion Research. 2025; 14 (4) :96-118*. http//doi.org/

© The Author(s).
DOI: http//doi.org/

Published by Hormozgan University Press.
URL: http://magazine.hormozgan.ac.ir

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.96]

تحلیل کیفیت مورفولوژیک کریدور رودخانه ای شهری زاینده رود در اصفهان با استفاده از روش MQI (از پارک ناژوان تا پل اشکاوند)

مرضیه احمدی: *کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی تهران، ایران*

امیر کرم: *دانشیار، ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی تهران، ایران*

شیلا حجه فروش نیا*: *استادیار ژئومورفولوژی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران*

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچهٔ مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۱۳)

DOI: http//doi.org/

چکیده

رودخانه‌ها در گذر زمان و نیز به طور طبیعی، بستر و کناره‌های خود را تغییر می دهند اما با دخالت انسان‌ها فرایند تغییر سریع‌تر شده است. رودخانه زاینده رود در دهه ها ی اخیر خشک شده و در مسیر حرکت در شهر اصفهان دستخوش تغییرات و مصنوعی بسیارزیادی شده به طوری که کارکرد ژئومورفیک- اکولوژیک خود را از دست داده است. در این پژوهش کیفیت مورفولوژیک رودخانه زاینده رود با مدل MQI (از پارک ناژوان تا پل اشکاوند) بررسی و تحلیل شده است. در این مطالعه، مسیری ۱۶ کیلومتری از رودخانه به ۶ بازه تقسیم شد. کیفیت مورفولوژیک بازه‌های رودخانه‌ای شامل: پیوستگی فرایندهای رودخانه‌ای، شرایط مورفولوژیک مجرا و پوشش گیاهی ارزیابی شد. با مطالعات میدانی، استفاده از تصاویر گوگل ارث و پیاده سازی مدل MQI ،نتایج این پژوهش نشان داد که بازه های اول، پنجم و ششم با امتیازهای ۰.۵۸، ۰.۶۶، ۰.۵۷ در طبقه کیفیت مورفولوژیک متوسط قرار دارند، این بازه ها خارج از محدوده شهری قرار دارند و به لحاظ ژئومورفولوژیک در وضعیت بهتری نسبت به سایر بازه ها هستند. بازه های دوم و سوم و چهارم نیز به ترتیب با امتیازهای ۰.۴۸، ۰.۴۱، ۰.۳۸، در محدوده شهری قرار گرفته اند و بیشترین تغییرات انسانی را متحمل شده اند و به لحاظ ژئومورفولوژیک در ضعیف ترین حالت قرار دارند . لذا جهت بهبود شرایط مورفولوژیک این رودخانه ، ایجاد جریان پایه حداقلی آب یکی از راهکارهایی جهت احیاء در بازه های رودخانه ارائه شده است.

واژگان کلیدی: احیاء رودخانه، تغییرات انسانی، کیفیت مورفولوژیک، کریدور رودخانه ای شهری زاینده رود، مدل MQI

* نویسندهٔ مسئول: *sh.hajehforoshnia@areeo.ac.ir*

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.96]

۱ـ مقدمه

رودخانه ها به‌عنوان سیستم هایی پویا، مکان و خصوصیات مورفولوژیک خود را همواره برحسب زمان، عوامل ژئومورفیک، زمین‌شناختی، هیدرولوژیک و گاه در اثر دخالت بشر تغییر می‌دهند (Ramos & Gracia, 2012). نظارت بر تغییرات مورفولوژیک، اساس و پایه حل مشکلات و مسائل ژئومورفولوژی وتغییرات مجرای رود است(Nicoll & Hickin, 2010). گسترش شهرها تغییرات مستقیم (عملیات مهندسی و کانال سازی) و تغییرات غیر مستقیم (افزایش تولید رسوب و رواناب) نشان می دهد. (Esmaili et al, 2013). گاهی مواقع نیز برعکس، توسعه و مداخلات انسانی باعث خشک شدن رودخانه ها یا کاهش شدید دبی آنها می گردد. امروزه با بررسی الگوی یک رودخانه می توان شرایط کنونی رودخانه و چگونگی تغییرات آن و پتانسیل تغییرات احتمالی آن را در آینده بهتر درک کرد(Yamani& Hosseinzadeh, 2010). جابه جایی هایی که رودخانه در دشت باعث بروز تغییرات عمده ای در محدوده جریان می گردد (Bayati Khatibi, 2013). ژئومورفولوژی رودخانه ای تحت تأثیر حوضه آبخیز، کاربری و پوشش زمین، خاک و زمین شناسی، توپوگرافی، آب و هوا و تاثیرات انسانی است. خصوصیات مورفولوژیک رودخانه دلیل فرسایش کناری و جابجایی مرزهای رودخانه هرساله سطح زیادی از اراضی کشاورزی، نواحی مسکونی و تاسیسات ساحلی را در معرض نابودی و تخریب قرار دهد (Rezaei Moghaddam et al, 2018).

رودخانه زاینده رود از مهمترین منابع آب های سطحی و تامین کننده آب شیرین مصرفی در بخش های شهری، کشاورزی و صنعت در شهر های مرکزی ایران است. بهره برداری های بیش از حد از رودخانه در بالا دست از طریق حفر چاه های غیر مجاز و پمپاژ آب دربخش کشاورزی، با احداث باغ های میوه در ارتفاعات و به زیر کشت بردن مناطق بالا دست و استفاده از آب برای صنایع ، ورود انواع آلاینده های صنایع و انتقال آب به دیگرحوضه ها علاوه بر کاهش میزان بارش و حاکم شدن دوره خشکسالی ،حیات این اکوسیستم آبی را از بخش های میانی تا تالاب گاوخونی برهم زده است(شکل ۱). خشک شدن رودخانه در قسمت شهری با کاهش ورودی میزان آب به پشت سد زاینده رود در سال های اخیر باعث برهم خوردن اکوسیستم رودخانه و از بین رفتن آبزیان و پوشش گیاهی شده است. از دیگر مشکلات اساسی خشک شدن رودخانه ی زاینده رود می توان به موارد زیر اشاره کرد: برهم خوردن فرم و فرآیند و عملکرد ژئومورفولوژی رودخانه، از دست دادن پوشش گیاهی ، از بین رفتن اکوسیستم آبزیان و آلوده شدن آب ، کاهش سطح ایستابی آب های زیرزمینی و در نهایت نابودی محیط زیست تالاب گاوخونی و در نتیجه تبدیل شدن آن به کانون ایجاد ریزگرد و از نظر شهرنشینان، گردشگری کاهش یافته ، دید و منظر زیبای شهر نیز در حاشیه رودخانه از بین رفته است. این مسئله بر خرداقلیم شهر نیز تاثیر منفی داشته است. بنابر این لازم است مطالعات و بررسی های عمیق و جامعی در مورد شرایط مورفولوژی و هیدرولوژیک فعلی رودخانه صورت پذیرد تا با یافتن راهکارهایی مناسب این مشکلات و مسائل را به حداقل رساند. با توجه به خشک شدن آب رودخانه زاینده رود و تغییرات شدید انسانی در این رودخانه شهری ، هدف این تحقیق ارزیابی شرایط و کیفیت مورفولوژیک رودخانه زاینده رود در بخش شهری اصفهان است. برای این منظور از روش شاخص کیفیت مورفولوژیک MQI[۱] استفاده خواهد شد. این روش که توسط Rinaldi و همکاران(۲۰۱۳) در کشور ایتالیا تهیه و مورد استفاده قرار گرفته روشی جدید برای طبقه‌بندی کیفیت و عملکرد

۱- Morphologic Quality Index

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.96]

رودخانه‌ها است. این روش با در نظر گرفتن تمام شکل ها و فرایندهای رودخانه‌ای، تحلیل گذشته و تعدیل و تغییرات مجرای رودخلنه، رویکردی فراهم می کند که به ارزیابی کیفیت مورفولوژیک رودخلنه ها و راهبردهای بهبود آن می‌پردازد.

شکل (۱) خشک شدن زاینده رود و فقدان عملکرد هیدرومورفولوژیک و اکوسیستمی رودخانه در محدوده شهری

در پژوهشی که Rigon و همکاران در سال(۲۰۱۳) انجام داده لند به این نتیجه رسیدند که شاخص کیفیت مورفولوژیک ضعیف در نقاطی بیشتر است که تغییرات بسیاری در اثر فقدان یا تخریب پوشش گیاهی، حضور عناصر مصنوعی در حوضه رخ داده است. در تحقیقی دیگر Scorpio و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی این نکته پرداختند که کیفیت مورفولوژی رودخانه‌ها و تغییرات مورفولوژی ۵۰ سال گذشته بر کیفیت زیستگاه‌ها تأثیرگذار است و عوامل مختلف مورفولوژیک بر جوامع بیولوژیک اکوسیستم‌های آب‌های شیرین اروپا اثرات متقابلی دارند ، مداخلات انسانی نیز منجر به تغییرات سریع و شدید مورفولوژی مجرای رودخانه می‌شود و اثرات منفی خواهد داشت.در پژوهش Rinaldi و همکاران در سال (۲۰۱۷) با بررسی رودهای اسپانیا به این نتیجه رسیدند که برای طبقه‌بندی و نظارت بر وضعیت جریان‌ها و برای حمایت از اقدامات پایدار مدیریتی، ارزیابی کیفیت مورفولوژیک ضروری به نظر می‌رسد و شاخص کیفیت موفولوژیک می‌تواند به‌طور مؤثر درک صحیحی از شرایط رودخانه و علل تغییرات و همچنین مداخلات انسان را نشان دهد.

در تحقیقات Golfieri و همکاران (۲۰۱۸) به منظور ارزیابی جامع‌تر شرایط رودخانه‌ای به مقایسه بین شاخص کیفیت مورفولوژیک و شاخص حیاتی رودخانه پرداخته شد و معتقدند که بین شاخص مورفولوژیک و شرایط زیستی همبستگی بالایی وجود دارد و ضروری است که شاخص‌هایی موردبررسی قرار گیرند که بر سیستم‌های رودخانه‌ای در مقیاس‌های مختلف تأثیر می‌گذارند(مانند تغییرات هیدرومورفولوژیک و کیفیت آب) و همچنین برای انتخاب شاخص‌ها بلید مقیاس مکانی و زمانی را در نظر گرفت. Das و همکاران (۲۰۲۲) به ویژگی‌های مورفومتریک رودخلنه Raidak در هند پرداختند. نتایج کار آنها نشان داد که بیشتر قسمت کرانه سمت چپ رودخانه به دلیل استخراج شن و ماسه در مقایسه با کرانه دیگر، به سمت شرق جابجا شده و باعث افزایش عمق و عرض بستر شده است. همچنین استخراج شن و ماسه نسبت به سایر فعالیت‌های انسانی، بیش‌ترین اثر در تغییر ویژگی‌های مورفومتریک این رودخانه را داشته است.

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.96]

Borek و همکاران(۲۰۲۲) به بررسی میدانی و ارزیابی شرایط هیدرومورفولوژیک یک آبراهه کوچک مرتفع در رودخانه واقع در لهستان پرداختند. نتایج کار آنها نشان داد که بیشترین تغییرات در هیدرومورفولوژی و شرایط زیستگاه رودخانه در حوضه آبریز رودخانه‌ای پایین‌دست و شهری شده با توسعه فشرده ساخت و ساز و زیرساخت‌های فنی رخ داده است.

Laighi و Karam (۲۰۱۵) در تحقیقی طبقه‌بندی هیدرومورفولوژیک رودخانه جاجرود حدفاصل سد لتیان و سد ماملو را با مدل رزگن مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این تحقیق حاکی از آن است که درجه حساسیت به آشفتگی در بیشتر بازه های موردمطالعه زیاد است و رودخانه دارای تغذیه رسوبی بالایی است یعنی بار کف و بار معلق و همچنین پتانسیل فرسایش کناره‌ها بسیار زیاد است و حوضچه‌های پرورش ماهی در داخل بستر رودخانه سبب کاهش شیب بالادست، افزایش نسبت عرض به عمق و درنهایت تغییر الگوی رودخانه خواهد شد که این عدم تعادل در طولانی‌مدت موجب از بین رفتن محل زندگی آبزیان می گردد.

Esmaili و Valikhani (۲۰۱۴) به ارزیابی و تحلیل شرایط هیدرومورفولوژیک رودخانه‌ی لاویج با استفاده از شاخص کیفیت مورفولوژیک (MQI) پرداختند. در بررسی آنها مشخص شد که بازه‌های ۱، ۳، ۴ و ۵ به علت دخالت کم عوامل انسانی امتیاز بیش از ۰/۸۵ کسب نموده و در گروه بسیارخوب طبقه‌بندی شده‌اند. Ilanloo و Karam(۲۰۲۰) به منظور ارزیابی شرایط هیدرومورفولوژیک بخشی از رودخانه جاجرود در بالادست سد لتیان با استفاده از روش MQI روند تغییرات هیدرومورفولوژیک این رودخانه را بررسی کردند. در این راستا با استفاده از تصاویر ماهواره ای سال۲۰۱۸ لندست۸ و سال ۱۹۷۶ لندست ۴ از منطقه مطالعاتی و نیز بازدید های میدانی از منطقه دست یافتند که تمامی بازه های منطقه از لحاظ روش MQI در شرایط ضعیف و خیلی ضعیف قرار دارد که این مسئله ناشی از دخالت انسان در محیط ، قطع درختان به منظور ساخت و سازهای انسانی و ویلا سازی، برداشت شن و ماسه، ایجاد تفرجگاه های متعدد در حواشی رودخانه و تغییر الگوی رودخانه است.

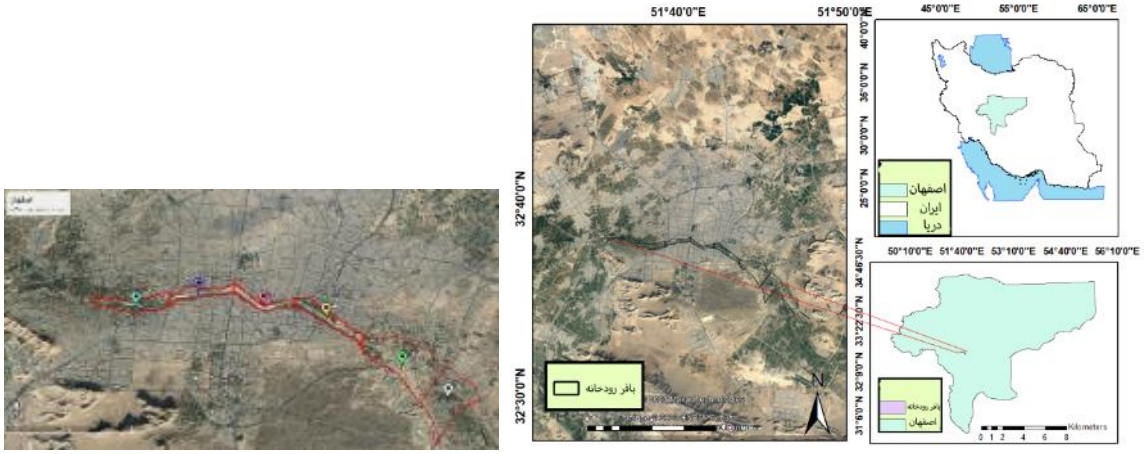
Nosrati و همکاران (۲۰۲۰) ، به ارزیابی شرایط هیدروژئومورفولوژی رودخانه‌ی طالقان با استفاده از شاخص کیفی مورفولوژیک MQI پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که بازه‌ی شماره‌ی ۱ با محدوده‌ی امتیاز ۰/۷۱ در طبقه خوب قرار دارد که از دلایل آن دخالت‌های کم انسانی و واقع بودن در بالادست رودخانه بوده است. سایر بازه های مطالعاتی آنها در شرایط متوسط و ضعیفی قرار داشته اند. Khaleghi و همکاران (۲۰۲۱) به ارزیابی و تحلیل شرایط هیدرومورفولوژیک رودخانهٔ حاجی عرب در شهرستان بوئین زهرا با استفاده از روش MQI پرداختند. نتایج کار آنها بیانگر این است که مقدار شاخص کیفیت مورفولوژیک در بازه‌های مورد مطالعه بین ۰/۸۲ تا ۰/۴۷ است که در این میان حداکثر مقدار در بازه‌های ۱، ۲، ۳، ۶ با امتیاز ۰/۸۲ و حداقل مقدار در بازهٔ ۸ با امتیاز ۰/۴۷ است. درمجموع از نظر کیفیت، رود خانهٔ حاجی عرب در طبقهٔ خوب قرار می‌گیرد و شرایط مناسبی دارد.

وجه تمایز این تحقیق با تحقیقات قبلی این است که مطالعات قبلی عمدتا بر روی رودخلنه های برون شهری تمرکز داشته اند درحالیکه این تحقیق یک رودخانه درون شهری و حواشی آنرا مدنظر دارد. از سویی دیگر تحقیقات قبلی تنها به تحلیل شرایط و کیفیت مورفولوژیک یا هیدرومورفولوژیک پرداخته اند اما تحقیق حاضر علاوه بر تحلیل مورفولوژیک ، راهکارهای اصلی احیاء برای بازه ها را نیز ارائه خواهد کرد.

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.96]

۲- منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه بخشی از رودخانه زاینده رود (واقع در حوضه آبریز زاینده رود) است که در داخل شهر اصفهان به طول حدود ۱۶ کیلومتر از پارک ناژوان در غرب تا پل کمر بندی شرق در ابتدای روستای اشکاوند امتداد دارد و بخش کریدور رودخانه ای شهری زاینده رود را در بر می گیرد(شکل ۲).در حواشی این رودخانه، پارک های عمومی، باغات و اراضی کشاورزی، خیابان ها و ساخت و سازهای شهری و بعضا در انتهای پایین دست محدوده برخی تاسیسات شهری قرار دارند. باتوجه به خشک شدن کریدور شهری رودخانه زاینده رود، تغییرات و دستکاری های شدید در شکل بستر رودخانه و حواشی آن ، تغییر کاربری های اطراف رودخانه در محدوده شهری و...، شرایط مورفولوژیک طبیعی رودخانه را برهم زده و عملکردهای ژئومورفیک و اکولوژیک آن را به شدت دستخوش تغییر و افت کرده است.



شکل (۲) راست: موقعیت محدوده مورد مطالعه در استان و شهر، چپ: کریدور رودخانه ای شهری مورد مطالعه

۳- مواد و روش ها

در این پژوهش از داده ها و ابزارهای مختلف زیر استفاده شده است:

تصاویر گوگل ارث در بازه های زمانی مختلف(از ۱۹۸۷ تا ۲۰۲۰ میلادی)

پایگاه داده ای و نقشه ای Open Street Map

نرم افزار های مرتبط مانند : AutoCAD map و ArcGIS ، QGIS ،

اطلاعات توصیفی کتابخانه ای

بازدیدهای میدانی

دستگاه GPS و

اطلاعات اقلیمی و هیدرولوژیک

میزان دبی زاینده رود اصفهان از سال ۱۳۲۷ تا ۱۳۷۸ که رودخانه به طور دائمی در تمام طول بستر(از سرچشمه تا تالاب گاو خونی) جریان داشته، در نمودار(۱) نشان داده شده است، در سال ۱۳۲۸ حداکثر دبی سالانه در سال های ۱۳۲۸ و ۱۳۷۳با میزان ۳۶.۵ متر مکعب بر ثانیه نمایان است ، و در طی این سال ها این میزان دبی متغیر بوده و حداقل دبی آب به میزان ۰.۳ متر مکعب در سال ۱۳۴۴-۱۳۴۵ ثبت شده است. از سال ۱۳۷۵ به بعد دبی رودخانه کاهش پیدا کردبطوریکه دبی به صفر رسید و سال ۱۳۷۸ رودخانه خشک گردید .(شرکت آب منطقه ای استان اصفهان)

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.96]

ج) روش : مدل MQI

روش شاخص کیفیت مورفولوژیک رودخانه(MQI) از دو فاز اصلی و چند مرحله فرعی تشکیل شده است. فاز اول روندهای جاری ارزیابی شرایط مورفولوژیک رودخانه را مطالعه کرده و شامل بررسی خصوصیات طبیعی حوضه، بررسی مورفولوژی مجرای رودخانه و بازه بندی رودخانه است. این بازه‌ها نشان دهنده‌ی واحدهای اولیه برای ارزیابی شرایط مورفولوژیک می‌باشند (Esmaili & Valikhani, 2014)

در فاز دوم برای ارزیابی کیفیت مورفولوژیک بازه‌های رودخانه‌ای، سه جنبه زیر مورد توجه قرار می گیرد:

۱- پیوستگی فرایندهای رودخانه‌ای، شامل پیوستگی طولی و عرضی

۲- شرایط مورفولوژیک مجرا شامل الگوی مجرا، شکل مقطع عرضی و رسوبات بستر

۳- پوشش گیاهی

این جنبه‌ها در قالب سه مؤلفه‌ی ۱- عملکردهای1 ژئومورفولوژیک فرآیندها و اشکال رودخانه‌ای (F)، ۲- ساختارهای مصنوعی۲ (A)، ۳- تعدیل‌های مجرا۳ (CA) و ۲۸ شاخص ، مورد تحلیل قرار می‌گیرد(Karam, 2019)(جدول ۱).

جدول (۱) فهرست شاخص‌ها به‌عنوان تابعی از جنبه‌های اصلی (پیوستگی، مورفولوژی، پوشش گیاهی) و مؤلفه‌های ارزیابی (عملکرد، مصنوعی، تعدیل مجرا)(کرم،۱۳۹۹)

عملکردی (F)			مصنوعی (A)	تعدیل‌های کانال ۴(CA)
پیوستگی	طولی	F1	A1,A2,A3,A4,A5	-
	جانبی	F2,F3,F4,F5	A6,A7	-
مورفولوژی	الگوی کانال	F6,F7,F8	A8(A6)	CA1
	پیکربندی مقطع عرضی رسوبات بستر	F9	(A4,A9,A10)	CA2,CA3
		F10,F11	A9,A10,A11	-
پوشش گیاهی		F12,F13	A12	-

1 - Functionality

2 - Artifiality
3 - Channel adjustments
4 . Channel adjustments

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.96]

در مجموع در روش شاخص کیفیت مورفولوژیک ، از ۲۸ شاخص استفاده می شود که توضیحات مختصر هر یک از شاخص ها و نحوه بررسی و امتیازدهی به آنها در جدول (۲) ارئه شده است. به هر شاخص مطابق سه درجه‌ی تغییرنسبت به شرایط مرجع یا طبیعی ،امتیاز داده می‌شود:درجه A به شرایط مختل نشده یا تغییرات ناچیز تعلق می گیرد ؛درجه B به تغییرات متوسط؛ و درجه C به شرایط بسیار تغییر یافته مربوط است که برای این سه حالت امتیازهایی از صفرتا ۱(درجه A)، ۲ تا ۳(درجه B)و ۴ تا ۵ (درجه C) درنظر گرفته می شود.در برخی شاخص ها به طور استثنا امتیازات بیشتری تا ۱۲ داده می شود. این امتیاز دهی در جداول دیگری صورت می گیرد که یک نمونه آن در جدول(۴) آمده است.

شاخص کیفیت مورفولوژیک نهایی طبق روابط زیر در دامنه ای از صفر (کیفیت بسیار ضعیف و بد) تا ۱ (کیفیت بسیارخوب، نبود تغییرات) متغیر است و برای هر بازه، پنج طبقه کیفیت مورفولوژیک به صورت جدول(۳) تعریف می شود.

جدول(۲) شاخص‌ها و پارامترهای ارزیابی (Rinaldi at el, 2013)

شاخص‌ها و پارامترهای ارزیابی	روش‌های ارزیابی
F1: پیوستگی طولی در شار رسوب و چوب، وجود سازه‌های عرضی (سدهای سیمی و توری، سدهای کنترلی، پل‌ها و ...) که به صورت بالقوه ممکن است شار طبیعی رسوب و چوب در امتداد رود را تغییر دهند.	سنجش از دور یا پایگاه داده مداخلات سازه‌های عرضی؛ بررسی میدانی؛ ارزیابی گیرش رسوب(کیفی)
F2: وجود دشت سیلابی جدید، پهنا و طول دشت سیلابی جدید	سنجش از دور و اندازه‌گیری بخش طولی و عرضی (رود) ، بررسی میدانی؛ شناسایی و بررسی دشت سیلابی جدید (کیفی)
F3: پیوستگی رودخانه با دامنه های اطراف و وجود عناصر قطع کننده (مثلا جاده‌ها) در حریم ۵۰ متری از رودخانه	سنجش از دور و اندازه‌گیری طول عناصر قطع کننده (کمی)، بررسی میدانی، بررسی عناصر قطع کننده (کیفی)
F4: فرایندهای پسروی کرانه، وجود یا عدم وجود پسروی کرانه	سنجش از دور و یا بررسی میدانی؛ شناسایی کناره‌های در حال فرسایش (کیفی)
F5: عرض و طول کریدور فرسایش پذیر یعنی محدوده بدون سازه-های مرتبط (مثلاً محافظ‌های کرانه و خاکریزها) یا زیرساخت‌ها مانند جاده‌ها و خانه‌ها	بررسی میدانی، سنجش از دور (کیفی)
F6: پیکربندی بستر مرتبط با شیب دره (یعنی انواع فرم های کاسکاد، سکو، چالاب و ...)، شناسایی پیکربندی بستر در مورد وجود ساختارهای عرضی و مقایسه با پیکر بندی مورد انتظار بر اساس شیب دره	سنجش از دور و بررسی میدانی: شناسایی پیکر بندی بستر (کیفی)
F7: اشکال و فرآیندهای خاص الگوی مجرا : درصد طول مسیر با تغییرات طبیعی و ناهمگنی اشکال مورد انتظار برای آن نوع رود که به وسیله عوامل انسانی ایجاد شده است.	سنجش از دور و بررسی میدانی (کیفی)

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.96]

F8: وجود اشکال رودخانه‌ای نمونه در دشت آبرفتی، وجود یا عدم وجود اشکال رودخانه در دشت آبرفتی (به عنوان مثال :دریاچه نعلی شکل ،مجراهای ثانویه)	سنجش از دور (کیفی)
F9: تغییرپذیری مقطع عرضی: درصد طول بازه با تغییرات طبیعی ناهمگن که به وسیله عوامل انسانی ایجاد شده، در مقایسه با مقاطع عرضی مورد انتظار برای آن نوع رودخانه.	بررسی میدانی و سنجش از دور، شناسایی و اندازه‌گیری طول قسمت‌های تغییریافته (کمی)
F10: ساختار بستر مجرا : وجود یا عدم وجود تغییرات رسوبات بستر (بستر زره مانند، فراوانی رسوبات ریزدانه، رخنمون سنگ بستری، بستر سنگ چین)	بررسی میدانی: ارزیابی بصری (کیفی)
F11: وجود چوب‌های بزرگ در مجرا: وجود و یا عدم وجود چوب‌های بزرگ	بررسی میدانی: ارزیابی بصری (کیفی)
F12: محدوده‌ی گیاهان کارکردی: میانگین پهنا (یا سطح گسترش) گیاهان در کریدور رودخلنه که بالقوه با فرایندهای رودخلنه‌ای ارتباط دارند	شناسایی و اندازه‌گیری پهنای متوسط پوشش گیاهی خودرو (کمی) ، سنجش از دور
F13: گسترش خطی پوشش گیاهی کارکردی: امتداد پوشش گیاهی طبیعی به موازات کرانه‌های متصل به مجرا	سنجش از دو ر (شناسایی و اندازه گیری امتداد طولی پوشش گیاهی در حاشیه رود ، به صورت کمی)
A1: تغییرات جریان آب در بالادست رود: مقدار تغییرات در دبی که به علت مداخلات در بالادست رود رخ داده است (سدها، بندهای انحرافی)	شمارش و بررسی تعداد مداخلات انسانی ، سنجش از دور داده‌های هیدرولوژیک: ارزیابی افزایش/کاهش دبی که به علت مداخلات ایجاد شده است (کمی) در صورت فقدان داده‌های موجود ارزیابی براساس مداخلات موجود و کاربرد آن می‌باشد (کیفی)
A2: تغییر در دبی رسوب بالادست: وجود، نوع و مکان (مساحت زهکشی) سازه‌های مرتبط که موجب گیر افتادن بار بستر می‌شود (سد، بند تنظیمی، سد کوچک)	سنجش از دور و پایگاه داده مداخلات، شناسایی سازه ها و مساحت زهکشی مربوطه (کمی)
A3: تغییر جریان در بازه :مقدار تغییرات دبی که به وسیله مداخلات انسانی در بازه ایجاد شده است	سنجش از دور، بررسی مداخلات (کمی) و (کیفی)
A4: تغییر دبی رسوب در بازه: توپولوژی و تراکم فضایی سازه‌های گیرنده‌ی بار بستر در امتداد بازه (بند تنظیمی، سد کوچک)	سنجش از دور، بررسی میدانی (کمی)
A5: سازه‌های عرضی: تراکم فضایی سازه‌های عرضی (پل ها، پایاب ها، پل آب گذر)	سنجش از دور، بررسی میدانی، نقشه های توپوگرافی (کمی)
A6: محافظت کناره ها : طول کرانه‌های محافظت شده (دیوارها، پوشش‌های سنگی، تور سنگی یا گابیون، سازه آبشکن، کارهای زیست مهندسی)	سنجش از دور و بررسی میدانی و تعداد مداخلات: طول سازه‌ها (کمی)
A7: خاکریزهای مصنوعی: طول و فاصله مجرا از خاکریزهای مصنوعی	سنجش از دور، بررسی میدانی، نقشه‌های توپوگرافی

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.96]

A8: تغییرات مصنوعی در مسیر رودخانه: درصد طول بازه با تغییرات مصنوعی مسیر رود به صورت مستند (قطع شدگی مئاندر، اشغال مجدد مجرای رود)	اطلاعات تاریخی و کتابخانه‌ای و سنجش از دور (کمی)
A9: سایر سازه‌های تثبیت کننده بستر: وجود، تراکم فضایی و تیپولوژی سایر سازه‌های تثبیت کننده بستر (کف بند و رمپ)	سنجش از دور و تعداد مداخلات، بررسی میدانی (کمی)
A10: جابجایی و برداشت رسوبات :وجود و شدت نسبی فعالیت‌های معادن رسوب قدیمی (از دهه‌ی ۱۹۵۰ با تمرکز در طی ۲۰ سال اخیر)	پایگاه داده مداخلات و یا اطلاعات فراهم شده توسط ادارات دولتی: بررسی میدانی و یا سنجش از دور: شواهد غیرمستقیم (کیفی)
A11: جابجایی و برداشت چوب: وجود و شدت نسبی (ناقص یا کامل) جابجایی و برداشت چوب از مجرا در طول ۲۰ ساله گذشته	پایگاه داده مداخلات و یا اطلاعات فراهم آمده توسط ادارات دولتی؛ بررسی میدانی: شواهد بیشتر (کیفی)
A12: مدیریت پوشش گیاهی: وجود و شدت نسبی قطع (انتخابی یا کلی) گیاهان حاشیه رود که طی ۲۰ سال اخیر انجام شده	پایگاه داده مداخلات و یا اطلاعات فراهم آمده توسط ادارات دولتی؛ بررسی میدانی: شواهد بیشتر (کیفی) وجود تنه درختان بریده شده
CA1: تعدیل الگوی مجرا : تغییرات در الگوی مجرا از دهه‌ی ۱۹۵۰ براساس تغییرات شاخص‌های سینوسی و شریانی و آناستوموسینگ	سنجش از دور و GIS تحلیل سیستم اطلاعات جغرافیایی (کمی)
CA2: تعدیل پهنای مجرا : تغییرات در پهنای مجرا از دهه ۱۹۵۰	سنجش از دور و GIS تحلیل سیستم اطلاعات جغرافیایی (کمی)
CA3: تعدیل سطح اساس بستر: تغییرات سطح اساس بستر طی ۱۰۰ سال گذشته	مقطع عرضی یا پروفیل طولی (چنانچه قابل دسترس باشد)؛ بررسی میدانی: نشانه‌های حفر یا رسوبگذاری (به صورت کیفی یا کمی)

در جداول امتیازدهی (جدول ۴ به صورت نمونه)، برای هر بازه و هر شاخص امتیازی از صفر تا ۵ اختصاص داده می‌شود. پس از امتیاز دهی شاخص‌ها با استفاده از رابطه (۱)، شاخص تغییرات مورفولوژیک[1] (MAI) محاسبه می‌گردد.

رابطه ۱:

$$MAI = Stot / Smax$$

که Smax مجموع حداکثر امتیازهای بالقوه قابل تخصیص به شاخص هاست (مربوط به مجموع امتیازات برای تمام شاخص های ۲۸ گانه در هر بازه جداگانه) و Stot مجموع کل امتیازات بالفعل تعلق گرفته توسط محقق به شاخص ها می‌باشد. بنابراین MAI دارای دامنه‌ای از حداقل صفر (بدون تغییر) تا حداکثر ۱ (بیشترین تغییر) است.

سپس شاخص کیفیت مورفولوژیک به عنوان تکمیل کننده رابطه پیشین تعریف می‌شود، براساس رابطه (۲):

رابطه ۲:

$$MQI = 1 - MAI$$

1 - Morphological Alteration Index(MAI)

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.96]

این شاخص، بر خلاف MAI در مورد حداکثر تغییرات مقدار صفر را در نظر می‌گیرد و مقدار ۱ در شرایط مرجع (مربوط به حداکثر قابلیت، حداقل دستکاری مصنوعی و حداقل تغییرات مجرا) است. بر اساس این شاخص، کیفیت مورفولوژیک به ۵ طبقه؛ بسیار خوب ، خوب، متوسط، ضعیف و بسیار ضعیف تقسیم می‌شود (جدول ۳).

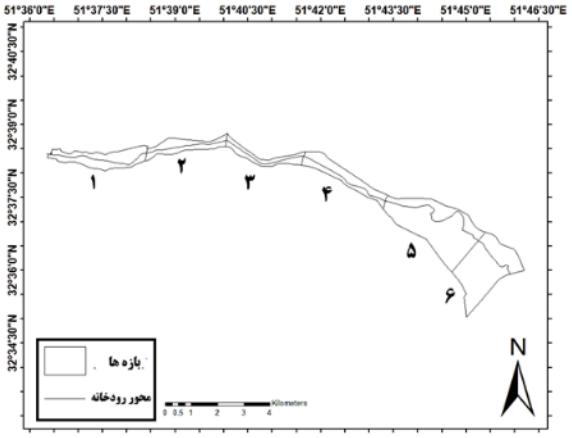
جدول (۳) طبقات مختلف کیفیت مورفولوژیک (Karam, 2019)

طبقات کیفیت مورفولوژیک	دامنه مقدار عددی
بسیار خوب	۰/۸۵ ≤ MQI<۱
خوب	۰/۷ ≤ MQI<۰/۸۵
متوسط	۰/۵ ≤ MQI<۰/۷
ضعیف	۰/۳ ≤ MQI<۰/۵۰
بسیار ضعیف	۰ ≤ MQI<۰/۳

۴- یافته ها

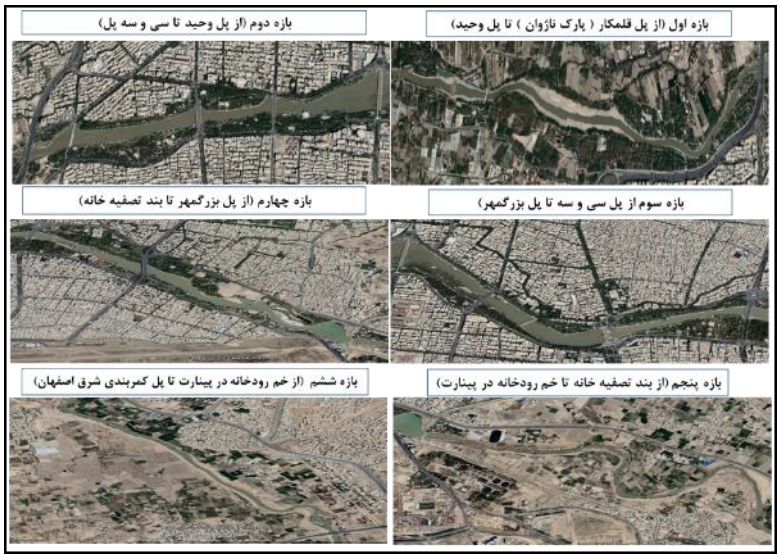
الف) بازه بندی بخش رودخانه ای مورد مطالعه

برای اجرای روش MQI محدوده و مسیر ۱۶ کیلومتری این بخش از رودخلنه از پارک ناژوان (پل قلمکار) تا پل کمربندی اشکاوند در محدوده درون شهری و حاشیه شهری اصفهان ابتدا بر مبنای معیارهایی همچون تغییرات پهنای مجرا، تغییرات پهنای دشت آبرفتی، وجود پل ها ،وجود و تغییرات پوشش گیاهی حاشیه ای ، وجود سازه های مصنوعی، پلتفرم مجرا(مستقیم، پیچ و خم دار)، وجود یا عدم وجود کرانه های تثبیت شده ،تغییرات در اندازه رسوب بستر (کرم، ۱۳۹۹) و نیز بررسی های میدانی و ارزیابی بصری تصاویر گوگل ارث ، به ۶ بازه مطابق شکل(۳ و ۴) تقسیم شد.



شکل (۳) بازه بندی رودخانه شهری زاینده رود(منبع: نگارندگان،۱۴۰۱)

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.96]

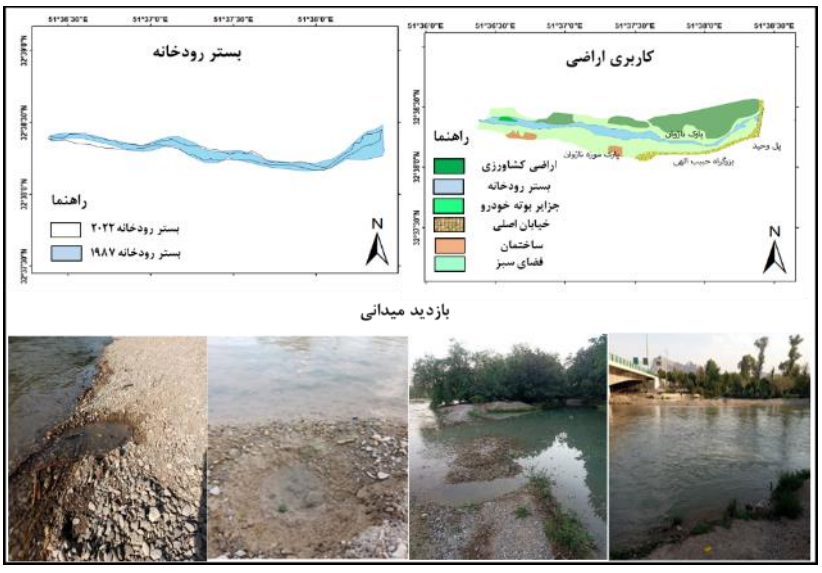


شکل(۴) موقعیت بازه‌های مورد مطالعه.

در زیر توضیحات مختصری در مورد شرایط هیدروژئومورفیک هر یک از بازه ها ارائه می شود:

بازه اول

با بررسی میدانی و تصاویر گوگل ارث، برخی اشکال میان مجرایی شامل موانع رسوبی طولی، جزایر کوچک و موانع میان مجرایی ، موانع جانبی و خاکریزهای رسوبی مصنوعی و طبیعی ، تنه قطع شده درختان قدیمی و جدید مشاهده شد. در محدوده‌ای دراطراف رودخانه بستر لایروبی شده و حجم زیادی از رسوبات در کرانه‌های دوطرف به شکل خاکریز مشاهده شد که برای محدود کردن بستر رودخانه استفاده شده است. در انتهای بازه در زیر پل وحید، کم کردن پهنای مجرا از دوطرف توسط مسولین مربوطه (دست اندازی بشر)بشدت نمایان است. کاربری اراضی بازه نیز نشان می‌دهد که حدود ۴۵ درصد مساحت این بازه را پارک ناژوان در برگرفته که خود نوعی تغییر انسانی است. در شمال پارک و بازه هم اراضی کشاورزی وجود دارد. تغییرات کرانه رودخانه در این بازه بین سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۲۲ با استفاده از تصاویر گوگل ارث مورد بررسی قرار گرفت و گویای تغییرات مصنوعی قابل توجهی است (شکل ۵).

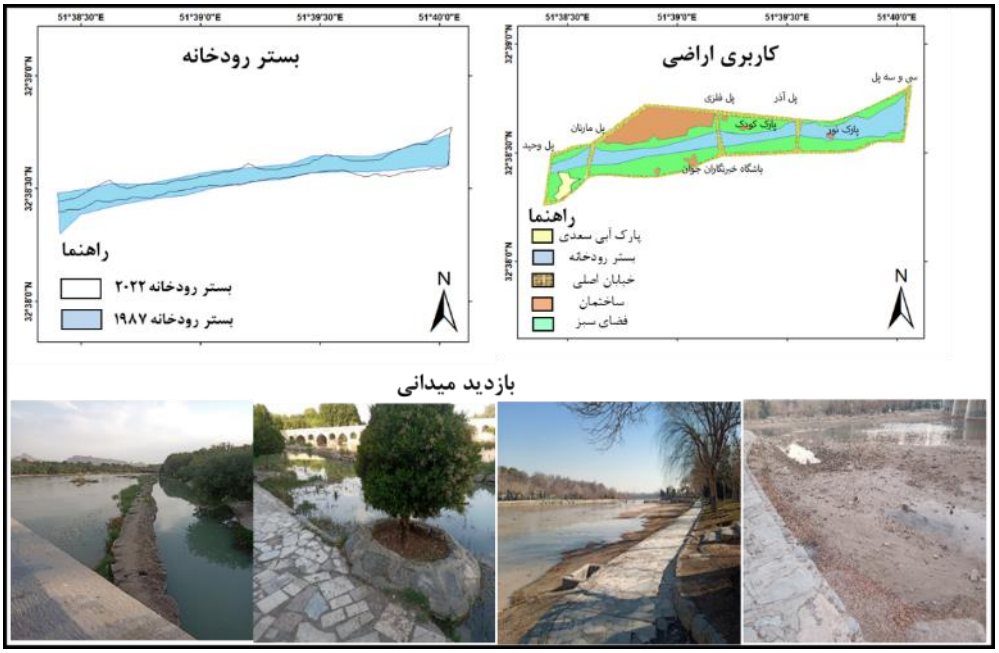


شکل (۵) کاربری اراضی، تغییرات بستر رودخانه و بازدید میدانی از بازه اول.

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.96]

بازه دوم

با بررسی میدانی، تغییرات شدید انسانی به صورت پارک سازی و تثبیت کرانه ها ، تبدیل سکوهای کناره‌ای و دشت سیلابی به فضای سبز و سنگفرش کرانه‌ها دیده می شود. کاربری اراضی نیز نشان می‌دهد که تمامی حاشیه رودخانه زاینده رود در این بازه را فضای سبز در برگرفته و در نواحی و بخش‌هایی نیز سازه‌های تفریحی ساخته شده است.در داخل این بازه ۳ دهنه پل و در ابتدا و انتهای آن نیز ۲ دهنه پل وجود دارد. تغییرات بستر رودخانه در بازه بین سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۲۲ نیز در شکل(۶)نشان داده شده است.

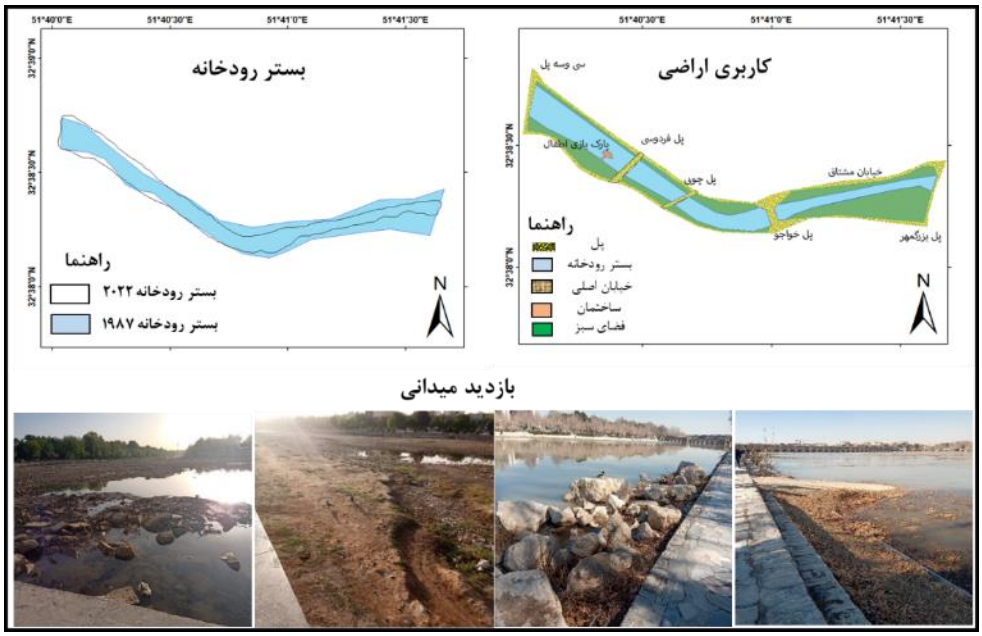


شکل(۶) کاربری اراضی، تغییرات بستر رودخانه و بازدید میدانی از بازه دوم.

بازه سوم

در این بازه انحنای قابل توجهی در مسیر رودخانه وجود دارد، همچنین ۵ دهنه پل در این بازه ساخته شده است. بر اساس کاربری اراضی، تمامی حاشیه رودخانه زاینده رود در این بازه را فضای سبز در برگرفته وکرانه‌ی رودخانه در این بازه به طور کامل تغییر شکل و تغییرکاربری داده است.در بخش شرقی این بازه کاهش عرض بستر رودخانه دیده می شود. تغییرات کرانه رودخانه در بازه بین سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۲۲ در شکل (۷) نشان داده شده است .

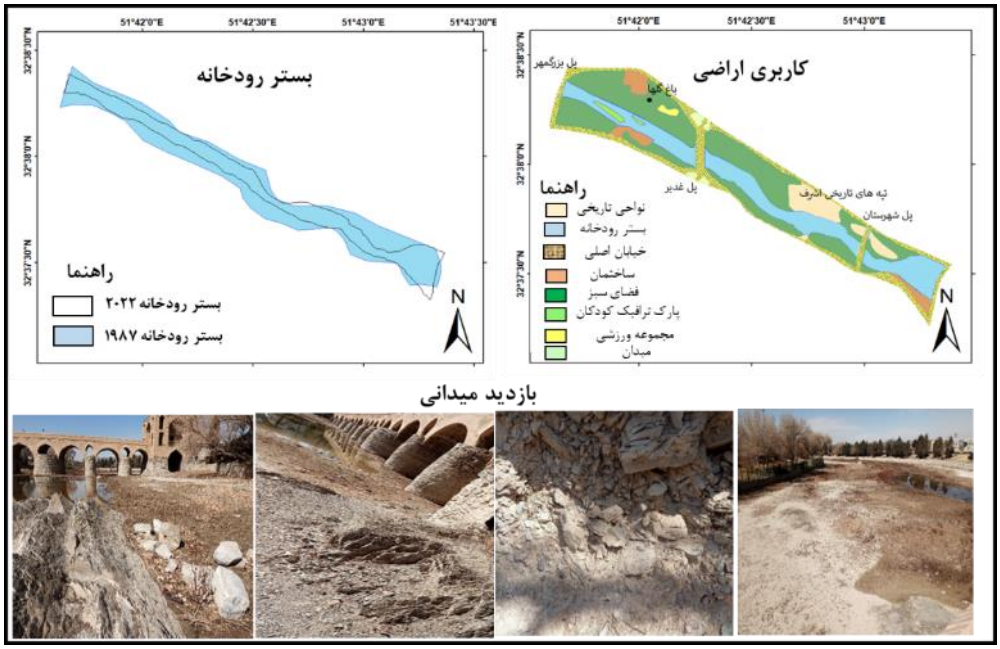
[DOI: 10.61186/jeer.14.4.96]



شکل (۷) کاربری اراضی، تغییرات بستر رودخانه و بازدید میدانی از بازه سوم.

بازه چهارم از پل بزرگمهر تا بند تصفیه خانه

در این بازه گسترش خطی پوشش گیاهی کارامد حاشیه رودخانه در طول کرانه‌ها نسبتا زیاد است. بر اساس کاربری اراضی، بیشتر اراضی حاشیه ای رودخانه را فضای سبز در برگرفته و قرار گیری تپه‌های تاریخی در حاشیه این رودخانه بیانگر قدمت زندگی بشر در این نواحی است. در این بازه دو پل در درون بازه و دو پل هم در ابتدا و انتهای آن دیده می شود. همچنین چالاب و خیزاب هایی همراه با برونزدهای سنگی نیز در این بازه دیده می شود.تغییرات کرانه رودخانه در بازه بین سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۲۲ نیز نشان داده شده است (شکل ۸).

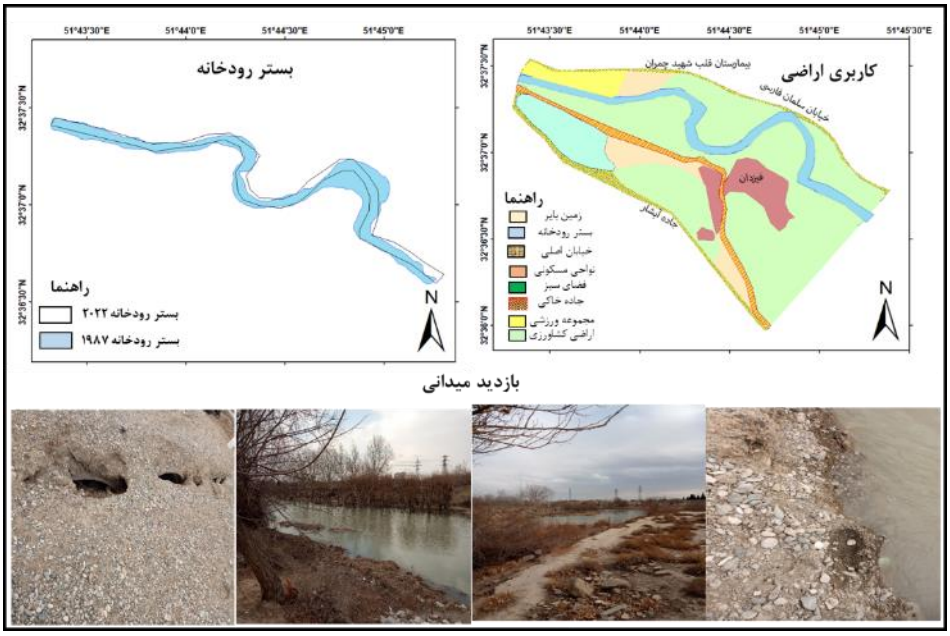


شکل (۸) کاربری اراضی، تغییرات بستر رودخانه و بازدید میدانی از بازه چهارم.

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.96]

بازه پنجم بازه پنجم از بند *تصفیه* خانه تا خم رودخانه در پینارت

در این بازه ، رودخانه حالت مآندری دارد. رودخانه با گذشت زمان با رسوب گذاری مواد درشت دانه و حفر بستر نرم وریزدانه تر تغییر مسیر داده است. در این بازه تنها در بخش‌های ابتدایی این بازه سازه‌ها و تاسیسات ضروری شهری از جمله تصفیه خانه و مجموعه تفریحی بنا شده و در باقی نواحی تنها زمین‌های کشاورزی توسعه یافته است و بازه حالت طبیعی تری دارد. (شکل ۸).

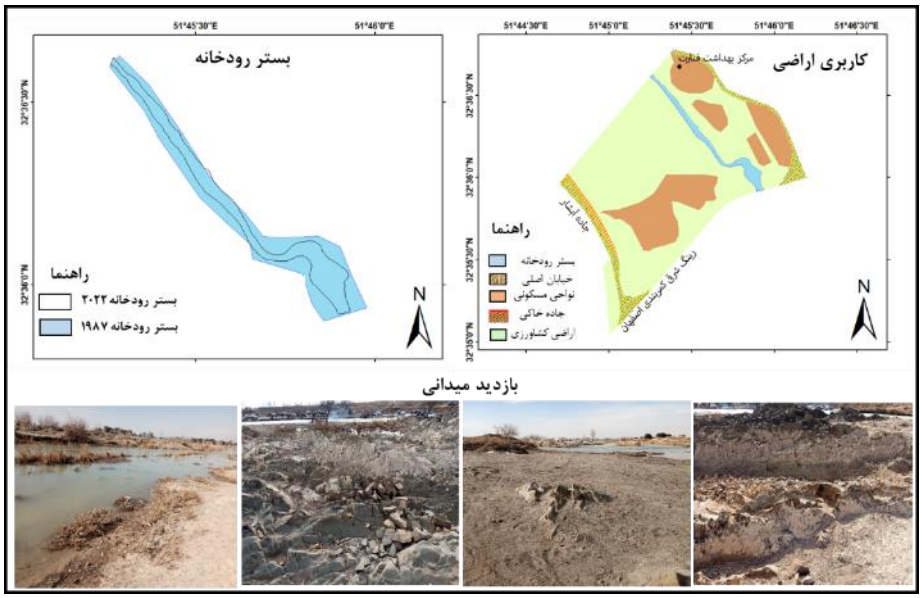


شکل (۹) کاربری اراضی، تغییرات بستر رودخانه و بازدید میدانی از بازه پنجم.

بازه ششم

در این بازه فرم‌های نهشته گذاری نشان دهنده‌ی رسوب گذاری لکه‌های درشت است. همگنی رسوبات بستر و ایجاد چالاب و خیزاب و وجود نسبی چوب و الوار و گیاهان خودرو کاملا طبیعی در این‌بازه مشاهده می شود. وجود مجراهای مصنوعی و انحراف رودخانه و آبگیرهای نگه دارنده از علت‌های موثر در تغییرات پویایی دبی شکل دهنده رودخانه در این بازه است. (شکل ۱۰).

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.96]



شکل (۱۰) کاربری اراضی، بستر رودخانه و بازدید میدانی از بازه ششم.

ب) اجرای مدل MQI

همچنانکه پیشتر گفته شد برای ارزیابی کیفیت مورفولوژیک رودخانه شهری زاینده رود و اینکه بازه های مطالعاتی تا چه حد از شرایط مرجع و طبیعی عملکردی خود انحراف دارند و تحت تاثیر مداخلات انسانی تغییر کرده و آشفته شده اند، از شاخص های ۲۸ گانه روش MQI ، از طریق بازدیدهای میدانی و تفسیر بصری تصاویر گوگل ارث مطابق جدول نمونه ای (۴) استفاده شد. باتوجه به اینکه ۶ بازه وجود داشت و تعداد جداول امتیازدهی زیاد بود و باعث افزایش صفحات و حجم مقاله می شد، در اینجا فقط یک نمونه از جداول استاندارد اجرای مدل برای بازه ۱ ارائه شده است و برای سایر بازه ها تنها نتایج جداول آورده شده است.

نتایج نشان داد که مقدار MQI در بازه اول ۰/۵۷ می‌باشد و گویای آن است که براساس سه مولفه کارکرد ژئومورفولوژیک، مولفه مصنوعی (انسان ساخت) ومولفه تعدیل‌های مجرا،کیفیت مورفولوژیک این بازه متوسط است. کیفیت مورفولوژیک در بازه دوم ۰/۳۸ و در بازه سوم ۰/۴۱ و در بازه چهارم ۰/۴۸ نشان دهنده این است کیفیت مورفولوژیک در این ۳ بازه ضعیف می‌باشد یعنی مداخلات انسانی به صورت تعداد پل های بیشتر، تثبیت مصنوعی کرانه ها، حذف پوشش گیاهی طبیعی و... کارکرد ژئومورفولوژیک رودخانه را کاهش داده است. در بازه پنجم کیفیت مورفولوژیک ۰/۶۶ و در بازه ششم ۰/۵۸ است و نشان می دهد که کیفیت مورفولوژیک متوسط می‌باشد. به عبارتی بازه های درون شهری از نوع ضعیف و بازه های حاشیه شهری از نوع متوسط هستند. وضعیت کیفیت مورفولوژیک کل کریدور و مسیر مورد بررسی نیز با مقدار شاخص ۰/۵۱ متوسط اما در کرانه پایین طبقه متوسط قرار دارد لذا تقریبا وضعیت ضعیفی دارد(جدول ۵).

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.96]

جدول (۴) نمونه جدول امتیازدهی به شاخص ها در بازه اول(منبع: نگارندگان،۱۴۰۱)

مولفه کارکرد ژئومورفولوژیک		C	B	A	مقدار امتیاز
پیوستگی طولی					
F1	پیوستگی طولی در شار رسوب و الوار (حداکثر ۵ امتیاز)		B		۳
پیوستگی جانبی (عرضی)					
F2	وجود دشت سیلابی جدید (حداکثر ۵ امتیاز)	C			۵
F3	اتصال کریدور رودخانه با دامنه ها و زمین های حاشیه‌ای (حداکثر ۵ امتیاز)		B		۳
F4	فرآیندهای پسروی کرانه رودخانه (حداکثر ۵ امتیاز)		B		۳
F5	وجود کریدور بالقوه فرسایش‌پذیر (حداکثر ۵ امتیاز)		B		۳
الگوی مجرا					
F6	پیکربندی بستر رودخانه - شیب دره (حداکثر ۵ امتیاز)			B	۳
F7	فرم ها و فرایندهای نمونه ای در الگوی مجرا (حداکثر ۵ امتیاز)			C	۳
F8	وجود فرم‌های رودخانه‌ای نمونه‌ای در دشت آبرفتی (حداکثر ۵ امتیاز)	C			۵
پیکربندی مقطع عرضی					
F9	تغییر در مقطع عرضی (حداکثر ۵ امتیاز)			A	۰
ساختار و پوشش سطحی بستر					
F10	ساختار بستر مجرا (حداکثر ۶ امتیاز)			B	۲
F11	وجود الوار بزرگ در مجرا (حداکثر ۳ امتیاز)	C1			۵
پوشش گیاهی					
F12	پهنای پوشش گیاهی کارکردی (کارآمد) (حداکثر ۳ امتیاز)			A	۰
F13	گسترش خطی پوشش گیاهی کارکردی (حداکثر ۵ امتیاز) کارآمد			A	۰
مولفه مصنوعی					
تغییرات بالادست در پیوستگی طولی رودخانه					
A1	تغییرات در بالادست جریان‌ها (حداکثر ۶ امتیاز)	C			۶
A2	تغییرات در بالادست بده رسوب (حداکثر ۱۲ امتیاز)		2B		۶
تغییرات در پیوستگی طولی بازه					
A3	تغییرات جریان در بازه (حداکثر ۶ امتیاز)	C			۶
A4	تغییرات بده رسوب در بازه (حداکثر ۱۲ امتیاز)		C		۶
A5	سازه‌های قطع کننده (حداکثر ۳ امتیاز)		B		۲
تغییرات در پیوستگی جانبی (عرضی) رودخانه					
A6	محافظ‌های کرانه رودخانه (حداکثر ۱۲ امتیاز)			A	۰

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.96]

A7	خاکریزهای مصنوعی (حداکثر ۱۲ امتیاز)			A	۰
تغییرات در شکل شناسی با پوشش سطحی کانال					
A8	تغییرات مصنوعی در مسیر رودخانه (حداکثر ۵ امتیاز)			B	۳
A9	دیگر سازه های پایدار کننده بستر (حداکثر ۱۲ امتیاز)		B		۳
مداخلات نگهداشت یا برداشت رسوب و الوار					
A10	برداشت رسوب (حداکثر ۶ امتیاز)			A	۰
A11	برداشت الوار (حداکثر۵ امتیاز)		B		۲
A12	مدیریت پوشش گیاهی (حداکثر۵ امتیاز)			A	۰
مولفه تغییرات و تعدیل های کانال					
CA1	تغییرات و تعدیل‌ها در الگوی مجرا (حداکثر۳ امتیاز)		B		۳
CA2	تغییرات و تعدیل‌ها در پهنای مجرا (حداکثر۳ امتیاز)		B		۳
CA3	تغییرات و تعدیل‌ها در تراز بستر (حداکثر۸ امتیاز)			A	۰
مجموع حداکثر امتیازهای بالقوه: ۱۷۲		مجموع کل امتیازهای بالفعل تعلق گرفته: ۷۵			۷۵
۷۵/۱۷۲=۰.۴۳ MAI					۰.۴۳
کیفیت مورفولوژیک: متوسط ۰.۵۷=۰.۴۳-۱ MQI					۰.۵۷

جدول(۵): وضعیت کلی مورفولوژیک بازه های مورد مطالعه (منبع: نگارندگان،۱۴۰۱)

بازه‌ها	امتیاز MQI	وضعیت مورفولوژیکی
۱	۰.۵۷	متوسط
۲	۰.۳۸	ضعیف
۳	۰.۴۱	ضعیف
۴	۰.۴۸	ضعیف
۵	۰.۶۶	متوسط
۶	۰.۵۸	متوسط
کل کریدور و مسیر	۰/۵۱	متوسط(به سمت ضعیف)

۵- بحث و نتیجه‌گیری

با توسعه زندگی شهرنشینی سیستم زهکشی رودخانه ها تغییر می کند. در پی کاهش جریان پایه، مورفولوژی بستر رودخانه و کرانه آن و نیز فرآیندهای رودخانه ای دچار تغییرات زیادی می شوند . ،در نتیجه لایروبی های متعدد و یا ساخت زیرساخت‌های شهری از جمله پارک های ساحلی و نواحی تفریگاهی، توسعه عرض خیابان ها و احداث پل‌ها و یا سازه‌های حفاظتی در کرانه ها، اغلب منجر به از دست دادن منطقه ساحلی و تخریب اکوسیستم آن می‌شود.از این

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.96]

رو مطالعه و برنامه ریزی در رودخانه های شهری علاوه بر به کارگیری شهرسازان و طراحان منظر، مستلزم مشارکت ژئومورفولوژیست های رودخانه ای و اکولوژیست هاست تا بتوان ضمن تحلیل تحول مجرای رود و شرایط آن ، راهکارهای مدیریتی مناسبی را ارائه کرد.

مسئله گسترش شهرنشینی و تغییرات در رودخانه های شهری و تبعات سوء آن در اغلب رودخانه های درون شهری و حاشیه شهری ایران و ازجمله زاینده رود در اصفهان رخ داده است.احداث سد در بالادست، انتقال آب به سایر مناطق، افزایش مصرف آب ، خشکسالی های اخیر و... به خشک شدن رودخانه زاینده رود و کاهش شدید کارکردهای ژئومورفیک- اکولوژیک آن منجر شده است.در درون شهر تغییرات شدید انسانی و مصنوعی در بستر و کرانه ها، رودخانه را از شرایط مرجع و طبیعی آن خارج ساخته است.

در بررسی های میدانی که در مسیر مطالعاتی و شش بازه رودخانه انجام شد، خشکی کامل بستر رودخانه ،موانع رسوبی طولی ایجاد شده، برخی رخنمون‌های سنگی ، جزایر و موانع رسوبی میان مجرایی ، خاکریزهای رسوبی عمدتا مصنوعی ،تخریب پوشش گیاهی طبیعی،تغییرات کاربری زمین و مداخلات انسانی و تثبیت کناره ها ، آشکارا مشاهده شد. اصلی ترین مشکلات ژئومورفیک این بازه ها عبارتند از:

خشک شدن بستر رودخانه ،تغییر در مقطع عرضی وکوچک کردن پهنای مجرای رودخانه از دوطرف، تغییر کاربری زمین های حاشیه ای رودخانه و پارک سازی و حذف دشت سیلابی ، فقدان پوشش گیاهی طبیعی کارآمد وقطع و تخریب آن ،تثبیت کناره ها ،فقدان فرم ها و فرآیندهای نمونه ای ژئومورفیک، اعمال تغییرات در دبی و رسوب بالادست، وجود سازه ها و پل های متعدد قطع کننده،تغییرات در شکل شناسی بستر رودخانه، این ویژگی ها باعث شده که عملکرد ژئومورفیک رودخانه در این بازه ها به شدت کاهش یابد.

بازه های با کیفیت مورفولوژیک متوسط در واقع بازه های رودخانه ای حاشیه شهری هستند..

. درعین حال وجود مآندرها، جزایر و فرم های چالاب و خیزاب،پوشش گیاهی نسبتا طبیعی و کرانه های تثبیت نشده باعث شده که عملکرد ژئومورفیک در این بازه ها نسبت به بازه های گروه اول بهتر و کیفیت مورفولوژیک در حد متوسط باشد.

با طبقه بندی انواع مجرای رودخانه و ارزیابی کیفیت مورفولوژیک و عملکردی آنها می توان راه کارهای متعدد مدیریتی خاص از جمله روش های مختلف احیاء و مهندسی سخت تا نرم جهت بهبود شرایط آنها را مورد استفاده قرار داد. در رابطه با احیاء رودخانه ی شهری زاینده رود ، باید با رعلیت حقوق حقآبه رودخانه و تامین یک دبی حداقلی ، جریان پایه آبی برای رودخانه درنظر گرفت، کاهش پمپاژ آب از رودخانه در بالادست برای مصارف کشاورزی بویژه در ارتفاعات صورت پذیرد.اقدامات مناسب احیاء باید در بازه های مورد بررسی انجام شود.از جمله اقدامات احیاء می توان موارد زیر را برشمرد: تبدیل مسیر مستقیم رودخانه به حالت شریانی و مئاندر در بستر رودخانه ، باریک کردن مجرای حرکت جریان با حداقل جریان آب و ساخت مجراهای سینوسی با استفاده از سازه های کم هزینه . ایجاد خلیج های کوچک جدید در بازه های برون و حاشیه شهری، ایجاد کناره های ساحلی عمیق ، کاشت نی و درختان بید و بومی منطقه در کرانه های رودخانه و ازجمله احیای مناطقی قدیمی مثل بیشه حبیب و ناژوان در حاشیه غربی مسیر رودخانه، ایجاد روکشی از درختان بید در حاشیه و حریم رودخانه، در صورت امکان ایجاد روکش ژئوتکستایل با

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.96]

درختان بید، پایدارســـازی ریشـــه های بیرون زده درختان در بازه ۱ و پارک ناژوان و بازه های ۵ و ۶ ، بازمقطع بندی نیمرخ بســتر در پیچ و خم ها و مآندرها ، ایجاد و احداث موزاییک اراضــی مرطوب دشــت ســیلابی در بازه های برون شهری، ایجاد معبر و نقاطی برای دسترسی به آب در بازه های ۱، ۵ و ۶ راهکارهایی هستند که در جهت بهبود شرایط این رودخانه پیشنهاد می شوند. راهکارهای اصلی احیاء شرایط مورفولوژیک بازه ها در جدول(۶) ارائه شده است.

جدول (۶) اقدامات اصلی احیاء در بازه ها (منبع: نگارندگان،۱۴۰۱)

	اصلی ترین راهکارهای احیاء	بازه ۱	بازه ۲	بازه ۳	بازه ۴	بازه ۵	بازه ۶
۱	ایجاد خیزاب سنگی	*	*	*	*	–	–
۲	ایجاد مآندر و شریانی کردن مسیر	*	*	*	–	–	–
۳	باریک کردن مجرای حرکت جریان به دلیل کمبود دبی و آب و ایجاد پوشــش گیاهی بومی در حواشــی در تمام مسیر						
۴	کاشت درختان بید و ایجاد نی زار در حاشیه کرانه ها	–	*	*	*	*	*
۵	روکش درختان بید در حاشیه (نواری ،ژئوتکستایل)	–	*	*	*	–	–
۶	پایدارسازی و حفاظت از ریشه درختان	*	–	–	–	*	*
۷	تسهیل دسترسی عموم به رودخانه	*	–	–	–	*	*
۸	لایروبی مسیر	–	*	–	*	*	*
۹	تقویت کرانه و جلوگیری از فرسایش	*	–	–	–	*	*
۱۰	ایجاد دریاچه های کوچک در دو طرف پل ها	*	*	*	*	*	*

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.96]

منابع

1. Bayati Khatibi, M. (2013). Investigation on Aji-Chay River Meander Changes on Flood Plain, *Scientific-Research Journal of Geography and Planning*, 49, 55-79 (In Persian).
2. Borek, Ł., & Kowalik, T. (2022). Hydromorphological Inventory and Evaluation of the Upland Stream: Case Study of a Small Ungauged Catchment in Western Carpathians, Poland. *Land*, 11(1), 141. https://doi.org/10.3390/land11010141
3. Das, E. (2022). River bank erosion induced human displacement and its consequences. Living *Reviews in Landscape Research*, 8 (3), 1-35 https://doi.org/10.12942/lrlr-2014-3
4. 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. https://doi.org/ 20.1001.1.22519424.1393.2.4.3.2
5. Esmaili, R. (2012) Application of Geomorphic River Recovery in river management, case study, Northen Alborz, Lavij Rud cathment, *Enviromental Erosion Researches.* 4, 87-108. (In Persian).
6. Esmaili, R., Hosseinzadeh, M.M. & Eghbali, R., (2013). Geomorphic effects of gravel extraction in gravel bed river: the river Lavij, Northen Alborz, *Geography and Natural Hazard*, http://jm.um.ac.ir/index.php/geo/article/view/19935
7. Golfieri, B, Suriana, N, Hardersen, S. (2018), towards a more comprehensive assessment of river corridor conditions: A comparison between the Morphological Quality Index and three biotic indices, *journal Ecological Indicators*, 84, 525-534. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.09.011
8. Hossein Zadeh, M. M, & Esmaili, R. (2014). *River Geomorphology*, Shahid Beheshti University Publications. First Edition. 338 p. (In Persian).
9. Ilanloo M, & Karam A. (2020). Assessment of hydromorphological conditions of the river using the MQI method (Case study area: JAJROOD River). *Jgs*, 20 (56) ,35-53(In Persian). http://jgs.khu.ac.ir/article-1-3017-fa.html
10. Karam, A. (2019). *Geomorphology of rivers, evaluation of morphological conditions of rivers*, 1st edition, translation, Alborz Province Academic Jihad (Khwarazmi) (In Persian).
11. Kazem, N., Rostami, M & Etminan, Z. (2018). Assessment of Taleghan River Hydrogeomorphological Conditions Using Morphological Quality Index, *hydrogeomorphology*, 6(21), 133-154. (In Persian). https://doi.org/20.1001.1.23833254.1398.6.21.7.2
12. Khaleghi, S., Hosseinzadeh1 , 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). doi: 10.22126/GES.2021.6068.2363
13. Laighi, S., & Karam, A. (2015). Hydrogeomorphological classification of Jajrud river with Rosegen model. *Quantitative Geomorphological Research.* 3(3),130-143(In Persian). https://doi.org/ 20.1001.1.22519424.1393.3.3.9.9
14. Nicoll, T. J., & Hickin, E. J. (2010). Planform geometry and channel migration of confined meandering rivers on the Canadian prairies. *Geomorphology*, 116(1-2), 37-47.
15. Nosrati, K., Rostami, M., Etminan Z .(2020).Assessment of Taleghan River Hydrogeomorphological Conditions Using Morphological Quality Index, *Hydrogeomorphology*, 6(21), 133-154(In Persian).
16. Rinaldi, M., Surian, N., Comiti, F., Bussettini, M., (2013). A method for the assessment and analysis of the hydromorphological condition of Italian streams: The Morphological

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.96]

Quality Index (MQI), *Geomorphology* 180(18), 96–108. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.09.009

17. Ramos, J., & Gracia, J. (2012). Spatial–temporal fluvial morphology analysis in the Quelite River: It's impact on communication systems. *Journal of hydrology*, 412, 269-278.
18. Rezaei Moghaddam M H, Nikjoo, M R, Maleki, (2018).An Investigation of Morphological Changes of Azadroud River Pattern using Geometric Indices, *Geography and Environmental Planning*, 28 (4), 1-16(In Persian).
19. Rinaldi, M. (2017). *hydromorphological analysis of Guadalquivir fluvial system(southern spain)*. Technical Report Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional Universidad de Sevilla.
20. Rigon, E., Moretto, J., Rainato, R., Lenzi, M. A., Zorzi, A (2013). "Evaluation of the Morphological Quality Index in the Cordevole River (Bl, Italy)", *Journal of Agricultural Engineering*, 3, 103 –113.https://doi.org/10.4081/jae. 2013.e15
21. Scorpio, V., Loy, A., Di Febbraro, M., Rizzo, A., Aucelli, P. (2014); "Hydromorphology Meets Mamal Ecology River Morphological Quality, Recent Channel Adjustments and Otter Resilence", *Journal of River Research and Applications*, River Res. Applic, 1 – 13. https://doi.org/10.1002/rra.2848
22. Saraskanroud, S. (2016). Investigation the Potential of Morphological Change Urmia Shahrchi River, *Scientific-Research Journal of Geography and Planning*, 57, 49-62.
23. Yamani, M. & Hosseinzadeh, M M. (2010). Investigation of changes in the pattern of the Talard River in the coastal plain of Mazandaran. *Geographical researches*. 43, 109-122. (In Persian). https://doi.org/10.22108/GEP.2017.98177.0

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.96]