

Research Paper



Evaluation of the morphological changes of Haraz river following human pressures in the Amol city, Mazandaran



Reza Esmaili*¹, Niusha Nourizadeh Nesheli²



This paper is an open access and licenced under the CC BY NC licence.



DOI:10.22034/hyd.2024.61151.1733

Reference to this article: Esmaili, Reza; Nourizadeh Nesheli, Niusha; Evaluation of the morphological changes of Haraz river following human pressures in the Amol city, Mazandaran. *Hydrogeomorphology*, 11(40): 40 – 57.

Keywords

River morphological changes, River planform, Haraz river, Amol, Northern Iran

Receive Date: 2024/04/13

Accept Date: 2024/08/17

Available: 2024/00/00

ABSTRACT

Rivers are natural systems that human pressures have caused severe changes in their morphology during the past decades. The factors influencing river morphological changes and their responses vary across different regions. Therefore, in the present study, morphological changes in a section of the Haraz River in of Amol city were investigated over a 53-year period (1968 - 2021). The changes in river width, planform, and fluvial landforms were examined using aerial photographs and satellite images. Subsequently, by calculating the specific stream power and conducting field observations, the hazards associated with the river channel were identified. In 1968, the average river width was measured at 141 meters, but by the years 2006 and 2021, it has decreased to 55 meters. The area of fluvial landforms, including the active riverbed and longitudinal bars, decreased by 50% and 95%, respectively, during this period. The river channel transitioned from a braided pattern to a single-channel pattern due to channel narrowing and significant reduction in longitudinal bars. These changes led to an increase in stream power and erosional processes, resulting in river incision and bank erosion. Key factors contributing to the morphological alterations in the study area included the reduction in base flow, irrigation channel diversion, and land use changes along the river floodplain. According to the process of changes, the construction of the new dam (Haraz), the continuation of the occupation of the floodplain and canalization can intensify the river channel hazards.

* Corresponding Author: Reza Esmaili

E-mail: r.esmaili@umz.ac.ir

1. Department of Geography, Faculty of Social Science, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

2. Department of Geography, University of Mazandaran, Babolsar, Iran,

Email: niushanesheli@gmail.com

Extended Abstract

Introduction

Rivers are complex systems with interconnected components, and any change in these elements can impact the river's behavior as it strives to reach equilibrium. Whether due to natural processes (such as floods) or human interventions, alterations in any of these factors can lead to responses in the river. Identifying and analyzing the trends in geomorphic changes of a river can be useful and applicable in future urban planning, river management strategies, engineering structures, and river restoration efforts.

The present study aims to evaluate the geomorphic changes in the Haraz River within Amol city over a 53-year time span. To achieve this goal, the following questions have been posed: What parameters of the river channel have been affected by the morphological changes of Haraz River? What was the amount of these changes? What river hazards have these changes led to or will lead to?

The Haraz River basin, covering an area of 4,972 km², is one of the largest watersheds in the Caspian Sea Basin. Originating from the Central Alborz Mountains, the Haraz River forms a relatively wide alluvial fan upon exiting the mountains, where the city of Amol is situated. The study area in this research encompasses a 6.5-km stretch of the Haraz River, which flows across the alluvial fan and passes through the city of Amol.

Methodology

The study reach was divided into three sub-reaches, and the changes in the river were evaluated over a 53-year period (1968-2021). For the years 1968, 2006, and 2021, the assessment was conducted using the interpretation of aerial photographs and satellite images. To investigate morphological changes, the width of the riverbed and the river planform were measured. Width measurements were taken at several cross sections along the riverbed, with approximately equal intervals within each reach. The resulting values were analyzed using statistical tests and the SPSS software. In each river reach, existing river landforms were delineated, including the active riverbed, longitudinal bars, lateral bars (bank-attached bar), and floodplain. Changes in the dimensions of landforms were analyzed for river planform analysis in different years. Finally, considering the observed changes, the specific stream power and the current conditions of the river, the river channel hazards were identified and analyzed.

Results and Discussion

The average width of the river in the reaches of 1-3 of Haraz river was measured as 124, 141 and 152 meters in 1968, respectively, which decreased to 52, 57 and 55 meters in 2006 and 54, 51 and 57 meters respectively in 2021. To analyze the changes in mean river width over the three years, one-way analysis of variance (ANOVA) test was employed. The resulting significance value (Sig) of 0 indicates a statistically significant difference in river width. For pairwise comparisons between years, the Least Significant Difference (LSD) test was used. It revealed that the river width in 1968 significantly differed from both 2006 and 2021. However, no significant difference in channel width occurred between 2006 and 2021. Overall, the mean river width during the study period (from 1968 to 2021) decreased by 55%, 62%, and 64% in reaches of 1, 2, and 3, respectively.

One of the most significant impacts resulting from human pressures is the alteration of river widths, leading to channel narrowing or widening. In the Haraz River, factors such as the reduction of the base discharge, the occupation of the floodplain and the creation of urban and agricultural land use, as well as the channel engineering and protection walls, have contributed to the narrowing of the channel.

Changes in the area of riverbed landforms, including the active river channel, longitudinal bars, and lateral bars, were calculated over different years. During the study period from 1968 to 2021, the active river channel area decreased by 47%, 49%, and 62% in reaches 1 to 3, respectively. The area of longitudinal bars, which contribute to the formation of multiple channels in the riverbed and play a crucial role in identifying and distinguishing braided rivers, decreased by 90% to 100% in the reaches of 1 to 3. The lateral bars area decreased by 30% and 95% in reaches of 1 and 2, respectively. However, in reach 3, its area increased more than fivefold. The primary reason for this increase was the transformation of longitudinal bars into lateral bars

due to a reduction in river width. The ratio of longitudinal bars area to the total riverbed area was considered as an braided index. Based on this, the values of this ratio in the years 1968 were 30.6%, 32.9%, and 47.6% in reaches of 1 to 3, respectively. These values decreased to less than 7% in all reaches in subsequent years. The reduction in river width and channel narrowing have been recognized as the primary factors leading to the removal of river braided planform. The reduction of braided rivers and their transformation into single-channel rivers has also been reported due to human pressures in other regions worldwide (for example: Stecca et al. 2019, Fuller et al. 2020).

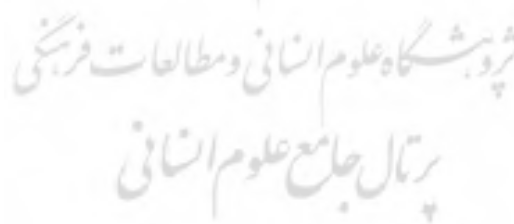
The specific stream power was lower than the critical threshold of 300 W/m^2 (Magilligan 1992) for all three reaches in 1968 in floods with a return period of 100 years. However, with the decrease in average river width in subsequent years (2006 and 2021), the specific stream power increased by a factor of 3. This condition indicates an increase in river power for implementing geomorphic changes within the reaches.

Conclusions

Reduction in channel width has led to the narrowing of the riverbed and a shift in the river's pattern from a braided planform to a single-channel. Consequently, with increased river power, the erosive capacity of the river has also risen, affecting the riverbed and its banks. Field investigations reveal that incision of the riverbed is one of the most significant effects of these changes, observed as undercutting at the base of bridges, protective walls, and lateral terraces. Additionally, lateral erosion, due to the concentration of flow in concave bends of the river, is another hazard in this range of the river channel.

References

- Fuller, I. C., Death, R. G., Garcia, J. H., Trenc, N., Pratt, R., Pitiot, C., & Death, A. (2021). An index to assess the extent and success of river and floodplain restoration: Recognising dynamic response trajectories and applying a process based approach to managing river recovery. *River Research and Applications*, 37(2), 163-175.
- Magilligan, F. J. (1992). Thresholds and the spatial variability of flood power during extreme floods. *Geomorphology*, 5(3-5), 373-390.
- Stecca, G., Zolezzi, G., Hicks, D. M., & Surian, N. (2019). Reduced braiding of rivers in human-modified landscapes: Converging trajectories and diversity of causes. *Earth-science reviews*, 188, 291-311.



مقاله پژوهشی



ارزیابی تغییرات مورفولوژیکی رودخانه هراز در اثر فشارهای انسانی در محدوده شهر آمل، مازندران



رضا اسماعیلی*، نیوشا نوری زاده نشلی^۲



این مقاله به صورت دسترسی باز و با لایسنس CC BY NC کپی‌رایتو کامنز قابل استفاده است.



ارجاع به این مقاله: اسماعیلی، رضا؛ نوری زاده نشلی، نیوشا (۱۴۰۳). ارزیابی تغییرات مورفولوژیکی

رودخانه هراز در اثر فشارهای انسانی در محدوده شهر آمل، مازندران. هیدروژئومورفولوژی، ۱۱ (۴۰): 41-57

DOI:10.22034/hyd.2024.61151.1733



چکیده

رودخانه‌ها سیستم‌های طبیعی هستند که فشارهای انسانی طی دهه‌های گذشته موجب تغییرات شدیدی در مورفولوژی آنها شده است. عوامل مؤثر بر تغییرات مورفولوژیکی رودها و واکنش آنها در مناطق مختلف متفاوت است. از این رو، در تحقیق حاضر، تغییرات مورفولوژیکی بخشی از رودخانه هراز در محدوده شهر آمل طی یک دوره ۵۳ ساله (۱۴۰۰-۱۳۴۷) مورد مطالعه قرار گرفت. تغییرات عرض رودخانه، پلان فرم و لندفرم‌های رودخانه‌ای با استفاده عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای مورد بررسی قرار گرفتند. سپس، با محاسبه قدرت ویژه رود و مشاهدات میدانی مخاطرات کانال رود شناسایی شدند. در سال ۱۳۴۷ میانگین عرض رودخانه، ۱۴۱ متر بوده و در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۴۰۰ به ۵۵ متر کاهش یافت. به طور میانگین عرض رود در بازه‌های مختلف نسبت به سال ۱۳۴۷، به میزان ۶۰ درصد کاهش یافته است. مساحت لندفرم‌های رودخانه‌ای شامل بستر فعال رود و موانع طولی در این دوره به ترتیب ۵۰ و ۹۵ درصد کاهش یافت. با تنگ‌شدگی رود و کاهش شدید موانع طولی، پلانفرم رودخانه از حالت شریانی به تک‌کانالی تغییر یافت. به واسطه این تغییرات، قدرت ویژه رود بیش از سه برابر افزایش یافته و فرایندهای فرسایشی موجب فرسایش رودخانه و فرسایش دیواره رود شدند. کاهش جریان پایه رود به علت احداث سد لار و کانال‌های آبیاری، تصرف دشت سیلابی، تغییر کاربری اراضی حاشیه رود و مهندسی کانال رود از مهم‌ترین عوامل فشار در تغییرات مورفولوژیکی رود در محدوده مورد مطالعه بوده‌اند. با توجه روند تغییرات ایجاد شده، احداث سد جدید (هراز)، تداوم تصرفات دشت سیلابی و کانال‌سازی می‌تواند مخاطرات کانال رود را تشدید نماید.

کلیدواژه‌ها

تغییرات مورفولوژیکی
رودخانه، پلانفرم رود، رودخانه
هراز، آمل، شمال ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۷

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۰/۰۰

* نویسنده مسئول: رضا اسماعیلی

رایانامه: r.esmaili@umz.ac.ir

۱- دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

۲- کارشناسی ارشد مخاطرات محیطی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران، رایانامه: niushanesheli@gmail.com

مقدمه

رشد جمعیت و گسترش شهرنشینی در ایران موجب شده است که تجاوز به حریم رودخانه‌ها و دشت سیلابی رودها افزایش سریعی داشته باشد که این مسأله به فراوانی در مناطق شهری قابل مشاهده است. رشد شهرنشینی در مناطق حاشیه شهری عمدتاً به صورت تغییر کاربری از کشاورزی به مسکونی است و در داخل بافت شهری با تراکم کاربریهای شهری همراه است. این تغییرات در محدوده رودخانه‌ها و مسیل‌ها مشکلات و مخاطراتی را به همراه دارد. وقوع سیلابهای شدید در کلان‌شهرهای تهران، شیراز، مشهد و غیره طی سالهای اخیر نمونه‌ای از این دخالت‌های انسانی محسوب می‌شود. از این رو لازم است نوع و میزان تغییرات و پیامدهای احتمالی مخاطرات رودخانه‌ای در مناطق شهری و حاشیه آنها مورد ارزیابی علمی قرار گیرد تا بتوان با مدیریت صحیح از تکرار مخاطرات رودخانه‌ای در مناطق شهری پیشگیری کرد.

رودخانه‌ها یک سیستم فرایند - واکنش پیچیده هستند که اجزای مختلف آنها با هم در ارتباط بوده و تغییر در هر یک از اجزاء، واکنش رود را برای رسیدن به تعادل به همراه دارد. مهم‌ترین اجزاء کانال رود در مقیاس بازه شامل شیب بستر، عرض و عمق کانال رود، اندازه ذرات رسوبی و پلان رود هستند؛ لذا تغییر در هر یک از این عناصر چه به صورت طبیعی (سیلاب‌ها) و چه به صورت دخالت‌های انسانی می‌تواند با واکنش همراه باشد. دخالت‌های انسانی به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم رودخانه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در حالت غیرمستقیم، گسترش شهرنشینی، تغییرات در پوشش سطح زمین و کاربری اراضی و غیره موجب تغییر رژیم‌های هیدرولوژیکی و رسوب‌شناختی شده و به دنبال آن چشم‌انداز رودخانه‌ها در سطح زمین دچار تغییر می‌شود (چین^۱، ۲۰۰۶). دخالت‌های مستقیم به صورت احداث پل‌ها، دیواره‌های حفاظتی، کانال‌سازی، سدسازی، برداشت شن و ماسه و... در رودخانه‌ها است که می‌تواند مورفولوژی رودها را به صورت مستقیم تغییر دهد.

تغییرات و واکنش‌های رودخانه‌های شهری به عوامل مختلفی در مقیاس منطقه‌ای، حوضه آبریز و کانال رود بستگی دارد که شامل موارد زیر می‌شوند: وسعت، شدت و نوع کاربری اراضی شهری، ارتباط هیدرولوژی سطحی شهر و رگبارها، بزرگی تغییرات هیدرولوژیکی؛ فیزیوگرافی، زمین‌شناسی، هیدروکلیماتولوژی، تغییرات در منابع رسوب و انتقال آنها، وضعیت و تغییرات پوشش گیاهی کناره رود، مورفولوژی و حساسیت رودخانه و میزان و نوع دخالت انسان (هنشو و بوث^۲، ۲۰۰۰؛ چین^۳، ۲۰۰۶؛ گورنل^۴ و همکاران^۵، ۲۰۰۷؛ چین^۶ و گریگوری^۷، ۲۰۰۹؛ جردن^۸ و همکاران^۹، ۲۰۱۰؛ هاولی و بلدوز^{۱۰}، ۲۰۱۳؛ چین و همکاران^{۱۱}، ۲۰۱۳؛ تانیگوجی - کوان و بیگز^{۱۲}، ۲۰۱۵؛ بوان^{۱۳} و همکاران^{۱۴}، ۲۰۱۸؛ گریگوری و چین^{۱۵}، ۲۰۱۸؛ هاولی و همکاران^{۱۶}، ۲۰۲۰ و اشمور^{۱۷} و همکاران^{۱۸}، ۲۰۲۳).

تحقیقات زیادی در مورد اثرات شهرنشینی بر رودخانه‌ها انجام شده است. در گروهی از این تحقیقات تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ها با استفاده از تفسیر عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای در مدت چند دهه‌ساله مورد بررسی قرار گرفته است (یمانی و همکاران^{۱۹}، ۱۳۹۴؛ جمالی و همکاران^{۲۰}، ۱۳۹۵؛ رشیدی و همکاران^{۲۱}، ۱۳۹۵؛ قنوتی و همکاران^{۲۲}، ۱۳۹۵؛ نژاد حسینی و همکاران^{۲۳}، ۱۳۹۶؛ یوسفی و همکاران^{۲۴}، ۲۰۱۷؛ صفاری و همکاران^{۲۵}، ۱۴۰۲؛ نیث و گوش^{۲۶}، ۲۰۲۰؛ اشمور^{۲۷} و همکاران^{۲۸}، ۲۰۲۳؛ سالوا و لک^{۲۹}، ۲۰۲۳). نتایج این تحقیقات نشان می‌دهد که واکنش رودخانه‌ها با توجه به تعدد عوامل و شرایط محیطی متفاوت بوده و مهم‌ترین آنها شامل پهن شدگی کانال رود، فرسایش بستر، فرسایش کناره رود، تشکیل گالی، تغییرات پلانفرم رود، تغییرات در توپوگرافی بستر (موانع درون کانالی)، کاهش ظرفیت کانال با تنگ شدگی و کم عمق شدن بستر؛ سیلندی شدن کانال می‌شوند (چین و همکاران^{۳۰}، ۲۰۱۳: ۸۲۹).

در تحقیقات دیگر، اثرات شهرنشینی و توسعه شهری بر رودخانه‌ها در قالب طبقه‌بندی کانال‌ها و ارزیابی مخاطرات آنها انجام شده است (گریگوری و چین^{۳۱}، ۲۰۰۲؛ اسماعیلی و لرستانی^{۳۲}، ۱۳۹۴؛ اسماعیلی و همکاران^{۳۳}، ۱۳۹۷). هم چنین روش شاخص کیفیت مورفولوژیکی رودها^{۳۴} (MQI) در برخی دیگر از مطالعات برای ارزیابی تغییرات مورفولوژیکی رود مورد استفاده قرار گرفته است (غفورپور عنبران و

1- Chin
2- Henshaw and Booth
3- Gurnell
4- Gregory
5- Jordan

6- Hawley and Bledsoe
7- Taniguchi-Quan and Biggs
8- Bevan
9- Ashmore
10- Nath and Ghosh

11- Ashmore
12- Salawu and Leke
13- Morphological quality index (MQI)

همکاران ۱۴۰۱، طالبی و همکاران ۱۴۰۱). بر اساس این شاخص، بازه‌هایی که در محدوده شهری قرار گرفتند شاخص ضعیف و بسیار ضعیفی از نظر کیفیت مورفولوژیکی داشته‌اند.

مباحث فوق نشان می‌دهند اگرچه تأثیرات شهرنشینی به‌راحتی به‌صورت خلاصه بیان می‌شوند، اما عوامل تأثیرگذار بر تغییرات رودخانه‌ها و واکنش‌های مورفولوژیکی رودخانه‌ها متعدد هستند. از این‌رو، شناسایی و تحلیل روند تغییرات ژئومورفیک رود می‌تواند در برنامه‌ریزی آینده شهری و استراتژی‌های مدیریتی رود، احداث سازه‌های مهندسی، بازسازی و احیای رود مفید و قابل‌اجرا باشد.

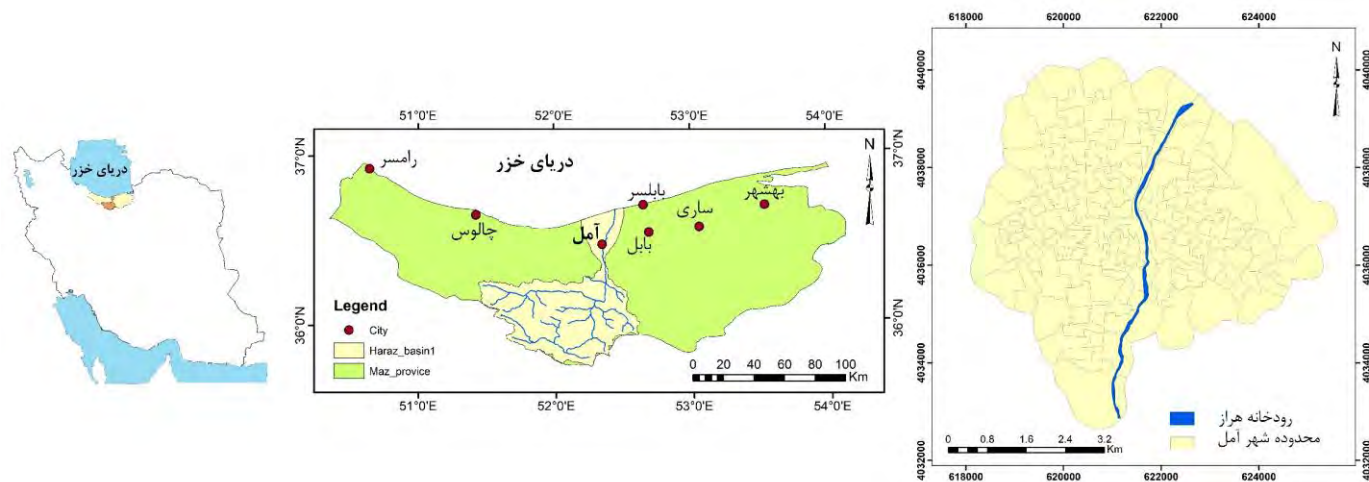
در استان مازندران به‌واسطه شرایط اقلیمی و محیطی، رودخانه‌های دائمی زیادی جریان دارند. تراکم بالای جمعیت و گسترش مناطق مسکونی موجب تغییرات مهمی در رودخانه‌های این منطقه شده و این روند همچنان ادامه دارد؛ لذا تحقیق حاضر باهدف ارزیابی تغییرات ژئومورفیک رودخانه هراز در محدوده شهر آمل در یک بازه زمانی ۵۳ ساله (۱۴۰۰-۱۳۴۷) انجام شده است. در راستای این هدف سؤالات زیر مطرح شده است: تغییرات مورفولوژیکی رود هراز چه پارامترهایی از کانال رود را تحت تأثیر قرار داده است؟ میزان این تغییرات چه مقدار بوده است؟ این تغییرات منجر به چه مخاطرات رودخانه‌ای شده و یا خواهند شد.

منطقه مورد مطالعه

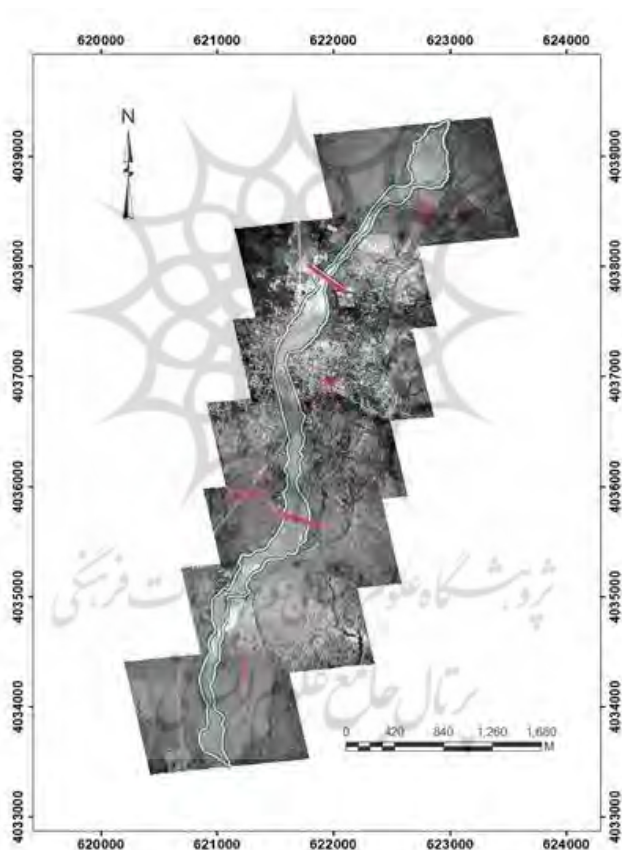
حوضه رودخانه هراز با مساحت ۴۹۷۲ کیلومتر مربع یکی از حوضه‌های بزرگ جنوب دریای خزر محسوب می‌شود. از نظر ساختار زمین‌شناسی، قسمت کوهستانی حوضه در زون البرز و قسمت جلگه‌ای آن در زون گرگان-رشت قرار دارد. بخش مهمی از حوضه هراز در محدوده سیاسی شهرستان آمل قرار گرفته است. اختلاف ارتفاع در حوضه هراز ۵۶۳۷ متر است که از ارتفاع ۵۶۱۰ متری قله دماوند تا ارتفاع ۲۷- در تراز دریای خزر متغیر است. رودخانه هراز از کوه‌های البرز مرکزی سرچشمه گرفته و در محل خروج از کوهستان مخروط افکنه نسبتاً وسیعی را ایجاد نموده که شهر آمل در بخشی از آن استقرار یافته است. نهایتاً شاخه اصلی این رود در شهر سرخورد به دریای خزر وارد می‌شود. مخروط افکنه هراز با دارا بودن منابع آب زیرزمینی و سطحی غنی، بارش کافی و خاک حاصلخیز به طور کامل در اشغال مناطق شهری و روستایی و فعالیت‌های انسانی قرار دارد. محدوده مورد مطالعه در تحقیق حاضر بخشی از رودخانه هراز به طول ۶/۵ کیلومتر است که بر روی مخروط افکنه جاری بوده و از درون شهر آمل عبور می‌کند (شکل ۱). فروسایبی بستر بر روی مخروط افکنه موجب ایجاد تراس‌های آبرفتی در حاشیه رود شده و بستر و کناره‌های رود کاملاً آبرفتی هستند. بازه رودخانه مورد مطالعه در محدوده ارتفاعی ۴۵ تا ۱۳۹ متری از سطح دریا قرار دارد. بر اساس آمار ایستگاه هواشناسی آمل میانگین بارش سالانه طی دوره ۹۶-۱۳۸۰ معادل ۶۷۱ میلیمتر بوده و میانگین دمای سالانه ۱۷/۵ سانتیگراد گزارش شده است. میانگین دبی رودخانه هراز در ایستگاه کره سنگ ۳۰ مترمکعب در ثانیه بوده که در ماه‌های اردیبهشت و خرداد تا ۶۵ مترمکعب در ثانیه افزایش می‌یابد. ماه‌های دی و بهمن با دبی ۱۶ مترمکعب در ثانیه کمترین مقادیر دبی ماهانه این رود را نشان می‌دهند.

داده‌ها و روش‌ها

در این تحقیق تغییرات بخشی از رودخانه هراز به طول ۶/۵ کیلومتر در محدوده شهری آمل مورد مطالعه قرار گرفت. تغییرات رودخانه طی یک دوره ۵۳ ساله (۱۳۴۷-۱۴۰۰) و برای سالهای ۱۳۴۷، ۱۳۸۵ و ۱۴۰۰ با استفاده از تفسیر عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. عکس‌های هوایی سال ۱۳۴۷ با مقیاس ۱:۶۵۰۰ از سازمان نقشه‌برداری کشور تهیه و ژئورفرنس شدند و برای سالهای ۱۳۸۵ و ۱۴۰۰ از تصاویر گوگل ارث استفاده شد. بستر رودخانه طی سال‌های مذکور ترسیم شدند و محدوده مورد مطالعه باتوجه به مجاورت به منطقه شهری بر مبنای عکس‌های هوایی سال ۱۳۴۷ به سه بازه تقسیم شدند (شکل ۲). بازه ۱ به طول ۲۳۵۰ متر در قسمت بالادست و قبل از ورود به منطقه شهری، بازه ۲ به طول ۲۲۷۰ متر در قسمت میانی و کاملاً در محدوده کاربری شهری و بازه ۳ به طول ۱۸۸۰ متر در پایین دست منطقه قرار گرفتند.



شکل (۱): موقعیت محدوده مورد مطالعه
Figure (1): Location of the study area



شکل (۲): موقعیت بازه‌های رودخانه‌ای در محدوده مورد مطالعه
Figure (2): The location of river reaches in the study area

برای بررسی تغییرات مورفولوژیکی، عرض بستر رود و پلان رود مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. اندازه‌گیری عرض در چندین قسمت از بستر رود و با فواصل تقریباً برابر در هر بازه انجام شد. مقادیر حاصله با آزمون‌های آماری و در نرم‌افزار SPSS تجزیه و تحلیل شدند. در هر بازه رود لندفرم‌های رودخانه‌ای موجود شامل بستر فعال رود، موانع طولی، موانع جانبی (متصل به کناره رود) و دشت سیلابی ترسیم شدند (حسین‌زاده و اسماعیلی ۱۳۹۴). تغییرات ابعاد لندفرم‌ها برای تحلیل پلانفرم رود در سال‌های مختلف مورد تحلیل قرار گرفتند. برای ارزیابی عملکرد ژئومورفیک از قدرت ویژه رود استفاده شد که بر اساس رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$\omega = \frac{\rho g Q S}{W} \quad (1)$$

که ω : قدرت ویژه جریان آب بر حسب وات بر مترمربع (W/m^2)، ρ : چگالی آب (1000 kg/m^3)، g : شتاب ثقل زمین (9.8 m/s^2)، Q : دبی جریان (m^3/s)، S : گرادیان انرژی که معادل شیب بستر بر حسب m/m در نظر گرفته می‌شود، W : عرض جریان آب. در نهایت باتوجه به تغییرات رخ داده و شرایط فعلی رود، مخاطرات کانال رود شناسایی و تحلیل شدند.

یافته‌ها و بحث

تغییرات عرض رود

میانگین عرض رود در بازه‌های ۱، ۲ و ۳ رودخانه هراز در سال ۱۳۴۷ به ترتیب ۱۲۴، ۱۴۱ و ۱۵۲ متر اندازه‌گیری شد که در سال ۱۳۸۵ به ترتیب ۵۲، ۵۷ و ۵۵ متر و در سال ۱۴۰۰ به ترتیب ۵۴، ۵۱ و ۵۷ متر کاهش یافته است (جدول ۱). حداکثر عرض بستر رود در سالهای ۱۳۴۷، ۱۳۸۵ و ۱۴۰۰ به ترتیب ۳۹۰، ۱۱۵ و ۱۲۷ متر بوده است. برای بررسی میانگین عرض رود در بازه‌های مختلف یک سال از آزمون آماری آنالیز واریانس یک طرفه (Anova) در سطح معناداری ۰/۰۵ استفاده شده است. که فرضیه H_0 و H_1 به صورت زیر مطرح شده است:

H_0 : میانگین عرض رودخانه در بازه‌های مختلف در یک سال تفاوتی ندارد.

H_1 : میانگین عرض رودخانه در بازه‌های مختلف در یک سال متفاوت است.

مقدار Sig برای بازه‌های مختلف در سال‌های ۱۳۴۷، ۱۳۸۵ و ۱۴۰۰ به ترتیب ۰/۵۵، ۰/۶۵ و ۰/۷۶ بدست آمد که تأیید فرضیه صفر را نشان می‌دهد، یعنی عرض بستر رود در بازه‌های مختلف در یک سال مشخص تفاوت معناداری نداشته است (جدول ۱). همچنین برای بررسی تغییرات میانگین عرض رود طی سه سال مورد بررسی از آزمون Anova استفاده شد (جدول ۲) و فرضیه H_0 و H_1 به صورت زیر بیان شدند:

H_0 : میانگین عرض رودخانه در سال‌های مختلف تفاوتی نداشته است.

H_1 : میانگین عرض رودخانه در سال‌های مختلف متفاوت بوده است.

مقدار Sig=0 نشان می‌دهد که در میانگین عرض رود تفاوت معناداری ایجاد شده است. برای مقایسه تفاوت در سال‌ها از آزمون حداقل تفاوت معنادار (LSD) استفاده شد که نشان می‌دهد عرض رودخانه در سال ۱۳۴۷ تفاوت معناداری با سالهای ۱۳۸۵ و ۱۴۰۰ داشته است، اما در سالهای ۱۳۸۵ و ۱۴۰۰ تفاوت معناداری در عرض کانال رود رخ نداده است. در مجموع میانگین عرض رود طی دوره مورد بررسی از سال ۱۳۴۷ تا ۱۴۰۰ به ترتیب ۵۵، ۶۲ و ۶۴ درصد در بازه‌های ۱ تا ۳ کاهش یافته است.

بیشترین تغییرات کاربری اراضی در بازه ۳ صورت گرفت که حاشیه رود از زمینهای کشاورزی تبدیل به مناطق مسکونی و کاربریهای شهری شد. در بازه ۲ که بخش زیادی از آن در سال ۱۳۴۷ در محدوده کاربری مسکونی قرار گرفته بود در سالهای بعد با تراکم بالای ساختمانی و فضاهای شهری تحت اشغال قرار گرفت. کرانه شرقی بازه ۱ عمدتاً تحت کاربری کشاورزی قرار داشته و تجاوز به دشت سیلابی رود و تبدیل آن به زمینهای کشاورزی از عوامل مهم کاهش عرض بستر رودخانه بوده است. اگرچه تجاوز به دشت سیلابی رود با تخلیه نخاله‌های شهری و کاهش ابعاد بستر رود همچنان ادامه دارد (شکل ۳).

یکی از مهم‌ترین اثرات ناشی از فشارهای انسانی تغییرات عرض رودخانه‌ها است که موجب تنگ‌شدگی یا پهن‌شدگی کانال رود می‌شود. در رودخانه هراز کاهش جریان پایه رود، تصرف دشت سیلابی و ایجاد کاربری‌های شهری و کشاورزی و همچنین مهندسی کانال رود و ایجاد دیواره‌های حفاظتی موجب تنگ‌شدگی کانال رود شده است. سد لار در بخشی از حوضه آبریز رود هراز احداث شده و سال ۱۳۶۱ مورد بهره‌برداری قرار گرفت. میانگین دبی سالانه رود هراز طی دوره قبل از احداث سد (۱۳۶۱-۱۳۲۹)، ۳۳ مترمکعب در ثانیه بوده است که در دوره بعد از احداث سد (۱۳۶۲-۱۳۹۱) به میانگین ۲۸ مترمکعب در ثانیه رسید. بر این اساس کاهش ۱۵ درصدی در جریان پایه رود اتفاق افتاده است.

جدول (۱): خلاصه محاسبات آماری عرض رودخانه در بازه‌های مورد مطالعه و مقایسه میانگین آنها

Table (1): Summary of statistical calculations of river width in the studied reaches and their average comparison

توصیف	Sig*	انحراف معیار	حداکثر	میانگین	حداقل	تعداد نمونه	بازه	سال
تفاوت معنادار ندارد.	۰/۵۵	۱۸/۷۷	۳۹۰/۷	۱۲۴/۳	۶۸/۲	۱۷	۱	۱۳۴۷
		۱۲/۹	۲۳۸	۱۴۱	۶۸	۱۶	۲	
		۲۳/۷	۳۵۸	۱۵۲/۸	۴۴/۹	۱۶	۳	
تفاوت معنادار ندارد.	۰/۶۵	۱۴/۶	۹۳/۹	۵۵/۵	۴۱/۹	۱۶	۱	۱۳۸۵
		۱۸/۱	۸۰	۵۲/۹	۲۷	۱۳	۲	
		۲۵/۵	۱۱۵	۵۷	۳۲/۳	۱۰	۳	
تفاوت معنادار ندارد.	۰/۷۶	۱۶/۵	۸۱	۵۸	۳۵	۱۶	۱	۱۴۰۰
		۲۴/۶	۱۱۵	۵۴/۶	۲۶	۱۷	۲	
		۳۴/۹	۱۲۷	۵۱/۸	۳۳	۱۰	۳	

*مقدار Sig در سطح معناداری ۰/۰۵ و برای آزمون آنالیز واریانس میانگین عرض بستر رود برای بازه‌های مختلف در یک سال مشخص است.

جدول (۲): مقایسه تغییرات میانگین عرض رودخانه طی سال‌های مختلف برای بازه‌های مورد مطالعه با آزمون آنالیز واریانس

Table (2): Comparison of the changes of river mean width during different years for the studied reaches with the analysis of variance (Anova) test

Sig ۸۵-۱۴۰۰	Sig ۴۷-۸۵	Sig ۴۷-۱۴۰۰	۱۴۰۰	۱۳۸۵	۱۳۴۷	سال
						بازه
۰/۸۸	۰	۰	۵۷/۹۵	۵۵/۵۵	۱۲۴/۳	۱
۰/۸۱	۰	۰	۵۴/۶	۵۲/۹۰	۱۴۱/۰۷	۲
۰/۶۲	۰	۰	۵۱/۷۹	۵۷/۰۵	۱۵۲/۸	۳

به علاوه، احداث و انشعاب کانالهای آبیاری در بالادست محدوده شهری هم در کاهش جریان پایه نقش دارد که گزارش آماری در دسترس نیست. در هر حال، عرض رودخانه در محدوده مورد بررسی، به طور میانگین نسبت به حالت اولیه ۶۰ درصد کاهش یافته است. مقایسه تغییرات ایجاد شده در رودخانه هراز با سایر مناطق از ایران و جهان هم مؤید چنین اثرات مشابهی در کانال رود است که به عنوان نمونه به چند مورد اشاره می‌شود. یوسفی و همکاران (۲۰۱۷) کاهش ۸۴ درصدی عرض رودخانه تالار (مازندران)، اسماعیلی و همکاران (۱۳۹۷) کاهش ۷۰ و ۶۰ درصدی عرض رودخانه‌های ماشلک و کورکورسر در نوشهر (مازندران)، استکا و همکاران (۲۰۱۹) و فولر و همکاران (۲۰۲۰) در اروپا و بارلو (۲۰۲۲) در نیوزلند، به ترتیب کاهش متوسط ۶۰، ۷۱ و ۵۰ درصدی عرض رودخانه‌ها را به دنبال فشارهای انسانی تأیید نموده‌اند.



شکل (۳): تصاویری از اشغال دشت سیلابی رود هراز در محدوده شهر آمل
 Figure (3): Images of the occupation of the Haraz river floodplain in the Amol city

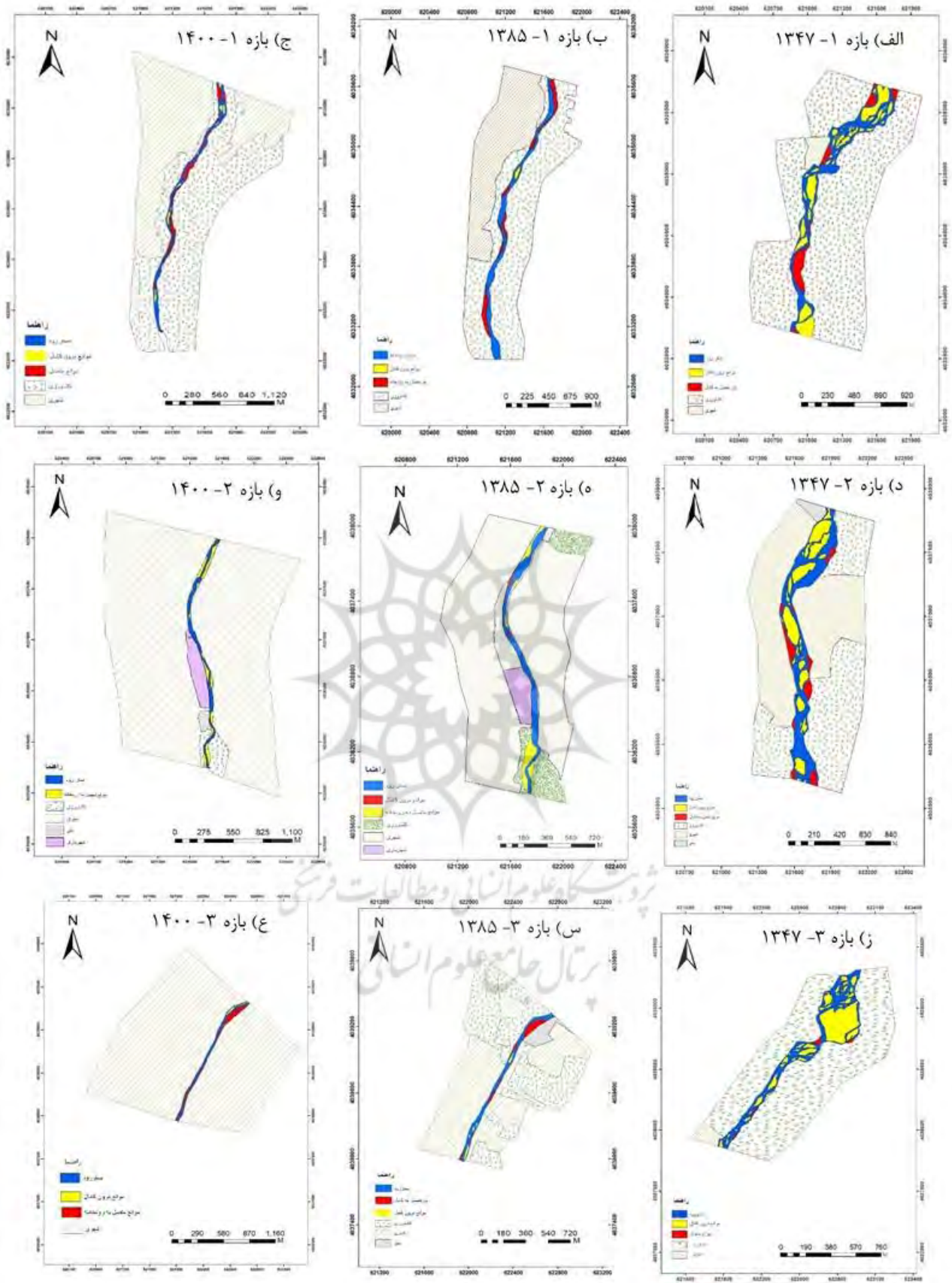
تغییرات در لندفرم‌ها و پلانفرم رودخانه‌ای

تغییرات مساحت لندفرم‌های رودخانه‌ای شامل بستر فعال رود، موانع طولی و موانع جانبی طی سال‌های مختلف برای بازه‌های مورد مطالعه در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است.

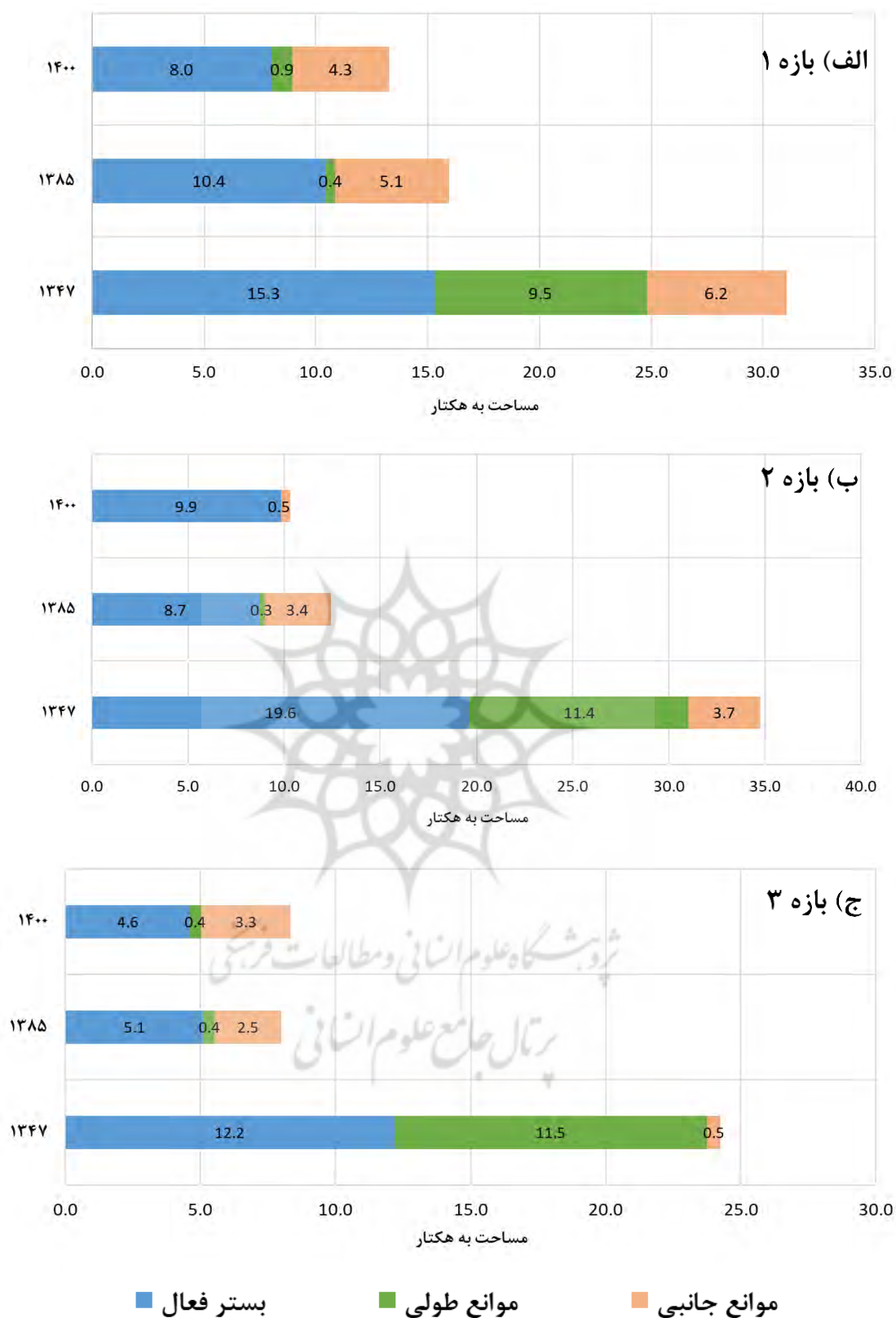
بستر فعال رود: این لندفرم که مهم‌ترین مسیر جریان آب محسوب می‌شود، مساحت آن طی دوره مورد مطالعه ۱۴۰۰-۱۳۴۷ در بازه‌های ۱ تا ۳ به ترتیب ۴۷، ۴۹ و ۶۲ درصد کاهش یافته است.

موانع طولی: این لندفرم‌ها، اشکال رسوبی درون رودخانه هستند که به‌عنوان مانع عمل نموده و موجب ایجاد کانال‌های متعدد در بستر رود می‌شوند؛ لذا این موانع عامل مهمی در شناسایی و تفکیک رودخانه‌های شریانی محسوب می‌شوند. مساحت این لندفرم‌ها طی دوره مورد بررسی، در بازه‌های ۱ تا ۳ بین ۹۰ تا ۱۰۰ درصد کاهش یافته است.

موانع جانبی: این لندفرم‌ها اشکال رسوبی متصل به کناره رود هستند. مساحت این موانع در بازه‌های ۱ و ۲ به ترتیب ۳۰ و ۹۵ درصد کاهش یافته است. اما در بازه ۳ مساحت آن بیش از ۵ برابر افزایش یافته است. علت اصلی این افزایش، تبدیل شدن موانع طولی به موانع جانبی به علت کاهش عرض رودخانه بوده است.



شکل (۴): نقشه‌های لندفرم‌های رودخانه‌های در بازه‌ها و سال‌های مورد مطالعه
 Figure (4): Maps of river landforms in the studied reaches and years



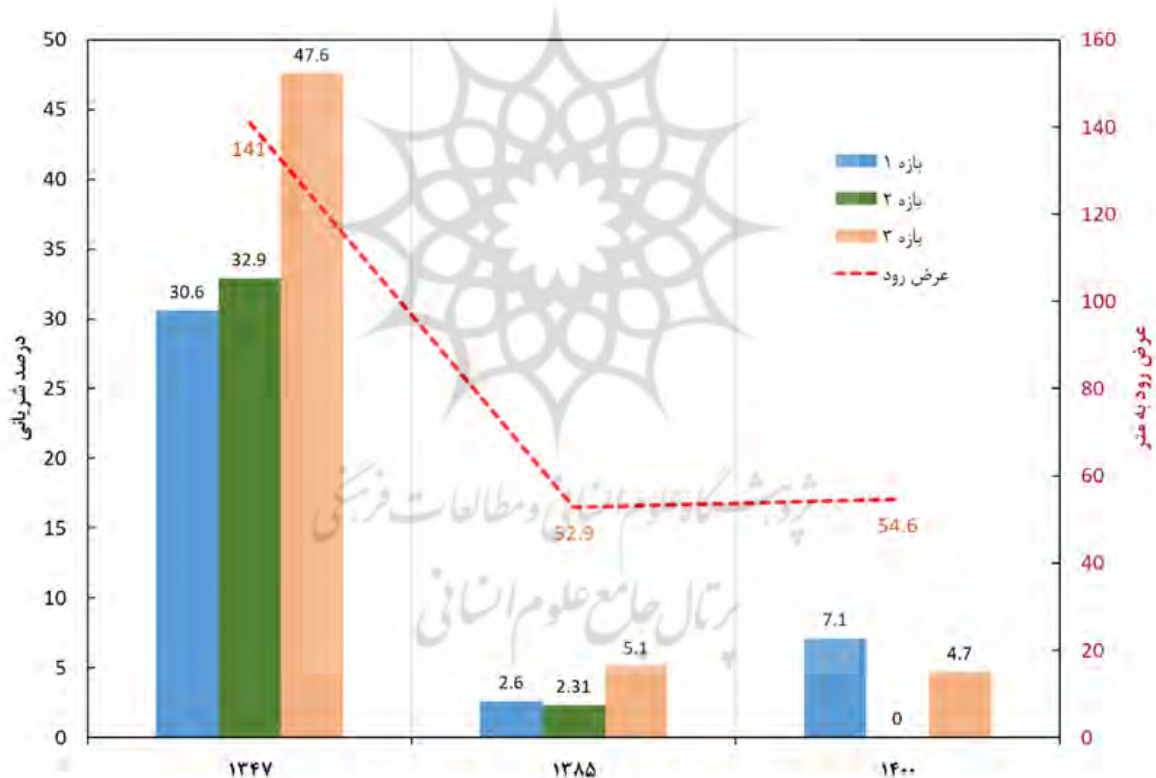
شکل (۵): مساحت لندفرم‌های رودخانه‌ای به تفکیک بازه و سالهای مورد مطالعه

Figure (5): The area of river landforms according to the studied reaches and years

در اینجا نسبت مساحت موانع طولی به مساحت کل بستر رود به عنوان شاخص شریانی در نظر گرفته شد. براین اساس مقدار این نسبت در بازه‌های ۱ تا ۳ در سال ۱۳۴۷ به ترتیب ۳۰/۶، ۳۲/۹ و ۴۷/۶ درصد بوده است. این مقادیر در سالهای بعد، به کمتر از ۷ درصد در همه بازه‌ها کاهش یافته است (شکل ۶). بیشترین تغییرات در بازه ۲ بوده است که مقدار آن به صفر رسیده است، این بدین معنی است که موانع طولی در دوره مورد بررسی حذف شده‌اند.

عوامل مختلفی می‌توانند رودخانه‌های شریانی را تحت تأثیر قرار دهند. در این تحقیق کاهش عرض رودخانه و تنگ‌شدگی کانال رود به عنوان عامل اصلی حذف الگوی شریانی رود شناخته شده است. کاهش رودخانه‌های شریانی و تبدیل آنها به رودخانه‌های تک کانالی و سرگردان از پیامدهای فشارهای انسانی در سایر مناطق جهان هم گزارش شده است. گورنل و همکاران (۲۰۰۹) لیستی از رودخانه‌های اروپایی را که در اثر فعالیت‌های انسانی از الگوی شریانی به تک کانالی تغییر شکل داده‌اند را ارائه نمودند. علت اصلی این تغییرات کانال‌سازی رود، برداشت شن و ماسه، تغییر کاربری اراضی و احداث سد بیان شده است. نتایج مشابهی از اثرات انسانی در تغییر الگوی شریانی رود در تحقیقات استکا و همکاران (۲۰۱۹) در اروپا و بارلو (۲۰۲۲) در نیوزلند حاصل شده است.

کاهش مساحت لندفرم‌های رودخانه‌ای که به دنبال اثرات انسانی در رودخانه هراز ایجاد شد موجب کاهش مساحت کانال فعال و موانع طولی رود به ترتیب به مقدار ۵۰ و ۹۵ درصد شده است. فولر و همکاران (۲۰۲۰) برای لندفرم‌های فوق در رودخانه ابرو اسپانیا کاهش مساحت ۴۲ و ۲۱ درصدی و برای رودخانه رانگیتیکی نیوزلند به ترتیب ۵۱ و ۵۶ درصد ارزیابی نمودند.



شکل (۶): درصد شریانی بازه‌های رودخانه‌ای در سالهای مختلف و مقایسه آن با میانگین عرض رودخانه

Figure (6): Braided percentage of river reaches in different years and its comparison with the average width of the river

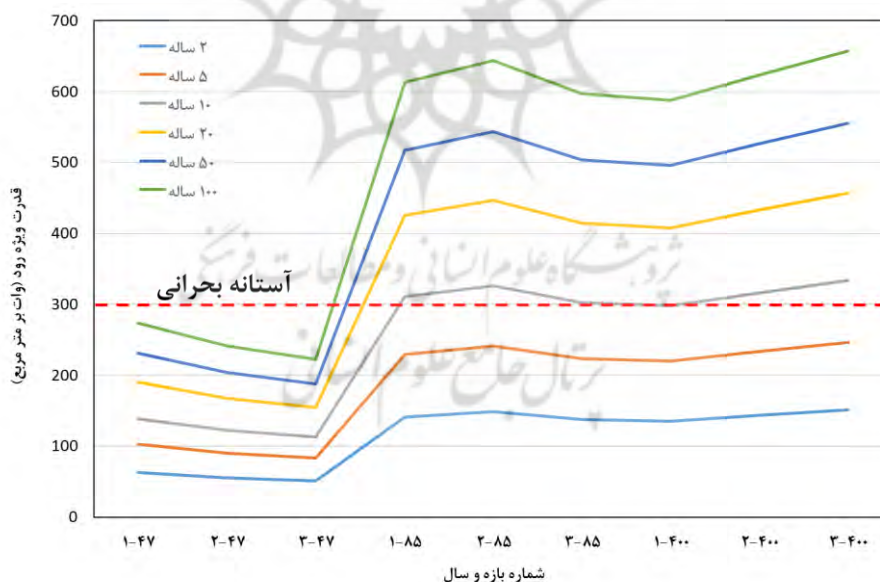
قدرت رود

توانایی انجام کار ژئومورفیک در رودخانه به‌عنوان قدرت رود شناخته می‌شود و به طور گسترده‌ای در ارزیابی حمل رسوب و الگوی ژئومورفیک کانال رود مورد استفاده قرار می‌گیرد (بیزی و لرنر، ۲۰۱۵). قدرت رود تابع دبی جریان، شیب و وزن مخصوص آب است. قدرت ویژه رود، قدرت رود را در واحد عرض کانال محاسبه می‌کند؛ لذا شاخص مناسبی برای ارزیابی عملکرد ژئومورفیک در رودخانه محسوب می‌شود.

آستانه بحرانی قدرت ویژه رود برای ایجاد تغییرات مهم ژئومورفیک توسط مگیلیگان (۱۹۹۲) مقدار 300 W/m^2 پیشنهاد شد و در سایر تحقیقات هم مورد استفاده قرار گرفته است (اورتگا و هیدت ۲۰۰۹، تامپسون و کروک ۲۰۱۳، بوراس و همکاران ۲۰۱۴).

شکل ۷ مقادیر قدرت ویژه رود را برای عرض میانگین بازه‌ها نشان می‌دهد. بر این اساس قدرت ویژه رود برای هر سه بازه در سال ۱۳۴۷ در سیلابهای با دوره بازگشت ۱۰۰ سال به این آستانه بحرانی نرسیده است. اما با کاهش میانگین عرض رودخانه در سالهای بعد (۱۴۰۰ و ۱۳۸۵)، حتی با سیلابهای با دوره بازگشت ۱۰ سال، قدرت ویژه رود بالاتر از آستانه قرار گرفته است. این حالت افزایش قدرت رود را برای انجام تغییرات ژئومورفیک در بازه‌ها نشان می‌دهد. همچنین با افزایش قدرت رود، امکان جابجایی ذرات بزرگ در اندازه قطعه سنگ (با قطر بیش از ۲۵۶ میلیمتر) در سیلابهای با دوره بازگشت ۵ و ۱۰ ساله فراهم می‌شود.

همان‌طور که اشاره شد عرض رودخانه هزار در بازه‌های مورد مطالعه بیش از ۶۰ درصد کاهش یافته است. این کاهش عرض کانال، موجب تنگ شدن بستر رود و تغییر الگوی رود از حالت شریانی به حالت تک کانالی شده است. لذا با افزایش سه برابری قدرت رود، توان فرسایشی رود هم افزایش یافته که اثرات آن بر بستر و کناره‌های رود مشاهده می‌شود. با توجه به بررسیهای میدانی، فرسایشی بستر رود (کف‌کنی بستر) از مهم‌ترین اثرات این تغییرات محسوب می‌شود که به صورت زیربری در پایه پل‌ها، دیوارهای حفاظتی و تراسهای کناری مشاهده می‌شود (شکل ۸). فرسایش کناری هم به علت تمرکز جریان در قوسهای مقعر رود یکی دیگر از مخاطرات کانال رود در این بازه‌ها محسوب می‌شود.



شکل (۷): تغییرات قدرت ویژه رود در بازه‌ها و سالهای مورد مطالعه، خط چین قرمز به عنوان آستانه مشخص شده است

Figure (7): The changes in the specific stream power in the studied reaches and years, the red dashed line is marked as the threshold

1 Bizzi and Lerner

2- Magilligan

3 Ortega and Heydt

4 -Thompson and Croke

5 -Buraas



شکل (۸): تصاویری از مخاطرات ژئومورفولوژیکی رودخانه هراز، الف) زیربری و تخریب دیوار حفاظتی، ب) زیربری دیوار حفاظتی در اثر فرسایش بستر رود،

ج) فرسایش کناره مقعر و زیربری، د) فرسایش بستر رود در پایه پل، ه) فرسایش و فرسایش کناره رود

Figure (8): Geomorphological hazards of Haraz River, a) Undercutting and destruction of protective wall, b) Undercutting of protective wall due to incision of river bed, c) Erosion of concave bank and undercutting, d) Incision of river bed at the base of the bridge, e) Incision and river bank erosion

نتیجه‌گیری

دخالت‌های انسانی و تغییرات کاربری اراضی فشارهای زیادی را بر سیستم‌های رودخانه‌ای در مقیاس حوضه و بازه در سطح جهان وارد نموده است. کاهش جریان رود با فعالیت‌های سدسازی و کانال‌های آبیاری، محدود کردن دیواره رود و تغییرات کاربری حاشیه رودخانه از مهم‌ترین فعالیت‌های تأثیرگذار بر مورفولوژی رودخانه هراز در محدوده شهری بوده است. در مجموع، مساحت رودخانه هراز با احتساب بستر فعال رود، موانع طولی و جانبی حدود ۶۰ درصد کاهش یافته است. با تغییرات عرض رودخانه و مورفولوژی رود و افزایش قدرت رود مخاطرات متعددی ایجاد شده است. با توجه به بررسی‌های میدانی تغییرات کاربری حاشیه رود و تصرف دشت سیلابی همچنان توسط شهرداری و مردم ادامه دارد.

چالش مهم‌تر زمانی رخ خواهد داد که با احداث سد هراز که در ۲۰ کیلومتری شهر آمل قرار گرفته و به زودی مورد بهره‌برداری قرار خواهد گرفت، کاهش جریان ورودی بیشتر شده و به دنبال آن تصرف حاشیه رود شدت یابد. با رهاسازی آب پشت سدها در زمانهای سیلابی خاص، مشکلات جدی برای ساکنین شهر و مناطق پایین‌دست ایجاد نماید مانند مشکلاتی که در شهرهای اهواز، شیراز و غیره اتفاق افتاده است. لذا بهسازی و احیاء کانال، ایجاد محدودیت جدی برای جلوگیری از تصرفات سازمانی و غیرسازمانی در بستر رود به عنوان یک اولویت مهم در مدیریت رودخانه ضرورت دارد.

اگرچه مقایسه مطالعه حاضر با سایر تحقیقات نشان‌دهنده تغییرات اساسی در رژیم جریان و تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ها در سطح جهان است. اما این بدین معنی نیست که موضوع مدیریت رودخانه‌ها به تغییرات اقتصادی - اجتماعی جامعه واگذار شود و این مسئله در چارچوب مدیریت جامع شهری مورد غفلت قرار گیرد.

منابع

- Ashmore, P., McDonald, J., & Barlow, V. (2023). Multi-decadal changes in river morphology in an urbanizing watershed: Highland Creek, Toronto, Canada. *Geomorphology*, 433, 108710.
- Barlow, V. (2022). Measuring the Morphologic Response of Braided Rivers to Lateral Constriction (Doctoral dissertation, The University of Western Ontario (Canada).
- Bevan, V., MacVicar, B., Chapuis, M., Ghunowa, K., Papangelakis, E., Parish, J., & Snodgrass, W. (2018). Enlargement and evolution of a semi-lluvial creek in response to urbanization. *Earth Surface Processes and Landforms*, 43(11), 2295-2312.
- Bizzi, S., & Lerner, D. N. (2015). The use of stream power as an indicator of channel sensitivity to erosion and deposition processes. *River Research and Applications*, 31(1), 16-27.
- Buraas, E. M., Renshaw, C. E., Magilligan, F. J., & Dade, W. B. (2014). Impact of reach geometry on stream channel sensitivity to extreme floods. *Earth Surface Processes and Landforms*, 39(13), 1778-1789.
- Chin, A. (2006). Urban transformation of river landscapes in a global context. *Geomorphology*, 79(3-4), 460-487.
- Chin, A., & Gregory, K. (2009). From research to application: Management implications from studies of urban river channel adjustment. *Geography Compass*, 3(1), 297-328.
- Chin, A., O'dowd, A. P., & Gregory, K. J. (2013). 9.39 urbanization and river channels. *Treatise on geomorphology*, 809-827.
- Esmaili, R., & Lorestani, G. (2015). Assessment of Urbanization effects on geomorphic characteristics of streams, Case study: Nour city, Mazandaran Province. *Researches in Earth Sciences*, 6(4), 78-93. [In Persian]
- Esmaili, R., Rafiee, M., Lorestani, G., & Bozogmehr, K. (2018). The classification of channel Stream Hazards in Urban Areas (Case Study: Mazandaran Province, Noshar). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 7(2), 37-52. [In Persian]
- Fuller, I. C., Death, R. G., Garcia, J. H., Trenc, N., Pratt, R., Pitiot, C., & Death, A. (2021). An index to assess the extent and success of river and floodplain restoration: Recognising dynamic response trajectories and applying a process based approach to managing river recovery. *River Research and Applications*, 37(2), 163-175.

- Ghanavati, E., Saffari, A., Karam, A., Najafi, E., & Jahandar, G. (2016). Investigation on Hydrogeomorphologic Characteristics of Tehran Metroplis Watersheds with Emphasis on the Flood Prone Zones. *Hydrogeomorphology*, 3(6), 33-54.
- Ghaforpuranbaran, P., Ahmadabadi, A., Ghanavati, E., & Yasi, M. (2023). Hydro-Morphological Analysis of Karaj River in the Urban Area from Beylqan to the Railway Bridge. *Geography and Environmental Sustainability*, 13(1), 21-39. [In Persian]
- Gregory, K. J., & Chin, A. (2002). Urban stream channel hazards. *Area*, 34(3), 312-321.
- Gregory, K., & Chin, A. (2018). Evaluation of the imprint of urban channel adjustment and management. *The Geographical Journal*, 184(3), 269-282.
- Gurnell, A., Lee, M., & Souch, C. (2007). Urban rivers: hydrology, geomorphology, ecology and opportunities for change. *Geography compass*, 1(5), 1118-1137.
- Gurnell, A., Surian, N., & Zanoni, L. (2009). Multi-thread river channels: a perspective on changing European alpine river systems. *Aquatic Sciences*, 71, 253-265.
- Hawley, R. J., & Bledsoe, B. P. (2013). Channel enlargement in semiarid suburbanizing watersheds: A southern California case study. *Journal of Hydrology*, 496, 17-30.
- Hawley, R. J., MacMannis, K. R., Wooten, M. S., Fet, E. V., & Korth, N. L. (2020). Suburban stream erosion rates in northern Kentucky exceed reference channels by an order of magnitude and follow predictable trajectories of channel evolution. *Geomorphology*, 352, 106998.
- Henshaw, P. C., & Booth, D. B. (2000). Natural restabilization of stream channels in urban watersheds 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 36(6), 1219-1236.
- Hosseinzadeh, M.M., & Esmaili, R. (2015). Fluvial geomorphology, concepts, landform and processes, Tehran, Shahid Beheshti University. [In Persian]
- Jamali, M., Moghimi, E., Jafarpour, Z., & Kardovani, P. (2016). Effects of Physical Development and Urban Land Use Change on Riparian Areas (Case Study: Khoshk River in Shiraz City, Iran). *Human Geography Research*, 48(3), 591-602. [In Persian]
- Jordan, B. A., Annable, W. K., Watson, C. C., & Sen, D. (2010). Contrasting stream stability characteristics in adjacent urban watersheds: Santa Clara Valley, California. *River Research and Applications*, 26(10), 1281-1297.
- Magilligan, F. J. (1992). Thresholds and the spatial variability of flood power during extreme floods. *Geomorphology*, 5(3-5), 373-390.
- Nath, A., & Ghosh, S. (2022). Assessment of river morphology based on changes in land use and land cover and the spatial and temporal variation of meandering parameters of the barak river. *Water Practice & Technology*, 17(11), 2351-2370.
- Nejadosseini, R., Goorabi, A., Moghimi, E., & gholami, F. (2017). Geometric changes of detection of Beshar river in Yasouj city areas and its role in sustainable urban development. *Geographical Planning of Space*, 7(25), 155-170. [In Persian]
- Ortega, J. A., & Heydt, G. G. (2009). Geomorphological and sedimentological analysis of flash-flood deposits: The case of the 1997 Rivillas flood (Spain). *Geomorphology*, 112(1-2), 1-14.
- Rashidi, M., Hosseinzadeh, S. R., Sepehr, a., Zarei, h., & Khanebad, m. (2016). The study of geomorphological changes in karun river and its reasons in the period of 1954-2011 (1334-1391). *Quantitative Geomorphological Research*, 5(1), 43-59. [In Persian]

- Saffari, A., Ghanavati, E., & Alipour, D. A. H. (2023). Investigation of morphology changes in Karun River and its hazards (Case Study: Bandagir to Khorramshahr). *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, 23(68), 199-222. [In Persian]
- Salawu, O. G., & Leke, D. (2024). Assessment of Changes in Channel Width and Braiding: The Implications on Flooding Upstream of Shiroro Reservoir in river Kaduna, Kaduna State, Nigeria. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 28(1), 179-186.
- Stecca, G., Zolezzi, G., Hicks, D. M., & Surian, N. (2019). Reduced braiding of rivers in human-modified landscapes: Converging trajectories and diversity of causes. *Earth-science reviews*, 188, 291-311.
- Talebi, Z., Ayyoubzadeh, S. A., Mostafavi, H., Hoseinzadeh, M. M., & Shafizadeh, H. (2023). Morphological analysis and evaluation of the river based on morphological characteristics, artificial structures and channel adjustment (case study: Talar River - from upstream to Shirgah). *Environmental Sciences*, doi: 10.48308/envs.2023.1250. [In Persian]
- Taniguchi, K. T., & Biggs, T. W. (2015). Regional impacts of urbanization on stream channel geometry: A case study in semiarid southern California. *Geomorphology*, 248, 228-236.
- Thompson, C., & Croke, J. (2013). Geomorphic effects, flood power, and channel competence of a catastrophic flood in confined and unconfined reaches of the upper Lockyer valley, southeast Queensland, Australia. *Geomorphology*, 197, 156-169.
- Yamani, M., Gourabi, A., & Abedini, Z. (2015). The Analysis of Morphological Changes in the Pattern of Babolroud by Transect Technique. *Hydrogeomorphology*, 2(3), 137-157.
- Yousefi, S., Moradi, H. R., Keesstra, S., Pourghasemi, H. R., Navratil, O., & Hooke, J. (2019). Effects of urbanization on river morphology of the Talar River, Mazandarn Province, Iran. *Geocarto International*, 34(3), 276-292.

