



## Assessment of Alvand River Water Quality in Sarpole Zahab County Using the Hydromorphological Index (IHG)

Amjad Maleki<sup>1</sup>✉, Somayeh hydaryan<sup>2</sup>

1. (Corresponding Author) Department of Geography, Faculty of Economics, Faculty of Literature and Humanities, Razi University, Kermanshah, Iran.

Email: [a.maleki@razi.ac.ir](mailto:a.maleki@razi.ac.ir)

2. Department of Geography Faculty of Literature and Humanities, Razi University, Kermanshah, Iran.

Email: [somayehhydaryan91@gmail.com](mailto:somayehhydaryan91@gmail.com)

### Article Info

#### Article Type:

Research Article

#### Article History:

Received:

29 Sep 2025

Received in revised form:

22 Nov 2025

Accepted:

18 Feb 2026

pp.44-66

#### Keywords:

Hydrogeomorphological Index (IHG),

River Morphology,

Urban Development,

Alvand River,

Sarpol-e Zahab.

### ABSTRACT

This study evaluates the hydrogeomorphological condition of the Alvand River in Sarpol-e Zahab County, western Iran. Rivers are highly affected by human activities such as urbanization, land use change, channelization, and engineering projects, which alter hydrological regimes, morphology, and riparian vegetation. To analyze these impacts, the IHG index was applied across a 8-kilometer stretch of the river, divided into seven segments. The assessment revealed that segments outside the urban area (1, 6, and 7) maintained stable and natural conditions, while urban segments (3 and 4) were severely degraded due to channelization, construction in floodplains, and waste dumping. Transitional segments (2 and 5) showed semi-stable conditions but remain vulnerable to further degradation. Major anthropogenic pressures included construction within river corridors, bank stabilization, floodplain encroachment, and expansion of impermeable surfaces, all of which reduced flow capacity, disrupted sediment balance, and weakened ecological stability. The findings confirm that the IHG index is a comprehensive for assessing river quality and guiding management, restoration, and environmental planning. For the Alvand River, urgent restoration of urban segments and preventive measures in transitional zones are essential to ensure long-term ecological and geomorphological stability.

**Cite this article:** maleki,A. , hydaryan,S. (2026). Assessment of Alvand River Water Quality in Sarpole Zahab County Using the Hydromorphological Index (IHG). *Quantitative Geomorphological Research*, 14(4). 44-66.

Doi: [10.22034/gmpj.2025.551993.1584](https://doi.org/10.22034/gmpj.2025.551993.1584).

## Extended Abstract

### Introduction

Rivers are among the most vital sources of water for humans and other living organisms, playing a critical role in the formation and development of human settlements. With increasing urbanization and human interventions, significant changes have occurred in the hydrological regime, sediment transport, river morphology, and channel dynamics. These changes have directly and indirectly impacted aquatic ecosystems and environmental sustainability. The term hydrogeomorphology refers to the study of these changes and the interactions between natural and anthropogenic processes within river systems, and it is widely applied in hydrology, geomorphology, and ecology. In recent decades, the expansion of residential areas, land use changes, and engineering projects such as channelization and dam construction have disrupted the natural conditions of rivers, challenging their ecological stability and natural functioning. In response to this crisis, modern approaches to hydromorphological quality assessment have emerged, including the IHG index a comprehensive tool for analyzing hydrological, morphological, and ecological conditions of rivers. This index has been successfully applied in countries such as Spain and Peru, yielding effective results in river management and restoration. In Iran, studies have utilized methods such as MQI and IHG; however, due to high anthropogenic pressures on rivers, there is a growing need for more integrated assessment approaches. The Alvand River, as a representative of degraded rivers, has undergone substantial changes in flow cross-section, vegetation cover, and aquatic ecosystems due to intense human interventions. Therefore, assessing its hydrogeomorphological condition using the IHG index over an 8-kilometer stretch from Baremvand village to Qareh Bolagh can provide a foundation for effective management and restoration strategies, while promoting active participation of geomorphologists in environmental planning.

### Methodology

This study aims to evaluate the impact of human interventions on the hydrogeomorphological condition of the Alvand River, located in Sarpol-e Zahab County in western Iran. The county's unique geographical setting at the edge of the Zagros Mountains includes fertile plains and ecologically significant rivers. The study area covers an 8-kilometer segment of the Alvand River, beginning at Baremvand village, passing through Sarpol-e Zahab city, and ending at Qareh Bolagh village. The research is exploratory and applied in nature, focusing on identifying vulnerable river segments based on hydrological, morphological, and ecological characteristics. Data were collected from credible scientific sources, governmental organizations, and satellite imagery (e.g., Google Earth). Tools used include topographic and geological maps, digital elevation models (DEM), hydrometric data, vegetation cover information, and field surveys using GPS. To analyze river conditions, the IHG index was employed, which includes nine parameters grouped into three categories: functional quality of the river system, morphological quality of the channel, and riparian vegetation quality. Each parameter is scored from 1 to 10, with the total score indicating the river's natural or degraded condition. The river was longitudinally segmented for detailed assessment.

### Results and discussion

The Alvand River was divided into seven segments along its 8-kilometer stretch and assessed using the IHG index, focusing on anthropogenic pressures and their effects on river function, morphology, and vegetation. Segments 1 and 2, located outside the urban area, showed minimal human impact and largely preserved natural conditions. Segment 1 scored high in all three categories (Function: 27, Morphology: 24, Vegetation: 20), indicating a stable and healthy state. Segment 2 showed moderate to good scores, suggesting a semi-stable condition that could deteriorate without proper management. In contrast, segments 3 and 4, situated within the urban core of Sarpol-e Zahab, exhibited severe degradation due to human activities such as channelization,

construction of retaining walls, land use changes in floodplains, and dumping of urban waste. These interventions disrupted flow dynamics, sediment transport, and vegetation, resulting in very poor scores across all categories and indicating significant ecological and geomorphological degradation. Segments 5 and 6, located at the city's outskirts, showed moderate human impact. Segment 5 had average scores (Function: 16, Morphology: 17, Vegetation: 12), while Segment 6 scored moderately to well across parameters, reflecting a semi-stable condition with potential for recovery through proper management. Segment 7, entirely outside the urban zone, maintained its natural function with minimal human interference. It scored high in all categories (Function: 27, Morphology: 25, Vegetation: 22), highlighting its role in maintaining ecological balance. Overall, urban segments (3 and 4) require urgent restoration due to their poor condition. Transitional segments (2 and 5) are semi-stable and vulnerable to further degradation. In contrast, segments 1, 6, and 7 demonstrate the importance of low-impact zones in sustaining river system stability. Human interventions such as construction in river corridors, channel straightening, bank stabilization, and impermeable surface expansion have reduced flow capacity, increased runoff, and disrupted erosion-sedimentation balance. These changes have compromised both ecological and geomorphological stability, rendering the Alvand River unstable in the studied segments and necessitating strategic management and restoration efforts.

### Conclusion

Rivers rarely remain in a stable state and are constantly influenced by natural and anthropogenic factors, leading to changes in their dimensions, shape, alignment, and flow patterns. The Alvand River, with its critical role in agricultural water supply and groundwater recharge, has experienced significant instability due to urban development, engineering interventions, and narrowing of its channel. The IHG assessment across seven segments revealed varied responses to human pressures based

on spatial characteristics. Functional quality declined due to urbanization, floodplain construction, and excessive sand and gravel extraction. Morphological degradation was linked to transverse infrastructure such as bridges and artificial channels, which disrupted vegetation diversity and ecological dynamics. Key human impacts included residential development, flood control projects lacking hydrological consideration, and expansion of impermeable surfaces—all contributing to irreversible and damaging consequences. These actions led to lateral channel incision, bed degradation, and inappropriate use of floodplains for construction, confirming the river's unstable condition. Urban segments (3 and 4) showed the lowest quality due to intense human interference. Transitional segments (2 and 5) are semi-stable and at risk of degradation. In contrast, segments with minimal human impact (1, 6, and 7) retained their natural function. This study aligns with previous research by Ilanlou, Khaleghi, Ghafourpour Anbaran, and Ollero, and confirms that the IHG index is a suitable and comprehensive tool for assessing hydrogeomorphological quality. It can effectively guide management, restoration, and environmental planning for degraded rivers such as the Alvand.

### Funding

There is no funding support.

### Authors' Contribution

Authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work declaration of competing interest none.

### Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

### Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.



## تحلیل کیفیت رودخانه الوند شهرستان سرپل ذهاب با استفاده از شاخص هیدروژئومورفولوژیکی IHG

امجد ملکی<sup>۱</sup>✉، سمیه حیدریان<sup>۲</sup> 

۱- نویسنده مسئول، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. [a.maleki@razi.ac.ir](mailto:a.maleki@razi.ac.ir)

۲- گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: [somayehhydaryan91@gmail.com](mailto:somayehhydaryan91@gmail.com)

| اطلاعات مقاله                     | چکیده                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>نوع مقاله:</b><br>مقاله پژوهشی | رودخانه‌ها به عنوان عناصر کلیدی در پایداری اکولوژیکی و توسعه شهری، تحت تأثیر مداخلات انسانی دچار تغییرات هیدروژئومورفولوژیکی گسترده‌ای شده‌اند. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی کیفیت هیدروژئومورفولوژیکی رودخانه الوند در محدوده شهری سرپل ذهاب، از شاخص IHG بهره گرفته است. این شاخص با تمرکز بر سه مؤلفه عملکردی، مورفولوژی کانال و پوشش گیاهی حاشیه‌ای، امکان تحلیل جامع تأثیرات آنتروپوژنیک را فراهم می‌سازد. داده‌های پژوهش شامل نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی، تصاویر ماهواره‌ای، فایل‌های مکانی و مشاهدات میدانی بوده که با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS تحلیل شدند. محدوده مورد مطالعه به طول ۸ کیلومتر به هفت بازه طولی تقسیم گردید و برای هر بازه، امتیاز شاخص IHG محاسبه و در پنج کلاس کیفی طبقه‌بندی شد. نتایج نشان داد که کیفیت هیدروژئومورفولوژیکی رودخانه در بازه‌های خارج از محدوده شهری (۱ و ۷) در سطح «خیلی خوب» قرار دارد، در حالی که بازه‌های مرکزی شهری (۳ و ۴) به دلیل شدت مداخلات انسانی، در کلاس «خیلی بد» ارزیابی شدند. بازه‌های میانی و حاشیه‌ای نیز وضعیت بینابینی داشته و پتانسیل بازسازی اکولوژیکی را نشان دادند. تحلیل تطبیقی با مطالعات داخلی و بین‌المللی، بر نقش شاخص‌های چندبعدی مانند IHG و RRI در پایش و مدیریت رودخانه‌ها تأکید دارد. یافته‌ها بیانگر آن است که فاصله از مرکز شهری، شدت مداخلات انسانی، و حفظ ساختار طبیعی رودخانه، عوامل تعیین‌کننده در کیفیت اکولوژیکی و ژئومورفولوژیکی هستند. در مجموع، استفاده از شاخص IHG در ارزیابی رودخانه‌های شهری، ابزاری مؤثر برای شناسایی بازه‌های آسیب‌پذیر، تدوین راهبردهای حفاظتی، و ارتقاء تاب‌آوری زیست‌محیطی محسوب می‌شود. این پژوهش با ارائه الگویی فرآیندمحور، زمینه‌ساز مدیریت پایدار رودخانه الوند و سایر رودخانه‌های شهری ایران خواهد بود. |

**واژگان کلیدی:**  
شاخص هیدروژئومورفولوژیک (IHG)،  
مورفولوژی رودخانه،  
توسعه شهری،  
رودخانه الوند،  
سرپل ذهاب.

**استناد:** ملکی، امجد، حیدریان، سمیه. (۱۴۰۵). تحلیل کیفیت رودخانه الوند شهرستان سرپل ذهاب با استفاده از شاخص هیدروژئومورفولوژیکی IHG. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱۴(۴)، ۴۴-۶۶.

Doi: 10.22034/gmpj.2025.551993.1584

## مقدمه

رودخانه‌ها از دیرباز به‌عنوان یکی از عناصر حیاتی در شکل‌گیری تمدن‌ها، توسعه سکونتگاه‌های انسانی و پایداری اکولوژیکی شناخته شده‌اند. نقش آن‌ها در تأمین منابع آبی، تغذیه سفره‌های زیرزمینی، حفظ تنوع زیستی، کنترل سیلاب‌ها، و حتی در حمل‌ونقل و کشاورزی، موجب شده تا همواره در کانون توجه برنامه‌ریزان محیطی، جغرافی‌دانان و متخصصان علوم زمین قرار گیرند (گریگوری<sup>۱</sup>، ۲۰۰۶؛ پورطبری و همکاران، ۱۳۹۶). بسیاری از شهرهای بزرگ و کوچک جهان در مجاورت رودخانه‌ها شکل گرفته‌اند، چرا که این پهنه‌های آبی نه‌تنها منبعی برای بقا، بلکه بستری برای توسعه اقتصادی و اجتماعی بوده‌اند (روشان و همکاران، ۱۳۹۲). رودخانه‌ها سیستم‌هایی پویا و پیچیده‌اند که در تعامل با عوامل طبیعی و انسانی، دستخوش تغییرات مداوم در بستر، کناره‌ها و الگوی جریان می‌شوند. این پویایی، اگرچه بخشی از ذات طبیعی رودخانه‌هاست، اما در مواجهه با مداخلات انسانی نظیر تغییر کاربری اراضی، ساخت‌وسازهای حاشیه‌ای، حذف سیلاب‌دشت‌ها، برداشت مصالح بستر و اجرای طرح‌های مهندسی سنتی، به‌ویژه در مناطق شهری، به ناپایداری‌های شدید منجر می‌شود (رینالدی و سوریان<sup>۲</sup>، ۲۰۰۳؛ بافینگتون<sup>۳</sup>، ۲۰۱۲؛ فروغی و همکاران، ۱۳۹۷). چنین ناپایداری‌هایی نه‌تنها عملکرد طبیعی رودخانه را مختل می‌کنند، بلکه اکوسیستم‌های وابسته به آن را نیز با تهدید جدی مواجه می‌سازند (رحمانی فضلی و صالحیان بادی، ۱۳۹۵؛ ایوب‌زاده و همکاران، ۱۴۰۱). در این میان، مفهوم هیدروژئومورفولوژی به‌عنوان شاخه‌ای میان‌رشته‌ای از علوم هیدروژئولوژی، ژئومورفولوژی و اکولوژی، به بررسی روابط بین شکل و عملکرد رودخانه‌ها در بسترهای زمانی و مکانی مختلف می‌پردازد. این رویکرد، با تمرکز بر فرآیندهایی نظیر رژیم جریان، انتقال رسوب، پویایی کانال، و پوشش گیاهی، امکان تحلیل دقیق‌تری از وضعیت رودخانه‌ها فراهم می‌آورد (لارج و نیوسن<sup>۴</sup>، ۲۰۰۶؛ مونتگمری و بولتون<sup>۵</sup>، ۲۰۰۳). مطالعات هیدرومورفولوژیکی نه‌تنها در شناخت علل تغییرات رودخانه‌ای مؤثرند، بلکه در طراحی راهکارهای مدیریتی، احیای اکوسیستم‌های آبی، و کاهش خطرات محیطی نیز نقش کلیدی دارند (عنبران و همکاران، ۱۴۰۲).

در شرایطی که تغییرات اقلیمی، رشد جمعیت، و فشارهای انسانی بر منابع طبیعی روزبه‌روز افزایش می‌یابد، توجه به پایداری رودخانه‌ها و ارزیابی دقیق وضعیت آن‌ها، به‌ویژه در مناطق شهری، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. رودخانه‌های شهری، به‌دلیل تراکم ساخت‌وساز، محدودیت‌های فضایی، و مداخلات مهندسی، بیش از سایر رودخانه‌ها در معرض تغییرات شدید قرار دارند. این تغییرات، از جمله باریک‌شدگی مجرا، فرسایش کناره‌ای، افزایش رواناب سطحی و رسوب‌گذاری، نه‌تنها پویایی طبیعی رودخانه را کاهش می‌دهند، بلکه زیرساخت‌های شهری و سکونتگاه‌های حاشیه‌ای را نیز در معرض خطر قرار می‌دهند (بلیتی و همکاران<sup>۶</sup>، ۲۰۱۸؛ پاک‌نژاد و همکاران، ۱۴۰۲؛ یوسفی و همکاران، ۲۰۱۹). رودخانه الوند یکی از رودخانه‌های مهم غرب ایران است که از ارتفاعات دالاهو در شمال شهرستان سرپل ذهاب سرچشمه گرفته و پس از عبور از مناطق شهری و مرزی، به رودخانه سیروان در خاک عراق می‌پیوندد. این رودخانه، علاوه بر نقش هیدروژئولوژیکی در تغذیه منابع آبی منطقه، از نظر اکولوژیکی و ژئومورفولوژیکی نیز اهمیت بالایی دارد. عبور رودخانه از بافت شهری سرپل ذهاب، آن را در معرض فشارهای انسانی متعددی قرار داده است؛ از جمله تجاوز به حریم رودخانه،

<sup>1</sup> Gregory

<sup>2</sup> Rinaldi & Surian

<sup>3</sup> Buffington

<sup>4</sup> Large & Newson

<sup>5</sup> Montgomery & Bolton

<sup>6</sup> Belletti et al

ساخت‌وسازهای حاشیه‌ای، ساماندهی‌های مهندسی سنتی، حذف سیلاب‌دشت‌ها، و تغییرات کاربری زمین (رضایی مقدم، ۱۳۹۰؛ پاک‌نژاد و همکاران، ۱۴۰۲). این مداخلات موجب کاهش مقطع جریان، افزایش حجم رواناب، کاهش زمان تمرکز حوضه، ضعف پوشش گیاهی، و از بین رفتن محیط اکولوژیکی شده‌اند. به‌ویژه در بازه شهری، تغییرات شدید در شکل کانال، فرسایش کناره‌ای، و رسوب‌گذاری مشاهده می‌شود که نه‌تنها پویایی طبیعی رودخانه را مختل کرده، بلکه زیرساخت‌های شهری و سکونتگاه‌های حاشیه‌ای را نیز در معرض خطر قرار داده است (یوسفی و همکاران، ۲۰۱۹؛ گراوند و همکاران، ۱۳۹۷). مطالعات نشان داده‌اند که در بسیاری از رودخانه‌های شهری ایران، مداخلات انسانی موجب تغییر در طبقه‌بندی کانال‌ها از حالت پایدار به ناپایدار شده‌اند. این تغییرات شامل افزایش ضریب خمیدگی، جابه‌جایی محور جریان، و کاهش تداوم طولی و جانبی رودخانه است (علایی طالقانی و همکاران، ۱۳۹۲؛ طالبی و بایزیدی، ۱۳۸۷؛ فروغی و همکاران، ۱۳۹۷). در چنین شرایطی، ارزیابی دقیق وضعیت هیدروژئومورفولوژیکی رودخانه‌ها، به‌ویژه در بازه‌های شهری، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر در راستای مدیریت پایدار منابع آب و کاهش خطرات محیطی محسوب می‌شود. رودخانه الوند، با توجه به موقعیت مرزی، شرایط توپوگرافی خاص، و تراکم ساخت‌وساز در محدوده شهری سرپل‌ذهاب، نمونه‌ای بارز از رودخانه‌هایی است که در معرض ناپایداری‌های شدید قرار دارد. تحلیل این رودخانه می‌تواند نه‌تنها به شناخت دقیق‌تر از وضعیت فعلی آن کمک کند، بلکه الگویی برای ارزیابی و مدیریت رودخانه‌های مشابه در مناطق شهری و مرزی کشور ارائه دهد. در دهه‌های اخیر، مطالعات متعددی در سطح جهانی و ملی به بررسی تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ها و تأثیر مداخلات انسانی بر پویایی آن‌ها پرداخته‌اند. در سطح بین‌المللی، پژوهش‌هایی نظیر راسگن<sup>۱</sup> (۱۹۹۴) با ارائه سیستم طبقه‌بندی رودخانه‌ها بر اساس ویژگی‌های هندسی و هیدرولیکی، و بریرلی و فرایرز<sup>۲</sup> (۲۰۰۰) با توسعه چارچوب *Style River*، زمینه‌ساز تحول در تحلیل‌های ژئومورفولوژیکی شدند. همچنین، مدل‌های رایلنه‌ای نظیر *CEASAR* و *HEC-RAS* در شبیه‌سازی رفتار مورفودینامیکی رودخانه‌ها و ارزیابی تغییرات بستر و کناره‌ها کاربرد گسترده‌ای یافته‌اند (سیمونز و آلبرتسون<sup>۳</sup>، ۱۹۶۰؛ کولتارد و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۰۵). شاخص *IHG* که نخستین بار توسط اُپرو و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۰۸) در اسپانیا معرفی شد، با هدف ارزیابی کیفیت هیدروژئومورفولوژیکی رودخانه‌ها در چارچوب دستورالعمل *EU/۶۰/۲۰۰۰* اتحادیه اروپا توسعه یافت. این شاخص با در نظر گرفتن سه مؤلفه اصلی کیفیت عملکردی، مورفولوژی کانال، و پوشش گیاهی کنار رود در بیش از ۴۰۰ رودخانه اروپایی به کار گرفته شده و نتایج مؤثری در شناسایی بازه‌های آسیب‌پذیر و طراحی راهبردهای مدیریتی ارائه داده است (اُپرو و همکاران<sup>۶</sup>، ۲۰۱۱؛ اُپرو و همکاران، ۲۰۱۵؛ سانچز و تالورا<sup>۷</sup>، ۲۰۱۹؛ باربوسا و همکاران<sup>۸</sup>، ۲۰۲۰).

در ایران، مطالعات هیدرومورفولوژیکی عمدتاً بر پایه شاخص‌هایی نظیر *MQI* انجام شده‌اند که تمرکز اصلی آن‌ها بر ویژگی‌های فیزیکی و هندسی رودخانه‌هاست. پژوهش‌هایی مانند خالقی و همکاران (۱۴۰۰)، ایلانلو و کرم (۱۳۹۷)، احمدآبادی و همکاران (۱۳۹۶)، و غفورپورعنبران (۱۳۹۴) نشان داده‌اند که فشارهای انسانی بالا، به‌ویژه در مناطق شهری، موجب افت شدید کیفیت مورفولوژیکی رودخانه‌ها شده است. با این حال، استفاده از شاخص *IHG* در مطالعات داخلی بسیار محدود بوده و خلأی روش‌شناختی در ارزیابی‌های چندبعدی رودخانه‌ای به چشم می‌خورد. از سوی دیگر، اغلب مطالعات داخلی فاقد رویکرد یکپارچه در تحلیل هم‌زمان مؤلفه‌های هیدرولوژیکی، اکولوژیکی و ژئومورفولوژیکی هستند. این در حالی است که مطالعات بین‌المللی، به‌ویژه در اروپا و آمریکای جنوبی، به‌طور فزاینده‌ای از شاخص‌های

<sup>1</sup> Rosgen

<sup>2</sup> Brierley & Fryirs

<sup>3</sup> Simons & Albertson

<sup>4</sup> Coulthard et al

<sup>5</sup> Ollero et al

<sup>6</sup> Ollero et al

<sup>7</sup> Sánchez & Talora

<sup>8</sup> Barbosa et al

ترکیبی برای ارزیابی پویایی رودخانه‌ها استفاده می‌کنند (ریون<sup>۱</sup>، ۲۰۱۰؛ اُپرو و همکاران، ۲۰۱۵؛ رینلدی و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۳؛ باربوسا<sup>۳</sup>، ۲۰۱۸). بنابراین، پژوهش حاضر با تمرکز بر رودخانه‌ای شهری و مرزی، و با بهره‌گیری از شاخص IHG، در پی آن است تا این خلأ روش‌شناختی را در مطالعات داخلی پوشش داده و الگویی برای تحلیل جامع رودخانه‌های شهری ارائه دهد. در شرایطی که رودخانه‌های شهری ایران با فشارهای فزاینده انسانی، تغییرات اقلیمی، و ضعف در مدیریت یکپارچه منابع طبیعی مواجه‌اند، نیاز به رویکردهای نوین و چندبعدی در تحلیل و ساماندهی این سامانه‌ها بیش از پیش احساس می‌شود. اغلب مطالعات داخلی، تمرکز خود را بر ارزیابی‌های فیزیکی و هندسی رودخانه‌ها با استفاده از شاخص‌هایی نظیر MQI یا روش‌های سنتی طبقه‌بندی کانال‌ها قرار داده‌اند (خالقی و همکاران، ۱۴۰۰؛ ایلانلو و کرم، ۱۳۹۷). این در حالی است که شاخص IHG، با رویکردی فرارشته‌ای، امکان تحلیل هم‌زمان مؤلفه‌های هیدرولوژیکی، مورفولوژیکی و اکولوژیکی را فراهم می‌آورد و می‌تواند خلأ موجود در مطالعات داخلی را پوشش دهد (اُپرو و همکاران، ۲۰۰۸؛ اُپرو و همکاران، ۲۰۱۱؛ آلواریز و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۱۰).

نوآوری پژوهش حاضر در به‌کارگیری شاخص IHG برای ارزیابی رودخانه‌ای شهری در ایران نهفته است؛ شاخصی که تاکنون در مطالعات داخلی کمتر مورد استفاده قرار گرفته و عمدتاً در کشورهای اروپایی و آمریکای جنوبی به‌کار رفته است (اُپرو و همکاران، ۲۰۱۵؛ سانچز و تالورا، ۲۰۱۹؛ باربوسا و همکاران، ۲۰۲۰). این شاخص با بهره‌گیری از ۹ پارامتر در سه گروه عملکردی، پوشش گیاهی و مورفولوژی کانال، امکان تحلیل دقیق‌تری از وضعیت طبیعی یا تخریب‌یافته رودخانه‌ها را فراهم می‌سازد و در طراحی راهبردهای مدیریتی، احیای اکوسیستم‌های رودخانه‌ای، و ارتقای تاب‌آوری شهری نقش‌آفرین است.

پژوهش حاضر با تمرکز بر رودخانه الوند در محدوده شهری سرپل ذهاب، و با بررسی بازه‌ای به طول ۸ کیلومتر از ورودی تا خروجی شهر، تلاش دارد تا بازه‌های آسیب‌پذیر را شناسایی کرده و زمینه‌ساز ارائه راهکارهایی برای ساماندهی و احیای این سامانه رودخانه‌ای باشد. تمایز این مطالعه در آن است که برخلاف رویکردهای مهندسی سنتی که عمدتاً بر کنترل جریان و تثبیت بستر تمرکز دارند، این پژوهش به دنبال بازگرداندن عملکرد طبیعی رودخانه و حفظ پویایی آن در چارچوب اصول ژئومورفولوژیکی و اکولوژیکی است (مونتگومری و بولتون، ۲۰۰۳؛ اُپرو و همکاران، ۲۰۱۱؛ بافینگتون<sup>۵</sup>، ۲۰۱۲). کاربردهای مورد انتظار این پژوهش را می‌توان در چند محور اصلی خلاصه کرد: ارائه الگویی برای ارزیابی جامع رودخانه‌های شهری با استفاده از شاخص IHG، کمک به اصلاح طرح‌های ساماندهی رودخانه‌ای با رویکرد احیایی و نه صرفاً مهندسی، ارتقای مشارکت ژئومورفولوژیست‌ها در برنامه‌ریزی محیطی و شهری، فراهم‌سازی مبنایی برای تدوین دستورالعمل‌های بومی مدیریت رودخانه‌های شهری در ایران، و کاهش خطرات محیطی ناشی از فرسایش، رسوب‌گذاری و ناپایداری بستر در مناطق پرجمعیت. در مجموع، این پژوهش می‌تواند به‌عنوان گامی مؤثر در جهت تلفیق دانش ژئومورفولوژی با مدیریت شهری و محیطی تلقی شود و زمینه‌ساز تحول در نگاه به رودخانه‌های شهری ایران باشد.

## مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه شامل بخشی از رودخانه الوند در محدوده شهری شهرستان سرپل ذهاب واقع در غرب استان کرمانشاه است. رودخانه الوند از ارتفاعات زاگرس چین‌خورده سرچشمه گرفته و پس از عبور از ناهمواری‌های متعدد، وارد محدوده

<sup>1</sup> Raven et al

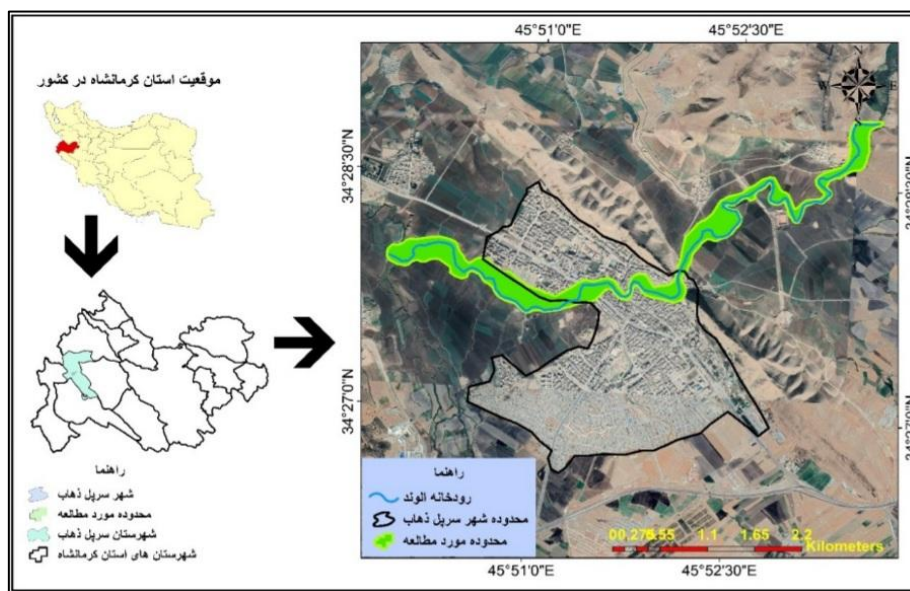
<sup>2</sup> Rinaldi et al

<sup>3</sup> Barbosa et al

<sup>4</sup> Alvarez et al

<sup>5</sup> Buffington

شهری سرپل ذهاب شده و در نهایت به کشور عراق می‌ریزد. این رودخانه با عبور از دشت ذهاب و کوه‌های دنه‌خشک و بازی‌دراز، نقش مهمی در تغذیه منابع آب سطحی، کشاورزی و شکل‌گیری فرم‌های ژئومورفولوژیکی منطقه دارد (شایان و همکاران، ۱۳۹۶). از نظر موقعیت جغرافیایی، حوضه آبریز رودخانه الوند در منتهی‌الیه شیب ارتفاعات زاگرس قرار دارد و با روند شمال‌غربی-جنوب‌شرقی امتداد یافته است. ارتفاعات دالاهو، زنگالیان، شاه‌نشین و بان‌زرده در شمال و غرب منطقه، و دشت ذهاب در جنوب‌شرق، ساختار توپوگرافی متنوعی را ایجاد کرده‌اند. بیشترین ارتفاع منطقه مربوط به فلات دالاهو (۲۵۶۹ متر) و کمترین آن در دشت ذهاب (۳۰۰-۵۰۰ متر) ثبت شده است. بخش عمده‌ای از منطقه را دشت‌های ناودیسی با رسوبات آبرفتی تشکیل می‌دهند که شرایط مساعدی برای کشاورزی فراهم کرده‌اند (علایی طالقانی و رحیم‌زاده، ۱۳۹۱). از نظر زمین‌شناسی، منطقه در زون زاگرس چین‌خورده واقع شده و شامل سازندهایی از دوره‌های کرتاسه تا کواترن است؛ از جمله سازندهای ایلام، سروک، آسماری و نهشته‌های آبرفتی که در ساختارهای طاق‌دیسی و ناودیسی رخنمون یافته‌اند (سیف و همکاران، ۱۳۹۵؛ بیات و همکاران، ۱۳۹۶). ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی منطقه شامل چین‌خوردگی‌های فشرده، گسل‌های فعال، دره‌های کاوشی و اشکال کارستی مانند تنگ‌ها و غارهای آهکی است (قهرودی و همکاران، ۱۳۹۹؛ علایی، ۱۳۸۸). رژیم هیدرولوژیکی منطقه ترکیبی از جریان‌های دائمی و فصلی است که از ارتفاعات بالای ۱۵۰۰ متر سرچشمه می‌گیرند. رودخانه الوند، به‌عنوان مهم‌ترین جریان سطحی، در اغلب ایام سال فعال بوده و نقش کلیدی در تأمین آب کشاورزی و شکل‌گیری ناهمواری‌ها دارد. پوشش زمین شامل جنگل‌های بلوط ایرانی در ارتفاعات و مراتع در نواحی کم‌شیب است. خاک منطقه عمدتاً ریزدانه و غنی از سیلت و رس بوده و چشمه‌هایی مانند سراب گرم، ریجاب و مامیشان در آن پراکنده‌اند (ملکی و همکاران، ۱۳۸۶؛ کنسرسیوم دریا خاک پی، ۱۳۸۸). از نظر زیستی، منطقه دارای تنوع بالایی از گونه‌های جانوری شامل خزندگان، پرندگان و پستانداران است (مطالعات جامع توسعه استان کرمانشاه، ۱۳۸۱؛ هدائی، بی‌تا).



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

این پژوهش، به‌منظور ارزیابی کیفیت هیدروژئومورفولوژیکی رودخانه الوند در محدوده شهری سرپل ذهاب، از شاخص *IHG* استفاده شد. این شاخص با تمرکز بر سه مؤلفه اصلی شامل کیفیت عملکردی سامانه رودخانه‌ای، کیفیت مورفولوژی آبراهه، و کیفیت پوشش گیاهی حاشیه رودخانه، امکان تحلیل جامع تأثیرات آنتروپوژنیک و وضعیت طبیعی

رودخانه را فراهم می‌سازد. داده‌های مورد استفاده شامل نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی استان کرمانشاه، تصاویر ماهواره‌ای *Google Earth*، فایل‌های رستری و وکتوری شهرستان سرپل ذهاب، و مشاهدات میدانی بودند که از طریق بازدیدهای صحرایی و برداشت‌های مستقیم گردآوری و صحت‌سنجی شدند. پردازش داده‌ها و تحلیل‌های مکانی با استفاده از نرم‌افزار *ArcGIS* نسخه ۱۰.۵ انجام گرفت.

در مرحله نخست، مسیر رودخانه در محدوده مورد مطالعه بازسازی شد و بر اساس ویژگی‌های مورفولوژیکی، هیدرولوژیکی و اثرات انسانی، به هفت بازه طولی تقسیم گردید. این بازه‌ها از روستای بریموند در بالادست رودخانه آغاز شده و تا روستای قره‌بلاغ در پایین‌دست امتداد دارند. برای هر بازه، ابتدا موقعیت مکانی و ویژگی‌های فیزیکی بررسی شد و سپس شاخص *IHG* به صورت میدانی و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای اعمال گردید. امتیازدهی شاخص بر اساس دامنه عددی ۱ تا ۱۰ برای هر پارامتر انجام شد و مجموع امتیازات سه مؤلفه اصلی، شاخص نهایی کیفیت هیدروژئومورفولوژیکی را تشکیل داد. این امتیاز نهایی در پنج کلاس از «خیلی بد» تا «خیلی خوب» طبقه‌بندی می‌شود و مبنای تحلیل‌های بعدی در بخش نتایج قرار گرفت. فرآیند ارزیابی در هر بازه شامل بررسی طبیعی بودن رژیم جریان، تأمین و جابجایی رسوب، عملکرد سیلابدشت، الگوی آبراهه، تداوم بستر رودخانه، تحرک جانی کرانه‌ها، استمرار طولی پوشش گیاهی، وسعت و ساختار پوشش حاشیه‌ای بود. این ارزیابی‌ها با هدف تعیین میزان انطباق وضعیت فعلی رودخانه با شرایط طبیعی و عملکردی مطلوب انجام شد. در نهایت، نتایج حاصل از امتیازدهی شاخص *IHG* برای هر بازه، پایه تحلیل‌های کیفی و مقایسه‌ای در بخش‌های بعدی مقاله قرار گرفت. شکل (۲) تقسیم‌بندی بازه‌های رودخانه الوند نشان می‌دهد.



شکل ۲: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه و مسیر رودخانه الوند در محدوده شهرستان سرپل ذهاب، همراه با تقسیم‌بندی به ۷ بازه مطالعاتی

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

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

## نتایج

در این پژوهش، شاخص *IHG* به عنوان ابزار اصلی برای ارزیابی کیفیت هیدروژئومورفولوژیکی رودخانه الوند در محدوده شهری سرپل ذهاب به کار گرفته شد. این شاخص با تمرکز بر سه مؤلفه اصلی شامل کیفیت عملکردی سامانه رودخانه‌ای، کیفیت مورفولوژی آبراهه، و کیفیت پوشش گیاهی حاشیه رودخانه، امکان تحلیل جامع تأثیرات آنتروپوژنیک و وضعیت طبیعی رودخانه را فراهم می‌سازد. محدوده مورد مطالعه به طول تقریبی ۸ کیلومتر، از روستای بریموند تا روستای قره‌بلاغ، به هفت بازه طولی تقسیم شد. ارزیابی شاخص *IHG* برای هر بازه بر اساس مشاهدات میدانی، تصاویر ماهواره‌ای و تحلیل‌های مکانی انجام گرفت.

با توجه به تصویر (۳) و جدول (۲) می‌توان گفت در بازه شماره ۱، که خارج از محدوده شهری قرار دارد، کیفیت عملکردی با امتیاز ۲۷ در کلاس «خیلی خوب»، کیفیت مورفولوژی با امتیاز ۲۴ در کلاس «خوب»، و پوشش گیاهی با امتیاز ۲۰ نیز در کلاس «خوب» قرار گرفت. ساختار طبیعی رودخانه در این بازه تا حد زیادی حفظ شده و مداخلات انسانی ناچیز بوده‌اند.



شکل ۳: موقعیت بازه شماره ۱ رودخانه الوند

جدول ۲: امتیازات شاخص IHG برای بازه شماره ۱

| پارامترها                             | امتیاز                                                 | امتیاز کلی | کیفیت بازه |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------|------------|
| ارزیابی کیفیت عملکردی رودخانه         | طبیعی بودن رژیم جریان                                  | ۲۷         | خیلی خوب   |
|                                       | تأمین و جابجایی رسوب                                   |            |            |
|                                       | عملکرد سیلاب‌دشت                                       |            |            |
| ارزیابی کیفیت مورفولوژی رودخانه       | مورفولوژی آبراهه و طبیعی بودن الگوی آبراهه             | ۲۴         | خوب        |
|                                       | تداوم بستر رودخانه و طبیعی بودن فرآیندهای طولی و عمودی |            |            |
|                                       | طبیعی بودن کرانه رودخانه و تحرک جانبی                  |            |            |
| ارزیابی کیفیت پوشش گیاهی کنار رودخانه | استمرار طولی                                           | ۲۰         | خوب        |
|                                       | وسعت پوشش گیاهی کناررود                                |            |            |
|                                       | ساختار، طبیعی بودن و پیوستگی مقطعی پوشش گیاهی کنار رود |            |            |

براساس نتایج به دست آمده بازه شماره ۱ رودخانه الوند که در خارج از محدوده شهری واقع شده، از نظر شاخص‌های اکولوژیکی و ژئومورفولوژیکی وضعیت مطلوبی دارد. بر اساس نتایج حاصل از ارزیابی شاخص IHG، این بازه در سه مؤلفه اصلی عملکردی، مورفولوژی و پوشش گیاهی کناررود مورد بررسی قرار گرفته است.

کیفیت عملکردی رودخانه با امتیاز ۲۷ در کلاس «خیلی خوب» قرار دارد. این نشان‌دهنده حفظ طبیعی رژیم جریان، جابجایی مؤثر رسوبات، و عملکرد مناسب سیلاب‌دشت است. چنین شرایطی بیانگر پویایی هیدرولوژیکی و عدم اختلال در فرآیندهای طبیعی رودخانه‌ای است.

کیفیت مورفولوژی رودخانه با امتیاز ۲۴ در کلاس «خوب» ارزیابی شده است. الگوی آبراهه، تداوم بستر و تحرک جانبی کرانه‌ها همگی امتیاز ۸ کسب کرده‌اند که نشان‌دهنده حفظ نسبی ساختار طبیعی رودخانه و فرآیندهای ژئومورفولوژیکی در این بازه است. این امر بیانگر آن است که تغییرات انسانی در شکل‌گیری بستر و کرانه‌ها محدود بوده‌اند.

کیفیت پوشش گیاهی کناررود با امتیاز ۲۰ نیز در کلاس «خوب» قرار دارد. استمرار طولی پوشش گیاهی وضعیت مطلوبی دارد، اما وسعت و ساختار مقطعی آن نسبت به سایر مؤلفه‌ها امتیاز کمتری کسب کرده‌اند (۶ از ۹). این موضوع می‌تواند ناشی از عوامل طبیعی مانند شیب زمین یا محدودیت‌های اکولوژیکی در گسترش پوشش گیاهی باشد.

در مجموع، بازه شماره ۱ به عنوان یک بخش نسبتاً بکر و کم‌دست‌خورده از رودخانه الوند شناخته می‌شود که ساختار طبیعی آن تا حد زیادی حفظ شده و مداخلات انسانی در آن ناچیز بوده‌اند. این بازه می‌تواند به عنوان یک مرجع برای مقایسه با سایر بازه‌های تحت فشار انسانی مورد استفاده قرار گیرد و در مطالعات حفاظت و مدیریت پایدار رودخانه نقش کلیدی ایفا کند.

با توجه به تصویر (۴) و جدول (۳) می‌توان گفت در بازه شماره ۲، واقع در ورودی شهر، کیفیت عملکردی با امتیاز ۱۷ در کلاس «متوسط»، کیفیت مورفولوژی با امتیاز ۲۰ در کلاس «خوب»، و پوشش گیاهی با امتیاز ۱۹ در کلاس «متوسط» ارزیابی شد. ساخت‌وسازهای محدود و احداث پل‌ها موجب کاهش نسبی کیفیت عملکردی شده‌اند.



شکل ۴: بازه شماره ۲ رودخانه  
جدول ۳: امتیازات شاخص IHG برای بازه شماره ۲

| کیفیت بازه | امتیاز کلی | امتیاز | پارامترها                                              | ارزیابی کیفیت عملکردی رودخانه             |
|------------|------------|--------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| متوسط      | ۱۷         | ۶      | طبیعی بودن رژیم جریان                                  | عملکردی رودخانه                           |
|            |            | ۶      | تأمین و جابجایی رسوب                                   |                                           |
|            |            | ۵      | عملکرد سیلاب‌دشت                                       |                                           |
| خوب        | ۲۰         | ۷      | مورفولوژی آبراهه و طبیعی بودن الگوی آبراهه             | مورفولوژی رودخانه                         |
|            |            | ۸      | تداوم بستر رودخانه و طبیعی بودن فرایندهای طولی و عمودی |                                           |
|            |            | ۵      | طبیعی بودن کرانه رودخانه و تحرک جانبی                  |                                           |
| متوسط      | ۱۹         | ۷      | استمرار طولی                                           | ارزیابی کیفیت پوشش گیاهی کنار رود رودخانه |
|            |            | ۷      | وسعت پوشش گیاهی کنار رود                               |                                           |
|            |            | ۵      | ساختار، طبیعی بودن و پیوستگی مقطعی پوشش گیاهی کنار رود |                                           |

مطابق با نتایج به دست آمده بازه شماره ۲ رودخانه الوند که در ورودی شهر قرار دارد، تحت تأثیر مداخلات انسانی جزئی مانند ساخت‌وسازهای محدود و احداث پل‌ها قرار گرفته است. این مداخلات باعث تغییراتی در عملکرد طبیعی رودخانه شده‌اند که در ارزیابی شاخص *IHG* بازتاب یافته‌اند.

کیفیت عملکردی رودخانه با امتیاز ۱۷ در کلاس «متوسط» قرار دارد. این امتیاز نسبت به بازه شماره ۱ کاهش یافته و نشان‌دهنده اختلال نسبی در فرایندهای طبیعی رودخانه است. منظور از «کاهش نسبی کیفیت عملکردی» آن است که:

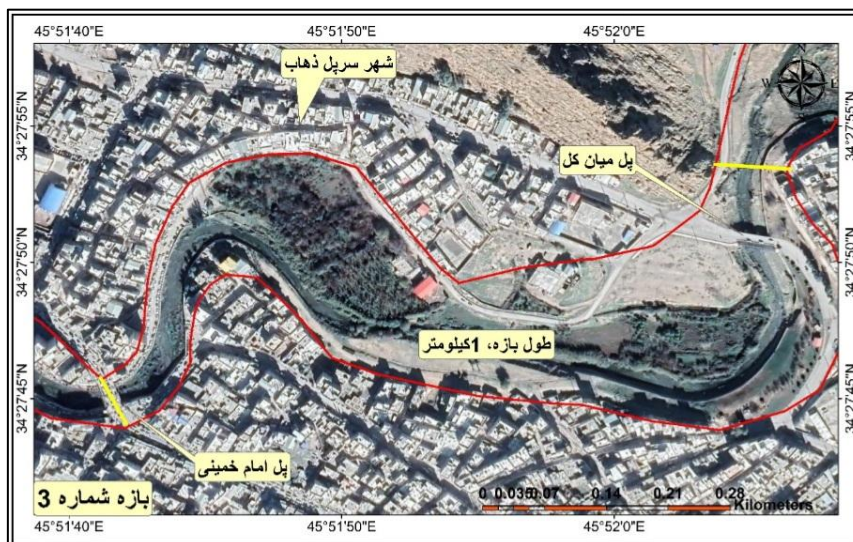
– رژیم جریان دیگر کاملاً طبیعی نیست و احتمالاً تحت تأثیر سازه‌های شهری یا تغییر مسیر قرار گرفته است.  
– جابجایی رسوب به‌طور کامل انجام نمی‌شود، که می‌تواند ناشی از موانعی مانند پایه‌های پل یا دیواره‌های حفاظتی باشد.

– عملکرد سیلاب‌دشت نیز محدود شده، به‌ویژه در شرایطی که فضاهاى شهری مانع گسترش طبیعی سیلاب‌دشت شده‌اند.

کیفیت مورفولوژی رودخانه با امتیاز ۲۰ در کلاس «خوب» ارزیابی شده است. الگوی آبراهه و تداوم بستر نسبتاً طبیعی باقی مانده‌اند، اما تحرک جانبی کرانه‌ها با امتیاز ۵ نشان‌دهنده محدودیت‌هایی در پویایی عرضی رودخانه است. این موضوع می‌تواند ناشی از تثبیت کرانه‌ها با مصالح ساختمانی یا محدودسازی مسیر جریان باشد.

کیفیت پوشش گیاهی کناررود با امتیاز ۱۹ در کلاس «متوسط» قرار دارد. استمرار طولی و وسعت پوشش گیاهی وضعیت قابل قبولی دارند، اما ساختار مقطعی و پیوستگی آن با امتیاز ۵ نشان‌دهنده اختلال در تنوع و انسجام پوشش گیاهی است. این اختلال ممکن است ناشی از حذف یا تخریب بخشی از پوشش گیاهی در اثر توسعه شهری یا فعالیت‌های عمرانی باشد.

در مجموع، بازه شماره ۲ به دلیل قرارگیری در ورودی شهر، تحت تأثیر مداخلات انسانی قرار گرفته که منجر به کاهش نسبی کیفیت عملکردی و پوشش گیاهی شده‌اند. با این حال، حفظ نسبی مورفولوژی رودخانه نشان‌دهنده پتانسیل بازسازی و ارتقاء کیفیت اکولوژیکی در صورت مدیریت صحیح و کاهش فشارهای انسانی است. با توجه به تصویر (۵) و جدول (۴) می‌توان گفت در بازه شماره ۳، که در مرکز شهر قرار دارد، کیفیت عملکردی، مورفولوژی و پوشش گیاهی همگی در کلاس «خیلی بد» قرار گرفتند (امتیازات ۵، ۵ و ۶). مستقیم‌سازی مسیر رودخانه، حذف سیلابدشت، و ساخت‌وسازهای گسترده موجب اختلال شدید در عملکرد طبیعی رودخانه شده‌اند.



شکل ۵: موقعیت بازه شماره ۳ رودخانه الوند

جدول ۴: امتیازات شاخص IHG برای بازه شماره ۳

| کیفیت بازه | امتیاز کلی | امتیاز | پارامترها                                              | ارزیابی کیفیت عملکردی رودخانه        |
|------------|------------|--------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| خیلی بد    | ۵          | ۲      | طبیعی بودن رژیم جریان                                  | عملکردی رودخانه                      |
|            |            | ۲      | تأمین و جابجایی رسوب                                   |                                      |
|            |            | ۱      | عملکرد سیلابدشت                                        |                                      |
| خیلی بد    | ۵          | ۲      | مورفولوژی آبراهه و طبیعی بودن الگوی آبراهه             | مورفولوژی رودخانه                    |
|            |            | ۲      | تداوم بستر رودخانه و طبیعی بودن فرایندهای طولی و عمودی |                                      |
|            |            | ۱      | طبیعی بودن کرانه رودخانه و تحرک جانبی                  |                                      |
| خیلی بد    | ۶          | ۲      | استمرار طولی                                           | ارزیابی کیفیت پوشش گیاهی کناررودخانه |
|            |            | ۲      | وسعت پوشش گیاهی کناررود                                |                                      |
|            |            | ۲      | ساختار، طبیعی بودن و پیوستگی پوشش گیاهی کنار رود       |                                      |

براساس نتایج در بازه شماره ۳ که در مرکز شهر قرار دارد، به‌وضوح تحت فشار شدید ناشی از توسعه شهری و مداخلات انسانی قرار گرفته است. نتایج حاصل از ارزیابی شاخص *IHG* نشان می‌دهد که این بازه در هر سه مؤلفه عملکردی، مورفولوژی و پوشش گیاهی در پایین‌ترین سطح کیفیت یعنی «خیلی بد» قرار دارد.

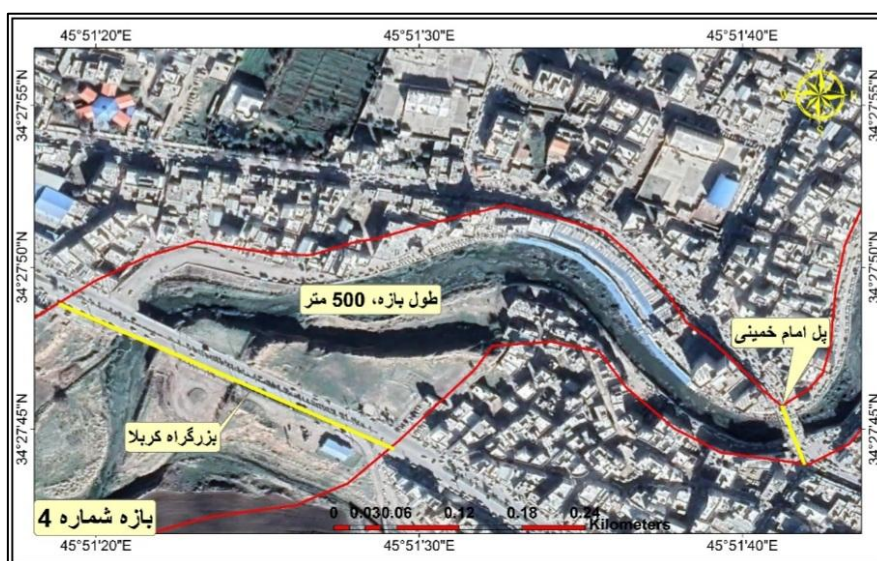
کیفیت عملکردی رودخانه با امتیاز ۵ نشان‌دهنده اختلال شدید در فرآیندهای طبیعی است. امتیازات پایین در رژیم جریان، جابجایی رسوب و عملکرد سیلاب‌دشت (به ترتیب ۲، ۲ و ۱) بیانگر آن است که مسیر رودخانه به‌طور مستقیم‌سازی شده و سیلاب‌دشت‌ها حذف یا محدود شده‌اند. این تغییرات موجب کاهش توان خودپالایی رودخانه، افزایش خطر سیلاب، و اختلال در چرخه رسوب‌گذاری شده‌اند.

کیفیت مورفولوژی رودخانه نیز با امتیاز ۵ در کلاس «خیلی بد» قرار دارد. الگوی آبراهه، تداوم بستر و تحرک جانبی کرانه‌ها همگی دچار اختلال شده‌اند. امتیاز ۱ برای تحرک جانبی کرانه‌ها نشان‌دهنده تثبیت کامل یا مصنوعی شدن کرانه‌هاست که مانع از پویایی طبیعی رودخانه و تغییرات عرضی آن می‌شود. این وضعیت معمولاً ناشی از دیواره‌سازی، کف‌سازی یا استفاده از مصالح سخت در بستر و کرانه‌هاست.

کیفیت پوشش گیاهی کنار رود با امتیاز ۶ نیز در کلاس «خیلی بد» قرار دارد. استمرار طولی، وسعت و ساختار پوشش گیاهی همگی امتیاز ۲ کسب کرده‌اند که نشان‌دهنده حذف یا تخریب شدید پوشش گیاهی طبیعی است. این موضوع نه‌تنها تنوع زیستی را کاهش می‌دهد، بلکه موجب افزایش دمای آب، کاهش تثبیت خاک و افت کیفیت زیستگاه‌های رودخانه‌ای می‌شود.

در مجموع، بازه شماره ۳ نمونه‌ای بارز از تأثیرات منفی توسعه شهری بدون ملاحظات اکولوژیکی است. مستقیم‌سازی مسیر رودخانه، حذف سیلاب‌دشت و ساخت‌وسازهای گسترده موجب از بین رفتن عملکردهای طبیعی و کاهش شدید کیفیت زیست‌محیطی شده‌اند. این وضعیت نیازمند مداخلات مدیریتی و بازسازی اکولوژیکی است تا بتوان بخشی از عملکردهای از دست‌رفته را احیا کرد و پایداری رودخانه را در بلندمدت تضمین نمود.

با توجه به تصویر (۶) و جدول (۵) می‌توان گفت که در بازه شماره ۴، شرایط مشابهی با بازه قبلی مشاهده شد. کیفیت عملکردی با امتیاز ۶، کیفیت مورفولوژی با امتیاز ۵، و پوشش گیاهی با امتیاز ۶ همگی در کلاس «خیلی بد» قرار گرفتند. توسعه شهری در هر دو کرانه رودخانه و تبدیل بستر طبیعی به فضاهای شهری، عامل اصلی کاهش کیفیت در این بازه بوده است.



شکل ۶: موقعیت بازه شماره ۴ رودخانه الوند

جدول ۵: امتیازات شاخص IHG برای بازه شماره ۴

| پارامترها                                              | امتیاز | امتیاز کلی | کیفیت بازه |
|--------------------------------------------------------|--------|------------|------------|
| طبیعی بودن رژیم جریان                                  | ۲      | ۶          | خیلی بد    |
| تأمین و جابجایی رسوب                                   | ۲      |            |            |
| عملکرد سیلاب‌دشت                                       | ۲      |            |            |
| مورفولوژی آبراهه و طبیعی بودن الگوی آبراهه             | ۲      | ۵          | خیلی بد    |
| تداوم بستر رودخانه و طبیعی بودن فرایندهای طولی و عمودی | ۲      |            |            |
| طبیعی بودن کرانه رودخانه و تحرک جانبی                  | ۱      |            |            |
| استمرار طولی                                           | ۲      | ۶          | خیلی بد    |
| وسعت پوشش گیاهی کناررود                                | ۲      |            |            |
| ساختار، طبیعی بودن و پیوستگی مقطعی پوشش گیاهی کنار رود | ۲      |            |            |

بازه شماره ۴ که در امتداد مرکز شهری رودخانه الوند قرار دارد، از نظر کیفیت اکولوژیکی و ژئومورفولوژیکی در وضعیت بحرانی قرار گرفته است. نتایج حاصل از ارزیابی شاخص IHG نشان می‌دهد که این بازه در هر سه مؤلفه عملکردی، مورفولوژی و پوشش گیاهی در پایین‌ترین سطح کیفیت یعنی «خیلی بد» قرار دارد.

کیفیت عملکردی رودخانه با امتیاز ۶ نشان‌دهنده اختلال شدید در فرایندهای طبیعی است. امتیازات پایین در رژیم جریان، جابجایی رسوب و عملکرد سیلاب‌دشت (هر کدام ۲ از ۹) بیانگر آن است که توسعه شهری در هر دو کرانه رودخانه موجب تغییر مسیر جریان، انسداد مسیرهای رسوبی، و حذف کامل یا محدودسازی سیلاب‌دشت‌ها شده است. این وضعیت باعث کاهش توان تنظیم طبیعی جریان، افزایش خطر سیلاب‌های ناگهانی، و افت عملکرد زیست‌محیطی رودخانه می‌شود. کیفیت مورفولوژی رودخانه با امتیاز ۵ نیز در کلاس «خیلی بد» قرار دارد. الگوی آبراهه، تداوم بستر و تحرک جانبی کرانه‌ها همگی دچار اختلال شدید شده‌اند. امتیاز ۱ برای تحرک جانبی کرانه‌ها نشان‌دهنده تثبیت کامل یا مصنوعی شدن کرانه‌هاست که مانع از پویایی طبیعی رودخانه و تغییرات عرضی آن می‌شود. این وضعیت معمولاً ناشی از دیواره‌سازی، کف‌سازی یا تبدیل بستر به فضاهای شهری و ترافیکی است.

کیفیت پوشش گیاهی کناررود با امتیاز ۶ نیز در کلاس «خیلی بد» قرار دارد. استمرار طولی، وسعت و ساختار پوشش گیاهی همگی امتیاز ۲ کسب کرده‌اند که نشان‌دهنده حذف یا تخریب شدید پوشش گیاهی طبیعی است. این موضوع نه تنها تنوع زیستی را کاهش می‌دهد، بلکه موجب افزایش دمای آب، کاهش تثبیت خاک، افت کیفیت زیستگاه‌های رودخانه‌ای و کاهش ظرفیت تصفیه طبیعی آب می‌شود.

در مجموع، بازه شماره ۴ به‌عنوان یکی از بحرانی‌ترین بخش‌های رودخانه الوند شناخته می‌شود که توسعه شهری بی‌رویه و تبدیل بستر طبیعی به فضاهای مصنوعی، موجب از بین رفتن عملکردهای طبیعی و کاهش شدید کیفیت زیست‌محیطی شده‌اند. این وضعیت نیازمند مداخلات مدیریتی فوری، بازسازی اکولوژیکی، و تدوین برنامه‌های حفاظتی است تا بتوان بخشی از عملکردهای از دست‌رفته را احیا کرد و از تخریب بیشتر جلوگیری نمود. شواهد تصویری از مداخله انسان در بستر و حریم رودخانه در شکل (۷) و (۸) نمایش داده شده است.

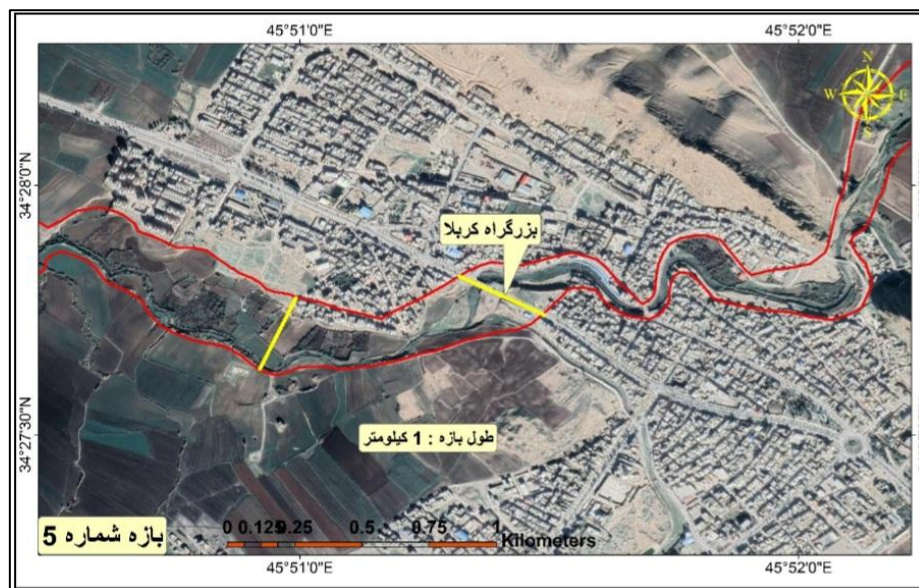


شکل ۷: مستقیم سازی رودخانه و محصور شدن کناره ها در اثر توسعه شهری و ساخت و ساز



شکل ۸: نمودهای تخریب بستر و حریم رودخانه الوند در شهر سرپل ذهاب

با توجه به تصویر (۹) و جدول (۶) می توان گفت که در بازه شماره ۵، که در خروجی شهر قرار دارد، کیفیت عملکردی با امتیاز ۱۶ و کیفیت مورفولوژی با امتیاز ۱۷ در کلاس «متوسط» قرار گرفتند، در حالی که پوشش گیاهی با امتیاز ۱۲ در کلاس «ضعیف» ارزیابی شد. این بازه در وضعیت بینابینی قرار دارد و تحت تأثیر ساخت و سازهای پراکنده و ریخت و پاش های ساختمانی است.



شکل ۹: موقعیت بازه شماره ۵ رودخانه

جدول ۶: امتیازات شاخص IHG برای بازه شماره ۵

| کیفیت بازه | امتیاز کلی | امتیاز | پارامترها                                              |                                         |
|------------|------------|--------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| متوسط      | ۱۶         | ۵      | طبیعی بودن رژیم جریان                                  | ارزیابی کیفیت عملکردی رودخانه           |
|            |            | ۶      | تأمین و جابجایی رسوب                                   |                                         |
|            |            | ۵      | عملکرد سیلابدشت                                        |                                         |
| متوسط      | ۱۷         | ۶      | مورفولوژی آبراهه و طبیعی بودن الگوی آبراهه             | ارزیابی کیفیت مورفولوژی رودخانه         |
|            |            | ۶      | تداوم بستر رودخانه و طبیعی بودن فرآیندهای طولی و عمودی |                                         |
|            |            | ۵      | طبیعی بودن کرانه رودخانه و تحرک جانبی                  |                                         |
| ضعیف       | ۱۲         | ۴      | استمرار طولی                                           | ارزیابی کیفیت پوشش گیاهی کنارود رودخانه |
|            |            | ۴      | وسعت پوشش گیاهی کنارود                                 |                                         |
|            |            | ۴      | ساختار، طبیعی بودن و پیوستگی مقطعی پوشش گیاهی کنار رود |                                         |

بازه شماره ۵ که در خروجی شهر قرار دارد، از نظر کیفیت اکولوژیکی در وضعیت بینابینی قرار گرفته است؛ به گونه‌ای که برخی مؤلفه‌ها به طور نسبی حفظ شده‌اند، اما آثار ساخت‌وسازهای پراکنده و ریخت‌وپاش‌های ساختمانی در کاهش کیفیت کلی بازه مشهود است.

کیفیت عملکردی رودخانه با امتیاز ۱۶ در کلاس «متوسط» قرار دارد. طبیعی بودن رژیم جریان، جابجایی رسوب و عملکرد سیلابدشت همگی امتیازاتی بین ۵ تا ۶ کسب کرده‌اند که نشان‌دهنده حفظ نسبی فرآیندهای هیدرولوژیکی است. با این حال، وجود موانع موضعی، تغییرات جزئی در مسیر جریان، و محدودسازی بخشی از سیلابدشت‌ها موجب شده‌اند که عملکرد طبیعی رودخانه به طور کامل حفظ نشود.

کیفیت مورفولوژی رودخانه نیز با امتیاز ۱۷ در کلاس «متوسط» ارزیابی شده است. الگوی آبراهه، تداوم بستر و تحرک جانبی کرانه‌ها امتیازاتی بین ۵ تا ۶ دارند که نشان‌دهنده وجود برخی تغییرات در ساختار فیزیکی رودخانه است. این

تغییرات ممکن است ناشی از تثبیت موضعی کرانه‌ها، تغییرات در شیب بستر، یا مداخلات ساختمانی محدود باشند که پویایی طبیعی رودخانه را کاهش داده‌اند.

کیفیت پوشش گیاهی کناررود با امتیاز ۱۲ در کلاس «ضعیف» قرار دارد. استمرار طولی، وسعت و ساختار پوشش گیاهی همگی امتیاز ۴ کسب کرده‌اند که بیانگر تخریب نسبی پوشش گیاهی طبیعی در این بازه است. این وضعیت می‌تواند ناشی از ریخت‌وپاش‌های ساختمانی، حذف پوشش گیاهی برای توسعه شهری، یا عدم مدیریت صحیح حاشیه رودخانه باشد. کاهش پوشش گیاهی موجب افت کیفیت زیستگاه‌ها، افزایش فرسایش خاک، و کاهش ظرفیت تصفیه طبیعی آب می‌شود.

در مجموع، بازه شماره ۵ در وضعیت گذار از فضای شهری به محیط نیمه‌طبیعی قرار دارد. اگرچه برخی عملکردهای طبیعی رودخانه تا حدی حفظ شده‌اند، اما آثار پراکنده ساخت‌وساز و تخریب پوشش گیاهی موجب کاهش کیفیت کلی شده‌اند. این بازه پتانسیل بازسازی اکولوژیکی دارد و با مدیریت صحیح می‌توان کیفیت آن را ارتقاء داد و به عنوان منطقه‌ای حائل بین شهر و طبیعت از آن بهره‌برداری کرد.

با توجه به تصویر (۱۰) و جدول (۷) می‌توان گفت که در بازه شماره ۶، که در حاشیه شهر واقع شده، کیفیت عملکردی با امتیاز ۱۸ در کلاس «متوسط»، کیفیت مورفولوژی با امتیاز ۲۱ و پوشش گیاهی با امتیاز ۲۰ در کلاس «خوب» قرار گرفتند. بافت نیمه‌روستایی این بازه موجب حفظ نسبی ساختار طبیعی رودخانه شده است.



شکل ۱۰: موقعیت بازه شماره ۶ رودخانه الوند

جدول ۷: امتیازات شاخص IHG برای بازه شماره ۶

| کیفیت بازه | امتیاز کلی | امتیاز | پارامترها                                              |                                      |
|------------|------------|--------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| متوسط      | ۱۸         | ۷      | طبیعی بودن رژیم جریان                                  | عملکردی رودخانه                      |
|            |            | ۷      | تأمین و جابجایی رسوب                                   |                                      |
|            |            | ۴      | عملکرد سیلاب‌دشت                                       |                                      |
| خوب        | ۲۱         | ۷      | مورفولوژی آبراهه و طبیعی بودن الگوی آبراهه             | مورفولوژی رودخانه                    |
|            |            | ۶      | تداوم بستر رودخانه و طبیعی بودن فرایندهای طولی و عمودی |                                      |
|            |            | ۸      | طبیعی بودن کرانه رودخانه و تحرک جانبی                  |                                      |
| خوب        | ۲۱         | ۷      | استمرار طولی                                           | ارزیابی کیفیت پوشش گیاهی کناررودخانه |
|            |            | ۷      | وسعت پوشش گیاهی کناررود                                |                                      |
|            |            | ۷      | ساختار، طبیعی بودن و پیوستگی مقطعی پوشش گیاهی کنار رود |                                      |

بازه شماره ۶ که در حاشیه شهر و در محدوده‌ای با بافت نیمه‌روستایی قرار دارد، از نظر کیفیت اکولوژیکی و ژئومورفولوژیکی در وضعیت نسبتاً مطلوبی قرار گرفته است. این بازه به‌عنوان نقطه گذار بین فضای شهری و محیط طبیعی، توانسته بخشی از ساختارهای طبیعی رودخانه را حفظ کند.

کیفیت عملکردی رودخانه با امتیاز ۱۸ در کلاس «متوسط» ارزیابی شده است. طبیعی بودن رژیم جریان و جابجایی رسوب با امتیاز ۷ نشان‌دهنده حفظ نسبی پویایی هیدرولوژیکی رودخانه است. با این حال، عملکرد سیلاب‌دشت با امتیاز ۴ بیانگر محدودیت‌هایی در گسترش و فعالیت سیلاب‌دشت‌هاست که ممکن است ناشی از مداخلات موضعی یا تغییرات کاربری زمین در اطراف رودخانه باشد.

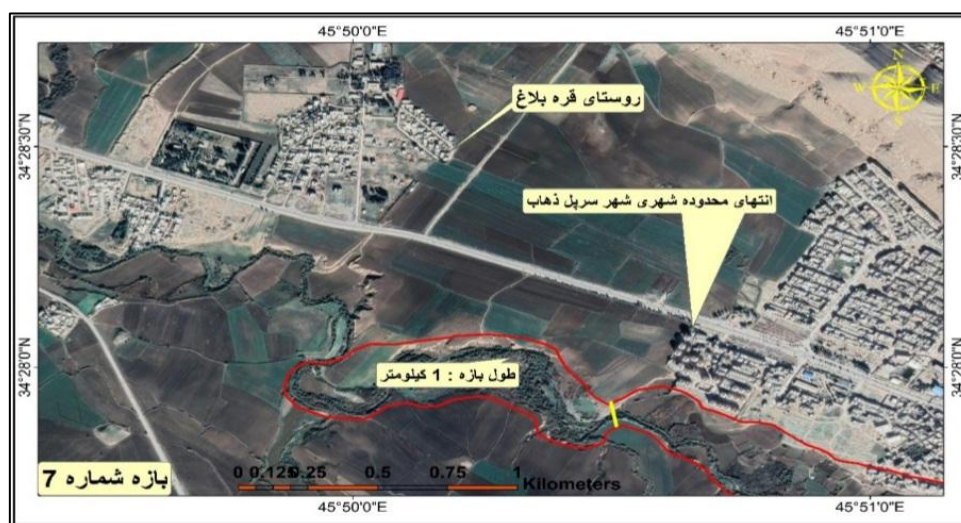
کیفیت مورفولوژی رودخانه با امتیاز ۲۱ در کلاس «خوب» قرار دارد. الگوی آبراهه، تداوم بستر و تحرک جانبی کرانه‌ها امتیازاتی بین ۶ تا ۸ کسب کرده‌اند که نشان‌دهنده حفظ ساختار فیزیکی رودخانه و پویایی عرضی آن است. تحرک جانبی کرانه‌ها با امتیاز ۸ نشان می‌دهد که کرانه‌ها هنوز از آزادی نسبی برای تغییرات طبیعی برخوردارند، که این موضوع در بازسازی اکولوژیکی و حفظ تنوع زیستی اهمیت زیادی دارد.

کیفیت پوشش گیاهی کناررود نیز با امتیاز ۲۰ در کلاس «خوب» ارزیابی شده است. استمرار طولی، وسعت و ساختار پوشش گیاهی همگی امتیاز ۷ کسب کرده‌اند که نشان‌دهنده حضور پوشش گیاهی نسبتاً طبیعی و پیوسته در حاشیه رودخانه است. این پوشش گیاهی نقش مهمی در تثبیت خاک، کاهش فرسایش، تصفیه طبیعی آب و ایجاد زیستگاه‌های متنوع ایفا می‌کند. در مجموع، بازه شماره ۶ به‌دلیل قرارگیری در محدوده‌ای با بافت نیمه‌روستایی، توانسته ساختار طبیعی رودخانه را تا حد زیادی حفظ کند. این بازه از نظر اکولوژیکی ظرفیت بالایی برای حفاظت و ارتقاء دارد و می‌تواند به‌عنوان الگویی برای بازسازی بازه‌های تخریب‌شده‌تر در مناطق شهری مورد استفاده قرار گیرد. مدیریت هوشمندانه این بازه می‌تواند نقش مؤثری در حفظ پیوستگی اکولوژیکی رودخانه الوند ایفا کند. همان‌طور که در شکل (۱۱) مشاهده می‌شود، بخشی از حریم رودخانه به اراضی زراعی تغییر کاربری یافته است.



شکل ۱۱: توسعه کشاورزی در محدوده سیلاب دست و کناره رودخانه در بازه ۶

با توجه به تصویر (۱۲) و جدول (۸) می‌توان گفت که در بازه شماره ۷، که کاملاً خارج از محدوده شهری قرار دارد، کیفیت عملکردی با امتیاز ۲۷ و کیفیت مورفولوژی با امتیاز ۲۵ در کلاس «خیلی خوب»، و پوشش گیاهی با امتیاز ۲۲ در کلاس «خوب» ارزیابی شد. این بازه کمترین میزان مداخله انسانی را داشته و ساختار طبیعی رودخانه تا حد زیادی حفظ شده است.



شکل ۱۲: موقعیت بازه شماره ۷ رودخانه الوند سرپل ذهاب

جدول ۸: امتیازات شاخص IHG برای بازه شماره ۷

| پارامترها                                              | امتیاز | امتیاز کلی | کیفیت بازه |
|--------------------------------------------------------|--------|------------|------------|
| طبیعی بودن رژیم جریان                                  | 10     | ۲۷         | خیلی خوب   |
| تأمین و جابجایی رسوب                                   | ۹      |            |            |
| عملکرد سیلاب‌دشت                                       | ۸      |            |            |
| مورفولوژی آبراهه و طبیعی بودن الگوی آبراهه             | ۹      | ۲۵         | خیلی خوب   |
| تداوم بستر رودخانه و طبیعی بودن فرآیندهای طولی و عمودی | ۸      |            |            |
| طبیعی بودن کرانه رودخانه و تحرک جانبی                  | ۸      |            |            |
| استمرار طولی                                           | ۸      | ۲۲         | خوب        |
| وسعت پوشش گیاهی کنار رود                               | ۶      |            |            |
| ساختار، طبیعی بودن و پیوستگی مقطعی پوشش گیاهی کنار رود | ۸      |            |            |
| ارزیابی کیفیت عملکردی رودخانه                          |        |            |            |
| ارزیابی کیفیت مورفولوژی رودخانه                        |        |            |            |
| ارزیابی کیفیت پوشش گیاهی کنار رود رودخانه              |        |            |            |

بازه شماره ۷ که کاملاً خارج از محدوده شهری و در منطقه‌ای طبیعی واقع شده، از نظر کیفیت اکولوژیکی و ژئومورفولوژیکی در وضعیت بسیار مطلوبی قرار دارد. نتایج حاصل از ارزیابی شاخص IHG نشان می‌دهد که این بازه از کمترین میزان مداخله انسانی برخوردار بوده و ساختار طبیعی رودخانه تا حد زیادی حفظ شده است.

کیفیت عملکردی رودخانه با امتیاز ۲۷ در کلاس «خیلی خوب» ارزیابی شده است. طبیعی بودن رژیم جریان (امتیاز ۱۰)، جابجایی مؤثر رسوبات (۹) و عملکرد مناسب سیلاب‌دشت (۸) نشان‌دهنده پویایی کامل فرآیندهای هیدرولوژیکی رودخانه است. این وضعیت بیانگر آن است که رودخانه در این بازه بدون مانع جریان دارد، رسوبات را به‌طور طبیعی جابجا می‌کند، و سیلاب‌دشت‌ها نقش خود را در تنظیم جریان و تغذیه اکوسیستم ایفا می‌کنند.

کیفیت مورفولوژی رودخانه با امتیاز ۲۵ نیز در کلاس «خیلی خوب» قرار دارد. الگوی آبراهه، تداوم بستر و تحرک جانبی کرانه‌ها امتیازاتی بین ۸ تا ۹ کسب کرده‌اند که نشان‌دهنده حفظ کامل ساختار فیزیکی رودخانه است. این ویژگی‌ها موجب پایداری ژئومورفولوژیکی، تنوع زیستی بالا، و امکان تغییرات طبیعی در مسیر رودخانه می‌شوند که برای سلامت اکوسیستم رودخانه‌ای حیاتی‌اند.

کیفیت پوشش گیاهی کناررود با امتیاز ۲۲ در کلاس «خوب» ارزیابی شده است. استمرار طولی و ساختار پوشش گیاهی با امتیاز ۸ نشان‌دهنده حضور پیوسته و طبیعی پوشش گیاهی در امتداد رودخانه است. با این حال، وسعت پوشش گیاهی با امتیاز ۶ کمی کمتر از حد مطلوب است که ممکن است ناشی از شرایط توپوگرافی یا محدودیت‌های طبیعی در گسترش پوشش گیاهی باشد. با این وجود، کیفیت کلی پوشش گیاهی همچنان بالا و مؤثر در حفظ اکوسیستم رودخانه‌ای است. در مجموع، بازه شماره ۷ به‌عنوان یکی از بکرترین و سالم‌ترین بخش‌های رودخانه الوند شناخته می‌شود. این بازه می‌تواند به‌عنوان مرجع اکولوژیکی برای مقایسه با سایر بازه‌های تحت فشار انسانی مورد استفاده قرار گیرد و در تدوین راهبردهای حفاظتی و بازسازی اکولوژیکی نقش کلیدی ایفا کند. حفظ این بازه در وضعیت فعلی و جلوگیری از توسعه‌های مخرب در اطراف آن، برای پایداری بلندمدت رودخانه ضروری است.

در نهایت، با جمع‌بندی امتیازات سه مؤلفه اصلی در هر بازه، شاخص نهایی کیفیت هیدروژئومورفولوژیکی برای کل محدوده مورد مطالعه محاسبه شد. نتایج نشان داد که بازه‌های ۱، ۶ و ۷ در کلاس «خوب»، بازه‌های ۲ و ۵ در کلاس «متوسط»، و بازه‌های ۳ و ۴ در کلاس «خیلی بد» قرار دارند. این طبقه‌بندی نشان‌دهنده تأثیر مستقیم توسعه شهری و مداخلات انسانی بر کیفیت سامانه رودخانه‌ای در محدوده شهری سرپل ذهاب است.

جدول ۸: امتیازات نهایی شاخص IHG برای بازه‌های ۱ تا ۷

| شماره بازه‌ها | امتیاز نهایی شاخص هیدروژئومورفولوژی (IHG) | هیدروژئومورفولوژی کیفیت (IHG) |
|---------------|-------------------------------------------|-------------------------------|
| ۱             | ۷۱                                        | خوب                           |
| ۲             | ۵۶                                        | متوسط                         |
| ۳             | ۱۶                                        | خیلی بد                       |
| ۴             | ۱۷                                        | خیلی بد                       |
| ۵             | ۴۵                                        | متوسط                         |
| ۶             | ۶۰                                        | خوب                           |
| ۷             | ۷۴                                        | خوب                           |

به طور کلی در این مطالعه و بر اساس نتایج جدول ۸، با تجمیع امتیازات سه مؤلفه اصلی شاخص IHG شامل کیفیت عملکردی، مورفولوژی و پوشش گیاهی کناررود برای هر یک از هفت بازه مورد بررسی، شاخص نهایی کیفیت هیدروژئومورفولوژیکی محاسبه شد. این شاخص ترکیبی، نمایی کلی از وضعیت اکولوژیکی و فیزیکی رودخانه در طول مسیر مورد مطالعه ارائه می‌دهد. به عبارتی بازه‌های ۱، ۶ و ۷ با امتیازهای نهایی ۷۱، ۶۰ و ۷۴ در کلاس «خوب» قرار گرفتند. این بازه‌ها عمدتاً در خارج یا حاشیه محدوده شهری واقع شده‌اند و کمترین میزان مداخله انسانی را تجربه کرده‌اند. ساختار طبیعی رودخانه، پوشش گیاهی پیوسته و عملکرد هیدروژئولوژیکی نسبتاً سالم در این بازه‌ها حفظ شده است.

بازه‌های ۲ و ۵ با امتیازهای ۵۶ و ۴۵ در کلاس «متوسط» ارزیابی شدند. این بازه‌ها در نقاط گذار بین فضای شهری و غیرشهری قرار دارند و تحت تأثیر ساخت‌وسازهای پراکنده، تغییرات موضعی در بستر رودخانه و تخریب نسبی پوشش گیاهی هستند. وضعیت آن‌ها ناپایدار و مستعد بهبود یا تخریب بیشتر است.

بازه‌های ۳ و ۴ با امتیازهای بسیار پایین ۱۶ و ۱۷ در کلاس «خیلی بد» قرار گرفتند. این بازه‌ها در مرکز شهر واقع شده‌اند و تحت فشار شدید توسعه شهری، مستقیم‌سازی مسیر رودخانه، حذف سیلاب‌دشت‌ها و تخریب کامل پوشش گیاهی قرار دارند. این وضعیت بحرانی نیازمند مداخلات فوری مدیریتی و بازسازی اکولوژیکی است.

الگوی کلی نتایج به‌وضوح نشان می‌دهد که شدت مداخلات انسانی رابطه معکوس با کیفیت هیدروژئومورفولوژیکی دارد. هرچه توسعه شهری و ساخت‌وساز در حریم رودخانه بیشتر باشد، کیفیت عملکردی و زیست‌محیطی رودخانه کاهش می‌یابد.

در مقابل، بازه‌هایی که در مناطق طبیعی یا نیمه‌طبیعی قرار دارند، از نظر ساختاری و اکولوژیکی در وضعیت مطلوب‌تری هستند.

## بحث

نتایج حاصل از تحلیل کیفیت رودخانه الوند شهرستان سرپل ذهاب با استفاده از شاخص هیدروژئومورفولوژیکی *IHG* هم‌راستا با مطالعات پیشین در ایران و سایر کشورها، نشان می‌دهد که شدت و نوع مداخلات انسانی مهم‌ترین عامل در افت یا حفظ کیفیت اکولوژیکی و ژئومورفولوژیکی رودخانه‌ها است. در بازه‌های طبیعی و نیمه‌طبیعی، ساختارهای رودخانه‌ای همچنان پویا، متصل و دارای تنوع زیستی هستند، در حالی که در بازه‌های شهری، فرآیندهای طبیعی به‌شدت مختل شده‌اند.

مطالعه‌ی نصیری و رضایی و احمدی (۲۰۲۳) بر رودخانه زاینده‌رود در محدوده شهر اصفهان نشان داد که شاخص *IHG* در بازه‌های شهری به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد و مؤلفه‌های عملکردی، مورفولوژی و پوشش گیاهی تحت تأثیر مستقیم‌سازی مسیر، تثبیت کرانه‌ها و حذف سیلاب‌دشت‌ها قرار می‌گیرند. همچنین، پژوهش غفورپور و همکاران (۲۰۲۲) در رودخانه کرج بیان می‌کند که توسعه شهری، تغییر کاربری اراضی و تجاوز به بستر رودخانه، آسیب‌های جدی به تعادل ژئومورفولوژیک و خدمات زیست‌بوم وارد کرده است.

در سطح بین‌المللی، مورا<sup>۱</sup> (۲۰۱۱) با ارائه نسخه به‌روزشده شاخص *IHG* تأکید می‌کند که این شاخص با ارزیابی سه مؤلفه عملکردی، مورفولوژی و پوشش گیاهی، ابزار مؤثری برای پایش کیفیت رودخانه‌ها در مواجهه با مداخلات انسانی است. همچنین، مطالعه‌ی حضاوی و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۲۴) در حوزه آبخیز سمیان در اردبیل با استفاده از شاخص *RRI* نشان داد که بازسازی اکولوژیکی رودخانه‌ها در مناطق نیمه‌طبیعی، اثربخشی بیشتری در ارتقاء کیفیت زیست‌محیطی دارد. پژوهش پیرالی زفره‌ای<sup>۳</sup> (۲۰۲۲) نیز با بررسی چالش‌های زیست‌محیطی رودخانه زاینده‌رود، بر ضرورت بازسازی اکولوژیکی در مواجهه با توسعه شهری و صنعتی تأکید دارد و آن را هم‌راستا با اهداف دهه جهانی بازسازی اکوسیستم‌ها معرفی می‌کند. در مجموع، یافته‌های این پژوهش بر ضرورت رویکردی یکپارچه در مدیریت رودخانه‌ای تأکید دارد؛ رویکردی که همزمان بر حفاظت، بازسازی و توسعه پایدار تمرکز داشته باشد. استفاده از شاخص‌های چندبعدی مانند *IHG* و *RRI*، ابزار مؤثری برای پایش، اولویت‌بندی و ارزیابی اثربخشی اقدامات مدیریتی فراهم می‌آورد.

## نتیجه‌گیری

ارزیابی هفت بازه رودخانه الوند با استفاده از شاخص *IHG* نشان‌دهنده تنوع قابل توجه در کیفیت عملکردی، مورفولوژی و پوشش گیاهی در طول مسیر رودخانه، به‌ویژه در ارتباط با میزان مداخلات انسانی و موقعیت مکانی هر بازه است. - بازه‌های ۱ و ۷ که کاملاً خارج از محدوده شهری قرار دارند، بالاترین امتیازات را در مؤلفه‌های عملکردی (۲۷)، مورفولوژی (۲۴ و ۲۵) و پوشش گیاهی (۲۰ و ۲۲) کسب کرده‌اند. این بازه‌ها با حفظ ساختار طبیعی رودخانه، رژیم جریان آزاد، سیلاب‌دشت‌های فعال و پوشش گیاهی پیوسته، به‌عنوان مناطق مرجع اکولوژیکی شناخته می‌شوند.

- بازه شماره ۶ در حاشیه شهر و با بافت نیمه‌روستایی، کیفیت «خوب» در مورفولوژی و پوشش گیاهی و «متوسط» در عملکردی دارد. این بازه نشان‌دهنده ظرفیت بالای حفاظتی در مناطق گذار بین شهر و طبیعت است.

<sup>1</sup> Mora

<sup>2</sup> Hazbavi et al

<sup>3</sup> Pirali Zefrehei et al

- بازه شماره ۵ در خروجی شهر، وضعیت بینابینی دارد. کیفیت عملکردی و مورفولوژی آن «متوسط» و پوشش گیاهی «ضعیف» ارزیابی شده است. آثار ساخت‌وسازهای پراکنده و تخریب پوشش گیاهی در این بازه مشهود است، اما هنوز پتانسیل بازسازی وجود دارد.

- بازه‌های ۲، ۳ و ۴ که در محدوده شهری و مرکز شهر قرار دارند، تحت فشار شدید توسعه شهری قرار گرفته‌اند. بازه ۲ با کیفیت «متوسط» در عملکردی و «خوب» در مورفولوژی، نسبت به بازه‌های ۳ و ۴ وضعیت بهتری دارد. اما بازه‌های ۳ و ۴ در هر سه مؤلفه در کلاس «خیلی بد» قرار گرفته‌اند، که نشان‌دهنده مستقیم‌سازی مسیر رودخانه، حذف سیلاب‌دشت‌ها، تثبیت کرانه‌ها و تخریب شدید پوشش گیاهی است.

هرچه فاصله از مرکز شهری بیشتر باشد، کیفیت اکولوژیکی و ژئومورفولوژیکی رودخانه به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد. مداخلات انسانی مانند ساخت‌وساز، دیواره‌سازی، و تغییر کاربری زمین نقش اصلی در کاهش کیفیت عملکردی و زیست‌محیطی رودخانه دارند. در مقابل، مناطق طبیعی و نیمه‌طبیعی با کمترین مداخله انسانی، ساختارهای رودخانه‌ای را بهتر حفظ کرده‌اند.

این ارزیابی نشان می‌دهد که حفاظت از بازه‌های طبیعی و نیمه‌طبیعی، بازسازی اکولوژیکی بازه‌های شهری، و مدیریت هوشمندانه توسعه شهری در حاشیه رودخانه، می‌تواند نقش مؤثری در ارتقاء کیفیت زیست‌محیطی رودخانه الوند ایفا کند. استفاده از بازه‌های بکر به‌عنوان الگو، و تدوین راهبردهای حفاظتی مبتنی بر شاخص‌های عملکردی، مورفولوژیکی و پوشش گیاهی، برای پایداری بلندمدت رودخانه ضروری است.

## منابع

- احمدآبادی، ع.، کیانی، ط.، و غفورپور عنبران، پ.، ۱۳۹۶. تحلیل اثرات عملیات آبخیزداری بر روی خصوصیات هیدروژئومورفولوژی حوضه آبریز عنبران چای با استفاده از مدل نیمه توزیعی SWAT، برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره ۲۱، شماره ۲، صص ۳۵-۵۵.
- ایلانلو، م. و کرم، ا.، بهار ۱۳۹۹. ارزیابی شرایط هیدرومورفولوژیکی رودخانه جاجرود با استفاده از روش *MQI*، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیستم، شماره ۵۶، صص ۵۳-۳۵.
- ایوب‌زاده، م.، و همکاران. (۱۴۰۱). ارزیابی کیفیت مورفولوژیکی رودخانه‌های شهری. نشریه علوم محیطی ایران، ۴۸(۲)، ۱۱۵-۱۳۰.
- بیات، م.، سیف، ع.، و قهرودی، م. (۱۳۹۶). تحلیل ساختار زمین‌شناسی منطقه سرپل‌ذهاب با تأکید بر سازندهای آسماری و بنگستان. نشریه زمین‌شناسی ایران، ۱۲(۱)، ۵۵-۷۰.
- پاکنژاد، ف.، قناتی، ع.، احمد آبادی، ع.، ۱۴۰۳. پیش‌بینی واکنش‌های هیدرومورفولوژیکی به تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل *HEC-HMS* (مطالعه موردی: حوضه آبریز گرگان رود)، نشریه پژوهش‌های ژئومورفولوژیکی کمی، دوره ۱۱، شماره ۱، صص ۴۹-۱۸.
- پاکنژاد، م.، و همکاران. (۱۴۰۲). تحلیل تغییرات مورفولوژیکی رودخانه الوند در محدوده شهری سرپل‌ذهاب. نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۱۳(۱)، ۴۵-۶۲.
- پورطبری، م.، و همکاران. (۱۳۹۶). بررسی تأثیر مداخلات انسانی بر پایداری رودخانه‌ها. نشریه محیط زیست ایران، ۳۹(۳)، ۱۲-۱.
- خالقی، س.م.؛ حسین زاده، م.م. و هاشمی بوئینی، ز.، ۱۴۰۰. ارزیابی و تحلیل شرایط هیدرومورفولوژیکی رودخانه حاجی عرب، شهرستان بویین زهرا، جغرافیا و پایداری محیط، دوره ۱۱، شماره ۲، شماره پیاپی ۳۹، صص ۸۹-۷۵.
- رحمانی فضلی، ع. و صالحیان بادی، س.، ۱۳۹۵. بررسی پایداری محیطی گسترش سکونتگاه‌های انسانی در حوضه آبریز رودخانه زاینده رود، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره هجدهم، ۱۰۵-۱۲۵.

- رضایی مقدم، م. (۱۳۹۰). تحلیل تغییرات مورفولوژیکی رودخانه الوند در محدوده شهری سرپل‌ذهاب (پایان‌نامه کارشناسی ارشد). دانشگاه رازی، کرمانشاه.
- روشان، م. و همکاران. (۱۳۹۲). نقش رودخانه‌ها در شکل‌گیری سکونتگاه‌های انسانی. نشریه جغرافیا و توسعه، ۱۱(۱)، ۱۵-۲۸.
- شایان، سی، شریفی کیا، م، ناصری، ن.، ۱۳۹۶. تحلیل عوامل مورفولوژیکی در تغییرات الگوی مکانی، فضایی رودخانه الوند. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال سی و دوم، شماره اول، بهار ۱۳۹۶، شماره پیاپی ۱۲۴.
- شایان، ف. و همکاران. (۱۳۹۶). نقش رودخانه‌ها در چرخه فرسایش و تحولات ژئومورفولوژیکی، نشریه زمین‌شناسی ایران، ۱۲(۲)، ۱۰۱-۱۱۵.
- طالبی، م. و بایزیدی، س. (۱۳۸۷). بررسی تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ها در اثر مداخلات انسانی. مجله جغرافیا، ۶(۲)، ۷۷-۹۰.
- علایی طالقانی، م. و همکاران. (۱۳۹۲). تحلیل پایداری کانال‌های رودخانه‌ای با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژیکی. نشریه پژوهش‌های جغرافیایی، ۴۵(۳)، ۵۵-۷۰.
- علایی، م. (۱۳۸۸). اشکال کارستی و غارهای آهکی در زاگرس غربی. نشریه زمین‌شناسی ایران، ۱۰(۳)، ۹۱-۱۰۴.
- علایی طالقانی، م. و رحیم‌زاده، م. (۱۳۹۱). تحلیل ژئومورفولوژیکی دشت ذهاب با تأکید بر ساختارهای ناودیس. نشریه جغرافیای طبیعی، ۹(۲)، ۳۳-۴۸.
- عنبران، غ. و همکاران. (۱۴۰۲). رویکردهای نوین در احیای رودخانه‌های شهری. نشریه مدیریت منابع طبیعی، ۱۴(۱)، ۲۳-۳۸.
- غفورپور عنبران، پ.، احمدآبادی، ع. و کیانی، ط.، ۱۳۹۴. بررسی اثرات عملیات آبخیزداری بر خصوصیات هیدروژئومورفولوژی حوضه آبریز عنبران چای، پایان‌نامه مقطع کارشناسی ارشد رشته ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی تهران.
- غفورپور عنبران، پ.، احمدآبادی، ع.، قنوتی، ع. و یاسی، م.، ۱۴۰۱. تحلیل هیدرومورفولوژیک رودخانه کرج در بازه شهری از بیلقان تا پل راه آهن. جغرافیا و پایداری محیط، ۱۳(۱)، صص ۳۹-۲۱.
- غفورپور عنبران، غ. (۱۳۹۴). ارزیابی هیدرومورفولوژیکی رودخانه‌ها با رویکرد اکولوژیکی. نشریه محیط زیست و توسعه پایدار، ۹(۱)، ۹۱-۱۰۴.
- فروغی، ز.، شایان، س.، کردوانی، پ.، ۱۳۹۷. بررسی تاثیر تغییر کاربری اراضی روی وضعیت ژئومورفولوژیکی رودخانه کر، نشریه پژوهش‌های ژئومورفوزی کمی، دوره ۷، شماره ۱، صص ۲۱۰-۱۹۳.
- فروغی، ن. و همکاران. (۱۳۹۷). تحلیل ناپایداری ژئومورفولوژیکی رودخانه‌ها در اثر تغییرات کاربری اراضی. نشریه برنامه‌ریزی محیطی، ۸(۳)، ۵۹-۷۴.
- قهرودی، م. و همکاران. (۱۳۹۹). تحلیل ساختارهای گسلی و فرسایشی در منطقه ریجاب. نشریه زمین‌شناسی ایران، ۱۳(۴)، ۱۲۱-۱۳۶.
- کنسرسیوم دریا خاک پی. (۱۳۸۸). مطالعه و بررسی خاک‌های منطقه سرپل‌ذهاب. تهران: سازمان برنامه و بودجه.
- گراوند، م. و همکاران. (۱۳۹۷). بررسی اثر فرسایش کناره‌ای بر اراضی کشاورزی و زیرساخت‌های شهری. نشریه جغرافیای طبیعی، ۱۰(۴)، ۳۳-۴۸.
- مطالعات جامع توسعه استان کرمانشاه. (۱۳۸۱). گزارش نهایی توسعه پایدار منابع طبیعی استان. تهران: سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور.
- ملکی، م. و همکاران. (۱۳۸۶). بررسی چشمه‌ها و سراب‌های منطقه دالاهو و ریجاب. نشریه منابع آب ایران، ۸(۱)، ۷۱-۸۵.
- نصیری، م.، رضایی، س.، احمدی، ک. (۲۰۲۳). تحلیل کیفیت هیدروژئومورفولوژیکی رودخانه زاینده‌رود با استفاده از شاخص *IHG* فصلنامه محیط زیست و توسعه پایدار، ۲۵(۲)، ۴۵.
- هدائی، م. (بی‌تا). بررسی تنوع زیستی منطقه سرپل‌ذهاب. تهران: مؤسسه تحقیقات زیست‌محیطی.
- یوسفی، س. و همکاران. (۲۰۱۹). اثر توسعه شهری بر باریک‌شدگی مجرای رودخانه‌ها. نشریه مهندسی منابع آب، ۱۵(۲)، ۴۱-۵۶.

- Barbosa, M. C., Sánchez, D., & Talora, D. C. (2020). Hydromorphological quality of the Utcubamba River, Peru. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(3), 1–15.
- Barbosa, M. C., Sánchez, D., & Talora, D. C. (2020). Hydromorphological quality of the Utcubamba River, Peru. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(3), 1–15.
- Brierley, G. J., & Fryirs, K. A. (2000). River styles: A geomorphic approach to catchment characterization. *Geomorphology*, 38(3–4), 221–253.
- Buffington, J. M. (2012). Changes in channel morphology and sediment transport. In Church, M., Biron, P. M., & Roy, A. G. (Eds.), *Fluvial geomorphology* (pp. 435–463). Wiley-Blackwell.
- Buffington, J.M. (2012). Changes in channel morphology over human time scales [Chapter 32]. In: Church, Michael; Biron, Pascale M.; Roy, Andre G., eds. *Gravel-Bed Rivers: Processes, Tools, and Environments*. Chichester, UK: Wiley. Pp.435-463. <https://www.fs.usda.gov/research/treearch/40245>.
- Coulthard, T. J., Macklin, M. G., & Kirkby, M. J. (2005). Modelling geomorphological response to environmental change. *Earth Surface Processes and Landforms*, 30(3), 269–281.
- Ghaforpur-Anbaran, P., Ahmadabadi, A., Ghanavati, E., & Yasi, M. (2022). Hydro-morphological analysis of Karaj River in the urban area from Beylqan to the railway bridge. *Geographical Sciences Journal*, 20(3), 85–102. <https://ges.razi.ac.ir/article2386en.html>.
- Gregory, K. J. (2006). The human role in changing river channels. *Geomorphology*, 79(3–4), 172–191.
- Hazbavi, Z., Azizi, E., Ghabelnezam, E., Sharifi, Z., Davudirad, A., & Fatholouloumi, S. (2024). Enhancing watershed management through the characterization of the River Restoration Index (RRI): A case study of the Samian watershed, Ardabil Province, Iran. *Earth*, 6(1), Article 6. <https://www.mdpi.com/2673-4834/6/1/6>
- Large, A. R. G., & Newson, M. D. (2006). A framework for assessing hydromorphological impacts of rivers. *River Research and Applications*, 22(3), 297–316.
- Montgomery, D. R., & Bolton, S. M. (2003). Hydrogeomorphic variability and river restoration. *Ecological Applications*, 13(1), 126–139.
- Montgomery, D.R., and Bolton, S.M. (2003). Hydrogeomorphic variability and river restoration. *Strategies for Restoring River Ecosystems: Sources of Variability and Uncertainty in Natural and Managed Systems*, American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, pp.39-80. <https://doi.org/10.47886/9781888569469>.
- Mora, D. (2011). The IHG index for hydromorphological quality assessment of rivers and streams: Updated version. *Limnetica*, Academia.edu. <https://www.academia.edu/102254816>
- Newson, M.D., and Large, A.R. (2006). ‘Natural’ rivers, hydromorphological quality’ and river restoration: a challenging new agenda for applied fluvial geomorphology. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 31(13), pp.1606-1624. <http://dx.doi.org/10.1002/esp.1430>
- Newson, M.D., and Large, A.R. (2006). ‘Natural’ rivers, hydromorphological quality’ and river restoration: a challenging new agenda for applied fluvial geomorphology. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 31(13), pp.1606-1624. <http://dx.doi.org/10.1002/esp.1430>.
- Ollero, A. (2008). Hydromorphological quality assessment of rivers: IHG method. *Geographica*, 53, 63–84.
- Ollero, A. (2011). Hydromorphological quality and river restoration in Spain. *Limnetica*, 30(2), 353–368.
- Ollero, A., Granado, D., Acín, V., Gimeno, M., Gonzalo, L.E., Ballarín, D., Díaz, E., Domenech, S., Sánchez, M., Horacio, J., and Mora, D. (2011). The IHG index for

- hydromorphological quality assessment of rivers and streams: updated version, *Limnetica*, 30 (2): 255-262. DOI: 10.23818/limn.30.19.
- Ollero, A., Ibisate, A., Granado, D., and de Asua. R.R. (2015). Channel responses to global change and local impacts: Perspectives and tools for floodplain management, Ebro River and Tributaries, NE Spain. In *Geomorphic approaches to integrated floodplain management of lowland fluvial systems in North America and Europe* (pp. 27-52). Springer, New York, NY. [http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4939-2380-9\\_3](http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4939-2380-9_3).
- Ollero, A., Ibisate, A., Granado, D., and de Asua. R.R. (2015). Channel responses to global change and local impacts .Perspectives and tools for floodplain management, Ebro River and Tributaries, NE Spain. In *Geomorphic approaches to integrated floodplain management of lowland fluvial systems in North America and Europe* (pp. 27-52). Springer, New York, NY. [http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4939-2380-9\\_3](http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4939-2380-9_3).
- Pirali Zefrehei, A. R., Kolahi, M., & Fisher, J. (2022). Ecological-environmental challenges and restoration of aquatic ecosystems of the Middle-East. *Scientific Reports*, 12, Article 21465. <https://www.nature.com/articles/s41598-022-21465-0.pdf>
- Raven, P. J., Holmes, N. T. H., & Dawson, F. H. (2010). River habitat survey in Britain and Ireland. *Aquatic Conservation*, 10(4), 313–325.
- Rinaldi, M., & Surian, N. (2003). Morphological response of streams to human activities. *Geomorphology*, 50(4), 293–311.
- Rinaldi, M., Surian, N., Comiti, F., & Bussettini, M. (2013). A framework for assessing river morphodynamic processes and supporting management. *Hydrological Processes*, 27(4), 604–617.
- Rosgen, D. L. (1994). A classification of natural rivers. *Catena*, 22(3), 169–199.
- Sánchez, D., & Talora, D. C. (۲۰۱۹). Hydromorphological assessment in urban rivers using IHG. *Journal of Environmental Management*, 245, 348–359.
- Sánchez, D., & Talora, D. C. (2019). Hydromorphological assessment in urban rivers using IHG. *Journal of Environmental Management*, 245, 348–359.
- Simons, D. B., & Albertson, M. L. (1960). Uniform water conveyance channels in alluvial materials. *Transactions of the ASCE*, 125, 673–711.