



Research Article

Morphological assessment of Givi Chay river channel using the Rosgen classification system

Masoud Rahimi* 

Department of Geography, Faculty of Letters and Humanities, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Received: 07 Jul 2025 Accepted: 08 Oct 2025

Extended Abstract

Introduction

The significance of rivers has increased due to their role in understanding the water cycle, ecology, and interactions with groundwater across local to global scales. Rivers are now recognized as dynamic environments where significant interactions and changes occur (Chakraborty and Datta, 2013). In river engineering projects, an understanding of fluvial geomorphology principles and channel processes allows researchers to understand the form-process relationship within the landscape. Geomorphic assessment generally comprises data collection, field investigations and channel stability evaluation, establishing a foundation for analysis and design (Federal Interagency Stream Restoration Working Group, 2001). Therefore, to achieve sustainable and integrated river management, a comprehensive evaluation of river planform and channel morphology must be conducted. In this context, one of the most important aspects involves analyses related to the classification of river planforms and channel patterns. Two primary purposes can be identified for river classification: (1) to advance scientific understanding of fluvial processes and enable channel clustering, and (2) to provide management recommendations for decisions regarding channel restoration or conservation. In this regard, geomorphic criteria may be integrated with those from other fields (e.g., ecology, water chemistry) (Kondolf and Piégay, 2003). River classification is one of the fundamental and important subjects in geography, hydrology, and ecology that focuses on understanding their diverse characteristics and functions. Describing hydraulic and hydrological processes requires an understanding of river behavior. Comprehensive identification of river systems and classification of natural rivers are critically important for resolving environmental and ecological challenges and achieving sustainable development. Since the late 19th century, numerous classification systems for rivers have been developed. Most of these classifications have been developed based on tectonic activities (Powell, 1875; Davis, 1895), the stage of river development (Davis, 1873), fluvial planforms (Leopold and Wolman, 1970; Miall, 1977; Rust, 1977; Qian, 1985), river sediment transport (Schumm, 1963; Wang, 1999), fluvial processes and the geomorphic characterization of riverbeds (Montgomery and Buffington, 1997) (Li et al, 2024). Despite these numerous classifications, most of these methods cannot be directly applied in river engineering. This is because, firstly, most of these classifications were developed with an academic and scientific approach and few of them are practical. Secondly, very few of these classifications can provide a comprehensive perspective of fluvial geomorphology and its hydrological components (Li et al, 2024). Among these, the Rosgen classification provides a practical tool for predicting river behavior based on geomorphological characteristics.

Citation: Rahimi, M., 2026. Morphological assessment of Givi Chay river channel using the Rosgen classification system, *Res. Earth. Sci.* 16(4), (148-175) DOI: 10.48308/esrj.2025.240579.1284

* Corresponding author E-mail address: masoudrahimi@um.ac.ir



This method establishes a direct linkage between fluvial geomorphology and ecological restoration assessment, while contributing to improved integrated river management. In this study, the Givi-Chay River channel morphology was evaluated through integrated application of the Rosgen classification system and HEC-RAS hydrodynamic modeling.

Materials and Methods

In this study, the main data include 1:2000 scale topographic maps of the Givi-Chay Riverbed (Ardebil Regional Water Authority), 1:50,000 topographic maps (National Geographical Organization), 1:100,000 geological maps of the Khalkhal, Givi, and Hashtchin sheets (Geological Survey and Mineral Explorations of Iran), a digital elevation model (DEM) with a resolution of 12.5 meters from the ALOS-PALSAR satellite, Sentinel2 images (2024) with a resolution of 12 meters, google earth images, and hydrometric data from Istisou and Firozabad stations. Data processing was performed with HEC-RAS, ArcGIS with HEC-GeoRAS and ENVI software. The Rosgen classification system was used for geomorphological analysis and the HEC-RAS hydrodynamic model was used to optimize it. The Rosgen model includes four analytical scales from landform to physical and biological processes (Shroder, 2013) and often emphasizes general geomorphic surfaces and morphological description (levels 1 and 2) (Rosgen, 1994). This system has six key indicators including entrenchment ratio, width-to-depth ratio, sinuosity, channel number, slope, and bed grain size, and divides rivers into eight main classes and 90 types (Federal Interagency Stream Restoration Working Group, 2001). The entrenchment ratio is defined as the ratio of flood-prone width to bankfull width, which was simulated using HEC-RAS and GIS (Kheirizadeh et al, 2018). The width-to-depth ratio represents the channel width at bankfull discharge divided by the mean depth, calculated for a 2-year return period (Rosgen, 1994). Sinuosity is determined as the ratio of stream length to valley length. Bed material grain size was assessed through Wolman pebble count methodology and volumetric sampling.

Results and Discussion

Evaluating channel morphology is one of the most essential components of river management. In recent years, river classification and morphological assessment have increasingly focused on watershed management and river restoration, with the Rosgen hierarchical classification system now widely recognized as one of the most important and effective approaches. This study evaluates the geomorphological characteristics of Givi-Chay river channel through an integrated approach combining Rosgen's classification model and HEC-RAS hydrodynamic modeling. Givi-Chay is one of the most important sub basins of the Ghezel Ozan River, playing a significant role in water supply for the counties of Khalkhal and Givi in Ardabil Province. Based on geomorphological characteristics, this river was divided into four reaches in the downstream direction: Khalkhal, Givi Dam, Givi, and Firozabad. The Khalkhal reach has an extensive floodplain with developed meandering patterns. Based on the Rosgen classification system, this reach was categorized into two main types (C and E) and four sub-types (C5b, E6b, E5b, and C4). All river types in this system exhibit high vulnerability to both natural and anthropogenic disturbance. Anthropogenic modifications to channel form and fluvial processes have been extensive near Khalkhal city, resulting in multiple disturbances to the river's natural functioning. In the Givi Dam reach (Reach 2), the river was classified into two main types (B and C) and four sub-types (B4, C5b, B3, and B4) based on the Rosgen classification system. The C5b-type reach, extending approximately 4.4 km near Anaviz village, displays a relatively wide floodplain and well-developed meandering patterns, characterized by high width-to-depth ratios and significant entrenchment. The C5b-type reach, extending approximately 4.4 km near Anaviz village, displays a moderately wide floodplain and well-developed meandering morphology, featuring high width-to-depth ratios and significant entrenchment characteristics. The remaining sections of this reach are classified as primary Type B. Two dominant controls explain this reach's morphology: canyon confinement and non-existent floodplain development. The banks of this river type exhibit stable to moderately stable conditions. The Givi reach contains three primary channel types (E, C, and D) under the Rosgen classification system, with downstream sub-types occurring in the following sequence: E5, C5, D4b, C4, D4, and C4. This reach features an extensive floodplain with quaternary young alluvial deposits. D4b and D4 types are classified as braided rivers, characterized by wide channels, abundant bars, high erodibility, and unstable banks. The extensive floodplain, confluence of multiple high-discharge rivers, and presence of erodible bank materials constitute the primary controlling factors for Type D channel formation in this reach of the Givi-Chay River system. Ultimately, the entire Firozabad reach is classified as Type B, which downstream differentiates into three subtypes: B4, B3a, and B3, formed in response to geological structure controls. In this reach, the river valley is narrow and confined by resistant volcanic rocks.

Conclusion

In this study, the Givi-Chay River was analyzed using Rosgen's hierarchical classification system and the HEC-RAS hydraulic model. The river was divided into four reaches: 1) Khalkhal, 2) Givi Dam, 3) Givi, and 4) Firozabad. The Khalkhal reach (Reach 1) is situated within a developed floodplain and exhibits a meandering pattern, though lateral channel mobility has been constrained by anthropogenic modifications. This reach was classified into Rosgen Classes C and E, specifically including types C5b, E6b, E5b, and C4. The C4 and C5 channels exhibit high sensitivity to disturbance but demonstrate adequate recovery potential, with vegetation cover playing a critical role in their stability. In this reach, establishing riparian parks could significantly contribute to channel restoration. The Givi Dam reach (Reach 2) is predominantly mountainous with narrow valleys, and was classified into Rosgen Classes B and C (types B4, B3, and C5b). Type B3 channels exhibit low sensitivity to disturbance and high recovery potential. The Givi reach (Reach 3) features an extensive floodplain and is classified into three primary Rosgen classes (E, C, D), including the following subtypes: E5, C5, D4b, C4, and D4. The presence of braided patterns (types D4 and D4b) in this reach indicates high channel mobility and high sediment supply. This reach exhibits high sensitivity to disturbance and requires riparian zone management. The Firozabad reach (Reach 4) was classified as Rosgen Type B, including subtypes B4, B3a, and B3. In summary, the results demonstrate that the Givi-Chay River system exhibits disturbance-sensitive channel classes with variable recovery potential. The integrated application of the Rosgen classification system and HEC-RAS modeling proves effective for analyzing morphological conditions and developing river conservation/restoration management plans. By understanding how these factors interact and change river morphology, we can predict future river development trends and provide a scientific basis for river management and conservation.

Keywords: Fluvial geomorphology, Rosgen stream classification, Geometric channel parameters, Givi Chay river.



ارزیابی مورفولوژیکی مجرای رودخانه گیوی چای با استفاده از سیستم طبقه‌بندی رزگن

مسعود رحیمی* 

گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

پژوهشی (دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۰۴/۱۶ پذیرش نهایی مقاله: ۱۴۰۴/۰۷/۱۶)

چکیده گسترده

مقدمه

اهمیت رودخانه‌ها به دلیل نقش آنها در درک چرخه آب، اکولوژی و تبادلات با آب‌های زیرزمینی از مقیاس‌های محلی تا جهانی بیش از پیش افزایش یافته است. رودخانه‌ها امروزه به عنوان محیط‌های پویایی شناخته می‌شوند که در آنها تعاملات و تغییرات قابل توجهی رخ می‌دهد (Chakraborty and Datta, 2013). در پروژه‌های مربوط به رودخانه‌ها، آگاهی از اصول ژئومورفولوژی رودخانه‌ای و فرایندهای کانال به محققان اجازه می‌دهد تا رابطه بین فرم و فرایند در چشم‌انداز را درک کنند. ارزیابی ژئومورفیک عموماً شامل جمع‌آوری داده، بررسی‌های میدانی و ارزیابی پایداری کانال بوده و مبنایی را برای تحلیل و طراحی ایجاد می‌کند (Federal Interagency Stream Restoration Working Group, 2001). با توجه به موارد مذکور، در راستای مدیریت پایدار و یکپارچه رودخانه‌ها می‌بایست نسبت به ارزیابی پلان فرم و مورفولوژی مجرای رودخانه‌ها اقدام کرد. در این زمینه یکی از مهم‌ترین گام‌ها، تحلیل‌های مرتبط با طبقه‌بندی پلان فرم و الگوی رودخانه‌ها می‌باشد. دو هدف عمده را می‌توان جهت طبقه‌بندی رودخانه‌ها بیان داشت: ۱) درک علمی از نحوه عملکرد رودخانه‌ها و خوشه‌بندی کانال‌ها به کلاس‌های همگن و ۲) ارائه رهنمودهای مدیریتی مبتنی بر ژئومورفولوژی، جهت تصمیم‌گیری در خصوص حفظ و نگهداری، بهبود، بازسازی یا حفاظت کانال. در این مورد، معیارهای ژئومورفیکی ممکن است با معیارهایی از سایر رشته‌ها (از قبیل اکولوژی، شیمی آب) ترکیب شوند (Kondolf and Piégay, 2003). طبقه‌بندی رودخانه‌ها یکی از موضوعات بنیادین و مهم در علوم جغرافیا، هیدرولوژی و اکولوژی می‌باشد که بر درک ویژگی‌ها و عملکردهای متنوع آن‌ها تمرکز دارد. توصیف فرآیندهای هیدرولیکی و هیدرولوژیکی نیازمند درک رفتار رودخانه می‌باشد. شناسایی کامل سیستم‌های رودخانه‌ای و طبقه‌بندی رودخانه‌های طبیعی برای حل مشکلات زیست‌محیطی و اکولوژیکی و تحقق توسعه پایدار بسیار حائز اهمیت می‌باشد. از اواخر قرن نوزدهم تاکنون، سیستم‌های متعددی برای طبقه‌بندی رودخانه‌ها توسعه یافته‌اند. بیشتر این طبقه‌بندی‌ها بر اساس فعالیت‌های تکتونیک (Powell, 1875; Davis, 1895)، مراحل تکامل رودخانه‌ای (Davis, 1873)، اشکال پلان فرم رودخانه‌ای (Leopold and Wolman, 1970; Miall, 1977; Rust, 1977;)، حمل رسوبات رودخانه‌ای (Schumm, 1963; Wang, 1999) و فرآیندهای رودخانه‌ای و ویژگی‌های ژئومورفیک بستر رود (Montgomery and Buffington, 1997) ارائه شده‌اند (Li et al, 2024). با وجود این طبقه‌بندی‌های متعدد، اغلب این روش‌ها به طور مستقیم در مهندسی رودخانه قابل استفاده نیستند. چرا که اولاً، بیشتر این طبقه‌بندی‌ها با رویکردی علمی و دانشگاهی تدوین شده‌اند و تعداد کمی از آن‌ها دارای هدف جهت رفع نیازهای کاربردی می‌باشند. ثانیاً، معدودی از این طبقه‌بندی‌ها قادرند تصویر کامل و جامعی از ژئومورفولوژی رودخانه و مؤلفه‌های هیدرولوژیکی آن ارائه دهند (Li et al, 2024).

استناد: رحیمی، م.، ۱۴۰۴. ارزیابی مورفولوژیکی مجرای رودخانه گیوی چای با استفاده از سیستم طبقه‌بندی رزگن، پژوهشهای دانش

زمین: ۱۶(۴)، (۱۷۵-۱۴۸)، DOI: 10.48308/esrj.2025.240579.1284

E-mail: masoudrahimi@um.ac.ir

* نویسنده مسئول:



در این میان طبقه‌بندی رزگن ابزاری کاربردی برای پیش‌بینی رفتار رودخانه بر پایه ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی می‌باشد. این روش پیوند مستقیمی میان ژئومورفولوژی رودخانه و ارزیابی بازسازی اکولوژیکی برقرار کرده و به بهبود مدیریت یکپارچه رودخانه کمک می‌کند. در پژوهش حاضر نیز به تحلیل ژئومورفولوژیکی مجرای رودخانه گیوی‌چای با استفاده از مدل رزگن در ترکیب با مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش داده‌های اصلی شامل نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۲۰۰۰ بستر رودخانه گیوی‌چای (سازمان آب منطقه‌ای اردبیل)، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ (سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح)، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ برگه‌های خلخال، گیوی و هشت‌چین (سازمان زمین‌شناسی کشور)، مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با قدرت تفکیک ۱۲٫۵ متر ماهواره ALOS-PALSAR، تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2 (سال ۲۰۲۴) با قدرت تفکیک ۱۰ متر، تصاویر Google Earth و داده‌های هیدرومتری ایستی‌سو و فیروزآباد است. پردازش داده‌ها با نرم‌افزار HEC-RAS، ArcGIS با الحاقی HEC-GeoRAS و ENVI انجام شد. برای تحلیل ژئومورفولوژیکی از سیستم طبقه‌بندی رزگن استفاده و برای بهینه‌سازی آن، مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS به کار گرفته شد. مدل رزگن چهار مقیاس تحلیلی از لن‌فرم تا فرایندهای فیزیکی و زیستی را پوشش می‌دهد (Shroder, 2013) و اغلب بر سطوح ژئومورفیک کلی و توصیف مورفولوژیکی (سطوح ۱ و ۲) تأکید دارد (Rosgen, 1994). این سیستم شش شاخص کلیدی شامل گودشدگی، نسبت عرض به عمق، سینوزیته، تعداد مجرا، شیب و دانه‌بندی بستر دارد و رودخانه‌ها را به هشت کلاس اصلی و ۹۰ نوع تقسیم می‌کند (Federal Interagency Stream Restoration Working Group, 2001). گودشدگی نسبت عرض سطح سیل‌گیر به عرض لب‌پری است و با HEC-RAS و GIS شبیه‌سازی شد (Kheirizadeh et al, 2018). نسبت عرض به عمق، نسبت عرض مجرا در دبی لبالبی به عمق میانگین است که برای دوره بازگشت ۲ ساله محاسبه شد (Rosgen, 1994). سینوزیته نسبت طول آبراهه به طول دره است. دانه‌بندی مواد بستر با شمارش ولمن و نمونه‌برداری حجمی سنجیده شد.

نتایج و بحث

ارزیابی مورفولوژی مجرا یکی از مهم‌ترین گام‌ها در زمینه مدیریت رودخانه‌ها به شمار می‌رود. در طی سال‌های اخیر در زمینه طبقه‌بندی و ارزیابی مورفولوژیکی رودخانه‌ها تأکید بر روی مدیریت حوضه‌ای و بازسازی و احیای رودخانه‌ها بوده که یکی از مهم‌ترین و کارآمدترین رویکردهای مذکور سیستم طبقه‌بندی سلسله‌مراتبی رزگن می‌باشد. در پژوهش حاضر نیز ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی مجرای رودخانه گیوی‌چای با استفاده از مدل رزگن در ترکیب با مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS مورد ارزیابی قرار گرفته است. گیوی‌چای یکی از مهم‌ترین زیرحوضه‌های رودخانه قزل‌اوزن به شمار می‌رود که نقش قابل توجهی در تامین آب شهرستان‌های خلخال و گیوی در استان اردبیل بر عهده دارد. رودخانه مطالعاتی براساس ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی در جهت پایین‌دست به چهار بازه خلخال، سد گیوی، گیوی و فیروزآباد تقسیم‌بندی شد. بازه خلخال دارای یک دشت سیلابی وسیع با شکل مسطحاتی مئاندری توسعه‌یافته می‌باشد. براساس سیستم رزگن این بازه به دو نوع اصلی C و E و چهار نوع فرعی C5b، E6b، E5b و C4 تفکیک گردید. تمامی انواع این رودخانه‌ها نسبت به آشفتگی‌های طبیعی و انسانی از آسیب‌پذیری بالایی برخوردارند. بدین ترتیب با توجه به استقرار شهر خلخال دستکاری در فرم و فرایندهای طبیعی رودخانه زیاد بوده و عملکردهای طبیعی آن دستخوش تغییرات و آشفتگی‌های زیادی شده است. رودخانه در بازه سد گیوی (بازه ۲) به دو نوع اصلی B و C و چهار نوع فرعی B4، B3، C5b، B4 و B3 طبقه‌بندی گردید. نوع C5b به طول حدود ۴/۴ کیلومتر در محدوده روستای اناویز شکل گرفته که دارای دشت سیلابی نسبتاً وسیع و الگوی مئاندری توسعه‌یافته همراه با نسبت‌های بالای گودشدگی و عرض به عمق می‌باشد. سایر قسمت‌های این بازه از نوع اصلی B می‌باشند که با توجه به مواد بستر و میزان شیب به انواع فرعی تفکیک شدند. وجود دره تنگ و باریک و فقدان یا محدود بودن دشت سیلابی از جمله مهم‌ترین دلایل شکل‌گیری این نوع از رودخانه‌ها در این بازه می‌باشد. کناره‌های این نوع رودخانه پایدار تا نسبتاً پایدار می‌باشند. بازه گیوی براساس سیستم رزگن دارای سه نوع اصلی E، C و D بوده که در جهت پایین‌دست به ترتیب شامل انواع فرعی E5، C5، D4b، C4، D4 و C4 می‌باشد. این بازه دارای دشت

سیلابی وسیع همراه با آبرفت‌های جوان کواترنری می‌باشد. انواع D4b و D4 جزو رودخانه‌های گیسوئی می‌باشند که با کانال‌های عریض، پشته‌های فراوان، فرسایش‌پذیری زیاد و کناره‌های ناپایدار مشخص می‌شوند. وجود دشت سیلابی وسیع، ورود انشعابات متعدد پرآب و حضور مواد فرسایش‌پذیر در کناره‌های رودخانه را می‌توان مهم‌ترین عوامل موثر در شکل‌گیری نوع D در این قسمت از مجرای رودخانه گیوی چای به‌شمار آورد. در نهایت، کل بازه فیروزآباد از نوع اصلی B بوده و در جهت پایین‌دست به سه نوع فرعی B4، B3a و B3 تفکیک گردید که در ارتباط با کنترل ساختمان زمین‌شناسی شکل گرفته‌اند. در این بازه دره رودخانه تنگ و باریک بوده و توسط سنگ‌های آتشفشانی مقاوم محصور شده‌اند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش رودخانه گیوی چای با استفاده از سیستم طبقه‌بندی سلسله‌مراتبی رزگن و مدل هیدرولیکی HEC-RAS تحلیل شد. رودخانه به چهار بازه خلخال، سد گیوی، گیوی و فیروزآباد تقسیم گردید. بازه خلخال (بازه ۱) در دشت سیلابی توسعه‌یافته قرار داشته و الگوی آن بیشتر مئاندری است که به دلیل دخالت‌های انسانی، تحرک جانبی مجرا محدود شده است. این بازه در کلاس‌های C و E شامل انواع C5b، E6b، E5b و C4 قرار گرفت. رودخانه‌های C4 و C5 حساسیت بالا به آشفتگی و پتانسیل بازیابی مناسب دارند و نقش پوشش گیاهی در پایداری آن‌ها مهم است. در این بازه احداث پارک‌های رودکناری می‌تواند به بازسازی کمک کند. بازه سد گیوی (بازه ۲) عمدتاً کوهستانی با دره‌های تنگ و باریک است و به کلاس‌های B و C (انواع B4، B3، C5b) تقسیم شد. رودخانه‌های نوع B3 حساسیت پایینی به آشفتگی داشته و پتانسیل بازیابی بالایی دارند. بازه گیوی (بازه ۳) دارای دشت سیلابی گسترده بوده و به سه کلاس اصلی E، C و D شامل انواع E5، C5، D4b، C4 و D4 تعلق دارد. وجود الگوی گیسوئی (انواع D4 و D4b) در این بازه بیانگر تحرک زیاد و عرضه بالای رسوب است. این بازه حساسیت بالا به آشفتگی داشته و نیازمند مدیریت دقیق حریم رودخانه است. بازه فیروزآباد (بازه ۴) در کلاس B شامل B4، B3a و B3 شناسایی شد. در مجموع، نتایج نشان داد رودخانه گیوی چای دارای ترکیبی از کلاس‌های حساس به آشفتگی با پتانسیل بازسازی متنوع است و کاربرد همزمان سیستم رزگن و مدل HEC-RAS در تحلیل شرایط مورفولوژیکی و برنامه‌ریزی مدیریت حفاظت و احیای رودخانه مؤثر است. بر این اساس با درک چگونگی تعامل این عوامل و ایجاد تغییرات در مورفولوژی رودخانه، می‌توانیم روند توسعه آینده رودخانه‌ها را پیش‌بینی کنیم و مبنای علمی برای مدیریت و حفاظت از رودخانه‌ها فراهم کنیم.

واژگان کلیدی: ژئومورفولوژی رودخانه‌ای، مدل رزگن، پارامترهای هندسی مجرا، رودخانه گیوی چای.

مقدمه

سیلاب و حفاظت از محیط زیست دارد و تغییرات آن ممکن است تأثیرات چندوجهی بر محیط اطراف و جامعه داشته باشد. این تأثیرات شامل تغییرات در اکوسیستم‌های رودخانه‌ای و اکوسیستم‌های مجاور، تغییرات در توزیع و دسترسی به منابع آب و بلایای هیدرولوژیکی در مناطق مجاور و پایین‌دست می‌باشد (Chakraborty and Datta, 2013). آگاهی از مورفولوژی رودخانه‌ای و فرایندهای کانال به محققان اجازه می‌دهد تا رابطه بین فرم و فرایند در چشم‌انداز را درک کنند. ارزیابی ژئومورفیک عموماً شامل جمع‌آوری داده، بررسی‌های میدانی و ارزیابی پایداری کانال بوده و مبنایی را برای تحلیل و طراحی فراهم می‌سازد (Federal Interagency Stream Restoration Working)

رودخانه‌ها اجزای حیاتی اکوسیستم‌های آبی خشکی‌ها هستند و مهم‌ترین حامل‌های منابع آب سطحی به‌شمار می‌روند. در سطح جهانی، مناطق نزدیک رودخانه‌ها برای توسعه کشاورزی و اسکان جمعیت ترجیح داده می‌شوند و تمدن بشری در امتداد رودخانه‌ها رونق گرفته است (Li et al., 2024). رودخانه‌ها امروزه به عنوان محیط‌های پویایی شناخته می‌شوند که در آنها تعاملات و تغییرات قابل توجهی رخ می‌دهد. جمعیت انسانی برای خدمات ضروری، از جمله تأمین آب شهری و کشاورزی، برق‌آبی و مقابله با سیلاب، به شدت به رودخانه‌ها وابسته شده‌اند. در این میان، مورفولوژی رودخانه نقش مهمی در پایداری کانال، کنترل

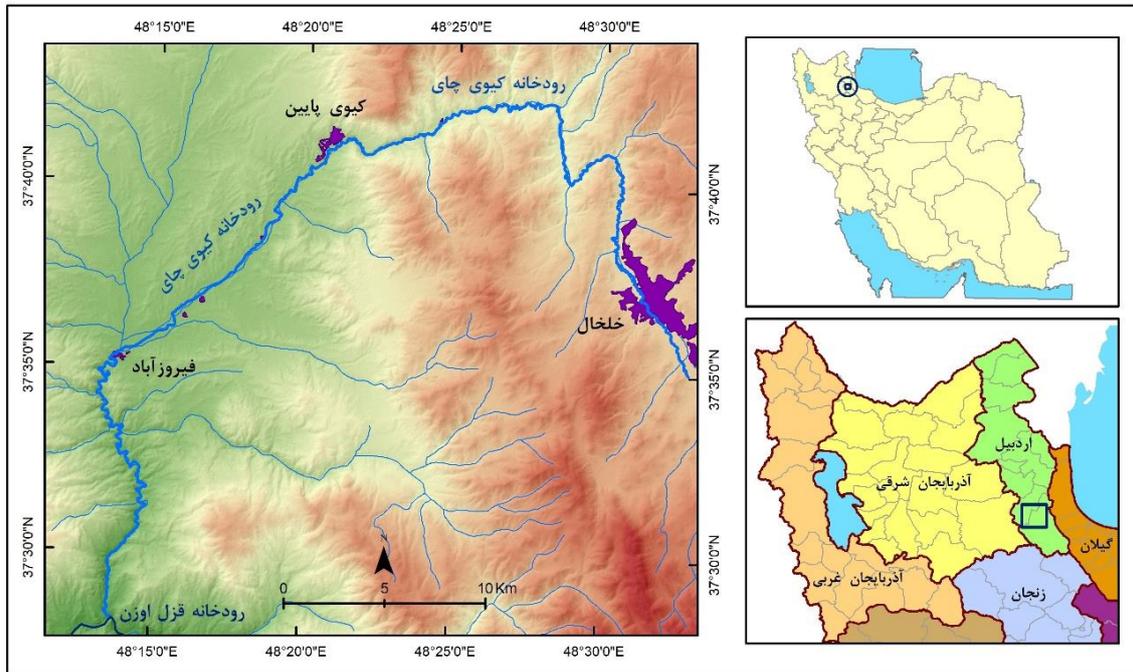
حوضه‌ای مرتبط با مدیریت اراضی و بازسازی رودخانه تمرکز دارند. استفاده از یک رویکرد سلسله‌مراتبی، درک کل‌نگرتری از فرایندهای حوضه‌ای را امکان‌پذیر می‌سازد (Shroder, 2013). در این راستا، سیستم طبقه‌بندی رودخانه‌ای رزگن در نظر دارد تا هم طبقه‌بندی بازه‌های رودخانه و هم راهنمایی جهت بازسازی بالقوه ارائه دهد. سیستم رزگن به عنوان یک ابزار ارزیابی، اطلاعات مهمی درباره پایداری بازه رودخانه و میزان سازگاری انواع اقدامات مدیریت رودخانه با کانال را بازگو می‌کند (Natural Resources Conservation Service, 2008). در این زمینه، رزگن (Rosgen, 1994) بیان می‌دارد: طرح‌هایی که به صورت تئوری حاصل شده‌اند، غالباً با مشاهدات میدانی هماهنگ نیستند. در نتیجه، جهت اهداف تعمیر، بازسازی و پیش‌بینی، طرح‌های طبقه‌بندی باید ویژگی‌های فیزیکی کلی رودخانه را نشان دهند و متغیرهای قابل اندازه‌گیری باید به عنوان معیارهای طبقه‌بندی آبراهه‌ها مورد استفاده قرار گیرند. محققان زیادی مدل رزگن را با اهداف مختلفی در ارزیابی سیستم رودخانه‌ها به کار گرفته‌اند. به عنوان مثال، ژوراک و فیتزپاتریک (Juracek and Fitzpatrick, 2003) مزایا و معایب سیستم طبقه‌بندی سلسله‌مراتبی رزگن را با چندین مطالعه موردی ارزیابی نمودند. اسماعیلی و حسین‌زاده (Esmaili and Hosseinzadeh, 2015) به مقایسه روش‌های رزگن و استیل رود در طبقه‌بندی رودخانه‌های کوهستانی (حوضه آبریز لایچ واقع در البرز شمالی) پرداختند. رضائی مقدم و همکاران (Rezaei Moghaddam et al, 2017) مجرای رودخانه قره‌سو را با استفاده از مدل سلسله‌مراتبی رزگن ارزیابی کرده و پتانسیل بازیابی رودخانه در بازه‌های مختلف را مورد بررسی قرار دادند. خیری‌زاده و همکاران (Kheirizadeh Arough et al, 2018) مورفولوژی مجرای رودخانه زرينه‌رود را با استفاده از مدل رزگن بررسی کردند و دلایل طبیعی و انسانی موثر بر شکل‌گیری انواع آبراهه رزگن در امتداد این رودخانه را مورد ارزیابی قرار دادند. اسفندیاری درآباد و همکاران (Esfandiari Darabad et al, 2020) به طبقه‌بندی و تحلیل ژئومورفولوژیکی بخشی از رودخانه حمزه‌خانلو با استفاده از مدل رزگن پرداخته و بازه‌های رودخانه را از نظر حساسیت به آشفستگی‌ها و پتانسیل بازیابی طبقه‌بندی نمودند. گراوند و همکاران (Geravand et al,

2001) که برای مطالعه و درک فرآیندهای آبی، از جمله هیدرودینامیک، انتقال رسوب، انتقال مواد مغذی و زیستگاه آبریزان، بسیار مهم‌اند (Merwade et al, 2025). بنابراین، اتخاذ روش‌های مؤثر و اثبات شده برای پیش‌مورفولوژی رودخانه به منظور ایجاد پایه‌ای برای درک و مقابله با این تأثیرات احتمالی ضروری است (Dey et al, 2022; Alabbad and Demir, 2019). امروزه، پیشرفت‌ها در سنجش از دور، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل‌سازی محاسباتی، توانایی در مطالعه دقیق این فرآیندها را به میزان زیادی افزایش داده است (Sermet et al, 2025). در طول دو تا سه دهه گذشته، مدیریت رودخانه با تأکید بیشتر بر ادغام مؤلفه‌های زیست‌محیطی و اکولوژیکی تکامل یافته است. این دیدگاه جدید در مدیریت رودخانه، که توسط مقررات جدید تشویق یا تحمیل شده است، منجر به تعریف اهداف و خط‌مشی‌های جدید در سیاست‌های ارزیابی و احیای رودخانه گردیده که امروزه در سراسر اروپا و ایالات متحده در حال اجرا هستند (Kemper et al, 2023; Gob et al, 2025). احیا یا بازسازی^۱ به عنوان برقراری پایداری طبیعی و عملکرد مناسب رودخانه‌ها تعریف می‌شود و اغلب در ارتباط با بازگرداندن یک رودخانه به شرایط پیشین یا به شرایط قبل از آشفستگی است (Rosgen, 1997). این امر منجر به ظهور مفهوم هیدرومورفولوژی و افزایش آگاهی از عملکرد هیدروژئومورفولوژیکی رودخانه‌ها و آبراهه‌ها شده است (Newson and Large, 2006; Ioana-Toroimac, 2018). با توجه به موارد مذکور، در راستای مدیریت پایدار و یکپارچه رودخانه‌ها می‌بایست نسبت به ارزیابی مورفولوژی مجرای رودخانه‌ها اقدام کرد. یکی از مهم‌ترین گام‌ها، تحلیل‌های مرتبط با ارزیابی و طبقه‌بندی پلان‌فرم و الگوی رودخانه‌ها می‌باشد. در این زمینه می‌توان دو هدف عمده را بیان داشت: ۱) درک علمی از نحوه عملکرد رودخانه‌ها و خوشه‌بندی کانال‌ها به کلاس‌های همگن و ۲) ارائه رهنمودهای مدیریتی مبتنی بر ژئومورفولوژی جهت تصمیم‌گیری در خصوص حفظ و نگهداری^۲، بهبود، بازسازی یا حفاظت کانال. در این مورد، معیارهای ژئومورفیکی ممکن است با معیارهایی از سایر رشته‌ها (از قبیل اکولوژی، شیمی آب) ترکیب شوند (Kondolf and Piégay, 2003). رویکردهای جدید طبقه‌بندی رودخانه بر روی تحلیل‌های

منطقه‌ی مورد مطالعه

در پژوهش حاضر مورفولوژی رودخانه گیوی چای با استفاده از سیستم سلسله مراتبی رزگن مورد ارزیابی قرار گرفته است. این رودخانه با مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۳ دقیقه و ۱۰ ثانیه تا ۴۸ درجه و ۳۳ دقیقه و ۱۰ ثانیه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۲۷ دقیقه و ۱۰ ثانیه تا ۳۷ درجه و ۴۱ دقیقه و ۵۰ ثانیه عرض شمالی در محدوده استان اردبیل (شهرستان‌های خلخال و گیوی) قرار گرفته است (شکل ۱). بازه مورد مطالعه از رودخانه گیوی چای به طول ۷۸ کیلومتر از شرق شهر خلخال شروع شده و تا محل الحاق به رودخانه قزل‌اوزن امتداد می‌یابد. رودخانه گیوی چای بخش‌های قابل توجهی از دامنه‌های رشته‌کوه‌های باغروداغ (تالش) و بزقوش را زهکشی می‌کند. گیوی چای جزو سیستم زهکشی قزل‌اوزن می‌باشد و بدین ترتیب پس از پیوستن به رودخانه قزل‌اوزن به دریای خزر زهکشی می‌شود. رودخانه گیوی چای از داخل شهر خلخال و همچنین مجاورت شهرهای گیوی و فیروزآباد عبور می‌کند. در بازه مطالعاتی از رودخانه گیوی چای انشعابات مختلفی وارد این رودخانه شده که اثرات مورفولوژیکی خاصی را به همراه داشته و همچنین باعث افزایش خطر سیلاب می‌شوند. بر روی این رودخانه دو ایستگاه هیدرومتری ایستی‌سو و فیروزآباد دایر است. ایستگاه ایستی‌سو در نیمه شرقی بازه مطالعاتی و ایستگاه فیروزآباد در نیمه غربی آن مستقر است. میانگین دبی سالانه رودخانه گیوی چای در محل ایستگاه ایستی‌سو حدود ۲/۷ مترمکعب در ثانیه و در محل ایستگاه فیروزآباد حدود ۳/۶ مترمکعب در ثانیه می‌باشد. برای هر دو ایستگاه، در طی ماه‌های فروردین و اردیبهشت دبی رودخانه به حداکثر می‌رسد. در این رابطه، میانگین دبی رودخانه در محل ایستگاه ایستی‌سو برای ماه‌های فروردین و اردیبهشت به ترتیب در حدود ۸/۳ و ۷/۲ مترمکعب در ثانیه و برای ایستگاه فیروزآباد به ترتیب در حدود ۱۱/۷ و ۹/۸ می‌باشد.

2020) مناطق آسیب‌پذیر رودخانه کشکان را با استفاده از طبقه‌بندی آبراهه به روش رزگن بررسی کردند. رجبی و همکاران (Rajabi et al, 2021) به بررسی پایداری رودخانه زاب از طریق طبقه‌بندی مورفولوژیکی آبراهه به روش رزگن در سطح دوم و سوم پرداختند. مهرورز و همکاران (Mehrvarz et al, 2025) برای ارزیابی مورفولوژی مجرای رودخانه دره ائورت از مدل رزگن استفاده کرده و تیپ‌های مختلف آبراهه را در امتداد رودخانه شناسایی کردند. در پژوهش حاضر نیز به تحلیل ژئومورفولوژیکی مجرای رودخانه گیوی چای با استفاده از مدل رزگن در ترکیب با مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS پرداخته شده است. رودخانه گیوی چای یکی از مهم‌ترین و پرآب‌ترین رودخانه‌های استان اردبیل به شمار می‌رود که نقش قابل توجهی در تامین آب شرب و کشاورزی شهرستان‌های خلخال و گیوی برعهده دارد. در پیرامون این رودخانه سکونتگاه‌های شهری و روستایی متعددی استقرار یافته و به همین دلیل از آسیب‌پذیری بالایی نسبت به دخالت‌های عامل انسانی برخوردار است. دشت سیلابی مجاور این رودخانه به صورت گسترده‌ای تحت پوشش اراضی کشاورزی آبی می‌باشد. دخالت‌های عامل انسانی همراه با وجود مواد فرسایش‌پذیر شرایط مساعدی را برای فرسایش مجرا و ناپایداری کناره‌ها فراهم نموده است. بدین ترتیب ضرورت دارد که مورفولوژی مجرای رودخانه و عوامل موثر بر تغییرات آن مورد ارزیابی قرار گیرد. در این رابطه، مدل رزگن ضمن ارزیابی مورفولوژی مجرا راهکارهایی را برای مدیریت و بازسازی رودخانه در اختیار قرار می‌دهد. یکی از چالش‌های مرتبط با مدل رزگن، استخراج دقیق برخی از شاخص‌ها و پارامترهای مدل می‌باشد. در تحقیق حاضر از مدل هیدرودینامیک HEC-RAS برای استخراج شاخص‌های مورفولوژیکی مدل رزگن و همچنین جهت شبیه‌سازی سیلاب‌های رودخانه استفاده به عمل آمد. ارزیابی مورفولوژی و پایداری مجرای رودخانه، شناسایی تیپ‌های مختلف رودخانه رزگن و ارزیابی حساسیت و پتانسیل بازیابی مجرا جزو مهم‌ترین اهداف تحقیق حاضر به شمار می‌روند.



شکل ۱: موقعیت رودخانه گیوی چای در استان اردبیل
Fig. 1: Location of the Givi Chay River in Ardabil Province

مواد و روش‌ها

- تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2 (سال ۲۰۲۴): تصاویر مذکور، با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر، برای استخراج مجرای رودخانه و همچنین تهیه نقشه‌های کاربری اراضی و پوشش گیاهی منطقه مورد استفاده قرار گرفتند.

- تصاویر ماهواره‌ای Google Earth: از این تصاویر برای برداشت نقاط تعلیمی و تحلیل‌های مورفولوژیکی بهره گرفته شد.

- داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری ایستی‌سو و فیروزآباد: داده‌های مذکور به منظور ارزیابی دبی و شبیه‌سازی سیلاب رودخانه به‌ازای دوره‌های بازگشت مختلف به‌کار گرفته شدند. به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار HEC-RAS، نرم‌افزار ArcGIS همراه با الحاقی HEC-GeoRAS و نرم‌افزار ENVI استفاده شد. با کاربست الحاقی HEC-GeoRAS بالغ بر ۶۵۳ مقطع بر روی رودخانه ترسیم شد. به منظور ترسیم مقاطع، از مدل رقومی ارتفاع (DEM) با قدرت تفکیک مکانی یک متر، که بر اساس نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۰۰۰ رودخانه قره‌سو تولید شده بود، به عنوان داده‌های پایه استفاده گردید. در این رابطه، تعداد ۱۱۰ مقطع در بازه (۱)، تعداد ۱۹۱ مقطع در بازه (۲)، تعداد ۱۶۸ مقطع در بازه (۳) و در نهایت تعداد ۱۸۴ مقطع در بازه

هدف اصلی پژوهش حاضر ارزیابی مورفولوژیکی مجرای رودخانه گیوی چای با کاربست مدل سلسله مراتبی رزگن و مدل HEC-RAS می‌باشد. در این راستا مهم‌ترین داده‌های تحقیق عبارتند از:

- نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۲۰۰۰: این نقشه‌ها توسط سازمان آب منطقه‌ای استان اردبیل تهیه شده‌اند. نقشه‌های مذکور برای تهیه مدل رقومی ارتفاع (DEM) بستر و پیرامون رودخانه با قدرت تفکیک مکانی ۱ متر به کار گرفته شدند. این مدل رقومی ارتفاع در شبیه‌سازی سیلاب‌های رودخانه با کاربست مدل HEC-RAS به عنوان داده پایه مورد استفاده قرار گرفت.

- مدل رقومی ارتفاع (DEM) ماهواره ALOS-PALSAR: این تصاویر با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر برای ارزیابی و آگاهی از وضعیت توپوگرافی منطقه مطالعاتی به کار گرفته شدند.

- نقشه‌های زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰: این نقشه‌ها برای منطقه مطالعاتی شامل برگه‌های خلخال، گیوی و هشتهچین (سازمان زمین‌شناسی کشور) می‌باشند. نقشه‌های مذکور به منظور ارزیابی وضعیت زمین‌شناسی و تاثیر لیتولوژی بر مورفولوژی مجرای رودخانه استفاده شدند.

از مدل HEC-RAS شبیه‌سازی شده و با استفاده از امکانات GIS نسبت به استخراج متغیرهای شاخص مذکور اقدام گردید.

نسبت عرض به عمق: عبارت است از: نسبت عرض مجرا در حالت لبالبی به عمق میانگین لبالبی. دبی لبالبی به عنوان حداکثر جریان پیک لحظه‌ای تعریف می‌گردد که چند روز در سال رخ می‌دهد و غالباً معادل با دبی با دوره بازگشت ۱/۵ تا ۲ ساله است (Rosgen, 1994). در پژوهش حاضر دبی لبالبی معادل با سیلاب با دوره بازگشت ۲ ساله در نظر گرفته شد. دبی با دوره بازگشت ۲ ساله برای رودخانه گیوی چای در محل ایستگاه ایستی‌سو حدود ۲۲/۸ مترمکعب در ثانیه و در محل ایستگاه فیروزآباد حدود ۳۵ مترمکعب در ثانیه برآورد گردید. عرض و عمق دبی مذکور با استفاده از مدل HEC-RAS شبیه‌سازی شده و شاخص مذکور برای مقاطع مختلف رودخانه محاسبه گردید.

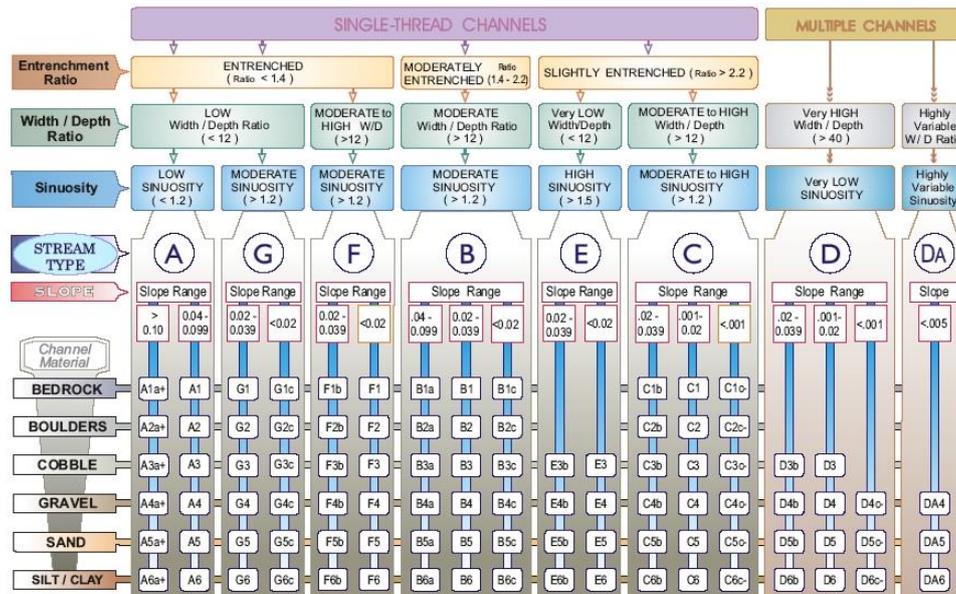
سینوزیته: سینوزیته (خمیدگی) از طریق تقسیم طول آبراهه به طول دره محاسبه می‌شود. همچنین می‌تواند به عنوان نسبت شیب دره به شیب مجرا تعریف شود (Rosgen, 1994). محاسبه این شاخص با استفاده از امکانات نرم‌افزارهای GIS به سادگی امکان‌پذیر است.

مواد کانال: در مدل سلسله مراتبی رزگن مواد مجرای رودخانه‌ها براساس اندازه D_{50} به شش گروه طبقه‌بندی می‌گردند: (۱) سنگ بستر (قطر بیشتر از ۲۰۴۸ میلی‌متر)، (۲) تخته‌سنگ (قطر بین ۲۵۶ تا ۲۰۴۷/۹ میلی‌متر)، (۳) قلوه سنگ (قطر بین ۶۴ تا ۲۵۵/۹ میلی‌متر)، (۴) گراول (قطر بین ۲ تا ۶۳/۹ میلی‌متر)، (۵) ماسه (قطر بین ۰/۰۶۲ تا ۱/۹۹ میلی‌متر) و (۶) سیلت/رس (قطر کمتر از ۰/۰۶۲ میلی‌متر). در این تحقیق برای اندازه‌گیری قطر مواد تشکیل‌دهنده مجرای رودخانه گیوی چای از شمارش قلوه سنگ ولمن^۴ برای مقاطع پوشیده از قلوه‌سنگ و نمونه برداری حجمی برای مقاطع پوشیده از رس تا گراول استفاده شد. روش ولمن عمدتاً در بازه‌های (۲) و (۴) اجرا شد. شمارش قلوه‌سنگ در ۳۶ مقطع به صورت عرضی انجام گرفته که با توجه به روش‌شناسی مربوطه بالغ بر ۷۰ درصد منطبق بر خیزاب‌ها (ریفل‌ها) و ۳۰ درصد منطبق بر حوضچه‌ها (پول‌ها) بود.

(۴) ترسیم شد. در پژوهش حاضر به‌منظور تجزیه و تحلیل ژئومورفولوژیکی رودخانه گیوی چای از سیستم طبقه‌بندی رزگن استفاده شد. همچنین برای افزایش کارایی مدل رزگن از مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS بهره گرفته شد. در ادامه، مدل‌های مذکور به صورت اجمالی تبیین شده‌اند. مدل سلسله مراتبی رزگن دربرگیرنده چهار مقیاس تحلیل است که از ممیزی و تحلیل بزرگ مقیاس لندفرم و انواع دره تا اندازه‌گیری‌های کوچک مقیاس فرایندهای فیزیکی (از قبیل انتقال بار بستر، فرسایش کناره) و سنجش‌های بیولوژیکی (پوشش گیاهی، ارگانسیم‌های آبی) را شامل می‌شود (Shroder, 2013). در اغلب تحقیقات تاکید اساسی بر روی دو سطح نخست، یعنی ویژگی‌های ژئومورفیک کلی (سطح ۱) و توصیف مورفولوژیکی (سطح ۲) می‌باشد (Rosgen, 1994). سیستم سلسله مراتبی رزگن شامل شش شاخص اساسی ژئومورفولوژیکی می‌باشد. این شاخص‌ها شامل گودشدگی، نسبت عرض به عمق، سینوزیته، تعداد مجرا، شیب و دانه‌بندی مواد بستر می‌باشد. با توجه به شاخص‌های مذکور رودخانه‌ها به هشت کلاس اصلی تقسیم می‌شوند. هر کدام از کلاس‌ها نیز به انواع مختلف رودخانه‌ها گروه‌بندی شده که در مجموع مشتمل بر ۹۰ نوع رودخانه می‌شود (Federal Interagency Stream Restoration Working Group, 2001) (شکل ۲).

شاخص‌های شش‌گانه مدل رزگن به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

گودشدگی^۱: نسبت گودشدگی بدین صورت تعریف می‌شود: نسبت عرض سطح سیل‌گیر به عرض سطح لب‌پری مجرا. سطح سیل‌گیر به صورت: عرض اندازه‌گیری شده در ارتفاع دو برابر حداکثر عمق لب‌پری تعریف می‌شود. مشاهدات میدانی نشان می‌دهند که این ارتفاع، ارتفاع یک سیل متناوب (دوره بازگشت ۵۰ ساله یا کمتر) می‌باشد و نه ارتفاع یک سیلاب نادر (Rosgen, 1994). نسبت‌های گودشدگی ۱/۴ - ۱ نشان دهنده آبراهه‌های گودشده، ۲/۲ - ۱/۴۱ نشان دهنده آبراهه‌های با گودشدگی متوسط و نسبت‌های بیشتر از ۲/۲ آبراهه‌های با گودشدگی اندک (دشت سیلابی توسعه یافته) می‌باشند (Kheirizadeh et al, 2018). در پژوهش حاضر برای محاسبه گودشدگی، سیلاب رودخانه به‌ازای دوره‌های بازگشت مختلف با استفاده



شکل ۲: کلید طبقه‌بندی رودخانه‌ها در سیستم رزگن (سطح ۲) (کارگروه بین‌سازمانی فدرال برای احیای آبراهه‌ها، ۲۰۰۱).

Fig. 2: Classification key of rivers in Rosgen system (level II) (Federal Interagency Stream Restoration Working Group, 2001)

Z: ارتفاع بستر، Y: عمق آب، V: سرعت متوسط، α : ضریب تصحیح بار سرعت، h_e : افت انرژی کل و g: شتاب ثقل. همچنین معادله مومنتم موجود در مدل HEC-RAS به صورت زیر محاسبه می‌شود (Brunner, 2010):

$$\frac{Q_2^2 \beta_2}{g A_2^3} + A_2 \bar{y}_2 + \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) L S_0 - \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) L S_f = \frac{Q_1^2 \beta_1}{g A_1^3} + A_1 \bar{y}_1$$

β : ضریب تصحیح مومنتم، \bar{y} : عمق اندازه‌گیری شده از سطح آب تا مرکز ثقل سطح مقطع جریان، A: مساحت منطقه‌ی مرطوب زیر مقطع عرضی، S: شیب کانال، L: فاصله بین مقاطع و Q: جریان دبی.

بحث و نتایج

در پژوهش حاضر مجرای رودخانه گیوی چای با توجه به ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی مانند عرض دشت سیلابی، ناهمواری‌ها و پلان فرم به چهار بازه تقسیم گردید. در شکل ۳ کاربری اراضی بازه‌ها و در شکل ۴ شیب بازه‌های رودخانه گیوی چای ارائه شده است. بازه خلخال (بازه ۱): این بازه به طول حدود ۱۴ کیلومتر از محدوده روستای خوجین تا شمال روستای علی‌آباد امتداد می‌یابد. شیب مجرای رودخانه در این بازه کمتر از ۲ درصد می‌باشد. در محدوده این بازه دشت سیلابی توسعه‌یافته‌ای وجود دارد که عرض آن در برخی مقاطع به ۱/۵ کیلومتر نیز می‌رسد. به همین

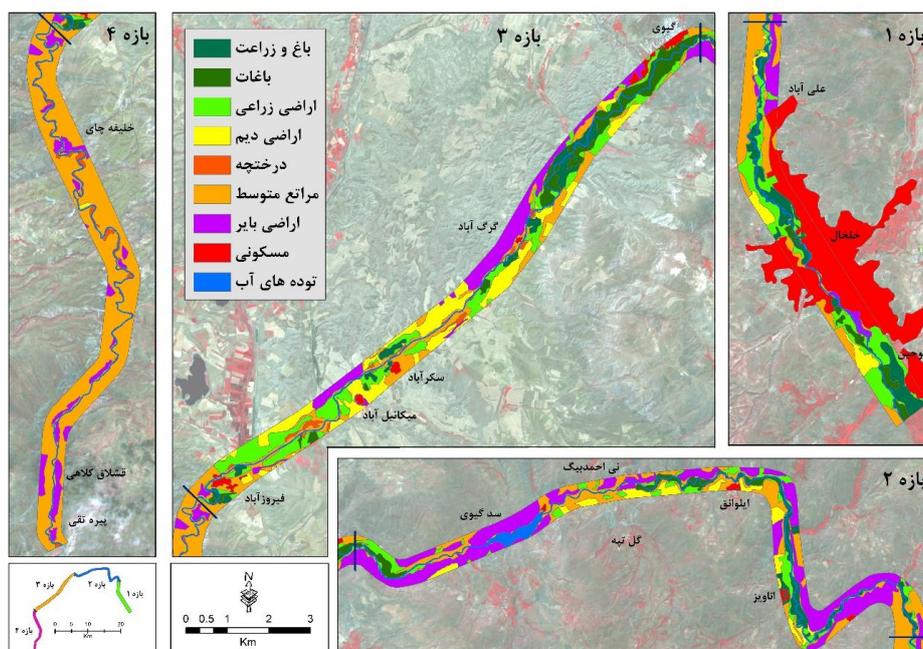
در پژوهش حاضر به منظور بهینه‌سازی، استخراج شاخص‌های شش‌گانه و افزایش دقت سیستم طبقه‌بندی رزگن از مدل HEC-RAS به همراه اکستنشن HEC-GeoRAS استفاده شد. در این رابطه، HEC-RAS یک مدل هیدرولیکی است که توسط مرکز مهندسی هیدرولوژی^۵ بخش مهندسی ارتش ایالات متحده آمریکا توسعه یافته است (Tate, 1999). سیستم HEC-RAS شامل چهار مؤلفه تحلیل یک‌بعدی رودخانه به‌منظور: (۱) محاسبات پروفیل سطح آب جریان ماندگار؛ (۲) شبیه‌سازی جریان غیر ماندگار؛ (۳) محاسبات انتقال رسوب مرزی متحرک و (۴) تحلیل کیفیت آب است (Rezaei Moghadam et al, 2017; Esfandiari et al, 2020). محاسبات پروفیل سطح آب را برای جریان پایدار متغیر تدریجی در رودخانه‌ها و کانال‌های مصنوعی در رژیم‌های جریان زیربحرانی، فوق بحرانی و مختلط می‌تواند انجام دهد. محاسبه پروفیل سطح آب با شروع از یک مقطع عرضی به طرف مقاطع دیگر به‌وسیله حل معادله انرژی به روش استاندارد گام به گام انجام می‌شود. معادله انرژی به صورت زیر است (Brunner, 2010):

$$Z_1 + Y_1 + a \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + Y_2 + a \frac{V_2^2}{2g} + h_e$$

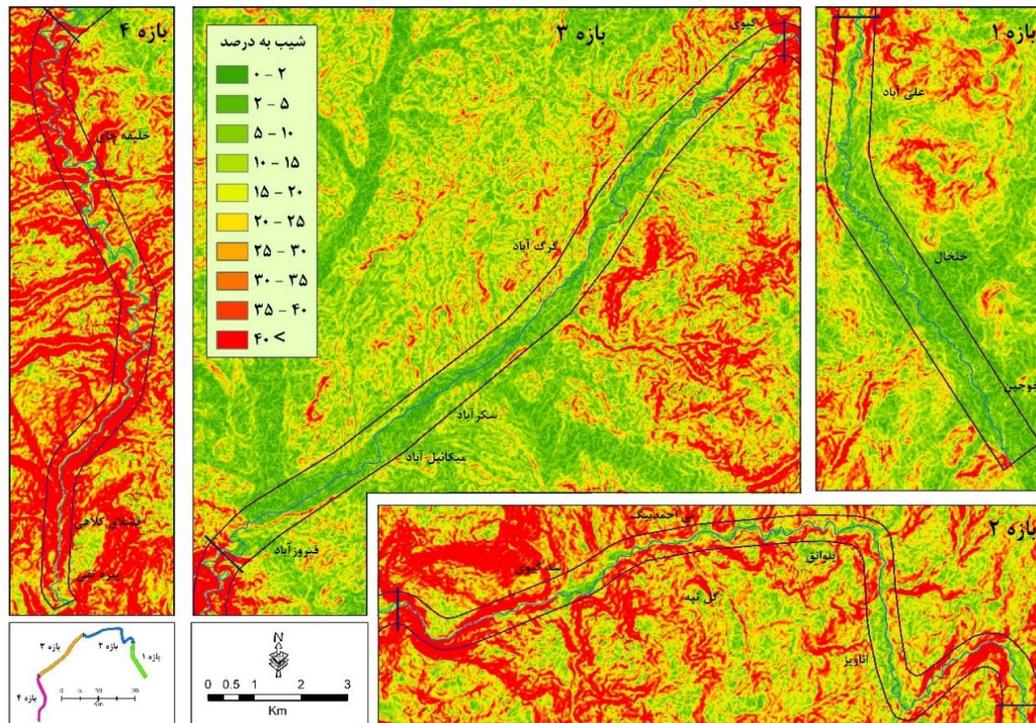
رابطه (۱)

میزان ناهمواری‌ها کاهش پیدا کرده و دشت سیلابی در پیرامون رودخانه توسعه نسبتاً خوبی یافته است. شیب زمین در محدوده این بازه کمتر از ۴ درصد می‌باشد. دسترسی به منابع آب و خاک دشت سیلابی بستر مناسبی را برای فعالیت‌های کشاورزی فراهم نموده است. به همین دلیل کشاورزی آبی کاربری غالب پیرامون رودخانه در محدوده این بازه می‌باشد. بازه فیروزآباد (بازه ۴): طول این بازه حدود ۲۱ کیلومتر بوده و از محدوده شهر فیروزآباد تا پیوندگاه گیوی چای با رودخانه قزل‌اوزن امتداد پیدا می‌کند. این بازه به شدت ناهموار بوده و دره رودخانه از عرض محدودی برخوردار می‌باشد. این بازه را می‌توان ناهموارترین و پرشیب‌ترین بازه مجرای رودخانه گیوی چای به شمار آورد. میزان شیب مجرای رودخانه به دلیل کنترل زیاد ساختمان زمین‌شناسی از تغییرپذیری مکانی شدیدی برخوردار می‌باشد و از حداقل صفر تا بیش از ۴ درصد متغیر است. دامنه‌های مشرف به بستر مجرای رودخانه عموماً حالت پرتگاهی و دیواره‌مانند داشته و در اکثر قسمت‌ها دارای شیب‌های بیش از ۴۰ درصد می‌باشند (شکل ۴). دشت‌های سیلابی به صورت محلی در برخی از مقاطع توسعه یافته‌اند. مورفولوژی رودخانه گیوی چای در محدوده این بازه در کنترل ساختمان زمین‌شناسی بوده و مائندره‌های رودخانه از نوع محصور می‌باشند.

دلیل بستر مناسبی را برای فعالیت‌های انسانی فراهم نموده است. در این بازه شهر خلخال در پیرامون رودخانه گیوی چای استقرار یافته است. به همین دلیل بازه مذکور توسط فعالیت‌های انسانی تحت تاثیر قرار گرفته است. کاربری اراضی پیرامون رودخانه گیوی چای در این بازه عمدتاً شامل مناطق مسکونی و اراضی کشاورزی (زراعت آبی و باغات) می‌باشد. بازه سد گیوی (بازه ۲): طول این بازه حدود ۲۳ کیلومتر است و از انتهای بازه اول تا محدوده شهر گیوی امتداد پیدا می‌کند. سد گیوی در محدوده این بازه بر روی رودخانه گیوی چای احداث شده است. در این بازه رودخانه گیوی چای از میان دره‌ای کم‌عرض عبور می‌کند و به همین دلیل دشت سیلابی از توسعه زیادی برخوردار نیست. مورفولوژی بخش قابل توجهی از این بازه در کنترل ساختمان زمین‌شناسی می‌باشد. شیب مجرای رودخانه در این بازه به دلیل کنترل متغیر زمین‌شناسی از تغییرپذیری مکانی قابل توجهی برخوردار بوده و از ۰/۲ درصد تا ۴ درصد متغیر است. کاربری اراضی این بازه شامل مراتع با پوشش گیاهی متوسط، اراضی بایر (منطبق بر قسمت‌های پرشیب دامنه‌های مشرف به رودخانه)، اراضی دیم و به صورت محدودتر کشاورزی آبی می‌باشد. بازه گیوی (بازه ۳): بازه مذکور به طول تقریبی ۲۰ کیلومتر از محدوده شهر گیوی تا شهر فیروزآباد امتداد می‌یابد. در محدوده این بازه



شکل ۳: بازه‌های رودخانه گیوی چای همراه با کاربری اراضی پیرامون
Fig. 3: Givi Chay River reaches with surrounding land use



شکل ۴: توزیع شیب در بازه‌های مجرای رودخانه گیوی چای (منبع: داده‌های ماهواره ALOS-PALSAR)

Fig. 4: Slope distribution in the Givi Chay River channel reaches (Source: ALOS-PALSAR satellite data)

ارزیابی پلان فرم مجرای رودخانه شناسایی الگو و پلان فرم باید اولین گام در جهت ارزیابی پایداری رودخانه‌ها باشد (Briaud, 2007). هم انرژی جریان (دبی آب و شیب کانال) و هم تامین و عرضه رسوب نقش مهمی در تعیین شرایط پلان فرم یک کانال ایفا می‌کنند (Richard, 2001; Islam et al, 2025). فاکتورهای مختلفی، از قبیل دبی، بار رسوبی، عرض، عمق، سرعت، شیب و زبری، در تعیین شکل و الگوی رودخانه‌ها مهم می‌باشند. می‌توان گفت که فرسایش و نهشته‌گذاری، فرایندهای اساسی کنترل کننده الگوی کانال می‌باشند (Martin, 2005). یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های بازه (۱) وجود دشت سیلابی توسعه یافته است که عرض آن از حداقل ۰/۴ کیلومتر تا حداکثر ۱/۵ کیلومتر متغیر است. مورفولوژی مجرای رودخانه به دلیل کنترل‌های طبیعی و انسانی از تغییرپذیری مکانی قابل توجهی برخوردار است. با این حال، پلان فرم رودخانه از نوع مئاندری توسعه یافته است. میانگین شاخص سینوزیته (ضریب خمیدگی) حدود ۱/۶۲ محاسبه گردید. همچنین میانگین زاویه مرکزی مجرای رودخانه حدود ۹۰/۳ درجه برآورد شد. حداقل زاویه مرکزی ۵۳ درجه و حداکثر مقدار آن نیز ۱۵۴ درجه محاسبه شد. به دلیل دخالت‌های عامل انسانی، تغییرات جانبی مجرای رودخانه

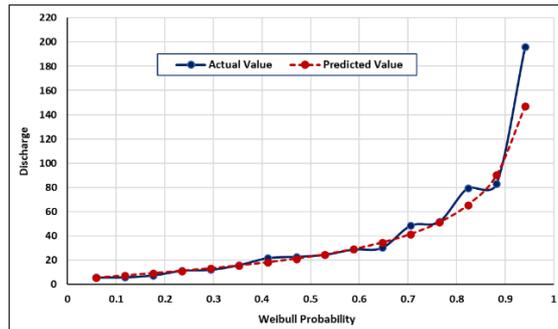
گیوی چای در بازه خلخال به شدت محدود شده است. رودکنار (حریم) رودخانه در قسمت‌های بالادست و پایین دست این بازه تحت کاربری کشاورزی آبی بوده و در قسمت‌های مرکزی نیز توسط ساخت‌وسازهای شهری مشخص می‌شود. در نتیجه دینامیک عرضی رودخانه به شدت محدود شده و مئاندرها در اکثر مقاطع حالت تثبیت شده و غیرفعال دارند. بازه (۲) جزو بازه‌های کوهستانی و ناهموار رودخانه گیوی چای به شمار می‌رود؛ با این حال، در برخی از قسمت‌ها عرض دره زیاد بوده و در نتیجه دشت سیلابی توسعه قابل توجهی پیدا کرده است. در این رابطه می‌توان به توسعه دشت سیلابی در دره روستای اناویز اشاره نمود که عرض دشت سیلابی تا ۴۰۰ متر نیز می‌رسد. در بازه (۲) به دلیل شیب نسبتاً زیاد و افزایش دبی، توان رودخانه و در نتیجه پتانسیل شکل‌زایی رودخانه به طور قابل توجهی افزایش پیدا می‌کند. بدین ترتیب در مقاطع با دشت سیلابی توسعه یافته، دینامیک جانبی مجرای رودخانه افزایش یافته و مئاندرها توسعه قابل توجهی پیدا کرده‌اند. میانگین زاویه مرکزی بازه (۲) در حدود ۱۰۷/۳ درجه برآورد شد که نشان‌دهنده رودخانه‌های مئاندری توسعه یافته است. میانگین سینوزیته نیز ۱/۳۴ محاسبه گردید. حداقل مقدار این شاخص حدود ۱/۲ و حداکثر مقدار آن

بالایی برخوردارند. بدین ترتیب، جابجایی جانبی مجرای رودخانه به شدت محدود شده و پایدارند. علی‌رغم عرض محدود دره و در نتیجه فقدان یا کم‌عرض بودن دشت سیلابی، شکل مسطحاتی (پلان فرم) رودخانه در اکثر مقاطع از نوع مئاندری می‌باشد. میانگین زاویه مرکزی این بازه بالغ بر $131/2$ درجه و میانگین ضریب خمیدگی نیز حدود $1/51$ محاسبه گردید. قسمت‌های بالادست و میانی این بازه از نوع مئاندری توسعه یافته و بیش از حد توسعه یافته می‌باشد. با این حال، مئاندرهای این بازه به دلیل کنترل شدید ساختمان زمین‌شناسی مقاوم از نوع محصور می‌باشند. در قسمت‌های پایین‌دست، شکل مسطحاتی مجرای رودخانه تبدیل به شبه‌مئاندری شده که تا محل تلاقی گیوی‌چای و رودخانه قزل‌اوزن امتداد پیدا می‌کند.

شبیه‌سازی سیلاب رودخانه

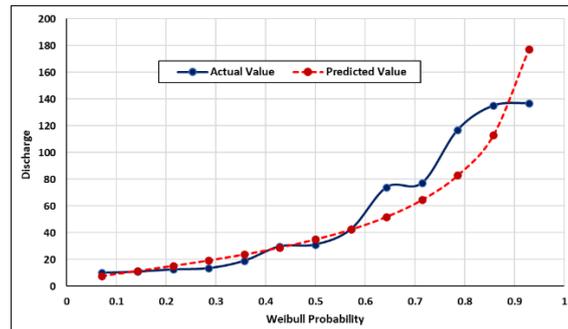
در مدل رزگن استخراج نسبت‌های گودشدگی و عرض به عمق، اهمیت زیادی داشته و لازم است با استفاده از تکنیک‌های خاص نسبت به استخراج بهینه این شاخص‌ها اقدام شود. بدین منظور در پژوهش حاضر، سیلاب‌های رودخانه به‌زای دوره‌های بازگشت مختلف شبیه‌سازی شد. در این رابطه از مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS و اکستنشن HEC-GeoRAS استفاده گردید. در مدل رزگن سیلاب‌های با دوره بازگشت ۲ ساله (به عنوان دبی لبالبی) و ۵۰ ساله حائز اهمیت زیادی می‌باشد (Rosgen, 1994). در شکل‌های ۵ و ۶ برآزش توزیع فراوانی پیرسون تیپ ۳ به لگاریتم‌های جریانات پیک سالیانه ایستگاه‌های هیدرومتری فیروزآباد و ایستی‌سو ارائه شده است. در این زمینه، توابع توزیع و روش‌های تخمین مختلفی جهت برآورد توزیع فراوانی سیلاب وجود دارند. روش‌های توصیه شده توسط کارگروه بازیابی رودخانه‌های ایالات متحده براساس برآزش توزیع پیرسون تیپ ۳ به لگاریتم‌های مبنای ۱۰ دبی‌های پیک است (Federal interagency stream restoration working group, 2001).

نیز $1/88$ به دست آمد. هر دو شاخص مورفولوژیکی در امتداد بازه از تغییرپذیری مکانی قابل توجهی برخوردارند. کنترل‌های زمین‌شناسی نقش غالبی در این تغییرپذیری برعهده دارند. در بازه (۳) از میزان ناهمواری‌ها کاسته شده و دشت سیلابی توسعه قابل توجهی پیدا می‌کند. در این بازه چندین انشعاب نسبتاً پرآب مثل فیروزآبادچای وارد مجرای رودخانه می‌شوند. به همین دلیل دبی رودخانه افزایش قابل توجهی پیدا می‌کند. مواد تشکیل‌دهنده بستر و کناره‌های رودخانه عمدتاً شامل گراول و ماسه می‌باشد. با توجه به موارد مذکور، مجرای رودخانه در این بازه از دینامیک جانبی قابل توجهی برخوردار می‌باشد. با توجه به تصاویر ماهواره‌ای تحرک جانبی چشمگیر مجرای رودخانه قابل شناسایی است. در قسمت‌هایی از این بازه به دلیل توان بالای رودخانه و وجود مواد فرسایش‌پذیر الگوی گیسوئی شکل گرفته است که با کانال‌های متعدد، تحرک جانبی بالا، عرضه زیاد رسوب، پشته‌های نقطه‌ای و ناپایداری کناره‌ها مشخص می‌شود. در این مقاطع جهت محاسبه شاخص‌های مورفومتری از خط مرکزی مجرا استفاده شد. میانگین زاویه مرکزی برای بازه مذکور حدود $10/14$ درجه و سینوزیته نیز حدود $1/32$ محاسبه گردید. پلان فرم این بازه به تبعیت از شرایط محلی حاکم بر مجرای رودخانه از مئاندری تا گیسوئی متغیر است. در طی سال‌های اخیر با آبگیری سد گیوی، دبی رودخانه در بازه مذکور تا حد زیادی تنظیم شده است. کاهش حجم دبی رودخانه، مخصوصاً در طی دوره‌های پرآبی (اسفند تا اردیبهشت)، باعث شده است که در این بازه الگوهای گیسوئی متمایل به الگوی مئاندری شوند. بدین ترتیب بخش قابل توجهی از پلان فرم مجرای رودخانه در بازه (۳) رفتار آستانه‌ای را نشان می‌دهند. در بازه (۴) رودخانه گیوی‌چای وارد دره‌ای تنگ و کم‌عرض می‌شود و مجرای رودخانه در بخش قابل توجهی از بازه مستقیماً با واحد کوهستان برخورد می‌کند. واحد کوهستان از نظر سنگ‌شناسی شامل تناوبی از گدازه‌های آندزیتی، آندزی بازالتی و بازالت می‌باشد که نسبت به فرسایش از مقاومت



شکل ۵: برازش توزیع فراوانی پیرسون تیپ ۳ به لگاریتم‌های جریان‌های پیک سالیانه ایستگاه ایستی‌سو

Fig. 5: Fitting of the Pearson Type III frequency distribution to the logarithms of annual peak discharges at the Istisou hydrometric station

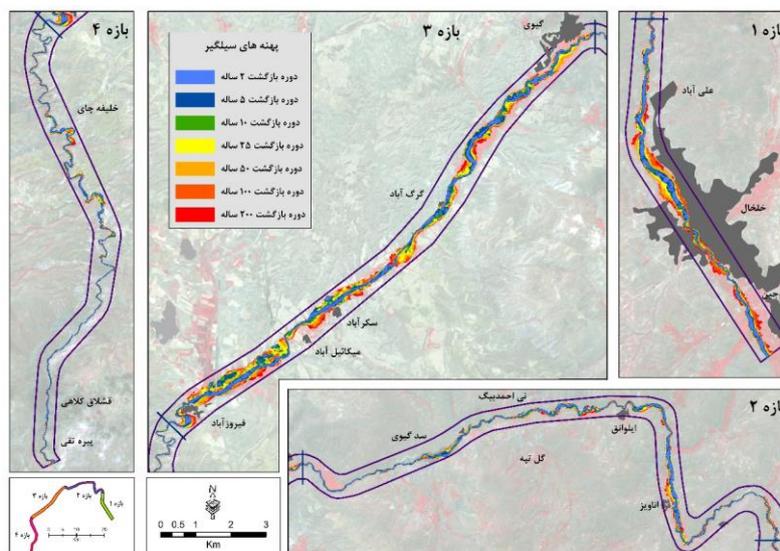


شکل ۶: برازش توزیع فراوانی پیرسون تیپ ۳ به لگاریتم‌های جریان‌های پیک سالیانه ایستگاه فیروزآباد

Fig. 6: Fitting of the Pearson Type III frequency distribution to the logarithms of annual peak discharges at the Firouzabad hydrometric station

نتایج شبیه‌سازی سیلاب رودخانه گیوی چای به ازای دوره های بازگشت مختلف ارائه شده است. با توجه به هدف تحقیق تاکید بر روی سیلاب‌های با دوره بازگشت ۲ و ۵۰ سال می‌باشد.

در پژوهش حاضر، متغیرهای مکانی مورد نیاز مدل HEC-RAS با استفاده از اکستنشن HEC-GeoRAS در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه گردید که از جمله می‌توان به خطوط کناره رودخانه، خط مرکزی، شیب، مقاطع عرضی، کاربری اراضی و ضریب مانینگ اشاره نمود. در شکل ۷



شکل ۷: پهنه‌بندی سیلاب رودخانه گیوی چای برای دوره‌های بازگشت مختلف با استفاده از مدل HEC-RAS

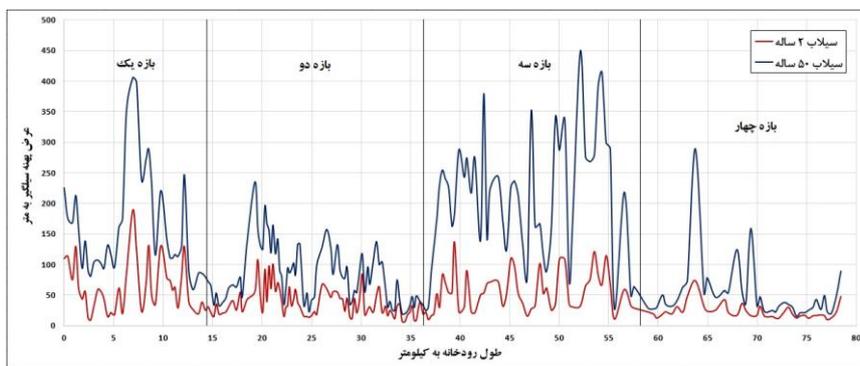
Fig. 7: Flood zoning of the Givi Chay River for various return periods using the HEC-RAS model

می‌گیرند. عرض متوسط این پهنه‌ها حدود ۶۰ متر برآورد گردید. برای این بازه سیلاب‌های ۵۰ ساله می‌توانند سطحی معادل ۱۴۴ هکتار با میانگین عرضی بالغ بر ۱۶۷ متر را غرقاب سازند. حدود ۱۲۲ هکتار از این اراضی مشتمل بر کاربری کشاورزی آبی می‌باشد. در این بازه سیلاب‌های با دوره بازگشت ۵۰ ساله و بالاتر می‌توانند مناطق مسکونی حاشیه رودخانه را نیز تحت تاثیر قرار دهند. این امر مخصوصا با توجه به ورود انشعابات مختلفی مانند از نوچای، نورعلی‌چای و قیزباخان‌چای در محدوده شهر خلخال و همزمانی احتمالی دبی پیک سیلاب‌ها حائز اهمیت زیادی می‌باشد. سطح سیل‌گیری ۲ ساله در بازه سد گیوی (بازه ۲) حدود ۶۷ هکتار و عرض آن نیز به صورت میانگین حدود ۳۶ متر محاسبه گردید. عرض سیل‌گیری در نیمه غربی این بازه اندک و در نیمه شرقی به دلیل وجود دشت سیلابی وسیع زیاد بوده و در برخی مقاطع به بیش از ۷۰ متر می‌رسد. سیلاب‌های ۵۰ ساله می‌توانند حدود ۱۵۱ هکتار از پیرامون رودخانه گیوی‌چای در بازه (۲) را تحت تاثیر قرار دهند. میانگین عرض این سیلاب‌ها با استفاده از تحلیل‌های مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) بالغ بر ۸۰ متر برآورد گردید. افزایش عمده در پهنه‌های سیل‌گیر ۵۰ ساله نسبت به دوره‌های بازگشت پایین‌تر عمدتا در نیمه شرقی این بازه بوده و در قسمت‌های غربی به دلیل عرض محدود دشت سیلابی، مساحت سیل‌گیر افزایش چندانی نشان نمی‌دهد. در محدوده این بازه، سکونتگاه‌ها در خارج از محدوده دشت سیلابی مکان‌گزینی شده و در نتیجه خطری متوجه این سکونتگاه‌ها نمی‌باشد. با این حال، حدود ۱۰۵ هکتار از اراضی کشاورزی این بازه در معرض سیلاب‌های مخرب ۵۰ ساله می‌باشند. با توجه به مورفولوژی مجرای رودخانه در بازه گیوی (بازه ۳) می‌توان انتظار داشت که مساحت و عرض سیل‌گیری در این بازه افزایش قابل توجهی داشته باشد. دریافت انشعابات پرآب و افزایش دبی، عرض زیاد بستر، شیب کم و وجود دشت سیلابی وسیع شرایط مناسبی را برای سرریز و پخش سیلاب در پیرامون رودخانه گیوی‌چای در این بازه فراهم نموده است. سطح سیل‌گیری ۲ ساله در این بازه حدود ۱۰۳ هکتار می‌باشد. برای سیلاب‌های با دوره بازگشت ۵۰ ساله مساحت و عرض پهنه‌های سیل‌گیر در بازه (۳) افزایش قابل توجهی پیدا می‌کند. این امر در ارتباط با شرایط ژئومورفولوژیکی این

در رابطه با رودخانه گیوی‌چای، سیلاب‌های با دوره بازگشت ۲ ساله را می‌توان به عنوان دبی لبالی در نظر گرفت. در تمامی بازه‌های رودخانه گیوی‌چای این سیلاب‌ها خطر خاصی را برای سکونتگاه‌های انسانی و اراضی کشاورزی منطقه ایجاد نمی‌کنند. با این حال، سیلاب‌های مذکور به علت پر کردن مجرای اصلی، تناوب و انرژی زیاد، نقش قابل توجهی در شکل‌زایی و تحول مورفولوژیکی مجرای رودخانه بر عهده دارند. مساحت پهنه‌های سیل‌گیر ۲ ساله بالغ بر ۲۷۹ هکتار محاسبه گردید که عمدتا منطبق بر مجرای اصلی و به صورت موضعی اراضی حاشیه رودخانه می‌باشد. میانگین عرض سیل‌گیری ۲ ساله نیز حدود ۴۰ متر برآورد گردید. بدیهی است که عرض سیل‌گیری با توجه به عوامل کنترل‌کننده انسانی و طبیعی می‌تواند از تغییرپذیری بالایی برخوردار باشد (شکل ۸). عمق (ارتفاع) این سیلاب‌ها در تعیین نوع رودخانه در سیستم رزگن حائز اهمیت است که در مدل HEC-RAS قابل استخراج است. با توجه به مورفولوژی بستر رودخانه گیوی‌چای (خیزآب- حوضچه‌)، عمق سیلاب‌ها از تغییرپذیری مکانی زیادی برخوردار بوده و از حداقل چند سانتی‌متر تا بیش از ۲/۵ متر متغیر است. سطح سیل‌گیری ۵۰ ساله رودخانه گیوی‌چای بالغ بر ۷۹۳ هکتار محاسبه گردید. میانگین عرض سیلاب‌های مذکور نیز حدود ۱۲۱ متر برآورد شد. مساحت پهنه‌های در معرض سیلاب‌های با دوره بازگشت ۵۰ ساله در بازه‌های خلخال و گیوی به دلیل وجود دشت سیلابی وسیع و توسعه‌یافته و محدود بودن اقدامات مقابله‌ای با سیلاب افزایش قابل توجهی پیدا می‌کند. اما در بازه سد گیوی و مخصوصا بازه فیروزآباد به دلیل کم‌عرض بودن دره، سیلاب‌های با دوره بازگشت ۲۵ ساله تقریبا کل عرض دره را دربرمی‌گیرند و سیلاب‌های با دوره بازگشت بالاتر تنها بر متغیرهایی مانند عمق سیلاب، تنش برشی، سرعت و توان رودخانه تاثیر می‌گذارند. سیلاب‌های با دوره بازگشت ۵۰ ساله می‌توانند تهدیدی برای اراضی کشاورزی و مسکونی پیرامون رودخانه محسوب شوند. در این رابطه، بالغ بر ۴۱۴ هکتار از اراضی کشاورزی دشت سیلابی رودخانه گیوی‌چای در معرض سیلاب‌های ۵۰ ساله می‌باشند. افزون بر این، حدود ۷ هکتار از کاربری‌های مسکونی پیرامون رودخانه می‌توانند تحت تاثیر سیلاب‌های مذکور قرار گیرند. در بازه خلخال سیلاب‌های ۲ ساله مساحتی در حدود ۳۳ هکتار را در بر

معرض سیلاب‌های مخرب با دوره بازگشت ۵۰ ساله و بالاتر می‌باشند. در رابطه در بازه فیروزآباد (بازه ۴) عرض کم دره و فقدان یا محدود بودن دشت سیلابی مانعی اساسی برای پخش سیلاب به شمار می‌روند. به همین دلیل عرض سیل گیری برای دوره‌های بازگشت بالاتر افزایش محسوسی پیدا نمی‌کند. مساحت سیل‌گیری ۲ ساله در این بازه حدود ۴۲ هکتار و میانگین عرض آن حدود ۲۳ متر محاسبه گردید. مساحت سیل‌گیری ۵۰ ساله نیز بالغ بر ۸۷ هکتار و میانگین عرض سیل‌گیری نیز بالغ بر ۵۲ متر برآورد شد. در بازه (۴) به دلیل عرض محدود دره و فقدان سکونتگاه‌های انسانی خطر سیلاب به حداقل می‌رسد.

بازه از رودخانه بوده که پخش سیلاب در پهنه‌هایی وسیع‌تر را امکان‌پذیر می‌سازد. در این رابطه، مساحت پهنه‌های سیل‌گیر این‌گونه سیلاب‌ها در حدود ۳۷۶ هکتار و متوسط عرض سیل‌گیری در حدود ۲۱۹ متر می‌باشد. سکونتگاه‌های منطقه در نقاط مرتفع مکان‌گزینی شده و در نتیجه مصون از سیلاب‌های رودخانه گیوی‌چای می‌باشند. با این حال، برخی از تاسیسات و زیرساخت‌های موجود در دشت سیلابی مانند جاده و پل ارتباطی موجود بر روی رودخانه گیوی‌چای در محدوده شهر فیروزآباد می‌توانند تحت تاثیر این سیلاب‌ها قرار گیرند. همچنین در حدود ۲۵۸ هکتار از اراضی کشاورزی آبی موجود در دشت سیلابی این بازه در

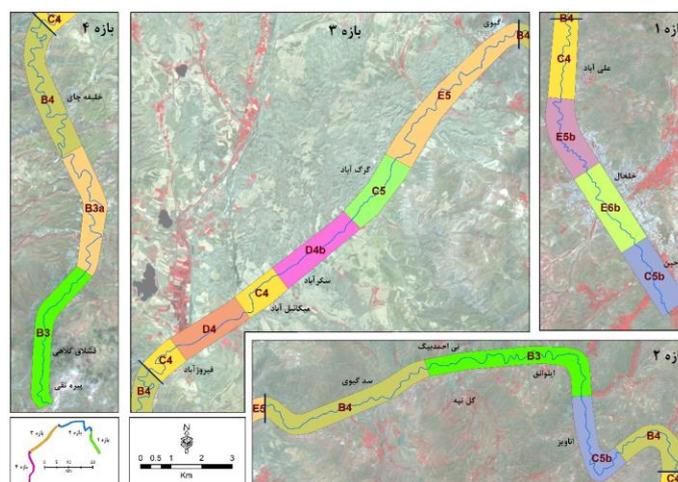


شکل ۸: عرض پهنه‌های سیل‌گیر با دوره بازگشت‌های ۲ و ۵۰ ساله در مقاطع مختلف رودخانه گیوی‌چای

Fig. 8: Widths of floodplain areas for 2- and 50-year return periods at different cross-sections of the Givi Chay River

از بازه‌های چهارگانه تحقیق مورد تحلیل قرار گرفته است. در شکل ۹ نوع مورفولوژی رودخانه مطابق مدل رزگن ارائه شده است.

تعیین نوع رودخانه رزگن در این بخش از تحقیق با توجه به مطالب فوق‌الذکر نسبت به شناسایی و ارزیابی نوع رودخانه مطابق سیستم طبقه بندی رزگن اقدام شد. نوع رودخانه رزگن در امتداد هر یک

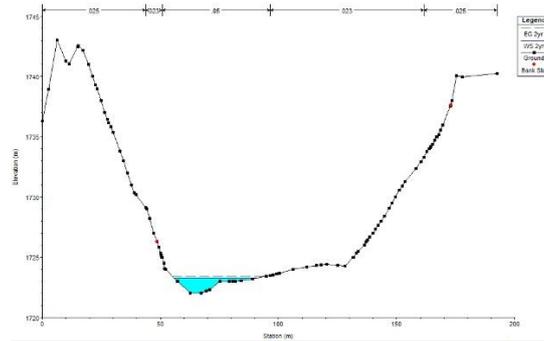


شکل ۹: طبقه‌بندی مجرای رودخانه گیوی‌چای براساس مدل رزگن

Fig. 9: Classification of the Givi Chay River channel based on the Rosgen model

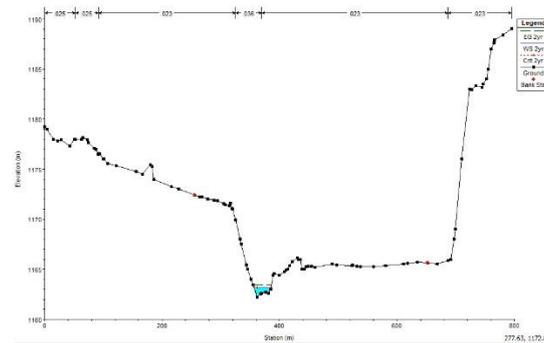
شرایط محیطی و انسانی حاکم بر منطقه مطالعاتی باعث شده است که رودخانه گیوی چای از نظر ژئومورفولوژی تنوع زیادی داشته باشد. این تنوع در طبقه‌بندی مورفولوژیکی مجرای رودخانه با استفاده از مدل رزگن نیز بازتاب یافته است. در امتداد رودخانه گیوی چای با توجه به شاخص‌های مربوطه بالغ بر ۱۷ زیربازه شناسایی شد که نشان‌دهنده تنوع زیاد مجرای رودخانه می‌باشد. بازه خلخال (بازه ۱) را براساس سیستم طبقه‌بندی رزگن می‌توان به دو نوع اصلی C و E و چهار نوع فرعی طبقه‌بندی نمود که در جهت جریان به ترتیب عبارتند از: نوع C5b، نوع E6b، نوع E5b و نوع C4 (برای نمونه؛ شکل‌های ۱۰ تا ۱۳). طول نوع رودخانه C5b حدود ۲/۸۵ کیلومتر می‌باشد. رودخانه‌های نوع C شامل کانال‌های آبرفتی با شیب کم، الگوی مئاندری، دارای پشته‌های نقطه‌ای، کمی گودشده همراه با مورفولوژی بستر خیزآب- حوضچه می‌باشند که در دشت‌های سیلابی وسیع و توسعه یافته شکل می‌گیرند. شیب رودخانه در این قسمت از رودخانه گیوی چای بین ۲ تا ۳ درصد، سینوزیته ۱/۲۸ و مواد تشکیل دهنده بستر عمدتاً شامل ماسه (حدود ۶۸ درصد) می‌باشد. در این بخش دامنه مئاندرهای رودخانه در نتیجه دخالت عامل انسانی کاهش یافته و تثبیت گردیده‌اند. میانگین نسبت عرض به عمق در این قسمت از رودخانه حدود ۱۷/۴ بوده و در تمامی مقاطع بالاتر از ۱۲ می‌باشد. همچنین میانگین نسبت گودشدگی حدود ۴/۳ محاسبه گردید. پایین بودن نسبت گودشدگی علی‌رغم وجود دشت سیلابی وسیع، در ارتباط با برخی اقدامات حفاظتی سیلاب می‌باشد که در شبیه‌سازی با مدل HEC-RAS نیز اعمال شده است. در جهت پایین‌دست نوع C5b تبدیل به نوع E6b می‌شود که حدود ۳/۴۲ کیلومتر امتداد می‌یابد. یکی از تفاوت‌های بارز این قسمت از رودخانه گیوی چای نسبت به قسمت‌هایی بالادست و پایین‌دست در ارتباط با نوع مواد تشکیل‌دهنده مجرا می‌باشد. در این قسمت از رودخانه گیوی چای رس و سیلت درصد قابل توجهی از مجرای رودخانه را به خود اختصاص می‌دهد (۴۷ درصد رس و سیلت، ۳۸ درصد ماسه و ۱۵ درصد گراول). با توجه به ارزیابی‌های صورت گرفته، درصد زیاد رس و سیلت در این قسمت از رودخانه در ارتباط با فعالیت‌های انسانی و دفع رواناب‌های شهری و عدم لایروبی رودخانه در این قسمت می‌باشد. از نظر شیب مجرا، این قسمت از

رودخانه مشابه قسمت بالادست می‌باشد. در قسمت‌های پایین‌دست بر میزان سینوزیته به طور قابل توجهی افزوده می‌شود و در نتیجه میانگین سینوزیته به حدود ۱/۵۳ افزایش پیدا می‌کند. نسبت عرض به عمق و نسبت گودشدگی در مناطق مسکونی کاهش یافته و برعکس در قسمت‌های با کاربری کشاورزی افزایش پیدا می‌کند. این امر مخصوصاً در پایین‌دست شهر خلخال قابل مشاهده است. در این قسمت‌ها نسبت گودشدگی به حدود ۶ رسیده که نشان‌دهنده پتانسیل پخش سیلاب در گستره وسیعی از دشت سیلابی می‌باشد. این نوع رودخانه رزگن در جهت پایین‌دست تبدیل به نوع E5b به طول حدود ۴/۰۱ کیلومتر می‌شود. در این رابطه، کاهش نسبی شیب و تغییر نوع مواد بستر از دلایل اصلی تبدیل نوع E6b به E5b بوده است. مواد بستر در این قسمت از مجرای رودخانه گیوی چای عمدتاً شامل ماسه می‌باشد (حدود ۶۱ درصد). همچنین افزایشی در سینوزیته و نسبت گودشدگی دیده می‌شود. این قسمت از رودخانه گیوی چای دارای الگوی مئاندری بیش از حد توسعه یافته بوده و میانگین سینوزیته آن به حدود ۱/۶۴ بالغ می‌شود. مئاندرها از نوع آزاد بوده و با توجه به تصاویر ماهواره‌ای، فعال و دارای دینامیک جانبی می‌باشند. میانگین نسبت گودشدگی حدود ۷/۳ محاسبه گردید که نشان‌دهنده وجود دشت سیلابی توسعه یافته و پتانسیل بالای پخش سیلاب (مخصوصاً سیلاب‌های با دوره بازگشت بیشتر از ۲۵ سال) می‌باشد. نسبت عرض به عمق با استفاده از خروجی مدل HEC-RAS حدود ۱۱/۴ محاسبه شد. این امر نشان می‌دهد که علی‌رغم وجود دشت سیلابی وسیع، مجرای رودخانه از عرض زیادی برخوردار نیست. در نهایت نوع E5b در انتهای بازه (۱) تبدیل به نوع C4 می‌شود. در این قسمت از بازه خلخال، دشت سیلابی نسبت به قسمت‌های بالادست کاهش پیدا می‌کند. به دلیل دریافت چندین انشعاب از نواحی مرتفع نسبت گراول در مواد تشکیل‌دهنده مجرای رودخانه افزایش قابل توجهی پیدا می‌کند (حدود ۶۹ درصد گراول). الگوی رودخانه همچنان مئاندری توسعه یافته بوده و میانگین سینوزیته بالغ بر ۱/۵۴ محاسبه گردید. از نظر نسبت عرض به عمق و گودشدگی، این قسمت از رودخانه گیوی چای مشابه نوع C5b در بالادست بازه می‌باشد.



شکل ۱۰: مقطع نوع C در بازه خلخال

Fig. 10: Type C cross-section in the Khalkhal reach



شکل ۱۱: مقطع نوع E در بازه خلخال

Fig. 11: Type E cross-section in the Khalkhal reach



شکل ۱۲: پلان فرم نوع C در بازه خلخال

Fig. 12: Planform of Type C channel in the Khalkhal reach



شکل ۱۳: پلان فرم نوع E در بازه خلخال

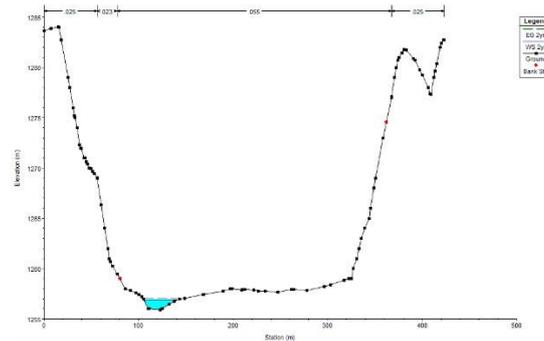
Fig. 13: Planform of Type E channel in the Khalkhal reach

B3 و B4 قابل تفکیک است (برای نمونه؛ شکل‌های ۱۴ تا ۱۷). در ابتدای بازه سد گیوی رودخانه گیوی چای در دره‌ای

انواع اصلی رودخانه در بازه سد گیوی (بازه ۲) شامل دو نوع B و C می‌باشد که در جهت جریان به انواع فرعی B4، B5b،

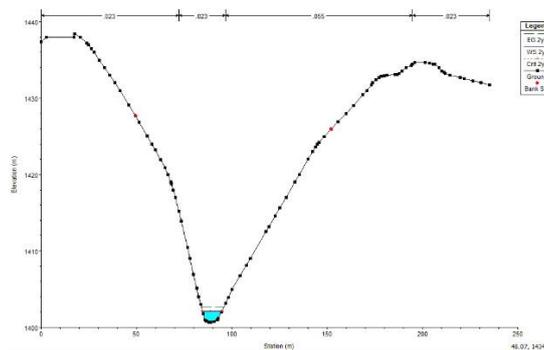
تنگ و کم‌عرض به طول ۳/۵۱ کیلومتر جریان پیدا می‌کند. این قسمت از رودخانه با توجه به سنج‌های مدل رزگن از نوع B4 می‌باشد. رودخانه‌های نوع B کانال‌هایی با گودشدگی و نسبت عرض به عمق متوسط، ناهمواری و شیب متوسط تا ملایم، مورفولوژی بستر با غلبه خیزآب و حوضچه‌های اتفاقی، پلان و نیم‌رخ بسیار پایدار و کناره‌های پایدار و تثبیت شده می‌باشند. این نوع کانال‌ها در دره‌های تنگ با شیب متوسط تا کم شکل می‌گیرند. در این قسمت از رودخانه گیوی‌چای نسبت گودشدگی از ۱/۵ تا ۲/۱ متغیر است که نشان‌دهنده فقدان یا محدود بودن دشت سیلابی می‌باشد. نسبت عرض به عمق با توجه به مورفولوژی بستر و عرض متغیر دره دارای تغییرپذیری مکانی بالایی می‌باشد؛ با این حال، این نسبت در اکثریت قریب به اتفاق مقاطع کمتر از ۱۲ می‌باشد. شیب سطح آب در دامنه بین ۱/۹ تا ۴ درصد متغیر است. مواد تشکیل دهنده بستر نیز همانند نوع قبلی (انتهای بازه خلخال) دارای درصد بیشتری گراول می‌باشد (حدود ۶۳ درصد). در این قسمت از رودخانه گیوی‌چای، رس و سیلت درصد محدودی از رسوبات بستر را تشکیل می‌دهند (حدود ۲ درصد). از طرف دیگر، درصد قلوه‌سنگ (پیل) نسبت به بازه خلخال افزایش نشان می‌دهد. نوع B4 در جهت پایین‌دست به نوع C5b تبدیل می‌شود که در حدود ۴/۳۸ کیلومتر امتداد پیدا می‌کند. در این قسمت، عرض دره افزایش پیدا کرده و در نتیجه دشت سیلابی نسبتاً عریض و توسعه‌یافته ای در داخل دره شکل گرفته است. شیب این قسمت از رودخانه در دامنه بین ۱/۸ تا ۴/۱ درصد متغیر می‌باشد. دسترسی به منابع آب و خاک موجود در دشت سیلابی شرایط مناسبی را برای فعالیت‌های کشاورزی فراهم نموده است. به همین دلیل بستر دره به صورت فشرده‌ای به کاربری کشاورزی آبی اختصاص یافته است. در این قسمت از رودخانه گیوی‌چای نسبت گودشدگی از حداقل ۲/۱ تا حداکثر ۶/۷ متغیر است. میانگین این نسبت حدود ۵/۳ محاسبه گردید. میانگین نسبت عرض به عمق نیز حدود ۱۶/۷ حاصل شد. در این قسمت از رودخانه میزان سینوزیته حدود ۱/۳۶ محاسبه شد. به واقع، وجود دشت سیلابی وسیع باعث شده است که الگوی رودخانه از نوع ماندری توسعه یافته باشد. با توجه به تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه می‌توان گفت که مائدرهای این قسمت از رودخانه فعال

بوده و دارای تحرک جانبی می‌باشند. مواد تشکیل دهنده بستر رودخانه عمدتاً شامل ماسه و گراول می‌باشد که درصد ماسه اندکی بیشتر از گراول می‌باشد (ماسه حدود ۳۹ درصد و گراول حدود ۳۸ درصد). همچنین در این قسمت مقدار رس و سیلت افزایش پیدا کرده است. این امر را تا حدودی می‌توان به فرسایش خاک‌های کشاورزی کناره‌ها (مخصوصاً در کناره‌های خارجی خم مائدرها) نسبت داد. از انتهای این نوع از رودخانه تا انتهای بازه (۲) رودخانه گیوی‌چای از نوع اصلی B می‌باشد که با توجه به نوع مواد بستر به دو نوع فرعی B3 و B4 قابل تفکیک است. این نوع از رودخانه‌ها نشان‌دهنده وجود دره‌ای تنگ و کم‌عرض و محدود بودن دشت سیلابی می‌باشند. رودخانه گیوی‌چای در این قسمت از مسیر حرکت خود در دره‌ای باریک با ناهمواری‌های حجیم مجاور جریان پیدا می‌کند. درجه ناهمواری بالا در نقشه شیب منطقه (شکل ۴) نیز به روشنی قابل مشاهده است. نوع B3 بعد از نوع C5b به طول حدود ۸/۲۸ کیلومتر شکل گرفته است. شیب این قسمت بین ۲ تا ۴ درصد در نوسان است. در این قسمت به دلیل عرض کم دره و محدود بودن دشت سیلابی قابل پیش‌بینی است که نسبت گودشدگی ارقام پایینی را نشان دهد. با تقسیم عرض سیل‌گیری ۵۰ ساله به ۲ ساله در مقاطع مختلف میانگین این نسبت حدود ۲/۱ محاسبه گردید. نسبت عرض به عمق نیز با میانگین ۱۴/۳ نشان‌دهنده عرض نسبتاً کم مجرای رودخانه می‌باشد. در این قسمت چندین انشعاب وارد مجرای رودخانه گیوی‌چای می‌شوند. انشعابات مذکور دارای حوضه آبگیر نسبتاً وسیع و بسیار پرشیبی بوده و حجم قابل توجهی از رسوبات درشت‌دانه را وارد مجرای رودخانه می‌سازند. به همین دلیل بستر رودخانه عموماً پوشیده از قلوه‌سنگ می‌باشد که تنها در طی دی‌های زیاد قادر به جابجایی می‌باشند. در جهت پایین‌دست، نوع B3 تبدیل به نوع B4 می‌شود. این دو نوع رودخانه از نظر بسیاری از ویژگی‌های مورفولوژیکی مشابه هم می‌باشند. تفاوت اساسی مربوط به نوع مواد بستر رودخانه می‌باشد. در این قسمت از مجرای رودخانه گیوی‌چای غلبه با مواد با اندازه گراول می‌باشد. از نظر سایر ویژگی‌ها این قسمت از رودخانه شبیه قسمت بالادست بوده و به همین دلیل از توضیحات بیشتر اجتناب می‌شود.



شکل ۱۴: مقطع نوع C در بازه سد گیوی

Fig. 14: Type C cross-section in the Givi Dam reach



شکل ۱۵: مقطع نوع B در بازه سد گیوی

Fig. 15: Type B cross-section in the Givi Dam reach



شکل ۱۶: پلان فرم نوع C در بازه سد گیوی

Fig. 16: Planform of Type C channel in the Givi Dam reach

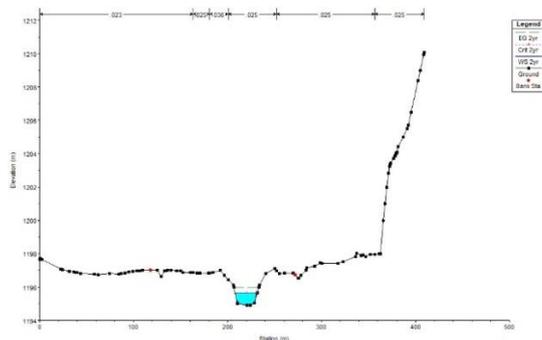


شکل ۱۷: پلان فرم نوع B در بازه سد گیوی

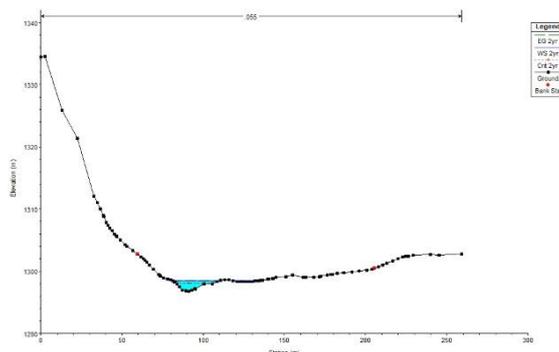
Fig. 17: Planform of Type B channel in the Givi Dam reach

مورفولوژی مجرای رودخانه است. رودخانه‌های نوع D کانال‌های گیسوئی با پشته‌های طولی و عرضی، بسیار عریض با کناره‌های فرسایشی می‌باشند. این رودخانه‌ها همراه با دره‌های وسیع توام با مخروط‌افکنه‌های آبرفتی و کوه‌رفتی، تنظیم جانبی فعال و فراوانی عرضه رسوب می‌باشند. بدین ترتیب، در این قسمت از مجرای رودخانه گیوی چای شرایط ژئومورفولوژیکی دستخوش تغییرات زیادی می‌شود. کاهش قابل توجه درجه ناهمواری، عرض زیاد دره و دشت سیلابی، ورود انشعابات متعدد پرآب و حضور مواد فرسایش‌پذیر در کناره‌های رودخانه را می‌توان مهم‌ترین عوامل موثر در شکل‌گیری نوع D4b در این قسمت از مجرای رودخانه گیوی چای به شمار آورد. شیب رودخانه در این قسمت بین ۲ تا ۴ درصد متغیر بوده و مواد تشکیل‌دهنده مجرای رودخانه عمدتاً شامل گراول همراه با ماسه می‌باشد. نسبت گودشدگی در اکثر مقاطع بیش از ۷ بوده و نسبت عرض به عمق با مقادیر قابل توجه ۵۰ و بیشتر مشخص می‌شوند. در جهت پایین‌دست نوع D4b تبدیل به نوع C4 با طول حدود ۲ کیلومتر می‌شود. قبلاً در مورد این نوع از رودخانه‌ها مطالبی بیان شده و در نتیجه از توضیحات بیشتر اجتناب می‌شود. مجدداً در جهت پایین‌دست نوع C4 تبدیل به نوع D4 با طول تقریبی ۲/۶۸ کیلومتر می‌شود. شرایط ژئومورفولوژیکی این قسمت از رودخانه گیوی چای نیز تا حد زیادی مشابه نوع D4b در بالا دست می‌باشد. این حال، میزان شیب در این قسمت کمتر از ۲ درصد می‌باشد. مطابق شبیه‌سازی سیلاب با استفاده از مدل HEC-RAS در این قسمت از مجرای رودخانه گیوی چای بیشترین پتانسیل پخش سیلاب وجود دارد. عرض سیل‌گیری ۵۰ ساله در برخی از مقاطع به حدود ۴۲۵ متر نیز می‌رسد. به همین دلیل نسبت گودشدگی دارای مقادیر بالایی می‌باشد. نسبت عرض به عمق نیز همانند نوع D4b بیشتر از ۴۰ می‌باشد. وجود گراول همراه با ماسه در کناره‌ها باعث افزایش قابل توجه دینامیک جانبی مجرا شده و کناره‌ها به شدت ناپایدارند. نوع D4 در جهت پایین‌دست تبدیل به نوع C4 می‌شود که این نوع رودخانه‌ها قبلاً مورد بحث قرار گرفته است.

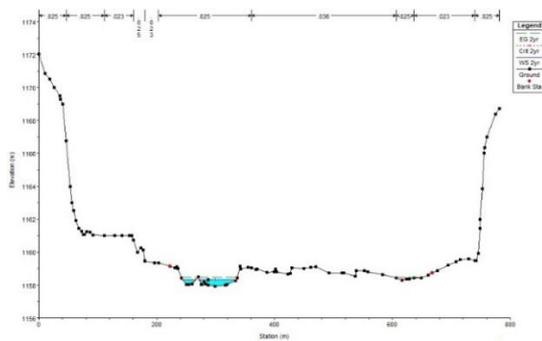
در بازه گیوی (بازه ۳) بر اساس سیستم طبقه‌بندی رزگن سه نوع اصلی رودخانه شامل E، C و D شکل گرفته است. انواع فرعی در جهت پایین‌دست به ترتیب شامل E5، C5، D4b، C4، D4 و C4 می‌باشند (برای نمونه؛ شکل‌های ۱۸ تا ۲۳). در ابتدای بازه گیوی به طول حدود ۷/۸۲ کیلومتر، رودخانه از نوع E5 می‌باشد. این بخش از رودخانه گیوی چای دارای دشت سیلابی عریض (به عرض تقریباً ۵۰۰ متر) و الگوی مئاندری توسعه یافته است. رودخانه‌های نوع E دارای دره وسیع، دشت سیلابی، مواد آبرفتی، شیب کم، الگوی مئاندری، سینوسی بالا، مورفولوژی بستر خیزآب - حوضچه، نسبت عرض به عمق پایین، گودشدگی ملایم، رسوب‌گذاری اندک و کناره‌های پایدار با پوشش گیاهی خوب می‌باشند. تمامی ویژگی‌های مذکور در این قسمت از رودخانه گیوی چای به روشنی قابل مشاهده است. در این قسمت شیب رودخانه بین ۰/۹۲ تا ۲ درصد متغیر است. همانگونه که در شکل (۷) نیز به روشنی مشخص است نسبت گودشدگی (نسبت عرض سیل‌گیری ۵۰ ساله به ۲ ساله) در این بازه دارای ارقام بالایی است. میانگین این نسبت در حدود ۷/۶ محاسبه گردید. با این حال نسبت عرض به عمق در اغلب مقاطع کمتر از ۱۰ می‌باشد. این قسمت از رودخانه گیوی چای با مقادیر بالای زاویه مرکزی و سینوزیته مشخص می‌شود. در این رابطه میانگین سینوزیته در این قسمت از رودخانه حدود ۱/۶۳ می‌باشد که معرف رودخانه‌های مئاندری توسعه یافته است. مواد تشکیل‌دهنده بستر رودخانه عمدتاً شامل ماسه و به مقدار کمتر گراول می‌باشد. در جهت پایین‌دست نوع E5 تبدیل به نوع C5 با طول حدود ۲/۶۴ کیلومتر می‌شود. همانند بسیاری از بخش‌های رودخانه گیوی چای، ساختمان زمین‌شناسی نقش قابل توجهی در ایجاد نوع رودخانه C5 داشته است. شیب این قسمت بین ۰/۴ تا ۲/۱ درصد متغیر است. سینوزیته حدود ۱/۲۱، میانگین نسبت گودشدگی حدود ۷/۸، میانگین نسبت عرض به عمق بالغ بر ۱۸ و مواد تشکیل‌دهنده مجرا عمدتاً ماسه می‌باشد. این نوع در جهت پایین‌دست تبدیل به نوع D4b با طولی در حدود ۳/۱۵ کیلومتر می‌شود که نشان‌دهنده تغییرات چشمگیر در



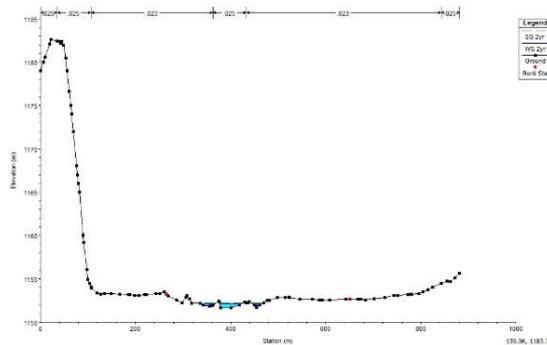
شکل ۱۸: مقطع نوع E در بازه گیوی
 Fig. 18: Type E cross-section in the Givi reach



شکل ۱۹: مقطع نوع C در بازه گیوی
 Fig. 19: Type C cross-section in the Givi reach



شکل ۲۰: مقطع نوع D4b در بازه گیوی
 Fig. 20: Type D4b cross-section in the Givi reach



شکل ۲۱: مقطع نوع D4 در بازه گیوی
 Fig. 21: Type D4 cross-section in the Givi reach



شکل ۲۲: پلان فرم نوع C در بازه گیوی

Fig. 22: Planform of Type C channel in the Givi reach



شکل ۲۳: پلان فرم نوع D در بازه گیوی

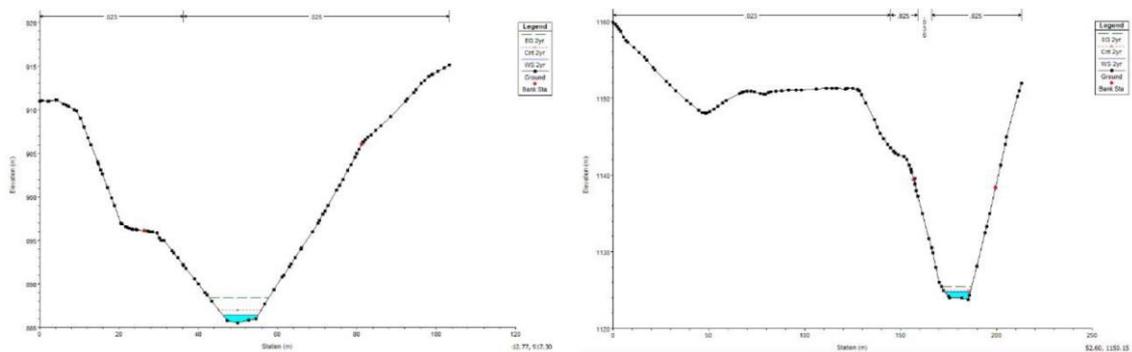
Fig. 23: Planform of Type D channel in the Givi reach

سیلابی در این بازه می‌باشد. این امر به وضوح با توجه به توزیع شیب منطقه (شکل ۴) و نقشه پهنا بندی سیلاب (شکل ۷) قابل مشاهده است. نسبت عرض به عمق نیز در اکثر مقاطع با مقادیر نزدیک به ۱۳ مشخص می‌شود. نوع B4 در جهت پایین دست تبدیل به نوع B3a به طول حدود ۶/۹۶ کیلومتر می‌شود. این قسمت از رودخانه از نظر پلان فرم، نسبت گودشدگی و نسبت عرض به عمق تقریباً مشابه قسمت فوق‌الذکر می‌باشد. در این رابطه، میزان سینوسیته حدود ۱/۶، میانگین نسبت گودشدگی ۱/۹ و میانگین نسبت عرض به عمق حدود ۱۲/۴ محاسبه گردید. با این حال، در این قسمت میزان شیب افزایش پیدا می‌کند و در دامنه بین ۴ تا ۶ درصد نوسان دارد. همچنین در رابطه با مواد تشکیل دهنده بستر، غلبه با قلوه‌سنگ‌ها می‌باشد. این امر در ارتباط با ناهمواری‌های پرشیب مجاور رودخانه است که هم انشعابات با رسوبات دانه‌درشت را وارد مجرای رودخانه می‌سازند و هم برخی از مواد در نتیجه فرایندهای دامنه‌ای به صورت مستقیم به بستر مجرای رودخانه سقوط می‌کنند. در نهایت نوع B3a تبدیل به نوع B3 با طول حدود ۵/۵۶ کیلومتر می‌شود. این قسمت از رودخانه نیز از نظر

رودخانه گیوی چای در بازه فیروزآباد (بازه ۴) در دره‌ای تنگ و باریک جریان پیدا می‌کند. کل این بازه بر اساس سیستم طبقه‌بندی رزگن از نوع اصلی B می‌باشد که با توجه به شیب و مواد تشکیل دهنده بستر در جهت پایین دست به سه نوع فرعی B3 و B3a، B4 قابل تفکیک است (برای نمونه؛ شکل‌های ۲۴ و ۲۵). ابتدای این بازه از نوع B4 به طول حدود ۸/۶۸ کیلومتر می‌باشد. قبلاً در رابطه با ویژگی‌های رودخانه‌های نوع B مطالبی بیان گردید. شیب این قسمت از رودخانه بین ۲ تا ۴ درصد در نوسان بوده و مواد غالب تشکیل دهنده بستر نیز بر اساس فراوانی به ترتیب شامل گراول، قلوه‌سنگ و ماسه می‌باشد. علی‌رغم عرض بسیار کم دره و فقدان یا محدود بودن دشت سیلابی، الگوی رودخانه از نوع مئاندری توسعه یافته می‌باشد. میزان سینوزیته حدود ۱/۸ محاسبه گردید که جزو بالاترین میزان سینوزیته در کل امتداد رودخانه گیوی چای محسوب می‌شود. مئاندرهای این قسمت از نوع محصور و پایدار بوده و در کنترل ساختمان زمین‌شناسی می‌باشند. نسبت گودشدگی در اکثر مقاطع بین ۱/۵ تا ۲/۱ متغیر می‌باشد. مقادیر پایین این پارامتر در ارتباط مستقیم با فقدان دشت

میزان سینوزیته و زاویه مرکزی به صورت ناگهانی کاهش پیدا کرده و الگوی رودخانه متمایل به شبه‌مئاندری می‌شود. میزان سینوزیته این قسمت حدود ۱/۱۸ محاسبه گردید.

سنجه‌های نسبت گودشدگی، نسب عرض به عمق و مواد تشکیل‌دهنده بستر مشابه قسمت بالادست می‌باشد. تفاوت اساسی مربوط به کاهش قابل توجه شیب و مخصوصاً سینوزیته می‌باشد. در این قسمت از رودخانه گیوی چای



شکل ۲۴: مقاطع نوع B در بازه فیروزآباد

Fig. 24: Type B cross-sections in the Firouzabad reach



شکل ۲۵: پلان فرم نوع B در بازه فیروزآباد

Fig. 25: Planform of Type B channel in the Firouzabad reach

شده و تحرک جانبی آنها به میزان قابل توجهی محدود شده است. از این رو، این بازه در حالت نسبتاً پایدار از نظر تحرک جانبی و فرسایش کناره قرار دارد. براساس سیستم رزگن، این بازه به دو نوع اصلی C و E و چهار نوع فرعی C5b، E5b، E6b و C4 طبقه‌بندی گردید. رودخانه‌های نوع C4 و C5 به دلیل ساختار رسوبی و شرایط هندسی، نسبت به آشفستگی‌های طبیعی (مانند سیلاب‌ها) و انسانی (نظیر دستکاری‌های کاربری زمین) حساسیت بالایی دارند. در این نوع آبراهه‌ها، تأمین و عرضه رسوب در سطح بالایی قرار داشته و به همین دلیل در برابر فرسایش کناره آسیب‌پذیری زیادی دارند. نقش پوشش گیاهی در پایداری این آبراهه‌ها بسیار مهم است و کاهش تراکم پوشش گیاهی می‌تواند فرآیندهای تخریبی را تشدید کند. در محدوده شهری خلخال، مداخلات انسانی از جمله ساخت‌وسازها و تغییر مسیر طبیعی جریان سبب شده که عملکردهای طبیعی

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، مجرای رودخانه گیوی چای، واقع در استان اردبیل، با بهره‌گیری از سیستم طبقه‌بندی سلسله‌مراتبی رزگن و مدل عددی HEC-RAS مورد ارزیابی قرار گرفت. این رودخانه به دلیل وجود کنترل‌های طبیعی و انسانی از تنوع و تغییرپذیری مورفولوژیکی قابل توجهی برخوردار است که بررسی دقیق این تغییرات برای مدیریت پایدار منابع آب و کنترل فرسایش اهمیت ویژه‌ای دارد. بر اساس ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی و الگوهای غالب، رودخانه گیوی چای به چهار بازه اصلی شامل خلخال، سد گیوی، گیوی و فیروزآباد تقسیم‌بندی شد. بازه خلخال (بازه ۱) منطبق بر یک دشت سیلابی توسعه یافته بوده و الگوی جریان آن از نوع مئاندری توسعه یافته می‌باشد. با این حال، مئاندرهای موجود به علت دخالت‌های انسانی، نظیر احداث سازه‌ها و کنترل‌های مستقیم بر مسیر رودخانه، غیرفعال

این بازه نیز از پتانسیل احیا و بازسازی بسیار مطلوبی برخوردار است. جلوگیری از تخریب پوشش گیاهی رودکنار (مخصوصاً درختچه‌ها) منجر به حفظ پایداری این بازه خواهد شد. بازه گیوی (بازه ۳) دارای دشت سیلابی توسعه یافته بوده و بر اساس سیستم رزگن، سه نوع اصلی E، C و D در آن شناسایی شد. این انواع به ترتیب شامل زیرگونه‌های E5، C5، D4b، C4، D4 و C4 می‌باشند. یکی از ویژگی‌های برجسته این بازه، وجود الگوهای گیسوئی است که شامل انواع D4b و D4 می‌باشد. این نوع رودخانه‌ها نسبت به تغییرات طبیعی (نظیر سیلاب‌های شدید) و مداخلات انسانی بسیار حساس هستند. علاوه بر این، میزان عرضه و تأمین رسوب در آنها بالا بوده و در نتیجه، فرسایش کناره با شدت بیشتری رخ می‌دهد. پوشش گیاهی در این بازه نقش تثبیت‌کننده دارد، اما به دلیل ماهیت پرتحرک رودخانه، تأثیر آن محدود است. پتانسیل احیای این رودخانه‌ها در مقایسه با سایر انواع پایین‌تر بوده و لازم است حریم رودخانه به دقت رعایت شود و از هرگونه دستکاری به‌ویژه تغییر کاربری اراضی اجتناب گردد. در این بازه سیلاب‌ها نقش قابل توجهی در مورفولوژی مجرا و افزایش ناپایداری کناره‌ها برعهده دارند. بدین ترتیب، اقدامات سازه‌ای و غیرسازه‌ای برای مقابله با سیلاب‌های مخرب لازم و ضروری می‌باشد. کل بازه فیروزآباد (بازه ۴) از نوع اصلی B بوده که در جهت پایین‌دست به سه نوع فرعی B3a، B4 و B3 تفکیک گردید. ویژگی مشترک این نوع از آبراهه‌ها، پایداری نسبی در برابر فرسایش و حساسیت متوسط به تغییرات محیطی است. این بازه نیز از ظرفیت مطلوبی برای مدیریت و بازسازی برخوردار می‌باشد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از حمایت‌های مادی و معنوی دانشگاه فردوسی مشهد که انجام این پژوهش را امکان‌پذیر ساخت، صمیمانه قدردانی می‌شود.

رودخانه تا حد زیادی مختل گردد. با وجود این، یکی از ویژگی‌های مثبت این بازه پتانسیل بازسازی بسیار بالای آن است؛ به‌طوری که با مدیریت صحیح و اجرای طرح‌های حفاظتی، امکان احیای کارکردهای طبیعی رودخانه وجود دارد. به عنوان نمونه، احداث پارک‌های رودکناری در این بازه می‌تواند گامی مؤثر در جهت حفاظت و بازسازی بستر و حریم رودخانه محسوب شود. در این محدوده، رودخانه‌های نوع E4 و E5 نیز شناسایی شدند که نسبت به آشفستگی حساسیت بالایی دارند. در این نوع رودخانه‌ها، میزان عرضه رسوب در سطح متوسط قرار دارد اما همچنان نسبت به فرسایش کناره آسیب‌پذیرند. پوشش گیاهی نقش کلیدی در تثبیت این نوع رودخانه‌ها ایفا می‌کند. هرچند این رودخانه‌ها دارای پتانسیل بازسازی هستند، اما این ظرفیت در مقایسه با رودخانه‌های نوع C کمتر است. کنترل کاربری اراضی و جلوگیری از تخریب پوشش گیاهی رودکنار گامی مهم در راستای پایداری این بازه‌ها محسوب می‌شود. بازه سد گیوی (بازه ۲) دارای ماهیت کوهستانی بوده و در بیشتر بخش‌ها، رودخانه در یک دره تنگ و باریک جریان دارد. بر اساس طبقه‌بندی رزگن، این بازه به دو نوع اصلی B و C و چهار نوع فرعی B4، C5b، B3 و B4 تقسیم‌بندی گردید. از جمله بخش‌های مهم این بازه، محدوده روستای اناوین است که در آن، نوع C5b با طول تقریبی ۴/۴ کیلومتر شکل گرفته است. در این قسمت، عرض دره افزایش یافته و یک دشت سیلابی نسبتاً وسیع پدید آمده است. نظارت بر کاربری اراضی، حفظ و توسعه پوشش گیاهی و احداث سیل‌بندها می‌تواند باعث افزایش پایداری مورفولوژیکی این قسمت از رودخانه شود. سایر بخش‌های بازه دوم عمدتاً از نوع اصلی B هستند که با توجه به شیب و مواد بستر به انواع فرعی تفکیک شده‌اند. در این بازه، تیپ‌های B3 حساسیت پایینی به آشفستگی دارند و میزان تأمین رسوب در آنها پایین است، در حالی که مقاطع نوع B4 از نظر حساسیت و عرضه رسوب در سطح متوسط قرار دارند. هر دو نوع، از نظر فرسایش کناره نسبتاً پایدار بوده و نقش پوشش گیاهی در کنترل آنها در سطح متوسط است.

پانویس

- 1-Restoration
- 2-Maintenance
- 3-Entrenchment

- 4-Wolman
- 5-Hydrologic Engineering Center
- 6-Riffle-Pool

References

- Alabbad, Y. and Demir, I., 2022. Comprehensive flood vulnerability analysis in urban communities: Iowa case study. *International journal of disaster risk reduction*, v. 74, 102955. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.102955>
- Briaud, J.L., Chen, H.C., Chang, K.A., Chung, Y.A., Park, N., Wang, W. and Yeh, P.H., 2007. Establish Guidance for Soils Properties—Based Prediction of Meander Migration Rate (No. FHWA/TX-07/0-4378-1). <https://static.tti.tamu.edu/tti.tamu.edu/document/s/0-4378-1.pdf>
- Brunner, G.W., 2010. HEC-RAS river analysis system: hydraulic reference manual. Davis, CA: US Army Corps of Engineers. Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center.
- Davis, W.M., 1895. The development of certain English rivers. Éditeur inconnu. <https://doi.org/10.2307/1773569>
- Davis, W.M., 1973. The geographical cycle. In *Climatic geomorphology* (p. 19-50). Palgrave, London. <https://doi.org/10.2307/1774538>
- Dey, S., Saksena, S. and Merwade, V., 2019. Assessing the effect of different bathymetric models on hydraulic simulation of rivers in data sparse regions. *Journal of Hydrology*, v. 575, p. 838-851. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.05.085>
- Esfandiyari Darabad, F., Bakhshandeh, R., Rahimi, M., Haji, K. and Mostafazadeh, R., 2020. Geomorphological classification and analysis of Hamzekhanloo River using the Rosgen classification model. *Hydrogeomorphology*, v. 7(25), p. 39-59 (In Persian). <https://doi.org/10.22034/hyd.2021.39301.1527>
- Esmaeili, R. and Hosseinzadeh, M.M., 2015. Comparison of Rosgen and River Styles Framework methods in mountainous rivers: A case study of the Lavij Watershed, Northern Alborz. *Researches in Earth Sciences*, v. 6(1), p. 64-79 (In Persian). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20088299.1394.6.1.5.9>
- Federal Interagency Stream Restoration Working Group (US). 2001. Stream corridor restoration: Principles, processes, and practices. Federal Interagency Stream Restoration Working Group. [https://doi.org/10.1061/40382\(1998\)55](https://doi.org/10.1061/40382(1998)55)
- Geravand, F., Hosseini, S.M., Jafar Beglou, M. and Pirani, P., 2020. Study in vulnerable areas of Kashkan River using channel stream classification as Rosgen model (Case study: Downstream area of the Shiravand basin). *Quantitative Geomorphology Research*, v. 9(2), p. 128-140 (In Persian). <https://doi.org/10.22034/gmpj.2020.118229>
- Gob, F., Thommeret, N., Bilodeau, C., Tamisier, V., Riviere, R. and Kreutzenberger, K., 2025. Assessing the morphological alteration of river reaches from 15 years of measurements: French hydromorphological database and indicators (Carhyce). *Geomorphology*, v. 479, 109737. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2025.109737>
- Ioana-Toroimac, G., 2018. Outcomes of the hydromorphology integration in the Water Framework Directive: A review based on science mapping. *Journal of Environmental Management*, v. 206, p. 1135-1144. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.078>
- Islam, M.R., Mohonto, S. and Noor, F., 2025. Evolution of Char lands in the Padma River in Bangladesh and its impacts on planform morphology of the river. *Results in Earth Sciences*, v. 3, 100075. <https://doi.org/10.1016/j.rines.2025.100075>
- Juracek, K.E. and Fitzpatrick, F.A., 2003. Limitations and implications of stream classification 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, v. 39(3), p. 659-670. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2003.tb03683.x>
- Kemper, J.T., Rathburn, S.L., Mueller, E.R., Wohl, E. and Scamardo, J., 2023. Geomorphic response of low-gradient, meandering and braided alluvial river channels to increased sediment supply. *Earth-Science Reviews*, v. 241, 104429. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2023.104429>
- Kheirizadeh Arough, M., Rezaei Moghaddam, M.H., Daneshfaraz, R. and Rajabi, M., 2018. Morphological analysis of Zarrineh-Roud River using Rosgen model. *Physical Geography Research*, v. 10, p. 101-122 (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jphgr.2018.218965.1006956>
- Kondolf, G.M. and Piégay, H., 2003. Tools in fluvial geomorphology. Problem statement and recent practice (p. 3-22). Chichester, Wiley. <https://doi.org/10.1002/0470868333.ch1>
- Leopold, L.B. and Wolman, M.G., 1970. River channel patterns. In *Rivers and river terraces* (p. 197-237). London: Palgrave Macmillan UK. <https://doi.org/10.3133/pp282B>
- Li, L., Knapp, J.L., Lintern, A., Ng, G.H.C., Perdrial, J., Sullivan, P.L. and Zhi, W., 2024. River water quality shaped by land-river connectivity in a changing climate. *Nature Climate Change*, v. 14(3), p. 225-237. <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01923-x>
- Li, P., Gao, H., Li, Z., Wu, Y., Liu, F., Yan, T. and Chen, Y., 2024. Rosgen stream classification and fluvial processes of the Shiyang River, China. *Journal of Mountain Science*, v. 21(11), p. 3886-3897. <https://doi.org/10.1007/s11629-024-8812-8>
- Martin, D.J., 2005. Geospatial analysis of gravel bar deposition and channel migration within the Ozark national scenic riverways, Missouri

- (1955-2003).
<https://bearworks.missouristate.edu/theses/2133>
- Mehrvarz, A., Madadi, A., Esfandyari, F. and Rahimi, M., 2025. Morphological Analysis of Dare OUrt River Channel by the Rozgen Model (Case Study: Emarat Dam to the Confluence of Aras River). *jgs.*, v. 25(76), p. 178-193 (In Persian). <http://jgs.khu.ac.ir/article-1-3756-en.html>
- Merwade, V., Demir, I., Muste, M., Cox, A.L., Minear, J.T., Sermet, Y. and Liang, C.Y., 2025. Towards an open and integrated cyberinfrastructure for river morphology research in the big data era. *Environmental Modelling & Software*, v. 183, 106240. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2024.106240>
- Miall, A.D., 1977. A review of the braided-river depositional environment. *Earth-Science Reviews*, v. 13(1), p. 1-62. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(77\)90055-1](https://doi.org/10.1016/0012-8252(77)90055-1)
- Montgomery, D.R. and Buffington, J.M., 1997. Channel-reach morphology in mountain drainage basins. *Geological Society of America Bulletin*, v. 109(5), p. 596-611. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1997\)109<0596:crmimd>2.3.co;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1997)109<0596:crmimd>2.3.co;2)
- Natural Resources Conservation Service, 2008. Stream restoration design (National Engineering Handbook 654), Technical Supplement 3E: Rosgen stream classification technique—Supplemental materials. United States Department of Agriculture.
- 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*, v. 31(13), p. 1606-1624. <https://doi.org/10.1002/esp.1430>
- Powell, J.W., 1875. Exploration of the Colorado River of the West and its Tributaries. <https://doi.org/10.3133/70039238>
- Qian, N., 1985. On the Discussion of River Classification and Causes Problem. *Acta Geographica Sinica*, v. 40(1), p. 1-10. <https://doi.org/10.11821/xb198501001>
- Rajabi, M., Roostaei, S. and Barzkar, M., 2021. Morphological classification and stability of Zab River channel using Rosgen method. *Journal of Geography and Planning*, v. 25(75), p. 141-155 (In Persian). <https://doi.org/10.22034/gp.2021.10858>
- Rezaei Moghaddam, M.H., Nikjoo, M.R., Yasi, M. and Rahimi, M., 2017. Geomorphological analysis of Gara Sou River channel using hierarchical Rosgen model (From Sabalan Dam to confluence of Ahar-Chay River). *Quantitative Geomorphology Research*, v. 6(2), p. 1-14 (In Persian). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22519424.1396.6.2.1.0>
- Richard, G.A., 2001. Quantification and prediction of lateral channel adjustments downstream from Cochiti Dam, Rio Grande, New Mexico. Colorado State University.
- Rosgen, D.L., 1994. A classification of natural rivers. *Catena*, v. 22(3), p. 169-199. [https://doi.org/10.1016/0341-8162\(94\)90001-9](https://doi.org/10.1016/0341-8162(94)90001-9)
- Rosgen, D.L., 1997(May). A geomorphological approach to restoration of incised rivers. In *Proceedings of the conference on management of landscapes disturbed by channel incision* (v. 1, p. 12-29). Oxford, MS, USA: University of Mississippi.
- Rust, B.R., 1977. A classification of alluvial channel systems. https://archives.datapages.com/data/dgs/005/005001/187_cspgsp0050187.htm
- Sandipan Chakraborty, S.C. and Kathakali Datta, K.D., 2013. Causes and consequences of channel changes—a spatio-temporal analysis using remote sensing and Gis-Jaldhaka-Diana River system (lower course). <https://doi.org/10.4172/2167-0587.1000107>
- Schumm, S.A., 1963. A tentative classification of alluvial river channels. United States Department of the Interior, Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/cir477>
- Sermet, Y., Liang, C.Y., Dey, S., Muste, M., Merwade, V., Cox, A.L. and Demir, I., 2025. River morphology information system: A web cyberinfrastructure for advancing river morphology research. *Environmental Modelling & Software*, v. 183, 106222. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2024.106222>
- Shroder, J.F., 2013. *Treatise on geomorphology* (v. 1). Academic Press. <https://www.sciencedirect.com/referencework/9780080885223/treatise-on-geomorphology>
- Tate, E. and Maidment, D., 1999. Floodplain mapping using HEC-RAS and ArcView GIS. University of Texas at Austin Center for Research in Water Resources. <http://dx.doi.org/10.26153/tsw/14666>
- Wang, S.J. and Ren, M.D., 1999. A new classification of fluvial rivers according to channel planform and sediment characteristics. *Acta Sedimentologica Sinica*, v. 17, p. 240-246. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-0550.1999.02.013>