



Morphological Analysis of Dare OUrT River Channel by the Rozgen Model(Case Study: Emarat Dam to the Confluence of Aras River)

Arsalan Mehrvarz¹ | Aghil Madadi^{2✉} | Fariba Esfandyai³ Masoud Rahimi⁴

1. PH.D. Student, Department of Physical Goegraphy, University of Mohghegh Ardabil, Iran. **E-mail:** mehrvarzarsalan@gmail.com
2. Corresponding author, Associate Professor of Geomorphology, Faculty of social Sciences, University of Mohghegh ardabil, Iran. **E-mail:** Aghil48madadi@yahoo.com
3. Professor of Geomorphology, Faculty of social Sciences, University of Mohghegh ardabil, Iran. **E-mail:** Fariba.darabad@gmail.com
4. Department of Physical Goegraphy, University of Tabriz, Iran. **E-mail:** Masoud.Rahimi90@ut.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
<p>Article type: Research Article</p> <p>Article history: Received 1399/02/16 Received in revised 1399/04/02 Accepted 1399/05/26 Pre-Published 1399/05/26 Published online 2025/03/21</p> <p>Keywords: Rosegen Model, River morphology, Dare ourt river.</p>	<p>River morphology holds significant importance in the fields of geomorphology and river management and engineering. The marginal sections of rivers have consistently undergone changes in their riverbeds due to various social and economic factors. The Dare Ourt River, located in the Ardabil province, represents a permanent river that has experienced frequent floods and alterations in its channel morphology in recent periods. In this study, the Dare Ourt river was thoroughly analyzed using the Rosegen model at levels one and two. To conduct this study effectively, detaied data such as 1:2000 river topographic maps, hydrometric data, and boundary conditions from the Ardabil Regional Water Authority were collected and utilized. Furthermore, the HEC-RAS hydrodynamic model was employed to extract the primary indices of the Rosegen model with greater accuracy. The outcomes revealed that the majority of the river sections exhibit a C6c type, characterized by an alluvial substrate. Additionally, other dominant types observed within the four examined ranges include B6c, E6b, F6, and D. Field visits also confirmed a transition in the river type from C to F within range 4, which presents challenges for the reconstruction and restoration of the river in type F. As a recommendation, it is advised to implement restrictions to prevent the river from transitioning into type F.</p>

Cite this article: Mehrvarz, Arsalan., Madadi, Aghil., & Esfandyari, Fariba., Rahimi, Masoud. (2025). Morphological Analysis of Dare OUrT River Channel by the Rozgen Model(Case Study: Emarat Dam to the Confluence of Aras River). *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, 25 (76), 178-193. DOI: <http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.76.7>



© The Author(s). Publisher: Kharazmi University
DOI: <http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.76.7>



Extended Abstract

Introduction

The morphology of river canals is a subject of discussion in the fields of geomorphology, engineering, and river management. The riverside and riverbed have consistently been influenced by unique social and economic conditions. River geomorphology serves as the foundation for studies on river channel management (Gregory, K. J., 2006). The banks of the river and the instability of the canal are of great importance due to their impact on the increase in erosion and the morphology of the river canal in flood zones and water management (Minghui, Y et al., 2010). The identification of geomorphic and geological factors that cause riverbed instability is crucial (Reazai moghadam et al., 2012). The variability of cross sections in a river is dependent on numerous factors, and in relatively stable configurations, the rate of change is low, while in canals with complex and relatively active plans, the rate of change is higher. The Dare Ourt River is one of the perennial rivers in Ardabil province, which has encountered floods and changes in the morphology of the canal in recent years.

Material and Methods

In this study, the Dare Court canal was examined utilizing the Rosegen model at levels one and two. To conduct an analysis of the river at levels 1 and 2 of the Rosegen model, the Dare Court River was partitioned into four distinct sections. Subsequently, a total of 146 cross sections were delineated along the river channel. Additionally, the HEC-RAS hydrodynamic model was employed to enhance the precision of the Rosegen model extraction.

Results and Discussion

The reach 1 commences at the base of the Emarat dam, extending along the Qaraqiyeh village canal, encompassing cross sections 1 to 22. According to the Rosegen classification, cross sections 1 to 14 are identified as C6c type, while cross sections 15 and 19 correspond to B6c type. The floodplain is predominantly inundated by floods with a return period of 10 years, subsequently influencing the velocity, intensity, and depth of the river. The range of cross sections spans from 23 (Qaraqiyeh village area) to 60, witnessing a significant expansion of the floodplain area compared to the initial period. The substrate of this range primarily comprises alluvial sediments, thereby diminishing the influence of geological factors. During this period, a substantial portion of the floodplain is subjected to floods with a 25-year return period. The majority of transverse sections within this range are classified as type C, situated on the C6 floor due to the slope and bed material characteristics, with alluvium being the predominant composition. Only cross section No. 35 corresponds to the B6c type. Upon analyzing the Rosegen management table, it is determined that the F6-type river exhibits high sensitivity, low regenerative potential, a significant sediment load, substantial lateral erosion, and moderate vegetation control. Interval 3 begins at cross section 61 and continues until cross section number 97. Throughout this range, the floodplain area experiences a considerable expansion compared to the previous two periods, with certain sections, such as rivers 71 and 81, being encircled by right bank irregularities, resulting in underdeveloped



Kharazmi University

Journal of Applied Researches in Geographical Sciences

Print ISSN: 2228-7736

Online ISSN: 2588-5138

<https://jgs.khu.ac.ir/>



meanders. Ultimately, the energy of the river is low in this range, with a substantial energy loss occurring due to the meanders. Only in limited sections does the depth and power of the river increase. Numerous agricultural and human activities have contributed to the instability of the river, including the reduction of the river's slope and the development of meanders. The results of the Rosegen model analysis reveal that cross sections 98-99-100-102 fall into the E6 type, while cross section 101 is classified as C1c due to the presence of protruding stones. The river then continues as C6c until reaching section 113. Meandering occurs between sections 115 and 118. Sections 122 to 125 are categorized as E6 type, with section 122 being reclassified as Type C due to human interventions.

Conclusion

The predominant branch of the Dare Court River during period 1 belonged to the C6c and B6c branches. The analysis conducted indicated that the characteristics of this river align with the Rosegen model. Within the two river channels observed, there was a prevalence of C6c-F6-D6 types. Throughout this period, approximately 34-35 sections of the river underwent a transformation into wig-shaped formations, while 25 sections transitioned from C-type to F-type. Subsequently, after 96 cross-sections, there was an increase in agricultural activities along the river, leading to the cultivation of crops in its vicinity. Additionally, sediments were deposited along the meander banks during this time, and certain bridges constructed on the river caused disruptions in the waterway. The results obtained from the HEC-GeoRAS model showed that the occurrence of floods with a 25-year return period would expose the outskirts of numerous villages to significant damage.

تحلیل مورفولوژیکی کانال رودخانه دره ائورت با استفاده از مدل رزگن (محدوده

موردمطالعه: از سد عمارت تا تلاقی رودخانه ارس)

ارسلان مهرورز^۱، عقیل مددی^۲، فریبا اسفندیاری^۳، مسعود رحیمی^۴

۱. دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: mehrvarzarsalan@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، دانشیار ژئومورفولوژی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: Aghil48madadi@yahoo.com

۳. استاد ژئومورفولوژی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: fariba.darabad@gmail.com

۴. دانش آموخته دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: Masoud.Rahimi90@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: علمی پژوهشی	مورفولوژی کانال‌های رودخانه‌ها از مباحث کلیدی و مورد توجه در ژئومورفولوژی، مهندسی و مدیریت رودخانه است. بخش‌های حاشیه‌ای رودخانه‌ها به دلیل بهره‌برداری از شرایط خاص اجتماعی و اقتصادی، همواره مورد دست‌اندازی انسان به بستر و حریم رودخانه قرار گرفته‌اند. رودخانه دره ائورت یکی از رودخانه‌های دائمی استان اردبیل می‌باشد که در طی سال‌های اخیر همواره با رخداد سیلاب و تغییرات مورفولوژی مجرا مواجه بوده است. در این پژوهش مجرای رودخانه دره ائورت با استفاده از مدل رزگن در سطح یک و دو مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای تجزیه و تحلیل رودخانه در سطح ۱ و ۲ مدل سلسله مراتبی رزگن از داده‌های نقشه‌برداری زمینی ۱:۲۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ و بازدید میدانی استفاده گردید و رودخانه دره ائورت به ۴ بازه تقسیم‌بندی شد و سپس بر روی مجرای رودخانه ۱۴۶ مقطع عرضی ترسیم گردید. جهت استخراج دقیق تر شاخص‌های اصلی مدل رزگن از مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS نیز استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد که بیشتر بخش‌های رودخانه دره ائورت دارای تیپ C6c با بستر آبرفتی است و سایر تیپ‌های غالب مشاهده شده در بازه‌های چهارگانه مورد بررسی، شامل تیپ‌های B6c-E6b-F6-D می‌باشد. همچنین نتایج بازدیدهای میدانی نشان دهنده تغییر نوع تیپ رودخانه دره ائورت در بازه ۴ از تیپ C به تیپ F است که با توجه به این‌که بازسازی و احیا رودخانه در تیپ F دشوار می‌باشد، پیشنهاد می‌گردد با اعمال محدودیت‌هایی از تبدیل رودخانه به تیپ F جلوگیری به عمل آید.
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۱۶	
تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۰۴/۰۲	
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۲۶	
تاریخ پیش انتشار: ۱۳۹۹/۰۵/۲۶	
تاریخ انتشار آنلاین: ۱۴۰۴/۰۱/۰۱	
کلیدواژه‌ها: مدل رزگن، مورفولوژی رودخانه، رودخانه دره ائورت.	

استناد: مهرورز، ارسلان؛ مددی، عقیل؛ اسفندیاری، فریبا و رحیمی، مسعود (۱۴۰۴). تحلیل مورفولوژیکی کانال رودخانه دره ائورت با استفاده از مدل رزگن (محدوده موردمطالعه: از سد عمارت تا تلاقی رودخانه ارس). *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۵ (۷۶)، ۱۷۸-۱۹۳. <http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.76.7>



مقدمه

ژئومورفولوژی رودخانه‌ای به‌عنوان مبنای مطالعات مدیریت مجرای رودخانه به کار می‌رود (گرگوری و همکاران^۱، ۲۰۰۶). کناره‌های رودخانه و ناپایداری مجرا به خاطر تأثیر بر افزایش فرسایش و ویژگی‌های مجرای رودخانه در پهنه سیلابی و مدیریت آب اهمیت بسزایی دارد (مینگوی و همکاران^۲، ۲۰۱۰). واکنش‌های رودخانه‌ها با توجه به میزان دبی، بار رسوبی و تغییرات سطح اساس در طول زمان به‌صورت: حفر، رسوب‌گذاری، تغییر الگو و تغییر شکل مجرا است (شوم^۳، ۲۰۰۵: ۷). مورفولوژی مجرای رودخانه توسط دبی لبریز رودخانه مشخص می‌شود (کریستنر، ۲۰۰۹: ۱۱). دبی لبریز هنگامی اتفاق می‌افتد که تمامی مقطع عرضی کانال پر از آب شود. دبی لبریز توان لازم برای فرسایش و رسوب‌گذاری و تغییر سطح مقطع مجرا را دارد (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی، ۱۳۹۲). مقادیر تغییرپذیری مقاطع عرضی یک رودخانه تابع عوامل زیادی است و در الگوهای نسبتاً مستقیم پایدار، میزان تغییرات کم و در مجراهای با پلان پیچیده و نسبتاً فعال میزان تغییرات زیادتر است (وزارت نیرو، ۱۳۸۹: ۱۹)؛ بنابراین شناسایی عوامل ژئومورفیک و زمین‌شناسی که باعث ناپایداری بستر رودخانه‌ها می‌شود، ضروری است (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۱).

روش‌های مختلفی برای طبقه‌بندی رودخانه‌های ارائه شده است که یکی از آن‌ها روش رزگن است که مبنایی برای احیای رودخانه‌ها است (رینالدی و همکاران^۴، ۲۰۱۲). طبقه‌بندی‌های ژئومورفیکی بسیاری در ارتباط به رودخانه‌ها توسعه یافته است. رویکردهای اولیه مبتنی بر تکامل رودخانه‌ها بوده است که توسط عوامل تکتونیک و ساختمان زمین‌شناسی تحت تأثیر قرار می‌گیرد (شرودر^۵، ۲۰۱۳: ۷۳۱). پایه و اصول سیستم‌های طبقه‌بندی جدید مورفولوژی رودخانه‌ها توسط: ملتون (۱۹۳۶) و ماتیس (۱۹۵۶) توسعه یافت (رزگن، ۱۹۹۴: ۱۶۹). سیستم‌های طبقه‌بندی جدید رودخانه‌ها در دهه‌های ۵۰ و ۶۰ با کارهای لئوپلد و ولمن (۱۹۵۷)، لین (۱۹۵۷) و شوم (۱۹۶۳) بنیان گذاشته شد (سرویس حفاظت منابع طبیعی، ۲۰۰۸). طبقه‌بندی بر مبنای داده‌های حاصل از رودخانه‌های با بار رسوبی ماسه‌ای و بزرگ‌تر بر اساس پلان فرم رودخانه‌ها به الگوهای مستقیم، متاندری و گیسویی تقسیم شد (لین، ۱۹۵۷؛ لئوپلد و ولمن، ۱۹۵۷). این طبقه‌بندی مبنای طبقه‌بندی‌های پیچیده‌تری از مورفولوژی رودخانه شد (مارتین، ۲۰۰۵: ۷). مورفولوژی رودخانه توسط پژوهشگران زیادی در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. یکی از متداول‌ترین سیستم‌های طبقه‌بندی مورفولوژی مجرا توسط رزگن (۱۹۹۴ و ۱۹۹۷) توسعه یافته است که به‌طور گسترده‌ای مبنای پژوهش‌ها قرار گرفته است (شرودر، ۲۰۱۳: ۷۴۲). در این زمینه می‌توان به پژوهش‌های محققین زیر اشاره کرد:

روستایی و همکاران (۱۳۹۲) مورفولوژی مجرای رودخانه ليقوان را با روش طبقه‌بندی رزگن مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج تعدادی از کانال با طبقه‌بندی مدل رزگن سازگار است و به‌طور کلی مدل رزگن توان پیش‌بینی کمی ژئومورفیکی رودخانه ليقوان را دارد. یمانی و همکاران (۱۳۹۳) طی مطالعه‌ای به طبقه‌بندی ژئومورفولوژیکی الگوی طالقان رود بر اساس روش رزگن پرداخته‌اند. این مطالعه نشان می‌دهد که الگوی رودخانه در بالادست پل‌های شهرک الگوی به‌صورت چند شاخه‌ای بوده و در طول شهرک تا پل گلینگ به‌صورت تک مجرای در حال تحول است. لایقی و کرم (۱۳۹۳) با استفاده از مدل رزگن رودخانه جاجرود در حدفاصل سد لتیان و سد ماملو به طول ۲۳ کیلومتر را مورد مطالعه قرار دادند. بر اساس نتایج تحقیق بخش اعظم رودخانه دارای الگوی Da است. بخش‌هایی از مجرا که با الگوی D3 مشخص شده است و تغییر در دبی رودخانه به نفع آن‌ها نمی‌باشد و بایستی اقدام به مقاوم‌سازی کناره‌های رودخانه‌ها شود. نیری (۱۳۹۴) در پژوهشی به تحلیل مورفولوژیکی مجرای رودخانه مه‌باد و تأثیر احداث سد بر روی آن پرداخت. این مطالعه نشان داد که ایجاد سد سبب کاهش دبی اوج و نهشته شدن رسوبات در داخل مجرا گردیده است. رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی بخشی از مجرای رودخانه قره‌سو را با استفاده از مدل ژئومورفولوژیکی رزگن مورد تحلیل و طبقه‌بندی قرار دادند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان

¹ Gregory et al

² Minghui et al

³ Schumm

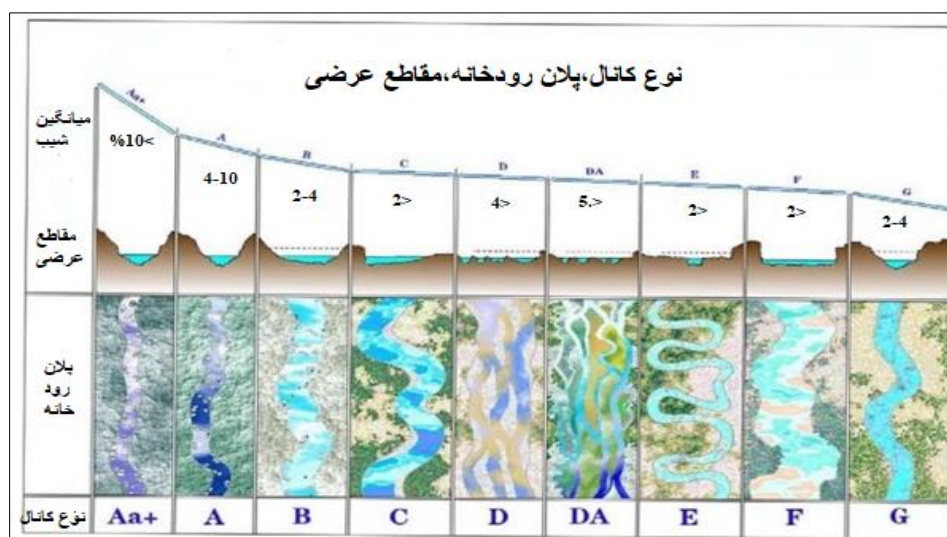
⁴ Rinaldi et al

⁵ Shroder

داد که رودخانه قره سو در بخش‌هایی که مقاطع در طبقه‌ی C قرار گرفته است، دارای حساسیت به آشفستگی بسیار بالا، پتانسیل بازیابی خوب، تأمین رسوب بالا، کنترل پوشش گیاهی بسیار بالا و در بخش‌هایی که مقاطع در طبقه E واقع شده است، رودخانه دارای حساسیت به آشفستگی بسیار بالا، پتانسیل بازیابی خوب، تأمین رسوب متوسط و کنترل پوشش گیاهی بسیار بالا می‌باشد. رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۷) به طبقه‌بندی و ارزیابی پتانسیل بازسازی رودخانه زرينه رود با استفاده از مدل رزگن پرداختند. براساس نتایج شکل‌گیری بازه‌های نوع G و F در امتداد سد نورولو تا شهر میاندوآب به جهت دخالت‌های انسانی در قالب برداشت بی‌رویه شن و ماسه و گودافتادگی بستر رودخانه به وجود آمده است. کیانی و پوربشیر (۱۳۹۷) به مطالعه تحلیل شاخص‌های هیدرومورفولوژی رودخانه بالهارود با هدف تعیین روند و علل تغییر بستر پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که دلیل اصلی تغییر بستر تغییر شرایط اقلیمی، تکتونیکی، دخالت‌های انسانی، بافت سست در روند تغییر بستر دخیل هستند. رودخانه دره ائورت در طی سال‌های اخیر همواره با رخداد سیلاب‌های بزرگی مواجه بوده است. مطالعه مدیریت رودخانه و تهیه نقشه تیپ‌های کانال آن می‌تواند کمک شایانی به کاهش خسارات احتمالی در آینده کند. لذا در این پژوهش بخشی از رودخانه دره ائورت به طول تقریبی ۷۰ کیلومتر با استفاده از مدل سلسله مراتبی رزگن در سطح اول و دوم مورد تجزیه و تحلیل ژئومورفولوژیکی قرار می‌گیرد.

روش‌شناسی

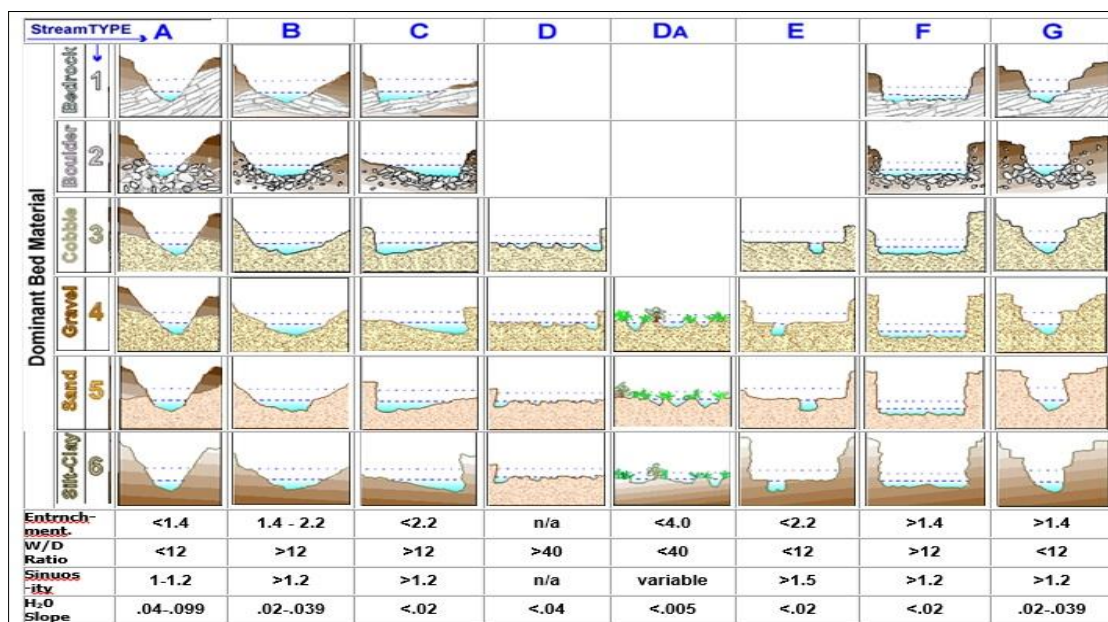
در این پژوهش از نقشه‌های توپوگرافی بزرگ‌مقیاس ۱:۲۰۰۰ و داده‌های هیدرومتری سازمان آب منطقه‌ای استان اردبیل، تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ و بازدید میدانی استفاده شده است. در راستای انجام تحقیق، نقشه‌های توپوگرافی تبدیل به لایه TIN گردید و در ادامه، لایه DEM با قدرت تفکیک ۱ متر برای منطقه مورد مطالعه تهیه شد. برای مشخص کردن پلان کلی رودخانه از تصاویر گوگل ارث استفاده شد. همچنین برای بررسی دقیق‌تر محدوده رودخانه، بازدیدهای میدانی به عمل آمد. با توجه به تحلیل تصاویر ماهواره‌ای و نیز بازدیدهای میدانی، منطقه مورد مطالعه به ۴ بازه تقسیم‌بندی شد و ۱۴۶ مقطع عرضی بر روی مجرای رودخانه ترسیم گردید. در ادامه برای تحلیل مجرای رودخانه از مدل رزگن استفاده شد. مدل رزگن دارای چهار سطح است که در این پژوهش سطح اول و دوم مدل رزگن مورد تحلیل قرار گرفته است. سطح اول ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی و مشخصات کلی را مورد بررسی قرار می‌دهد در این سطح الگوی رودخانه مشخص می‌گردد (شکل ۱).



شکل (۱). مقاطع عرضی و طولی و پلان انواع رودخانه (راهنمای مهندسی بازسازی رودخانه، ۲۰۰۷)

⁶⁶ National Engineering Handbook (2007); Rosgen Geomorphic Channel Design,

در سطح دوم مدل سلسله مراتبی رزگن، مورفولوژی مجرای رودخانه مورد بررسی قرار می‌گیرد که شامل مؤلفه‌های چون: شیب کانال، مواد کانال، نسبت گود افتادگی، نسبت عمق به عرض و سینوزیته می‌باشد شکل (۲).

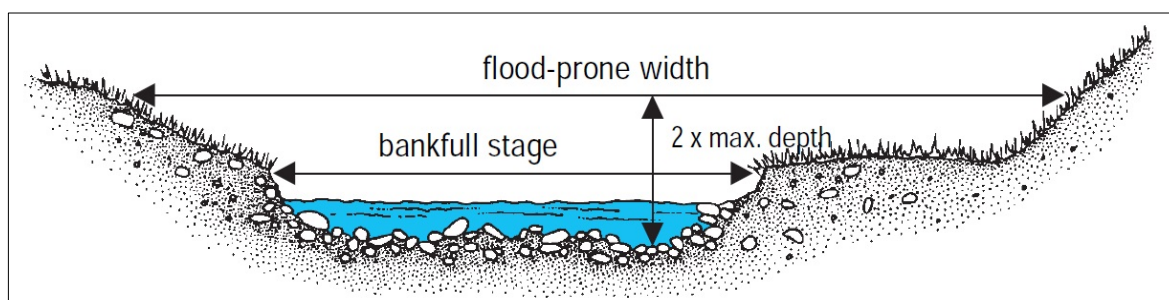


شکل (۲). شاخص‌های مورد نیاز در سطح ۲ مدل رزگن (راهنمای مهندسی بازسازی رودخانه، ۲۰۰۷)

نحوه محاسبه این معیارهای ممیزی در روش رزگن به شرح زیر می‌باشد:

شیب کانال: شیب سطح آب از طریق اندازه‌گیری اختلاف ارتفاع سطح آب در واحد طول آبراهه تعیین می‌شود (رزگن^۷، ۱۹۹۴). شیب مجرای رودخانه دره ائورت از روی نقشه‌های توپوگرافی بزرگ مقیاس ۱:۲۰۰۰ بستر رودخانه استخراج گردید.

مواد کانال: بر اساس طبقه‌بندی مدل رزگن مواد کانال در ۶ دسته طبقه‌بندی شده است: ۱- بستر سنگی (بالای ۲۰۴۸ میلی‌متر)، ۲- بستر قطعه‌سنگی (۲۰۴۸-۲۵۶ میلی‌متر)، ۳- بستر قلوه‌سنگی (۲۵۶-۶۴ میلی‌متر)، ۴- بستر شنی (۶۴-۲ میلی‌متر)، ۵- بستر ماسه‌ای (۲-۰/۰۶۲ میلی‌متر)، ۶- بستر رسی (زیر ۰/۰۶۲ میلی‌متر) (یمانی، ۱۳۹۳: ۱۹۳).
نسبت گود افتادگی: شاخص گود افتادگی از میزان حفر عمودی رودخانه و میزان حفر در کف دره محاسبه می‌شود. به عبارت دیگر نسبت گود افتادگی عبارت است از: نسبت عرض ناحیه سیل گیر به عرض ناحیه لپ پری مجرای رودخانه. شکل (۳) نحوه محاسبه شاخص گود افتادگی را نشان می‌دهد.

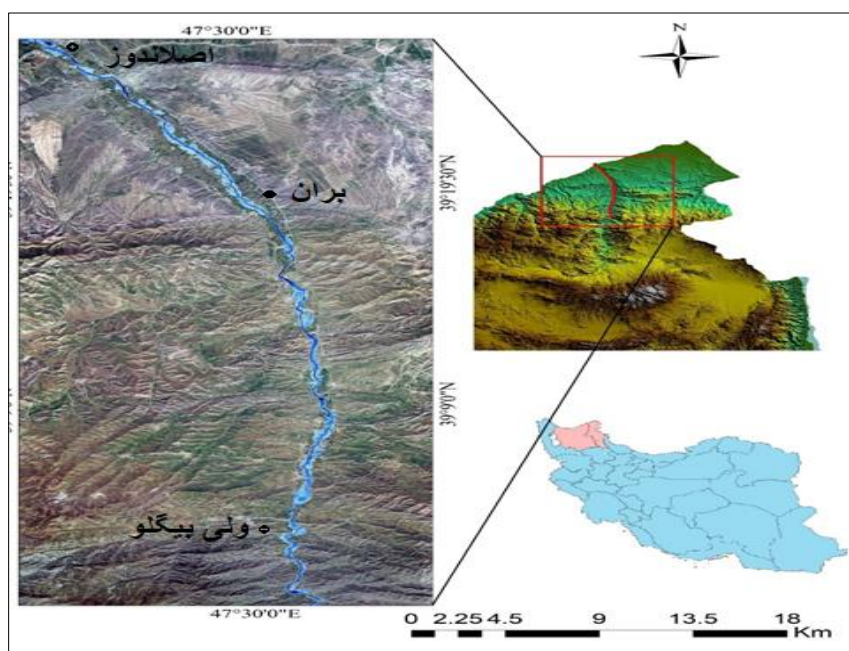


شکل (۳). نحوه محاسبه شاخص گود افتادگی (راهنمای مهندسی بازسازی رودخانه، ۲۰۰۷)

نسبت عرض به عمق: این شاخص نسبت عرض مجرای لپ پری به عمق میانگین لپ پری است. دبی لپ پری یعنی حداکثر دبی جریان کانال هست که فقط چند روز در سال اتفاق می افتد. سینوزیته: از نسبت طول آبراهه به طول دره سینوزیته به دست می آید. همچنین می تواند به عنوان نسبت شیب دره به شیب مجرا تعریف شود (رزگن، ۱۹۹۴).

موقعیت منطقه مورد مطالعه

رودخانه دره ائورت مهم ترین رودخانه واقع در حوضه آبریز رودخانه ارس، در شمال غرب ایران واقع شده است. از نظر موقعیت ریاضی، منطقه مورد مطالعه در بین عرض های ۵۶' ۰۰" تا ۱۴' ۲۸" ۳۹° شمالی و طول های ۱۳' ۱۹" تا ۲۱' ۳۹" ۴۷° شرقی واقع شده است. این رودخانه از دو سرشاخه بزرگ رودخانه اهر چای و رودخانه قره سو تشکیل شده است. مسیر کلی حرکت این رودخانه از جنوب به سمت شمال است. رودخانه دره ائورت پس از طی مسیر ۱۳۶ کیلومتری در پایین دست سد میل و مغان به رودخانه مرزی ارس ملحق می شود. از روستاهای مجاور رودخانه دره ائورت می توان به روستاهای سیرک، کندالی، دیک داش و بران سفلا اشاره کرد. بازه مطالعاتی در این تحقیق، حدفاصل پایین دست سد عمارت تا محل تلاقی رودخانه ارس به طول تقریبی ۷۰ کیلومتر می باشد. شکل (۴) موقعیت منطقه مورد را نشان می دهد.

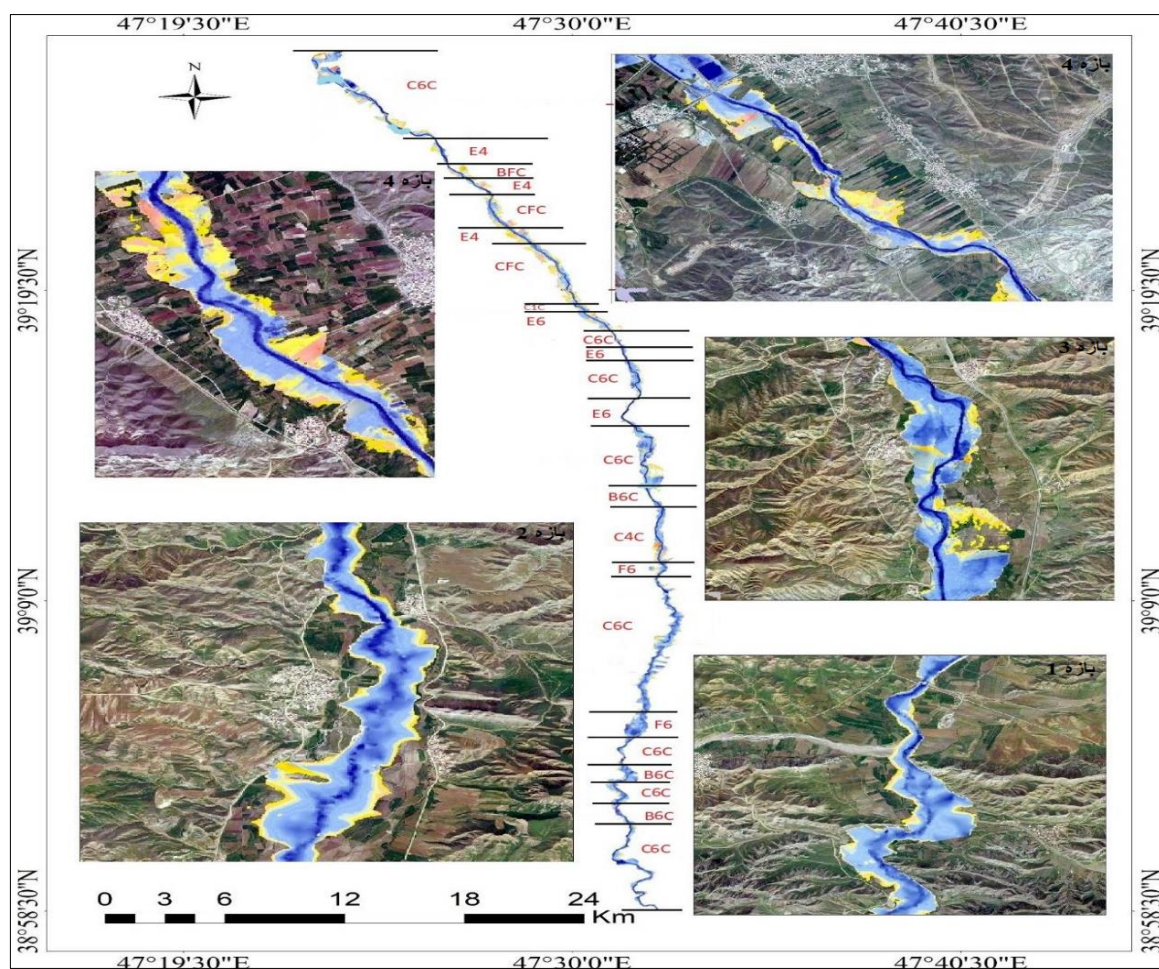


شکل (۴). موقعیت محدوده مورد مطالعه در شمال غرب ایران

بحث و نتایج

برای تحلیل و طبقه بندی در سطح I نیاز به بازدید میدانی و پردازش تصویر ماهواره ای سنتینل ۲ با قدرت تفکیک (۱۰ متر) است. بررسی این داده ها نشان داد که رودخانه در قسمت بالادست بخش کوهستانی دارای الگوی مائندری می باشد. در برخی مقاطع مائندرها به وسیله ناهمواری های کنار بستر به صورت محاط بودند. همچنین رودخانه در مقاطع عرضی ۳۴ تا ۳۶ حالت گیسویی دارد. در این پژوهش برای پهنه بندی سیلاب از مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS استفاده شده است. در شکل (۵) پهنه بندی سیلاب در ۴ بازه نواحی مستعد سیلاب نشان داده شده است. با توجه به تحلیل های صورت گرفته با دوره های بازگشت ۲-۵-۱۰-۲۵-۵۰-۱۰۰ و ۲۰۰ ساله، دوره بازگشت ۲۵ ساله بیشترین پهنه های سیلابی را نشان می دهد و در دوره های بعدی به جز بازه ۴ روند افزایش سطح سیلاب دیده نمی شود.

یکی از مشکلات اصلی در محاسبه شاخص‌های مدل رزگن تعیین شاخص گودشدگی می‌باشد که بر اساس اندازه‌گیری عرض دشت سیلابی و عرض سطح آب در حالت دبی لبریز محاسبه می‌شود. با توجه به این نکته که در رودخانه‌های سیلاب دشتی مقدار شاخص گودشدگی معادل عرض سطح آب در سیل ۵۰ ساله به عرض سطح آب در سیل متوسط (دبی لبریز) است، می‌توان با به دست آوردن و محاسبه عرض پهنای سیلابی رودخانه برای دوره بازگشت ۵۰ ساله و ۱/۵ ساله و اندازه‌گیری طول مقاطع عرضی قرار گرفته در این محدوده، به صورت خیلی دقیق مقدار این شاخص را محاسبه نمود. با توجه به این تحلیل‌های صورت گرفته با محاسبه عرض دشت سیلابی رودخانه دره انورت برای دوره‌های بازگشت ۵۰ و ۱/۵ ساله، شاخص‌های اصلی مدل رزگن چون شاخص گودافتادگی به صورت دقیق مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.



شکل (۵). طبقه‌بندی ژئومورفولوژیکی مجرای رودخانه دره انورت بر اساس مدل رزگن

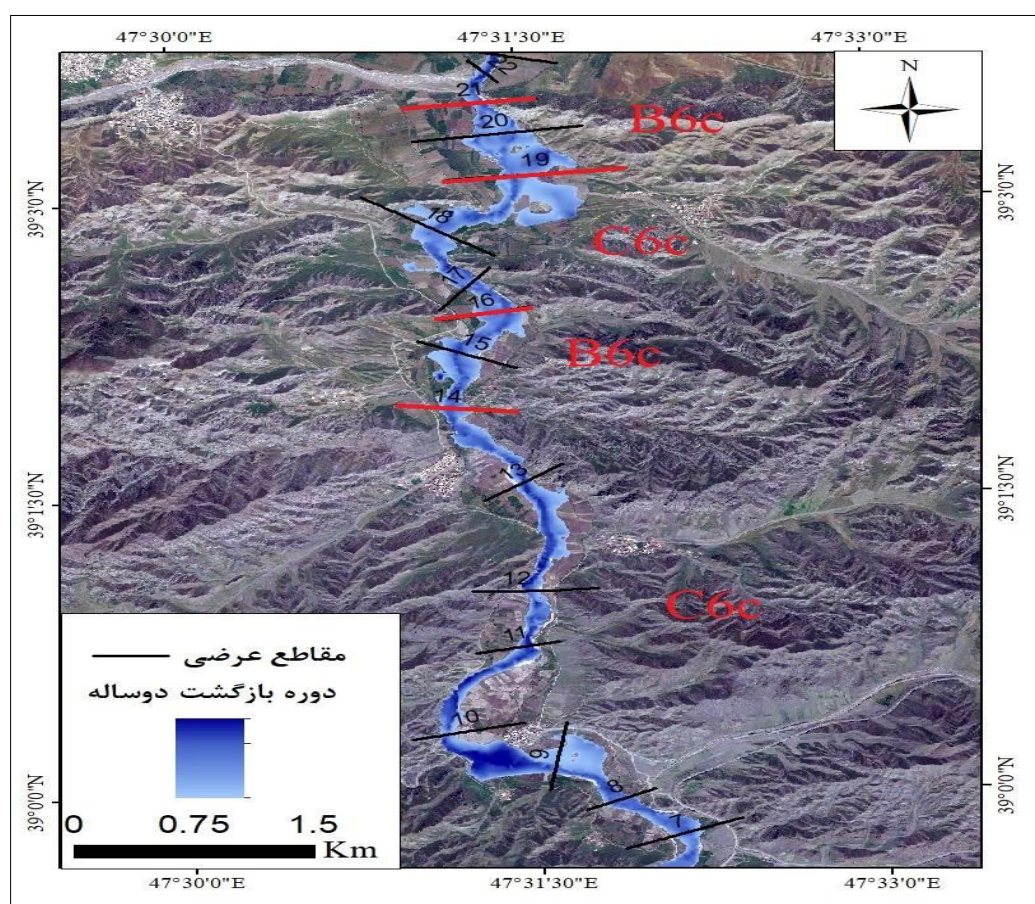
تحلیل نتایج مدل رزگن

در این تحقیق ۶ نوع تیپ رودخانه شناسایی شد و مورد مطالعه قرار گرفت که ویژگی‌های هر یک از این تیپ رودخانه‌ها در محدوده مورد مطالعه بر اساس جدول (۱) مدل رزگن به شرح زیر می‌باشد.

جدول شماره (۱). معیارهای تعیین ویژگی‌های تیپ رودخانه بر اساس مدل رزگن (راهنمای مهندسی بازسازی رودخانه، ۲۰۰۷)

تیپ رودخانه	حساسیت فرسایش	پتانسیل احیا	رسوب‌گذاری	فرسایش کناری	کنترل پوشش گیاهی
B6	متوسط	عالی	متوسط	کم	متوسط
C1	کم	خیلی خوب	خیلی کم	کم	متوسط
C6	خیلی زیاد	خوب	زیاد	زیاد	خیلی زیاد

رودخانه دره ائورت در محدوده‌ی تیپ C دارای مجرای پهن‌تر و کم عمیق‌تر است و پهنه‌های سیلابی توسعه‌یافته است. این نوع تیپ از رودخانه با دره‌های پهن و عریض و تراس و خاک‌های آبرفتی در ارتباط بوده و پوشش گیاهی کناره رودخانه در این نوع تیپ پایدار می‌باشد. همچنین مورفولوژی بستر رودخانه دره ائورت در این بازه از نوع حوضچه-خیز آب^۸ می‌باشد. نتایج نشان داد رودخانه دره ائورت در محدوده تیپ C طبقه‌بندی مدل رزگن دارای ضریب حساسیت خیلی بالا، پتانسیل احیا خوب، بار رسوبی بالا، فرسایش کناری بالا و سطح کنترل پوشش گیاهی خیلی خوب می‌باشد. تیپ رودخانه‌ای B که مقاطع عرضی ۱۵ و ۱۹ را شامل می‌شود، دارای ضریب پیچشی کم (کمتر از ۱.۲) می‌باشد. نسبت گود افتادگی مقاطع عرضی این محدوده بین ۱/۴ تا ۲/۲ متغیر است و شاخص عرض به عمق آن بالای ۱۲ بوده و گود افتادگی متوسط رودخانه با شیب متعادلی جریان دارد. رودخانه دره ائورت در این محدوده بر اساس طبقه‌بندی مدل رزگن رودخانه دارای ضریب حساسیت متوسط، پتانسیل احیا عالی، بار رسوبی متوسط، فرسایش کناری ضعیف و کنترل پوشش گیاهی متوسط می‌باشد.



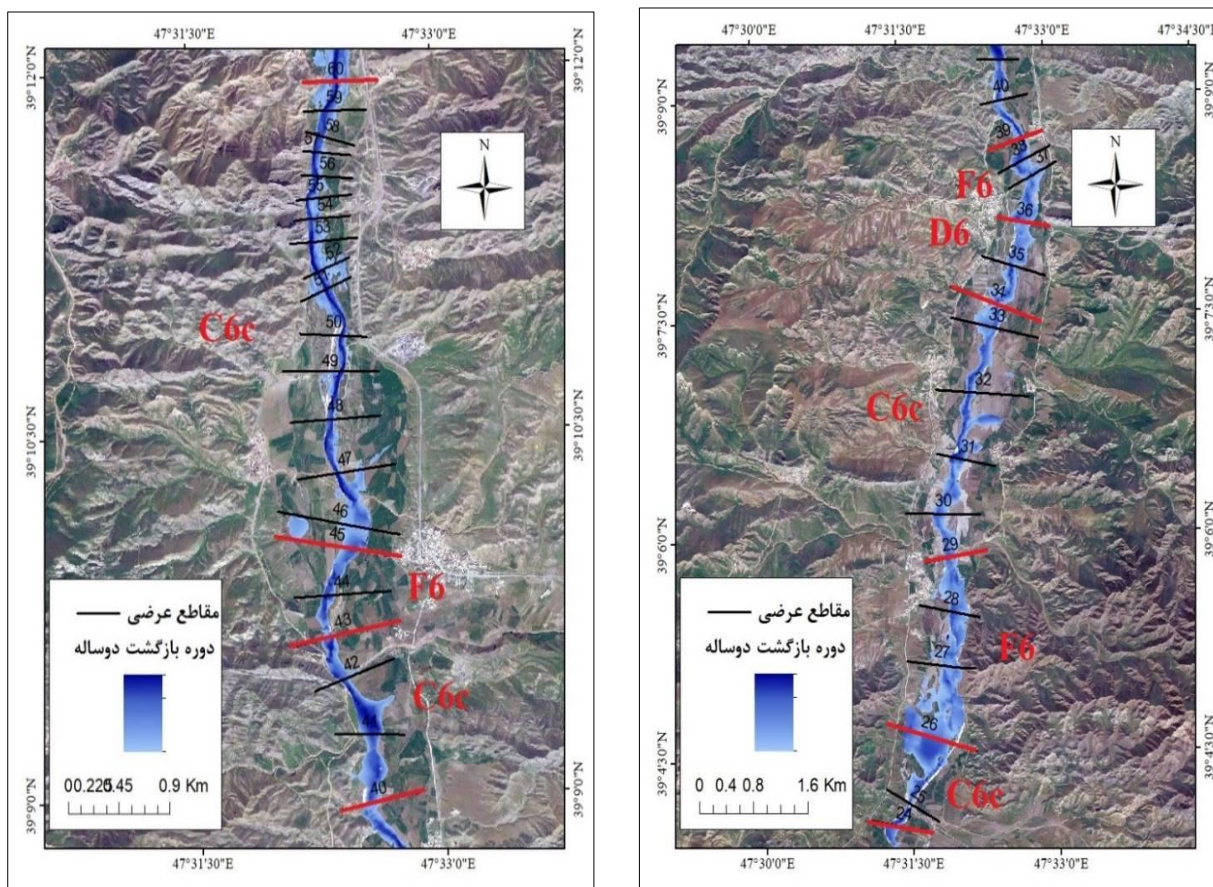
شکل (۷). طبقه‌بندی مدل رزگن در بازه (۱) رودخانه دره ائورت

بازه (۲)

این بازه مقاطع عرضی ۲۳ (مسیل روستای قره قیه) تا ۶۰ را شامل می‌شود. در این بازه پهنه دشت سیلابی نسبت به بازه اول افزایش چشمگیری دارد (شکل ۸). جنس بستر این بازه عموماً از رسوبات آبرفتی (رس سیلتی) بوده و کنترل زمین‌شناسی اهمیت خود را تا حد زیادی از دست می‌دهد. در این بازه اکثر دشت سیلابی با دوره بازگشت ۲۵ ساله به زیر سیلاب می‌رود. اکثر مقاطع عرضی این بازه دارای نوع تیپ C می‌باشد که با توجه به شیب و مواد بستر در طبقه ۶C قرار دارند و جنس بستر آن‌ها اکثراً از آبرفت تشکیل شده است. نسبت گود افتادی در این بازه بین حداقل ۲/۴ و حداکثر ۲۶/۱ در نوسان است.

^۸ Riffle - Pool

نسبت عمق به عرض نیز بین ۲۱/۸ تا ۲۶۴/۰۹ متغیر می‌باشد. همچنین براساس نتایج به دست آمده، مقاطع عرضی ۲۶-۲۷-۳۷-۴۴ در طبقه‌بندی مدل رزگن در تیپ F6 قرار گرفته است که شاخص گودافتادگی این مقاطع پایین‌تر از ۱/۴ بوده و نسبت عرض به عمق آن بالای ۱۲ می‌باشد. همچنین باید افزود در این بازه، تنها مقطع عرضی شماره ۳۵ در تیپ B6c قرار گرفته است. در این بازه در تحلیل جدول مدیریتی مدل رزگن، رودخانه دره ائورت با تیپ F6 دارای حساسیت خیلی بالا، پتانسیل احیا ضعیف، بار رسوبی خیلی بالا، فرسایش کناری خیلی بالا و کنترل پوشش گیاهی متوسطی می‌باشد. در این محدوده بسیاری از مناطق مسکونی که در دشت سیلابی قرار دارند، تحت تأثیر سیلابی با دوره بازگشت ۲۵ ساله در معرض سیل قرار می‌گیرند. در مقاطع عرضی ۳۴ تا ۳۶ الگوی رودخانه دره ائورت حالت گیسویی به خود می‌گیرد و به تیپ D6 تبدیل می‌گردد. این نوع تیپ از رودخانه‌ها دارای بار رسوبی خیلی زیاد، پتانسیل فرسایش کناری خیلی زیاد و کنترل متوسط پوشش گیاهی است.

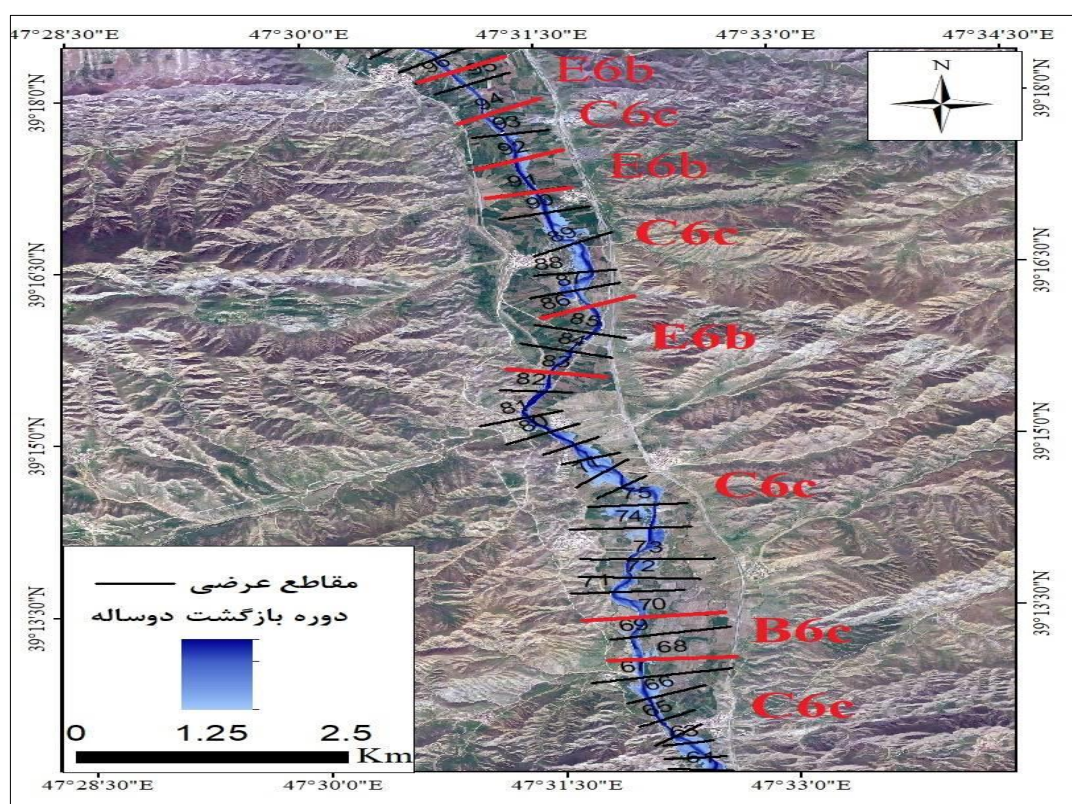


شکل (۸). طبقه‌بندی مدل رزگن در بازه (۲) رودخانه دره ائورت

بازه (۳)

این بازه از مقاطع عرضی ۶۱ شروع شده و تا مقطع عرضی شماره ۹۷ ادامه دارد (شکل ۹). در این بازه دشت سیلابی نسبت به دو بازه قبلی افزایش چشمگیری پیدا می‌کند و در برخی مقاطع مانند ۷۱ و ۸۱ رودخانه به وسیله ناهمواری‌های سمت راست خود محاط شده و مائندرها شکل توسعه نیافته به خود می‌گیرند. تحلیل و تجزیه هیدرولیکی مدل HEC-RAS با دوره بازگشت ۲۵ سال نشان داد که روستاهایی مانند دلیک یارقان و گوزلی در معرض تخریب و سیلاب قرار دارند. در مقطع عرضی ۶۱ رودخانه دارای تیپ B6c می‌باشد و بعد از آن تیپ رودخانه تا مقطع عرضی ۶۷ تبدیل به C6c می‌گردد. رودخانه مجدد در مقطع ۶۸ در تیپ B6c قرار می‌گیرد. مقاطع عرضی ۶۹-۸۳ نیز از نوع تیپ C6c است. مقاطع عرضی ۸۴-۸۵-۹۱-۹۵ دارای تیپ E6b و بعد از آن نوع تیپ رودخانه دره ائورت تا آخر بازه مجدد تیپ C6c به خود می‌گیرد.

نسبت گود افتادگی در تیپ C6c بین ۲/۹۵ تا ۴۰/۳۲ نوسان دارد. شاخص گود افتادگی در تیپ E6b بین ۱۴/۷۵ تا ۷۰/۱۳ در نوسان است. جنس بستر تشکیل دهنده این بازه نیز از نوع آبرفتی می باشد. تحلیل های هیدرولیکی با استفاده از مدل HEC-RAS نشان داد که رودخانه در بین مقاطع عرضی ۶۴ تا ۶۶ و ۸۰ تا ۸۶ دارای پهنه های سیلابی کم عرض تری بوده و به تبع آن عمق و توان رودخانه در این مقاطع افزایش پیدا کرده است. در طول این بازه تحلیل های هیدرولیکی مدل HEC-RAS نشان داد که با دوره های بازگشت بیش از ۲۵ سال، پهنه های سیلابی بیشتر ثابت بوده و با افزایش دوره های بازگشت، توان و سرعت رودخانه افزایش پیدا می کند. رودخانه بیشترین اتلاف انرژی را در بین مقاطع عرضی ۶۶ تا ۷۷ دارد و در بقیه مقاطع رودخانه ما شاهد اتلاف انرژی نیستیم. رودخانه دره ائورت در این بازه بر اساس تحلیل جدول مدیریتی مدل رزگن رودخانه با تیپ E6b دارای حساسیت خیلی بالا، پتانسیل احیا خوب، بار رسوبی کم، فرسایش کناری متوسط و کنترل پوشش گیاهی بالا می باشد. این بازه از تناوب ۲ نوع تیپ رودخانه C6c و E6b تشکیل شده است.

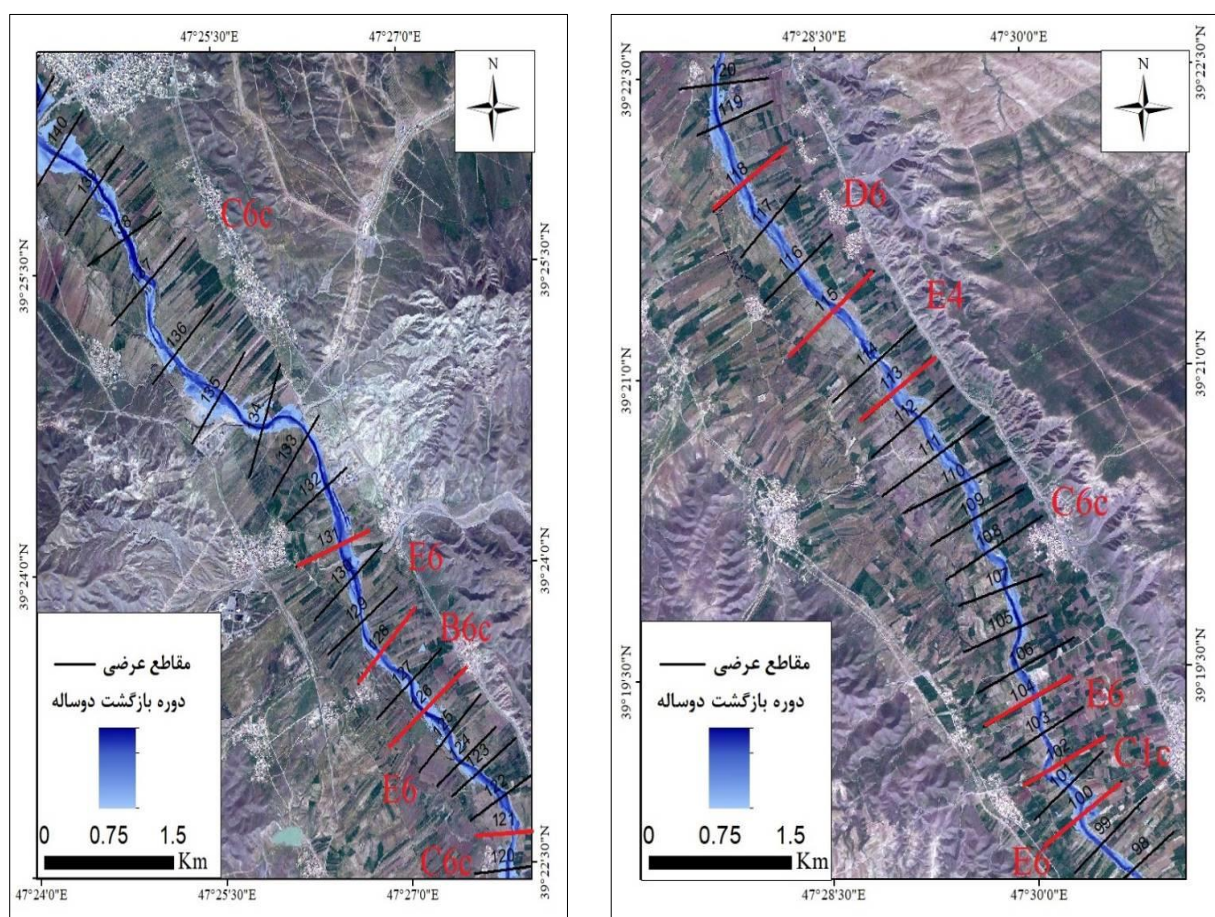


شکل (۹). طبقه بندی مدل رزگن در بازه (۳) رودخانه دره ائورت

بازه (۴)

این بازه مقاطع عرضی ۹۸ (روستای بران) تا ۱۴۶ را شامل می شود (شکل ۱۰). در این بازه دشت سیلابی افزایش چشم گیری پیدا کرده و رودخانه از محیط کوهستانی خارج و در سطح دشت جریان پیدا می کند. برخلاف بازه های دیگر که با افزایش دوره بازگشت سیلاب، عرض پهنه های سیلاب افزایش پیدا می کند، در این بازه انرژی رودخانه کم است و اتلاف انرژی بیشتر از طریق مئاندرها صورت می گیرد. فقط در برخی مقاطع محدود عمق و توان رودخانه افزایش می یابد. فعالیت های کشاورزی و انسانی در این بازه بسیار زیاد بوده که موجب ناپایداری رودخانه گردیده است. شیب رودخانه دره ائورت در این بازه کاهش یافته و نوع مئاندرها شکل توسعه یافته (ضریب پیچشی بیشتر از ۱.۵) به خود می گیرد. نتایج تحلیل های مدل رزگن نشان داد که مقاطع عرضی ۹۸-۹۹-۱۰۰-۱۰۲ تیپ E6 به خود گرفته و مقطع عرضی ۱۰۱ به علت برون زدگی سنگی در تیپ C1c قرار گرفته است. در ادامه رودخانه مجدد شکل C6c به خود می گیرد و تا مقطع ۱۱۳ ادامه پیدا می کند. در بین مقاطع

۱۱۵ تا ۱۱۸ رودخانه دره ائورت حالت گیسویی به خود می‌گیرد. مقاطع ۱۲۲ تا ۱۲۵ در تیپ E6 قرار دارد. مقطع ۱۲۲ به دلیل دخالت‌های انسانی موجب تغییر و تبدیل به تیپ C شده است، همچنین در پایان این مقاطع به دلیل جاده فرعی مسیر مجرای رودخانه تغییر یافته است. مقطع عرضی ۱۲۶ تیپ B6c به خود گرفته است، رودخانه دره ائورت در این تیپ دارای ضریب پیچشی کم، گود افتادگی متوسط، شیب متعادل، خیز آب‌های حاکم بر مجرا می‌باشد. همچنین نتایج تحلیل مدل رزگن نشان داد که رودخانه دره ائورت در این نوع مجرا دارای حساسیت متوسط، پتانسیل احیا عالی، بار رسوبی متوسط، فرسایش کناری کم و کنترل پوشش گیاهی متوسط می‌باشد. در مقاطع عرضی ۱۲۷ تا ۱۳۰ مجرا رودخانه مجدد شکل تیپ E6 پیدا می‌کند. همچنین تحلیل مدل رزگن نشان می‌دهد که مجرای رودخانه دره ائورت در این نوع تیپ، دارای حساسیت خیلی بالا، پتانسیل احیا خوب، بار رسوبی متوسط، فرسایش کناری بالا و کنترل پوشش گیاهی خیلی بالا می‌باشد. در آخر تیپ رودخانه به جز مقطع ۱۴۲ که دارای تیپ F است بقیه مقاطع به نوع C6c تبدیل می‌گردد و تا تلاقی رودخانه ارس از این نوع تیپ رودخانه پیروی می‌کند.



شکل (۱۰). طبقه‌بندی مدل رزگن در بازه (۴) رودخانه دره ائورت

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، مجرای رودخانه دره ائورت با استفاده از مدل سلسه‌مراتبی رزگن مورد تحلیل مورفولوژیکی قرار گرفت. تیپ غالب مجرای رودخانه دره ائورت در بازه ۱ تناوبی از تیپ C6c و B6c بوده است. همچنین تحلیل‌ها نشان داد که نوع تیپ رودخانه با مدل رزگن هماهنگی دارد. در بازه ۲ مجرای رودخانه دارای تناوبی از تیپ‌های C6c-F6-D6 می‌باشد. در این بازه مقاطع ۳۴-۳۵ رودخانه حالت گیسویی به خود گرفته و در مقطع ۲۵ رودخانه از حالت C به نوع F تبدیل گردیده است. در بازه ۳ از مقطع ۴۲ تا ۴۹ پهنای دشت سیلابی افزایش چشم‌گیری پیدا می‌کند و بعد از این مقاطع مجرای رودخانه

توسط ناهموازی اطراف محاط شده است. در بازه ۳ رودخانه دره ائورت دارای تیپ C6c-B6c-E6b می‌باشد. همچنین باید افزود بعد از مقطع ۹۶ فعالیت‌های کشاورزی در حاشیه رودخانه افزایش پیدا می‌کند و اطراف رودخانه به زیر کشت محصولات کشاورزی رفته است. در این بازه رسوبات در کناره‌های مئاندرها بارگذاری شده‌اند و برخی پل‌هایی که روی این رودخانه احداث گردیده شده است موجب آشفتنگی در مجرا گردیده است. نتایج خروجی‌های مدل HEC-GeoRAS نشان داد که با وقوع سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ ساله حاشیه‌های روستای دلیک یارقان در معرض آسیب قرار خواهند گرفت. همچنین نتایج نشان داد که بین مقاطع ۸۶ تا ۹۰ عرض پهنه‌های سیلابی افزایش پیدا می‌کند که علت آن قرارگیری رودخانه در ارتفاع بالاتری نسبت ساحل چپ خود می‌باشد. در بازه ۴ عرض پهنه‌های دشت سیلابی به شدت افزایش پیدا می‌کند و با افزایش دوره‌های سیلابی مناطق بیشتری تحت تأثیر مخاطره سیلاب قرار می‌گیرند. تجزیه و تحلیل‌های مدل رزگن نشان داد که این بازه دارای تیپ‌های متنابویی از E6-C1c-C6c-D6 می‌باشد. از مقطع عرضی ۱۳۸ به بعد تیپ رودخانه را C تغییر یافته است. طبقه‌بندی مدل ژئومورفولوژیکی رزگن برای رودخانه دره ائورت منجر به شناسایی انواع تیپ‌های B, C, D, E, F در طول رودخانه شده است. نتایج مطالعات سایر پژوهشگران در سایر رودخانه‌ها معمولاً به یک یا دو نوع تیپ کانال ختم شده است؛ که این مسئله از یک‌طرف بیانگر ثبات و پایداری مجرا توسط پوشش گیاهی کناری کانال دارد که منجر به ارائه تیپ‌های C و E در رودخانه قره‌سو شده است (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۷) و یا کل بازه مورد مطالعه به جهت دخالت‌های انسانی مانند برداشت بی‌رویه شن و ماسه و گودافتادگی مجرا در رودخانه زرينه‌رود منجر به شکل‌گیری تیپ‌های G و F شده است (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۷). تفاوت بارز این پژوهش با سایر پژوهش‌ها علیرغم پیاده‌سازی مدل مشابه ماهیت تغییرپذیری زیاد رودخانه و بستری که در آن جریان دارد، است که منجر به شناسایی 6 تیپ از طبقه‌بندی انواع کانال شده است. این مسئله از یک‌طرف اشاره به جریان رودخانه در توپوگرافی و فرم‌های متفاوت از زمین و نیز دخالت‌های انسانی از طرفی دیگر دارد. با توجه به نتایج پژوهش صورت گرفته برای شبیه‌سازی سیلاب‌های رودخانه دره ائورت توسط نگارندگان، این رودخانه از نظر مخاطرات سیلابی در شرایط مخاطره‌آمیزی قرار دارد و هر ساله شاهد رخداد سیلاب‌های ویرانگر هستیم. لذا در درجه اول شناسایی پهنه‌های سیلابی اهمیت دارد در مرتبه بعدی شناسایی تیپ‌های مختلف کانال و لزوم مدیریت و ساماندهی این کانال که هر بخشی از آن دارای وضعیت تعادلی متفاوتی است و به‌طور مداوم به انواع مختلف تیپ‌ها تبدیل می‌شود. لذا اهمیت نتایج پژوهش علیرغم استفاده از مدل مشابه از یک‌طرف مربوط به اهمیت خاص رودخانه دره ائورت برای ساکنین منطقه و نیز توانایی مدل رزگن در ارزیابی و طبقه‌بندی کانال رودخانه است؛ و همچنین نتایج بازدیدهای میدانی نشان دهنده تغییر نوع تیپ رودخانه دره ائورت در این بازه از تیپ C به تیپ F است که با توجه به این‌که بازسازی و احیا رودخانه در تیپ F دشوار می‌باشد، پیشنهاد می‌گردد با اعمال محدودیت‌هایی از تبدیل رودخانه به تیپ F جلوگیری به عمل آید.

منابع

- رضایی مقدم، محمدحسین. دانش افزار، رسول: رجبی، معصومه: خیری زاده، منصور. (۱۳۹۷). تحلیل مورفولوژی مجرای رودخانه زرينه‌رود با استفاده از مدل رزگن، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۱، صص ۱۰۱-۱۲۲.
- رضایی مقدم، محمدحسین: ثروتی، محمدرضا و اصغری سرکانسرو صیاد: (۱۳۹۱). بررسی تغییرات شکل هندسی رودخانه قزل اوزن با تأکید بر عوامل ژئومورفیک و زمین‌شناسی، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۳(۲): ۱-۱۴.

- رضایی مقدم، محمدحسین: نیک جو، محمدرضا: یاسی، مهدی: رحیمی، مسعود: (۱۳۹۶). تحلیل ژئومورفولوژیکی مجرای رودخانه قره‌سو با استفاده از مدل سلسله مراتبی رزگن (پایین دست سد سبلان تا تلاقی رودخانه اهر چای)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۲، صص ۱-۱۴.
- روستایی، شهرام: خورشید دوست، علی محمد: خالقی، سمیه: (۱۳۹۲). ارزیابی مورفولوژی مجرای رودخانه ليقوان با روش طبقه‌بندی راسگن، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۴، صص ۱-۱۶.
- کیانی، طیبه: پوربشیر، محسن: (۱۳۹۷). تحلیل شاخص‌های هیدرومورفولوژی رودخانه بالهارود با هدف تعیین روند و علل تغییر بستر، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۴۹، صص ۱۱۱-۱۲۵.
- لایقی، صدیقه: کرم، امیر: (۱۳۹۳). طبقه‌بندی هیدروژئومورفولوژی رودخانه جاجرود با مدل رزگن، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۳، صص ۱۴۳-۱۳۰.
- معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی: (۱۳۹۲). راهنمای شکل هندسی مقطع و راستای رودخانه، نشریه شماره ۶۴۳، صص ۱-۱۲۰.
- نیری، هادی: (۱۳۹۴). تحلیل مورفولوژیکی مجرای رودخانه مهاباد و تأثیر سد بر روی آن، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۳۷، صص ۱۷۷-۱۵۵.
- وزارت نیرو: (۱۳۸۹). پیش‌نویس راهنمای شکل هندسی مقطع و راستای رودخانه، نشریه الف شماره ۳۶۶.
- یمانی، مجتبی: تورانی، مریم: (۱۳۹۳). طبقه‌بندی ژئومورفولوژی الگوی آبراهه طالقان رود در محدوده شهرک طالقان از طریق روش رزگن، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی شماره ۲، صص ۱۹۸-۱۸۳.
- Christner, T. W., (2009). An Assessment of Land Use Impacts on Channel Morphology in a Western Minnesota Watershed, ProQuest, A Ph.D Thesis, Faculty of the Graduate School of the University of Minnesota, 182 p.
- Gregory, K. J., (2006). The human role in changing river channels, Journal of Leopold, L.B. and Wolman, M.G. (1957). River channel patterns: braided, meandering, and straight, Geological Survey Professional Paper 282-B. United States Government Printing Office, WA, USA. pp. 39-85. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.018>
- Martin, Derek J. (2005 Geospatial Analysis of Gravel Bar Deposition and Channel Migration Within the Ozark National Scenic Riverways, Missouri (1955-2003)
- Minghui, Y., Hongyan, W., Yanjie, L. and Chunyan, H., (2010). Study on the Stability of Noncohesive River Bank, International Journal of Sediment Research, v. 25(4), p. 391-398. [https://doi.org/10.1016/S1001-6279\(11\)60006-1](https://doi.org/10.1016/S1001-6279(11)60006-1)
- Missouri (1955-2003). A thesis presented to the graduate college Of Southwest Missouri State University in partial fulfillment of the requirements for the degree master of science, geospatial sciences. 109p.
- National Engineering Handbook (2007). Rosgen Geomorphic Channel Design, United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. Chapter 11, No.7. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2007.00091.x>
- Natural Resources Conservation Service (2008). Stream restoration design (National Engineering Handbook 654), Technical Supplement 3E: Rosgen Stream Classification Technique-Supplemental Materials, United States Department Agriculture.
- Rinaldi, M., Surian, N., Comiti, F. and Bussettini, M., (2012). A method for the Assessment and Analysis of the Hydro morphological Condition of Italian Streams, The Morphological Quality Index (MQI), Geomorphology, v.180, p.96-108. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.09.009>
- Rosgen, David L. (1994). A classification of natural rivers, Catena, 22: 169-199. [https://doi.org/10.1016/0341-8162\(94\)90001-9](https://doi.org/10.1016/0341-8162(94)90001-9)

- Rosgen, David L. (1997). A geomorphological approach to restoration of incised rivers, Proceedings of the Conference on Management of Landscapes Disturbed by Channel Incision, pp: 1-11.
- Schumm, S. A., (2007). River Variability and Complexity, First Published, Cambridge University Press, Published in the United States of America, 469 p.
- Schumm, S. A., (2007). River Variability and Complexity, First Published
- Shroder, John F. (2013). Treatise on geomorphology treatise on fluvial geomorphology.