



Investigating the lateral erosion of Darehroud river and its classification using Rasgen model (Case study: Horand city - East Azerbaijan)

Mousa Abedeni^{a*}, Payam Fateh Elahi^b, Behrouz Nezafat taklhe^b

^aProfessor of in Geomorphology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

^bPh.D. student in Geomorphology, Department of physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Received: 22 August 2022

Revised: 4 October 2022

Accepted: 15 October 2022

Abstract

Riverbank erosion is a hydraulic process in which the tensile force of flowing water causes the separation of soil particles from the bank. River channel changes, bank erosion, and bank sedimentation are natural processes in alluvial rivers that can lead to the destruction of surrounding agricultural lands and damage to human infrastructure near the river.

In this research, the Rasgen model (Levels 1, 2, and 3) was used to evaluate the condition of the Darehroud River and measure the extent of bank erosion. Level 1 was utilized to determine the channel type after calculating the river slope in the study area. Based on the slopes obtained from different sections, field observations of the river's cross-sections, and its planform during field studies, and considering the river classification system based on slope in Level 1 of Rasgen, the examined sections were categorized into Groups B and A.

For this study, six sections from Gavlan village to Laqan village, spanning a length of 5 kilometers, were selected. After determining the river classification in Levels 1 and 2, the conditions of the Darehroud River were evaluated using Level 3 of the Rasgen system. The results indicate that sections 2, 5, and 6 (Group 4B) with total scores of 91, 85, and 111, respectively, and section 4A with a score of 87 are in a weak and unstable condition. In contrast, sections 1 and 3 (Type 4A) with scores of 91 and 87, respectively, are in a good and stable condition.

Overall, the classification of the Darehroud River based on the Rasgen model (Levels 1, 2, and 3) provides a logical assessment that delivers more detailed and accurate information for river management applications.

Keywords: Riverbank Erosion, Alluvial Rivers, Rasgen Model, River Stability Assessment, Hydraulic Processes, Northwest of Iran.

*. Corresponding author: Mousa Abedeni Email: abedeni@uma.ac.ir Tel:+989143535226

How to cite this Article: Abedini, M., Fateh Elahi, P., & Nezafat takle, B. (2024). Investigating the lateral erosion of Darehroud river and its classification using Rasgen model (Case study: Horand city - East Azerbaijan). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 13(3), 101-128.



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)



بررسی فرسایش کناری رودخانه دره رود و طبقه‌بندی آن با استفاده از مدل راسگن

(مطالعه موردی: شهرستان هوراند - آذربایجان شرقی)

موسی عابدینی^۱ - استاد ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

پیام فتح الهی - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

بهروز نظافت تکه - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۵/۳۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۷/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۷/۲۳

چکیده

فرسایش کناره‌ای رودخانه به یک روند هیدرولیکی مرتبط می‌شود که در تحت آن نیروی کششی حاصل از جریان موجب جدا شدن ذرات خاک کناره می‌گردد. تغییرات مجرای رودخانه، فرسایش کناره‌ای و رسوب‌گذاری کناره‌ای، فرآیندهای طبیعی رودخانه‌های آبرفتی هستند که باعث تخریب زمین‌های کشاورزی اطراف و خسارت به تأسیسات انسانی اطراف رودخانه می‌شود. در این پژوهش از مدل راسگن (سطح ۱ و سطح ۲ و سطح ۳) جهت ارزیابی وضعیت رودخانه دره رود به منظور اندازه‌گیری میزان فرسایش کناره‌ای و از سطح یک برای مشخص نمودن نوع مجرا پس از به دست آوردن شیب رودخانه دره رود در محدوده مورد مطالعه استفاده شده است. با توجه به شیب‌های به دست آمده از مقاطع مختلف و مشاهدات میدانی از سطح مقطع و پلان رودخانه در مطالعات میدانی و با ملاحظه طبقه‌بندی رودخانه‌ها بر اساس شیب‌های مختلف در طبقه‌بندی اولیه و سطح ۱ راسگن، مقاطع مورد نظر در گروه B و A قرار گرفتند. در این پژوهش ۶ مقطع از روستای گاولان تا روستای لقان به طول ۵ کیلومتر انتخاب شده است. پس از مشخص نمودن طبقه‌بندی رودخانه در سطح یک و دو راسگن، شرایط رودخانه دره رود و بازه‌های آن، از مجموع امتیازهای به دست آمده در سطح سوم راسگن از مجموع امتیازهای به دست آمده در سطح سوم راسگن، در

منطقه مورد مطالعه، بازه ۲ و ۵ و ۶ هر سه از گروه تیپ B^۴، به ترتیب با مجموع امتیازهای ۹۱ و ۸۵ و ۱۱۱ و گروه تیپ A^۴ با امتیاز ۸۷ در وضعیت ضعیف ناپایدار قرار می‌گیرند. بازه ۱ و ۳ از گروه تیپ A^۴، به ترتیب با مجموع امتیازهای ۹۱ و ۸۷ در وضعیت خوب و پایدار قرار گرفته دارند. درواقع طبقه‌بندی رودخانه دره رود در محدوده مورد مطالعه بر اساس سیستم طبقه‌بندی سطح یک، دو و سه راسگن، یک ارزیابی منطقی است که اطلاعات ریزتر و دقیق‌تری را برای کاربردهای مدیریتی فراهم می‌کند.

کلیدواژه‌ها: فرسایش کناره رودخانه، رودخانه‌های آبرفتی، مدل راسگن، ارزیابی پایداری رودخانه، فرآیندهای هیدرولیکی، شمالغرب ایران.

۱-مقدمه

حوضه‌های رودخانه‌ای که به حوضه‌های هیدروگرافی نیز مرسوم است، عوامل فرسایشی به صورت سیستماتیک مرتبط به هستند. ارزش و اهمیت مطالعات حوضه‌های رودخانه‌ای به لحاظ افزایش روزافزون جمعیت و بستر بر آورد کننده نیازهای کشاورزی، دامداری و گسترش مناطق مسکونی و شبکه ارتباطی و سایر کاربری‌ها روز به روز بیش‌تر معلوم می‌شود (Abedini, 2018). ژئومورفولوژی زمین با گذشت زمان در حال تغییر است و در این میان فرسایش خاک یکی از مهم‌ترین پدیده‌های تأثیرگذار در تغییرات مورفولوژی سطح زمین است (Abedini & Tulabi, 2017). مهم‌ترین پدیده در فرایندهای پوسته زمین جریان آب‌ها است و رودخانه‌ها نه تنها در سیمای کلی زمین نقش دارند، بلکه شکل زیستن انسان در کره‌ی زمین را نیز تعیین می‌نماید (Rezaei Moghaddam, Sarvati & Asghari Sareskanrood, 2012). رودخانه به عنوان دستگاهی پویا، مکان و خصوصیات مورفولوژیکی خود را همواره برحسب زمان، عوامل ژئومورفیک، زمین‌شناختی، هیدرولوژیکی و گاه در اثر دخالت بشر تغییر می‌دهد (Rezaei Moghaddam, Sarvati & Asghari Sareskanrood, 2018). در بسیاری از دستگاه‌های رودخانه‌ای، در طول صدسال گذشته، عوامل متعددی مانند استفاده از زمین، شهرنشینی، زهکشی، ساخت سدها، انحراف مسیر رودخانه، احداث معادن شن و ماسه و دینامیک رودخانه تغییرات قابل توجهی در اثر دخالت انسانی داشته است. آب‌و خاک، پایه و اساس حیات بشر به شمار می‌آیند. امروزه فرسایش خاک این منابع با ارزش و در نتیجه حیات بشر را تهدید می‌کند؛ بنابراین ارزیابی فرسایش خاک و کنترل آن امری ضروری است (Abedini & Tulabi, 2017).

پیامدهای فرسایش کناره‌ای باعث بروز تغییرات و ناپایداری‌ها در رودخانه و نهایتاً تغییر الگوی رفتاری رودخانه می‌گردد. لذا جهت مقابله با این پدیده و کاهش اثرات مخرب آن نیاز به شناخت پدیده فرسایش کناری و مکانیزم وقوع آن است (Kang, 2007). محدوده مطالعاتی که قسمتی از رودخانه دره‌رود در آن قرار گرفته است با وسعت ۶۶۶۲ هکتار معادل ۶۶/۶ کیلومترمربع در قسمت شمال شرقی استان آذربایجان شرقی و در شهرستان هوراند واقع شده است. ورود جبهه سرد به منطقه و نزول درجه حرارت در صورت مساعد بودن وضعیت جوی سبب ریزش برف با چگالی کم می‌گردد. بنابراین سیستم فشار زیاد سیبری بنا به موقعیت و نوع جریان تا اندازه‌ای بر روی منطقه اثر می‌گذارد. بارندگی سالانه در منطقه مورد مطالعه ۳۵۶ میلی‌متر است و حجم این بارش در حدود ۱۰۳ میلیون مترمکعب است. در طول مسیر این رودخانه می‌توان آثار فرسایش کناره‌ای را به‌کرات مشاهده کرد که این تغییر کانال مشکلاتی را برای مردم به دنبال داشته است. به‌طور کلی به خاطر این‌که رودخانه دره‌رود، از باغ‌ها و زمین‌های کشاورزی و نیز سازه‌های انسانی عبور می‌کند، ضرورت دارد تا با مطالعه فرسایش و برآورد آن از خسارت‌های احتمالی جلوگیری به عمل آید.

مطالعات مختلفی توسط محققان داخلی و خارجی در زمینه ژئومورفولوژی رودخانه‌ای صورت گرفته است که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: در مورد پهنه‌بندی فرسایش خاک حوضه رودخانه بالخلوچای عابدینی و یعقوب نژاد (Abedini & Yaqub Nejad Asl, 2016) پژوهشی انجام داده‌اند و نتایج آن نشان داده که حدود ۲۶/۹۳ درصد از مساحت حوضه در محدوده با خطر فرسایش بسیار زیاد و زیاد و حدود ۳۰/۸۸ در محدوده با خطر فرسایش کم و بسیار کم قرار گرفته‌اند. در ارزیابی مورفولوژی مجرای رودخانه ليقوان با روش طبقه‌بندی راسگن (حد فاصل ایستگاه ليقوان و هروی) داده‌های مقاطع عرضی رودخانه و پارامترهای مورفولوژیکی را برای هر بازه مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و نتایج نشان داد که رودخانه از نوع سینوسی بوده و بر اساس طبقه‌بندی راسگن بازه‌های مختلف در الگوهای مختلف قرار گرفته است و در نهایت این نوع طبقه‌بندی مورفولوژیکی از رودخانه می‌تواند در توسعه طرح‌های مهندسی و بحث‌های مدیریتی و احیای رودخانه مورد استفاده قرار گیرد (Roostaei, Khurshid Dost & Khaleghi, 2012). اسماعیلی و

حسین زاده (Esmeili & Hosseinzadeh, 2015) جهت مقایسه روش‌های روزگن و استیل رود در طبقه‌بندی رودخانه‌های کوهستانی، مطالعه موردی البرز شمالی حوضه آبریز لاریج، پرداختند ایشان به این نتیجه رسیدند بر اساس روش استیل رود، هشت استیل در حوضه آبریز لاریج شناسایی شد و در سیستم طبقه‌بندی روزگن فقط گروه A این روش درست شناسایی شده و بقیه بازه‌ها در هیچ گروه مشخصی قرار نگرفتند. خالقی و همکاران (Khaleghi, Roustaei, Khorshiddoost, Rezaei Moghadam & Ghorbani, 2016) در پژوهشی برآورد فرسایش کرانه رودخانه ليقوان چای با استفاده از شاخص تنش‌برشی نزدیک کرانه راسگن پرداخته‌اند که نتایج نشان داد در روش (R_B/W_{bkf}) ، میزان فرسایش‌پذیری کرانه در اکثر مقاطع به جز مقطع ۱۰، کم تا خیلی کم بوده و در روش (d_{nb}/d_{bkf}) در اکثر مقاطع فرسایش‌پذیری کرانه‌ها در حد کم تا متوسط را نشان داد. ضریب ناپایداری رودخانه طالقان و راهکار مهندسی برای پایدارسازی کناره آن با استفاده از مدل لین را مورد مطالعه قرار داده‌اند. عابدینی (Abedini, 2021) در مورد فرسایش خندقی و رسوبدهی با استفاده از شاخص‌های فرساینده‌گی باران، مورفومتری و رگرسیون خطی در حوضه آبخیز هرزندچای شهرستان مرند تحقیق به عمل آورده و نتایج نشان داده که مجموع کل فرسایش سالانه خاک در حوضه ۴۱۱۲۱۵۲۵ تن و برای هر هکتار ۲۹۱ تن می‌باشد که این بیانگر بالا بودن نرخ فرسایش خاک در این حوضه است.

حسین زاده و همکاران (Hosseinzadeh, Shayan & Najafzadeh, 2022)، به بررسی پتانسیل فرسایش کناره پایداری مجرا در رودخانه حاجی عرب بویین‌زهره- قزوین با استفاده از مدل راسگن پرداختند ایشان به این نتیجه دست یافتند که عامل فرسایش کناره و پوشش گیاهی ریزپارین مؤثرترین عوامل در ناپایداری کناره‌ای رودخانه حاجی عرب تبیین شدند (Batalla et al., 2018). به تحلیل و بررسی تکامل ژئومورفولوژیکی کانال رودخانه طبیعی در حوضه مدیترانه شیلی پرداختند. در این مطالعه با استفاده از سنجش‌ازدور و تصاویر ماهواره‌ای رابطه اقلیم و مورفولوژی رودخانه موردبررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که تغییرات مورفولوژی از قبیل باریک شدن مجرای رودخانه و از بین رفتن پوشش گیاهی توسط انسان باعث فراوانی و بزرگی رویدادهای سیل در این حوضه شده است. هم‌چنین نوسانات ده‌ساله اقیانوس

آرام و فعالیت‌های اقلیمی و کاهش دبی نیز منجر به پایداری رودخانه و ساده‌سازی الگوی زهکشی کانال رودخانه شده است. ویجسکارا و همکاران (Wijesekara, Gupta, Valeo, Hasbani & Marceau, 2010) در تحقیقی، تغییرات کاربری اراضی و تأثیر آن‌ها بر روند هیدرولوژیکی را در حوضه رودخانه آرنج در جنوب کانادا بر اساس مدل‌های توزیع هیدرولوژیکی با استفاده از مدل اتوماسیون سلولی بررسی کرده‌اند. نتایج نشان داد که تغییر کاربری اراضی و پیش‌روی زمین‌های کشاورزی و اراضی مسکونی باعث کاهش عملکرد سالانه آب و رواناب سطح حوضه آبخیز شده است.

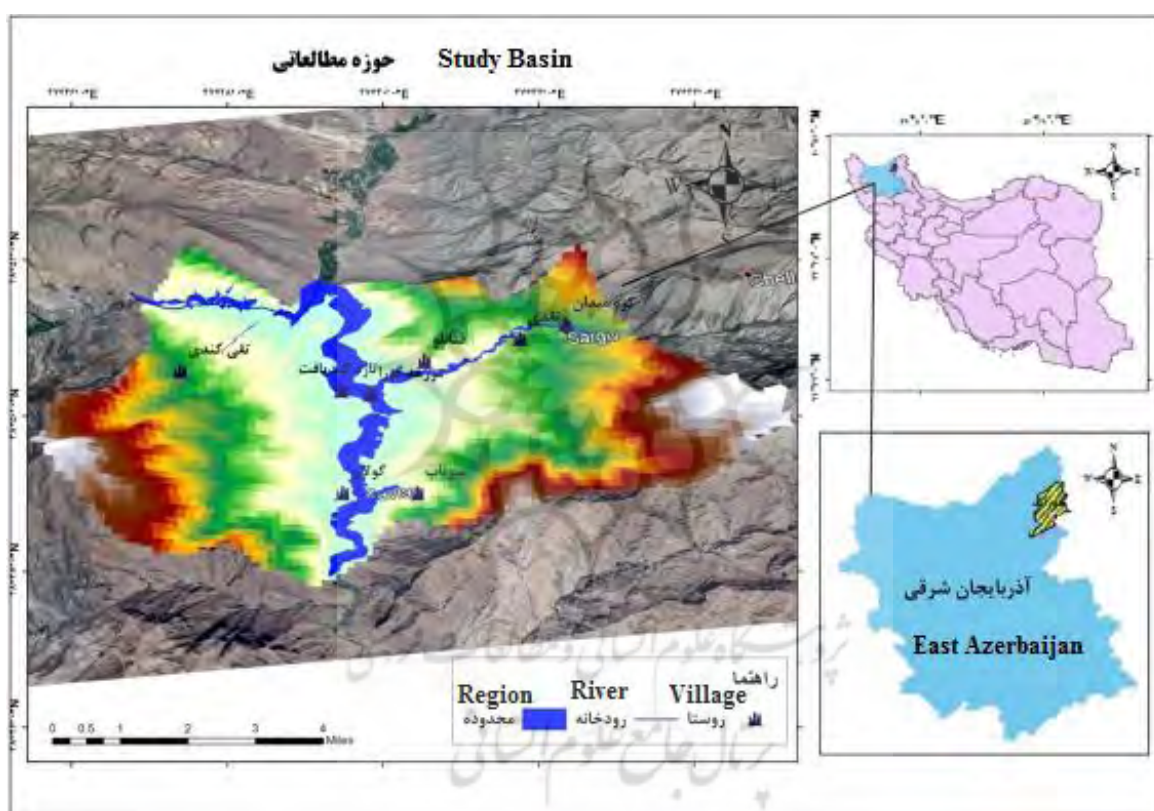
همچنین مطالعاتی همچون ساس و کین (Sass & Keane, 2012) و اطمینان و همکاران (Etminan, Rostami & Nosrati, 2020) انجام شده است. هدف از این پژوهش بررسی فرسایش کناری رودخانه دره‌رود و طبقه‌بندی آن با استفاده از مدل راسگن (مطالعه موردی: شهرستان هوراند - آذربایجان شرقی) می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱ منطقه مورد مطالعه

حوضه مورد مطالعه از نظر هیدرولوژیکی جزئی از حوضه آبریز ارس بوده و از نظر سیاسی جزو استان آذربایجان شرقی و شهرستان هوراند می‌باشد و مساحتی بالغ بر ۲۹۰ کیلومتر مربع را شامل می‌گردد. محدوده مورد مطالعه از نظر مختصات جغرافیایی متریک (UTM) در زون ۳۸ و بین طول‌های ۶۹۲۵۰۵ تا ۷۱۶۷۰۶ متر شرقی و عرض‌های ۴۲۸۵۱۵۷ تا ۴۳۰۸۲۹۳ متر شمالی واقع شده است. این محدوده در حوضه آبخیز هوراند واقع شده است. وسعت حوضه آبخیز هوراند برابر ۲۹۰۵۰ هکتار معادل ۲۹۰/۵ کیلومتر مربع و محیط حوضه نیز ۸۵/۷۸ کیلومتر می‌باشد. محدوده مطالعاتی که قسمتی از رودخانه دره‌رود در آن قرار گرفته است با وسعت ۶۶۶۲ هکتار معادل ۶۶/۶ کیلومتر مربع در قسمت شمال شرقی استان آذربایجان شرقی و در شهرستان هوراند واقع شده است. ورود جبهه سرد به منطقه و نزول درجه حرارت در صورت مساعد بودن وضعیت جوی سبب ریزش برف با چگالی کم می‌گردد. بنابراین سیستم فشار زیاد سیبری بنا به موقعیت و

نوع جریان تا اندازه‌ای بر روی منطقه اثر می‌گذارد. بارندگی سالانه در منطقه مورد مطالعه ۳۵۶ میلی‌متر می‌باشد و حجم این بارش در حدود ۱۰۳ میلیون مترمکعب می‌باشد و متوسط تبخیر در منطقه مورد مطالعه ۱۲۴۲/۹ میلی‌متر می‌باشد. منطقه مورد مطالعه از نظر رخدادهای زمین ساختی در طور دوران پالئوژوئیک همانند ایران مرکزی و البرز دارای شرایط پلاتفرمی بوده است و طی آن رسوبات دریایی کم‌ژرفای قاره‌ای در آن انباشته شده است (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Fig.1. Location of the study area

۲-۲- مطالعات میدانی و روش‌های استفاده شده

تحقیق مورد نظر، به صورت مطالعات میدانی، مطالعات کتابخانه‌ای و آزمایشگاهی استفاده شده است. استفاده از نقشه‌های توپوگرافی به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰ از سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح و سازمان

نقشه‌برداری کشور و استفاده از نقشه زمین‌شناسی به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ از سازمان زمین‌شناسی کشور. بررسی‌های میدانی مستقیم جهت انجام ملاحظات ژئومورفولوژی محلی، اندازه‌گیری‌های مورفومتری کانال رود، عکس‌برداری و ارزیابی ضریب مانینگ صورت گرفته است. داده‌های حاصل از بررسی میدانی، شامل اندازه‌گیری عمق رودخانه در مقطع‌های مختلف، عرض مقطع پر، شیب بستر، شیب کناره رودخانه و شیب دیواره در مقاطع مختلف، بررسی جنس زمین و نوع پوشش گیاهی و سرعت آب در مقاطع مختلف هستند. برداشت‌های زمینی و محاسبه پارامترهای ژئومورفیک و هیدرولیک (عمق، مساحت مقطع عرضی، محیط خیس شده، شعاع هیدرولیک، شیب کانال، عرض کانال و عرض کانال در دبی لبالی، عمق دبی لبالی، عرض دره، مساحت حوضه، ضریب مانینگ) و کارهای آزمایشگاهی و درنهایت واردکردن اطلاعات به‌دست‌آمده در مدل راسگن و بررسی جابجایی عرضی و تغییرات بستر رودخانه از طریق مطالعه مقاطع عرضی رودخانه انجام گرفته است.

با توجه به آثار کناره رودخانه از جمله: زیربری رودخانه، تغییرات جنس در کرانه رودخانه، با توجه به آثار خزه‌ها و گل‌سنگ‌ها، تغییرات رنگ سنگ‌ها و در محل‌هایی که دشت سیلابی داریم لبه دشت سیلابی دبی لبالی یا عرض مقطع پر مشخص می‌شود، که می‌توان با استفاده از متر پارچه‌ای آن را اندازه‌گیری کرد (شکل ۲ و ۳).



شکل ۲- نمایی از اندازه‌گیری دبی لبالی

Fig.2. A view of overflow discharge measurement

شعاع انحنا را برای هر مقطع در محیط اتوکد و با استفاده از تصاویر گوگل ارث به دست می‌آوریم که در این روش ابتدا تصویر برداشته شده از گوگل ارث را از مقطع موردنظر در اتوکد هم مقیاس کرده و سپس دایره مماس بر قوس‌های موردنظر را رسم کرده و شعاع انحنا را به دست می‌آید.

۳-۲- ضریب خمیدگی

میزان ضریب خمیدگی برای هر بازه از گوگل ارث به دست آمد. درجایی که طول مجرا به صورت طول تالوگ فرض شود، از تقسیم طول مجرا (CL)، به طول دره (VL) ضریب خمیدگی (SR) به دست می‌آید (Kang, 2007) (جدول ۱).



شکل ۳- وضعیت مقطع شماره دو در رودخانه دره رود

Fig.3. Condition of cross-section number two in the Dareh Roud river

جدول ۱- تقسیم‌بندی رودخانه‌ها بر حسب ضریب خمیدگی

Table 1- Rivers classification based on curvature coefficient

ضریب پیچشی	۱-۱/۰۵	۱/۰۶- ۱/۲۵	۱/۲۵- ۲	> ۲
شمای رودخانه				
نوع رودخانه	مستقیم	شیب‌نویسی	پیچان‌رودی	پیچان‌رودی شدید



شکل ۴- اندازه‌گیری ضریب خمیدگی و نوع بازه در مقطع شماره دو

Fig.4. Measurement of curvature coefficient and channel reach type in cross-section 2

$$(SR) = \frac{1331.73}{657.63} = 2/02$$

در مقطع شماره ۲ شکل ۴، الگوی رودخانه از نوع میانداری نسبتاً شدید می‌باشد و توسعه میانداریها منجر به میانبر گلوگاهی و ایجاد اشکال ژئومورفیکی نعل اسبی شده است.

دانه‌بندی از جمله مشخصه‌های مهم مواد رسوبی موجود در بستر رودخانه‌ها است. در یک تقسیم‌بندی کلی می‌توان مواد رسوبی موجود در بستر رودخانه‌ها را از لحاظ دانه‌بندی به دو گروه رسوبات چسبنده (ریزدانه‌ها) و رسوبات غیر چسبنده (درشت‌دانه‌ها) متمایز کرد. ترکیب دانه‌بندی رسوبات چسبنده شامل سیلت و رسی بوده و اندازه دانه‌ها کمتر از ۰/۰۶۲ میلی‌متر است، شن بخش عمده‌ای از بستر رودخانه‌های پیچان‌رودی در مناطق جلگه‌ای کم شیب و مصب‌ها دارای ساختار سیلت و رس بوده و ریخت‌شناسی رودخانه با آن مرتبط. رسوبات غیر چسبنده از طیف وسیع‌تری برخوردار و از چهار رتبه مشخص شامل

ماسه، شن، قلوه‌سنگ و قطعه‌سنگ تشکیل شده است (Kang, 2007)، بسترهای ماسه‌ای در بازه‌های مستقیم و پیچان‌رودها عمومیت دارد. برای معرفی دامنه تغییرات دانه‌بندی استفاده از نمودار میله‌ای و تجمعی متداول می‌باشد. مواد رسوبی موجود در رودخانه‌ها معمولاً دارای لایه‌بندی‌های متفاوتی است. از این رو علاوه بر دانه‌بندی، وجود لایه‌های رسوبی مختلف در بستر رودخانه‌ها رفتار ریخت‌شناسی آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بر این اساس لایه‌ای از جنس ماسه ممکن است بر روی یک‌لایه شنی و یا رسی قرار گیرد. بدیهی است اندازه دانه‌ها بر نرخ انتقال رسوب و میزان فرسایش و رسوب‌گذاری و پیامدهای ریخت‌شناسی حاصله تأثیر مستقیم دارد. با افزایش قطر دانه‌ها نرخ انتقال رسوب رو به کاهش می‌گذارد. از این رو تغییرات لایه‌بندی می‌تواند روند فرسایش و یا رسوب‌گذاری را دستخوش تغییر نماید. وجود یک‌لایه ماسه‌ای در زیر لایه شنی پتانسیل تشدید فرسایش را افزایش می‌دهد. از دیدگاه ریخت‌شناسی و انتقال رسوب دولایه مشخص همواره باید مدنظر قرار گیرد. لایه سطحی یا لایه جوشنی و لایه زیرین. وجود لایه جوشنی مانع ادامه فرسایش و کف کنی بستر شده و از این طریق مشخصه‌های ریخت‌شناسی رودخانه را تثبیت می‌نماید. در سیلاب‌های بزرگ با شکسته شدن لایه جوشنی لایه زیرین فرسایش یافته و رودخانه فرسایش عمومی را تجربه می‌کند، در مطالعات رودخانه‌ای، به رودخانه‌های آبرفتی که اندازه رسوبات بستر آن‌ها از دو میلی‌متر بزرگ‌تر باشد به‌طور کلی بستر گراولی گفته می‌شود. اگر هدف مطالعه رسوبات سطحی بستر گراولی رودخانه باشد روش‌های متعددی شامل نقشه‌برداری رخساره‌ها، تخمین بصری، شمارش سنگ و عکاسی وجود دارد. بدیهی است که اندازه‌گیری تمامی رسوبات رودخانه و یا حتی یک بازه امکان‌پذیر نیست. از این رو لازم است که محقق از رسوبات بستر رود یا اشکال ژئومورفیک رودخانه‌ای نمونه‌گیری نماید و نتایج را به جوامع آماری که در اینجا بازه رود یا کل رودخانه است، تعمیم دهد. تکنیک‌های مختلفی برای نمونه‌گیری در مطالعات رودخانه‌ای پیشنهاد شده است که در تحقیق موردنظر از اندازه‌گیری با گراول‌متر انجام گرفته است. گراول‌متر یک الگو یا قالب است که اندازه ذرات حدی بر روی آن به‌صورت یک مربع بریده شده‌اند. گراول‌متر را می‌توان بر روی یک‌یک صفحه عکس رادیولوژی برش داد که به‌راحتی بر روی زمین قابل استفاده است.

برای به دست آوردن دبی ابتدا باید سرعت آب اندازه‌گیری شود که از سرعت جسم شناور در آب استفاده می‌شود. سرعت رود تحت تأثیر شیب، ناهمواری بستر و شکل مقطع عرضی کانال رود است. یکی از فن‌های رایج برای تخمین غیرمستقیم دبی روش شیب-سطح مقطع مانینگ است. علت اینکه در مطالعات ژئومورفولوژی رودخانه‌ای اغلب از این روش برای محاسبه سرعت جریان و حجم دبی استفاده می‌شود، اول این است که همه مکان‌ها یا مقاطع دارای ایستگاه آب‌سنجی نیستند و دوم اینکه اندازه‌گیری مستقیم دبی اوج رود در اغلب جریان‌های سیلابی امکان‌پذیر نبوده و محاسبه دبی جریان سیلاب‌های گذشته با استفاده از این روش امکان‌پذیر است.

معادله مانینگ برای محاسبه دبی به صورت زیر است:

$$V = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n}$$

$$Q = \frac{AR^{2/3} S^{1/2}}{n}$$

V: سرعت جریان به متر در ثانیه ($\frac{m}{s}$)

Q: دبی به مترمکعب در ثانیه ($\frac{m^3}{s}$)

A: مساحت مقطع عرضی به مترمربع (m^2)

S: شیب بر حسب متر بر متر ($\frac{m}{m}$) شیب درواقع شیب خط انرژی است، باوجوداین، در عمل شیب انرژی

موازی با شیب سطح آب و شیب بستر فرض می‌شود و شیب بستر رود اندازه‌گیری می‌شود،

R: شعاع هیدرولیک به متر (m) و n: ضریب زبری مانینگ که با استفاده از جداولی که در کتاب‌های

هیدرولوژی موجود است، می‌توان مقدار آن را مشخص نمود.

۲-۴- طبقه‌بندی رودخانه بر اساس روش راسگن

دیوید راسگن در راستای شناخت رفتار رودخانه‌ها، با بررسی تعداد بی‌شماری از آبراهه‌های مختلف، شناخت مناسبی از انواع رودخانه‌ها به دست آورده و مراحل تعیین خصوصیات ریخت‌شناسی رودخانه را ارائه و تشریح نموده است. بر اساس روش راسگن، خصوصیات ریخت‌شناسی رودخانه‌ها در چهار سطح مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد و به ترتیب از سطح یک که شناخت مشخصات کلی و بر مبنای بررسی سطحی است تا سطح چهار که ارزیابی بسیار دقیق و با جزییات کامل از ویژگی‌های ریخت‌شناسی رودخانه ارائه می‌دهد انجام می‌شود. در روش راسگن با تعیین نوع رودخانه بر اساس طبقه‌بندی انواع آن در هر سطح از ارزیابی، خصوصیات ریخت‌شناسی آن پیش‌بینی می‌گردد.

در سال ۱۹۹۶، رزگن با انتشار مقاله طبقه‌بندی رودخانه‌های طبیعی یک طبقه‌بندی سلسله مراتبی جدیدی را ارائه کرد. این طبقه‌بندی با توجه به این که مباحث مربوط به احیای رودخانه را در بر می‌گرفت، به سرعت در بین هیدرولوژیست‌ها، ژئومورفولوژیست‌ها و بیوژیست‌ها مورد توجه واقع شد. این مدل به صورت وسیع بر روی رودخانه‌های ایالات متحده آمریکا مورد استفاده قرار گرفته است.

طبقه‌بندی رزگن بر اساس چهار سطح صورت می‌گیرد:

سطح اول: ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی شامل توپوگرافی، لندفرم‌ها، مورفولوژی دره، الگو و پروفیل‌های رودخانه

سطح دوم: توصیف مورفولوژیکی بر اساس مطالعات میدانی تعیین‌کننده منابع اطلاعاتی بازه‌ها

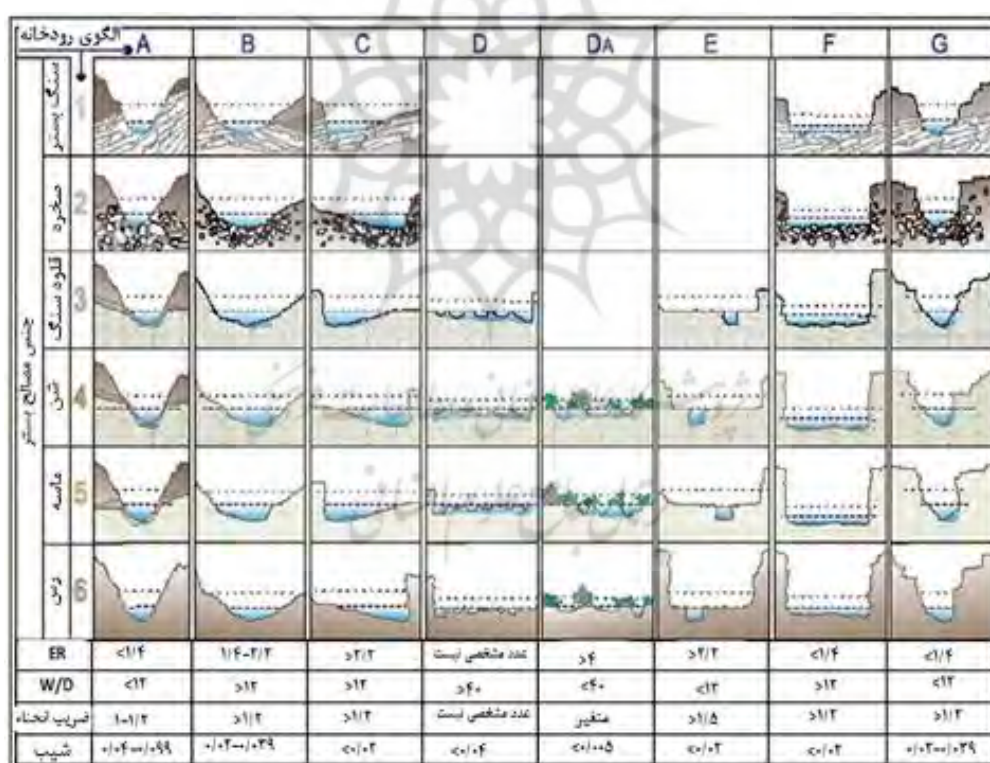
سطح سوم: حالت و وضع رودخانه در شرایط پایداری، واکنش و پتانسیل پاسخ

سطح چهارم: اعتبار سنجی اندازه‌گیری‌ها بررسی روابط بین فرآیندها (Shea et al., 2005).

در این پژوهش با توجه به هدف و داده‌های موجود، سطح ۱ و سطح ۲ و سطح ۳ سیستم رزگن بررسی گردید. طبقه‌بندی رودخانه‌ها در سطح ۱ راسگن: در سطح ۱ راسگن با در نظر گرفتن اطلاعات حاصل از

نیمرخ رودخانه، عوارض دره، شکل سطح مقطع و الگوی پلان طبقه‌بندی رودخانه‌ها انجام می‌گیرد. در این طبقه‌بندی الگوی پلان به بازه مستقیم، پیچان‌رودی با ضریب خمیدگی متفاوت، شریانی پایدار و ناپایدار طبقه‌بندی می‌شود. در این سطح نوع رودخانه از نوع A تا نوع G که همراه با خصوصیات کلی، شکل سطح مقطع و الگوی شکل جریان است مشخص می‌گردد (شکل ۵).

طبقه‌بندی رودخانه‌ها در سطح ۲ راسگن: دومین سطح از تحلیل ریخت‌شناسی رودخانه و خصوصیات رفتاری آن در روش راسگن، توصیف جزئی‌تر و دقیق‌تری از طبقه‌بندی رودخانه‌ها ارائه می‌دهد. در این سطح از تقسیم‌بندی راسگن، پارامترهای بیشتری شامل شیب رودخانه، انواع مصالح بستر رودخانه (از قطعات سنگی تا سیلت)، شاخص گود افتادگی (ER)، نسبت عرض به عمق در حالت دبی لب‌لایی و ضریب خمیدگی استفاده می‌شود (شکل ۵).



شکل ۵- طبقه‌بندی ژئومورفیکی مجرای رودخانه بر اساس طبقه‌بندی سطح ۲ راسگن

Fig.5. Geomorphological classification of river channel based on Rasgen level 2 classification

طبقه‌بندی رودخانه‌ها در سطح ۳ راسگن: در طبقه‌بندی سطح ۳، مفهوم پایداری و پتانسیل رودخانه موردتوجه قرارداد. پایداری یک آبراهه از نظر مورفولوژی، توانایی آبراهه در حفظ شرایط موجود و باقی ماندن در آن وضعیت در طی زمان از جمله حفظ ابعاد، الگو و مقاطع آن است، به نحوی که رودخانه نه رسوب‌گذار و نه در حالت کف کنی باشد. پس از طبقه‌بندی در سطح یک از A تا G بسته به نوع مواد رسوبی بستر، بار دیگر به بخش‌های ریزتری شامل بسترهای رسی-سیلته‌ای، بسترهای ماسه‌ای، بسترهای شنی، بسترهای قلوه‌سنگی، بسترهای سنگی و بسترهای قطعه‌سنگی طبقه‌بندی می‌شوند. با توجه به جدول ۲، سه بخش رودخانه شامل بخش بالایی، بخش پایینی کرانه رودخانه و کف و بستر رودخانه بر اساس ۴۲ پارامتر و شاخص‌های آن همراه با پیمایش‌های میدانی در بازه‌های مورد مطالعه ارزیابی شده و در نهایت شرایط جریان در چهار حالت عالی، خوب، متوسط و ضعیف مشخص می‌گردد.

جدول ۲- معیارهای ارزیابی شرایط پایداری رودخانه در سطح سوم رزگن (Rosgen, 1996)

Table 2- Criteria for evaluating the stability conditions of the river in the third level of Rosgen (Rosgen, 1996)

امتیاز Score	خوب Good	امتیاز Score	عالی Fine	رده Class	
4	گرادیان شیب ۳۰-۴۰ درصد Slope gradient of 30 to 40%	2	گرادیان شیب کمتر از ۳۰ درصد Slope Gradient less than 30%	1	شیب لند فرم Landform Slope
6	نادر Rare	3	بدون شواهد Without evidence	2	حرکات توده‌ای Mass movements
4	ریزش کم با اندازه‌های کوچک Low rockfall	4	اساساً وجود ندارد Essentially doesn't exist	3	پتانسیل ریزش سنگ Rockfall potential
6	تراکم بوته ۷۰-۹۰ درصد و نسبتاً شدید 70-90% shrub density and relatively Severe	5	تراکم بوته ۹۰ درصد و شدید 90% shrub density and Severe	4	پوشش گیاهی سواحل Coastal vegetation cover
2	مناسب، سرریز نادر، نسبت ۸-۱۵ W/D Suitable, Rare overflow, W/D ratio 8-15	1	زیاد، جریان پیک، نسبت W/D کمتر از ۷ High, peak flow, W/D ratio less than 7	5	ظرفیت کانال Channel capacity
4	تخته سنگ کوچک ۴۰-۶۵ درصد، اندازه ۱۲-۶ اینچ small boulders 40-60% size: 6-12 inch	2	تخته سنگ‌های بزرگ زاویه‌ای ۶۵ درصد و بیشتر Large boulders with an angle of 65% or higher	6	اندازه سنگ ساحل Beach rock size
4	در حلی که باعث جریان سایشی	2	سنگ‌ها	7	موانع جریان

شود		Rocks		Flow obstacles	
To the extent that it causes abrasive flow					
6	در حد خمیدگی، ۱۲ اینچ At the level of curvature, 12 inches	4	عدم برش یا خیلی کم، کمتر از ۶ اینچ No or minimal erosion, less than 6 inches	برش Cut	8
8	کم، همراه با کمی شن درشت Low, with some coarse sand	4	کم یا بدون پوینت بار Low or no point bars	رسوب گذاری Sedimentation	9
2	گوشه های گرد و لبه دار Rounded corners and edged	1	لبه تیز و گوشه دار Sharp edges and angular corners	زاویه سنگ Rock angle	10
2	سطوح کدر بیشتر، سطوح روشن در حدود ۳۵ درصد Dull surfaces predominant, bright surfaces around 35%	1	سطوح کدر، تاریک Dull, dark surfaces	روشنایی Brightness	11
4	متوسط با کمی تداخل Moderate with minimal interference	2	کم، اندازه های گوناگون Low, various sizes	انسجام ذرات Partical cohesion	12
8	تغییر اندازه متوسط، ۵۰-۸۰ درصد Moderate size change, 50-80% bed stability	4	بدون تغییر اندازه مشهود، ۸۰-۱۰۰ درصد No noticeable size change, 80-100% bed stability	ابعاد اندازه بستر Bed material dimensions	13
12	فرسایش ۵-۳۰ درصد تحت تأثیر 5-30% of the bed affected by erosion	6	کمتر از ۵۰ درصد کف تحت تأثیر Less than 50% of the bed affected by abrasion	فرسایش و رسوب Erosion & Sefimentation	14
2	معمول، اشکال جلبک Common, algae formations	1	فراوان، خزه Abundant, moss	پوشش گیاهی آبی Aquatic vegetation cover	15
امتیاز Score	ضعیف Weak	امتیاز Score	متوسط Moderate	رده Class	
8	گرادیان شیب بیشتر از ۶۵ درصد Slope gradient greater than 65%	6	گرادیان شیب ۴۰-۶۰ درصد Slope gradient 40-60%	شیب لند فرم Landform Slope	1
12	مکرر، باعث رسوب و خطر به طور منظم Frequent, causing sedimentation and risk regularly	9	مکرر یا بزرگ، باعث رسوب به طور منظم Frequent or large, regularly causing sediment deposition	حرکات توده ای Mass movements	2
8	متوسط تا سنگین، عمدتاً اندازه بزرگ تر Moderate to heavy, mainly larger sizes	6	متوسط تا سنگین، عمدتاً در اندازه های بزرگ Moderate to heavy, mainly in large sizes	پتانسیل ریزش سنگ Rockfall potential	3
12	تراکم بوته کمتر از ۵۰ درصد و توان رشد ضعیف Shrub density less than 50%, poor growth potential	9	تراکم بوته ۵۰-۷۰ درصد با توان رشد کم Shrub density 50-70%, low growth potential	پوشش گیاهی سواحل Coastal vegetation cover	4

بستر رودخانه
River bed

بخش بالایی کرانه رودخانه
Upper reach of the river bank

5	ظرفیت کانال Channel capacity	جریان پیک نادر، نسبت W/D ۱۵-۲۵ اینچ Rare peak flow, W/D ratio 15-25 inches	نامناسب، سرریز معمول، نسبت W/D بیشتر از ۲۵ درصد Inappropriate, common overflow, W/D ratio greater than 25%	3	4
6	اندازه سنگ ساحل Beach rock size	قلوه سنگ ۲۰-۴۰ درصد، اندازه ۳-۶ اینچ Cobble 20-40%, size 3-6 inches	شن و سنگ بیشتر از ۲۰ درصد، اندازه ۱-۳ اینچ Sand and gravel more than 20%, size 1-3 inches	6	8
7	موانع جریان Flow obstacles	متوسط حرکت با جریان بالا Moderate movement with high flow	کم، پر شدن رسوب گیرها Low, sediment trap infilling	6	8
8	برش Cut	قابل توجه، برش ساحل اولیه ۱۲-۲۴ اینچ Significant, initial beach erosion 12-24 inches	تقریباً مداوم، بزرگ‌تر از ۲۴ اینچ Almost continuous, larger than 24 inches	12	16
9	رسوب‌گذاری Sedimentation	متوسط، شن‌های جدید و ماسه دربار رسوب Medium, new sands and sandbars sedimentation	گسترده، دانه‌ریز Extensive, fine-grained	12	16
10	زاویه سنگ Rock angle	لبه‌ها و گوشه‌ها به خوبی گرد شده Edges and corners well-rounded	در همه ابعاد به خوبی گرد شد Well-rounded in all sizes	3	4
11	روشنایی Brightness	ترکیب کدر و روشن بین ۳۵-۶۵ درصد Dull and bright composition 35-65	عمدتاً روشن بیشتر از ۶۵ درصد Mainly bright, more than 65%	3	4
12	انسجام ذرات Partical cohesion	جور شدگی کم، بدون تداخل Low sorting, no interference	بدون جور شدگی مشهود، حرکت آسان No noticeable sorting, easy movement	6	8
13	ابعاد اندازه بستر Bed material dimensions	تغییر متوسط در اندازه، پایداری بستر ۲۰-۵۰ درصد Moderate size variation, bed stability 20-50%	تغییر زیاد، پایداری بستر کمتر از ۲۰ درصد Significant size variation, bed stability less than 20%	12	16
14	فرسایش و رسوب Erosion & Sefimentation	۳۰-۵۰ درصد کف تحت تأثیر سایش، پرشدگی حوضچه‌ها 30-50% of the bed affected by abrasion, pool infilling	بیشتر از ۵۰ درصد کف به‌طور منظم تحت تأثیر سایش قرار دارد More than 50% of the bed regularly affected by abrasion	18	24
15	پوشش گیاهی آبی Aquatic vegetation cover	نقطه‌ای، در مرداب‌ها، جلبک فصلی Point bars, in swamps, seasonal algae	کمیاب یا وجود ندارد Rare or nonexistent	3	4

پس از بازه بندی مسیر رودخانه با تکیه بر بازدیدهای میدانی و سپس آنالیز داده‌های خام و محاسبات کلی، ۶ مقطع عرضی از روستای گاولان تا روستای لقان به طول ۵ کیلومتر انتخاب شد. در تمام بازه‌های مسیر مورد مطالعه استخراج و کلیه پارامترهای مورد نیاز جهت طبقه‌بندی و شناسایی ژئومتریک مجرا در آن بازه‌ها محاسبه گردید. ابتدا کلیه پارامترهای نسبت عرض به عمق، مساحت مقطع عرض در دبی لبالبی، عرض دبی لبالبی، حداکثر عمق، عرض دشت سیلابی و شیب سطح آب، ضریب خمیدگی برای همه بازه‌ها و مقاطع عرضی محاسبه گردیدند و سپس پارامترهای گود افتادگی بستر، نسبت عرض به عمق، شیب سطح آب، اندازه متوسط مواد مجرا برای طبقه‌بندی سطح دو راسگن مورداستفاده قرار گرفتند (جدول ۳).

جدول ۳- پارامترهای مؤثر در مدل راسگن در سطح ۱ و ۲ رودخانه دره رود

Table 3- Effective Parameters in the Rosgen Model at Levels 1 and 2 for the Darreh-Roud River

جنس مصالح بستر Bed Material Composition	شیب Slope (%)	ضریب خمیدگی Curvature Coefficient	عرض مقطع بر عمق Cross- Sectional Width to Depth Ratio (m)	عرض دشت سیلابی بر عرض دبی لبالبی Floodplain Width to Bankfull Discharge Width Ratio (m)	میانگین عمق Average Depth (m)	عرض دشت سیلابی Floodplain Width (m)	عرض دبی لبالبی Bankfull Discharge Width (m)	مقطع Cross- Section
شنی Sandy	0.022	1.02	8	16.58	0.987	131	7.90	1
شنی Sandy	0.021	2.02	19.32	13.62	0.414	109	8	2
شنی Sandy	0.033	1.01	34.85	15.45	0.245	132	8.54	3
شنی Sandy	0.026	2.85	30.37	15.53	0.428	202	13	4
شنی Sandy	0.025	1.17	11.04	24.42	0.563	152	6.22	5
شنی Sandy	0.025	1.16	18.81	13.44	0.431	109	8.11	6

طبق مطالعات میدانی به عمل آمده، رودخانه دره رود از لحاظ طبقه‌بندی بر اساس جنس رسوبات بستر (سنگی و آبرفتی) در گروه آبرفتی قرار دارد. در فصل تابستان به دلیل کاهش سطح آب، رسوبات ریزدانه بر روی رسوبات درشت‌دانه قرار می‌گیرند، در نتیجه ذرات ماسه بین ذرات شنی گیرکرده و موجب تحکیم بستر می‌گردند، این رسوبات از نوع شنی - ماسه‌ای می‌باشند، ولی در زمستان به دلیل پرآبی، ذرات ریز به همراه جریان تند از جا کنده شده و ذرات درشت در کف بستر باقی می‌مانند؛ بنابراین نوع رسوبات موجود

در کف رودخانه دره رود از نوع شنی و قلوه‌سنگی می‌باشند. برای به دست آوردن اندازه متوسط مواد کانال، در مسیر رودخانه در فواصل مختلف تعداد ۱۶ نمونه برداشت شد و در آزمایشگاه دانه سنجی گردیدند (جدول ۴). طبق داده‌های به‌دست‌آمده بیشترین درصد ذرات در طول مسیر رودخانه را شن متوسط به میزان ۲۶/۶ درصد و قلوه‌سنگ به میزان ۱۴/۷ درصد تشکیل می‌دهند که برای طبقه‌بندی راسگن ملاک ارزیابی قرار گرفتند، با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در جداول مذکور، کل بازه‌های مسیر مورد مطالعه در گروه B و A قرار گرفتند. شاخصی گود افتادگی نشان‌دهنده وضعیت شکل مقطع از جهت فرورفتگی عمقی بستر (کف کنی) و یا گسترش در دشت سیلابی هست و این شاخص به‌صورت نسبت عرض پهنه سیلاب در ارتفاعی معادل عمق دو برابر حداکثر عمق دبی لبالی به عرض سطح آب متناظر دبی لبالی تعریف می‌شود (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی، ۱۳۹۱). این شاخص در B بین ۱/۴ تا ۲/۲، در B و E بزرگ‌تر از ۲/۲ بوده و در D عدد مشخصی در نظر گرفته نشده است. نسبت عرض به عمق عبارت است از نسبت عرض سطح آب در دبی لبالی به متوسط عمق آب متناظر در دبی لبالی، این شاخص معرف شکل رودخانه است. دامنه تغییرات نسبت عرض به عمق در E کمتر از ۱۲، در D بزرگ‌تر از ۴۰ و در نوع B و B بزرگ‌تر از ۱۲ است. اندازه شاخص ضریب انحنا برای رودخانه‌های مستقیم کمتر از ۱/۰۵، برای رودخانه‌های سینوسی بین ۱/۰۵ تا ۱/۵ و برای رودخانه‌های پیچان‌رودی بیشتر از ۱/۵ است.

جدول ۴- نتایج دانه سنجی رسوبات بستر رودخانه دره رود

Table 4- Results of Particle Size Analysis of the Bed Sediments of the Darreh-Roud River

نام ذرات	قطر ذرات (میلی‌متر)	درصد ذرات	درصد تجمعی
Particle Name	Particle Diameter(mm)	Particle Percentage	Cumulative Percentage
رس	0.00304	0.5	0.5
Clay			
سیلت	0.0207	1.9	2.4
Silt			
ماسه خیلی ریز	0.128	3.2	5.6
Very Fine Sand			
ماسه ریز	0.306	8.6	14.2
Fine Sand			
ماسه درشت	0.698	13.6	27.8
Coarse Sand			
گراول بسیار ریز	3.1	21.9	49.7
Very Fine Gravel			

67.3	26.6	14	گراول متوسط Medium Gravel
------	------	----	------------------------------

برای مشخص نمودن نوع کانال در سطح ۱ راسگن، پس از به دست آوردن شیب رودخانه دره رود در محدوده مورد مطالعه، با توجه به شیب‌های به دست آمده از مقاطع مختلف و مشاهدات میدانی از سطح مقطع و پلان رودخانه، و با ملاحظه طبقه‌بندی رودخانه‌ها بر اساس شیب‌های مختلف طبقه‌بندی اولیه و سطح ۱ راسگن انجام و مقاطع مورد نظر در گروه B تا A این طبقه‌بندی قرار گرفته‌اند که در سه مقطع الگوی رودخانه از نوع B و ۳ مقطع از نوع A می‌باشند (جدول ۵ و ۶).

جدول ۵- نتایج طبقه‌بندی رودخانه دره رود در سطح ۱ راسگن

Table 5- The results of the classification of Dareh Rood river at level 1 of Rasgen

نوع رودخانه River type	پلان Plan	شیب Slope	عمق (متر) Depth(m)	عرض Width(m)	بازه Reach
A4	سینوسی Sinusoidal	0.022	0.987	8.90	1
B4	پیچان‌رودی Meandering	0.021	0.414	11	2
A4	سینوسی Sinusoidal	0.023	0.245	9.61	3
A4	پیچان‌رودی Meandering	0.026	0.428	8	4
B4	سینوسی Sinusoidal	0.025	0.563	9.22	5
B4	سینوسی Sinusoidal	0.025	0.431	9.11	6

جدول ۶- تعیین نوع الگوی رودخانه دره رود در سطح ۲ راسگن

Table 6- Determining the type of pattern of Dareh Roud river in level 2 of Rasgen

مقاطع Cross-section	1	2	3	4	5	6
الگوی جریان Flow pattern	B4	A4	B4	B4	A4	A4

بعد از طبقه‌بندی رودخانه بر طبق روش راسگن، شرایط رودخانه دره رود و بازه‌های آن، طبق جدول پیشنهادی راسگن (جدول ۷)، برحسب حساسیت نسبت به آشفتگی^۱، پتانسیل احیاء و ساماندهی رودخانه، برآورد رسوبی، اثر کنترل پوشش گیاهی و پتانسیل فرسایش‌پذیری کرانه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. این اطلاعات تفسیری که بر اساس نوع رودخانه استوار است برای مدیریت حوضه آبخیز و حریم رودخانه (که شامل فعالیت‌هایی چون کاربری اراضی حاشیه، برداشت شن و ماسه است) به کار می‌رود و نتایج به‌دست‌آمده از جدول پیشنهادی راسگن برای رودخانه دره رود در جدول ۷ آمده است.

جدول ۷- ارزیابی الگوهای رودخانه دره رود و تفاسیر مدیریتی آن

Table 7- Assessment of Darreh-Roud river Channel Patterns and Their Management Interpretations

الگوی جریان Flow Pattern	درجه حساسیت به آشفتگی Degree of Sensitivity to Disturbance	پتانسیل احیاء Restoration Potential	تغذیه رسوبی Sediment Nourishment	پتانسیل فرسایش کناره‌ها Erosion Potential Banks	تأثیر کنترلی پوشش گیاهی Vegetation Cover Control Impact
A4	متوسط Moderate	عالی Fine	متوسط Moderate	کم Low	متوسط Moderate
B4	خیلی زیاد Very high	نسبتاً خوب Relatively good	خیلی زیاد Very high	زیاد High	متوسط Moderate

در ادامه با توجه به ویژگی‌های هندسی مقاطع عرضی و همچنین کار آبی مدل راسگن ضمن تشریح مجاری مشخص‌شده در آن، رودخانه دره رود به‌صورت بازه‌ای در ارتباط با مدل راسگن مورد بررسی، شناسایی و طبقه‌بندی قرارگرفته‌اند. بر پایه طبقه‌بندی راسگن مقاطع رودخانه دره رود از نوع A و B مشخص گردید که در ادامه تشریح شده است (شکل ۶).

¹ آشفتگی ناشی از افزایش حجم، زمان جریان و یا افزایش رسوب



شکل ۶- طبقه‌بندی مقاطع و بازه‌های محدوده مورد مطالعه بر اساس روش راسگن

Fig.6. Classification of Cross-Sections and Reaches of the Study Area Based on the Rosgen Method

تیپ A: شیب زیاد، بستر گود افتاده، آبشارهای کوتاه، حوضچه‌ها و پله‌های متعدد، جریان‌ات واریزهای همراه با خاک‌های رسوبی مجرای پایدار در حالت کف و کف رسوبی یا فرسایش پذیر و صلب، بستر گود افتاده هستند. مقاطع ۱ و ۲ و ۳ در بالادست مسیر مورد مطالعه در این نوع از طبقه‌بندی جای گرفته‌اند. الگوی رودخانه در این بازه از نوع پیچان می‌باشد.

تیپ B: عمدتاً دارای نسبت ER متوسط و شیبی کمتر از تیپ A (۴ درصد) هستند. بستر این مجاری ترکیبی از تند آب‌ها یا حوضچه‌های فرسایش نامنظم است. بستر و کناره‌ها نسبتاً پایدارند و سیستم حمل رسوب محدودی دارند. چهره غالب نواحی دارای این تیپ با ناهمواری متوسط و دره‌های باریک با شیب تدریجی است. مقطع ۲ در بالادست و مقطع ۵ و ۶ در پایین‌دست رودخانه در این گروه قرار دارند.

در سطح ۳ از مدل راسگن، وضعیت موجود یا حالت جریان و آبراهه از جهت پایداری، قابلیت به‌روز رفتار عکس‌العمل رودخانه توصیف می‌گردد. در این سطح عوامل میدانی بیشتری از رودخانه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. این عوامل بر روی وضعیت جریان مؤثر خواهد بود. به‌عنوان مثال پوشش گیاهی، پایداری آبراهه،

فرسایش کناری و وجود تلاطم و آشفتگی جریان موردتوجه قرار می‌گیرد. معیارهای ارائه‌شده در سطح دو ارزیابی مورفولوژی، درواقع قالب فیزیکی آبراهه را معرفی می‌کند که نمود کاملی از وضعیت موجود و روند مورفولوژی آن است. عوامل متعددی در رابطه با مسائل هیدرولوژی، زیستی، اکولوژی و انسانی بر روی وضعیت موجود مورفولوژی رودخانه تأثیرگذار است. سطح سه تأثیر جمعی عوامل فوق را بر قالب مورفولوژی مورد تحلیل قرار می‌دهد.

در بازه اول که از گروه تیپ A۴ است، در کران بالا شیب لند فرم کمتر از ۳۰ درصد، حرکات توده‌ای بدون شواهد و پتانسیل ریزش سنگ اساساً وجود ندارد و فقط کم بودن تراکم پوشش گیاهی عاملی برای ناپایداری محسوب می‌شود. درک ران پایین پارامترهایی که باعث ناپایداری کانال است، نسبت به سایر پارامترها نقش بیشتری دارد. در بستر کانال زاویه سنگ و ابعاد اندازه بستر و پوشش گیاهی بیشترین نقش را ایفا می‌کند (جدول ۸).

جدول ۸- مجموع امتیازهای اختصاص‌یافته در روش رتبه‌بندی پایداری کانال رودخانه در بازه‌های مورد مطالعه

Table 8- The total points assigned in the method of ranking the stability of the river channel in the studied intervals.

بازه Reach	A(1)	B(2)	A (3)	A (4)	B (5)	B(6)
جمع کل امتیاز Total Score	87	91	71	81	85	111

با توجه به جدول شماره (۹)، از مجموع امتیازهای به‌دست‌آمده در سطح سوم راسگن، در منطقه مورد مطالعه، بازه ۲ و ۵ و ۶ هر سه از گروه تیپ B۴، به ترتیب با مجموع امتیازهای ۹۱ و ۸۵ و ۱۱۱ و گروه تیپ A۴ با امتیاز ۸۷ در وضعیت ضعیف ناپایدار قرار می‌گیرند. بازه ۱ و ۳ از گروه تیپ A۴، به ترتیب با مجموع امتیازهای ۹۱ و ۸۷ در وضعیت خوب و پایدار قرار گرفته دارند.

جدول ۹- رتبه‌بندی پایداری کانال رودخانه دره رود در بازه‌های مورد مطالعه

Table 9- Stability ranking of the Dareh Roud river channel in the studied intervals

وضعیت Condition	مجموع امتیاز Total Score	نوع رودخانه River type	بازه Reach
خوب (پایدار) Good (Stable)	87	A4	1
ضعیف (ناپایدار) Weak (Unsatable)	91	B4	2
خوب (پایدار) Good (Stable)	81	A4	3
ضعیف (ناپایدار) Weak (Unsatable)	87	A4	4
ضعیف (ناپایدار) Weak (Unsatable)	85	B4	5
ضعیف (ناپایدار) Weak (Unsatable)	111	B4	6

۴- نتیجه‌گیری

بر مبنای شاخص‌های مورفولوژیکی، جنس رسوبات و شرایط جریان در سطح ۱، ۲ و ۳ راسگن دو تیپ مجرا شامل A و B در محدوده مورد مطالعه شناخته شد و مورد ارزیابی قرار گرفت. مجراهای مورد مطالعه دارای مقادیر مختلف از منظر پارامترهای مؤثر در مدل شامل پارامترهای نسبت گود افتادگی بستر، ضریب خمیدگی، نسبت عرض به عمق و اندازه مواد مجرا و غیره است. بررسی مورفولوژیکی مجراهای نوع A در ارتباط با ارزیابی میزان مطابقت و کار آبی مدل راسگن نشان داد مورفولوژی غالب آن‌ها متشکل از دره‌های باریک و با پهنای نسبتاً کم و الگوی سینوسی با شیب متوسط و کرانه‌های نسبتاً پایدار است. این فرایند و فرم‌ها در سطح بازه‌های از این نوع نشان داد که مدل راسگن و طبقه‌بندی بر اساس آن با وجود تفاوت‌های جزئی در پارامتر شیب، طبقه‌بندی مناسبی است.

کانال‌های نوع B، الگوی جریانی بینابینی دارند که شواهد مورفولوژیک غالب آن همچون بسترهای پیچان‌رودی با سینوسیته بالا، دره‌های همراه با دشت سیلابی و نیز سطوح پوینت باری در دامنه شیب کمتر از سایر بازه‌ها، تأیید کننده کار آبی مدل راسگن در این بازه‌ها است. ناپایداری زیاد بستر رودخانه در

محدوده بازه‌های ۲، ۴، ۵، ۶، تهدیدی برای زمین‌های زراعی و ساخت‌وسازهای اطراف است. با توجه به این‌که رودخانه‌های شریانی وضعیت پایدار و ثابتی ندارند و جهت جریان و موقعیت جزایر رسوبی و عرض رودخانه‌ها پیوسته در حال تغییر و تحول است، لازم است اقدامات مدیریتی و ساماندهی در این بخش با توجه به متغیرهای مورفولوژیکی و شرایط جریان انجام گیرد. نتایج ارزیابی رودخانه دره رود بر اساس سیستم طبقه‌بندی راسگن در سطح ۱ و ۲ و ۳ نشان داد الگوهای مجرای موجود در رودخانه دره رود و به تبع آن پارامترهای مؤثر در طبقه‌بندی و تفکیک مجراها با سیستم راسگن مطابقت دارند. با این اوصاف تفاوت‌هایی در مقادیر و نحوه پارامترها وجود دارد که ناشی از شرایط خاصی عوامل تأثیرگذار به صورت محلی هستند. با تمامی این موارد سیستم راسگن در ارتباط با شناخت مورفولوژیک رودخانه دره رود و دستگاه‌های مشابه پاسخگو است که از دلایل این امر می‌توان به شرایط اقلیمی پویای منطقه و داخل کردن پارامترهای تأثیرگذار متعدد در مدل راسگن در بررسی رودخانه‌ها اشاره کرد؛ بنابراین این مدل توانایی پیش‌بینی کمی ژئومورفیکی رودخانه دره رود و رودخانه‌های با شرایط مشابه را دارد. این نوع طبقه‌بندی مورفولوژیکی از مجرای رودخانه، می‌تواند در توسعه طرح‌های مهندسی، بحث‌های مدیریتی و احیای رودخانه مورد استفاده قرار گیرد. درواقع طبقه‌بندی رودخانه دره رود در محدوده مورد مطالعه بر اساس سیستم طبقه‌بندی سطح یک، دو و سه راسگن، یک ارزیابی منطقی است که اطلاعات ریزتر و دقیق‌تری را برای کاربردهای مدیریتی فراهم می‌کند. در پژوهشی که حسین زاده و همکاران (Hosseinzadeh et al., 2022) به بررسی پتانسیل فرسایش کناره پایداری مجرا در رودخانه حاجی عرب بویین‌زهره- قزوین با استفاده از مدل راسگن پرداختند دریافتند که عامل فرسایش کناره و پوشش گیاهی ریزترین مؤثرترین عوامل در ناپایداری کناره‌ای رودخانه حاجی عرب تبیین شدند. روستایی و همکاران (Roostaei et al., 2012)، در ارزیابی مورفولوژی مجرای رودخانه ليقوان با روش طبقه‌بندی راسگن (حد فاصل ایستگاه ليقوان و هروی) داده‌های مقاطع عرضی رودخانه و پارامترهای مورفولوژیکی را برای هر بازه مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و نتایج نشان داد رودخانه از نوع سینوسی بوده و بر اساس طبقه‌بندی راسگن بازه‌های مختلف در الگوهای مختلف قرار گرفته است و در نهایت این نوع طبقه‌بندی مورفولوژیکی از رودخانه می‌تواند در توسعه طرح‌های مهندسی و بحث‌های مدیریتی و احیای رودخانه مورد استفاده قرار گیرد. همچنین در مقایسه با

طبقه‌بندی رود در حوضه آبریز لاریج بر اساس راسگن، اسماعیلی و حسین زاده (Esmeili & Hosseinzadeh, 2015) که نشان داده‌اند وضعیت تکتونیکی و اقلیمی منطقه بر طبقه‌بندی تأثیر می‌گذارد؛ به‌طوری‌که نیمی از مقاطع مورد مطالعه در هیچ گروهی از طبقه‌بندی انواع رود راسگن قرار نگرفتند. از این رو روش مذکور در منطقه مورد مطالعه کار آیی لازم را ندارد و قادر به تحلیل فرایندهای رودخانه‌ای نخواهد بود.

References

- Abedini, M. (2018). Quantitative Analysis of Hydro-Geomorphology Problems of the Likvan Chay Basin with Emphasis to Soil Erosion and Sedimentation (South - East of Ardebil). *Geography and Development*, 7(15), 71-88. [In Persian] <https://doi.org/10.22111/gdij.2009.1190>
- Abedini, M. (2021). Uantitative Research on Gully Erosion and Sedimentation using Rain Erosion Indices, Morphometry and Linear Regression in the Harzand Chai Watershed. *Degradation and Rehabilitation of Natural Lands*, 2(3), 100-111. [In Persian] <http://dori.net/dor/20.1001.1.27174425.1400.2.3.12.2>
- Abedini, M., & Tulabi, S. (2017). Modeling of Soil Erosion and Sediment Production with Three Models of WEPP, EPM and Fournier in GIS Case Study: Sulachai Watershed-Ardabil. *Geographical Research*, 32(2), 93-105. [In Persian] <http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.geores.32.2.93>
- Abedini, M., & Yaqub Nejad Asl, N. (2016). Soil Erosion Risk Assessment and Zoning in Balikhlou River Watershed (Yamci Dam) Using Fuzzy Model. *Quantitative Geomorphology Research*, 6(1), 137-155. [In Persian] <https://dori.isc.ac/dor/20.1001.1.22519424.1396.6.1.9.6>
- Batalla, R. J., Iroumé, A., Hernández, M., Llena, M., Mazzorana, B., & Vericat, D. (2018). Recent geomorphological evolution of a natural river channel in a Mediterranean Chilean basin. *Geomorphology*, 303, 322-337. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.12.006>
- Esmeili, R., & Hosseinzadeh, M.M. (2015). Comparison of Rosegen and Steel Road methods in the classification of mountain rivers, a case study of Northern Alborz, Lavij watershed.

- Researches in Earth Sciences*, 6(21), 64-79. [In Persian]
<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20088299.1394.6.1.5.9>
- Etminan, Z., Rostami, M., & Nosrati, K. (2020). Evaluation of River Bank Stability against Erosion and Management Practices of Taleghan River Bank Using LIN Method. *Iranian Journal of Ecohydrology*, 7(1), 111-119. [In Persian]
<https://doi.org/10.22059/ije.2020.291934.1236>
- Hosseinzadeh, M. M., Shayan, S., & Najafzadeh, F. (2022). Bank Erosion Potential and Channel Instability in Haji Arab River Located in Buin Zahra, Qazvin. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(1), 39-56. [In Persian]
<https://doi.org/10.22067/geoh.2021.71397.1087>
- Kang, R. S. (2007). *Effects of urbanization on channel morphology of three streams in the Central Redbed Plains of Oklahoma*. Ph.D thesis, Oklahoma State University.
- Khaleghi, S., Roustaei, S., Khorshiddoost, A. M., Rezaei Moghadam, M. H., & Ghorbani, M.A. (2016). Investigating the role of humans in morphological changes in the Lighvan Chay River channel. *Geographical Space*, 16(55), 135-111. [In Persian] <http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-944-fa.html>
- Kwan, H., & Swanson, S. (2014). Prediction of annual streambank erosion for Sequoia National Forest, California. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 50(6), 1439-1447. <https://doi.org/10.1111/jawr.12200>
- Rezaei Moghaddam, M. H., Sarvati, M. R., & Asghari Sareskanrood, S. (2012). Investigation of geometric alterations of Gezel Ozan River considering Geomorphologic and Geologic parameters. *Geography and Environmental Planning*, 23(2), 1-14. [In Persian]
<https://dorl.net/dor/20.1001.1.20085362.1391.23.2.1.1>
- Rezaei Moghaddam, M. H., Sarvati, M. R., & Asghari Sareskanrood, S. (2018). Analysis of the Stability of River Channels Using Methods of Bed Shear Stress and the Relative Strength Index (Ranging Between 30 km Miyaneh City to the Zanjan Political Boundaries). *Quantitative Geomorphological Research*, 1(1), 33-46. [In Persian]
<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22519424.1391.1.1.3.5>
- Roostaei, S., Khurshid Dost, A. M., & Khaleghi, S. (2012). Evaluation of the morphology of Liqvan river channel by Rasgen classification method. *Quantitative geomorphological researches*, 4(4), 1-16. [in Persian] <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22519424.1392.1.4.1.3>
- Rosgen, D.L. (1996). *Applied River Morphology*. Wildland Hydrology.
- Sass, C. K., & Keane, .. D. (2012). Application of Rosgen's BANCS model for NE Kansas and the development of Predictive Streambank Erosion Curves 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 48(4), 774-787. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2012.00644.x>
- Shea, C. C., Starr, R. R., McCandless, T. L., Eng, C., Assessment, S. H., & Parks, W. (2005). Upper Watts Branch Stream Restoration, 10 Percent Preliminary Concepts. *Stream Habitat Assessment and Restoration Program, US Fish and Wildlife Service, Chesapeake Bay Field Office, Annapolis, Maryland, USA*.

https://www.nab.usace.army.mil/Portals/63/Appendix%20C2_FBRSA%20Rapid-Assessment-Methodology_1.pdf

- Wijesekara, G. N., Gupta, A., Valeo, C., Hasbani, J. G., & Marceau, D. J. (2010). Impact of land-use changes on the hydrological processes in the Elbow river watershed in southern Alberta. In *Processing of the 5th International Congress on Environmental Modelling and Software*, Ottawa, Canada. <https://scholarsarchive.byu.edu/iemssconference/2010/all/516/>

