

بررسی پایداری رودخانه زاب از طریق طبقه بندی مورفولوژیکی آبراهه به روش رزگن

معصومه رجبی^۱

شهرام روستایی^۲

محسن برزکار^۳

چکیده

رودخانه به عنوان سیستمی پویا، مکان و خصوصیات مورفولوژیکی خود را همواره برحسب زمان، عوامل ژئومورفیک، زمین‌شناختی، هیدرولوژیکی و گاه در اثر دخالت بشر تغییر می‌دهد. در این پژوهش مورفولوژی رودخانه زاب توسط روش‌های مختلف (Envi، Autocad) استخراج و بر اساس مدل رزگن در سطح دوم و سوم مورد ارزیابی و طبقه‌بندی قرار گرفته است. هدف اصلی این پژوهش، طبقه‌بندی و ارزیابی بازه‌های آبراهه محدوده مورد مطالعه و در نتیجه درک فرآیندهای موجود و شناخت مورفولوژیک آن است. در این تحقیق جهت استخراج پارامترهای مورد نیاز از آمار ایستگاه هیدرومتری ریکاه، کار میدانی (از قبیل نمونه برداری جهت دانه سنجی رسوبات)، فایل اتوکدی پلان رودخانه زاب، نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰، نقشه کاربری اراضی ۱:۲۵۰۰۰، و نرم‌افزارهای اتوکد، HEC-RAS، WMS9.1، Smada و ARCGIS10 بهره گرفته شده است. سپس بر اساس مدل رزگن در سطح دو و سه طبقه‌بندی و ارزیابی صورت گرفت. نتایج نشان داد که آبراهه مورد مطالعه دارای مقادیر مختلفی از منظر پارامترهای مؤثر در مدل شامل پارامترهای نسبت گودافتادگی بستر، ضریب خمیدگی، نسبت عرض به عمق و اندازه مواد بستر است. به صورتی که مورفولوژی آبراهه در بازه‌های مسیر بالادست دارای الگوی رودخانه از نوع B، C و F، الگوی رودخانه‌ای در بازه میانی از نوع A، B، C و E در پایین‌دست الگوی رودخانه از نوع B، C و D می‌باشد. همچنین بازه‌های ۱۱-۲۴ از لحاظ پایداری در سطح ضعیف و سایر بازه‌ها در سطح متوسط و خوب قرار دارند.

واژگان کلیدی: رودخانه زاب، مورفولوژی رودخانه، طبقه‌بندی آبراهه، مدل رزگن

مقدمه

رودخانه‌ها از بهترین مناظر ژئومورفیکی زمین هستند که در آن پیوند بین سیستم نیروها و اشکال ناهمواری به روشنی قابل درک است (چورلی و همکاران^۴، ۱۳۷۹: ۱۶۳) از این رو شناخت فرآیندهای رودخانه‌ای و عوامل کنترل‌کننده رودخانه‌ها از جمله زمین‌ساخت، از دیدگاه‌های گوناگون به‌ویژه رسوب‌شناسی، مهم است (رستمی زاده و همکاران، ۱۳۸۶).

مجرای رودخانه بازتابنده ویژگی‌های حوضه آبریز مانند شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، اقلیم و فعالیت‌های کاربری اراضی در حوضه است. مورفولوژی مجرای رودخانه (ژئومتری) توسط دبی شکل‌دهنده به مجرا (بده مقطع پر یا بده لبریز رودخانه)^۵ مشخص می‌شود

Email: mrajabi@tabrizu.ac.ir - Tel:09143134731

^۱. استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز (نویسنده مسئول)

^۲. استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز

^۳. دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز

^۴ Chorly At al

^۵ Bankfull discharge

(کریستنر جی آر.^۱، ۲۰۰۹: ۱۱). بنابراین دبی‌های سیلابی بزرگ، عامل اصلی شکل‌گیری مجرا و الگوی جریان هستند، اما بسامد رخداد سیلاب‌های بزرگ، پایین است و اثر آن‌ها به‌وسیله جریان‌های کوچک‌تر محو می‌شود. دبی که بیشترین اثر را روی فرسایش و رسوب گذاری و مورفولوژی و شکل مقاطع عرضی رودخانه دارد، بده لبریز رودخانه (بده مقطع پر) نام دارد. برای بیشتر رودخانه‌ها بده لبریز، هنگامی رخ می‌دهد که تمام مقطع عرضی رودخانه پر از آب شود. بده لبریز، توان لازم برای فرسایش و رسوب‌گذاری و تغییر سطح مقطع مجرا را دارد و دوره بازگشت آن به‌اندازه کافی کوتاه است تا اثرات آن به‌وسیله جریان‌های ضعیف‌تر اما با فراوانی وقوع زیاده‌تر، پوشیده نشود. (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی، ۱۳۹۲: ۱۰). شمار زیادی از ژئومورفولوژیست‌ها، جغرافی‌دانان و مهندسان روش‌های جامعی برای طبقه‌بندی رودخانه‌ها ارائه داده‌اند که یکی از آن‌ها روش رزگن^۲ است که مبنایی برای احیای رودخانه‌ها است (رینالدی و همکاران^۳، ۲۰۱۲: ۹۶).

به گفته رزگن (۱۹۹۴) نخستین بار دیویس^۴ در سال ۱۸۹۹ رودخانه‌ها را بر اساس مرحله تحول به سه دسته جوان، بالغ و پیر تقسیم‌بندی کرد و لئوپولد و ولمن^۵ در سال ۱۹۵۷ طبقه‌بندی دیگری ارائه دادند که شامل الگوی رودخانه‌های مستقیم، متاندردی و شاخه‌شاخه بود و همچنین شوم^۶ در سال ۱۹۶۳ طبقه‌بندی کیفی و تفسیری از رودخانه‌ها ارائه داد که بر اساس پایداری مجرا (ثابت، رسوب‌گذاری، فرسایشی) و ساختار رسوب‌های حمل شده (بار بستری، بار معلق یا مخلوطی از هر دو) بود. به جز طبقه‌بندی معروف راسگن، برای اینکه یک رودخانه به ثبات برسد، باید بتواند همواره بار رسوبی خود را در هر نوع و اندازه‌های همراه با فرسایش و رسوب گذاری محلی حمل کند. ناپایداری مجرا هنگامی رخ می‌دهد که عمل کاوش منجر به فرسایش و عمل رسوبگذاری منجر به تراکم رسوب‌ها شود.

رودخانه زاب از جمله رودخانه‌های پر آب کشور بوده که با توجه به وجود دبی زیاد، سالانه خسارت‌های زیادی را بر اثر سیل بر زمین‌های کشاورزی واقع در حریم رودخانه به بار می‌آورد. این رودخانه با تغییر مسیر خود در بستر و ایجاد فرسایش کناری زمین‌های اطراف بستر را در معرض نابودی قرار می‌دهد و با توجه به اینکه کشاورزان منطقه از آب رودخانه برای کشاورزی استفاده می‌کنند از لحاظ اقتصادی برای آن‌ها اهمیت زیادی دارد. بنابراین طبقه‌بندی و تعیین حریم حدود بستر رودخانه و در نتیجه درک فرآیندهای موجود و شناخت مورفولوژیک آن ضروری می‌باشد.

در زمینه مطالعه و بررسی مجرای رودخانه و طبقه‌بندی رودخانه‌ها بر اساس ویژگی‌های مورفولوژیکی، پژوهش‌های فراوانی انجام گرفته است. از جمله این مطالعات می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: زاویجسکا و وایزگا^۷ (۲۰۱۰) به بررسی تغییرات کانال در قرن ۲۰ در رودخانه دوناجک^۸ در جنوب لهستان پرداختند. نتایج کار آن‌ها نشان داد که رودخانه در قسمت‌های پایین در فاصله اوایل قرن ۲۰ بسیار تنگ شده بود. ضمن آن اختلافات فراوانی در مسیر کانال تحت تأثیر اثرات انسانی، شرایط ژئومورفولوژیکی و اکولوژیکی محلی به وجود آمده است. گرین و همکاران (۲۰۱۱) در تجزیه و تحلیل شاخص‌های ژئومورفیکی و سنجش از دور، به ارزیابی ۲۱۴ مایل از رودخانه سوایر در یوتا با استفاده از داده‌های سنجش از دور، مدل‌های هیدرولیکی مانند HEC-RAS و برآورد بده لبریز (مقطع پر)

¹ Christner, Jr

^۲ Rosgen

^۳ Rinaldi et al

^۴ Davis

^۵ Leopold and Wolman

^۶ Schumm

^۷ Zawiejska and Wyzga

^۸ Dunajec River

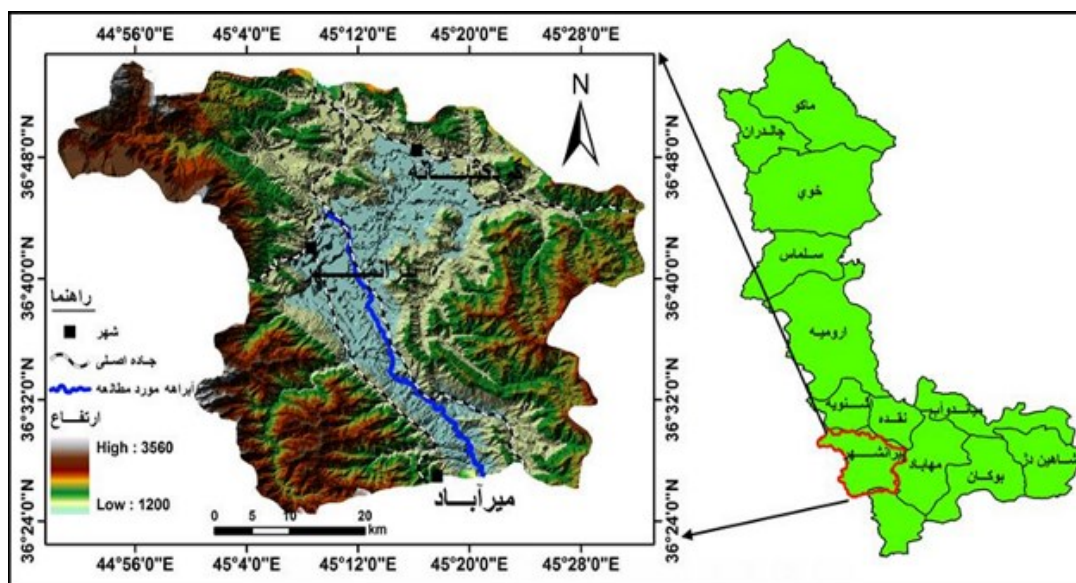


رودخانه با پروتکل ارزیابی بصری رودخانه (SVAP2) و ابزار شرایط عملکرد مناسب (PFC)، پرداختند و پیش بینی طبقه بندی راسگن و نوع دره را با استفاده از رادار تداخل سنجی دیافراگم مصنوعی (IFSAR) با تصدیق میدانی و تجزیه و تحلیل ایستگاه رودخانه انجام دادند. نتایج نشان داده که رتبه بندی رودخانه، ابزار تحلیلی مناسبی برای نمایش دینامیک جریان هنگام ورود شاخه بزرگ کنترل نشده به رودخانه بود و اولویت کارهای احیا، از طریق رتبه بندی روند و موقعیت جغرافیایی عملکرد صحیح شرایط انجام گرفت (گرین و همکاران، ۱۳۸۷). طالبی و بایزیدی (۱۳۸۷) نیز به بررسی تغییرات مورفولوژیکی رودخانه سبزکورد پرداخته و طبقه بندی رزگن را در سطوح یک و دو انجام دادند. آن‌ها ۴/۷ کیلومتر از رود را از نوع D³ و ۲ کیلومتر از رود را دارای تیپ B³ دانستند. مقصودی و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی روند تغییرات الگوی مورفولوژیکی رودخانه خرم‌آباد با استفاده از Auto Cad، RS، GIS پرداختند و به این نتیجه رسیدند که در محدوده مورد مطالعه تعداد ۱۷ مئاندر از سال ۱۳۳۴ تا سال ۱۳۷۷ حذف شده و تعداد مئاندرها از سال ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۴ از ۵۱ به ۵۳ افزایش یافته است. سالاری (۱۳۹۰) به رابطه تأثیرگذاری مورفودینامیک جریان و زمین ساخت بر مورفولوژی و الگوی آبراهه میانی رودخانه زاب پرداخته است. وی در مطالعات خود به این نتیجه رسید که ارزیابی مجموعه پارامترهای محیطی مؤثر در مجرای زاب همراه با به کارگیری و سنجش رودخانه زاب با مجموعه طرح‌های مرتبط و نیز مجموعه شواهد ژئومورفولوژیک مرتبط شناسایی شده، بیانگر یک سیستم پویای فلوویال با تنوع فرم و فرایند در سطح مجرای زاب بوده و توجه بیشتر پژوهشگران ژئومورفولوژی را می‌طلبد. یمانی و تورانی (۱۳۹۳) به طبقه بندی ژئومورفولوژیکی الگوی آبراهه طالقان رود در محدوده شهرک طالقان از طریق روش رزگن پرداختند و به این نتیجه رسیدند که در بازه مورد مطالعه، در بالادست پل‌های شهرک دارای الگوی D³ بوده و در سراسر شهرک تا پل گلینک دارای الگوی B³C می‌باشد. یمانی و همکاران (۱۳۹۴) طبقه بندی مورفولوژیکی آبراهه رودخانه تلوار بر اساس روش رزگن و کارایی آن در سطح دوم و سوم مدل رزگن پرداختند و به این نتیجه رسیدند که آبراهه مورد مطالعه دارای مقادیر مختلفی از منظر پارامترهای مؤثر در مدل شامل پارامترهای نسبت گودافتادگی بستر، ضریب خمیدگی، نسبت عرض به عمق و اندازه مواد بستر است. به صورتی که مورفولوژی آبراهه در بازه‌های مسیر بالادست از نوع B، C و E، در میانی از نوع B، C، D و E و در پایین دست از نوع B، C و D می‌باشد. همچنین بازه‌های ۲۲-۱۳ از لحاظ پایداری در سطح ضعیف و سایر بازه‌ها در سطح متوسط و خوب قرار دارند.

هدف از این تحقیق بررسی تغییرات مورفولوژیک مجرا و پاسخ به این سوال است که کدام عوامل در ناپایداری بستر و آبراهه تأثیرگذار می‌باشند؟ بنابراین طبقه بندی و تعیین حریم حدود بستر رودخانه و در نتیجه درک فرآیندهای موجود و شناخت مورفولوژیک آن ضروری می‌باشد.

موقعیت منطقه مورد مطالعه

رودخانه زاب که در شمال غربی کشور (زاگرس) قرار گرفته از کوه‌های شمال غرب پیرانشهر (سیاه کوه با ارتفاع ۳۵۷۸ متر) سرچشمه می‌گیرد، دارای جریان آب دائمی است و در سرتاسر سال خشک نمی‌شود. همچنین آب شعبه‌هایی مانند «چم لاین»، «چم بادین» و جانداران در تنگه گرژال به رودخانه می‌ریزد. محدوده مورد مطالعه در این پژوهش بخشی از حوضه آبریز رودخانه زاب از شهرستان پیرانشهر تا شهر میرآباد بوده که از لحاظ موقعیت و جایگاه، بین عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۸ دقیقه و ۲۵ ثانیه و ۳۶ درجه و ۲۶ دقیقه و ۲۸ ثانیه شمالی و طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۲۱ دقیق و ۲۴ ثانیه و ۴۵ درجه و ۴۰ دقیقه و ۴۴ ثانیه شرقی واقع است (شکل ۱). مساحت محدوده مورد مطالعه حدود ۱۹۷۲ کیلومتر و محیط آن حدود ۳۲۵ کیلومتر برآورد گردیده است.



شکل (۱). موقعیت جغرافیایی رودخانه زاب

مواد و روش‌ها

طبقه‌بندی رودخانه بر اساس روش رزگن: طبقه‌بندی رزگن به چهار سطح تقسیم می‌شود:

سطح یک (طبقه‌بندی کلی): خصوصیات مورفولوژی رودخانه را که از تلفیق اطلاعات مربوط به عوارض حوضه آبریز، لندفرم و مورفولوژی دره به دست می‌آید بیان می‌کند. در این سطح، ابعاد و الگوها و نیمرخ‌های طولی و عرضی رودخانه‌ها برای ارائه مورفولوژی رودخانه در مقیاس کلی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

سطح دو (طبقه‌بندی توصیفی): در این سطح توصیف دقیق‌تری از مورفولوژی و نوع رودخانه که از اطلاعات صحرایی به‌دست آمده، ارائه می‌دهد. ترانشه‌های رودخانه، ابعاد، الگو و مقاطع طولی و عرضی و مواد بستر در این سطح به صورت کمی و در قالب نوع جریان ارائه می‌گردد. در این سطح، یک ارزیابی منطقی و کمی مورفولوژی به همراه اطلاعات ریزتر و دقیق‌تری برای کاربردهای مدیریتی مهیا می‌سازد.

سطح سه (ارزیابی شرایط و حالت جریان): در این سطح، وضعیت موجود یا حالت جریان و آبراهه از جهت پایداری، قابلیت به روز رفتار عکس‌العملی رودخانه توصیف می‌گردد. در این سطح عوامل میدانی بیشتری از رودخانه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

سطح چهار (تصدیق اطلاعات صحرایی): در این سطح اندازه‌گیری‌هایی برای تصدیق و تایید روابط مورفولوژی که از مرحله قبل استنباط شده، به کارگرفته می‌شود. در این صورت روابطی تجربی برای پیش‌بینی خصوصیات مورفولوژی مهیا می‌گردد. (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی، ۱۳۹۱: ۱۰۸). در این پژوهش ابتدا همه متغیرها بر اساس طبقه‌بندی سطح دوم رزگن برای هر مقطع عرضی مورد ارزیابی قرار گرفتند (شکل ۲). با توجه به شکل شماره ۲، رودخانه‌ها در طبقه‌بندی سطح دوم به انواعی از A تا G بر اساس هفت ویژگی مجرا، شامل عمق متوسط بده لبریز، حداکثر عمق بده لبریز، عرض بده لبریز، عرض دشت سیلابی، ضریب انحنای مجرا، شیب متوسط مجرا (یا شیب سطح آب) و اندازه متوسط ذرات مجرا نام‌گذاری شده‌اند. پس از طبقه‌بندی از A تا G بسته به نوع مواد رسوبی بستر، بار دیگر به بخش‌های ریزتری شامل بسترهای رسی - سیلتی، بسترهای ماسه‌ای، بسترهای شنی، بسترهای قله‌سنگی، بسترهای سنگی و بسترهای قطعه‌سنگی طبقه‌بندی می‌شوند. مراحل مختلف تعیین نوع رودخانه در سطح دو در شکل ۱ نشان داده شده است. در ادامه نیز شرایط و حالت جریان در سطح سوم رزگن (جدول ۱) برای تمام بازه‌ها ارزیابی گردید. با توجه به جدول ۱، سه بخش



رودخانه شامل سواحل بالایی^۱، سواحل پایینی^۲ و کف^۳ رودخانه بر اساس ۱۵ پارامتر و شاخص‌های آن همراه با پیمایش‌های میدانی در بازه‌های مورد مطالعه ارزیابی شدند و در نهایت شرایط جریان در چهار حالت عالی، خوب، متوسط و ضعیف مشخص گردید.

در این تحقیق جهت طبقه‌بندی مورفولوژیکی رودخانه زاب، ابتدا با پیمایش در امتداد محدوده مورد مطالعه مجموعه‌ای تقریباً یکنواخت از واحدهای ژئومورفیک مورد شناسایی و سپس با استفاده از GPS در سه مسیر بالادست، میانی و پایین‌دست محدوده مورد مطالعه بازه‌بندی شدند. پس از بازه‌بندی مسیر رودخانه و سپس ورود داده‌های مورد نیاز به محیط نرم‌افزارهای WMS9.1 و HEC-RAS و اجرای مدل هیدرولوژیکی، ویژگی‌های هندسی ۲۴ مقطع عرضی از کل مقاطع در تمام بازه‌های مسیر مورد مطالعه استخراج و کلیه پارامترهای مورد نیاز جهت طبقه‌بندی و شناسایی ژئومتری مجرا در آن بازه‌ها محاسبه گردید (جدول ۳ و ۴). ابتدا کلیه پارامترهای شاخص نسبت E (شاخص گودافتادگی) که نشان‌دهنده وضعیت شکل مقطع از جهت فرورفتگی عمقی بستر و یا گسترش در سیلابدشت می‌باشد و این شاخص به صورت نسبت عرض پهنه سیلاب در ارتفاعی معادل عمق دو برابر حداکثر عمق بده لبریز به عرض سطح آب متناظر بده لبریز تعریف می‌شود (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی، ۱۳۹۱: ۱۱۳). نسبت عرض به عمق که عبارت است از نسبت عرض سطح آب در بده لبریز به متوسط عمق آب متناظر در بده لبریز، این شاخص معرف شکل رودخانه است (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی، ۱۳۹۱: ۱۱۳)، مساحت مقطع عرضی در بده لبریز، عرض بده لبریز، حداکثر عمق، عرض دشت سیلابی و شیب سطح آب، ضریب خمیدگی، برای همه بازه‌ها و مقاطع عرضی محاسبه گردیدند (جدول ۴ و ۵). سپس با استفاده از داده‌های دبی ایستگاه هیدرومتری ریکاه (دوره آماری ۲۳ ساله) اقدام به محاسبه دوره‌های بازگشت سیلاب با فرمول تجربی فولر و نرم افزار Smada گردید. ضریب مانینگ بستر اصلی و سیلاب دشتهای نیز پس از انجام عملیات میدانی و بازدیدهای صحرایی برای هر مقطع با استفاده از روش کاون تعیین شد. در این روش فرمولی که پیشنهاد شده به صورت زیر می باشد (تلوری، ۱۳۸۳):

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) n_5$$

در این رابطه n ضریب زبری مانینگ، n_0 مقدار n برای کانال‌های مستقیم، یکنواخت و صاف، n_1 مقدار تصحیح برای نامنظمی سطح کانال، n_2 مقدار تصحیح برای تغییرات در شکل و اندازه مقطع جریان، n_3 مقدار تصحیح برای موانع که در مسیر جریان قرار دارند، n_4 مقدار تصحیح برای تأثیر گیاه در سرعت جریان، n_5 مقدار تصحیح برای مائند در مسیر کانال. برای به دست آوردن قطر متوسط ذرات بستر رودخانه در بازه‌های مختلف، تعداد ۱۵ نمونه رسوب برداشت شد و در آزمایشگاه به روش الک دانه‌سنجی گردیدند (شکل ۳). پس از اتمام دانه‌سنجی و محاسبه مقادیر باقی مانده روی هر الک، درصد آنها نسبت به وزن کل نمونه سنجیده شد و نتایج آن برای طبقه‌بندی رزگن مورد استفاده قرار گرفت. ضریب خمیدگی نیز برای هر بازه از تقسیم طول مجرا (SL) به طول دره (VL) با استفاده از عکس‌های هوایی و تصاویر گوگل ارت با دقت بالایی محاسبه گردید. در مرحله بعد جهت شبیه‌سازی رودخانه و استخراج مشخصات مورفولوژیکی، ابتدا فایل اتوکدی پلان رودخانه با منحنی میزان‌های یک متر تهیه و در محیط اتوکد اقدام به تصحیح و انجام اصلاحات لازم بر روی آنها گردید. برای تعیین دبی لبریز بازه‌ها، دبی با دوره بازگشت‌های مختلف بدست آمده از رابطه فولر و نرم افزار smada همراه با مقاطع تهیه شده به نرم افزار HEC-RAS داده شد و سپس بر اساس یکی از روش‌های تعیین بده مقطع پر (ترازی که در آن نسبت عرض به عمق در مقابل عمق در یک دستگاه متعامد به حداقل خود برسد) اقدام به تعیین دبی لبریز گردید. بر این اساس در هر مقطع عرضی منحنی تغییرات نسبت عرض به عمق جریان در مقابل عمق برای هر مقطع ترسیم و نقطه مینیمم بر روی منحنی به عنوان دبی مقطع پر انتخاب شد. پس از تعیین این دبی در هر مقطع عرضی، با استفاده از آنالیز فراوانی، دبی مقطع پر برای کل رودخانه تعیین گردیده است. در نهایت با معرفی مشخصات جریان، مشخصات هندسی و ضریب مانینگ هر مقطع در نرم‌افزار HEC-RAS، شبیه‌سازی جریان انجام گرفت و

^۱ - Upper banks

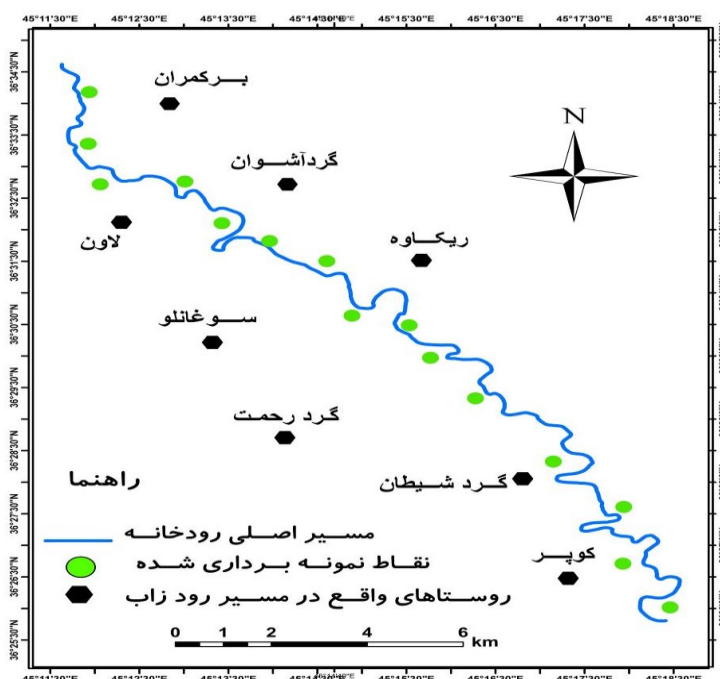
^۲ - Lower banks

^۳ - Bottom

داده‌های مربوط به مقاطع عرضی و پروفیل‌های سطح آب شامل نسبت عرض به عمق^۱، شاخص گود افتادگی بستر^۲، مساحت مقطع عرضی در بده لبریز^۳، عرض بده لبریز^۴، حداکثر عمق^۵، عرض دشت سیلابی^۶ و شیب سطح آب^۷ و... محاسبه شدند. مراحل اجرای مدل HEC-RAS در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل (۲). مراحل تعیین نوع رودخانه در سطح ۲ رزگن



^۱ - Width/Depth ratio (W/D)

^۲ - Entrenchment Ratio (ER)

^۳ - Bankfull cross sectional area (A_{bkfst})

^۴ - Bankfull width (W_{bkfst})

^۵ - Maximum depth (d_{max})

^۶ - Flood prone width (W_{fpa})

^۷ - Water surface slope



شکل (۳). موقعیت نقاط نمونه برداری شده رودخانه زاب

بحث و یافته‌ها

طبق مطالعات میدانی و آزمایشگاهی به عمل آمده رودخانه زاب از لحاظ طبقه‌بندی بر اساس جنس رسوبات بستر (سنگی و آبرفتی) در گروه آبرفتی قرار دارد. در فصل تابستان به دلیل کم آبی، رسوبات ریزدانه بر روی رسوبات درشت دانه قرار می‌گیرند، در نتیجه ذرات ماسه بین ذرات شنی گیر کرده و موجب تحکیم بستر می‌گردند، این رسوبات از نوع ماسه‌ای می‌باشند ولی در زمستان به دلیل وجود سیلاب، ذرات ریز به همراه سیل از جا کنده شده و ذرات درشت در کف بستر باقی می‌مانند بنابراین نوع رسوبات موجود در کف رودخانه زاب از نوع شنی-ماسه‌ای می‌باشند. برای به دست آوردن اندازه‌ی متوسط مواد مجرا، در مسیر رودخانه در فواصل مختلف تعداد ۱۵ نمونه برداشت شد و در آزمایشگاه دانه‌سنجی گردیدند (جدول ۱). طبق داده‌های بدست آمده بیشترین درصد ذرات در طول مسیر رودخانه را ماسه دانه درشت به میزان ۹۸/۶۰ و ماسه دانه ریز به میزان ۲۱/۵۹ تشکیل می‌دهند که برای طبقه‌بندی رزگن ملاک ارزیابی قرار گرفتند. باتوجه به نتایج به دست آمده در جداول مذکور، کل بازه‌های مسیر مورد مطالعه در یکی از انواع B، C، D و E قرار گرفتند. بر اساس شاخص گود افتادگی، این شاخص در B بین ۱/۴ تا ۲/۲، در C و E بزرگتر از ۲/۲ بوده و در D عدد مشخصی در نظر گرفته نشده است. دامنه تغییرات نسبت عرض به عمق در E کمتر از ۱۲، در D بزرگتر از ۴۰ و در نوع C 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 (مونت به نقل از مورت، ۲۰۰۱). با توجه به این مطلب، کل بازه‌های رودخانه زاب در رده سینوسی، پیچانرودی و مستقیم قرار می‌گیرند.

جدول (۱). نتایج دانه‌سنجی رسوبات بستر رودخانه زاب

نام ذرات	قطر ذرات	درصد ذرات	درصد تجمعی
ماسه خیلی ریز و سیلت	۱۵۴ میکرون	۱۵/۸۳	۱۵/۸۳
ماسه ریز	۲۱۰ میکرون	۲۱/۵۹	۳۷/۴۲
ماسه درشت	۵۹۰ میکرون	۶۰/۹۸	۵۲/۲۶
شن ریز	۲/۲ میلی متر	۰/۲۱	۹۸/۲
شن درشت	۶/۸ میلی متر	۰/۵۲	۹۸/۴۱
قلوه سنگ	۴۸/۷ میلی متر	۰/۷۶	۹۹/۹

جدول (۲). ویژگی‌های مورفولوژیکی رودخانه زاب در مسیر بالادست محدوده مورد مطالعه

مسیر رودخانه	بازه	شماره مقاطع نقشه	فاصله از پایین دست km	دبی لبریز	مساحت بده لبریز	عرض بده لبریز	حداکثر عمق	متوسط عمق	عرض دشت سیلابی (متر)	نسبت E	نسبت عرض به عمق (متر)	ضریب خمیدگی	شیب (درصد)	طبقه بندی رزگن
بالا- دست	۱	۴	۱۴/۹۰	۳/۵۰	۲/۰۴	۵/۱	۰/۴۷	۰/۲۱	۲۱	۲/۱۲	۱۹/۲	۱/۲۱	۰/۰۱۱	C4b
	۲	۱۲	۱۴/۴۱	۶/۳۲	۲/۹۸	۸/۳۲	۰/۳۹	۰/۱۱	۱۰	۱/۶۳	۳۲/۵	۱/۳۴	۰/۰۱۲	F4b
	۳	۲۷	۱۳/۹۰	۸/۱۵	۴/۱۱	۱۱/۱	۱/۳۶	۰/۵۸	۱۲	۱/۱۸	۱۴/۵	۱/۲۲	۰/۰۱۳	F4E
	۴	۳۵	۱۳/۳۸	۲/۲۶	۱/۸۸	۷/۱۱	۰/۸۵	۰/۶۲	۴۶	۲/۲۶	۱۲/۸	۱/۶۷	۰/۰۰۹	B4F
	۵	۴۳	۱۲/۸۸	۱۴/۲	۵/۶۶	۱۲/۳۱	۰/۶۳	۰/۴۶	۵۳	۲/۲۵	۳۹/۲	۱/۵۲	۰/۰۱۵	C4
	۶	۵۲	۱۳/۴۰	۱۶/۳۶	۷/۹	۱۴/۱۴	۰/۷۱	۰/۵۴	۳۵	۳/۱۷	۳۴/۲	۱/۲۸	۰/۰۱۴	C5
	۷	۶۰	۱۴/۸۰	۱۵/۵۲	۹/۰۲	۱۲/۲۱	۰/۵۸	۰/۴۰	۵۲	۲/۲	۳۰/۲۱	۱/۴۱	۰/۰۱۹	C4da
	۸	۶۵	۱۰/۲۳	۲۰/۲۵	۹/۳۶	۱۴/۷۲	۰/۸۲	۰/۴۷	۴۲	۲/۳۵	۲۲/۷	۱/۳۶	۰/۰۱۵	C4

جدول (۳). ویژگی‌های مورفولوژیکی رودخانه زاب در مسیر میان‌دست محدوده مورد مطالعه

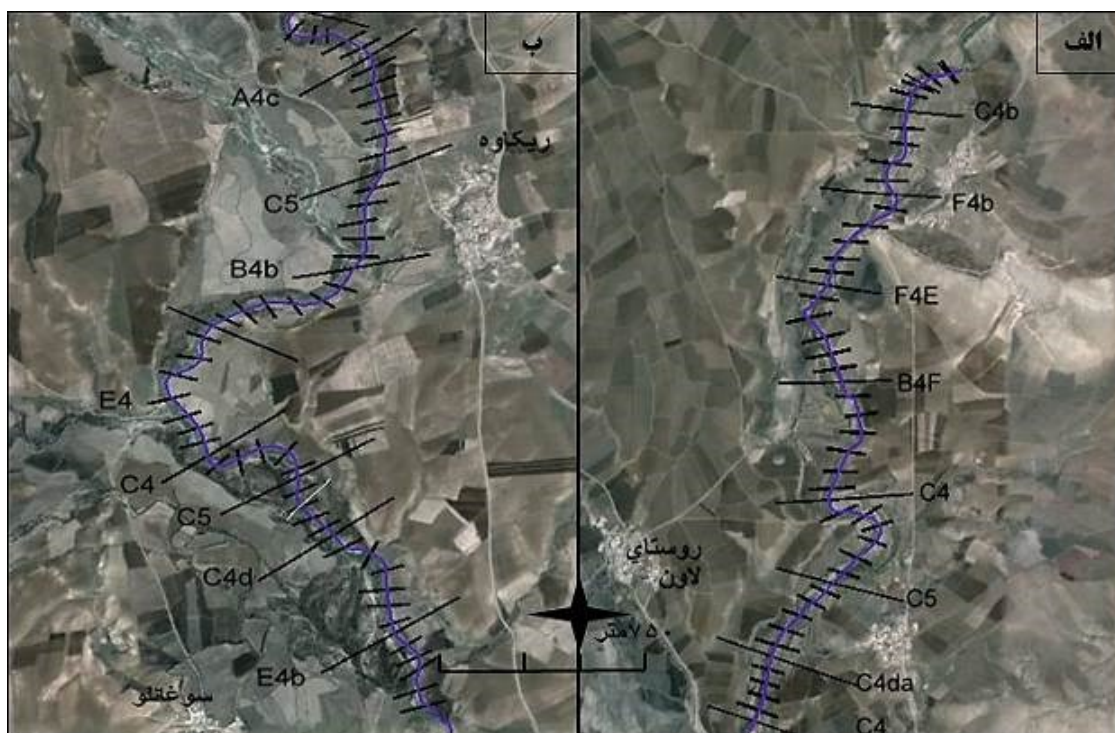
مسیر رودخانه	بازه	شماره مقاطع نقشه	فاصله از پایین دست km	دبی لبریز	مساحت بده لبریز	عرض بده لبریز	حداکثر عمق	متوسط عمق	عرض دشت سیلابی (متر)	نسبت E	نسبت عرض به عمق (متر)	ضریب خمیدگی	شیب (درصد)	طبقه بندی روزگن
میان-دست	۹	۱۱۶	۹/۸۷	۷/۲۰	۱۳/۶۲	۳/۹۸	۰/۳۱	۰/۲	۲۸	۱/۲۸	۱۱/۲	۱/۲۰	۰/۰۱۲	A4c
	۱۰	۱۱۲	۷/۲۶	۱۲/۷	۶/۱۲	۱۵/۸۹	۱/۱۲	۰/۹۳	۴۴	۲/۵۳	۱۲/۲	۱/۶۵	۰/۰۱۴	C5
	۱۱	۱۲۵	۸/۸۹	۱۴/۳۰	۳/۶۴	۸/۳	۱/۲۳	۰/۸۹	۴۲	۱/۱۵	۱۰/۲	۱/۵۷	۰/۰۱۲	B4b
	۱۲	۱۳۳	۸/۲۰	۸/۱۷	۴/۱۰	۵/۱۱	۰/۶۲	۰/۵۲	۲۴	۲/۱۱	۱۰/۸	۱/۵۵	۰/۰۱۱	E4
	۱۳	۱۲۸	۸۰۷	۹/۱	۵/۰۷	۱۰/۸	۰/۷۱	۰/۶۴	۳۹	۱/۲۲	۱۵/۸	۱/۲۸	۰/۰۱۹	C4
	۱۴	۱۳۶	۶/۳۰	۱۵/۶۸	۷/۳۲	۷/۴۷	۱/۰۴	۰/۵۵	۴۴	۳/۱۶	۱۳/۵	۱/۶۴	۰/۰۱۷	C5
	۱۵	۱۶۹	۵/۸	۱۳/۰۲	۴/۸۶	۶/۳۲	۰/۴۲	۰/۵۱	۵۲	۳/۱۸	۱۴/۳	۱/۵	۰/۰۳۲	C4d
	۱۶	۱۳۵	۶/۳۱	۱۵/۷۲	۹/۱۲	۹/۰۵	۰/۵۲	۰/۶۱	۶۱	۲/۲۱	۱۲/۳	۱/۵۲	۰/۰۱۹	E4b

جدول (۴). ویژگی‌های مورفولوژیکی رودخانه زاب در مسیر پایین‌دست محدوده مورد مطالعه

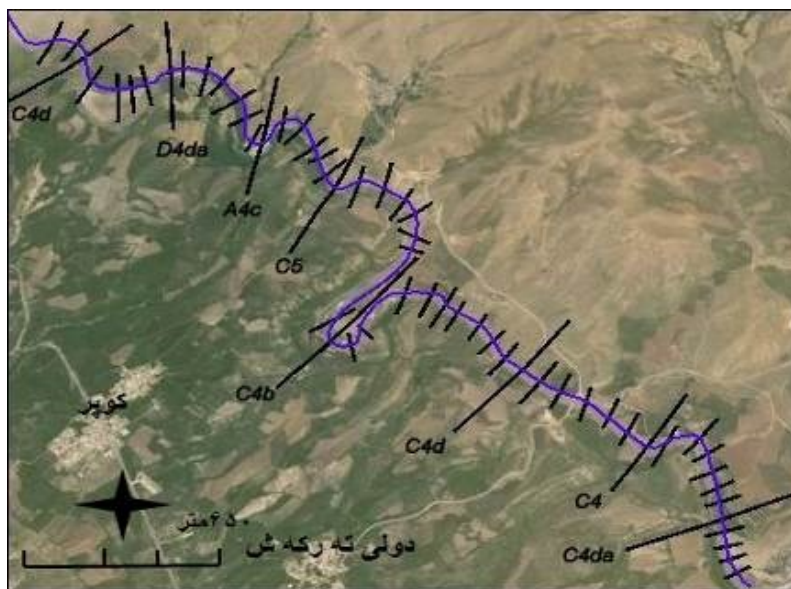
مسیر رودخانه	بازه	شماره مقاطع نقشه	فاصله از پایین دست km	دبی لبریز	مساحت بده لبریز	عرض بده لبریز	حداکثر عمق	متوسط عمق	عرض دشت سیلابی (متر)	نسبت E	نسبت عرض به عمق (متر)	ضریب خمیدگی	شیب (درصد)	طبقه بندی روزگن
پایین-دست	۱۷	۲۲۱	۳/۸۱	۲۴/۱۲	۱۵/۲	۸/۶۵	۰/۹۵	۰/۶۷	۲۰	۲/۱۶	۱۰/۲۹	۱/۳۲	۰/۰۱۲	C4d
	۱۸	۲۴۰	۱/۲۲	۴۱/۲۱	۱۲/۳	۲۶/۲۹	۱/۱۲	۰/۶۳	۹۷	۳/۵۱	۲۱/۳	۱/۲۵	۰/۰۱۱	D4da
	۱۹	۲۳۳	۲/۷۱	۱۶/۳۵	۱۹/۳۲	۸/۲۴	۱/۵۵	۰/۳۸	۵۴	۲/۳۲	۳۱/۶	۱/۱۶	۰/۰۴	A4c
	۲۰	۲۵۴	۲/۲۰	۲۲/۲۱	۱۰/۰۱	۱۲/۹۸	۱/۱	۰/۳۱	۸۴	۲/۲۱	۲۱/۱	۱/۲۲	۰/۰۱۵	C5
	۲۱	۲۵۸	۲/۷۶	۲۴/۲۳	۱۰/۶۲	۱۴/۶۴	۱/۳۲	۰/۸۵	۱۱۰	۲/۱۴	۱۲/۰۲	۱/۴۲	۰/۰۱۲	C4b
	۲۲	۲۵۸	۳/۲۱	۳۶/۱۱	۱۱/۲۴	۱۳/۵۸	۰/۴۷	۰/۶۱	۵۸	۲/۲۴	۱۹/۶	۱/۳	۰/۰۲۹	C4d
	۲۳	۲۶۳	۳/۵۱	۳۲/۹	۱۱/۲۱	۱۷/۲۸	۰/۲۱	۰/۷	۷۷	۳/۴۱	۱۴/۲	۱/۲۲	۰/۰۱۱	C4
	۲۴	۲۴۷	۲/۱۴	۴۲/۱	۱۶/۳۱	۲۹/۷	۰/۳۶	۰/۷۲	۶۴	۲/۵۱	۳۱/۱	۱/۲۸	۰/۰۰۴	C4da

با توجه به اینکه بازه ۴ در بالادست و ۱۱ در قسمت میانی مسیر مورد مطالعه دارای بستر ترکیبی از تندآب‌ها یا حوضچه‌های فرسایش نامنظم است و بستر (پروفیل) و کناره‌ها نسبتاً پایدارند و سیستم حمل رسوب محدودی دارند با تیپ B روزگن همخوانی دارند. همچنین ناهمواری متوسط و دره‌های باریک با شیب تدریجی از دیگر دلایل تایید کننده ادعای مذکور است. بازه‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ در بالادست، ۱۰، ۱۲، ۱۳، ۱۴ در قسمت میانی و ۱۷، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳ و ۲۴ در پایین دست مسیر مورد مطالعه با توجه به پایداری آن‌ها و بار رسوب و حمل محدود آن‌ها منطبق بر تیپ C هستند. چهره‌ی مورفولوژیک غالب این محدوده‌ها نیز دره‌های وسیع با تراس‌های آبرفتی مرتبط با دشت سیلابی است که باز از اختصاصات تیپ مذکور می‌باشند.

بازه ۱۸ در قسمت پایین دست مسیر مورد مطالعه در تیپ D جای گرفته است که شاهد آن دلایلی است که در پی می‌آید. رودخانه در این محدوده شریانی بوده و قطعات سنگی در بستر کم رویت می‌گردد. همچنین مجاری دارای کرانه‌های فرسایش‌پذیر و بار سوب بالا هستند. چهره‌ی مورفولوژیک غالب نواحی دارای این تیپ دره‌های وسیع با مخروط‌های آبرفتی و کلوویال است. بازه ۱۲ در قسمت میانی مسیر مورد مطالعه در تیپ E قرار می‌گیرد. در این جا مجراها سینوسی قابل توجهی رانشان می‌دهند و نسبت عرض به عمق پایین است. رودخانه در این محدوده پایدار بوده و یکی از دلایل آن، توسعه در دشت سیلابی با پوشش علفی متراکم در ساحل عمودی مجرا است. چهره‌ی مورفولوژیک غالب این بخش تیپ دره‌های وسیع با چمنزار است.



شکل (۴). طبقه‌بندی مقاطع و بازه‌های محدوده مورد مطالعه (الف) در مسیر بالادست و (ب) در مسیر میانی بر اساس روش رزگن



شکل (۵). طبقه‌بندی مقاطع و بازه‌های محدوده مورد مطالعه در مسیر پایین دست بر اساس روش رزگن

نتایج ارزیابی سطح سوم رزگن برای محدوده مورد مطالعه در جداول ۵۶ و ۷ ارائه شده است. در این ارزیابی، مجموع امتیازات هرچه کمتر باشد رودخانه پایدارتر و هرچه بیشتر باشد ناپایدارتر است (رزگن، ۱۹۹۶). با توجه به جدول شماره ۶، در مسیر بالادست محدوده مورد مطالعه بازه بازه‌های ۲، ۴، ۵ در سطح خوب دارای شرایط پایداری نسبت به سایر بازه‌ها هستند و مجموع امتیازهایی که کسب کرده‌اند به ترتیب ۵۲، ۵۲ و ۵۶ می‌باشد. شرایط جریان در بازه‌های ۱، ۳، ۶، ۷ و ۸ در سطح متوسط می‌باشد. در مسیر میان دست محدوده مورد

مطالعه که نتایج ارزیابی آن در جدول ۷ ارایه شده، بازه ۱۴ در سطح عالی، بازه ۱۱ خوب و پایداری است و بازه‌های ۱۰، ۱۲ و ۱۵ در سطح متوسط هستند که پایداری کمتری دارند. بازه‌های ۹، ۱۳ و ۱۶ نیز در سطح ضعیف و شرایط ناپایدار می‌باشند. در مسیر پایین دست محدوده مورد مطالعه نیز (جدول ۷) بازه‌های ۱۹ در سطح خوب و دارای شرایط پایداری، بازه‌های ۲۱ و ۲۲ در سطح متوسط و بازه ۱۷، ۱۸ و ۲۳ در سطح ضعیف و شرایط ناپایداری می‌باشند.

جدول ۵: نتایج ارزیابی شرایط پایداری بازه‌های مسیر بالادست محدوده مورد مطالعه در سطح سوم رزگن

مسیر رودخانه	بازه	شرایط پایداری				مجموع امتیازات	بازه	شرایط پایداری				مجموع امتیازات
		عالی	خوب	متوسط	ضعیف			عالی	خوب	متوسط	ضعیف	
بالادست	۱			*		۶۹	۵			*		۵۶
	۲		*			۵۲	۶			*		۸۴
	۳			*		۹۴	۷			*		۸۲
	۴		*			۵۲	۸			*		۶۱

جدول ۶: نتایج ارزیابی شرایط پایداری بازه‌های مسیر میان دست محدوده مورد مطالعه در سطح سوم رزگن

مسیر رودخانه	بازه	شرایط پایداری				مجموع امتیازات	بازه	شرایط پایداری				مجموع امتیازات
		عالی	خوب	متوسط	ضعیف			عالی	خوب	متوسط	ضعیف	
میان دست	۹				*	۱۲۲	۱۳				*	۱۱۴
	۱۰			*		۹۵	۱۴			*		۳۹
	۱۱		*			۷۵	۱۵			*		۹۷
	۱۲			*		۱۲۶	۱۶			*		۱۴۶

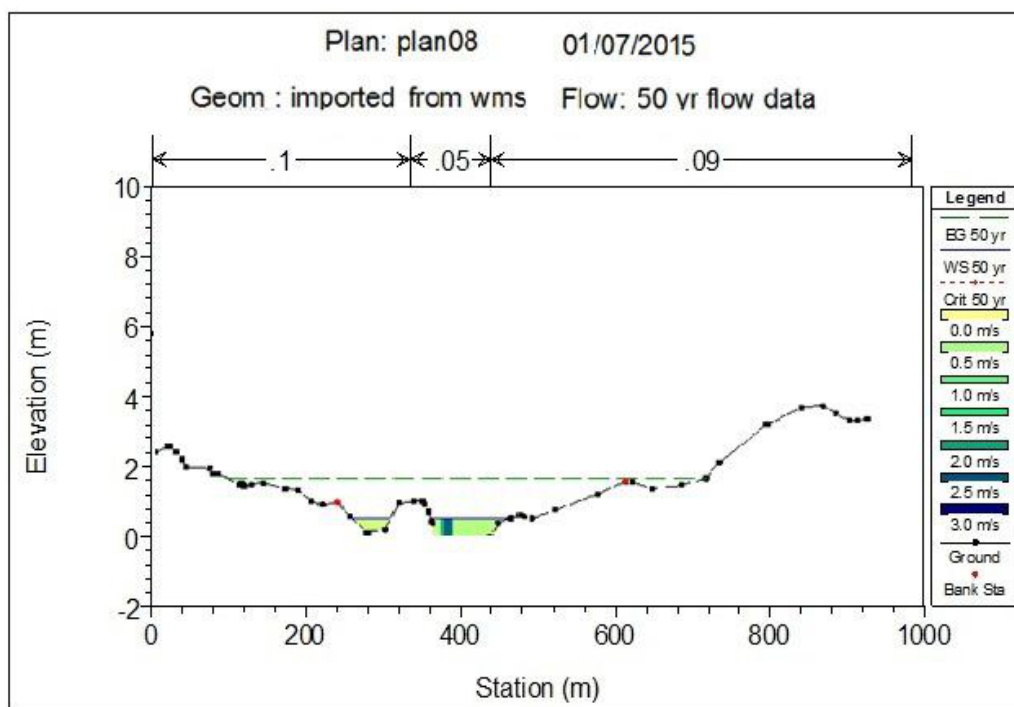
جدول ۷: نتایج ارزیابی شرایط پایداری بازه‌های مسیر پایین دست محدوده مورد مطالعه در سطح سوم رزگن

مسیر رودخانه	بازه	شرایط پایداری				مجموع امتیازات	بازه	شرایط پایداری				مجموع امتیازات
		عالی	خوب	متوسط	ضعیف			عالی	خوب	متوسط	ضعیف	
پایین دست	۱۷				*	۱۳۶	۲۱			*		۸۶
	۱۸				*	۱۲۴	۲۲			*		۸۹
	۱۹		*			۶۲	۲۳			*		۱۱۲
	۲۰				*	۱۰۳	۲۴			*		۱۰۲

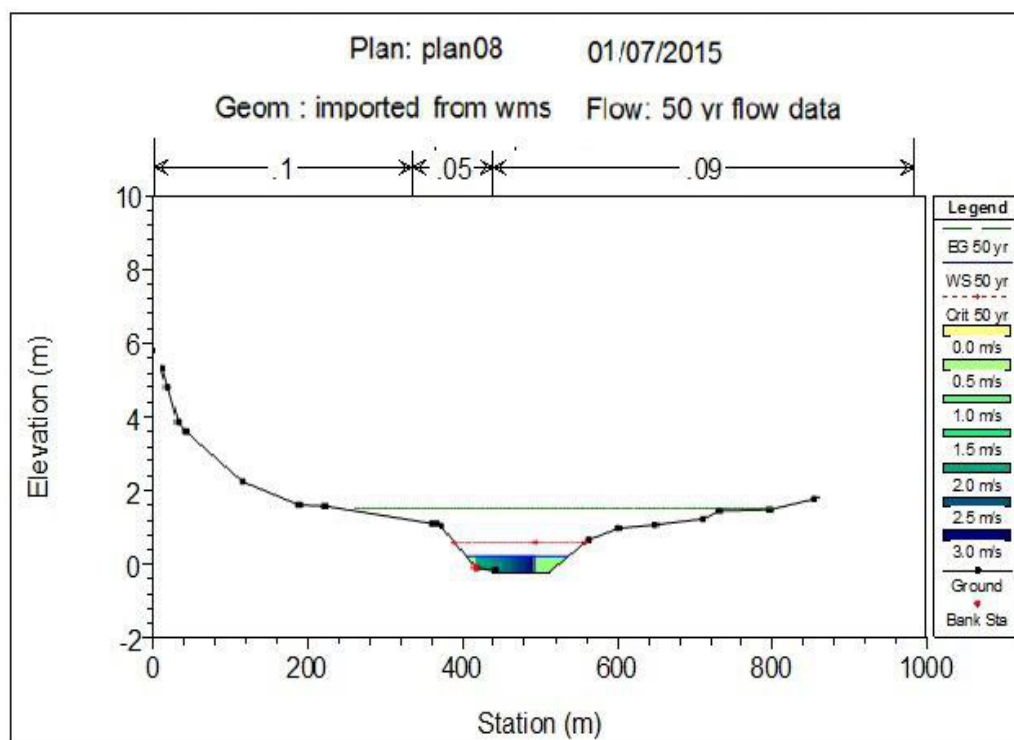
مقاطع عرضی انواع مختلف بازه‌های رودخانه و طبیعت آنها در طبقه‌بندی رزگن، نشان می‌دهد که به طور کلی پس از ترسیم مقاطع و پروفیل‌های سطح آب در دبی لبریز و دشت سیلابی، بیشتر مجراها به خوبی با این طبقه‌بندی سازگارند و در تعداد کمی نیز تفاوت‌هایی در مقادیر و نحوه پارامترها وجود دارد که ناشی از شرایط خاص عوامل تأثیرگذار به صورت محلی هستند. شکل‌های ۶، ۷ و ۸ پروفیل تعدادی از مقاطع عرضی و میزان انطباق آن‌ها با مقاطع عرضی پیشنهادی رزگن را نشان می‌دهد. در مقطع عرضی (شکل ۶) الگوی



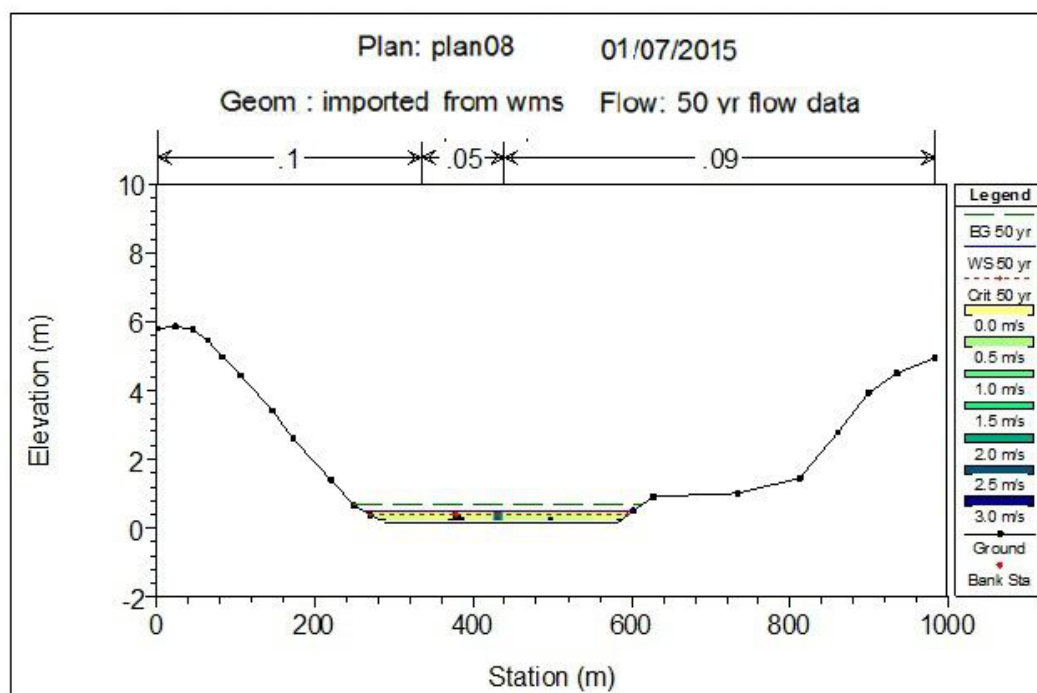
جریان از نوع C، نسبت گودافتادگی زیاد است و نسبت عرض به عمق خیلی کم است. دارای درجه حساسیت به آشفستگی زیاد، پتانسیل احیای خوب و پتانسیل فرسایش کناره‌ها زیاد است. در مقطع عرضی (شکل ۷) الگوی جریان از نوع B، نسبت گودافتادگی بستر و نسبت عرض به عمق در حد متوسط است. همچنین درجه حساسیت به آشفستگی، پتانسیل احیا و پتانسیل فرسایش کناره‌ها نیز در حد متوسط است. در مقطع عرضی (شکل ۸) الگوی جریان از نوع F، نسبت عرض به عمق زیاد و نسبت گودافتادگی بستر کم است. دارای درجه حساسیت به آشفستگی کم، پتانسیل احیای کم و پتانسیل فرسایش کناره‌ها کم است. در نتیجه می‌توان پیش‌بینی کرد که تغییرات احتمالی که در آینده صورت می‌گیرد، بیشتر در محدوده بازه‌های از نوع C خواهد بود. با توجه به اینکه اطراف این منطقه را زمین‌های کشاورزی پوشانده و ساخت و سازهای روستاییان در حریم رودخانه رو به افزایش است، لذا ناپایداری بستر رودخانه در این بخش تهدیدی برای زمین‌های زراعی و ساخت و سازهای اطراف شمرده می‌شود. با توجه به این مسئله لازم است اقدامات ساماندهی در این بخش با توجه به متغیرهای مورفولوژیکی انجام گیرد.



شکل (۶). پروفیل مقطع عرضی شماره ۳۷ در بازه ۸ (بالادست رودخانه) از نوع C



شکل (۷). پروفیل مقطع عرضی شماره ۱۴۲ در بازه ۲۳ (میان دست رودخانه) از نوع B



شکل (۸). پروفیل مقطع عرضی شماره ۱۷۳ در بازه ۱۵ (میان دست رودخانه) از نوع D



نتیجه گیری

بر مبنای شاخص‌های مورفولوژیکی، جنس رسوبات و شرایط جریان در سطح دوم و سوم رزگن سه تیپ مجرا شامل B، C، D در محدوده مورد مطالعه شناخته شد و مورد ارزیابی قرار گرفتند. مجرای مورد مطالعه دارای مقادیر مختلفی از نظر پارامترهای نسبت گود افتادگی بستر، ضریب خمیدگی، نسبت عرض به عمق و اندازه مواد مجرا و... است. بررسی مورفولوژیکی مجراهای نوع B در ارتباط با ارزیابی میزان مطابقت و کارایی مدل رزگن نشان داد که 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 رزگن و طبقه بندی بر اساس آن با وجود تفاوت‌های جزئی در پارامتر شیب مناسب است. مجراهای نوع C، الگوی جریانی بینابینی دارند که شواهد مورفولوژیک غالب آن همچون بسترهای متاندری با سینوسیته بالا، دره‌های سیلاب دشتی و نیز سطوح پوینت‌بار در دامنه شیب کمتر از سایر بازها، تاییدکننده کارایی مدل رزگن در این بازها است. مجراهای نوع D تعدد شریان که عمدتاً سنگ بستر یا قطعات سنگی در بستر ندارند و مواد بستر و کرانه‌ها فرسایش پذیرند. خصوصیات این بازها نشان دهنده مطابقت آن‌ها با مدل رزگن است. ناپایداری زیاد بستر رودخانه در محدوده بازه‌های از نوع C و D تهدیدی برای زمین‌های زراعی و ساخت وسازهای اطراف است. نتایج ارزیابی شرایط پایداری بازه‌های محدوده مورد مطالعه در سطح سوم رزگن نشان داد که در مسیر بالادست محدوده مورد مطالعه بازه‌های ۲، ۵، ۸ در سطح خوب دارای شرایط پایداری نسبت به سایر بازها هستند. شرایط جریان در بازه‌های ۱، ۳، ۶، ۷ در سطح متوسط و در بازه ۴ نیز در سطح ضعیف می‌باشد که دارای شرایط ناپایداری هستند. در مسیر میان دست محدوده مورد بازه ۱۱ خوب و پایداری است و بازه‌های ۱۰، ۱۲، ۱۳ و ۱۵ در سطح متوسط هستند که پایداری کمتری دارند. در مسیر پایین دست محدوده مورد مطالعه بازه‌های ۱۹، ۲۱ و ۲۲ در سطح خوب و دارای شرایط پایداری، بازه‌های ۱۸، ۲۰، ۲۳ و ۲۴ در سطح متوسط و بازه ۱۷ در سطح ضعیف و شرایط ناپایداری می‌باشد. نتایج ارزیابی رودخانه زاب بر اساس سیستم طبقه بندی رزگن در سطح دو و سه نشان داد که الگوهای مجرای موجود در رودخانه زاب و به تبع آن پارامترهای مؤثر در طبقه بندی و تفکیک مجراها با سیستم رزگن مطابقت دارند. با این اوصاف تفاوت‌هایی در مقادیر و نحوه پارامترها وجود دارد که ناشی از شرایط خاص عوامل تاثیرگذار به صورت محلی هستند. با تمامی این موارد سیستم رزگن در ارتباط با شناخت مورفولوژیک رودخانه زاب و سیستم‌های فلوئال مشابه پاسخگو است که از دلایل این امر می‌توان به شرایط اقلیمی پویای منطقه و داخل کردن پارامترهای تاثیرگذار متعدد در مدل رزگن در بررسی رودخانه‌ها اشاره کرد. بنابراین این مدل توانایی پیش بینی کمی ژئومورفیکی رودخانه زاب و رودخانه‌های با شرایط مشابه را دارد.

منابع

- بریج، جان اس. ترجمه محمد حسین رضایی مقدم و مهدی ثقفی (۱۳۸۷)، *رودخانه‌ها و دشت‌های سیلابی*، جلد اول، دینامیک و فرایندها، تهران: انتشارات سمت.
- تلوری، عبدالرسول (۱۳۸۳)، *اصول مقدماتی مهندسی و ساماندهی رودخانه، پژوهشکده حفاظت خاک و آب خیزداری (وزارت جهاد کشاورزی)*.
- چورلی، ریچارد جی؛ (۱۳۷۹)، *ژئومورفولوژی*، ترجمه: احمد معتمد، تهران، انتشارات سمت، جلد اول
- سالاری، ممند؛ (۱۳۹۰)، بررسی تأثیرگذاری مورفودینامیک جریان و زمین‌ساخت بر مورفولوژی و الگوی آبراهه میانی رودخانه زاب، رساله دکتری، دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا.
- طالبی، لیلا و بایزیدی، شوهر (۱۳۸۷)، بررسی تغییرات مورفولوژیکی رودخانه با استفاده از طبقه‌بندی Rosgen (مطالعه موردی رودخانه سبزکوه)، هفتمین کنفرانس هیدرولیک ایران، تهران، انجمن هیدرولیک ایران، دانشگاه صنعت آب و برق.
- علیزاده، امین (۱۳۸۹)، *اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ بیست و نهم*، خراسان: انتشارات آستان قدس رضوی
- معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی (۱۳۹۲)، *راهنمای شکل هندسی مقطع و راستای رودخانه*، نشریه شماره ۶۴۳، ۱۲۰-۱.
- مقصودی، مهران، شرفی، سیامک و مقامی، یاسر (۱۳۸۹)، روند تغییرات الگوی مورفولوژیکی رودخانه خرم آباد با استفاده از GIS، RS و Auto Cad، *مدرس علوم انسانی-برنامه ریزی و آمایش فض*، شماره ۳ (پیاپی ۶۸)، صص ۲۹۴-۲۷۵
- یمانی، مجتبی و تورانی، مریم (۱۳۹۳)، طبقه‌بندی ژئومورفولوژیکی الگوی آبراهه طالقان رود در محدوده شهرک طالقان از طریق روش رزگن، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، دوره ۴۶، شماره ۲، صص ۱۹۸-۱۸۳.
- یمانی، مجتبی، مقصودی، مهران، محمدخان، شیرین، مرادی، انور (۱۳۹۴)، طبقه بندی مورفولوژیکی آبراهه رود تلوار بر اساس مدل رزگن و کارایی آن، *مجله پژوهش‌های دانش زمین*، شماره ۲۳، صص ۱-۲۰
- Bertrand, F. and Papanicolaou, A. N., 2009, **Effects of Freezing and Thawing Process on Bank Stability**, World Environmental and Water Resources Congress: Great Rivers, New Mexico.
- Burge, M. Leif., 2004. **Testing links between river patterns and inchannel characteristics using MRPP and ANOVA**. *Geomorphology*. 63: 115-130.
- Christner, Jr, 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 pages.
- Green, Sh., Norm, E., Nathaniel, T., 2011, **Geomorphic Indices / Remote Sensing Analysis to Perform Rapid Stream Assessments**, Awra 2011 Summer Specialty Conference
- Gregory, K. J. 2006, "The human role in changing river channels", *Journal of Geomorphology* 79.
- Rinaldi, M., Surian, N., Comiti, F., Bussettini, M., 2012, **A Method for the Assessment and Analysis of the Hydromorphological Condition of Italian Streams: The Morphological Quality Index (MQI)**, *Geomorphology*, Vol. 180, PP. 96-108.
- Rosgen, D. L, 1996. *Applied River Morphology*. Wildland Hydrology Books, Pagosa Springs, Colorado.
- Rosgen, D. L., 1994, **A Classification of Natural Rivers**, Catena, Vol. 22, PP.169-199.
- Schumm, S. A., 2005, **River Variability and Complexity**, First Published, Cambridge University Press, Published in the United States of America.
- Singh Kang, R., 2007, **Effects of Urbanization on Channel Morphology of Three Streams in the Central Redbed Plains of Oklahoma**, Ph.D Thesis, the Faculty of the Graduate College of

Oklahoma State University.

- Snowbird, UT, June 27-29, PP.1-6.
- Tokaldany, E. A., Darby, S. E. and Tosswell, P., 2007, **Coupling Bank Stability and Bed Deformation Models to Predict Equilibrium Bed Topography in River Bends**, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 133, No. 10, PP. 1167-1170.
- Twidale, R.C., (2004). **River patterns and their meaning**. Earth-science reviews. 67: 159-218.
- Zawiejskam, J., Wyzga, B., 2010. **Twentieth-century channel change on the Dunajec river southern Poland: pattern causes and controls**. Geomorphology. 117: 234-246