

ارزیابی ارتباط عوامل مؤثر بر ضریب زبری مانینگ و سرعت برآوردی جریان آب در رودخانه قره‌سو، اردبیل

فریبا اسفندیاری درآباد - استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی.
رئوف مصطفی‌زاده* - دانشیار گروه منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب دانشگاه محقق اردبیلی.
احمد عیبات - استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه نفت امیدیه.
احمد ناصری - کارشناسی‌ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۸/۱۹ تأیید نهایی: ۱۴۰۲/۰۳/۲۲

چکیده

سرعت جریان تحت تأثیر مقاومت پوشش گیاهی درختچه‌ای، بوته‌ای و علفی در بستر و سواحل رودخانه‌ها و سیلاب‌دشت‌ها قرار دارد. با کاهش سرعت جریان، عمق جریان در مسیر افزایش می‌یابد که نتیجه آن، طغیان جریان در سیلاب‌دشت رودخانه است. در پژوهش حاضر، تأثیر پوشش گیاهی و عوامل مؤثر بر ضریب زبری مانینگ و برآورد سرعت جریان آب رودخانه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. برای انجام این پژوهش به صورت برداشت میدانی، خصوصیات پوشش گیاهی و سرعت جریان در ۲۴ مقطع عرضی در بازه‌ای به طول ۱۶/۷۰ کیلومتر از رودخانه قره‌سو اردبیل (محدوده روستای انزاب تا پل‌سامیان)، اندازه‌گیری شد. سپس ضریب زبری مانینگ با روش کوان برای هر یک از مقاطع رودخانه محاسبه شد. همچنین به منظور بررسی ارتباط بین متغیرها و تأثیر آن‌ها بر یکدیگر، از آزمون همبستگی پیرسون در محیط نرم‌افزار SPSS، استفاده شد. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که عمق جریان به ترتیب با سرعت جریان و عرض جریان رابطه معکوس معنی‌دار ($r = -0/889$ ، $p < 0/934$) و $r = 0/01$ و $p < 0/05$) با ضریب زبری مانینگ رابطه مستقیم معنی‌دار ($r = -0/357$ و $p < 0/05$) دارد. همچنین، عرض جریان نیز به ترتیب با ضریب زبری مانینگ، رابطه معکوس معنی‌دار ($r = -0/387$ و $p < 0/05$)، با سرعت جریان رابطه مستقیم معنی‌دار ($r = 0/941$ و $p < 0/01$) دارد. ضریب زبری مانینگ به ترتیب با سرعت جریان، دبی رودخانه، شعاع هیدرولیکی و عرض جریان رابطه معکوس معنی‌دار ($r = -0/347$ ، $r = -0/474$ ، $r = -0/412$ ، $r = -0/387$ ، $p < 0/05$) دارد. همچنین نتایج پژوهش نشان داد که همبستگی مقادیر سرعت برآورد شده و اندازه‌گیری شده، نشان‌دهنده صحت قابل قبول معادله کوان در برآورد ضریب زبری مانینگ و سرعت جریان در بازه‌های رودخانه مورد مطالعه است.

واژگان کلیدی: رودخانه قره‌سو، مورفولوژی رودخانه، ضریب زبری مانینگ، پوشش گیاهی، شعاع هیدرولیکی.

مقدمه

شکل هندسی رودخانه، فرم بستر، پروفیل طولی، مقاطع عرضی و تغییر ضریب زبری در بازه‌های مختلف از مواردی است که در ژئومورفولوژی رودخانه‌ای مطرح است و بر سرعت جریان، الگوی فرسایش و رسوبگذاری موثر است (اسفندیاری درآباد و همکاران، ۱۳۹۹). ضریب زبری از پارامترهای مهم در مطالعه خصوصیات جریان رودخانه‌ای بوده و تابع عمق و سرعت جریان، وضعیت تراکم و نوع پوشش گیاهی است (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۸۸: ۱). مقدار ضریب زبری مانینگ بسیار متغیر و به تعدادی عامل وابسته است. این عوامل شامل زبری سطح، پوشش گیاهی، شکل مسیر و سطح مقطع، وجود موانع در مسیر جریان، انحنای مسیر تراز و دبی می‌باشند (چو^۱، ۱۹۵۹: ۸۰). ویژگی‌های هیدرولیکی جریان‌های سطحی (رواناب) نظیر سرعت و عمق و همچنین مشخصه زبری سطح خاک به‌عنوان پارامترهای فیزیکی مهم در توصیف فرآیندهای فرسایشی خاک سطحی به‌شمار می‌آیند (میرزایی و همکاران، ۱۳۹۶: ۷۳). وجود ریشه و پوشش گیاهی علاوه بر استحکام و یکپارچه کردن خاک، باعث کاهش تنش برشی دیواره‌ای در مجاورت سطح خاک و کاهش فرسایش می‌شود. در رودخانه‌های پوشیده از گیاه، ضریب زبری با تغییر سرعت و عمق جریان، میزان رسوب‌گذاری و مورفولوژی رودخانه تغییر می‌کند (فتحی مقدم، ۱۳۸۷: ۹۸؛ ابراهیمی و همکاران، ۱۳۸۷: ۸۲). تحلیل تغییرات رژیم جریان و تداوم آن و تعیین عوامل موثر در بی‌نظمی‌ها از پیش‌نیازهای اصلی مدیریت و بهره‌برداری بهینه از رودخانه‌ها به‌عنوان یکی از منابع اصلی آب مصرفی می‌باشند (حاجی و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۲۱). پوشش گیاهی در حاشیه و مناطق مسطح اطراف رودخانه‌ها ضمن به وجود آوردن یک زیستگاه مناسب برای حیات وحش و آبیان، باعث کاهش سرعت جریان می‌شوند (اسفندیاری درآباد و همکاران، ۱۳۹۹). از نظر هیدرولیکی کاهش سرعت جریان ناشی از پوشش گیاهی در کانال‌های طبیعی یک عامل مهم در تعیین سیلاب‌دشت و مدیریت حریم رودخانه و کانال‌های طبیعی است. همچنین از دیدگاه زیست‌محیطی می‌توان به اثر پوشش گیاهی در عوامل مورفولوژیکی^۲، کیفیت آب و زیبایی منظر رودخانه اشاره کرد. نقش پوشش گیاهی در حفاظت و تثبیت دیواره و سواحل رودخانه به‌طور گسترده‌ای توسط محققان در بیش‌تر نقاط جهان مطالعه شده و همه آن را به‌عنوان یک گزینه اقتصادی و محیط زیستی شناخته‌اند. زبری هیدرولیکی پوشش کانال تابعی از ویژگی‌های بستر رودخانه، گیاهان در حال رشد در کانال، عمق، سرعت و شعاع هیدرولیکی کانال است (چاپلند^۳، ۲۰۰۰). مقاومت بستر یا ضریب زبری در رفتار رواناب سطحی به‌ویژه در زمینه مهار سرعت، فرسایندها و ظرفیت حمل رسوب تأثیر به‌سزایی دارد، بنابراین برآورد دقیق این ضریب به‌عنوان یکی از داده‌های ورودی در مدل‌سازی رواناب و فرآیندهای آب‌شناختی در مقیاس کوچک مورد نیاز است (دانکرلی^۴، ۲۰۰۲: ۴۷). همچنین، توزیع قائم و عرضی سرعت در کانال‌های طبیعی تحت تأثیر هندسه کانال، پیچ و خم‌ها و ناهمواری‌های بستر است. توزیع سرعت در برآورد پارامترهای هیدرولیکی هم‌چون دبی جریان، تنش برشی و توزیع غلظت رسوب، برآورد دقیق مقدار سرعت متوسط و دبی جریان در طرح‌های کنترل سیلاب و انتقال آلاینده‌ها در آبراهه‌های طبیعی و مصنوعی دارای اهمیت زیادی است (بویتن^۵، ۲۰۰۳: ۶۲). چایو و تن^۶ (۱۹۹۲) تأثیر عوامل موثر بر ضریب اصطکاک در شرایط تراکم کم و زیاد مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که پوشش گیاهی بیش‌ترین نیروی کششی را تحمل کرده و آشفتگی بیش‌تری تولید می‌کند و با افزایش تراکم، ضریب زبری نیز افزایش می‌یابد. جرولا^۷ (۲۰۰۲) مقاوت جریان ناشی از ترکیبات مختلف پوشش‌های گیاهی طبیعی را در شرایط مستغرق و غیرمستغرق در فلوام

1- Chow

2- Morphological

3- Copeland

4- Dunkerley

5- Boiten

6- Chiew & Tan

7- Jarvela

آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار داد. کرمی و مجدزاده طباطبایی (۱۳۸۸) مدلی را توسعه دادند که اثر پوشش گیاهی را در تعیین هندسه پایدار رودخانه‌های شنی تحلیل می‌کند آن‌ها به کمک مدل تأثیر پایداری کناره‌ها را بر هندسه هیدرولیکی رودخانه به صورت کمی مورد بررسی قرار دادند. سپس مدل مورد نظر روی داده‌های ۶۲ رودخانه شنی از کشور انگلستان بررسی و مدل را مورد واسنجی قرار دادند. نتایج به دست آمده علاوه بر اینکه تأثیر پایداری کناره در تعیین خصوصیات هندسی مقطع کانال را نشان می‌دهند، کارایی مدل ارایه شده را نیز ثابت می‌کنند. تأثیر وجود پوشش گیاهی بر ضریب زبری مانینگ دامنه در مراتع آق‌قلا گرگان توسط فلاحتگر و همکاران (۱۳۸۹) مورد مطالعه قرار گرفت. سپس محاسبه سرعت جریان هر دامنه در هر تکرار، هم‌چنین تعیین شعاع هیدرولیکی در ۶ مقطع در هر تکرار صورت پذیرفت، ضریب زبری مانینگ n در حالت با پوشش و بدون پوشش در دامنه با شیب $4/1$ درصد به ترتیب مقادیر $0/0557$ و $0/0510$ و نیز در دامنه با شیب $12/9$ به ترتیب مقادیر $0/0652$ و $0/0564$ برآورد شد و مشخص شد که وجود پوشش گیاهی در دامنه‌ها، حتی به مقدار کم باعث افزایش معنی‌دار ضریب مانینگ شد. عباسی و ملک‌نژاد یزدی (۱۳۹۱) عوامل مؤثر بر ضریب مانینگ در رودخانه فریزی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد، علاوه بر دانه‌بندی مصالح بستر، رفتار هیدرولیکی جریان نیز در محاسبه ضریب زبری مؤثر است. به همین منظور با انجام آنالیز ابعادی، مشخص شد، عدد فرود جریان می‌تواند به عنوان پارامتر بیانگر این رفتار در نظر گرفته شود، علاوه بر عدد فرود، شعاع هیدرولیکی و قطر متوسط ذرات بستر نیز در تخمین ضریب زبری مؤثرند. میرزایی و همکاران (۱۳۹۶) ضرایب زبری مانینگ و داریسی-ویسباخ را در سطح یک خاک لسی تحت پوشش‌های متفاوت سنگریزه سطحی برآورد نمودند. مقادیر ضرایب زبری با افزایش سرعت جریان سطحی در یک پوشش سنگریزه سطحی به صورت نمایی کاهش یافت. مطالعه تأثیر نوع و تراکم‌های مختلف پوشش گیاهی در شرایط آزمایشگاهی قابل انجام و کنترل است (محسنی و توکلی، ۱۴۰۰؛ حاج‌غنی و همکاران، ۱۴۰۱؛ لویی^۱ و همکاران، ۲۰۰۹)، اما در شرایط طبیعی بازه‌های رودخانه دارای پیچیدگی هستند که شرایط یکنواختی ندارند. ارتفاع پوشش گیاهی نیز باعث استهلاک انرژی آب می‌شود که این عامل از طریق ضریب زبری مانینگ قابل ارزیابی است (نیک‌منش، ۱۳۹۰؛ کلیسون^۲، ۲۰۰۲). برآورد سرعت جریان در رودخانه‌های طبیعی و عوامل مؤثر بر آن می‌تواند در پیش‌بینی محل‌های فرسایش و رسوب‌گذاری، تثبیت کناره‌های رودخانه و مطالعه رفتار دینامیک رودخانه مؤثر باشد. هدف از پژوهش حاضر مقایسه سرعت برآوردی با روش مانینگ اندازه‌گیری شده با مولینه است. هم‌چنین بررسی ارتباط بین پوشش گیاهی، خصوصیات جریان و مورفولوژی رودخانه قره‌سو، از دیگر اهداف پژوهش حاضر است.

مواد و روش‌ها

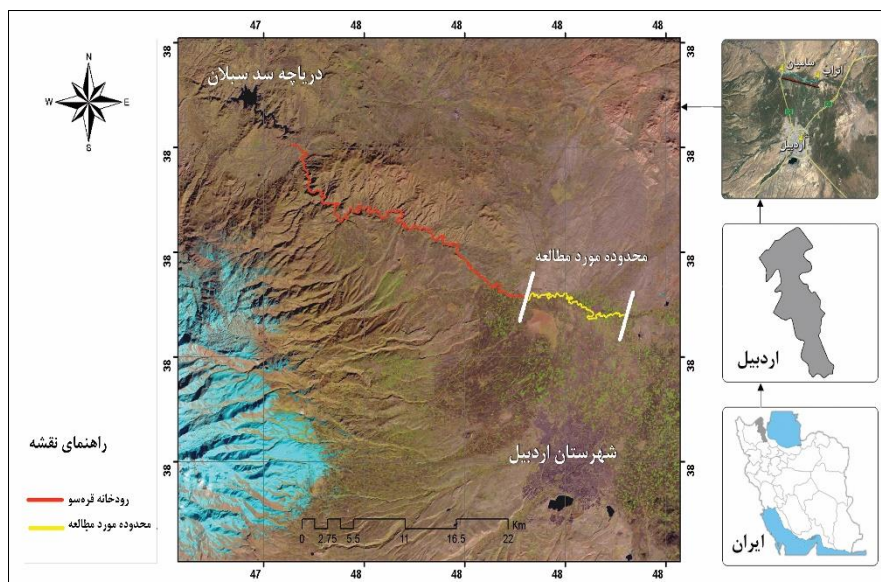
موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

رودخانه قره‌سو از رشته کوه‌های تالش در شرق اردبیل سرچشمه می‌گیرد و در مسیر خود ضمن عبور از دشت اردبیل آب‌های جاری بالیخلوچای که از ارتفاعات سبلان و شهرستان نیر زهکش می‌شود را جمع‌آوری می‌کند. رودخانه مذکور پس از پیوستن به اهرچای، در محل اصلاندوز به رودخانه مرزی ارس می‌ریزد (اسفندیاری درآباد و همکاران، ۱۴۰۰). موقعیت رودخانه قره‌سو در شکل (۱)، نشان داده شده است. ارتفاع بلندترین نقطه قله کوه سبلان (نسبت به سطح دریا برابر ۴۷۸۸ متر و ارتفاع پست‌ترین نقطه واقع در حوالی پل سامیان برابر ۱۲۰۰ متر است) (افخمی و نصیری صالح، ۱۳۹۴: ۳۵). در این پژوهش، بازه‌ای به طول $16/70$ کیلومتر از رودخانه قره‌سو استان اردبیل (محدوده روستای انزاب تا پل سامیان)، در نظر گرفته شد. بازه مورد نظر در یک محدوده دشتی جریان دارد و رودخانه تقریباً تکامل یافته است و دشت‌های اطراف آن

¹- Luppi

²- Simon & Collison

به صورت زراعت آبی در حال بهره‌برداری است. در بخش‌های مختلف بازه مورد مطالعه درختان، درختچه‌ها و گیاهان علفی در مسیر رودخانه رشد یافته‌اند.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی رودخانه قره‌سو در استان اردبیل و ایران

روش پژوهش

برای انجام این پژوهش، ۲۴ مقطع عرضی در بازه‌ای به طول ۱۶/۷۰ کیلومتر از رودخانه قره‌سو استان اردبیل، مورد ارزیابی قرار گرفته شد. با استفاده از تصویر ماهواره‌ی لندست ۸، سنجنده OLI، در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.3، مسیر رودخانه ترسیم شد (جدول (۱)). ابتدا در برداشت میدانی، پارامترهایی از جمله: عرض، عمق، نوع بستر و شرایط پوشش گیاهی و سرعت جریان، اندازه‌گیری شد که خلاصه آن در جدول (۲) ارائه شده است.

اندازه‌گیری‌های میدانی سرعت جریان و ارزیابی بستر رودخانه قره‌سو در اردیبهشت ماه ۱۳۹۷ انجام شده است. باید ذکر شود که در فصل مذکور، جریان رودخانه دارای دبی متوسطی است که از طریق سرشاخه‌هایی که از منطقه جنگلی فندقلو، آبی‌بیگلو و بالادست نمین سرچشمه می‌گیرند، تغذیه می‌شود. کاهش فرسایش، افزایش مقاومت جریان، کاهش انتقال موثر دبی و افزایش عمق جریان از اثرات پوشش گیاهی در رودخانه‌های طبیعی است که افزایش زبری مسیر و کاهش میانگین سرعت جریان، کاهش انرژی آب و تغییر توزیع سرعت لایه ای و به عبارتی پروفیل سرعت جریان در مقطع عرضی رودخانه را موجب می‌شود (باقری، ۱۳۸۷، نیک‌منش، ۱۳۹۰؛ ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۵). نوع و تراکم پوشش گیاهی در بازه‌های مورد مطالعه متفاوت و ترکیبی از درختچه‌ها (گز)، گیاهان علفی (انواع گراس‌ها، چکن و سازو) و در مواردی درختان طبیعی (بید گز) یا دست‌کاشت (صنوبر) است. در پژوهش حاضر، ارزیابی تاثیر پوشش گیاهی بر سرعت جریان از طریق دستورالعمل جدول استاندارد برآورد شرایط پوشش گیاهی در محاسبه ضریب زبری صورت گرفته است.

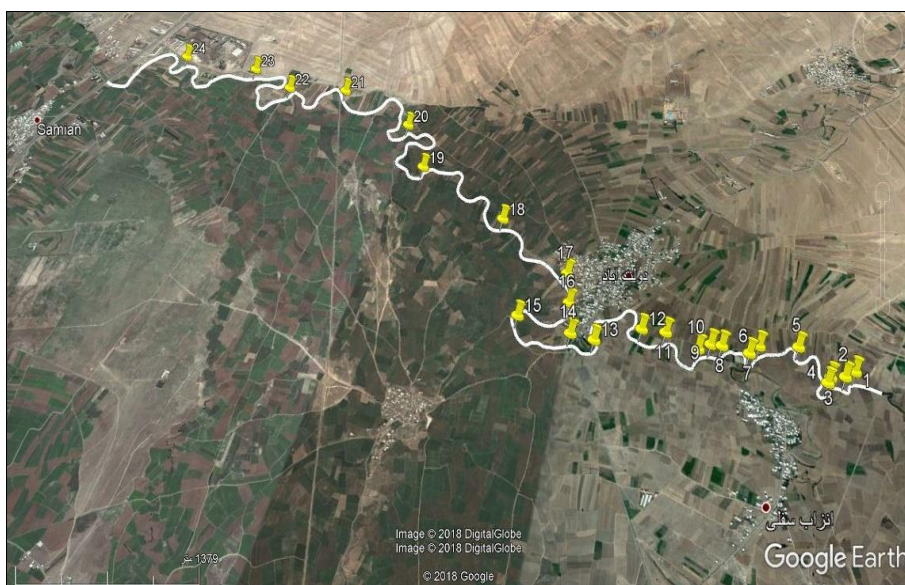
جدول ۱- مشخصات تصویر ماهواره‌ای مورد استفاده در پژوهش

ماهواره Landsat8، سنجنده OLI_TIRS					
نام منطقه تصویر	مسیر	گذر	تاریخ اخذ	زاویه آزیموت خورشید	زاویه ارتفاع خورشید
اردبیل	۱۶۷	۳۳	۲۰۱۸/۰۱/۰۶	۱۵۷/۸۱۳	۲۵/۳۳۷

جدول ۲- مشخصات پارامترهای اندازه‌گیری شده در بازدید میدانی

مقطع	عرض کانال (m)	متوسط عمق کانال (m)	سرعت اندازه‌گیری شده (m/s)	سرعت برآوردی با روش ضریب مانینگ (m/s)
۱	۱۰	۰/۵۲	۰/۱۵	۰/۲۸
۲	۱۲/۵	۰/۴۳	۰/۲۴	۰/۴۹
۳	۶	۰/۶۹	۰/۱۰	۰/۲۱
۴	۸	۰/۵۷	۰/۱۲	۰/۱۷
۵	۲	۰/۸۳	۰/۰۹	۰/۲۲
۶	۸/۵	۰/۵۶	۰/۱۳	۰/۱۹
۷	۱۴	۰/۳۴	۰/۳۰	۰/۴۳
۸	۲۹	۰/۱۸	۰/۶۷	۱/۱۱
۹	۱۰/۵	۰/۴۸	۰/۱۶	۰/۴۶
۱۰	۶	۰/۶۲	۰/۱۲	۰/۳۵
۱۱	۶	۰/۵۸	۰/۱۲	۰/۲۶
۱۲	۱۲/۵	۰/۴۳	۰/۲۴	۰/۵۵
۱۳	۹	۰/۵۶	۰/۱۳	۰/۳۰
۱۴	۱۱	۰/۴۸	۰/۱۷	۰/۳۵
۱۵	۱۸	۰/۲۴	۰/۵۰	۰/۶۹
۱۶	۱۲/۵	۰/۴۳	۰/۲۵	۰/۵۱
۱۷	۹	۰/۵۵	۰/۱۴	۰/۲۹
۱۸	۱۷	۰/۲۹	۰/۴۰	۰/۸۸
۱۹	۱۲/۵	۰/۴۲	۰/۳۰	۰/۵۹
۲۰	۱۲	۰/۴۶	۰/۲۴	۰/۵۱
۲۱	۱۷/۵	۰/۲۹	۰/۴۶	۰/۸۵
۲۲	۱۴/۵	۰/۳۴	۰/۳۵	۰/۷۴
۲۳	۱۸/۵	۰/۲۴	۰/۶۰	۱/۳۲
۲۴	۴/۵	۰/۸۰	۰/۱۰	۰/۲۰

به‌منظور بررسی وضعیت رودخانه و تعیین مقاطع مناسب برای اندازه‌گیری سرعت نقطه‌ای و دبی جریان، پیمایش صحرایی و بازدید محلی در طول مسیر رودخانه انجام و در نهایت تعداد ۲۴ مقطع با فواصل مناسب از یکدیگر انتخاب شدند شکل (۲).



شکل ۲- نمایی از موقعیت رودخانه و مقاطع عرضی با استفاده از Google Earth در رودخانه قره‌سو اردبیل

برای اندازه‌گیری سرعت جریان از دستگاه جریان‌سنج یا مولینه^۱ ساخت آلمان، استفاده شد جدول (۹). این ابزار سرعت آب را از طریق برقراری رابطه‌ای با تعداد دور اندازه‌گیری شده در یک فاصله زمانی مشخص، ارائه می‌دهد. رابطه خطی بین سرعت آب (V) و تعداد دور محور مولینه (n) در رابطه (۱)، نشان داده شده است.

$$V = a + bn \quad (1)$$

که در آن، a و b ، ضرایب مربوط به نوع سرعت‌سنج است و توسط کارخانه سازنده در دفترچه راهنمای دستگاه نوشته می‌شود. ضرایب a و b ، در مولینه استفاده شده بر اساس مقدار n (تعداد دور پروانه‌های مولینه)، تعیین می‌شود جدول (۳).

جدول ۳- مشخصات سرعت‌سنج (مولینه) مورد استفاده در پژوهش

SEBA HYDROMETRIE current meter			شرکت سازنده
$n > 10/27$	$n < > 10/27 - 1/98$	$n < 1/98$	تعداد دور پروانه بر ثانیه
$V = 33/44 \times n - 14/09$	$V = 32/05 \times n + 0/19$	$V = 13/17 \times n + 1/93$	فرمول

کوان^۲ در سال ۱۹۵۶ نیز با ارایه چندین فاکتور اصلی تأثیرگذار بر ضریب زبری، روشی برای تخمین n پیشنهاد نموده است. که در این روش، مقدار n از طریق رابطه (۲) برآورد می‌شود (چو، ۱۹۵۹: ۸۲؛ فلاحتگر و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۳۲؛ سامانی و کوان^۳، ۲۰۰۲).

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m \quad (2)$$

در رابطه (۲)، مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر انتخاب مقادیر n کانال عبارتند از: نوع و اندازه مواد تشکیل دهنده بستر و پادگانه‌های کانال و شکل کانال است. که در آن، n_b (ضریب مانینگ پایه که براساس دانه‌بندی مواد تشکیل دهنده و یا سیلاب‌دشت تعیین می‌شود)، n_1 (مقدار تأثیر سطح نامنظم)، n_2 (مقدار تغییرات در شکل و اندازه مقطع عرضی کانال)، n_3 (مقدار تأثیر موانع)، n_4 (مقدار پوشش گیاهی و شرایط جریان)، m (فاکتور تصحیح برای مماندر کانال بوده) و هم‌چنین برای تعیین مقادیر دیگر پارامترها از جدول (۴)، استفاده شد.

1- Current meter

2- Cowan

3- Samani & Kouwen

جدول ۴- پارامترهای تأثیرگذار بر انتخاب مقادیر ضریب زبری مانینگ در روش کوان

ضریب	مثال و سطوح قابل مقایسه با	دامنه مقادیر
n_1	ضریب مانینگ تعدیلی برای درجه بی‌نظمی سطح آبراهه اصلی و یا سیلاب‌دشت	۰/۰-۰۱۱/۰۰۰
n_2	ضریب مانینگ تعدیلی برای تغییرات مقاطع عرضی	۰/۰-۰۱۰/۰۰۰
n_3	ضریب مانینگ تعدیلی برای موانع آبراهه اصلی و یا سیلاب‌دشت	۰/۰-۰۰۴/۰۰۰
n_4	ضریب مانینگ تعدیلی برای پوشش گیاهی آبراهه اصلی و یا سیلاب‌دشت	۰/۰-۱۰/۰۱۰
m	ضریب اصلاحی زبری بر اساس درجه پیچان رودی آبراهه اصلی	۱/۱-۳

برای محاسبه شعاع هیدرولیکی از رابطه (۳)، استفاده شد. در این معادله، شعاع هیدرولیکی (R) برابر است با نسبت مساحت سطح مقطع جریان (A) برحسب مترمربع به پیرامون مرطوب آن مقطع (P) برحسب متر است و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$R = \frac{A}{P} \quad (۳)$$

به‌منظور محاسبه سرعت جریان با توجه به ضریب زبری کانال از رابطه (۴)، استفاده شد. که در آن، V میانگین سرعت جریان (متر بر ثانیه)، R شعاع هیدرولیکی به متر، Se شیب سطوح انرژی (متر بر ثانیه) و n ضریب زبری مانینگ است (مری^۱، ۲۰۱۷: ۷۹).

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S_e^{1/2} \quad (۴)$$

هم‌چنین برای محاسبه دبی از رابطه (۵)، استفاده شد. در این رابطه، A مساحت سطح مقطع جریان، R شعاع هیدرولیکی، I متوسط شیب کانال و n ضریب زبری مانینگ است.

$$Q = \frac{A \times R^{2/3} \times Se^{1/2}}{n} \quad (۵)$$

با استفاده از روابط مذکور، پارامترهای دبی، سرعت جریان، مساحت مقطع، شعاع هیدرولیکی و ضریب زبری مانینگ محاسبه شد (کراستو و صالح^۲، ۲۰۱۰).

سپس به‌منظور بررسی ارتباط بین متغیرها و تأثیر آن‌ها بر یکدیگر، از آزمون همبستگی پیرسون در محیط نرم‌افزار SPSS، استفاده شد (کریمی، ۱۳۹۴: ۷۶). نتایج آزمون در جدول (۶)، نشان داده شده است. گسترده‌ترین کاربرد شاخص آماری همبستگی دو متغیری، ضریب همبستگی پیرسون است. ضریب پیرسون نشان می‌دهد که تا چه اندازه بین متغیرهای کمی رابطه خطی وجود دارد و کاربرد اصلی آن در تعیین همبستگی متغیرهای پارامتری است که دارای توزیع نرمال باشند (لاندا^۳، ۲۰۰۴: ۹۳).

1- Merry

2- Crosato & Saleh

3- Landau

نتایج و بحث

نتایج محاسبه مولفه‌های جریان و نیز ضریب زبری در جدول (۵)، ارائه شده است.

جدول ۵- مقادیر محاسبه شده پارامترهای مقاطع انتخابی در بازه‌ای از رودخانه قره‌سو

ضریب زبری مانینگ (n)	R	A	Vn	Q	شماره مقطع
۰/۰۵۳۹	۰/۴۸	۵/۲	۰/۲۸	۵۷/۷۴	۱
۰/۰۴۷۳	۰/۳۶	۵/۳۷	۰/۴۹	۱۵/۲۳	۲
۰/۰۴۶۲	۰/۶۱	۴/۱۴	۰/۲۱	۱۶/۹۷	۳
۰/۰۸۱۴	۰/۴۰	۴/۵۶	۰/۱۷	۸/۰۷	۴
۰/۰۳۶۳	۰/۴۸	۱/۶۶	۰/۲۲	۷/۴۶	۵
۰/۰۷۹۲	۰/۴۲	۴/۷۶	۰/۱۹	۸/۹۳	۶
۰/۰۷۸۱	۰/۳۱	۴/۷۶	۰/۴۳	۷/۳۳	۷
۰/۰۶۳۸	۰/۱۴	۵/۲۲	۱/۱۱	۵/۸۱	۸
۰/۰۲۷۵	۰/۴۵	۵/۰۴	۰/۴۶	۲۸/۳۶	۹
۰/۰۲۷۵	۰/۵۳	۳/۷۲	۰/۳۵	۲۳/۵۸	۱۰
۰/۰۴۲۹	۰/۴۴	۳/۴۸	۰/۲۶	۱۲/۴۲	۱۱
۰/۰۳۹۶	۰/۴۴	۵/۳۷	۰/۵۵	۱۹/۶۳	۱۲
۰/۰۳۸۵	۰/۵۲	۵/۰۴	۰/۳۰	۲۲/۴۸	۱۳
۰/۰۴۵۱	۰/۴۶	۵/۲۸	۰/۳۵	۱۸/۳۵	۱۴
۰/۰۸۳۶	۰/۲۲	۴/۳۲	۰/۶۹	۴/۹۶	۱۵
۰/۰۴۶۲	۰/۴۱	۵/۳۷	۰/۵۱	۱۶/۹۸	۱۶
۰/۰۴۶۲	۰/۴۷	۴/۹۵	۰/۲۹	۱۷/۱۰	۱۷
۰/۰۴۱۸	۰/۲۸	۴/۹۳	۰/۸۸	۱۳/۳۳	۱۸
۰/۰۴۹۵	۰/۳۹	۵/۲۵	۰/۵۹	۱۵/۰۵	۱۹
۰/۰۴۴	۰/۴۴	۵/۵۲	۰/۵۱	۱۹/۱۰	۲۰
۰/۰۵۳۹	۰/۲۶	۵/۰۷	۰/۸۵	۱۰/۲۱	۲۱
۰/۰۴۴	۰/۳۲	۴/۹۳	۰/۷۴	۱۳/۹۳	۲۲
۰/۰۴۱۸	۰/۲۳	۴/۴۴	۱/۳۲	۱۰/۴۹	۲۳
۰/۰۴۸۴	۰/۶۳	۳/۶۰	۰/۲۰	۱۴/۴۱	۲۴

مقادیر حداقل و حداکثر ضرایب زبری مانینگ محاسباتی در بازه‌های انتخابی به ترتیب برابر ۰/۰۲۷۵ و ۰/۰۸۳۶ است. همچنین مقدار متوسط ضریب زبری برابر ۰/۰۵۰۲۸ است. به‌طور معمول، تغییرات زبری مانینگ در رودخانه‌هایی با بستر ماسه معمولاً بین ۰/۰۱ تا ۰/۰۴ متغیر است (شفاعی بجستان، ۱۳۸۴). لذا مقدار میانگین ضریب زبری محاسبه شده در پژوهش حاضر مقداری بیش‌تر به‌دست آمده است. بر اساس نتایج پژوهش، استفاده از روشهای تجربی در شرایط عدم وجود داده‌های اندازه‌گیری شده مانند سرعت جریان، رویکرد مناسبی است. روش تجربی کوان با توجه به در نظر گرفتن عوامل موثر بر ضریب زبری، دارای دقت بهتری است (بارنز، ۱۹۶۷).

جدول ۶- نتایج آزمون همبستگی پیرسون بین متغیرهای جریان و مورفولوژی رودخانه در بازه‌ای از رودخانه قره‌سو اردبیل

n	R	Q	V	D	W	P	sig
					۱		
					۲۴		
				۱	-۰/۹۳۴**		
					۰		
				۲۴	۲۴		
			۱	-۰/۸۸۹**	۰/۹۴۱**		
				۰	۰		
			۲۴	۲۴	۲۴		
	۱	۰/۴۳۱*	-۰/۹۰۷**	۰/۹۰۲**	-۰/۸۸۶**		
		۰/۰۳۵	۰	۰	۰		
	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴		
۱	-۰/۴۱۲	-۰/۴۷۴	-۰/۳۴۸	۰/۳۵۷	-۰/۳۸۷		
	۰/۰۴۶	۰/۰۵	۰/۰۴۷	۰/۰۴۸	۰/۰۵		
۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴		

** معنی‌دار در سطح ۱ درصد، * معنی‌دار در سطح ۵ درصد

نتایج حاصل از همبستگی پیرسون در جدول (۶)، نشان می‌دهد که عمق جریان (D) به ترتیب با سرعت جریان (V) و عرض جریان (W) رابطه معکوس معنی‌دار ($r = -0/934$ ، $r = -0/889$ ، $P < 0/01$) و با ضریب زبری مانینگ (n) رابطه مستقیم معنی‌دار ($r = -0/357$ ، $P < 0/05$) دارد. بدین معنی که عمق، سرعت جریان و عرض رودخانه، رابطه بسیار قوی و مستقیم با یکدیگر دارند و کاهش یا افزایش در هر یک از پارامترها منجر به تغییر در پارامترهای دیگر می‌شود. آزمون همبستگی پیرسون نشان داد که افزایش عمق کانال باعث کاهش سرعت و عرض رودخانه می‌شود. در حالی که عمق جریان با ضریب زبری رابطه مستقیم دارد. بدین معنی که افزایش پوشش گیاهی و ضریب زبری، منجر به افزایش عمق آب در کانال می‌شود.

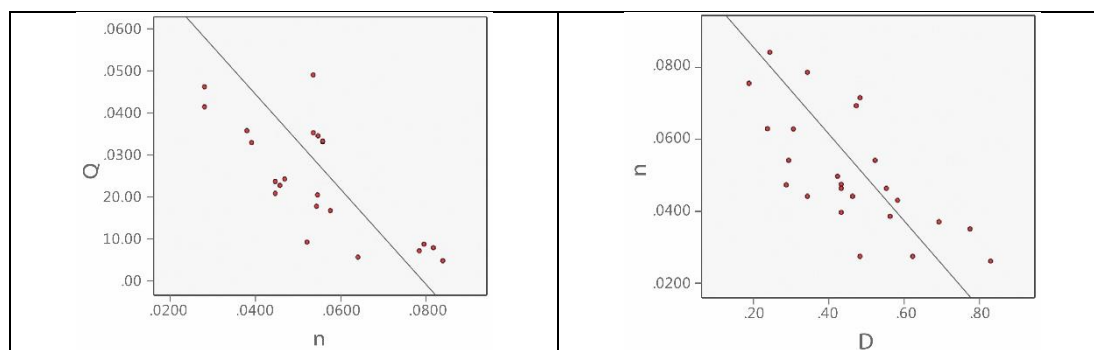
از نظر هیدرولیکی، اندام‌های گیاهی باعث افزایش زبری کناره‌ها و کاهش سرعت و تنش برشی جریان می‌شوند. انرژی آب در محل کناره‌های رودخانه از طریق انعطاف‌پذیری پوشش گیاهی استهلاک می‌یابد. در همین راستا، آفریدگان و خلیلیان (۱۳۹۷) در بررسی تاثیر پوشش گیاهی بستر رودخانه بر آشفتگی جریان به این نتیجه رسیدند که در صورت وجود پوشش گیاهی در مسیر، بیش‌ترین تاثیر شدت آشفتگی و تنش برشی در ناحیه قبل از گیاه دیده می‌شود. بر اساس یافته‌های نیکوبخت و همکاران (۱۳۹۷) تغییرات عرضی بستر نسبت به حالت بدون پوشش گیاهی کمتر شده و شیب عرضی بستر یکنواخت تر شود. از طرفی مقاومت گیاهان باعث جذب و ته‌نشست مواد رسوبی معلق در کناره‌های رودخانه شده و گسترش عرضی رودخانه را کنترل می‌کنند (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی، ۱۳۹۱).

عرض جریان (W) نیز به ترتیب با ضریب زبری مانینگ (n)، رابطه معکوس معنی‌دار ($r = -0/387$ و $P < 0/05$) دارد. در این خصوص می‌توان گفت که وجود پوشش گیاهی در کناره‌های رودخانه در بازه مورد مطالعه باعث تثبیت کناره و جلوگیری از فرسایش و تعریض بستر شده است. پوشش گیاهی از طریق کاهش سرعت جریان و نیز استحکام خاک در کناره‌های آبراهه از فرسایش جلوگیری می‌کند و نیز امکان ترسیب رسوبات معلق و در نتیجه کاهش عرض رودخانه را خواهد داشت. رابطه عرض جریان با سرعت جریان (V) رابطه مستقیم معنی‌دار ($r = 0/941$ و $P < 0/01$) و با شعاع هیدرولیکی (R) رابطه

معکوس و معنی‌دار ($r = -0/886$ و $P < 0/01$)، دارد. بدین معنی که افزایش ضریب زبری کانال باعث کاهش عرض جریان و با کاهش ضریب زبری، عرض کانال گسترش می‌یابد. در حالی که عرض کانال با سرعت جریان دارای یک رابطه مستقیم است و افزایش سرعت جریان باعث افزایش عرض کانال می‌شود.

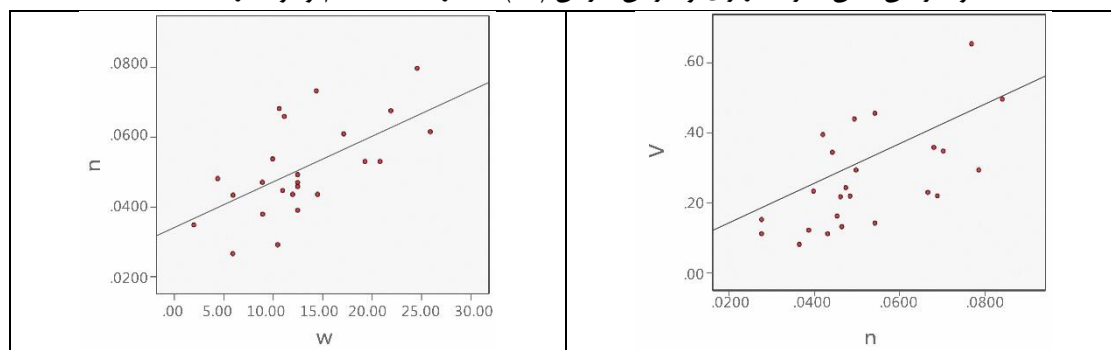
ضریب زبری مانینگ (n) به ترتیب با سرعت جریان (V)، دبی رودخانه (Q)، شعاع هیدرولیکی (R) و عرض جریان (W) رابطه معکوس معنی‌دار ($r = -0/347$ ، $r = -0/474$ ، $r = -0/387$ و $r = -0/05$ و $P < 0/05$) دارد. لذا افزایش ضریب زبری رودخانه، کاهش سرعت جریان، دبی، عمق کانال و شعاع هیدرولیکی را به همراه دارد. شعاع هیدرولیکی (R) با عرض جریان (W) رابطه معکوس معنی‌دار ($r = -0/886$ ، $p < 0/01$)، با دبی (Q) رابطه مستقیم معنی‌دار ($r = 0/431$ و $p < 0/05$)، اما با عمق جریان (D) رابطه مستقیم معنی‌دار ($r = 0/902$ و $p < 0/01$)، دارد. شعاع هیدرولیکی با عرض کانال و سرعت جریان رابطه معکوس دارد. بدین معنی که کاهش عرض کانال و سرعت جریان منجر به افزایش شعاع هیدرولیکی می‌شود، در حالی که با دبی و عمق رودخانه رابطه مستقیم دارد. یعنی افزایش شعاع هیدرولیکی، دبی و عمق رودخانه را نیز افزایش می‌دهد.

شکل (۳) نشان‌دهنده یک رابطه خطی و معکوس بین متغیرهای ضریب زبری مانینگ (n) و عمق جریان (D) است. لذا می‌توان گفت که افزایش ضریب زبری باعث کاهش سرعت و در نتیجه افزایش عمق جریان می‌شود. همچنین بین دبی جریان (Q) و ضریب زبری مانینگ (n) رابطه معکوس وجود دارد، اما نوسان نقاط داده‌ها از محور، بر یک رابطه ضعیف دلالت دارند.



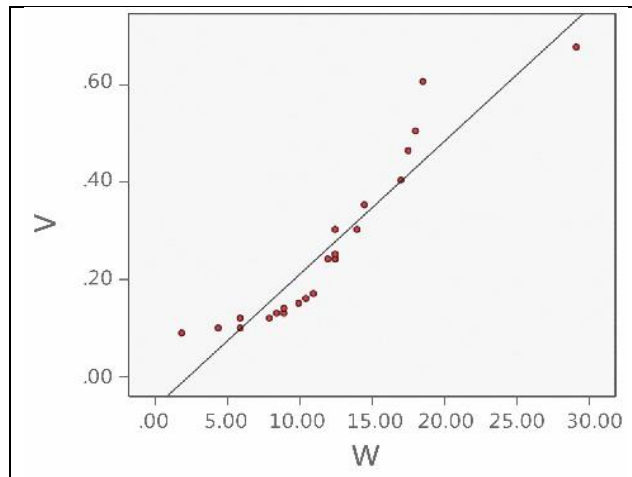
شکل ۳- همبستگی متغیرهای (n و D) و (n و Q) در بازه‌ای از رودخانه قره‌سو اردبیل

شکل (۴) نشان‌دهنده یک رابطه خطی و مستقیم بین متغیرهای ضریب زبری مانینگ (n) و سرعت اندازه‌گیری شده (V) به دست آمد. علاوه بر این میان ضریب زبری و عرض جریان (W) یک رابطه مستقیم وجود دارد.



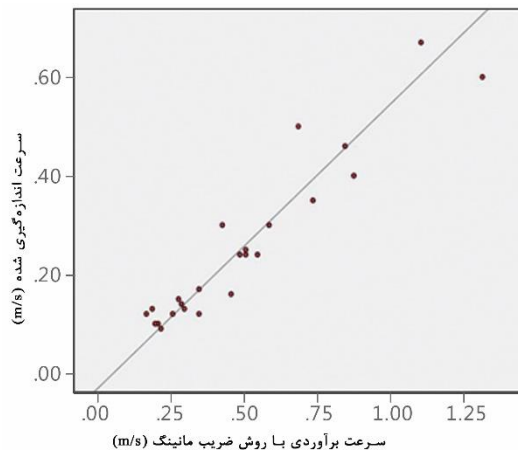
شکل ۴- همبستگی متغیرهای (n و V) و (n و W) در بازه‌ای از رودخانه قره‌سو اردبیل

شکل (۵) نشان دهنده این است که رابطه میان عرض جریان (W) و سرعت اندازه‌گیری شده (V) مستقیم است.



شکل ۵- همبستگی متغیرهای (V و W) در بازه‌های مورد مطالعه رودخانه قره‌سو اردبیل

نتایج آزمون همبستگی پیرسون در شکل (۶)، نشان می‌دهد که سرعت برآوردی با روش ضریب زبری مانینگ و سرعت اندازه‌گیری شده، رابطه معنی‌دار ($r=0/908$ و $P<0/025$)، دارد. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که محاسبه سرعت بر اساس روش مانینگ تا حد زیادی در رودخانه مورد مطالعه نتایج قابل قبولی ارائه داده است و در شرایط عدم امکان اندازه‌گیری مستقیم سرعت و کمبود داده روش قابل اعتمادی خواهد بود.



شکل ۶- همبستگی متغیرهای (V و V_n) در بازه‌ای از رودخانه قره‌سو اردبیل

همان‌طور که مشاهده می‌شود نسبت سرعت برآورد شده به سرعت اندازه‌گیری شده که با استفاده از همبستگی پیرسون برآورد شده، نشان دهنده توانایی معادله ضریب زبری مانینگ برای برآورد سرعت جریان در منطقه مورد مطالعه است، لذا یک راه حل مناسب در شرایط عدم وجود سرعت‌سنج مولینه برای برآورد سرعت جریان محسوب می‌شود. معمولاً عدم قطعیت بسیار زیادی در برآورد ضریب زبری مانینگ وجود دارد. در این راستا، لازم است عدم قطعیت مربوط به ضریب زبری بر حسب تغییر در متغیرهای مؤثر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. به‌طور متوسط، افزایش ۲۰ درصدی ضریب زبری باعث افزایش ۷ درصدی عمق آب و کاهش ۸ درصدی سرعت می‌شود، اما ممکن است حدود ۱۵ درصد

افزایش در عمق آب و کاهش معادل سرعت برای یک سطح مقطع معین وجود داشته باشد (کیم^۱ و همکاران، ۲۰۱۰). ضریب زبری یک عامل پویا است و در فصول مختلف متغیر است و در برآوردهای هیدرولیکی یک پارامتر حساس محسوب می‌شود. بر اساس مطالعات، ضرورت تخمین ضریب زبری با اندازه‌گیری میدانی از موارد است که مورد تاکید بوده است. در رویدادهای سیلابی شدید، تلاطم و سرعت‌های بالا می‌تواند باعث ایجاد فرسایش قابل توجهی در کناره‌های رودخانه شود و افزایش تولید رسوب را به دنبال داشته باشد. در این شرایط افزایش ضریب زبری بستر و کناره‌های رودخانه‌ها باعث کاهش انتقال رسوب خواهد شد (کاوالکانتته^۲ و همکاران، ۲۰۲۱).

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش نشان می‌دهد که پوشش گیاهی باعث کاهش میانگین سرعت، کاهش عرض رودخانه، افزایش رسوب‌گذاری در بستر و در نتیجه کاهش دبی عبوری رودخانه را به همراه دارد و در مواردی ممکن است باعث بالا آمدن سطح آب و افزایش عمق جریان شود. سرعت جریان نیز بر عرض رودخانه، عمق کانال، شعاع هیدرولیکی و دبی رودخانه دارد. لذا هر گونه تغییر در سرعت جریان، تغییر در پارامترهای دیگر نیز مشاهده می‌شود. روش‌های اندازه‌گیری چند نقطه‌ای سرعت جریان با استفاده از مولینه به دلیل تعداد زیاد نقاط اندازه‌گیری در مقاطع مختلف عرضی، بسیار وقت‌گیر و پرهزینه بوده و در بعضی از مقاطع عرضی به دلیل عرض و عمق زیاد رودخانه و دشواری عبور از عرض رودخانه، به کارگیری روش فوق‌الذکر را دشوار می‌نماید، هم‌چنین وجود پوشش گیاهی مستغرق در برخی از بازه‌ها باعث کندشدن و یا توقف کامل پره‌های مولینه و بروز خطا در اندازه‌گیری سرعت جریان خواهد شد. باید اشاره شود که مولینه برای اندازه‌گیری سرعت دارای یک آستانه سرعت است که در مقادیر دور در دقیقه کم‌تر از آن قادر به اندازه‌گیری سرعت نخواهد بود. وجود اجسام شناور در آب در شرایطی که غیرقابل رویت باشند، باعث برخورد با دستگاه مولینه و توقف لحظه‌ای پره‌ها و بروز خطا در اندازه‌گیری شد. از دیگر دشواری‌های اندازه‌گیری سرعت جریان می‌توان به شیب تند برخی از پادگانه‌ها و باتلاقی بودن قسمت‌های از تراس‌های اطراف رودخانه از دیگر موانع دسترسی به رودخانه در منطقه مورد مطالعه است. در مجموع بر اساس نتایج دامنه مقادیر محاسباتی حداقل و حداکثر ضرایب زبری مانینگ به مقدار ۰/۰۲۷۵ و ۰/۰۸۳۶ نشان می‌دهد که مقادیر ارائه شده در دامنه نزدیک به ضریب زبری رودخانه‌های طبیعی است. بنابراین، در شرایط نیاز به برآورد سرعت جریان، استفاده از روش تجربی کوان نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهد، چون عوامل موثر در ضریب زبری را در محاسبه در نظر خواهد گرفت. باید اشاره شود که مسیر رودخانه قره‌سو از اراضی کشاورزی دشت اردبیل عبور می‌کند، لذا تاثیر کاربری اراضی کشاورزی و نیز دخالت‌های انسانی در تخریب پوشش گیاهی مشهود است و از مواردی است که دینامیک جریان و نیز فرسایش را با تغییر مواجه نموده است. در موارد متعدد زمین‌های کشاورزی تا کناره رودخانه شخم زده شده اند و حذف پوشش گیاهی باعث ایجاد کناره‌های شیب‌دار و تشدید فرسایش شده اند. ارتباط بین متغیرهای دبی و میزان فرسایش کناره رودخانه و بستر جریان از مواردی است که می‌تواند در پژوهش‌های آتی مورد مطالعه قرار گیرد.

منابع

- ابراهیمی، ن.، فتحی‌مقدم، م.، کاشفی‌پور، س.م.، ابراهیمی، ک.، و صانعی، م. ۱۳۸۷. مطالعه تأثیر پوشش گیاهی مستغرق بر ضریب زبری رودخانه‌ای، آب، گیاه و خاک در کشاورزی، جلد ۸، شماره ۱ (ب)، صص ۸۷-۷۹.
- ابراهیمی، نادر قلی.؛ فتحی‌مقدم، م.، کاشفی‌پور، س.م.، ابراهیمی، ک. ۱۳۸۸. بررسی رابطه ضریب زبری مانینگ با عمق و سرعت نسبی جریان تحت تأثیر تراکم پوشش گیاهی، هشتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، اهواز، صص ۹-۱.

¹ - Kim

² - Cavalcante

- ابراهیمی ن، شیردلی، ع، نیکخواه جوان، ا، و حسینی، م. ۱۳۹۵. تأثیر پوشش گیاهی بستر آبراهه بر هیدرولیک جریان و فرم بستر. مهندسی و مدیریت آبخیز، دوره ۸، شماره ۲، صص ۱۹۲-۱۸۲.
- اسفندیاری درآباد، ف، بخشنده، ر، رحیمی، م، حاجی، خ، مصطفی‌زاده، ر. ۱۳۹۹. طبقه‌بندی و تحلیل ژئومورفولوژیکی بخشی از رودخانه حمزه‌خانلو با استفاده از مدل رزگن. هیدروژئومورفولوژی، دوره ۷، شماره ۲۹، صص ۳۹-۵۹.
- اسفندیاری درآباد، ف، حمزه‌ای، م، علائی، ن، مصطفی‌زاده، ر. ۱۳۹۹. تغییرات مکانی سنج‌های سیمای سرزمین در پوشش گیاهی جوامع حاشیه‌مناظر از نوع کاربری اراضی در رودخانه قره سو استان اردبیل. آمایش جغرافیایی فضا. دوره ۱۰، شماره ۳۸، صص ۲۳۴-۲۱۹.
- اسفندیاری درآباد، ف، مصطفی‌زاده، ر، ناصری، ا، عبیات، ا. (۱۴۰۰). تعیین الگوی پیچان‌رودی رودخانه قره‌سو با استفاده از شاخص‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی (محدوده روستای انزاب تا پل‌سامیان). تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، دوره ۲۱، شماره ۶۱، صص ۱۳۱-۱۱۹.
- افخمی، م، و فرزین نصیری صالح، ف. ۱۳۹۴. ارزیابی عملکرد مدل‌های هیدرولوژیکی توزیعی و یکپارچه در شبیه‌سازی متوسط روزانه دبی جریان درحوضه آبریز رودخانه قره‌سو - اردبیل، مهندسی عمران مدرس، دوره ۱۵، صص ۴۰-۳۱.
- آفریدگان، ا، و خلیلیان، س. ۱۳۹۷. تأثیر پوشش گیاهی بستر رودخانه در آنالیز مولفه‌های آشفتگی جریان. کنفرانس ملی تحقیقات بنیادین در عمران، معماری و شهرسازی، تهران.
- باقری، س. ا. ۱۳۸۷. بررسی اثر پوشش گیاهی در دیواره‌ها و قله‌سنگ با تراکم‌های مختلف در بستر بر مولفه‌های جریان آشفته. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- حاج‌غنی، م، گلستانی، س، ذونعمت کرمانی، م، و بارانی، غ. ع. ۱۴۰۱. بررسی آزمایشگاهی اثر تراکم پوشش گیاهی بستر کانال بر رفتار هیدرولیکی جریان. مهندسی آبیاری و آب ایران. دوره ۱۲، شماره ۳، صص ۱۸-۱.
- حاجی، خ، میرزایی، ش، مصطفی‌زاده، ر، و نظرنژاد، ح. ۱۳۹۶. تغییرات ماهانه شدت و تمرکز رواناب سطحی در رودخانه‌های حوزه گرگانرود استان گلستان، هیدروژئومورفولوژی، دوره ۴، شماره ۱۳، صص ۱۴۶-۱۲۱.
- شفاعی بجنستان، م. ۱۳۷۸. هیدرولیک رسوب. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز. صص ۴۹۶.
- عباسی، ع. ا، و ملک نژادیزدی، م. ۱۳۹۱. بررسی عوامل مؤثر بر ضریب مانینگ در رودخانه‌ها و ارائه رابطه‌ای جدید جهت تخمین آن (مطالعه موردی: رودخانه فریزی)، آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، دوره ۲۶، شماره ۵، صص ۱۳۱۷-۱۳۰۸.
- فتحی‌مقدم، م، شمال‌نسب، ب، و مسجدی، ع. ۱۳۸۷. تأثیر پوشش گیاهی غیر مستغرق در آبگذری رودخانه‌ها، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران، صص ۹۶-۱۱۱.
- فلاحتگر، م، بهره‌مند، ع، شیخ، و. ب، و اترک چالی، ع. ۱۳۸۹. بررسی تأثیر وجود پوشش گیاهی بر ضریب زبری مانینگ دامنه در مراتع آق‌قلا گرگان، حفاظت آب و خاک جلد ۱۷، شماره ۳، صص ۱۴۱-۱۲۵.
- کرمی، م، و مجدزاده طباطبایی، م. ۱۳۸۸. توسعه مدل تحلیلی اثر پوشش گیاهی در تعیین هندسه پایدار رودخانه‌های شنی، نشریه مهندسی عمران و نقشه برداری-دانشکده فنی، دوره ۳۴، شماره ۱، صص ۱۱۵-۱۰۵.
- کریمی، ر. ۱۳۹۴. راهنمای آسان تحلیل آماری با SPSS، انتشارات هنگام، چاپ اول، تابستان ۱۳۹۴، صص ۳۱۴.
- محسنی، م، و توکلی، ف. ۱۴۰۰. برآورد پروفیل سطح آب در کانال مرکب با وجود پوشش گیاهی در سیلابدشت. آبیاری و آب ایران، دوره ۱۱، شماره ۳، صص ۱۹-۱.
- معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی. ۱۳۹۱. راهنمای مطالعات ریخت‌شناسی رودخانه‌ها. نشریه شماره ۵۹۲. صص ۱۶۶.
- میرزایی، س، اسدزاده، ف، و نظرنژاد، ح. ۱۳۹۶. برآورد ضرایب زبری مانینگ و داریسی-ویسباخ در سطح یک خاک لسی تحت پوشش‌های متفاوت سنگریزه سطحی، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، سال ۸، شماره ۱۵، صص ۸۱-۷۳.

- نیک‌منش م.ر. ۱۳۹۰. پیش‌بینی تاثیر پوشش گیاهی بر ضریب زبری هیدرولیکی کرانه و بستر رودخانه خشک شیراز. علوم و مهندسی آب. دوره ۱، شماره ۳، صص ۴۱-۵۴.
- نیکویخت، ا.، حمیدی فر، ح.، و کشاورزی، ع. ۱۳۹۷. تأثیر پوشش گیاهی غیرمستغرق سیلاب دشت بر تغییرات بستر رودخانه های مئاندری ملایم با مقطع مرکب. اکوهیدرولوژی، دوره ۵، شماره ۲، ۴۶۱-۴۷۰.
- Barenes, H.H. (1967). *Roughness Characteristics of Natural Channels*, U.S. Geological Survey, Water-Supply. <https://doi.org/10.3133/wsp1849>
- Boiten, W., (2003), *Hydrometry*, A.A., Balkema Publishers, Swets and Zeitlinger B.V., Lisse, The Netherlands, pp: 248.
- Cavalcante, D.M, Chaves, M.T.L., Campos, G.M., Cantalice, J.R.B., Junior, G.B. 2021. **Sediment transport and roughness coefficients generated by flexible vegetation patches in the emergent and submerged conditions in a semiarid alluvial open-channel**. *Ecological Indicators*, 125: 107472.
- Chiew, Y., and Tan, member ASCE (1992), **Friction resistance of overland flow on tropical turfed slop**, *Jornal of Hydraulic Engineering*, Vol. 118, No. 1, PP. 92-97.
- Chow, V.T., (1959), **Open channel hydraulics**. McGraw-Hill Book Company, Inc, New York, pp: 3-127.
- Copeland, R., (2000), **Determination of Flow resistance coefficients due to shrubs and woody vegetation**, *US Army Corps of Engineers, ERDC/CHL CHETN-VIII-3*, pp. 1-8.
- Cowan, W.L., (1956), **Estimating hydraulic roughness coefficients**, *Agricultural Engineering*, No. 377, pp. 473- 475.
- Crosato, A., and Saleh, M., (2010), **Numerical study on the effects of floodplain vegetation on river planform style**, *Article first published online: 28 SEP 2010, DOI: 10.1002/esp.2088*.
- Dunkerley, D.L., (2002), **Surface tension and friction coefficients in shallow, laminar overland flows through organic litter**, *Earth Surface Processes and Landforms*, No. 27, pp. 45-58.
- Jarvela, J., (2002), **Flow resistance of flexible and stiff vegetation: A Flume study whit natural plants**, *Journal of Hydrology*, Vol. 269, No. (1-2), pp. 44-54.
- Kim, J.S., Lee, C.J., Kim, W., Kim, Y.J. (2010). **Roughness coefficient and its uncertainty in gravel-bed river**. *Water Science and Engineering*, 3(2): 217-232.
- Landau, S., (2004), **A handbook of statistical analyses using SPSS**, CRC Press. pp: 339.
- Luppi, L., Rinaldi, M., Teruggi, L.B., Darby, S.E., and Nardi, L., (2009), **Monitoring and numerical modelling of riverbank erosion processes: a case study along the Cecina River (central Italy)**, *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 34, No. 4, pp. 530-546.
- Merry, M.A., (2017), **Experimental study for determine Manning's coefficient with different slopes and channel bed materials**, *Kufa Journal of Engineering*, Vol. 8, No. 3, pp. 76-88.
- Samani, J.M.N., and Kouwen, N., (2002), **Stability and erosion in grassed channels**, *Jornal of Hydraulic Engineering, ASCE*. Vol. 128, No. 1, pp. 40-45.
- Simon, A., and Collison, A., (2002), **Quantifying the mechanical and hydrologic effects of riparian vegetation on streambank stability**, *Earth Surface Processes Landforms*, Vol. 27, pp. 527-546.