

بررسی آزمایشگاهی مقاومت جریان در رودخانه‌های شیب‌دار، مطالعه موردی: رودخانه شهرچای ارومیه

نادرفلی ابراهیمی^۱ و رضا سکوتی اسکوئی^{۲*}

^۱ دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران و ^۲ دانشیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۶/۰۹

چکیده

رودخانه‌های کوهستانی، دارای خصوصیتی مانند شیب تند، زبری بستر ناشی از وجود سنگ بستر و مصالح درشت دانه، پوشش گیاهی بستر و حاشیه‌ای و همچنین جابه‌جایی مکانی شدید و سریع در مورفولوژی سطح بستر می‌باشند. نقش پوشش گیاهی در حفاظت و تثبیت دیواره و ساحل رودخانه به‌عنوان یک گزینه اقتصادی و زیست محیطی شناخته شده و از طرف دیگر قدرت آبگذری رودخانه را به دلیل افزایش زبری کاهش داده، باعث بالا آمدن سطح آب می‌شود. این تحقیق با هدف تخمین مقاومت جریان و ضریب زبری متاثر از عوامل فیزیکی، هیدرولیکی و بیوفیزیکی بستر در سه بازه انتخابی از رودخانه شهرچای آذربایجان غربی انجام شد. نتایج نشان داد ضریب زبری در حالت کلی بستگی به درجه استغراق دارد. درختان حاشیه‌ای با افزایش نیروهای فشاری و اصطکاکی و همچنین افزایش عمق هیدرولیکی ولی کمتر از عمق بحرانی، بر عدد فرود تاثیرگذار هستند. رابطه برآورد ضریب زبری برای دو حالت با درختان و بدون درختان حاشیه‌ای دارای ضرایب متفاوت است و امکان پیش‌بینی مقدار ضریب زبری در یک رودخانه کوهستانی با شرایط ذکر شده را فراهم می‌آورد. مقایسه روابط به‌دست آمده برای دو حالت با درختان حاشیه و بدون آن نشان داد که وجود درختان حاشیه‌ای موجب افزایش عمق جریان و افزایش ضریب زبری می‌شود. ضریب تبیین کلیه روابط ریاضی به‌دست آمده ۰/۹۹ و خطای نسبی نیز بین ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۸۲ محاسبه شد که نشان از مناسب بودن مدل‌های برآورد ضریب زبری در این تحقیق است.

واژه‌های کلیدی: آذربایجان غربی، پوشش گیاهی، رودخانه‌های کوهستانی، شیب تند، ضریب مانینگ

مقدمه

یکی از پرکاربردترین معادلات تحلیل مقاومت جریان رابطه مانینگ می‌باشد. تحقیقات نشان می‌دهد که حساسیت مدل‌های پیش‌بینی کننده مشخصات جریان در مجاری باز نسبت به ضریب مانینگ زیاد بوده، لذا انتخاب صحیح آن در پروژه‌های مهندسی رودخانه از اهمیت بسزایی برخوردار است (Mohammadi, ۲۰۱۲). پژوهش Abbasi و همکاران (۲۰۱۲) نشان

مقاومت در برابر حرکت جریان آب در مجاری باز تحت تاثیر عوامل مختلفی از جمله جنس مصالح بستر و بدنه، شکل مقطع و نامنظمی آن، پوشش گیاهی، خم‌های رودخانه، شکل پلان مسیر مجرا و ... قرار دارد. این موضوع در هیدرولیک رودخانه اثر گذاشته و کلیه این عوامل در ضریب زبری خود را نمایان می‌سازد.

شکل مقطع در برآورد هرچه دقیق تر مقاومت جریان تأثیر بسزایی دارند در کانال‌های طبیعی، پوشش گیاهی از طریق ایجاد آشفتگی در اطراف ساقه‌ها و برگ‌های گیاه موجب افت انرژی می‌شود و در مقابل حرکت آب مقاومت ایجاد می‌کند.

از نظر هیدرولیکی نیز پوشش گیاهی باعث افزایش مقاومت در برابر جریان و کاهش میزان انتقال جریان می‌شود (Afzalimehr و Anctil، ۱۹۹۸). نتایج پژوهش Nezu و Onitsuka (۲۰۰۱) برای اندازه‌گیری جریان‌های آشفته^۱ در یک کانال باز با پوشش گیاهی با استفاده از روش‌های LDA^۲ و PIV^۳ به این نتیجه رسید که شدت جریان‌های ثانویه و انرژی تلاطم کانال با افزایش عدد فرود افزایش می‌یابد. جریان آشفته در نزدیک سطح آب به وسیله جریان‌های ثانویه در جهت افقی انتقال پیدا می‌کند. پارامترهای موثر بر ضریب اصطکاک درختان کاج، در کنار رودخانه، به وسیله Fathimoghadam (۲۰۰۶) مورد بررسی قرار گرفته و به این نتیجه رسید که مقادیر ضریب زبری مانینگ تخمین زده شده با استفاده از مدل با مقادیر مشاهداتی مطابقت زیادی دارد. همچنین مطالعه اثر شیب و عمق جریان بر روی پارامتر زبری در پوشش گیاهی بلند و شرایط غیرمستغرق نشان داد عامل زبری با عمق جریان در شرایط مستغرق افزایش یافته و اثر تغییر عمق جریان روی این ضریب بیشتر از تغییر شیب و دبی می‌باشد.

بررسی‌های Jarvila (۲۰۰۵) برای اندازه‌گیری مقاومت هیدرولیکی پوشش گیاهی با برگ‌های نازک و قابل انعطاف مستغرق با مدل‌سازی در آزمایشگاه موید تغییر عدد رینولدز، رفتار هیدرولیکی گیاه، نسبت طول گیاه و عمق جریان می‌باشد. ترسیم و توزیع پروفیل سرعت در هفت مقطع از فلوم نشان داد توزیع سرعت بر اساس قانون مقاومت جریان، عامل مقاومت داری و عدد رینولدز می‌باشد. نتایج مطالعات Eftekhari (۲۰۰۸) برای ارزیابی پهنه‌بندی سیل بر اساس تغییرات ضریب زبری در رودخانه اترک به این نتیجه رسید که با افزایش ضریب زبری، گستره پهنه سیل

داد علاوه بر دانه‌بندی مصالح بستر، رفتار هیدرولیکی جریان نیز در محاسبه ضریب زبری مؤثر است و ضریب زبری جریان نسبت عکس با عدد فرود دارد. علاوه بر عدد فرود، شعاع هیدرولیکی و قطر متوسط ذرات بستر نیز در تخمین ضریب زبری مؤثرند. در نهایت رابطه‌ای ارائه شد که ضریب زبری را با دقتی مناسب ($R^2=0.993$) تخمین بزند.

در تحقیق Ebrahimi (۲۰۰۷) از مدل ریاضی (FASTER) برای شبیه‌سازی سطح و دبی آب رودخانه کارون استفاده شده است. به طوری که سطح، دبی آب و ضریب زبری مانینگ را با در نظر گرفتن پارامترهای عمق، سرعت و نوع پوشش گیاهی مدل نموده، بر حسب انواع پوشش گیاهی، عمق آب، سرعت جریان، شیب خط انرژی جریان، در چند مقطع ضریب زبری مانینگ در آزمایشگاه و رودخانه کارون اندازه‌گیری، کالیبره و روابط ریاضی مربوطه به دست آوردند. همچنین، نتایج Ebrahimi (۲۰۰۸) نشان داد که ضریب زبری ثابت نبوده، بلکه با افزایش تراکم پوشش گیاهی زبری کانال و سرعت برشی جریان افزوده شده و با افزایش سرعت و عمق جریان این ضریب کاهش می‌یابد. تخمین سطح آب به وسیله مدل ریاضی با ضریب زبری متغیر نزدیک به شرایط واقعی رودخانه است ولی تخمین مدل با ضریب زبری ثابت کمتر از مقدار واقعی می‌باشد.

نتایج حاصل از پژوهش Azareh و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی رابطه مانینگ و روابط تجربی مختلف برای مقاطعی از رودخانه بابل نشان داد که ضریب زبری ناشی از ذرات بیشتر از ۶۰ درصد از ضریب زبری کل جریان را به خود اختصاص می‌دهد و شکل بستر اثر کمتری بر ضریب زبری دارند. آزمایشات Bajestan و Yarahmadi (۲۰۰۹) در بررسی اثر رسوبات درشت دانه کف کانال بر ضریب مقاومت جریان به این نتیجه رسید که روابط موجود مقدار مقاومت جریان را در رودخانه‌های با بستر شنی که شیب بستر و اندازه ذرات بسترشان از رودخانه‌های کوهستانی کمتر و پارامتر استغراق نسبی آنها از رودخانه‌های کوهستانی بیشتر است دقیق برآورد نمی‌کنند و نشان دادند که علاوه بر پارامتر استغراق نسبی پارامترهای دیگری مانند عدد فرود و ضریب

¹ Turbulance

² Laser Doppler Anemometer

³ Particle-Image Velocimetry

اقتصادی و زیست محیطی شناخته‌اند ولی هنوز رابطه مشخصی که بتوان به‌صورت عملی در طراحی و برنامه‌ریزی مهندسی رودخانه‌های کوهستانی از آن استفاده نمود ارائه نشده است؛ لذا در این پژوهش سعی بر این است که عوامل فیزیکی و بیوفیزیکی موثر بر ضریب زبری مورد بررسی قرار گرفته تا یک رابطه ساده و با دقت بالا برای استفاده در رودخانه‌های کوهستانی ارائه شود.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق رودخانه شهرچایی که از طرف غرب وارد دریاچه ارومیه می‌شود مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفت. مشخصات مورفولوژیکی این رودخانه به شرح جدول ۱ است.

افزایش می‌یابد و برعکس. کالیبره کردن ضریب زبری مهمترین تأثیر را بر روی پیش‌بینی سیل و ویژگی‌های جریان دارد. در پژوهشی دیگر برای محاسبه ضریب مانینگ در رودخانه‌های جنگلی در شرایط مختلف استغراق نشان داده شد که ضریب زبری کل تابعی از ضریب زبری جنس بستر ارتفاع تنه و کل درخت، ضریب سایه اندازی درختان و تاج درخت، قطر تنه درخت، تعداد درخت در واحد سطح، عمق جریان و مساحت افقی تاج درخت می‌باشد (Yokoyama و همکاران، ۲۰۰۳).

بررسی پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد تخمین ضریب زبری ناشی از مصالح بستر رودخانه، نقش پوشش گیاهی در حفاظت و تثبیت دیواره و ساحل رودخانه‌ها به‌وسیله محققان مختلف مطالعه شده و در تمامی مطالعات آن را به‌عنوان یک گزینه

جدول ۱- مشخصات مورفولوژیکی رودخانه شهرچای

بازه دشت (km)		بازه میان دشت (km)		بازه کوهستانی (km)		شیب ناخالص رودخانه (درصد)	ارتفاع حداقل	ارتفاع بیشینه	طول رودخانه (km)
شیب (درصد)	طول	شیب (درصد)	طول	شیب (درصد)	طول				
۰/۳۶	۲۲/۲۰	۱/۰۳	۱۶/۱۶	۵/۵۳	۲۵/۸۸	۲/۲۱	۱۲۷۵	۲۷۰۰	۶۴/۲۹

درصد و در حالت بیشینه ۷۵ درصد و در حالت کمینه ۲۵ درصد به‌وسیله میله‌ها شبیه‌سازی و فاصله میله‌ها در هر سه شرایط به‌صورت اتفاقی قرار گرفت و تحت این سه شرایط پوششی سه دبی متفاوت استفاده شده است. تأثیر درصد پوشش درختان حاشیه رودخانه بر روی سه پارامتر که در حفاظت کناره رودخانه تأثیرگذار است، بررسی شد.

طول بستر انتخابی جریان در طبیعت ۵۴۰ متر و در آزمایشگاه نه متر می‌باشد. تغییرات دبی جریان از ۲۲/۳۱ مترمکعب تا ۵/۵۸ مترمکعب در طبیعت و از ۲۰ لیتر برثانیه تا پنج لیتر برثانیه در آزمایشگاه و سه نوع دانه‌بندی با قطر متوسط ۲۸/۵ میلی‌متر تا ۹۳ میلی‌متر در طبیعت و ۱/۶۵ تا ۵/۶۵ میلی‌متر در آزمایشگاه انتخاب شد.

در این تحقیق داده‌های هیدرومتری در بازه کوهستانی از اولین ایستگاه هیدرومتری نزدیک به سرشاخه‌ها موسوم به میرآباد در یک دوره ۴۰ ساله (۱۳۹۲-۱۳۵۲) استفاده شد. به این ترتیب سه بازه با شیب‌های دو، چهار و هشت در هزار رودخانه مورد مطالعه به طول ۵۴۰ متر انتخاب شد. برای بررسی تأثیر پوشش درختان حاشیه رودخانه بروی ضریب زبری در شرایط آزمایشگاهی شبیه‌سازی با استفاده از یک کانال آزمایشگاهی به طول ۱۵ متر و عرض ۱/۵ متر که با استفاده از مصالح کف شیب‌بندی شد، انجام شد. برای شبیه‌سازی تنه درختان در مسیر و حاشیه جریان میله‌هایی که قطر آن‌ها شش میلی‌متر و ارتفاع آن‌ها به‌طور متوسط ۲۵ سانتی‌متر بود استفاده شد. در حالت طبیعی تراکم در واحد سطح پوشش گیاهی ۵۲



شکل ۱- مدل در حال اجرا در آزمایشگاه و درختان شبیه‌سازی شده در حاشیه مدل

سه متغیر وزن مخصوص آب- ρ شعاع هیدرولیکی و R ، ضریب لزجت سینماتیکی ν ، ضریب زبری مانینگ n ، شتاب ثقل g ، ضریب دارسی y, f ، عمق جریان و ks ارتفاع متوسط زبری می‌باشد که نهایتاً پارامترهای بی‌بعد f و Fr ، sf ، y/ks ، Re به شرح رابطه (۱) ارائه شد.

$$N = f(f, sf, y/ks, Re^*, Fr) \quad (1)$$

برای بررسی اثر متغیرهای ثابت بر متغیر وابسته و تعیین ارجحیت هر یک از آن‌ها با ایجاد رابطه‌ای رگرسیونی بین آن‌ها با کمک نرم‌افزارهای Solver و Lab Fit استفاده شد. میانگین نسبی خطای موجود میان تابع ضریب زبری محاسبه‌ای و مشاهده‌ای با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شده است.

$$relative\ error = \frac{|(n)_o^{1/2} - (n)_c^{1/2}|}{|(n)_o^{1/2}|} \quad (2)$$

که در آن، n_0 ضریب زبری مشاهده شده و n_c مقدار ضریب زبری محاسبه شده می‌باشد. ضریب زبری مشاهده‌ای با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی از رابطه مانینگ برآورد شد. روابط و ضریب زبری محاسباتی، با تحلیل ابعادی با استفاده از نرم‌افزار SPSS و زیر برنامه Solver با توجه به نتایج تحلیل ابعادی و لحاظ مهمترین متغیرها به طوری که مجموع اختلاف مربعات ضریب زبری محاسبه و مشاهده شده به کمینه برسد با تکرار زیاد محاسبه و روابط ریاضی مربوطه ارائه شد.

برای اندازه‌گیری ابعاد مصالح بستر از الک‌های استاندارد و دستگاه نمونه‌بردار دستی استفاده شد. مواد بستر به دو روش نمونه‌برداری از روی سطح^۱ و نمونه‌برداری حجمی^۲ برداشته شد. برای اندازه‌گیری مواد بستر رودخانه به وسیله نمونه‌بردار دستی هلی‌اسمیت در فواصل مشخصی از عرض مقطع در سه تکرار برداشت شد. زمان نمونه‌برداری در تمام مدت اندازه‌گیری‌ها، ۶۰۰ ثانیه در نظر گرفته شد. در کلیه بازه‌های رودخانه (کوهستانی، میان دشتی و دشت) از مقاطع عرضی نقشه‌برداری شد.

در تحلیل ابعادی با استفاده از روش باکینگهام سرعت برشی، V^* به عنوان متغیرهای اصلی پارامترهای بدون بعد به دست می‌آید. با توجه به پوشش کم علفی (تک بوته) در کف رودخانه این پوشش در تحلیل مورد استفاده قرار نگرفت. اما از آنجایی که پوشش به صورت درختی و در حاشیه (سواحل) رودخانه و عمدتاً دور از مسیر آب پایه و دائم جریان قرار داشت لذا تعداد ۷۵ میلگرد شش میلی‌متری در مرزهای راست و چپ بستر رودخانه در فاصله‌های تصادفی در مدل قرار داده شد و با توجه به این‌که در همه آزمایش‌ها این پارامتر ثابت بود در دسته پارامترهای کم اهمیت در معادلات ریاضی مورد استفاده قرار نگرفت. در این پارامترها (ρ) ، (R) و (U)

¹ Surface sampling

² Volumetric sampling

نتایج و بحث

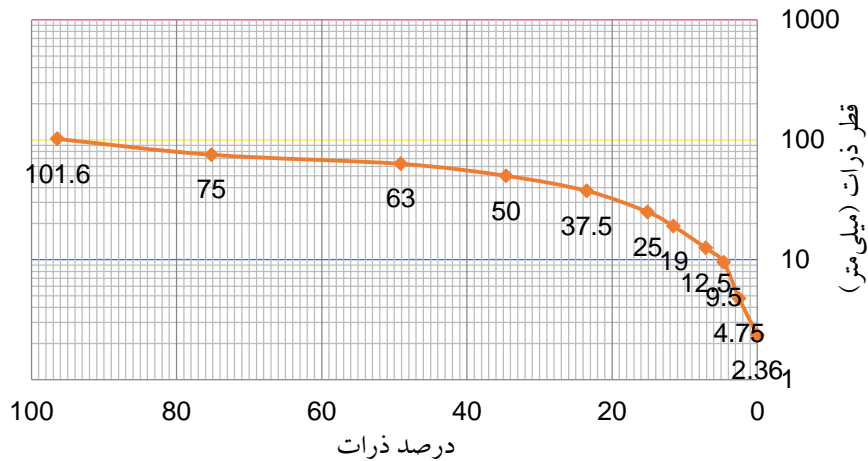
نتایج داده‌های اندازه‌گیری شده مدل آزمایشگاهی همراه با پوشش گیاهی در شیب یک درصد در جدول ۲ و نمونه دانه‌بندی مصالح بستر رودخانه شهرچای در شکل ۲ ارائه شده که نشان می‌دهد مواد بستری از نوع

قلوه سنگ و شن بوده، از دانه‌بندی خوبی برخوردار است. ضریب زبری مشاهده‌ای مانینگ با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه به دست آمد. رابطه عدد فرود با ضریب زبری در دبی‌های مختلف در شکل‌های ۳ و ۴ و ۵ نشان داده شده است.

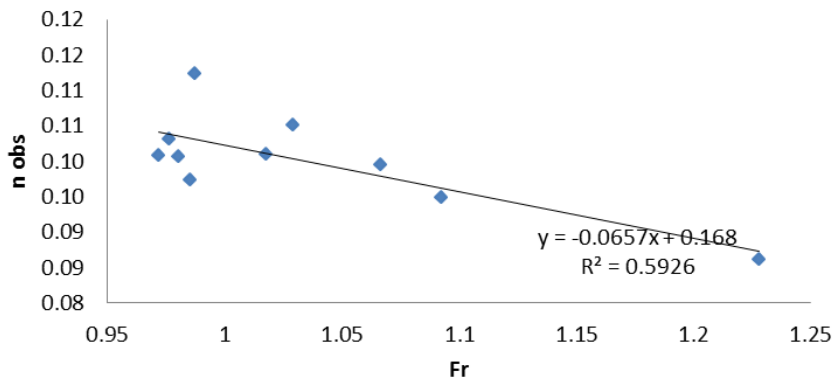
جدول ۲- نتایج داده‌های اندازه‌گیری شده مدل آزمایشگاهی با پوشش گیاهی در شیب یک درصد

n cal	n obs	U*	Re	Fr	S0	V	hf	Wb	y	مقطع	دبی
۰/۰۳۳	۰/۰۳۷	۰/۱۳	۲۴۰۶۷	۱	۰/۰۱	۰/۶۳۳	۰/۰۰۱۵	۰/۸۲	۰/۰۳۸	۱	۲۰
۰/۰۳۲	۰/۰۳۶	۰/۱۲	۲۲۷۶۳	۱	۰/۰۱	۰/۶۲۳	۰/۰۰۳۷	۰/۸۶	۰/۰۳۷	۲	۲۰
۰/۰۲۹	۰/۰۳۱	۰/۱۱	۲۱۶۲۲	۱	۰/۰۱	۰/۶۵۹	۰/۰۰۰۲	۰/۹۱	۰/۰۳۳	۳	۲۰
۰/۰۲۹	۰/۰۳۲	۰/۱۱	۲۰۳۴۶	۱	۰/۰۱	۰/۶۲۴	۰/۰۰۲۰	۰/۹۷	۰/۰۳۳	۴	۲۰
۰/۰۲۷	۰/۰۲۹	۰/۱۱	۲۰۲۲۲	۱	۰/۰۱	۰/۶۶۱	۰/۰۰۲۶	۰/۹۷	۰/۰۳۱	۵	۲۰
۰/۰۲۵	۰/۰۲۵	۰/۱۱	۱۹۱۷۵	۱	۰/۰۱	۰/۶۸۵	۰/۰۰۱۴	۱/۰۳	۰/۰۲۸	۶	۲۰
۰/۰۲۴	۰/۰۲۴	۰/۰۹	۱۷۸۸۹	۱	۰/۰۱	۰/۶۷۳	۰/۰۰۰۷	۱/۰۹	۰/۰۲۷	۷	۲۰
۰/۰۲۴	۰/۰۲۵	۰/۰۹	۱۶۵۴۳	۱	۰/۰۱	۰/۶۳۹	۰/۰۰۲۵	۱/۱۸	۰/۰۲۶	۸	۲۰
۰/۰۲۱	۰/۰۲۱	۰/۰۸	۱۶۳۵۳	۱	۰/۰۱	۰/۶۹۹	۰/۰۰۰۸	۱/۲۱	۰/۰۲۳	۹	۲۰
۰/۰۲۰	۰/۰۲۰	۰/۰۸	۱۵۵۴۰	۱	۰/۰۱	۰/۶۸۸	-۰/۰۰۳۲	۱/۲۶	۰/۰۲۳	۱۰	۲۰
۰/۰۲۶	۰/۰۲۹	۰/۰۹	۱۳۲۶۹	۱	۰/۰۱	۰/۵۱۴	۰/۰۰۵۳	۰/۸۲	۰/۰۲۶	۱	۱۱
۰/۰۲۰	۰/۰۲۰	۰/۰۷	۱۲۶۰۰	۱	۰/۰۱	۰/۶۱۵	۰/۰۰۱۹	۰/۸۶	۰/۰۲۱	۲	۱۱
۰/۰۱۸	۰/۰۱۷	۰/۰۷	۱۱۹۱۷	۱	۰/۰۱	۰/۵۴۱	۰/۰۰۵۲	۰/۹۱	۰/۰۱۹	۳	۱۱
۰/۰۱۲	۰/۰۱۰	۰/۰۶	۱۱۲۴۷	۲	۰/۰۱	۰/۸۳۹	۰/۰۰۰۵	۰/۹۷	۰/۰۱۳	۴	۱۱
۰/۰۱۲	۰/۰۱۰	۰/۰۶	۱۱۱۷۹	۲	۰/۰۱	۰/۸۶۷	۰/۰۰۱۷	۰/۹۷	۰/۰۱۳	۵	۱۱
۰/۰۱۰	۰/۰۱۸	۰/۰۵	۱۰۵۸۲	۲	۰/۰۱	۰/۹۴۵	۰/۰۰۰۹	۱/۰۳	۰/۰۱۱	۶	۱۱
۰/۰۱۹	۰/۰۱۸	۰/۰۵	۹۹۱۰	۲	۰/۰۱	۰/۹۶۲	۰/۰۰۱۳	۱/۰۹	۰/۰۱۰	۷	۱۱
۰/۰۱۸	۰/۰۱۷	۰/۰۵	۹۱۶۷	۲	۰/۰۱	۱/۰۱۹	۰/۰۰۰۵	۱/۱۲	۰/۰۰۹	۸	۱۱
۰/۰۱۷	۰/۰۱۶	۰/۰۵	۹۸۰۵	۲	۰/۰۱	۱/۱۵۴	۰/۰۰۲۵	۱/۱۲	۰/۰۰۹	۹	۱۱
۰/۰۱۵	۰/۰۱۴	۰/۰۵	۸۶۲۷	۲	۰/۰۱	۱/۴۳۸	-۰/۰۰۸۶	۱/۲۶	۰/۰۰۶	۱۰	۱۱
۰/۰۱۷	۰/۰۱۹	۰/۰۵	۶۰۵۳	۱	۰/۰۱	۰/۴۱۵	-۰/۰۰۰۶	۰/۸۲	۰/۰۱۵	۱	۵
۰/۰۱۶	۰/۰۱۸	۰/۰۵	۵۷۵۴	۱	۰/۰۱	۰/۴۱۱	۰/۰۰۲۴	۰/۸۶	۰/۰۱۴	۲	۵
۰/۰۱۳	۰/۰۱۳	۰/۰۴	۵۴۳۵	۱	۰/۰۱	۰/۴۶۹	۰/۰۰۲۰	۰/۹۱	۰/۰۱۲	۳	۵
۰/۰۱۱	۰/۰۱۰	۰/۰۴	۵۱۳۹	۲	۰/۰۱	۰/۵۳۵	۰/۰۰۰۴	۰/۹۷	۰/۰۱۰	۴	۵
۰/۰۱۰	۰/۰۱۹	۰/۰۴	۵۱۱۲	۲	۰/۰۱	۰/۵۵۶	۰/۰۰۰۶	۰/۹۷	۰/۰۰۹	۵	۵
۰/۰۱۹	۰/۰۱۹	۰/۰۳	۴۸۱۲	۲	۰/۰۱	۰/۵۶۰	۰/۰۰۱۳	۱/۰۳	۰/۰۰۹	۶	۵
۰/۰۱۸	۰/۰۱۷	۰/۰۳	۴۵۱۳	۲	۰/۰۱	۰/۶۱۸	۰/۰۰۰۹	۱/۰۹	۰/۰۰۷	۷	۵
۰/۰۱۷	۰/۰۱۶	۰/۰۳	۴۱۴۶	۲	۰/۰۱	۰/۶۴۸	۰/۰۰۱۲	۱/۱۸	۰/۰۰۶	۸	۵
۰/۰۱۵	۰/۰۱۵	۰/۰۳	۴۱۰۸	۲	۰/۰۱	۰/۷۹۰	۰/۰۰۲۰	۱/۲۱	۰/۰۰۵	۹	۵
۰/۰۱۳	۰/۰۱۳	۰/۰۳	۳۹۳۷	۲	۰/۰۱	۱/۲۳۰	۰/۰۰۳۲	۱/۲۶	۰/۰۰۳	۱۰	۵

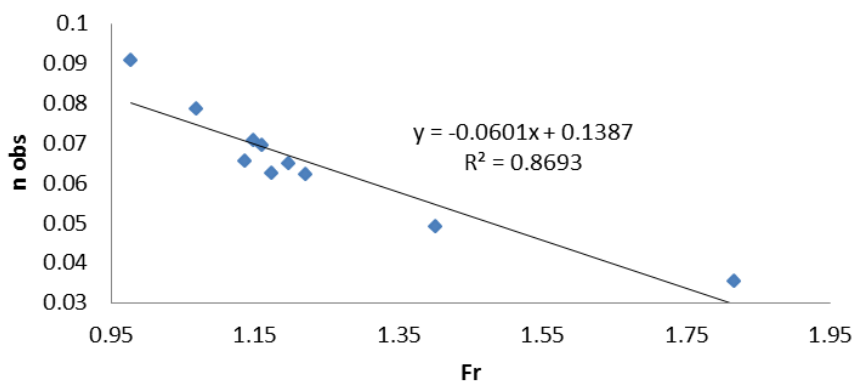
در جدول بالا Q دبی کمینه و میانگین و بیشینه عبوری، Wb عرض کف بستر، hf افت تراز سطح آب، v سرعت آب، hv مقدار افت نظیر سرعت، Khv مقدار افت ناگهانی باز شدگی کانال مساوی ۰/۳، A سطح مقطع جریان، S0 شیب اصلی کانال و Sw شیب سطح آب که از تقسیم y بر طول بازه L به دست می‌آید، Sf شیب خط انرژی، D عمق هیدرولیکی، Fr عدد فرود، Re عدد رینولدز، U* سرعت برشی و n و Π_{obs} به ترتیب ضریب زبری محاسبه‌ای و مشاهده‌ای مانینگ است.



شکل ۲- منحنی دانه بندی شهرچایی در مقطع شماره یک



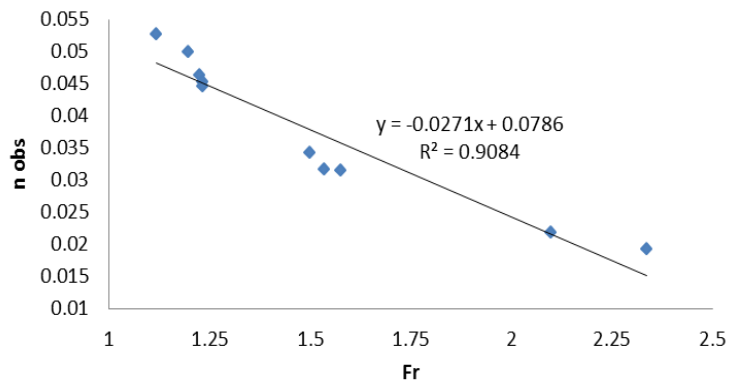
شکل ۳- رابطه عدد فرود و ضریب زبری در دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه



شکل ۴- رابطه عدد فرود و ضریب زبری در دبی ۱۱ لیتر بر ثانیه

مقدار دبی مقدار عدد فرود افزایش یافته است اما رابطه رگرسیونی در سه دبی مختلف به صورت جداگانه از نمودار خطی و در یک شیب آزمایشگاهی با سه دبی مختلف از نمودار سهموی بیشترین R را به خود اختصاص داده است.

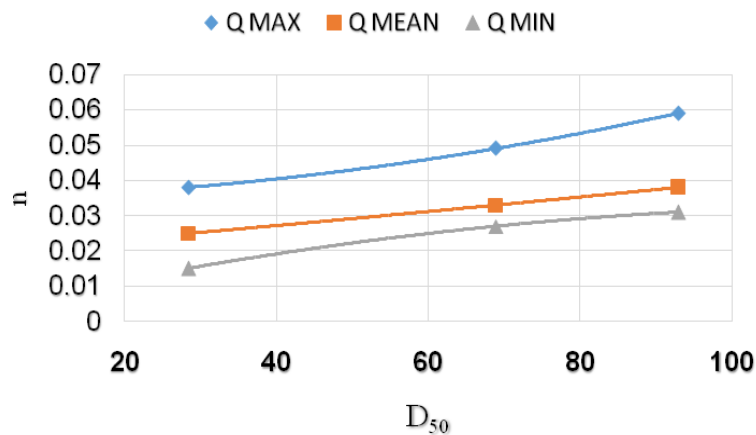
آنچه در نمودارهای بالا مشاهده می شود حاکی از آن است که عدد فرود با ضریب زبری رابطه معکوس دارد. هر چقدر جریان فوق بحرانی تر باشد مقدار ضریب زبری کاهش می یابد اما در طبیعت اغلب عدد فرود در محدوده دو الی سه بود ولی در آزمایشگاه در محدوده یک الی ۱/۴۵ قرار گرفته است و با کاهش



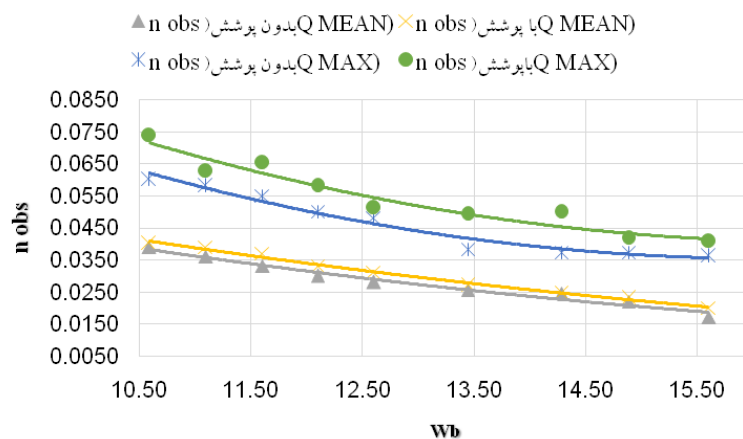
شکل ۵- رابطه عدد فرود و ضریب زبری در دبی پنج لیتر بر ثانیه

وجود درختان حاشیه رودخانه باعث افزایش مقدار ضریب زبری می‌شود. همچنین می‌توان گفت که مقدار ضریب زبری با مقدار ارتفاع آب نیز رابطه مستقیم دارد. بنابراین وجود درختان حاشیه رودخانه باعث افزایش ارتفاع آب می‌شود (شکل ۷).

رابطه ضریب زبری و قطر دانه‌بندی مواد بستر رودخانه شهرچایی در دبی‌های مختلف در شکل شش ارائه شده است. بر اساس رابطه به‌دست آمده در این شکل می‌توان استنباط کرد که با افزایش قطر دانه‌های مواد بستر رودخانه مقدار ضریب زبری افزایش می‌یابد.



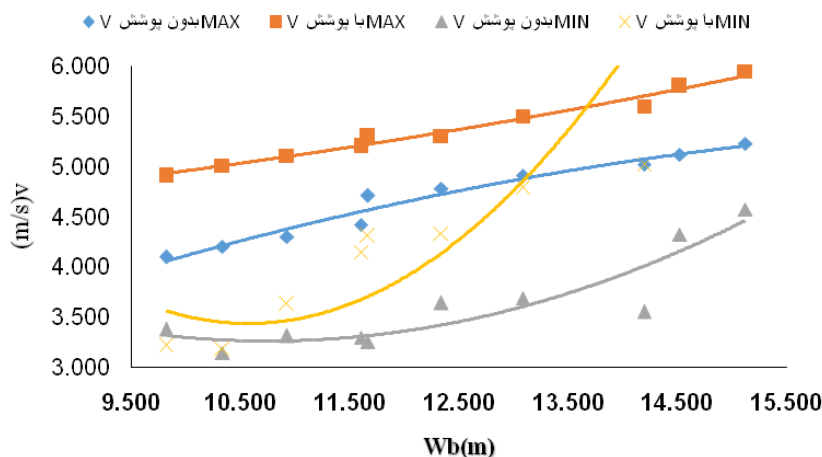
شکل ۶- رابطه ضریب زبری و قطر دانه‌بندی مواد بستر رودخانه



شکل ۷- تاثیر درختان حاشیه رودخانه بر ضریب زبری در شیب ۰.۰۲

جریان می‌شود به طوری که بیشینه تغییرات آن در دبی‌های متوسط می‌باشد. در دبی‌های کمینه یا در دوره خشک‌سالی وجود درختان حاشیه‌ای باعث افزایش مقدار سرعت جریان می‌شود. درختان حاشیه بستر رودخانه‌های کوهستانی در دبی‌های بیشینه یا طغیان رودخانه‌ها کمترین تاثیر را بر روی سرعت جریان دارند.

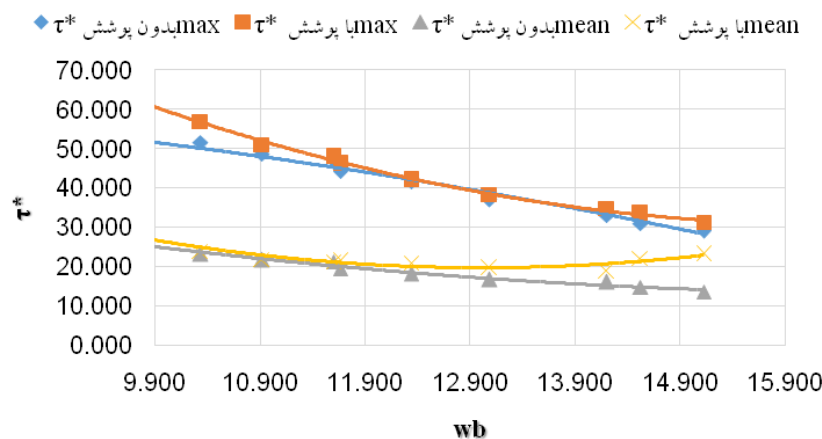
وجود درخت در حاشیه رودخانه‌های کوهستانی در دبی‌های بالا اثرات بیشتری دارد و باعث افزایش مقدار ضریب زبری و همچنین افزایش ارتفاع آب می‌شود. تاثیر درختان حاشیه رودخانه بر روی سرعت جریان و تنش برشی در رودخانه مورد مطالعه در شیب دو در ۱۰۰۰ در شکل ۸ نشان داده شده است. وجود درختان حاشیه بستر باعث افزایش مقدار سرعت



شکل ۸- تاثیر درختان حاشیه رودخانه بر روی سرعت جریان در رودخانه مورد مطالعه در شیب ۰/۰۰۲

برشی می‌شود. اما در دبی‌های سیلابی یا بیشینه، کمترین تغییرات در تنش برشی دیده می‌شود.

در شکل ۹ مشاهده می‌شود وجود درختان حاشیه‌ای در رودخانه‌های کوهستانی در هر سه شرایط دبی کمینه و متوسط و بیشینه باعث افزایش تنش



شکل ۹- تاثیر درختان حاشیه رودخانه بر روی تنش برشی در رودخانه مورد مطالعه در شیب ۰/۰۰۲

آن‌ها شد که نتایج آن برای دبی‌های مختلف رودخانه در جدول ۳ ارائه شده است.

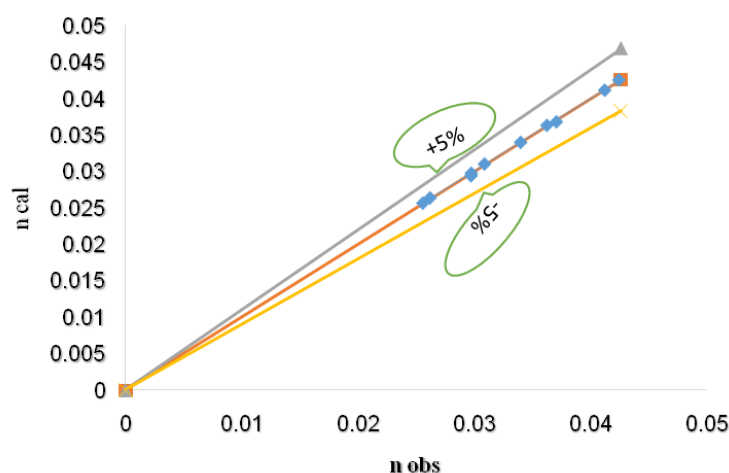
پس از مشخص شدن روابط بین ضریب زبری و عوامل فیزیک و بیوفیزیکی رودخانه، با استفاده از رگرسیون چند متغیره اقدام به ایجاد رابطه ریاضی بین

جدول ۳- روابط بین پارامترهای بی‌بعد در شیب ۰/۰۰۲ رودخانه شهرچایی

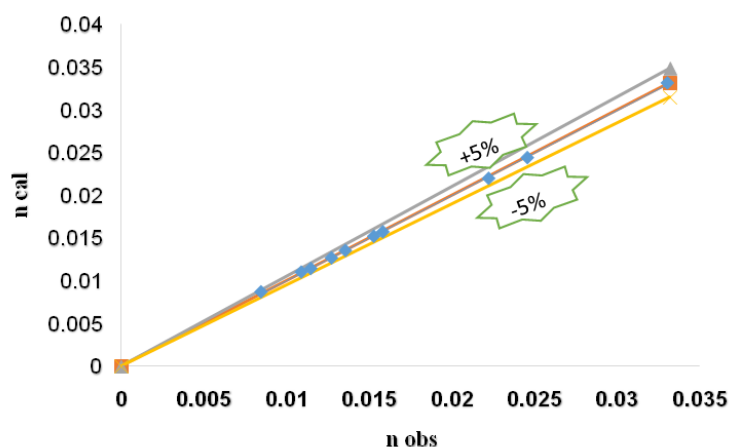
ردیف	دبی رودخانه CMS	معادله	میانگین خطای نسبی	R ²	خطای مجذور مربعات	محدوده قرارگیری داده‌ها (درصد)
۱	۲۲/۳۱	$n = 0.67 \times (s_f)^{0.031} \times (f)^{0.76} \times (Fr)^{0.39}$	۰/۰۰۳۸	۰/۹۹۷	۰/۰۰۰۱۵۶	۵
۲	۱۲/۲۷	$n = 0.23 * (y/K_s)^{0.19} * (f)^{0.60} * (Fr)^{0.15}$	۰/۰۰۸۲	۰/۹۹۰	۰/۰۰۰۱۳۸	۵
۳	۵/۵۸	$n = 0.24 * (y/K_s)^{0.11} * (f)^{0.54}$	۰/۰۱۰۰	۰/۹۹۰	۰/۰۰۰۱۵۵	۵

ریاضی به‌دست آمده و خطای نسبی آن‌ها، نمودار ضریب زبری مشاهده‌ای و محاسبه‌ای در دبی‌های مختلف و شیب دشتی رودخانه ترسیم و در شکل‌های ۱۱، ۱۲ و ۱۳ ارائه شد.

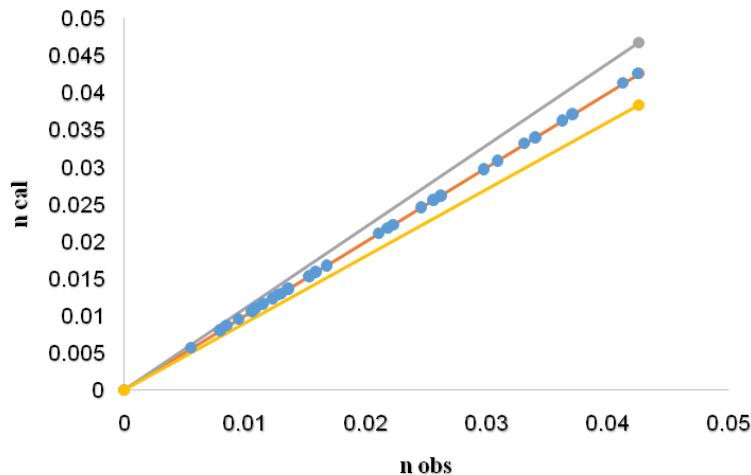
ضریب تبیین کلیه روابط ریاضی به‌دست آمده ۰/۹۹ و به بالا می‌باشد. خطای نسبی محاسبه شده نیز بین ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۸۲ به‌دست آمد که نشان از مناسب بودن مدل برآورد ضریب زبری است. بر اساس روابط



شکل ۱۰- رابطه ضریب زبری مشاهده‌ای و محاسبه‌ای در دبی ۲۲/۳۱ متر مکعب بر ثانیه رودخانه شهرچایی



شکل ۱۱- رابطه ضریب زبری مشاهده‌ای و محاسبه‌ای در دبی ۱۲/۲۷ متر مکعب بر ثانیه رودخانه شهرچایی



شکل ۱۲- رابطه ضریب زبری مشاهده‌ای و محاسبه‌ای در شیب ۰/۰۰۲ رودخانه شهرچایی

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده ضریب زبری فقط در دبی بیشینه ۲۲ مترمکعب برثانیه به شیب خط انرژی بستگی دارد و مقدار استغراق نسبی به‌دلیل این‌که در دبی‌های بیشتر مقدار آن بیشتر می‌شود با افزایش دبی تاثیر کمتری بر روی ضریب زبری دارد. به‌عبارت دیگر با افزایش دبی مقدار ارتفاع آب بیشتر شده، مقدار استغراق نسبی بیشتر می‌شود. در حالت کلی با حذف تاثیر شیب می‌توان گفت که مقدار استغراق نسبی با مقدار دبی رابطه معکوس و با ضریب زبری نیز رابطه معکوس دارد. مقدار عدد فرود در هیچ کدام از حالات به مقدار ضریب زبری بستگی ندارد چون در شیب‌های زیاد و متلاطم جریان فوق بحرانی شده و در جریان‌های فوق بحرانی مقدار ضریب زبری به عدد فرود بستگی ندارد

در رودخانه‌هایی که دارای درختان در حاشیه هستند در یک شیب ثابت، دبی بیشینه به شیب خط انرژی، ضریب زبری دارسی و ایزباخ و عدد فرود بستگی دارد ولی دبی متوسط رودخانه‌های با درختان حاشیه به درجه استغراق نسبی و ضریب زبری دارسی و ایزباخ و عدد فرود بستگی دارد. به‌طوری که با کاهش دبی مقدار توانی استغراق نسبی و ضریب دارسی و ایزباخ

افزایش ولی عدد فرود کاهش پیدا می‌کند. ضریب زبری رودخانه در هیچ یک از حالات به عدد رینولدز برشی بستگی ندارد اما در حالت وجود درختان حاشیه‌ای، در یک شیب ثابت به مقادیر استغراق نسبی و ضریب دارسی و ایزباخ و عدد فرود وابسته است. دلیل آن است که مقدار عدد رینولدز در همه حالات زیاد بوده و حالت تلاطم دارد. لذا وجود درختان حاشیه‌ای با افزایش نیروهای درگ فشاری و اصطکاکی بر روی درختان حاشیه و همچنین افزایش عمق هیدرولیکی ولی کمتر از عمق بحرانی باعث می‌شود که عدد فرود تأثیرگذار باشد. نتایج نشان داد که وجود درختان حاشیه‌ای موجب افزایش عمق جریان شده و موجب افزایش ضریب زبری می‌شود. در یک دانه‌بندی ثابت با افزایش درختان حاشیه‌ای میزان ضریب زبری افزایش می‌یابد.

تشکر و قدردانی

از مدیریت و کارشناسان محترم پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری به‌ویژه کارکنان آزمایشگاه هیدرولیک برای همکاری ارزشمندی که در انجام این پژوهش مبذول نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Abbasi, A.A. and M. Maleknejad Yazdi. 2012. Factors influencing the manning roughness coefficient in rivers and provide new relationship to estimate it, case study: River Frisi. Journal of Soil and Water Conservation, 12(11): 904-910 (in Persian).

2. Azareh, S., M. Pourhossein Ghadi and H. Afzalimehr. 2014. Impact of bed form and particle size on the flow resistance of the sandy bed rivers, case study: Babolroud. 13th Hydraulic Conference, Department of Water Engineering, Tabriz University, Iran, 980-984 pp (in Persian).
3. Adam, K.S. 2003. Comparing physical habit condition in forested and non-forested stream. MSc Thesis, Department of Civil and Environment, University of Vermont, 136 pages.
4. Afzalimehr, H. and F. Anctil. 1998. Estimation of gravel-bed river flow resistance. *Journal of Hydraulic Engineering*, 124(10): 1054-1058.
5. Ebrahimi, N.G. 2008. Estimating roughness coefficient of submerged vegetation in the riverbed to calibration of mathematical models. PhD Thesis, Chamran University of Ahvaz, 120 pages (in Persian).
6. Ebrahimi, N.G., M. Fathi Moghadam, M. Kashefipour, M. Saneie and K. Ebrahimi. 2008. Effect of flow and vegetation states on river roughness coefficients. *Journal of Applied Sciences*, 8(11): 2118-2123.
7. Eftekhari, A.H. 2008. Assessment of flood zoning changes by roughness coefficient, case study: Atrak River using HEC-RAS software. MSc Thesis, University of Tehran, 98 pages (in Persian).
8. Fathi Moghadam, M. 2006. Friction factor for coniferous trees along rivers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 126(10): 732-740.
9. Jarvela, J. 2005. Effect of submerged flexible vegetation on flow structure and resistance. *Journal of Hydrology*, 307(1-4): 233-240.
10. Shafai Bajestan, M. and M. Bahrami Yarahmadi. 2009. Manning's roughness of channels covered with different gravel shapes. International Agricultural Engineering Conference, (IAEC-184,185), Bangkok, Thailand.
11. Muhammadi, S. 2012. Numerical flow modeling using dynamic roughness coefficient. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 9(3): 154-158 (in Persian).
12. Nezu, I. and K. Onitsuka. 2001. Turbulent structures in partly vegetated open-channel flows with LDA and PIV measurements. *Journal of Hydraulic Research*, 39(6): 629-642.
13. Yokoyama, Y., G. Tomidokoro, M. Toyota and T. Kitabayashi. 2003. Numerical analysis of flood flow of the Chikuma River considering vegetation. Disaster Mitigation and Water Management, ISDB Niigata, Japan, 97-104.

Experimental study on flow resistance of the inclined river, case study: Shahr-chay River

Nadergholi Ebrahimi¹ and Reaz Sokouti Oskoe^{*2}

¹ Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran and

² Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, West Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Urmia, Iran

Received: 30 August 2016

Accepted: 04 March 2017

Abstract

Mountainous rivers have characterized by steep slope, roughness due to bedrock and coarse aggregation, bed and marginal vegetation as well as severe and rapid spatial displacement of the surface substrate morphology. The protection role of vegetation in the river bank is known as an economic and environmental option that decreases hydraulic conductivity power of the river through the rising of roughness coefficient and rising water level. This study aimed to estimate the flow resistance and roughness coefficient of the river that is affected by the physical and biophysical factors of the Shahr-chay River bed in West Azerbaijan in three selected river reach. Results showed that none of the proposed equations for estimation of roughness coefficient depend on energy slope, but in general, without affecting flow, roughness coefficient in mountain streams depends only on the degree of submergence. Marginal trees can affect Froude number by increasing margin pressure and friction forces, also, enhancing the hydraulic depth, less than critical depth. It was also found the equation for estimating roughness coefficient both with and without marginal trees, have different coefficients and can provides roughness coefficient prediction possibility for mountainous rivers. Comparing the obtained relations both with and without its fringe of trees showed that fringe trees can increase the flow depth and roughness coefficient. Coefficient of determination of all mathematical relations was above 0.99 and calculated relative error was 0.001- 0.008 that demonstrates the suitability of the model to estimate the roughness coefficient.

Key words: Manning coefficient, Mountainous rivers, Steep slope, Vegetation cover, West Azerbaijan

* Corresponding Author: rezasokouti@gmail.com