

## تعیین ضریب مقاومت جریان در رودخانه‌ها با بستر شنی

### (مطالعه موردی: رودخانه شهرچای - ارومیه)

مریم مولودی<sup>۱\*</sup>، میرعلی محمدی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۲۲

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران - سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ارومیه.

۲- دانشیار گروه مهندسی عمران - هیدرولیک و مکانیک مهندسی رودخانه، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ارومیه.

\*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: moludi.maryam@yahoo.com

### چکیده

مطالعه و تحقیق در زمینه مقاومت جریان در کانال‌های روباز و رودخانه‌ها پیشینه‌ای طولانی دارد. به‌کارگیری نتایج حاصل از تحقیقات انجام یافته در همین راستا، جهت اعمال مدیریت مهندسی در رودخانه‌ها یا کانال‌های روباز با مشخصات هیدرولیکی متفاوت امری ضروری است. همچنین تعیین مقدار بهینه و مناسب ضریب زبری مانینگ تأثیر مستقیم روی تخمین دبی جریان در رودخانه‌ها دارد که مهم‌ترین عامل در تصمیم‌گیری برای توسعه پروژه‌های آبی است. در تحقیق حاضر، با اعمال تغییرات در شرایط هیدرولیکی رودخانه، عوامل مؤثر بر مقاومت جریان بررسی شده است. مقدار بهینه ضریب زبری مانینگ رودخانه "شهرچای" با استفاده از مشخصات هیدرولیکی و دانه‌بندی بستر رودخانه برآورد شده است. ضریب زبری به دست آمده با استفاده از روش‌های مختلف و همچنین مقایسه تصاویر رودخانه شهرچای با رودخانه‌هایی با مشخصات مشابه و زبری معین، واسنجی گردید. با تهیه نقشه‌های سه‌بعدی منطقه با استفاده از نرم‌افزارهای AutoCAD، ArcGIS و همچنین با ایجاد مقاطع عرضی توسط الحاقیه HEC-GEORAS، مشخصات ژئومتریک رودخانه شهرچای محاسبه گردید و به عنوان اطلاعات ورودی به منظور شبیه‌سازی هیدرولیکی در مدل HEC-RAS به‌کار گرفته شد. به ازای ضرایب زبری مانینگ حاصل از روش‌های مختلف شبیه‌سازی انجام گرفت و مشخصات هیدرولیکی خروجی از مدلسازی با مشخصات هیدرولیکی برداشت شده از منطقه، مورد مقایسه قرار گرفت و مقدار بهینه ضریب زبری برای بازه "کشتیان" در رودخانه شهرچای برابر با ۰/۰۳۲ تعیین گردید. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که تعیین ضریب زبری مانینگ به روش‌های چاو، کاون و تصاویر مقایسه‌ای، به لحاظ عوامل متعدد در تخمین ضریب زبری، از دقت مطلوبی برخوردار هستند.

واژه‌های کلیدی: بستر شنی، رودخانه شهرچای، ضریب زبری مانینگ، مقاومت جریان، HEC-RAS، ArcGIS.

## Definition of Resistance Coefficient in Gravel Bed Rivers (A case study: Urmia Shahr-Chay River)

M. Moludi<sup>1\*</sup>, M. Mohammadi<sup>2</sup>

Received: February 24, 2019

Accepted: January 11, 2021

<sup>1</sup>MSc. in Civil Eng., Hydraulic Structures, Dept. of Civil Eng., Faculty of Eng., Urmia University, Iran.

<sup>2</sup>Assoc. Prof. in Civil Eng. (Hydraulics & River Eng. Mechanics), Dept. of Civil Eng., Faculty of Eng., Urmia University, P O Box 165, Urmia 57561-15311, Iran.

\*Corresponding Author, E-mail: moludi.maryam@yahoo.com

### Abstract

The study of resistance to flow in open channels as well as rivers has a long history, and applying those studies on a river or channel with specific properties in order to manage the river is a necessity. An optimum and proper foresight of resistance to flow has a direct impact on the estimation of river flow rate, which is one of the most important factors in a decision of hydro-project developments. This research work tries to identify items which are influencing on the flow resistance by handling properties of the river in specific intervals. In this research, the best Manning coefficient of "Shahr-Chay" river by means of hydraulic characteristics and aggregation of river bed has been estimated. The Manning roughness coefficient estimated by several methods and using pictures and properties of a river reach with a specific Manning's coefficient, by comparing to the river conditions with relative pictures and estimating approximate range of the Manning roughness coefficient (by considering similarities in between river reach) has been verified. By preparing 3D drawings from region using AutoCad, ArcGIS and creating lateral sections using Hec-GeoRas, geometric specifications of "Shahr-Chay" river used as input in order to complete hydraulic simulation of HEC-RAS model. By running the software for different values of Manning's coefficient and hydraulic specifications output from modeling compared to the hydraulic specifications collected from the river reach area. It is found that the most proper value for the Manning coefficient at "Keshtiban" reach is about 0.032. The results of the present research work reveal that the methods, namely "Chow", "Cowan" and "comparison of pictures" are more accurate for estimating the Manning roughness coefficient in rivers, because of introducing several factors taking into account.

**Keywords:** ArcGIS, Flow resistance, Gravel bed, HEC-RAS, Manning roughness coefficient, Shahr-Chay river

### مقدمه

شده است. لذا شناخت کامل کارشناسان مطالعات مهندسی رودخانه از عوامل مؤثر و شرایط متنوع رودخانه، مقدم بر تعیین ضریب زبری می‌باشد و تسلط کامل این کارشناسان به روابط مختلف تعیین ضریب زبری در شرایط گوناگون رودخانه‌ها نیز ضروری می‌باشد.

مقاومت جریان در کانال‌ها و رودخانه‌ها بر سایر پارامترهای هیدرولیکی مانند سرعت، تنش برشی و حمل رسوب تأثیر زیادی دارد. محمدی (۱۹۹۸) و (۲۰۰۸a,b) مقاومت جریان و تأثیر تنش برشی بر روی

به منظور تعیین مشخصات هیدرولیکی نظیر عمق و سرعت جریان، نیاز به تعیین ضریب زبری هیدرولیکی جریان می‌باشد. در کلیه مطالعات مهندسی رودخانه و طراحی سازه‌های متقاطع رودخانه نظیر پل‌ها، سدهای انحرافی و یا دهانه‌های آبگیر که دانستن عمق و سرعت جریان ضروری است، تعیین دقیق ضریب زبری مورد نیاز است. ضریب زبری در شرایط متنوع رودخانه‌ها متأثر از عوامل مختلفی است، بنابراین تحقیقات گسترده‌ای بر روی شرایط جریان در رودخانه‌ها صورت پذیرفته و طیف گسترده‌ای از روابط نیز ارائه

که روش سازمان حفاظت خاک آمریکا نسبت به روش دیگر مقادیر بزرگتری را ارائه داده و با توجه به اینکه این روش تحلیل دقیق‌تری از عوامل تأثیرگذار بر زبری رودخانه را ارائه می‌دهد، پیشنهاد نمود بهتر است از این روش در تعیین ضریب مانینگ استفاده شود. در این راستا ضرایب مختلف برآورد شده توسط روش‌های مختلف با یکدیگر و با ضریب زبری مناسب‌تر (که حاصل نتایج مدلسازی و مقایسه آن نتایج با مقادیر واقعی است) مقایسه و کارایی روش‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. مساعدی و توکلی (۲۰۰۴) و غریب و مساعدی (۲۰۰۳)، جهت انتخاب بهترین روش تعیین ضریب مانینگ، به ترتیب در ایستگاه‌های هیدرومتری مراوه و رامیان واقع بر رودخانه‌های اترک و رامیان (یکی از رودخانه‌های حوزه آبریز گرگان‌رود)، مدل را برای پنج روش شامل چاو، برنامه‌بودجه، سازمان حفاظت خاک آمریکا، کاون و عکس و اسلاید شبیه‌سازی نموده و با مقایسه تراز آب برآورد شده توسط هر روش با منحنی‌های دبی-اشل مربوطه و استفاده از دو معیار کمترین خطای نسبی و جذر میانگین توان دوم خطا به این نتیجه رسیدند که مقادیر سطح آب محاسبه شده در ایستگاه مراوه از روش چاو و در ایستگاه رامیان از روش کاون به مقادیر اندازه‌گیری شده نزدیک‌تر است.

در این تحقیق، از مدل‌های هیدرولیکی HEC-RAS و HEC-GeoRAS با تلفیق Arc-GIS جهت ارزیابی ضریب زبری بهینه در بازه کشتیبان رودخانه شهرچای استفاده شده است. هدف از آن ارزیابی کارکرد تلفیق مدل‌های هیدرولیکی با سیستم اطلاعات جغرافیایی، تخمین ضریب زبری مانینگ بهینه با مدل هیدرولیکی از بین ضرایب مانینگ پیشنهادی روش‌های مختلف و مقایسه با نتایج روش‌های مختلف برآورد ضریب مانینگ و انتخاب مناسب‌ترین روش برای رودخانه

حمل رسوب در کانال‌ها با جداره ثابت را به صورت مطالعه آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند. ایشان ضمن ارائه روش‌های تجربی تعیین ضریب زبری مانینگ،  $n$  دریافت که ضریب اصطکاک داریسی-ویسباخ،  $f$  حساس‌تر از  $n$  می‌باشد. جاوید و همکاران (۲۰۱۸a,b) مطالعه آزمایشگاهی مقاومت جریان در کانال‌ها با جداره مختلط<sup>۱</sup> را بررسی نمودند. آن‌ها ضمن اعمال روابط مربوط این نوع کانال‌ها دریافتند که روش پاولوفسکی (۱۹۳۱) نتایج بهتری ارائه می‌دهد. این نتیجه‌ای است که جاوید و همکاران (۲۰۱۸a,b) و حسن‌زاده و محمدی (۲۰۱۸ و ۲۰۱۶) محمدنژاد و همکاران (۲۰۱۳)، محمدی و همکاران (۲۰۱۵)، مولودی (۲۰۱۳)، مولودی و محمدی (۲۰۱۳) و محمدی (۲۰۲۰) نیز بر آن صحه گذاشته‌اند. مطالعه آزمایشگاهی تأثیر شکل مقطع کانال تعریف شعاع هیدرولیکی (محمدی، ۱۹۹۷) روی مقاومت جریان در کانال‌ها توسط محمدی (۲۰۰۲ و ۲۰۰۵) مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد تأثیر شکل مقطع کانال فاکتور بسیار مهمی است و در محاسبات مقاومت جریان باید اعمال شود. از این نتایج در طراحی کانال‌ها و مطالعه رفتار جریان در کانال‌ها و رودخانه‌ها می‌توان بهره‌برداری نمود.

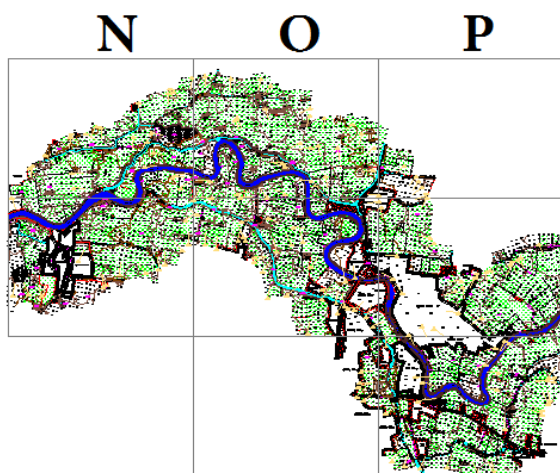
اندام (۲۰۰۳) با بررسی رژیم رودخانه‌های جنگلی و خارج جنگلی، با استفاده از مدل HEC-RAS و الحاقیه HEC-GeoRAS تغییرات سرعت و عدد فرود را در این دو نوع رودخانه مورد بررسی قرار داده و تأثیر پوشش گیاهی بر رژیم و رفتار فیزیکی جریان را مقایسه نمود و نتیجه گرفت که استفاده از مدل HEC-RAS می‌تواند مقادیر عددی مناسبی را جهت مطالعه رژیم و سایر خصوصیات هیدرولیکی جریان رودخانه، در اختیار محققین قرار دهد. به منظور تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از روش‌های مختلف، چن (۱۹۹۲) با بررسی دو روش سازمان حفاظت خاک آمریکا<sup>۲</sup> و چاو<sup>۳</sup> بیان نمود

<sup>۱</sup> Composite channels<sup>۲</sup> SCS method<sup>۳</sup> Chow

### تهیه شبکه نامنظم مثلثی<sup>۲</sup>

به منظور انجام تحقیق حاضر، نقشه‌های با مقیاس ۱:۱۰۰۰ محدود رودخانه در محیط اتوکد<sup>۳</sup> از شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان غربی تهیه و پس از اتصال نقشه‌ها و انجام اصلاح‌ها مراحل زیر صورت گرفت (شکل ۱).

با استفاده از الحاقیه 3D Analyst، مدل شبکه نامنظم مثلثی از روی داده‌های رقومی توپوگرافی منطقه ایجاد گردید (شکل ۲). در این مدل، عوارض سطح زمین به صورت مجموعه‌ای از سطوح مثلث به هم پیوسته نمایش داده شده‌اند. کیفیت شبکه‌های نامنظم مثلثی از اهمیت بسیار زیادی در ساخت مدل مورفولوژیکی سیلاب‌دشت برخوردار است. هر چه دقت نقاط نقشه‌برداری شده بیشتر باشد لایه مدل شبکه نامنظم مثلثی به واقعیت نزدیک‌تر می‌شود. شبیه‌سازی رودخانه با الحاقیه HEC-GeoRAS در Arc-GIS فعال‌سازی شده و شبیه‌سازی هندسی رودخانه در طی مراحل زیر انجام گرفت.



شکل ۱- نقشه اتوکد رودخانه شهرچای در بازه کشتیبان (بی‌نام ۲۰۱۲).

مورد مطالعه و با بررسی عوامل مؤثر بر مقاومت جریان در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

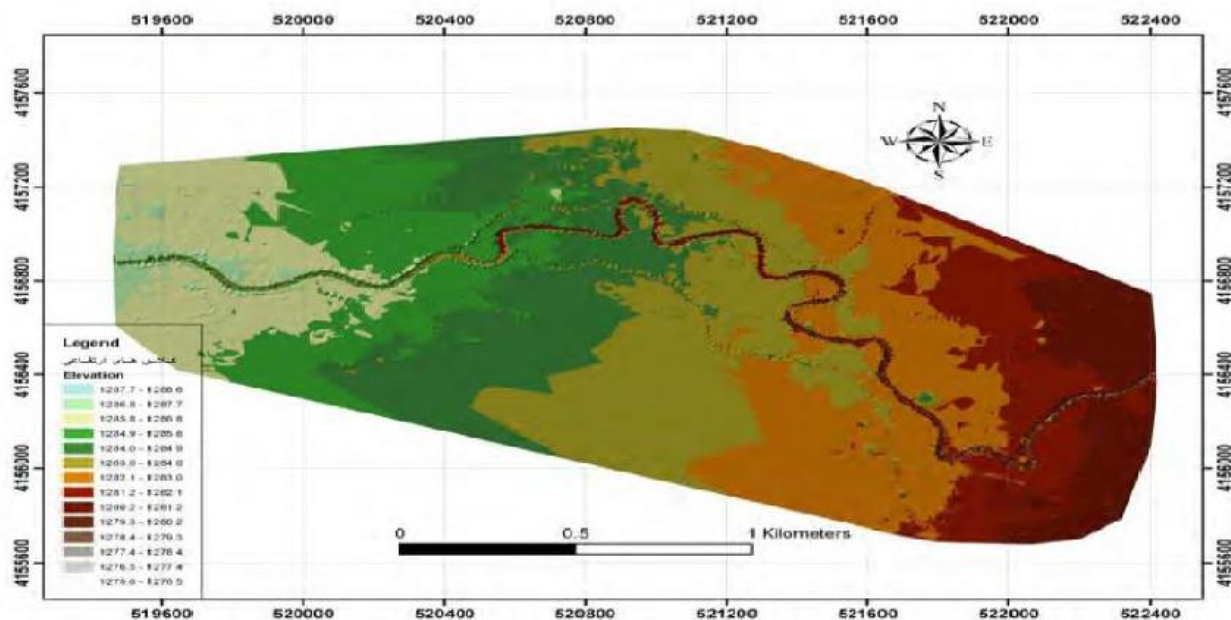
#### منطقه مورد مطالعه: حوضه آبریز دریاچه ارومیه

با وسعتی برابر ۵۲۷۰۰ کیلومترمربع در شمال غرب ایران قرار گرفته است و به وسیله بخش شمالی کوه‌های زاگرس و دامنه‌های جنوبی کوه سبلان و نیز دامنه‌های شمالی، غربی و جنوبی کوه سهند احاطه شده است. رودخانه شهرچای تنها منبع آب سطحی این دشت می‌باشد. بر اساس نقشه‌های با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ موجود از ارتفاعات حدود ۲۷۱۹ متری مرز ایران و ترکیه از دامنه‌های کوه شهیدان با ارتفاع ۳۵۷۹ متر و کوه خلیل با بلندی ۳۱۹۷ متر در ۳۴ متری جنوب غربی ارومیه سرچشمه گرفته و سرچشمه‌های آن در امتداد غرب به شرق در بخش جرمی به هم می‌پیوندند. سرشاخه‌های رودخانه شهرچای با دریافت شاخه دیگری از کوه‌های مرزی ایران و ترکیه وارد منطقه برده‌سور می‌شود. رودخانه شهرچای پس از ورود به محدوده شهر ارومیه در انتهای مسیر با مختصات جغرافیایی<sup>۱</sup>  $X=525080$  و  $Y=4157600$  از ضلع غربی دریاچه ارومیه در محلی به نام دماغه حصار به آن تخلیه می‌شود. این رودخانه به عنوان تنها زهکش زیرحوضه عمل می‌نماید. بازه مورد مطالعه در خارج از شهر ارومیه و در دشت ارومیه قبل از ورود به دریاچه ارومیه قرار گرفته است. این بازه از حدود ۳۰۰ متر پایین‌دست پل میاوق به مختصات  $Y=4156900$  و  $X=520000$  تا حدود ۵۰۰ متر پایین‌دست ایستگاه هیدرومتری کشتیبان به مختصات  $Y=4156300$  و  $X=522300$  ادامه دارد. این بازه دارای دو پل در داخل روستای کشتیبان و در مدل ابتدای بازه بند انحرافی کشتیبان می‌باشد.

<sup>2</sup> Triangular irregular networks (TIN)

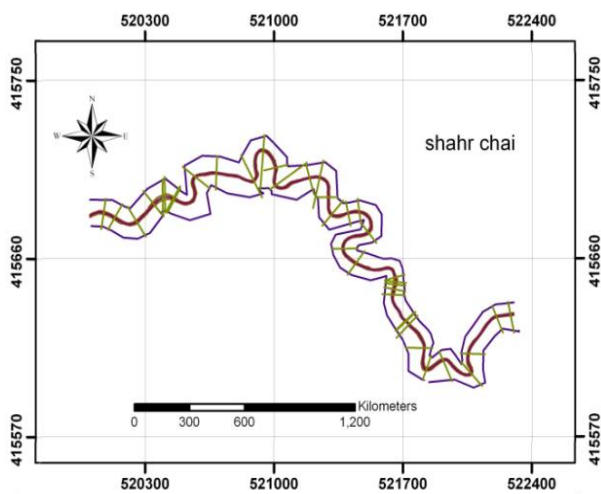
<sup>3</sup> AutoCAD

<sup>1</sup> Urchin tracking module



شکل ۲- مدل رقومی بازه کشتیبان رودخانه شهرچای تهیه شده با نرم‌افزار ArcGIS.

عرضی به صورت شکسته و چند تکه ساخته شدند. لایه‌های فوق در شکل ۳ نشان داده شده‌اند.



شکل ۳- لایه‌های ساخته شده در HEC-GeoRAS در بازه کشتیبان رودخانه شهرچای.

#### آماده‌سازی فایل ورودی مدل HEC-RAS

در این مرحله کلیه لایه‌های موجود از قبیل مسیر اصلی جریان، سواحل راست و چپ و مرزهای تعیین کننده ناحیه سیلاب‌گیر و اطلاعات تکمیلی به‌علاوه لایه مدل شبکه نامنظم مثلثی توسط یک فایل واسطه به نام Pre-Ras به نرم‌افزار HEC-RAS معرفی شده‌اند. با

نخستین گام در تهیه فایل ورودی HEC-RAS مشخص نمودن رودخانه توسط لایه مرکزی جریان<sup>۱</sup> می‌باشد. در این تحقیق کل بازه مطالعاتی به صورت یک لایه یکپارچه مدل‌سازی شده است. در مرحله بعد لایه سواحل رودخانه تهیه گردید. در واقع این لایه سواحل رودخانه<sup>۲</sup> نشان‌دهنده دیواره‌های چپ و راست رودخانه است. سپس لایه ابعاد مسیر تهیه شده است. از لایه ابعاد مسیر جریان<sup>۳</sup> به منظور تعیین ابعاد مسیر هیدرولیکی جریان در مجرای اصلی رودخانه و سواحل راست و چپ آن در ناحیه دشت سیلاب‌گیر استفاده شد و سپس لایه مقاطع عرضی تهیه گردید. موقعیت، وضعیت و پهنای مقاطع در لایه مقاطع عرضی<sup>۴</sup> معرفی شدند. در این تحقیق، مقاطع مورد نیاز در بالادست و پایین‌دست دو پل و یک بند انحرافی تعریف شدند. با توجه به این‌که بازه مورد مطالعه یک بازه مارپیچی است. جهت رعایت تمام ضوابط فوق، خطوط مقاطع

<sup>1</sup> Flow centerline layer

<sup>2</sup> Bank lines layer

<sup>3</sup> Flow path dimension layer

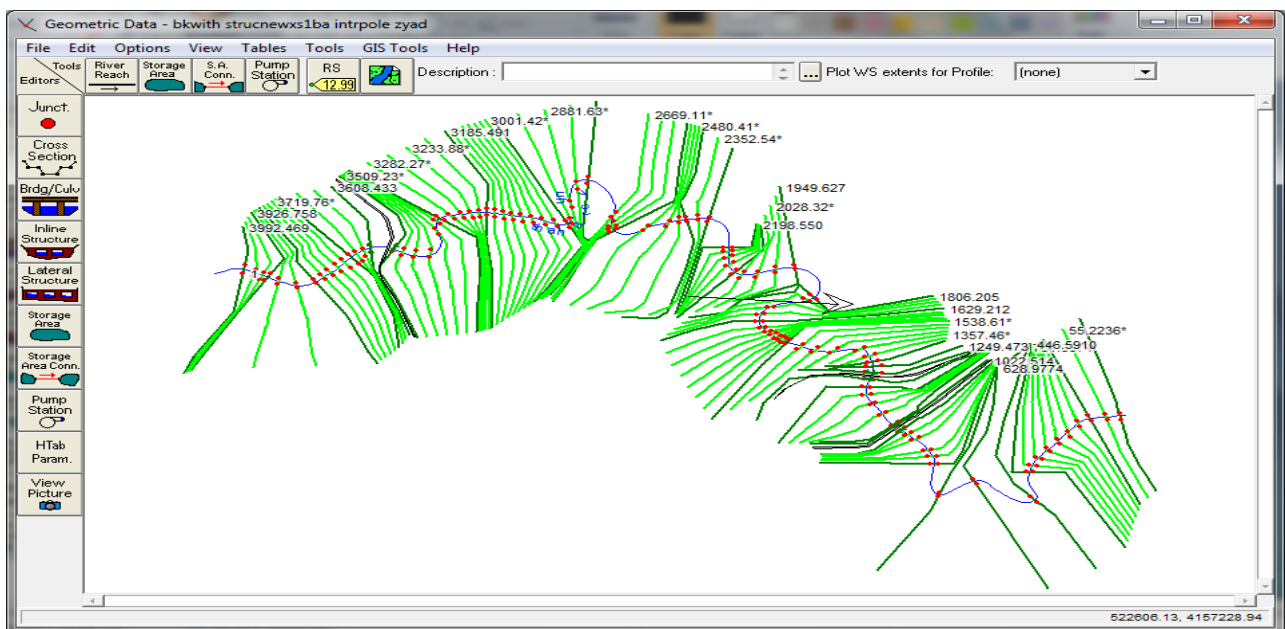
<sup>4</sup> Cross-sectional layer

نزدیکی مدرسه و در محل ایستگاه هیدرومتری فعلی بوده و در مختصات  $X=521465$  و  $Y=4156511$  قرار گرفته است که در این تحقیق با نام «پل مدرسه» به آن اشاره شده است. دومین پل در انتهای بازه مطالعاتی و به مختصات  $X=521727$  و  $Y=415626$  واقع شده است که در این تحقیق با نام «پل دوم» به آن اشاره شده است. در مدل HEC-RAS ضرایب تنگ‌شدگی و بازشدگی در مقاطع بلافاصله بالادست و بلافاصله پایین‌دست هر کدام از پل‌ها به ترتیب  $0/3$  و  $0/5$  تعریف شدند و ناحیه جریان غیر مؤثر نیز برای مقاطع ذکر شده تعریف شده است. همچنین در بازه مورد مطالعه بند انحرافی کشتیبان موجود می‌باشد. سرریز بند انحرافی از نوع اوجی بدون دریچه بوده و ضریب سرریز به‌طور متوسط در طراحی  $0/61$  منظور شده است. با توجه به اینکه این سرریز شکل اوجی خود را در دراز مدت از دست داده است، در محاسبات به‌عنوان سرریز تخت در نظر گرفته شده است. پلان مدل شبیه‌سازی شده رودخانه شهرچای در بازه مربوط با استفاده از مدل HEC-RAS در شکل ۴ مشاهده می‌شود.

معرفی یک پروژه جدید در HEC-RAS، اطلاعات به محیط مدل هیدرولیکی وارد گردید و مراحل ویرایش شامل وارد نمودن اطلاعات مربوط به سازه‌های موجود در مسیر و تصحیح مقاطع عرضی انجام گرفت. برای بالا بردن دقت مدل‌سازی، تعداد ۷ مقطع عرضی در بالا و پایین‌دست سازه‌های موجود در بازه کشتیبان، برداشت شدند. در این برداشت‌ها امتداد مقاطع عرضی از حد جاده‌های ساحلی رودخانه گذشته و وارد زمین‌های اطراف رودخانه شده است. در این برداشت بنا به مختصات مدل HEC-RAS هر مقطع عرضی از چپ به راست رودخانه برداشت شده است. به‌طوری‌که همه مقاطع عرضی به صورت عمود بر مسیر اصلی جریان رودخانه قرار بگیرند.

#### اطلاعات مدل‌سازی سازه‌های موجود در مسیر

برای دستیابی به اطلاعات هندسی تأسیسات موجود (پل‌ها و بند انحرافی) در بازه موردنظر، تمام مشخصات پل‌ها و پایه‌های آن‌ها و مشخصات سرریز بند انحرافی اندازه‌گیری شدند. ضرایب مربوط به شکل پایه‌ها نیز از راهنمای مدل استخراج شد. دو پل موجود در بازه مورد مطالعه به شرح زیرند: اولین پل در



شکل ۴- پلان مدل (HEC-RAS) رودخانه شهرچای در بازه کشتیبان.

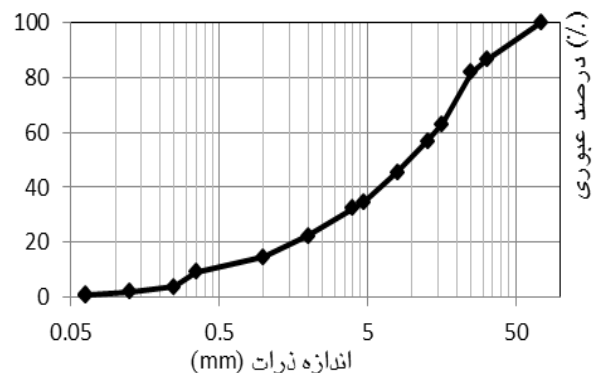
## نتایج و بحث

### نتایج برآورد ضریب مانینگ از جداول

با توجه به مشخصات رودخانه مورد مطالعه و جدول مقدار ضریب زبری مانینگ برای بازه مورد مطالعه بخش آبراهه پایدار و سیلاب‌دشت مقدار ۰/۰۲۸ برآورد گردید. همچنین مقادیر کمینه، متوسط و بیشینه مقادیر ضریب زبری مانینگ با توجه به جدول ضریب مانینگ برای مواد بستر آبراهه‌ها و سیلاب‌دشت‌ها (چانم‌سری و ترنر<sup>۱</sup>) (بی‌نام ۲۰۱۱) به ترتیب مقادیر ۰/۰۲۸، ۰/۰۳۰ و ۰/۰۳۵ برآورد شدند.

### برآورد ضریب زبری مانینگ با روابط تجربی

برای تعیین ضریب زبری رودخانه با استفاده از منحنی دانه‌بندی شکل ۵، مقادیر:  $d_{60}=15\text{mm}$   $d_{50}=9\text{mm}$   $d_{30}=3.5\text{mm}$   $d_{10}=0.4\text{mm}$   $d_{90}=45\text{mm}$  ضرایب زبری مانینگ با استفاده از روابط تجربی موجود برآورد شده و در جدول ۱ ارائه گردیده است. مقادیر حاصل از روابط محققین ارائه‌شده در جدول ۱ مانند: بری<sup>۲</sup>، ژولین<sup>۳</sup> و هندرسون<sup>۴</sup>، برای بازه موردنظر مناسب‌ترند.



شکل ۵- منحنی دانه‌بندی بازه کشتیبان رودخانه شهرچای.

جدول ۱- مقادیر ضریب زبری برآوردی حوضه مطالعات.

شماره رابطه	نام محقق و $d_x$	مقدار ضریب زبری تخمینی
۱	Strickler, $d_{50}$	۰/۰۲۱
۲	Meyer-Peter&Muller, $d_{90}$	۰/۰۲۲
۳	Lane & Carlson, $d_{75}$	۰/۰۲۴
۴	Henderson, 1966, $d_{50}$	۰/۰۲۷
۵	Henderson, 1966, $d_{75}$	۰/۰۲۸
۶	Raudkivi, 1967, $d_{65}$	۰/۰۲۱
۷	Bray, 1979, $d_{50}$	۰/۰۲۵
۸	Bray, 1979, $d_{65}$	۰/۰۲۷
۹	Bray, 1979, $d_{90}$	۰/۰۳۰
۱۰	Garde&raju, 1978, $d_{50}$	۰/۰۱۷
۱۱	Subramanya, 1982, $d_{50}$	۰/۰۲۱
۱۲	Julien, 2002, $d_{50}$	۰/۰۲۸
۱۳	Julien, 2002, $d_{75}$	۰/۰۲۳
۱۴	Julien, 2002, $d_{90}$	۰/۰۲۲

### نتایج برآورد ضریب زبری مانینگ با تصاویر

با مقایسه تصاویر ارائه‌شده توسط اداره امور آب سورن-ترنت با تصاویر رودخانه شهرچای و مقایسه شرایط رودخانه‌ها با رودخانه شهرچای مقدار ۰/۰۳۹ برای ضریب مانینگ از این روش تخمین زده شد. مشخصات رودخانه شهرچای مابین مشخصات دو رودخانه درونت در چاتسورس<sup>۵</sup> و رودخانه منی‌فولد در استافوردشایر<sup>۶</sup> قرار داشت و با این روش ضریب مانینگ مابین ضرایب مانینگ ارائه‌شده برای این دو رودخانه انتخاب شد (بی‌نام ۲۰۱۱). مشخصات هیدرولیکی و هندسی مقطع پُر رودخانه شهرچای و رودخانه‌های مشابه به شرح زیرند:

#### رودخانه شهرچای

دبی رودخانه با مقطع پر ۶۵ مترمکعب بر ثانیه، عرض متوسط جریان ۲۴ متر، متوسط سطح مقطع عرضی ۶۰ مترمربع، شیب سطح آب ۰/۰۰۱ و متوسط شعاع هیدرولیکی ۲ متر می‌باشند. شرح آبراهه: مواد

<sup>۱</sup> Turner&Chanmisri

<sup>۲</sup> Bray

<sup>۳</sup> Julien

<sup>۴</sup> Henderson

<sup>۵</sup> The River Derwent in Chatsworth

<sup>۶</sup> The River Manifold in Staffordshire



### تعیین ضریب زبری مانینگ از جداول تجربی چاو

جدول تعیین ضریب زبری با تجربیات چاو و بازه مطالعاتی مقادیر کمینه، میانگین و بیشینه ضریب مانینگ برای رودخانه شهرچای در بازه کشتیبان از جدول تجربی چاو به ترتیب، ۰/۰۳۳، ۰/۰۴۰ و ۰/۰۴۵ تخمین زده شد (بی‌نام ۲۰۱۱).

### روش کاون

مقادیر موجود در رابطه در بازه کشتیبان به شرح زیر برآورد شدند:  $n_b$ : ۰/۰۲۴ مقدار برای شن ریزدانه،  $n_1$ : صفر، مقدار در بستر صاف،  $n_2$ : صفر، مقدار مربوط به تغییرات جزئی سطح بستر،  $n_3$ : صفر، مقدار برای عدم وجود مانع در مسیر،  $n_4$ : ۰/۰۰۵ برای گیاهان کوتاه قد و  $m$ : با درجه انحنای ۱/۶۹ دریاژه مورد مطالعه، مقدار ۱/۱۵ برای ضریب تصحیح انحنای در نظر گرفته شد. از مقادیر موجود، مقدار ضریب  $n$  با روش کاون، عدد ۰/۰۳۳ برآورد شد.

### نتایج محاسباتی ضریب زبری مبنا

ضرایب زبری تخمینی با استفاده از روش‌های بیان شده در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به جدول ۲ مشاهده می‌شود که مقادیر ضرایب زبری مانینگ بین ارقام ۰/۰۱۷ تا ۰/۰۴۲ تغییر می‌کند و تفاوت زیادی بین نتایج حاصل از روش تعیین مقادیر ضریب مانینگ توسط روابط تجربی با دیگر روش‌ها وجود دارد.

### جدول ۲- مقادیر برآورد ضریب مانینگ

روش	مقدار برآوردی ضریب مانینگ
روابط تجربی	۰/۰۲۸
هندرسون	۰/۰۲۸
بری	۰/۰۲۵
ژولین	۰/۰۲۲
جدول تجربی USGS	۰/۰۲۸
جدول تجربی Turner&Chanmisri	۰/۰۳
تصاویر STWA	۰/۰۳۹
تصاویر USGS	۰/۰۳۴
کاون	۰/۰۳۳
جدول تجربی چاو	۰/۰۳۳

بستر شن ریز و درشت است. دیواره‌ها شامل پوشش گیاهی اندک است.

### رودخانه درونت در چاتسورس

مشخصات هندسی و هیدرولیکی رودخانه با مقطع پر: ضریب مانینگ ۰/۰۳۸، دبی ۹۴/۵ مترمکعب بر ثانیه، شیب سطح آب ۰/۰۰۰۷، سطح متوسط مقطع عرضی ۷۷/۵۹ مترمربع، عرض متوسط جریان ۲۹ متر، متوسط شعاع هیدرولیکی ۲/۴۲ متر است. شرح آبراهه: مواد بستر شن و آبشارهای سنگی کوتاه است. سیلاب‌دشت‌ها علف مرتعی کوتاه است (بی‌نام ۲۰۱۱).

### رودخانه منیفولد در استافوردشایر

در این رودخانه، ضریب مانینگ ۰/۰۴۰، برای دبی ۵۲/۸ مترمکعب بر ثانیه، شیب سطح آب ۰/۰۰۱۹۷، سطح متوسط مقطع عرضی ۳۵/۶ مترمربع، عرض متوسط جریان ۲۱ متر، متوسط شعاع هیدرولیکی ۱/۶۴ متر است. بستر شن و قلوه‌سنگ است و سیلاب‌دشت علف مرتعی با حفاظ توری است. (بی‌نام ۲۰۱۱).

از مقایسه تصاویر و مشخصات آبراهه ارائه‌شده توسط سازمان زمین‌شناسی آمریکا با تصاویر و مشخصات آبراهه رودخانه شهرچای، مقدار ضریب زبری مانینگ برای رودخانه شهرچای با توجه به تشابه رودخانه وست فورک بیترووت در نزدیکی شهر کانر<sup>۲</sup> با رودخانه شهرچای، عدد ۰/۰۳۴ تخمین زده شد.

### رودخانه وست فورک بیترووت

ضریب مانینگ ۰/۰۳۵، دبی ۱۰۰ مترمکعب بر ثانیه، سطح متوسط مقطع عرضی ۴۶/۴۵ مترمربع، عرض متوسط جریان ۳۰ متر، متوسط شعاع هیدرولیکی ۱/۳۷ متر، بستر رودخانه شن و تخته‌سنگ، سیلاب‌دشت شن و سنگ و پوشش گیاهی است (بی‌نام ۱۹۳۵).

<sup>1</sup> United States Geological Survey (USGS)

<sup>2</sup> West Fork Bitterroot river near Conner



مقاومت در برابر جریان کمتر شده و در یک دبی ثابت سرعت متوسط جریان افزایش یافته و عرض سطح آب و عمق جریان کاهش می‌یابد.

#### تعیین ضریب مانینگ توسط مدل HEC-RAS

به منظور تعیین ضریب مانینگ مناسب برای بازه کشتیبان رودخانه شهرچای، شبیه‌سازی این بازه با مدل HEC-RAS صورت گرفت. این شبیه‌سازی طبق مشخصات اندازه‌گیری شده جریان و مقدار دبی غالب و درصدهای مختلف از دبی غالب، صورت گرفت و به ازای مقادیر مختلف ضریب زبری مانینگ که در جدول ۲ تخمین زده شده‌اند، شبیه‌سازی انجام شد و بر اساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های صورت گرفته، مقادیر سرعت و مساحت مدل با نتایج سرعت و مساحت مشاهداتی ارائه شده سازمان آب آذربایجان غربی، مقایسه شدند. مقادیر سرعت و مساحت محاسباتی و مشاهداتی به ازای دبی‌های ویژه و ضرایب زبری مانینگ مختلف مقایسه و درصدهای خطا در جداول ۳ تا ۹ آمده است.

جدول ۴- مقایسه مقادیر برداشتی با مقادیر مدل‌سازی به ازای دبی ۱/۵۳ و سرعت ۰/۳۴ و سطح مقطع ۴/۱.

۱	۲	۳	۴	۵
ضریب زبری	سطح مقطع محاسباتی	درصد خطای سطح مقطع	سرعت محاسباتی	درصد خطای سرعت
0.037	5	21.951	0.3	11.764
0.036	4.91	19.756	0.31	8.823
0.035	4.81	17.317	0.32	5.882
0.034	4.7	14.634	0.33	2.941
0.033	4.59	11.951	0.33	2.941
0.032	4.48	9.268	0.34	0
0.031	4.38	6.829	0.35	2.941
0.03	4.36	6.341	0.35	2.941
0.029	4.16	1.463	0.37	8.823
0.028	4.05	1.219	0.38	11.764
0.027	3.94	3.902	0.39	14.705

#### واسنجی مدل HEC-RAS

در فرآیند مدل‌سازی (فیزیکی یا ریاضی)، چهار

مرحله به شرح زیر وجود دارند:

(۱) طراحی و ساخت مدل

(۲) واسنجی مدل بر اساس اطلاعات موجود

(۳) ارزیابی و تأیید مدل بر اساس اطلاعات موجود

(۴) کاربرد مدل برای سایر شرایط.

پس از ارزیابی‌های دقیق پارامترهای موردنیاز،

اطلاعات به دست آمده جهت کالیبراسیون وارد مدل شد.

نتایج حاصل نشان داد که دقت کالیبراسیون در حد

مطلوبی بوده است. نزدیک بودن مقادیر سرعت و مساحت

حاصل از مدل‌سازی به ازای مقادیر دبی مشاهداتی با

مقادیر سرعت و مساحت مشاهداتی مربوطه نمایش دقت

بالای مدل‌سازی می‌باشد. نتایج محاسبات مدل با نتایج

حالت فیزیکی در رودخانه به طور کامل تطابق دارد، یعنی

با افزایش ضریب زبری مقاومت در برابر جریان بیشتر

شده و در یک دبی ثابت با توجه به معادله مانینگ سرعت

و تنش برشی جریان کم و عمق جریان و به تبع آن عرض

سطح آب بیشتر می‌گردد؛ و با کاهش ضریب زبری،

جدول ۳- مقایسه مقادیر برداشتی با مقادیر مدل‌سازی به ازای دبی ۰/۳۹۱ و سرعت ۰/۲۲۱ و سطح مقطع ۱/۵.

۱	۲	۳	۴	۵
ضریب زبری	سطح مقطع محاسباتی	درصد خطای سطح مقطع	سرعت محاسباتی	درصد خطای سرعت
0.037	1.6	-6.667	0.24	8.597
0.036	1.6	-6.667	0.24	8.597
0.035	1.55	-3.333	0.25	13.122
0.034	1.53	-2	0.25	13.122
0.033	1.52	-1.333	0.26	17.647
0.032	1.5	0	0.26	17.647
0.031	1.47	2	0.27	22.172
0.03	1.44	4	0.27	22.172
0.029	1.4	6.667	0.28	26.697
0.028	1.36	9.333	0.29	31.222
0.027	1.33	11.333	0.29	31.222

**جدول ۵- مقایسه مقادیر برداشتی با مقادیر مدل‌سازی به**

**ازای دبی ۴/۸۷ و سرعت ۰/۶۳ و سطح مقطع ۰/۹۶.**

۱	۲	۳	۴	۵
ضریب زبری	سطح مقطع محاسباتی	درصد خطای سطح مقطع	سرعت محاسباتی	درصد خطای سرعت
0.037	8.18	6.372	0.59	6.349
0.036	8.29	7.802	0.6	4.762
0.035	8.12	5.591	0.61	3.175
0.034	7.98	3.771	0.62	1.587
0.033	7.81	1.560	0.64	1.587
0.032	7.66	0.390	0.64	1.587
0.031	7.41	3.641	0.65	3.175
0.03	7.28	5.332	0.66	4.762
0.029	7.15	7.022	0.66	4.762
0.028	7.09	7.802	0.67	6.349
0.027	6.95	9.623	0.69	9.523

**جدول ۸- مقایسه مقادیر برداشتی با مقادیر مدل‌سازی به**

**ازای دبی ۴۱/۳۲ و سرعت ۱ و سطح مقطع ۴۱/۳۲.**

۱	۲	۳	۴	۵
ضریب زبری	سطح مقطع محاسباتی	درصد خطای سطح مقطع	سرعت محاسباتی	درصد خطای سرعت
0.037	43.14	4.405	0.96	4
0.036	42.76	3.485	0.96	4
0.035	42.5	2.856	0.97	3
0.034	42.15	2.009	0.98	2
0.033	41.8	1.162	0.99	1
0.032	41.47	0.363	1	0
0.031	41.14	-0.435	1	0
0.03	40.83	-1.186	1.01	1
0.029	40.48	-2.032	1.02	2
0.028	41.86	1.307	1.03	3
0.027	39.84	3.582	1.04	4

**جدول ۶- مقایسه مقادیر برداشتی با مقادیر مدل‌سازی به**

**ازای دبی ۱۳/۷۴ و سرعت ۰/۷۷ و سطح مقطع ۰/۸۲.**

۱	۲	۳	۴	۵
ضریب زبری	سطح مقطع محاسباتی	درصد خطای سطح مقطع	سرعت محاسباتی	درصد خطای سرعت
0.037	18.83	5.668	0.73	5.195
0.036	18.65	4.658	0.74	3.896
0.035	18.43	3.423	0.75	2.597
0.034	18.25	2.413	0.75	2.597
0.033	18.04	1.235	0.76	1.299
0.032	17.85	0.168	0.77	0
0.031	17.62	1.122	0.78	1.299
0.03	17.4	2.357	0.78	1.299
0.029	17.18	3.591	0.79	2.597
0.028	16.95	4.882	0.8	3.896
0.027	16.81	5.668	0.82	6.493

**جدول ۹- مقایسه مقادیر برداشتی با مقادیر مدل‌سازی به**

**ازای دبی ۸۱/۶۱ و سرعت ۱/۸۴ و سطح مقطع ۴۴/۱۵.**

۱	۲	۳	۴	۵
ضریب زبری	سطح مقطع محاسباتی	درصد خطای سطح مقطع	سرعت محاسباتی	درصد خطای سرعت
0.037	49.47	12.050	1.65	10.714
0.036	49.35	11.778	1.65	10.714
0.035	48.74	10.396	1.66	10.173
0.034	48.3	9.400	1.67	9.632
0.033	47.9	8.493	1.69	8.550
0.032	47.59	7.791	1.71	7.467
0.031	47.74	8.131	1.71	7.467
0.03	47.52	7.633	1.72	6.926
0.029	47.43	7.429	1.72	6.926
0.028	47.37	7.293	1.72	6.926
0.027	49.26	11.574	1.66	10.173

**جدول ۷- مقایسه مقادیر برداشتی با مقادیر مدل‌سازی به**

**ازای دبی ۲۲/۰۵ و سرعت ۰/۸۳ و سطح مقطع ۰/۶۷.**

۱	۲	۳	۴	۵
ضریب زبری	سطح مقطع محاسباتی	درصد خطای سطح مقطع	سرعت محاسباتی	درصد خطای سرعت
0.037	28.96	8.586	0.76	8.434
0.036	28.95	8.549	0.76	8.434
0.035	28.23	5.849	0.78	6.024
0.034	27.86	4.462	0.79	4.819

## نتیجه‌گیری کلی

طبق مشخصات رودخانه شهرچای و با استفاده از روش‌های پیشنهادی برای تعیین ضریب مانینگ، همان‌طور که در جدول ۲ ارائه شده است، ضریب مانینگ رودخانه شهرچای در دامنه ۰/۰۱۷ تا ۰/۰۴۲ قرار دارد. در مدل HEC-RAS، مشخصات جریان دائمی<sup>۱</sup> با تعریف دبی‌های مختلف که شامل دبی غالب، ۹۰٪ دبی غالب، ۷۰٪ دبی غالب، ۵۰٪ دبی غالب، ۱۰٪ دبی غالب و ۵٪ دبی غالب و مقادیر دبی مشاهداتی و تعریف شرط مرزی عمق نرمال با شیب خط‌القعر ۰/۰۱۴ برای پایین‌دست و ۰/۰۱۳ برای بالادست تکمیل شد.

به‌منظور بالا بردن دقت تحقیق و مشاهده تغییرات، برای مقادیر در بازه ۰/۰۱۴ تا ۰/۰۴۵ با گام‌های ثابت ۰/۰۰۱ یعنی ۳۲ مقدار مختلف ضریب مانینگ در HEC-RAS مدل‌سازی صورت گرفت و نتایج مقطع ۱۲ مدل‌سازی با موقعیت مقطع عرضی ۱۲۱۲/۰۳۷ و برداشت‌های مقطع معادل بررسی شد. درصد خطای نتایج مدل‌سازی به ازای ضریب بالاتر از ۰/۰۳۷ و پایین‌تر از ۰/۰۲۷ در مقایسه با مقادیر مشاهداتی به نسبت درصد خطای ضرایب مانینگ بین ۰/۰۲۷ تا ۰/۰۳۷ بیشتر بود، یعنی مقادیر حاصل از مدل‌سازی به ازای ضرایب مانینگ ۰/۰۲۷ تا ۰/۰۳۷ به مقدار واقعی نزدیک‌تر بودند. این نتایج همچنین مبین این نکته است که نقشه‌برداری بازه مورد مطالعه دارای دقت کافی بوده است. تفاوت زیاد بین نتایج حاصل برای ضریب مانینگ از روش روابط تجربی که زبری ناشی از یک عامل زبری مواد رسوبی هستند، با سایر روش‌ها نشان‌دهنده پایین بودن دقت نمونه‌برداری‌های سطحی به منظور تهیه منحنی‌های دانه‌بندی است. بررسی نتایج نشان می‌دهد که مدل‌سازی به ازای دبی‌های بالاتر از دبی غالب دارای پراکندگی عددی است. از آنجایی که

مدل‌سازی رودخانه با نقشه‌های اتوکد سازمان آب بدون ساخت پهنه‌بندی سیلاب صورت گرفته است و باند نقشه‌برداری شده محدود بوده، لذا پهنه‌بندی سیلاب‌های بالا را به طور کامل پوشش نداده است.

بررسی نتایج و درصدهای خطای مقادیر محاسباتی و واقعی مقدار ضریب مانینگ ۰/۰۳۲ را در بازه کشتیبان رودخانه شهرچای به عنوان ضریب زبری بهینه معرفی کرد. برای انتخاب ضریب زبری مناسب در تحقیق حاضر سعی شده است مناسب‌ترین معادله برای تخمین ضریب زبری بر طبق سرعت جریان ارائه شود.

با انتخاب ضریب مانینگ بهینه بازه به مقدار ۰/۰۳۲ و با توجه به جدول ۲ می‌توان گفت از بین روش‌های ارائه‌شده برآورد ضریب مانینگ، روش استفاده از تصاویر مشابه، روش کاون و جدول تجربی چاو، روش‌های مناسبی برای بازه کشتیبان از رودخانه شهرچای بودند.

بر اساس بحث‌های مطرح شده در بخش‌های پیشین نتایج حاصل به شرح زیر خلاصه می‌شوند: ضریب زبری برآورد شده با روابط تجربی ارائه شده در جدول ۲ هندرسن (۱۹۶۶)<sup>۲</sup> به ازای  $d_{75}$  و ژولین (۲۰۰۲)<sup>۳</sup> به ازای  $d_{50}$  نتایج نزدیک را ارائه کردند، به‌طور کلی نتایج حاصل از روابط تجربی در این تحقیق نتایج دورتر از واقعیت را ارائه نمودند.

از بین جداول تجربی ارائه شده در جدول ۲، (جدول ارائه‌شده توسط سازمان زمین‌شناسی آمریکا<sup>۴</sup> و جدول ترنر و چانمیسری<sup>۵</sup>) که برای انواع مصالح بستر ارائه شده‌اند، جدول ترنر و چانمیسری که ضریب زبری دانه‌های رسوبی موجود در آبراهه و سیلاب را ارائه می‌دهد، نتیجه نزدیک‌تر به واقعیت را داشته است.

<sup>2</sup> Henderson (1966)

<sup>3</sup> Julien (2002)

<sup>4</sup> United States Geological Survey (USGS)

<sup>5</sup> Turner & Chanmisri

<sup>1</sup> Steady flow

چاو و روش کاون که تأثیر عوامل مختلف را در میزان ضریب زبری لحاظ می‌کنند، نتایجی نزدیک به واقعیت را ارائه کرده‌اند.

مدل ریاضی بازه مورد مطالعه از رودخانه شهرچای به ازای تغییرات ضریب مانینگ تا ۳٪ حساسیت کمی دارد ولی به تغییرات ضریب زبری مانینگ بیش از ۶٪ نتایج دقت کمتری خواهند داشت.

مقادیر سرعت متوسط جریان و سطح مقطع جریان خروجی از مدل ساخته شده از بازه کشتیبان رودخانه شهرچای، به ازای پروفیل‌های دبی‌های مشاهداتی از رودخانه و تعریف مقدار  $0.032$  ضریب زبری، به مقادیر سرعت و برداشت مساحت در پروفیل‌های دبی‌های معادل نزدیک‌تر بودند.

از بین روش تخمین ضریب زبری با مقایسه تصاویر رودخانه‌های مشابه، تصاویر مشابه ارائه شده توسط سازمان زمین‌شناسی آمریکا ضریب زبری نزدیک‌تر به رودخانه شهرچای در بازه مورد مطالعه را نسبت به تصاویر مشابه ارائه شده توسط اداره امور آب سورن-ترنت شهر بیرمنگام انگلستان ارائه کرد.

استفاده از جدول تجربی چاو که با در نظر گرفتن عوامل مختلف مؤثر بر ضریب زبری ارائه شده است، نتیجه نزدیک به واقعیت را برای ضریب زبری ارائه کرد. روش کاون با در نظر گرفتن عوامل مختلف مؤثر بر ضریب زبری نتایج نزدیک به واقعیت ارائه نمود.

از بین تمامی روش‌های به کار گرفته شده در این تحقیق، روش‌های استفاده از تصاویر مشابه، جدول

#### منابع مورد استفاده

- Andam KS, 2003. Comparing Physical Habit Conditions in Forested and Non-Forested Streams, MSc. Thesis, University of Vermont, Burlington, USA.
- Anonymous, 1935. Studies of river bed materials and their movement with special reference to the Lower Mississippi River. Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi.
- Anonymous, 2011. Guide to Determination the Hydraulic Roughness Coefficient of the Rivers, USGS Office, Report 331-A.
- Chen CL and Yen BC, 1992. Power Law of Flow Resistance in Open Channels: Manning's Formula Revised, in Channel Flow Resistance: Centennial of Manning's Formula. Pp. 206-240, Water Resources Publication. Colorado, USA.
- Gharib M and Mosaedi A, 2003. Flood hazard zonation and assessment (case study: Ramian Suburbs, Iran). Journal of the Iranian Natural Resources 60(3):785-797. (In Persian with English abstract)
- Hasanzadeh Vaughan V and Mohammadi M, 2016. A numerical study on stream flow resistance in the rivers with wide bed. Pp. 14-15. Proceedings of the 15th Iranian Hydraulic Conference. 14-15 December, Imam Khomeini University, Qazvin, Iran. (In Persian with English abstract)
- Hasanzadeh Vaughan V and Mohammadi M, 2018. An Experimental Investigation of Flow Resistance in Plane Bed Rigid Boundary Channels. Journal of Tarbiat Modares University, 18(6):73-82. (In Persian with English abstract)
- Javid S, Mohammadi M, Najarchi M and Najafizadeh MM, 2018a. Laboratory investigation of flow resistance in composite roughened rectangular open channels. Journal of Fresenius Environmental Bulletin 27(7): 4921-4929.
- Javid S, Mohammadi M, Najarchi M and Najafizadeh MM, 2018b. An Experimental study of the effect of roughened boundary on flow resistance in rectangular open channels. Water and Soil Science - University of Tabriz 28(4):95-107. (In Persian with English abstract)
- Mohammadi M, 1997. Shape effects and definition of hydraulic radius in Manning equation. International Journal of Engineering, 10(3):127-141. (In Persian with English abstract)
- Mohammadi M, 1998. Resistance to flow and the influence of boundary shear stress on sediment transport in smooth rigid boundary channels: PhD Thesis, Submitted to the School of Civil Eng., The University

- of Birmingham, England.
- Mohammadi M, 2002. On the effect shape on resistance to flow in open channels. Pp. 339-348 Proceeding of the International Fluvial Hydraulics Conference. 3-6 September, Louvain-La-Neuve, Belgium.
- Mohammadi M, 2005. Shape Effects on Resistance to Flow in a V-shaped Channel. International Journal of Engineering 17 (4):349-357. (In Persian with English abstract)
- Mohammadi M, 2008a. Local and global friction factor in a V-shaped bottom channel. International Journal of Engineering 21(4):325-336. (In Persian with English abstract)
- Mohammadi M, 2008b. Distribution of local friction factor in flat-bed part-full pipe channels. Pp. 325-336. Proceeding of the XIIIth International Water Resources Association Congress. 1-4 September, Montpellier, France.
- Mohammadi M, 2020. Applied Hydraulics, First Edition, Urmia University Press.
- Mohammadi M, Mohammad Nejad H and EbrahimNejadian H, 2015. Flow resistance and velocity distribution in channels with triangular cross-section. Journal of Experimental Research in Civil Engineering 2(1):55-66. (In Persian with English abstract)
- Mohammadnejad H, Mohammadi M and Manafpour M, 2013. An experimental investigation on flow resistance and velocity distribution in triangular open channels. Proceedings 7th Iranian Congress on Civil Eng. 7-8 May, The University of Sistan-Baluchestan, Zahedan, Iran. (In Persian with English abstract)
- Moludi M, 2013. Flow resistance and resistance coefficient in gravel-bed rivers (case study: Urmia Shahr-Chay River), MSc. Thesis, Department of Civil Eng. Urmia University.
- Moludi M and Mohammadi M, 2013. Flow resistance coefficient for natural rivers in steady flow (case study: Shahr-Chai River, Urmia), Proceedings 7th Iranian Congress on Civil Eng. 7-8 May, The University of Sistan-Baluchestan, Zahedan, Iran. (In Persian with English abstract)
- Mosaedi A and Tavakoli M, 2004. Investigation on the finding of best method for determining Manning roughness coefficient and flood hazard zonation in part of Mid-Atrak river (Maraveh). Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 10(4):153-181. (In Persian with English abstract)
- Pavlovskii NN, 1931. On the design formula for uniform movement in channels with nonhomogeneous walls. Transactions 3:157-164.