

مدلسازی عددی جریان به کمک ضریب زبری دینامیک (مطالعه موردی: رودخانه کارون)

سیاوش محمدی^۱، سید محمود کاشفی پور^۲

تاریخ دریافت: 91/01/15

تاریخ پذیرش: 91/09/02

مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه شهید چمران، دانشکده مهندسی علوم آب.

چکیده

مقاومت در برابر حرکت جریان آب در مجاریب از تح تاثیر عوامل مختلفی از جمله جنس مصالح بسترو بدنه، شکل مقطع و میزان نامنظمی آن، پوشش گیاهی، خم‌های رودخانه، شکل پلان مسیر مجرا و ... قرار دارد. این امر در هیدرولیک رودخانه اثر گذاشته و کلیه این عوامل در ضریب زبری خودش را نمایان می‌سازد. یکی از پرکاربردترین معادلات تحلیل مقاومت جریان رابطه مانینگ می-باشد، به طوری که زبری سطح به وسیله ضریب مانینگ تعیین می‌شود. تجربه نشان می‌دهد که حساسیت مدل‌های پیش بینی کننده مشخصات جریان در مجاری با نسبت به ضریب مانینگ زیاد بوده و لذا انتخاب صحیح آن در پروژه‌های مهندسی رودخانه از اهمیت بسزایی برخوردار است. این مطالعه تحقیقاتی به بررسی تعیین ضریب زبری متغیری که بتواند با شرایط مختلف هیدرولیکی و رودخانه تغییر کند، پرداخته است. برای تعیین ضریب زبری مجموعه داده‌های دو بازه زمانی برای رودخانه کارون استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد که با استفاده از ضریب زبری متغیر، میزان خطای مدل برای پیش‌بینی ارتفاع سطح آب به میزان بیشتر از 20% بهبود پیدا می‌کند. همچنین ضریب زبری برای رودخانه کارون به کمک روش پیشنهاد شده کارون، برای دوره‌ی زمانی کم‌آبی و پرآبی تخمین زده شد. سپس این مقادیر با ضرایب زبری محاسبه شده توسط مدل ریاضی برای همان دوره‌ها، با موفقیت مقایسه شدند.

واژه‌های کلیدی: رودخانه کارون، ضریب زبری مانینگ، مدل عددی **FASTER**، مقاومت جریان.

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی رودخانه، گروه سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران، 09191210425
Sia_m86@yahoo.com

^۲ استاد دانشکده مهندسی علوم آب، گروه سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران، 09121715752
Kashefipour@excite.com

مقدمه

شناخت و تعیین خصوصیات هیدرولیکی جریان یکی از اصول اولیه مهندسی در مجاری روباز می‌باشد. برای رسیدن به هدف ذکر شده با توجه به هزینه‌بر و وقت‌گیر بودن ساخت مدل‌های فیزیکی، مدل‌های ریاضی متنوعی در سطح جهان گسترش یافته‌اند. عموماً پارامترهایی که در مدل‌های ریاضی در زمینه مهندسی هیدرولیک می‌تواند مؤثر باشد به دو دسته پارامترهای تجربی و فیزیکی تقسیم‌بندی می‌شوند. پارامترهای فیزیکی خصوصیات و ویژگی‌های فیزیکی مواد را شرح می‌دهند. این پارامترها معمولاً ثابت یا تابعی از متغیرهای فیزیکی مستقل می‌باشند. پارامترهای تجربی بدون مفهوم کامل و صریح فیزیکی می‌باشند و بر مبنای مدل‌های ریاضی تعریف شده‌اند. به دلیل پیچیدگی فرآیندهای فیزیکی، تعیین مقادیر دقیق پارامترهای تجربی همچون ضریب زبری مانینگ (n) در معادلات آب‌های سطحی معمولاً نامطمئن هستند (یانگ دینگ و همکاران، ۲۰۰۴). تجربه‌نشان داده است که حساسیت مدل‌های پیش‌بینی کننده مشخصات جریان در مجاری روباز نسبت به ضریب مانینگ زیاد بوده و لذا انتخاب صحیح آن در پروژه‌های مهندسی رودخانه از اهمیت بسزایی برخوردار است. کاون (۱۹۵۶) برای تعیین میزان ضریب زبری بر اساس شرایط مختلف رابطه (۱) را که مورد تأیید اداره کشاورزی ایالات متحده می‌باشد، ارائه نمود (به نقل از آرسمنت و همکاران، ۱۹۸۶):

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m \quad (1)$$

که در آن n ضریب زبری ترکیبی، n_b ضریب زبری پایه با توجه به جنس بستر و دانه‌بندی، n_1 ضریب زبری ناشی از نامنظمی‌های سطح کانال، n_2 ضریب زبری ناشی از تغییرات شکل و اندازه مقطع عرضی کانال، n_3 ضریب زبری ناشی از موانع در برابر جریان، n_4 ضریب زبری ناشی از پوشش گیاهی، m ضریب اصلاح برای مماندری بودن کانال می‌باشند.

مقدار پایه زبری (n_b)

الدريج و گرت (۱۹۷۳) برای تعیین ضریب زبری، کانال را (با توجه به نوع مواد بستر) به دو نوع کانال صلب و کانال

ماسه‌ای تقسیم‌بندی کردند. کانال صلب کانالی است که بستر آن از خاک سخت، شن و سنگ تشکیل شده و کانال ماسه‌ای از مواد فرسایش‌پذیر می‌باشد. چاو (۱۹۵۹) بر اساس جنس کف جدولی را برای انتخاب ضریب زبری پایه ارائه نموده است. بنسون و دلریمپل (۱۹۶۷) بر اساس شرایط متوسط جریان مقادیر n_b را تخمین زد. بارنز (۱۹۶۷) نیز برای کانال‌های صلب مقادیر متفاوتی برای n_b در محدوده ۰/۰۲۴ تا ۰/۰۷۵ ارائه کرد. جاردنوا و همکاران (۲۰۰۴) با توجه به نسبت عمق آب به ارتفاع زبری، اندازه زبری را به سه مقیاس کوچک، متوسط و بزرگ تقسیم‌بندی کردند. آنها با توجه به مقیاس زبری عوامل مختلفی همچون تنش برشی و نیروی دراگ را در تعیین مقدار زبری مؤثر دانستند.

لیمرینوس (۱۹۷۰) برای محاسبه ضریب زبری در کانال‌های ماسه‌ای رابطه‌ای بین ضریب زبری، شعاع هیدرولیکی و اندازه ذرات ارائه نمود (به نقل از آرسمنت و همکاران، ۱۹۸۶). سیمسون و ریچاردسون (۱۹۶۶) به منظور بررسی میزان مقاومت در برابر جریان در کانال‌های ماسه‌ای، جریان عبوری از کانال را به سه رژیم مختلف تقسیم کردند (به نقل از آرسمنت و همکاران، ۱۹۸۶):

۱- جریان با رژیم بالا (Upper regime flow): این جریان در دبی‌های عبوری زیاد اتفاق می‌افتد تا قدرت لازم جهت به وجود آمدن جریان با رژیم بالا تأمین شود.

۲- جریان با رژیم پایین (Lower regime flow): دبی عبوری از رودخانه کم است و جریان قدرت زیادی را ندارد.

۳- جریان با رژیم انتقالی (Transitional regim flow): دبی عبوری در این نوع جریان بین دبی جریان با رژیم بالا و دبی جریان با رژیم پایین می‌باشد.

سیمسون و ریچاردسون با استفاده از نمودار قدرت جریان در مقابل اندازه متوسط ذرات نوع رژیم جریان را طبقه‌بندی کردند. آنها برای جریان با رژیم بالا ضریب زبری پایه برابر ۰/۰۱۲ تا ۰/۰۲۶ را بدست آوردند. اما برای جریان با رژیم پایین و انتقالی به دلیل متغیر بودن شکل بستر، تشکیل فرم‌های گوناگون بستر و پیچیده بودن محاسبه زبری مقدار معینی برای n_b معرفی نکردند. آنها دریافتند مقدار n_b برای جریان با رژیم پایین و انتقالی عموماً از مقدار n_b برای جریان با رژیم بالا می‌تواند بسیار بزرگتر باشد.

وی برای صحت سنجی مدل ریاضی خود مقادیر اندازه-گیری شده زبری توسط فتحی‌مقدم و کوئن (۱۹۹۷) را با مقادیر محاسبه شده مدل خود مقایسه کرد. اندرسون به این نتیجه رسید در بستر رودخانه با گیاهان بوته‌ای هرچه ارتفاع آب پایین‌تر بیاید میزان زبری افزایش می‌یابد. در گیاهان بزرگ نیز هر چه سطح آب به شاخ و برگ نزدیکتر شود، میزان زبری افزایش می‌یابد.

فتحی‌مقدم و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از مدل آزمایشگاهی، به بررسی تأثیر پوشش گیاهی در حالت چمنی و شاخه‌ای بر اندازه زبری پرداختند. آنها با توجه به میزان تراکم پوشش گیاهی به روابطی برای محاسبه اندازه زبری دست یافتند. همچنین آنها به منظور ارزیابی صحت ضرایب زبری محاسبه شده، روابط بدست آمده را در قالب یک الگوریتم وارد مدل هیدرودینامیکی (FASTER) نمودند. آنها رودخانه کارون (بازه ملائانی-فارسیات) را به عنوان مطالعه موردی انتخاب کردند. نتایج حاصل از مدل و مقادیر اندازه‌گیری شده واقعی نشان می‌داد که مدل از دقت بالایی برای پیش‌بینی خصوصیات هیدرودینامیکی برخوردار است.

ضریب اصلاح ممانداری بودن کانال (m):

نسبت طول کانال ممانداری به طولی که آب به صورت مستقیم حرکت می‌کند درجه ممانداری (m) تعریف می‌شود (چاو، ۱۹۵۹). بسته به درجه ممانداری بودن مقادیری برای m پیشنهاد می‌گردد. خاتوا و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی تأثیر ممانداری بودن روی ضریب اصطکاک پرداختند. آنها روی شیب‌های متفاوتی آزمایشات را انجام دادند و دریافتند در تمامی شیب‌ها با کاهش ارتفاع آب ضریب اصطکاک افزایش می‌یابد.

رودخانه کارون مهمترین رودخانه قابل کشتیرانی ایران است که در حال حاضر مشکلات بسیار زیادی را به دلیل تجمع رسوبات به خصوص در بازه‌ی بالادست تا پایین دست شهر اهواز دارد. مدل‌سازی دقیق جریان نقش بسیار با اهمیتی در مدل‌سازی رسوب و آلودگی دارد. در تحقیق حاضر تلاش شده است که با تعریف یک ضریب زبری متغیر که با توجه به شرایط جریان و رودخانه کارون می‌تواند به صورت دینامیک تغییر کند و به کمک واسنجی و صحت‌سنجی مدل عددی FASTER، اهمیت این ضریب

تأثیر نامنظمی‌های کانال (n₁)

نواحی از رودخانه که نسبت عرض به عمق کوچکی دارند سواحلشان فرسایش و یا تخریب یافته، که همین امر سبب افزایش زبری می‌شود (چاو، ۱۹۵۹). بنسون و دلریمپل (۱۹۶۷) نشان دادند مقدار n₁ حتی تا میزان ۰/۰۲ افزایش پیدا می‌کند.

تأثیر تغییرات شکل و اندازه مقطع عرضی کانال (n₂)

این فاکتور تأثیر بسزایی در افزایش میزان زبری ندارد. بنسون و دلریمپل (۱۹۶۷) حداکثر مقدار ۰/۰۰۳ را برای n₂ در نظر گرفتند.

تأثیر موانع در مسیر جریان (n₃)

کلیه موانعی از قبیل پایه پل، تخته سنگ، کنده درخت و آشغال که باعث تغییر الگوی جریان شود سبب افزایش زبری می‌شود. چاو (۱۹۵۹) موانع را با توجه به اندازه فاصله از یکدیگر و نوع آرایششان به چهار دسته جزئی، ضعیف، قابل ملاحظه و شدید تقسیم‌بندی کرد و با توجه به نوع موانع محدودهای برای n₃ در نظر گرفت.

تأثیر پوشش گیاهی (n₄)

گیاهان واقع در سواحل و بستر رودخانه‌ها با توجه به جنس و میزان مقاومت آنها در برابر جریان به دو نوع خشبی و علفی تقسیم‌بندی می‌شوند. گیاهان علفی و درختچه‌ها معمولاً به حالت غیر مستغرق دیده می‌شوند. چن (۱۹۷۶) با انجام آزمایش‌هایی روی گیاهان علفی در یک فلوم آزمایشگاهی در شرایط رژیم جریان آرام نشان داد با افزایش عدد رینولدز ضریب زبری کاهش می‌یابد. فیشر (۱۹۹۶) نشان داد زبری ناشی از رویش گیاهان در مجاری روباز بستگی به نوع پوشش گیاهی، درجه سفتی یا صلبیت، ارتفاع، تراکم، سطح تصویر شده پوشش گیاهی در مقابل جریان و توزیع پوشش گیاهی دارد. کوئن و فتحی‌مقدم (۲۰۰۰) با انجام آزمایش روی چند گونه گیاه مخروطی شکل نتیجه گرفتند که بین ضریب زبری گیاه، سرعت جریان و شاخص‌های گیاهی ارتباط وجود دارد. اندرسون (۲۰۰۵) برای بررسی تأثیر پوشش گیاهی بر مقدار ضریب زبری، مدل ریاضی ROVER را ارائه کرد.

هیدرومتری ملاثانی، اهواز و فارسیات می‌باشد. محدوده مورد مطالعه یکی از بازه‌های بسیار مهم کارون است که طول آن به حدود 110 کیلومتر می‌رسد.

مدل FASTER

در این تحقیق برای مدل‌سازی جریان آب از مدل FASTER استفاده شده است. این مدل در ابتدا توسط کاشفی‌پور (2001) به منظور شبیه‌سازی جریان و انتقال املاح در رودخانه و خلیج بسط داده شده است. این مدل قادر به شبیه‌سازی جریان و انتقال رسوب و املاح در سیستم‌های رودخانه‌ای و خلیج در شرایط غیر دائمی و زیر بحرانی می‌باشد. از این مدل نیز می‌توان برای شرایطی که رودخانه تحت تأثیر جزر و مد باشد استفاده کرد.

در این تحقیق برای محدوده مورد مطالعه بر روی رودخانه کارون، اطلاعات هیدروگراف سال‌های 87-85 (مرحله واسنجی) و سال آبی 89-88 (مرحله صحت-سنجی) ایستگاه ملاثانی به عنوان شرایط مرزی بالادست، اطلاعات اشل-زمان همین سال‌ها در ایستگاه فارسیات به عنوان شرایط مرزی پایین دست و همچنین اطلاعات ایستگاه اهواز (ایستگاه شاخص) برای واسنجی و صحت‌سنجی مدل انتخاب شده است. شکل‌های (1) و (2) نمودار هیدروگراف‌های ملاثانی و اشل-زمان فارسیات را به ترتیب برای مراحل واسنجی و صحت-سنجی نشان می‌دهند.

پس از تعریف شرایط اولیه و شرایط مرزی، مدل در مرحله واسنجی به دفعات زیادی اجرا گردید و در هر مرحله n به صورت دینامیک تغییر نمود تا بهترین نتایج برای ارتفاع سطح آب و دبی پیش‌بینی شده توسط مدل حاصل گردد به طوری که کمترین اختلاف را با مقادیر اندازه‌گیری شده داشته باشند. پس از یافتن ضرائب زبری مناسب برای شرایط مختلف جریان، مدل برای یک دوره زمانی دیگر به منظور صحت‌سنجی مدل بدون هیچ تغییری در مقادیر زبری پیشنهاد شده اجرا گردید.

در واسنجی مدل‌های ریاضی نشان داده شود. ضمن اینکه ضریب زبری در رودخانه کارون با روش تشریح شده و مقادیر بدست آمده در واسنجی مدل مقایسه می‌گردد.

معادلات حاکم بر جریان

در جریان‌های رودخانه‌ای معادلات هیدودینامیکی یک بعدی سنت‌ونانت کاربرد زیادی دارند. این معادلات که شامل معادله پیوستگی و معادله مومنتم (روابط 2 و 3) هستند و به صورت زیر نوشته می‌شوند (کانچ و همکاران، 1980):

$$\frac{\partial Q}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial A}{\partial t} \Delta x = q_L \quad (2)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{2bQq}{A} - \frac{2bQT \partial Z}{A \partial t} - \frac{bQ^2 \partial A}{A^2 \partial x} = -gA \frac{\partial Z}{\partial x} - g \frac{Q|q_L|}{RAC^2} \quad (3)$$

که در این روابط Q دبی جریان، A سطح مقطع، q_L دبی ورودی یا خروجی جانبی، b ضریب تصحیح مومنتم، T عرض بالای جریان، Z ارتفاع سطح آب، g شتاب ثقل، R شعاع هیدرولیکی، C ضریب شری، t زمان و x فاصله طولی در جهت جریان می‌باشند.

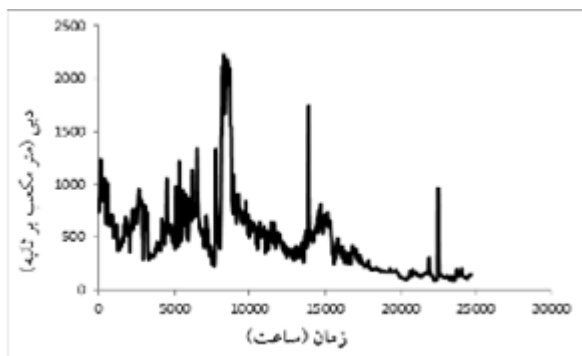
در تحقیق حاضر از مدل هیدرودینامیکی FASTER¹ استفاده شده است که این مدل ابتدا توسط کاشفی‌پور (2001) توسعه یافته و کد برنامه برای هر گونه تغییر در اختیار می‌باشد. این مدل معادلات هیدرودینامیک جریان را با روش یک در میان یا Staggered با فواصل متغیر و به صورت ضمنی حل می‌نماید.

مواد و روش‌ها

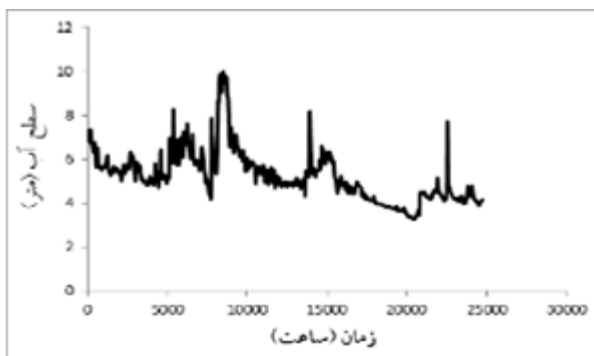
منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه کارون دارای مساحت 45221 کیلومتر مربع می‌باشد. میانگین بارندگی سالانه حداقل 150 میلیمتر در مناطق جنوبی استان خوزستان تا 1800 میلیمتر در نقاط مرتفع کوه‌رنگ‌متغیر است. منطقه مورد مطالعه بازه ملاثانی-فارسیات واقع در رودخانه کارون است، که شامل ایستگاه‌های

¹ Flow And Solute Transport model for Estuaries and Rivers

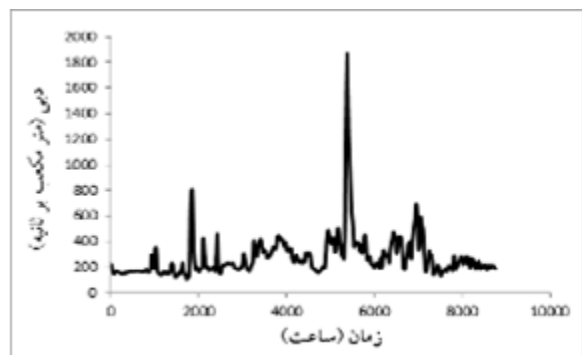


ب) هیدروگراف ورودی در ایستگاه ملاتانی برای واسنجی مدل

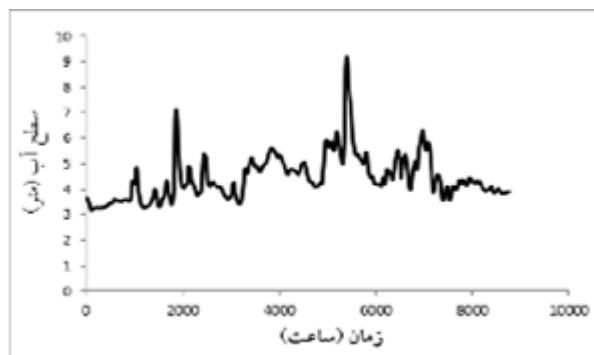


الف) اطلاعات اشل-زمان خروجی در ایستگاه فارسیات برای واسنجی مدل

شکل (۱): شرایط مرزی بالادست و پایین دست برای مرحله واسنجی



ب) هیدروگراف ورودی در ایستگاه ملاتانی برای صحت سنجی مدل



الف) اطلاعات اشل-زمان خروجی در ایستگاه فارسیات برای صحت سنجی مدل

شکل (۲): شرایط مرزی بالادست و پایین دست برای مرحله صحت سنجی

$$RMSE = \left[\sum_{i=1}^N \frac{(X_{pi} - X_{mi})^2}{N} \right]^{1/2} \quad (6)$$

که در این روابط X_p مقادیر پیش بینی شده توسط مدل، X_m مقادیر اندازه گیری شده و N تعداد داده ها می باشد.

تخمین تقریبی ضریب زبری با استفاده از مقادیر تجربی

همانطور که در رابطه (۱) نشان داده شد، ضریب زبری مانینگ به عوامل مختلفی بستگی دارد. میزان زبری بستر کارون نیز از این عوامل مستثنی نیست و هر یک از عوامل ذکر شده بسته به شرایط رودخانه کارون می تواند بر میزان زبری مؤثر باشد. با توجه به اینکه ایستگاه شاخص در مدل ریاضی ایستگاه اهواز بود، برای مقایسه نتایج بیشتر به

به منظور ارزیابی نتایج بدست آمده از مدل در مراحل واسنجی و صحت سنجی از مفاهیم آماری زیر استفاده شد:
۱- ضریب همبستگی (R^2) و مقدار ضریب a که بصورت زیر تعریف می شود:

$$a = \frac{X_p}{X_m} \quad (4)$$

در مقایسه نتایج واضح است که هر چه a به عدد یک نزدیکتر و R^2 نیز به عدد یک نزدیک باشد دقت برآورد مدل بالاتر است.

۲- متوسط خطای مطلق

$$\% E = \frac{\sum_{i=1}^N |(X_{pi} - X_{mi})|}{\sum_{i=1}^N X_{pi}} \times 100 \quad (5)$$

۳- مجذور متوسط خطا

تحقیق منظور از کم‌آبی رودخانه، زمانی می‌باشد که ارتفاع سطح آب به اندازه‌ای پایین است که رودخانه به صورت شریانی شده و جزایر متعددی در رودخانه کارون نمایان آب رفته و رودخانه از حالت شریانی خارج می‌شود (شکل 4).



شکل (4): رودخانه کارون در زمان کم‌آبی

بررسی ضریب زبری در محدوده اهواز پرداخته شد. در ادامه با توجه به استانداردها و مقادیر تجربی که محققین قبلی بدست آورده‌اند، تخمینی از ضریب زبری رودخانه کارون برای دو حالت کم‌آبی و پرآبی زده می‌شود. در این می‌شود (شکل 3). منظور از حالت پرآبی زمانی است که ارتفاع سطح آب بالا آمده به طوری که جزایر رودخانه زیر



شکل (3): رودخانه کارون در زمان کم‌آبی

if $Q > 1100$

$$n = \frac{0.037}{y_{ave}^{0.124} u_{ave}^{0.534}} \quad (7)$$

if $Q \leq 1100$

$$n = \frac{0.037}{y_{ave}^{0.023} u_{ave}^{0.46}} \quad (8)$$

که در این روابط u_{ave} سرعت متوسط، y_{ave} عمق متوسط، n ضریب زبری و Q دبی می‌باشد. به منظور مدل‌سازی عددی جریان، یک زیر برنامه به مدل FASTER اضافه شد، به طوری که مدل این قابلیت را داشت تا بتواند در هر گام زمانی با توجه به میزان دبی، مقدار n را تنظیم کرده و سپس برای گام زمانی بعد استفاده نماید. مقایسه‌ی پارامترهای آماری محاسبه شده برای مقادیر ارتفاع سطح آب اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده در مدل با ضریب زبری متغیر و دینامیک در جدول (1) آمده است. پارامترهای آماری در روابط (4) تا (6) برای شرایطی که ضریب زبری ثابت n (0/03، 0/05 و 0/08) استفاده شود نیز محاسبه و در جدول (1) اضافه شده‌اند.

نتایج

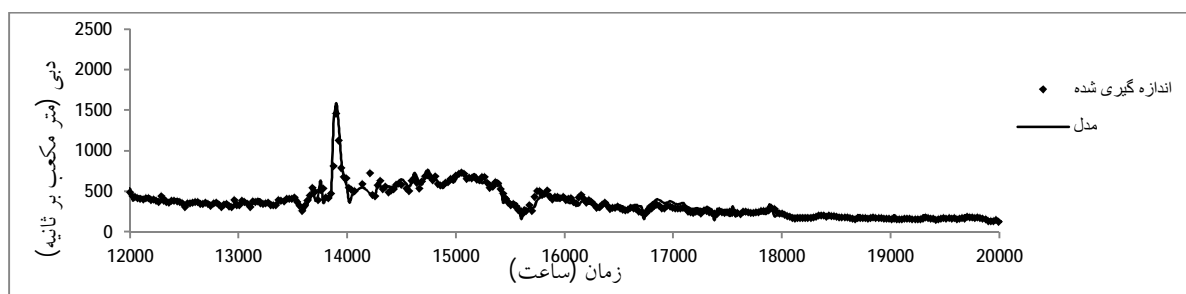
نتایج ابراهیمی (1387) نشان داده است که برای دبی‌های بالاتر از 1100 مترمکعب در ثانیه در رودخانه کارون معادله (7) می‌تواند ضریب زبری را به خوبی محاسبه نموده و ارتفاع سطح آب و دبی را با دقت بالایی پیش‌بینی نماید. ایشان ابراز نموده است که برای دبی‌های کمتر از مقدار فوق رابطه‌ی (8) برای محاسبه ضریب زبری مناسب است. اما بررسی نتایج ایشان نشان داده است برای دبی‌های کمتر از 500 مترمکعب در ثانیه رابطه (8)، رابطه مناسبی برای تعیین ضریب زبری نبوده و مدل نمی‌تواند ارتفاع سطح آب کارون را به خوبی پیش‌بینی نماید. با اجرای متفاوت مدل مشخص گردید بهترین ضرائب زبری برای دبی‌های 250 تا 500 مترمکعب در ثانیه 0/07، 180 تا 250 مترمکعب در ثانیه 0/1 و کمتر از 180 مترمکعب در ثانیه 0/12 می‌تواند مدل را قادر سازد که ارتفاع سطح آب را به خوبی پیش‌بینی نماید.

جدول (1): پارامترهای آماری برای مقادیر سطح آب پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده در مرحله واسنجی

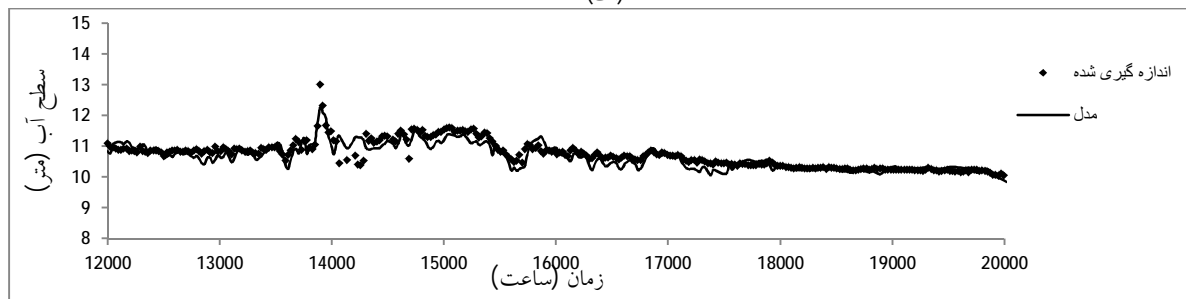
RMSE	%E	a	R ²	n
1/64	32/98	0/86	0/75	0/03
1/043	17/83	0/94	0/67	0/05
1/31	21/34	1/055	0/61	0/08
0/27	4/63	0/98	0/9	متغیر

روی زمان وقوع حداکثرها و حداقل‌ها فاصله زمانی ایجاد نماید. شکل‌های (5 الف و ب) به ترتیب مقایسه دبی اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده، و ارتفاع سطح آب اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد. ضمناً در این شکل‌ها بخشی از زمان شبیه‌سازی نشان داده شده است.

همانطور که ملاحظه می‌گردد انتخاب زبری مناسب می‌تواند تا حدود 13% از مناسب‌ترین زبری ثابت، درصد خطا را کاهش دهد. نکته قابل توجه این است که به دلیل اینکه انشعاباتی در رودخانه وجود نداشته و معادله پیوستگی فقط برای یک بازه حل می‌شود لذا میزان زبری نمی‌تواند روی مقدار دبی تأثیر زیادی داشته باشد و فقط می‌تواند



(الف)

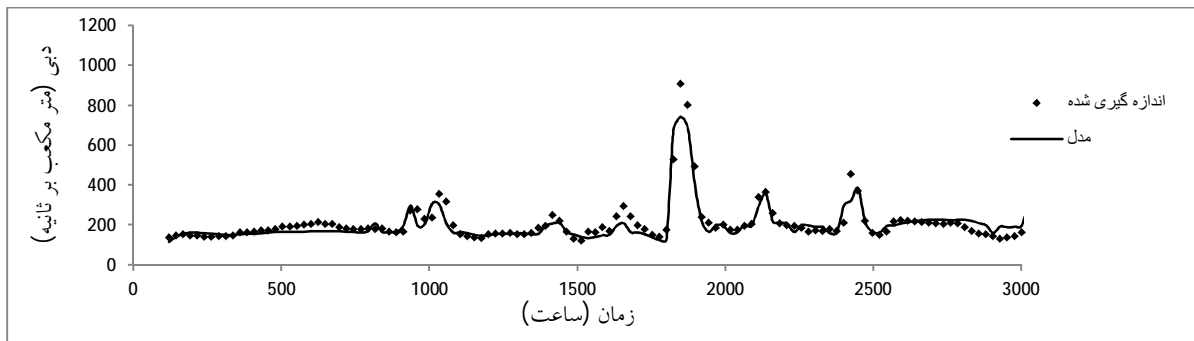


(ب)

شکل (5): مقایسه دبی اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده (الف) و ارتفاع سطح آب اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده (ب) در مرحله واسنجی در ایستگاه اهواز

شد. شکل (6) نتایج صحت‌سنجی مدل را به کمک مقادیر دبی و سطح آب اندازه‌گیری شده در ایستگاه اهواز نشان می‌دهد. در این شکل‌ها نیز بخشی از زمان مدل‌سازی نشان داده شده است.

پس از تحلیل آماری نتایج بدست آمده در مرحله واسنجی، ضریب زبری متغیر به علت داشتن کمترین میزان خطا به عنوان ضریب زبری برتر انتخاب شد. برای اطمینان از درستی مدل تعریف شده برای این ضریب، مدل عددی FASTER برای سال آبی 88-89 نیز اجرا



(الف)



(ب)

شکل (6): مقایسه دبی اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده (الف) و ارتفاع سطح آب اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده (ب) در مرحله صحت‌سنجی در ایستگاه اهواز

نکته قابل توجه در مرحله صحت‌سنجی این است که در این دوره در مدت بیشتری از دوره زمانی دبی جریان کم بوده و ملاحظه می‌گردد ضریب ثابت 0/08 توانسته بهتر از ضریب زبری 0/05 (در مرحله واسنجی حداقل خطا را داشت) جواب دهد.

در جدول (2) مقادیر R^2 , a , $\%E$ و $RMSE$ برای ارتفاع‌های سطح آب پیش‌بینی شده توسط مدل در مرحله صحت‌سنجی، نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود شبیه‌سازی سطح آب با یک زبری متغیر که در مدل هیدرودینامیکی با توجه به مقادیر دبی تغییر می‌نماید به مقدار قابل توجهی درصد خطا را کاهش می‌دهد.

جدول (2): محاسبه مقادیر خطا و همبستگی سطح آب مدل و اندازه‌گیری شده مرحله صحت‌سنجی مدل

RMSE	%E	a	R^2	n
2/02	44/71	1/22	0/001	0/03
1/3	28	1/12	0/005	0/05
0/73	12	1/022	0/011	0/08
0/29	5/47	0/97	0/81	متغیر

بحث

کاهش دبی ممکن است اثر چندانی روی زبری مانینگ نداشته باشد. رودخانه کارون با توجه به شرایط ظاهری آن به خصوص در بازه‌ای از بالادست شهر اهواز تا پایین دست آن به دلیل وجود پل‌ها و تشکیل جزایر متعدد و وجود

در مجموعه نتایج ملاحظه گردید انتخاب ضریب زبری مانینگ (n) با توجه به شرایط جریان می‌تواند به میزان قابل توجهی روی دقت مدل‌سازی اثر بگذارد. لازم به توضیح است برای بعضی از انواع رودخانه‌ها افزایش و یا

ج) تعیین n_2 : کوچک و بزرگ شدن مقاطع عرضی گاه-گاهی در رودخانه کارون رخ می‌دهد. در نتیجه می‌توان مقدار n_2 را برابر $0/003$ در نظر گرفت.

د) تعیین n_3 : در رودخانه کارون در زمان پرآبی اغلب موانعی که در برابر جریان قرار دارد، پایه‌های پل می‌باشد. شعاع تأثیر این موانع بسیار با یکدیگر فاصله دارند و می‌توان این موانع را در این حالت از جریان (پرآبی) جزو موانع جزئی به حساب آورد ($n_3 = 0/002$). اما در زمان کم‌آبی جزایر متعددی در رودخانه کارون به وجود می‌آید که در برابر جریان قرار گرفته و الگوی جریان را تغییر می‌دهند. در برخی مواقع این جزایر 40 تا 50 درصد مقطع رودخانه را می‌پوشانند ($n_3 = 0/02$).

ه) تعیین n_4 : گیاهان موجود در بستر رودخانه کارون بیشتر از نوع علفی می‌باشند، اگر فرض شود ارتفاع آب در زمان پرآبی حداقل سه برابر ارتفاع گیاهان است، مقدار n_4 را می‌توان $0/005$ در نظر گرفت. اما اگر فرض شود در زمان کم‌آبی ارتفاع آب حداقل دو برابر ارتفاع گیاهان است، مقدار n_4 را می‌توان $0/02$ در نظر گرفت.

ی) تعیین m : درجه مئاندری بودن رودخانه کارون در محدوده ایستگاه هیدرومتری بالای اهواز شدید می‌باشد، به طوریکه طول طی شده جریان در حالت مئاندری به بیش از دو برابر طول طی شده جریان در حالت مستقیم می‌رسد (شکل 7).

کف سنگلاخی در بعضی قسمت‌های آن باعث گردیده که زبری به شدت تابعی از دبی و در نتیجه عمق جریان باشد. در شرایطی که دبی جریان بالادست، به طور مثال بیشتر از 1100 مترمکعب در ثانیه است، بسیاری از جزایر به زیر آب رفته و حالت شریانی خود را از دست می‌دهد. با توجه به پایین آمدن سطح آب، رودخانه در بسیاری از قسمت‌ها به صورت مستقیم جریان داشته و لذا در دبی حدود 1100 مترمکعب در ثانیه مقدار ضریب زبری حدود $0/04$ می‌باشد. اما با کاهش دبی مقدار زبری می‌تواند به $0/1$ در دبی 250 مترمکعب در ثانیه و حتی $0/12$ با دبی کمتر از 180 مترمکعب در ثانیه برسد. برای صحت این نتیجه-گیری، مقدار ضریب زبری با توجه به رابطه‌ی پیشنهادی کاون (1956)، رابطه (1) در دو شرایط کم‌آبی و پرآبی تعیین گردیده است.

الف) تعیین n_b : در زمان پرآبی به علت تشکیل جریان با رژیم بالا می‌توان مقدار n_b را برابر $0/025$ در نظر گرفت. اما در زمان کم‌آبی به دلیل احتمال به وجود آمدن جریان با رژیم پایین یا انتقالی و تشکیل بستر با فرم موجدار یا تل‌ماسه‌ای مقدار n_b برابر $0/035$ در نظر گرفته شد.

ب) تعیین n_1 : با توجه به عمق کم آب در رودخانه کارون به خصوص در سال‌های اخیر می‌توان تأثیر این پارامتر را در نظر نگرفت.



شکل (7): پلان رودخانه کارون در محدوده ملائانی-اهواز

جدول (3) تخمین ضریب n را برای دو حالت کم‌آبی و پرآبی برای رودخانه کارون نشان می‌دهد:

با توجه به نسبت طول کانال مئاندری به طول کانال مستقیم، ضریب m را معادل $1/3$ در نظر گرفته می‌شود.

جدول (3): تخمین ضریب زبری مانینگ با استفاده از روش تجربی کاون (1956)

n	m	n ₄	n ₃	n ₂	n ₁	n _b	دوره
0/045	1/3	0/005	0/002	0/003	-	0/025	پرآب
0/101	1/3	0/02	0/02	0/003	-	0/035	کم آب

مقادیر تخمینی بسیار نزدیک به مقادیری است که در مدل ریاضی برای واسنجی و صحت‌سنجی استفاده شده است.

با مقایسه نتایجی که از مدل تجربی کاون (1956) برای تخمین ضریب زبری مانینگ در جدول (3) حاصل شده و نتایج حاصل از واسنجی مدل ریاضی ملاحظه می‌گردد که

نتیجه‌گیری

کاهش دبی به دلیل تشکیل جزایر متعدد، شریانی شدن رودخانه، افزایش موانع و همچنین تغییر رژیم جریان و امکان شکل‌گیری بستر به صورت تل‌ماسه‌ای میزان زبری افزایش می‌یابد.

3- نتایج این تحقیق نشان داده است که در بسیاری از مجاری روباز طبیعی به خصوص رودخانه‌های جاری در دشت‌ها و رودخانه‌هایی که مسیر آنها شدیداً تابعی از شرایط جریان به خصوص دبی هستند، نمی‌توان یک زبری ثابت انتخاب نمود. در نتیجه تعریف ضریب زبری دینامیکی که بتواند در هر مقطع رودخانه با شرایط دبی تغییر نماید ضروری است و به نظر می‌رسد نتایج این تحقیق می‌تواند راهنمای خوبی برای محققینی که در شبیه‌سازی جریان، آلودگی و رسوب در رودخانه‌ها تحقیق می‌نمایند، باشد.

هدف از انجام این تحقیق بدست آوردن معادله‌ای برای ضریب زبری بود که بتواند با کمترین خطا ارتفاع سطح آب و میزان دبی را برای یک رودخانه ممانداری مانند کارون پیش‌بینی کند. در انتها نتایجی که از این تحقیق می‌توان گرفت شامل موارد زیر است:

1- استفاده از یک ضریب زبری متغیر برای رودخانه کارون نشان داد که میزان خطا در اندازه‌گیری سطح آب می‌تواند تا حد 4 تا 5 درصد در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی پایین آید. که این مقدار حدود 13% در مرحله واسنجی و حدود 7% در مرحله صحت‌سنجی از مقدار برای شرایط با زبری ثابت کمتر می‌باشد.

2- نتایج نشان داد که در رودخانه کارون با افزایش دبی ضریب زبری کاهش می‌یابد، دلیل این امر مستغرق شدن جزایر و پوشش گیاهی می‌باشد که سبب می‌شود جریان مستقیم شده و از حالت شریانی خارج شود. همچنین با

منابع

1. ابراهیمی، ن.ق. 1387. تخمین ضریب زبری پوشش گیاهی مستغرق در بستر رودخانه جهت کالیبراسیون مدل‌های ریاضی. رساله دکترای سازه آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز.
2. Aldridge, B.N., and Garrett, J.M. 1973. Roughness coefficients for stream channels in Arizona. U.S. Geological Survey Open-File Report, 87 p.
3. Anderson, B.G. 2005. On the impact of riparian vegetation on catchment scale flooding characteristics. PhD Thesis, University of Melbourne.
4. Arcement, G.J., and Schneider, V.R. 1986. Guide for selecting manning's roughness coefficients for natural channels and flood plain. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2339.
5. Barnes, H.H., and Jr. 1967. Roughness characteristics of natural channels. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1849, 213 p.
6. Benson, M.A., and Dalrymple, Tate. 1967. General field and office procedures for indirect discharge measurements. U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations book 3, chap. A1, 30 p.

7. Chen, C.I. 1976. Flow resistance in broad shallow grassed Channels. *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, 102 (3): 307-322.
8. Chow, V.T. 1959. *Open-channel hydraulics*. McGraw- Hill Book Co., pp. 98-114.
9. Cowan, W.L. 1956. Estimating hydraulic roughness coefficients. *Agricultural Engineering*, v. 37(7): 473-475.
10. Cunge, J.A.; Holly, F.M., and Verwey, A. 1980. *Practical aspects of computational river hydraulics*. Pitman Publishing Limited, London, 420 pp.
11. Fathi-Moghadam, M.; Kashefipour, M.; Ebrahimi, N., and Emamgholizadeh, N. 2011. Physical and numerical modeling of submerged vegetation roughness in rivers and flood plains. *J. Hydraul. Eng.* 16(11): 858-864.
12. Fathi-Moghadam, M., and Kouwen, N. 1997. Nonrigid, nonsubmerged, vegetative roughness on floodplains. *J. Hydraul. Eng.* 123(1): 51-57.
13. Fisher, K.R. 1996. *Handbook for assessment of hydraulic performance of environmental channels*. Report SR 490, draft. HR Wallingford, Wallingford, Great Britain, 346 p.
14. Joranova, A.A.; Birkhead, A.L.; James, C.S., and Kleynhans, C.J. 2004. *Hydraulics for Determination of the Ecological Reserve for Rivers*. WRC Report No. 1174, Pretoria, South Africa.
15. Kashefipour, S.M. 2001. *Modelling flow, water quality and sediment transport processes in riverine basins*. PHD Thesis, Cardiff University, Cardiff, UK, 306pp.
16. Khatua, K.K.; Patra, K.C., and Nayak, P. 2010. Meandering effect for evaluating of roughness coefficients in open channel flow. *Dep.civil.Eng, conference on advanced in fluid mechanics, India*.
17. Kouwen, N., and Fathi-Moghadam, M. 2000. Friction factors for coniferous trees along rivers. *J. Hydraul. Eng.* 126(10): 732-740.
18. Yang Ding.; Yafei, M. ASCE., and Sam, S.Y. Wang. 2004. Identification of manning's roughness coefficient in shallow water flow. *J. Hydraul. Eng.*, 130(6): 501-510.

Numerical modeling of flow using an improved dynamic roughness coefficient (Case study: Karun River)

Si. Mohammadi¹, S. M. Kashefipour²

Abstract

Various parameters such as bed and bank materials, shape and irregularity of the section, vegetation, river meanders, plan of the river path and etc. affect the flow hydraulic resistance. In open channel hydraulics the effects of all these parameters are generally considered as the roughness coefficient. The Manning's equation is one of the most practical equations to flow resistance analysis, in which the surface roughness is defined by Manning coefficient. It is obvious a relatively good estimation of this coefficient can highly affect the accuracy of water surface elevation predictions in numerical models. Since many parameters are effective on the value of this coefficient, in this research study it was tried to define the roughness coefficient somehow that it be able to dynamically change with different river and hydraulic conditions. The collected data in Karun River for two periods were used as the case study. It is shown that the accuracy of model predictions for water surface elevations were improved more than 20% in error estimation in comparison with the corresponding results obtained for a constant roughness coefficient. The roughness coefficient (n) for Karun River was also estimated using the empirical method proposed by Cowan for two different dry and wet periods. These values were then successfully compared with the average corresponding roughness coefficients calculated by the numerical model for those periods.

Keywords: a Karun River, Manning's roughness coefficient, numerical FASTER model, flow resistance

¹M.Sc Student of Civil Engineering, ShahidChamran University; Sia_m86@yahoo.com

²Professor, Faculty of Water Science Engineering, ShahidChamran University ; Kashefipour@excite.com