

بررسی دقت ضریب زبری مانینگ در تخمین رابطه دبی-اشل بر مبنای خطوط همتراز

سرعت

سجاد محمدزاده وطن چی^۱، محمود فغفور مغربی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی

۲- استاد مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی

:

sajad.mohammadzadehvatanchi@mail.um.ac.ir

چکیده

رابطه بین دبی و تراز در رودخانه‌ها، یکی از مهمترین اطلاعات ورودی در مدل‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی است که می‌تواند در کنترل سیلاب و مدیریت منابع آب مورد استفاده قرار بگیرد. منحنی دبی-اشل، رابطه‌ای بین دبی و تراز دلخواه ایجاد می‌کند. برای بدست آوردن این رابطه اطلاعات هندسی و هیدرولیکی مقطع رودخانه مورد نیاز است. یکی از این اطلاعات ضریب زبری مانینگ بستر، کناره‌ها و سیلاب‌دشت‌ها می‌باشد. برای محاسبه این ضریب رابطه دقیقی وجود ندارد و بنا بر تجربه‌ی شخصی و جداول مرجع تخمین زده می‌شود. بنابراین وجود خطا در تعیین این ضریب وجود دارد و اجتناب‌ناپذیر است. این تحقیق به تأثیر دقت تخمین زبری مانینگ در رابطه دبی-اشل می‌پردازد. این رابطه براساس مفهوم خطوط همتراز سرعت و اطلاعات هندسی و هیدرولیکی مقطع عرضی و نقاط مشاهداتی دبی و تراز استوار است. برای بررسی این موضوع با توجه به اطلاعات زبری در رودخانه‌ی مین در ایرلند عدم قطعیت ناشی از زبری در تخمین دبی محاسبه می‌شود و نتایج نشان می‌دهد که هر چه دقت ضریب زبری به عنوان پارامتر ورودی بیشتر باشد عدم قطعیت در تخمین دبی کاهش خواهد یافت. در رابطه‌ی پیشنهادی چنانچه مدل بر مبنای نقاط مشاهداتی میانی بنا شود، خطای تخمین دبی کمتر خواهد بود.

کلمات کلیدی: منحنی دبی-اشل، اندازه‌گیری جریان، عدم قطعیت، زبری مانینگ، خطوط همتراز سرعت

۱- مقدمه

وقوع سیلاب یکی از خطرهای محتمل برای جوامع بشری است بنابراین پیش‌بینی آن بوسیله‌ی مدل‌سازی عددی می‌تواند خطرهای احتمالی آن را برای انسان‌ها به حداقل برساند. از این‌رو، مطالعات بیشتر برای افزایش اعتمادپذیری مدل مورد نیاز می‌باشد که می‌توان با تعیین سطح عدم قطعیت متغیرهای مورد استفاده در مدل به وقوع پیوندد.

تحلیلی جامع در مورد عدم قطعیت منحنی دبی-اشل توسط دی‌بالداسارا و مونتاناری در سال ۲۰۰۹ بر رودخانه پو انجام شد و منابع بالقوه عدم قطعیت مورد بررسی قرار گرفت [۱]. اشتباهات در طول اندازه‌گیری تراز و دبی رودخانه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترها به حساب می‌آید چرا که پارامترهای ورودی اصلی هستند که منحنی‌های دبی-اشل را ایجاد می‌کنند. معمولاً برونیابی فراتر از محدوده‌ی اندازه‌گیری برای تنظیم داده‌های اندازه‌گیری شده برای موارد جریان با دبی زیاد اعمال می‌شود. با این حال، این امر باعث عدم قطعیت قابل توجهی در مدل‌سازی رویدادهای مربوط به سیل می‌شود. فرض جریان دائمی و یکنواخت در طول مدل‌سازی با وجود داشتن شرایط جریان غیردائمی در واقعیت یک منبع خطای دیگر برای مدل‌سازی هیدرودینامیکی به‌وجود می‌آورد. عامل دیگری که بر عدم قطعیت شبیه‌سازی هیدرولوژیکی افزوده می‌شود تغییرات پوشش گیاهی فصلی است که منجر به تغییرات زبری می‌شود. علاوه بر این، هندسه‌ی رودخانه که با گذشت زمان بدون تغییر در نظر گرفته می‌شود، در حقیقت با گذشت زمان تغییر می‌کند که منجر به ضریب زبری متفاوتی می‌شود. پژوهشگران بر این نکته تأکید دارند که ضریب زبری را نمی‌توان به طور قابل اعتمادی تعیین کرد چون تحت تأثیر تعداد زیاد عوامل دیگر قرار می‌گیرد که همگی با زمان و یا در مسیر جریان تغییر می‌کنند.

روش‌های مختلفی جهت تخمین منحنی دبی-اشل در رودخانه‌ها معرفی شده است. در سال ۲۰۱۶ برای اولین بار روش تخمینی رابطه‌ی دبی-اشل در رودخانه‌های طبیعی براساس اندازه‌گیری سرعت تک نقطه توسط مغربی معرفی شد [۲]. در این روش وجود حداقل یک جفت اطلاعات مشاهداتی دبی و تراز به‌عنوان نقطه مرجع برای تعیین رابطه دبی-اشل ضروری است. این مطالعه نشان می‌دهد چنانچه نقطه مرجع مشاهداتی در ترازهای بالا انتخاب شود، خطای تخمین کمتر می‌شود [۲]. در ادامه در سال ۲۰۱۷، با توجه به مفهوم خطوط هم‌تراز سرعت، رابطه تخمینی دبی-اشل در چهار رودخانه مورد راستی‌آزمایی قرار گرفت که نتایج آن دقت مطلوب روش را نشان داد [۳]. در همین سال این روش در کانال‌های مرکب مورد بررسی قرار گرفت [۴]. به‌دنبال آن، احمدی در سال ۲۰۱۷ این روش را در رودخانه‌های طبیعی با زبری غیریکنواخت مورد بررسی قرار داد [۵]. در این مطالعه به تأثیر تغییرات ضریب زبری مانینگ در رابطه‌ی دبی-اشل بر مبنای خطوط هم‌تراز سرعت پرداخته می‌شود و میزان خطای ناشی از آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. این مطالعه بر روی رودخانه مین در ایرلند انجام می‌شود و خطاهای ناشی از روش پیشنهادی و ضریب زبری متغیر مورد بررسی قرار می‌گیرد و با روش CES مقایسه می‌شود. برای تحلیل عدم قطعیت از روش متوسط درصد خطای مطلق (MAPE) و برای تعیین کارایی مدل از روش R^2 استفاده می‌شود.

۲- مواد و روش

برای تخمین رابطه‌ی دبی-اشل در ابتدا بایستی متغیرهای هندسی و هیدرولیکی مرتبط با دبی رودخانه محاسبه شود، بنابراین دبی تابعی از پارامترهای زیر است:

$$Q = f(A, P, T, U, n, S_0) \quad (1)$$

رابطه دبی و متغیرهای مؤثر به صورت زیر تقریب زده می‌شود:

$$Q \propto A^{a_1} P^{a_2} P_t^{a_3} U^{a_4} n^{a_5} S_0^{a_6} \quad (2)$$

در رابطه بالا A سطح مقطع، P محیط مرطوب، P_t مجموع محیط مرطوب و سطح آزاد آب، n ضریب زبری مانینگ و S_0 شیب بستر است. همچنین U پارامتری از سرعت است که می‌توان از روش‌های مختلفی مانند روش SPM یا SKM محاسبه شود. در این پژوهش از روش SKM استفاده می‌شود که در ادامه توضیح داده می‌شود.

در گام بعد با توجه به دبی و تراز مشاهداتی مرجع می‌توان دبی را در ترازهای دلخواه محاسبه کرد. بنابراین در این رابطه نسبت بین متغیرهای هندسی و هیدرولیکی تراز و دبی مشاهداتی مرجع و تراز دلخواه محاسبه می‌شود. بعضی از این پارامترها با توجه به ثابت بودن در ترازهای مختلف مقطع قابل حذف می‌باشند. رابطه‌ی پیشنهادی نهایی به شکل رابطه ۳ می‌باشد. پیش از استفاده از رابطه بایستی توان‌های a_1 تا a_5 محاسبه شود. توجه شود که a_5 به دلیل ثابت بودن شیب در ترازهای متفاوت یکسان است و از معادله حذف می‌شود.

$$\frac{Q_e}{Q_r} = \left(\frac{A_e}{A_r}\right)^{a_1} \left(\frac{P_e}{P_r}\right)^{a_2} \left(\frac{(P_t)_e}{(P_t)_r}\right)^{a_3} \left(\frac{U_e}{U_r}\right)^{a_4} \left(\frac{n_e}{n_r}\right)^{a_5} \quad (3)$$

که در آن نماد e و r به ترتیب نشان‌دهنده‌ی مقادیر تخمینی و مرجع است.

برای استفاده از رابطه‌ی فوق وجود اطلاعات جریان مشاهداتی ضروری است. با مبنای قرار دادن جفت اطلاعات دبی و تراز مشاهداتی و محاسبه‌ی پارامترهای هندسی و هیدرولیکی در تراز متناظر و قرار دادن متغیرهای تراز موردنظر در رابطه ۳ می‌توان دبی را در آن تراز محاسبه نمود. طریقه‌ی محاسبه توان‌های معادله ۳ در مطالعات گذشته بیان شده است [۳]. در نتیجه فرم کلی رابطه‌ی دبی-اشل بصورت زیر بیان می‌شود:

$$Q_e = Q_r \left(\frac{A_e}{A_r}\right)^{0.972} \left(\frac{P_e}{P_r}\right)^{-1.27} \left(\frac{(P_t)_e}{(P_t)_r}\right)^{0.83} \left(\frac{U_e}{U_r}\right) \left(\frac{n_e}{n_r}\right)^{-1} \quad (4)$$

همانطور که مشاهده می‌شود توان سرعت با توجه به رابطه‌ی بین سرعت و دبی برابر یک است و توان ضریب زبری با توجه به رابطه مانینگ برابر منفی یک می‌باشد. برای محاسبه‌ی سرعت می‌توان از روش SKM استفاده کرد. شیونو و نایت در سال ۱۹۹۱ روابطی جهت تخمین تنش برشی و سرعت متوسط عمقی در بستر کانال مرکب منشوری ارائه نمودند [۶]. این روش غالباً با نام اختصاری SKM که معرف $Shiono and Knight Method$

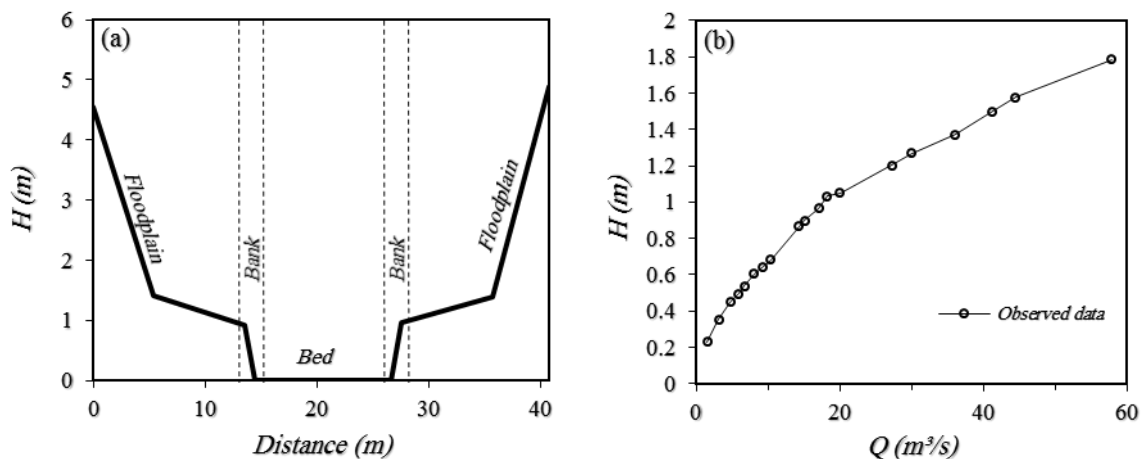
است، بیان می‌گردد. برای این منظور آن‌ها از روشی تحلیلی بر اساس متوسط عمقی ویسکوزیته گردابی، انتگرال گیری از معادله اندازه حرکت (*Navier-Stokes equations*) در امتداد عمق جریان و با فرض جریان یکنواخت، دائمی و تراکم‌ناپذیر، استفاده کردند. این روش علاوه بر سادگی، توزیع سرعت متوسط عمقی و تنش برشی را با دقت بالا تخمین زده و توانایی مدل نمودن ساختارهای پیچیده جریان‌های ثانویه را داراست. معادله‌ی سرعت متوسط عمقی توسط شیونو و نایت در سال ۱۹۹۱ به صورت زیر است [6]:

$$\rho g S_0 H - \frac{1}{8} \rho f U_d^2 + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \rho \lambda H^2 \left(\frac{f}{8} \right)^{1/2} U_d \frac{\partial U_d}{\partial y} \right\} = \frac{\partial}{\partial y} [H (\rho UV)_d] \quad (5)$$

که با حل معادله‌ی بالا به روش اجزای محدود می‌توان سرعت را محاسبه کرد. همچنین می‌توان از برنامه کامپیوتری *CES* به همین منظور استفاده کرد.

۳- نتایج

رودخانه مین در ایرلند شمالی قرار دارد و شیب متوسط زمین ۰,۰۰۲۹۷ است. در شکل (a) مقطع عرضی و در شکل (b) نقاط مشاهداتی دبی و تراز (منحنی سنج) رودخانه مین به نمایش گذاشته شده است. اطلاعات ضریب زبری مانینگ در دو حالت بدست آمده است. در حالت اول بدون در اختیار داشتن اطلاعات پیمایشی (بازدید میدانی) و تنها با استفاده از بررسی زیستگاه رودخانه (*RHS*) کشور بریتانیا که ضرایب مختلفی را با توجه به موقعیت رودخانه پیشنهاد می‌دهد، به بررسی عدم قطعیت ناشی از زبری پرداخته می‌شود. درحالی‌که در حالت دوم با افزایش اطلاعات نسبت به نحوه‌ی پوشش گیاهی منطقه و اندازه‌گیری جریان و سرعت و عکس‌های مستند منطقه، به همراه ضرایب پیشنهادی زبری جداول مرجع، دقت ضرایب زبری مانینگ افزایش پیدا می‌کند. این اطلاعات در جدول ۱ بیان شده است. اطلاعات ضرایب زبری مانینگ، مقطع عرضی و نقاط مشاهداتی از نایت و همکاران (۲۰۱۰) بدست آمده است [7].



شکل ۱- (a) مقطع عرضی رودخانه مین و (b) اطلاعات مشاهداتی دبی و تراز

در جدول ۱ ضریب واحد (*Unit Roughness*) از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$n_l = \sqrt{n_{veg}^2 + n_{sur}^2 + n_{irr}^2} \quad (6)$$

که در این رابطه n_l ضریب واحد، n_{veg} ضریب ناشی از پوشش گیاهی، n_{sur} ضریب ناشی از مصالح سطحی مانند ماسه و n_{irr} بی‌نظمی‌ها مانند ریشه درختان و آشغالهای شهری می‌باشد. رویکرد مجموع ریشه مربعات تا زمانی پذیرفته می‌شود که افت انرژی متناسب با مجذور سرعت موضعی باشد.

جدول ۱- اطلاعات ضریب زبری

رودخانه مین	بستر			کناره (ساحل)			سیلابدشت		
	زبری واحد	حداقل	حداکثر	زبری واحد	حداقل	حداکثر	زبری واحد	حداقل	حداکثر
حالت (۱)	0.025	0.017	0.056	0.047	0.040	0.0707	0.0456	0.0262	0.0838
حالت (۲)	0.032	0.027	0.035	0.05	0.044	0.055	0.0456	0.0262	0.0838

اکنون با در اختیار داشتن اطلاعات زبری متوسط، حداقل و حداکثر می توان خطای ناشی از تغییرات زبری را در تخمین منحنی دبی-اشل در دو حالت محاسبه نمود. به همین منظور با استفاده از رابطه‌ی پیشنهادی دبی-اشل، رابطه ۴، محاسبات برای مقادیر مختلف زبری صورت می‌پذیرد و مورد مقایسه قرار می‌گیرد. برای محاسبه پارامترهای هندسی و هیدرولیکی رابطه‌ی پیشنهادی می‌توان از نرم‌افزار CES استفاده کرد. در اختیار داشتن حداقل یک نقطه‌ی مشاهداتی به‌عنوان مرجع برای تولید منحنی دبی-اشل ضروری است. بنابراین برای تخمین منحنی، نیاز به اطلاعات مشاهداتی در زبری‌های حداقل و حداکثر وجود دارد. به همین دلیل با استفاده از اطلاعات مشاهداتی جریان Q_r در مقدار ضریب زبری مرجع n_r و معادله‌ی مانینگ می‌توان دبی مرجع را در ضرایب زبری متفاوت Q'_r تخمین زد.

$$Q'_r = Q_r \left(\frac{n}{n_r} \right)^{-1} \quad (7)$$

بنابراین، با محاسبه‌ی پارامترهای موجود در رابطه‌ی پیشنهادی دبی-اشل و داده‌های مشاهداتی به‌عنوان نقاط مرجع می‌توان به تخمین منحنی دبی-اشل پرداخت. باید توجه شود که در رابطه‌ی پیشنهادی خطای ساختاری ناشی از مدل وجود دارد که باید در بررسی تأثیر عدم قطعیت زبری بر تخمین دبی لحاظ شود. بر اساس نقاط مشاهداتی مرجع مختلف رابطه‌ی دبی-اشل محاسبه می‌شود. که در شکل ۳ به‌عنوان نمونه برای دو نقطه‌ی مشاهداتی P8 و P18 رابطه پیشنهادی، مورد مقایسه با روش CES قرار می‌گیرد.

در نظر گرفتن ضرایب زبری حداقل و حداکثر باعث ایجاد خطا نسبت به نقاط مشاهداتی مرجع می‌شود. علاوه بر آن، خطای ساختاری مدل پیشنهادی تخمین منحنی دبی-اشل قابل مشاهده است که این عامل خود باعث افزایش عدم قطعیت در تخمین دبی می‌شود. کاهش عدم قطعیت در تخمین دبی ناشی از افزایش دقت در تعیین ضریب زبری مانینگ نسبت به حالت اول قابل مشاهده است. در ادامه خطای ناشی از هر عامل مورد بررسی و مقایسه قرار می‌گیرد.

۵- تحلیل عدم قطعیت

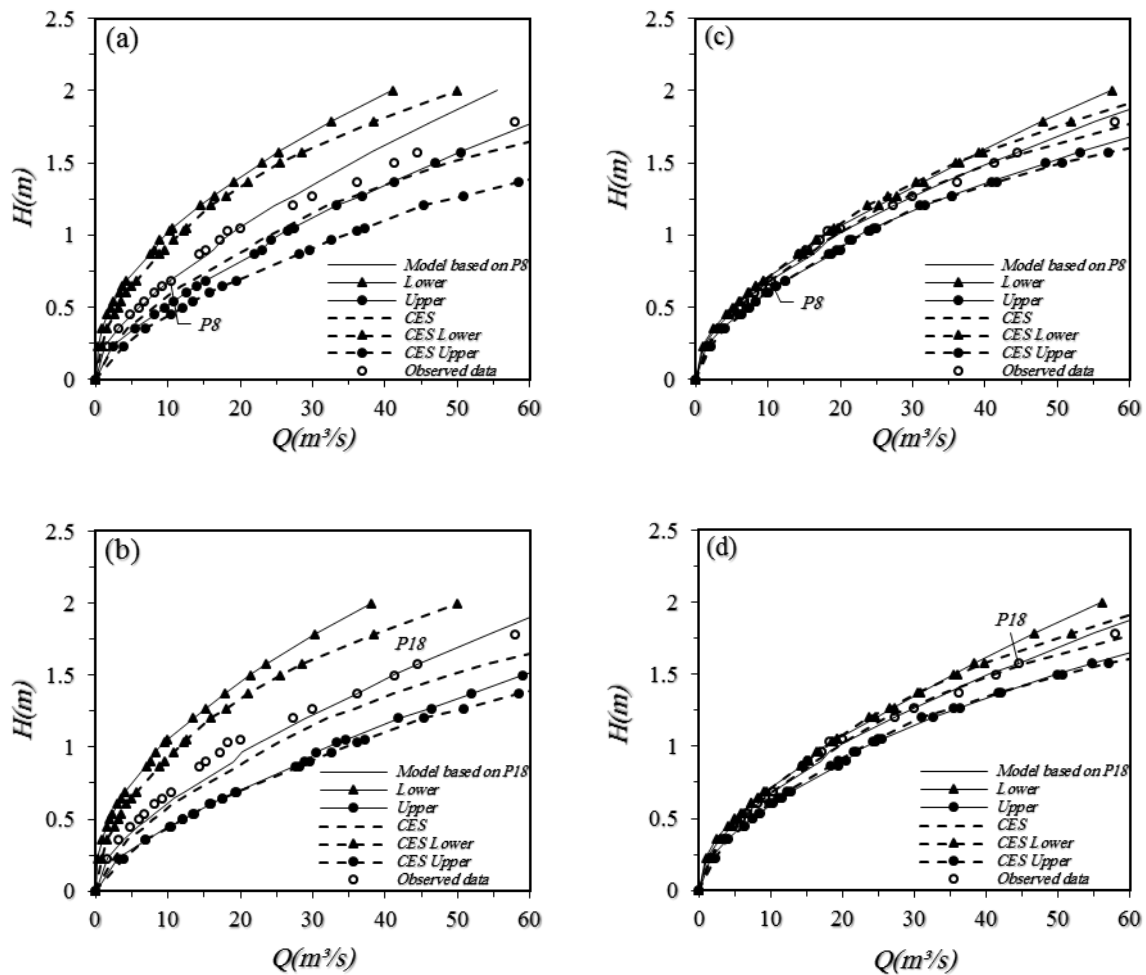
در این مطالعه تحلیل عدم قطعیت از دو منبع خطای زیر ناشی می‌شود که در ابتدا به‌صورت جداگانه هر یک از عوامل مورد بررسی قرار گرفته و سپس ترکیب این دو عامل محاسبه می‌شود.

۵-۱ خطای ناشی از مدل

این خطا ناشی از خود رابطه‌ی پیشنهادی می‌باشد که با توجه به داده‌های مشاهداتی مرجع و متغیرهای ورودی اندازه‌گیری شده می‌تواند متغیر باشد. برای بررسی این خطا از روابط آماری زیر استفاده می‌شود:

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Q_{o,i} - Q_{e,i}}{Q_{o,i}} \right| \quad (7)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - Q_{e,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - \bar{Q}_o)^2} \quad (8)$$

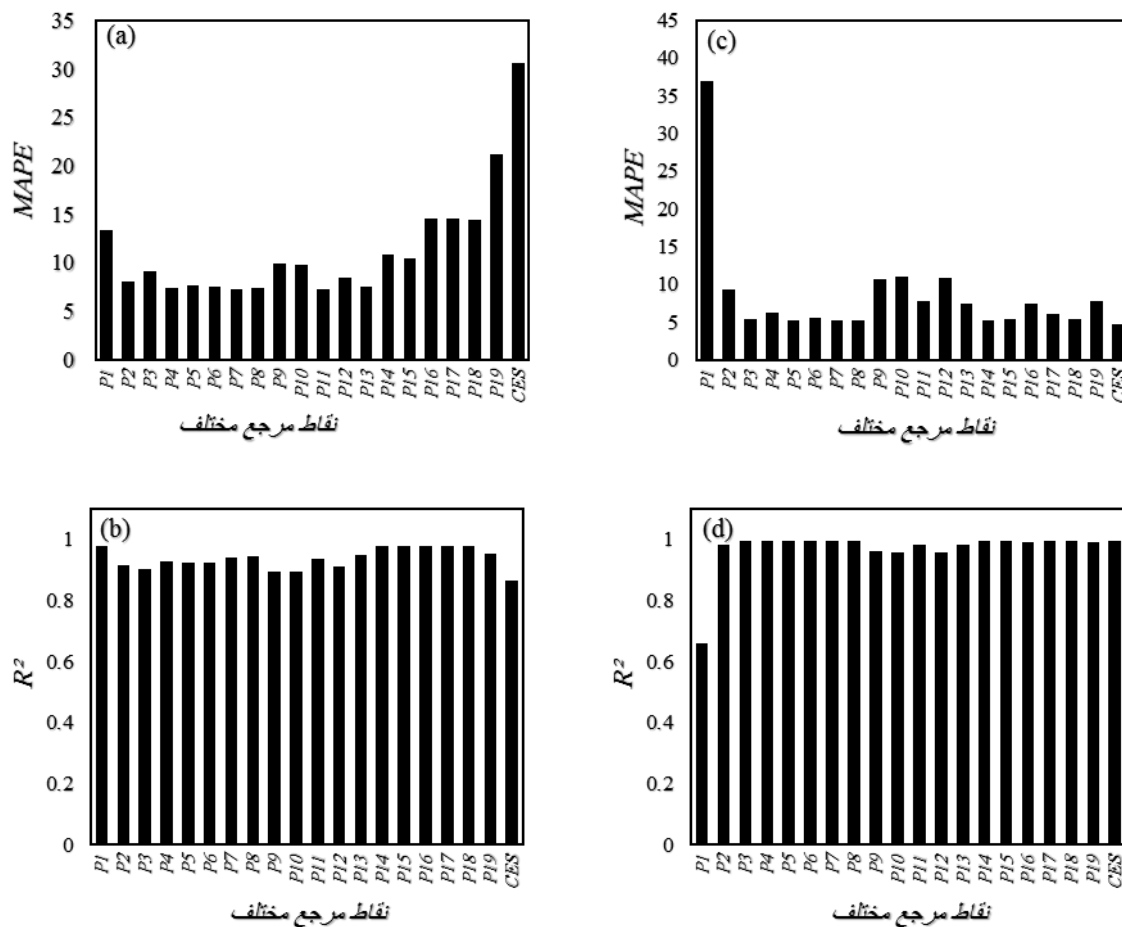


شکل ۳- منحنی‌های دبی-اشاره تخمینی و عدم قطعیت ناشی از زبری به همراه مقایسه با مدل CES. حالت اول، (a,b)، حالت دوم (c,d).

در رابطه ۷ و ۸، $Q_{e,i}$ دبی تخمینی، $Q_{o,i}$ دبی مشاهداتی، \bar{Q}_o میانگین دبی مشاهداتی و n تعداد نقاط مشاهداتی است. در حالت اول عدم قطعیت مدل در مقایسه با حالت دوم بیشتر است که نشان دهنده تأثیر گذاری دقت ضریب زبری مانینگ به عنوان داده ورودی در این منبع عدم قطعیت است. در حالت دوم خطای PI به نسبت نقاط دیگر بسیار بیشتر است که آن را می‌توان به عنوان داده‌ی پرت تلقی کرد. با توجه به دو حالت می‌توان گفت که در روش CES با افزایش دقت در تخمین زبری بر اساس مشاهدات میدانی و عکس‌های منطقه عدم قطعیت ساختاری مدل کاهش محسوسی پیدا می‌کند. همچنین در روش پیشنهادی با افزایش دقت در تخمین زبری مانینگ، کاهش خطای مدل قابل مشاهده است. در ادامه به بررسی عدم قطعیت ناشی از تغییرات زبری پرداخته می‌شود.

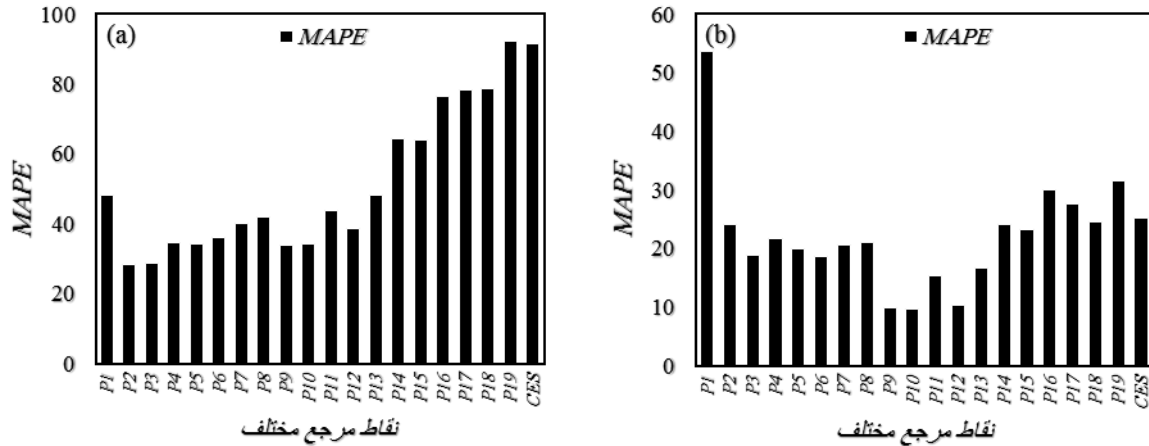
۲-۵ عدم قطعیت ناشی از تغییرات زبری

ضریب زبری مانینگ در مقطع عرضی رودخانه عددی ثابت و بدون تغییر در زمان فرض می‌شود. همچنین بعضی اوقات این ضریب در بستر و سیلاب‌دشت برابر در نظر گرفته می‌شود. بنابراین با توجه به اختلاف مقدار ضریب زبری در بستر و سیلاب‌دشت و همچنین تغییرات آن بر اثر عواملی چون رشد گیاهان و تغییرات پوشش گیاهی می‌توان ضرایب زبری را بصورت غیر ثابت و بصورت بازه‌ای از اعداد در نظر گرفت. به همین ترتیب می‌توان دبی را با هر یک از ضرایب زبری در این بازه مورد بررسی قرار داد که در این مطالعه با در نظر گرفتن مقادیر حداقل و حداکثر بازه‌ی تغییرات زبری دبی با کمک رابطه‌ی پیشنهادی دبی-اشل تخمین زده می‌شود.



شکل ۴- مقایسه بین روش‌های محاسبه خطا در نقاط مشاهداتی مختلف و مدل CES ناشی از عدم قطعیت برونمایی در (a,b) حالت اول و (c,d) حالت دوم.

اختلاف بین دبی تخمینی از روابط پیشنهادی و داده‌های مشاهداتی با استفاده از رابطه‌ی آماری محاسبه خطا (MAPE) محاسبه می‌شود که در شکل ۵ نتایج نمایش داده می‌شود. در حالت اول به دلیل عدم قطعیت بیشتر در تخمین ضریب زبری مانینگ، خطای بیشتری در تخمین دبی مشاهده می‌شود. کاهش خطا در حالت دوم نشان دهنده‌ی اهمیت تأثیر دقت ضریب زبری مانینگ در تخمین رابطه‌ی دبی-اشل است. همانطور که مشاهده می‌شود خطا در سطوح مرجع میانی به نسبت نقاط مشاهداتی مرجع در ترازهای بالاتر کمتر است. بنابراین با استفاده از نقاط مرجع مشاهداتی میانی می‌توان خطای کمتری را در تخمین دبی انتظار داشت.



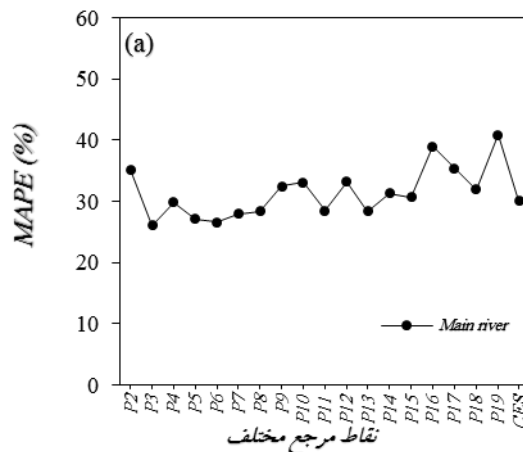
شکل ۵- مقایسه بین عدم قطعیت زبری. (a) حالت اول و (b) حالت دوم

۳-۵ محاسبه عدم قطعیت کلی

با توجه به منابع عدم قطعیت در این مطالعه، به محاسبه عدم قطعیت کلی منحنی دبی-اشل پرداخته می‌شود. این مقدار از رابطه (۹) بدست می‌آید:

$$|\varepsilon_2(Q_r)| = |\varepsilon_{2.1}(Q_r)| + |\varepsilon_{2.2}(Q_r)| \quad (9)$$

که $|\varepsilon_{2.1}(Q_r)|$ خطای ناشی از مدل و $|\varepsilon_{2.2}(Q_r)|$ خطای ناشی از تغییرات ضریب زبری مانینگ بر اثر عواملی چون تغییرات پوشش گیاهی در فصول مختلف و فرسایش و رسوبگذاری و همچنین در دسترس نبودن اطلاعات کافی می‌باشد. در این رابطه چون اطلاعاتی از علامت خطاها در دسترس نیست بدترین وضعیت را در نظر گرفته و فرض می‌شود که علامت خطاها موافق یکدیگر است. در مورد خطای ناشی از تغییرات ضریب زبری، مقداری را که بیشترین خطا بر تخمین دبی اعمال می‌کند، در محاسبات لحاظ می‌شود. در شکل ۶ عدم قطعیت کلی برای تمامی نقاط مرجع مشاهداتی ترسیم شده است.



شکل ۶- عدم قطعیت کلی بر اساس نقاط مرجع متفاوت در رودخانه مین

همانطور که مشاهده می‌شود عدم قطعیت کلی مدل بر اساس نقاط مشاهداتی ابتدا و انتها در برابر نقاط میانی از عدم قطعیت بیشتری برخوردار است. میانگین عدم قطعیت کلی رابطه دبی-اشل پیشنهادی در رودخانه مین برابر ۳۵ درصد می‌باشد. این خطا شامل ترکیب دو خطای ساختاری مدل و زبری می‌باشد.

۶- نتیجه گیری

رابطه‌ی دبی‌اشل یکی از ورودی‌های مهم در مدل‌سازی هیدرولیکی به‌شمار می‌آید و برای پیش‌بینی سیلاب، تحلیل فرکانس سیل و مدیریت منابع آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به اهمیتی که این رابطه دارد دقت در تخمین آن از اهمیت زیادی برخوردار می‌شود. تحلیل عدم قطعیت بر روی مدل‌های هیدرولوژیکی در سال‌های اخیر از اهمیت زیادی برخوردار شده است. در این مطالعه با در نظر گرفتن رابطه‌ی دبی‌اشل پیشنهادی مغربی تأثیر عدم قطعیت در تخمین دبی بررسی و خطای ناشی از آن اندازه‌گیری شد.

برای تعیین مقدار دقیق ضریب زبری مانینگ رابطه‌ی فیزیکی وجود ندارد و وجود خطا در تخمین مقدار آن اجتناب ناپذیر است. وجود این منبع خطا باعث تخمین نادرست دبی از منحنی دبی‌اشل می‌شود. بنابراین با در اختیار داشتن دامنه‌ی تغییرات ضریب زبری می‌توان میزان خطای احتمالی در تخمین دبی را محاسبه نمود. هر چقدر این اطلاعات دقیق‌تر باشد خطای تحمیل شده در تخمین دبی کاهش می‌یابد. به‌عنوان مثال در رودخانه‌ی مین در کشور ایرلند، نشان داده می‌شود که افزایش دقت در تعیین ضریب زبری مانینگ با توجه به مشاهدات میدانی و عکس‌های منطقه‌ی مطالعاتی موجب کاهش در خطای تخمین دبی از منحنی دبی‌اشل شده است. همچنین با مقایسه‌ی نتایج رودخانه‌ی مین نشان داد شد که میانگین مجموع خطای ناشی از مدل و تغییرات زبری در حدود ۳۵ درصد است. چنانچه مدل بر مبنای نقاط مشاهداتی مرجع میانی تخمین زده شود خطای کمتری نسبت به مدل بر مبنای نقطه‌ی مرجع ابتدا و انتها بر مدل تحمیل می‌شود. نتایج این پژوهش به اندازه‌ی زیادی به کیفیت اندازه‌گیری مستقیم دبی و تراز و مقدار ضریب زبری در زمان اندازه‌گیری بستگی دارد.

مراجع

1. Di Baldassarre, G., & Montanari, A. (2009). Uncertainty in river discharge observations: a quantitative analysis. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13(6), 913.
2. Maghrebi, M. F., Ahmadi, A., Attari, M., & Maghrebi, R. F. (2016). New method for estimation of stage-discharge curves in natural rivers. *Flow Measurement and Instrumentation*, 52, 67-76.
3. Maghrebi, M. F., & Ahmadi, A. (2017). Stage-discharge prediction in natural rivers using an innovative approach. *Journal of hydrology*, 545, 172-181.
4. Maghrebi, M. F., Kavousizadeh, A., Maghrebi, R. F., & Ahmadi, A. (2017). Stage-discharge estimation in straight compound channels using isovel contours. *Hydrological Processes*.
5. Arash, A., Kavousi Zade, A., & Faghfour Maghrebi, M. (2017, April). Setting-up rating curves in natural rivers using an efficient method. In *3rd International Conference on the Status and Future of the World's Large Rivers*.
6. Shiono, K., & Knight, D. W. (1991). Turbulent open-channel flows with variable depth across the channel. *Journal of Fluid Mechanics*, 222, 617-646.
7. Knight, D. W., MC Gahey, C., Lamb, R., Samuels, P. G. (2010). *Practical channel hydraulics: Roughness, conveyance and afflux*. CRC Press.