

مدل سازی ریاضی عدم قطعیت در مقاطع عرضی رودخانه بر پارامترهای هیدرودینامیک جریان در حالت ماندگار

- راضیه ولیزاده^۱، مهدی مظاهری^{۲*}، جمال محمد ولی سامانی^۳
- ۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
- ۲- دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
- ۳- استاد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

پست الکترونیکی نویسندگان:

۱- r.valizadeh@modares.ac.ir

۲- m.mazaheri@modares.ac.ir

۳- samani_j@modares.ac.ir

چکیده:

با توجه به رشد کاربرد مدل سازی آب‌های سطحی، یکی از مسائل مهم در فرآیند مدل سازی، شناسایی منابع عدم قطعیت می‌باشد. به منظور تحلیل عدم قطعیت مشخصات هندسی رودخانه بر مدل هیدرودینامیک در حالت جریان ماندگار، عدم قطعیت مقاطع رودخانه برای یک مثال فرضی و یک رودخانه واقعی بررسی شد و با در نظر گرفتن خطاهای ۵٪، ۱۰٪ و ۲۰٪ در نقاط برداشت شده و خطاهای ۶٪، ۳٪ و ۰ در کل مقطع، ۱۵ سناریو برای تولید مقاطع تصادفی جدید یک بار به وسیله توزیع نرمال و بار دیگر بار به وسیله توزیع یکنواخت تعریف شدند. در این پژوهش مشخص می‌شود که در صورت احصاء مقاطع عرضی رودخانه از نقشه برداری یا تصاویر ماهواره‌ای یا هر تکنیک دیگر، چه میزان خطا در این مقاطع، چه خطایی را در نهایت در متغیرهای جریان در بر خواهد داشت. نتایج حاصل از بررسی دو نوع خطای سیستماتیک و تصادفی نشان داد که تغییر خطای سیستماتیک بر خروجی مدل عدم قطعیتی را تحمیل نمی‌کند. در حالی که با افزایش عدم قطعیت مشخصات هندسی رودخانه حاصل از خطای تصادفی، عدم قطعیت مشخصه‌های جریان افزایش می‌یابد.

واژگان کلیدی:

مونت کارلو، توزیع نرمال، توزیع یکنواخت، مقاطع عرضی رودخانه.

* مهدی مظاهری، دانشیار دانشکده کشاورزی - دانشگاه تربیت مدرس.
ایمیل: m.mazaheri@modares.ac.ir (نویسنده مسئول مقاله)

R. Valizadeh ^۱, M. Mazaheri ^۲, J. Mohammad Vali Samani ^۳

- ۱- Ph.D Student of Water Engineering and Management of Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
- ۲- Associate Prof, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
- ۳- Professor, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Abstract:

In order to analyze the uncertainty of the geometric characteristics of the river on the hydrodynamic model, the uncertainty of the river cross-sections was investigated for a hypothetical example and a real river. Accordingly, taking into account ۵%, ۱۰% and ۲۰% errors in the harvested points and $\pm 5\%$, $\pm 10\%$ and $\pm 20\%$ errors in the entire section, ۱۵ scenarios were defined for generating new cross-sections. In order to investigate the effect of the selected distribution in generating random points on the output results, the random points of each section in each of the proposed scenarios were generated once by normal distribution and once again by uniform distribution. Five statistical indicators were used in river analysis mode and section by section analysis to analyze the two characteristics of the flow output, i.e. velocity and cross-sectional area. The results indicate that with the increase of the error in picking the points of each cross-section, the thickness of the ۹۵% confidence interval, the coefficient of variation, the dispersion index and the result of dividing the actual value of each characteristic by the deviation from the criterion of that characteristic in different repetitions for both river and cross-sectional conditions increases. This is despite the fact that increasing the error of the entire section does not change much in the output of the results. By comparing the results of the two mentioned distributions, the uncertainty indices in the scenarios implemented with a uniform distribution show more dispersion. The result of dividing the thickness of the ۹۵% confidence interval by the standard deviation of the data in each scenario in both distributions is also around a constant axis with little fluctuation in change. The results of the investigation of two types of systematic and random errors showed that the change of systematic error does not impose uncertainty on the output of the model. Also, in the case of normal error distribution, with the increase of the percentage of error, the statistical indicators change in such a way that the statistical indicators do not undergo unacceptable fluctuations up to the ۲۰% error that was investigated in this study.

Keywords: Monte Carlo, Normal Distribution, Uniform Distribution, River Cross Sections

۱ - مقدمه و تاریخچه تحقیقات

یکی از چالش‌های مهم پیش‌روی شناسایی مشخصات جریان در رودخانه‌ها، وجود عدم قطعیت‌ها در پارامترهای ورودی و خروجی است. از جمله این عدم قطعیت‌ها می‌توان به عدم قطعیت موجود در مشخصات هندسی رودخانه اشاره کرد که همواره به عنوان یکی از پارامترهای مؤثر در مدل‌سازی جهت اندازه‌گیری دبی، سطح مقطع و میزان اختلاط آلاینده در رودخانه‌ها مورد توجه محققین بوده است. در تعیین پارامترهای هندسی همواره روش‌های نقشه‌برداری میدانی دقیق‌ترین روش‌ها هستند و عدم قطعیت کمتری نسبت به سایر روش‌ها از جمله استفاده از تصاویر ماهواره‌ای دارند. اجرای عملیات نقشه‌برداری در مناطق کوهستانی بدلیل صعب‌العبور بودن امکان‌پذیر نیست و یا با هزینه عملیاتی زیادی همراه است. همچنین رودخانه‌ها تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله خصوصیات زمین‌شناسی منطقه و شرایط هیدرولیکی جریان دارای تغییرپذیری هستند. عوامل فوق باعث می‌شوند که مشخصات هندسی رودخانه به‌طور مداوم دستخوش تغییرات شود در نتیجه داده‌های حاصل از نقشه‌برداری مستقیم در طولانی مدت قابل استفاده نیستند. بنابراین انجام تحقیقات گسترده در زمینه‌ای که عدم قطعیت مشخصات هندسی رودخانه را در مدل هیدرودینامیک تحلیل کند ضروری به نظر می‌رسد.

منظور از عدم قطعیت، میزان خطا در اندازه‌گیری یا برآورد یک پارامتر بوده که می‌تواند تحت تأثیر عوامل مختلفی از قبیل خطای انسانی، خطای دستگاه‌های اندازه‌گیری یا خطای روش‌های مورد استفاده در اندازه‌گیری باشد و به عنوان رخداد پدیده‌هایی که خارج از کنترل انسان است تعریف می‌گردد [۱]. به‌طور کلی، عدم قطعیت‌ها از خطاهای اندازه‌گیری مرتبط با ورودی سیستم، مشکلات ساختاری مدل به دلیل فرضیات و ساده‌سازی و تقریب در تعیین پارامترها ناشی می‌شوند [۲]. عدم قطعیت‌های طبیعی، عدم قطعیت مربوط به مدل، فراسنجه‌ها و داده‌های ورودی آن و عدم قطعیت‌های عملکردی از جمله منابع مولد عدم قطعیت در مدل‌های مذکور هستند [۳] و

[۴]. اندازه‌گیری مستقیم پارامترها معمولاً کاری فشرده، زمان‌بر و پرهزینه است که منجر به عدم قطعیت در سیستم‌های مدل‌سازی می‌شود [۵]. ممکن است حتی در مدل‌های خیلی پیچیده با واسنجی مطلوب، اطلاعات ورودی مدل نیز دارای عدم قطعیت باشد [۶]؛ بنابراین مسأله‌ی عدم قطعیت یکی از مهم‌ترین بازدارنده‌ها در کاربرد نتایج مدل‌سازی در مسائل واقعی است و کمی‌سازی عدم قطعیت پیش‌بینی نتایج هر مدل‌سازی با توجه به اهداف خاص آن ضروری است [۷].

روش‌های متعددی جهت به کمیت درآوردن عدم قطعیت موجود در شبیه‌سازی وجود دارد که از جمله آن می‌توان به روش‌های آماری و روش‌های مبتنی بر شبیه‌سازی مونت کارلو^۱ و نمونه‌گیری تصادفی [۸]، برآورد عدم قطعیت با نمونه‌گیری بازگشتی [۹]، تحلیل عدم قطعیت مبتنی بر نظریه اطلاعات بیزین^۲ [۷]، الگوریتم مونت کارلو زنجیر مارکوف^۳ [۱۰]، روش گشتاور دوم مرتبه اول پیرامون میانگین ($MFOSM^4$) [۱۱] و روش عمومی عدم قطعیت همانندی [۱۲] اشاره کرد. انتخاب هر کدام از روش‌های مذکور به ماهیت موضوع مورد نظر، از جمله در دسترس بودن اطلاعات، پیچیدگی مدل، نوع و دقت نتایج مورد نظر بستگی دارد. روش مونت کارلو یک روش عمومی تحلیل عدم قطعیت محسوب می‌شود و فرضیات کمتری نسبت به سایر روش‌ها دارد. در این روش، مقادیر تصادفی هر یک از متغیرهای غیرقطعی با توجه به توزیع‌های احتمالاتی مربوط به آن‌ها تولید می‌شوند و مدل چندین بار با مجموعه‌های مختلف متغیرهای ورودی اجرا می‌گردد. در پژوهش دیمیتریادیس و همکاران^۵ [۱۳] حساسیت عمق آب و حجم سیلاب در برابر متغیرهای دبی جریان، شیب‌های طولی و عرضی، زبری و اندازه سلول شبکه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که به‌طور کلی، عدم قطعیت حجم سیلاب با افزایش دبی، شیب طولی و زبری کانال کاهش می‌یابد. مطالعات آپل و همکاران^۶ [۱۴] و بوزی و همکاران^۷ [۱۵] نیز به ترتیب به منظور کمی کردن عدم قطعیت پارامتر در رابطه دبی-

^۵. Dimitriadis et al.

^۶. Apel et al.

^۷. Bozzi et al

^۱. Monte Carlo simulation

^۲. Bayesian information-theoretic

^۳. Markov chain Monte Carlo simulation

^۴. Mean First-Order Second-Moment

اشل و بررسی عدم قطعیت زبری و دبی بر محاسبات تراز سطح آب در چارچوب مونت کارلو صورت گرفته است.

از روش‌های دیگر محاسبه عدم قطعیت می‌توان روش LHS^1 ، $GLUE^2$ ، هار و... را نام برد. در روش LHS این روش نمونه‌ها و اجراهای کامپیوتری کمتری نیاز است تا بتوان به درجه‌ای از دقت که قابل مقایسه با نمونه‌گیری تصادفی از پارامترهای ورودی باشد، دست یافت [۱۶]. از مطالعات صورت گرفته به روش فوق می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: وول^۳ [۱۷] مطالعاتی در زمینه‌ی عدم قطعیت دبی در ارتباط با ضریب زبری انجام داد و نتیجه گرفت روش تخمین دبی با مدل *Step-Backwater* بهتر و کم‌خطرات از روش‌های غیر مستقیم برآورد دبی می‌باشد. محمدزاده و همکاران [۱۸] با استفاده از اطلاعات هندسی و هیدرولیکی مقطع رودخانه رابطه دبی-اشل را محاسبه نمودند. یکی از این اطلاعات ضریب زبری مانینگ است که برای محاسبه‌ی این ضریب رابطه‌ی دقیقی وجود ندارد و بنا بر تجربه‌ی شخصی و جداول مرجع تخمین‌زده می‌شود. نتایج مطالعات نشان داد که هر چه دقت تعیین ضریب زبری به عنوان پارامتر ورودی بیشتر باشد، عدم قطعیت در تخمین دبی کاهش خواهد یافت. جفری و همکاران^۴ [۱۹] به مطالعه ترکیب مؤثر عدم قطعیت هندسه مقطع کانال در مدل‌های طغیان سیل در مقیاس منطقه‌ای و جهانی پرداختند. هدف ایجاد یک متغیر پیوسته است که می‌تواند برای نشان دادن تنوع شکل کانال ساده نزدیک مثلث و نزدیک مستطیل استفاده شود. این مطالعه رویکرد یک ساختار مدل انعطاف‌پذیر را ارائه می‌دهد که می‌تواند کانال‌های مختلف را آزمایش کند. مدل هندسه جدید با استفاده از یک آزمون آزمایشی ساده بر اساس یک کانال مستقیم با خواص کانال و هندسه‌های ثابت قابل تأیید بود که می‌تواند به صورت تحلیلی برای کانال‌های مثلثی و سهمی حل شود. گریمالدی و همکاران^۵ [۲۰] به مطالعه اثر هندسه رودخانه در مدل‌های هیدرولیکی پیش‌بینی سیل پرداختند. این مطالعه روشی را برای نشان دادن هندسه رودخانه با استفاده از زمان و هزینه محدود ایجاد کرد. شبیه‌سازی مدل بر اساس هندسه ساده رودخانه با استفاده از

ترکیبی از فرمول‌های تجربی موجود در سطح جهان، داده‌های سنجش از دور و تعداد محدودی از اندازه‌گیری‌ها انجام شد و نتایج قابل قبولی به دست آمد. بهروز و همکاران [۲۱] به تحلیل حساسیت عدم قطعیت‌های هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و اقتصادی در طراحی سیستم‌های کنترل سیلاب پرداختند. جهت تحلیل عدم قطعیت‌ها در این مطالعه از روش مونت کارلو استفاده شد. هوانگ و همکاران^۶ [۲۲] به مطالعه عدم قطعیت در شکل هیدروگراف سیل، پیش‌بینی سیل، ظرفیت دبی مخازن، منحنی‌های ذخیره سطح آب و تأثیر موج باد در حین عملیات کنترل مخزن سیل پرداختند. این مطالعه با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های متعدد، ارزیابی جامعی از خطر سیل در طول عملیات کنترل مخزن سیل با استفاده از روش LHS ارائه می‌دهد.

روش $GLUE$ تخمین عدم قطعیت تشابهات عمومی یکی از روش‌های متداول در تحلیل عدم قطعیت پارامترها در مدل‌سازی‌ها است که بیون و باینلی آن را پیشنهاد کردند که در آن شبیه‌سازی مونت کارلو و تئوری بیز تلفیق شده بود [۲۳]. در روش $GLUE$ عدم قطعیت در همه اجزای مدل (ورودی‌ها، پارامترها، متغیرهای حالت و غیره) به صورت یک جا در نظر گرفته می‌شود، درحالی‌که در برخی روش‌ها، عدم قطعیت اجزای مختلف مدل، به صورت مجزا برآورد می‌شود. تجزیه و تحلیل روش عدم قطعیت $GLUE$ در مطالعه نرگوری و همکاران^۷ [۲۴] نشان می‌دهد که توزیع پارامترهای شبیه‌سازی $GLUE$ نه تنها به انتخاب مقادیر آستانه بستگی دارد، بلکه به کیفیت تخمین‌های بارندگی و خود پارامتر نیز بستگی دارد و هر عاملی که بر کیفیت تخمین داده‌های بارندگی تأثیر می‌گذارد، بر عدم قطعیت پارامتر و در نتیجه شبیه‌سازی دبی تأثیر خواهد داشت. بررسی کارایی تحلیل عدم قطعیت ضریب‌های مدل شبه دویعدی توزیع سرعت و تنش برشی در رودخانه‌ها [۲۵]، ضریب‌های نفوذ در مدل‌سازی حرکت آب در خاک [۲۶]، تحلیل بیزین عدم قطعیت تراز سطح آب در رودخانه‌ها [۲۷] و عدم قطعیت اندازه‌گیری دبی و منحنی دبی-اشل رودخانه‌ها [۲۸] از جمله مواردی است که نشان دهنده کاربرد موفق تحلیل عدم قطعیت نتایج مدل‌های هیدرولیکی

^۵. Grimaldi et al.

^۶. Huang et al.

^۷. Nergui et al.

^۱. Latin hypercube sampling

^۲. Generalized Likelihood Uncertainty Estimation

^۳. Wohl

^۴. Jeffrey et al.

در مهندسی رودخانه است. همانطور که گفته شد منابع مولد عدم قطعیت باعث ایجاد ابهام، کاهش دقت و کاهش قابلیت اطمینان در تفسیر نتایج می‌شود. برآورد مطمئن ویژگی‌های هیدرولیکی جریان در رودخانه‌ها و کسب دانش دقیق از عدم قطعیت‌های موجود در نتایج مدل‌های هیدرولیکی در بررسی‌های مهندسی رودخانه، ساماندهی رودخانه‌ها، مدیریت سیلاب و مدیریت ظرفیت انتقال رودخانه‌ها اهمیت بارزی دارد [۲۹] و [۲۲]. ادغام تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان در طراحی سازه‌های هیدرولیکی می‌تواند پیشی در مورد استراتژی‌های مدیریتی ارائه دهد که ممکن است حالت‌های بالقوه شکست، عدم قطعیت‌ها و خطرات مربوطه را در نظر بگیرد [۳۰].

تاکنون بررسی‌های گسترده‌ای در زمینه واسنجی، صحت سنجی و ارزیابی عملکرد مدل‌های هیدرولیکی در تحلیل جریان رودخانه‌ها انجام شده‌است [۳۱] و [۳۲]. صحت مدل‌سازی و سودمندی این بررسی‌ها به دقت اندازه‌گیری‌های میدانی و واسنجی مدل هیدرولیکی بستگی دارد [۲۶]. بنابر این لازم است در تحلیل نتایج مدل‌های هیدرولیکی، عدم قطعیت نتایج در نتیجه فراسنجه‌های مدل‌سازی بررسی شود.

با توجه به مطالعات صورت گرفته تا کنون مطالعه‌ای که به‌طور خاص عدم قطعیت مشخصات هندسی رودخانه را بررسی کند انجام نشده‌است. در این پژوهش با استفاده از روش مونت کارلو با تعیین توزیع مناسب به بررسی عدم قطعیت مشخصات هندسی رودخانه بر دو مشخصه اصلی جریان یعنی سرعت و سطح مقطع با در نظر گرفتن خطا در برداشت هر نقطه از مقطع و لحاظ خطای کل مقطع پرداخته شده‌است. خطاهای تصادفی منجر به اندازه‌گیری‌هایی می‌شوند که به روشی غیرقابل پیش‌بینی نادقیق هستند و نتیجه گیری‌های کمتر قطعی را در پی دارد. علاوه بر وجود خطاهای تصادفی توجه به امکان بروز خطاهای سیستماتیک نیز ضروری به نظر می‌رسد. در این پژوهش با در نظر گرفتن دو خطای تصادفی و سیستماتیک در برداشت مشخصات هندسی مقطع، به تحلیل مشخصه‌های جریان ماندگار پرداخته شده‌است. دقت شود که در

رودخانه‌های دائمی، جریان غلب در رودخانه‌ها، عمدتاً بلندگار یا حداقل شبه‌ماندگار است. شبه‌ماندگار بدین معناست که با وجود دبی پایه در رودخانه‌ها، تغییرات زمانی سطح آب و دبی در مقاطع مختلف رودخانه کم بوده و می‌توان از آن صرف‌نظر نمود. جریان غیرماندگار کامل در زمان سیلاب، آپریشن ناگهانی سدها و نظایر آنها رخ می‌دهد. از آنجایی که هدف بررسی عدم قطعیت مقاطع است، این امر به نوعی با ترازها و دبی‌های مختلف در مقاطع اتفاق می‌افتد. در جریان‌های غیرماندگار نیز اتفاق مشابهی رخ می‌دهد. از آنجایی که در این تحقیق، تحلیل جریان بلندگار با دبی و ترازهای مختلف آب انجام شده‌است، تغییرات سطح آب و دبی در هر بار در مقطع لحاظ شده و به نوعی این عدم قطعیت لحاظ می‌شود و مشابه جریان غیرماندگار خواهد بود. با این روش ساده‌سازی چشم‌گیری انجام می‌شود و پیچیدگی‌های مربوط به جریان غیرماندگار مانند حل معادلات سنت-ونانت و پیچیدگی‌های مربوطه، تنوع شرایط مرزی و اولیه و تفکیک اثرات آنها در عدم قطعیت نهایی و امثال آن، وجود نخواهد داشت.

بروز خطای سیستماتیک عدم قطعیت یکسانی را به مدل القا می‌کند درحالی که خطاهای تصادفی برای هر یک از نقاط برداشت شده دارای مقدار متغیری خواهد بود. تحلیل عدم قطعیت مشخصات هندسی رودخانه بر خروجی مدل هیدرودینامیک می‌تواند منجر شود که با دقت کمتری در تخمین مشخصات هندسی رودخانه بتوان به نتایج مطلوب دست یافت. در این پژوهش به بررسی دو نوع خطای همزمان سیستماتیک و تصادفی با دو تابع احتمال مختلف در بررسی عدم قطعیت مشخصات هندسی رودخانه در حل مدل‌های هیدرودینامیک پرداخته شده‌است. نکته قابل توجه در این پژوهش علاوه بر نکات ذکر شده این است که عدم قطعیت هم به‌صورت نقطه‌ای و هم به‌صورت مقطعی بررسی شده‌است. به آن معنا که در هر مقطع، خطا در برداشت هر نقطه (X, Z) می‌تواند یک عامل مستقل تولید عدم قطعیت باشد. جدا از در نظر گرفتن نقاط هر مقطع به‌عنوان مولدهای عدم قطعیت، عدم قطعیت کلی مقطع هم به‌عنوان عاملی از ΔZ_{max} آن مقطع در نظر گرفته شده‌است.

۲ - مبانی تئوری و روش‌ها

در رابطه فوق Q دبی جریان، A سطح مقطع و R شعاع هیدرولیکی می‌باشد. با حل معادلات فوق و با در نظر گرفتن مقدار ثابت دبی، مشخصات جریان در هر مقطع تعیین می‌گردد. در هر مرحله با تولید نقاط تصادفی، مقاطع تصادفی ساخته می‌شوند و از کنار هم قرار گرفتن این مقاطع، رودخانه‌های تصادفی جدید تشکیل خواهند شد. این بدین معناست که هر بار مشخصات هندسی تصادفی جدیدی وارد معادلات فوق می‌شوند و در هر مرحله با توجه به مشخصات هندسی جدید، خروجی‌های جریان محاسبه خواهد شد.

۲-۲- تعیین تابع توزیع احتمال جهت تولید مقاطع تصادفی

در روش‌های تحلیل عدم قطعیت استفاده از تابع توزیع احتمال مناسب، اهمیت بسیار ویژه‌ای در تسریع جواب دارد. مهمترین عامل مؤثر در کیفیت نتایج شبیه‌سازی، مناسب بودن تابع توزیع احتمال برای پارامترهای تصادفی است [۳۴]. انتخاب تابع چگالی احتمال تنها برای به دست آوردن نمونه پارامترها از فضای پارامتری مربوط اهمیت دارد [۳۵]. پس از تعیین تابع توزیع احتمال مناسب، مشخصات هندسی رودخانه به‌طور تصادفی تولید می‌شوند. به دلیل تبعیت خطای پدیده‌های طبیعی از توزیع نرمال، فضای پارامتری یک بار با استفاده از این توزیع و جهت بررسی اثر توزیع انتخابی بر عدم قطعیت‌های خروجی یک بار با استفاده از توزیع یکنواخت ایجاد شد.

۲-۳- تحلیل عدم قطعیت مشخصات هندسی رودخانه با

استفاده از روش مونت کارلو

تحلیل عدم قطعیت نیازمند شناسایی منابع مولد عدم قطعیت و تحلیل آماری آن‌ها به منظور دستیابی به نمونه‌های تصادفی با شمار زیاد است [۳۶]. در این پژوهش منابع عدم قطعیت برآورد مشخصات هندسی رودخانه، نقاط (X, Z) هستند که دقت در برداشت آن‌ها با دقت نقشه‌بردار، روش نقشه‌برداری و... ارتباط مستقیم دارد. نقاط (X, Z) می‌توانند در هر نقطه از محدوده باند عدم قطعیت وجود داشته باشند، بنابراین انتخاب تصادفی آن‌ها می‌تواند مقطع جدیدی با مشخصات هندسی جدید را تولید کنند. این نقاط با توجه به توزیع‌های احتمالاتی عنوان شده از باند عدم قطعیت به صورت تصادفی انتخاب شدند. اساس کار روش‌های تحلیل عدم قطعیت، نمایش ترکیبات تصادفی با تولید آن‌ها با توجه به حالات ممکن از عدم قطعیت‌هایی است که در یک مطالعه رخ می‌دهد. بنابراین با انتخاب نقاط تصادفی از باند عدم قطعیت مقاطع جدید رودخانه بارها تولید و سپس متناظر با هریک از مقاطع تولید شده مشخصات

همان‌طور که عنوان گردید، تا کنون پژوهشی در خصوص تحلیل عدم قطعیت مقاطع رودخانه بر مدل هیدرودینامیک انجام نشده‌است. در این پژوهش اثر تغییر شکل مقاطع رودخانه بر مشخصات جریان در حالت ماندگار با استفاده از شاخص‌های آماری محدوده اطمینان ۹۵٪، ضریب تغییرات، ضریب پخشیدگی، نسبت ضخامت محدوده اطمینان ۹۵٪ بر مقدار واقعی داده‌ها و ضخامت محدوده اطمینان ۹۵٪ بر انحراف از معیار داده‌ها در دو مثال از یک رودخانه فرضی و یک رودخانه واقعی مورد تحلیل و مقایسه قرار گرفت.

۲-۱- حل معادلات حاکم بر جریان ماندگار

انواع جریان در کانال‌های روباز به دو گروه جریان ماندگار و غیرماندگار تقسیم می‌شود. در جریان ماندگار در یک نقطه از مسیر، جریان با گذشت زمان تغییر نمی‌کند و در جریان غیرماندگار عکس این موضوع اتفاق می‌افتد. اساس معادله‌ی حاکم بر جریان ماندگار معادله‌ی انرژی در دو مقطع متوالی است. انرژی در هر مقطع از رودخانه مطابق رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$E = y \cos^2 \theta + Z + \alpha \frac{Q^2}{A^2 2g} \quad (1)$$

در معادله فوق، E انرژی مقطع، y عمق آب در مقطع، θ زاویه شیب کانال، Z اختلاف ارتفاع از سطح مبنا، Q دبی جریان، A سطح مقطع جریان، g شتاب گرانش و α ضریب تصحیح انرژی جنبشی می‌باشد.

اگر دو مقطع متوالی از یک رودخانه در نظر گرفته شود، جریان با عبور از مقطع (۱) و رسیدن به مقطع (۲) دچار افت انرژی خواهد شد. معادله حاکم بین این دو مقطع معادله (۲) خواهد بود. مقدار افت انرژی نیز از معادله (۳) محاسبه خواهد شد [۳۳].

$$y_1 \cos^2 \theta + Z_1 + \alpha_1 \frac{Q^2}{A_1^2 2g} - h_f = y_2 \cos^2 \theta + Z_2 + \alpha_2 \frac{Q^2}{A_2^2 2g} \quad (2)$$

$$h_f = S_f L \quad (3)$$

در معادله فوق h_f افت انرژی است. L فاصله بین دو مقطع متوالی و S_f شیب خط انرژی است که از معادله مانینگ (رابطه ۴) محاسبه می‌شود.

$$Q = \frac{A}{n} R^{\frac{2}{3}} S_f^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

هندسی محاسبه و وارد مدل هیدرودینامیک شدند. این عمل بارها تکرار و منتج به ایجاد تعداد زیادی نتیجه مستقل و جداگانه گشت. در این مطالعه نقاط (X, Z) در هر مقطع با 0.5% ، 1.0% و 2.0% خطا و کل مقطع با $0.6\% \pm$ ، $0.3\% \pm$ و 0 در ۱۵ سناریو برای هر کدام از دو توزیع نرمال و یکنواخت تولید شدند. روابط (۵) و (۶) نحوه تولید نقاط تصادفی جدید را نشان می‌دهد:

$$\Delta Z_{\max} = Z_{\max} - Z_{\min} \quad (5)$$

$$Z_i = Z_i \pm \alpha \Delta Z_{\max} + \beta \Delta Z_{\max} \quad (6)$$

در روابط فوق ΔZ_{\max} ماکزیمم اختلاف ارتفاع نقاط هر مقطع را محاسبه می‌کند. $\alpha \Delta Z_{\max}$ در هر مقطع برای مقادیر $0.3\% \pm$ ، $0.6\% \pm$ و 0 برای α اجرا می‌شود. در واقع α بیانگر خطای سیستماتیک مدل است و برای هر مقطع مقدار ثابتی دارد و به آن معناست که $\alpha \Delta Z_{\max}$ کل مقطع را به سمت پایین یا بالا جابجا می‌کند. β بیانگر خطای تصادفی در برداشت هر نقطه است و عدم قطعیت مستقل هر نقطه را نشان می‌دهد و برای هر نقطه از مقطع با توجه به توزیع انتخابی میزان متغیری دارد و در واقع باعث نوسان مقدار Z در هر نقطه می‌شود. در این پژوهش مقادیر β با خطاهای 0.5% ، 1.0% و 2.0% با دو توزیع نرمال و یکنواخت تولید شدند. Z_i نیز ارتفاع هر نقطه را نشان می‌دهد.

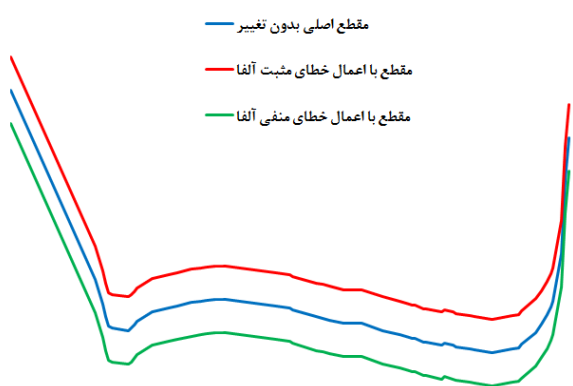
در هر سناریو تعداد زیادی مجموعه پارامتر به‌عنوان پارامترهای ورودی مدل، نمونه‌گیری شد. مدل‌سازی جریان با استفاده از مجموعه پارامترهای تولید شده اجرا و نتایج هر اجرا به‌صورت مجزا ذخیره گردید. برای تحلیل نتایج خروجی و تعیین میزان عدم قطعیت پارامترهای خروجی از پنج شاخص آماری به شرح جدول (۱) استفاده گردید.

جدول ۱: شاخص‌های آماری تحلیل عدم قطعیت

| ردیف | شاخص | رابطه |
|------|--|--|
| ۱ | محدوده اطمینان ۹۵ درصد | Confidence Interval 95% |
| ۲ | ضریب تغییرات | $CV = \frac{\sigma}{\mu}$ |
| ۳ | شاخص پراکندگی | $D = \frac{\sigma^2}{\mu}$ |
| ۴ | نسبت محدوده اطمینان ۹۵ درصد به انحراف از معیار | $BS = \frac{95\% \text{ bandwidth}}{\sigma}$ |
| ۵ | نسبت محدوده اطمینان ۹۵ درصد به مقدار اصلی | The ratio of the 95% confidence interval to the original value |

۲-۴ - گام‌های اجرا شده

در هر مقطع ΔZ_{\max} محاسبه گردید. مقدار خطای کل با در نظر گرفتن یک ضریب ثابت از ΔZ_{\max} محاسبه گردید و کلیه نقاط (X, Z) هر مقطع به یک مقدار مطابق شکل (۱) جابجا شدند. این اعمال خطا برای شش حالت با مقادیر $0.6\% \pm$ ، $0.3\% \pm$ و 0 برای α اجرا شد. پس از اعمال خطای یکسان برای همه نقاط، از هر نقطه به‌عنوان یک منبع عدم قطعیت به‌طور مجزا با استفاده از دو توزیع نرمال و یکنواخت نقاط تصادفی جدیدی به تعداد زیاد تولید شد. از تولید نقاط تصادفی هر بار یک مقطع تصادفی جدید شکل گرفت و به‌این ترتیب رودخانه‌های تصادفی تولید شدند. جدول (۲) یک مقطع تولید شده را با توزیع نرمال با درصد خطاهای مختلف α و β نشان می‌دهد.



شکل ۱: اعمال خطای α

همانطور که ذکر گردید، هدف اصلی این پژوهش بررسی عدم قطعیت مشخصات هندسی بر خروجی‌های جریان است. به همین منظور از روش ذکر شده، مقاطع تصادفی جدیدی با خطاهای مشخص تولید شد. در هر رودخانه تصادفی تولید شده، معادله انرژی برای مقاطع متوالی حل و دو مشخصه جریان یعنی سرعت و سطح مقطع برای هر کدام از مقاطع تغییر یافته محاسبه شد. این محاسبات برای ۱۵ سناریوی عنوان شده در هر یک از توزیع‌های انتخابی به تعداد زیاد اجرا شد. مشخصه‌های محاسبه شده جریان نیز با استفاده از شاخص‌های آماری ذکر شده در جدول (۱) تحلیل شد.

۲-۵ - تست کیس‌های ارائه شده از مقاطع رودخانه جهت

مدل‌سازی

در تعیین رودخانه مناسب برای مدل‌سازی این نکته حائز اهمیت است که علاوه بر اینکه مقاطع قابل اعتماد باشند، داده‌های در دسترس نیز برای طول قابل قبولی از رودخانه موجود باشد. قابل اعتماد بودن به آن معناست که مقاطع از دید مهندسی قابل پذیرش

کیس اول مقاطع ساده از یک رودخانه فرضی به طول ۱۲ کیلومتر و با تعداد ۲۸ مقطع مورد ارزیابی قرار گرفت. در کیس دوم بخشی از رودخانه کوتنای به عنوان رودخانه مورد مطالعه انتخاب شد. این رودخانه از کشور کانادا سرچشمه می‌گیرد و از دو ایالت آیداهو و مونتانا می‌گذرد و سپس به کانادا بازمی‌گردد. بازه مورد مطالعه در این مقاله در محدوده طول و عرض جغرافیایی (۳۰' -۴۸° -۲۰' ۴۸°) و (۴۵' -۱۱۵° -۲۰' ۱۱۵°) قرار دارد (شکل ۲) [۳۷]. داده‌های مقاطع این بازه به طول ۴۵ کیلومتر و ۴۵ مقطع برداشت شده‌است. طبق توضیحات بیان شده از مقاطع رودخانه کوتنای مقاطع تصادفی تولید و ارزیابی نتایج حاصل از مدل‌سازی با استفاده از شاخص‌های آماری انجام شد. فلوجارت روش مورد استفاده در این پژوهش به شرح شکل (۳) است.

بوده و شکل منطقی داشته باشند. به منظور ارزیابی و کاربرد روش تحلیل عدم قطعیت پیشنهادی، دو تست کیس ارائه شده است که در نیز عدم قطعیت مقاطع یک رودخانه واقعی به طول ۴۵ کیلومتر با تعداد ۴۵ مقطع تحلیل شد.

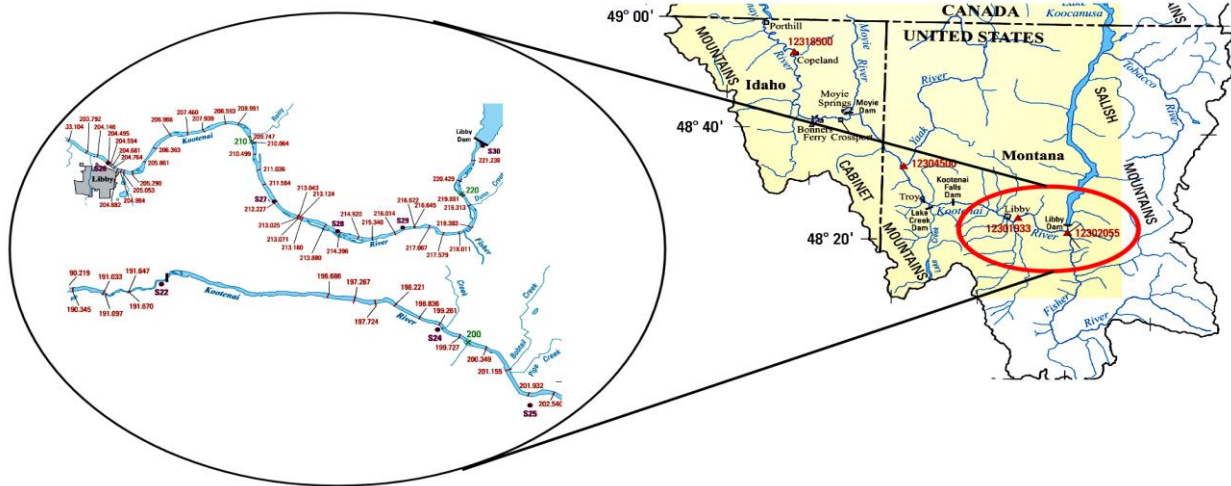
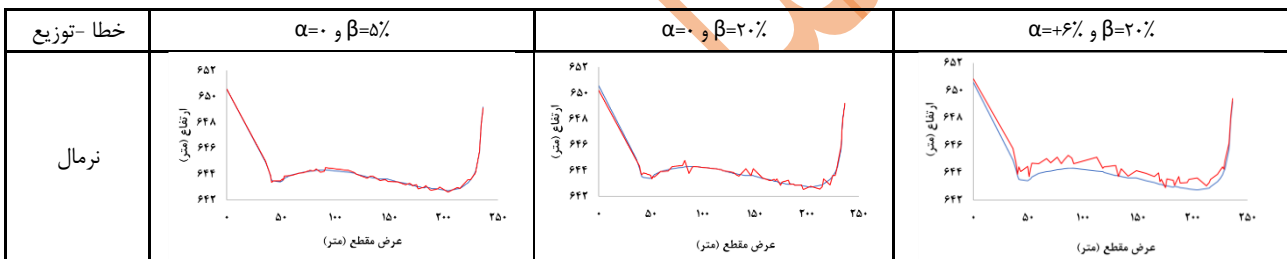
۲-۵-۱- تست کیس اول: مدل‌سازی با عدم قطعیت در مقاطع ساده یک رودخانه فرضی

برای تولید رودخانه فرضی با مقاطع منظم ۲۸ مقطع عرضی با تعداد نقاط برداشت شده مختلف تولید شد که مجموعه این مقاطع یک رودخانه فرضی به طول ۱۲ کیلومتر را تشکیل دادند.

۲-۵-۲- تست کیس دوم: مدل‌سازی با عدم قطعیت در مقاطع یک رودخانه واقعی

پس از بررسی مقاطع چند رودخانه مختلف، به منظور صحت‌سنجی مدل ارائه شده با داده‌های واقعی، در نهایت

جدول ۲: مقاطع تصادفی تولید شده با درصد خطاهای مختلف



شکل ۲: موقعیت رودخانه کوتنای

۳-۱- تحلیل عدم قطعیت تست کیس اول

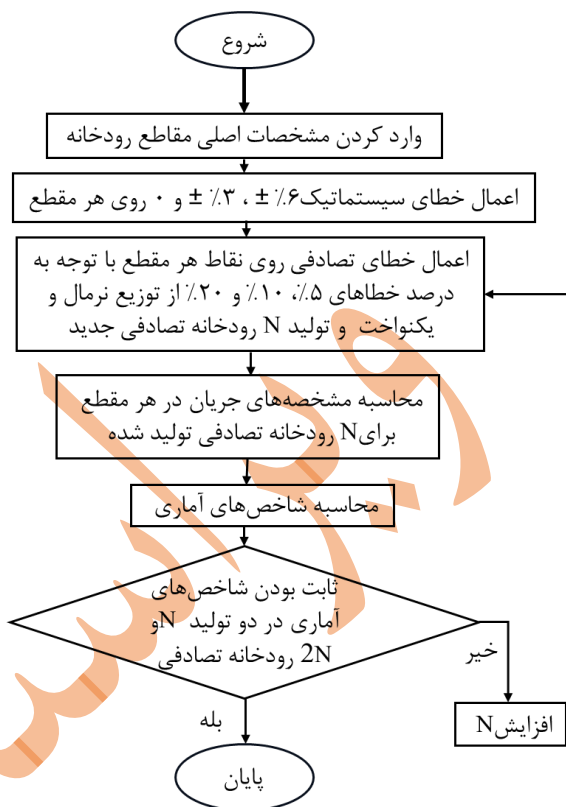
که بیان شد افزایش خطا در برداشت نقاط مقطع باعث افزایش محدوده اطمینان ۹۵ درصد خواهد شد. بدیهی است تقسیم این مقدار بر مقدار اولیه متغیر مورد مطالعه با افزایش خطا رابطه مستقیم دارد. مقایسه مقادیر این شاخص در تغییر شکل کلی مقطع با درصد تغییرات عنوان شده نشان داد نوسان کلی دره رودخانه تغییری در محاسبه این شاخص ایجاد نخواهد کرد. بررسی شاخص پراکندگی سرعت و سطح مقطع در تکرار سناریوهای مطرح شده با درصد خطاهای عنوان شده نیز نشان داد که افزایش خطا باعث افزایش این شاخص خواهد شد. با افزایش میزان خطا و در نتیجه آن افزایش ضریب تغییرات، انحراف از معیار و میانگین داده‌ها افزایش خواهد یافت. این افزایش در خطای اعمال شده توسط توزیع یکنواخت بیشتر از خطای اعمال شده توسط توزیع نرمال برآورد شده است و همانند سه شاخص بررسی شده دیگر با افزایش خطای کل رودخانه تغییری در روند آن مشاهده نشده است. شاخص دیگری که برای تحلیل کمی خروجی‌های جریان در این پژوهش استفاده شده است حاصل تقسیم ضخامت باند اطمینان ۹۵ درصد بر انحراف معیار داده‌ها در هر سناریو است. با افزایش خطا و در نتیجه آن افزایش ضخامت باند اطمینان ۹۵ درصد، بدیهی است که انحراف معیار داده‌ها نیز افزایش می‌یابد. بنابراین حاصل تقسیم ضخامت باند اطمینان ۹۵ درصد بر انحراف معیار داده‌ها در هر سناریو حول محور ثابتی با نوسان کم در تغییر است.

برای محاسبه شاخص‌های آماری در تحلیل عدم قطعیت مشخصات هندسی در حالت تحلیل رودخانه‌ای پس از اجرای مدل و محاسبه سرعت و سطح مقطع میانگین سرعت‌ها به‌عنوان سرعت رودخانه و میانگین سطوح مقطع محاسبه شد. نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های عدم قطعیت رودخانه‌ای سرعت و سطح مقطع به ترتیب به‌شرح جدول (۳) و (۴) است. تغییر ضریب تغییرات سرعت و سطح مقطع نشان دهنده آن است که افزایش خطای نقاط در هر دو توزیع موجب بروز تغییرات بیشتری در خروجی‌های جریان می‌شود. ضریب تغییرات در واقع پراکندگی داده‌ها حول میانگین را نشان می‌دهد. این آماره نشان دهنده نسبت انحراف معیار استاندارد به میانگین است. هرچه میزان ضریب تغییرات کمتر باشد، به معنی این است که پراکندگی در اطراف نقطه میانگین کمتر است و داده‌ها یکدست‌تر هستند. هرچه میزان ضریب تغییرات بالاتر باشد، نشانه‌ی پراکندگی و فاصله‌ی بیشتر داده‌ها از میانگین است. مطابق جداول (۳) و (۴) با افزایش خطا در برداشت نقاط میزان ضریب تغییرات افزایش می‌یابد. همچنین با توجه به جداول ذکر شده، مقادیر ضریب تغییرات سرعت و سطح مقطع در حالت مقطع کلی ثابت، برای هر کدام از دو توزیع بررسی شده، روند نسبتاً ثابتی را در بر گرفته است.

با توجه به جداول (۳) و (۴)، ضخامت محدوده اطمینان ۹۵ درصد سرعت و سطح مقطع با افزایش میزان خطا در برداشت نقاط افزایش یافته است. نتایج حاصل از مقایسه دو توزیع نرمال و یکنواخت در محاسبه ضخامت این باند نشان داد در مقاطعی که نقاط آنها با استفاده از خطای یکنواخت تولید شده، عدم قطعیت بیشتری وجود دارد. حال اگر درصد خطای نقاط مقاطع در هر کدام از دو توزیع بیان شده ثابت در نظر گرفته شود و خطای کل مقطع افزایش یابد، ضخامت باند عدم قطعیت سرعت و سطح مقطع برای پنج سناریو با خطاهای $\pm 0.3\%$ ، $\pm 0.6\%$ و $\pm 0.9\%$ در مقطع با در نظر گرفتن مقادیر بتای ثابت، تغییرات چندانی را نشان نمی‌دهد.

شاخص دیگری که در این پژوهش مورد ارزیابی قرار گرفته است حاصل تقسیم ضخامت محدوده اطمینان ۹۵ درصد بر مقدار اولیه حاصل از مدل‌سازی جریان با شکل اصلی مقطع می‌باشد. همانطور

شکل ۳: فلوجارت روش مورد استفاده در این پژوهش



جدول ۳: شاخص‌های عدم قطعیت رودخانه‌ای سرعت در جریان ماندگار رودخانه فرضی

| توزیع - شاخص | -۶٪ | | -۳٪ | | ۰ | | +۳٪ | | +۶٪ | | |
|--------------|--|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
| | نرمال | یکنواخت | نرمال | یکنواخت | نرمال | یکنواخت | نرمال | یکنواخت | نرمال | یکنواخت | |
| ۵٪ | ضریب تغییرات | ۰.۰۱۹ | ۰.۰۳۸ | ۰.۰۲۱ | ۰.۰۴ | ۰.۰۲ | ۰.۰۴ | ۰.۰۲ | ۰.۰۴ | ۰.۰۲ | ۰.۰۴ |
| | ضخامت محدوده اطمینان ۹۵٪ | ۰.۱ | ۰.۲ | ۰.۱ | ۰.۲ | ۰.۱۱ | ۰.۲ | ۰.۱ | ۰.۲۱ | ۰.۱ | ۰.۲۲ |
| | مقدار واقعی مشخصه/ضخامت محدوده اطمینان ۹۵٪ | ۰.۱۳ | ۰.۲۴ | ۰.۱۳ | ۰.۲۴ | ۰.۱۳ | ۰.۲۴ | ۰.۱۳ | ۰.۲۵ | ۰.۱۳ | ۰.۲۷ |
| | پراکندگی | ۰.۰۰۰۳ | ۰.۰۰۱۴ | ۰.۰۰۰۳ | ۰.۰۰۱۵ | ۰.۰۰۰۳ | ۰.۰۰۱۵ | ۰.۰۰۰۳ | ۰.۰۰۱۵ | ۰.۰۰۰۳ | ۰.۰۰۱۴ |
| | انحراف از معیار/ضخامت محدوده اطمینان ۹۵٪ | ۶.۲ | ۶.۱ | ۶ | ۶ | ۶ | ۶ | ۶.۲ | ۶ | ۶.۳۵ | ۶.۳ |
| ۱۰٪ | ضریب تغییرات | ۰.۰۴۶ | ۰.۰۸۱ | ۰.۰۴۷ | ۰.۰۸۴ | ۰.۰۴۸ | ۰.۰۸۴ | ۰.۰۴۶ | ۰.۰۸۳ | ۰.۰۴۶ | ۰.۰۸ |
| | ضخامت محدوده اطمینان ۹۵٪ | ۰.۲۲ | ۰.۴ | ۰.۲۴ | ۰.۴ | ۰.۲۳ | ۰.۴ | ۰.۲۴ | ۰.۴ | ۰.۲۴ | ۰.۴۱ |
| | مقدار واقعی مشخصه/ضخامت محدوده اطمینان ۹۵٪ | ۰.۲۶ | ۰.۵ | ۰.۲۸ | ۰.۵ | ۰.۲۸ | ۰.۵ | ۰.۲۹ | ۰.۵ | ۰.۲۹ | ۰.۵ |
| | پراکندگی | ۰.۰۰۱۸ | ۰.۰۰۵۵ | ۰.۰۰۱۹ | ۰.۰۰۵۸ | ۰.۰۰۱۹ | ۰.۰۰۵۸ | ۰.۰۰۱۸ | ۰.۰۰۵۶ | ۰.۰۰۱۸ | ۰.۰۰۵۸ |
| | انحراف از معیار/ضخامت محدوده اطمینان ۹۵٪ | ۶.۳ | ۶ | ۶ | ۶ | ۶ | ۶ | ۶.۳ | ۶ | ۶.۳ | ۶.۱ |
| ۲۰٪ | ضریب تغییرات | ۰.۰۸۶ | ۰.۱۷ | ۰.۰۸۷ | ۰.۱۷ | ۰.۰۸۵ | ۰.۱۷ | ۰.۰۸۹ | ۰.۱۷ | ۰.۰۸۸ | ۰.۱۷ |
| | ضخامت محدوده اطمینان ۹۵٪ | ۰.۴۴ | ۰.۹ | ۰.۴۴ | ۰.۹۵ | ۰.۴۳ | ۰.۹۵ | ۰.۴۵ | ۰.۹۳ | ۰.۴۷ | ۰.۹۱ |
| | مقدار واقعی مشخصه/ضخامت محدوده اطمینان ۹۵٪ | ۰.۵۶ | ۱.۱ | ۰.۵۴ | ۱.۱۵ | ۰.۵ | ۱.۱۶ | ۰.۵ | ۱.۱۴ | ۰.۵۸ | ۱.۱ |
| | پراکندگی | ۰.۰۰۰۶ | ۰.۰۰۲ | ۰.۰۰۰۶ | ۰.۰۰۲۵ | ۰.۰۰۰۶ | ۰.۰۰۲۵ | ۰.۰۰۰۶ | ۰.۰۰۲۵ | ۰.۰۰۰۶۴ | ۰.۰۰۲ |
| | انحراف از معیار/ضخامت محدوده اطمینان ۹۵٪ | ۶.۲ | ۶.۵ | ۶.۲ | ۶.۶ | ۶.۱ | ۶.۶ | ۶.۲ | ۶.۶ | ۶.۵ | ۶.۵ |

جدول ۴: شاخص‌های عدم قطعیت رودخانه‌ای سطح مقطع در جریان ماندگار رودخانه فرضی

| توزیع - شاخص | -۶٪ | | -۳٪ | | ۰ | | +۳٪ | | +۶٪ | | |
|--------------|--------------------------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| | نرمال | یکنواخت | نرمال | یکنواخت | نرمال | یکنواخت | نرمال | یکنواخت | نرمال | یکنواخت | |
| ۵٪ | ضریب تغییرات | ۰.۰۱۸ | ۰.۰۳۵ | ۰.۰۱۸ | ۰.۰۳۶ | ۰.۰۱۹ | ۰.۰۳۶ | ۰.۰۱۸ | ۰.۰۳۶ | ۰.۰۱۸ | ۰.۰۳۶ |
| | ضخامت محدوده اطمینان ۹۵٪ | ۳۱.۳۹ | ۵۹ | ۳۱.۹ | ۵۸ | ۳۱.۱ | ۵۸ | ۳۱.۵ | ۵۹.۲ | ۳۱.۲ | ۶۰.۷ |

| | | | | | | | | | | | |
|-----|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | مقدار واقعی مشخصه/ضخامت محدوده اطمینان ۹۵٪ | ۰.۱۱ | ۰.۲۱ | ۰.۱۱ | ۰.۲۱ | ۰.۱۱ | ۰.۲۱ | ۰.۱۱ | ۰.۲۲ | ۰.۱۱ | ۰.۲۲ |
| | پراکندگی | ۰.۰۹ | ۰.۳۵ | ۰.۰۹ | ۰.۳۵ | ۰.۰۹ | ۰.۳۶ | ۰.۰۹ | ۰.۳۵ | ۰.۰۹۳ | ۰.۳۵ |
| | انحراف از معیار/ضخامت محدوده اطمینان ۹۵٪ | ۶.۳ | ۶ | ۶.۳ | ۶.۲ | ۶.۳ | ۶ | ۶.۳ | ۶.۲ | ۶.۳ | ۶.۳ |
| ۱۰٪ | ضریب تغییرات | ۰.۰۴ | ۰.۰۷۱ | ۰.۰۴ | ۰.۰۷۱ | ۰.۰۴ | ۰.۰۷۱ | ۰.۰۴ | ۰.۰۷۱ | ۰.۰۴ | ۰.۰۷۲ |
| | ضخامت محدوده اطمینان ۹۵٪ | ۶۸ | ۱۱۸ | ۶۸.۵ | ۱۱۷ | ۶۸ | ۱۱۶.۹ | ۶۸ | ۱۱۷ | ۶۶.۴ | ۱۱۶.۳ |
| | مقدار واقعی مشخصه/ضخامت محدوده اطمینان ۹۵٪ | ۰.۲۵ | ۰.۴۳ | ۰.۲۵ | ۰.۴۳ | ۰.۲۵ | ۰.۴۲ | ۰.۲۵ | ۰.۴۳ | ۰.۲۴ | ۰.۴۲ |
| | پراکندگی | ۰.۴۳ | ۱.۴ | ۰.۴۴ | ۱.۴ | ۰.۴۴ | ۱.۴ | ۰.۴۳ | ۱.۴ | ۰.۴۳ | ۱.۴ |
| | انحراف از معیار/ضخامت محدوده اطمینان ۹۵٪ | ۶.۲ | ۶ | ۶.۳ | ۶ | ۶.۳ | ۶ | ۶.۳ | ۶ | ۶.۳ | ۶ |
| ۲۰٪ | ضریب تغییرات | ۰.۰۷۴ | ۰.۱۴ | ۰.۰۷۷ | ۰.۱۴ | ۰.۰۷۵ | ۰.۱۴ | ۰.۰۷۶ | ۰.۱۴ | ۰.۰۷۶ | ۰.۱۴ |
| | ضخامت محدوده اطمینان ۹۵٪ | ۱۲۸ | ۲۳۰.۴ | ۱۳۰ | ۲۳۰ | ۱۲۹ | ۲۳۳ | ۱۲۶.۵ | ۲۳۰ | ۱۲۹ | ۲۲۹.۸ |
| | مقدار واقعی مشخصه/ضخامت محدوده اطمینان ۹۵٪ | ۰.۴۷ | ۰.۸۶ | ۰.۴۶ | ۰.۸۷ | ۰.۴۷ | ۰.۸۸ | ۰.۴۶ | ۰.۸۷ | ۰.۴۷ | ۰.۸۴ |
| | پراکندگی | ۱.۵ | ۵.۵ | ۱.۵۸ | ۵.۴ | ۱.۵ | ۵.۶ | ۱.۶ | ۵.۶ | ۱.۵ | ۵.۵ |
| | انحراف از معیار/ضخامت محدوده اطمینان ۹۵٪ | ۶.۲ | ۶.۱ | ۶.۳ | ۶.۱ | ۶.۳ | ۶.۱ | ۶.۳ | ۶.۱ | ۶.۳ | ۶.۱ |

جدول ۵: شاخص‌های عدم قطعیت رودخانه‌ای سرعت در جریان ماندگار رودخانه کوتنا

| توزیع - شاخص | -۶٪ | | -۳٪ | | ۰ | | +۳٪ | | +۶٪ | | |
|--------------|--|---------|---------|---------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|
| | نرمال | یکنواخت | نرمال | یکنواخت | نرمال | یکنواخت | نرمال | یکنواخت | نرمال | یکنواخت | |
| ۵٪ | ضریب تغییرات | ۰.۰۱۷۵ | ۰.۰۳ | ۰.۰۱۷ | ۰.۰۳ | ۰.۰۱۷ | ۰.۰۳ | ۰.۰۱۷ | ۰.۰۳ | ۰.۰۱۷۲ | ۰.۰۳ |
| | ضخامت محدوده اطمینان ۹۵٪ | ۰.۰۸۱۶ | ۰.۱۵ | ۰.۰۸ | ۰.۱۵ | ۰.۰۸ | ۰.۱۶ | ۰.۰۸ | ۰.۱۶ | ۰.۰۸۰۲ | ۰.۱۵ |
| | مقدار واقعی مشخصه/ضخامت محدوده اطمینان ۹۵٪ | ۰.۱۰۸ | ۰.۲ | ۰.۱۱ | ۰.۲ | ۰.۱۱ | ۰.۲ | ۰.۱۱ | ۰.۲ | ۰.۱۰۵۷ | ۰.۲ |
| | پراکندگی | ۰.۰۰۰۲۳ | ۰.۰۰۰۰۸ | ۰.۰۰۰۰۲ | ۰.۰۰۰۰۸ | ۰.۰۰۰۰۳۱ | ۰.۰۰۰۰۸ | ۰.۰۰۰۰۲۳ | ۰.۰۰۰۰۸ | ۰.۰۰۰۰۲۳ | ۰.۰۰۰۰۸ |
| | انحراف از معیار/ضخامت محدوده اطمینان ۹۵٪ | ۶.۱۸ | ۶.۱ | ۶.۲۴ | ۶ | ۶.۱۳ | ۶ | ۶.۱۳ | ۶.۲ | ۶.۲۲ | ۶.۱ |
| ۱۰٪ | ضریب تغییرات | ۰.۰۳۷ | ۰.۰۶۸ | ۰.۰۳۷ | ۰.۰۶ | ۰.۰۳۶ | ۰.۰۶ | ۰.۰۳۵ | ۰.۰۶۶ | ۰.۰۳۶ | ۰.۰۶۵ |
| | ضخامت محدوده اطمینان ۹۵٪ | ۰.۱۷ | ۰.۳۲ | ۰.۱۸ | ۰.۳۲ | ۰.۱۷ | ۰.۳۱ | ۰.۱۷ | ۰.۳ | ۰.۱۷ | ۰.۳ |
| | مقدار واقعی مشخصه/ضخامت محدوده اطمینان ۹۵٪ | ۰.۲۳ | ۰.۴ | ۰.۲۳ | ۰.۴ | ۰.۲۲ | ۰.۴ | ۰.۲۲ | ۰.۴ | ۰.۲۳ | ۰.۴ |
| | پراکندگی | ۰.۰۰۱ | ۰.۰۰۲۳ | ۰.۰۰۱ | ۰.۰۰۲۳ | ۰.۰۰۱ | ۰.۰۰۲۳ | ۰.۰۰۰۹ | ۰.۰۰۲۳ | ۰.۰۰۰۹ | ۰.۰۰۲۳ |
| | انحراف از معیار/ضخامت محدوده اطمینان ۹۵٪ | ۶.۳ | ۶.۴ | ۶.۳ | ۶.۴ | ۶.۳ | ۶.۳ | ۶.۵ | ۶.۲ | ۶.۳۳ | ۶.۳ |
| ۲۰٪ | ضریب تغییرات | ۰.۰۷۱ | ۰.۱۳ | ۰.۰۷ | ۰.۱۳ | ۰.۰۷ | ۰.۱۳ | ۰.۰۷ | ۰.۱۳ | ۰.۰۶۹ | ۰.۱۳ |
| | ضخامت محدوده اطمینان ۹۵٪ | ۰.۳۴ | ۰.۷ | ۰.۳۴ | ۰.۷ | ۰.۳۳ | ۰.۶۷ | ۰.۳۳ | ۰.۶۷ | ۰.۳۴ | ۰.۶۷ |
| | مقدار واقعی مشخصه/ضخامت محدوده اطمینان ۹۵٪ | ۰.۴۴ | ۰.۹۳ | ۰.۴۴ | ۰.۹ | ۰.۴۴ | ۰.۸۸ | ۰.۴۶ | ۰.۸۶ | ۰.۴۵ | ۰.۸۸ |
| | پراکندگی | ۰.۰۰۳۷ | ۰.۰۱۳ | ۰.۰۰۳۷ | ۰.۰۱۳ | ۰.۰۰۳۵ | ۰.۰۱۳ | ۰.۰۰۳۶ | ۰.۰۱۳ | ۰.۰۰۳۵ | ۰.۰۱۳ |
| | انحراف از معیار/ضخامت محدوده اطمینان ۹۵٪ | ۶.۴ | ۷.۱ | ۶.۴ | ۶.۹ | ۶.۶ | ۷ | ۶.۴ | ۶.۷ | ۶.۶ | ۷ |

جدول ۶: شاخص‌های عدم قطعیت رودخانه‌ای سطح مقطع در جریان ماندگار رودخانه کوتنا

| توزیع - شاخص | -۶٪ | | -۳٪ | | ۰ | | +۳٪ | | +۶٪ | | |
|--------------|--|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| | نرمال | یکنواخت | نرمال | یکنواخت | نرمال | یکنواخت | نرمال | یکنواخت | نرمال | یکنواخت | |
| ۵٪ | ضریب تغییرات | ۰.۰۱۵ | ۰.۰۳ | ۰.۰۱۵ | ۰.۰۳ | ۰.۰۱۵ | ۰.۰۳ | ۰.۰۱۵ | ۰.۰۳ | ۰.۰۱۵ | ۰.۰۳ |
| | ضخامت محدوده اطمینان ۹۵٪ | ۲۷.۶ | ۵۲.۷ | ۲۷.۷ | ۵۳.۲ | ۲۷.۴ | ۵۱ | ۲۸ | ۵۳.۴ | ۲۷.۵ | ۵۲.۷ |
| | مقدار واقعی مشخصه/ضخامت محدوده اطمینان ۹۵٪ | ۰.۰۹۵ | ۰.۱۸ | ۰.۰۹۵ | ۰.۱۸ | ۰.۱ | ۰.۱۸ | ۰.۰۹۵ | ۰.۱۸ | ۰.۰۹۴ | ۰.۱۷ |
| | پراکندگی | ۰.۰۶۸ | ۰.۲۶ | ۰.۰۶۷ | ۰.۲۶ | ۰.۰۶۷ | ۰.۲۵ | ۰.۰۶۶ | ۰.۲۵ | ۰.۰۶۷ | ۰.۲۵ |
| | انحراف از معیار/ضخامت محدوده اطمینان ۹۵٪ | ۶.۲ | ۶.۱۳ | ۶.۲ | ۶.۱۳ | ۶.۲۷ | ۶.۱۳ | ۶.۲۶ | ۶.۱۳ | ۶.۱۶ | ۶ |
| ۱۰٪ | ضریب تغییرات | ۰.۰۳۱ | ۰.۰۶ | ۰.۰۳۱ | ۰.۰۵۷ | ۰.۰۳۱ | ۰.۰۵۸ | ۰.۰۳۱ | ۰.۰۵۸ | ۰.۰۳۱ | ۰.۰۵۸ |
| | ضخامت محدوده اطمینان ۹۵٪ | ۵۸.۹ | ۱۰۷ | ۶۰.۵ | ۱۰۶.۵ | ۶۰ | ۱۰۵.۳ | ۵۸ | ۱۰۳.۹ | ۵۸.۸ | ۱۰۴ |
| | مقدار واقعی مشخصه/ضخامت محدوده اطمینان ۹۵٪ | ۰.۲ | ۰.۳۵ | ۰.۲ | ۰.۳۷ | ۰.۲ | ۰.۳۵ | ۰.۲ | ۰.۳۳ | ۰.۲ | ۰.۳۶ |
| | پراکندگی | ۰.۲۹ | ۱ | ۰.۲۹ | ۱ | ۰.۲۹ | ۱ | ۰.۳۱ | ۱ | ۰.۳۱ | ۱ |
| | انحراف از معیار/ضخامت محدوده اطمینان ۹۵٪ | ۶.۴۴ | ۶ | ۶.۳ | ۶.۱۴ | ۶.۳ | ۶.۱ | ۶.۳ | ۶.۲ | ۶.۳ | ۶.۱ |
| ۲۰٪ | ضریب تغییرات | ۰.۰۶۱ | ۰.۱۱ | ۰.۰۶ | ۰.۱۱ | ۰.۰۶۱ | ۰.۱۱ | ۰.۰۶۵ | ۰.۱۱ | ۰.۰۶ | ۰.۱۱ |
| | ضخامت محدوده اطمینان ۹۵٪ | ۱۱۳.۳ | ۲۰۷ | ۱۱۳.۲ | ۲۰۶.۵ | ۱۱۴.۳ | ۲۰۶.۳ | ۱۱۳ | ۲۱۲ | ۱۱۴.۳ | ۲۰۶.۲ |
| | مقدار واقعی مشخصه/ضخامت محدوده اطمینان ۹۵٪ | ۰.۴ | ۰.۷۱ | ۰.۳۹ | ۰.۷۳ | ۰.۳۹ | ۰.۷۱ | ۰.۳۹ | ۰.۷۱ | ۰.۴ | ۰.۷۱ |
| | پراکندگی | ۱.۱ | ۳.۷ | ۱.۰۷ | ۳.۸ | ۱.۱ | ۳.۷ | ۱.۱ | ۳.۷ | ۱.۰۸ | ۳.۷ |
| | انحراف از معیار/ضخامت محدوده اطمینان ۹۵٪ | ۶.۴ | ۶.۳ | ۶.۲۵ | ۶.۲ | ۶.۲۴ | ۶ | ۶.۲ | ۶.۱ | ۶.۳۸ | ۶.۱ |

۳-۲- تحلیل عدم قطعیت تست کیس دوم

پس از تحلیل عدم قطعیت مشخصات هندسی یک رودخانه فرضی، جهت صحت سنجی و مقایسه نتایج حاصل، به تحلیل عدم قطعیت مقاطع واقعی حاصل از نقشه برداری رودخانه کوتناي پرداخته شد. نتایج حاصل از محاسبه شاخص های عدم قطعیت رودخانه ای سرعت و سطح مقطع رودخانه کوتناي به ترتیب به به شرح جداول (۵) و (۶) است.

مطابق جداول (۵) و (۶) با افزایش خطا در برداشت نقاط میزان ضریب تغییرات افزایش می یابد. مقادیر ضریب تغییرات سرعت و سطح مقطع در حالت مقطع کلی ثابت، برای هرکدام از دو توزیع بررسی شده، روند نسبتاً ثابتی را در بر گرفته است. ضریب تغییرات سرعت در سه درصد خطای ۵٪، ۱۰٪ و ۲۰٪ از توزیع نرمال با ثابت بودن شکل کلی مقطع، به ترتیب مقداری برابر با ۰.۰۱۷، ۰.۰۳۶ و ۰.۰۷ داشته است. این مقدار در خطای اعمال شده با توزیع یکنواخت تقریباً دو برابر شده و به ترتیب مقادیر ۰.۰۳، ۰.۰۶ و ۰.۱۳ را در بر گرفته است.

در تحلیل روند ضریب تغییرات سطح مقطع نیز برای مقدار ثابت $\alpha=0$ در سه درصد خطای ۵٪، ۱۰٪ و ۲۰٪ از توزیع نرمال طبق جدول (۶) به ترتیب مقدار ضریب تغییرات برابر با ۰.۰۱۵، ۰.۰۳۱ و ۰.۰۶۱ بوده است. این مقدار در خطای اعمال شده با توزیع یکنواخت افزایش یافته و به ترتیب مقادیر ۰.۰۳، ۰.۰۵۸ و ۰.۱۱ را شامل می شود. بنابراین افزایش عدم قطعیت در داده های مربوط به نقاط مقطع باعث افزایش پراکندگی خروجی های جریان خواهد شد. با مقایسه ضریب تغییرات برای مقادیر مختلف آلفا با ثابت بودن شکل کلی مقطع در کلیه سناریوهای جداول (۵) و (۶) نیز می توان دریافت که تغییر یکسان کلیه نقاط مقطع در محاسبه ضریب تغییرات اثرگذار نیست. با توجه به جداول (۵) و (۶)، ضخامت محدوده اطمینان ۹۵ درصد سرعت و سطح مقطع با افزایش میزان خطا در برداشت نقاط افزایش یافته است. به گونه ای که در مقاطع تصادفی تولید شده با استفاده از توزیع نرمال، ضخامت این باند در تحلیل سرعت خروجی، بدون تغییر کلی مقطع از حدود ۰.۰۸ متر بر ثانیه در خطای ۵٪ به ضخامت ۰.۱۷ متر بر ثانیه در خطای ۱۰٪ و در نهایت به ضخامت ۰.۳۳ متر بر ثانیه در خطای ۲۰٪ رسیده است. در تحلیل خروجی های سطح مقطع نیز این روند حفظ شده است به گونه ای که ضخامت این باند در مقاطع تصادفی حاصل از توزیع

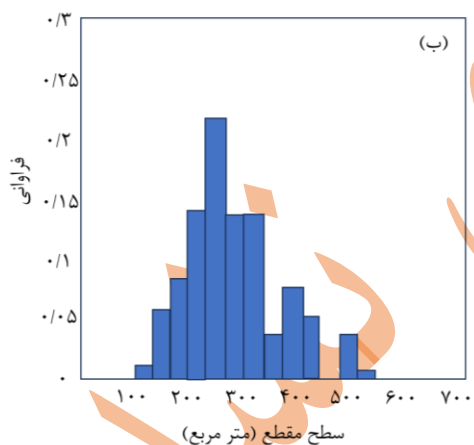
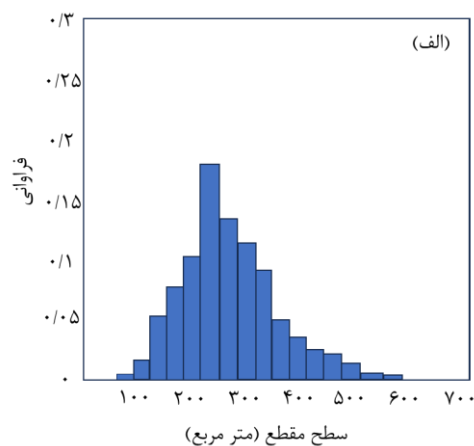
نرمال برای خطاهای ۵٪، ۱۰٪ و ۲۰٪ به ترتیب ۲۷.۴، ۶۰ و ۱۱۴.۳ متر مربع می باشد. این مقادیر برای مقاطع تصادفی حاصل از توزیع یکنواخت افزایش یافته و به ترتیب ۵۱، ۱۰۵.۳ و ۲۰۶.۳ متر مربع می باشد. همچنین مطابق نتایج حاصل از محاسبه محدوده اطمینان ۹۵٪ رودخانه فرضی، افزایش خطای کل مقطع، اثر چندانی بر ضخامت باند عدم قطعیت سرعت و سطح مقطع در هیچ یک از پنج سناریوی ذکر شده ندارد. مطابق جدول (۵) برای خطای ثابت با بتای ۵٪ از توزیع نرمال مقادیر ضخامت محدوده اطمینان ۹۵٪ سرعت در حدود ۰.۰۸ متر بر ثانیه بوده است. این مقادیر در بتای ۱۰٪ از توزیع نرمال به عدد ثابت ۰.۱۷ متر بر ثانیه رسیده است و در بتای ۲۰٪ از توزیع نرمال حدوداً ۰.۳۳ متر بر ثانیه بوده است که این مقادیر نشان دهنده آن است که خطایی که شکل اصلی مقطع را تغییر ندهد، اثر چشمگیری بر ضخامت محدوده اطمینان نخواهد داشت. همچنین توزیع یکنواخت در محاسبه این شاخص عدم قطعیت خروجی بیشتری را به دنبال دارد.

حاصل تقسیم ضخامت محدوده اطمینان ۹۵ درصد بر مقدار اولیه حاصل از مدل سازی جریان برای سرعت بدون در نظر گرفتن خطای کل مقطع، برای خطاهای ۵٪، ۱۰٪ و ۱۵٪ از توزیع نرمال به ترتیب ۰.۱۱، ۰.۲۲ و ۰.۳۳ و برای همان درصد خطا از توزیع یکنواخت به ترتیب برابر با ۰.۲، ۰.۴ و ۰.۶۷ بوده است. مقادیر ذکر شده برای سطح مقطع جریان به ترتیب برابر با ۰.۱، ۰.۲ و ۰.۳۹ برای خطای حاصل از توزیع نرمال و ۰.۱۸، ۰.۳۵ و ۰.۷۱ برای خطای حاصل از توزیع یکنواخت است که با نتایج حاصل از تست کیس فرضی در تطابق است.

بررسی شاخص پراکندگی سرعت و سطح مقطع در تکرار سناریوهای مطرح شده با درصد خطاهای عنوان شده نیز نشان داد که افزایش خطا باعث افزایش این شاخص خواهد شد. حاصل تقسیم ضخامت باند اطمینان ۹۵ درصد بر انحراف معیار داده ها در هر سناریو نیز مطابق رودخانه فرضی حول محور ثابتی در تغییر است.

برای درک بهتر اثر خطای برداشت نقاط و اثر توزیع انتخابی بر خروجی های جریان، برای چند سناریو از سناریوهای مطرح شده، نمودارهای توزیع فراوانی رودخانه ای رسم شد. نمودارهای فراوانی سرعت و سطح مقطع برای خطای ۲۰ درصد از هر دو توزیع، مطابق شکل (۴) و (۵) ترسیم شد.

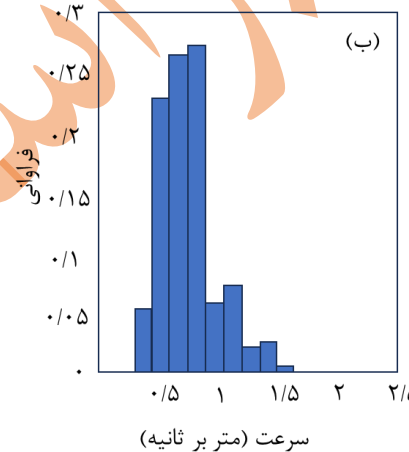
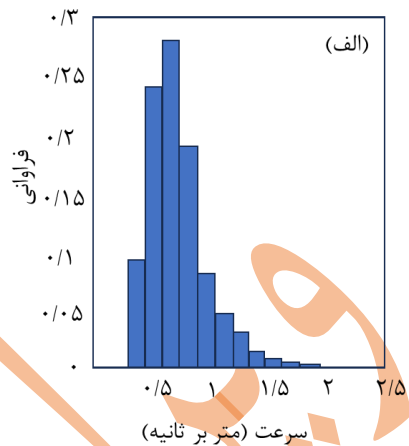
نوسان نقاط تصادفی تولید شده با توزیع نرمال کمتر از نوسان نقاط تصادفی تولید شده با توزیع یکنواخت است. بنابراین مقاطع تصادفی حاصل از تولید نقاط با توزیع یکنواخت دارای تغییرات بیشتری هستند. بنابراین خطا در توزیع یکنواخت دارای عدم قطعیت بیشتری نسبت به خطا در توزیع نرمال می‌باشد.



شکل ۵: توزیع فراوانی سطح مقطع (الف) توزیع یکنواخت- (ب) توزیع نرمال

۳-۲-۱- مقایسه‌های مقطعی

تا کنون به بررسی نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های عدم قطعیت رودخانه‌ای پرداخته شد. در گام بعد تحلیل کلیه نتایج به صورت مقطع به مقطع انجام گرفته است. شکل (۶) شاخص‌های مقطعی سرعت در $\alpha = 0$ را برای حالات مختلف عدم قطعیت نقاط برای دو شاخص ضریب تغییرات و محدوده اطمینان ۹۵٪ را در دو توزیع نرمال و یکنواخت نمایش می‌دهند.

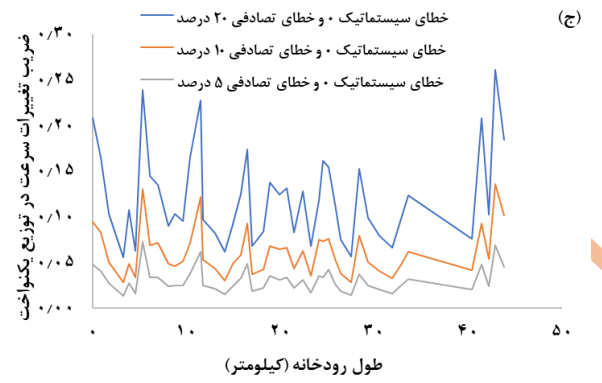


شکل ۴: توزیع فراوانی سرعت (الف) توزیع یکنواخت (ب) توزیع نرمال

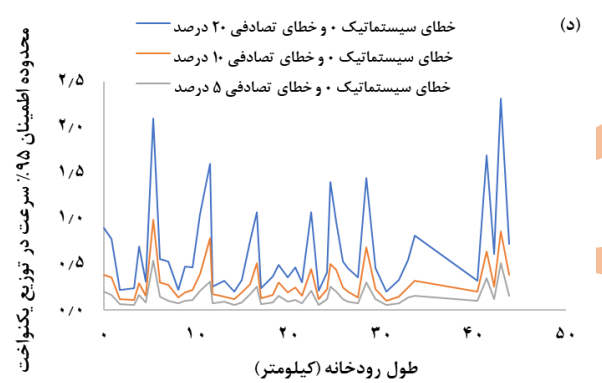
با توجه به شکل (۴) و (۵) گستردگی طیف داده‌های سرعت و سطح مقطع در خطای یکنواخت در مقایسه با خطای نرمال بیشتر است. مطابق شکل (۴) مقادیر سرعت در توزیع نرمال دارای بازه کمتری هستند که این گستردگی در توزیع یکنواخت بیشتر است. در نتایج حاصل از فراوانی سطح مقطع در شکل (۵) نیز مشاهده می‌شود سطح مقطع در خطای یکنواخت بازه ۵۵۰-۱۰۰ متر مربعی را شامل می‌شود در حالیکه با همان درصد خطا در توزیع یکنواخت این بازه حدوداً ۶۵۰-۵۰ متر مربع است. دلیل این امر را می‌توان اینگونه بیان کرد که در تولید نقاط تصادفی با توزیع نرمال از هر نقطه با میانگین خودش در مقطع اصلی و انحراف معیاری برابر با خطای در نظر گرفته شده، نقاط جدیدی تولید شده است. این در حالی است که در تولید نقاط تصادفی با توزیع یکنواخت احتمال بروز هر نقطه در محدوده تعیین شده یکسان است. بدیهی است که



(ب)



(ج)

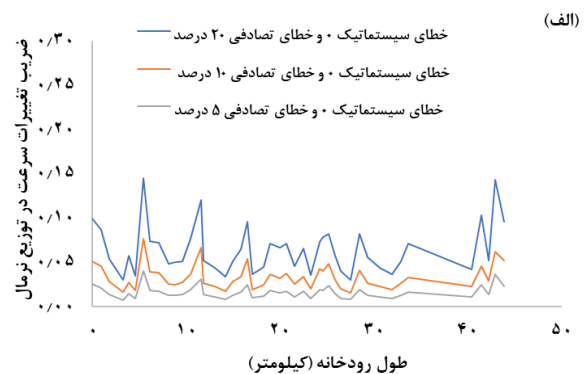


(د)

با توجه به شکل (۶) در تحلیل نتایج حاصل از شاخص‌های عدم قطعیت مقطعی سرعت به نظر می‌رسد با افزایش میزان خطا برداشت نقاط، ضخامت محدوده اطمینان ۹۵ درصد در تمامی مقاطع افزایش یافته است. عدم یکسان بودن ضخامت این محدوده را بیانگر این است که هر مقطع به طور مستقل عدم قطعیتی را به خروجی‌های مدل القا می‌کند. ضریب تغییرات، شاخص پراکندگی و حاصل تقسیم ضخامت باند در هر مقطع بر مقدار واقعی مشخصه مورد مطالعه در آن مقطع یعنی سرعت و سطح مقطع با افزایش خطا، با نوسان بیشتری در تغییر است. مشابه تحلیل نتایج رودخانه‌ای میزان نوسان شاخص‌های ذکر شده در مقاطع تولید شده با توزیع یکنواخت از مقاطع تولید شده با توزیع نرمال بیشتر است. تحلیل شاخص‌های آماری سطح مقطع رودخانه نیز در هر دو کیس بررسی شده نیز دارای همین روند است.

شکل (۷-الف) فراوانی داده‌های سرعت را در تکرارهای مختلف از یک مقطع دلخواه با خطای یکنواخت ۲۰٪ از نقاط برداشت شده و شکل (۷-ب) فراوانی داده‌های سرعت را در تکرارهای مختلف از یک مقطع دلخواه با خطای نرمال ۵٪ و خطای ۰٪ از کل مقطع نشان می‌دهند. مطابق شکل فراوانی داده‌ها در درصد خطای نرمال ۵٪ در بازه کمتری در نوسان بوده است و به آن معناست که مقادیر خروجی بسیار به هم نزدیک بوده‌اند. با افزایش خطا، فراوانی هر بازه کم و گستردگی داده‌ها بیشتر شده است. به گونه‌ای که در مقاطع تصادفی تولید شده از مقطع شماره ۴۱ رودخانه کوتنا، خطای نرمال ۵٪ بیشترین فراوانی در کمترین بازه تغییرات و خطای یکنواخت ۲۰٪ کمترین فراوانی در بیشترین بازه تغییرات را داشته است.

شکل ۶: (الف) و (ب) به ترتیب ضریب تغییرات و محدوده اطمینان سرعت در توزیع یکنواخت - (ج) و (د) به ترتیب ضریب تغییرات و محدوده اطمینان سرعت در توزیع نرمال



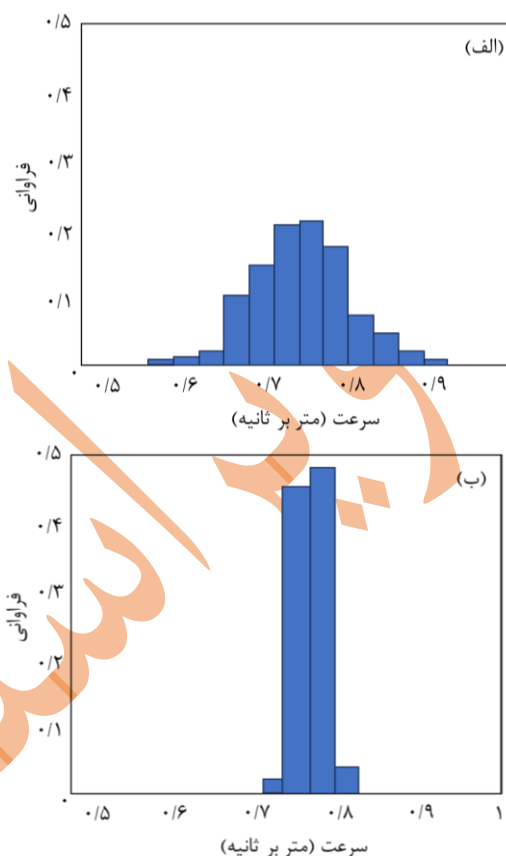
(الف)

±۰.۰۳، ±۰.۰۶ و ±۰.۰۵ و خطاهای ۵٪، ۱۰٪ و ۲۰٪ تصادفی با دو توزیع نرمال و یکنواخت برای هر سناریو به تعداد ۸۰۰ بار تولید و به عنوان عامل عدم قطعیت در نتایج خروجی مدل هیدرودینامیک در حالت جریان ماندگار تحلیل شده‌اند.

با در نظر گرفتن تبعیت خطای تصادفی نقشه‌برداری از توزیع نرمال، با افزایش میزان خطای تصادفی، عدم قطعیت مشخصه‌های جریان افزایش می‌یابد. محاسبه شاخص‌های عدم قطعیت نتایج نشان داد با افزایش خطا روند تغییرات پراکندگی داده‌ها، ضخامت محدوده اطمینان ۹۵٪، ضریب تغییرات و حاصل تقسیم مقدار واقعی هر مشخصه بر انحراف از معیار آن مشخصه افزایشی است که به معنای بروز عدم قطعیت بیشتر در خروجی‌های مدل است. با در نظر گرفتن خطاهای تصادفی ۵٪، ۱۰٪ و ۲۰٪ و خطای سیستماتیک صفر، ضخامت باند عدم قطعیت سرعت به ترتیب مقادیر ۰.۰۸، ۰.۱۷ و ۰.۳۳ را در بر می‌گیرد. با افزایش میزان خطا ضخامت این محدوده افزایش یافته‌است. تغییرات این محدوده و سایر آماره‌های مورد بررسی در این پژوهش در حالت توزیع نرمال تا خطای ۲۰٪ به گونه‌ای است که شرایط حاکم بر جریان را به هم نمی‌زند.

با در نظر گرفتن ۲۰٪ خطای تصادفی و خطاهای سیستماتیک ±۰.۰۳، ±۰.۰۶ و ±۰.۰۵ محدوده اطمینان ۹۵٪ سرعت و سطح مقطع تقریباً ثابت است و نشان دهنده آن است که بروز خطاهای سیستماتیک عدم قطعیتی را به مدل وارد نخواهد کرد.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد تعیین تابع توزیع خطا یکی از مهم‌ترین عوامل در تسطیح داده‌های نقشه‌برداری به‌شمار می‌رود. عدم قطعیت با در نظر گرفتن خطای یکنواخت در مقایسه با خطای نرمال به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد.



شکل ۷: (الف) توزیع فراوانی سرعت مقطعی در مقطع تولید شده با توزیع یکنواخت با خطای ۲۰٪- (ب) توزیع فراوانی سرعت مقطعی در مقطع تولید شده با توزیع نرمال با خطای ۵٪

۴ - نتیجه‌گیری

عدم قطعیت در داده‌های ورودی جزء جدا ناپذیر مدل‌سازی‌های هیدرولیکی می‌باشد. در این پژوهش با در نظر گرفتن دو نوع خطای سیستماتیک و تصادفی در ۱۵ سناریو به تحلیل عدم قطعیت مشخصات هندسی رودخانه بر مدل هیدرودینامیک در حالت جریان ماندگار پرداخته شده است. مقاطع تصادفی با در نظر گرفتن خطاهای سیستماتیک

منابع

- using adaptive Markov Chain Monte Carlo sampling. *Advances in Water Resources*, ۳۱(۴), pp.۶۳۰-۶۴۸.
<https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2007.12.003>.
- [۳] Koo, H., Iwanaga, T., Croke, B.F., Jakeman, A.J., Yang, J., Wang, H.H., Sun, X., Lü, G., Li, X., Yue, T. and Yuan, W., ۲۰۲۰. Position paper: Sensitivity analysis of spatially distributed environmental models-a pragmatic framework for the exploration of uncertainty

- [۱] Fisher, H.B., ۱۹۶۸. Dispersion predictions in natural streams. *Journal of the Sanitary Engineering Division*, ۹۴(۵), pp.۹۲۷-۹۴۳.
<https://doi.org/10.1061/JSEDAI.0000900>
- [۲] Blasone, R.S., Vrugt, J.A., Madsen, H., Rosbjerg, D., Robinson, B.A. and Zyvoloski, G.A., ۲۰۰۸. Generalized likelihood uncertainty estimation (GLUE)

- [۱۳] Dimitriadis, P., Tegos, A., Oikonomou, A., Pagana, V., Koukouvinos, A., Mamassis, N., Koutsoyiannis, D. and Efstratiadis, A., ۲۰۱۶. Comparative evaluation of ۱D and quasi-۲D hydraulic models based on benchmark and real-world applications for uncertainty assessment in flood mapping. *Journal of Hydrology*, 534, pp.۴۷۸-۴۹۲. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.01.020>.
- [۱۴] Apel, H., Merz, B. and Thielen, A.H., ۲۰۰۸. Quantification of uncertainties in flood risk assessments. *International Journal of River Basin Management*, 6(۲), pp.۱۴۹-۱۶۲. <https://doi.org/10.1080/15715124.2008.963534>.
- [۱۵] Bozzi, S., Passoni, G., Bernardara, P., Goutal, N. and Arnaud, A., ۲۰۱۵. Roughness and discharge uncertainty in ۱D water level calculations. *Environmental Modeling and Assessment*, 20, pp.۳۴۳-۳۵۳. DOI: [10.1007/s10666-014-9430-6](https://doi.org/10.1007/s10666-014-9430-6)
- [۱۶] Papadopoulos, C.E. and Yeung, H., ۲۰۰۱. Uncertainty estimation and Monte Carlo simulation method. *Flow Measurement and Instrumentation*, ۱۲(۴), pp.۲۹۱-۲۹۸. [https://doi.org/10.1016/S0955-5986\(01\)0015-2](https://doi.org/10.1016/S0955-5986(01)0015-2).
- [۱۷] Wohl, E.E., ۱۹۹۸. Uncertainty in flood estimates associated with roughness coefficient. *Journal of Hydraulic Engineering*, ۱۲۴(۲), pp.۲۱۹-۲۲۳. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)07339429\(1998\)124:2\(219\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)07339429(1998)124:2(219)).
- [۱۸] Mohammadzadeh, V.S., ۲۰۲۲. Uncertainty Analysis of Stage-Discharge Rating Curves In Rivers. doi: [10.22034/jce.2020.11115](https://doi.org/10.22034/jce.2020.11115). [In Persian]
- [۱۹] Neal, J.C., Odoni, N.A., Trigg, M.A., Freer, J.E., Garcia-Pintado, J., Mason, D.C., Wood, M. and Bates, P.D., ۲۰۱۵. Efficient incorporation of channel cross-section geometry uncertainty into regional and global scale flood inundation models. *Journal of Hydrology*, 529, pp.۱۶۹-۱۸۳. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.07.026>.
- [۲۰] Grimaldi, S., Li, Y., Walker, J.P. and Pauwels, V.R.N., ۲۰۱۸. Effective representation of river geometry in hydraulic flood forecast models. *Water Resources Research*, 54(۲), pp.۱۰۳۱۱-۱۰۵۷. <https://doi.org/10.1029/2017WR021765>
- [۲۱] Behrooz, M., Alimohammadi, S. and Atari, J., ۲۰۱۴. Sensitivity analysis of hydrologic, hydraulic and economic uncertainties in design of flood control systems. *Iran-Water Resources Research*, 10(۲), pp.۶۹-۸۱. [In Persian]
- [۲۲] Kangdi Huang; Lei Ye., Lu Chen., Quansen Wang., Ling Dai., Jianzhong Zhou., Vijay P. Singh., Mutao Huang., Junhong Zhang. (۲۰۱۸). Risk analysis of flood control reservoir operation considering multiple sources. *Environmental modelling & software*, ۱۳۴, p.۱۰۴۸۵۷. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104857>.
- [۲۳] Teng, J., Jakeman, A.J., Vaze, J., Croke, B.F., Dutta, D. and Kim, S.J.E.M., ۲۰۱۷. Flood inundation modelling: A review of methods, recent advances and uncertainty analysis. *Environmental modelling & software*, ۹۰, pp.۲۰۱-۲۱۶. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.01.007> <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.01.007> Get rights and content
- [۲۴] Wu, J. and Zeng, X., ۲۰۱۳. Review of the uncertainty analysis of groundwater numerical simulation. *Chinese Science Bulletin*, 58, pp.۳۰۴۴-۳۰۵۲. doi: [10.1007/s11434-013-0950-8](https://doi.org/10.1007/s11434-013-0950-8)
- [۲۵] Rojas, R., Kahunde, S., Peeters, L., Batelaan, O., Feyen, L. and Dassargues, A., ۲۰۱۰. Application of a multimodel approach to account for conceptual model and scenario uncertainties in groundwater modelling. *Journal of Hydrology*, 394(۳-۴), pp.۴۱۶-۴۳۵. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.09.016>
- [۲۶] Guo, A., Chang, J., Wang, Y., Huang, Q. and Li, Y., ۲۰۲۰. Uncertainty quantification and propagation in bivariate design flood estimation using a Bayesian information-theoretic approach. *Journal of Hydrology*, 584, p.۱۲۴۶۷۷. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124677>.
- [۲۷] Serinaldi, F., ۲۰۱۳. An uncertain journey around the tails of multivariate hydrological distributions. *Water Resources Research*, 49(۱۰), pp.۶۵۲۷,۶۵۴۷. <https://doi.org/10.1029/2012WR016531>
- [۲۸] Dung, N.V., Merz, B., Bárdossy, A. and Apel, H., ۲۰۱۵. Handling uncertainty in bivariate quantile estimation—An application to flood hazard analysis in the Mekong Delta. *Journal of Hydrology*, 527, pp.۷۰۴-۷۱۷. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.05.033>.
- [۲۹] Pinheiro, V.B., Naghettini, M. and Palmier, L.R., ۲۰۱۹. Uncertainty estimation in hydrodynamic modeling using Bayesian techniques. *RBRH*, 24. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.24192018.0110>
- [۳۰] Eftekharian, L.E.Y.L.A., Abrishamchi, A. and Tajrishi, M., ۲۰۰۵. Uncertainty Analysis of Water Levels of Sistan River and Reliability Analysis of Flood Control System. *Journal of Hydraulics*, 1(۱), pp.۳۹-۵۴. [10.30482/JHYD.2005.85363](https://doi.org/10.30482/JHYD.2005.85363). [In Persian]
- [۳۱] Masoumi, F., Najjar-Ghabel, S. and Salimi, N., ۲۰۲۱. Automatic calibration of the two-dimensional hydrodynamic and water quality model using sequential uncertainty fitting approach. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193, pp.۱-۱۵. doi: [10.1007/s10661-020-08831-z](https://doi.org/10.1007/s10661-020-08831-z). DOI: [10.1007/s10661-020-08831-z](https://doi.org/10.1007/s10661-020-08831-z)

- dominated stream. *Journal of Hydrologic Engineering*, 16(2), pp. 165-175.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.000298](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.000298).
- [33] Henderson, F.M., 1996. Open channel flow.
- [34] Bates, B.C. and Townley, L.R., 1988. Nonlinear, discrete flood event models, 3. Analysis of prediction uncertainty. *Journal of Hydrology*, 99(1-2), pp. 91-101.
[https://doi.org/10.1016/0022-1694\(88\)90080-7](https://doi.org/10.1016/0022-1694(88)90080-7)
- [35] Jacquin, A.P. and Shamseldin, A.Y., 2007. Development of a possibilistic method for the evaluation of predictive uncertainty in rainfall-runoff modeling. *Water Resources Research*, 43(4).
<https://doi.org/10.1029/2006WR005072>.
- [36] Dalledonne, G.L., Kopmann, R. and Brudy-Zippelius, T., 2019. Uncertainty quantification of floodplain friction in hydrodynamic models. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23(8), pp. 3373-3385.
<https://doi.org/10.5194/hess-23-3373-2019>
- [37] Barton, G.J., Moran, E.H. and Berenbrock, C., 2004. *Surveying cross sections of the Kootenai River between Libby Dam, Montana, and Kootenay Lake, British Columbia, Canada* (No. 2004-1045). US Geological Survey.
<https://doi.org/10.3133/ofr20041045>
- uncertainties, *Journal of Hydrology*, pp. 672-684.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.08.040>.
- [23] Beven, K. and Binley, A., 1992. The future of distributed models: model calibration and uncertainty prediction. *Hydrological processes*, 6(3), pp. 279-298.
<https://doi.org/10.1002/hyp.3360060305>
- [24] Nanding, N., Rico-Ramirez, M.A., Han, D., Wu, H., Dai, Q. and Zhang, J., 2021. Uncertainty assessment of radar-rain gauge merged rainfall estimates in river discharge simulations. *Journal of Hydrology*, 603, p. 127093.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127093>
- [25] Riahi-Madvar, H. and Seifi, A. (2018). Uncertainty analysis in bed load transport prediction of gravel bed rivers by ANN and ANFIS. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(21), 1207-1217.
<https://doi.org/10.1007/s10046-018-0130-3>.
- [26] Soroush, F. and Riahi Madvar, H., 2019. Uncertainty Analysis of Infiltration Parameters of WinSRFR Furrow Irrigation Simulation Model with Monte Carlo Method. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(4), pp. 107-991, 10.22059/IJ-SWR.2018.261848, 669666 [in Persian]
- [27] Le Coz, J., Renard, B., Bonnifait, L., Branger, F. and Le Boursicaud, R., 2014. Combining hydraulic knowledge and uncertain gaugings in the estimation of hydrometric rating curves: A Bayesian approach. *Journal of Hydrology*, 509, pp. 573-587.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.11.016>.
- [28] Di Baldassarre, G. and Montanari, A., 2009. Uncertainty in river discharge observations: a quantitative analysis. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13(9), pp. 913-921.
<https://doi.org/10.5194/hess-13-913-2009>.
- [29] Vatanchi, S.M. and Maghrebi, M.F., 2019. Uncertainty in rating-curves due to Manning roughness coefficient. *Water Resources Management*, 33(15), pp. 5153-5167.
<https://doi.org/10.1007/s11269-019-02421-6>
- [30] Sadeghfam, S., Shams, H., Crookston, B., Babaieani, A., Daneshfaraz, R., 2023. Reliability Analysis of Water Supply Channels for Conveying Design Flow. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 149(12): 04023028.
<https://doi.org/10.1061/JIEDDH.IRENG-10179>
- [31] Saberi Tanasvan, M., Noroozi, Z.G., Delghandi, M., Ashouri, S.N. and Dorostkar, V., 2020. Sensitivity analysis of flood parameters to roughness variation. *Journal Irrigation and Water Engineering*, 10(40), pp. 164-177. [In Persian]
- [32] Scharffenberg, W.A. and Kavvas, M.L., 2011. Uncertainty in flood wave routing in a lateral-inflow-