تحلیل عدم قطعیت زبری در آب گرفتگی رودخانه‌ها با کمک مدل HEC-RAS

زهرا شریفی‌نیک[۱]، محمود فغفور مغربی[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آب و سازه های هیدرولیکی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد گروه مهندسی عمران دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۹

تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۰

چکیده

نقشه‌های سیلاب براساس رویکرد قطعی اگرچه به‌عنوان ابزاری مهم در به حداقل رساندن تلفات ناشی از سیلاب نقش دارند، اما عدم قطعیت قابل‌توجهی در محاسبه سطح آب‌گرفتگی وجود دارد. زبری به‌عنوان یک پارامتر کلیدی بر ارتفاع سطح آب محسوب می‌شود و ازآنجایی‌که به‌سادگی قابل اندازه‌گیری نیست و برمبنای روش‌های تجربی و آزمایشگاهی تخمین زده می‌شود، لزوماً درجه قابل‌توجهی از عدم قطعیت را به مدل وارد می‌کند. به همین منظور در این مقاله چارچوب احتمالی برمبنای رویکرد شبیه‌سازی مونت‌کارلو برای تحلیل عدم قطعیت ضریب زبری به کمک مدل HEC-RAS استفاده شده است. در این چارچوب، ماژول محاسباتی در زبان ویژوال بیسک جهت ارتباط با HECRASController به‌منظور اجرای خودکار ۸۴۰۰۰ شبیه‌سازی مونت‌کارلو در بازه ۷/۵ کیلومتر از رودخانه کارده فراهم شد. در هر اجرا بر روی ۸۴ مقطع عرضی به‌صورت مجزا تعداد ۱۰۰۰ شبیه‌سازی مونت‌کارلو براساس توزیع احتمال زبری مانینگ انجام شد و نتایج عدم قطعیت زبری بر ارتفاع سطح آب در سطح اطمینان ٪۹۹، ٪۹۵، ٪۵۰، ٪۵ و ٪۱ ارائه شد. نتایج حاکی از تأثیر قابل‌توجه زبری بر باند عدم قطعیت ارتفاع سطح آب در سطح اطمینان ٪۹۰ بوده به‌طوری‌که تغییرات ارتفاعی سطح آب در بسیاری مقاطع به بیشتر از ۱ متر می‌رسد. با مقایسه مقاطع با باند عدم قطعیت حداقل و حداکثر مشاهده می‌شود مقاطعی که در آن‌ها شیب عرضی بیشتر بوده عدم قطعیت بیشتر و مقاطع V شکل با شیب عرضی کمتر از باند عدم قطعیت کمتری برخوردارند. علاوه‌براین، نتایج تحلیل حساسیت جهت انتخاب تعداد شبیه‌سازی بهینه نشان می‌دهد پهنای باند عدم قطعیت برای تعداد شبیه‌سازی‌های بیشتر از ۱۰۰۰ اجرا تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد. نتایج ارائه شده براساس رویکرد احتمالی و با افزایش قابلیت اعتماد و بهبود عملکرد مدل مبتنی بر عدم قطعیت زبری در رودخانه کارده می‌تواند در طراحی سطوح آبگیر مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل حساسیت، شبیه‌سازی مونت‌کارلو، ضریب زبری مانینگ، عدم قطعیت، مدل HEC-RAS

مقدمه

در سال‌های اخیر بلایای سیل به این واقعیت کمک کرده است که آینده در موقعیت ذاتاً نامشخص قرار گرفته است. نقشه‌های خطر سیل گذشته به‌علاوه نقشه‌های فرضی سیل برای احتمالات مختلف وقوع، ابزار قدرتمندی برای بهبود درک پدیده سیل و خطرات مرتبط با آن هستند (De Moel et al., 2009). اگرچه این نقشه‌ها نشانه‌های مفیدی را در مورد ناحیه آب گرفتگی و تأثیر منفی ناشی از سیل تأمین می‌کند، اما عدم قطعیت قابل‌توجهی در ارتباط با این نقشه‌ها وجود دارد (Di Baldassarre & Montanari, 2009). هنگامی‌که برخی عناصر موجود در سیستم زیرساختی در معرض عدم قطعیت هستند، پاسخ سیستم تحت شرایط طراحی نمی‌تواند با قطعیت ارزیابی شود. بنابراین، حضور عدم قطعیت باعث می‌شود که به‌دلیل عدم توانایی پاسخگویی در مورد تغییرات احتمالی پاسخ سیستم، شیوه طراحی قطعی مرسوم نامناسب باشد. لذا برای شناخت درست و درک واقعی از نقش پارامترهای تأثیرگذار بر پدیده از تحلیل عدم

[2] نویسنده مسئول: محمود فغفور مغربی maghrebi@um.ac.ir

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-27]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.3.5.4]

قطعیت استفاده می‌شود (Tung & Yen, 2005). ارزیابی کمّی عدم قطعیت در خروجی‌های مدل شبیه‌سازی‌شده و تخمین پارامترهای آن، موجب افزایش اطمینان در نتایج مدل‌سازی و شناخت درست منابع عدم قطعیت می‌شود. عدم قطعیت به‌طور کلی بیانگر این مفهوم است که دانش کامل یا کافی از رفتار یک سیستم و مقادیر ویژه‌ای که متغیرهای آن اختیار می‌کنند، موجود نباشد (Lund, 1991).

یکی از جنبه‌هایی که در هنگام مدیریت خطرات سیل به ما کمک می‌کند درک درست از ارتباط عدم قطعیت با متغیرهای مختلف درگیر در نقشه پهنه‌بندی سیلاب است. این عدم قطعیت‌ها در اثر تخمین جریان از یک مدل هیدرولوژیکی یا منحنی دبی- اشل؛ داده‌های ورودی، ازجمله توپوگرافی و داده‌های کاربری زمین؛ نوع مدل‌سازی (یک‌بعدی در مقابل دوبعدی)؛ تنظیم مدل و فرضیات مسئله (به‌عنوان مثال، حالت دائمی در مقابل حالت غیردائمی)؛ پارامترهای مدل مانند زبری مانینگ؛ فقدان داده‌های کالیبراسیون مدل (به‌عنوان مثال، میزان سیلاب مشاهده‌شده) و رویکرد پهنه‌بندی سیلاب‌گرفتگی به وجود می‌آید (Jung & Merwade, 2012). در میان تمامی منابع عدم قطعیت ذکر شده در رابطه با پهنه‌بندی سیلاب، عدم قطعیت ضریب زبری در پیشینه مطالعات مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته است.

مقالات اخیر نشان می‌دهند زبری به‌عنوان یک پارامتر کالیبراسیون درنظر گرفته می‌شود که برای به‌حساب آوردن سایر متغیرهای غیرقطعی در فرآیند مدل‌سازی کلی دستکاری شده است (Hunter et al., 2005). به‌طور معمول، زبری در کانال اصلی و سیلاب‌دشت در طول مقاطع عرضی متفاوت است. اما برخی مطالعات تنها از یک مقدار مشخص زبری برای کل مقاطع عرضی استفاده می‌کنند که این خود منجربه عدم قطعیت این پارامتر می‌شود. پیش از این، مطالعات بسیاری به تحلیل انتشار عدم قطعیت ضریب زبری در مدل‌سازی سیل با استفاده از GLUE و شبیه‌سازی مونت‌کارلو اختصاص داده شده است. در همین راستا، Vatanchi و Maghrebi (2019) به تحلیل عدم قطعیت زبری و پارامترهای توانی منحنی دبی- اشل به کمک روش GLUE پرداختند. اساس پژوهش آن‌ها روش تخمین منحنی‌های دبی- اشل مبتنی بر مفهوم کنتورهای بی‌بعد سرعت در روش اندازه‌گیری تک‌نقطه‌ای (SPM) است که اولین بار توسط Maghrebi (2006) معرفی شد. Papaioannou و همکاران (2017) نیز با نمونه‌گیری لاتین هایپرکیوب[1] از مجموعه‌های مختلف مقادیر ضریب زبری مانینگ بدست آمده از بازدیدهای میدانی و فرمول‌های تجربی، نقشه‌های احتمالی سیلاب گرفتگی را با استفاده از شبیه‌سازی مونت‌کارلو ایجاد کردند و استفاده از نقشه‌های احتمالی را نسبت به یک ارزیابی قطعی پیشنهاد داده‌اند. Aronica و همکاران (1998) از یک مدل المان محدود دوبعدی و رویکرد GLUE برای مقایسه مقادیر پیش‌بینی‌شده مدل و مشاهداتی به‌منظور بررسی عدم قطعیت ضریب زبری بهره گرفتند. برای اختلاف ٪۴۰ زبری، Kidson و همکاران (2002) خطای دبی را محاسبه و دریافتند که عدم قطعیت اولیه در برآوردهای زبری به‌دلیل غیرخطی بودن، منتشر و منجر به بزرگ شدن عدم قطعیت در تخمین دبی و سپس فراوانی سیلاب می‌شود. به‌طور کلی از مطالعات مختلف می‌توان نتیجه گرفت که تخمین زبری به‌دلیل وابستگی آن به عوامل مختلف مقاومت جریان، کار سختی است (Cowan, 1956) که در طول رودخانه متفاوت و برای اندازه‌گیری دشوار است؛ از این‌رو، عدم قطعیت جزء ذاتی در تخمین زبری مانینگ است.

چندین روش آماری برای تحلیل عدم قطعیت وجود دارد که به‌طور کلی این روش‌ها در شش گروه بشرح زیر تقسیم‌بندی می‌شوند: ۱- روش‌های تحلیلی، ۲- روش‌های تقریبی (مانند روش ممان دوم مرتبه اول[2])، ۳- روش‌های مبتنی بر نمونه‌برداری و شبیه‌سازی، ۴- روش‌های بیزی[3]، ۵- روش‌های مبتنی بر تحلیل خطاهای مدل و ۶- روش‌های مبتنی بر رویکرد مجموعه فازی (Solomatine et all, 2009). هر روش دارای سطوح مختلف پیچیده ریاضی و نیازهای داده است. انتخاب هر کدام از روش‌های مذکور به ماهیت موضوع مورد نظر، ازجمله در دسترس بودن اطلاعات، پیچیدگی مدل، نوع و دقت نتایج مورد نظر بستگی دارد (Tung & yen, 2006). روش مورد استفاده در این تحقیق با

[1] Latin hypercube
[2] First-order second moment (FOSM)
[3] Bayesian approaches

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-27]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.3.5.4]

توجه به عدم اطلاعات سیلاب مشاهداتی در محدوده مطالعاتی، روش مونت‌کارلو است که به کمک آن به تحلیل عدم قطعیت زبری و تأثیر آن بر نتایج احتمالی پروفیل سطح آب پرداخته می‌شود.

روش مونت‌کارلو 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. دقت روش به‌طور معکوس با ریشه دوم تعداد اجراها مناسب است. بنابراین دقت آن با افزایش تعداد اجراها به‌طور ملایم افزایش می‌یابد. با اینکه این روش از نظر محاسباتی گران و زمان‌بر است، اما می‌تواند به سطح دلخواهی از دقت برسد.

ازجمله تحقیقاتی که با استفاده از روش مونت‌کارلو صورت گرفته است می‌توان به کار Dimitriadis و همکاران (2016) اشاره کرد، بدین منظور حساسیت عمق آب و حجم سیلاب را در برابر متغیرهای دبی جریان، شیب‌های طولی و عرضی، زبری و اندازه سلول شبکه مورد ارزیابی قرار دادند و دریافتند که به‌طور کلی، عدم قطعیت حجم سیلاب با افزایش دبی، شیب طولی و زبری کانال کاهش می‌یابد. درحالی‌که با افزایش زبری سیلاب‌دشت، شیب عرضی و اندازه سلول شبکه افزایش می‌یابد. Aronica و همکاران (2012) با استفاده از شبیه‌سازی مونت‌کارلو به ارزیابی تأثیر عدم قطعیت شرایط مرزی در مدل‌های سیلاب گرفتگی شهری پرداختند. شبیه‌سازی‌های انجام شده نشان دهنده اهمیت عدم قطعیت تحلیل فراوانی بارندگی و خطاهای شرایط مرزی برای پیش‌بینی سطح آب سیلاب است. مطالعات Apel و همکاران (2008) و Bozzi و همکاران (2014) نیز به‌ترتیب به‌منظور کمّی کردن عدم قطعیت پارامتر در رابطه دبی-اشل و بررسی عدم قطعیت زبری و دبی بر محاسبات تراز سطح آب در چارچوب مونت‌کارلو صورت گرفته است.

تحقیق حاضر با هدف کمّی کردن عدم قطعیت زبری که به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار در مطالعات سیلاب است، انجام شده است. چارچوب احتمالی برمبنای رویکرد شبیه‌سازی مونت‌کارلو برای تحلیل عدم قطعیت ضریب زبری به کمک مدل HEC-RAS استفاده شده است. در این چارچوب، ماژول محاسباتی در زبان ویژوال بیسک جهت ارتباط با HECRASController به‌منظور اجرای خودکار فرآیند شبیه‌سازی مونت‌کارلو در بازه ۷/۵ کیلومتر از رودخانه کارده صورت گرفت. در هر اجرا بر روی ۸۴ مقطع عرضی به‌صورت مجزا تعداد ۱۰۰۰ شبیه‌سازی مونت‌کارلو براساس توزیع احتمال زبری مانینگ پس از تحلیل حساسیت تعداد شبیه‌سازی‌ها برای انتخاب تعداد شبیه‌سازی بهینه صورت گرفته است. نتایج عدم قطعیت زبری و تأثیر آن بر ارتفاع سطح آب در سطح اطمینان ٪۹۹، ٪۹۵، ٪۵۰، ٪۵ و ٪۱ ارائه می‌شود.

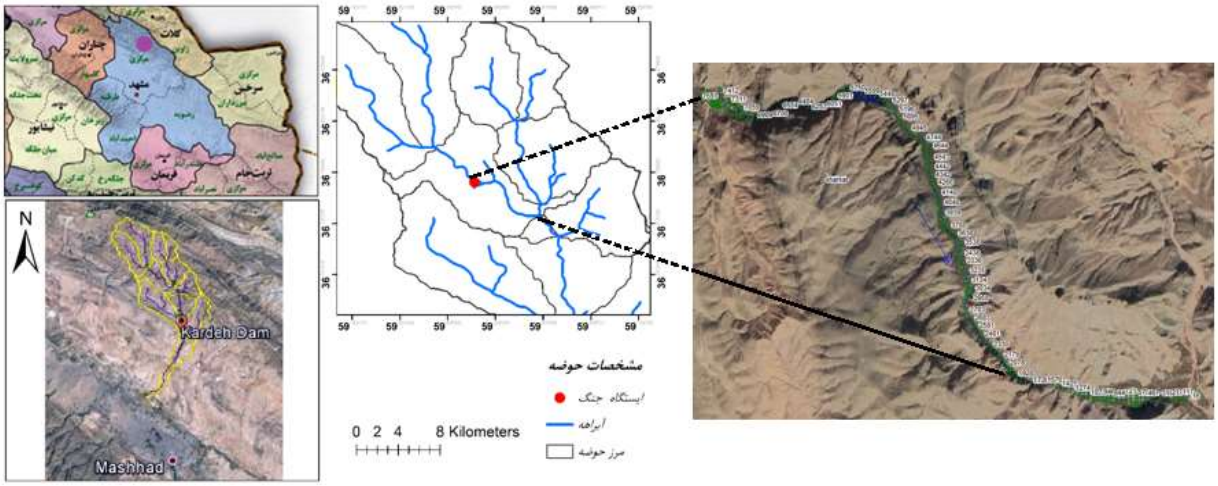
مواد و روش‌ها

مطالعه موردی و داده‌های مورد نیاز

محدوده مورد مطالعه در پژوهش بخشی از رودخانه کارده بعد از خروجی حوضه کارده-کریم‌آباد به طول حدود ۷/۵ کیلومتر در جهت پایین‌دست ایستگاه مشاهداتی جنگ مطابق شکل (۱) است. حوضه سد کارده با مساحتی حدود ۶۸۰/۵ کیلومترمربع در شمال شرق ایران و شمال شهرستان مشهد قرارگرفته است. این منطقه در دامنه جنوبی رشته کوه‌های هزارمسجد و زون‌کپه‌داغ و در محدوده مختصات جغرافیایی "۳ '۲۶ °۵۹ تا "۴۸ '۴۴ °۵۹ طول شرقی و "۱۷ '۳۷ °۳۶ تا "۲۷ '۵۸ °۳۶ عرض شمالی واقع شده است و بخشی از حوضه آبخیز کشف‌رود مشهد نیز محسوب می‌شود. فاصله پایین‌ترین قسمت حوضه تا شهر مشهد ۴۲ کیلومتر است. مهم‌ترین رودخانه حوضه رودخانه کارده است که جهت جریان آب از شمال به جنوب بوده و از پیوستن دو شاخه کوشک‌آباد و آل به‌وجود آمده است. مقادیر زبری از روش کاون[1] و سیلاب با دبی اوج m^3/s ۲۰۳/۴ با دوره بازگشت ۱۰۰ سال مطابق با گزارش سازمان آب‌منطقه‌ای خراسان رضوی به مدل وارد شده است.

[1] Cowan

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-27]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.3.5.4]



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی ناحیه مورد مطالعه و مقاطع عرضی

مدل هیدرولیکی یک‌بعدی HEC-RAS

سیستم تحلیل رودخانه مرکز مهندسی هیدرولوژی (HEC-RAS) توسط گروه مهندسی ارتش آمریکا[1] (USACE) توسعه یافته است. مدل هیدرولیکی یک‌بعدی HEC-RAS به کاربر امکان شبیه‌سازی جریان را در حالت شرایط دائمی و غیردائمی در کانال رودخانه و سیلاب‌دشت می‌دهد. در این مطالعه، تمام شبیه‌سازی‌ها با فرض شرایط جریان دائمی انجام می‌شود. در هر مقطع عرضی سطح مقطع جریان براساس مقادیر ضریب زبری به چندین زیرمقطع تقسیم‌بندی می‌شود. در شبیه‌سازی حالت دائمی، پروفیل سطح آب بر اساس روش گام به گام استاندارد از مقطعی به مقطع دیگر برای حل معادله انرژی مطابق با معادله (۱) محاسبه می‌شود:

$$y_2 + z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = y_1 + z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \qquad (۱)$$

که در آن y_1 و y_2 عمق آب در دو مقطع متوالی، z_1 و z_2 ارتفاع کانال اصلی از سطح مبنا، α_1 و α_2 ضرایب تصحیح سرعت، V_1 و V_2 سرعت متوسط، g شتاب ثقل و h_e افت انرژی بین دو مقطع است که افت‌های اصطکاکی، انقباضی و انبساطی بین دو مقطع عرضی را درنظر می‌گیرد و به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$$h_e = LS_f + C\left|\frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g}\right| \qquad (۲)$$

در رابطه فوق L فاصله بین دو مقطع، S_f شیب اصطکاکی بین دو مقطع و C ضریب افت انبساط و انقباض است. سرانجام، انتقال کل در HEC-RAS با جمع کردن انتقال زیرمقطع‌های کانال و سیلاب‌دشت‌ها با استفاده از معادله مانینگ مطابق رابطه زیر بدست می‌آید:

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} S^{1/2} \qquad (۳)$$

که در آن، Q دبی جریان، n ضریب زبری، S شیب گرادیان انرژی، A سطح مقطع و R شعاع هیدرلیکی است.

[1] US Army Corps Of Engineers

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-27]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.3.5.4]

معرفی HECRASController

HECRASController بخشی از رابط برنامه‌نویسی نرم افزار[1] (API) پرکاربرد و محبوب HEC-RAS است. این رابط مجموعه‌ای از ابزارهای برنامه‌نویسی شامل: کلاس‌ها، توابع و زیرروال‌ها هستند. با توجه به اینکه HEC-RAS در زبان برنامه‌نویسی ویژوال بیسیک[2] (VBA) نوشته شده و همچنین VBA در مایکروسافت اکسل برای محاسبات و تجزیه و تحلیل داده‌ها ابزاری بسیار قدرتمند است (Green et al., 2007). لذا ماژول محاسباتی قابل کنترل در محیط ماکرو صورت گرفته است. پیوند HECRASController با VBA در اکسل فرصت‌های جدیدی را برای کنترل شبیه‌سازی داده‌ها و نتایج فراهم می‌کند. درواقع، HECRASController امکان بازکردن پروژه‌های HEC-RAS جهت اجرای شبیه‌سازی و ذخیره آن‌ها را فراهم می‌سازد. یکی از کاربردهای قابل‌توجه آن امکان دستکاری ضریب زبری مانینگ است (Dysarz, 2018) که در این مقاله از آن استفاده می‌شود. لازم به ذکر است که مبنای محاسبه رویکرد احتمالی ارتفاع سطح آب با استفاده از روش مونت‌کارلو در این پژوهش بر پایه تحقیقات گودل (Goodell, 2014) برای شکستن کدهای HEC-RAS و نحوه به کنترل گرفتن آن است.

روش مونت‌کارلو

روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو روشی بسیار انعطاف‌پذیر و قوی شناخته می‌شود که قادر به حل محدوده بسیار متنوعی از مسائل است. در حقیقت، این روش ممکن است تنها روشی باشد که می‌تواند توزیع احتمالاتی متغیرهای خروجی مدل را برای مواردی که رابطه سیستم غیرخطی و بسیار پیچیده است، تخمین بزند (Melching, 1995). مدل‌سازی یک‌بعدی HEC-RAS در شرایط دائمی به‌منظور دستیابی به همگرایی آماری مدنظر و نتایج احتمالاتی صحیح‌تر، تعداد ۱۰۰۰ شبیه‌سازی مونت‌کارلو با هدف تغییر ضریب زبری مانینگ و تأثیر آن بر ارتفاع سطح آب در مقاطع عرضی مشخص انجام شد و نتایج عدم قطعیت در سطح اطمینان مختلف گزارش می‌شود. مراحل گام‌به‌گام روش برنامه‌نویسی به‌صورت زیر دنبال می‌شود:

۱) نمونه‌برداری تصادفی از مقادیر ضریب زبری ممکن که با استفاده از یک توزیع آماری از پیش تعریف شده است.

۲) فایل متنی هندسی HEC-RAS برای خواندن و نوشتن باز می‌شود. مقادیر ضریب زبری مانینگ گذشته با مقادیر جدید نمونه‌برداری شده برای کانال اصلی و سیلاب‌دشت به‌طور مجزا جایگزین می‌شود.

۳) با استفاده از HECRASController، مدل HEC-RAS باز و سپس اجرا می‌شود.

۴) رابط خروجی مورد نظر (ارتفاع سطح آب در مقطع‌عرضی) را بازیابی و در آرایه‌ای مشخص ذخیره می‌کند.

۵) اجرای مدل تکرار می‌شود.

عدم قطعیت ضریب زبری مانینگ

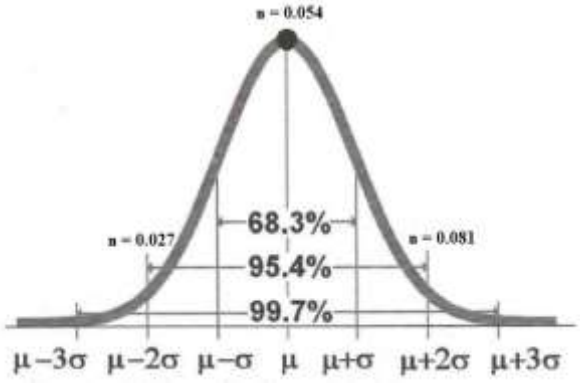
بسیاری از مدل‌سازان مشکل اصلی را در کاربردهای عملی انتخاب ضریب زبری مانینگ صحیح می‌دانند (Pappenberger et al., 2005). از آن‌جایی‌که این ضریب به‌سادگی قابل اندازه‌گیری نیست، به روش تجربی یا به‌طور غیرمستقیم با روش‌های آزمایشگاهی و میدانی تخمین زده می‌شود که درجه قابل توجهی از عدم قطعیت را به مدل اعمال می‌کند (Hunter et al., 2008). در این پژوهش، به‌جای انتخاب بهترین تقریب از مقادیر ضریب زبری مانینگ با استفاده از رویکرد قطعی سنتی، تلاش شده است تا با استفاده از روش مونت‌کارلو برای ایجاد نتایج احتمالی، عدم قطعیت را اذعان کرده و در نتایج کمّی‌سازی شود. این امر ابتدا نیاز به تعریف توزیع آماری از مقادیر ضریب زبری مانینگ ممکن در هر مقطع عرضی دارد که معمولاً توزیع احتمال برای متغیرهای مدل به‌صورت نرمال یا یکنواخت فرض می‌شود (Jung & Merwade, 2012). به‌منظور بدست آوردن عدم قطعیت در مقادیر ضریب زبری مانینگ ورودی، توزیع نرمال مطابق شکل (۲) با میانگین تنظیم شده بر روی مقادیر زبری مورد نظر ایجاد شده است. درواقع، متغیرهای

[1] Application Programming Interface
[2] Visual Basic for Application

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-27]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.3.5.4]

تصادفی توزیع یکنواخت با استفاده از روش باکس-مولر[1] به توزیع نرمال تبدیل می‌شوند. این شکل توزیع نرمال ساده از مقادیر زبری مانینگ ممکن را برای کانال اصلی رودخانه کارده نشان می‌دهد.

به‌عنوان مثال، مقدار زبری میانگین کانال برای این مقطع عرضی ۰/۰۵۴ است که با نماد μ نشان داده می‌شود. در پژوهش حاضر، میزان اعتماد در پیش‌بینی ضریب زبری مانینگ با تعیین دامنه منفی یا مثبت ۵۰ درصد (۰/۰۲۷ مقدار کران پایین و ۰/۰۸۱ مقدار کران بالا) تعریف می‌شود. تنظیم این بازه با جمع و تفریق کردن دو برابر انحراف استاندارد (σ) نشان می‌دهد که طراح با اطمینان ۹۵/۴ درصد براین باور است که مقادیر زبری واقعی بین ۰/۰۲۷ و ۰/۰۸۱، حول مقدار میانگین ۰/۰۵۴ با توزیع نرمال متمرکز است. به‌طور تئوریک با تعداد شبیه‌سازی کافی، ۹۵/۴ درصد مقادیر ضریب زبری سیلاب‌دشت رودخانه کارده به‌طور تصادفی از مقادیر زبری بین ۰/۰۳۱ و ۰/۰۹۴ نمونه‌برداری می‌شوند. اطلاعات زبری رودخانه کارده در جدول (۱) ارائه شده است.



شکل (۲): توزیع نرمال مقادیر ضریب زبری کانال

جدول (۱): اطلاعات ضریب زبری مانینگ در رودخانه کارده

	کانال اصلی			سیلاب دشت		
رودخانه کارده	زبری	حداقل	حداکثر	زبری	حداقل	حداکثر
	۰	۰		۰	۰	
	۰/۵۴	۰/۱۷	۰/۰۹۲	۰/۶۳	۰/۱۴	۰/۱۰۸
		۰			۰	
میانگین		۰/۵۴			۰/۶۳	
		۰			۰	
انحراف استاندارد		۰/۱۳			۰/۱۵	

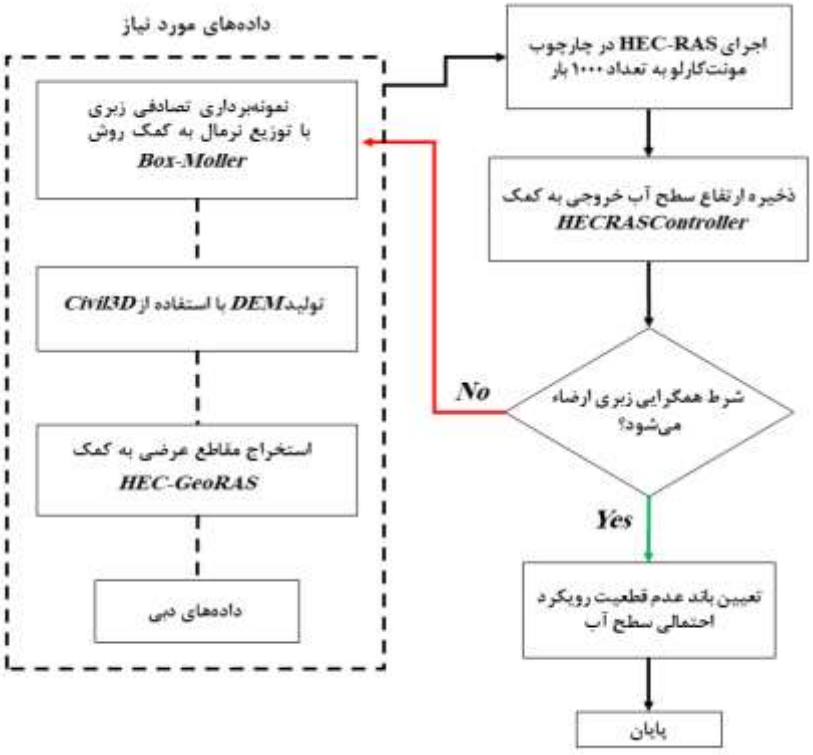
اجرای HEC-RAS در چارچوب مونت‌کارلو

چارچوبی برای تحلیل عدم قطعیت و اجرای خودکار HEC-RAS در رودخانه کارده ایجاد شده است. چارچوب قادر به آزمایش شبیه‌سازی مونت‌کارلو با استفاده از مدل HEC-RAS بوده و روش‌های دستکاری و کنترل خودکار داده‌ها را از طریق زیرروال‌های VBA اکسل فراهم می‌کند. فلوچارت مراحل انجام شده تحقیق در شکل (۳) نمایش داده شده است. در مجموع ۸۴۰۰۰ شبیه‌سازی مونت‌کارلو با استفاده از مدل HEC-RAS در شرایط دائمی با هدف تحلیل عدم قطعیت ضریب زبری مانینگ بر نتایج احتمالی ارتفاع سطح آب در هر مقطع عرضی انجام شده است. در مدل‌سازی رودخانه کارده به طول تقریباً ۷/۵ کیلومتر، تعداد ۱۶۶ مقطع عرضی ترسیم شده است که در شکل (۱) به‌طور شماتیک

[1] Box-Moller

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-27]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.3.5.4]

نمایش داده شده است. فاصله مقاطع عرضی از یکدیگر ۵۰ متر و در نواحی با سرعت زیاد به ۲۵ متر کاهش یافته است. در ادامه، تعداد ۸۴ مقطع عرضی برای شبیه‌سازی مونت‌کارلو درنظر گرفته شده است که برای هر مقطع عرضی در هر اجرا ۱۰۰۰ شبیه‌سازی به‌منظور تحلیل عدم قطعیت متغیر ورودی ضریب زبری انجام می‌شود. درواقع، این تعداد براساس تثبیت نسبی دو معیار میانگین و انحراف استاندارد متغیر خروجی انتخاب شده است. هنگامی‌که تعداد کل شبیه‌سازی‌ها اجرا شد، ارتفاع سطح آب خروجی طبقه‌بندی می‌شود و یک رتبه‌بندی ساده از احتمال فراگذشت[1] ارتفاع سطح آب ارائه می‌شود. درعوض ارائه سطح آب مطلق در مقطع عرضی مشخص (رویکرد قطعی)، نتایج بدست آمده درواقع توزیع احتمال ارتفاع سطح آب ممکن که ذاتاً عدم قطعیت مقادیر زبری را تأیید می‌کند، نشان می‌دهد و احتمال آب‌گرفتگی را در سطح احتمالی متفاوت فراهم می‌کند.



شکل (۳): فلوچارت تحلیل عدم قطعیت به روش مونت‌کارلو

نتایج و بحث

تحلیل عدم قطعیت ناشی از ضریب زبری

در این بخش به‌منظور تحلیل عدم قطعیت مقادیر ضریب زبری و تأثیر آن بر نتایج پروفیل سطح آب، تقریباً نصف مقاطع عرضی در طول رودخانه کارده مورد بررسی قرار گرفتند. بدین صورت که نتایج احتمال فراگذشت ارتفاع سطح آب برای هر مقطع عرضی در تراز مشخص پس از اجرای ۱۰۰۰ شبیه‌سازی مونت‌کارلو استخراج می‌شود. نتایج تحلیل عدم قطعیت زبری به‌منظور رعایت اختصار تنها در ۲۰ مقطع عرضی به‌عنوان نمونه در سطح اطمینان مختلف در جدول (۲) ارائه شده است. ستون اول جدول، ایستگاه‌های مقاطع عرضی؛ ستون دوم، ارتفاع سطح آب براساس رویکرد قطعی با دبی اوج $۲۰۳/۷\ m^3/s$ برای دوره بازگشت ۱۰۰ سال؛ ستون سوم تا هفتم، نتایج احتمال فراگذشت ارتفاع سطح آب بر اثر عدم قطعیت زبری در سطح اطمینان ٪۹۹، ٪۹۵، ٪۵۰، ٪۵ و ٪۱؛ ستون هشتم تا دهم، میانگین ۱۰۰۰ متغیر

[1] Exceedance Probability

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-27]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.3.5.4]

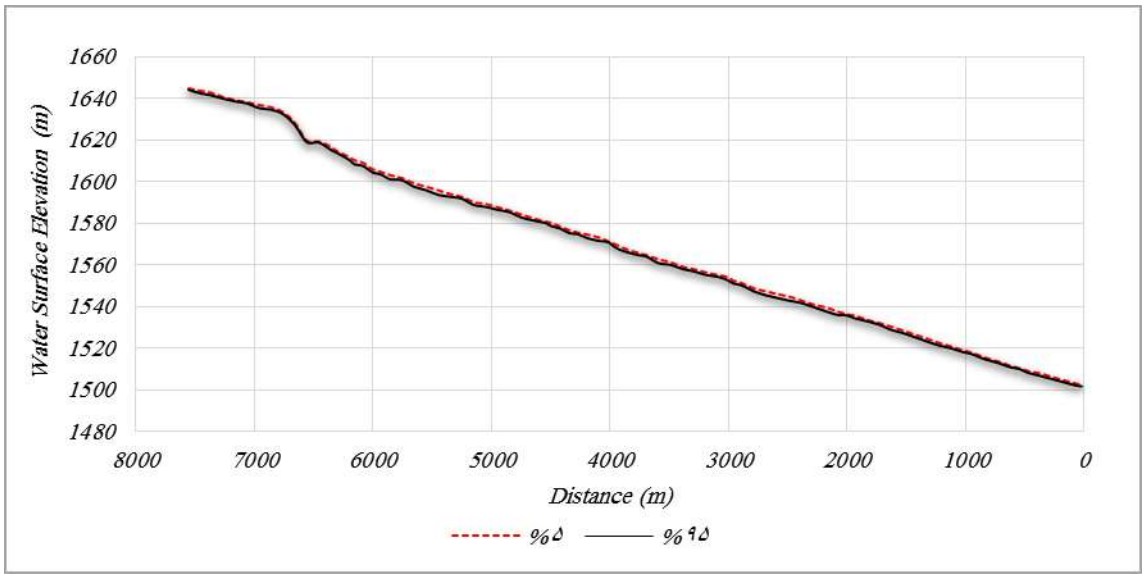
تصادفی زبری تولید شده در نمونه‌برداری با توزیع نرمال برای کانال اصلی و سیلاب‌دشت چپ و راست است. همانطور که مشاهده می‌شود مقادیر ضریب زبری میانگین خروجی در اجرای شبیه‌سازی مونت‌کارلو برای کانال اصلی و سیلاب‌دشت بسیار نزدیک به مقادیر زبری میانگین ارائه شده در جدول (۱) است که نشان از تعداد تقریباً کافی شبیه‌سازی‌ها (۱۰۰۰ اجرا) دارد. در غیر این صورت بایستی به‌منظور رسیدن به همگرایی لازم میانگین زبری ۰/۰۵۴ و ۰/۰۶۳ تعداد شبیه‌سازی‌ها را افزایش داد. ستون انتهایی باند عدم قطعیت ارتفاع سطح آب خروجی را در سطح اطمینان ۹۰ درصد نشان می‌دهد.

جدول (۲): نتایج عدم قطعیت زبری بر ارتفاع سطح آب احتمالی

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
River Station (m)	WSE (m)	99%	95%	50%	5%	1%	n_{ch}	nL_{fl}	nR_{fl}	Uncertainty Band (m) (90%)
۷۵۵۱	۱۶۴۴/۳۹	۱۶۴۴/۰۹	۱۶۴۴/۱۶	۱۶۴۴/۳۶	۱۶۴۴/۴۹	۱۶۴۴/۵۴	۰/۰۵۳۹	۰/۰۶۲۶	۰/۰۶۲۲	۰/۳۳
۷۰۵۹	۱۶۳۷/۷۴	۱۶۳۷/۲۱	۱۶۳۷/۵۸	۱۶۳۷/۷۳	۱۶۳۷/۹۴	۱۶۳۸/۰۲	۰/۰۵۳۸	۰/۰۶۳۴	۰/۰۶۳۱	۰/۳۶
۶۸۵۸	۱۶۳۵/۰۲	۱۶۳۴/۳۸	۱۶۳۴/۶۱	۱۶۳۵/۰۲	۱۶۳۵/۴۶	۱۶۳۵/۵۸	۰/۰۵۴۳	۰/۰۶۳	۰/۰۶۳۳	۰/۸۵
۶۷۵۸	۱۶۳۳/۱۹	۱۶۳۲/۱۷	۱۶۳۲/۵۹	۱۶۳۳/۱۸	۱۶۳۳/۱۹	۱۶۳۳/۲	۰/۰۵۳۶	۰/۰۶۳۴	۰/۰۶۳	۰/۶
۶۵۵۴	۱۶۱۹/۳۳	۱۶۱۸/۸۴	۱۶۱۹	۱۶۱۹/۳۳	۱۶۱۹/۴۶	۱۶۱۹/۵۲	۰/۰۵۴۱	۰/۰۶۲۶	۰/۰۶۳۴	۰/۴۶
۶۴۵۴	۱۶۱۹/۰۴	۱۶۱۷/۷۷	۱۶۱۸/۸۱	۱۶۱۹/۰۴	۱۶۱۹/۰۶	۱۶۱۹/۰۷	۰/۰۵۴۳	۰/۰۶۲۹	۰/۰۶۳۵	۰/۲۵
۶۳۵۳	۱۶۱۶/۱۱	۱۶۱۵/۰۷	۱۶۱۵/۳۵	۱۶۱۶/۱۲	۱۶۱۶/۵۴	۱۶۱۶/۷۱	۰/۰۵۳۸	۰/۰۶۲۶	۰/۰۶۳۲	۱/۱۹
۶۲۰۲	۱۶۱۱/۲۷	۱۶۱۰/۳۴	۱۶۱۰/۶۷	۱۶۱۱/۲۵	۱۶۱۱/۷	۱۶۱۱/۸۹	۰/۰۵۴	۰/۰۶۲۷	۰/۰۶۲۷	۱/۰۳
۵۵۴۹	۱۵۹۶/۹۴	۱۵۹۵/۵۵	۱۵۹۵/۹۲	۱۶۹۶/۹۵	۱۵۹۷/۳۶	۱۵۹۷/۵	۰/۰۵۴۳	۰/۰۶۲۹	۰/۰۶۳۵	۱/۴۴
۵۰۴۶	۱۵۸۸/۵۸	۱۵۸۷/۸	۱۵۸۷/۹۱	۱۵۸۸/۵۸	۱۵۸۹/۰۱	۱۵۸۹/۱۱	۰/۰۵۳۹	۰/۰۶۲۶	۰/۰۶۲۲	۱/۱
۴۴۹۲	۱۵۷۹/۷	۱۵۷۸/۴	۱۵۷۸/۶۸	۱۵۷۹/۶۸	۱۵۷۹/۹۵	۱۵۸۰/۰۶	۰/۰۵۴۱	۰/۰۶۲۸	۰/۰۶۳۴	۱/۲۷
۴۰۹۰	۱۵۷۲/۳۸	۱۵۷۱/۰۸	۱۵۷۱/۵۶	۱۵۷۲/۳۸	۱۵۷۲/۸۹	۱۵۷۳/۰۵	۰/۰۵۴	۰/۰۶۲۷	۰/۰۶۲۷	۱/۳۳
۳۵۸۷	۱۵۶۲/۰۹	۱۵۶۰/۷۱	۱۵۶۰/۸۵	۱۵۶۲/۰۷	۱۵۶۲/۴	۱۵۶۲/۴۸	۰/۰۵۳۸	۰/۰۶۲۶	۰/۰۶۳۲	۱/۵۵
۲۹۵۸	۱۵۵۱/۳۸	۱۵۵۰/۹۷	۱۵۵۱/۱۶	۱۵۵۱/۳۶	۱۵۵۲/۲۳	۱۵۵۲/۳۴	۰/۰۵۳۷	۰/۰۶۲۸	۰/۰۶۲۶	۱/۰۷
۲۴۸۱	۱۵۴۴/۱۴	۱۵۴۲/۲۲	۱۵۴۲/۷۸	۱۵۴۴/۱۲	۱۵۴۴/۴۵	۱۵۴۴/۵۷	۰/۰۵۳۷	۰/۰۶۲۵	۰/۰۶۳	۱/۶۷
۲۰۷۸	۱۵۳۶/۵۸	۱۵۳۵/۶۶	۱۵۳۶/۰۱	۱۵۳۶/۷۳	۱۵۳۷/۳۳	۱۵۳۷/۵۱	۰/۰۵۴۳	۰/۰۶۳	۰/۰۶۲۷	۱/۳۲
۱۵۲۶	۱۵۲۷/۸۵	۱۵۲۷/۰۱	۱۵۲۷/۳۱	۱۵۲۷/۸۵	۱۵۲۸/۲۲	۱۵۲۸/۳۳	۰/۰۵۳۶	۰/۰۶۳۲	۰/۰۶۳	۰/۹۱
۱۰۲۲	۱۵۱۸/۵۷	۱۵۱۷/۹۷	۱۵۱۸/۱۹	۱۵۱۸/۵۵	۱۵۱۸/۷۶	۱۵۱۸/۸۷	۰/۰۵۳۸	۰/۰۶۳۴	۰/۰۶۳۱	۰/۵۷
۳۶۹	۱۵۰۷/۴۶	۱۵۰۶/۵۶	۱۵۰۶/۷۳	۱۵۰۷/۴۴	۱۵۰۷/۶۶	۱۵۰۷/۷۱	۰/۰۵۳۸	۰/۰۶۳۴	۰/۰۶۳۱	۰/۹۳
۱۷	۱۵۰۱/۸۱	۱۵۰۱/۴۴	۱۵۰۱/۶۴	۱۵۰۱/۷۹	۱۵۰۲/۰۲	۱۵۰۲/۱	۰/۰۵۴۳	۰/۰۶۲۷	۰/۰۶۳۵	۰/۳۸

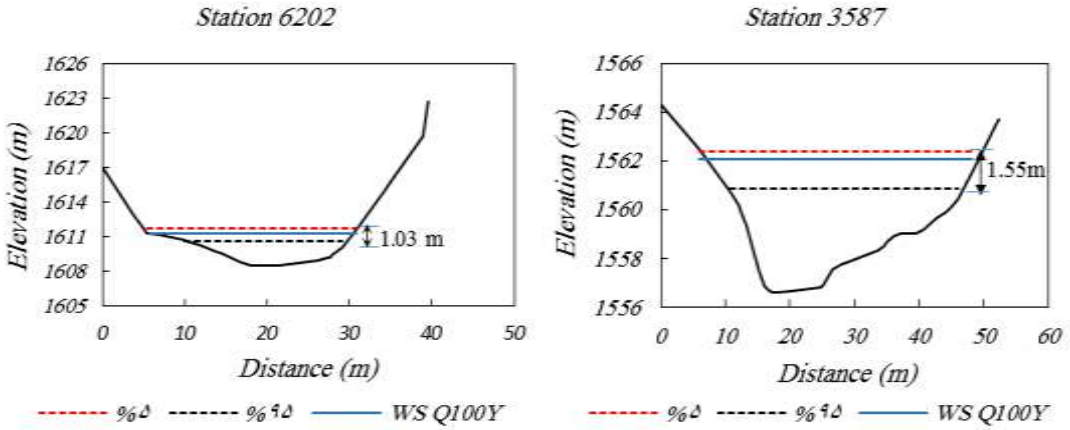
نتایج بدست آمده حاکی از تأثیر قابل‌توجه عدم قطعیت ضریب زبری بر باند عدم قطعیت خروجی ارتفاع سطح آب در سطح اطمینان ۹۰ درصد است. به‌عنوان مثال در ایستگاه ۶۲۰۲ نتایج نشان می‌دهد که ارتفاع سطح آب به تغییرات ضریب زبری با دامنه منفی یا مثبت ۵۰ درصد بسیار حساس است به‌طوری‌که تغییرات ارتفاعی سطح آب در این مقطع به ۱/۰۳ متر می‌رسد. درواقع، شبیه‌سازی مونت‌کارلو نشان می‌دهد که ۹۸ درصد احتمال دارد که ارتفاع سطح آب بین ۱۶۱۰/۳۴ و ۱۶۱۱/۸۹ متر باشد. شکل (۴) رویکرد احتمالی پروفیل سطح آب رودخانه کارده را در سطح اطمینان ٪۵ و ٪۹۵ نمایش می‌دهد.

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-27]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.3.5.4]



شکل (۴): پروفیل احتمالی سطح آب در باندهای اطمینان ۵ و ۹۵ درصد

ماکزیمم اختلاف ارتفاع سطح آب در سطح اطمینان ۵ و ۹۵ درصد در بین ۸۴ مقطع عرضی مورد بررسی به ۱/۸۹ متر می‌رسد. درواقع مقطع مورد نظر نشان می‌دهد با اعمال ۵۰ درصد تغییرات زبری، ٪۹۰ احتمال دارد که ارتفاع سطح آب به میزان ۱/۸۹ متر تغییر کند. بااین‌حال، تغییرات باند عدم قطعیت در پروفیل طولی به‌خوبی محسوس نمی‌شود. لذا به‌منظور مشاهده تغییرات ارتفاعی سطح آب، مقطع عرضی دو ایستگاه به‌عنوان نمونه مطابق شکل (۵) به نمایش گذاشته می‌شود. باند عدم قطعیت زبری در سطح اطمینان ٪۹۰ در این مقاطع به ۱/۵۵ و ۱/۰۳ متر می‌رسد.



شکل (۵): رویکرد احتمالی ارتفاع سطح آب در سطح اطمینان ٪۹۰

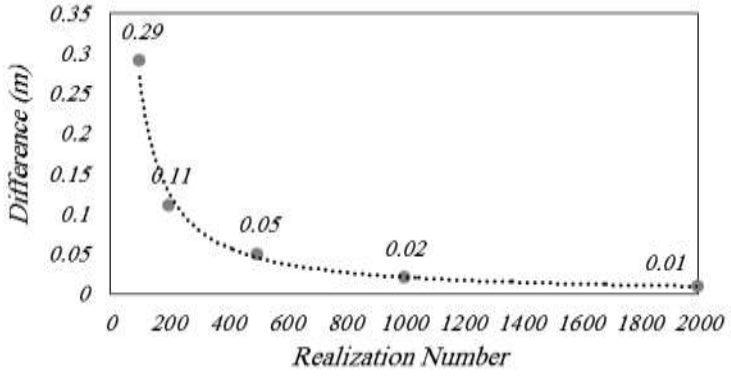
با توجه به باند عدم قطعیت بدست آمده و پروفیل احتمالی سطح آب، مقاطعی که باند عدم قطعیت در آن‌ها به مقدار حداکثر و حداقل می‌رسد قابل بررسی است. به‌عنوان نمونه در چند مقطع عرضی در حد فاصل ایستگاه‌های ۶۷۵۸ و ۶۴۵۴ باند عدم قطعیت مطابق جدول (۲) به مقدار کمتر مساوی ۰/۶ متر می‌رسد که با نگاهی به شکل ۴ در این فاصله مشاهده می‌شود که شیب طولی در این قسمت رودخانه بیشتر است. همچنین با بررسی شکل ۵ مقاطع عرضی در نقاطی که اختلاف در پهنای باند قابل ملاحظه است، نتیجه می‌شود مقاطعی که شیب عرضی آن‌ها بیشتر بوده عدم قطعیت نیز بیشتر است. درمقابل مقاطع V شکل از عدم قطعیت کمتری برخوردارند. به‌عنوان مثال، باند عدم قطعیت در سطح اطمینان ٪۹۰ در مقطع عرضی ایستگاه ۲۴۸۱ (مقطعی U شکل با شیب عرضی بیشتر) برابر ۱/۶۷

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-27]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.3.5.4]

متر است. درحالی‌که مقطع عرضی ایستگاه ۲۹۵۸ (مقطعی V شکل و شیب عرضی کمتر)، دارای باند عدم قطعیت ۱/۰۷ متر است. نتایج ارائه شده مشابه مطالعات (Jung & Merwade, 2012) و (Dimitriadis et al., 2016) است که در بخش ابتدایی به خروجی تحقیقات اشاره گردید. به‌طور کلی مقادیر عدم قطعیت در طول رودخانه کارده ثابت نیست و براساس شکل مقاطع عرضی، مارپیچ بودن مسیر و به دنبال آن تغییر مشخصات هیدرولیکی جریان، عدم قطعیت زبری در نتایج تغییر می‌کند که بایستی در طراحی پهنه سیل‌گیر مد نظر قرار گیرد.

تحلیل حساسیت تعداد شبیه‌سازی‌ها

پیش از انتخاب تعداد شبیه‌سازی بهینه در مدل‌سازی آزمون تحلیل حساسیت در چارچوب مونت‌کارلو برای یک مقطع عرضی به‌عنوان نمونه با استفاده از مجموعه شبیه‌سازی‌های ۱۰۰، ۲۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۵۰۰۰ اجرا شد. نتایج نشان می‌دهد که باند عدم قطعیت ارتفاع سطح آب در سطح اطمینان ۹۰ درصد برای تعداد شبیه‌سازی‌های کمتر از ۱۰۰۰ اجرا تحت تأثیر قرار می‌گیرد. درمقابل، باند عدم قطعیت برای تعداد شبیه‌سازی‌های بیشتر از ۱۰۰۰ اجرا تقریباً غیرحساس می‌شود. شکل (۶) نتایج تحلیل حساسیت شبیه‌سازی‌های مختلف را در مقایسه با ۵۰۰۰ شبیه‌سازی نشان می‌دهد. نتایج اختلاف ارتفاع سطح آب در سطح اطمینان ۹۰ درصد در شبیه‌سازی‌های ۱۰۰، ۲۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ در مقایسه با ۵۰۰۰ شبیه‌سازی به ترتیب برابر با ۰/۲۹، ۰/۱۱، ۰/۰۵، ۰/۰۲ و ۰/۰۱ متر است و از توزیع توانی ثابت مطابق نتایج (Papaioannou et al., 2017) پیروی می‌کند.



شکل (۶): تحلیل حساسیت تعداد شبیه‌سازی‌های مختلف در مقایسه با ۵۰۰۰ شبیه‌سازی

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر با هدف ارائه رویکرد احتمالی ارتفاع سطح آب برای پهنه سیل پرخطر یعنی سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ سال صورت گرفت و نتایج عدم قطعیت زبری در ۸۴ مقطع عرضی با رویکرد مونت‌کارلو ارائه گردید. واضح است که مدل HEC-RAS به‌دلیل عملکرد خوب آن در شبیه‌سازی پروفیل سطح آب در میان طراحان محبوبیت فراوانی دارد، اما نکته قابل ملاحظه عدم توجه طراحان به عدم قطعیت بالای زبری و تأثیر آن بر نتایج ارتفاع سطح آب است که متأسفانه در طراحی پهنه سیلاب برای مناطقی که احتمال آب‌گرفتگی آن‌ها بالا است، توجه نمی‌شود. لذا توصیه می‌شود به‌جای استفاده از رویکرد قطعی و نقشه‌های سیلاب محاسبه شده برمبنای زبری مشخص، استفاده از نقشه‌هایی براساس رویکردهای احتمالی در دستور کار قرار بگیرد. در این تحقیق اگرچه تأثیر بالای عدم قطعیت زبری مانینگ بر پروفیل احتمالی سطح آب در سطح اطمینان مختلف بررسی شد، اما یک رویکرد احتمالی باید تمام مقادیر ورودی غیرقطعی مهم را در مدل HEC-RAS ارزیابی کند. این متغیرها شامل دبی ورودی، شرایط مرزی و حتی پارامترهای محاسباتی مانند بازه زمانی محاسبات و فاکتور وزنی θ هستند که بایستی عدم قطعیت آن‌ها در نقشه‌های سیلاب بررسی گردد.

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-27]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.3.5.4]

منابع

۱- شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی، (۱۳۹۶). بازنگری و تکمیل مطالعات تعیین حد بستر و حریم رودخانه کارده، گزارش مطالعات هیدرولوژی.

2. Apel H., Merz B. and Thieken A. H. *(2008). Quantification of uncertainties in flood risk assessments.* International Journal of River Basin Management, *6*(2), *149–162.*

3. Aronica G., Hankin B. and Beven K. *(1998). Uncertainty and equifinality in calibrating distributed roughness coefficients in a flood propagation model with limited data.* Advances in Water Resources, *22(4), 349–365.*

4. Bozzi S., Passoni G., Bernardara P., Goutal N. and Arnaud A. *(2015). Roughness and discharge uncertainty in 1D water level calculations.* Environmental Modeling & Assessment, *20(4), 343–353.*

5. Cowan W. L. (1956). Estimating hydraulic roughness coefficients. *Agricultural Engineering*, *37*(7), 473–475.

6. De Moel H. d., Van Alphen J. and Aerts J. *(2009). Flood maps in Europe methods, availability and use.* Natural Hazards & Earth System Sciences, *9*(2).

7. Di Baldassarre G. and Montanari A. *(2009). Uncertainty in river discharge observations: a quantitative analysis*. Hydrology & Earth System Sciences, *13*(*6).*

8. Dimitriadis P., Tegos A., Oikonomou A., Pagana V., Koukouvinos A., Mamassis N. and Efstratiadis A. *(2016). Comparative evaluation of 1D and quasi-2D hydraulic models based on benchmark and real-world applications for uncertainty assessment in flood mapping.* Journal of Hydrology, *534*, 478–492.

9. Dysarz T. *(2018). Application of Python scripting Techniques for control and automation of HEC-RAS simulations.* Water, *10(10), 1382.*

10. Goodell C. *(2014). Breaking HEC-RAS Code.* In A User's Guide to Automating HEC-RAS.

11. Green J., Bullen S., Bovey R. and Alexander M. (2007). Excel® 2007 VBA. Indianapolis: Wiley Publishing, Inc.

12. Hunter N., Bates P., Neelz S., Pender G., Villanueva I., Wright N. G. and Waller S. *(2008). Benchmarking 2D hydraulic models for urban flooding.* Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management, *161(1), 13–30*. Thomas Telford Ltd.

13. Hunter N. M., Bates P. D., Horritt M. S., De Roo A. P. J. and Werner M. G. F. *(2005). Utility of different data types for calibrating flood inundation models within a GLUE framework.* Hydrology and Earth System Sciences Discussions, *9(4), 412–430.*

14. Jung Y. and Merwade V. *(2012). Uncertainty quantification in flood inundation mapping using generalized likelihood uncertainty estimate and sensitivity analysis.* Journal of Hydrologic Engineering, *17(4), 507–520.*

15. Kidson R., Richards K. S. and Carling P. A. *(2002). 26. Hydraulic Model Calibration Using A Modern Flood Event: THE MAE CHAEM RIVER, THAILAND.* Workshop, Barcelona, *16(19).*

16. Lund J. R. *(1991). Random variables versus uncertain values: stochastic modeling and design.* Journal of Water Resources Planning and Management, *117(2), 179–194.*

17. Maghrebi M. F. *(2006). Application of the single point measurement in discharge estimation.* Advances in Water Resources, *29(10), 1504–1514*

18. Melching C. S. *(1995). Reliability estimation.* Computer Models of Watershed Hydrology.

19. Papaioannou G, Loukas A., Vasiliades L. and Aronica G. T. *(2017). Sensitivity analysis of a probabilistic flood inundation mapping framework for ungauged catchments.* Eur. Water, *60, 9–16.*

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-27]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.3.5.4]

20. Papaioannou G., Vasiliades L., Loukas A. and Aronica G. T. *(2017). Probabilistic flood inundation mapping at ungauged streams due to roughness coefficient uncertainty in hydraulic modelling.* Advances in Geosciences, *44*.

21. Pappenberger F., Beven K.., Horritt M. and Blazkova S. *(2005). Uncertainty in the calibration of effective roughness parameters in HEC-RAS using inundation and downstream level observations.* Journal of Hydrology, *302(1–4), 46–69.*

22. Solomatine D. P. and Shrestha D. L. *(2009). A novel method to estimate model uncertainty using machine learning techniques.* Water Resources Research, *45(12).*

23. Tung Y. K. and Yen B. C. *(2005). Hydrosystems engineering uncertainty analysis*. McGraw-Hill New York.

24. Vatanchi S. M. and Maghrebi M. F. *(2019). Uncertainty in Rating-Curves Due to Manning Roughness Coefficient.* Water Resources Management, *33(15), 5153–5167.*

Roughness uncertainty analysis in river flooding using HEC-RAS model

Zahra Sharifinik[1], Mahmoud F. Maghrebi[2*]

1- M.Sc. Student, Water and Hydraulic Structures, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

2- Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

Received: 2020/12
Accepted: 2021/01

Abstract

Although flood maps based on the deterministic approach play an important role in minimizing flood losses, there is considerable uncertainty in calculating the level of water inundation. Roughness is a key parameter in water surface elevation. Since roughness is not easily measurable and is estimated based on experimental and laboratory methods, it introduces a significant degree of uncertainty into the model. Therefore, in this paper, a probabilistic framework based on the Monte Carlo simulation approach is used to analyze the uncertainty of the roughness coefficient using the HEC-RAS model. In this framework, a computational module in Visual Basic language was introduced to communicate with the HECRASController to automatically run 84,000 Monte Carlo simulations within 7.5 km of the Karde River. In each performance, 1000 Monte Carlo simulations were performed in 84 separate cross-sections based on the Manning roughness probability distribution and the results of roughness uncertainty at water elevation were presented at 99%, 95%, 50%, 5%, and 1% confidence levels. The results indicate a significant effect of roughness on the water surface elevation uncertainty at 90% confidence level so that changes in water surface elevation in many cross-sections reach more than 1 meter. Comparing the cross-sections with the minimum and maximum uncertainty bands, show that the cross-sections with higher lateral gradients have more uncertainty and the V-shaped cross-sections with the lower lateral gradients have fewer uncertainty bands. Also, the results of sensitivity analysis to select the optimal number of simulations indicate that the bandwidth of uncertainty is not affected by the number of simulations of more than 1000 runs. The presented results based on the deterministic approach and increasing the reliability and improving the performance of the model based on the uncertainty of roughness in the Karde River can be used in the design of rainwater catchment.

Keywords: Sensitivity analysis, Monte-Carlo simulation, Manning roughness coefficient, Uncertainty, HEC-RAS.

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-27]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.3.5.4]