



## Uncertainty Analysis of the Water Level of the Karun and Dez Dam Reservoirs Due to the Inflow Hydrograph Uncertainty

Bahar Mohammadi<sup>1</sup> | Mehdi Radfar<sup>2</sup> | Hossein Fathian<sup>3</sup> |  
Rasoul Mirabbasi Najafabadi<sup>4</sup>

1. Department of Water Engineering, Shahrekord University, Shahrekord Iran, Iran. Email: [z.mohammadi@stu.sku.ac.ir](mailto:z.mohammadi@stu.sku.ac.ir)
2. Department of Water Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. Email: [radfar@sku.ac.ir](mailto:radfar@sku.ac.ir)
3. Department of Water Science & Engineering, Islamic Azad University, Ahvaz Branch, Iran. Email: [fathian.h58@gmail.com](mailto:fathian.h58@gmail.com)
4. Corresponding Author, Department of Water Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. Email: [mirabbasi@sku.ac.ir](mailto:mirabbasi@sku.ac.ir)

Article Info	ABSTRACT
<p><b>Article type:</b> Research Article</p> <p><b>Article history:</b> Received 9 May 2023 Received in revised form 21 July 2023 Accepted 2 August 2023 Published online 17 January 2024</p> <p><b>Keywords:</b> <i>Dam reservoirs</i> <i>Inflow hydrograph</i> <i>Uncertainty</i> <i>Water level</i></p>	<p>The Real-time flood control operation of a reservoir system can greatly reduce human and financial losses. In this study, a model for real-time flood control operations in reservoirs under the occurrence of floods in April 2019 and the uncertainty of hydrographs of inflows is presented. The presented model includes three modules: the flood that occurred in April 2019, Monte Carlo-HEC-ResSim simulation, and uncertainty analysis. The considered uncertainty factor is the hydrograph of the input to the reservoirs and side flows to the river. A Monte Carlo-HEC-ResSim simulation was performed according to the real flood of April 2018. In order to quantify the uncertainty of the HEC-ResSim model in the simulation of the water level of the dam reservoir, two 95 Percent confidence band factors (P-factor) and the band width factor index (d-factor) were used. Based on the results of the Monte Carlo simulation, the uncertainty in the water level of Dez, Karun and Gotvand dams due to the uncertainty of the hydrograph of the inflow was 0.037, 0.107 and 0.034 Percent, respectively. Therefore, the highest and lowest uncertainty in the water level due to the uncertainty of the inflow hydrograph is related to the Karun 1 and Upper Gotvand dams, respectively. In addition, the uncertainty bandwidth of the HEC-ResSim model in simulating the water level in Dez, Karun 1, and Upper Gotvand reservoirs was 0.151, 0.407, and 0.808, respectively. Considering that the maximum allowable amount of the accepted bandwidth factor is equal to one, the uncertainty bandwidth obtained in all the parameters (including the input and output values from the reservoirs, the volume of the reservoirs and the control points downstream of the dams) is accepted. This indicates the low uncertainty of the HEC-ResSim model in reservoir exploitation operations. The 95ppu values of the observational data in the 95 Percent confidence band for the water level of the reservoirs in the three studied dams were 100 Percent. A high 95ppu value indicates that the model has a strong physical and theoretical basis. For other parameters, the 95ppu values were low due to the low uncertainty of the parameters.</p>

**Cite this article:** Mohammadi, B., Radfar, M., Fathian, H., & Mirabbasi Najafabadi, R. (2024). Uncertainty Analysis of the Water Level of the Karun and Dez Dam Reservoirs Due to the Inflow Hydrograph Uncertainty. *Journal of Water and Irrigation Management*, 13 (4), 855-871. DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2023.358580.1071>





## تحلیل عدم قطعیت تراز سطح آب مخازن سد کارون و دز ناشی از عدم قطعیت هیدروگراف جریان‌های ورودی

بهار محمدی<sup>۱</sup> | مهدی رادفر<sup>۲</sup> | حسین فتحیان<sup>۳</sup> | رسول میرعباسی نجف‌آبادی<sup>۴</sup>

۱. گروه مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: [z.mohammadi@stu.sku.ac.ir](mailto:z.mohammadi@stu.sku.ac.ir)
۲. گروه مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: [radfar@sku.ac.ir](mailto:radfar@sku.ac.ir)
۳. گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: [fathian.h58@gmail.com](mailto:fathian.h58@gmail.com)
۴. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: [mirabbasi@sku.ac.ir](mailto:mirabbasi@sku.ac.ir)

### اطلاعات مقاله

### چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

عملیات کنترل سیل در زمان واقعی یک سیستم مخازن می‌تواند تا حد زیادی از خسارت جانی و مالی بکاهد. در این مطالعه، یک مدل برای عملیات کنترل سیل در زمان واقعی در مخازن تحت وقوع سیلاب در فروردین‌ماه سال ۱۳۹۸ و عدم قطعیت هیدروگراف‌های جریان‌های ورودی ارائه شده است. مدل ارائه‌شده شامل سه مازول سیلاب به‌وقوع پیوسته فروردین‌ماه ۱۳۹۸، شبیه‌سازی مونت‌کارلو (Monte Carlo-HEC-ResSim) و بررسی تأثیر عدم قطعیت متغیرهای ورودی (هیدروگراف جریان ورودی و میانجی) بر عدم قطعیت تراز سطح آب و حجم آب در مخازن سدها است. برای به کمیت درآوردن عدم قطعیت مدل HEC-ResSim در شبیه‌سازی تراز سطح آب مخزن سد از دو فاکتور باند اطمینان ۹۵ درصد (P-factor) و شاخص عامل عرض باند (d-factor) استفاده شد. براساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی مونت‌کارلو، عدم قطعیت در تراز سطح آب سدهای دز، کارون یک و گتوند به‌علت عدم قطعیت هیدروگراف جریان ورودی به‌ترتیب برابر با ۰/۰۳۷، ۰/۱۰۷ و ۰/۰۳۴ درصد به‌دست آمد. بنابراین بیش‌ترین و کم‌ترین عدم قطعیت در تراز سطح آب به‌علت عدم قطعیت هیدروگراف جریان ورودی به‌ترتیب مربوط به سدهای کارون یک و گتوند می‌باشد. علاوه بر این پهنای باند عدم قطعیت مدل HEC-ResSim در شبیه‌سازی تراز سطح آب در مخازن دز، کارون یک و گتوند علیاً به‌ترتیب برابر با ۰/۱۵۱، ۰/۴۰۷ و ۰/۸۰۸ حاصل شد. با توجه به این‌که حداکثر میزان مجاز عامل پهنای باند مورد پذیرش برابر با یک است، پهنای باند عدم قطعیت به‌دست‌آمده در تمام پارامترها (شامل مقادیر ورودی و خروجی از مخازن، حجم مخازن و نقاط کنترل پایین‌دست سدها) مورد پذیرش می‌باشد. این امر حاکی از عدم قطعیت پایین مدل HEC-ResSim در عملیات بهره‌برداری از مخازن است. مقادیر درصد ۹۵ ppu داده‌های مشاهداتی در باند اطمینان ۹۵ درصد برای سطح تراز آب مخازن در سه سد مورد مطالعه ۱۰۰ درصد بود. بالای بودن شاخص ۹۵ ppu نشان از برخورداری مدل از یک مبنای فیزیکی و نظری قوی است. برای سایر پارامترها، مقادیر ۹۵ ppu کم بود که این ناشی از پایین‌بودن عدم قطعیت پارامتر است.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۱۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۴/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۰/۲۷

کلیدواژه‌ها:

تراز سطح آب

عدم قطعیت

مخازن سد

هیدروگراف ورودی

**استناد:** محمدی، بهار؛ رادفر، مهدی؛ فتحیان، حسین و میرعباسی نجف‌آبادی، رسول (۱۴۰۲). تحلیل عدم قطعیت تراز سطح آب مخازن سد کارون و دز ناشی از عدم قطعیت هیدروگراف جریان‌های ورودی. نشریه مدیریت آب و آبیاری، ۱۳ (۴)، ۸۵۵-۸۷۱.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2023.358580.1071>



## ۱. مقدمه

هر ساله سیلاب‌ها خسارات مالی و جانی زیادی در نقاط مختلف دنیا از خود به جای می‌گذارند. از این رو اهمیت پیش‌بینی و مهار آن‌ها بیش از پیش نمایان است (Ilkhchi *et al.*, 2002). یکی از اهداف اساسی احداث سدها بر روی رودخانه‌ها، مهار سیلاب می‌باشد. بهره‌برداری به موقع و مناسب از مخازن سدها قبل از وقوع و هنگام وقوع سیل نقش به‌سزایی در کاهش خسارات ناشی از سیلاب دارد. در شرایط بحرانی برای تهیه قوانین بهره‌برداری از مخازن نیاز به یک سیستم کارآمد با تخمین خسارت‌ها و بررسی شرایط بهینه در پایین دست سد می‌باشد. در شرایط سیلابی بهره‌برداری از مخازن با مدل ساعتی (کوتاه مدت) باید به صورتی باشد که در پایین دست کمترین خسارات وارد شود و همچنین ایمنی سد نیز به خطر نیفتد (Zargar, 2015). سیستم‌های مرکب از مخازن سری و موازی دارای حوضه‌های وسیع و سیلاب‌های مخرب می‌باشند. سدهای واقع در این سیستم‌ها معمولاً با اهداف مختلفی مثل تولید انرژی، کشاورزی، کنترل سیلاب و ... احداث شده‌اند. از طرفی در چنین سیستم‌هایی، سدها با ذخیره کردن بخشی از سیلاب در مخزن خود باعث کاهش جریان رها شده به پایین دست می‌شوند. عملکرد بلادرنگ سرریز هنگام وقوع سیلاب، یکی از مهم‌ترین مسائل در مدیریت سدها می‌باشد. در این مواقع باید میزان جریان خروجی مخزن با کنترل مناسب دریچه‌های سرریز تنظیم شود (Mohammadi, 2012). عملیات کنترل سیل در زمان واقعی سیستم‌های چند مخزنی یکی از اقدامات مهم غیرسازه‌ای برای کاهش خسارات سیلاب در یک حوضه رودخانه است، چرا که عدم قطعیت‌های قابل توجهی در عملیات کنترل سیل در زمان واقعی سیستم‌های چند مخزنی وجود دارد (Wang, 2007; Tung, 2013; Yan *et al.*, 2014). این عدم قطعیت‌ها معمولاً در دو دسته قرار می‌گیرند:

الف) عدم قطعیت‌های داخلی به دلیل ویژگی‌های تصادفی متغیرهای هیدرولوژیکی

ب) عدم قطعیت‌های خارجی ناشی از عدم قطعیت ساختاری مدل و خطا در تخمین پارامترها

مدل‌های عملیاتی کنترل سیل در زمان واقعی، معمولاً نتایج قابل قبولی را ارائه می‌دهند. اما ابهامات موجود بین نتایج محاسبه شده و رخداد‌های واقعی، منجر به انحراف و ایجاد ریسک در تصمیم‌گیری‌های کنترل سیل می‌شود. با توجه به این نگرانی، ارزیابی عدم قطعیت‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Chen *et al.*, 2019). تجربیات جهانی نشان می‌دهد که ایمنی مطلق در مقابل سیلاب غیرقابل حصول است. این امر ناشی از عدم قطعیت معمول در مهندسی آب، تغییرات هیدروسیستم‌ها و محدودیت‌های اقتصادی می‌باشد (Behroz *et al.*, 2013). نظر به اهمیت تحلیل عدم قطعیت در مطالعات هیدرولوژی، در سال‌های اخیر مطالعاتی در این زمینه انجام پذیرفته که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود:

Kaheh *et al.* (2018) با استفاده از روش مونت کارلو و RPEM<sup>۱</sup> به تحلیل عدم قطعیت پارامترهای هیدرودینامیکی در مدل MODFLOW پرداختند. آن‌ها در پژوهش خود به منظور تحلیل عدم قطعیت پارامتری مدل جریان آب زیرزمینی، پارامتر هدایت هیدرولیکی به صورت غیرقطعی از میان بازه‌های غیرقطعی بررسی شده، بازه افزایش ۴۰ و کاهش ۳۰ درصدی در مقدار هدایت هیدرولیکی حاصل از واسنجی مدل توسط هر دو روش مونت کارلو و RPEM به عنوان مناسب‌ترین بازه انتخاب کردند و نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که روش PREM عملکرد بهتری نسبت به روش مونت کارلو دارد. (Riyahi *et al.*, 2021)، در مطالعه‌ای به تحلیل عدم قطعیت نتایج در مدل HEC-RAS برای شبیه‌سازی پارامترهای هیدرولیکی جریان توسط شبیه‌سازی مونت کارلو در رودخانه کارون بزرگ واقع در خوزستان پرداختند. مدل مونت کارلو با توسعه در یک ماژول محاسباتی کنترل و ترکیب آن با هسته محاسباتی HEC-RAS به حالت خودکار انجام گرفت. در همین راستا، تعداد ۳۰۰۰ نمونه داده مونت کارلو بر طبق توزیع احتمالاتی ضریب مانینگ مورد شبیه‌سازی قرار دادند. نتایج حاصل از تحلیل عدم قطعیت نشان داد که نتایج مدل HEC-RAS عدم قطعیت پنهان زیادی را شامل می‌شود و در تحلیل احتمالاتی نتایج باعث افزایش قابلیت اطمینان در نتایج

می‌شود. همچنین در مطالعه‌ای *Akbari et al.* (2021)، بهره‌برداری از مخزن سد سورک واقع در رودخانه کیار شهرکرد را با مدل HEC-ResSim شبیه‌سازی نموده‌اند. ایشان شبیه‌سازی را تحت سه سناریو با در نظر گرفتن دبی ورودی سال‌های آبی ۱۳۹۱-۱۳۸۰، ویژگی‌های فیزیکی در بدنه مخزن و تأمین نیاز پایین‌دست شامل زیست محیطی و کشاورزی انجام دادند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که مناسب‌ترین بهره‌وری از آب موجود در منطقه مورد مطالعه در زمانی اتفاق می‌افتد که الگوی کشت در کشاورزی اصلاح گردد.

*Uysal et al.* (2016) به مقایسه مدل‌های مختلف مخزن (مخزن یوواجیک در ترکیه) برای عملیات کوتاه‌مدت مدیریت سیل پرداختند. او در مطالعه خود، روش‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری مبتنی بر شبیه‌سازی (HEC-ResSim) و بهینه‌سازی را برای کاهش حوادث سیل استفاده کرد. با توجه به مزایا و معایب خاص هر روش به این نتیجه رسیدند که رویکرد مبتنی بر بهینه‌سازی با توجه به داشتن ساختار ریاضی در مقایسه با رویکرد مبتنی بر شبیه‌سازی، نتایج مناسب‌تری دارد.

*Huang et al.* (2018) به تحلیل ریسک و کنترل سیلاب مخزن (کشور چین) با توجه به عدم قطعیت‌های متعدد پرداختند. آن‌ها نشان دادند در طول عملیات کنترل سیل مخزن، عدم قطعیت در پیش‌بینی سیل، شکل هیدروگراف، شبیه‌سازی جریان، ذخیره آب مخزن، سطح آب و تخلیه رخ می‌دهد. بنابراین تحلیل خطر کنترل سیلاب به دلیل این عدم قطعیت‌ها دارای اهمیت می‌باشد. آن‌ها برای عدم قطعیت پیش‌بینی سیل از عدم قطعیت موجود در هیدروگراف سیلاب و همچنین برای عدم قطعیت در مجموعه ذخیره‌سازی از تراز سطح آب و تخلیه از روش شبیه‌سازی مبتنی بر مفصل و روش نمونه‌گیری LHS<sup>۲</sup> استفاده نمودند. *Chen et al.* (2019) مدلی برای کنترل زمان جاری شدن سیل در زمان واقعی سیستم مخزن آبشار (در کشور چین) تحت شرایط اضطراری توسعه دادند. مدل ارائه‌شده شامل سه ماژول سناریوهای اضطراری، شبیه‌سازی مونت کارلو و تحلیل ریسک بود. سناریوهای اضطراری شامل زمین‌لرزه، سیل شدید و خرابی سرریزهای یک مخزن بود. نتایج نشان داد که خطر آسیب‌رسیدن به مخزن، با افزایش سطح اولیه آب در مخزن، افزایش دوره بازگشت سیلاب شدید و همچنین با کاهش درصد ظرفیت رهاسازی مخزن افزایش می‌یابد. بنابراین، تصمیم‌گیرندگان می‌توانند با توجه به سطح اولیه مخزن، بهترین مدل بهره‌برداری را انتخاب کنند. *Belay et al.* (2019) به تجزیه و تحلیل عملیات بهره‌برداری از مخزن ریب در حوضه رود نیل پرداختند. هدف آن‌ها از این مطالعه پیکربندی و شبیه‌سازی سیستم‌های منابع آب فعلی و احتمالی آینده رودخانه مخزن ریب با استفاده از مدل HEC-ResSim بود. بدین منظور، منحنی‌های راهنمای بهره‌برداری توسعه داده شدند و سپس منحنی‌های قاعده تصمیم‌گیری رهاسازی را با توجه به ذخیره‌سازی مخزن فعلی تعریف کردند.

*Faraj et al.* (2021) تأثیر پروژه آب گرمسیری (TWP)<sup>۳</sup> بر بهره‌برداری از سد دربندیخان و پروژه آبرسانی حلبچه (کردستان عراق) را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها داده‌های ورودی ماهانه سد دربندیخان برای شبیه‌سازی عملکرد سد با استفاده از بسته HEC-ResSim 3.1 استفاده کردند. نتایج نشان داد که حدود ۴۸/۴ درصد از ظرفیت تولید برق از بین می‌رود و ارتفاع سطح آب در مخزن تحت تأثیر پروژه TWP قرار می‌گیرد. ارتفاع سطح آب برای دوره‌های طولانی ۴۴۳ متر یا کمتر از آن خواهد بود که بر عملکرد پروژه آبرسانی حلبچه تأثیر می‌گذارد.

هدف اصلی این مطالعه، تدوین یک مدل تلفیقی شبیه‌سازی برای مدیریت مخازن جهت برنامه‌ریزی و بهره‌برداری مناسب سیستم‌های ترکیبی (سری و موازی) کنترل سیلاب، بررسی تأثیر عدم قطعیت متغیرهای ورودی (هیدروگراف جریان ورودی و میانی) بر عدم قطعیت تراز سطح آب و حجم آب در مخازن سدها، دبی ورودی و خروجی از مخازن و دبی در نقاط کنترل می‌باشد. برای این منظور مدل HEC-ResSim 3.3 به‌عنوان مدلی که برای بهره‌برداری مخازن در زمان واقعی و روندیابی سیلاب در مخازن و نقطه کنترل در پایین‌دست مخازن تحت سیلاب واقعی فروردین‌ماه ۹۸ (۱۰-۱۳ فروردین‌ماه) می‌باشد، مورد استفاده قرار گرفت.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲.۱. منطقه مورد مطالعه

رودخانه‌های کارون و دز از دامنه‌های غربی رشته کوه زاگرس در غرب ایران سرچشمه می‌گیرند. آن‌ها پس از خروج از محدوده کوهستانی در پهنه‌دشت خوزستان جریان می‌یابند و پس از تلاقی با یکدیگر رودخانه کارون بزرگ را تشکیل می‌دهند. مقایسه دبی پیک و خسارت سیلاب‌های به‌وقوع پیوسته قبل و بعد از احداث سدهای دز و کارون در دشت خوزستان نمایانگر کارایی این سدها در تعدیل سیلاب پایین‌دست و کاهش خسارت‌های ناشی از آن می‌باشد. در این مطالعه فقط سد دز بر روی رودخانه دز و سدهای کارون یک و گتوند بر روی رودخانه کارون مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در شکل‌های (۱) و (۲) موقعیت کلی حوضه و این سدها نشان داده شده است.

### ۲.۲. روش کار

شکل (۳) چارچوب مدل برای عملکرد کنترل سیل در زمان واقعی مخازن را نشان می‌دهد. روش ارائه‌شده شامل سه مؤلفه است؛ سیلاب واقعی ۹۸، شبیه‌سازی مونت کارلو و تحلیل عدم قطعیت. مدل براساس سیلاب واقعی به وقوع پیوسته، شبیه‌سازی مونت کارلو با توجه به عدم قطعیت ورودی به مخازن، عملیات کنترل سیل در زمان واقعی را انجام می‌دهد. سپس به بررسی تأثیر عدم قطعیت متغیرهای ورودی (هیدروگراف جریان ورودی و میانی) بر عدم قطعیت تراز سطح آب و حجم آب در مخازن سدها، ورودی و خروجی از سدها و دبی در نقاط کنترل پرداخته شد.

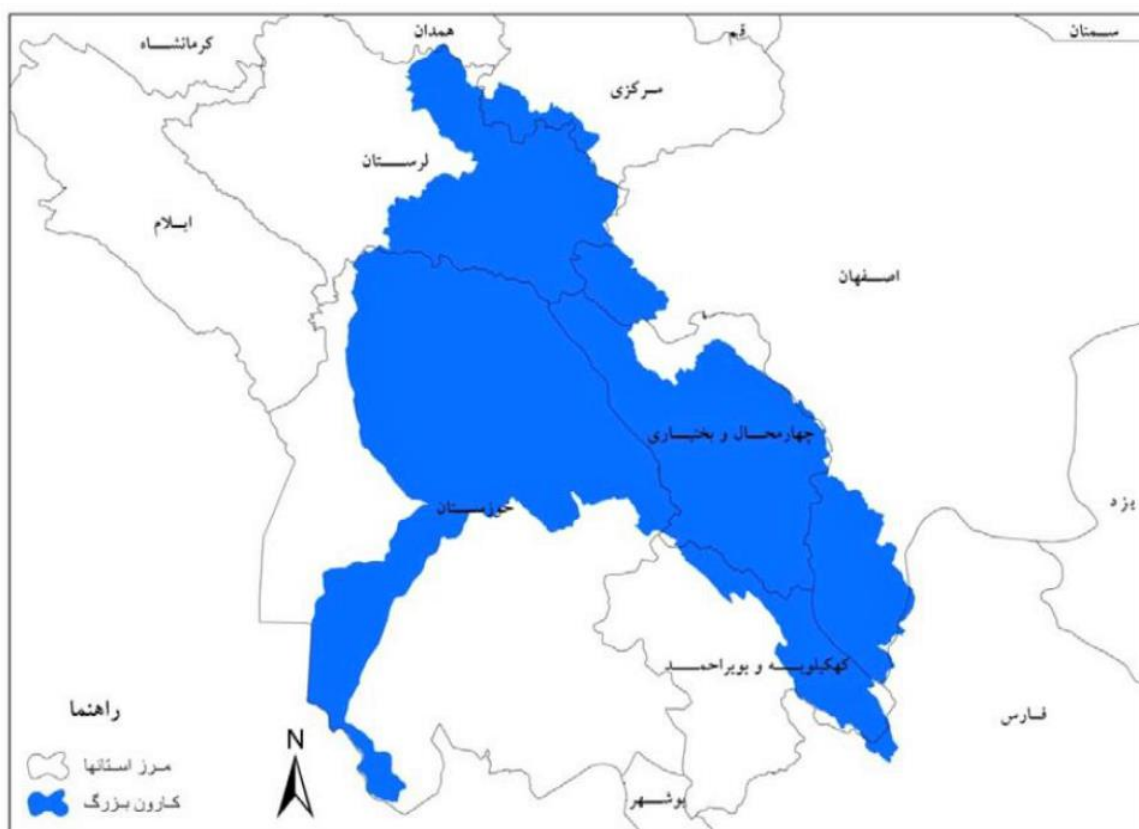


Figure 1. General appearance of the Karun watershed

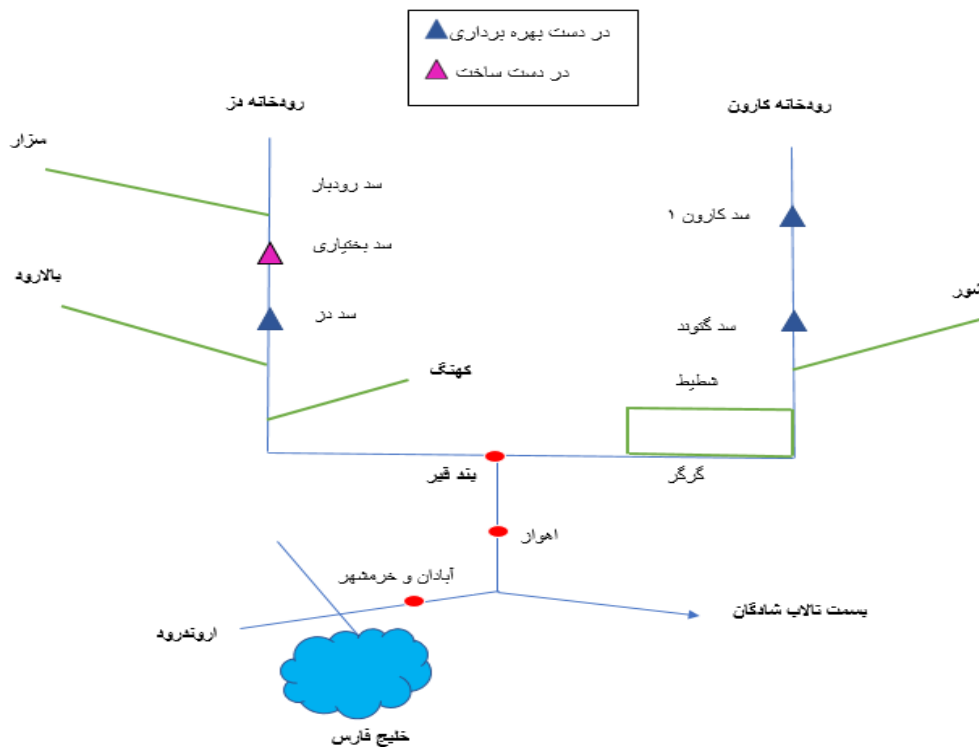


Figure 2. Schematic configuration of Karun watershed

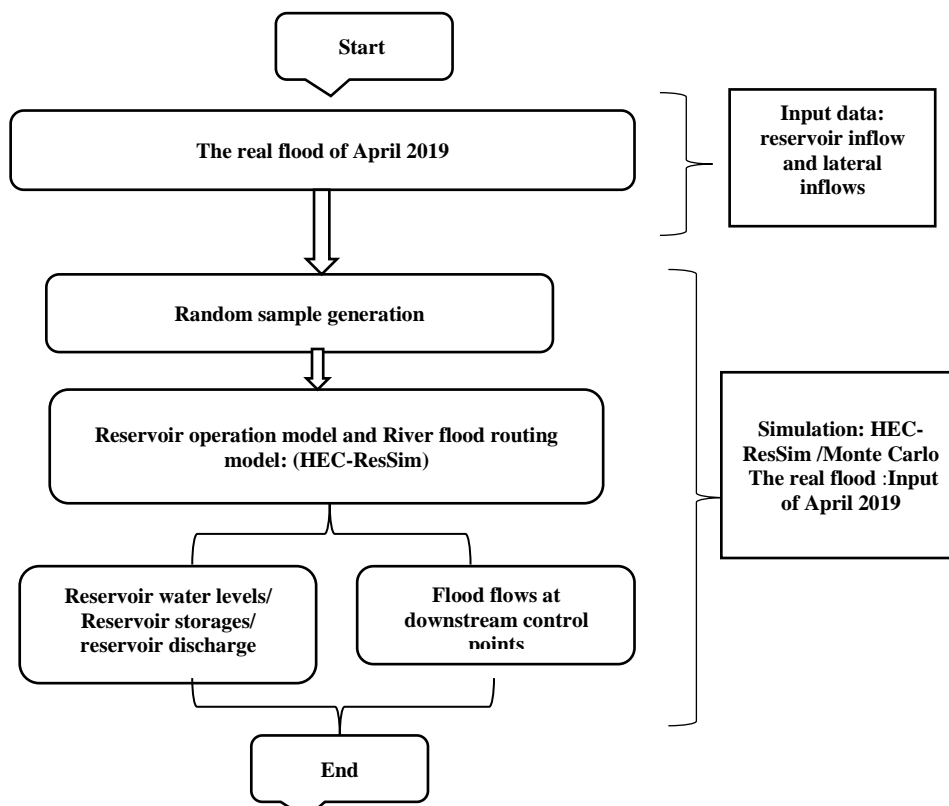


Figure 3. Flowchart of research stages

## ۱.۲.۲. داده‌های مورد استفاده

آمار و اطلاعات مورد نیاز با گام زمانی ساعتی در ایستگاه‌های مورد مطالعه در حوضه کارون بزرگ عبارتند از:  
 - هیدروگراف سیلاب ورودی به مخازن سد و در ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در رودخانه دز و کارون مربوط به سیلاب واقعی فروردین‌ماه ۹۸ (۱۰-۱۳ فرودین‌ماه) و وقایع سیلابی دیگر برای واسنجی و صحت‌سنجی مدل HEC-ResSim.  
 - اطلاعات در مورد آورد، خروجی سدها و نیروگاه‌ها، تراز سطح آب و حجم مخازن سدها مربوط به واقعه فروردین‌ماه ۱۳۹۸  
 - موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری در منطقه مورد مطالعه (حوضه کارون بزرگ).

## ۲.۲.۲. معرفی مدل HEC-ResSim

HEC-ResSim جایگزین برنامه "HEC-5"، شبیه‌سازی سیستم‌های کنترل و حفاظت سیل است. HEC-ResSim از یک رابط کاربری گرافیکی، یک برنامه محاسباتی برای شبیه‌سازی عملکرد مخزن، قابلیت‌های ذخیره‌سازی و مدیریت داده و امکانات گرافیکی و گزارش‌دهی تشکیل شده است. سیستم ذخیره‌سازی داده، HEC DSS برای ذخیره و بازیابی داده‌های سری زمانی ورودی و خروجی استفاده می‌شود. ResSim سه عملکرد مجزا به نام مدول را ارائه می‌کند که دسترسی به انواع خاصی از داده‌ها را در حوضه آبخیز فراهم می‌کند. این مدول‌ها شامل راه‌اندازی آبخیز، شبکه مخزن و شبیه‌سازی می‌باشند. هر ماژول دارای یک هدف منحصر به فرد و مجموعه‌ای از عملکردهای مرتبط است (HEC, 2021). شکل (۴) ویژگی‌های مدل‌سازی اساسی موجود در هر مدول را نشان می‌دهد.

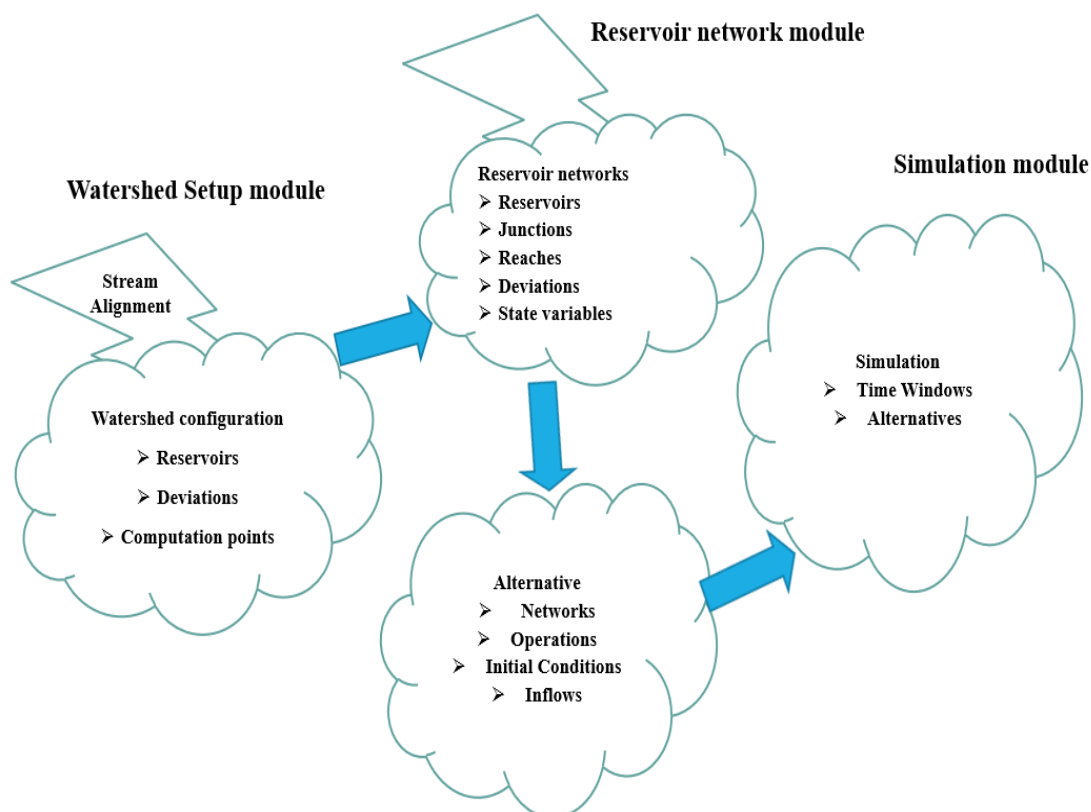


Figure 4. Conceptual model of HEC-ResSim

### ۱.۲.۲.۲ مدل‌سازی در محیط HEC-ResSim

هدف اصلی این پژوهش تدوین یک مدل تلفیقی شبیه‌سازی برای مدیریت سیستم‌های ترکیبی (سری و موازی) و تحلیل عدم قطعیت‌های سطح تراز آب مخازن، حجم مخازن دبی ورودی و خروجی از مخازن و دبی در نقاط کنترل تحت تأثیر عدم قطعیت هیدروگراف ورودی به مخازن و هیدروگراف جریان‌های میانی است. برای این منظور، مدل HEC-ResSim به‌عنوان مدلی که برای بهره‌برداری مخازن در زمان واقعی و روندیابی سیلاب در مخازن و نقطه کنترل در پایین‌دست مخازن مورد استفاده قرار گرفت. برای شبیه‌سازی سیستم رودخانه کارون بزرگ به کمک نرم‌افزار HEC-ResSim، ابتدا نحوه قرارگیری این سه مخزن نسبت به هم به صورت شماتیک مطابق شکل (۵) رسم شد.

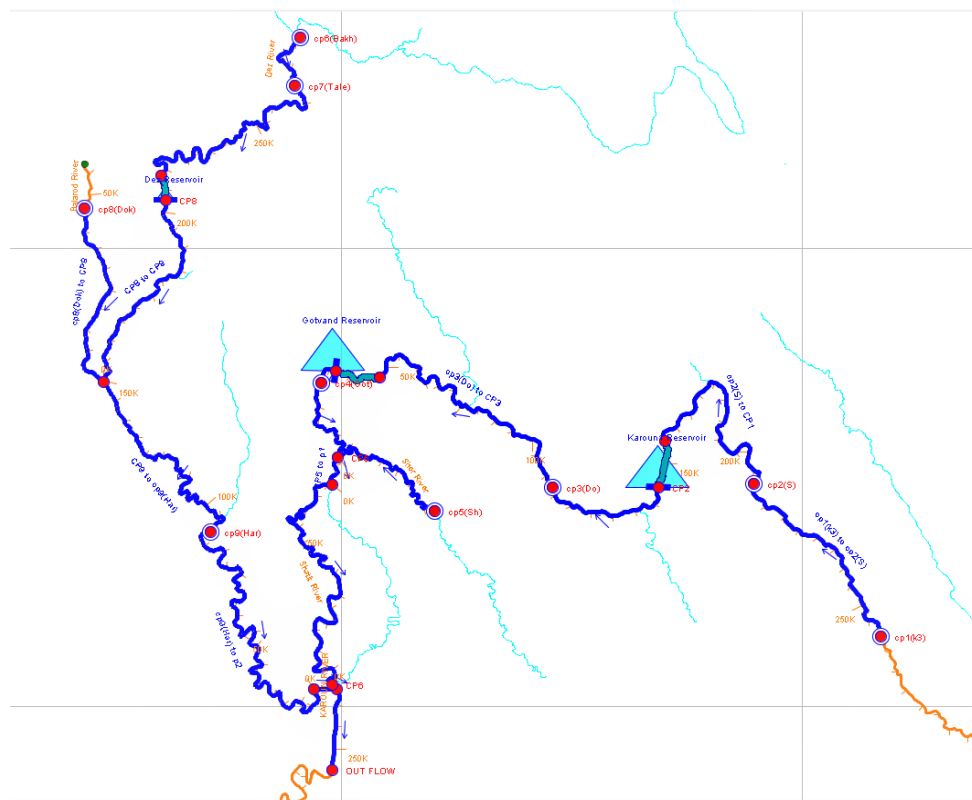


Figure 5. Schematic simulation of HEC-ResSim model of Karun basin

### ۳.۲.۲ مونت کارلو – HEC-ResSim

تجزیه و تحلیل مونت کارلو یک ویژگی در ResSim است که این امکان را به کاربر می‌دهد تا تأثیرات عدم قطعیت مرتبط با اطلاعات ورودی خاص در مدل مخزن و همچنین عدم قطعیت بعدی در نتایج را روی نتایج شبیه‌سازی ارزیابی نماید. فلوچارت شبیه‌سازی مونت کارلو در شکل (۶) نشان داده شده است.

### ۱.۳.۲.۲ شبیه‌سازی مونت کارلو

شبیه‌سازی مونت کارلو برنامه‌های عملیاتی ویژه اضطراری برای مخازن را تحت ترکیب حوادث اضطراری و عدم قطعیت‌ها محاسبه می‌کند. مراحل شبیه‌سازی مونت کارلو به شرح زیر می‌باشد:



- ۱- تولید نمونه‌های تصادفی از ورودی‌های مخازن تصادفی  $Q_{it}$  و جریان‌های جانبی  $IC_{it}$  را در نقاط کنترل پایین‌دست با توجه به توابع توزیع احتمال آن‌ها؛
- ۲- نمونه‌گیری از سطح آب مخزن، ذخیره‌سازی و رهاسازی از طریق روندیابی سیل مخازن براساس نمونه‌های تصادفی از ورودی‌های مخازن که در مرحله (یک) نشان داده شد. روندیابی سیلاب مخزن با استفاده از مدل‌های بهینه عملیات کنترل سیلاب مخازن انجام شد؛
- ۳- براساس نمونه‌های ورودی‌های جانبی در مرحله (یک) و نتایج به‌دست‌آمده در مرحله (دو)، نمونه‌های جریان سیلاب در نقاط کنترل پایین‌دست از طریق روندیابی رودخانه با استفاده از روش ماسکینگام به‌دست آمد.

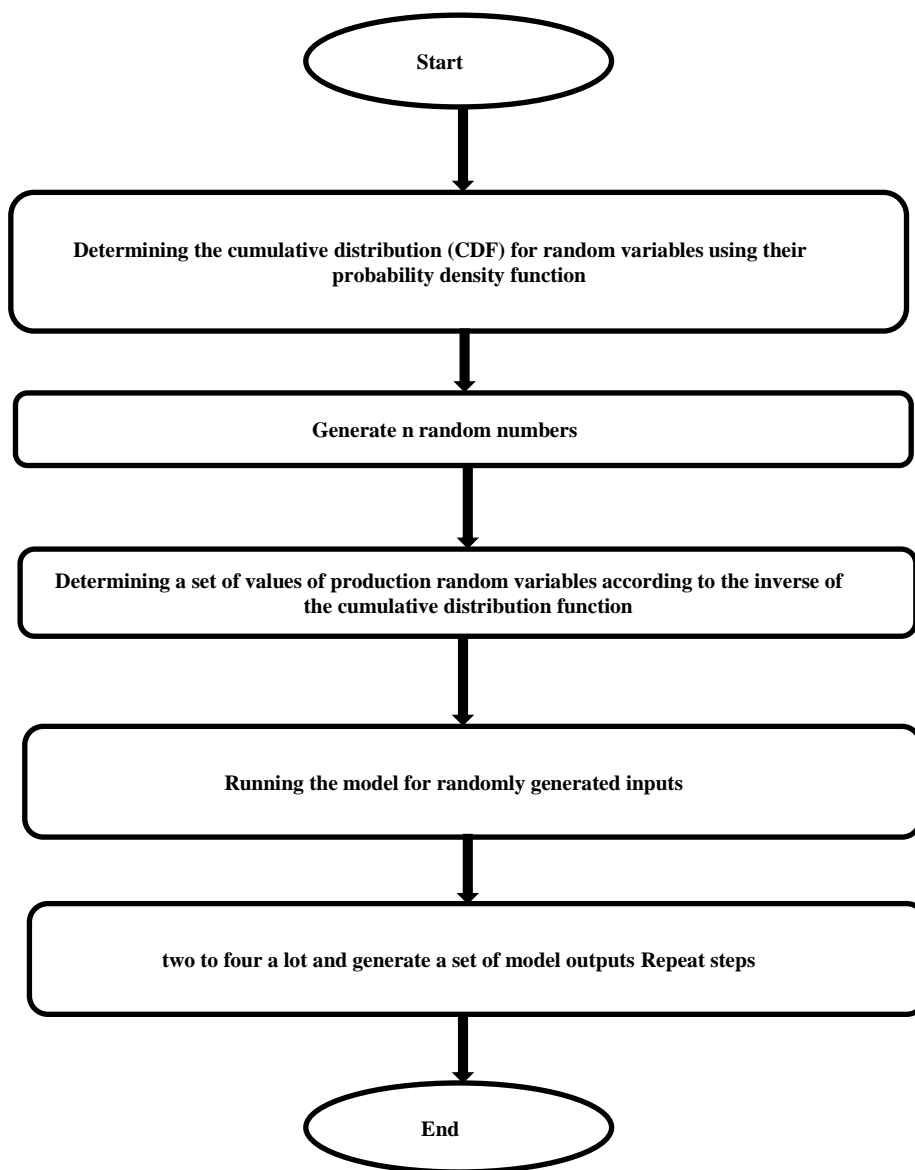


Figure 6. The flowchart of the Monte Carlo simulations

در روش مونت کارلو به‌ازای سری تصادفی تولیدشده، مدل شبیه‌ساز HEC-ResSim اجراشده و نتایج خروجی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. تحلیل عدم قطعیت به‌وسیله روش مونت کارلو مستلزم شناسایی منبع به‌وجودآورنده عدم قطعیت و تجزیه و تحلیل آماری آن به‌منظور دستیابی به نمونه‌های تصادفی به تعداد زیاد می‌باشد. در روش مونت کارلو برای هر پارامتر از تابع چگالی مناسب استفاده می‌شود (Dalledonne *et al.*, 2019). یکی از عوامل مؤثر در کیفیت نتایج شبیه‌سازی، انتخاب تابع چگالی مناسب برای پارامترها می‌باشد، معمولاً از توزیع‌های یکنواخت، نرمال و گوسین به‌دلیل نبود اطلاعات استفاده می‌شود (Bates *et al.*, 2007). در این مطالعه، از توزیع لوگ نرمال (توزیع لگاریتم نرمال دارای توزیع احتمال پیوسته است) و یکنواخت برای هیدروگراف ورودی به مخازن و جریان‌های جانبی استفاده شد. در شکل (۷) هیستوگرام فراوانی عدم قطعیت ورودی (هیدروگراف ورودی) به مدل ارائه شده است.

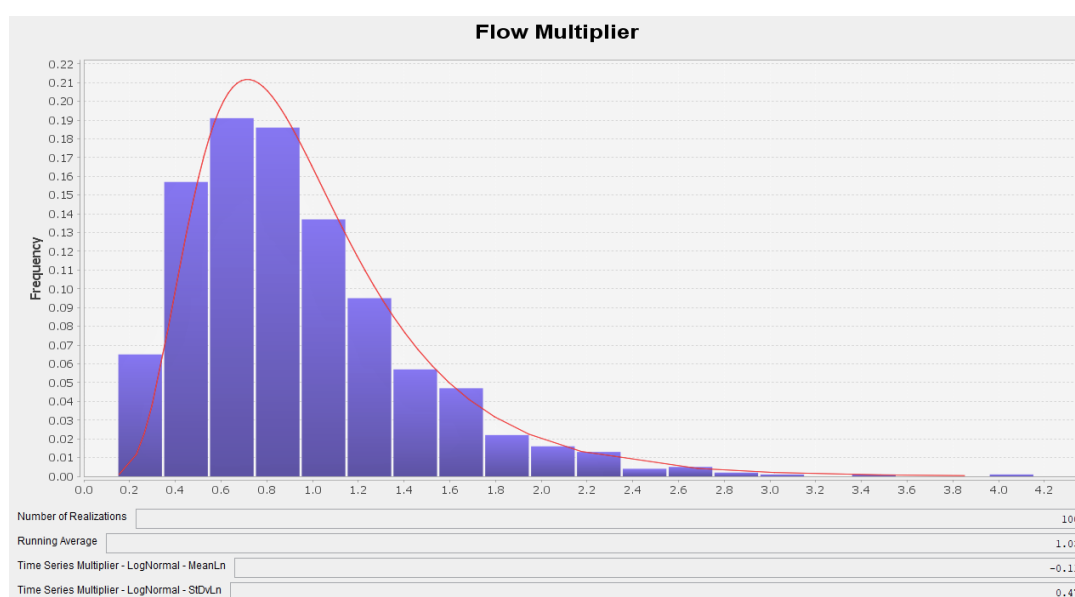


Figure 7. Histogram of frequency of input uncertainty (input hydrograph) to the model

#### ۴.۲.۲. عدم قطعیت

در این پژوهش، به‌منظور به‌کمیت درآوردن عدم قطعیت، ضرایب p-factor (نشان‌دهنده مقدار عدم قطعیت) و d-factor مورد استفاده قرار گرفته است. که این ضرایب به‌ترتیب به‌منظور به‌کمیت درآوردن قدرت واسنجی و تحلیل عدم قطعیت خواهند بود (Abbaspour *et al.*, 2007). P-factor درصدی از داده‌ها مشاهداتی است که درون باند ۹۵ درصدی عدم قطعیت پیش‌بینی (۹۵ puu<sup>۴</sup>) قرار گرفته‌است. مقدار ایده‌آل در p-factor زمانی می‌باشد که همه داده مشاهداتی در باند ۹۵puu قرار خواهند گرفت. از طرف دیگر d-factor با متوسط فاصله بین حد بالا و پایین باند ۹۵ puu برابر می‌باشد که با تقسیم به انحراف معیار در داده‌های مشاهداتی نرمال گردیده است (Alizadeh *et al.*, 2013). برطبق تعریف d-factor روشن است که میزان آن به‌طور مستقیم به بزرگی عدم قطعیت خروجی‌های پیش‌بینی‌شده مرتبط می‌باشد (Sharifi *et al.*, 2012). بهترین مقدار برای d-factor زمانی می‌باشد که به صفر نزدیک گردیده است (Abbaspour *et al.*, 2007). مقدار d-factor را می‌توان از رابطه (۱) به‌دست آورد:

$$d. factor = \frac{\overline{d_x}}{\sigma_x} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن،  $\sigma_x$  نشان‌دهنده انحراف معیار متغیر مشاهده‌شده و  $\overline{d_x}$  نیز عرض متوسط باند اطمینان می‌باشد که مطابق رابطه (۲) به دست می‌آید:

$$\overline{d_x} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (X_U - X_L) \quad \text{رابطه (۲)}$$

به منظور بررسی عدم قطعیت‌ها، حد اطمینان ۹۵ درصد (۹۵ puu) برای پیش‌بینی‌ها در مطالعه در نظر گرفته شده است. برای به دست آوردن آن نیز در آغاز حدود ۲/۵ درصد ( $X_L$ ) و ۹۷/۵ درصد ( $X_U$ ) از روی توزیع تجمعی احتمالاتی تجربی، خروجی‌های مدل در ۱۰۰۰ تعیین شده است. حدود اطمینان در صورتی که بیش از ۸۰ درصد از مقدار مشاهدات در آن حدود قرار گرفته شده باشد، مناسب می‌باشد. درصد داده‌های قرار گرفته در باند اطمینان ۹۵ درصد از رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$95PPU = \frac{1}{n} \text{Count}(X|X_U \leq X \leq X_L) \quad \text{رابطه (۳)}$$

مقدار مناسب ۹۵ puu برابر ۱۰۰ درصد می‌باشد. طبق نظر Abbaspour *et al.* (2007)، در صورتی که درصد داده‌های داخل باند اطمینان نزدیک به ۹۰ درصد باشد، عدم قطعیت کم خواهد بود. مقدار درصد عدم قطعیت از رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$\% \text{Uncertainty} = (\text{Upper Est. Error} - \text{lower Est. Error}) / (2 \times \text{Running average}) \times 100 \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن، Upper Est. Error و lower Est. Error به ترتیب مقدار خطا در کران بالا و در کران پایین می‌باشد، و Running average نشان‌دهنده مقدار متوسط پارامتر شبیه‌سازی شده است.

### ۳. نتایج و بحث

#### ۳.۱. نتایج واسنجی مدل HEC-ResSim

تحلیل حساسیت جزو مراحل اساسی مدل‌سازی است که به وسیله تغییر در پارامترهای مدل و بررسی تأثیر این تغییر بر خروجی مدل، انجام می‌شود. در این مطالعه، از مدل HEC-ResSim جهت شبیه‌سازی عملکرد سدها استفاده گردید که در آن روندیابی سیل در رودخانه با استفاده از روش‌های شناخته‌شده هیدرولوژیکی در مدل انجام می‌شود. در این مطالعه از روش ماسکینگام جهت روندیابی سیلاب در بازه‌های رودخانه استفاده گردید. جهت واسنجی پارامترهای ماسکینگام قابلیت بهینه‌سازی مدل HEC-ResSim استفاده گردید. نتایج واسنجی پارامترهای X و K بازه‌های روندیابی در سیستم رودخانه‌ای مدنظر به صورت جدول (۱) به دست آمد.

Table 1. Muskingum coefficient of Dez and Karun rivers

Reach	X	K (h)
Karun3-Karun1	0.35	2.8
Karun1- Gotvand	0.28	3.5
Gotvand-Shoor	0.4	1.67
Talezang-Dez	0.42	1.68
Dez-Balarod	0.45	1.9
Balarod-Kohanak	0.25	3

#### ۳.۲. تحلیل عدم قطعیت

تجزیه و تحلیل مونت کارلو یک ویژگی در مدل HEC-ResSim است که این امکان را می‌دهد تأثیرات وجود عدم قطعیت مرتبط با اطلاعات ورودی به مدل روی نتایج شبیه‌سازی را ارزیابی کرد. HEC-ResSim شبیه‌سازی‌های

تکراری را براساس نمونه‌گیری تصادفی از یک یا چند متغیر ورودی انجام می‌دهد که متغیرهای ورودی به مدل در این پژوهش، هیدروگراف ورودی به مخازن و ورودی‌های جانبی می‌باشند. برای هر متغیر ورودی، مقدار نمونه‌گیری تصادفی براساس نوع توزیع احتمال و پارامترهایی است که انتخاب شده است. توزیع انتخاب شده برای هیدروگراف ورودی به مخازن، توزیع لگاریتم نرمال می‌باشد. نتایج مدل‌سازی HEC-ResSim مبتنی بر MCS<sup>۵</sup> و نتایج تحلیل عدم قطعیت مدل در طول بازه مربوط به سیلاب فروردین‌ماه ۱۰ الی ۱۳ فروردین‌ماه سال ۱۳۹۸ در حوضه کارون و دز مورد بررسی قرار گرفت.

عدم قطعیت در مدل‌سازی را می‌توان در نتیجه شرایط گوناگون مانند عدم قطعیت طبیعی تصادفی در پدیده (ذاتی)، عدم قطعیت اندازه‌گیری داده‌های ورودی، عدم قطعیت در داده‌های ورودی بر اثر خطای اندازه‌گیری داده‌های شبکه آب‌سنجی یا خطاهای پیش‌بینی در داده‌های ورودی مدل‌های مانند بارش و رواناب در نظر گرفت. عدم قطعیت و خطاهای توسعه مدل، در نتیجه ناهمخوانی کامل در معادلات ریاضی استفاده‌شده در توسعه مدل همراه با شرایط واقعی حاکم بر فیزیک پدیده‌های طبیعت تولید می‌شود هم‌چنین برآورد ضرایب معادله ماسکینگام، با توجه به دقت در آمار و اطلاعات مورد استفاده برای واسنجی مدل، اکثر مواقع دارای عدم قطعیت و خطا است (Heydari *et al.*, 2016).

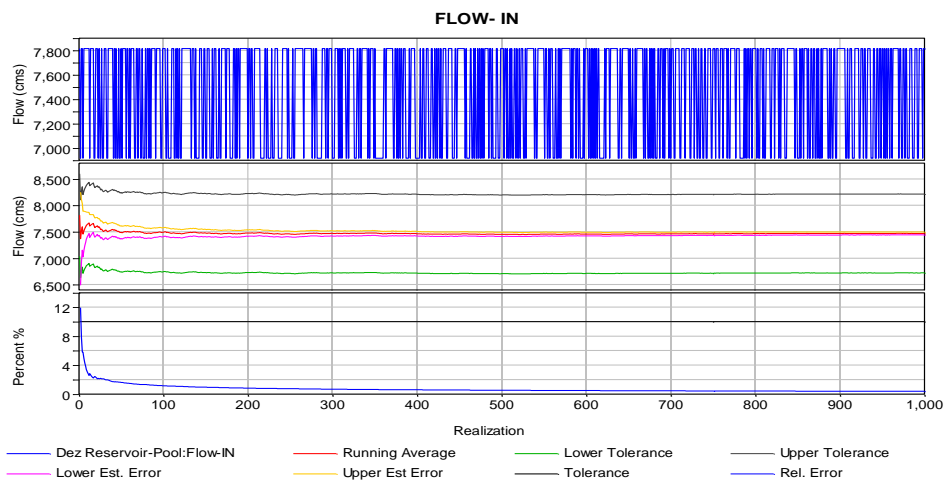
تحلیل عدم قطعیت مونت‌کارلو با ۱۰۰۰-۳۰۰۰ شبیه‌سازی توسط مدل HEC-ResSim بر حوضه کارون بزرگ برای برخی از متغیرها (ورودی و خروجی به مخزن سد دز، سطح تراز آب و دبی در نقطه کنترل بند قیر (نقطه تقاطع رودخانه دز و کارون)) در شکل‌های (۸) تا (۱۱) ارائه گردید، که این نمودارهای همگرایی- نموداری از آمار متغیر خروجی، میانگین در حال اجرا و مرزهای خطا در آمار (کران بالا و پایین خطا) و معیارهای همگرایی روی متغیر است. شرط همگرایی یک متغیر خروجی (یعنی عدم تغییر در نمونه تصادفی بین تکرارها) به‌عنوان وسیله‌ای برای متوقف کردن تکرارهای مونت‌کارلو، حدود اطمینان و حداکثر تغییرات داده است. همگرایی براساس اطمینان فاصله صدکی (فاصله اطمینان ۹۵ درصد) و حداکثر درصد تغییر (۱۰ درصد) در میانگین آمار خروجی می‌باشد. هم‌چنین مقادیر ضرایب  $p$ -factor،  $d$ -factor و درصد عدم قطعیت به‌صورت کمی در جدول (۲) برای ۱۰۰۰ شبیه‌سازی ارائه شده است. براساس نتایج در کل ۱۰۰۰ شبیه‌سازی، عامل پهنای باند عدم قطعیت تراز سطح آب در مخازن دز، کارون یک و گتوند علیا به‌ترتیب ۰/۱۵۱، ۰/۴۰۸ و ۰/۰۸۸ می‌باشد. همان‌طور که رابطه‌های (۱) و (۲) نشان می‌دهند، این عامل میانگین فاصله بین حد بالا و پایین در باندهای عدم قطعیت نسبت به انحراف معیار مقادیر مشاهداتی می‌باشد. مقدار ۰/۱۵ در واقع نشان‌دهنده آن است که پهنای باند عدم قطعیت نتایج مدل در شبیه‌سازی تراز سطح آب، برابر ۱۵ درصد انحراف معیار داده‌های تراز سطح آب مخازن مشاهده‌شده در طول بازه مورد بررسی (سیلاب به وقوع پیوسته ۱۰-۱۳ فروردین‌ماه سال ۱۳۹۸) است. حداکثر مقدار مجاز این عامل که قابل‌پذیرش می‌باشد، یک است و مشاهده می‌شود پهنای باند عدم قطعیت در تمام پارامترها (اعم از ورودی و خروجی از مخازن، حجم مخازن و نقاط کنترل پایین‌دست سدها) کم‌تر یک می‌باشد که قابل‌پذیرش است. مقادیر  $p_{uu}$  ۹۵ درصد قرار گرفتن داده‌های مشاهداتی در باند اطمینان ۹۵ برای سطح تراز آب مخازن برای سه سد مورد مطالعه (سد دز، سد شهید عباسپور، سد گتوند) ۱۰۰ درصد می‌باشد. بالا بودن شاخص  $p_{uu}$  ۹۵ نشان از قوی بودن مدل از یک مبنای فیزیکی و نظری است. برای بقیه پارامترها مقادیر  $p_{uu}$  ۹۵ کم می‌باشد. مقادیر  $d$ -factor برای پارامترهای ورودی و خروجی به مخزن سد، حجم مخزن سد و سطح تراز آب و دبی در نقطه کنترل بند قیر واقع در نقطه به هم پیوستن کارون و دز مقادیر کوچکی به‌دست‌آمده است که نشان‌دهنده پایین بودن میزان عدم قطعیت در مدل مذکور می‌باشد. به‌عبارت دیگر، بیش‌تر داده‌های اندازه‌گیری‌شده در باند  $p_{uu}$  ۹۵ قرار نگرفته است. دلایل آن را

نیز می‌توان به ترتیب عدم قطعیت‌های کوچک در پارامترهای ورودی (Schuol *et al.*, 2006)، ضعف مدل HEC-ResSim در شبیه‌سازی (Farokhnia *et al.*, 2010) و ضعف در قدرت واسنجی مدل (Alizadeh *et al.*, 2013) اشاره کرد.

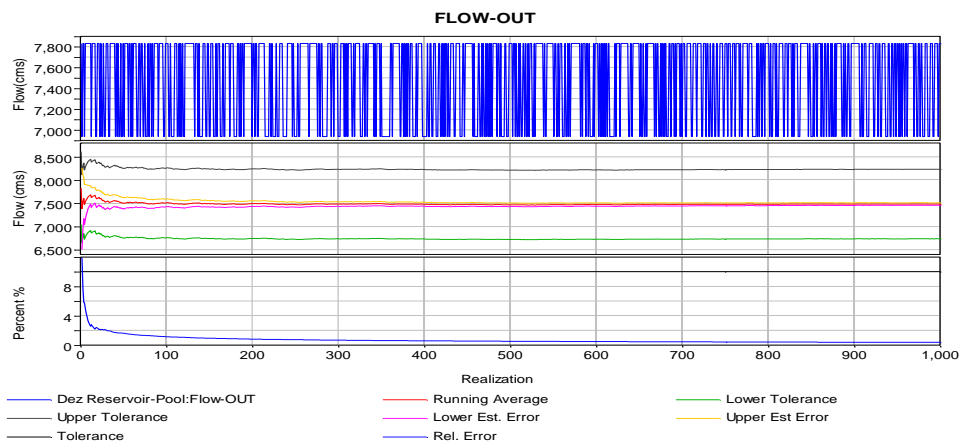
**Table 2.** Uncertainty results of the Hec-ResSim model

	P-factor	d-factor	%Uncertainty
Computation Point(10).(cms)	21.62	0.025	0.171
Computation Point(9).(cms)	8.10	0.050	0.360
Computation Point(6).(cms)	18.91	0.034	0.198
Computation Point(5).(cms)	18.91	0.035	0.198
Inflow (cms).Gotvand	21.62	0.040	0.274
Release (cms). Gotvand	21.62	0.038	0.274
Elevation (m). Gotvand	100	0.088	0.034
Storage (m <sup>3</sup> ). Gotvand	5.40	0.101	0.175
Inflow (cms).Karoun	16.21	0.062	0.456
Release (cms). Karoun	16.21	0.060	0.451
Elevation (m). Karoun	100	0.407	0.107
Storage(m <sup>3</sup> ). Karoun	5.40	0.539	0.964
Inflow (cms). Dez	8.10	0.057	0.363
Release (cms). Dez	8.10	0.053	0.363
Elevation (m). Dez	100	0.151	0.037
Storage(m <sup>3</sup> ). Dez	32.43	0.151	0.266

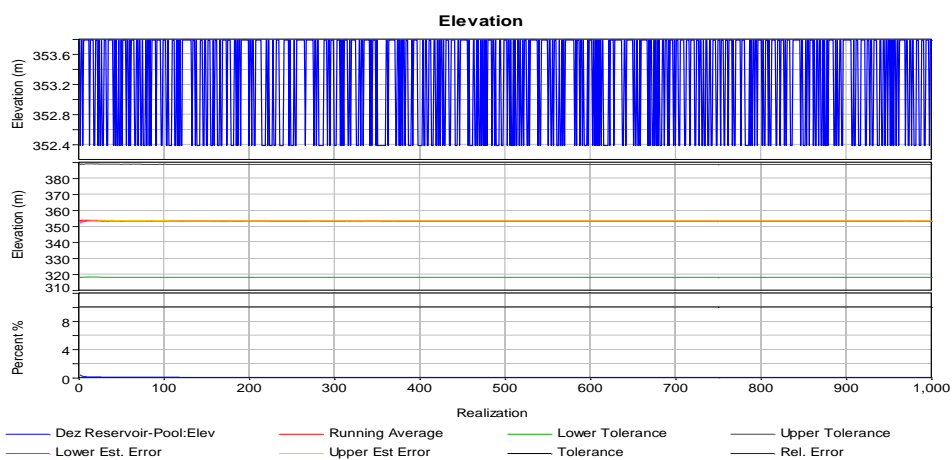
هم‌چنین با توجه به نتایج به‌دست‌آمده مشخص گردیده که مدل برای پارامتر حجم - ارتفاع باند ۹۵ puu دارای عرض بیش‌تر نسبت به پارامترهای جریان‌های خروجی و ورودی از مخازن و جریان نقاط کنترل مناسب‌تر می‌باشد. بنابراین d-factor آن از پارامتر حجم - ارتفاع بیش‌تر است. در واقع می‌توان بیان کرد که هرچه عرض باند پیش - بینی عدم قطعیت ۹۵ درصد بالاتر باشد، d-factor نیز بیش‌تر و هرچه عرض باند پایین‌تر، d-factor نیز کم‌تر خواهد شد که با نتایج Nourani *et al.* (2012) همخوانی دارد. هم‌چنین این نتایج با نتایج Biazar *et al.* (2017) به تحلیل عدم قطعیت شبکه عصبی در تخمین تبخیر روزانه پرداخته‌اند، همخوانی دارد که ایشان کم بودن مقادیر d-factor را نشان از پایین بودن عدم قطعیت مدل مفهومی دانست و هم‌چنین پایین بودن p-factor را کوچک بودن عدم قطعیت پارامتر بیان کرد. هم‌چنین Nourali *et al.* (2017) و Hamraz *et al.* (2015) که به ترتیب به تحلیل عدم قطعیت در مدل‌های HEC-HMS و MODFLOW پرداختند، کم بودن مقدار p-factor در نتایج خود را ناشی از سهم خطای دو منبع دیگر یعنی داده‌های ورودی و ساختار مدل دانستند که کم شدن این دو منبع عدم قطعیت، تا حدی زیادی باعث بالارفتن دقت شبیه‌سازی می‌شود. با توجه به جدول (۲)، عدم قطعیت در تراز سطح آب سدهای دز، کارون یک و گتوند به علت عدم قطعیت جریان ورودی به ترتیب برابر با ۰/۰۳۷، ۰/۱۰۷ و ۰/۰۳۴ درصد است. بنابراین بیش‌ترین و کم‌ترین عدم قطعیت در تراز سطح آب به ترتیب مربوط به سدهای کارون یک و گتوند می‌باشد. Shakeri (2015) به تحلیل ریسک روگذری در سد گلپایگان با در نظر گرفتن عدم قطعیت پارامترهای مهمی مثل دبی ورودی و سطح تراز آب پرداخت و به این نتیجه رسید که سطح تراز آب مهم‌ترین فاکتور در تحلیل ریسک می‌باشد. هم‌چنین Mansori (2011) در مطالعه خود به بررسی تأثیر عوامل عدم قطعیت مثل هیدروگراف ورودی به مخزن، سطح تراز آب و دبی پیک سیلاب بر تحلیل خطرپذیری روگذری آب در سد پرداخت. نتایج نشان داد که دبی پیک سیلاب نقش به‌سزایی در کاهش ریسک دارد و عدم قطعیت سطح تراز آب بر میزان ریسک قابل نادیده گرفتن می‌باشد. در این مطالعه حاضر نیز مقدار ورودی و خروجی از مخازن سه سد مورد مطالعه بیش‌ترین درصد عدم قطعیت و حجم مخازن، کم‌ترین درصد عدم قطعیت را دارا می‌باشند.



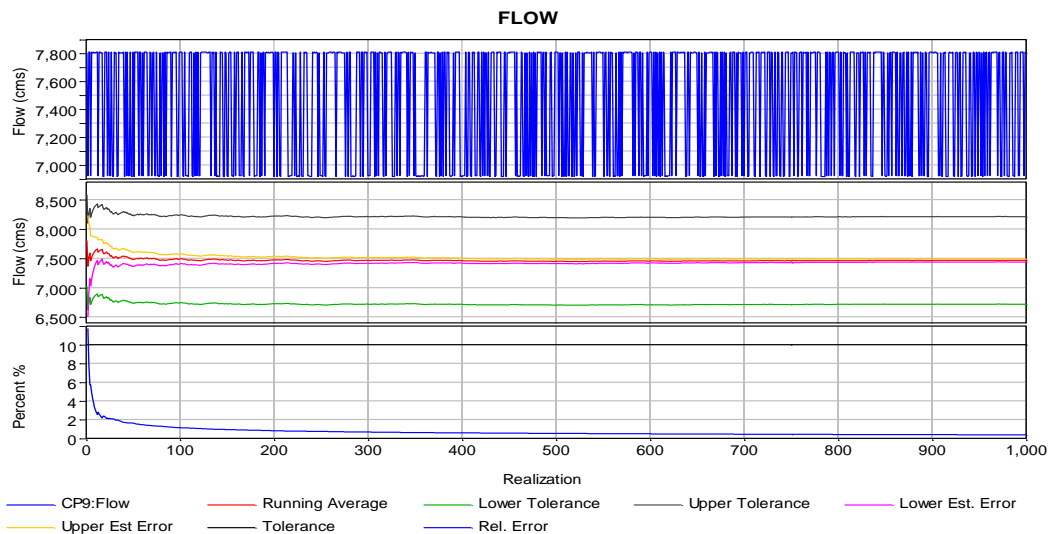
**Figure 8.** Inflow to Dez dam reservoir simulated by Monte Carlo-HEC-ResSim model under the influence of uncertainty in the 95% confidence range.



**Figure 9.** Output flow from Dez dam reservoir simulated by Monte Carlo-HEC-ResSim model under the influence of uncertainty in the 95% confidence range



**Figure 10.** Water level in Dez dam reservoir simulated by Monte Carlo-HEC-ResSim model under the influence of uncertainty in the 95% confidence range



**Figure 11.** The outflow at the control point 9 simulated by the Monte Carlo-HEC-ResSim model under the influence of uncertainty in the 95% confidence range

#### ۴. نتیجه‌گیری

در این مقاله، به بررسی تأثیر عدم قطعیت متغیرهای ورودی (هیدروگراف جریان ورودی و میانمی) بر عدم قطعیت تراز سطح آب و حجم آب در مخازن سد‌ها پرداخته شد، تحلیل عدم قطعیت این پارامترها با استفاده از شبیه‌ساز مونت‌کارلو انجام شد. بنابراین از دو شاخص p-factor و d-factor برای بررسی عدم قطعیت مدل استفاده گردید. همان‌طور که در جدول (۲) ارائه گردید مقدار d-factor برای همه پارامترهای موردبررسی نزدیک به صفر است که مقداری مناسب می‌باشد که نشان‌دهنده عدم قطعیت پایین در مدل مفهومی است، و نتایج تحلیل عدم قطعیت نشان داد که مدل HEC-ResSim قادر به ارائه تطبیق خوب با داده‌های مشاهده‌شده است. براساس نتایج حاصله از پژوهش، مقادیر کمی عدم قطعیت برای ۱۰۰۰ شبیه‌سازی مونت‌کارلو-HEC-ResSim نشان می‌دهد که در کل ۱۰۰۰ شبیه‌سازی عامل پهنای باند عدم قطعیت تراز سطح آب در مخازن دز، کارون یک و گتوند علیا به ترتیب ۰/۱۵۱، ۰/۴۰۷ و ۰/۸۰۸ می‌باشد. حداکثر میزان مجاز عامل پهنای باند قابل‌پذیرش برابر یک است و مشاهده می‌شود پهنای باند عدم قطعیت در تمام پارامترها (اعم از ورودی و خروجی از مخازن، حجم مخازن و نقاط کنترل پایین‌دست سد‌ها) کم‌تر از یک می‌باشد که قابل‌پذیرش است. مقادیر ۹۵ puu درصد قرارگرفتن داده‌های مشاهده‌شده در باند اطمینان ۹۵ puu برای سطح تراز آب مخازن برای سه سد مورد مطالعه ۱۰۰ درصد می‌باشد. بالابودن شاخص ۹۵ puu نشان از قوی بودن مدل از یک مبنای فیزیکی و نظری است. برای بقیه پارامترها مقادیر ۹۵puu کم می‌باشد که می‌تواند ناشی از کمبود عدم قطعیت پارامتر یا خطای ناشی از داده‌های ورودی و ساختار مدل باشد. نتایج این مطالعه نشان داد که مدل HEC-ResSim قادر به ارائه پیش‌بینی‌های قابل اعتماد در جریان رودخانه است، اما وجود عدم قطعیت در مقادیر پارامترها نیاز به پژوهش‌های بیشتر برای بهبود قابلیت پیش‌بینی مدل دارد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش می‌توان بیان کرد که پایین بودن و قابل‌قبول بودن عدم قطعیت مدل مزبور نشان‌دهنده پایداری و اطمینان‌پذیری HEC-ResSim است. بنابراین در آینده از مدل HEC-ResSim می‌توان در مطالعاتی مربوط به بهره‌برداری از مخازن استفاده نمود، هم‌چنین می‌توان با بالابردن کیفیت داده‌های به‌کار برده در شبیه‌سازی، باعث بالابردن کارایی این مدل شد.

## ۵. پی‌نوشت‌ها

1. Rosenblueths Point Estimation Method
2. Latin Hypercube Sampling (LHS)
3. Tropical Water Project
4. 95 Percent Prediction Uncertainty
5. Monte Carlo Simulation

## ۶. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

## ۷. فهرست منابع

- Abbaspour, K.C., Yang, J., Maximov, I., Siber, R., Bogne, K., Mieleitne, J., Zobrist, J., & Srinivasan, R. (2007). Modeling hydrology and water quality in the pre-alpine.alpine Thur watershed using SWAT. *Journal of Hydrology*, 333, 413-430
- Akbari, M., Mirabbasi, R., & Bagheri, M. H. (2021). Simulating the operation of Surak dam reservoir using HEC-ResSim model. *Scientific Journal of Water Sciences and Engineering*, 11(31), 23-34 (In Persian).
- Alizadeh, A., Eizad, A., Davar, K., Ziaie, A.N., Akhavan, S., & Hamidi, Z. (2013). Estimation of actual evapotranspiration at regional-annual scale using SWAT. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 2, 243-254. (In Persian).
- Bates, B.C., & Townley, L.R. (1988). Nonlinear, discrete flood event models, 3. Analysis of prediction uncertainty. *Journal of Hydrology*, 99, 91-101.
- Behroz, M., Alimohammadi, S., Attari, J., & Akbarian Aghdam, A. (2013). Sensitivity analysis of hydrological, hydraulic and economic uncertainties in the design of flood control systems, 5<sup>th</sup> Iran Water Resources Management Conference, Shahid Beheshti University, Iran Water Resources Science and Engineering Association, Tehran, 29-30 February. (In Persian).
- Belay, G. W., Azeze, M., & Melesse, A. M. (2019). Reservoir operation analysis for Ribb reservoir in the Blue Nile basin. In *Extreme Hydrology and Climate Variability, Monitoring, Modelling, Adaptation and Mitigation*, (pp. 191-211). Elsevier.
- Biazar, M., Ghorbani, M., & Shahidi, K. (2017). Uncertainty of artificial neural network in estimation of daily evaporation (Case study: Rasht and Manjil stations). *Journal of Watershed Management Research*, 10(19), 1-12 (In Persian).
- Chen, J., Zhong, P. A., An, R., Zhu, F., & Xu, B. (2019). Risk analysis for real-time flood control operation of a multi-reservoir system using a dynamic Bayesian network. *Environmental Modelling and Software*, 111, 409-420.
- Dalldonne, G., Kopmann, R., & Brudy-Zippelius, T. (2019). Uncertainty analysis of floodplain friction in hydrodynamic models. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23(8), 3373-3385.
- Faraj, D. M., Abdulrahman, K. Z., & Al-Ansari, N. A. (2022). The impact of the Tropical Water Project on the operation of Darbandikhan dam. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*. Learning Gaussian networks, Uncertainty Proceedings, 738, 235-243.
- Farokhnia, A. & Morid, S. (2010). Uncertainty analysis of artificial neural networks and neuro-fuzzy models in river flow forecasting. *Journal of Iran Water Resources Research*, 3, 14-27. (In Persian).
- Hamraz, B., Akbarpour, A., & Pourza Bilandi, M. (2015). Parametric uncertainty analysis of MODFLOW model by GLUE method (Case study of Darsht Birjand). *Water and Soil Research Journal*, 22(6), 61-79 (In Persian).
- Heydari, N., & Abbasi, F., (2016). Optimization of design and management parameters of border irrigation: A case study of Ramshir irrigation and Drainage network, *Journal of Applied Research in Irrigation and Drainage Structures Engineering*, 17(66), 55-70 (In Persian).
- Huang, K., Ye, L., Chen, L., Wang, Q., Dai, L., Zhou, J., ... & Zhang, J. (2018). Risk analysis of flood control reservoir operation considering multiple uncertainties. *Journal of Hydrology*, 565, 672-684.



- Ilkhchi, R. (2002). Hajilar Chai Reservoir Dam Project Report. First and ninth volumes, East Azerbaijan Regional Water Joint Stock Company. (In Persian).
- Kaheh, M., Javadi, S., & Rozbahani, A. (2018). Uncertainty analysis of hydraulic conductivity parameter in MODFLOW model by Monte Carlo and PREM method (case study: Aliabad plain of Qom). *Iran's Water Resources Research*, 14(2), 23-35 (In Persian).
- Mansouri, N. (2011). Analysis of the risk of water crossing in the dam by considering hydraulic and hydrological aspects (case study: Vanak Dam). Master's thesis. Faculty of Technical Engineering. Department of Civil Engineering (Water). Isfahan University of Technology. (In Persian).
- Mohammadi, M., But, M., & Samani, H. (2012). Optimizing the step method of valve maneuver using genetic algorithm. Master's thesis. School of Agriculture. Department of Water Engineering. Shahid Chamran University of Ahvaz. (In Persian).
- Nourali, M., Hero, B., Pourza Bilandi, M., & Davari, K. (2015). Uncertainty estimation of HEC-HMS flood simulation model using Markov chain Monte Carlo algorithm. *Watershed Management Research*, 15, 235-249 (In Persian).
- Nourani, V., & Fard, M.S. (2012). Sensitivity analysis of the artificial neural network outputs in simulation of the evaporation process at different climatologic regimes. *Advance Engineering Software*, 47, 127-146.
- Riyahi, H., & Fakuri, B. (2021). Uncertainty analysis of the results of HEC-RAS model in the simulation of hydraulic parameters of Karun River flow with Monte Carlo approach. *Journal of Hydraulic*, 16(1), 1-22 (In Persian).
- Schuol, J., & Abbaspour, K.C. (2006). Calibration and uncertainty issues of a hydrological model SWAT applied to West Africa. *Advances in Geoscience*, 9, 137- 143.
- Shakri, H. (2015). Analysis of overpass risk in the dam considering the uncertainty of the effective parameters (case study: Golpayegan Dam). Master's thesis. Faculty of Technical Engineering. Department of Civil Engineering (Water). Yasouj University. (In Persian).
- Sharifi, A., Dinpazhouh, Y., Fakheryfard, A., & Moghadamni, A. (2012). Optimum combination of variables for run off simulation in Amameh watershed using gamma test. *Journal of Knowledge of Soil and Water*, 13, 76-79 (In Persian).
- Tung, Y. K., & Wong, C. L. (2013). Assessment of design rainfall uncertainty for hydrologic engineering applications in Hong Kong, *Stochastic Environment a Research and Risk Assessment*, 28(3), 583-592.
- US Army Corps of Engineers. (2021). HEC-ResSim Reservoir System Simulation. User's Manual. Version 3.3. February 2021.
- Uysal, G., Akkol, B., Topcu, M. I., Sensoy, A., & Schwanenberg, D. (2016). Comparison of different reservoir models for short term operation of flood management. *Procedia Engineering*, 154, 1385-1392.
- Wang, D. (2009). Rethinking risk analysis: the risks of risk analysis in water issues as the case. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 15(6), 1079-1083.
- Yan, B. W., Guo, S. L., & Chen, L. (2014). Estimation of reservoir flood control operation risks with considering inflow forecasting errors. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 28(2), 359-368.
- Zargar, M. (2015). Simulation-optimization model of integrated flood risk management in a chain system of series and parallel reservoirs. Doctoral thesis in Water Resources Management Engineering. Faculty of Engineering. Shahid Chamran University of Ahvaz. Iran. (In Persian).