



Overtopping Risk Evaluation of Vanyar Dam using System Dynamics and Impacts of Flood on Downstream Land

Ali Ebrahimzadeh^{1*}, Bita Bagheri Seygalani² 

¹ Corresponding author, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University of Marand, Marand, Iran.

² Assistant Professor, Department of Architecture, Islamic Azad University of Miyaneh, Miyaneh, Iran. E-mail:

Received: 01.09.2023; Accepted: 06.12.2023

Abstract

Objective: Dams play a key role in controlling floods and minimizing associated losses. They reduce downstream losses by lowering the flood peak and enable a safer flood stream. Despite the significant advantages of dams, dam failure may cause dramatic casualties and financial losses. Overtopping is a major dam failure that can be induced by one or more geophysical events, e.g., floods, landslides, earthquakes, and intense winds. Overtopping is particularly crucial for earth and aggregate dams as they are more likely to be destroyed due to the flow over the crest. Therefore, the overtopping risk evaluation of dams is important, and it is necessary to bring a trade-off between the reservoir level and overtopping risk.

Methods: The risk management of earth dams is complex since multiple factors are involved. System dynamics (SD) can be used to evaluate the effects of a set of complex, interrelated factors on the overtopping risk of dams under several scenarios. Floods and winds are the main causes of overtopping, with each being dependent on a number of variables. This paper used an SD model to evaluate the independent and combined effects of uncertainties with floods and winds of different return periods on the overtopping risk of the Vanyar Dam, Iran. This would help implement efficient measures to minimize the overtopping risk and maximize safety.

To measure the effects of overtopping floods on the downstream of the dam, a hydraulic model was developed in HEC-RAS. The geometric parameters/data of the river and the non-steady stream data along with the initial and boundary conditions were introduced as inputs to the hydraulic model. The most critical scenario to identify the overtopping flood zone corresponded to the probable maximum flood (PMF), under which a broad area of the downstream lands would be flooded.

Results: This study analyzed the overtopping risk of the Vanyar Dam, Iran, for different flood and wind return periods by modeling the dam reservoir through system dynamics (SD) under initial reservoir level and dam height uncertainties using the Monte Carlo method. The effects of floods and the combined effects of floods and winds on the overtopping risk were evaluated. The results demonstrated that the probable maximum flood (PMF) with a wind return period of 100 years under reservoir level and dam height uncertainties maximized the overtopping risk to 0.122931. The overtopping risk converged in 200,000 iterations.

The analysis of the overtopping flood downstream of the dam showed that many villages and facilities would be completely flooded, and it is necessary to implement management measures, such as controlling the reservoir level, to minimize the overtopping risk.

Keywords: Overtopping Risk, System Dynamics, Monte-Carlo simulation, Flood

* Corresponding author, E-mail: a_ebrahimzadeh_a@yahoo.com

Cite this article: Ali Ebrahimzadeh, Bita Bagheri Seygalani. (2024). Overtopping risk evaluation of Vanyar dam using system dynamics and impacts of flood on downstream land. *Journal of New Approaches in Water Engineering and Environment*, 3(1), 47-64. <https://doi.org/10.22034/nawee.2023.422313.1052>





ارزیابی ریسک روگذاری سدخاکی و نیار با استفاده از مدل پویایی سیستم‌ها و تأثیر سیلاب ناشی از روگذری بر اراضی پایین دست سد

علی ابراهیم‌زاده^{۱*}، بیتا باقری صیقلانی^۲

^۱ نویسنده مسئول، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرند، مرند، ایران.

^۲ استادیار، گروه معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد میانه، میانه، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۱۵

چکیده

سدها در مهار سیلاب و کاهش خسارت آن نقش موثری دارند. در سیلاب‌های فروردین ماه سال ۱۳۹۸، نقش و تأثیر سدهای بزرگ در رودخانه‌های کارون، کرخه و دز به خوبی نمایان گردید و این سدها با کاهش دبی اوج، خسارت سیلاب در پایین دست را کاهش داده و سیلاب را با ایمنی بیشتری عبور دادند. به هنگام سیلاب، بروز پدیده روگذری و عبور آب از روی سدها، همواره آنها را تهدید می‌نماید. بنابراین بایستی ارزیابی ریسک روگذری سدها را موضوعی مهم تلقی کرده و بین تراز آب مخزن سد و ریسک روگذری آن تعادل ایجاد نمود. با استفاده از پویایی سیستم‌ها می‌توان مجموعه‌ای از عوامل پیچیده، مرتبط و موثر در پدیده روگذری را در کنار یکدیگر قرار داده و تأثیر سناریوهای مختلف را بر روی ریسک روگذری بررسی نمود. در این مقاله با استفاده از مدل پویایی سیستم‌ها، تأثیر عدم قطعیت‌های مختلف به همراه سیلاب و باد با دوره‌های بازگشت مختلف به طور همزمان و مجزا بر ریسک روگذری سد و نیار مورد بررسی قرار گرفته است تا بتوان تمهیدات لازم برای کاهش ریسک روگذری و افزایش ایمنی در سد مذکور را اتخاذ نمود. نتایج تحلیل نشانگر این است که حداکثر مقدار ریسک روگذری در حالت حداکثر سیلاب محتمل (PMF) و سرعت باد با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله و با در نظر گرفتن عدم قطعیت ارتفاع آب مخزن سد و ارتفاع خود سد بوده و برابر برابر با ۰/۱۲۲۹۳۱ می‌باشد و مقدار ریسک روگذری بعد از تعداد تکرار شبیه سازی ۲۰۰۰۰ مرتبه به مقدار یکسانی همگرا می‌گردد. در ادامه ضمن تحلیل سیلاب ناشی از روگذری، تأثیر آن بر اراضی پایین دست سد مورد بررسی قرار گرفته است، تا بتوان تصمیمات مدیریتی در زمان سیلابی که احتمال روگذری از سد را دارد اتخاذ نمود.

کلیدواژه‌ها: ریسک روگذری، پویایی سیستم‌ها، شبیه‌سازی مونت کارلو، سیلاب.

* نویسنده مسئول. Email: bitabagheri52@yahoo.com

استناد: ابراهیم‌زاده، علی؛ باقری صیقلانی، بیتا (۱۴۰۳). ارزیابی ریسک روگذاری سدخاکی و نیار با استفاده از مدل پویایی سیستم‌ها و تأثیر سیلاب ناشی

از روگذری بر اراضی پایین دست سد. *رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط زیست*، ۳ (۱)، ۴۴-۴۷.

<https://doi.org/10.22034/nawee.2023.422313.1052>



ناشر: دانشگاه گنبد کاووس. © نویسندگان

مقدمه

روند رو به افزایش سیل در بسیاری از مناطق جهان و افزایش خسارت‌های ناشی از سیلاب در نقاط مختلف جهان، لزوم چاره‌اندیشی برای مقابله با این پدیده طبیعی را آشکار می‌نماید و در این میان نقش ارزشمند و موثر سدها در کنترل سیلاب‌های ویرانگر و کاهش خسارت آنها بر هیچکس پوشیده نیست. در سیلاب‌های فروردین ماه سال ۱۳۹۸، نقش و تاثیر سدهای بزرگ در رودخانه‌های کارون، کرخه و دز بر کاهش شدت سیلاب و کاهش خسارت‌های مالی و جانی بر جمعیت تحت تاثیر در پایین‌دست به خوبی نمایان گردید. سدها با کاهش دبی اوج، خسارت سیلاب در پایین‌دست را کاهش داده و رواناب را با ایمنی بالاتری عبور می‌دهند؛ بطوریکه در غیاب این سدها، سیلاب مستقیماً به سمت پایین‌دست حرکت کرده و بسیاری از روستاها و شهرهای پایین‌دست زیر تلی از رسوبات باقیمانده از سیلاب مدفون می‌شوند.

در کنار تمام منافع که سدها دارند، شکست آنها می‌تواند خطرات و مشکلات زیادی برای جان و مال انسانها بوجود آورد. از میان تمام عواملی که باعث شکست سدها می‌شوند، روگذری از مهم‌ترین آنها می‌باشد که می‌تواند در اثر یک یا ترکیبی از وقایع ژئوفیزیکی نظیر سیل، لغزش زمین، زلزله و بادهای شدید رخ دهد. در سدهای خاکی و سنگریزه‌ای که امکان تخریب سد در نتیجه عبور آب از روی تاج سد بسیار زیاد است، پدیده روگذری از بین عواملی که باعث شکست سدها می‌شوند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

مدیریت ریسک سدهای خاکی به علت زیاد بودن عوامل موثر در آنها، از اهمیت و پیچیدگی زیادی برخوردار است. برای اینکه بتوان مجموعه‌ای از عوامل پیچیده و مرتبط به هم را در کنار یکدیگر قرار داده و بین آنها ارتباط برقرار کرد، روش تحلیل پویایی سیستم‌ها به عنوان ابزاری کارآمد می‌باشد. هدف اصلی استفاده از این روش فهم چرایی و چگونگی یک رخداد دینامیکی و تلاش برای اجرای سیاست‌ها و مدیریت آن می‌باشد. نظریه پویایی سیستم‌ها با مشخص کردن رابطه بازخوردی میان پدیده‌ها و

شبیه‌سازی این روابط می‌تواند کمک موثری برای تصمیم‌گیریهایی بلندمدت داشته‌باشد (میز، ۲۰۰۰). دو پارامتر مهم در ایجاد روگذری از سد، وقوع سیلاب و باد می‌باشند. هریک از این دو پدیده، از متغیرهای مختلفی از جمله موارد زیر تاثیر پذیر هستند (کی‌یو و همکاران، ۲۰۰۷).

۱. اثر سیلاب بر پدیده روگذری

برای محاسبه ریسک روگذری از سد تحت اثر سیلاب متغیرهای فراوانی از جمله ارتفاع سد، سرریز سد و نحوه عملکرد آن، تراز اولیه آب مخزن سد، مدت زمان بارندگی، شدت بارندگی، ضریب رواناب در حوزه، زمان پیک سیلاب و ... وجود دارند.

۲. اثر باد بر پدیده روگذری

در بررسی ریسک روگذری ناشی از باد متغیرهای تصادفی اصلی موثر شامل ارتفاع سد، تراز آب مخزن سد، راستای باد، سرعت باد، طول موج خیز مخزن، شیب بالادست بدنه سد خواهند بود.

با توجه به اینکه پدیده شکست سد، مخصوصاً در اثر روگذری، ریسک و خطرپذیری را به دنبال خواهد داشت، لذا می‌توان از ارزیابی ریسک به عنوان ابزاری کارآمد و نو در عرصه مدیریت سدها به منظور کاهش خسارت ناشی از شکست سدها استفاده نمود.

پیشینه پژوهش

به دلیل اهمیت سد از نظر اقتصادی و کارایی آن و البته خطرات شکست و خرابی آن، ایمنی و ریسک خرابی سدها از دیرباز مورد توجه پژوهشگران و مهندسين قرار گرفته است.

خاکباز، تجربی و ابریشمی (۱۳۸۰)، در تحقیقی روشی برای برآورد ریسک روگذری مربوط به باد ارائه کردند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که مقدار ریسک روگذری مربوط به باد به تنهایی (به‌خصوص هنگامیکه رقوم آب در رودخانه پایین باشد)، به نسبت کم و در مقایسه با ریسک روگذری مربوط به سیلاب ناچیز است. فقیه، خلقی و کوچک‌زاده (۱۳۸۷)، به مطالعه اثر سرریز برای جلوگیری از

تأثیر حداقل و در معیار تاب‌آوری سیستم تأثیر حداکثر دارد. محمودیان شوشتری، ملک‌محمدی و بنی‌هاشمی (۱۳۹۵)، به ارزیابی ریسک ایمنی سدها پرداختند و تعداد تلفات جانی به علت سیل ناشی از شکست سد را از طریق روش رایج در اداره اصلاح اراضی آمریکا (USBR) موسوم به DS0-99-06 تخمین زده و نتیجه گرفتند که مقدار ریسک شکست سد گلستان بر اثر وقوع سیل در بالادست آن، غیر قابل قبول بوده و اقدام برای کاهش ریسک فوری ضروری است.

ابراهیم زاده، زرغامی و نورانی (۱۳۹۸)، در تحقیقی به ارزیابی ریسک روگذری سد خاکی حاجیلرچای با استفاده از مدل پویایی سیستم‌ها پرداخته و نشان دادند که روش پویایی سیستم‌ها با مونت‌کارلو ابزاری کارآمد در محاسبه ریسک روگذری سد خاکی بوده و در شرایط مشابه شاخص اعتمادپذیری نتایج روش مونت‌کارلو از روش ابرمکعب لاتین بیشتر بوده و همچنین زمان لازم برای شبیه‌سازی آن کمتر است. در مطالعه دیگری جوآن و همکاران (۲۰۱۹)، یک مدل ساخته شده از شبکه بیزین پویا را برای محاسبه ریسک عملکرد سازه‌های کنترل سیلاب سیستم چندمخزنه استفاده نمودند. ابراهیم زاده، زرغامی و نورانی (۱۳۹۸)، در تحقیق دیگری به مدیریت ریسک روگذری سد خاکی حاجیلرچای با شبیه‌سازی مونت‌کارلو تحت پویایی سیستم‌ها پرداخته و تراز قابل اطمینان آب مخزن سد به منظور تامین ریسک قابل قبول را تخمین زدند و نشان دادند که به منظور کنترل ریسک روگذری سد، اقدام برای کاهش ریسک از جمله کنترل تراز آب مخزن سد ضروری می‌باشد. در ادامه به بررسی برخی از تحقیقات انجام شده در

زمینه‌ی مدل‌های پویا پرداخته می‌شود. فتوکیان، صفاری و زرغامی (۱۳۹۶)، بهره‌برداری از مخزن سد یامچی را با مدل پویایی سیستم‌ها در محیط Vensim شبیه‌سازی کردند و الگوی بهینه کشت برای منطقه مورد مطالعه را پیشنهاد داده و عملکرد سد را با اعمال سیاست مدیریتی الگوی کشت بهینه و بر اساس سه شاخص آسیب‌پذیری، برگشت‌پذیری و اطمینان‌پذیری مورد ارزیابی قرار دادند. یانگ و همکاران (۲۰۱۵)، یک روش ارزیابی جهت تعیین ظرفیت حوضه آبریز بر مبنای پویایی

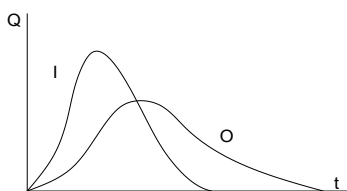
روگذری سد پرداختند. آنها تحلیل ریسک را برای تعیین مجدد سیلاب طراحی سرریز سد پیشین که بر روی رودخانه سرباز احداث شده‌است، انجام دادند. چونگ‌یون و همکاران (۲۰۰۸)، در پژوهشی به بررسی ریسک روگذری در سدهای خاکی تحت اثر موج ناشی از باد و سیل بطور همزمان پرداختند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که با میانگین واریانس $5e-6$ برای ریسک روگذری مخزن، سطح آب کنترل‌کننده سیل تا $0/4$ متر بالا می‌آید که ذخیره سازی مخزن به ۱۶ میلیون مترمکعب می‌رسد و سطح تولید انرژی الکتریکی افزایش می‌یابد. هوو، یانگ و تانگ (۲۰۱۱)، در پژوهشی آنالیز ریسک برای ارزیابی احتمال خرابی سازه‌های کنترل سیلاب را در خاکریز رودخانه کلونگ بمنظور بررسی پارامترهای عدم قطعیت هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و ژئومورفولوژیکی بررسی کردند. نتایج نشان می‌دهند که فاکتورهای عدم قطعیت هیدرولوژیکی تأثیر بیشتری بر تخمین ماکزیمم سطح آب نسبت به فاکتورهای هیدرولیکی و ژئومورفولوژیکی دارند. گودرزی، شی‌یو و ضیائی (۲۰۱۲)، پژوهشی به مطالعه موردی سد میجران پرداختند و بیان کردند که ارزیابی ریسک هیدرولوژیک و تجزیه و تحلیل عدم قطعیت با روش‌های ریاضی و آماری، اطلاعات مفیدی برای تصمیم‌گیرندگان فراهم می‌کند.

شرافتی و ذهبیون (۱۳۹۲)، به تحلیل ریسک روگذری سد با استفاده از شبیه‌سازی مونت‌کارلو پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که متوسط تغییرات ریسک شکست سد جامیشان به ازای یک واحد تغییرات عرض سرریز، تراز نرمال و تراز تاج سد به ترتیب برابر $0/03$ ، $3/1$ و $1/56$ درصد می‌باشد. گودرزی، شی‌یو و ضیائی (۲۰۱۴)، در تحقیق دیگری ضمن بررسی ریسک روگذری سد درودزن با روش‌های مونت‌کارلو و ابرمکعب لاتین، نشان دادند افزایش تراز سطح اولیه آب مخزن سد باعث افزایش ریسک روگذری می‌گردد. متولی و همکاران (۲۰۱۵)، در تحقیقی به استفاده از روش مونت‌کارلو در تحلیل بهره‌برداری کیفی و کمی از سیستم مخازن بر مبنای عدم قطعیت جریان ورودی در سدهای کارون ۳، کارون ۴ و خراسان پرداختند. نتایج تحلیل آنها بر روی معیارهای بهره‌برداری و عملکرد کل سیستم نشان می‌دهد که عدم قطعیت جریان ورودی، در معیار قابلیت اطمینان کمی

روش‌شناسی پژوهش

۱. روندیابی سیلاب در مخزن سد

چنانچه سیلی وارد مخزن سد شود، ابتدا مقداری از حجم آب سیل موقتاً در مخزن ذخیره و سپس به تدریج از آن خارج می‌شود، این امر باعث جابجایی دبی اوج هیدروگراف و پایین افتادن آن می‌شود. به طوری که هیدروگراف خروجی از مخزن هم اوج کمتری دارد و هم زمان وقوع آن به تعویق می‌افتد.



شکل ۱. روند تغییرات دبی نسبت به زمان در مخزن سد در تحلیل روگذری در اثر سیلاب، ساده‌ترین روش در این خصوص استفاده از معادله پیوستگی زیر می‌باشد.

$$\frac{Q_{in_t} + Q_{in_{t+1}}}{2} - \frac{Q_{out_t} + Q_{out_{t+1}}}{2} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$= \frac{S_{t+1} - S_t}{\Delta t}$$

که در آن Q_{in_t} و $Q_{in_{t+1}}$ جریان ورودی به مخزن سد (m^3/s)، Q_{out_t} و $Q_{out_{t+1}}$ جریان خروجی از مخزن سد (m^3/s)، S_t و S_{t+1} حجم ذخیره مخزن در زمانهای t و $t + 1$ و Δt بازه زمانی مورد نظر می‌باشد (گودرزی، شی‌یو و ضیائی، ۲۰۱۴).

در این مقاله برای حل معادله فوق در مورد هیدروگرافهای مختلف سیلاب ورودی به مخزن سد از نرم‌افزار Vensim استفاده شده‌است و پس از روندیابی هیدرولوژیکی سیلاب در مخزن با استفاده از اصل پیوستگی جریان و رابطه بین دبی و ذخیره موقت آب بوسیله نرم افزار مذکور، ارتفاع آب در مخزن سد محاسبه گردیده و ضمن مقایسه آن با ارتفاع خود سد، ریسک روگذری محاسبه گردیده‌است.

۲. تاثیر باد بر پدیده روگذری:

سرعت باد و طول مسیری از مخزن سد که در معرض وزش

سیستم‌ها در شهر تپالینگ چین ارائه کردند که ترکیبی از اثرات و بازخوردهای مولفه‌های اقتصادی، اجتماعی و آب می‌باشد. همچنین شاخصی را جهت تعیین آستانه تحمل حوضه معرفی کردند. بر مبنای این شاخص و ظرفیت حوضه، دو حالت حد مجاز و حالت مازاد معرفی گردید. در حالت مجاز، تقاضا به مقدار طبیعی آب ذخیره برسد و حالت مازاد نیز زمانی رخ می‌دهد که رشد اقتصادی-اجتماعی با محدودیت منابع آب، محدود گردد. قشقائی، معروفی و معروفی (۲۰۱۴)، تاثیر اولویت نیازها بر جریان پایین‌دست چهار سد: چراغ ویس، مرخز، کردکند و سنات در استان کردستان را به کمک مدل پویا مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از اجرای مدل به صورت درصد تامین هر یک از نیازها نشان داد که این مقادیر با تغییر اولویت‌ها به صورت قابل ملاحظه‌ای تغییر نخواهد کرد. در این بررسی تاثیر ساخت سد بوکان نیز مورد بررسی قرار گرفت به طوری که کاهش جریان پایین‌دست در بهترین و بدترین سیاست، تخصیص به مقدار قابل توجه ۱۸/۴۰ میلیون مترمکعب می‌رسد. یانگ، چانگ و هو (۲۰۰۸)، مدل پویا را همراه با آنالیز اثر طرح‌های بهره‌برداری از منابع آب در تایوان به کار بردند. نتایج نشان داد که با کاهش نرخ جریان بیشتر از ۱۰ درصد مشکل کمبود در سطح جدی قرار خواهد گرفت و در زمان افزایش نیاز به برداشت از منابع آب سطحی، اضافه برداشت گزینه مناسبی نخواهد بود.

بررسی تحقیقات صورت گرفته در مورد ریسک روگذری سدها نشان می‌دهد علی‌رغم کارایی مدل پویایی سیستم‌ها در زمینه تحلیل ریسک روگذری، از این ابزار و قابلیت‌های آن استفاده چندانی در این خصوص صورت نگرفته و در صورت استفاده نیز صرفاً تعداد محدودی از پارامترهای موثر در روگذری بصورت یکجا مورد توجه قرار گرفته‌است. این در حالی است که با استفاده از پویایی سیستم‌ها می‌توان مجموعه‌ای از عوامل موثر در ریسک روگذری را در کنار هم قرار داده و ضمن بررسی رابطه بازخوردی بین آنها، تاثیر تک تک و هم‌زمان آنها بر ریسک روگذری را بررسی کرده و تصمیمات لازم را در رابطه با مسائل ایمنی و اقتصادی در زمینه بهره‌برداری و مدیریت ریسک سدها اتخاذ نمود.

صورت زیر محاسبه می‌گردد.

$$h_t = \frac{V^2 F}{62772D} \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن h_t ارتفاع خیزاب بر اثر باد (m)، F طول موج خیز (km)، V سرعت وزش باد (km/hr) و D متوسط عمق آب در طول خیز موج (m) می‌باشد.

۵. ارتفاع خیزاب موج بر روی شیروانی بالادست سد

(h_r)

به هنگام برخورد موج با بدنه سد، قسمتی از انرژی موج بواسطه تخلخل و زبری پوشش شیروانی سد تلف می‌شود و قسمت باقیمانده انرژی باعث بالا آمدن موج بر روی شیروانی بالادست سد می‌شود. هوگز معادله زیر را برای محاسبه پارامتر مذکور ارائه نموده‌است (هوگز، ۲۰۰۴).

$$\frac{h_r}{h} = 3.84 \times \tan \theta \left(\frac{M_F}{\rho g h^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در آن h_r ارتفاع بالا آمدگی موج بر روی شیروانی (m)، h عمق آب (m)، ρ چگالی آب و M_F سیلان لحظه‌ای موج در واحد عرض می‌باشد که از معادله زیر محاسبه می‌گردد.

$$\left(\frac{M_F}{\rho g h^2} \right)_{\text{Max}} = A_0 \left(\frac{h}{g T^2} \right)^{-A_2} \quad \text{رابطه (۶)}$$

که در آن :

$$A_0 = 0.6392 \times \left(\frac{h_s}{h} \right)^{2.0256} \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$A_1 = 0.1804 \times \left(\frac{h_s}{h} \right)^{-0.391} \quad \text{رابطه (۸)}$$

و h_s ارتفاع موج (m) می‌باشد (وانگ و بولز، ۲۰۰۵). در نهایت ارتفاع بالا آمدگی آب ناشی از باد به صورت زیر محاسبه می‌گردد.

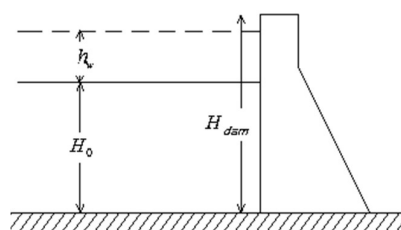
$$h_w = h_s + h_t + h_r \quad \text{رابطه (۹)}$$

۶. تحلیل ریسک روگذری و شکست سد

شکست یک سیستم، از جمله سد، زمانی اتفاق می‌افتد که سیستم در برابر بارهای وارده عملکرد قابل انتظار خود را نداشته باشد و بار وارد بر سیستم (L_F) از ظرفیت سیستم (R) بیشتر باشد. در تحلیل پدیده روگذری و سرریز شدن آب از روی سد، بار و مقاومت سیستم به ترتیب ارتفاع آب در مخزن سد (H_{max}) و ارتفاع خود سد (H_{dam})

شدید باد قرار گرفته‌است، از جمله مهم‌ترین عواملی هستند که در وقوع پدیده روگذری تاثیر زیادی دارند و روگذری تحت تاثیر بادهای شدید حتماً بایستی مدنظر قرارگیرد. پدیده روگذری ناشی از باد به صورت زیر تعریف می‌شود که در آن روگذری هنگامی رخ خواهد داد که افزایش ارتفاع آب دریاچه به دلیل وزش باد بعلاوه تراز آب دریاچه سد بیشتر از ارتفاع سد گردد (خاکباز، تجریشی و ابریشمچی، ۱۳۸۰).

$$P_f = P(h_w > H_{\text{dam}} - H_0) \quad \text{رابطه (۲)}$$



شکل ۲. نمایی از ارتفاع سد، ارتفاع اولیه آب در مخزن سد و افزایش ارتفاع آب ناشی از باد

در شکل ۲، H_{dam} : ارتفاع سد، H_0 : ارتفاع اولیه آب و h_w افزایش ارتفاع آب ناشی از باد می‌باشد. افزایش ارتفاع آب مخزن سد ناشی از باد h_w ، معمولاً به سه فاکتور زیر تقسیم می‌شود:

۳. ارتفاع موج ناشی از تنش باد در سطح مخزن (h_s)

ارتفاع بزرگترین موج ایجاد شده بر اثر وزش بادهای غالب منطقه، ارتفاع موج نام دارد. برای محاسبه ارتفاع موج حاصل از وزش باد، معادله زیر را ارائه نموده‌است (یواس بی آر، ۱۹۹۲).

$$h_s = 0.00237V^{1.23}F^{0.5} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن h_s : ارتفاع موج (m)، F : طول موج خیز (km) و V : سرعت وزش باد (km/hr) می‌باشد.

۴. ارتفاع خیزاب موج بر اثر باد (h_t)

بر اثر وزش مداوم باد به سطح آب دریاچه سد، سطح آب در جهت بدنه بالا می‌آید. مقدار این بالا آمدگی تابع طول موج خیز، سرعت باد و عمق متوسط آب در امتداد طول موج خیز می‌باشد و طبق معادله (یواس بی آر، ۱۹۹۲)، به

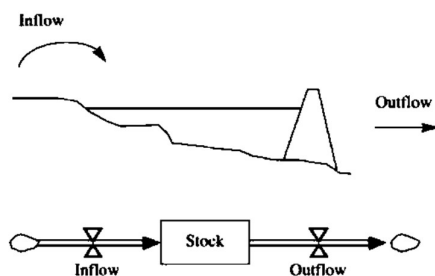
حساسیت از مزیت‌های روش پویایی سیستم می‌باشد که باعث استفاده از آن در مدل‌سازی بهره‌برداری از مخازن مخصوصاً در زمان سیلاب شده‌است (ملاحسینی، موسوی و صلوی‌تبار، ۱۳۹۱).

۸. آشنایی با نرم افزار Vensim

یکی از نرم افزارهایی که به روش پویایی سیستم‌ها به مدل‌سازی و حل مسئله می‌پردازد، نرم افزار Vensim است. این نرم‌افزار بر پایه بازخورد و اتفاقات شی‌گرا عملیات شبیه‌سازی را انجام می‌دهد و با مشخص کردن رابطه بازخوردی میان پدیده‌ها و شبیه‌سازی این روابط، می‌توان مجموعه‌ای از عوامل پیچیده مرتبط و موثر در پدیده روگذری را کنار یکدیگر قرار داده و تاثیر سناریوهای مختلف بر روی ریسک روگذری را بررسی نمود.

از قابلیت‌های نرم افزار Vensim می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (فتوکیان، صفاری و زرغامی، ۱۳۹۶):

مدل‌سازی بر اساس روابط بازخورد، مدل‌سازی حلقه‌های علت و معلولی، مدل‌سازی توابع پویا، امکان مشارکت کاربران سطوح مختلف در توسعه مدل، سادگی و سرعت قابل توجه در تعریف سیستم، ارتباط با سایر نرم افزارها از جمله Excel، عدم محدودیت در تعداد متغیرهای مسأله، آنالیز حساسیت، رویکرد منحصر بفرد برای نمایش تغییرات خروجی‌ها و نسخه رایگان Vensim PLE. نرم افزار Vensim از مدل ساده زیر برای محاسبه موجودی مخزن استفاده می‌کند.



شکل ۳. شکل شماتیک مدل ذخیره- جریان برای مخزن سد (سیمونویچ، ۲۰۰۹)

معادلات دیفرانسیلی و انتگرالی حاکم بر نمودار ذخیره-

می‌باشند.

به منظور محاسبه ریسک روگذری ناشی از سیلاب ورودی به مخزن سد و همچنین ریسک روگذری ناشی از سیلاب ورودی و باد، ابتدا بایستی تابع عملکرد سیستم به شرح زیر محاسبه گردد.

$$Z_{\text{Flood}} = \ln \frac{H_{\text{dam}}}{H_{\text{max}}} \quad \text{رابطه ۱۰}$$

$$Z_{\text{Flood\&Wind}} = \ln \frac{H_{\text{dam}}}{H_{\text{max}} + h_w} \quad \text{رابطه ۱۱}$$

در روابط فوق Z ، تابع عملکرد سیستم و h_w ارتفاع بالآمدگی آب ناشی از باد می‌باشد.

در نهایت ریسک روگذری سد به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$\text{Risk} = 1 - \varphi\left(\frac{\mu_Z}{\sigma_Z}\right) = 1 - \varphi(\beta) \quad \text{رابطه ۱۲}$$

که در آن μ_Z و σ_Z به ترتیب، میانگین و ضریب تغییرات Z هستند، $\beta = \frac{\mu_Z}{\sigma_Z}$ شاخص اعتمادپذیری و $\varphi(\beta)$ احتمال نرمال تجمعی مربوط به β می‌باشند (کوان و مون، ۲۰۰۵).

۷. مدل پویایی سیستم^۲

روش تحلیل پویایی سیستم به عنوان روشی که براساس تفکر سیستماتیک بنا نهاده شده و روشی برای مطالعه و بهبود یادگیری در ارتباط با سیستم‌های پیچیده است. هدف مهم استفاده از این روش فهم چرایی و چگونگی یک رخداد دینامیکی و تلاش برای اجرای سیاست‌ها و مدیریت کردن آن رخداد است. اساس این روش شبیه‌سازی بر پایه بازخورد و اتفاقات شی‌گرا است. نظریه پویایی سیستم‌ها با مشخص کردن رابطه بازخوردی میان پدیده‌ها و شبیه‌سازی این روابط قادر است کمک موثری برای تصمیم‌گیری‌های بلندمدت داشته باشد. به کمک مدل‌سازی با این روش می‌توان پیامدهای نامشخص تصمیم‌گیرها را آشکار نمود و قبل از اتخاذ یک تصمیم، تأثیر و پیامد آن را مشخص نمود. لحاظ نمودن پیوستگی جرم به عنوان یکی از مفاهیم اساسی پویایی سیستم، سادگی ایجاد تغییرات در مدل شبیه‌سازی، اصلاح آن در پاسخ به تغییرات و توانایی انجام آنالیز

گیرد. نتایج آزمون های صورت گرفته بر روی مدل، نشان از اعتبار مدل به شرح زیر را دارد. به منظور ارزیابی عملکرد مدل از ضریب تعیین R^2 و معیار نش-ساتکلیف^۱ استفاده شده است. این شاخص بین صفر و یک متغیر است.

$$R^2 = \frac{[\sum (y_{m,i} - \bar{y}_{m,i})(y_{s,i} - \bar{y}_{s,i})]^2}{\sum (y_{m,i} - \bar{y}_{m,i})^2 \sum (y_{s,i} - \bar{y}_{s,i})^2} \quad (\text{رابطه ۱۵})$$

معیار نش-ساتکلیف نیز از رابطه زیر بدست می آید که دامنه تغییرات آن از منفی بینهایت تا ۱ را شامل می شود. هر چه این معیار به ۱ نزدیک تر باشد صحت سنجی مدل دقیق تر خواهد بود. مقادیر بزرگ تر از ۰/۵ حاکی از عملکرد قابل قبول مدل می باشد.

$$NSE = 1 - \frac{\sum (y_{m,i} - \bar{y}_{m,i})^2}{\sum (y_{s,i} - \bar{y}_{s,i})^2} \quad (\text{رابطه ۱۶})$$

در روابط بالا $y_{m,i}$ مقدار داده محاسباتی و $y_{s,i}$ نمایانگر داده های مشاهداتی می باشند. $\bar{y}_{m,i}$ و $\bar{y}_{s,i}$ مقدار میانگین داده های محاسباتی و مشاهداتی می باشند (آشفته، ۲۰۱۴).

۱۲. روش شبیه سازی مونت کارلو (MCS)

آنالیز مونت کارلو یکی از قویترین ابزارهای مهندسی است که امکان تحلیل آماری عدم قطعیت های موجود در مسائل مهندسی را دارد. این روش بخصوص در مسائل پیچیده ای که متغیرهای تصادفی بی شماری توسط معادلات غیرخطی به یکدیگر مرتبط شده اند، بسیار مفید می باشد.

اساس این روش، تولید مجموعه ای از اعداد تصادفی است که به طور مکانیکی یا الکترونیکی تولید می شوند. نخست n عدد تصادفی برای هر یک از پارامترهای تصادفی موجود تولید می شود، سپس با توجه به توزیع احتمالی مناسب، n عدد تصادفی با چگالی احتمال معین بدست می آید و نهایتاً n مقدار برای تابع عملکرد Z خواهیم داشت، با استفاده از اطلاعات آماری و هیستوگرام فراوانی برای نتایج بدست آمده، احتمال خرابی و قابلیت اعتماد سیستم قابل ارزیابی خواهد بود (غیاث، ۱۳۹۳).

جریان به صورت زیر تعریف می شوند.

$$\frac{d(\text{Stock})}{dt} = \text{Inflow}(t) - \text{Outflow}(t) \quad (\text{رابطه ۱۳})$$

$$\text{Stock}(t) = \int_{t_0}^{t_n} [\text{Inflow}(t) - \text{Outflow}(t)] \cdot dt + \text{Stock}(t_0) \quad (\text{رابطه ۱۴})$$

که در آن $\text{Stock}(t)$ ، $\text{Inflow}(t)$ و $\text{Outflow}(t)$ به ترتیب مقادیر ذخیره، ورودی و خروجی در زمان t می باشند.

۹. ارزیابی مدل پویا

به منظور بررسی صحت مدل و ارزیابی آن در جهت حصول اطمینان از نتایج حاصل از مدل سازی مخزن سد، آزمون ها و صحت سنجیهایی به شرح زیر بر روی مدل صورت می گیرد:

۱۰. آزمون شرایط حدی

آزمون شرایط حدی، بر مقاوم بودن مدل در شرایط حدی تأکید دارد، به این معنا که تحت هر شرایطی و با تغییر یافتن سیاست ها و یا مقادیر ورودی ها، مدل باید رفتار مورد انتظار را از خود نشان دهد (فتوکیان، صفاری و ضرغامی، ۱۳۹۶). در مورد مدل ساخته شده برای مقاله حاضر، این موضوع مورد بررسی قرار گرفته و مدل با در نظر گرفتن شرایط حدی مورد تصدیق قرار گرفته است، طوریکه در مدل ساخته شده برای مخزن سد، تغییر زیادی در مقادیر نیازهای حداقل و حداکثر به مدل اعمال گردیده و رفتار تک تک متغیرهای مربوطه در اثر این تغییرات مورد بررسی قرار گرفته و مدل ساخته شده از این نظر مورد تأیید قرار گرفته است.

۱۱. صحت سنجی مدل

بعد از انجام آزمون شرایط حدی، به منظور حصول اطمینان از صحت و اعتبار مدل و توانایی پیش بینی رفتار مدل در آینده، لازم است تا آزمون های مختلفی بر روی مدل انجام

1-Nash-Sutcliffe

2- Monte Carlo Simulation

۱۳. منطقه و سد مورد مطالعه

۱.۱۳. سد مخزنی شهید مدنی ونیار

سد مخزنی ونیار بر روی رودخانه آجی چای و در ۵ کیلومتری شمال شرقی شهر تبریز احداث گردیده است. هدف اصلی این سد، تامین آب کشاورزی برای توسعه اراضی دشت، تبریز می باشد (مهندسين مشاور قدس نیرو، ۱۳۸۳).

مشخصات هیدرولوژیکی در محور سد به ترتیب زیر

می‌باشد:

مساحت حوزه آبریز: ۷۷۲۳ کیلومتر مربع

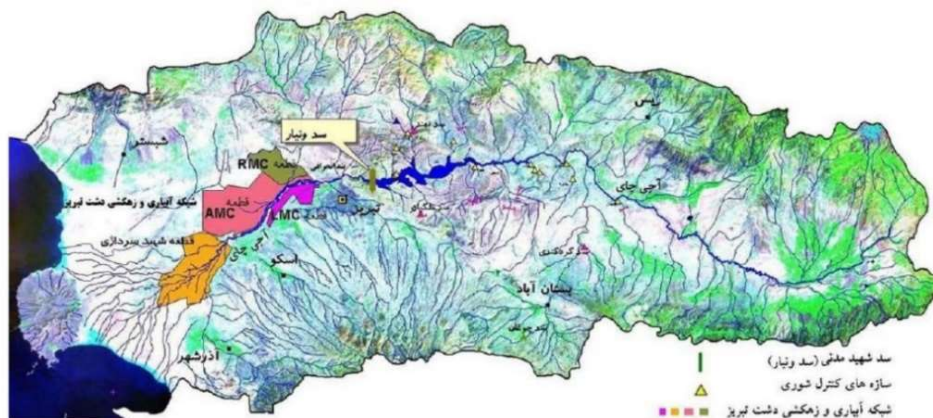
ورودی متوسط سالیانه: ۴۴۶ میلیون متر مکعب

دبی متوسط سالیانه: ۱۴/۳ متر مکعب در ثانیه

سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ ساله: ۱۰۵۲ متر مکعب

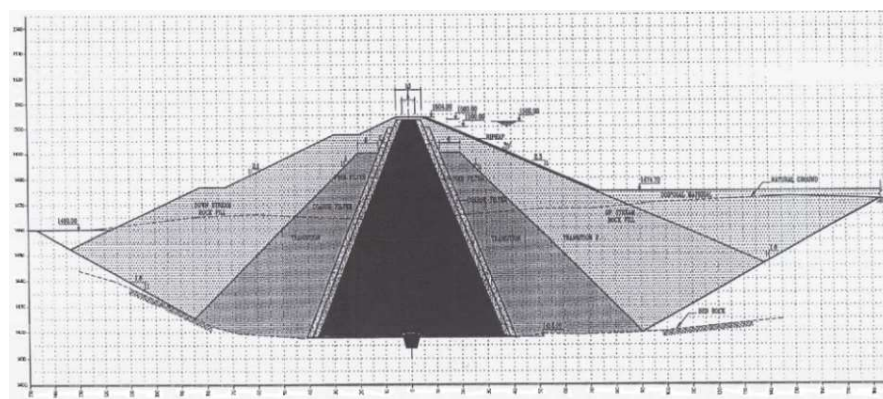
در ثانیه

حداکثر سیل متحمل (PMF): ۲۹۸۵ متر مکعب در ثانیه



شکل ۴. نمایی از موقعیت سد ونیار و حوزه آبریز رودخانه

مقطع تیپ بدنه سد ونیار مطابق شکل ۵ می باشد.



شکل ۵. مقطع تیپ بدنه سد ونیار

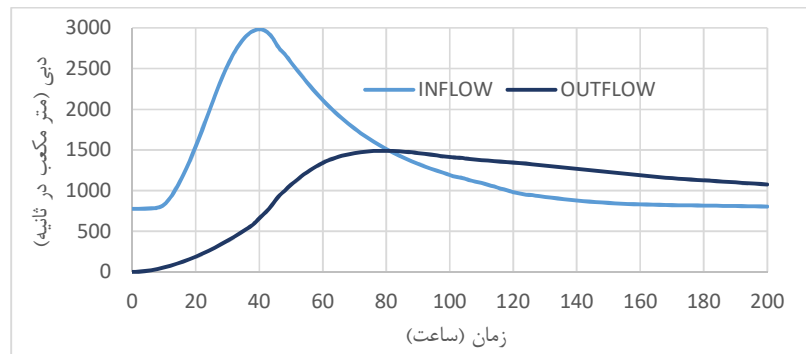
۲.۱۳. مشخصات سرریز سد ونیار

سیستم تخلیه سیلاب سد مخزنی ونیار از نوع جانبی آزاد

می باشد. این گزینه نسبت به گزینه اوجی درپچه‌دار ایمنی

بیشتر و احجام عملیات بسیار کمتری دارد. منحنی آبگذری

سرریز سد ونیار مطابق شکل زیر می‌باشد.

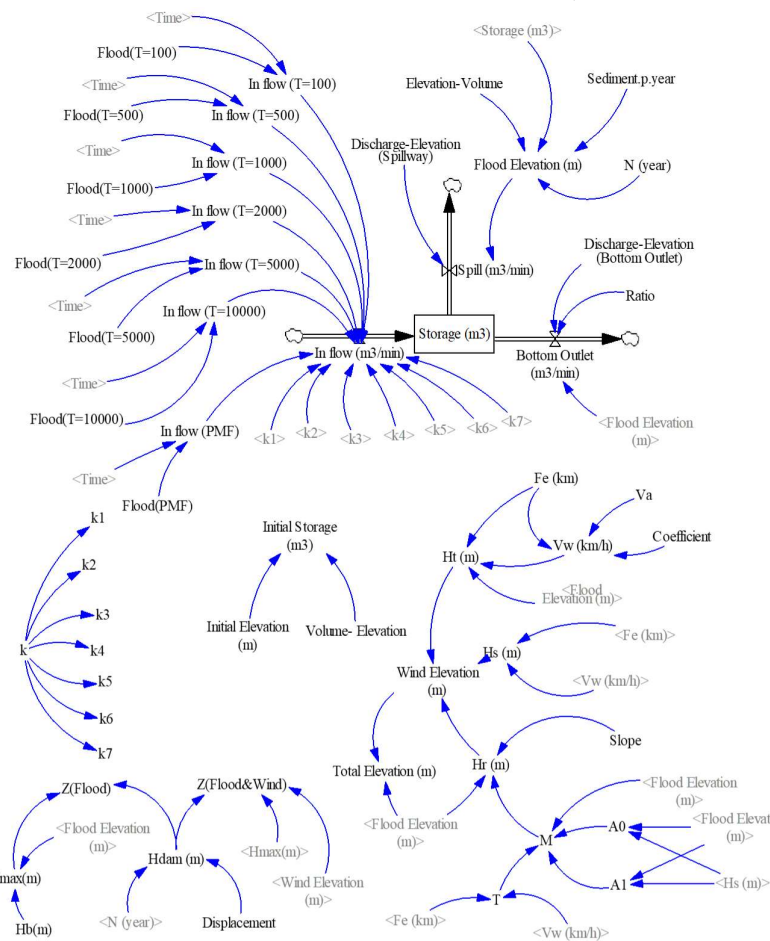


شکل ۶. هیدروگراف ورودی و خروجی سیل PMF مخزن سد ونیار

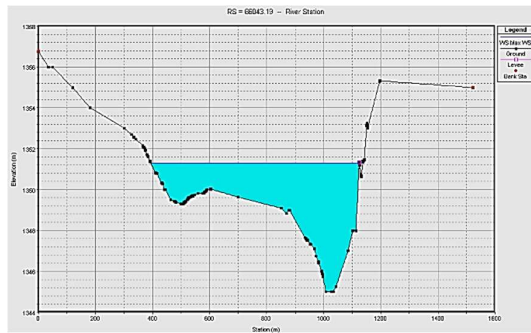
۱۴. مدل سازی ریسک روگذری

نرم افزار، برای تعداد دفعات مختلف شبیه سازی تابع عملکرد سیستم محاسبه شده است تا از روی آنها بتوانیم مقادیر ریسک روگذری مربوطه را محاسبه نماییم.

به منظور انجام محاسبات مربوط به ریسک روگذری، ابتدا در محیط Vensim مدل مربوط به محاسبه تابع عملکرد سیستم به ازای دوره های بازگشت مختلف سیلاب و باد، مطابق شکل ۷ ساخته شده و پس از انجام محاسبات توسط



شکل ۷. نمایی از مدل ساخته شده در محیط Vensim برای شبیه سازی سطح آب در مخزن سد و محاسبه تابع عملکرد سیستم با عدم قطعیت سیلاب و باد



شکل ۱۰. مقطع عرضی رودخانه تحت تاثیر حداکثر سیلاب محتمل (PMF) در فاصله ۱۱/۶۳ کیلومتری پایین دست سد (محل کارخانه شیر پاستوریزه)

در گام بعدی داده‌ها توسط مدل خوانده شده و پس از افزودن اطلاعات مربوط به سازه‌های هیدرولیکی موجود در مسیر و یا سایر عوامل و موارد مورد نیاز از قبیل ضریب زبری رودخانه، ضرایب افت انبساط و انقباض مقاطع رودخانه، شرایط مرزی و غیره، برنامه جهت انجام محاسبات هیدرولیکی در حالت جریان غیردائمی اجرا گردیده‌است. سپس نتایج حاصل از این مدل هیدرولیکی به محیط GIS فرستاده شده تا از آنها مدل رقمی تراز آب ایجاد شود. در نهایت نقشه‌های پهنه سیلاب از مقایسه و بررسی مدل رقمی زمین و مدل رقمی تراز آب در محیط GIS بدست آمده‌است.

یافته‌های پژوهش

۱. نتایج حاصل از ارزیابی ریسک روگذری سد
 ۱.۱. تاثیر دوره بازگشت باد و سیلاب بر روی ریسک روگذری

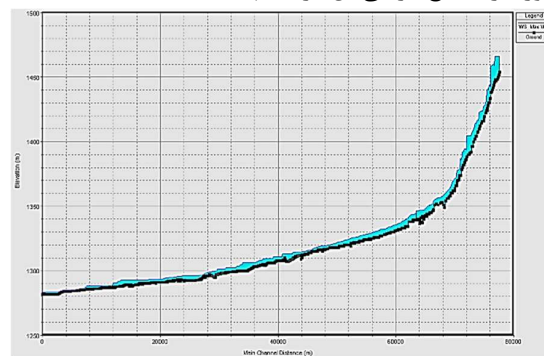
در این قسمت از تحقیق، تاثیر دوره بازگشت باد و سیلاب بر روی ریسک روگذری مورد بررسی قرار گرفته است و در حالت اول عدم قطعیت مورد نظر، تغییرات تراز اولیه آب مخزن از ۱۴۶۵ تا ۱۴۹۸ متر با توزیع احتمالاتی Beta با مشخصات $\alpha_1 = 1/4528$ ، $\alpha_2 = 0/7084$ ، $a = 1465$ و $b = 1498$ که توسط نرم افزار Easy Fit با $P - Value = 1/10899$ و $Statistic = 0/10899$ به عنوان بهترین توزیع قابل انتخاب مشخص شده، در نظر گرفته شده‌است. در حالت دوم علاوه بر تغییرات تراز اولیه مخزن، عدم قطعیت تغییرات ارتفاع

۱۵. پهنه‌بندی سیلاب ناشی از روگذری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی

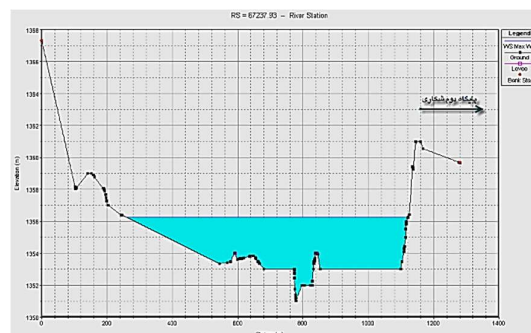
به منظور بررسی تاثیر سیلاب روگذری بر پایین دست سد، ابتدا یک مدل هیدرولیکی در محیط HEC-RAS ایجاد شده‌است. بدین منظور مشخصات هندسی رودخانه یا داده‌های هندسی و داده‌های جریان غیردائمی و شرایط مرزی و اولیه به عنوان داده‌های ورودی به مدل هیدرولیکی مذکور وارد شده‌است.

بحرانی‌ترین وضعیت برای تعیین پهنه سیلاب ناشی از روگذری، مربوط به تراز حداکثر در هنگام عبور دبی حداکثر سیلاب محتمل می‌باشد (PMF)، که در این حالت گستره وسیعی از اراضی پایین دست زیر آب رفته و مستغرق می‌شود.

مقطع طولی رودخانه به هنگام تراز حداکثر سیلاب و دو مورد از مقاطع عرضی آن در شکل‌های ۸ تا ۱۰ آمده‌است.



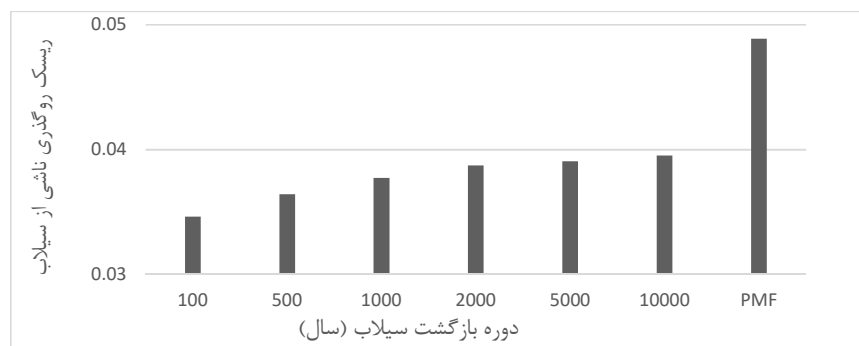
شکل ۸. مقطع طولی رودخانه تحت تاثیر حداکثر سیلاب محتمل (PMF)



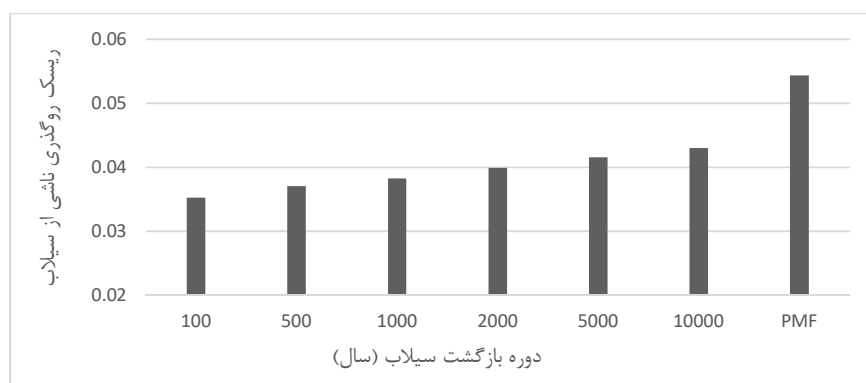
شکل ۹. مقطع عرضی رودخانه تحت تاثیر حداکثر سیلاب محتمل (PMF) در فاصله ۱۰/۴۴ کیلومتری پایین دست سد (محل پایگاه هوایی)

حداکثر مقدار ریسک روگذری برای حداکثر سیلاب محتمل (PMF) و باد با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله بوده و مقدار آن برابر ۰/۱۰۹۶۸۳ در حالت عدم قطعیت تغییرات ارتفاع اولیه آب مخزن سد و ۰/۱۲۲۹۳۱ برای حالت عدم قطعیت تغییرات ارتفاع اولیه آب مخزن سد و ارتفاع خود سد می باشد. همچنین نتایج نشان می دهند با در نظر گرفتن عدم قطعیت تغییرات ارتفاع سد افزون بر تغییرات تراز اولیه آب مخزن سد مقدار ریسک روگذری بطور متوسط در حدود ۸/۹ درصد افزایش می یابد. نتایج این محاسبات در نمودار شکلهای ۱۱ تا ۱۴ آمده است.

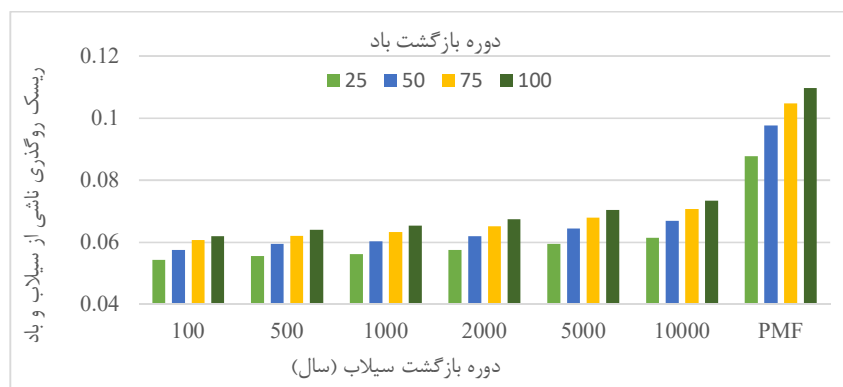
خود سد از ۸۶/۰۰ تا ۸۳/۸۲ متر با توزیع احتمالاتی یکنواخت در نظر گرفته شده است. تعداد شبیه سازی در روش MCS برای این حالتها برابر ۲۰۰۰۰۰ مرتبه بوده و با در نظر گرفتن این تغییرات، ریسک روگذری در حالت بدون تاثیر باد و همچنین در حالت تاثیر باد و سیلاب بطور همزمان محاسبه شده است. نتایج حاصل از محاسبات نشان میدهد در حالت بدون تاثیر باد، حداکثر مقدار ریسک روگذری برای حداکثر سیلاب محتمل (PMF) بوده و مقدار آن برابر ۰/۰۴۸۸۹۵ در حالت عدم قطعیت تغییرات ارتفاع اولیه آب مخزن سد و ۰/۰۵۴۳۷۲ برای حالت عدم قطعیت تغییرات ارتفاع اولیه آب مخزن سد و ارتفاع خود سد می باشد. همچنین برای حالت تاثیر توام باد و سیلاب،



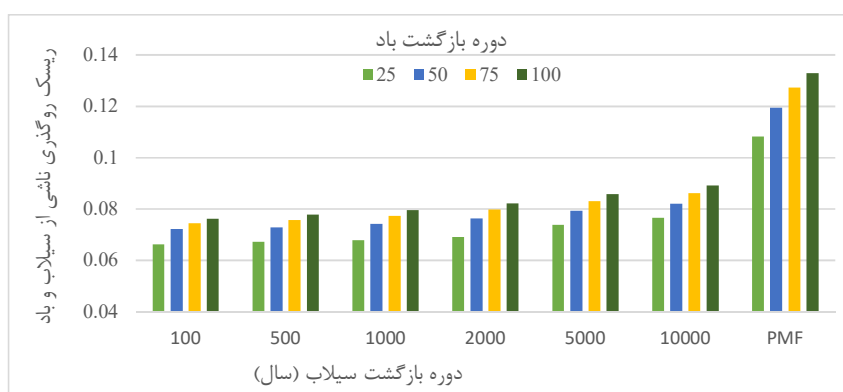
شکل ۱۱. تاثیر تغییرات دوره بازگشت سیلاب بر روی ریسک روگذری با در نظر گرفتن عدم قطعیت تراز اولیه آب



شکل ۱۲. تاثیر تغییرات دوره بازگشت سیلاب بر روی ریسک روگذری با در نظر گرفتن عدم قطعیت تراز اولیه آب و ارتفاع سد



شکل ۱۳. تاثیر تغییرات دوره بازگشت سیلاب و باد بر روی ریسک روگذری با در نظر گرفتن عدم قطعیت تراز اولیه آب



شکل ۱۴. تاثیر تغییرات دوره بازگشت سیلاب و باد بر روی ریسک روگذری با در نظر گرفتن عدم قطعیت تراز اولیه آب و ارتفاع سد

به منظور بررسی اثر عدم قطعیت سرعت باد بر میزان ریسک روگذری از سد، در مدل ساخته شده شبیه سازی به روش MCS با تعداد تکرار ۲۰۰۰۰۰ مرتبه صورت گرفته است. پارامترهای عدم قطعیت منظور شده علاوه بر دوره بازگشت سیلاب عبارتند از رقوم اولیه آب در مخزن سد، ارتفاع خود سد و عدم قطعیت سرعت باد. به منظور وارد نمودن اثر عدم قطعیت سرعت باد بر ریسک روگذری از سد در روش MCS، حداقل سرعت باد برابر $74/20 \text{ KM/H}$ برای باد با دوره بازگشت ۲ سال و حداکثر سرعت باد برابر $161/40 \text{ KM/H}$ برای باد با دوره بازگشت ۵۰۰ سال در نظر گرفته شده است. توزیع احتمالی مورد استفاده نیز توزیع نرمال با $M = 126/470$ و $\sigma = 26/180$ در نظر گرفته شده است که توسط نرم افزار EASY FIT با $Statistic = 0/11854$ و $P - Value = 0/98289$ به عنوان بهترین توزیع قابل انتخاب تشخیص داده شده است.

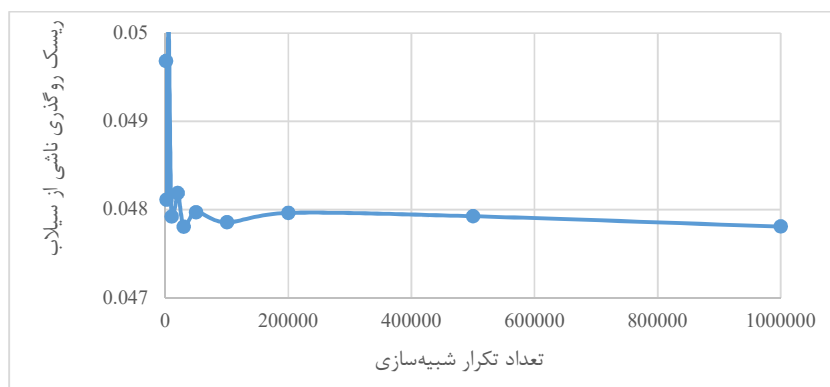
۲.۱. تاثیر تعداد شبیه سازی با روش MCS در مقدار

ریسک روگذری

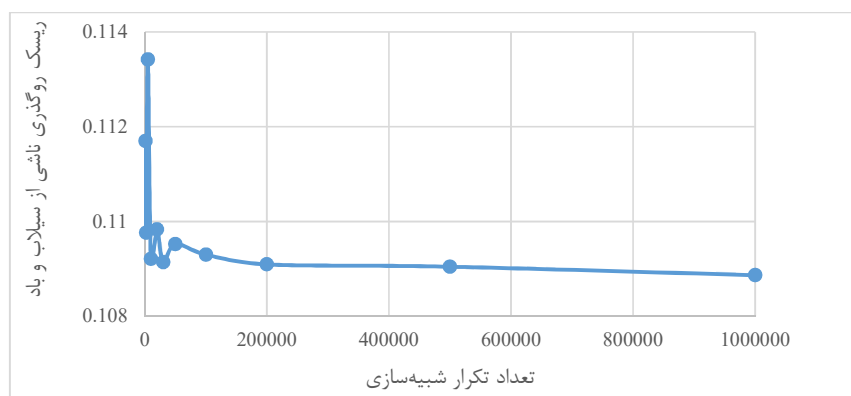
در این قسمت از تحقیق تاثیر تعداد تکرارهای شبیه سازی بر روی ریسک روگذری ناشی از سیلاب و همچنین ریسک روگذری ناشی از سیلاب و باد مورد بررسی قرار گرفته است. در این قسمت برای محاسبات ریسک روگذری از حداکثر سیلاب محتمل (PMF) و همچنین باد با دوره بازگشت ۱۰۰ سال استفاده شده است. نتایج حاصل از این محاسبات در شکل های ۵-۵ و ۶-۵ آمده است.

با توجه به نمودار شکل های ۱۵ و ۱۶ مشاهده می گردد که در هر دو حالت مقادیر ریسک روگذری محاسبه شده بعد از تعداد تکرار شبیه سازی ۲۰۰۰۰۰ مرتبه به مقدار تقریباً یکسانی همگرا می شوند.

۳.۱. تاثیر عدم قطعیت سرعت باد بر ریسک روگذری



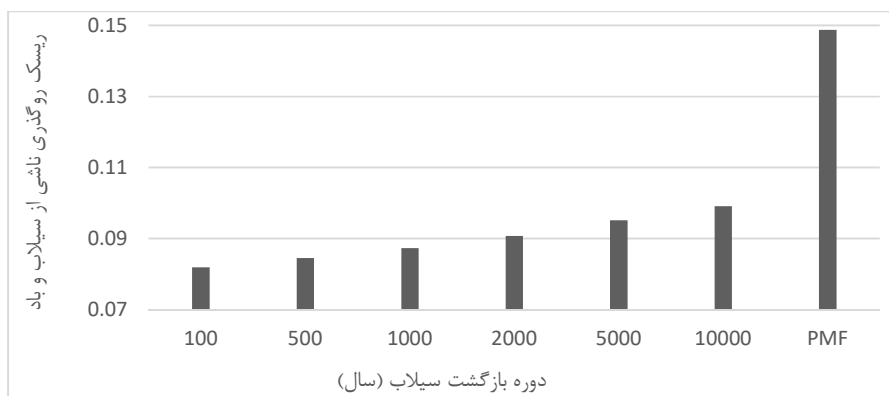
شکل ۱۵. تاثیر تعداد تکرار شبیه‌سازی بر روی ریسک روگذری ناشی از سیلاب



شکل ۱۶. تاثیر تعداد تکرار شبیه‌سازی بر روی ریسک روگذری ناشی از اثر همزمان سیلاب و باد

روگذری در این حالت در مقایسه با حالت مشابه و سرعت باد با دوره بازگشت ۱۰۰ سال به میزان ۳۸ درصد افزایش یافته است.

نتایج حاصل از شبیه‌سازی و محاسبه ریسک مطابق شکل ۱۷ نشان می‌دهد که حداکثر مقدار ریسک روگذری برای سیلاب PMF بوده و مقدار آن برابر ۰/۱۶۷۷۱۷ می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که مقدار ریسک



شکل ۱۷. تاثیر عدم قطعیت سرعت باد بر ریسک روگذری

پایین دست سد صدمات زیادی وارد نموده و موجب استغراق آنها گردیده که علاوه بر خسارت ناشی از سیلاب باعث انباشت رسوبات بجامانده از سیلاب در آنها خواهد شد. در جداول ۱ و ۲ میزان استغراق تاسیسات، ابنیه‌های مهم و همچنین روستاهای موجود در پایین دست سد آمده‌است.

۲. نتایج حاصل از تحلیل هیدرولیکی سیلاب ناشی از روگذری سد

نتایج حاصل از مدل‌سازی هیدرولیکی سیلاب عبوری از روی سد نشان می‌دهد که سیلاب به تاسیسات، ابنیه و اراضی

جدول ۱. تاسیسات و کارخانه‌های آسیب دیده در اثر گسترش سیلاب ناشی از روگذری

ردیف	مشخصات	درصد استغراق
۱	مجتمع صنعتی شمال غرب شرکت پروفیل	۱۰۰
۲	شرکت تولیدی آرد تبریز	۱۰۰
۳	کوی صنعتی تبریز	۱۰۰
۴	صنایع الکترونیک	۱۰۰
۵	لاستیک پارس	۱۰۰
۶	کارگاه‌های تراشکاری	۱۰۰
۷	شرکت تولید ره‌بتن	۱۰۰
۸	انبار جهاد مدرسه‌سازی	۱۰۰
۹	باغ گیاه‌شناسی وزارت جهاد کشاورزی	۱۰۰
۱۰	کارخانه شیر پاستوریزه پگاه تبریز	۱۰۰
۱۱	شرکت سهامی مور دام وزارت جهاد کشاورزی	۱۰۰
۱۲	مجتمع تعمیرگاهی و انبار سازمان پارکها	۱۰۰
۱۳	شهرک شهید بهشتی	۱۰۰
۱۴	مجتمع تعمیرگاهی و توقفگاه مرکزی شرکت واحد اتوبوسرانی	۸۰
۱۵	پایانه مسافربری شمالغرب تبریز	۷۵
۱۶	ورزشگاه و هیئت سوارکاری شهید باکری	۲۰
۱۷	تصفیه‌خانه	۳

جدول ۲: روستاهای آسیب دیده در اثر گسترش سیلاب ناشی از روگذری

ردیف	نام روستا	درصد استغراق
۱	مایان علیا	۱۰۰
۲	نوجه‌ده	۱۰۰
۳	آخوله	۱۰۰
۴	ساتللو	۱۰۰
۵	زین‌الحاجیلو	۱۰۰
۶	میر جانلو	۱۰۰
۷	علی‌آباد	۱۰۰
۸	خواجه دیزج	۹۵
۹	قشلاق	۸۰
۱۰	مایان علیا	۱۰

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، ریسک روگذری سد و نیار برای دوره های بازگشت مختلف سیلاب و باد با استفاده از مدل‌سازی مخزن سد به روش پویایی سیستم‌ها با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های تراز اولیه آب مخزن سد و ارتفاع خود سد و بکارگیری روش مونت کارلو مورد بررسی قرار گرفته‌است و مقدار ریسک روگذری در حالت تاثیر سیلاب و همچنین تاثیر توام سیلاب و باد مورد محاسبه قرار گرفته است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی ضمن تاکید بر میزان قابل توجه ریسک روگذری سد مذکور و لزوم اقدامات کنترلی در جهت مدیریت، کنترل و کاهش آن، نشان می‌دهد افزودن تاثیر باد به میزان قابل توجهی باعث افزایش مقدار ریسک روگذری نسبت به حالتی که تنها اثر سیلاب در نظر گرفته شده‌است، می‌گردد. علاوه بر این در نظر گرفتن تاثیر عدم

قطعیت ارتفاع خود سد باعث افزایش قابل توجه در میزان ریسک روگذری محاسبه شده نسبت به حالتی که صرفاً عدم قطعیت تراز اولیه سطح آب مخزن سد در نظر گرفته شده است، می‌گردد.

با اعمال عدم قطعیت سرعت وزش باد بر سطح مخزن سد میزان متوسط ریسک روگذری به میزان ۳۸ درصد نسبت به حالت مشابه و بدون در نظر گرفتن عدم قطعیت مذکور افزایش می‌یابد.

تحلیل سیلاب ناشی از روگذری در پایین‌دست سد نشان می‌دهد که تاسیسات و روستاهای متعددی در پایین‌دست سد دچار خسارت شده و به طور کامل مستغرق می‌گردند که این عامل لزوم اتخاذ تمهیدات لازم در خصوص کنترل میزان ریسک روگذری با استفاده از تدابیر مدیریتی از جمله کنترل سطح آب مخزن سد را می‌طلبد.

منابع

Ashofteh, P. S., Bozorg Haddad, O., Akbari-Alashti, H., & Marino, M.A. (2014). Determination of irrigation allocation policy under climate change by genetic programming. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 141(4), 1-12. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000912](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000912)

Chongxun, M., Fanggui, L., Mei, Y., & Guikai, S. (2008). Risk analysis for earth dam overtopping. *Journal of Water Science and Engineering*, 1(2), 76-87. <http://dx.doi.org/10.3882/j.issn.1674-2370.2008.02.008>

Faghih, H., Kholghi, M., Kochekezadeh, S. (2009). Evaluating and Comparing Some of the Quantitative Risk Analysis Methods to Estimate Design Flood of Dam Spillway (Case Study: Pishin Dam Spillway). *Journal of Crop Production and Processing*, 12 (46), 463-474. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.22518517.1387.12.4.6.5.9>

Ghashghaie, M., Marofi, S., Marofi, H. (2014). Using system dynamics method to determine the effect of water demand priorities on downstream

flow. *Water Resource Management*, 28, 5055-5072. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-014-0791-z>

Goodarzi, E., Mirzaei, M., Ziaei, M. (2012). Evaluation of dam overtopping risk based on univariate and bivariate flood frequency analyses. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 39(4), 374-387. <https://doi.org/10.1139/l2012-012>

Goodarzi, E., Shui, L. T., Ziaei, M. (2012). Dam overtopping risk using probabilistic concepts – case study: The Meijaran dam, Iran. *Ain Shams Engineering Journal*, 4(2), 185-197. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asej.2012.09.001>

Goodarzi, E., Shui, L. T., Ziaei, M. (2014). Risk and Uncertainty Analysis for Dam Overtopping- Case Study: the Doroudzan Dam, Iran. *Journal of Hydro-Environment Research*, 8(1), 50-61. <http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.jher.2013.02.001>

Hughes, S. A. (2004). Estimation of Wave Run-up on Smooth, Impermeable Slopes Using the Wave Momentum Flux Parameter. *Journal of Coastal Engineering*, 51(11), 1085-1104. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coastaleng.2004.07.02>

6

Juan, C., Ping, A. Z., Ru, A., Feilin, Z., & Bin, X. (2019). Risk analysis for real-time flood control operation of multi-reservoir systems using a dynamic Bayesian network. *Environmental Modeling & Software*, 111, 409-420. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.10.007>

Kuo, J. T., Yen, B. C., Hsu, Y. C., & Lin, H. F. (2007). Risk analysis for dam overtopping Feitsui reservoir as a case study. *Journal of Hydraulic Engineering*, 133(8), 955-963. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2007\)133:8\(955\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2007)133:8(955))

Kwon, H., Moon, Y. (2005). Improvement of Overtopping Risk Evaluations Using Probabilistic Concepts for Existing Dams. *Journal of Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 20(4), 223-237. <http://dx.doi.org/10.1007/s00477-005-0017-2>

Motevalli, M., Zadbar, A., Elyasi, E., & Jalaal, M. (2015). Using Monte-Carlo approach for analysis of quantitative and qualitative operation of reservoirs system with regard to the inflow uncertainty. *Journal of African Earth Sciences*, 105, 1-16. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2015.02.002>

Simonovic, S. P. (2009). *Managing water resources, methods and tools for a system approach*. UNESCO Publishing, United Kingdom, 637pp.

USBR. (1992). *US Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Freeboard Criteria and Guidelines for Computing Freeboard Allowances for Storage Dams*, ACER Technical Memorandum, No. 2, Denver, Colorado.

Wu, S. j., Yang, J. C., Tung, Y. K. (2011). Risk analysis for flood-control structure under consideration of uncertainties in design flood. *Natural Hazards*, 58, 117-140. <http://dx.doi.org/10.1007/s11069-010-9653-z>

Yang, C. C., Chang, L. C., Ho C. C. (2008). Application of system dynamics with impact analysis to solve the problem of water shortages in Taiwan. *Water Resource Management*, 22, 1561-1577. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-008-9243-y>

Yang, J., Lei, K., Khu, S., & Meng, W. (2015).

Assessment of water resources carrying capacity for sustainable development based on a system dynamics model, *Water Resource Management*, 29, 885-899. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-014-0849-y>

Ebrahimzadeh, A., Zarghami, M., Nourani, V. (2019). Evaluation of earth dam overtopping risk by system dynamics, Monte-Carlo simulation and Latin Hypercube Sampling methods (case study: Hajilarchay Dam, Iran). *Journal of Iran Water Resources Research*, 15(1), 14-31. (In Persian). <https://dorl.net/dor/20.1001.1.17352347.1398.15.1.2.9>

Ebrahimzadeh, A., Zarghami, M., Nourani, V. (2020). Overtopping Risk Management by System Dynamics and Monte-Carlo Simulations, Hajilarchay Dam of Iran. *Journal of Water and Irrigation Management*, 9(2), 231-250. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jwim.2019.290802.719>

Fotookian, M. R., Safari, N., Zarghami, M. (2017). Using System Dynamics Modelling to Develop the Operation Policy for Yamchi Reservoir (Iran) by Applying Optimum Cropping Pattern. *Journal of Iran Water Resources Research*, 13(3), 1-16. (In Persian).

Ghias, M. (2014). An introduction to the Monte Carlo simulation methods. *Journal of Polymerization*, 4(1), 67-77. (In Persian). <https://dx.doi.org/10.22063/basparesh.2014.1062>

Ghods Niroo Consulting Engineers. (2005). *Vanyar Storage Dam Project Report Volumes 1 to 9*. East Azerbaijan Regional Water Management Company, Iran. (In Persian).

Khakbaz, B., Tajrishi, M., Abrishamchi, A. (2001). Risk and reliability analysis of dam overtopping due to wind. *Proceedings of the 3rd Iranian Hydraulic Conference*, 6-8 November 2001, Tehran University, Iran, 445-453. (In Persian).

Mahmoudian-Shoushtari, M., Malekmohammadi, B., Banihashemi, M. (2016). Dam Safety Risk Assessment (Case Study: Flood Risk for Golestan Dam). *Amirkabir Journal of Civil and Environmental Engineering*, 48(4), 395-405. (In Persian). <https://doi.org/10.22060/ceej.2015.505>

Mollahosseini, M., Mousavi, S. J., Salavitarbar,

A. (2012). Evaluation the effect of storage capacity creation to reduce flood damage using optimization-simulation system dynamics based model. Proceedings of the 9th International Congress on Civil Engineering, 8-10 May 2012, Isfahan University of Technology, Iran, 237-245. (In Persian).

Sharafati, A., Zahabiyoun, B. (2014). Dam overtopping risk analysis considering hydrologic and hydraulic uncertainties. Journal of Hydraulics, 8(1), 1-18. (In Persian). <https://doi.org/10.30482/jhyd.2014.7472>