نشریه علمی سد و نیروگاه برق آبی ایران
سال دهم/ ویژه‌نامه مدیریت سیلاب/ تابستان ۱۴۰۲

Journal of Iranian Dam and Hydroelectric Power Plant
10th Year/ Special Issue on Flood Management/ September 2023

ارزیابی مالی تأثیر پیش‌بینی کوتاه‌مدت آبدهی (هشدار سیلاب) در بهره‌برداری نیروگاه‌های آبی (مطالعه موردی: سد و نیروگاه کارون ۴)

حمیدرضا اسلامی[۱]

سید جابر موسوی کانی[۲]

معصومه عیوضی*[۳]

کامیاب اسلامی[۴]

چکیده:

سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیل در زمره روش‌های غیرسازه‌ای مدیریت سیل به حساب می‌آیند که با پیش‌بینی زودهنگام و هشدارهای به موقع، علاوه بر کاهش خسارت‌های زمین‌های تحت خطر سیل، باعث افزایش میزان تولید برق در نیروگاه‌های آبی می‌شوند. هدف از پژوهش حاضر، بررسی کارایی سیستم هشدار سیل بر روی مدیریت نیروگاه آبی سد کارون ۴، طی سال‌های آبی ۹۱-۱۳۹۰ تا ۱۴۰۱-۱۴۰۰ است. در این پژوهش، جریان رودخانه‌ی منتهی به سد کارون ۴، با استفاده از مدل شبیه‌سازی NAM توسعه داده شده و پارامترهای بارش، دما و تبخیر، مدل‌سازی شد. سپس برای پیش‌بینی آبدهی روزهای آتی، از نقشه‌های پیش‌بینی مدل COLA استفاده شد. در نهایت، از سامانه‌ی هشدار سیل برای مدیریت نیروگاه آبی سد کارون ۴ استفاده شد. نتایج تحقیق، نشان داد که با اتکا به سامانه‌ی هشدار سیل، می‌توان حتی در فصول سیلابی، حجم مخزن را برای بالابردن راندمان و تولید برق، در تراز بالا نگه داشته و در صورت اعلام هشدار در صورت لزوم، حجم مخزن را برای تله‌اندازی سیل به ترازهای پایین‌تر کاهش داد (پویایی قواعد بهره‌برداری). همچنین با توجه به کارکرد دقیق پیش‌بینی‌های شش روزه در سال‌های کم آب، مانند سال آبی ۹۵-۱۳۹۴، آبگیری زود هنگام در دستور کار قرار گرفت، به‌گونه‌ای که آبگیری در اسفند انجام شد. آبگیری زودهنگام در این سال آبی باعث ذخیره ۴۰۰ میلیون مترمکعب آب شد. ذخیره این حجم آب باعث شد که در فصول تولید برق، مشکلی مواجه نشود.

کلمات کلیدی: سامانه‌ی هشدار سیل، نیروگاه آبی، بازار برق، مدل بارش- رواناب، COLA

[۱] مدیر عامل شرکت پایشگر تدبیر افزار (دانش بنیان)و فوق لیسانس منابع آب، دانشکده مهندسی آب، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران.

[۲] مدیر امور برنامه ریزی تولید و بازار آب و برق – شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران

[۳]* نویسنده مسئول، کارشناس بخش منابع‌آب شرکت پایشگر تدبیر افزار (دانش بنیان) و فوق لیسانس منابع آب، دانشکده مهندسی آب، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران پست الکترونیک: masoomeh.eivazi@gmail.com

[۴] کارشناس بخش نرم افزار شرکت پایشگر تدبیر افزار (دانش بنیان)

علمی-پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۲۳

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2024-12-22]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.2.1]

مقدمه

امروزه بدون شک، رشد صنعتی و اقتصادی و نیز ارتقای کیفیت زندگی در هر کشور، در گرو صنعت برق است و بی‌دلیل نیست که پژوهش‌گران زیادی بر روی روش‌های نوین تولید برق، پژوهش می‌کنند. در بیشتر کشورهای جهان، یکی از روش‌های مهم و ایمن تولید برق، استفاده از سدها است. ایران هم از این فناوری بی‌بهره نیست (نجاری و ارجمند[۱]، ۱۳۹۵).

کمبود آب، سبب شده است سدسازی به عنوان شیوه‌ای مهندسی برای تنظیم جریان آب توسعه یابد. مهمترین هدف سازندگان سدها، مهار سیلاب‌ها و ذخیره آب‌های سطحی، برای تأمین آب شرب، کشاورزی و صنعت و در کنار آن، تولید برق است (هیمن و همکاران، ۱۳۹۲). نیروگاه‌های برق‌آبی یکی از منابع مهم تولید برق هستند و در حال حاضر حدود ۲۰ درصد برق جهان توسط انرژی آبی تامین می‌شود و حدود ۶۰ کشور جهان بیش از ۵۰ درصد نیازهای برق خود را با استفاده از نیروی آب تامین می‌کنند (جنگاور[۲] و همکاران ، ۲۰۱۸).

برق‌آبی که از آب جاری یا در حال سقوط به عنوان ورودی اصلی تولید برق استفاده می‌کند، منبع تجدیدپذیر برای تولید برق در سطح جهان است. اگرچه برق‌آبی به عنوان یک منبع انرژی تجدید پذیر ارزان، بادوام، انعطاف پذیر و کم آلاینده، جذاب است ولی به تغییرات هیدرولوژیکی در نتیجه تغییر در شرایط آب و هوایی به ویژه بارندگی و دما حساس است. برای ارزیابی و مدیریت وضعیت یک سیستم برق‌آبی در روزهای آتی نیاز است که از آورد ورودی به سدها در روزهای آتی مطلع بود (نگوین[۳] و همکاران، ۲۰۱۸).

پیش‌بینی آبدهی، دانش مهمی برای مدیریت زمان واقعی حوضه‌های رودخانه و مخازن ذخیره‌سازی دارد (آندراده[۴] و همکاران، ۲۰۰۲؛ بارجی[۵]، ۲۰۰۲؛ جاسبر[۶] و همکاران، ۲۰۰۲). از کاربردهای معمول پیش‌بینی سیل در حوضه‌های رودخانه‌های بزرگ می‌توان به برنامه‌ریزی در زمان اضطرار (کوسیس[۷] و همکاران، ۲۰۰۳؛ هومک[۸] و همکاران، ۱۹۹۸) و پیش‌بینی جریان ورودی برای بهینه‌سازی مخازن اشاره کرد (تورکوت[۹] و همکاران، ۲۰۰۴).

جردن[۱۰] و همکاران، ۲۰۰۸ به پیش‌بینی سیل برای مدیریت سیل و بهینه‌سازی بهره‌برداری از نیروگاه‌های آبی در حوضه رودخانه رون پرداختند. آن‌ها بر اساس یک پیش‌بینی قطعی آب و هوا و مدل مفهومی نیمه توزیعی هیدرولوژیکی، آبدهی شبکه رودخانه‌ها را پیش‌بینی کردند. نتایج آن‌ها نشان از پیش‌بینی دبی با کیفیت بالا بوده است. چالش دیگری که در این مطالعه ارائه شده است، بهینه‌سازی بهره‌برداری از نیروگاه‌های آبی موجود در هنگام وقوع سیل است. پیش‌بینی و مدیریت سیل نشان داد که تأثیر قابل توجهی بر کاهش پیک سیل داشته است، به‌طوری‌که کاهش مشاهده شده در دبی اوج حدود ۱۰ درصد در خروجی حوضه آبریز برای سیل سال‌های ۱۹۹۳ و ۲۰۰۰ بود و حداکثر کاهش می‌توانست با بهره‌برداری بهینه از نیروگاه‌های آبی در همان سیل به ۲۵ درصد برسد. آنار[۱۱] و همکاران، ۲۰۱۹ پیش‌بینی جریان آبدهی ورودی به مخازن را روشی مناسب برای کاهش خطر احتمالی سیل و استفاده بهینه از نیروی برق‌آبی دانستند. آن‌ها در تحقیق خود، با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی[۱۲] آبدهی ورودی به سد را برای تله‌اندازی سیل پیش‌بینی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که پیش‌بینی ورودی به سد، علاوه بر کاهش خطر ناشی از سیل، استفاده بهینه از آب خروجی در تولید برق خواهد داشت. اسلامی[۱۳] و همکاران، ۱۴۰۱ برای پیش‌بینی جریان در ۵ حوضه کارون ۴، سیمره، رودبار، سردشت و آزاد طی هفت سال از نقشه‌های هواشناسی دو مدل پیش‌بینی بارش COLA و WRF برای پیش‌بینی بارش استفاده کردند که در نهایت خروجی آن در مدل شبیه‌سازی NAM توسعه داده شده منجر به پیش‌بینی جریان و سیلاب در روزهای آینده حوضه شد. نتایج حاصل از گزارش‌ها، بیانگر قرارگیری ۷۰ درصد پیش‌بینی‌ها در بازه سیلاب مشاهداتی است. کاساگنول[۱۴] و

[1] Najari and Arjmand
[2] Jangavar
[3] Nguyen
[4] Andrade
[5] Bürgi
[6] Jasper
[7] Koussis
[8] Homagk
[9] Turcotte
[10] Jordan
[11] Anuar
[12] Artificial Neural Network (ANN)
[13] Eslami
[14] Cassagnole

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2024-12-22]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.2.1]

همکاران، ۲۰۲۰ به بررسی پیش‌بینی‌های ۷ روزه جریان با کیفیت‌های مختلف بر مدیریت مخازن برق‌آبی و سود اقتصادی حاصل از یک مدل بهینه‌سازی برنامه‌ریزی خطی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد در صورتی‌که آبدهی بیش از مقادیر مشاهده‌ای پیش‌بینی شود، ضرر اقتصادی بیشتری را نسبت به مواقعی که آبدهی کمتر از مقادیر مشاهده‌ای پیش‌بینی شود دارد. آرسنالت و کته[1]، ۲۰۱۹ به بررسی تأثیر پیش‌بینی فصلی بر روی مدیریت برق‌آبی در کبک پرداختند. آنها از سری‌های زمانی بارش و دما برای ایجاد سناریوهای احتمالی اقلیمی آینده و ایجاد یک مدل هیدرولوژیکی استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که سیستم‌هایی با قیود بیشتر به دلیل کاهش درجه آزادی برای بهینه‌سازی زمان‌بندی رهاسازی/ذخیره جریان بهتر بوده است. اسلامی[2] و همکاران، ۱۴۰۰ به ارزیابی کارایی دو مدل پیش‌بینی بارش WRF و COLA در هشدار سیل در حوضه آبریز کارون ۴ پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که در کل مدل COLA نسبت به مدل WRF نتایج بهتری را در مقایسه با مقادیر مشاهداتی ارائه کرده است.

سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیل، در زمره روش‌های غیرسازه‌ای مدیریت سیل هستند که در ترکیب با روش‌های سازه‌ای می‌توانند کارائی مدیریت سیل را افزایش دهند. این سامانه‌ها با پیش‌بینی‌ها، هشدارها و مدیریت مخازنی که انجام می‌دهند، منافع گسترده‌ای را در کاهش خسارات اراضی تحت خطر سیل همراه دارند. همچنین در کنار این منافع، بخش دیگری از آثار مثبت این سامانه‌ها افزایش میزان تولید برق در نیروگاه‌های آبی است که با این سامانه مدیریتی مخزن، خود را هماهنگ می‌کنند. هدف از انجام مقاله حاضر بررسی و برآورد منافع اقتصادی و درآمدی استفاده از سامانه هشدار سیل در نیروگاه آبی کارون ۴ می‌باشد.

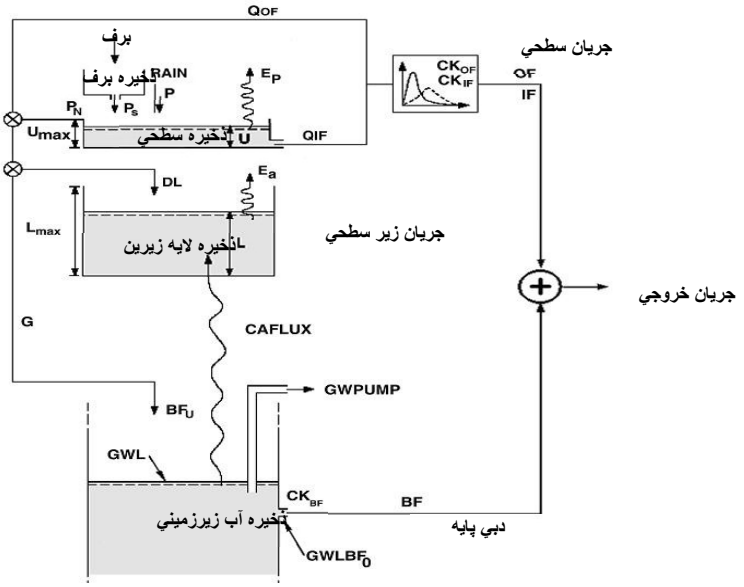
مواد و روش‌ها

مدل بارش- رواناب NAM توسعه داده شده

مدل بارش- رواناب NAM را می‌توان به عنوان مدلی قطعی، یکپارچه و مفهومی با تعداد داده مورد نیاز متوسط در نظر گرفت (سجادی بمی[3]، ۲۰۲۰). ساختار مدل NAM اقتباسی از فاز خشکی چرخه هیدرولوژیکی است. NAM مؤلفه‌های مختلف فرآیند بارش- رواناب را با محاسبه مداوم محتوای آب در چهار مخزن مرتبط نشان می‌دهد، این مخازن نشان دهنده عناصر فیزیکی مختلف حوضه هستند. این چهار مخزن عبارتند از: ذخیره‌ی برف، ذخیره‌ی سطحی، ذخیره‌ی ناحیه‌ی ریشه و ذخیره‌ی آب زیرزمینی. مدل، رواناب حوضه را به شکل مفهومی به مؤلفه‌های جریان سطحی، جریان زیرپوسته‌ای و جریان پایه تقسیم می‌کند. همچنین مدول برف مدل بارش- رواناب NAM، قادر است با تقسیم حوضه آبخیز به مناطق کوچک‌تر، حجم ناشی از ذوب برف را در محل خروجی حوضه نیز مدل‌سازی نماید. این مدل توزیعی ارتفاعی برف، ذوب برف را در مناطق مرتفع با استفاده از رویکرد درجه- روز محاسبه می‌کند. در شکل (۱)، ساختار مدل با اضافه کردن مدول برف نشان داده شده است. داده‌های ورودی مدل NAM شامل ۴ گروه داده: ۱- داده‌های هواشناسی، ۲- داده‌های جریان، ۳- پارامترهای مدل و ۴- شرایط مدل می‌باشند. داده‌های هواشناسی اصلی مورد نیاز مدل شامل بارندگی، تبخیر و تعرق پتانسیل است، که با توجه به‌اضافه شدن مدول برف به مدل، دما هم به آن اضافه می‌شود (DHI,2004). در قسمت‌های روندیابی مخزن خطی جریان زیرسطحی و جریان سطحی مدل بارش- رواناب NAM استفاده شده در این تحقیق، تغییراتی داده شد. همچنین جهت برآورد بارش و دمای متوسط حوضه از تغییرات بارش و دما نسبت به تغییرات ارتفاع استفاده شد. لذا با توجه به تغییرات داده شده در مدل NAM، در این تحقیق از عبارت مدل بارش- رواناب NAM توسعه داده شده استفاده شده است.

[1] Arsenault and Côté
[2] Eslami
[3] SajadiBami

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2024-12-22]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.2.1]



شکل (۱): مدل NAM و ارتباط بین لایه‌های مختلف آن (DHI,2004).

مدل COLA

سامانه پیش‌بینی جهانی (COLA)، مدل پیش‌بینی آب و هوایی است که در دهه ۱۹۹۰ توسط مرکز ملی پیش‌بینی محیط‌زیست (NCEP) تهیه شده است. داده‌های متغیر جوی و زمین- خاک از جمله درجه حرارت، باد، بارش، رطوبت خاک و... از طریق این مجموعه داده در دسترس قرار دارد. کل جهان توسط مدل COLA تحت رزولوشن پایه افقی ۱۸ مایل (۲۸ کیلومتر) بین نقاط شبکه پوشیده شده است که در پیش‌بینی‌های عملیاتی تا ۱۶ روز آینده استفاده می‌گردد. مدل COLA، مدلی ترکیبی است که از چهار مدل جداگانه تشکیل شده است (مدل جوی، مدل اقیانوسی، زمین‌خاک و مدل یخ‌دریا) که با یکدیگر همکاری می‌کنند تا تصویر دقیق شرایط آب و هوایی را ارائه دهند. برای بهبود عملکرد و دقت پیش‌بینی مدل COLA، تغییرات به طور منظم به آن اعمال می‌شود (کریتمن[1] و همکاران، ۱۹۹۷).

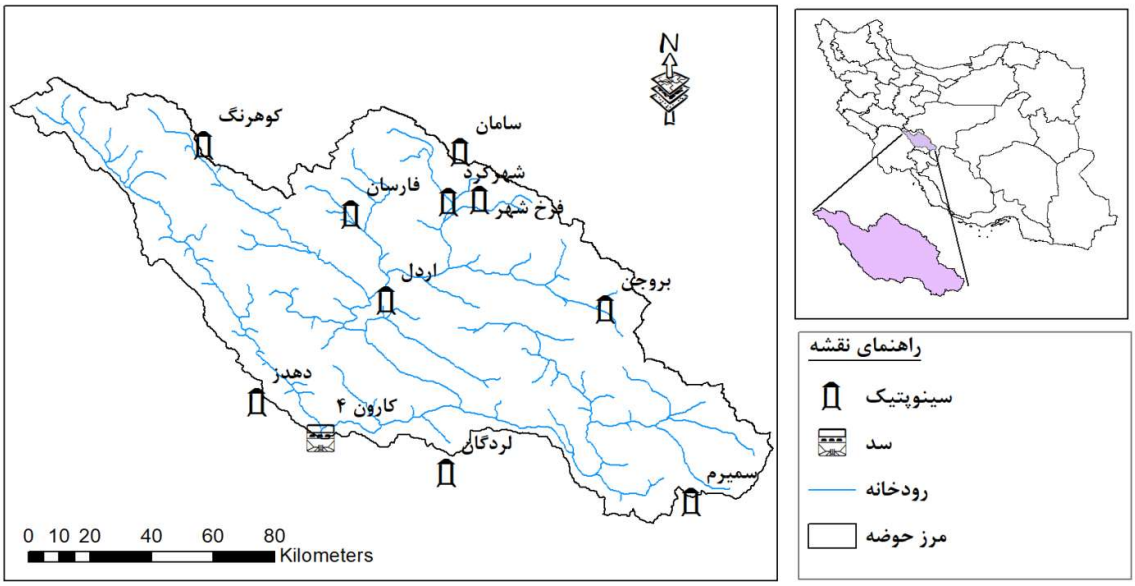
منطقه مورد مطالعه

سد و نیروگاه کارون ۴ در استان چهارمحال و بختیاری در فاصله ۱۸۰ کیلومتری جنوب غربی شهرکرد و چهار کیلومتری پایین دست محل تلاقی رودخانه‌های ارمند و بازفت واقع شده است. حوضه آبریز رودخانه کارون، در محدوده سد کارون ۴ در قسمت جنوب غربی ایران در محدوده بین عرض شمالی ′۲۰-°۳۱ تا ′۴۰-°۳۲ و طول شرقی ′۳۳-°۴۹ تا ′۴۵-°۵۱ در سلسله جبال زاگرس واقع شده است. حوضه آبریز مذکور تقریبا کوهستانی بوده، ارتفاع متوسط آن ۲۳۵۴ متر است. مساحت حوضه آبریز رودخانه کارون در محدوده سد کارون حدود ۱۲۸۱۳ کیلومترمربع بوده و رشته کوه‌های مرتفع سلسله جبال زاگرس شرایط مناسبی را برای بارش در حوضه آبریز این رودخانه (به‌خصوص نواحی غربی و شمال غربی) به‌وجود آورده است، ارتفاع متوسط بارندگی سالانه حوضه حدود۶۸۰ میلیمتر برآورد می‌شود. متوسط آورد سالانه رودخانه ۴۹۲۷.۴ میلیون مترمکعب بوده و حداکثر سیلاب محتمل حوضه در حدود ۱۰۲۰۰ مترمکعب بر ثانیه برآورد شده است. شکل (۲)، موقعیت حوضه آبریز منتهی به سد کارون ۴ را نشان می‌دهد.

[1] Kirtman

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2024-12-22]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.2.1]



شکل (۲): موقعیت حوضه آبریز منتهی به سد کارون ۴

روش تحقیق

در این پژوهش، از مدل توسعه داده شده NAM برای شبیه‌سازی بارش- رواناب در گام زمانی روزانه استفاده گردید. دوره‌ی واسنجی از اول مهر ۱۳۸۵ تا آخر شهریور ۱۳۸۹ و دوره‌ی صحت‌سنجی از اول مهر ۱۳۸۹ تا آخر شهریور ۱۳۹۱ درنظر گرفته شد. داده‌ی روزانه بارش و دما، ایستگاه سینوپتیک کوهرنگ و داده روزانه تبخیر، ایستگاه تبخیرسنجی دزک آباد مورد استفاده قرار گرفت. برای شبیه‌سازی ذوب برف براساس نقشه تغییرات ارتفاعی، حوضه آبریز به رده‌های ارتفاعی تقسیم شد. در مدل توسعه داده شده‌ی NAM برای واسنجی مدل بارش- رواناب از الگوریتم SCE[1] استفاده شده‌است. مدل استفاده شده در این پژوهش، ترکیبی از الگوریتم ارائه شده توسط دوآن[2] و همکاران، ۱۹۹۲ همراه با روش‌های ارائه شده توسط لیونگ[3] و همکاران، ۲۰۰۴ است (اسلامی[4] و همکاران ۲۰۰۵).

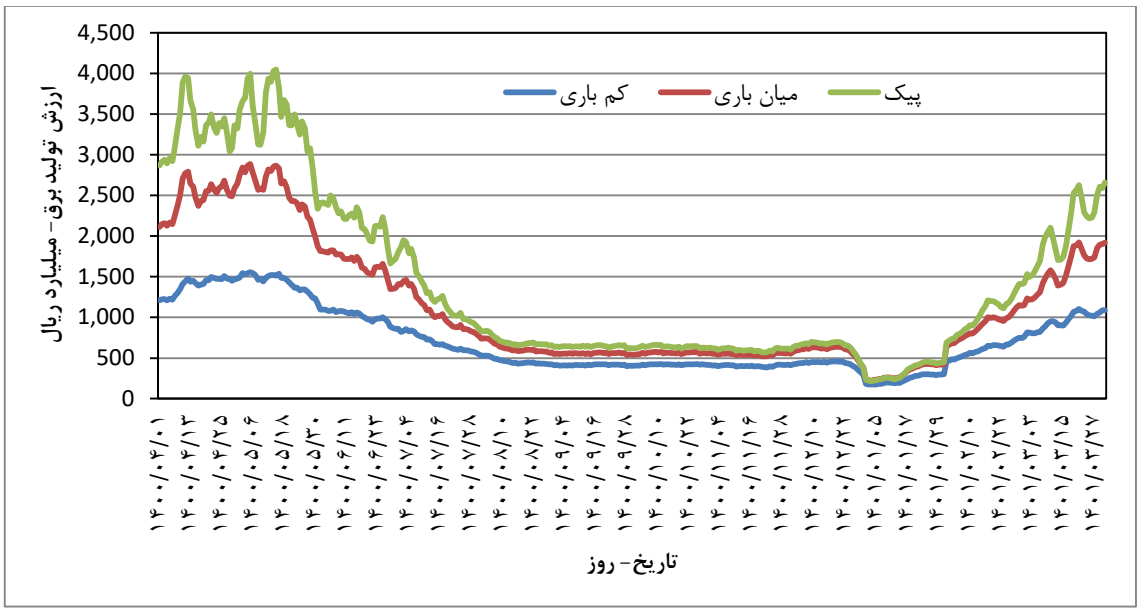
بارش و دما، از پارامترهای اصلی ورودی در مدل‌سازی بارش- رواناب NAM هستند. برای همین منظور، برای پیش‌بینی آبدهی در زمان واقعی، نیاز است که بارش و دما برای روزهای آتی پیش‌بینی و در مدل قرار داده شود. با توجه به کارایی و برتری پیش‌بینی مدل COLA در منطقه کارون ۴ (اسلامی[5] و همکاران،۱۴۰۰)، در این تحقیق از نقشه‌های مدل COLA که بارش و دمای ۶ روز آتی را پیش‌بینی می‌کند استفاده شد. در زمان ارائه گزارش پیش‌بینی سیلاب با توجه به میزان بارش و دمای پیش‌بینی شده دو مقدار پیش‌بینی معمول بارش و پیش‌بینی بالاتر از معمول بارش (حالت بدبینانه) و همچنین برای دما پیش‌بینی معمول دما و پیش‌بینی بالاتر از معمول دما (حالت بدبینانه) در نظر گرفته شد. حالت بدبینانه، در واقع میزان خطای مدل‌های پیش‌بینی COLA را کاهش داده تا در صورت افزایش مقادیر بارش تأثیر آن در سیلاب مشخص شده باشد و از طرفی افزایش دما باعث ذوب حجم بیش‌تری از برف شده و جریان رودخانه حوضه افزایش می‌یابد. در نهایت از ترکیب بارش و دما برای ورودی مدل NAM توسعه داده شده استفاده گردید که چهار ستون دبی به عنوان خروجی گزارش شده که در نهایت مجموع حجم سیلاب محاسبه می‌شود (اسلامی[6] و همکاران، ۱۴۰۱).

بعد از پیش‌بینی آبدهی ورودی در طوفان محتمل در روزهای آتی برای مدیریت مخزن و تولید برق نیاز است که تعداد

[1] Shuffled Complex Evolution (SCE)
[2] Duan
[3] Nguyen
[4] Eslami
[5] Eslami
[6] Eslami

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2024-12-22]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.2.1]

ساعت تولید برق در طی ۲۴ ساعت شبانه‌روز تعیین شود. برای این منظور برای بازه یازده ساله (سال‌های آبی ۹۱-۱۳۹۰ لغایت ۱۴۰۱-۱۴۰۰) از ارزش ریالی تولید برق ساعتی سال ۱۴۰۰و تلفیق میانگین سه سال ضریب ارزش تولید برق ساعتی (CPF) در سال‌های ۱۳۹۸، ۱۳۹۹ و۱۴۰۰ استفاده شد (www.igmc.ir). همچنین برای کل دوره، از تبدیل ضریب ارزش تولید برق روزانه به ساعتی حاصل شده از سه سال منتخب به ساعتی استفاده شده است. بدین منظور ساعات تولید برق بر اساس ساعات کم باری، میان باری و پیک بار دسته بندی شد که ۶ ساعت اول را کم باری، ۱۲ ساعت دوم را میان باری و ۶ ساعت آخر تولید در دسته پیک بار قرار داده شد. برای محاسبه‌ی ارزش تولید برق سال ۱۴۰۰ براساس ضریب ارزش تولید برق ساعتی سال ۱۴۰۰، ضریب ارزش تولید برق هر دسته (کم باری، میان باری و پیک بار) محاسبه و در میانگین ارزش تولید برق سال ۱۴۰۰ ضرب شد. بعد از محاسبه ارزش تولید در هر دسته میانگین ارزش تولید برق سال ۱۴۰۰ بر میانگین ارزش تولید برق واقعی سال ۱۴۰۰ تقسیم شد. در نهایت ضریب محاسبه شده در اعداد اولیه ضریب ارزش تولید برق هر دسته ضرب و ارزش هر دسته برای هر روز به صورت جدا محاسبه شد. شکل (۳)، ارزش تولید برق در ساعات پیک، میان باری و کم باری نیروگاه کارون ۴ طی ۱ تیرماه سال ۱۴۰۰ لغایت ۳۱ خرداد ۱۴۰۱ را نشان می‌دهد. مطابق با این شکل، ارزش ریالی برق در ساعات پیک و میان‌باری نسبت به کم باری بیشتر بوده و تولید برق در ساعات پیک و میان‌باری ارزش ریالی بیشتری را نسبت به کم باری خواهد داشت. لذا در این تحقیق نیروگاه ابتدا برق ساعات پیک را تأمین خواهد کرد. در صورت وجود مازاد، برق ساعات میان باری و در نهایت اگر حجم مخزن به گونه ای باشد که بتواند بیش از ساعات پیک و ساعات میان‌باری برق تولید کند در ساعات کم‌باری هم برق تولید خواهد کرد. برای محاسبه ارزش ریالی تولید برق، میزان برق تولید شده در ضریب ارزش ریالی تولید برق مربوطه ضرب شده و میزان ارزش ریالی تعیین شد.



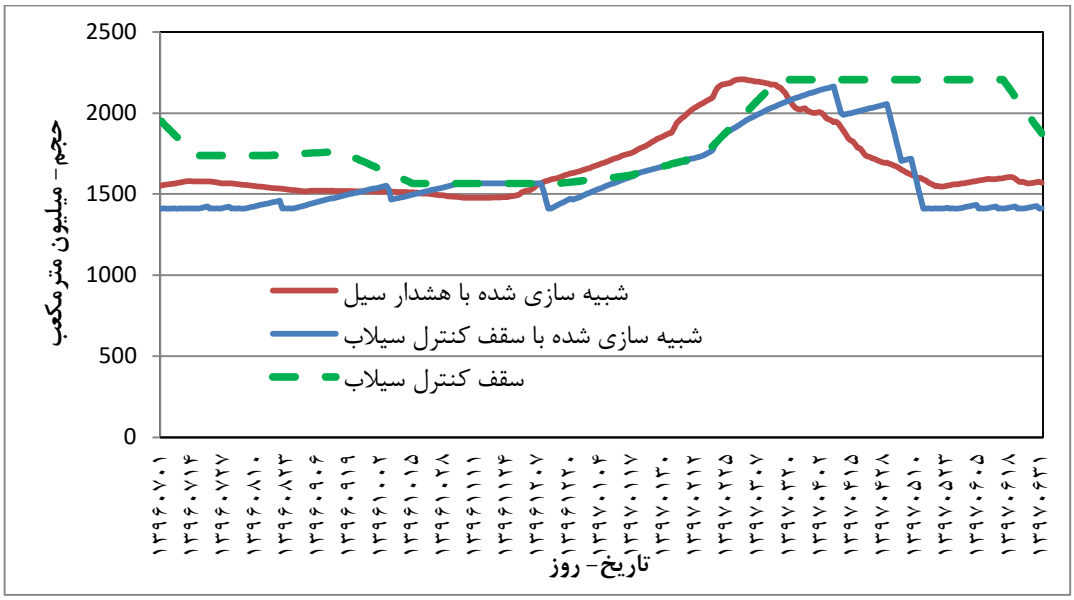
شکل (۳): ارزش تولید برق در ساعات پیک، میان باری و کم باری نیروگاه کارون ۴

نتایج و بحث

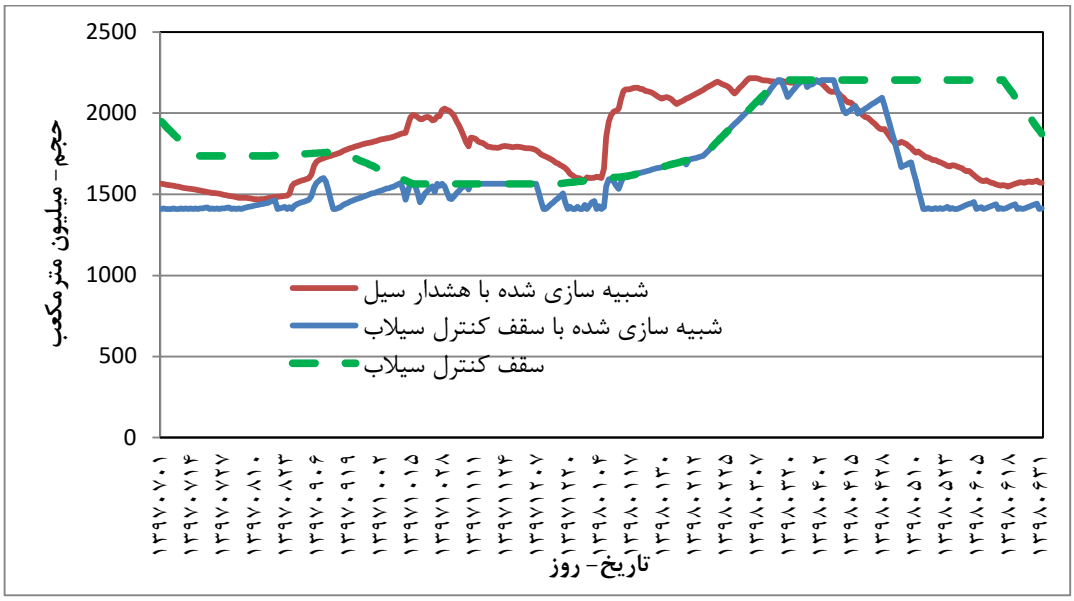
در زمانی که از سامانه هشدار سیل برای مدیریت نیروگاه استفاده نشود از سقف کنترل سیلاب سد برای مدیریت و تنظیم حجم مخزن استفاده می‌شود. شکل (۴)، حجم مخزن کارون ۴ را در دو حالت استفاده از سامانه‌ی هشدار سیل و استفاده از سقف کنترل سیلاب به همراه سقف کنترل سیلاب در سال آبی ۹۷-۱۳۹۶ (خشک‌ترین سال در دوره مورد بررسی) و شکل ۵، حجم مخزن کارون ۴ را در دو حالت

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2024-12-22]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.2.1]

استفاده از سامانه‌ی هشدار سیل و استفاده از سقف کنترل سیلاب به همراه سقف کنترل سیلاب در سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ (ترسال‌ترین در دوره مورد بررسی) را نشان می‌دهد. مطابق با این دو شکل، حجم رخ داده شده با هشدار سیل در اکثر اوقات بیشتر از حجم شبیه‌سازی شده بدون هشدار سیل بوده است. حجم متوسط رخ داده شده با هشدار سیل در سال آبی ۹۷-۱۳۹۶ (سال خشک) و سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ (سال تر) به ترتیب ۱۷۸۵ و ۱۸۲۸میلیون متر مکعب بوده است. این در حالی است که حجم شبیه‌سازی شده بدون هشدار سیل در این دو سال به ترتیب ۱۶۱۲ و ۱۶۱۹ میلیون متر مکعب بوده است.



شکل (۴): مقایسه حجم مخزن رخ داده شده با سامانه‌ی هشدار سیل با حجم شبیه‌سازی شده بدون سامانه هشدار سیل در سال آبی خشک ۹۷-۱۳۹۶



شکل (۵): مقایسه حجم مخزن رخ داده شده با سامانه هشدار سیل با حجم شبیه‌سازی شده بدون سامانه هشدار سیل در سال آبی تر ۹۸-۱۳۹۷

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2024-12-22]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.2.1]

جدول (۱)، تولید و ارزش برق شبیه‌سازی شده با سامانه هشدار سیل و تولید و ارزش برق شبیه‌سازی شده با سقف کنترل سیلاب طی سال‌های آبی ۹۱-۱۳۹۰ لغایت ۰۱-۱۴۰۰ در نیروگاه برق آبی سد کارون ۴ را نشان می‌دهد. مطابق با این جدول در تمام سال‌های آبی مورد مطالعه، برق شبیه‌سازی شده با سامانه هشدار سیل نسبت به برق شبیه‌سازی شده با سقف کنترل سیلاب بیشتر بوده است. به طوری که برق شبیه‌سازی شده با سامانه هشدار سیل در طی ۱۱ سال به طور متوسط ۱۵۵۵ گیگاوات ساعت بوده است. این در حالی است که برق شبیه‌سازی شده با سقف کنترل سیلاب طی این ۱۱ سال، به طور متوسط ۱۲۹۳ گیگاوات برآورد شده است که اختلافی حدود ۲۶۱ گیگاوات ساعت در سال بوده است. همچنین مطابق با این جدول ارزش برق شبیه‌سازی شده با سامانه هشدار سیل به طور متوسط ۲۲۷۰ میلیارد ریال و ارزش برق شبیه‌سازی شده با سقف کنترل سیلاب ۱۸۳۲ میلیارد ریال بوده است که اختلافی حدود ۴۳۸ میلیارد ریال در هر سال بوده است. به عبارتی، ارزش برق شبیه‌سازی شده با سقف کنترل سیلاب ۱۹ درصد کمتر از سامانه هشدار بوده است. این بررسی نشان می‌دهد که سامانه هشدار سیل در نیروگاه کارون ۴، در افزایش تولید برق و ارزش ریالی برق کارایی موثری را طی این ۱۱ سال داشته است.

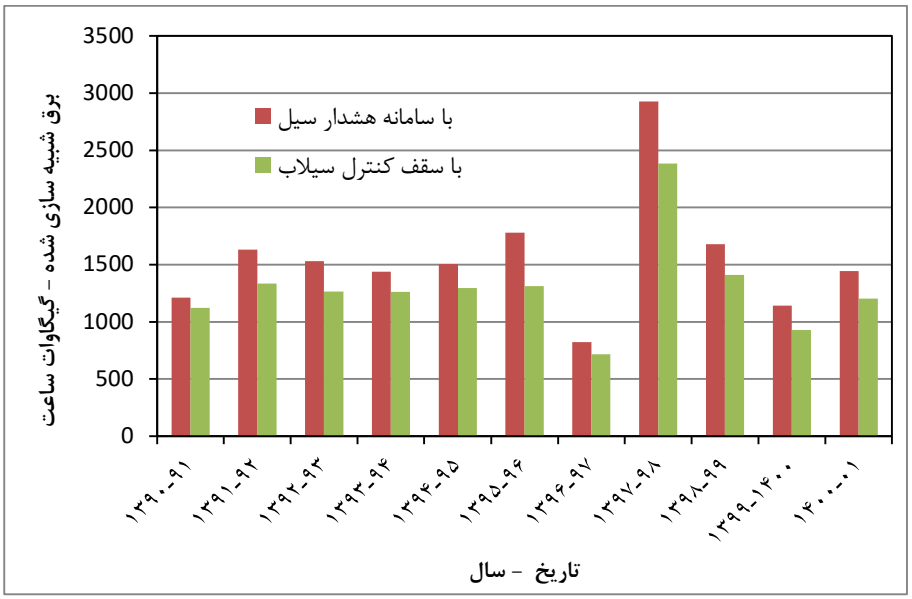
جدول (۱): تولید و ارزش برق شبیه‌سازی شده با سامانه‌ی هشدار سیل و سقف کنترل سیلاب در نیروگاه برق‌آبی سد کارون ۴ در بازه‌ی زمانی سالانه

سال آبی	ورودی (میلیون متر مکعب)	برق شبیه‌سازی شده با (گیگاوات ساعت)		ارزش برق شبیه‌سازی شده با (میلیارد ریال)	
		سامانه هشدار سیل	سقف کنترل سیلاب	سامانه هشدار سیل	سقف کنترل سیلاب
۱۳۹۰-۹۱	۲۸۴۲	۱۲۱۰	۱۱۲۱	۱۷۹۹	۱۷۳۱
۱۳۹۱-۹۲	۳۵۳۹	۱۶۳۱	۱۳۳۴	۲۳۰۷	۱۹۰۰
۱۳۹۲-۹۳	۳۳۸۳	۱۵۳۲	۱۲۶۶	۲۲۵۵	۱۸۲۶
۱۳۹۳-۹۴	۳۳۶۳	۱۴۳۶	۱۲۶۰	۲۱۸۳	۱۸۲۵
۱۳۹۴-۹۵	۳۴۴۳	۱۵۰۶	۱۲۹۳	۲۰۶۰	۱۸۹۷
۱۳۹۵-۹۶	۳۵۰۹	۱۷۷۷	۱۳۱۳	۲۵۷۳	۱۸۰۹
۱۳۹۶-۹۷	**۱۹۰۲**	**۸۲۰**	**۷۱۵**	**۱۵۸۰**	**۱۲۹۴**
۱۳۹۷-۹۸	**۶۳۵۱**	**۲۹۲۵**	**۲۳۸۳**	**۳۸۶۱**	**۲۹۱۸**
۱۳۹۸-۹۹	۳۷۶۰	۱۶۷۸	۱۴۱۰	۲۳۶۰	۲۰۲۹
۱۳۹۹-۱۴۰۰	۲۵۱۳	۱۱۴۱	۹۲۸	۱۵۹۰	۱۲۹۹
۱۴۰۰-۰۱	۳۲۳۷	۱۴۴۴	۱۲۰۳	۲۳۹۸	۱۶۲۴
متوسط	**۳۴۴۰**	**۱۵۵۵**	**۱۲۹۳**	**۲۲۷۰**	**۱۸۳۲**

شکل (۶)، تولید برق شبیه‌سازی شده با سامانه‌ی هشدار سیل و سقف کنترل سیلاب طی سال‌های آبی ۹۱-۱۳۹۰ لغایت ۰۱-۱۴۰۰ در نیروگاه برق آبی سد کارون ۴ را نشان می‌دهد. مطابق با این شکل، بیشترین و کمترین تولید به ترتیب در سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۷-۱۳۹۶ بوده است. همچنین مطابق با شکل، در تمام سال‌های مورد بررسی، تولید برق شبیه‌سازی شده با سامانه‌ی هشدار سیل نسبت به تولید برق شبیه‌سازی شده با سقف کنترل سیلاب بیشتر بوده است به طوری‌که در سال‌های آبی ۹۸- ۱۳۹۷ و ۹۶-۱۳۹۵ اختلاف بیشتر بوده و در سال‌های آبی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۱-۱۳۹۰ کمتر بوده است.

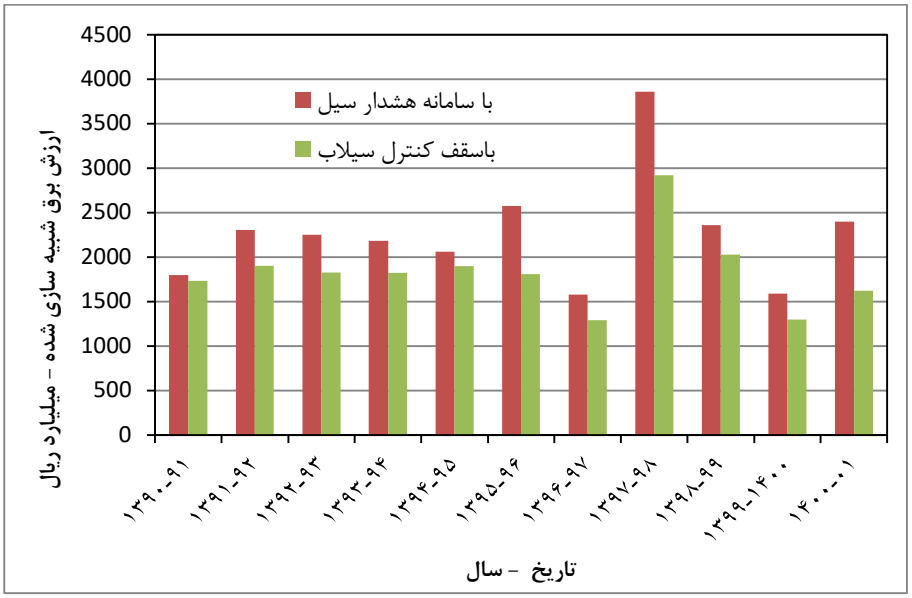
[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2024-12-22]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.2.1]



شکل (۶): تولید برق شبیه‌سازی شده با سامانه‌ی هشدار سیل و سقف کنترل سیلاب در نیروگاه برق‌آبی سد کارون۴

شکل (۷)، ارزش تولید برق شبیه‌سازی شده با سامانه هشدار سیل و سقف کنترل سیلاب طی سال‌های آبی ۹۱-۱۳۹۰ لغایت ۰۱-۱۴۰۰ در نیروگاه برق آبی سد کارون ۴ را نشان می‌دهد. مطابق با این شکل بیشترین و کمترین ارزش تولید به ترتیب در سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۷-۱۳۹۶ بوده است. همچنین مطابق با شکل، در تمام سال‌های مورد بررسی ارزش برق شبیه‌سازی شده با سامانه هشدار سیل نسبت به تولید برق شبیه‌سازی شده با سقف کنترل سیلاب بیشتر بوده است به طوری‌که در سال‌های آبی ۹۸- ۱۳۹۷ و ۹۶-۱۳۹۵ اختلاف بیشتر بوده و در سال‌های آبی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۱-۱۳۹۰ کمتر بوده است.



شکل (۷): ارزش برق با سامانه‌ی هشدار سیل و سقف کنترل سیلاب در نیروگاه برق‌آبی سد کارون ۴

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2024-12-22]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.2.1]

جدول (۲)، تولید و ارزش برق شبیه‌سازی شده با سامانه‌ی هشدار سیل و سقف کنترل سیلاب به صورت ماهانه طی سال‌های آبی ۹۱-۱۳۹۰ لغایت ۰۱-۱۴۰۰ در نیروگاه برق آبی سد کارون ۴ را نشان می‌دهد. مطابق با این جدول، بیشترین ورودی سد در طی ۱۱ سال مورد بررسی، به ترتیب، در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و اسفند و کمترین میزان ورودی سد، به ترتیب، در ماه‌های مهر، شهریور و مرداد بوده است. همچنین مطابق با این شکل، بیشترین و کمترین تولید با سقف کنترل سیلاب به ترتیب، در ماه‌های فروردین و خرداد بوده است. در حالی‌که بیشترین و کمترین تولید با سامانه‌ی هشدار، به ترتیب، در ماه‌های اردیبهشت و مهر بوده است. تولید با سامانه‌ی هشدار سیل متناسب با ورودی بوده است.

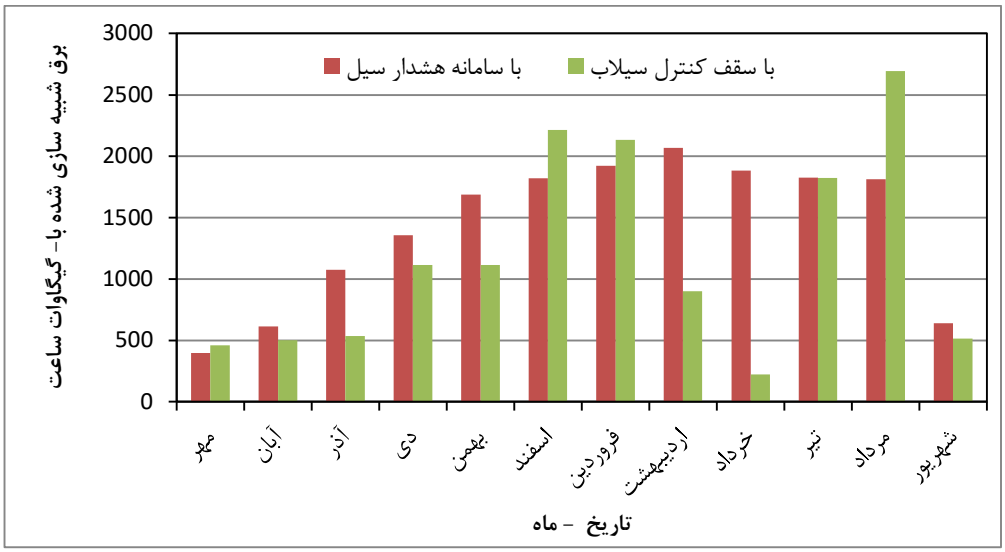
جدول (۲): تولید و ارزش برق شبیه‌سازی شده با سامانه‌ی هشدار سیل و سقف کنترل سیلاب در نیروگاه برق آبی سد کارون ۴ در بازه‌ی زمانی ماهانه

سال آبی	ورودی (میلیون متر مکعب)	برق شبیه‌سازی شده با (گیگاوات ساعت)		ارزش برق شبیه‌سازی شده با (میلیارد ریال)	
		سامانه هشدار سیل	سقف کنترل سیلاب	سامانه‌ی هشدار سیل	سقف کنترل سیلاب
مهر	۱۱۶۶	۳۹۶	۴۶۰	۴۸۴	۶۶۴
آبان	۱۶۵۸	۶۱۴	۵۰۳	۴۰۶	۳۸۳
آذر	۲۶۰۴	۱۰۷۶	۵۳۷	۶۶۲	۳۲۰
دی	۳۰۴۴	۱۳۵۶	۱۱۱۵	۸۷۴	۶۸۱
بهمن	۳۲۰۵	۱۶۸۸	۱۱۱۳	۱۱۲۴	۷۶۰
اسفند	۵۱۳۴	۱۸۱۹	۲۲۱۴	۱۳۸۲	۱۴۵۵
فروردین	۷۹۴۲	۱۹۲۲	۲۱۳۴	۷۵۵	۹۴۳
اردیبهشت	۵۲۳۳	۲۰۶۷	۹۰۱	۲۳۳۲	۹۶۶
خرداد	۳۰۵۱	۱۸۸۵	۲۲۲	۳۸۷۶	۴۸۹
تیر	۱۹۵۶	۱۸۲۵	۱۸۲۲	۵۷۶۷	۴۷۶۴
مرداد	۱۵۷۲	۱۸۱۲	۲۶۹۳	۵۹۴۷	۷۴۴۰
شهریور	۱۲۷۵	۶۴۰	۵۱۴	۱۳۵۹	۱۲۸۷

شکل (۸)، تولید برق شبیه‌سازی شده با سامانه‌ی هشدار سیل و سقف کنترل سیلاب در بازه‌ی زمانی ماهانه طی سال‌های آبی ۹۱-۱۳۹۰ لغایت ۰۱-۱۴۰۰ در نیروگاه برق آبی سد کارون ۴ را نشان می‌دهد. مطابق با شکل، به استثنای ماه‌های مهر، اسفند، فروردین و مرداد میزان تولید برق با سامانه هشدار سیل نسبت به سقف کنترل سیلاب بیشتر بوده است.

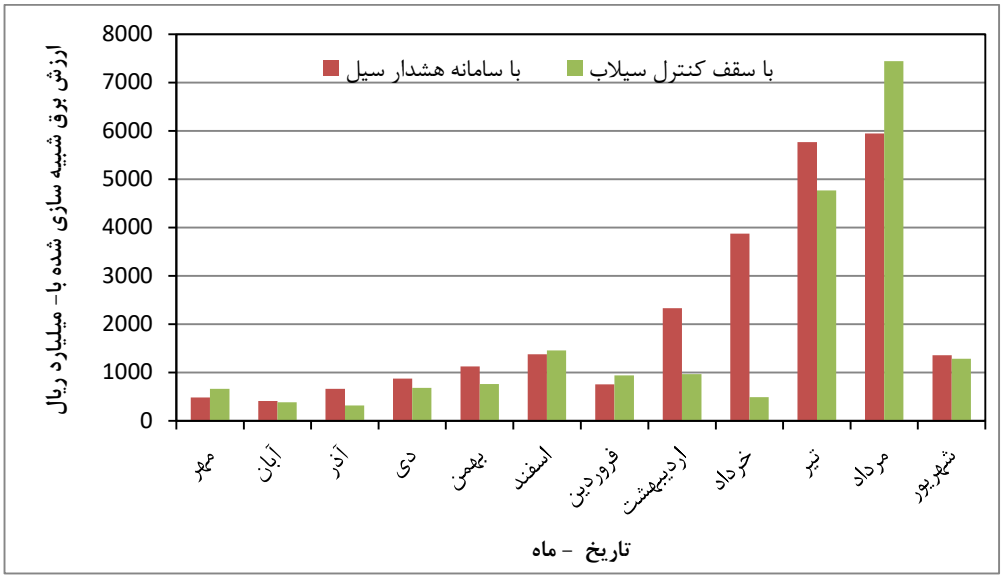
[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2024-12-22]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.2.1]



شکل (۸): تولید برق شبیه‌سازی شده با سامانه هشدار سیل و سقف کنترل سیلاب در نیروگاه برق آبی سد کارون۴ در بازه زمانی ماهانه

شکل (۹)، ارزش برق شبیه‌سازی شده با سامانه‌ی هشدار سیل و سقف کنترل سیلاب در بازه‌ی زمانی ماهانه طی سال‌های آبی ۹۱-۱۳۹۰ لغایت ۰۱-۱۴۰۰ در نیروگاه برق آبی سد کارون ۴ را نشان می‌دهد. مطابق با شکل، به استثنای ماه‌های مهر، اسفند، فروردین و مرداد، میزان ارزش برق شبیه‌سازی شده با سامانه‌ی هشدار سیل نسبت به سقف کنترل سیلاب بیشتر بوده است. لازم به ذکر است که در هر دو روش سرریز صفر بوده است.



شکل (۹): ارزش برق شبیه‌سازی شده با سامانه‌ی هشدار سیل و سقف کنترل سیلاب در نیروگاه برق‌آبی سد کارون۴ در بازه زمانی ماهانه

نتیجه گیری

با بررسی دو روش، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از مدل هشدار سیل می‌تواند در ذخیره آب سدها و تولید به موقع و بهینه و افزایش ارزش ریالی تولید برق نتایج بهتری نسبت به روش سقف کنترل سیلاب در اختیار مدیران قرار دهد. با اتکا به سامانه‌ی هشدار سیل، می‌توان حتی در فصول سیلابی، حجم مخزن را برای بالابردن راندمان و تولید برق، در تراز بالا نگه داشته و در صورت اعلام هشدار در صورت لزوم، حجم

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2024-12-22]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.2.1]

مخزن را برای تله‌اندازی سیل به ترازهای پایین‌تر کاهش داد. با توجه به سامانه‌ی هشدار سیل، می‌توان ۶ روز قبل از شروع طوفان، حجم ورودی به مخزن سد را به صورت تخمینی، محاسبه و پیش‌بینی نمود تا در صورت نیاز به طور منظم مقداری از حجم سد را تخلیه نموده و با توجه به ساعات پیک بار، تولید برق انجام داد. در روش سامانه‌ی هشدار سیل، علاوه بر تخلیه‌ی سد، بر اساس گزارش پیش‌بینی حجم ورودی به سد در طوفان جدید می‌توان تولید برق را با توجه به زمان پیک تولید نموده و حجم سد نیز در طوفان بعدی افزایش یابد. همچنین با توجه به کارکرد دقیق پیش‌بینی‌های شش روزه در سال‌های کم آب مانند سال آبی ۱۴۰۰-۱۳۹۹، آبگیری زود هنگام در دستور کار قرار گرفت و نتایج نشان داد که تولید برق با مدل هشدار سیل در این سال ۳۰ درصد افزایش نسبت به روش سقف کنترل سیلاب دارد.

استفاده از سامانه هشدار سیل برای مدیریت نیروگاه آبی سد کارون ۴ منافع اقتصادی و درآمدهای مالی بیش‌تری را در پی داشته است. نتایج تحقیق نشان داد که در سال‌های ترسالی که ورودی آب به سد افزایش داشته میزان درآمد حاصل از تولید برق نیروگاه در بازه مورد بررسی حداقل ۱۸ درصد بهبود و به طور متوسط ۲۸ درصد ارزش ریالی بیشتری نسبت به حالت سقف کنترل سیلاب ایجاد کرده است.

منابع

- Andrade-Leal, R. N., Bachhiesel, M., Drabek, U., Gutknecht, D., Haiden, T., Holzmann, H., Hebenstreit, K., Kirnbauer, R., Nachtnebel, H. P., & Precht, J. (2002). "Hydrologische Vorhersagemodelle im operationellen Betrieb der Wasserkraftwirtschaft", ÖsterreicheWasser- und Abfallwirtschaft, 9-10.
- Anuar, N. N., Bashir Khan, R., Pasupuleti, J., & Faiz Ramli, A. (2019). "Flood Risk Prediction for a Hydropower System using Artificial Neural Network", International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE), 8,1-6.
- Arsenault, R., & Côté, P. (2019). "Analysis of the effects of biases in ensemble streamflow prediction (ESP) forecasts on electricity production in hydropower reservoir management", Hydrol. Earth Syst. Sci., 23, 2735–2750, https://doi.org/10.5194/hess-23-2735-2019, 2019.
- Bürgi, T. (2002). "Wasserstands- und Abflussvorhersagen für den Rhein", Wasser Energie Luft – Eau Energie Air, 7/8.
- Cassagnole, M., Ramos, M.H., Zalachori, I, Thirel, G., Garcon, R., Gailhard, J., & Ouillon, T. (2020). "Impact of the Quality of Hydrological Forecasts on the Management and Revenue of Hydroelectric Reservoirs- a Conceptual Approach", Hydrology and Earth System Scienced, 1-36.
- DHI S. (2004), "MIKE 11 User & Reference Manual", Danish Hydraulic Institute, Denmark.
- Duan, Q., Sorooshian, S., & Vijan, G. (1992). "Effective and efficient global optimization for conceptual rainfall-runoff models", Water Resources Reserch, 28(4),1015-1031.
- Eslami, H.R., & Qaderi, K. (2005). "Combin catchments flood forecasting using shuffled complex evolution (SCE) method". In: Proc. Of International conference on innovation, advances and implementation of flood forecasting technology, Tromsø, Norway.
- Eslami, H.R., Anbari, M. J., Jaberzade, M., & Eslami. K. (2022). "Evaluating the effectiveness of rainfall forecasting in flood warning", 8th comprehensive conference on flood management and engineering, October 27-29. (In Persian)
- Eslami, H.R., Jamali, S., Ayoubikia, R., & Eslami. K. (2023). "Evaluating the performance of rainfall forecasting models in estimating discharge and flood volume with the developed NAM model (area of study: West basin)", Journal of New approaches in Water Engineering and Enviroment. (In Persian)
- Heyman, N., Kikha, A. A., Sabohi Saboni, M. (2013). "Fuzzy hierarchical design to determine the priority of water allocation of Mahabad Dam". Water and Soil Journal, 22(4): 159-147. (In Persian)
- Homagk, P., & Ludwig, K. (1998). "Operationeller Einsatz von Flussgebietsmodellen bei der Hochwasser-Vorhersage-Zentrale Baden-Würtemberg", Wasserwirtschaft, 88(4), 160-167.
- Jangavar H, Noorollahi Y, Emami Meybodi A. (2018). "Economic and Environmental Analysis of the Small ydropower Plants Development. Ecohydrology", 4(4): 1255-1268. (In Persion)
- Jasper, K., Gurtz, J., & Lang, H. (2002). "Advanced flood forecasting in Alpine watersheds by coupling meteorological observations and forecasts with a distributed hydrological model", Journal of Hydrology, 267, 40-52
- Jordan, F., Hemandez, J. G., Boillat, J., & Schleiss, A. (2008). "Flood Forecast and Flood Management Model Optimization of the

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2024-12-22]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.2.1]

Operation of Storage Power Plants for Flood Routing". Conference Proceeding, vol. 1

- Kirtman, B. P., Shukla, J., Huang, B., Zhu., Z & Schneider,. E. K. (1997). "Multiseasonal predictions with a coupled tropical ocean global atmosphere system". Mon. Wea. Rev., 125, 789-808.
- Koussis, A. D., Buzzi, A. & Malguzzi, P. (2003). "Flood Forecasts for Urban Basin with Integrated Hydro-Meteorological Model", Journal of Hydrologic Engineering, 8(1), 1-11.
- Liong. S. Y., & Muttil, N. (2004). "Shuffled Complex Evolution Coupled with Experimental Design Technique", National University of Singapore, Singapore 119260.
- Najari, V., & Arjmand, M. (2015). "Review of 32 Iranian dams and hydroelectric power plants installed on them in 2013", Dam and Hydropower Scientific Research Journal, 3rd year, 9th issue. (In Persian)
- Nguyen-Tien , V., Robert. J.R., Eric. A. 2018. Hydropower generation, flood control and dam cascades: Anational Assessment for Vietnam. Journal of Hydrology, Vol. 560,pp. 109-126
- SajadiBami, Y. Porhemmat, J. Sedghi, H. and JalalKamali, N. 2020. Comparison of MIKE NAM and AWBM models performance in simulation of daily runoff in mountainous regions, Journal of Soil and Water Resources Protection, 10(3):1-14.(In Persian)
- Turcotte, R., Lacombe, P., Dimnik, C., & Villeneuve, J. P. (2004). "Distributed hydrological forecast for the management of public dams in Quebec", Canadian Journal of Civil Engineering, 31(2), 308-320.

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2024-12-22]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.2.1]

نشریه علمی سد و نیروگاه برق آبی ایران
سال دهم/ ویژه‌نامه مدیریت سیلاب/ تابستان ۱۴۰۲

Journal of Iranian Dam and Hydroelectric Power Plant
10th Year/ Special Issue on Flood Management/ September 2023

Financial evaluation of the use of short-term flood forecasting in the operation of electric power plants (case study: Karun Dam 4)

H.R.Eslami[1]
S.J.Mosavi kani [2]
M.Eivazi[3]
K.Eslami[4]

Abstract

Flood forecasting and warning systems are among the non-structural methods of flood management, which, with early forecasting and timely warnings, in addition to reducing the damage of lands under the risk of flooding, increase the amount of electricity production in hydropower plants. The purpose of this research is to investigate the effectiveness of the flood warning system on the management of the Karun 4 dam hydropower plant during the water years of 2010-2016 to 2016-2018. In this research, the flow of the river leading to the Karun 4 Dam was developed using the NAM simulation model and precipitation, temperature and evaporation parameters were modeled. Then, COLA model prediction maps were used to predict the rainfall in the coming days. Finally, the flood warning system was used to manage the Karun 4 dam hydropower plant. The results of the research showed that by relying on the flood warning system, even in flood seasons, the volume of the tank can be kept at a high level to increase efficiency and electricity production, and in case of warning, if necessary, the volume of the tank can be reduced to lower levels to trap the flood. (Dynamics of exploitation rules). Also, due to the accurate functioning of six-day forecasts in low water years such as the water year 2015-2016, early water extraction was put on the agenda so that water extraction was done in March. Early water withdrawal in this water year saved 400 million cubic meters of water. The storage of this volume of water made it possible to face no problems during the electricity generation seasons.

Keywords: Flood Warning System, Hydroelectric Power Plant, Rain-Runoff, COLA

[1] Managing Director of Paishgar Tadbir Azar Company (Danesh Basian) and Master of Water Resources, Faculty of Water Engineering, University of Agriculture and Natural Resources, Gorgan, Iran.
[2] Director of production planning and water and electricity market, Iran Water and Power Resources Development Company
[3] Corresponding author, expert in the water resources department of Paishgar Tadbir Azar company (Danesh Banyan) and a master's degree in water resources, Faculty of Water Engineering, University of Agriculture and Natural Resources, Gorgan, Iran masoomeh.eivazi@gmail.com
[4] Software expert – Payeshgar Tadbir Afzar Company (Knowledge Base)

Received: 2023/02/25 Accepted: 2023/05/13

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2024-12-22]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.2.1]