نشریه علمی سد و نیروگاه برق آبی ایران
سال دهم/ شماره سی و سوم/ بهار ۱۴۰۲

Journal of Iranian Dam and Hydroelectric Power Plant
10th Year/ No. 33/ June 2023

ارزیابی اقتصادی و مالی پیامدهای پیش آگاهی آبدهی در طرح‌های سد و نیروگاه‌های آبی (مورد مطالعه: سد و نیروگاه‌های کارون ۴ و رودبار لرستان)

حمیدرضا اسلامی[۱]
سعید جمالی [۲]
رضا ایوبی‌کیا*[۳]
کامیاب اسلامی[۴]

چکیده

افزایش تقاضای انرژی، بهبود مدیریت بهره‌برداری از منابع و انرژی را گریز ناپذیر کرده است. هدف از این مقاله، مقایسه میزان تولید برق نیروگاه‌های آبی سدهای کارون ۴ و رودبار، در بازه زمانی سال ۹۸-۱۳۹۷ در دو حالت با پیش پیش‌بینی و هشدار سیلاب و بدون توجه به هشدار سیلاب و در نهایت، برآورد منافع اقتصادی و درآمدهای ناشی از استفاده سامانه‌ی پیش‌بینی است. سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیل در زمره روش‌های غیرسازه‌ای مدیریت سیل به حساب می‌آیند که در ترکیب با روش‌های سازه‌ای می‌توانند کارائی مدیریت سیل را افزایش دهند. این سامانه با پیش‌بینی زودهنگام و هشدارهای به موقع از طریق برنامه‌ریزی و مدیریت بهره‌برداری مخزن سدها در کاهش خسارات اراضی تحت خطر سیل اهمیت دارد. همچنین از آثار مثبت این سامانه‌ها، افزایش میزان تولید برق در نیروگاه‌های آبی است که با این سامانه مدیریتی مخزن، خود را هماهنگ می‌کنند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که مقدار تولید برق در نیروگاه‌های سد کارون ۴ و رودبار در حالت فعالیت هشدار سیل با افزایش رهاسازی از توربین نیروگاه‌ها پیش از رخداد سیلاب و جلوگیری از سرریز به ترتیب ۳/۹ و ۴/۸ درصد بیش‌تر از حالت بدون هشدار سیل در طول بازه سالانه مورد نظر است.

واژه‌های کلیدی

هشدار سیل، پیش آگاهی آبدهی، نیروگاه برقابی، کارون ۴، رودبار لرستان.

[۱] مدیر عامل، شرکت پایشگر تدبیر افزار (دانش بنیان).
[۲] استادیار دانشکده مهندسی عمران و منابع زمین، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی.
[۳*] کارشناس بخش منابع‌آب، شرکت پایشگر تدبیر افزار (دانش بنیان)، pta_data@yahoo.com.
[۴] کارشناس بخش نرم افزار، شرکت پایشگر تدبیر افزار (دانش بنیان).

علمی-پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۸

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.0.0.4.5]

مقدمه

در عصر حاضر، انتظار می‌رود تقاضای جهانی انرژی روز به روز افزایش یابد (ون رویجون[1] و همکاران، ۲۰۱۹). پدیده‌های اقلیمی مانند سیل، خشکسالی، طوفان بر پتانسیل نیروگاه‌های آبی تأثیر می‌گذارند. همچنین می‌توانند بر زیرساخت‌های سامانه‌های تولید و انتقال برق آبی و تأمین انرژی تأثیر بگذارد. تغییرات آب و هوایی می‌توانند با ایجاد خسارت فیزیکی ناشی از سیل، طوفان و خشکسالی بر اقتصاد جهانی تأثیر بگذارد (یاموسه[2] و همکاران، ۲۰۲۰).

مخزن برق‌آبی معمولاً به نگه داشتن سطح آب در حداکثر سطح طراحی نیاز دارد تا حداکثر انرژی را برای تولید روزانه برق‌آبی ذخیره کند و همچنین از هرگونه نشت در سد جلوگیری کند. با این حال، از آنجایی که حجم ذخیره‌سازی مخزن به دلیل رسوب‌گذاری از بین می‌رود، انرژی خروجی از نیروگاه تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد، مخزن به تدریج قابلیت مهار جریان‌های ورودی زیاد را از دست می‌دهد و کنترل رهاسازی سیلاب از طریق سرریز اجتناب‌ناپذیر است (ابریشمچی[3] و همکاران، ۲۰۱۱؛ شفیعی[4] و همکاران، ۲۰۱۲).

با توجه به افزایش تقاضای آب، منابع آب به دلیل رشد جمعیت محدود و غیرقابل اعتماد خواهند بود (پی مرد[5] و همکاران، ۲۰۱۹). انتظار می‌رود تغییرات آب و هوا، به ویژه دما و بارندگی، تأثیر قابل توجهی بر منابع آبی آینده داشته باشد (مانزاناس[6] و همکاران، ۲۰۲۰). بر اساس مطالعات پیشین، تغییر ۱۰ درصدی بارش، عمدتاً منجر به تغییر ۱۵ تا ۲۵ درصدی در جریان رودخانه می‌شود. با این حال، افزایش دما، معمولاً منجر به کاهش ۵ تا ۱۲ درصدی جریان ورودی می‌شود (شارما و گویال[7]، ۲۰۲۰). بنابراین، تغییرات جریان می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر تولید برق تولید شده نیروگاه‌های آبی داشته باشد (لیو[8] و همکاران، ۲۰۲۰).

بررسی پیامدهای منفی پدیده‌های اقلیمی بر میزان کاهش بارندگی و تولید برق نیروگاه‌های آبی ضروری است. یکی از این راهکارها، پیش‌بینی جریان رودخانه است. برای این منظور، الگوهای مختلف رواناب باران تحت تأثیر تغییرات اقلیمی محلی و شاخص‌های اقلیمی جهانی پیش‌بینی می‌شود. این پیش‌بینی جریان، منجر به برنامه‌ریزی و مدیریت بهتر منابع آب در نیروگاه‌های آبی برای تولید برق خواهد شد (دولابیان[9] و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین برای مقابله با هشدارها و محدودیت‌های تولید برق، پیش‌بینی جریان می‌تواند به مدیریت محدودیت‌ها کمک کند (سلام[10]، ۲۰۲۰). اولین و بارزترین اهمیت پیش‌بینی جریان این است که تصمیم‌گیری‌های مبتنی بر ذخیره و رهاسازی آب، منجر به بهره‌وری بیشتر تولید برق آبی می‌شود. پیش‌بینی جریان به طور مؤثر به مدیران و بهره‌برداران نیروگاه‌های آبی کمک می‌کند تا به‌توانند به درستی تولید برق را مدیریت و تأمین کنند. تشدید پیآمدهای تغییر اقلیم اهمیت موضوع را دو چندان کرده است (کین[11] و همکاران، ۲۰۲۰). یکی از مهم‌ترین عوامل تولید برق آبی، پیش‌بینی جریان است. بنابراین یکی از عواملی که در این زمینه باید مورد توجه قرار گیرد مدیریت منابع آب است. یکی از مهمترین راهبردهای حفظ آب، مدیریت یکپارچه منابع آب است. این شامل شاخص‌های کلان اقتصادی، اکوسیستم‌های مختلف، ملاحظات اقتصادی و اجتماعی است (احمد و حسین[12]، ۲۰۲۰). روش‌های پیش‌بینی جریان، شامل روابط تجربی ساده و روابط همبستگی و استفاده از مدل‌های پیچیده است. فناوری جمع‌آوری، انتقال و پردازش داده‌های هیدرولوژیکی و پیش‌بینی جریان رودخانه از طریق مدل‌سازی در چهل سال گذشته، پیشرفت چشمگیری داشته است. استفاده از روش‌های جدید، برای افزایش دقت پیش‌بینی جریان رودخانه ضروری است. برای دستیابی به این هدف، استفاده

1 Van Ruijven et al (2019)
2 Uamusse et al (2020)
3 Abrishamchi et al (2011)
4 Shafiee et al (2012)
5 Paymard et al (2019)
6 Manzanas et al (2020)
7 Sharma and Goyal (2020)
8 Liu et al (2020)
9 Doulabian et al (2020)
10 Salam (2020)
11 Qin, P., et al (2020)
12 Ahmad and Hossain (2020)

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.0.0.4.5]

از مدل‌های فیزیکی و عددی در برآورد و پیش‌بینی دقیق‌تر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (کنتراست[1] و همکاران، ۲۰۲۰).

اقلیم و به تبع آن جریان ورودی رودخانه، تعیین‌کننده تولید و عرضه برق و انرژی در منطقه است. بنابراین، بررسی تأثیر برق و انرژی بر اقتصاد جوامع حائز اهمیت است (گللو و قدیمی[2]، ۲۰۱۷). افزایش تقاضا و کاهش بالقوه منابع انرژی در آینده به یکی از چالش‌های اصلی تبدیل شده است (ابراهیمیان[3] و همکاران، ۲۰۱۸). در نیروگاه‌های برق آبی، دما و بارش می‌توانند شرایط هیدرولوژیکی آینده را تغییر داده و بر میزان و توزیع زمانی تولید برق توسط یک نیروگاه برق آبی تأثیر گذارند (سانچز-گارسیا[4] و همکاران، ۲۰۲۰). برای پیش‌بینی بهتر اثرات تغییرات آب و هوایی بر تولید برق آبی، اطلاعات متنوعی در مورد آینده مورد نیاز است.

برآورد میزان آب برای تولید برق آینده ضروری است. تقاضای آب، تابعی از رشد جمعیت، رشد اقتصادی و تغییرات تکنولوژیک است (آقاجانی و قدیمی[5]، ۲۰۱۸). تغییرات جریان رودخانه، بر مصرف آب در پنج حوزه تقاضای آب تأثیر دارد: کشاورزی، صنعتی، انرژی، شهری و تلفات مخازن. تمرکز این مطالعه بر روی میزان آب در مخزن نیروگاه آبی است (پریرا[6] و همکاران، ۲۰۲۰). بنابراین، استفاده از روش‌های پیش‌بینی دقیق رواناب نقش مهمی در برآورد نیروگاه‌های آبی دارد (استودارت[7] و همکاران، ۲۰۲۰). معادلات مختلفی برای تعیین رواناب مدت‌هاست که برای مدیریت منابع آب در علوم هیدرولوژیکی پیشنهاد شده است (ژو[8] و همکاران، ۲۰۱۹). مدل‌های تجربی هیدرولوژیکی و روش‌های هوشمند عصبی را می‌توان برای شبیه‌سازی رواناب استفاده کرد (ارکان[9] و همکاران، ۲۰۱۹). فرآیند تبدیل بارندگی به رواناب بسیار پیچیده است و تعاملات زیادی بین اجزای مختلف آن وجود دارد (پیل و مک ماهون[10]، ۲۰۲۰).

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 دارد. 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. مقاله حاضر به منظور برآورد منافع اقتصادی و درآمدهای ناشی از استفاده از این سامانه پیش‌بینی تهیه شده است و علیرغم آنکه می‌تواند منافع و درآمدهای آن گسترده باشد، صرفاً برروی آثار آن بر منافع و درآمد افزایش تولید برق دو نیروگاه آبی کارون ۴ و رودبار لرستان متمرکز شده است.

مواد و روش‌ها

۱- منطقه مورد مطالعه

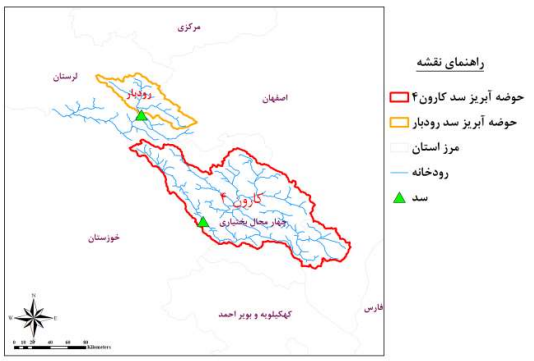
سد مخزنی کارون ۴ در استان چهارمحال و بختیاری در فاصله ۱۸۰ کیلومتری جنوب غربی شهرکرد و چهار کیلومتری پایین دست محل تلاقی رودخانه‌های ارمند و بازفت واقع شده است. حوضه آبریز رودخانه کارون در محدوده سد کارون ۴ در قسمت جنوب غربی ایران در محدوده بین عرض شمالی ۲۰-۳۱ تا ۴۰-۳۲ و طول شرقی ۳۳-۴۹ تا ۴۵-۵۱ در سلسله 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 ۴، ۱۲۸۱۳ کیلومترمربع بوده و رشته کوه‌های مرتفع زاگرس شرایط مناسبی را برای بارش در حوضه آبریز این رودخانه (به خصوص نواحی غربی و شمال غربی) به‌وجود آورده است. ارتفاع متوسط بارندگی سالانه این حوضه حدود ۶۸۰ میلیمتر برآورد می‌شود. متوسط آورد سالانه رودخانه ۴۹۲۷/۴ میلیون مترمکعب بوده و حداکثر

1 Contreras et al (2020)
2 Gollou and Ghadimi (2017)
3 Ebrahimian et al (2018)
4 Sanchez-Garcia et al (2020)
5 Aghajani and Ghadimi (2018)
6 Perera et al (2020)
7 Stoddart et al (2020)
8 Zhou et al (2019)
9 Ercan et al (2019)
10 Peel, M.C., McMahon (2020)

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.0.0.4.5]

سیلاب محتمل حوضه در حدود ۱۰۲۰۰ مترمکعب بر ثانیه برآورد شده است.

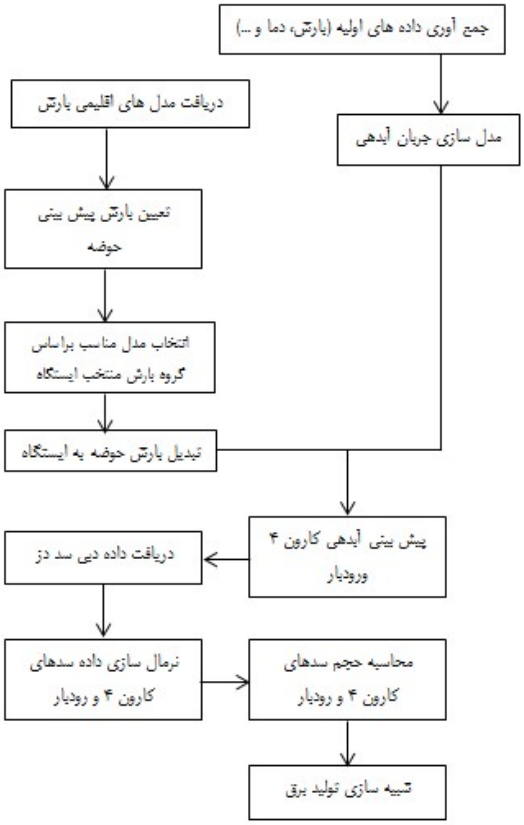
سد رودبار لرستان بر روی رودخانه رودبار (از سرشاخه‌های شرقی حوزه آبگیر رودخانه دز) و در فاصله حدود ۱۰۰ کیلومتری جنوب شهرستان الیگودرز در استان لرستان واقع گردیده است. مورفولوژی رودخانه رودبار در این محدوده و چرخش مسیر آن در پایین‌دست محل احداث سد به‌گونه‌ای است که اختلاف ارتفاعی طبیعی حدود ۳۰۰ متر را ایجاد می‌کند. مساحت حوضه آبریز رودخانه تا محل احداث سد رودبار لرستان ۲۲۵۵ کیلومترمربع و میزان متوسط جریان سالانه رودخانه در محل سد معادل ۳۰/۲ مترمکعب در ثانیه است. حداقل دبی ماهانه رودخانه، پس از برداشت‌های بالادست در حدود ۴/۱ مترمکعب بر ثانیه و حداکثر آن در حدود ۲۵۰/۵ مترمکعب بر ثانیه است. همچنین آورد سالانه این رودخانه ۹۵۷ میلیون مترمکعب و حداکثر سیلاب محتمل حوضه در حدود ۳۷۳۴ مترمکعب بر ثانیه برآورد شده است. موقعیت جغرافیایی دو حوضه مورد مطالعه را در شکل (۱) ارائه شده است.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی حوضه‌ها

۲- تولید انرژی نیروگاه آبی بدون سامانه پیش‌بینی در سال آبی ۹۸-۱۳۹۷

با توجه به اینکه سامانه پیش‌بینی در سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ فعال بوده و بهره‌برداری از سد مخزن کارون ۴ و رودبار لرستان براساس اطلاعات این سامانه انجام شده است لذا سری زمانی حجم مخزن این دو سد در زمان بدون سامانه پیش‌بینی در دسترس نیست. برای برآورد سری زمانی حجم مخزن کارون ۴ و رودبار لرستان در سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ در حالت بدون سامانه پیش‌بینی، از سد دز استفاده شد که مراحل انجام کار برای هر سد به تفکیک در زیر ارائه شده است (شکل ۲).



شکل (۲): مراحل انجام پژوهش

برای برآورد میزان تولید برق در حالت بدون هشدار سیل از نرم افزار تخصصی منبع‌نما Source View شرکت دانش بنیان پایشگر تدبیرافزار استفاده شد تا با کمک منحنی حجم-ارتفاع سدها، حجم اولیه شروع دوره و ورودی جریان سدها در طول دوره مقادیر تولید برق در حالت بدون هشدار سیل شبیه‌سازی شود. نرم افزار منبع‌نما (Source View) به منظور تهیه مدل‌های شبیه سازی و بهینه سازی بهره رداری از منابع آب توسعه داده شده است. این نرم‌افزار به‌گونه‌ای طراحی شده است که ضمن رعایت اصول پایه ذخیره اطلاعات تحت سرور، بازیابی اطلاعات جهت تهیه گزارشها به سهولت و به سرعت انجام می‌پذیرد. با رسم گره‌ها و کمان‌های مورد نظر در صفحه شماتیک و تعریف ویژگی‌های هرکدام و همچنین اعمال سیاست‌های بهره‌برداری از

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.0.0.4.5]

سیستم منابع آب، متغیرهای تصمیم و همچنین قیود مسئله تعریف می‌شود که با اجرای مدل بهینه‌سازی برنامه‌ریزی خطی در یک گام زمانی مورد نظر می‌توان جواب بهینه را بدست آورد.

۲-۱- سد و نیروگاه کارون ۴

جهت برآورد برق تولیدی نیروگاه سد کارون ۴ در حالت بدون وجود سامانه پیش‌بینی، نیاز است که ابتدا حجم مخزن شبیه‌سازی شود. برای این منظور مراحل زیر به ترتیب انجام شد.

حجم مخزن سد دز از ۱ مهر سال ۱۳۹۷ لغایت ۳۱ اردیبهشت ۱۳۹۸ به صورت روزانه از سایت http://dams.wrm.ir برداشته شد.

حداقل حجم مخزن سد دز ۵۸۶ میلیون مترمکعب در نظر گرفته شده که جهت بدست آوردن حجم استفاده شده در تولید برق، این حداقل حجم از حجم مخزن سد دز از تمامی روزها یعنی ۱ مهر سال ۹۷ لغایت ۳۱ اردیبهشت ۱۳۹۸ کسر گردیده شد.

در این مرحله سری زمانی فوق نرمال (بی بعد) گردید. برای نرمال‌سازی از معادله ۱ استفاده شد.

$$V_N = \frac{V_i - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \qquad (۱)$$

V_N: حجم بی بعد (نرمال سازی شده)

V_i: حجم سد مورد نظر

V_{max}: حجم حداکثری سد

V_{min}: حجم حداقلی سد

سپس برای بدست آوردن سری زمانی حجم مخزن سد کارون ۴ در روزهای ۱ مهر سال ۹۷ لغایت ۳۱ اردیبهشت سال ۱۳۹۸، سری زمانی بی بعد شده سد دز را به صورت روزانه در اختلاف حداکثر و حداقل حجم مخزن ضرب و با حداقل مقدار جمع شد. حداقل و حداکثر حجم کارون ۴ در این بازه به ترتیب ۱۴۴۹ و ۲۲۰۲ میلیون متر مکعب است.

$$V_i = V_N \times (V_{max} - V_{min}) + V_{min} \qquad (۲)$$

با معادله ۲، سری زمانی حجم مخزن سد کارون ۴ در روزهای ۱ مهر سال ۹۷ لغایت ۳۱ اردیبهشت سال ۱۳۹۸ در حالت بدون سامانه بدست آمد. حجم سد کارون ۴ در ۱ مهر سال ۹۷ حدود ۱۵۶۵ میلیون متر مکعب ثبت شده است که اختلافی حدود ۴.۵ میلیون مترمکعب با مقدار برآورد شده از حجم سد دز داشته است. این اختلاف از ورودی ۱۰روز اول ماه به سد کارون ۴ کسر گردید تا شرایط شبیه‌سازی نزدیک به شرایط واقعی نزدیک شود.

با توجه به شرایط تولید برق برای نزدیکتر شدن شرایط شبیه‌سازی به شرایط واقعی نیاز بود که سری زمانی حداقل حجم و سری زمانی حداکثر حجم ایجاد شود. با این سری زمانی با بازه ۵۰ میلیون متر مکعبی حجم سد با توجه به حداکثر و حداقل ذخیره سد شبیه‌سازی می‌شود. در واقع برای ایجاد سری زمانی حداقل حجم مقدار ۱۰ میلیون مترمکعب از سری زمانی شبیه‌سازی شده کسر گردید. همچنین برای ایجاد سری زمانی حداکثر حجم مقدار ۴۰ میلیون متر مکعب به سری زمانی شبیه‌سازی شده اضافه گردید به شرط اینکه از مقدار حداکثر حجم مجاز یعنی ۲۲۰۰ عبور نکرده باشد.

۲-۲- سد رودبار لرستان

جهت برآورد برق تولیدی نیروگاه سد رودبار لرستان در حالت بدون وجود سامانه پیش‌بینی نیاز است که ابتدا حجم مخزن شبیه‌سازی شود. برای این منظور مراحل زیر به ترتیب انجام شد.

حجم مخزن سد دز از ۱ مهر سال ۱۳۹۷ لغایت ۳۱ اردیبهشت ۱۳۹۸ به صورت روزانه از سایت http://dams.wrm.ir برداشته شد.

در این مرحله نیز سری زمانی فوق نرمال (بی بعد) گردید و از معادله یک استفاده شد.

سپس برای بدست آوردن سری زمانی حجم مخزن سد رودبار در روزهای ۱ مهر سال ۹۷ لغایت ۳۱ اردیبهشت سال ۱۳۹۸، سری زمانی بی بعد شده سد دز را به صورت روزانه در اختلاف حداکثر و حداقل حجم مخزن ضرب و با حداقل مقدار جمع شد. حداقل و حداکثر سد رودبار لرستان در این بازه به ترتیب ۱۰۳ و ۲۱۴.۷ میلیون متر مکعب است.

با معادله ۲، سری زمانی حجم مخزن سد رودبار لرستان در روزهای ۱ مهر سال ۹۷ لغایت ۳۱ اردیبهشت سال ۱۳۹۸ در حالت بدون سامانه بدست آمد. حجم سد رودبار لرستان

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-17]

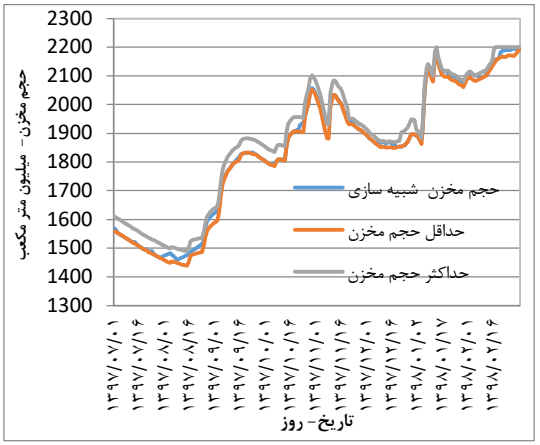
[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.0.0.4.5]

در ۱ مهر سال ۹۷ حدود ۱۱۴ میلیون متر مکعب ثبت شده است که اختلافی حدود ۷/۱ میلیون مترمکعب با مقدار برآورد شده از حجم سد دز داشته است. این اختلاف از ورودی ۶۰ روز اول ماه از سد رودبار لرستان کسر گردید تا شرایط شبیه‌سازی نزدیک به شرایط واقعی نزدیک شود.

با توجه به شرایط تولید برق برای نزدیکتر شدن شرایط شبیه‌سازی به شرایط واقعی، نیاز بود که سری زمانی حداقل حجم و سری زمانی حداکثر حجم ایجاد شود. بنابراین با ایجاد یک بازه ۴۰ میلیون مترمکعبی، حجم‌ها در این بازه شبیه‌سازی می‌شوند. در نهایت، برای ایجاد سری زمانی حداقل حجم مقدار ۱۰ میلیون مترمکعب از سری زمانی شبیه‌سازی شده کسر شد. همچنین برای ایجاد سری زمانی حداکثر حجم مقدار ۳۰ میلیون متر مکعب به سری زمانی شبیه‌سازی شده اضافه گردید به شرط اینکه از مقدار حداکثر حجم مجاز یعنی ۲۱۴/۷ عبور نکرده باشد.

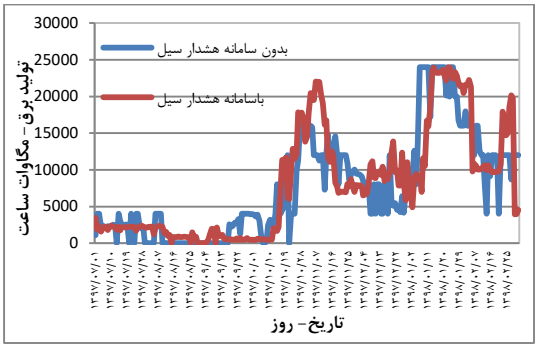
نتایج و بحث

شکل (۳) مقادیر شبیه‌سازی شده حجم مخزن سد کارون ۴ از سد دز و محدودیت‌های حداقل و حداکثر برای مخزن سد در سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ را نشان می‌دهد. با استفاده از حجم شبیه‌سازی شده و محدودیت‌های حداقل و حداکثر سد کارون ۴، تولید برق در حالت بدون وجود سامانه پیش‌بینی انجام شد.

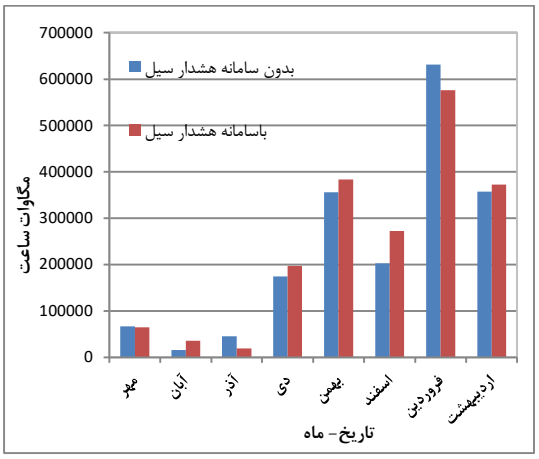


شکل (۳): مقادیر روزانه حجم مخزن کارون ۴ و محدویت‌های حداقل و حداکثر برای مخزن در سال آبی ۹۸-۱۳۹۷

شکل (۴) مقادیر روزانه تولید برقابی سد کارون ۴ در دو حالت بدون وجود سامانه پیش‌بینی و با وجود سامانه پیش-بینی در سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ را نشان می‌دهد. همچنین شکل (۵) نیز مقادیر ماهانه تولید برقابی سد کارون ۴ در دو حالت بدون وجود سامانه پیش‌بینی و با وجود سامانه پیش-بینی در ماه‌های مهر لغایت اردیبهشت سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ را نشان می‌دهد.



شکل (۴): مقادیر روزانه تولید برق سد کارون ۴ در دو حالت بدون و با سامانه پیش‌بینی در سال آبی ۹۸-۱۳۹۷



شکل (۵): مقادیر ماهانه تولید برق سد کارون ۴ در دو حالت بدون و با سامانه پیش‌بینی در سال آبی ۹۸-۱۳۹۷

در این پژوهش برای نیروگاه تولید برق سد کارون ۴ به طور متوسط، راندمان ۹۳ در نظر گرفته شده است همچنین مقدار تبخیر سالانه و تخلیه رسوب، برای مخزن سد کارون ۴ در نظر گرفته شده است که به ترتیب ۱۶/۶ میلیون مترمکعب به عنوان تبخیر در بازه زمانی ۱ مهر ۱۳۹۷ الی ۳۱ اردیبهشت ۱۳۹۸ و ۷۴/۳ میلیون مترمکعب به عنوان تخلیه رسوب در فروردین ۱۳۹۸ از مخزن خارج شده است.

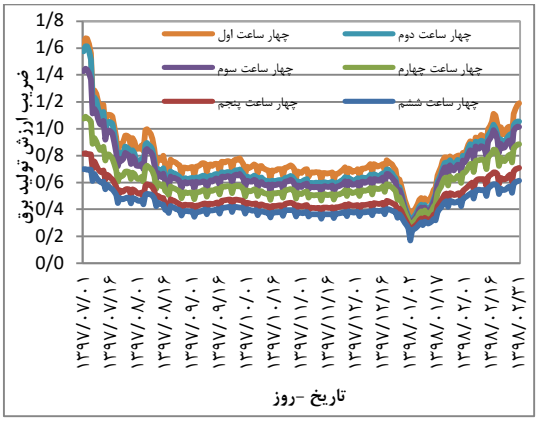
[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.0.0.4.5]

پس از ایجاد شرایط اولیه برای حجم مخزن و ورودی آن، می‌بایست مقادیر خروجی توربین و تولید برق را نیز با استفاده از مدل منبع‌نمای شرکت پایشگر تدبیرافزار محاسبه نمود. مقادیر خروجی از توربین و سریز در حالت شبیه‌سازی به ترتیب برابر با ۴,۱۵۰ میلیون مترمکعب و سریز مقداری برابر ۱۵۱/۸ میلیون متر مکعب در نظر گرفته شده است که این مقدار خروجی از توربین ۱,۸۴۹,۶۰۰ مگاوات ساعت برآورد شد.

مقدار خروجی در بازه زمانی مورد مطالعه در طرح هشدار سیل حدود ۴,۳۲۹ میلیون متر مکعب بوده که این مقدار خروجی مقداری برابر با ۱,۹۲۱,۹۰۰ مگاوات ساعت بوده که نسبت به حالت بدون هشدار سیل افزایش ۳/۹ درصدی تولید را نشان می‌دهد.

در مدل شبیه‌سازی ارائه شده، مقرر شد که ضرایب ارزش تولید برق به صورت ساعتی لحاظ گردد. از آنجا که اجرای مدل در بازه زمانی روزانه بوده است، در نتیجه یک مدل شبه‌ساعتی ساخته شد که در این مدل هر روز به ۶ دسته ۴ ساعته با ارزش‌های تولید متفاوت تقسیم شد. لازم به ذکر است که تقسیم‌بندی هر روز پس از مرتب کردن ضرایب از بیشترین به کمترین مقدار انجام می‌شود. به صورتی‌که میانگین ضرایب ۴ ساعت موجود در اولین دسته (دسته اول) بیشترین مقدار و میانگین ضرایب ۴ ساعت موجود در آخرین دسته (دسته ششم) کمترین مقدار را داراست. شکل (۶) ضریب ارزش تولید برق به صورت ۴ ساعته در روز نشان می‌دهد.

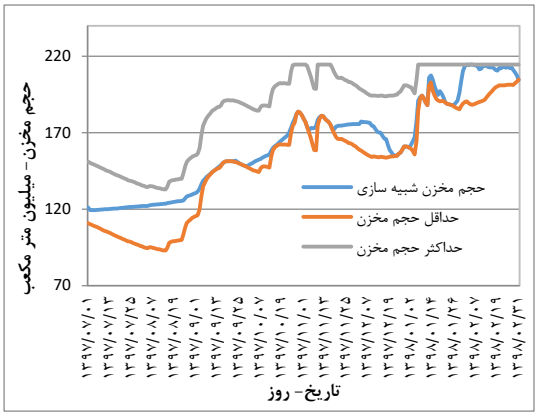


شکل (۶): ضریب ارزش تولید برق به صورت ۴ ساعته در روز

پس از دسته‌بندی ضرایب، جهت پیاده‌سازی در نرم افزار، ۶ گره به عنوان نیروگاه برقابی در نظر گرفته شد که هر گره قادر به تولید حداکثر ۴ ساعت انرژی برقابی است. ضرایب سود نیز برای گره اول بیشترین و برای گره ششم کمترین مقدار لحاظ شد. همچنین گره اول که دارای بیشترین ضریب سود تولید انرژی برقابی است، ملزم به تولید حداقل ۴ ساعت گردید. در حقیقت با استفاده از این روش و ساخت یک مدل شبه ساعتی، ضرایب ارزش تولید برق به صورت ساعتی در اختیار نرم افزار قرار داده شد.

اساس کار مدل بدین صورت است که در گره اول با توجه به محدودیت‌های حداقل و حداکثر اعمال شده در تولید، ۴ ساعت تولید را خواهیم داشت. در گره‌های دوم تا ششم، مدل بهینه‌سازی با توجه به ضرایب تخصیص یافته برای هر گره، مقدار تولید را در نظر می‌گیرد. در نتیجه باقیمانده تولید توسط گره دوم و پس از آن گره سوم و به ترتیب تا انتها صورت می‌پذیرد. همچنین لازم به ذکر است که تصمیم بر این که یک روز مقدار تولید تا گره دوم و یک روز تا گره سوم انجام شود به مقدار ضرایب روزانه بستگی دارد.

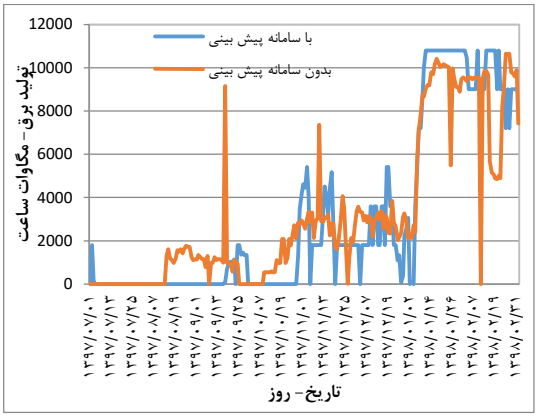
شکل (۷) مقادیر شبیه‌سازی شده حجم مخزن سد رودبار لرستان از سد دز و محدودیت‌های حداقل و حداکثر برای مخزن سد در سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ را نشان می‌دهد. با استفاده از حجم شبیه‌سازی شده و محدودیت‌های حداقل و حداکثر سد رودبار لرستان، تولید برق در حالت بدون وجود سامانه پیش‌بینی انجام شد.



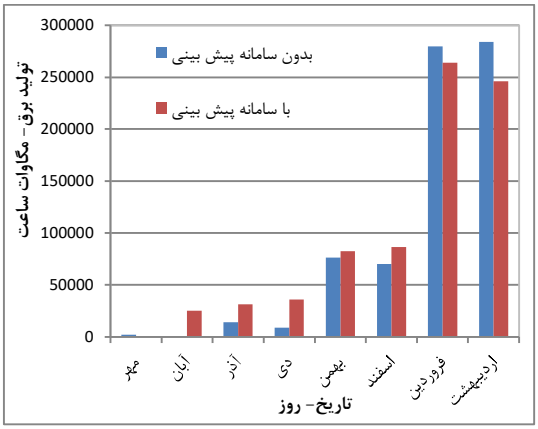
شکل (۷): مقادیر روزانه حجم مخزن رودبار لرستان و محدویت‌های حداقل و حداکثر برای مخزن در سال آبی ۹۸-۱۳۹۷

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.0.0.4.5]

شکل (۸) مقادیر روزانه تولید برقابی سد رودبار لرستان در دو حالت بدون وجود سامانه پیش‌بینی و با وجود سامانه پیش‌بینی در سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ را نشان می‌دهد. همچنین شکل (۹) نیز مقادیر ماهانه تولید برقابی سد رودبار لرستان در دو حالت بدون وجود سامانه پیش‌بینی و با وجود سامانه پیش‌بینی در ماه‌های مهر لغایت اردیبهشت سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ را نشان می‌دهد.



شکل (۸): مقادیر روزانه تولید برق سد رودبار لرستان در دو حالت بدون و با سامانه پیش‌بینی در سال آبی ۹۸-۱۳۹۷



شکل (۸): مقادیر ماهانه تولید برق سد رودبار لرستان در دو حالت بدون و با سامانه پیش‌بینی در سال آبی ۹۸-۱۳۹۷

در این پژوهش برای نیروگاه تولید برق سد رودبار به طور متوسط راندمان ۹۴ در نظر گرفته شده است. همچنین مقدار تبخیر سالانه و تخلیه رسوب برای مخزن سد رودبار در نظر گرفته شده است که به ترتیب ۱/۴ میلیون مترمکعب به عنوان تبخیر در بازه زمانی ۱ مهر ۱۳۹۷ الی ۳۱ اردیبهشت ۱۳۹۸ و تخلیه رسوبی در این بازه رخ نداده است.

پس از ایجاد شرایط اولیه برای حجم مخزن و ورودی آن می‌بایست مقادیر خروجی توربین و تولید برق را نیز محاسبه نمود. مقادیر خروجی از توربین در حالت شبیه‌سازی برابر با ۵۹۷/۵ میلیون مترمکعب است که این مقدار خروجی از توربین ۷۳۵،۵۰۰ مگاوات ساعت برق تولید می‌کند.

مقدار خروجی در بازه زمانی مورد مطالعه در طرح هشدار سیل حدود ۶۶۱ میلیون متر مکعب بوده که این مقدار خروجی مقداری برابر با ۷۷۱۲۰۰ مگاوات ساعت بوده که نسبت به حالت بدون هشدار سیل افزایش ۴/۸ درصدی تولید را نشان می دهد.

برای بهره‌برداری از سد و نیروگاه رودبار، مقدار جریان حداقل زیست محیطی پایین دست برابر با ۰/۹ مترمکعب بر ثانیه در نظر گرفته شد که در مدل شبیه سازی شده ۱۲۰ میلیون متر مکعب خروجی برآورد شده است. ضرایب سود نیز مانند محاسبه در سد کارون ۴، برای گره اول بیشترین و برای گره ششم کمترین لحاظ شد.

محاسبه منافع اقتصادی و درآمدهای مالی سامانه پیش‌بینی در نیروگاه کارون ۴ و رودبار لرستان

به منظور محاسبه منافع اقتصادی و درآمدهای مالی سامانه پیش‌بینی ابتدا باید تأثیر این سامانه را در تولید برق در این دو نیروگاه محاسبه کرد. به این‌منظور، میزان تولید انرژی برقابی، در دو حالت با سامانه پیش‌بینی و بدون سامانه پیش-بینی در سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ (۱ مهر ۱۳۹۷ لغایت ۳۱ اردیبهشت ۱۳۹۸) محاسبه شد. نتایج این بررسی با توجه به خروجی‌های مدل شبیه‌سازی به شرح جدول ۱ است.

جدول ۱- میزان تغییرات تولید برق در نیروگاه در دوحالت با و بدون سامانه پیش‌بینی- مگاوات ساعت

نام نیروگاه	برق تولید شده		افزایش تولید برق
	بدون سامانه پیش‌بینی	با سامانه پیش‌بینی	
کارون ۴	۱،۸۴۹،۶۵۹	۱،۹۲۱،۹۱۳	۷۲،۲۵۴
رودبار	۷۳۵،۴۶۱	۷۷۱،۱۹۸	۳۵،۷۳۷

جدول فوق نشان از آن دارد که استفاده از سامانه پیش‌بینی توانسته است تا به بهره‌برداری مناسب‌تر سبب افزایش میزان برق تولیدی در این نیروگاه کارون ۴ و رودبار لرستان در سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ شود. با توجه به دید چند ساله با انجام

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.0.0.4.5]

پیش‌بینی مستمر دبی ورودی به سدها و اعمال آن بر میزان خروجی توربین‌ها و تولید برق، می‌توان مدیریت بهتری در هزینه‌ها و تولید پایدار برق به همراه ذخیره آب داشت.

نتیجه‌گیری

سامانه پیش‌بینی در سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ فعال بوده و بهره-برداری از سد مخزن کارون ۴ و رودبار لرستان براساس اطلاعات این سامانه انجام شده است بنابراین سری زمانی حجم مخزن این دو سد در زمان بدون سامانه پیش‌بینی در دسترس نمی‌باشد. برای برآورد سری زمانی حجم مخزن کارون ۴ و رودبار در سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ در حالت بدون سامانه پیش‌بینی، از سد دز استفاده گردید که پس از ایجاد شرایط اولیه برای حجم مخزن و ورودی آن، می‌بایست مقادیر خروجی توربین و تولید برق را نیز محاسبه نمود.

مقادیر خروجی از توربین و سرریز در حالت شبیه سازی در سد کارون ۴ به ترتیب برابر با ۴۱۵۰ میلیون مترمکعب و سریز مقداری برابر ۱۵۲ میلیون متر مکعب در نظر گرفته شده است که از این مقدار خروجی از توربین ۱،۸۴۹،۶۰۰ مگاوات ساعت برآورد شد. مقدار خروجی در طرح هشدار سیل حدود ۴۳۲۹ میلیون متر مکعب بوده که این مقدار خروجی مقداری برابر با ۱،۹۲۱،۹۰۰ مگاوات ساعت بوده که نسبت به حالت بدون هشدار سیل افزایش ۳/۹ درصدی تولید را نشان می‌دهد. مقادیر خروجی از توربین در حالت شبیه‌سازی برای سد رودبار برابر با ۵۹۷/۵ میلیون مترمکعب که این مقدار خروجی از توربین ۷۳۵،۵۰۰ مگاوات ساعت برق تولید می‌کند. همچنین مقدار خروجی در طرح هشدار سیل حدود ۶۶۱ میلیون متر مکعب بوده که این مقدار خروجی مقداری برابر با ۷۷۱،۲۰۰ مگاوات ساعت بوده که نسبت به حالت بدون هشدار سیل افزایش ۴/۸ درصدی تولید را نشان می‌دهد. در نهایت مشخص گردید که نیروگاه-ها با دسترسی به اطلاعات هشدار سیل می توانند با مدیریت صحیح منابع میزان تولید برق را افزایش داده که این موضوع باعث افزایش درآمد حاصل از تولید می‌گردد.

مراجع

1- Abrishamchi, A., Dashti, M. and Tajrishy, M. (2011). "Development of a Multi-Reservoir Flood Control Optimization Model: Application to the Karkheh River Basin, Iran", World Environmental and Water Resource Congress, pp. 3048-3057.

2- Aghajani, G., Ghadimi, N., 2018. Multi-objective energy management in a micro-grid. Energy Rep. 4, 218–225.

3- Ahmad, S.K., Hossain, F., 2020. Forecast-informed hydropower optimization at long and short-time scales for a multiple dam network. J. Renew. Sustain. Energy 12 (1), 014501.

4- Contreras, E., Herrero, J., Crochemore, L., Aguilar, C., Polo, M.J., 2020. Seasonal climate forecast skill assessment for the management of water resources in a run of river hydropower system in the Poqueira river (southern Spain). Water 12 (8), 2119.

5- Doulabian, S., Golian, S., Toosi, A.S., Murphy, C., 2020. Evaluating the effects of climate change on precipitation and temperature for Iran using RCP scenarios. J. Water Clim. Change.

6- Ebrahimian, H., Barmayoon, S., Mohammadi, M., Ghadimi, N., 2018. Theprice prediction for the energy market based on a new method. Econ. Res.-Ekonomska Istraživanja 31 (1), 313–337.

7- Ercan, B., Yagci, A.E., Yilmaz, A.S., Yuce, M.I., Unsal, M., 2019. Annual runoff modeling of kizilirmak basin by artificial intelligent techniques. Feb-Fresenius Environ. Bull. 6651.

8- Gollou, A.R., Ghadimi, N., 2017. A new feature selection and hybrid forecast engine for day-ahead price forecasting of electricity markets. J. Intell. Fuzzy Systems 32 (6), 4031–4045.

9- Liu, Y., et al., 2020. Global socioeconomic risk of precipitation extremes under climate change. Earth's Future 8 (9), e2019EF001331.

10- Manzanas, R., Fiwa, L., Vanya, C., Kanamaru, H., Gutiérrez, J., 2020. Statistical downscaling or bias adjustment? A case study involving implausible climate change projections of precipitation in Malawi. Clim. Change 162 (3), 1437–1453.

11- Paymard, P., Yaghoubi, F., Nouri, M., Bannayan, M., 2019. Projecting climate change impacts on rainfed wheat yield, water demand, and water use efficiency in northeast Iran. Theor. Appl. Climatol. 138 (3–4), 1361–1373.

12- Peel, M.C., McMahon, T.A., 2020. Historical development of rainfall-runoff modeling. Water 7 (5), e1471, Wiley Interdisciplinary Reviews.

13- Perera, A., Nik, V.M., Chen, D., Scartezzini, J.-L., Hong, T., 2020. Quantifying the impacts of climate change and extreme climate events on energy systems. Nat. Energy 5 (2), 150–159.

14- Qin, P., et al., 2020. Assessing concurrent effects of climate change on hydropower supply, electricity demand, and greenhouse gas emissions in the Upper Yangtze River Basin of China. Appl. Energy 279, 115694.

15- Salam, A., 2020. Internet of things for environmental sustainability and climate change. In: Internet of

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.0.0.4.5]

Things for Sustainable Community Development. Springer, pp. 33–69.

16- Sanchez-Garcia, D., Rubio-Bellido, C., Tristancho, M., Marrero, M., 2020. Acomparative study on energy demand through the adaptive thermal comfort approach considering climate change in office buildings of Spain. Build. Simul. 13 (1), 51–63.

17- Shafiee, M.J., Dashti, M. and Abrishamchi, A. (2012). "A System Dynamics Model for Improving Flood Control Operation Policies", World Environmental and Water Resources Congress, pp. 962 -972.

18- Sharma, A., Goyal, M.K., 2020. Assessment of the changes in precipitation and temperature in Teesta River basin in Indian Himalayan Region under climate change. Atmos. Res. 231, 104670.

19- Stoddart, M.C., McCurdy, P., Slawinski, N., Collins, C.G., 2020. Envisioning energy futures in the North Atlantic Oil Industry: Avoidance, persistence, and transformation as responses to climate change. Energy Res. Soc. Sci. 69, 101662.

20- Uamusse, M.M., Tussupova, K., Persson, K.M., 2020. Climate change effects on hydropower in Mozambique. Appl. Sci. 10 (14), 4842.

21- van Ruijven, B.J., De Cian, E., Wing, I.S., 2019. Amplification of future energy demand growth due to climate change. Nat. Commun. 10 (1), 1–12.

22- Zhou, Q., Chen, L., Singh, V.P., Zhou, J., Chen, X., Xiong, L., 2019. Rainfallrunoff simulation in karst dominated areas based on a coupled conceptual hydrological model. J. Hydrol. 573, 524–533.

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.0.0.4.5]

نشریه علمی سد و نیروگاه برق آبی ایران
سال دهم/ شماره سی و سوم/ بهار ۱۴۰۲

Journal of Iranian Dam and Hydroelectric Power Plant
10th Year/ No. 33/ June 2023

Economic and financial assessment of the consequences of runoff forecast in dam and hydropower projects (Case study: Karun 4 and Rudbar Lorestan dams and power plants)

Hamidreza Eslami[1]
Saeid Jamali[2]
Reza Ayoubikia*[3]
Kamyab Eslami[4]

Abstract

Increasing energy demand has made improving the management of resource utilization and energy inevitable. The purpose of this article is to compare the power generation of two power plants of Karun 4 and Rudbar dams in the period of 1397-98 in two cases with flood forecasting and warning without applying and paying attention to flood warning and finally estimating economic benefits and revenues. It is a prediction of the use of this system. Flood forecasting and warning systems are among the non-structural methods of flood management that in combination with structural methods can increase the efficiency of flood management. This system timely warnings through planning and management of dam reservoir operation, enables the creation of broad benefits in reducing flood damage lands. In addition to these benefits, another part of the positive effects of these systems is the increase in electricity production in hydropower plants. The results of this study show that the amount of electricity generation in the power plants of dams in the state of flood warning activity by increasing the release from the turbines of power plants before the flood and preventing overflow, 3.9 and 4.8% more than Flood alert mode is desired during the annual interval.

Keywords

Flood warning, discharge forecast, hydroelectric power plant, Karun 4, Lorestan Rudbar

[1] CEO Payeshgar Tadbir Afzar.
[2] Assistant Professor, Islamic Azad University, Central Tehran Branch, Faculty of Civil Engineering and Land Resources.
[3]* Water Resources Expert - Payeshgar Tadbir Afzar Company. pta_data@yahoo.com.
[4] Software Developer Expert - Payeshgar Tadbir Afzar Company.

Received: 2022/07/02 Accepted: 2022/12/19

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.0.0.4.5]