

## بررسی عملکرد مدل ویپ در تحلیل انرژی برق آبی (مطالعه موردی: سد مخزنی سراب تلخ- لرستان)

علی کاکاوند<sup>۱</sup>، بابک شاهی نژاد<sup>۲\*</sup>، حسن ترابی پوده<sup>۲</sup>

تاریخ ارسال: ۱۳۹۷/۰۱/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۱۲

### چکیده

امروزه به دلیل افزایش جمعیت، تامین نیاز شرب و انرژی از مهم ترین مسائل در مدیریت منابع آب می باشد. حفظ محیط زیست و محدودیت منابع فسیلی سبب گردیده توجه بشر به سمت منابع جایگزین و پاک از جمله نیروگاه های برق آبی معطوف شود. بنابراین در این پژوهش، به ارزیابی پتانسیل برق آبی سد مخزنی سراب تلخ واقع در استان لرستان با هدف تأمین بخشی از آب شرب و صنعت شهر خرم آباد به ترتیب ۵۵ و ۵ میلیون مترمکعب در سال با استفاده از مدل ویپ در یک دوره آماری ۴۵ ساله (۱۳۴۶-۱۳۹۰ شمسی) پرداخته شد. ابتدا جهت بررسی روند داده ها، از روش آزمون ناپارامتریک من - کندال استفاده شد. سپس برای شبیه سازی پتانسیل برق آبی سد مخزنی سراب تلخ، ۶ رقوم مرده، ۶ رقوم نرمال و ۳ ضریب کارکرد مختلف انتخاب گردید. نتایج حاصل از آزمون تحلیل روند نشان داد آمار آبدهی از روند خاصی پیروی نکرده و تصادفی می باشد. همچنین نتایج حاصل از شبیه سازی پتانسیل برق آبی سد سراب تلخ با هدف تأمین نیاز شرب و صنعت و آنالیز اقتصادی هزینه های اجرایی نشان داد نوسانات رقوم نرمال در مقایسه با رقوم مرده، اثرگذاری بیشتری بر تولید انرژی داشته و رقوم مرده ۱۴۲۴ و رقوم نرمال ۱۴۴۹ متر از سطح دریا به عنوان رقوم بهینه انتخاب شد.

کلمات کلیدی: رقوم مرده، رقوم نرمال، سد مخزنی، مدل ویپ، من - کندال، نیروگاه های برق آبی کوچک.

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد سازه های آبی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران، تلفن: ۰۹۳۵۳۵۳۵۴۳۹، پست الکترونیکی: Kakavandali1989@gmail.com

<sup>۲\*</sup> استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه لرستان، ایران، تلفن: ۰۹۱۶۳۶۷۶۰۹۰، پست الکترونیکی: shahinejad.b@lu.ac.ir

<sup>۲</sup> دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه لرستان، ایران، تلفن: ۰۹۱۳۲۲۰۵۱۶۹، پست الکترونیکی: torabi.ha@lu.ac.ir

## مقدمه

امروزه افزایش جمعیت سبب افزایش نیازهای آبی از جمله شرب می‌گردد. با توجه به عدم توازن توزیع منابع آب و بارندگی نامین نیازهای شرب بشری امری ضروری می‌باشد. از سوی دیگر ایران کشوری خشک و نیمه خشک با میانگین بارش سالانه ۲۲۲ میلی متر در سال می‌باشد که با عدم توازن توزیع منابع آب و بارندگی مواجه است. با این وجود قسمت‌هایی از کشور بویژه دامنه‌های زاگرس و البرز با وجود بحران کم آبی مناطقی مستعد برای تأمین برق کشور می‌باشند. بحران آب و انرژی و چگونگی تأمین آن از مهم‌ترین چالش‌ها در برنامه ریزی و توسعه منابع آب کشور است. محدود بودن منابع سوخت‌های فسیلی از یک طرف و آلوده‌زا بودن این منابع برای محیط زیست از طرف دیگر، جوامع بین المللی را به توسعه پایدار و استفاده از منابع تجدید پذیر مانند نیروگاه‌های برق آبی با هدف تأمین نیاز شرب و صنعت سوق داده است.

در سال‌های اخیر، احداث نیروگاه‌های برق آبی کوچک در مناطق روستایی و دورافتاده با توجه به مزایای فراوان این نیروگاه‌ها، مورد توجه طراحان و متخصصین قرار گرفته است. با احداث نیروگاه‌های برق آبی کوچک در این مناطق، می‌توان از مزایای این نیروگاه‌ها نظیر عدم آلوده سازی محیط زیست، اشتغال‌زایی، توسعه کشاورزی و صنعتی، امکان جذب سرمایه‌های بخش خصوصی، بهبود جاذبه‌های گردشگری، کاهش مهاجرت روستاییان به مناطق شهری و ... بهره برد. به همین علت، در سال‌های اخیر، اهمیت نیروگاه‌های برق آبی کوچک مورد توجه محققین قرار گرفته است که می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

جلالی و همکاران (۱۳۸۷) با اشاره به نقطه ضعف مدل WEAP در زمینه مطالعه سیستم‌های برق آبی، یک روش اصلاحی برای رفع آن در سیستم‌های سد و نیروگاه برق آبی رودخانه کارون که شامل پنج سد گتوند، گذار لندر، کارون ۱، کارون ۳ و کارون ۴ است، ارائه نمودند. برای صحت سنجی مدل، نتایج با مدل تهیه شده در محیط نرم افزار VENSIM مقایسه گردید و نتایج نشان داد مدل تهیه شده از دقت مناسبی

برخوردار است. نوشاد و احمدی (۱۳۹۰) با بیان نقش وجود نیروگاه‌های برق آبی کوچک در شبکه خوزستان و امکان - سنجی این نیروگاه‌ها با توجه به پتانسیل موجود برای شبکه برق خوزستان به کمک نرم افزار WASP-IV در یک بازه ۱۰ ساله ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ به این نتیجه رسیدند در ارزیابی طرح‌های برق آبی، لحاظ نمودن شاخص‌های زیست محیطی و اقتصادی برای برنامه-ریزان انرژی کشور به صورت یک خط مشی کلی امری ضروری است. اخروی (۱۳۹۰) ضمن ارزیابی فنی و اقتصادی نیروگاه‌های برق آبی کوچک و همچنین نقش آن‌ها در تأمین انرژی الکتریکی و پایداری شبکه توزیع برق، نشان داد که با توجه به مزایای فراوان نیروگاه‌های برق آبی کوچک نظیر عدم نیاز به سوخت‌های فسیلی، عدم آلودگی محیط زیست، اشتغال‌زایی، راندمان بالای تولید انرژی و غیره، استفاده از این نیروگاه‌ها با رعایت معیارهای اقتصادی برای کشورهای در حال توسعه بسیار مناسب می‌باشد. فدایی و همکاران (۱۳۹۳) با تحلیل و بررسی مزایا، توان و ظرفیت‌های انرژی برق آبی و مقایسه این انرژی با سایر انرژی‌ها، به این نتیجه رسیدند که نیروگاه‌های برق آبی نسبت به نیروگاه‌های حرارتی، اثرات زیست محیطی کمتر و راندمان بیشتری دارند. نتایج حاصل از پژوهش خزایی و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی به بررسی امکان احداث نیروگاه برق آبی کوچک بر روی رودخانه زنگلانلو در استان خراسان رضوی پرداختند، نشان دادند با توجه به دائمی بودن رودخانه مذکور و دبی متوسط ۲ مترمکعب بر ثانیه، در فصولی که دبی رودخانه زیاد است، می‌تواند به تولید ۱ مگاوات برق منجر شود. همچنین با توجه به بالا بودن هزینه‌های اجرایی و هزینه تولید برق، توصیه می‌شود که اغلب نیروگاه‌های برق آبی کوچک بر روی رودخانه‌هایی احداث گردند که دبی آنها بیش از ۴ مترمکعب بر ثانیه باشد. نیکو و همکاران (۱۳۹۳) با بررسی پتانسیل نیروگاه‌های برق آبی کوچک در استان خوزستان، نشان دادند که این دسته از نیروگاه‌ها علی‌رغم مزایای فراوان، فقط ۴ درصد از کل ظرفیت نیروگاه‌های برق آبی کوچک را تشکیل می‌دهند.

Rheinheimer et al مدل شبیه‌سازی سیستم‌های برق‌آبی را جهت ارزیابی حساسیت این سیستم‌ها به تغییرات آب و هوای منطقه‌ای در دامنه غربی سیرا نوادا<sup>۳</sup> واقع در ایالت کالیفرنیا آمریکا مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد سیستم‌های برق‌آبی به تغییرات آب و هوایی در حوضه‌های آبریزی که متأثر از ذوب برف است، بسیار حساس است. همچنین نشان دادند در بسیاری از مولدهای شمال و مرکز حوضه سیرا نوادا به علت کاهش رواناب سالانه با کاهش تولید انرژی برق‌آبی همراه است. (Anugrah et al. (2014). با ارزیابی اثرات تغییر آب و هوا بر تولید انرژی سه نیروگاه‌های برق‌آبی کوچک در حوضه رودخانه بایانگ<sup>۴</sup> با استفاده از مدل WEAP و مقایسه نتایج آن با مدل Mock به این نتیجه دست یافتند که تولید انرژی سالانه هر سه نیروگاه مذکور تحت تأثیر تغییرات اقلیمی در حال کاهش است. (Bitar et al. (2015). هشت طرح هیدرولیکی را با پنج سناریوی مختلف برای احداث نیروگاه برق‌آبی در کشور سوریه مورد مطالعه قرار دادند. از میان گزینه‌های مختلف، نیروگاه برق‌آبی کوچک و از میان ۹ ژنراتور موجود نیز ژنراتور مدل 2x2500kw با توجه به هزینه کم، دوره کوتاه‌تر وصول هزینه‌های سرمایه‌گذاری (در حدود ۱۴ سال) و راندمان بیشتر در مقایسه با سایر گزینه‌های موجود انتخاب گردید. (Uamusse et al. (2015). مطالعاتی را با هدف تجزیه و تحلیل نیروگاه برق‌آبی کوچک چوا در کشور موزامبیک و بررسی امکان افزایش تولید انرژی این نیروگاه انجام دادند و در نهایت متوجه شدند که تولید انرژی الکتریسیته در نیروگاه مذکور تا میزان ۵۲ کیلووات قابل افزایش است. (Khosroshahi et al. (2015). با بررسی اثرات فعالیت‌های بالادست رودخانه ارس بر عملکرد نیروگاه برق‌آبی ارس و با مدل‌سازی سیستم ذخیره - تقاضای منابع آب این رودخانه با استفاده از مدل WEAP نشان دادند توسعه بالادست

Cortes and Zambon. (2012) برای بهبود مدیریت و عملکرد انرژی برق‌آبی در نیروگاه برق‌آبی سینوپ<sup>۱</sup> در کشور برزیل، ۲۰ سناریوی مختلف را با استفاده از توسعه مدل HYDRO-OR ارزیابی نموده و نشان دادند که مدل توسعه داده شده برای طراحی و مدیریت مخازن و مطالعات مربوط به نیروگاه‌های برق‌آبی مناسب می‌باشد. (Kun. (2012). وضعیت توسعه نیروگاه‌های برق‌آبی در کشور چین، اهمیت تقدم توسعه انرژی برق‌آبی بر سایر انرژی‌ها را مورد بررسی قرار داد و پیشنهاد داد که باید توسعه و نوسازی نیروگاه‌های برق‌آبی با استفاده از فناوری‌های جدید و به روز در دستور کار قرار گیرد. (Nikolic et al. (2012). با ارائه یک مدل ریاضی برای حل بهینه سیستم تعمیر و نگهداری نیروگاه‌های برق‌آبی با هدف بدست آوردن راندمان بیشینه برای این نیروگاه‌ها نشان دادند این مدل ریاضی می‌تواند روش‌های تعمیر و نگهداری نیروگاه‌های برق‌آبی را کاملاً اصلاح نماید و میزان ایمنی کارکرد نیروگاه را تا ۴۲/۵ درصد افزایش دهد. (2014). Gagliano et al ضمن ارزیابی جنبه‌های اقتصادی و فنی برای بازسازی و استفاده مجدد از نیروگاه برق‌آبی کاتارات در سیسیل ایتالیا، نشان دادند استفاده مجدد از این نیروگاه که سال‌ها متروک و بدون استفاده مانده، منجر به تولید ۲۲۰ مگاوات انرژی الکتریسیته خواهد شد. (Pasalli and Rehiara. (2014). با بررسی پتانسیل برق‌آبی رودخانه هینک<sup>۲</sup> در کشور اندونزی، نشان دادند که این رودخانه دارای پتانسیل تقریبی تولید ۲۹/۵ کیلووات انرژی است که برای احداث نیروگاه برق‌آبی کوچک مناسب است. همچنین پس از بررسی گزینه‌های موجود، نتیجه گرفتند که پتانسیل طراحی نیروگاه برق‌آبی کوچک به ازای دبی ۰/۳ مترمکعب برثانیه و هد آب ۸/۶ متر، معادل ۲۵/۲ کیلووات است با توجه به پتانسیل تقریبی رودخانه مذکور (۲۹/۵ کیلووات)، مناسب است. (2014).

4 – Bitar et al  
 5 – Uamusse et al  
 6 – Khosroshahi et al

2- Sinop Hydropower Plant  
 7 - Hink River  
 1 – Sierra Nevada  
 2 – Anugrah, et.al  
 3 – Bayang River

شبهه سازی آبهای سطحی و زیرزمینی، بهره برداری از مخازن آب، تولید انرژی برق آبی، روندیابی آلودگی، نیازهای اکوسیستم، ارزیابی آسیب پذیری و تحلیل منفعت- هزینه را پوشش دهد.

مزیت اصلی ویپ در رویکرد یکپارچه در شبهه سازی سیستم‌های آبی و جهت‌گیری آن در راستای سیاست‌ها می‌باشد. ویپ در معادلات خود، مسائل مربوط به نیاز (الگوهای مصرف آب، راندمان تجهیزات، استفاده مجدد از آب، هزینه‌ها و تخصیص) را همگام با مسائل مربوط به منابع (جریان‌های سطحی، آبهای زیرزمینی، مخازن و انتقال‌های آب) لحاظ کرده است. کاربردهای مدل ویپ را می‌توان به دو دسته کلی زیر طبقه‌بندی کرد:

۱- شبهه سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی طبیعی مانند رواناب و نفوذ برای فراهم کردن امکان ارزیابی قابلیت استفاده از منابع آب در حوضه آبریز مورد نظر  
۲- شبهه سازی فعالیت‌های انسانی منطبق بر سیستم طبیعی برای اثرگذاری منابع آب و تخصیص آنها (مانند تقاضای آب مصرفی و غیرمصرفی) که ارزیابی اثرات آب مصرفی توسط انسان را ممکن می‌سازد.  
برای استفاده از مدل ویپ لازم است که ابتدا یک سال به عنوان سال پایه در نظر گرفته شود. منظور از سال پایه، سالی است که دارای اطلاعات و آمار کافی و با دقت بالا باشد. سپس مدل با استفاده از اطلاعات سال پایه به ارزیابی تأثیر سناریوهای مختلف برای یک دوره دراز مدت می‌پردازد.

در این پژوهش به منظور انجام محاسبات و تعیین پارامترهای طراحی نیروگاه برق آبی برای سد مخزنی سراب تلخ، فرضیات زیر مدنظر قرار گرفت:

- ۱- از آنجا که نیاز مشخصی از انرژی ماهانه در دسترس نمی‌باشد، بنابراین فرض شده است که این نیاز متناسب با ضریب کارکرد نیروگاه تعریف می‌شود و مقادیر آن برای تمام ماه‌های سال یکسان در نظر گرفته شد.
- ۲- اعتمادپذیری تولید انرژی در نیروگاه، معادل ۹۰ درصد منظور شده است.

در کشور ترکیه باعث کاهش ۳۵ درصدی در میانگین درازمدت جریان ورودی به رودخانه ارس شده و اثرات منفی روی تولید انرژی نیروگاه مذکور دارد.

با توجه به تأکید محققین مختلف بر موضوع استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر نظیر نیروگاه‌های برق آبی، در این تحقیق به ارزیابی پتانسیل برق آبی سد مخزنی سراب تلخ با استفاده از مدل WEAP پرداخته شد. هدف از احداث این سد، تأمین بخشی از نیاز شرب شهر خرم آباد به میزان ۵۵ میلیون مترمکعب در سال و تأمین نیاز صنعت این شهر به میزان ۵ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

سد مخزنی سراب تلخ از نوع خاکی- سنگریزه‌ای در استان لرستان و در ۲۳ کیلومتری شمال شهرستان خرم آباد در مجاورت روستای سراب تلخ واقع شده است. آورد متوسط سالانه رودخانه در محل سد معادل ۲/۴۹ میلیون مترمکعب بوده و مابقی آن از طریق آب انتقالی از رودخانه کاکارضا توسط تونل کاکارضا به طول ۳۱۱۱ متر تأمین می‌گردد. در شکل ۱ موقعیت سد سراب تلخ و در شکل ۲، منحنی حجم - ارتفاع سد مخزنی سراب تلخ نشان داده شده است.

### مدل ویپ

مدل ویپ (مدل برنامه‌ریزی و ارزیابی سیستم منابع آب)<sup>۱</sup> ابزاری کامپیوتری برای برنامه ریزی یکپارچه مدیریت منابع آب است که توسط مؤسسه محیط زیست استکهلم<sup>۲</sup> در کشور سوئد توسعه داده شده است. این مدل بر اساس معادلات پایه بیلان آبی عمل کرده و آن را می‌توان در سیستم‌های شهری و کشاورزی، حوضه های مستقل یا سیستم‌های مستقل یا سیستم‌های مرزی پیچیده به کار گرفت. علاوه بر این، ویپ می‌تواند محدوده گسترده‌ای از مسائل مانند تحلیل نیاز هر بخش، حفاظت آب، حقایقه‌ها و اولویت‌های تخصیص،

2 - Stockholm Environment Institute (SEI)

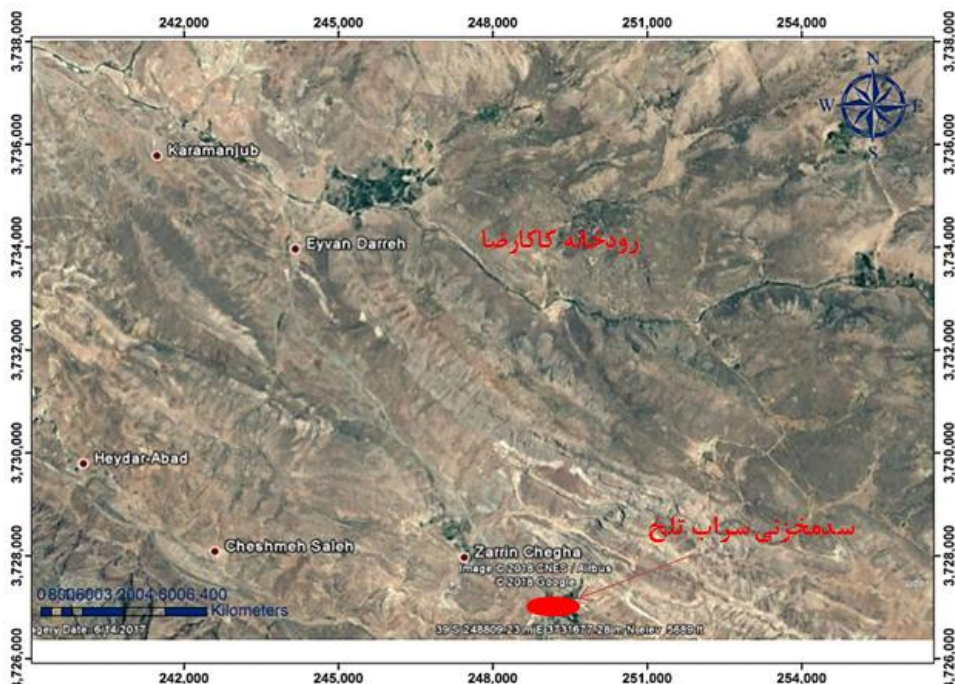
1 - Water Evaluation And Planning System (WEAP)

۱۳۸۹ استفاده گردید (جدول ۱). لازم به ذکر است که ظرفیت انتقال آب از تونل کاکارضا به سد مخزنی سراب تلخ، معادل با ۱۵ مترمکعب بر ثانیه بوده و طول سامانه انتقال آب از بند انحرافی تا سد مخزنی سراب تلخ نیز ۱۲ کیلومتر می‌باشد

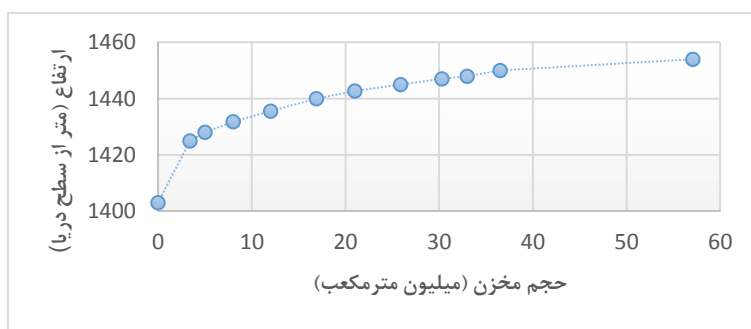
### داده های ورودی به مدل

#### آبدهی رودخانه هررود در ایستگاه کاکارضا

در این پژوهش، از آمار آبدهی رودخانه هررود در ایستگاه کاکارضا از سال آبی ۴۶-۱۳۴۵ تا سال آبی ۹۰-



شکل ۱. نمایی از سد مخزنی سراب تلخ و مؤلفه‌های آن



شکل ۲. منحنی حجم - ارتفاع سد مخزنی سراب تلخ

جدول ۱- توزیع ماهانه و سالانه آبدهی رودخانه هررود در محل ایستگاه هیدرومتری کاکارضا (مترمکعب بر ثانیه)

سال	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه cms	سالانه mcm
۱۳۴۵-۴۶	۰/۳۷	۰/۳۹	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۷	۲/۱۲
۱۳۴۶-۴۷	۰/۳۹	۰/۴۸	۱/۷۷	۲/۰۸	۲/۱۳	۹/۲۹	۱/۱۲	۶/۵۰	۴/۶۴	۱/۰۲	۱/۳۸	۰/۷۴	۲/۶۲	۸۲/۰۱
۱۳۴۷-۴۸	۰/۰۲	۳/۴۴	۲/۹۹	۵/۱۹	۲۷/۶۳	۶۴/۵۲	۹۵/۵۵	۲۷/۶۶	۶/۰۹	۳/۹۰	۲/۴۷	۱/۹۱	۲۰/۲۵	۶۳۶/۰۳
۱۳۴۸-۴۹	۰/۷۶	۱/۳۸	۰/۴۹	۰/۴۰	۱/۵۵	۱/۴۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۵۰	۱۵/۵۶
۱۳۴۹-۵۰	۰/۶۹	۰/۴۱	۰/۸۲	۰/۹۴	۰/۳۹	۱/۴۷	۲/۱۴۲	۱/۱۲۶	۱/۹۹	۱/۴۱	۱/۱۲	۰/۷۳	۴/۶۶	۱۴۶/۸۳
۱۳۵۰-۵۱	۰/۹۹	۱/۵۱	۴/۵۵	۳/۷۹	۴/۳۸	۱۷/۳۳	۲۵/۷۵	۱۶/۴۳	۶/۱۹	۲/۱۳	۱/۹۹	۱/۱۸	۷/۱۹	۲۲۶/۶۵
۱۳۵۱-۵۲	۰/۹۵	۱/۸۴	۳/۰۷	۲/۱۸	۳/۵۷	۱۱/۲۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱۶	۰/۲۵	۰/۳۶	۱/۹۷	۶۰/۳۳
۱۳۵۲-۵۳	۰/۸۹	۰/۹۴	۱/۳۳	۱/۵۷	۲/۲۹	۲۹/۱۶	۳۸/۲۶	۱۰/۶۵	۲/۶۳	۳/۰۴	۲/۳۸	۱/۵۴	۷/۸۹	۲۴۷/۹۷
۱۳۵۳-۵۴	۰/۰۱	۱/۹۲	۳/۰۷	۷/۲۱	۵/۳۵	۲۲/۶۰	۱۳/۰۲	۱۷/۳۱	۴/۸۱	۲/۴۴	۱/۴۸	۱/۱۴	۶/۸۵	۲۱۴/۶۷
۱۳۵۴-۵۵	۰/۰۱	۲/۱۱	۲/۵۴	۱۳/۳۵	۲۵/۶۹	۱۷/۸۱	۴۰/۵۶	۲۹/۰۷	۶/۵۰	۳/۲۱	۲/۷۵	۲/۰۹	۱۲/۳۰	۳۸۸/۳۳
۱۳۵۵-۵۶	۰/۱۳	۱/۱۵	۱/۱۶	۰/۹۹	۱/۶۳	۷/۳۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۲/۳۷	۰/۱۳	۰/۲۵	۰/۳۲	۱/۳۶	۴۱/۸۵
۱۳۵۶-۵۷	۰/۰۲	۷/۵۶	۵/۷۹	۵/۲۳	۶/۵۵	۱۸/۳۷	۳/۶۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۳۶	۰/۱۶	۰/۲۵	۴/۱۳	۱۲۷/۲۲
۱۳۵۷-۵۸	۰/۶۶	۱/۰۰	۲۵/۵۲	۷/۷۶	۱۶/۰۶	۲۳/۳۶	۰/۰۰	۱/۲۰	۴/۴۱	۲/۲۳	۲/۰۴	۱/۵۹	۷/۱۵	۲۲۱/۴۰
۱۳۵۸-۵۹	۱/۴۱	۲/۴۴	۳/۷۹	۴/۵۲	۱۹/۲۶	۳۱/۶۵	۴۶/۳۴	۱۱/۴۷	۴/۲۸	۳/۲۴	۲/۸۱	۱/۹۸	۱۱/۱۰	۳۴۸/۳۹
۱۳۵۹-۶۰	۱/۳۸	۳/۲۹	۵/۶۳	۱۱/۲۱	۲۰/۸۲	۳۲/۸۰	۳۲/۰۵	۱۵/۲۳	۴/۷۰	۲/۳۵	۱/۱۹	۱/۳۴	۱۱/۰۰	۳۴۴/۱۷
۱۳۶۰-۶۱	۲/۵۲	۲/۳۴	۲/۱۰	۱/۸۶	۶/۳۹	۱۴/۹۴	۳۰/۴۳	۱۵/۹۶	۳/۶۷	۲/۱۳	۱/۹۰	۱/۱۲	۷/۱۲	۲۲۴/۱۹
۱۳۶۱-۶۲	۲/۵۹	۴/۴۱	۲/۸۸	۴/۶۲	۴/۹۵	۱۱/۱۳	۱۸/۲۲	۲۳/۳۵	۵/۵۴	۲/۵۳	۱/۸۵	۱/۳۶	۶/۹۵	۲۱۹/۸۸
۱۳۶۲-۶۳	۱/۰۰	۱/۳۱	۲/۴۳	۲/۰۶	۲/۱۵	۱/۲۰	۱/۰۶	۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۴۳	۰/۴۹	۰/۵۴	۱/۱۵	۳۵/۹۳
۱۳۶۳-۶۴	۲/۴۴	۴/۴۷	۱۴/۹۷	۱۱/۱۳	۱۳/۹۵	۱۲/۵۳	۱۳/۸۳	۴/۳۶	۱/۶۷	۱/۶۳	۱/۲۰	۱/۱۰	۶/۹۴	۲۱۶/۸۰
۱۳۶۴-۶۵	۱/۴۳	۱/۶۲	۴/۰۲	۵/۴۱	۶/۴۹	۱۳/۸۵	۲۱/۲۹	۴۳/۹۹	۶/۳۶	۳/۸۵	۲/۲۴	۱/۵۳	۹/۳۴	۲۹۶/۲۲
۱۳۶۵-۶۶	۱/۸۹	۲/۸۱	۴/۲۸	۵/۳۳	۸/۰۰	۲۹/۲۲	۱۹/۹۹	۹/۰۷	۱/۴۱	۱/۴۳	۱/۰۲	۰/۷۲	۷/۱۰	۲۲۱/۱۷
۱۳۶۶-۶۷	۱/۶۳	۱۰/۳۸	۴/۳۸	۱۵/۷۶	۱۳/۴۴	۴۹/۸۷	۲۴/۲۵	۱۵/۶۷	۳/۴۹	۲/۴۵	۱/۸۳	۱/۴۹	۱۲/۰۵	۳۷۴/۸۵
۱۳۶۷-۶۸	۱/۵۹	۲/۳۹	۲/۷۱	۴/۳۴	۵/۳۳	۳۱/۵۳	۲۸/۱۴	۱۳/۵۸	۳/۴۱	۱/۷۳	۱/۲۴	۰/۸۹	۸/۰۸	۲۵۲/۷۵
۱۳۶۸-۶۹	۱/۵۹	۳/۴۵	۸/۷۵	۶/۲۷	۸/۲	۱۹/۶۲	۲۲/۳۷	۶/۲۴	۲/۳۳	۱/۸۵	۱/۱۰	۱/۲۵	۶/۹۲	۲۱۶/۷۱
۱۳۶۹-۷۰	۱/۳۸	۱/۸۲	۱/۵۶	۲/۳۵	۳/۱۹	۱۰/۱۷	۹/۹۵	۰/۰۰	۰/۹۱	۰/۹۵	۰/۴۷	۰/۶۷	۲/۷۸	۸۶/۸۵
۱۳۷۰-۷۱	۱/۴۲	۱/۳۸	۶/۳۲	۴/۴۵	۴/۸۶	۲۹/۲۰	۴۹/۷۸	۵۹/۲۷	۱۲/۰۰	۳/۸۸	۲/۳۰	۱/۹۳	۱۴/۷۳	۴۶۶/۸۸
۱۳۷۱-۷۲	۲/۱۲	۰/۰۰	۸/۵۹	۲۵/۶۸	۲۲/۲۵	۶۷/۳۳	۳۲/۴۴	۴۱/۳۵	۹/۹۸	۴/۳۷	۳/۳۱	۲/۷۸	۱۸/۳۵	۵۷۳/۱۳
۱۳۷۲-۷۳	۲/۶۷	۴/۰۴	۷/۴۵	۱۲/۰۱	۲۱/۶۵	۱۸/۳۶	۱۳/۹۴	۳/۲۷	۱/۹۱	۲/۱۱	۱/۴۵	۱/۳۷	۷/۵۲	۲۳۴/۳۷
۱۳۷۳-۷۴	۳/۲۲	۱۴/۲۲	۴۱/۹۳	۱۹/۰۹	۱۳/۶۵	۱۵/۵۵	۷/۳۵	۱۹/۳۴	۷/۵۰	۲/۶۰	۲/۳۳	۱/۷۰	۱۲/۳۶	۳۸۶/۷۷
۱۳۷۴-۷۵	۲/۰۹	۲/۱۸	۲/۰۳	۲/۶۳	۸/۱۱	۲۶/۴۲	۵۳/۱۷	۲۶/۲۲	۳/۶۵	۲/۴۸	۱/۹۱	۱/۰۹	۱۱/۰۰	۳۴۷/۴۸
۱۳۷۵-۷۶	۱/۶۶	۲/۱۵	۱/۷۸	۲/۴۹	۲/۶۳	۳/۰۹	۱۸/۳۵	۱۲/۳۰	۲/۲۵	۱/۵۱	۰/۹۹	۰/۷۴	۴/۱۶	۱۳۲/۳۲
۱۳۷۶-۷۷	۱/۵۵	۲/۹۷	۳/۲۱	۴/۳۳	۱۲/۸۶	۲۷/۳۷	۵۷/۲۹	۱۱/۰۹	۳/۳۶	۳/۰۵	۲/۲۹	۱/۷۵	۱۰/۹۳	۳۴۴/۳۲
۱۳۷۷-۷۸	۲/۲۴	۲/۲۵	۲/۸۱	۲/۸۰	۳/۹۱	۱۶/۳۵	۳/۳۰	۰/۰۰	۰/۲۵	۰/۴۲	۰/۲۴	۰/۱۵	۲/۸۹	۸۸/۹۵
۱۳۷۸-۷۹	۰/۷۱	۰/۷۳	۱/۴۷	۱/۸۷	۳/۴۹	۷/۰۴	۱۰/۴۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۳۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۲/۱۷	۶۷/۸۸
۱۳۷۹-۸۰	۰/۵۷	۰/۶۴	۷/۳۲	۹/۸۹	۵/۶۷	۱۴/۹۱	۶/۵۲	۰/۰۰	۰/۴۴	۰/۱۰	۰/۰۶	۰/۱۵	۳/۸۶	۱۱۹/۳۱
۱۳۸۰-۸۱	۰/۶۹	۱/۴۸	۶/۷۹	۱۰/۳۰	۶/۳۷	۵/۸۶	۱۲/۴۱	۹/۹۳	۱/۲	۰/۶۵	۰/۸۰	۰/۷۲	۴/۷۷	۱۵۰/۱۵
۱۳۸۱-۸۲	۱/۳۲	۱/۶۴	۱/۸۴	۲/۰۰	۳/۰۶	۷/۷۵	۳/۴۱	۱۰/۲۲	۱/۴۸	۰/۸۱	۰/۳۹	۰/۳۳	۲/۸۵	۸۹/۵۵
۱۳۸۲-۸۳	۰/۸۷	۱/۴۳	۲/۶۷	۱۰/۱۱	۹/۴۸	۸/۰۴	۰/۰۰	۱۲/۵۱	۰/۶۶	۰/۸۸	۰/۶۵	۰/۳۴	۳/۹۷	۱۲۴/۰۹
۱۳۸۳-۸۴	۰/۸۲	۰/۹۰	۲/۳۰	۳/۲۴	۷/۷۳	۵۰/۹۴	۱۴/۴۷	۲/۷۸	۸/۲۰	۱/۰۵	۱/۳۳	۱/۱۲	۷/۹۱	۲۴۴/۲۷
۱۳۸۴-۸۵	۱/۴۲	۲/۷۸	۳/۱۰	۴/۱۵	۳۲/۸۵	۴۰/۸۷	۸/۸۹	۶/۶۴	۰/۶۴	۲/۰۱	۱/۸۳	۱/۵۸	۸/۹۰	۲۷۵/۰۵
۱۳۸۵-۸۶	۱/۵۲	۸/۳۵	۴/۷۱	۵/۵۷	۱۱/۵۶	۱۲/۵۵	۳۷/۲۹	۳۰/۳۵	۶/۳۳	۱/۴۰	۱/۱۷	۱/۵۹	۱۰/۲۰	۳۲۲/۹۲
۱۳۸۶-۸۷	۳/۱۸	۳/۴۵	۹/۱۴	۶/۰۹	۷/۶۵	۱۵/۷۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۸۱	۰/۳۳	۰/۵۹	۳/۹۱	۱۲۰/۴۳
۱۳۸۷-۸۸	۱/۰۹	۲/۶۰	۵/۶۷	۲/۳۰	۴/۰۸	۳/۷۴	۰/۰۹	۱/۷۷	۰/۰۰	۰/۲۹	۰/۰۰	۰/۰۹	۱/۸۱	۵۶/۲۰
۱۳۸۸-۸۹	۰/۷۶	۳/۶۷	۶/۹۱	۱۵/۶۴	۹/۸۵	۱۶/۸۶	۲/۰۲	۱۵/۴۰	۱/۷۰	۱/۲۱	۰/۵۴	۰/۶۱	۶/۳۶	۱۹۵/۲۴
۱۳۸۹-۹۰	۱/۱۹	۱/۶۰	۲/۶۰	۳/۰۵	۴/۴۶	۱۶/۳۹	۲۰/۲۹	۱۳/۴۴	۴/۹۶	۱/۲۴	۱/۳۸	۰/۵۶	۵/۹۲	۱۸۶/۴۱
میانگین	۱/۴۶	۲/۷۴	۵/۳۲	۶/۰۷	۹/۰۱	۲۰/۰۰	۱۹/۱۰	۱۲/۳۳	۳/۲۰	۱/۶۸	۱/۲۶	۱/۰۰	۶/۹۳	۲۱۷/۲۳
بیشینه	۳/۲۲	۱۴/۲۲	۴۱/۹۳	۲۵/۶۸	۳۲/۸۵	۶۷/۳۳	۹۵/۵۵	۵۹/۲۷	۱۲/۰۰	۴/۳۷	۳/۳۱	۲/۷۸	۲۰/۲۵	۶۳۶/۰۳
کمینه	۰/۳۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۷	۲/۱۲

آبی ۹۰-۱۳۸۹؛ در حدود ۲۱۷/۲۳ میلیون مترمکعب (معادل با ۶/۹۳ مترمکعب بر ثانیه) می باشد که بیشترین مقدار آن معادل ۲۰/۲۵ مترمکعب در ثانیه و

با توجه به جدول فوق، ملاحظه می شود که متوسط آبدهی رودخانه هررود در محل ایستگاه کاکارضا در یک دوره آماری ۴۵ ساله؛ از سال آبی ۱۳۴۵-۴۶ تا سال

۳- ضریب خود همبستگی مرتبه اول سری بدون روند  $X_t$  با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$r_k = \frac{\frac{1}{n-k} \sum_{t=1}^{n-k} [X'_t - E(X'_t)][X_{t+k} - E(X'_t)]}{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n [X'_t - E(X'_t)]^2}$$

$$E(X'_t) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n X'_t$$

(۳)

در رابطه بالا،  $r_k$  ضریب خود همبستگی مرتبه اول سری بدون روند  $X'_t$  و  $E(X'_t)$  میانگین داده‌های نمونه می‌باشد.

۴- پس از محاسبه ضریب خود همبستگی با مرتبه اول، خود همبستگی مرتبه اول  $AR(1)$  با استفاده از رابطه زیر حذف می‌گردد.

$$Y'_t = X'_t - r_1 X'_{t-1} \quad (4)$$

این روش پیش سفید کردن پس از حذف روند از سری-ها، روش پیش سفید کردن بدون روند نامیده می‌شود (TFPW). سری باقیمانده‌ها پس از انجام روش TFPW، یک سری مستقل می‌باشد.

۵- روند شناخته شده  $T_t$  و سری باقیمانده‌ها  $Y'_t$  به صورت رابطه زیر با هم ترکیب می‌شوند. بدیهی است که سری حاصل  $Y_t$  روند واقعی را حفظ نموده و اثر ضریب خود همبستگی نیز حذف خواهد شد.

$$Y_t = Y'_t + T_t \quad (5)$$

در مرحله بعد، به منظور ارزیابی روند تغییرات آبدی رودخانه هررود در محل ایستگاه هیدرومتری کاکارضا، سری زمانی طبیعی شده از آمار ایستگاه کاکارضا، تحت آزمون تشخیص روند قرار گرفت. بدین منظور از آزمون ناپارامتریک گرافیکی من - کندال به شرح زیر استفاده گردید:

در این روش، جهت شناسایی روندهای جزئی و کوتاه مدت، نقاط جهش و نقاط شروع روند، از نمودار سری زمانی بر حسب مقادیر  $U(t)$  و  $U^*(t)$  استفاده می‌گردد. به طور کلی، برای محاسبه این آزمون، ۱۲ مرحله محاسباتی وجود دارد که از این تعداد، ۶ مرحله برای محاسبه  $U(t)$  و ۶ مرحله برای محاسبه  $U^*(t)$  مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در سال آبی ۴۸-۱۳۴۷ و کمترین مقدار آن معادل ۰/۰۷ مترمکعب در ثانیه و در سال آبی ۴۶-۱۳۴۵ اتفاق افتاده است.

بررسی روند تغییرات سری زمانی آبدی رودخانه هررود در محل ایستگاه هیدرومتری کاکارضا

در این پژوهش، روند تغییرات سری زمانی آبدی رودخانه هررود در محل ایستگاه هیدرومتری کاکارضا با استفاده از آزمون غیر پارامتریک من - کندال (MN)<sup>۱</sup> مورد ارزیابی قرار گرفت. شرط لازم برای استفاده از این آزمون، مستقل بودن داده‌ها و عدم وجود ضریب خود همبستگی معنی‌دار در سری زمانی داده‌ها می‌باشد. بنابراین در این پژوهش ابتدا با استفاده از روش TFPW<sup>۲</sup>، اثر تمام ضرایب خود همبستگی معنی‌دار از داده‌های موجود حذف و سپس آزمون من - کندال (MN) بر روی داده‌ها انجام شد. این روش، اصطلاحاً روش TFPW-MN نامیده می‌شود. روش TFPW-MN جهت شناسایی روند در یک سری زمانی دارای خود همبستگی توسط Yue et al. (2003, 2015) به صورت زیر ارائه گردید.

پیش سفید کردن با حذف فرآیند روند (TFPW)

۱- برای انجام فرآیند پیش سفید کردن، ابتدا شیب روند داده‌های مورد استفاده با استفاده از روش تیل - سن (TSA)<sup>۳</sup> به صورت رابطه زیر محاسبه می‌گردد (Partal and Kahya, 2011):

$$b = \text{Median} \left( \frac{x_j - x_i}{j - i} \right) \quad i < j$$

که در آن  $b$  برآوردگر شیب خط روند بوده و مقادیر مثبت  $b$  نشان دهنده روند افزایشی و مقادیر منفی آن نشان دهنده روند کاهشی می‌باشند.

۲- اگر شیب تقریباً برابر با صفر باشد، آن‌گاه نیازی به انجام ادامه محاسبات نیست. اما اگر مقدار شیب مخالف صفر باشد، روند داده‌ها به صورت خطی فرض شده و داده‌های مورد استفاده با توجه به رابطه زیر بدون روند می‌گردند (Sen., 1968).

$$X'_t = X_t - T_t = X_t - bt \quad (2)$$

<sup>4</sup> - Theil - Sen Approach (TSA)

1 - Man-Kendall

2 - Trend Free Pre Whitening

۲- اگر دو دنباله  $U$  و  $U'$  تقریباً به صورت موازی به هم حرکت کرده یا چند بار یکدیگر را بدون تغییر جهت قطع نمایند، روند وجود نخواهد داشت.

#### انتخاب نوع توربین

یکی از مهم‌ترین مراحل احداث نیروگاه برق‌آبی، انتخاب نوع توربین است. عملکرد توربین به دبی و هد جریان آب وابسته است که در صورت مشخص بودن این دو پارامتر، با استفاده از شکل زیر، می‌توان توربین مناسب جهت نصب در نیروگاه را انتخاب نمود.

#### صحت سنجی

برای صحت سنجی مدل می‌توان از مقایسه دبی‌های شبیه‌سازی و دبی‌های مشاهده‌ای در هر نقطه از مدل استفاده نمود. برای این امر، ابتدا براساس داده‌های واقعی جریان رودخانه هررود، متوسط دبی‌های ماهانه چندین سال اخیر برای ایستگاه کاکارضا محاسبه شده و به عنوان داده‌های اندازه‌گیری شده وارد مدل شد. در مرحله بعد برای بدست آوردن دبی‌های شبیه‌سازی شده، یک ایستگاه اندازه‌گیری در مدل ویپ به نام گره اندازه‌گیری جریان بر روی رودخانه در نزدیکی ایستگاه کاکارضا قرار داده شد. سپس در همین مکان دبی‌های شبیه‌سازی شده از مدل ویپ استخراج گردید. در این تحقیق، مقدار ضریب تبیین ( $R^2$ ) برای دبی‌های اندازه‌گیری شده و دبی‌های شبیه‌سازی شده برابر با ۰/۹۹ حاصل شد (شکل ۴) که همبستگی بالایی را نشان می‌دهد.

مراحل انجام آزمون گرافیکی من - کندال به شرح زیر می‌باشد:

**مرحله اول:** تعیین رتبه بندی برای متغیرها (rank)  
**مرحله دوم:** تعداد اعداد بزرگتر از هر رتبه به طرف ردیف‌های بالاتر از خود محاسبه می‌گردد. این مرحله،  $t_i$  نامیده می‌شود.

**مرحله سوم:** محاسبه  $E_i$ :

$$E_i = \frac{\text{Row} * (\text{Row} - 1)}{4}$$

**مرحله چهارم:** محاسبه واریانس داده‌ها از رابطه زیر:

$$V_i = \frac{(\text{Row} * (\text{Row} - 1)) * ((2 * \text{Row}) + 5)}{72}$$

**مرحله پنجم:** تعیین تراکم تجمعی هر مرحله ( $Z(t_i)$ )

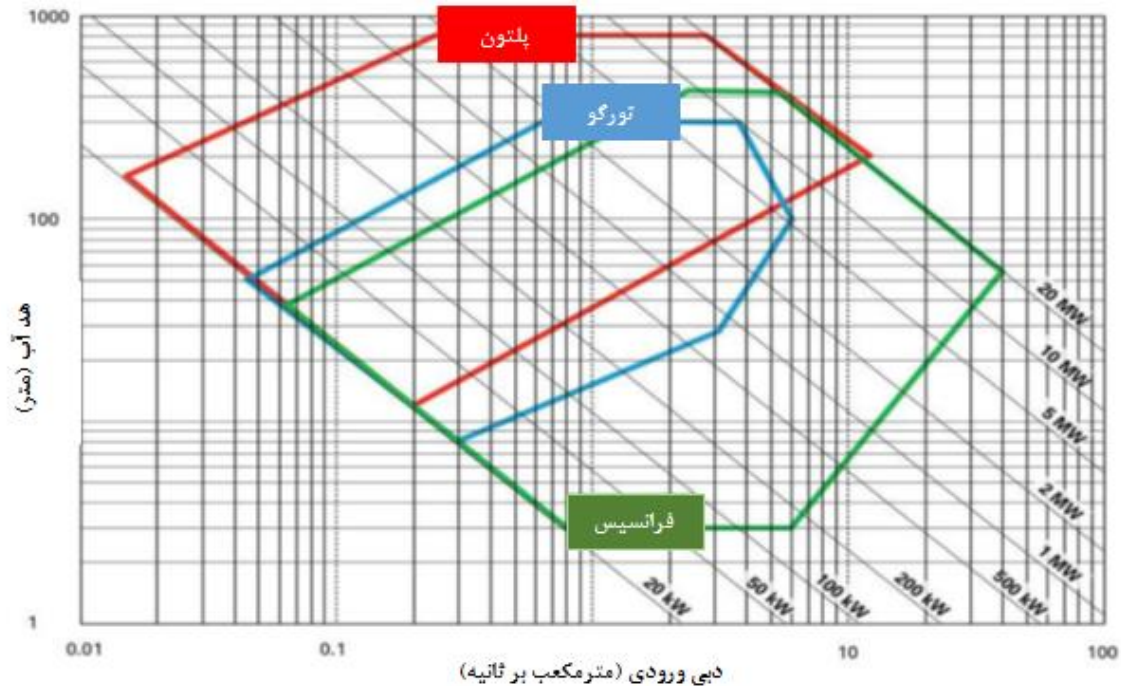
**مرحله ششم:** محاسبه  $U(t)$  از رابطه زیر:

$$U(t) = \frac{(Z(t_i) - E_i)}{V_i^{0.5}}$$

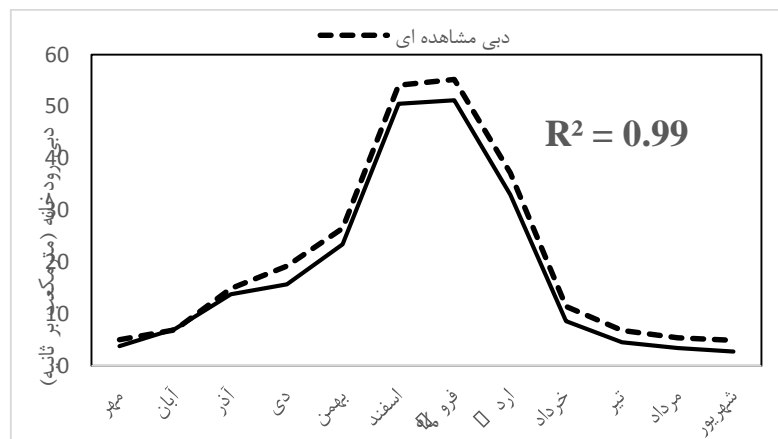
تا پایان مرحله ششم،  $U(t)$  بدست می‌آید. حال برای محاسبه  $U'(t)$ ، ابتدا داده‌های موجود را به شکل وارونه مرتب نموده و سپس مراحل فوق را تکرار می‌کنیم. در نهایت پس از محاسبه  $U(t)$  و  $U'(t)$ ، آنها را در قالب یک نمودار نمایش می‌دهیم. در این حالت:

۱- اگر دو دنباله  $U$  و  $U'$  همدیگر را در خارج از محدوده  $\pm 1/96$  قطع نموده و در خلاف جهت یکدیگر حرکت نمایند، روند معنادار بین آنها وجود خواهد داشت. در این وضعیت، به نقطه برخورد  $U$  و  $U'$ ، نقطه جهش گفته می‌شود.





شکل ۳- انتخاب توربین مناسب با توجه به دبی و هد جریان آب (Uamusse.,2015)



شکل ۴- تغییرات ماهانه دبی جریان در شرایط واقعی و مدل (مترمکعب بر ثانیه)

نیازهای شرب و صنعت شهر خرم آباد نیز محاسبه شده و نتایج حاصل از آن ارائه گردید.

### نتایج و بحث

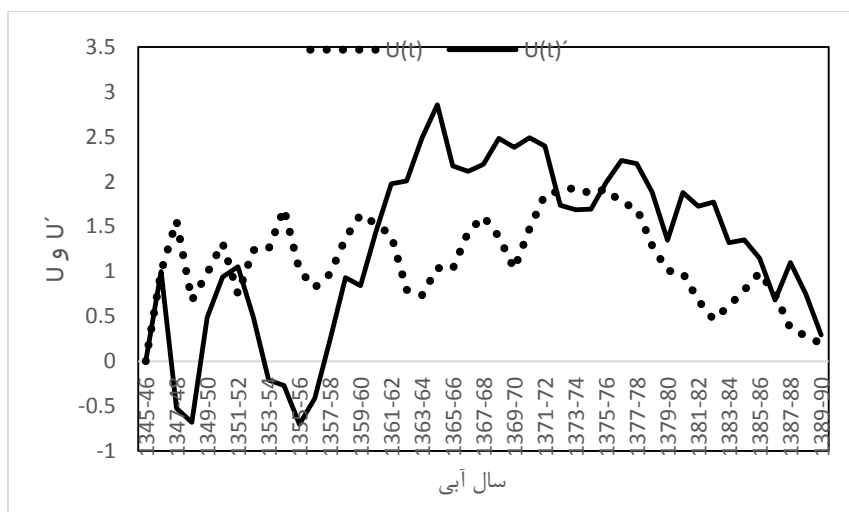
در این پژوهش از آمار آبدهی رودخانه هررود در محل ایستگاه هیدرومتری کاکارضا برای یک دوره دراز مدت ۴۵ ساله؛ از سال آبی ۴۶-۱۳۴۵ تا سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ استفاده گردید. همچنین با توجه به توضیحات ارائه شده در قسمت‌های قبل، سال آبی ۴۶-۱۳۴۵ به عنوان سال پایه انتخاب شد. مدل با استفاده از اطلاعات

### سناریوهای موجود

در این پژوهش به منظور تعیین پارامترهای طراحی نیروگاه، ۶ رقوم مرده مختلف (از رقوم ۱۴۲۰ تا رقوم ۱۴۲۵ متر از سطح دریا)، ۶ رقوم نرمال مختلف (از رقوم ۱۴۴۵ تا رقوم ۱۴۵۰ متر از سطح دریا) و ۳ ضریب کارکرد مختلف (شامل ضرایب ۱۵، ۲۵ و ۳۵ درصد) در نظر گرفته شد. به بیان دیگر، در این پژوهش ۱۰۸ سناریوی مختلف مد نظر قرار گرفت. علاوه بر این، در هر یک از رقوم مرده و نرمال مذکور، درصد تأمین

یکدیگر را قطع نمی‌کنند، لذا می‌توان نتیجه گرفت که سری آماری مذکور تصادفی بوده و روند خاصی نمی‌توان برای آن تصور نمود. همچنین نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی پتانسیل برق آبی سد مخزنی سراب تلخ در جداول ۲ تا ۴ ارائه شده‌اند.

این سال، به بررسی تأثیر سناریوهای مختلف برای یک دوره درازمدت ۴۵ ساله پرداخت. نتایج آزمون روند برای سری زمانی آینده رودخانه هررود در محل ایستگاه هیدرومتری کاکارضا برای یک دوره آماری ۴۵ ساله، از سال آبی ۴۶-۱۳۴۵ تا سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ در شکل ۵ نشان داده شد. همان طور که ملاحظه می‌گردد، در این شکل نمودارهای  $U$  و  $U'$  در خارج از محدوده  $\pm 1/96$



شکل ۵- تغییرات مؤلفه‌های  $U$  و  $U'$  آبدهی سالانه حوضه آبریز کاکارضا

جدول ۲- نوسانات ماهانه متوسط ظرفیت نصب (مگاوات) و انرژی تولیدی (مگاوات ساعت) به ازای رقوم مرده و نرمال مختلف و ضریب کارکرد ۱۵ درصد

رقوم مرده	۱۴۲۰	۱۴۲۱	۱۴۲۲	۱۴۲۳	۱۴۲۴	۱۴۲۵	
۱۴۴۵	۰/۱۱۳۰۸	۰/۱۱۳۰۹	۰/۱۱۳۱۰	۰/۱۱۳۱۱	۰/۱۱۳۱۲	۰/۱۱۳۱۱	P(MW)
	۸۲/۵۹۲	۸۲/۶۱۱	۸۲/۶۱۴	۸۲/۶۱۹	۸۲/۶۲۷	۸۲/۶۲۶	E(MWH)
۱۴۴۶	۰/۱۱۵۲۹	۰/۱۱۵۳۰	۰/۱۱۵۳۱	۰/۱۱۵۳۲	۰/۱۱۵۳۳	۰/۱۱۵۳۲	P(MW)
	۸۴/۲۲۳	۸۴/۲۲۷	۸۴/۲۳۸	۸۴/۲۳۸	۸۴/۲۴۱	۸۴/۲۳۹	E(MWH)
۱۴۴۷	۰/۱۱۷۴۹	۰/۱۱۷۵۰	۰/۱۱۷۵۱	۰/۱۱۷۵۲	۰/۱۱۷۵۳	۰/۱۱۷۵۲	P(MW)
	۸۵/۸۳۱	۸۵/۸۳۵	۸۵/۸۴۱	۸۵/۸۴۸	۸۵/۸۵۴	۸۵/۸۵۲	E(MWH)
رقوم نرمال	۰/۱۱۸۶۰	۰/۱۱۹۷۰	۰/۱۱۹۷۱	۰/۱۱۹۷۳	۰/۱۱۹۷۴	۰/۱۱۹۷۳	P(MW)
	۸۶/۶۱۹	۸۷/۴۳۵	۸۷/۴۴۶	۸۷/۴۵۷	۸۷/۴۶۸	۸۷/۴۶۰	E(MWH)
۱۴۴۹	۰/۱۲۱۹۵	۰/۱۲۱۹۶	۰/۱۲۱۹۶	۰/۱۲۱۹۷	۰/۱۲۱۹۸	۰/۱۲۱۹۷	P(MW)
	۸۹/۰۸۲	۸۹/۰۸۷	۸۹/۰۹۲	۸۹/۰۹۸	۸۹/۱۰۰	۸۹/۱۰۳	E(MWH)
۱۴۵۰	۰/۱۲۴۱۶	۰/۱۲۴۱۸	۰/۱۲۴۱۸	۰/۱۲۴۱۸	۰/۱۲۴۲۰	۰/۱۲۴۱۹	P(MW)
	۹۰/۷۰۱	۹۰/۷۱۲	۹۰/۷۱۳	۹۰/۷۱۳	۹۰/۷۲۵	۹۰/۷۲۱	E(MWH)

جدول ۳- نوسانات ماهانه متوسط ظرفیت نصب (مگاوات) و انرژی تولیدی (مگاوات ساعت) به ازای رقوم مرده و نرمال مختلف و ضریب کارکرد ۲۵ درصد

رقوم مرده	۱۴۲۰	۱۴۲۱	۱۴۲۲	۱۴۲۳	۱۴۲۴	۱۴۲۵
رقوم نرمال	۰/۱۸۷۱۵	۰/۱۸۸۴۸	۰/۱۸۸۴۹	۰/۱۸۸۵۰	۰/۱۸۸۵۳	۰/۱۸۸۵۲
	P(MW)					
	۱۴۴۵					
	۱۳۷/۶۷۷	۱۳۷/۶۸۴	۱۳۷/۶۹۹	۱۳۷/۷۱۲	۱۳۷/۷۱۹	۱۳۷/۷۱۰
	E(MWH)					
	۰/۱۹۲۱۷	۰/۱۹۲۱۸	۰/۱۹۲۱۹	۰/۱۹۲۲۰	۰/۱۹۲۲۲	۰/۱۹۲۲۱
	P(MW)					
	۱۴۴۶					
	۱۴۰/۳۷۶	۱۴۰/۳۸۳	۱۴۰/۳۹۶	۱۴۰/۳۹۹	۱۴۰/۴۱۳	۱۴۰/۴۰۲
	E(MWH)					
	۰/۱۹۵۷۸	۰/۱۹۵۸۰	۰/۱۹۵۸۳	۰/۱۹۵۸۴	۰/۱۹۵۸۹	۰/۱۹۵۸۸
	P(MW)					
۱۴۴۷						
۱۴۳/۰۱۲	۱۴۳/۰۲۲	۱۴۳/۰۵۱	۱۴۳/۰۵۹	۱۴۳/۰۹	۱۴۳/۰۸۶	
E(MWH)						
۰/۱۹۹۴۹	۰/۱۹۹۵۱	۰/۱۹۹۵۲	۰/۱۹۹۵۳	۰/۱۹۹۵۵	۰/۱۹۹۵۴	
P(MW)						
۱۴۴۸						
۱۴۵/۷۲۷	۱۴۵/۷۳۵	۱۴۵/۷۴۴	۱۴۵/۷۵۳	۱۴۵/۷۶۶	۱۴۵/۷۶۲	
E(MWH)						
۰/۲۰۳۲۴	۰/۲۰۳۲۶	۰/۲۰۳۲۷	۰/۲۰۳۲۸	۰/۲۰۳۳۰	۰/۲۰۳۲۹	
P(MW)						
۱۴۴۹						
۱۴۸/۴۶۸	۱۴۸/۴۷۷	۱۴۸/۴۸۵	۱۴۸/۴۹۴	۱۴۸/۵۰۹	۱۴۸/۵۰۴	
E(MWH)						
۰/۲۰۶۸۷	۰/۲۰۶۸۹	۰/۲۰۶۹۴	۰/۲۰۶۹۵	۰/۲۰۷۰۵	۰/۲۰۶۹۹	
P(MW)						
۱۴۵۰						
E(MWH)	۱۵۱/۱۶	۱۵۱/۱۳۱	۱۵۱/۱۶۷	۱۵۱/۱۷۷	۱۵۱/۲۴۹	۱۵۱/۲

جدول ۴- نوسانات ماهانه متوسط ظرفیت نصب (مگاوات) و انرژی تولیدی (مگاوات ساعت) به ازای رقوم مرده و نرمال مختلف و ضریب کارکرد ۳۵ درصد

رقوم مرده	۱۴۲۰	۱۴۲۱	۱۴۲۲	۱۴۲۳	۱۴۲۴	۱۴۲۵
رقوم نرمال	۰/۲۶۳۸۶	۰/۲۶۳۸۸	۰/۲۶۳۹۱	۰/۲۶۳۹۳	۰/۲۶۳۹۵	۰/۲۶۳۹۳
	P(MW)					
	۱۴۴۵					
	۱۹۲/۷۴۸	۱۹۲/۷۵۸	۱۹۲/۷۸۰	۱۹۲/۷۹۴	۱۹۲/۸۰۶	۱۹۲/۷۹۷
	E(MWH)					
	۰/۲۶۹۲۸	۰/۲۶۹۳۰	۰/۲۶۹۰۵	۰/۲۶۹۰۸	۰/۲۶۹۱۱	۰/۲۶۹۰۹
	P(MW)					
	۱۴۴۶					
	۱۹۶/۵۱۴	۱۹۶/۵۱۹	۱۹۶/۵۳۳	۱۹۶/۵۵۴	۱۹۶/۵۷۸	۱۹۲/۵۶۳
	E(MWH)					
	۰/۲۷۴۱۶	۰/۲۷۴۱۹	۰/۲۷۴۲۱	۰/۲۷۴۲۲	۰/۲۷۴۲۵	۰/۲۷۴۲۳
	P(MW)					
۱۴۴۷						
۲۰۰/۲۷۲	۲۰۰/۲۹۴	۲۰۰/۳۰۸	۲۰۰/۳۱۱	۲۰۰/۳۲۶	۲۰۰/۳۲۱	
E(MWH)						
۰/۲۷۹۲۹	۰/۲۷۹۳۱	۰/۲۷۹۳۲	۰/۲۷۹۳۴	۰/۲۷۹۳۷	۰/۲۷۹۳۵	
P(MW)						
۱۴۴۸						
۲۰۴/۰۱۷	۲۰۴/۰۲۸	۲۰۴/۰۴۰	۲۰۴/۰۵۵	۲۰۴/۰۷۲	۲۰۴/۰۶۵	
E(MWH)						
۰/۲۸۴۵۴	۰/۲۸۴۵۶	۰/۲۸۴۵۷	۰/۲۸۴۶۰	۰/۲۸۴۶۳	۰/۲۸۴۶۱	
P(MW)						
۱۴۴۹						
۲۰۷/۸۵۵	۲۰۷/۸۶۸	۲۰۷/۸۷۹	۲۰۷/۸۹۲	۲۰۷/۹۱۰	۲۰۷/۹۰۴	
E(MWH)						
۰/۲۸۹۷۱	۰/۲۸۹۷۱	۰/۲۸۹۷۳	۰/۲۸۹۷۵	۰/۲۸۹۷۸	۰/۲۸۹۷۶	
P(MW)						
۱۴۵۰						
E(MWH)	۲۱۱/۶۲۹	۲۱۱/۶۳۵	۲۱۱/۶۴۸	۲۱۱/۶۶۳	۲۱۱/۶۷۸	۲۱۱/۶۷۲

جدول ۵- نتایج شبیه‌سازی تأمین نیازهای شرب و صنعت خرم آباد به ازای رقوم مرده و نرمال مختلف

رقوم مرده	رقوم نرمال											
	۱۴۴۵		۱۴۴۶		۱۴۴۷		۱۴۴۸		۱۴۴۹		۱۴۵۰	
	شرب	صنعت	شرب	صنعت	شرب	صنعت	شرب	صنعت	شرب	صنعت	شرب	صنعت
۱۴۲۰	۹۰/۳۶	۸۹/۹۲	۹۰/۳۷	۸۹/۹۳	۹۰/۳۹	۸۹/۹۵	۹۰/۴۴	۹۰	۹۰/۵۳	۹۰/۰۸	۹۰/۶۵	۹۰/۱۹
۱۴۲۱	۹۰/۳۳	۸۹/۸۸	۹۰/۳۵	۸۹/۸۸	۹۰/۳۸	۸۹/۹۱	۹۰/۴۳	۸۹/۹۶	۹۰/۴۸	۹۰/۰۵	۹۰/۶۳	۹۰/۱۷
۱۴۲۲	۹۰/۳۳	۸۹/۸۶	۹۰/۳۳	۸۹/۸۷	۹۰/۳۴	۸۹/۸۹	۹۰/۴	۸۹/۹۵	۹۰/۴۷	۹۰/۰۴	۹۰/۶۱	۹۰/۱۳
۱۴۲۳	۹۰/۳	۸۹/۸۵	۹۰/۳۱	۸۹/۸۵	۹۰/۳۴	۸۹/۸۸	۹۰/۳۸	۸۹/۹۳	۹۰/۴۵	۹۰/۰۲	۹۰/۵۸	۹۰/۱۲
۱۴۲۴	۹۰/۲۸	۸۹/۸۱	۹۰/۲۸	۸۹/۸۲	۹۰/۳۱	۸۹/۸۶	۹۰/۳۶	۸۹/۹	۹۰/۴۴	۹۰	۹۰/۵۶	۹۰/۱۰
۱۴۲۵	۹۰/۲۲	۸۹/۷۷	۹۰/۲۳	۸۹/۷۸	۹۰/۲۶	۸۹/۸۲	۹۰/۳۱	۸۹/۸۵	۹۰/۴	۸۹/۹۶	۹۰/۵۱	۹۰/۰۵

در جدول ۵، نتایج شبیه‌سازی تأمین نیازهای شرب و صنعت شهر خرم آباد به ازای رقوم مرده و نرمال مختلف نشان داده شده است. با توجه به نتایج ارائه شده در جداول ۲ تا ۴، مشاهده می‌شود که با افزایش رقوم نرمال و ضریب کارکرد، میزان ظرفیت نصب و انرژی تولیدی نیز افزایش می‌یابد. نوسانات ماهانه متوسط ظرفیت نصب از ۰/۱۳۳ تا ۰/۲۹ مگاوات و نوسانات ماهانه متوسط انرژی تولیدی از ۸۲/۵۹ تا ۲۱۱/۶۸ مگاوات ساعت در یک دوره زمانی درازمدت ۴۵ ساله می‌باشد. همچنین با توجه به نتایج بدست آمده در جدول ۵، ملاحظه می‌گردد که با افزایش رقوم نرمال، درصد تأمین نیز افزایش یافته است. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش مشاهده می‌گردد که:

❖ با افزایش رقوم مرده از ۱۴۲۰ به ۱۴۲۴ متر از سطح دریا، ظرفیت نصب و انرژی تولیدی افزایش می‌یابد. اما در رقوم ۱۴۲۵ متر از سطح دریا، ظرفیت نصب و انرژی تولیدی کاهش اندکی را نشان می‌دهد. در تبیین این نتایج میتوان بیان نمود با افزایش رقوم مرده بهره برداری نیروگاه به ازای یک رقوم نرمال ثابت، حجم فعال مخزن کاهش یافته که این امر موجب کاهش جریان تنظیمی شده و به تبع آن، ظرفیت نصب و انرژی تولیدی نیروگاه کاهش خواهد یافت.

❖ با افزایش رقوم مرده از ۱۴۲۰ به ۱۴۲۴ متر از سطح دریا، ظرفیت نصب و انرژی تولیدی افزایش می‌یابد. اما در رقوم ۱۴۲۵ متر از سطح دریا، ظرفیت نصب و انرژی تولیدی کاهش اندکی را نشان می‌دهد. در تبیین این نتایج میتوان بیان نمود با افزایش رقوم مرده بهره برداری نیروگاه به ازای یک رقوم نرمال ثابت، حجم فعال مخزن کاهش یافته که این امر موجب کاهش جریان تنظیمی شده و به تبع آن، ظرفیت نصب و انرژی تولیدی نیروگاه کاهش خواهد یافت.

❖ با افزایش رقوم نرمال از ۱۴۴۵ تا ۱۴۵۰ متر از سطح دریا، متوسط ماهانه ظرفیت نصب نیروگاه هم افزایش می‌یابد و بیشترین مقدار ظرفیت نصب به میزان

۰/۲۹ مگاوات، در رقوم ۱۴۵۰ متر تولید می‌گردد. بنابراین رقوم ۱۴۲۴ متر از سطح دریا به عنوان تراز مرده بهینه و رقوم ۱۴۵۰ متر از سطح دریا نیز به عنوان رقوم نرمال بهینه انتخاب شد.

❖ با افزایش ضریب کارکرد از ۱۵ درصد به ۳۵ درصد، میزان متوسط ماهانه ظرفیت نصب و انرژی تولیدی حدود ۲/۵ برابر افزایش یافته و بیشترین میزان انرژی در ضریب کارکرد ۳۵ درصد تولید شده است. لذا ضریب کارکرد ۳۵ درصد به عنوان ضریب کارکرد بهینه انتخاب شد. همچنین نوسانات ماهانه ظرفیت نصب نیروگاه نیز افزایش می‌یابد به گونه‌ای که در ضریب کارکرد ۱۵ درصد، نوسانات ماهانه ظرفیت نصب حدود ۰/۱۱ مگاوات است و در ضریب کارکرد ۳۵ درصد، این مقدار به ۰/۲۶ مگاوات رسیده است.

❖ با افزایش رقوم مرده از ۱۴۲۰ به ۱۴۲۴ متر از سطح دریا، ظرفیت نصب و انرژی تولیدی افزایش می‌یابد. اما در رقوم ۱۴۲۵ متر از سطح دریا، ظرفیت نصب و انرژی تولیدی کاهش اندکی را نشان می‌دهد. در تبیین این نتایج میتوان بیان نمود با افزایش رقوم مرده بهره برداری نیروگاه به ازای یک رقوم نرمال ثابت، حجم فعال مخزن کاهش یافته که این امر موجب کاهش جریان تنظیمی شده و به تبع آن، ظرفیت نصب و انرژی تولیدی نیروگاه کاهش خواهد یافت.

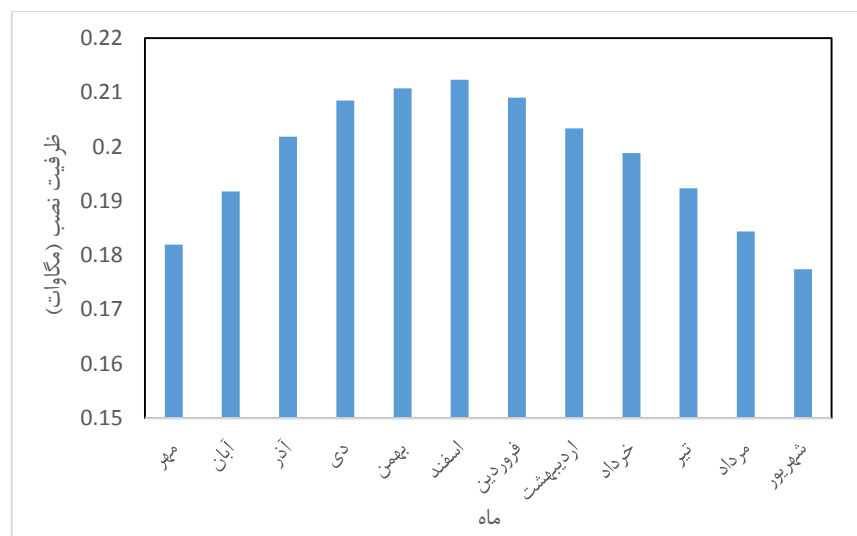
دریا است، در رقوم نرمال ۱۴۵۰ متر از سطح دریا، درصد تأمین نیاز شرب معادل ۹۰/۵۱ درصد و درصد تأمین نیاز صنعت نیز معادل ۹۰/۰۵ درصد می‌باشد. بنابراین، با در نظر گرفتن حجم رسوبات ۵۰ ساله، گزینه احداث سد مخزنی سراب تلخ در رقوم مرده ۱۴۲۵ متر از سطح دریا و رقوم نرمال ۱۴۵۰ متر از سطح دریا، پاسخگوی نیازهای شرب و صنعت شهر خرم آباد می‌باشد.

در شکل‌های ۶ و ۷، به ترتیب نوسانات ماهانه ظرفیت نصب و انرژی تولیدی در یک بازه زمانی دراز مدت ۴۵ ساله به ازای ضریب کارکرد ۳۵ درصد نشان داده است.

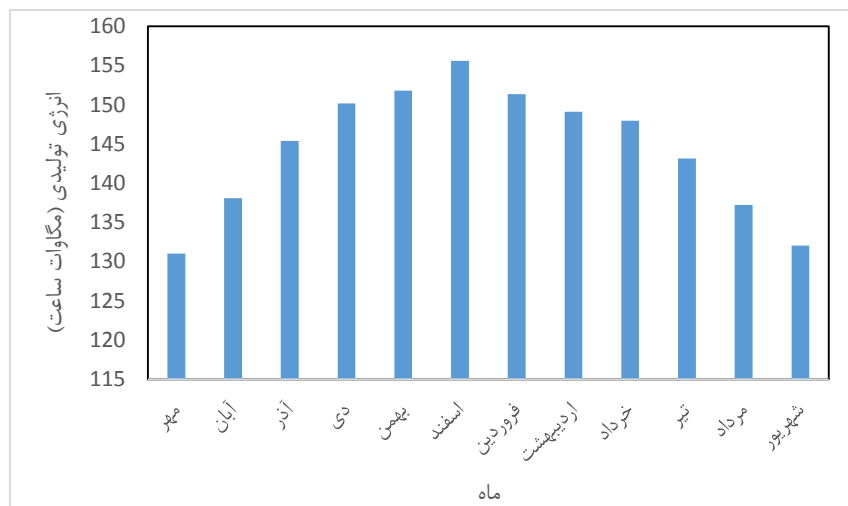
سطح دریا) تا ۹۰/۶۵ درصد (به ازای رقوم مرده ۱۴۲۰ و رقوم نرمال ۱۴۵۰ متر از سطح دریا) و درصد تأمین نیاز صنعت این شهر نیز از ۸۹/۷۷ درصد (به ازای رقوم مرده ۱۴۲۵ و رقوم نرمال ۱۴۴۵ متر از سطح دریا) تا ۹۰/۲۰ درصد (به ازای رقوم مرده ۱۴۲۰ و رقوم نرمال ۱۴۵۰ متر از سطح دریا) در یک بازه زمانی درازمدت ۴۵ ساله در نوسان می‌باشند. لذا، مشاهده می‌شود که در سناریوهای مختلف، درصد تأمین نیازهای شرب و صنعت خرم آباد در حد مطلوب و قابل قبولی است.

❖ برای تأمین پایدار نیازهای شرب و صنعت با توجه به جدول مذکور، حداقل رقوم مرده، رقوم ۱۴۲۰ متر از سطح دریا و حداقل رقوم نرمال، رقوم ۱۴۴۸ متر از سطح دریا می‌باشد.

❖ در شرایط رسوبگذاری ۵۰ ساله که معادل ۳/۴ میلیون مترمکعب و رقوم مرده ۱۴۲۵ متر از سطح



شکل ۶- نوسانات ماهانه ظرفیت نصب در رقوم‌های مرده و نرمال مختلف به ازای ضریب کارکرد ۳۵ درصد (مگاوات)



شکل ۷- نوسانات ماهانه تولید انرژی در رقوم‌های مرده و نرمال مختلف به ازای ضریب کارکرد ۳۵ درصد (مگاوات ساعت) با توجه

سراب تلخ، خطوط انتقال برق فشار متوسط و فشار قوی، جاده آسفالتی و غیره وجود دارد که هزینه‌های مربوط به خسارات این سد، شامل هزینه‌های مربوط به اراضی آبی و دیم، منابع طبیعی، خطوط انتقال برق فشار قوی و فشار متوسط و تملک زمین‌های مسکونی می‌باشد که در مجموع، معادل ۲۶۱/۵ میلیارد ریال برآورد شده است.

عمده هزینه‌های احداث سد مخزنی سراب تلخ، شامل هزینه‌های مربوط به خاکبرداری و خاکریزی، بارگیری و حمل مصالح سنگی و غیرسنگی، هسته سد، فیلترگذاری، زهکش افقی و عمودی، ریپ‌رپ، تجهیز و برچیدن کارگاه و هزینه‌های مربوط به خسارت مخزن سد می‌باشد.

با توجه به مطالب فوق، در جدول ۶، هزینه احداث سد مخزنی سراب تلخ به ازای رقوم نرمال مختلف ارائه شده است.

به شکل‌های فوق ملاحظه می‌شود که:

۱- متوسط ظرفیت تولیدی ماهانه نیروگاه سراب تلخ، معادل ۰/۲ مگاوات می‌باشد که از حداقل ۰/۱۷۷ مگاوات تا حداکثر ۰/۲۱۳ مگاوات در یک دوره زمانی ۴۵ ساله در حال نوسان است.

۲- متوسط انرژی تولیدی ماهانه نیروگاه سراب تلخ، معادل ۱۴۴,۴۱ مگاوات ساعت می‌باشد که از حداقل ۱۲۹/۹۵ مگاوات ساعت تا حداکثر ۱۵۵/۵۸ مگاوات ساعت در یک دوره زمانی ۴۵ ساله در حال نوسان است.

#### آنالیز اقتصادی هزینه‌های اجرایی و خسارات سد مخزنی سراب تلخ

در این قسمت، به آنالیز اقتصادی هزینه‌های مربوط به سد مخزنی سراب تلخ پرداخته شده است. در داخل دریاچه این سد، موانع اصلی و عمده‌ای نظیر روستای

جدول ۶- مجموع هزینه‌های احداث سد مخزنی سراب تلخ به ازای رقوم نرمال مختلف

رقوم نرمال (متر از سطح دریا)	مجموع هزینه‌ها (میلیارد ریال)
۱۴۴۵	۱۹۴۱/۸۴
۱۴۴۶	۲۰۳۸/۸۵
۱۴۴۷	۲۱۳۵/۸۶
۱۴۴۸	۲۲۳۲/۸۸
۱۴۴۹	۲۳۲۹/۸۹
۱۴۵۰	۲۴۲۶/۹۰

### انتخاب رقوم مرده و نرمال بهینه

نتایج بدست آمده از این پژوهش نشان داد که بیشترین میزان متوسط ظرفیت نصب نیروگاه برق آبی سد مخزنی سراب تلخ؛ معادل ۰/۲۹ مگاوات؛ به ازای رقوم مرده ۱۴۲۴ متر از سطح دریا و رقوم نرمال ۱۴۵۰ متر از سطح دریا تولید می‌شود. همچنین رقوم‌های ۱۴۲۰ و ۱۴۴۸ متر از سطح دریا، به ترتیب به عنوان حداقل رقوم مرده و حداقل رقوم نرمال مورد نیاز جهت تأمین نیازهای شرب و صنعت شهر خرم آباد تعیین گردید. با انتخاب رقوم مرده ۱۴۲۴ متر به عنوان رقوم مرده بهینه، حداقل رقوم نرمال مورد نیاز جهت تأمین

نیازهای شرب و صنعت خرم آباد، رقوم نرمال ۱۴۴۹ متر می‌باشد. لذا در این پژوهش، با توجه به نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی پتانسیل برق آبی سد مخزنی سراب تلخ، بررسی درصد تأمین آب شرب و صنعت شهر خرم آباد و آنالیز اقتصادی هزینه‌های اجرایی و خسارات سد مخزنی سراب تلخ، رقوم مرده ۱۴۲۴ و رقوم نرمال ۱۴۴۹ متر از سطح دریا، با توجه به تولید مناسب انرژی و تأمین نیازهای شرب و صنعت شهر خرم آباد به عنوان رقوم بهینه انتخاب گردید.

در جدول ۷، نتایج شبیه‌سازی پتانسیل برق آبی سد مخزنی سراب تلخ به ازای رقوم بهینه ۱۴۲۴ و ۱۴۴۹ متر از سطح دریا ارائه شده است

جدول ۷- پارامترهای طراحی نیروگاه برق آبی سد مخزنی سراب تلخ در گزینه بهینه

مشخصات	واحد	مقادیر پارامترهای طراحی
رقوم نرمال	m	۱۴۴۹
رقوم مرده	m	۱۴۲۴
حجم مخزن نظیر رقوم نرمال	mcm	۳۴/۳
حجم مخزن نظیر رقوم مرده	mcm	۲/۷۶
ظرفیت نصب	MW	۰/۲۸
انرژی تولیدی	MWH/month	۲۰۷/۹۱
درصد کمبود زمانی تولید انرژی	%	۱۰
متوسط جریان ورودی	mcm/month	۵/۷
حجم تبخیر	mcm/year	۲/۳
هد آب	m	۱۶/۳۵
هد حداقل	m	۱۵/۸۹
هد حداکثر	m	۱۶/۶۱
دبی طراحی	m <sup>3</sup> /s	۱/۷۷
نوع توربین	-	فرانسسی

### نتیجه گیری

نیروگاه‌های برق آبی کوچک از پتانسیل تولید برق با کمترین آسیب زیست محیطی برخوردار بوده و برای احداث در مناطق کوهستانی و دور افتاده بسیار مناسب هستند. این نوع از نیروگاه‌ها با وجود داشتن مزایای فراوانی نظیر عدم آلودگی محیط زیست، تولید انرژی پاک، ارزان و تجدیدپذیر و غیره، تنها ۴ درصد از کل ظرفیت نیروگاه‌های برق آبی کشور را به خود اختصاص داده‌اند. از این رو، گنجاندن طرح‌های استفاده از

نیروگاه‌های برق آبی کوچک در برنامه ملی انرژی کشور، چه از نظر برق‌رسانی به روستاها و مناطق دورافتاده و محروم، چه از نظر اتصال به خطوط انرژی و چه از نظر اقتصادی، حائز اهمیت فراوانی است.

استان لرستان با توجه به واقع شدن در ناحیه زاگرس میانی، از پتانسیل بالایی جهت احداث نیروگاه‌های برق آبی برخوردار است. از این رو، در این پژوهش سعی بر آن شد پتانسیل برق آبی سد مخزنی سراب تلخ واقع در استان لرستان با استفاده از مدل ویپ و آمار آبدهی ایستگاه هیدرومتری کاکارضا در یک دوره ۴۵

صنعت شهر خرم آباد و آنالیز اقتصادی هزینه‌های اجرایی و خسارات سد مخزنی سراب تلخ نشان داد نوسانات رقوم نرمال در مقایسه با رقوم مرده، اثرگذاری بیشتری بر تولید انرژی داشته و رقوم مرده ۱۴۲۴ و رقوم نرمال ۱۴۴۹ متر از سطح دریا به عنوان رقوم بهینه جهت تولید مناسب انرژی و تأمین نیازهای شرب و صنعت شهر خرم آباد می‌باشند. در مجموع نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از مدل ویپ می‌تواند در زمینه شبیه‌سازی انرژی پتانسیل برقی برای سایر مناطق نیز مورد استفاده قرار گرفته و به عنوان گامی در راستای اتخاذ تصمیمات مدیریتی مناسب در جهت بهبود منابع آب، کشاورزی و آبرسانی محسوب شود.

ساله مورد بررسی قرار گیرد. نتایج حاصل از آزمون تحلیل روند نشان داد آمار آبدهی رودخانه کاکارضا تصادفی بوده و از روند خاصی پیروی نمی‌نماید. همچنین نتایج حاصل از نوسانات ماهانه متوسط ظرفیت نصب و انرژی تولیدی به ازای رقوم مرده و نرمال مختلف حاکی از آن است با افزایش رقوم نرمال و ضریب کارکرد، میزان ظرفیت نصب و انرژی تولیدی افزایش می‌یابد که سبب می‌گردد درصد تأمین نیازهای شرب و صنعت نیز افزایش یابد و به موازات آن هزینه‌های حاصل از احداث سد مخزنی افزایش می‌یابد. نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی پتانسیل برقی آب سد مخزنی سراب تلخ با توجه به تأمین آب شرب و

## منابع

- اخروی، م. ج. ۱۳۹۰. پتانسیل‌ها و نقش نیروگاه‌های برقی کوچک در تأمین انرژی الکتریکی کشور، اولین کنفرانس بین‌المللی و سومین کنفرانس ملی سد و نیروگاه‌های برقی، تهران.
- جلالی، م. ر.، ا. آذرانفر، ر. افضلی. ۱۳۸۷. توسعه قابلیت‌های برقی در نرم افزار مدیریت یکپارچه منابع آب WEAP. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز.
- خزایی، س.، ر. بدیعی، س. ر. خدائشاس. ۱۳۹۲. بررسی امکان احداث نیروگاه برقی کوچک بر روی رودخانه زنگلانلو، استان خراسان رضوی. پنجمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.
- فدایی، پ.، ج. فدایی، ب. فدایی. ۱۳۹۳. ارزیابی انرژی آب و نیروگاه‌های برقی و نقش آن در تأمین برق کشور، اولین همایش ملی مدیریت انرژی‌های نو و پاک، دانشکده شهید مفتح، همدان.
- نوشاد، ب.، ا. احمدی. ۱۳۹۰. امکان سنجی نیروگاه آبی کوچک برای شبکه برق خوزستان با توجه به پتانسیل‌های سدهای موجود، اولین کنفرانس بین‌المللی و سومین کنفرانس ملی سد و نیروگاه‌های برقی، نیکو، ت.، م. علی محمدی، و. رضایی. ۱۳۹۳. پتانسیل‌های نیروگاه‌های برقی کوچک در استان خوزستان، هجدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی برق. وزارت نیرو. تهران.

Anugrah, P., A.A. Setiawan, R. Budiarto, A. Sihana. 2014. Evaluating micro hydro power generation system under climate change scenario in Bayang catchment", Kabupaten Pesisir Selatan, West Sumatra.

Bitar, Z., I. Khamis, Z. Alsaka, S. Al Jaba. 2015. Pre – Feasibility Study for Construction of Mini Hydro Power Plant. International Conference on Technologies and Materials for Renewable Energy", Environment and Sustainability, TMREES15, Published by Elsevier Ltd. Energy Procedia.5(74):404-413

Cortes, R.S., R.C. Zambon. 2012. Reservoir operation with robust optimization for hydropower production, World environmental and water resources congress: Crossing boundaries. ASCE

Gagliano, A., G.M. Tina, F. Nocera, F. Patania. 2014. Technical and Economic Perspective for Respowering of Micro Hydro Power Plants: a Case Study of an Early XX Century Power Plant. 6th International Conference on Sustainability in Energy and Building



- Khosroshahi, M.R., J. Mousavi, H. Alizadeh. 2015. Upstream effect on Aras cascade hydropower plant system", 10th International congress on civil engineering. University of Tabriz, Tabriz, Iran.
- Kun, J.L. 2012. Research on prospect and problem for hydropower development of China", International conference on modern hydraulic engineering.
- Nikolic, D., R.R. Nikolic, B. Krstic, V. Lazic, I.Z. Nikolic, I. Krstic, V. Krstic. 2012. Optimization of technical diagnostics procedures for hydroelectric power plants. Steel structures and bridges.
- Partal, T., E. Kahya. 2011. Trend analysis in Turkish precipitation data", Hydrological Process. 20(5):2011-2026
- Pasalli, Y.R., A.B. Rehiara. 2014. Design planning of micro- hydro power plant in Hink River", 4th International conference of sustainable future for human security, Sustain.
- Rheinheimer, D.E., J.H. Viers, J. Sieber, M. Kiparsky, V.K. Mehta, S.T. Ligare. 2014. Simulation high – elevation hydropower whit regional climate warming in the west slope, Sierra Nevada. Journal of Water Resources Planning and Management. 60(140): 714-723
- Sen, P.K.. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau", Journal of the American Statistical Association. 63(3): 1379-1389
- Uamusse, M., J. Miguel, P. Dinis, M. Kenneth. 2015. Hydro Power Potential in Mozambique, CHUA – MANICA. International Conference on Alternative Energy in Developing Countries and Emerging Economies", Published by Elsevier, Energy Procedia. 6(79):719-726
- Yue, S., P. Pilon, B. Phinney, G. Cavadias. 2015. The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series", Hydrological Processes. 16(9):1807-1829.
- Yue, S., P. Pilon, B. Phinney. 2003. Canadian stream flow trend detection: impacts of serial and cross correlation", journals of Hydrological Sciences. 48(1): 51-64.

## Evaluating of hydropower potential of Sarab Talkh storage dam, Lorestan province

Ali Kakavand<sup>1</sup>, Babak Shahi Nejad<sup>2</sup>, Hassan Torabi Poudeh<sup>3</sup>

### Abstract

Today, due to population growth, supply of drinking water and energy is one of the most important issues in managing water resources. Environmental protection and limitation of fossil resources have caused human attention to be focused on alternative and clean sources, such as hydroelectric power stations are concerned. Therefore, in this study, the evaluation hydro potential of the Sarab Talkh Reservoir Dam in Lorestan province with the aim of supplying part of drinking water and industrial industry in Khorramabad, which is 55 and 5 million cubic meters per year, using the WIP model in a statistical period of 45-Year-old (1965-2010) were investigated. First, Man-Kendall nonparametric test method was used to study the data process. Then, to simulate the hydroelectric potential of the Sarab bakh reservoir, 6 dead level, 6 normal level and 3 different function factors were selected. The results of the trend analysis showed that the discharge rate did not follow a particular trend and was random. Also, the results of Simulation of hydroelectric potential of Sarab balkh dam, with the aim of providing drinking water and industry and economic analysis of operating costs, showed that normal level in comparison with dead level have had a greater impact on energy production and dead level 1424 and normal level 1449 meters of sea level were selected as the optimal number

**Key Words:** Small Hydropower Plant, Storage dam, WEAP model, Man-Kendall, Dead level, Normal level.

<sup>1</sup> MSC, Agricultural Engineering\_ water structure, Lorestan University, Iran

<sup>2</sup> Assistant Professor of Water Engineering ,University of Lorestan, Khorramabad, Iran  
(Corresponding author.; Email: shahinejad.b@lu.ac.ir)

<sup>3</sup> Associate Professor of Water Engineering ,University of Lorestan, Khorramabad, Iran