

بررسی رابطه مصرف آب و تولید انرژی در ایران طی دوره ۱۳۵۷ تا ۱۳۹۵ با رویکرد مدل STAR

ارسلان بی‌نیاز^۱، محمود احمدپور برازجانی^{۲*}، سامان ضیایی^۲، حمید محمدی^۲

۱. مربی اقتصاد کشاورزی دانشگاه پیام نور و دانشجوی دکتری دانشگاه زابل

۲. استادیار اقتصاد کشاورزی دانشگاه زابل

(تاریخ دریافت ۱۳۹۷/۰۸/۳۱؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۸/۰۱/۳۰)

چکیده

حدود ۶ درصد تولید انرژی برق در ایران مستقیم از انرژی‌های تجدیدپذیری همچون نیروگاه‌های برق‌آبی تأمین می‌شود. بنابراین، هدف پژوهش حاضر، بررسی مسائل مربوط به آثار تغییرات الگوی عرضه آب در مدیریت کلی مخازن و جریان در سدها و برق عرضه‌شده به مدار طی دوره مطالعه‌شده است. به طور کلی، ایران قادر به تولید قدرت حتی در شرایط آب کم است. از این رو، جامعه آماری پژوهش اقتصاد ایران در نظر گرفته شده است و نمونه‌ای شامل داده‌های تولید انرژی نیروگاه‌های برق‌آبی و داده‌های میزان مصارف واسطه تأمین آب طی سال‌های ۱۳۵۷ تا ۱۳۹۵ برای بررسی تأثیر مصارف نهاده آب بر تولید انرژی در ایران گردآوری شد. نتایج نشان داد تحت رژیم انتقال حدی صفر مدل اتورگرسیون انتقال ملایم، اگر بازدهی اثر مصرف آب در تولید انرژی برق‌آبی ایران کمتر از ۸/۸۶ باشد، این کاهش توان تولید تا اندازه ۷/۰۲۲ برابر نیز امکان کاهش دارد و در صورتی که تأمین آب تحت انتقال ملایم ناشی از تأمین مطلوب ذخایر آب بتواند به حالت حدی یک انتقال یابد، بر اساس میانگین انتقال ملایم ۸/۸ برابری با سرعت زیادی تا ضریب فزاینده تولید برق‌آبی ۷/۰۳۸ نیز می‌تواند افزایش یابد.

کلیدواژگان: توان سالانه نیروگاه‌های برق‌آبی، مدل اتورگرسیون انتقال ملایم، میزان مصارف واسطه‌ای آب.

مقدمه

قدرت هیدروالکتریک از نیروی حرکت آب به وجود می‌آید و به عنوان نوعی منبع تجدیدپذیر محسوب می‌شود، زیرا آب‌های سطحی همواره با بارندگی جریان دارند. یک نیروگاه آب معمولی چندین تابع و سه بخش دارد: یک نیروگاه که برق تولید می‌کند، یک سد که می‌تواند برای کنترل جریان آب باز یا بسته شود و یک مخزن که آب در آن می‌تواند ذخیره شود. اساساً آب پشت سد جریان را از طریق مصرف و فشار تیغه توربین را به نوبه خود حرکت می‌دهد و همچنین میزان تولید برق بستگی به میزان آبی دارد که از طریق بارش سالانه ذخیره می‌شود. علاوه بر تأمین برق پاکیزه، هدف اصلی نیروگاه‌های برق آبی، افزایش قابلیت اطمینان شبکه‌های الکتریکی است. نیروی برق به سرعت می‌تواند خروجی را برای برآورده کردن نیازهای الکتریکی در زمان واقعی تنظیم کند و قابلیت «شروع به کار» را برای کمک به بازگرداندن قدرت در یک رویداد خاموشی فراهم کند. توان شروع به عنوان توانایی شروع تولید بدون منبع خارجی قدرت تعریف می‌شود [۱].

از آنجا که نیروگاه‌های برق آبی فقط مولدهای اصلی با مصارف عمده هستند که می‌توانند بلافاصله نیروی برق را به شبکه ارسال کنند، وقتی تمام منابع انرژی دیگر قابل دسترسی نیستند، هنگام وقوع اختلالات عمده برق مانند خاموشی‌های زمان اوج بار با قابلیت شروع به کار آبی، نیروگاه‌های برق آبی می‌توانند بدون جدا شدن از نیروی برق خارجی و برای بازگرداندن قدرت به شبکه، عملیات را به طور جداگانه از سر بگیرند. عملکرد نیروگاه برق آبی به عوامل مختلف داخلی و خارجی بستگی دارد که در ادامه این عوامل تشریح می‌شوند.

عوامل داخلی عبارت‌اند از: مدیریت سدهای آبی، که با کنترل حجم و زمان آب حفظ می‌شود یا آزادانه به شرایط بالادستی و پایین دست پاسخ می‌دهد. عوامل خارجی شامل محدودیت‌هایی است که توسط استفاده‌های جایگزین آب (ناوبری، آبیاری، تأمین آب، زیستگاه ماهی، تفریح) اعمال می‌شود که ممکن است به محدودیت جریان آب منجر شود. اما جریان آب در دسترس بسیار اهمیت خواهد داشت، به خصوص زمانی که جریان‌های بالادست حوضه کاهش پیدا کند که این جزء عوامل داخلی است و یا اگر مدیریت آب مورد نیاز برای توزیع آب برای مقاصد

دیگر به عنوان عامل خارجی مهم باشد و نیز برای حفظ آب برای حمایت از فعالیت‌های مخزن مهم خواهد بود. این موارد توضیح می‌دهد که چرا خشکسالی می‌تواند تأثیر زیادی بر کاهش تولید انرژی‌های آبی داشته باشد، زیرا می‌تواند جریان آب‌های زیرزمینی را کاهش دهد و نیازمند انحراف یا حفظ آب است که در مواقع کمبود برق تولید شود یا به اهداف دیگر آب برسد [۲].

عملیات یک سیستم رودخانه و مولدهای برق آبی در آن رودخانه به وسیله مجموعه‌ای از قوانین، سیاست‌ها و توافق‌های پیچیده هدایت می‌شود که با مکان و عملکرد هر سیستم رودخانه‌ای متفاوت است. علاوه بر این، سیستم‌های رودخانه‌ای که از مرزهای ملی عبور می‌کنند، تحت پوشش سیاست‌ها و موافقت‌نامه‌های بین‌المللی قرار دارند. هدف از پژوهش حاضر، بررسی مسائل مربوط به تأثیرات تغییرات الگوی عرضه آب در مدیریت کلی مخازن و جریان در سدها و برق عرضه شده به مدار طی دوره مطالعه شده است. به طور کلی، ایران قادر به تولید قدرت حتی در شرایط آب کم است و برای مثال مشکلات کنترل نکردن آب زیاد می‌تواند سخت‌تر از مواجهه با آب کم باشد. همه کارشناسان توافق دارند که مهم‌ترین مسئله‌ای که در تولید برق از منابع آبی به وجود می‌آید، تقاضا برای استفاده‌های دیگر از آب موجود است. اما آنچه در تحقیق حاضر سؤال می‌شود، رابطه عرضه آب، بارش‌ها و تأثیر آن بر تولید انرژی الکتریکی است که همگی بر الگوهای تاریخی تکیه دارند. از این رو، نوآوری پژوهش حاضر در بررسی رابطه مصرف آب و تولید انرژی الکتریکی با استفاده از روش‌هایی همچون توابع انتقال ملایم خودرگرسیون است که بتوان با استفاده از این الگو بررسی الگوهای بارش و عرضه آب برای نیروگاه‌های برق آبی را به خوبی تشریح کرد که قبلاً در ایران انجام نشده است. همچنین، در بخش مبانی نظری پیرامون کارکرد عوامل تأثیرگذار درون‌زا و برون‌زا، رابطه انباشت و عرضه آب و تأثیرات آن بر عرضه انرژی مولدهای برق آبی توضیحات کافی ارائه شده است. سپس، مدل و روابط ارزیابی شده تشریح شده و نتایج در بخش پایانی ارائه شده است.

مبانی نظری

تولید انرژی آبی اغلب به مقدار درخور توجهی آب شیرین نیاز دارد. تقریباً، آب برای تمام پروسه‌های تولید و تبدیل در

نمی‌کند. پیشرفت‌های علمی و فنی می‌توانند اثر خشکسالی را محدود کنند. با این حال، همان پیشرفت‌ها به ارائه آب کافی برای آبیاری، حفاظت از محیط زیست، استفاده جامعه و صنعت یا حمل‌ونقل نیاز دارند که در بسیاری از موارد در حال حاضر درگیرند. شرایط آب کم و یا خشکسالی ناشی از تغییرات الگوی هواشناسی فقط میزان رقابت برای آب موجود را افزایش می‌دهد [۴].

امروزه، نیروگاه‌های حرارتی و آبی بیشترین سهم را در تولید برق جهان دارند. هر چند مشکلات و محدودیت‌های تولید برق در نیروگاه‌های حرارتی (با سوخت فسیلی یا هسته‌ای) و به لحاظ مسائل تکنولوژیک، رعایت ضوابط و معیارهای زیست‌محیطی، محدودیت منابع و... موجب شده است که گرایش دنیا به انرژی‌های تجدیدپذیر افزایش یابد. از سوی دیگر، به دلیل بسیاری از مشکلات، احداث نیروگاه‌های حرارتی امروزه توجیه ندارد و البته این نیروگاه‌های هسته‌ای هستند که می‌روند یک‌ه‌تاز عرصه تولید برق در جهان شوند. بر اساس اطلاعات موجود، در سال‌های ۱۹۸۵ تا ۱۹۹۶، رشد مصرف منابع انرژی در جهان برای انرژی هسته‌ای ۵۶ درصد، گاز طبیعی ۲۶/۴ درصد، برق‌آبی ۲۵/۴ درصد، نفت ۱۵/۱ درصد و زغال سنگ ۵/۳ درصد بوده است. هر چند تولید برق از طریق نیروگاه‌های هسته‌ای رویکردی ایده‌آل است، اما در نهایت این نیروگاه‌های برق‌آبی هستند که به عنوان یکی از منابع مهم تأمین انرژی در جهان مورد توجه جدی قرار گرفته‌اند و برای آنها سرمایه‌گذاری می‌شود [۵].

تولید برق در نیروگاه‌های برق‌آبی مزایایی زیادی دارد؛ شاید بتوان گفت که همین مزایا موجب شده است این روش تولید از مزیت نسبی برخوردار شود و از آن در جهان و به‌ویژه در کشورهایی که منابع آبی نسبتاً درخور توجهی دارند، استقبال شود. عمر مفید این نیروگاه‌ها بیش از ۵۰ سال است و تا ۱۰۰ سال هم می‌رسد و در مقایسه با عمر نیروگاه‌های بخاری (حدود ۲۵ تا ۳۰ سال) بسیار زیاد است. از آنجا که برای تولید انرژی توسط چرخش توربین، نیازی به سوخت وجود ندارد، بنابراین هزینه عملکرد نیروگاه بسیار کم است. به علاوه، با توجه به نیاز نداشتن به سوخت، به مخزن‌های ذخیره سوخت هم نیازی نیست. این در حالی است که ضمن پایداری زیاد این نیروگاه‌ها، هزینه نگهداری آنها نیز در مقایسه با نیروگاه‌های حرارتی کمتر

بخش انرژی، از جمله استخراج و پردازش سوخت (سوخت‌های فسیلی، هسته‌ای و همچنین سوخت‌های زیستی) و تولید برق (ترموالکترونیک، انرژی آبی و فناوری‌های تجدیدپذیر) مورد نیاز است. انرژی آبی به عنوان یک بخش انرژی تغییر یا گسترش می‌یابد و در واقع تعیین میزان منابع آب منطقه‌ای برای ترکیبی از فناوری‌های مستقر در تولید سوخت و برق مهم است. برای هدایت ارزیابی تأثیر مصرف آب در تولید انرژی بر منابع آب، باید مفهوم به‌خوبی توصیف شده و به عنوان ریزش آب شناخته شود. ریزش آب، حجم آب مورد نیاز برای تولید کالاها و خدمات مصرف‌شده توسط ساکنان یک کشور است [۳]، ریزش آب بیشتر با نوع استفاده از آب مشخص می‌شود و توان آبی نشان‌دهنده مصرف آب‌های سطحی و زیرزمینی است. همچنین، آب‌های سبز نشان‌دهنده مصرف آب از طریق سطوح خاک (برای مثال، کشاورزی بارانی) است. «آب خاکستری» مقدار آب مورد نیاز برای رقیق کردن و کاهش آلودگی‌های انتقالی به محیط زیست است. تعدادی از مطالعات قبلی مفهوم ریزش آب را به بخش انرژی (به طور مستقیم یا غیر مستقیم) با تلفیق تخمین‌های ضرایب استفاده از آب برای طیف وسیعی از فناوری‌های انرژی، با تأکید بر تولید سوخت، تولید برق یا هر دو بررسی کرده‌اند [۳]. همچنین، طبق مطالعه منظور و رحیمی (۱۳۹۴) حدود ۶ درصد تولید برق در ایران از طریق آب‌های سطحی و منابع تجدیدپذیر تأمین می‌شود. به همین منظور، تأکید بر تأثیر آب بر تولید انرژی توسط نیروگاه‌های برق‌آبی می‌تواند شاخصی مطلوب برای نشان دادن تأثیر تأمین آب بر حوزه انرژی باشد. بنابراین، تبیین شرایط لازم برای تأمین آب بخش انرژی و توان عرضه نیروگاه‌های برق‌آبی ایران بخش مهمی از رابطه مصرف آب و تأمین انرژی در ایران را مشخص می‌کند. پس در این بخش به رابطه توان آب در ایران و عرضه انرژی در بخش مولدهای تجدیدپذیر همچون نیروگاه برق‌آبی بیشتر تأکید شده است. ابتدا، باید یادآور شد که ظرفیت ذخیره‌سازی و انعطاف‌پذیری حمل‌ونقل بسیاری از حوضه‌های آبخیز در ایران و جهان به منظور تطابق با الگوهای تاریخی محلی یا منطقه‌ای تنوع هیدرولوژیکی گوناگونی را فراهم ساخته است. به این ترتیب، شرایط آب زیرزمینی طبیعی، به خلاف شرایط بلندمدت خشکسالی که می‌تواند تولید برق آبی را تحت تأثیر قرار دهد، به کاهش تولید آب کمک

حوضه آبخیز کرخه با شش میلیارد کیلووات ساعت در سال، بیشترین امکانات تولید برق آبی را دارند و پنج میلیارد کیلووات ساعت باقی مانده آن مربوط به سایر حوضه‌هاست [۶]. وزارت نیرو در سال ۱۳۹۰ گزارش داد که از طریق ارتقای توربین‌های به کاررفته در سدها می‌توان از تعداد بیشتری از سدهای پایین دست بهره برد. چنین سرمایه‌گذاری‌ای می‌تواند دوره بازپرداخت سه تا پنج ساله را در نتیجه افزایش بهره‌وری به دست آورد.

همچنین، واحد تلمبه ذخیره یکی دیگر از روش‌های تکنولوژیکی برای مقاومت در برابر احتمال کاهش بارش است. در تأسیسات تلمبه ذخیره، آب ذخیره شده در یک مخزن با ارتفاع بیشتر از طریق توربین به یک مخزن ارتفاع کم انتقال می‌یابد تا توان تولید را طی دوره‌های با تقاضای زیاد افزایش دهد. سپس، آب به مخزن با ارتفاع بیشتر در زمان خارج از پیک با پمپاژ برگشت داده می‌شود. امکانات تلمبه ذخیره برای تغییرات غیرمنتظره الگوی آب و هوایی، از جمله آب و هوای خشک بسیار مقاوم است، زیرا آب تولید شده برای ذخیره انرژی (در مخازن) و بازیافت (برای مثال، در جریان طبیعی) آزاد نمی‌شود. گوتوسکی و همکارانش (۲۰۰۸) نیز راه دیگری برای مقابله با شرایط کم‌آبی از طریق نوسازی زیربنای نیروگاه برق داشتند [۷]. با این حال، آنها همچنین نشان دادند هزینه‌های مربوط به مدرنیزاسیون زیربنایی می‌تواند یک مسئله باشد. اما صادقی (۲۰۱۴) بیان کرد که در ایران منابع مالی برای طراحی و پیاده‌سازی ارتقای امکانات به طور کلی از طریق مواردی همچون وجوه عمومی و یا فروش قدرت برای زیرساخت‌های برق آبی عمومی و از افزایش میزان تأیید شده توسط کمیسیون خدمات عمومی وزارت نیرو صورت می‌گیرد [۶]. همان طور که قبلاً اشاره شد، اگرچه دوره بازپرداخت می‌تواند سه تا پنج سال طول بکشد، برای ارتقای فناوری، تأمین سرمایه اولیه سدسازی و ذخیره می‌تواند چالش برانگیز باشد [۲].

نیازهای تقاضای آب

تولید انرژی از منابع مختلف انرژی نیاز به مقادیر درخور توجهی از آب شیرین دارد، هر چند نیروگاه‌های برق آبی بیشترین میزان مصرف آب را در مقایسه با نیروگاه‌های دیگر دارند. متخصصان در گزارش‌های بسیاری، میزان مصرف آب

است، در عین حال که بازده نیروگاه در گذر زمان تغییر نمی‌کند. البته در کنار مزایای این نوع نیروگاه‌ها، نباید از معایب آنها نیز چشم پوشید. به‌رغم آنکه هزینه نگهداری این نیروگاه‌ها کم است، اما با توجه به اینکه برای نصب نیروگاه‌های برق آبی نیاز به احداث سد است، هزینه ثابت آنها در مقایسه با بقیه نیروگاه‌ها بسیار زیاد است؛ زیرا برای ساختن سد، ابتدا باید مسیر آب منحرف شده، سپس سد مناسب ایجاد شود که هزینه عمرانی این سدها بسیار زیاد است. با توجه به اینکه تولید این نیروگاه‌ها بستگی به میزان آب پشت سد دارد، در نتیجه در سال‌های کم‌آبی، تولیدشان با مشکل همراه خواهد بود. به‌خصوص در کشور ما که در منطقه خشک واقع است و در عین حال منابع آب سدها غالباً به صورت سیلابی تأمین می‌شود و نه یخچالی، نیروگاه‌های برق آبی می‌توانند با مشکلات جدی در زمان‌های کمبود آب و خشکسالی مواجه باشند. از آنجا که مدت‌زمان ساخت سد و نیروگاه‌های آبی در مقایسه با دیگر نیروگاه‌ها بسیار زیاد است، برای برنامه‌ریزی‌های کوتاه‌مدت انرژی، مناسب نیست و می‌تواند به عنوان روشی در برنامه‌ریزی‌های بلندمدت کاربری داشته باشد [۵].

شرایط اقلیم کم‌آب

علم جابه‌جایی تولید برق آبی به شرایط آب کم، در مدل‌سازی فرایندی پیچیده است که امکان بهینه‌سازی آب موجود در تولید انرژی را فراهم می‌آورد. کشور ایران با داشتن چندین سد بزرگ، نشان داد این نیروگاه‌ها می‌توانند در سطح آب کم کار کنند و اگر امکان بیشتری برای استفاده از آب فراهم شود، از آن انتظار صادرات نیز می‌رود. پیشرفت‌های تکنولوژیکی می‌تواند استفاده از آب موجود را از طریق مدرنیزه کردن بهینه‌تر کند. تولید انرژی در نیروگاه‌های برق آبی، بدون احداث سد روی رودخانه‌ها غیرممکن است. در ایران نیز در یک بازه زمانی نسبتاً طولانی در سال‌های پس از جنگ و دوران سازندگی، احداث نیروگاه‌های برق آبی در دستور کار قرار گرفت. ظرفیت بالقوه و عملی تولید انرژی برق آبی در ایران، ۵۰ میلیارد کیلووات ساعت در سال است که می‌تواند سهم زیادی از برق مورد نیاز فعلی کشور را تأمین کند. بر اساس مطالعات انجام شده، حوضه آبخیز کارون با ۳۰ میلیارد کیلووات ساعت در سال، حوضه آبخیز دز با ۹ میلیارد کیلووات ساعت در سال و

همیشه در زمانی که الزامات حفاظت از محیط زیست توسعه یافته است، به طور مساوی در اختیار قرار نمی‌گیرد [۵].

یک اپراتور نشان داد امکانات خاصی در برخی ماه‌ها برای حفظ دمای آب مورد نیاز نیست. اپراتور دیگری اشاره کرد که رعایت مقررات اکسیژن حل‌شده مورد نیاز برای تأسیسات، برای کاهش بهره‌وری توربین است که در نتیجه بر عملکرد تأسیسات تأثیر می‌گذارد. حفظ جریان پیش‌بینی‌شده مورد نیاز به تولید قدرت در زمانی که تقاضا کم است، وجود دارد. اپراتورها گزارش دادند که در مواردی از این دست، یک تولیدکننده برق آبی ممکن است مجبور شود هزینه‌هایی را برای تولید برق متحمل شود [۹].

اگر تغییرات آب و هوایی پیش‌بینی شده موجب افزایش دسترسی فوری به آب شود، تولید برق هیدروالکتریسیته می‌تواند افزایش یابد. در دسترس بودن منابع آب بیشتر در محل‌هایی است که به تغییرات هیدرولوژی محلی و الگوهای آب و هوایی حساس‌اند. فراتر از دسترسی به آب، چندین عامل کلیدی نیز می‌تواند استفاده از آب برای تولید برق آبی را محدود کند که شامل مواردی همچون مقررات عملیاتی (یعنی کنترل سیل به عنوان مأموریت اصلی)، مقررات و توافقنامه منابع (برای مثال، نیازهای وجود جریان برای حفاظت از ماهی‌ها) و استفاده از آب مصرفی برای چندین منظور (مانند آب آشامیدنی و آبیاری) است که برای هر رودخانه‌ای خاص هستند. شناخت صاحبان و اپراتورها از امکانات آبریزان ضروری است [۹].

تغییر الگوهای آب و هوا و دما

آثار تغییر الگوهای آب و هوا و دمای محیط بر منابع آب می‌تواند ظرفیت تولید نیروگاه‌های برق آبی را کاهش دهد و نیازهای رقابتی را برای منابع آب تشدید کند. افزایش کلی دمای هوا در ایالات متحده، تغییرات بارش باران، تغییرات بارش برف و جریان‌های جوی و افزایش تقاضای آب برای خنک شدن، فشار زیادی را برای منابع آب به‌خصوص در تابستان در نیروگاه‌های آبی ایجاد می‌کند. چندین منطقه در ایران طی چند سال گذشته، آب و هوای شدید و خشک را تجربه کرده‌اند، از جمله خشکسالی‌های مداوم در مرکز و جنوب شرق، سیلاب‌های سنگین در شمال غربی. افزایش دمای جهانی طی قرن بیست و یکم می‌تواند حوادث آب و هوایی را برای تقریباً تمام مناطق کشور تشدید کند. همان

برای فناوری‌های مختلف تولید انرژی را مطالعه کرده‌اند. ملدرام و همکارانش طی پژوهشی توزیع جغرافیایی استفاده از آب را بررسی کردند. آنها با تعیین و محاسبه یک شاخص برای مقایسه مصرف آب، میزان تولید انرژی برای بیش از ۱۵۰ کشور را برآورد کردند و نتیجه گرفتند تقریباً معادل ۵۲ میلیارد مترمکعب آب شیرین در سال برای تولید انرژی جهانی مصرف می‌شود. علاوه بر این، در تلفیق داده‌ها، مشخص شد که هر دو کیفیت داده‌ها و استانداردهای گزارش‌گیری جهانی باید برای ردیابی این متغیر مهم در مقیاس جهانی بهبود یابد. با معرفی یک شاخص سازگار تجربی از سیستم‌های آب و انرژی ارزیابی می‌شود، امید است که این تحقیق به افزایش میزان استفاده از آب برای تولید انرژی در مقیاس ملی و جهانی کمک کند [۸].

امکانات هیدروالکتریکی اهداف متعددی را شامل می‌شود که عبارت‌اند از: کنترل سیل، تفریحی، تأمین آب صنعتی و اجتماعی، آبیاری و حمل‌ونقل. تقاضای آب برای این استفاده‌ها می‌تواند با تولید برق آبی در تناقض باشد. برای امکانات چندمنظوره ترکیبی از حقوق آب موجود، قراردادها، قوانین و قوانین کشورها تعیین می‌کند که چه مقدار آب و چه هنگامی برای هر یک از کاربردها در اختیار قرار بگیرد. اصلاح این نیروهای کنترل‌کننده برای در نظر گرفتن کم بودن میزان دسترسی به آب شاید دشوار باشد، زیرا ممکن است شامل چندین کشور و احزاب و گاهی هم شرکای بین‌المللی شود. علاوه بر این، تعهدات قانونی در مورد تحویل آب، نیروهای نرم‌تر مانند تأمین یا ذخیره آب برای حفاظت از استفاده‌های تفریحی و یا ارزش اقامتگاه‌ها در اطراف مخزن می‌توانند همچنین دسترسی به آب برای تولید برق آبی را محدود کنند. وضعیت آب استفاده‌شده برای تولید برق آبی نیز به‌شدت توسط قوانین و مقررات وزارت و شرکت‌های منطقه‌ای، مجوزها و پرونده‌های مربوط به حفاظت از منابع طبیعی و محیط زیست کنترل می‌شود. این موارد ممکن است شرایط آبی مانند دمای آب، شدت جریان و سطوح اکسیژن محلول را بررسی و کنترل کنند. مقررات عملیاتی بیشتر برای حفاظت از گونه‌های تعیین‌شده که در معرض تهدید و یا خطر هستند، طراحی شده است. آنها همچنین می‌توانند برای محافظت از کانال‌ها و شاخه‌های رودخانه‌های پایین‌دست به کار روند. با این حال، کارشناسان آب ابراز نگرانی کردند که منافع تولید برق آبی

و تکنولوژی انرژی دارد، به طوری که مقدار زیادی از آب استفاده شده برای تولید برق، باد و خورشید تا استفاده گسترده از آب مصرفی کشاورزی را می توان تقسیم بندی کرد. از این رو، انتخاب فناوری های مستقر در تولید انرژی در یک مکان مشخص، پیامدهای زیادی در مصرف آب منطقه ای دارد [۸]. مطالعات بیشتر این روش جغرافیایی را برای استفاده از آب برای سیستم های انرژی بررسی کرده اند، از جمله تجزیه و تحلیل سطح آب یا منطقه ای در مصرف آب در کل بهای انرژی؛ یا تجزیه و تحلیل جهانی مصرف آب با یک نوع انرژی واحد. اما مطالعه آنها بر مبنای ارائه اولین سطح بین المللی و مقایسه سطح مصرف آب برای سوخت و تولید برق انجام شد. برای انسجام و شفاف بودن، از روش اندازه گیری متریک به منظور تخمین مصرف آب استفاده شد. شاخص اندازه گیری متریک به لحاظ مفهومی شبیه رد پای آب است، اما به طور دقیق تر به عنوان یک برآورد دقیق آب مصرف شده توسط فرایندها و فناوری های خاص به منظور تولید انرژی، از جمله انرژی مورد نیاز برای تولید سوخت و انرژی برق آبی است. تولید انرژی ریزش آب سبز و خاکستری دارد، البته این نوع از مصارف آب خارج از محدوده بررسی شده در مقاله حاضر است. در نهایت، مقاله یاد شده شامل تخمین مصرف آب برای انرژی از منابع آبی است. در حالی که در برخی مطالعات، تلفات مخزن تبخیری به عنوان نوعی مصرف کننده تدریجی آب توسط نیروگاه های آبی تعریف می شود، که ارتباط مبهمی را بیان می کند، زیرا مخازن فقط برای تولید برق نیستند و به بسیاری از اهداف کاربری دیگر نیز مربوط می شوند. الکوک (۲۰۱۰) طی پژوهشی به بررسی اینکه چگونه اهداف تولید انرژی داخلی برای هر دو سوخت فسیلی و تجدیدپذیر ممکن است بر نیاز آب در آینده تأثیر بگذارد، پرداخته است [۱۱]. این ترکیبات پیش بینی های تولید انرژی توسط وزارت انرژی ایالات متحده با تخمین مصرف آب به ازای هر واحد (ضریب مصرف آب) برای تولید زغال سنگ، نفت، گاز و سوخت های زیستی و برای برآورد و مقایسه مصرف داخلی آب شیرین است. در مطالعه یاد شده بیان شد که انتظار می رود در سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۳۰ مصرف کل آب های داخلی آب شیرین تقریباً ۷ درصد افزایش یابد. همچنین، انتظار می رود آب مصرفی برای تولید انرژی تقریباً ۷۰ درصد افزایش یافته و تولید آب برای سوخت های زیستی (بیودیزل و اتانول) حدود

طور که مطالعات مؤسسه های دولتی، خصوصی و دانشگاهی پیشرفت می کند، آگاهی بیشتری در مورد اینکه چگونه تغییرات آب و هوایی در ایران به میزان انرژی قابل تولید تأثیر می گذارد، ایجاد می شود. همچنین صاحبان بخش سدها و اپراتورها بررسی می کنند که چگونه این تغییرات در دهه های آینده بر زیرساخت های آنها تأثیر خواهد گذاشت. بیشتر صاحبان سدها و اپراتورها تغییرات الگوهای آب و هوا و تغییرات دما را به عنوان مهم ترین چالش درازمدت این بخش می دانند. این تغییرات اساساً می توانند عملیات و امکانات مورد نیاز موجود را تغییر دهند و چون منابع آب همچنان از بین می روند، حیات آنها را نیز تهدید می کند. بسیاری از صاحبان و اپراتورها در بخش سدسازی در حال برنامه ریزی درازمدت به منظور شناسایی راه هایی برای حفظ عملیات تولید، با وجود شایع ترین شرایط آب و هوایی، هستند [۱۰].

پیشینه پژوهش

خواجه پور و همکارانش (۱۳۹۰) طی پژوهشی چندین یادگیری ماشین و چند روش آماری استفاده شده برای پیش بینی سری زمانی را ارائه دادند. سری زمانی استفاده شده در پژوهش آنها به عنوان یک مطالعه موردی، نتیجه به دست آمده از تولید انرژی دو نیروگاه برق آبی است. مقدار تولید انرژی هر ساعت طی تقریباً دو سال اندازه گیری شده است. یکی از نیروگاه های انتخابی در مطالعه یاد شده در کوه با زمین سنگی قرار دارد، به این معنا که بارش باران باید فوری و در بازه زمانی کوتاه وجود داشته باشد. یکی دیگر از نیروگاه ها در دره با حوضچه نزدیک قرار دارد که نشان می دهد جریان آبی تقریباً در تمام طول سال به صورت آب وجود دارد و بارندگی ضروری نیست. آنها پیش بینی تولید انرژی برای چنین نیروگاه های کوچک را ابزاری ضروری برای تضمین تأمین نیروی مداوم برای تقاضای انرژی معرفی کرده و برنامه ریزی ذخیره برق و معامله بین نیروگاه ها را تأکید کردند. آنها با استفاده از چندین تکنیک آماری و با بهره گیری از مجموعه داده ها، سعی کردند بهترین روش برای ساخت یک مدل پیش بینی با یک پیش فرض تعیین کنند و به مقایسه بپردازند [۵].

ملدram و همکارانش (۲۰۱۳) طی مطالعه ای نشان دادند مقدار و کیفیت آب مورد نیاز، تفاوت درخور توجهی با فرایند

مصرف آب شامل مبالغ صرف‌شده سالانه توسط وزارت نیرو و سازمان‌های آب منطقه است که برای استخراج و عرضه آب در بسترهای برق‌آبی، نیروگاهی و مصارف شهری و صنعتی به طور سالانه محاسبه و گزارش می‌شود. توضیح اینکه داده‌های تمامی یادشده از سالنامه‌های مرکز آمار ایران استخراج شده است. به طور کلی، تأمین آب برای تولید انرژی بسته به ذخایر و بارش‌های سالانه دارد که در دو حالت حدی می‌توان بدون بارش یا حدی بالا از بارش را در نظر گرفت. در این میان، کارکرد نیروگاه برق‌آبی و مخازن یا همان تکنولوژی و موقعیت مکانی به‌کاررفته در سد، هموارسازی و انتقال نیروی آب برای مقاصد مختلف تأمین را به عهده می‌گیرد. نتیجه اینکه در روش تحلیل این رابطه باید از مدلی تبعیت کرد که ضمن در بر گرفتن جوانب تاریخی داده‌ها بتواند حالات حدی وابسته در تأمین آب برای مصارف انرژی را توضیح دهد. بنابراین، بهترین روش تحلیلی طراحی یک فرایند خودرگرسیون با انتقال ملایم بین حالات حدی رابطه در نظر گرفته شد که به شرح ذیل است.

یک الگوی خودرگرسیون انتقال ملایم برای مقاصد پژوهش حاضر به صورت رابطه ۱ بیان می‌شود:

$$y_t = \beta' z_t + (\theta' z_t) (f(w_t, \gamma, C)) + \epsilon_t \quad (1)$$

که در آن $z_t = (1, y_{t-1} + \dots + y_{t-p1}, x_t + x_{t-1} + \dots + x_{t-p2})$ است و y_t همان توان تولید انرژی نیروگاه برق‌آبی است که متغیری درون‌زا در نظر گرفته شده، یعنی توان تولید نیروگاه برق‌آبی وابسته به عواملی همچون رژیم‌های تاریخی بارش و هزینه‌های تأمین آب نیروگاه است و x_t متغیری برون‌زا است که با توجه به توضیحات قبلی هزینه واسطه تأمین آب به قیمت ثابت به عنوان شاخصی از مصارف آب در بخش تولید انرژی در نظر گرفته شده است. در مدل یادشده، w_t نوعی متغیر انتقال ملایم است که بسته به تغییرات ضرایب آن می‌تواند موجب تغییر برآوردگرهای مدل اتورگرسیون انتقال ملایم شود و شیب خط روابط مصرف آب و تولید انرژی را بین دو حالت حدی رژیم‌های بارشی انتقال دهد.

همچنین، تابع انتقال شامل $f(w_t, \gamma, C)$ است که می‌تواند بین صفر و یک تغییر کند و ضرایب مدل رگرسیون را می‌تواند بین دو حالت حدی β و $\beta + \theta$

۲۵۰ درصد تا سال ۲۰۳۰ افزایش یابد. در ضمن، مصرف آب برای تولید سوخت‌های زیستی، تقریباً نیمی از کل مقدار مصرف آب در تولید تمام سوخت‌های انرژی را شامل شود. بیشتر این موارد مربوط به آبیاری است و مناطق مرکزی، غربی و شمال غربی این مقدار آب را در سال ۲۰۳۰ مصرف می‌کنند.

منظور و رحیمی (۱۳۹۴) طی مطالعه‌ای بیان کردند که با توجه به رشد متوسط سالانه ۶ درصد در مصرف برق کشور و ضرورت احداث بیش از سه هزار مگاوات نیروگاه جدید لازم است نوع نیروگاه‌ها براساس طیف گسترده‌ای از معیارها اولویت‌گذاری شوند [۱۰]. آنها با در نظر گرفتن معیارهای مختلف اقتصادی، زیست‌محیطی، سیاسی و اجتماعی، امنیت انرژی و فنی و با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی برای وزن‌دهی به معیارها و محاسبه مقدار معیارهای کیفی و روش پرومته برای اندازه‌گیری میزان معیارهای کمی به ارزیابی و اولویت‌بندی گزینه‌های مختلف تولید برق پرداخته شده است. در بین ۲۳ معیاری که خبرگان اوزان هر یک را تعیین کردند، هزینه تمام‌شده برای هر کیلووات ساعت در رتبه اول، امنیت تأمین منبع ورودی نیروگاه در رتبه دوم، سرمایه‌گذاری اولیه در رتبه سوم، تأثیر در حفظ و صرفه‌جویی در منابع پایان‌پذیر در رتبه چهارم و تأثیر در تنوع‌بخشی به سیستم عرضه در رتبه پنجم قرار گرفته است و در انتها نیز سه معیار تأثیرگذاری بر مردم سایر کشورها (قدرت نرم)، سرریز دانشی و وسعت زمین استفاده کردند. نتایج پژوهش یادشده نشان می‌دهد به ترتیب نیروگاه‌های بادی، برق‌آبی، فتوولتائیک، سیکل ترکیبی، هسته‌ای، گازی و بخاری در اولویت قرار دارند.

روش‌شناسی و معرفی الگو

روش‌شناسی پژوهش حاضر در حوزه مطالعات کاربردی است که بر اساس شواهد تاریخی سعی در قضاوت پیرامون رابطه مصارف آب در بخش تولید و عرضه انرژی دارد. از این رو، جامعه آماری پژوهش اقتصاد ایران در نظر گرفته شد. سپس، نمونه‌ای شامل داده‌های تولید انرژی نیروگاه‌های برق‌آبی و هزینه واسطه تأمین آب طی سال‌های ۱۳۵۷ تا ۱۳۹۵ برای بررسی تأثیر مصارف نهاده آب بر تولید انرژی در ایران گردآوری شد. هزینه واسطه

نمایش داده شده است. همان گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، مقادیر آزمون ریشه واحد دیکی فولر تعمیم‌یافته برای متغیرهای پژوهش بیش از مقادیر بحرانی ۵ درصد است که بیان‌کننده مانایی در سطح برای سری‌های زمانی یادشده بوده و مدل شرایط پایایی را تأمین کرده است.

نتایج آزمون غیرخطی بودن مدل، انتخاب متغیر و

شکل تابع انتقال

یکی از مراحل مهم انجام رگرسیون‌های خودرگرسیون با انتقال ملایم، انجام پیش‌آزمون‌های غیرخطی بودن مدل، انتخاب متغیر انتقال و نوع توابع انتقال است. از آنجا که رگرسیون‌های انتقال ملایم برای سری‌های زمانی غیرخطی مناسب هستند، احراز شرایط غیرخطی و تعیین بهترین متغیر انتقال در جدول ۲ گزارش شده است. مقادیر بحرانی F که رد فرضیه خطی را نشان دهند برای سه متغیر وقفه توان سالانه نیروگاه برقی، متغیر برون‌زای هزینه واسطه مصرف آب و وقفه مرتبه نخست آن آزمایش شد. درخور یادآوری است که بر اساس تعیین الگوی وقفه بهینه آزمون باکس-جنکینز، مقدار بهینه وقفه هر دو متغیر یادشده $q=1$ در نظر گرفته شد. همچنین، نتایج آزمون نوع تابع انتقال همگی در جدول ۲ خلاصه شده است.

همان گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود؛ سه متغیر مختلف وقفه توان سالانه نیروگاه برقی، متغیر برون‌زای هزینه واسطه مصرف آب و وقفه مرتبه نخست آن آزمایش شده و فقط وقفه مرتبه نخست مصرف آب که متغیری برون‌زاست، توانسته نوع غیرخطی بودن و شرایط انتقال ملایم توسط خود را تأیید کند. به بیان دیگر، مقادیر f برای این سری نشان‌دهنده بیشترین اختلاف معنادار بین انتخاب مدل خطی و غیرخطی را تأیید کرده است که در این میان، تابع انتقال پیشنهادی توسط نرم‌افزار از نوع LSTR2 بوده و انتقال متقارن حول میانگین پارامترهای اولیه $8/6845$ و $9/0542$ برای شیب تأثیرگذاری مصرف آب بر توان تولید انرژی برقی را به عنوان نقطه بهینه شروع انتخاب کرده است: پس از مشخص شدن فرم غیرخطی تابع انتقال در نهایت از روش نیوتن-رافسن برای برآورد مقادیر اولیه پارامترهای تابع انتقال ملایم استفاده شده است. شکل ۱ مقادیر حداقل مربعات خطا را در مقابل پارامترهای اولیه $c1$ و $c2$ تحت تابع انتقال نوع LSTR2 نشان می‌دهد.

تغییر دهد. همچنین، در تابع انتقال دو پارامتر مهم ارزیابی خواهد شد که γ پارامتر شیب بوده و سرعت انتقال از تأثیرگذاری مجموعه متغیرهای x_t به توان تولید نیروگاه برقی یعنی y_t را نشان می‌دهد و C پارامتر موقعیت است که حد آستانه انتقال را تعیین می‌کند. این تابع معمولاً از فرم نمایی ذیل در نرم‌افزارهای سنج‌های مدل STAR تبعیت می‌کند (رابطه ۲):

$$f(w_t, \gamma, C) = \left\{ 1 + \exp \left[-\gamma \prod_{j=1}^J (w_t - c_j) \right] \right\}^{-1}, \gamma > 0 \quad (2)$$

در تخمین الگو معمولاً دو حالت $z=1$ که اشاره به مدل غیرخطی LSTR1 دارد و $z=2$ که بیان‌کننده شکل تابع انتقال تحت پارامتر لجستیک LSTR2 است، وجود دارد. اگر پس از آزمون شکل تابع انتقال LSTR1 تأیید شود، پارامترهای $f(w_t, \gamma, C) + \theta$ تابعی یکنوا از w_t هستند و بین دو حالت حدی β و $\beta + \theta$ تغییر می‌کنند. اما اگر مقدار F در آزمون فرم تابع انتقال برای LSTR2 بیشتر باشد، پارامترهای $f(w_t, \gamma, C) + \theta$ حول نقطه $\frac{c_1+c_2}{2}$ به طور متقارن در نوسان خواهند بود.

بنابراین، برای برآورد رابطه انتقال ملایم بین مصارف نهاده‌ای آب و تولید انرژی نیروگاهی لازم است ابتدا آزمون انتخاب متغیر انتقال و فرم تابع انتقال انجام شود. سپس، روابط ایستا و پویای مدل پژوهش برآورد شود که نتایج در قسمت ۴ بیان شده است.

نتایج برآورد الگو

قبل از پرداختن به نتایج برآورد الگو و پیش‌آزمون‌ها، باید مانایی متغیرهای استفاده‌شده در مدل بررسی شود. مانایی متغیرهای تاریخی (سری زمانی) نشان می‌دهد بر اثر شوک‌ها و نوسانات آب و هوایی و منطقه‌ای، الگوهای تاریخی بارشی نوساناتی دوره‌ای و پایدار دارند. این شرط اساسی برای نتیجه‌گیری پیرامون تأثیر متغیرهای برون‌زا بر توان تولید انرژی برقی تحت مدل STAR برای ما بسیار حائز اهمیت است. بنابراین، در این بخش ابتدا نتایج مانایی ارائه شده و سپس نتایج برآورد تفسیر شده است.

نتایج مانایی متغیرها

مانند بیشتر الگوهای اقتصادسنجی در پژوهش حاضر نیز نتایج آزمون دیکی فولر متغیرهای پژوهش در جدول ۱

جدول ۱. نتایج آزمون مانایی متغیرها

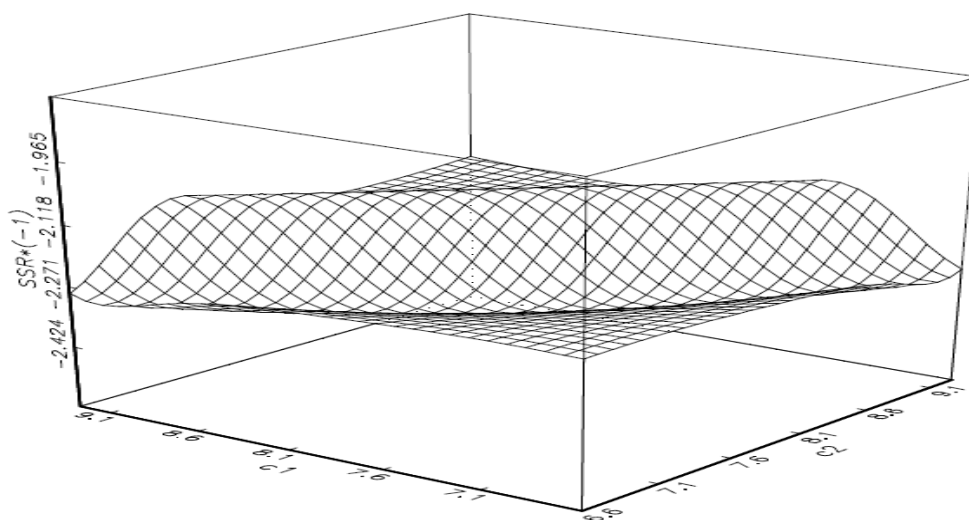
نتیجه	مقدار بحرانی ۵ درصد	مقدار بحرانی ۱۰ درصد	مقادیر آزمون	متغیر
مانا در سطح	-۱/۹۴	-۱/۶۲	۰/۶۰	*HYDROELECTRIC_SUPPLY
مانا در سطح	-۱/۹۴	-۱/۶۲	۲/۰۵	**WATER_SUPPLY

* توان سالانه نیروگاه برق آبی

** هزینه واسطه سالانه آب

جدول ۲. نتایج آزمون غیرخطی بودن مدل، انتخاب متغیر و شکل تابع انتقال

انتخاب آزمون غیر خطی بودن، متغیرهای انتقال و نوع تابع انتقال برحسب بیشترین مقادیر F					
مدل پیشنهادی	F2	F3	F4	F	متغیر انتقال
Linear	$۳/۳۱ \times ۱۰^{-۱}$	$۴/۰۱ \times ۱۰^{-۱}$	NaN	NaN	hydroelectric_supply(t-1)
Linear	$۴/۴۹ \times ۱۰^{-۱}$	$۱/۹۰ \times ۱۰^{-۱}$	NaN	NaN	water_supply(t)
LSTR۲	$۵/۲ \times ۱۰^{-۱}$	$۲/۱۶ \times ۱۰^{-۱}$	$۲/۸۸ \times ۱۰^{-۳}$	$۹/۱۷ \times ۱۰^{-۳}$	water_supply(t-1)*
نتایج محاسبات مقادیر اولیه تابع غیر خطی انتقال ملایم					
c2	c1	γ	SSR	نوع تابع انتقال	
۹/۰۵	۸/۴۸	۱۰	۱/۸۱	LSTR۲	



شکل ۱. مسیر انتقال اولیه به روش LSTR2

هزینه‌های تأمین عرضه آب و بسترسازی برای مولدهای انرژی، کارکرد عوامل توضیح داده‌نشده دوره‌ای همچون مقاصد دیگر تقاضای آب و بارش سالانه را شامل می‌شود که پویایی تغییر وابستگی تولید انرژی بین دو حالت حدی مصرف آب را با تقریبی قابل حدس ساخته و توسط الگوی برآورد انتقال ملایم تأثیر آب بر توان نیروگاهی ایران در جدول ۳ ارزیابی و برآورد شده است.

همان گونه که ملاحظه می‌شود، الگوی خطای مدل رگرسیون بیان‌کننده الگوریتمی از تأمین آب از نوع دینامیک و غیر خطی است که نوسان متقارن خطای مشاهدات حول مقادیر میانگین پارامترهای C1 و C2 در تابع انتقال LSTR2 را نشان می‌دهد. بنابراین، ساختار خطا ارتباط توان تولید برق نیروگاهی وابسته به انرژی هیدروالکتریکی آب را نشان می‌دهد، به گونه‌ای که میزان

جدول ۳. نتایج برآورد مدل

ارزش احتمال	آماره-T	انحراف معیار	ضریب	نقطه شروع	متغیر
برآورد خطی					
۰/۴۴	-۰/۷۷	۶/۹۸	-۵/۳۸	-۱۵/۲۲	CONST
۰/۰۰۳	-۳/۲۶	۰/۱۴	۰/۴۸	۰/۵۶	hydroelectric_supply(t-1)
۰/۰۲	-۲/۶۲	۲/۴۸	-۵/۸۷	-۹/۴۰	water_supply(t)
۰/۰۱	۲/۴۸	۲/۸۳	۷/۰۳۸	۱۱/۶۰	water_supply(t-1)
برآورد غیر خطی					
۰/۲۱	۱/۲۶	۷/۸۱	۹.۸۵	۱۹/۷۵	CONST
۰/۸۹	-۰/۱۳	۰/۴۹	-۰.۰۶	-۰/۱۹	hydroelectric_supply(t-1)
۰/۰۲	۲/۳۷	۲/۵۰	۵.۹۴	۹/۵۱	water_supply(t)
۰/۲۰	-۲/۴۶	۲/۸۴	-۷.۰۲	-۱۱/۵۸	water_supply(t-1)
۰/۰۱	۲/۵۲	۱۵/۲۳	۳۸.۵۰	۱۰	Γ
۰	۱۷۲/۸۸	۰/۰۴	۸.۵۹	۸/۶۸	C1
۰	۲۰۳/۱۰	۰/۰۴	۹.۲۱	۹/۰۵۴	C2
	-۲/۴۷				آکایک
	-۲/۰۰۵				شوارتز
	-۲/۳۱				حنان-کوبین
	۰/۵۲۷۰				ضریب تعیین

میانگین طی دوره ۱۳۵۷ تا ۱۳۹۵ با وقفه یک دوره‌ای قابل تبدیل کامل به انرژی برق با متوسط توان بازدهی سالانه ۸/۸۶۹۳۱۵ است. بنابراین، تحت رژیم انتقال حدی صفر، اگر بازدهی اثر مصرف آب در تولید انرژی برق آبی ایران کمتر از ۸/۸۶۹۳۱۵ باشد، این کاهش توان تولید تا اندازه ۷/۰۲۲ برابر نیز امکان کاهش داشته و در صورتی که تأمین آب تحت انتقال ملایم ناشی از تأمین مطلوب ذخایر آب بتواند به حالت حدی یک انتقال یابد، بر اساس میانگین انتقال ملایم ۸/۸ برابری با سرعت زیادی تا ضریب فزاینده تولید برق آبی ۷/۰۳۸ نیز می‌تواند افزایش یابد.

جمع‌بندی

در مجموع، می‌توان پذیرفت رابطه مصارف سالانه آب در حوزه تولید با وقفه یک دوره، توان زیادی در تولید انرژی برق آبی ایران ایجاد خواهد کرد. البته، تأثیرگذاری رابطه یادشده ضمن اینکه با وقفه یک دوره مثبت و مستقیم است، بسته به عوامل تعیین‌کننده‌ای همچون تغییر مقاصد ذخیره آب‌های سطحی یا تغییر الگوهای آب و هوایی و زیست‌بومی رابطه‌ای غیرخطی بر مبنای انتقال ملایم ذخایر آب و تولید انرژی از نوع متقارن حول میانگین مصارف مختلف آب و اهداف نیروگاهی را در ایران قابل

در جدول ۳ نتایج برآورد مدل STAR برای بررسی رابطه مصارف آب و تولید انرژی برق نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود، پارامترهای تابع انتقال برآوردشده همگی در سطح ۵ درصد معنادارند و نیز معناداری بخش تحلیل غیر خطی تابع انتقال ملایم را نشان می‌دهند.

از سویی، ضریب وقفه مرتبه نخست مصارف آب ۷/۰۳۸۳۴ را نشان می‌دهد که بیان‌کننده رابطه مستقیم مصارف تأمین آب در دوره گذشته با توان تولید برق آبی جاری ایران با ضریب فزاینده حدود ۷ برابر است. این در حالی است که تأمین آب جاری ضریب فزاینده ۵/۸۷ - در تولید انرژی برق آبی ایران دارد. از سوی دیگر، با نگاه به بخش غیر خطی رابطه آب و تولید انرژی حول میانگین تأثیرگذاری $(c1+c2)/2 = 8/869315$ به طور متقارن سال به سال در نوسان است. این تفسیر از رابطه دینامیکی و ایستا تحت رژیم‌های انتقال ملایم نشان‌دهنده رابطه مثبت مصارف آب و تولید انرژی برق آبی در ایران حدود ۷ درصد است و با سرعت تعدیل زیادی به اندازه یک دوره اثر تأمین آب‌های سطحی بر تولید انرژی برق در ایران کامل می‌شود. بر این اساس، می‌توان گفت که آنچه از مصارف آب در تأمین انرژی برمی‌آید، ذخایر سالانه آب‌های سطحی قابل عرضه برای تبدیل به انرژی هیدروالکتریکی ایران به طور

- [2]. Bull, S. R., D. E. Bilello, J. Ekmann, M. J. Sale, and D. K. Schmalzer,,: Effects of climate change on energy production and distribution in the United States in Effects of Climate Change on Energy Production and Use in the United States. A Report by the U.S. Climate:2007.
- [3]. Hoekstra AY, Chapagain AK. Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern.EWRA.2007January[cited 2018 April]:21:35-48 Available from. DOI 10.1007/s11269-006-9039.
- [4]. Zarfl et al. 'A global boom in hydropower dam construction', in Aquatic Sciences.Research Across Boundaries 2015 January: Available from DOI: 10.1007/s00027-014-0377-0
- [5]. Khajehpour Mehdi and Moslem Arefpour. Advantages, Disadvantages and Comparisons with Other Methods of Energy Production, First International Conference and Third National Conference on Dam and Hydroelectric Power Plants, Tehran, 2011. [Persian]
- [6]. Sadeghi Amin,., Measurement of the Levels of Technological Capabilities in the Water and Power Industry, Double Issue of Industrial Technology Development, 2014, No. 19.[Persian]
- [7]. Gutowski J, Hegerl C, Holland J, Knutson R, Mearns O, Stouffer J, Webster J, Wehner F, Zwiers W. Causes of observed changes in extremes and projections of future changes. Weather and climate extremes in a changing climate, CCSP synthesis and assessment product.2008;3:81-116.
- [8]. Meldrum J, Nettles-Anderson S, Heath G, Macknick J. Life cycle water use for electricity generation: a review and harmonization of literature estimates. Environmental Research Letters. 2013 Mar 12;8(1):015031.

توضیح ساخته، به طوری که توان متوسط سالانه تأمین آب در ایران ضریب فزاینده‌ای حدود ۸ برابر برای تولید انرژی را فراهم ساخته که البته این عوامل ناشناخته سرعت تعدیلی به اندازه مصرف کامل ذخایر طی یک سال آبی بر اساس توان اسمی تولید را پیش‌بینی می‌کنند. تشریح روابط یادشده پیامدهایی جدی برای سیاست‌های تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر را یادآور می‌شوند. برای مثال، توان اسمی تولید انرژی برق‌آبی در ایران با الگوهای بارندگی و مصارف دیگر آب اکنون به گونه‌ای تغییر کرده که رقابت در تقاضای آب در بخش‌های دیگر، جایگاهی برای استفاده از توان اسمی نیروگاه برق‌آبی یا ایجاد تقاضای جدید در این حوزه که اصیل‌ترین مولد تولید انرژی تجدید پذیر است را فراهم سازد. همچنین، تغییر الگوهای بارش از جمله عوامل توضیح داده‌نشده‌ای در مدل بود که نقش خود را توانست به عنوان حدسی شهودی در تغییرات جمله اخلاص نشان دهد و سببی برای نوسان مقادیر توضیح داده‌نشده در تابع انتقال حول میانگین معرفی شود. در نهایت، اینکه یادآوری این عوامل شهودی نه تنها به عنوان هدفی برای پژوهش‌های آتی کاربرد دارد، بلکه در ارائه تصویر قابل شهود برای انتقال متقارن دوره‌ای از تابع انتقال در یک رگرسیون استار از زیبایی‌های انتخاب این الگو برای بررسی رابطه مصارف آب و تولید انرژی در ایران نخواهد کاست.

منابع

- [1]. Bakken TH, Modahl IS, Engeland K, Raadal HL, Arnøy S. The life-cycle water footprint of two hydropower projects in Norway. Journal of Cleaner Production. 2016 Feb 1;113:241-50
- [9]. Mulder K, Hagens N, Fisher B. Burning water: A comparative analysis of the energy return on water invested. Ambio. 2010 Feb 1;39(1):9-30.
- [10]. Davoud Manzour and Alireza Rahimi,.,Prioritizing Power Generation in Iran Using Multi-Criterion Decision Making Model, Journal of Energy Economics, 2015, No. 14,., 191-215 [InPersian]
- [11]. Elcock D. Future US Water Consumption: The Role of Energy Production 1. JAWRA Journal of the American Water Resources Association. 2010 Jun;46(3):447-60.