

تحلیل یکپارچه اثر بهبود راندمان آبیاری بر شاخص‌های اعتمادپذیری و آسیب‌پذیری سیستم منابع آب با در نظر گرفتن نوسانات آبدهی (مطالعه موردی حوضه دز)

بهزاد نویدی نساج^۱، نرگس ظهراپی^{۱*} و علی شهبازی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۴/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۶/۳۱)

چکیده

شبیه‌سازی یکپارچه سیستم‌های منابع آب ایزاری کارآمد در ارزیابی و اتخاذ گزینه‌های مختلف تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری‌های کلان در راستای دستیابی به توسعه پایدار حوضه آبریز است. از جمله سیاست‌های مدیریتی در حوضه‌های آبریز افزایش راندمان اراضی کشاورزی است. ارزیابی این سیاست‌ها با توجه به پیچیدگی عملکرد اجزا حوضه‌های آبریز و اندرکنش آنها با یکدیگر و نیز نوسانات آبدهی به‌دلیل مختلف از جمله تغییرات اقلیم از حساسیت بسیاری برخوردار است. با توجه به راندمان پایین آبیاری در کشور ایران، این مطالعه اثر سناریوهای مدیریتی شامل: افزایش بلندمدت راندمان آبیاری تا ۲۰ درصد در بازه‌های ۵ درصدی و سناریوهای نوسانات آبدهی شامل کاهش ۵ و ۱۰ درصد میانگین آورد رودخانه‌های حوضه را بر شاخص‌های اعتمادپذیری و آسیب‌پذیری سیستم منابع آب حوضه دز برآورد کرد. ترکیب این سناریوها در مدل WEAP به‌صورت یکپارچه شبیه‌سازی شد. سناریوها یکبار برای شبکه آبیاری دز و بار دیگر برای کل اراضی کشاورزی حوضه دز شبیه‌سازی شدند. در سناریوهای کاهش آورد با کاهش ۵ و ۱۰ میانگین سالانه آورد، از میزان اعتمادپذیری به‌ترتیب ۵/۶۹ و ۱۸/۸۹ درصد کاسته شد. بهبود راندمان آبیاری ۲۰ درصد در سناریویی که آوردهای فعلی را در نظر می‌گیرد، موجب دستیابی به اعتمادپذیری ۷۳/۵۸ شد. در سناریو کاهش آورد ۵ درصد، اعتمادپذیری به‌ازای افزایش راندمان ۲۰ درصد در شبکه، ۳/۸ درصد و به‌ازای بهبود ۱۵ و ۲۰ درصد راندمان در کل اراضی کشاورزی، به‌ترتیب ۳/۸ و ۵/۷ درصد افزایش داشت. در سناریو کاهش آورد ۱۰ درصد به‌ازای بهبود راندمان ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد در شبکه آبیاری، اعتمادپذیری به‌ترتیب ۱/۹۱، ۳/۸ و ۵/۷ درصد و به‌ازای بهبود راندمان در کل اراضی کشاورزی حوضه به‌ترتیب ۳/۸، ۹/۴۶ و ۱۳/۲ درصد افزایش داشت. شاخص آسیب‌پذیری نیز در کلیه سناریوها بین ۲۵ تا ۳۱ درصد متغیر بود که این نوسان مورد تحلیل سیستمی قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: راندمان آبیاری، اعتمادپذیری، آسیب‌پذیری، نوسانات آبدهی، WEAP، حوضه آبریز دز

۱. گروه مهندسی علوم آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲. دفتر مدل‌های آب و محیط زیست، سازمان آب و برق خوزستان، اهواز، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: nargeszohrabi@gmail.com

مقدمه

کمبود آب یک مسئله کلیدی است که بر عملکرد طیف وسیعی از سیستم‌ها به خصوص سیستم‌های منابع آب موجود در دنیا بسیار اثرگذار است. امروزه با قرار گرفتن جهان در معرض تغییرات اقلیمی، افزایش تقاضا (۲۰ و ۲۱) و تغییر الگوهای مصرف (۲۰) پیش‌بینی شده که کمبود آب گسترش پیدا کند و به تبع آن تأمین امنیت عرضه و تقاضای آب برای حمایت از انسان و محیط‌زیست به یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های قرن ۲۱ مبدل شود (۲۱). در چنین شرایطی است که برنامه‌ریزی و مدیریت تأمین تقاضا در سیستم‌های منابع آب، به دلیل ظرفیت انطباقی محدود این سیستم‌ها (۱ و ۱۹) بسیار پیچیده‌تر از قبل شده است (۱۱). اگرچه که به‌منظور دستیابی به اهداف تأمین تقاضای آب در یک سیستم منابع آب راه‌حل‌های مدیریتی مختلفی وجود دارد (۸) لیکن در میان آنها برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب به‌صورت یکپارچه، به دلیل نظر گرفتن کلیه اجزا و مؤلفه‌های مؤثر بر شرایط مدل‌سازی سیستم به‌صورت یکپارچه و یکجا (۸، ۱۱ و ۲۰) دارای پتانسیل بالاتری برای به‌کار بردن در مناطق مواجه شده با کمبود آب است (۸). جامعه علمی اخیراً به استفاده از شاخص‌ها به‌منظور ارزیابی و نظارت بر پیشرفت به سوی توسعه پایدار توصیه‌های کلیدی کرده است (۲۷). بدیهی است که استفاده از شاخص‌های سیستم منابع آب برای ارزیابی مدیریت و سنجش عملکرد، موجب تخصیص بهتر منابع آب محدود فعلی خواهد شد. به‌منظور مدل‌سازی، اتخاذ تصمیمات یکپارچه و نظارت بر سامانه‌های آبی با استفاده از تحلیل شاخص‌های اعتمادپذیری و آسیب‌پذیری، تاکنون پژوهش‌های متعددی در سراسر جهان انجام شده است (۱، ۴، ۲۲ و ۱۹). در مطالعه‌ای با استفاده از شاخص‌های اعتمادپذیری و آسیب‌پذیری، عملکرد سیستم منابع آب خلیج تمپا مورد سنجش قرار گرفت (۲). در این مطالعه شاخص‌های یاد شده به‌ازای سناریوهای کاهش ۱۰ درصد میانگین سالانه آورد رودخانه‌ها و تغییرات مصرف برآورد و تحلیل شدند. نتایج نشان داد که

افزایش برداشت آب در حوضه به‌منظور رویارویی با رشد تقاضای بلندمدت موجب کاهش ۸/۶ درصدی اعتمادپذیری سیستم می‌شود. این مقدار برای سناریو کاهش دبی رودخانه به ۱۵ درصد کاهش می‌یابد. تحلیل آسیب‌پذیری نیز نشان داد که با افزایش تقاضاها و نیاز به جایگزینی منابع، به‌آرامی شکست‌های سیستم زیاده‌تر شده و هزینه بالایی برای بازگرداندن سیستم به شرایط عادی باید صرف کرد. در ایران نیز اثر سیاست‌های مختلف منابع آب با استفاده از شاخص‌های آسیب‌پذیری و اعتمادپذیری مورد بررسی پژوهشگران بوده است (۷ و ۲۸). در سیستم منابع آب حوضه آبریز دز تا کنون تحقیقات متعددی به بررسی منابع و مصارف کشاورزی پرداخته‌اند (۱۴، ۱۵، ۱۶)، که عمده این پژوهش‌ها بر اتخاذ تصمیمات یکپارچه در بخش کشاورزی به‌منظور اصلاح وضعیت آبیاری کشاورزی تأکید کرده‌اند. فلفلانی و همکاران بیان داشتند که در حوضه دز در حدود ۹۰ درصد آب به‌منظور مصارف کشاورزی اختصاص می‌یابد (۶) لذا کاهش تلفات آب در بخش کشاورزی از طریق بهبود روش‌های آبیاری سهم بزرگی در کاهش برداشت‌ها از مخزن سد دز دارد. وزارت نیرو در پژوهشی (۱۴) مطالعات سیستمی حوضه آبریز دز در سه افق زمانی شامل: کوتاه‌مدت (نیازهای فعلی)، میان‌مدت (مجموع نیازهای فعلی و نیاز طرح‌هایی که مرحله توجیهی را پشت سر گذاشته‌اند) و بلندمدت (مجموع نیازهای فعلی، طرح‌هایی که مرحله توجیهی را پشت سر گذاشته‌اند و طرح‌هایی که در مرحله مطالعات هستند) به بررسی نیاز کشاورزی حوضه دز در افق‌های زمانی مختلف پرداخته است. مطالعه مذکور از روش توصیه شده در نشریه ۵۶ سازمان‌خوار و بار جهانی (FAO۵۶) برای برآورد نیاز آبی استفاده کرد. نتایج نشان داد حجم آب مورد نیاز مصارف کشاورزی در حوضه دز حدود ۳/۶۲۷ میلیارد مترمکعب در سال در شرایط کوتاه‌مدت است که این مقدار در شرایط میان‌مدت و بلندمدت به‌ترتیب به ۴/۴۹۱ و ۴/۶۸۹ میلیارد مترمکعب در سال افزایش می‌یابد. نتایج مطالعه صورت گرفته

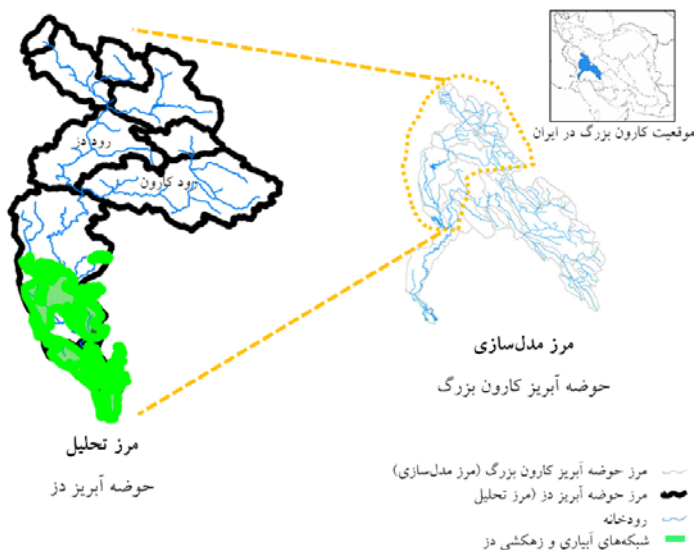
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

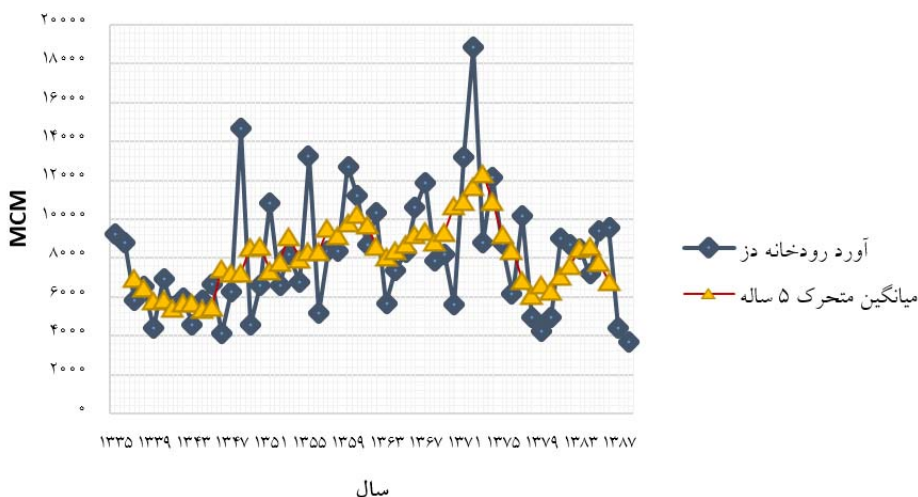
حوضه دز با مختصات جغرافیایی ۳۵' و ۳۲° تا ۷' و ۳۴° در مختصات شمالی و ۲۰' و ۴۸° تا ۲۰' و ۵۰° در مختصات شرقی، با وسعتی معادل ۲۳۲۲۹ کیلومتر مربع در جنوب غربی کشور ایران واقع است. میزان آبی که سالانه به زمین‌های کشاورزی کل حوضه دز اختصاص می‌یابد با احتساب سالانه یک میلیارد مترمکعب انتقال آب بین حوضه‌ای (به حوضه کرخه) در حدود ۴/۷۹۵ میلیارد مترمکعب است، لذا آبی که به‌طور خاص برای کشاورزی در درون حوضه دز به مصرف می‌رسد حدود ۳/۷۹۵ میلیارد مترمکعب در سال است. از این میزان سهم شبکه‌های مدرن آبیاری سطحی دز (شبکه آبیاری دز) به‌طور میانگین ۲/۰۲۰ میلیارد مترمکعب در سال و مابقی سهم مصارف کشاورزی در دیگر نقاط حوضه دز نظیر: شبکه آبیاری کرخه و شاوور، کهنک، اراضی عقیلی، کشت و صنعت‌ها و سایر برداشت‌های کشاورزی سنتی است. بنابراین شبکه آبیاری دز یکی از بیشترین و مهم‌ترین مصرف‌کنندگان آب کشاورزی در حوضه دز است. لذا در این مطالعه اثر سناریوهای مورد تحلیل یکبار در سطح شبکه آبیاری دز و بار دیگر برای کل اراضی کشاورزی حوضه دز (مجموع شبکه دز و مابقی نقاط کشاورزی حوضه) ارزیابی می‌شود؛ به این ترتیب اثر اعمال سناریوهای مدیریتی هم در شبکه آبیاری دز و هم در کل حوضه دز برآورد می‌شود. شکل (۱) نقشه منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد. اراضی کشاورزی حوضه دز در پایین‌دست رودخانه دز قرار گرفته‌اند. رودخانه دز یکی از بزرگ‌ترین و مهم‌ترین رودخانه‌های این حوضه است که در پایین‌دست در نهایت به رودخانه کارون متصل می‌شود. نمودار سری زمانی طبیعی سازی شده تغییرات آورد رودخانه دز به همراه میانگین متحرک پنج ساله آن در شکل (۲) آورده شده است. وابستگی و همبستگی بین رودخانه دز و کارون موجب تأثیرپذیری این رودخانه‌ها از یکدیگر می‌شود، لذا به‌دلیل عدم امکان شبیه‌سازی رودخانه دز به‌صورت منفرد، در این مقاله بستر مدل‌سازی، بستر جامع سیستمی حوضه آبریز کارون بزرگ بوده،

در حوضه دز توسط موسوی و معروفی نشان می‌دهد که این حوضه در بلندمدت با کم شدن آورد رودخانه‌ها روبه‌رو خواهد شد، بنابراین نویسندگان پیشنهاد می‌کنند بازننگری و تغییر استراتژی‌های مدیریت منابع آب در برای سازگاری با این شرایط مورد توجه بیشتری قرار گیرد (۲۳). در پژوهشی دیگر (۱۲) به‌منظور ارزیابی تأثیر سیاست‌های مدیریتی مختلف تولید هیدروانرژی در حوضه آبریز کارون بزرگ، از مدل WEAP استفاده شد. به این منظور ابتدا رودخانه‌ها و گره‌های مصرف در محیط WEAP ایجاد شدند، سپس سری زمانی بلندمدت همچنین داده‌های مصارف به‌صورت بلندمدت ماهانه وارد مدل شدند و سپس اثر سناریوهای مدیریتی تولید هیدروانرژی در شرایط آبی تحلیل شد. دهقان و همکاران برنامه‌ریزی تخصیص منابع آب تحت سناریوهای مدیریتی را در حوضه آبریز گرگان‌رود توسط مدل WEAP مورد ارزیابی قرار دادند (۳). در پژوهش مذکور درصد حجم آب تخصیص برای نیازهای کشاورزی، صنعت، آبی‌پروری و زیست‌محیطی با توجه به اهداف مورد نظر مدل‌سازی شد. نتایج مطالعه حاکی از این بود که افزایش راندمان آبیاری می‌تواند اعتمادپذیری سیستم را در برنامه‌ریزی به شکل قابل‌توجهی حفظ کند.

در این راستا با توجه به اینکه تاکنون پژوهشی به بررسی یکپارچه و سیستمی اثرات افزایش راندمان آبیاری بر شاخص‌های سیستم منابع آب حوضه دز نپرداخته است، هدف این پژوهش برآورد اثرات افزایش راندمان آبیاری بر شاخص‌های اعتمادپذیری و آسیب‌پذیری تأمین آب در سیستم منابع آب حوضه آبریز دز به‌منظور ارزیابی یکپارچه آثار تصمیمات مدیریتی بلندمدت و آگاهی ذی‌نفعان حوضه آبریز است. به این منظور سناریوهای مدیریتی شامل بهبود راندمان آبیاری و سناریوهای نوسان آبدهی رودخانه‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌اند. ترکیب و اثر این سناریوها با استفاده از مدل ارزیابی و برنامه‌ریزی منابع آب WEAP به‌صورت یکپارچه شبیه‌سازی شده است.



شکل ۱. منطقه مطالعاتی



شکل ۲. تغییرات بلندمدت آورد رودخانه دز در محل سد دز

مورد نیاز برای گیاهان کشت شده در زمین‌های کشاورزی است. با در نظر گرفتن میزان آب واقعی می‌توان آب اختصاص یافته اضافی را پایش کرد. در این پژوهش با استفاده از روش پیشنهاد شده در نشریه فائو-۵۶ میزان آب مورد نیاز الگوی کشت شبکه برآورد شد. این روش برای تخمین نیاز آبی محصولات کشاورزی حوزه آبریز اخیراً توسط سایر پژوهشگران نیز استفاده شده است (۲۶). محاسبات مربوط در جدول (۱) آورده شده است، در ستون نیاز واقعی ارائه شده در این جدول تلفات

اما تحلیل‌های صورت گرفته بر مبنای تغییرات در راندمان آبیاری و سایر پارامترهای حوزه دز تا بند قیر است. طبق مطالعات صورت گرفته در شبکه‌های آبیاری حوزه دز، میزان راندمان آبیاری در اراضی کشاورزی این محدوده بسیار پایین است (۱۴ و ۲۵).

نیاز آبی الگوی کشت

اولین گام مورد نیاز در این مطالعه، سنجش میزان واقعی آب

جدول ۱. وضعیت راندمان آبیاری کشاورزی در حوضه دز

سال	آب اختصاص داده شده (MCM)	نیاز واقعی (MCM) (با در نظر گرفتن ۰/۴ درصد تلفات آبیاری سطحی)	راندمان (درصد)	تلفات (MCM)
۱۳۹۰	۲۱۳۵/۹۹۱	۸۰۸/۶۱۴	۳۷/۸۵	۱۳۲۷/۳۷۷
۱۳۹۱	۱۶۱۳/۱۶۴	۸۳۶/۰۸۳	۵۱/۸۲	۷۷۷/۰۸۱
۱۳۹۲	۱۹۵۳/۵۴۹	۹۸۳/۶۴۹	۵۰/۳۵	۹۶۹/۸۵۵
۱۳۹۳	۲۲۵۴/۸۴۳	۹۵۵/۸۷۱	۴۲/۳۹	۱۲۹۷/۹۷۲
۱۳۹۴	۲۱۴۷/۴۴۲	۸۸۰/۷۶۳	۴۱/۰۱	۱۲۶۶/۶۷۹

می‌کند. این مقدار برابر با تعداد سال‌هایی است که در طول دوره شبیه‌سازی به صورت موفق تأمین شده‌اند که در حقیقت عبارت از احتمال عدم وقوع حالتی از یک پدیده تصادفی که در بازه زمانی خاص است. اعتمادپذیری شاخصی مهم به منظور ارزیابی سازگاری و انعطاف‌پذیری یک سیستم منابع آب تحت شرایط عدم قطعیت هیدرولوژیکی و کمبود آب است. میزان استاندارد شاخص اعتمادپذیری برای مقاصد کشاورزی، مطابق تعریف وزارت نیروی کشور ایران معادل تأمین موفق ۹۵ درصد نیازها در ۷۵ درصد مواقع است (۱۳). بنابراین مقدار شاخص اعتمادپذیری متأثر از سال‌هایی در سری زمانی است که ۹۵ درصد یا بیشتر تأمین آب شده‌اند. لذا مقدار استاندارد برای شاخص اعتمادپذیری برابر ۷۵ درصد است، بدین ترتیب مقادیر کمتر از این مقدار فاقد اعتمادپذیری مطلوب هستند.

شاخص آسیب‌پذیری بیانگر این است که شدت شکست / یا پارامترهای موجب آن به چه میزان خواهد بود. همان‌طور که در رابطه (۳) تعریف شده است این معیار میزان اختلاف بین معیار (C) و پارامتری که مورد مطالعه است (X) را نشان می‌دهد. بنابراین اگر تقاضا C باشد، آسیب‌پذیری حداکثر شکاف بین تأمین و تقاضا را طی دوره J نشان می‌دهد (۲). به این دلیل ضرورت دارد مقدار این شکاف‌ها در طول سال‌های مختلف برای منطقه مطالعاتی به‌عنوان پارامتری مؤثر در تصمیم‌گیری منابع آب بررسی شود. اگر J_1, \dots, J_N دوره‌های نامطلوب X_t باشند، آسیب‌پذیری (Cv) به شکل زیر تعریف می‌شود (۲، ۷ و ۱۰):

۴۰ درصد معمول برای روش آبیاری سطحی نیز پیش‌بینی شده است (۲۴).

لذا طبق جدول (۱) مشاهده می‌شود که مقدار نیاز واقعی شبکه بسیار کمتر از میزانی است که به آن اختصاص داده می‌شود و سالانه در حدود یک میلیارد مترمکعب از منابع آب دچار تلفات می‌شود.

اعتمادپذیری و آسیب‌پذیری

اعتمادپذیری چارچوبی را برای کمی‌سازی عدم قطعیت خروجی سیستم فراهم می‌کند (۱۰). اگر X_t ($t=1 \dots T$) یک سری زمانی شبیه‌سازی شده از یک پارامتر (نظیر میزان آب مورد نیاز برای شبکه آبیاری و زهکشی) زمانی که در قیاس با یک معیار (C) قرار بگیرد به‌عنوان شاخصی از عملکرد سیستم در نظر گرفته می‌شود. این مقایسه شرایط قرارگیری سیستم در حالت عدم شکست (NF) و شکست (F) و در نهایت وضعیت سیستم (Z) را نشان می‌دهد که (۷ و ۱۰):

$$\text{if } X_t \geq C \text{ then } X_t \in \text{NF and } Z_t = 0 \\ \text{else } X_t \in \text{F and } Z_t = 1 \quad (1)$$

لذا اعتمادپذیری (C_R) به شکل زیر تعریف می‌شود (۲، ۷، ۹ و ۱۰):

$$C_R = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T Z_t}{T} \quad (2)$$

اعتمادپذیری، بسامد یا احتمال موفقیت سیستم را به‌وسیله شمارش ساده سال‌هایی که سیستم در وضعیت عدم شکست بوده در مقایسه با کل دوره شبیه‌سازی شده (T) را اندازه‌گیری

جدول ۲. سناریوهای انتخاب شده

سناریو	بهبود راندمان (درصد)		کاهش آورد رودخانه‌های حوضه (درصد)
	کل حوضه دز	شبکه آبیاری دز	
۱	۵	۵	۰
	۱۰	۱۰	۰
	۱۵	۱۵	۰
	۲۰	۲۰	۰
۲	۵	۵	۵
	۱۰	۱۰	۵
	۱۵	۱۵	۵
	۲۰	۲۰	۵
۳	۵	۵	۱۰
	۱۰	۱۰	۱۰
	۱۵	۱۵	۱۰
	۲۰	۲۰	۱۰

تعریف سناریوها

سناریوهای مورد بررسی از ترکیب سناریوهای مدیریتی شامل افزایش تدریجی راندمان آبیاری در سطوح ۵ تا ۲۰ درصد به صورت بازه‌های پنج درصدی و سناریوهای کاهش آورد شامل کاهش ۵ و ۱۰ درصد میانگین دبی سالانه رودخانه‌های حوضه است که ترکیب این سناریوها به ازای شرایط بلندمدت برای هر مرحله شبیه‌سازی شده است. در شرایط بلندمدت فرض شده که علاوه بر نیازهای فعلی، طرح‌هایی که مرحله توجیهی را پشت سر گذاشته‌اند و طرح‌هایی که در مرحله مطالعات وزارت نیرو هستند نیز وارد سیستم شده و مورد بهره‌برداری قرار گیرند، بدیهی است که در چنین شرایطی تقاضای آب در بخش‌های مختلف افزایش نشان می‌یابد (۱۵). به منظور ارزیابی تفکیک شده مکانی، اثر سناریوها یک‌بار در شبکه آبیاری دز و بار دیگر برای کل مصارف کشاورزی حوضه دز شبیه‌سازی شده است. جدول (۲) سناریوهای مورد ارزیابی را نشان می‌دهد.

مدل‌سازی یکپارچه حوضه

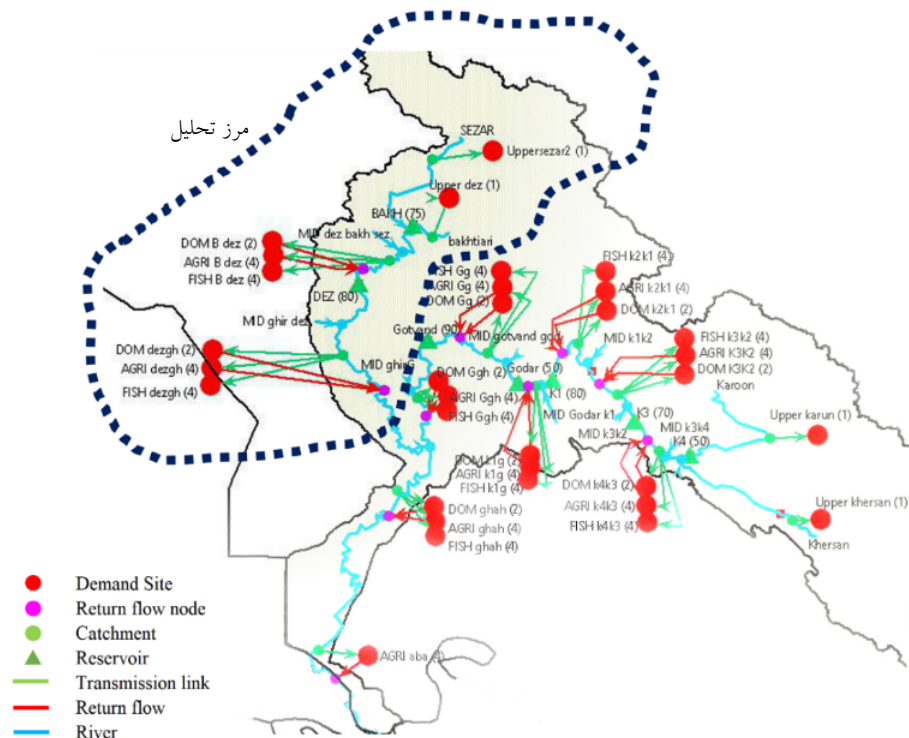
ساختار حال حاضر مرتبط با مدیریت منابع آبی در کشورهای

$$C_V = \max \left\{ \sum_{t \in J_i} C - X_t, \quad i = 1, \dots, N \right\} \quad (3)$$

تعریف‌های مشابهی از آسیب‌پذیری وجود دارد به عنوان مثال هاشیموتو و همکاران شاخص آسیب‌پذیری را بر اساس کل کمبودی که در ژامین گذار در وضعیت شکست ایجاد می‌شود $v(j)$ برآورد کردند و احتمال اینکه هر رویداد شدیدترین شکست باشد را برای همه رویدادها یکسان و برابر با $\frac{1}{M}$ در نظر گرفتند (۱۰)؛ و لذا آسیب‌پذیری را میانگین شدت کمبودها در دوره‌های شکست تعریف کردند رابطه (۴) که در این مقاله نیز از همین تعریف استفاده شده است؛ اخیراً در پژوهش‌های مرتبط مورد استفاده قرار گرفته است (۹):

$$C_V = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M v(j) \quad (4)$$

در رابطه (۴)، M : تعداد رخدادها شکست است. در محاسبه شاخص‌های اعتمادپذیری و آسیب‌پذیری در نظر گرفتن یک سری زمانی بلندمدت تأمین و تقاضا اهمیت دارد، چراکه محاسبه این شاخص‌ها بر اساس سری زمانی کوچک نتایج دقیقی را گزارش نمی‌کند (۱۷).



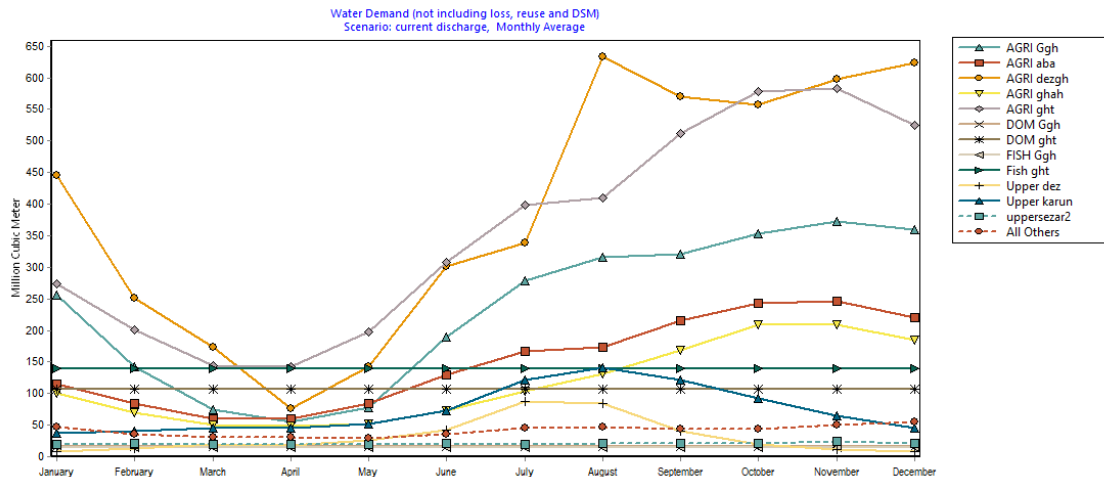
شکل ۳. شماتیک منابع و مصارف در مدل WEAP به همراه مرز تحلیل (خط چین)

خالص رخ داده در مخزن (مخزن سد، ذخایر آب زیرزمینی و رطوبت خاک) در نظر گرفته می‌شود. مدل به هر گره و اتصال یک معادله تعادل جرم و برحسب نیاز معادلات و قیودات مورد نیاز دیگر مرتبط با جریان ورودی و خروجی را اختصاص می‌دهد.

$$\sum \text{inflow} = \sum \text{Outflow} + \text{Addition to storage} \quad (5)$$

پارامترها و نیازهای مدل شامل: شماتیک حوضه، اطلاعات گره‌های تقاضا (شرب، کشاورزی و صنعت) و اولویت‌های هر کدام از آنها، مخزن سد، حجم و منحنی فرمان بهره‌برداری از آن، جریان‌های زیست‌محیطی مورد نیاز و سری زمانی دبی رودخانه‌های حوضه است. شماتیک منابع و مصارف حوضه کارون بزرگ در مدل به همراه اولویت‌های بهره‌برداری در شکل (۳) آورده شده است در شکل (۳) بستر مورد تحلیل (حوضه دز) در درون حوضه آبریز کارون بزرگ علامت‌گذاری شده است؛ توزیع ماهانه نقاط مصرف نیز در شکل (۴) آورده شده

در حال توسعه نظیر ایران، نشأت گرفته از اعمال سیاست‌های انفرادی هر سازمان است که باعث درگیری و عدم کارایی کامل در امر مدیریت شده است؛ به‌منظور حل این مشکل توجه به مدیریت مؤثر و یکپارچه حوضه آبریز اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. مدل WEAP برای کمک به و ذی‌نفعان برای ارزیابی سیاست‌های تأمین آب و برنامه‌ریزی‌های یکپارچه منابع آب طراحی شده است. این مدل ابتدا توسط مؤسسه محیط‌زیست استکهلم واقع در بوستون، ایالات متحده توسعه یافت. WEAP از یک برنامه‌ریزی خطی برای به حداکثر رساندن اقناع تقاضاهای تعریف شده توسط کاربر از قبیل: اولویت تقاضا، ترجیح دادن عرضه به یک گره، ایجاد توازن بین گره‌ها و دیگر محدودیت‌های محتمل از این دست استفاده می‌کند. معادله تعادل جرم در برنامه‌ریزی خطی مدل در رابطه (۵) نشان داده شده است (۲۲). این معادله اساس محاسبات آب ماهانه را در مدل تشکیل می‌دهد که بر این اساس مجموع ورودی برابر با مجموع آب خروجی و جمع جبری تغییرات



شکل ۴. توزیع ماهانه نقاط مصرف در مدل WEAP

کشاورزی معادل ۲۵ درصد و آب برگشتی مصارف شهری معادل ۹۰ درصد در نظر گرفته شد (۱۵). کلیه اطلاعات مورد نیاز به مدل به صورت ماهانه وارد شده است. در سناریوهای اثرات افزایش راندمان به عنوان یک ضریب بر میزان تقاضاها وارد شده است. مقدار ضریب در هر مرحله از بهبود راندمان و در نتیجه کاهش میزان نیاز آبی، کمتر می شود؛ با توجه به میزان بیشتر آب کشاورزی مورد نیاز در کل حوضه دز نسبت به شبکه آبیاری دز، طبیعی است که بهبود راندمان در کل حوضه نسبت به بهبود راندمان در شبکه آبیاری تأثیر بیشتری داشته باشد. این تأثیر با کاهش مقدار ضریبی که در میزان نیازها تأثیر داده می شود همراه است. در حقیقت این ضریب بیان می کند که افزایش راندمان چه تأثیری روی نیازها داشته که مقدار آن برای شبکه دز و کل حوضه دز به ترتیب در جدول (۳ و ۴) محاسبه شده است. در جدول (۳ و ۴)، میزان آب مورد نیاز محدوده در ستون اول و در مقابل آن میزان بهبود راندمان آبیاری تحت سناریوهای مدیریتی در این ناحیه در ستون دوم آورده شده است. ستون سوم بیانگر میزان آب ذخیره شده با توجه به بهبود راندمان متناظر در ستون دوم است که از ضرب درصد بهبود راندمان در ستون یک به دست می آید. ستون چهارم کل نیاز ثابت برای آب کشاورزی و ستون پنجم نسبت مقدار آب ذخیره شده در ستون سوم به کل نیاز در ستون چهارم را نشان می دهد. در نهایت از

مجموع مصارف سالانه کشاورزی در حوضه دز نیز معادل ۴/۷۹۵ میلیارد مترمکعب در سال است. هر مخزن سد دارای اولییتی برای پر بودن است که نسبت به تمام خواسته های دیگر سیستم، سنجیده می شود. با توجه به روش حل معادلات در مدل WEAP در اولویت بندی مخازن، اولویت بالاتر به مفهوم تخلیه بیشتر مخزن و آبیگری پس از تأمین مصارف با اولویت بندی مخازن استفاده می کند؛ در این مطالعه اولویت بهره برداری از مخازن سدهای حوضه مطابق دستورالعمل وزارت نیروی کشور ایران در نظر گرفته شده است (۲۵ و ۱۵).

اطلاعات نقطه های مصرف شامل: زمین های کشاورزی حوضه، نیازهای شرب و صنعت، مراکز پرورش ماهی در محدوده و همچنین انتقال های بین حوضه ای است که در مدل لحاظ شده است. نیازهای زیست محیطی پایین دست نیز با توجه به ملاحظات وزارت نیرو در مدل لحاظ شده است (۲۵ و ۱۵). در مدل سازی با توجه به الگوی هیدرولوژی گذشته و تحلیل بسامد جریان ورودی سالانه در نقطه نماینده رودخانه ها برای کلیه سناریوهای روش سالی-آبی نرمال استفاده شد (۲۹). به منظور تعریف بخش تأمین و منابع، مدل از سری زمانی آورد رودخانه های حوضه و جریان آب های برگشتی استفاده می کند که در این مطالعه مقدار جریان آب های برگشتی از زمین های

جدول ۳. ضرایب مدل برای شبکه آبیاری دز

(۶)	(۵)	(۴)	(۳)	(۲)	(۱)
ضریب اصلاحی	نسبت	نیاز کل (MCM)	اختلاف (MCM)	بهبود راندمان (درصد)	نیاز شبکه آبیاری دز (MCM)
۰/۹۷۹	۰/۰۲۱	۴۷۹۵	۱۰۱	۵	۲۰۲۰
۰/۹۵۸	۰/۰۴۲	۴۷۹۵	۲۰۲	۱۰	۲۰۲۰
۰/۹۳۷	۰/۰۶۳	۴۷۹۵	۳۰۳	۱۵	۲۰۲۰
۰/۹۱۶	۰/۰۸۴	۴۷۹۵	۴۰۴	۲۰	۲۰۲۰

جدول ۴. ضرایب مدل برای کل حوضه دز

(۶)	(۵)	(۴)	(۳)	(۲)	(۱)
ضریب اصلاحی	نسبت	نیاز کل (MCM)	اختلاف (MCM)	بهبود راندمان (درصد)	نیاز کشاورزی در کل حوضه دز (MCM)
۰/۹۶	۰/۰۳۹	۴۷۹۵	۱۸۹	۵	۳۷۹۵
۰/۹۲	۰/۰۷۹	۴۷۹۵	۳۷۹	۱۰	۳۷۹۵
۰/۸۸	۰/۱۱۸	۴۷۹۵	۵۶۹	۱۵	۳۷۹۵
۰/۸۴۲	۰/۱۵۸	۴۷۹۵	۷۵۹	۲۰	۳۷۹۵

منطقی، سیاست بهره‌برداری استاندارد (SOP) به‌عنوان مبنای شبیه‌سازی مورد استفاده قرار گرفته است. شکل (۵) مراحل شبیه‌سازی در این مطالعه را نشان می‌دهد.

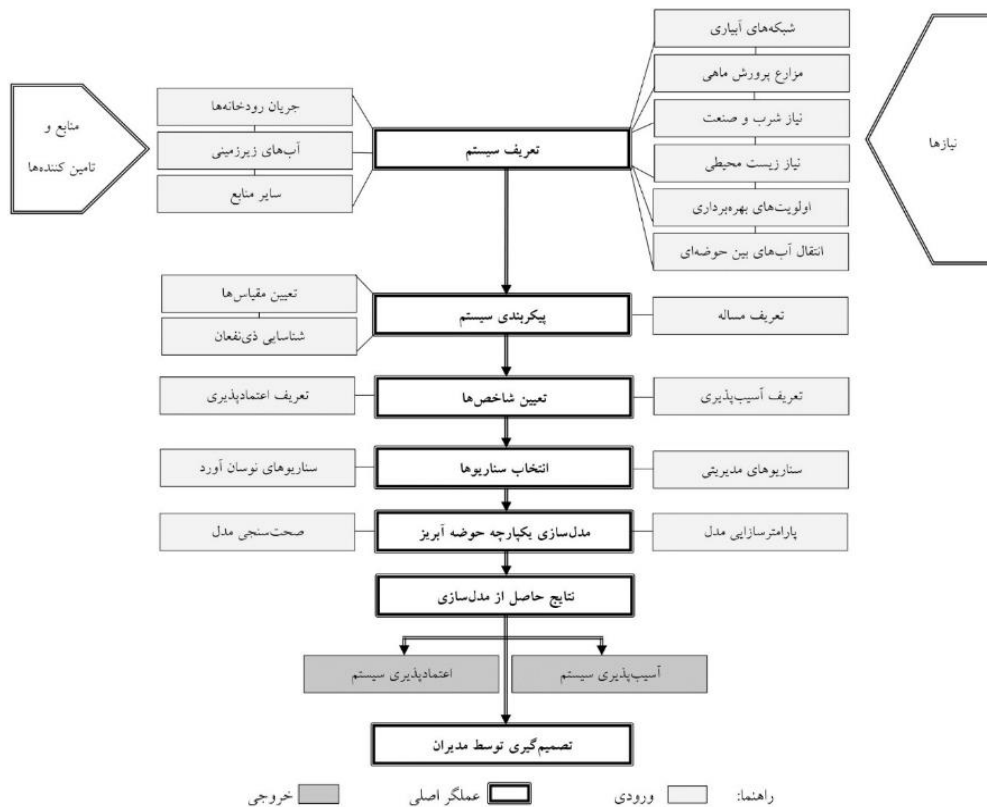
نتایج و بحث

شاخص اعتمادپذیری و آسیب‌پذیری

مدل به‌ازای هر سناریو مقادیر نیاز و نیازهای مورد تأمین واقع شده را اعلام می‌کند. این خروجی‌ها در نهایت با استفاده از روابط (۲) و (۴)، اعتمادپذیری و آسیب‌پذیری سیستم را نتیجه می‌دهند. این نتایج در جدول (۵) ارائه شده است. در جدول (۵) مقدار شاخص‌های اعتمادپذیری و آسیب‌پذیری در ردیف‌های با بهبود راندمان صفر، بیانگر میزان اولیه این شاخص‌ها (بدون در نظر گرفتن تأثیر بهبود راندمان) است؛ به این صورت که در سناریو اول نشان‌دهنده وضعیت شاخص‌ها به‌ازای شرایط فعلی حوضه و در سناریو دوم و سوم به‌ازای شرایط کاهش آورد است. اعتمادپذیری و آسیب‌پذیری ارائه

تفاضل عدد یک با میزان ارائه شده در ستون پنجم میزان ضریب در ستون ششم به‌دست می‌آید. به این ترتیب با ضرب کردن اعداد ارائه شده در ستون ضریب اصلاحی (ستون ششم) در میزان نیاز کشاورزی محدوده (ستون اول)، مقدار نیاز متناسب با سطوح مختلف بهبود راندمان کاهش می‌یابد.

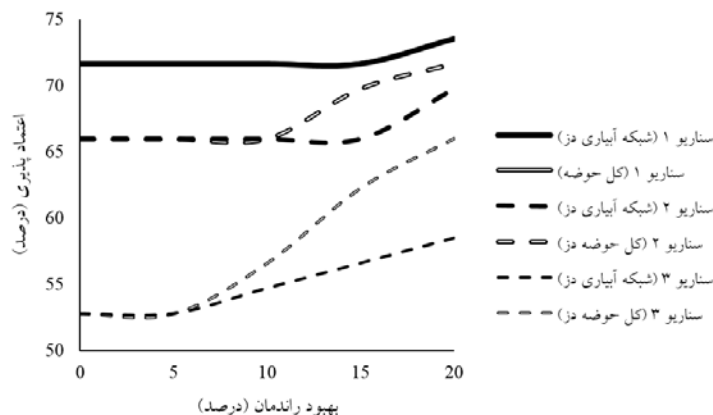
در سناریوهای دو و سه همان‌طور که اشاره شد به‌ترتیب ۵ و ۱۰ درصد کاهش آورد رودخانه‌های حوضه در نظر گرفته شده است که به‌عنوان ضریب در سری زمانی دبی تأثیر داده شده است. مدل‌سازی صورت گرفته با استفاده از کلیه مشخصات فیزیکی و سازه‌ای ارائه شده در مراجع معتبر و گزارش‌های مصوب سازمان آب و برق خوزستان انجام شده است (۱۵). رشد و توسعه سریع مصارف و احداث سازه‌های متعدد تنظیم جریان از یک‌سو و از سوی دیگر عدم وجود منحنی‌های فرمان بهره‌برداری در سدها موجب شده که کالیبراسیون مدل شبیه‌سازی مورد استفاده در این سیستم در عمل امکان‌پذیر نباشد؛ لذا برای ایجاد یک بستر مقایسه‌ای



شکل ۵. مراحل شبیه‌سازی

جدول ۵. نتایج شبیه‌سازی سناریوها

سناریو	بهبود راندمان	کاهش آورد	شبکه آبیاری دز		کل حوضه دز	
			اعتمادپذیری	آسب‌پذیری (درصد)	اعتمادپذیری	آسب‌پذیری
۱	۰	۰	۷۱/۶۹	۳۰/۴۶	۷۱/۶۹	۳۰/۴۶
	۵	۰	۷۱/۶۹	۲۹/۰۲	۷۱/۶۹	۲۸/۸۵
	۱۰	۰	۷۱/۶۹	۲۸/۵۵	۷۱/۶۹	۲۷/۶۶
	۱۵	۰	۷۱/۶۹	۲۷/۹۵	۷۱/۶۹	۲۶
	۲۰	۰	۷۳/۵۸	۲۸/۳۹	۷۳/۵۸	۲۵
۲	۰	۵	۶۶	۳۱	۶۶	۳۱
	۵	۵	۶۶	۳۰	۶۶	۲۹/۷
	۱۰	۵	۶۶	۲۹	۶۶	۲۸/۱۴
	۱۵	۵	۶۶	۲۸	۶۶	۲۹/۷
	۲۰	۵	۶۹/۸	۳۰	۷۱/۷	۲۹/۵۹
۳	۰	۱۰	۵۲/۸	۲۹/۳	۵۲/۸	۲۹/۳
	۵	۱۰	۵۲/۸	۲۸	۵۲/۸	۲۷/۶
	۱۰	۱۰	۵۴/۷۱	۲۸/۲	۵۶/۶	۲۸/۳
	۱۵	۱۰	۵۶/۶	۲۸/۶	۶۲/۲۶	۳۰
	۲۰	۱۰	۵۸/۵	۲۸/۵	۶۶	۳۰/۳



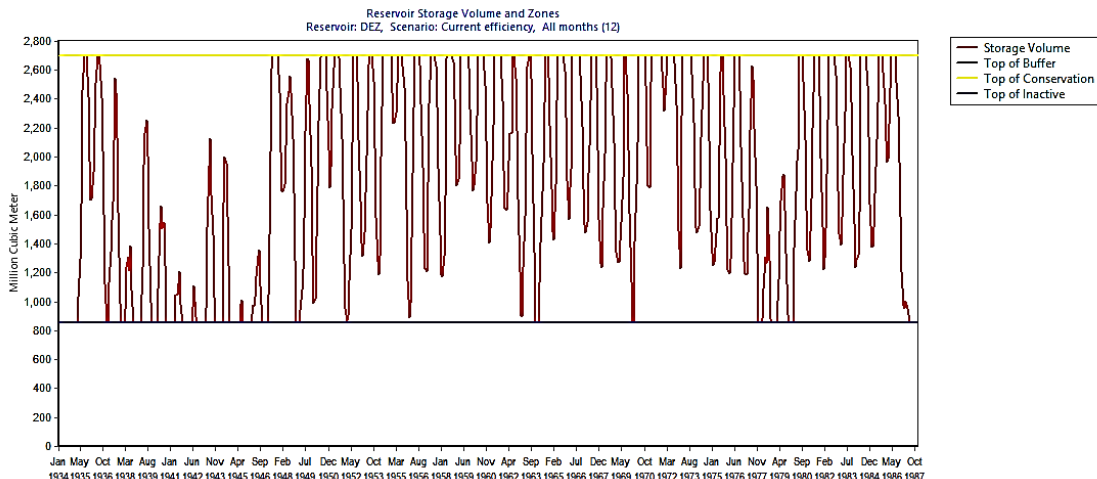
شکل ۶. تغییرات شاخص اعتمادپذیری در سناریوها

رودخانه دز بهتر متوجه شد (شکل ۲) که در آن مشاهده می‌شود در بعضی سال‌های خاص به دلیل خشکسالی‌های شدیدی که سیستم با آنها مواجه بوده، میزان آورد بسیار کمتر از میانگین بوده است، نتیجه اینکه در آن سال‌های به‌خصوص سیستم تحت هر شرایطی دچار شکست می‌شود. در سناریو اول به‌ازای بهبود راندمان تا سقف ۲۰ درصد افزایشی در شاخص اعتمادپذیری مشاهده نمی‌شود زیرا میزان عدم موفقیت در تأمین نیازها در سری زمانی داده‌ها بیشتر از آن بوده که با بهبود راندمان‌های کمتر از ۲۰ درصد ارضا شود. دهقان و همکاران (۳) نیز در حوضه گرگانرود به این نتیجه رسیدند که بهبود راندمان آبیاری موجب تثبیت شاخص اعتمادپذیری می‌شود. در این سناریو در نهایت با بهبود ۲۰ درصدی راندمان شاخص اعتمادپذیری به ۷۳/۵۸ درصد افزایش پیدا کرده است. فرح‌زاده و همکاران (۵) در پایین دست سد کرخه به این نتیجه رسیدند که افزایش راندمان آبیاری می‌تواند موجب بهبود اعتمادپذیری تأمین آب سیستم شود. در تحلیل نتایج باید این موضوع را در نظر داشت که اگرچه میزان افزایش این شاخص اندک بوده ولی این افزایش به معنی تأمین موفق در طیف وسیعی از سال‌هایی است که با عدم تأمین مواجه بوده‌اند. در سناریو دوم که میانگین آورد سالانه رودخانه‌های حوضه دز پنج درصد کاهش داشته، اعتمادپذیری با ۵/۶۹ درصد کاهش به ۶۶ درصد رسیده است که این موضوع مطابق با نتایج به‌دست آمده از مطالعات مشابه

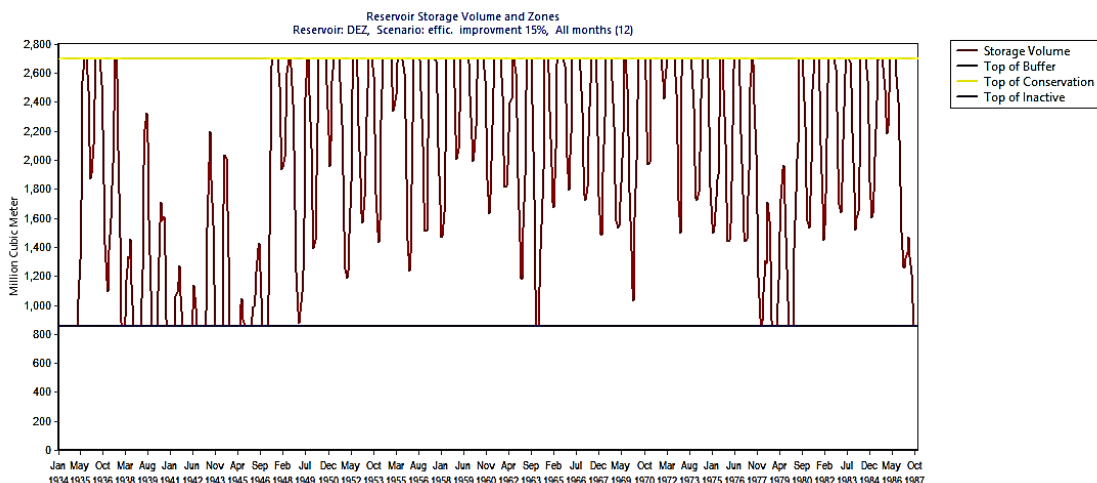
شده در جدول (۵) مربوط به کل اراضی کشاورزی حوضه دز تا بند قیر است.

تحلیل اعتمادپذیری

اعتمادپذیری سیستم به‌ازای شرایط اولیه ۷۱/۶۹ درصد بوده که این امر نشان می‌دهد علیرغم اینکه سالانه حدود یک میلیارد مترمکعب (جدول ۱) تلفات آب در حوضه وجود دارد، هنوز سیستم با کمبود اعتمادپذیری (۷۵ درصد اعتمادپذیری) روبه‌رو است؛ همچنین با توجه به روند کاهشی و سپس افزایشی تلفات آب در جدول (۱) می‌توان نتیجه گرفت که راندمان آبیاری کشاورزی طی سالیان اخیر برای کاهش تلفات و در نتیجه بهبود اعتمادپذیری تأمین آب نبوده است. لذا ادامه شرایط فعلی بدون بهبود راندمان آبیاری، با عدم امکان افزایش در وضعیت اعتمادپذیری تأمین آب کشاورزی حوضه همراه است. در سناریو اول نتایج در سطح شبکه آبیاری و کل حوضه دز کاملاً یکسان بوده است (شکل ۶)، این موضوع به دلیل وقوع خشکسالی‌های بسیار شدیدی که سیستم با آنها مواجه بوده، به‌طوری‌که با افزایش راندمان امکان جبران آنها وجود نداشته است؛ لذا می‌توان گفت آب حاصل از بهبود راندمان چه در شبکه آبیاری دز و چه در کل حوضه دز توانایی غلبه بر شکست‌های سیستم در شرایط این سناریو را نداشته است. در حقیقت این موضوع را می‌توان با توجه به سری زمانی آورد



شکل ۷. تغییرات تراز سد دز- حالت اولیه در مدل WEAP



شکل ۸. تغییرات تراز سد دز- حالت افزایش ۱۵ درصدی راندمان آبیاری در مدل WEAP

است که کاهش نیاز ناشی از بهبود راندمان در کل حوضه، موجب حفظ آب زیادتر نسبت به مقدار آب حفظ شده ناشی از بهبود راندمان در شبکه آبیاری دز شده (مجموع جدول‌های ۲ و ۳) و لذا تأثیر آن بر شاخص اعتمادپذیری زودتر و بیشتر بوده است. در سناریو سوم که میانگین سالانه آورد رودخانه‌های حوضه ۱۰ درصد کاهش یافته نتایج حاکی از افت بسیار شدید و نگران‌کننده اعتمادپذیری تأمین آب است به طوری که در این شرایط بدون افزایش راندمان، سیستم تنها قادر است تا در حدود نیمی از مواقع تأمین آب را تضمین کند. در این سناریو

است (۲، ۴، ۱۱ و ۲۸). این مقدار نیز به دلایل ذکر شده تا افزایش راندمان ۱۵ درصد در کل حوضه و ۲۰ درصد در شبکه آبیاری دز تنها تثبیت شده و سپس افزایش نشان داده است، تغییرات بلندمدت تراز سد مخزنی دز در حالت اولیه (شکل ۷) و حالتی که راندمان ۱۵ درصد بهبود داشته (شکل ۸) نیز بیانگر این است که شدت خشکسالی‌ها به حدی بوده که بهبود اعتمادپذیری با بهبود راندمان آبیاری ۱۵ درصد نیز دست‌یافتنی نبوده است. علت واکنش زودتر اعتمادپذیری در شرایط افزایش راندمان در کل حوضه نسبت به شبکه آبیاری دز به این دلیل

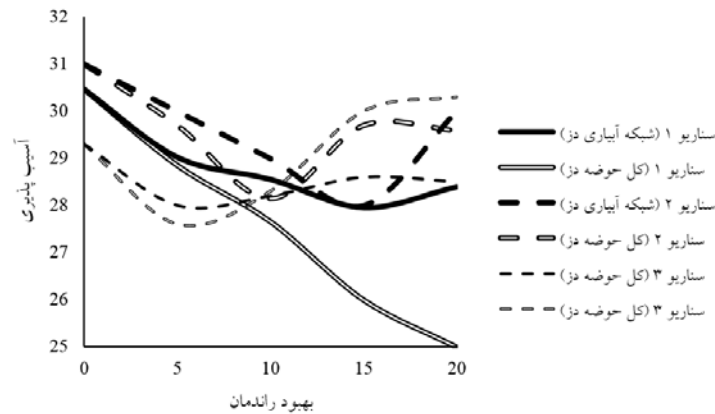
۹۵ درصد به بالاتر از این مقدار است. بهبود راندمان (کاهش تقاضا) موجب رخ دادن این حالت می‌شود، لیکن از آنجائی که بهبود راندمان در سطوح تعریف شده و متناهی صورت می‌گیرد در نهایت متوقف می‌شود و وابسته به شرایط سری زمانی مورد بررسی و سناریو مورد شبیه‌سازی ممکن است در برخی مقاطع درصد تأمین بعضی سال‌ها که تاکنون بسیار کم بوده‌اند را تا مرز ۹۴/۹۹ درصد برساند اما توانایی رساندن آنها به ۹۵ درصد و بالاتر را نداشته باشد که این امر در مقاطعی که آسیب‌پذیری افزایش داشته در سری زمانی رخ داده است، لذا بدیهی است که در چنین شرایطی با بهبود راندمان میانگین کمبودها از یک مقدار کم به مقدار بیشتری افزایش یافته و سبب افزایش شاخص آسیب‌پذیری می‌شود. در سناریو اول به‌ازای بهبود راندمان در کل حوضه آسیب‌پذیری به‌تدریج کاهش یافته است (شکل ۹). علت عدم افزایش آسیب‌پذیری در این برهه این بوده است که مقدار آب ناشی از بهبود راندمان در کل حوضه نسبت به مقدار آن در شبکه آبیاری دز، بیشتر بوده و موجب شده است شدت شکست‌ها بسیار کاهش یابد.

در سناریو دوم به‌دلیل کاهش آورد پنج درصد میانگین سالانه دبی رودخانه‌های حوضه، میزان آسیب‌پذیری نسبت به سناریو قبل افزایش داشته است که بهترین حالت برای آن بهبود راندمان ۱۵ درصدی در شبکه دز و بهبود ۱۰ درصدی راندمان در کل حوضه دز بوده است. در سناریو سوم در مرحله اولیه آسیب‌پذیری نسبت به دو سناریو قبل مقدار کمتری را دارد، زیرا در این مرحله سیستم علاوه بر تحمل افزایش تقاضا در بلندمدت با کاهش قابل ملاحظه و ۱۰ درصدی آورد رودخانه‌ها مواجه شده است لذا تعداد دوره‌های شکست بسیار زیاد شده و طبق تعریف آسیب‌پذیری (۱۰) این امر سبب کاهش آسیب‌پذیری سیستم شده است. در سناریو سوم به‌ازای بهبود پلکانی راندمان در شبکه دز شاخص آسیب‌پذیری ابتدا کاهش، بعد افزایش و سپس مجدداً کاهش نشان داده است و بنابر این در این شرایط بهترین بازه برای میزان آسیب‌پذیری در افزایش پنج درصدی راندمان بوده است، بررسی سناریو سوم به‌ازای

با افزایش پلکانی راندمان در شبکه دز و کل حوضه دز می‌توان به‌ترتیب اعتمادپذیری را به ۵۸/۵ و ۶۶ درصد افزایش داد. افزایش اعتمادپذیری به‌میزان زیاد در این بخش بسیار قابل توجه و ویژه است.

تحلیل آسیب‌پذیری

مقدار شاخص آسیب‌پذیری به‌ازای شرایط اولیه ۳۰/۴۶ درصد برآورد شده است. در سناریو اول به‌ازای بهبود راندمان در شبکه آبیاری دز میزان آسیب‌پذیری تا رسیدن به مقطع افزایش راندمان ۲۰ درصد کاهش یافته است؛ کاهش آسیب‌پذیری به‌ازای بهبود راندمان آبیاری، مطابق با نتایجی است که اصفا و همکاران در مطالعه آسیب‌پذیری خلیج تمپا (۲) به‌دست آوردند. اما با ورود به مقطع بهبود ۲۰ درصدی راندمان در سناریو اول، نتایج حکایت از افزایش شاخص آسیب‌پذیری دارد. علت وقوع این افزایش در مقایسه با مطالعه اصفا و همکاران را باید در ذکر این نکته دانست که تعریف استفاده شده برای برآورد آسیب‌پذیری در آن مطالعه حداکثر شدت شکست‌ها رابطه (۳) بوده است، اما در مطالعه حاضر تعریف استفاده شده برای برآورد آسیب‌پذیری، میانگین شدت کمبودها در دوره‌های شکست بوده است (۹) و (۱۰). بنابرین با توجه به ماهیت رابطه استفاده شده برای برآورد آسیب‌پذیری، در بعضی مقاطع روند شاخص آسیب‌پذیری معکوس شده است. دلیل وقوع این امر را می‌توان با دقت در رابطه (۳) متوجه شد، جایی که آسیب‌پذیری به‌عنوان مجموع شدت شکست‌ها بر تعداد شکست‌ها در نظر گرفته می‌شود؛ با توجه به این رابطه به این دلیل که در بعضی مقاطع با بهبود راندمان آبیاری، تعداد شکست‌ها نسبت به شدت شکست‌ها بیشتر کاهش پیدا می‌کند (تعداد شکست‌ها از نظر عددی بیشتر کاهش پیدا می‌کند) در نتیجه کل کسر بزرگ‌تر شده و مقدار آسیب‌پذیری افزایش پیدا می‌کند. به بیان دیگر افزایش یافتن آسیب‌پذیری به‌ازای بهبود راندمان به این دلیل است که بهبود راندمان موجب تبدیل دوره‌های شکست به دوره‌های تأمین موفق می‌شود که لازمه این امر عبور سال‌های با تأمین کمتر از



شکل ۹. تغییرات آسیب‌پذیری در سناریوها

راندمان آبیاری نکته‌ای مهم و اثرگذار در تأمین پایدار منابع آب مورد نیاز و تداوم توسعه پایدار خواهد بود. در این بین نباید فراموش کرد که قطعاً افزایش راندمان شبکه‌های آبیاری هزینه‌بر خواهد بود؛ اما با توجه به نتایج این پژوهش مشخص می‌شود که بهبود راندمان را نباید صرفاً به‌عنوان یک هزینه نگاه کرد بلکه می‌بایست به سایر منافع و ارزش افزوده‌های ناشی از بهبود آن، از جمله: افزایش مقاومت سیستم به نوسانات آبدهی در شرایط کاهش آورد رودخانه‌های حوضه، که خود نوعی درآمد محسوب می‌شود نیز نگریست. این منافع به نوعی موجب پوشش هزینه‌های بهبود راندمان می‌شود. با این حال نیز افزایش راندمان از طرق مختلفی مانند تغییر الگوی کشت، مدیریت کانال‌ها و یا حتی مدیریت آب سایر بخش‌ها نیز به‌خوبی قابل دست‌یابی است. لذا در راستای این مطالعه، پیشنهاد می‌شود پیرامون ارزش افزوده ناشی از بهبود راندمان آبیاری کشاورزی حوضه با هدف کمک به تصمیم‌گیری و توجیه‌پذیری هرچه بیشتر ذی‌نفعان، تحقیقات بیشتری صورت گیرد. همچنین پیشنهاد می‌شود اثرات بهبود راندمان آبیاری بر این حوضه در کنار سناریوهای تغییر اقلیم ارائه شده در گزارش پنجم IPCC تحلیل شود.

سپاسگزاری

این مقاله حاصل پایان‌نامه کارشناسی ارشد با عنوان ارزیابی

بهبود راندمان در کل حوضه دز نیز نتایجی مشابه با شبکه آبیاری دز دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که در حال حاضر شاخص اعتمادپذیری تأمین آب کشاورزی در حوضه آبریز دز کمتر از میزان مورد نیاز (تأمین موفق ۹۵ درصد نیازها در ۷۵ درصد مواقع) است که این شرایط در بلندمدت به‌ازای بهبود راندمان آبیاری قابل بهبود است؛ به‌طوری‌که در شرایط بلندمدت به‌رغم افزایش نیاز بر منابع آب از بخش‌های مختلف، به‌وسیله بهبود راندمان تا سقف ۲۰ درصد، امکان دستیابی به اعتمادپذیری کامل تأمین آب آبیاری وجود خواهد داشت. همچنین نتایج به‌ازای کاهش میانگین آورد رودخانه‌های حوضه آبریز، نشان‌دهنده کاهش شدید اعتمادپذیری سیستم بود. در این شرایط بهبود راندمان آبیاری تأثیر بسزایی بر افزایش عملکرد شاخص‌ها داشت. به‌طور کلی تحلیل هر دو شاخص اعتمادپذیری و آسیب‌پذیری نشان داد که در شرایط بلندمدت به‌دلیل افزایش تقاضا، از میزان اعتمادپذیری کاسته و به‌میزان آسیب‌پذیری افزوده خواهد شد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که نظر به افزایش تقاضا در شرایط آبی و تغییر الگوهای مصرف و همچنین حقیقت تغییرات اقلیمی که موجب پیچیده‌تر شدن تصمیم‌گیری در سیستم منابع آب حوضه آبریز می‌شوند، بهبود

اثرات افزایش راندمان در شبکه‌های آبیاری و زهکشی حوضه
دز بر شاخص‌های سیستم منابع آب، در دانشگاه آزاد اسلامی
و احد اهواز است و به این وسیله نویسندگان مقاله مراتب تشکر
و قدردانی خود را از سازمان آب و برق خوزستان و سازمان
هواشناسی استان خوزستان برای در اختیار قرار دادن اطلاعات
لازم اعلام می‌دارند.

منابع مورد استفاده

1. Al-Kalbani, M. S, M. F. Price, A. Abahussain, M. Ahmed and T. O'Higgins. 2014. Vulnerability assessment of environmental and climate change impacts on water resources in Al Jabal Al Akhdar, Sultanate of Oman. *Water* 6: 3118-3135.
2. Asefa, T., J. Clayton, A. Adams and D. Anderson. 2014. Performance evaluation of a water resources system under varying climatic conditions: Reliability, Resilience, Vulnerability and beyond. *Journal of Hydrology* 508: 53-65.
3. Dehghan, Z., M. Delbari and O. Mohammadrezapour. 2014. Planning water resources allocation under various managerial scenarios in gorganroud basin. *Journal of Water and Soil Science* 25(3): 117-132. (In Farsi).
4. Dessu, S. H., A. M. Melesse, M. G. Bhat and M. E. McClain. 2014. Assessment of water resources availability and demand in the Mara River Basin. *Catena* 115: 104-114.
5. Farajzadeh, M., K. Madani Larijani, A. Massah Bevani and R. Davtalab. 2014. Climate change effects on reliability of water delivery in downstream of Karkheh river basin and its adaptation strategies. *Journal of Soil and Water Resources Conservation* 3(3): 49-63. (In Farsi).
6. Felfelani, F., A. Jalali Movahed and M. Zarghami. 2013. Simulating heading rules for effective reservoir operation by using system dynamics: a case study of Dez reservoir, Iran. *Lake and Reservoir Management* 26: 126-140.
7. Fowler, H. J., C. G. Kilsby and P. E. O'Connell. 2003. Modeling the impacts of climatic change and variability on the reliability, resilience and vulnerability of a water resource system. *Water Resources Research* 39(8): 1-11.
8. Garrote, L., A. Granados and A. Iglesias. 2016. Strategies to reduce water stress in Euro-Mediterranean river basins. *Science of the Total Environment* 543: 997-1009.
9. Goharian, E., S. J. Burian, T. Bardsley and C. Strong. 2016. Incorporating potential severity into vulnerability assessment of water supply systems under climate change conditions. *Journal of of Water Resources Planning and Management* 142(2): 1-12.
10. Hashimoto, T., J. R. Stedinger and D. P. Loucks. 1982. Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. *Journal of Water Resources Research* 18(1): 14-20.
11. Hong, X., S. Guo, L. Wang, Y. Guang, D. Liu, H. Guo and J. Wang. 2016. Evaluating water supply risk in the middle and lower reaches of Hanjiang river basin based on an integrated optimal water resources allocation model. *Water* 8(9): 1-18.
12. Iradj, M. 2017. Evaluation the impacts of greater karun basin management policies on greenhouse gas emissions, Unpublished MSc. Thesis, Shahid Chamran University of Ahvaz. (In Farsi).
13. Iran Ministry of Energy. 2004. Guide for Reservoir Operation (Publication No: 272). Tehran, Iran. (In Farsi).
14. Iran Ministry of Energy. 2011a. Water Resources Planning Report (Code: DDH-03-4-15): Dez dam increased elevation plan, Khuzestan Water and Power Authority. (In Farsi).
15. Iran Ministry of Energy. 2013a. Water Resources Planning Report (Code DA-TA-1-02/02): First Phase Studies: Shahid Abbaspour Dam Improvement Project, Khuzestan Water and Power Authority. (In Farsi).
16. Iran Ministry of Energy. 2013b. Real-time comprehensive water plan of the country in the western boundary basins of Karkheh, Karoon, Jarahi and Zohreh. (In Farsi).
17. Jain, S. K. and P. K. Bhunya. 2008. Reliability, resilience and vulnerability of a multipurpose storage reservoir. *Hydrological Sciences* 52(2): 434-447.
18. Javadi Sabbaghian, R., M. B. Sharifi, M. Zarghami and P. Nejadhashemi. 2017. Developing a risk-based multi-attribute group decision-making model for effective watershed management based on the combinational method of IOWA-CP case study: mashhad plain. *Iran Water Resources Research* 13(1):1-19. (In Farsi).
19. Kang, M. and G. Lee. 2011. Multicriteria evaluation of water resources sustainability in the context of watershed management. *Journal of the American Water Resources Association* 47(4): 813-827.
20. Khan, Z., P. Linares and J. García-González. 2017. Integrating water and energy models for policy driven applications, a review of contemporary work and recommendations for future developments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 67: 1123-1138.
21. Leroy Poff, N., C. M. Brown, T. E. Grantham, J. H. Matthews, M. A. Palmer, C. M. Spence, R. L. Wilby, M. Haasnoot, G., F. Mendoza, K. C. Dominique and A. Baeza. 2016. Sustainable water management under future

- uncertainty with eco-engineering decision scaling. *Nature Climate Change* 6: 25-34.
22. Motlatsi, M. and M. M. M. Deogratias. 2017. Assessment of water availability for competing uses using SWAT and WEAP in South Phuthiatsana catchment, Lesotho. *Physics and Chemistry of the Earth. Parts A/B/C*:1-12.
 23. Mousavi, R. S. and S. Marofi. 2017. Investigation of the hydraulic response of river flow to climate change (case study: Dez dam basin). *Journal of Water and Soil Conservation* 23: 333-348. (In Farsi).
 24. Multsch, S., M. E. E. Shamy, S. Batarseh, A. H. Seid, H. G. Frede and L. Breuer. 2017. Improving irrigation efficiency will be insufficient to meet future water demand in the Nile Basin. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 12: 315-330.
 25. Navidi Nassaj, B. 2016. Evaluating the impacts of water efficiency improvement in Dez basin irrigation and drainage networks on water resources system indexes. Unpublished MSc. Thesis, Ahvaz Branch, Islamic Azad University. (In Farsi).
 26. Panahi, E., A. Bafkar and M. Hafezparast. 2017. Assessment of sustainable management alternatives of Jamishan watershed in the climate scenarios. *Iran-Water Resources Research* 13(1): 131-151. (in Farsi).
 27. Pires, A., J. Morato, H. Peixoto, V. Botero, L. Zuluaga and A. Figueroa. 2017. Sustainability assessment of indicators for integrated water resources management. *Science of the Total Environment* 578:139-147.
 28. RahimiKhoob, H., A. Sotoodehnia, A. Massah Bavani and A. Gohari. 2015. Integrated assessment of climate change impacts on water resources and agricultural systems in Hashtgerd Plain, using system dynamics approach. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 45(2): 183-193 (In Farsi).
 29. Sieber, J. and D. Purkey. 2015. Water Evaluation and Planning System (WEAP) User Guide for WEAP. Stockholm Environment Institute, U.S. Center.

An Integrated Analysis of the Effect of Irrigation Efficiency Improvement on the Reliability and Vulnerability of Water Resources System with Regard to Discharge Fluctuations (A Case Study: Dez Basin)

B. Navidi Nassaj¹, N. Zohrabi^{1*} and A. Shahbazi²

(Received: July 15-2018 ; Accepted: September 22-2018)

Abstract

Integrated simulation of water resources systems is an efficient tool to evaluate and adopt various options in macro-policies and decision-making procedures that are in line with the sustainable development of drainage basins. One of the drainage basin management policies is to enhance the efficiency of agricultural land use. Considering the complicated function of the drainage basin elements and their interaction with each other due to water discharge fluctuations caused by various factors such as climate change, the evaluation of these policies is of great importance. Given the low irrigation efficiency in Iran, the present study was aimed to evaluate the effects of management scenarios (including long-term irrigation efficiency increased up to 20% with 5% intervals) and discharge fluctuation scenarios (including 5% and 10% decrease in the average basin inflows) on the reliability and vulnerability of water resources system in Dez Basin. The integrated scenarios were simulated in the WEAP model. The scenarios were separately simulated for the Dez irrigation network and all farmlands across Dez Basin. According to the results, reliability was decreased by 5.69 and 18.89% in the scenarios with 5% and 10% decrease in the average basin inflows, respectively. Furthermore, the irrigation efficiency of 20% in the scenario considering the current inflows ended up with the reliability of 73.58%. Moreover, in the scenario involving 5% decrease in the average basin inflows, the reliability was increased by 3.8% with an increasing efficiency of 20%; with 3.8% and 5.7%, there was an increasing efficiency of 15% and 20% in all farmlands, respectively. In the scenario consisting of 10% decrease in average basin inflows, the reliability was increased by 1.91%, 3.8%, and 5.7% with the increasing efficiency of 10%, 15%, and 20%; on the other hand, with these were 3.8%, 9.46%, and 13.2% with increasing efficiency in all farmlands, respectively. In all scenarios, the vulnerability was found to fluctuate between 25% and 31%, which was systematically analyzed.

Keywords: Irrigation Efficiency, Reliability, Vulnerability, Discharge fluctuation, WEAP, Dez Basin

1. Department of Water Science Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

2. Water and Environment Modelling Center, Khuzestan Water and Power Authority, Ahvaz, Iran.

*: Corresponding Author: E-mail: nargeszohrabi@gmail.com