

دوره‌ی ۳۴، شماره‌ی ۴، شماره‌ی پیاپی ۱۳۳، زمستان ۱۴۰۰، صفحه‌های ۷۳-۵۳
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2021.353516.1387

مقاله‌ی پژوهشی



پژوهش‌های آبخیزداری

شبیه‌سازی و بهینه‌سازی تغییر حجم آبگیر سد هرسین بر اثر حالت‌های ممکن اقلیمی

فاطمه سلیمی‌مستعلی

کارشناس ارشد منابع آب دانشگاه رازی

مریم حافظ‌پرست‌مودت

(نویسنده‌ی مسئول)* استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه رازی

فرهنگ سرگردی

استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه رازی

*رایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: maryam.hafezparast@gmail.com

تاریخ دریافت: ۲۰ بهمن ۱۳۹۹ تاریخ پذیرش: ۱۷ فروردین ۱۴۰۰

چکیده

تغییر اقلیم بر بیش‌تر جنبه‌های زندگی انسان تأثیر گزارده است، به طوری که گاه پژوهش تاثیرهای مختلف تغییر اقلیم مهم‌تر از شناسایی و پژوهش خود تغییر اقلیم است. در این پژوهش با آورد ۴۰ ساله‌ی (۲۰۱۷-۱۹۷۸) رودخانه‌ی کمیش در مدل WEAP به شبیه‌سازی آب‌گیر سد هرسین پرداخته شد. بهینه‌سازی با هدف کمینه‌کردن کمبود نیازهای پایین دست سد و اثر حالت‌های ممکن اقلیمی در مدل LINGO بررسی شد. نتیجه‌ی کاربرد حالت‌های ممکن اقلیمی RCP نشان‌دهنده‌ی کاهش آورد ورودی آب‌گیر سد هرسین بود و خروجی دو مدل اقلیمی HADGEM2-ao و FGOALS-G2 افزایش بیشینه‌ی ۵ و کمینه‌ی ۳ °C دما در دوره‌های آینده است. برپایه‌ی حالت ممکن RCP8.5 مقدار روان آب پیش‌بینی شده در دوره‌های آینده ۲۰۲۰-۲۰۵۹ و ۲۰۶۰-۲۰۹۹ کم‌تر از روان آب پیش‌بینی شده با حالت ممکن RCP2.6 است. کاربرد روان آب خروجی با مدل بارش-روان آب با حالت ممکن RCP2.6 و RCP8.5 در مدل WEAP موجب شد شاخص اطمینان‌پذیری نیازهای پایین دست سد به کم‌تر از ۸۰٪ برسد. بیش‌ترین مقدار شاخص اطمینان‌پذیری با کاربرد حالت ممکن اقلیمی با مدل HADGEM2-ao با حالت ممکن RCP2.6 در نیاز صنعت است، که در حالت شبیه‌سازی ۷۷/۰۸٪ بود، درحالی‌که در مدل بهینه به ۸۸/۴۲٪ افزایش یافت. کم‌ترین مقدار شاخص اطمینان‌پذیری در مدل WEAP نیز ۳۲/۱۹٪ برآورد شد، که در مدل LINGO به ۵۲/۷۱٪ رسید.

واژگان کلیدی: ایهکرس، حالت ممکن اقلیمی ۲/۶ و ۸/۵، لینگو، ویپ

مقدمه

از نظر منبع آب و اندازه‌ی سرانه‌ی مصرف ایران از کشورهای است که با کمبود آب روبه‌رو است. حدود ۲۵٪ از مردم جهان در این گروه‌اند. ایران نیز به دلیل اقلیم خشک و نیمه‌خشک و رشد روزافزون مصرف آب در سال‌های آینده با خطر بروز بحران آب روبه‌رو است (اردکانی و همکاران ۲۰۱۴). در این میان، برنامه‌ریزی و مدیریت منبع برای دستیابی به مدیریت یکپارچه و توسعه‌ی پایدار منبع آب در حوزه‌های آبخیز و مخزن سدها اهمیت زیادی دارد. هدف از این برنامه‌ریزی‌ها تخصیص دادن آب به همه‌ی بخش‌ها (نیاز شهری، صنعت، کشاورزی، محیط زیست، ...) باتوجه به هم‌آهنگی‌ها و سیاست‌گذاری‌های بلندمدت و با ابزارهای نوین مدیریت آب است. مقدار آبی که از منبع‌های سطحی و زیرزمینی برای تامین نیازهای آشامیدنی، صنعت و کشاورزی در حوزه‌ی آبخیز در نظر گرفته شود تخصیص آب نام دارد. اندازه‌ی آب تخصیص‌یافته برای نیازهای حوزه برپایه‌ی اولویت و محدودیت‌های کیفی و امکان‌جابه‌جایی تخصیص از مصرفی به مصرفی دیگر است (شلوتر و همکاران ۲۰۰۵).

تغییر اقلیم با تغییرهای اقلیمی تفاوت‌های علمی دارد، تغییرهای اقلیمی دوره‌ی است و نوسان‌ها و انحراف‌های سنجه‌های اقلیمی از میانگین را بیان می‌کند، و ممکن است در دوره‌های زمانی مختلف روی دهد، ولی تغییر اقلیم نوسان کلی و گسترده در آب‌وهوای منطقه است. هم‌اکنون روند گرم‌شدن دمای کره‌ی زمین را بخشی از تغییر اقلیم می‌دانند. یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های محیطی که جهان امروز با آن روبه‌رو است افزایش دمای جهان است که الگوهای آب‌وهوایی را تغییر می‌دهد. بالا آمدن سطح آب دریاها و تغییر در آستانه‌ی آب‌وهوایی از پی‌آمدهای تغییر اقلیم است. تغییر اقلیم و افزایش گرمای جهانی باعث گسترش خشک‌سالی‌ها و تداوم آن‌ها شده است. این تغییر باعث یک‌نواخت نبودن توزیع بارش می‌شود و بر منبع‌های آب تأثیر می‌گذارد. (خسروی و همکاران ۲۰۱۰). اگرچه پدیده‌ی تغییر اقلیم ممکن است تأثیر متفاوتی بر سامانه‌های مختلف بگذارد، پیامدهای منفی آن ممکن است آسیب‌های زیان‌باری به دیگر بخش‌های مرتبط با آب بزند. به دلیل اهمیت جایگاه آب در جامعه‌های انسانی ضروری است در ابتدا این اثر شناخته شود، و در گام بعد برای تطبیق یافتن با این پدیده‌ها و کاهش اثر منفی آن راه‌کارهایی داده شود.

پیش‌نیاز ساخت و بهره‌برداری از سازه‌های آبی و تصمیم‌گیری در مدیریت منبع آب، داشتن اطلاعات مطمئن درباره‌ی اندازه‌ی آورد جریان در آبخیز است. با بررسی آورد سیلاب طراحی می‌توان تصمیم‌گیری کرد. نتیجه‌ی بررسی دما و بارش مدل‌های اقلیمی با مدل بارش روان‌آب ایپکرس نشان داد که با افزایش دوره‌ی بازگشت، آورد نیز افزایش یافت، ولی احتمال روی داد آن کم شد (مساح‌بوانی و آشفته ۲۰۱۰). داده‌های روزانه‌ی بارش، دما و آب‌دهی در هفت حوزه‌ی گرگان‌رود نشان داد که مدل‌سازی

آوردهای جریان با معیارهای کارآیی توانایی برآورد کردن اندازه‌های زیاد آورد روزانه را تا حد مناسبی دارد، و برای آوردهای با فراوانی بیش از ۶۰٪ ضعیف است. نتیجه‌ی شبیه‌سازی نشان داد که در بیش‌تر ایستگاه‌ها و در هر دو دوره‌ی واسنجی و اعتبارسنجی، اندازه‌های برآوردشده‌ی مدل برای آورد اوج کم‌تر از مقدار مشاهده‌شده است (خیرفام و همکاران ۲۰۱۳). از آن‌جا که مدل IHACRES می‌تواند بارش موثر و آورد روان‌آب را با داده‌های بارش و دما محاسبه کند، برای محاسبه‌ی مدت زمان جریان به‌کار گرفته شد. برای شبیه‌سازی جریان داده‌های بارش آینده با حالت ممکن تغییر اقلیم مدل چندگانه‌ی بیزی به‌کار گرفته شد، و نتیجه‌ی شبیه‌سازی تغییر زمان جریان در دوره‌ی آینده‌ی ۲۰۲۱-۲۱۰۰ تجزیه و تحلیل شد (سوجین و همکاران ۲۰۱۵). در پژوهش لطفی‌راد و همکاران (۲۰۱۸) بر مدل بارش روان‌آب حوزه‌ی ناورود گیلان به کمک مدل ایپکرس، با داده‌های آورد روزانه‌ی ایستگاه خرجیگل در خروجی حوزه و داده‌های بارش و دمای روزانه‌ی ایستگاه خلیان در مرکز گرانس حوزه نشان داده شد که ضریب کارآیی مدل نش- ساتکلیف (E)، خطای اریبی (BIAS)، میانگین خطای نسبی سنجی‌ی یک (ARPE)، مقدار به‌دست آمده‌ی E در دوره‌ی تنظیم (کالیبراسیون)، و صحت‌سنجی به‌ترتیب ۰/۵۵ و ۰/۴۶ است، که بر پایه‌ی نتیجه‌ی پژوهش‌های پیشین پذیرفتنی است. پژوهشی که بر روان‌آب حوزه‌ی سد دویرج در دوره‌ی ۲۰۴۲-۲۰۱۶ انجام شد نشان داد که مقدار دما و بارش ماهانه‌ی مدل‌های BNU-ESM، CANESM2، BCC-CSM1.1، AC-RCP8 5، و CESS1-0 و CSIROK3-5-0 با حالت ممکن برای پژوهش نشان‌دهنده‌ی ۱/۲۹°C افزایش دما نسبت به دوره‌ی پایه، و ۱/۸۲٪ افزایش بارندگی در دوره‌ی ۲۰۴۴-۲۰۱۶ نسبت به دوره‌ی مشاهده (۲۰۱۵-۱۹۸۷) است، و روان آب دوره‌ی آینده ۹/۴٪ نسبت به دوره‌ی پایه افزایش داشت (حافظ‌پرست و همکاران ۲۰۱۸).

آشفته و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی شبکه‌ی آبیاری پایین‌دست آیدوغموش و سیاست‌های تخصیص آب آبیاری با شرایط تغییر اقلیم، با کمک برنامه‌ریزی ژنتیک با سه حالت ممکن مختلف، سیاست تخصیص بهینه‌ی آب را ارزیابی کردند. نتیجه نشان داد که با شرایط تغییر اقلیم در مقایسه با دوره‌ی کنونی شاخص‌های اعتماد‌پذیری، آسیب‌پذیری و برگشت‌پذیری به‌ترتیب ۵۰٪ کاهش، ۶٪ افزایش و ۱۴٪ کاهش داشت. پیش‌بینی شد که آگاهی از این موضوع کمک زیادی به برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیرندگان کند و این کار با ایجاد تغییر در الگوی کشت ممکن ایجاد خواهد شد. در پژوهش جمشیدی‌پی و شوریان (۲۰۱۶) سطح‌های زیرکشت با بیشینه کردن سود خالص سامانه با شرایط افزایش دما در تخصیص بهینه‌ی آب آبیاری و شرایط حال در نظر گرفتن دو دوره‌ی بهنجار آبی و خشکی با رابطه‌های جدید تابع تولید

همکاران (۲۰۱۸) لینگو را برای شبیه‌سازی منبع‌های آب انتخاب کردند، و طرح‌های تخصیص و انجام تجزیه و تحلیل دقیق از عرضه و تقاضای کاربران را بهینه‌سازی کردند. وانگ و همکاران (۲۰۱۵) مدل برنامه‌نویسی تصادفی دوگانه‌ی چند مرحله‌ی برای مدیریت‌کردن بی‌قطعیتی‌ها در عرضه و تقاضا در حوزه‌ی آبخیز ارومچی با لینگو ایجاد کردند. خو و همکاران (۲۰۱۷) لینگو را برای شناسه‌گذاری و مقابله با مدل برنامه‌نویسی بختانه‌ی محدود کاربردی تصادفی پیشنهاد کردند، زیرا برتری لینگو تولید راه‌حلی با ترکیب‌های خاص وزنی با ضریب‌ها و معیارها و محدودیت‌ها است. تخصیص منبع آب در تیانجین با مدل تخصیص بهینه‌ی کاربردی منبع آب برای بهینه‌سازی در محیط لینگو بهینه‌سازی شد. برنامه‌ی تخصیص بهینه مطابق با مزیت اقتصادی و اجتماعی همراه با سیاست‌ها و قانون‌های آن نظریه‌ی پایه‌ی برای کاهش‌دادن و حل‌کردن مشکل کمبود آب ایجاد کرد (روشائو و یوجین ۲۰۱۸). سلیمی و همکاران (۲۰۲۰) با آورد ۴۰ ساله‌ی رودخانه‌ی کمیش در مدل WEAP و شبیه‌سازی آب‌گیر سد هرسین با در نظر گرفتن الگوهای کشت مختلف، مقدار اطمینان‌پذیری نیازهای آشامیدنی، صنعت، کشاورزی و زیست‌محیطی را محاسبه و الگوی کشت مناسبی که پایداری بیش‌تر سامانه را به همراه دارد انتخاب کردند. مدل لینگو با هدف کمینه‌کردن کمبود نیازهای پایین‌دست سد بهینه‌سازی شد. سونگ و همکاران (۲۰۲۰) نمای کلی از تخصیص بهینه‌ی چندمنبعی برای تأمین آب شهری در مصرف متنوع، روش‌های مدل‌سازی و چالش‌های تمایل تغییر مصرف آب و الگوی تأمین آب در تیانجین چین (شهری معمول برای ترسیم منظم تغییر تأمین آب) و تجزیه و تحلیل علت آورده‌اند، و نیز در روش‌های مدل‌سازی برای طرح تخصیص بهینه، که شامل رابطه‌ی پستی‌بلندی، ساخت مدل ریاضی و جست‌وجوی راه‌حل بهینه و چالش‌های فعلی است را بحث کردند.

تغییر اقلیم بر مقدار دما و بارش در چند دهه‌ی اخیر در جهان اثر مستقیم داشته‌است، به گونه‌ی که احتمال مواجهه با حوادثی مانند خشک‌سالی و سیلاب در بیش‌تر منطقه‌ها رو به افزایش است. در پژوهش‌های انجام‌شده‌ی قبلی کم‌تر به بررسی اثر تغییر اقلیم بر عمل‌کرد آب‌گیر در دوره‌های آینده پرداخته شده‌است. مدل‌های کاربردی در آن‌ها جداگانه بررسی شده بود، در حالی که در این پژوهش با روی‌کرد یک‌پارچه اثر تغییر اقلیم بر اندازه‌ی تغییر در تخصیص آب به بخش‌های مختلف آشامیدنی، صنعت و کشاورزی بررسی شده‌است.

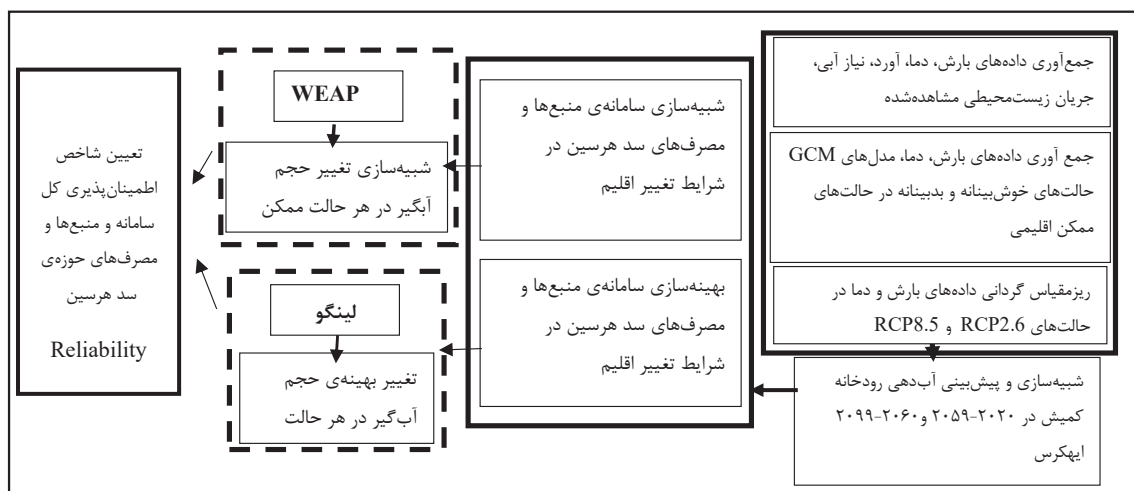
مواد و روش‌ها

مراحل انجام پژوهش در شکل ۱ نشان داده شده‌است.

آب بیان شده با FAO در مدل شبیه‌سازی بهینه‌سازی MODSIM-GWO انجام‌شد. در آن مدل MODSIM و الگوریتم گرگ‌های خاکستری (GWO) تلفیق، و نتیجه در هر دو حالت با روش شبیه‌سازی حوزه‌ی آبخیز گاوخونی بررسی شد. نتیجه نشان داد که حالت B1 بهترین حالت ممکن برای این منطقه است. با بررسی مدل بارش روان‌آب IHACRES ضریب‌های تغییر در جریان ورودی به حوزه محاسبه شد. مقایسه‌ی سود خالص سامانه با روی‌کرد شبیه‌سازی بهینه‌سازی در همه‌ی دوره‌ها با روش شبیه‌سازی نشان‌دهنده‌ی بهبود نتیجه و تاثیر پذیرفتنی این روش در حل مسائل تخصیص آب است. حافظ‌پرست و همکاران (۲۰۱۷) ارزیابی بی‌قطعیتی تغییر اقلیم بر آب‌دهی ورودی سد جامیشان در شمال شرقی استان کرمانشاه را با مدل ترکیبی میانگین وزنی خروجی ۷ مدل اقلیمی تغییر سنج‌های دما و بارش در دوره‌های ۲۰۳۹-۲۰۲۰ و ۲۰۵۹-۲۰۴۰ با سه حالت ممکن انتشار، A1B و B1 بررسی کردند. نتیجه نشان داد که در دوره‌ی ۲۰۳۹-۲۰۲۰، بارش و روان‌آب سالانه کاهش، و دما افزایش می‌یابد. در دوره‌ی ۲۰۴۰-۲۰۵۹ تغییر شدیدتر است و دمای سالانه 2°C تا -0.66°C تغییر می‌کند. بارش و روان‌آب سالانه در حالت ممکن A1B و B1 کاهش و در حالت ممکن A2 افزایش نشان داد. مدیریت آب در حوزه‌ی آیدوغموش برای دوره‌ی آینده (۲۰۴۶-۲۰۶۵) با مدل (WEAP)، با مدل‌های تغییر اقلیم نشان داد که تقاضا برای آبیاری افزایش و آورد ورودی به آب‌گیر در این حوزه کم خواهد شد. برنامه‌ی کاربردی ژنتیک برای مدیریت آب‌گیر با تغییر آب‌وهوایی نشان داد که شاخص اطمینان برای تأمین آب در دوره‌ی آینده و آسیب‌پذیری در مقایسه با دوره‌ی پایه کاهش و افزایش می‌یابد (آشفتة و همکاران الف ۲۰۱۷ و ب ۲۰۱۷). مقدار متغیرهای بارندگی و دما در دوره‌های آینده و با حالت ممکن انتشار گازهای گلخانه‌یی، A2، A1B و B1 پیش‌بینی، و با مدل LARS-WG ریزمقیاس شد. در حوزه‌ی آبخیز اهرچای با اثر تغییر اقلیم روان‌آب، متغیرهای هواشناسی و تبخیر و تعرق مرجع با مدل‌های Cropwat و IHACRES برآورد شد. روی‌کرد مدیریت بهینه‌ی تقاضا متشکل از سه زیرمدل بهینه‌سازی با روش‌های برنامه‌ریزی خطی و ناخطی نشان داد که حالت‌های ممکن مدیریتی بر عمل‌کرد بهتر سد تاثیر زیادی دارد (زین‌الدینی و همکاران ۲۰۱۷).

مدل بهینه‌سازی لینگو به گسترده‌گی در حل دشواری‌های تخصیص سد با نیازهای متفاوت و یا سامانه‌ی‌های چند سدی با زبان برنامه‌نویسی مختصر و اجرای مجموعه به‌کاربرده می‌شود (لی و همکاران ۲۰۱۶). برای دادن پیشنهادها و راهنمایی‌های نظری برای اجرای توزیع آب منطقه‌ی در تیانجین، ژانگ و

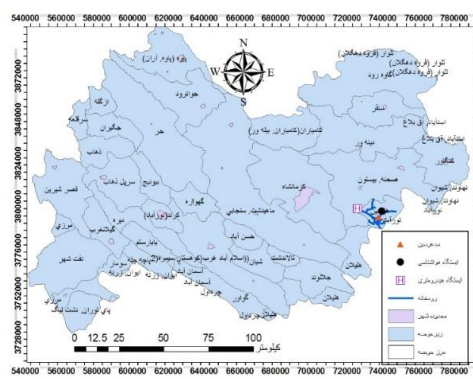
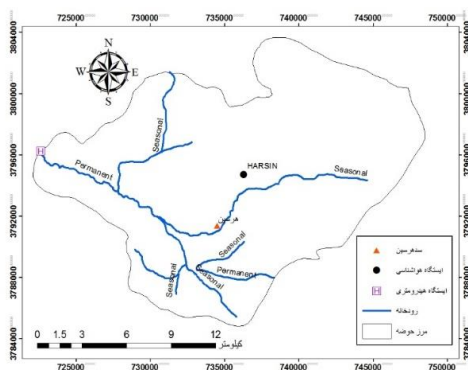
شبیه‌سازی و بهینه‌سازی تغییر حجم آبگیر سد هرسین بر اثر حالت‌های...



شکل ۱- مراحل انجام پژوهش.

سد آبگیری هرسین در ۵۳ کیلومتری شرق کرمانشاه و در شهرستان هرسین (۲۰/۴' ۳۹' ۴۷° طولی و ۴۲' ۱۵' ۳۴° عرضی) در ارتفاع ۱۴۵۲/۵ متری از تراز آزاد دریا، در ۴/۵ کیلومتری جنوب شهر هرسین بر رودخانه‌ی کمیش از سر شاخه‌های رودخانه‌ی گاماسیاب، در آبخیز رودخانه‌ی سیمره است. رودخانه‌ی گاماسیاب پس از برخورد با رودخانه‌ی قره‌سو،

رودخانه‌ی سیمره را تشکیل می‌دهد، و پس از برخورد با رودخانه‌های چرداول و کشکان به رودخانه‌ی کرخه می‌ریزد. بخش عمده‌ی آب دهی رودخانه‌ی کمیش از چشمه‌ی سرآب هرسین (با منشأ کارستی) در شهر هرسین تأمین می‌شود. حجم آب‌دهی درازمدت سالانه‌ی چشمه‌ی سرآب هرسین ۳۶/۳ میلیون متر مکعب است (شکل ۲).



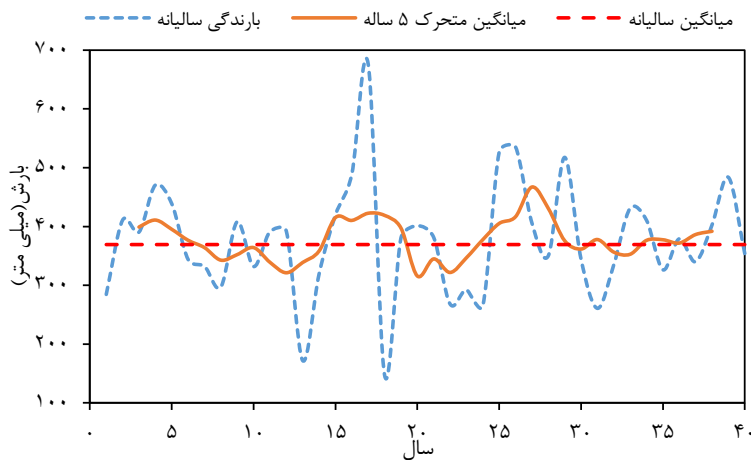
شکل ۲- نقشه‌ی موقعیت سد آبگیری هرسین در آبخیز هرسین.

ارتفاع ۱۳۶۱/۷ متر) گرفته شد (جدول ۱). بیش‌ترین میانگین درازمدت بارش ماهانه ۷۷/۰۹ میلی‌متر در مارس و بیش‌ترین اندازه‌ی تبخیر از سطح آزاد معادل ۳۲۳/۳ میلی‌متر در جولای بود.

سنججه‌های هواشناسی دوره‌ی ۴۰ ساله شامل اندازه‌های ماهانه‌ی تبخیر از سطح آزاد و مقدار بارندگی ماهانه در محل دریاچه‌ی سد آبگیری هرسین است که از ایستگاه هواشناسی کشاورزی سرارود (۱۱' ۴۷° طولی و ۱۲' ۳۴° عرضی،

جدول ۱- سنجه‌های هواشناسی دریاچه‌ی سد (شرکت آب منطقه‌ی استان کرمانشاه).

ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئیه	جولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
۵۴/۲۷	۲۳/۵۴	۷۷/۰۹	۵۳/۸۲	۳۹/۱۵	۲/۴۱	۰/۳	۰/۱۶	۰/۱۶	۹/۹۳	۴۴/۳۵	۶۴/۱۳
۳۳/۵	۳۲/۷	۶۶	۱۱۰/۲	۱۴۷/۱	۲۳۹	۳۲۳/۳	۳۱۹/۵	۲۶۰/۱۶	۱۷۲/۹	۸۶/۲	۴۲/۷



شکل ۳- میانگین متحرک ۵ ساله‌ی بارندگی.

دمای کره‌ی زمین زیاد شده و باعث گرم‌شدن جهان در دهه‌های اخیر شده‌است. تغییر اقلیم باعث تغییر در سنجه‌هایی مانند دما و بارش خواهد شد. در این پژوهش دو حالت اقلیمی خوش‌بینانه‌ی RCP 2.6^۱ که کم‌ترین اندازه‌ی واداشت تابشی را از بین حالت‌های ممکن اقلیمی گزارش پنجم دارد، و حالت ممکن بدبینانه‌ی RCP8.5^۲ که بیش‌ترین اندازه‌ی واداشت تابشی را دارد به‌کاربرده شد. پیش‌بینی دما و بارش از دو مدل اقلیمی HADGEM2-a0^۳ با وضوح نیواری ۱/۹×۱/۲ و وضوح اقیانوس ۱/۰×۰/۸ و FGOALS-G2^۳ با وضوح نیواری ۲/۸×۲/۸ و وضوح اقیانوس ۱/۰×۰/۸، و طول داده‌های ۱۸۵۰ تا ۲۰۰۵ و به‌دست آمد.

میانگین متحرک یکی از روش‌های تعیین دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی است. در شکل ۳ با نمودار میانگین متحرک ۵ ساله‌ی بارندگی در منطقه‌ی سد هرسین، می‌توان ۴ دوره‌ی تر و ۴ دوره‌ی خشک تعیین کرد. دوره‌های خشک دوره‌ی است که نمودار میانگین متحرک ۵ ساله زیر خط میانگین سالانه، و دوره‌های تر بالای خط میانگین سالانه است. به‌همه‌ی تغییرهای بلندمدت معنی‌دار در سنجه‌های اقلیمی که ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ی است، تغییر اقلیم می‌گویند (آشفته ۲۰۱۵). عامل‌هایی مانند رشد کارخانه‌ها، مصرف سوخت‌های فسیلی، تخریب جنگل‌ها و مرتع‌ها و تغییر کاربری زمین کشاورزی منجر به افزایش گازهای گلخانه‌ی به خصوص دی‌اکسیدکربن (CO₂) در سال‌های اخیر شده‌است.

1 - Representative Concentration Pathway

2 - Hadley Global Environment Model Version 2, atmospheric-ocean

3 - Flexible Global Ocean-Atmosphere-Land System, Grid-point Version 2

۲۱۰۰ میلادی ۱۹۶۰ (قسمت در میلیون) تخمین زده شد. ادامه‌ی این روند منجر به واداشت تابشی به اندازه‌ی ۸/۵ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می‌شود. با توجه به اندازه‌ی جمعیت در نظر گرفته‌شده در این حالت ممکن و نیاز جمعیت انسان به تامین انرژی، انواع انرژی (جز انرژی زیستی) و اندازه‌ی انتشار گازهای گلخانه‌یی در این حالت ممکن بیش از دیگر حالت‌ها در نظر گرفته شد (مارابی و همکاران ۲۰۱۸).

خروجی مدل‌های اقلیمی دقت تجزیه‌ی مکانی و زمانی را ندارد، بنابراین لازم است که خروجی مدل‌های اقلیمی برای منطقه ریزمقیاس شود. برای ریزمقیاس‌سازی داده‌های اقلیمی در این پژوهش روش عامل تغییر به‌کاربرده شد. برای ریزمقیاس کردن داده‌ها به دید مکانی روش تناسبی به‌کاربرده شد که در آن متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده با AOGCM از داده‌های یاخته‌یی استخراج می‌شود که این منطقه در آن است (آشفته و همکاران ۲۰۱۷). روش عامل تغییر (معادله‌های ۱ تا ۴) برای ریزمقیاس کردن زمانی داده‌ها به‌کاربرده شد.

با حالت ممکن RCP2.6 اندازه‌ی جمعیت تا سال ۲۱۰۰ حدود ۷ میلیارد نفر، اندازه‌ی غلظت دی‌اکسیدکربن ۴۹۰ (قسمت در میلیون) و اثر گازهای گلخانه‌یی بر واداشت‌های تابشی تا ۲/۶ وات بر مترمربع تخمین زده شد. اندازه‌ی به‌کارگیری انرژی و سوخت‌های فسیلی در این حالت ممکن کم، اما انرژی‌های نو بیش‌تر از حالت‌های ممکن دیگر در نظر گرفته‌شد. در نتیجه می‌توان گفت که کم‌ترین نرخ افزایش گازهای گلخانه‌یی در این حالت ممکن است، مقدار واداشت تابشی در میانه‌ی این قرن به حدود ۳/۱ می‌رسد، و سپس کاهش می‌یابد و به ۲/۶ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می‌رسد. با کاهش گازهای گلخانه‌یی می‌توان به این سطح از واداشت تابشی رسید (مارابی و همکاران ۲۰۱۸).

اگرهیچ سیاست‌گذاری برای کاهش پی‌آمدهای اقلیم نشود، پیش‌بینی شده‌است که آب‌وهوای کره‌ی زمین در راه حالت انتشار RCP8.5 پیش خواهد رفت. با در نظر گرفتن این حالت ممکن اندازه‌ی جمعیت تا سال ۲۱۰۰، ۱۲ میلیارد نفر پیش بینی می‌شود. اندازه‌ی غلظت دی‌اکسیدکربن تا سال

$$\Delta T = \bar{T}_{AOGCM,Fut,i} - \bar{T}_{AOGCM,Base,i} \quad 1$$

$$\Delta P_i = \left(\frac{\bar{P}_{AOGCM,Fut,i}}{\bar{P}_{AOGCM,Base,i}} \right) \quad 2$$

$$T = T_{Obs} + \Delta T \quad 3$$

$$P = P_{Obs} \times \Delta P \quad 4$$

مدل اقلیمی به‌دست می‌آید در اندازه‌ی بارش مشاهده ضرب می‌شود.

مدل‌های بارش روان‌آب برای بررسی تغییر سنجه‌های اقلیمی ضروری است. برای تولید روان‌آب ماهانه از مدل بارش - روان‌آب IHACRES بهره گرفته‌شد. IHACRES مدل یکپارچه‌ی مفهومی متری برای شبیه‌سازی بارش - روان‌آب است (جکمن ۱۹۹۰، جیکمن و هورمبرگر ۱۹۹۳). این الگوریتم از دو مدل غیرخطی کاهش (هدررفت) و مدل خطی نمودار آب واحد تشکیل می‌شود. مدل IHACRES از دو بخش تشکیل شده‌است: بخشی که بارش را در پایه‌ی زمانی (rk) به بارندگی مؤثر (uk) (قسمتی از بارش که در نهایت وارد جریان رودخانه خواهد شد)، و بارش مازاد که سرانجام با تبخیر و تعرق از بین می‌رود (با

$T(AOGCM,Fut,i)$ با دمای ۴۰ ساله‌ی شبیه‌سازی شده با هر مدل AOGCM در دوره‌ی آینده برای هر ماه، و $T(AOGCM,Base,i)$ با دمای شبیه‌سازی شده با هر مدل AOGCM در دوره‌ی مشاهده برای هر ماه برای بارندگی است. T مجموعه‌ی زمانی حالت اقلیمی دما برای دوره‌ی آینده، T_{Obs} مجموعه‌ی زمانی دمای مشاهده در دوره‌ی پایه (۲۰۱۷-۱۹۷۸) و ΔT اندازه‌ی افزایش یا کاهش دما در آینده‌ی مدل اقلیمی نسبت به حالت پایه‌ی آن است. این عدد به شکل جبری با داده‌های مشاهده جمع می‌شود. اگر منفی باشد از داده‌های مشاهده کم می‌شود و اگر مثبت باشد به داده‌های مشاهده اضافه می‌شود. برای بارندگی نیز معادله‌ی ۴ برقرار است، یعنی اندازه‌ی تغییر بارش در معادله‌ی ۲ که از نسبت بارش آینده‌ی مدل اقلیمی به بارش حالت پایه‌ی

پایین‌دست به‌ترتیب ۰/۳ و ۲/۱ میلیون مترمکعب است. آورد ماهانه در دوره‌ی ۴۰ ساله (۲۰۱۷-۱۹۷۸) به مدل داده شد (مطالعات مرحله‌ی اول سد هرسین ۲۰۱۲).

نیاز آب صنعتی سهم سد آب‌گیری هرسین برای مصرف آینده‌ی پالایشگاه در دست ساخت کرمانشاه حدود ۱۰ میلیون مترمکعب در سال است. مقدار ماهانه‌ی نیاز آب صنعتی در همه‌ی ماه‌ها یکسان (۰/۸۳ میلیون مترمکعب) در نظر گرفته شد (شرکت آب منطقه‌ی استان کرمانشاه ۲۰۱۲). نیاز آبی شهر هرسین با جمعیت ۵۳۶۰۰ نفر در سال ۲۰۰۶ به مقدار ۴/۹ میلیون مترمکعب در سال از چشمه‌ی سرآب هرسین تامین می‌شود (اطلاعات شرکت آب و فاضلاب استان کرمانشاه). بر پایه‌ی آب مصرفی سالانه و جمعیت شهر هرسین در سال ۲۰۰۶، مصرف سرانه‌ی آب شهری هرسین ۲۵۰ لیتر در شبانه‌روز بود که شامل هدررفت آب از شبکه، نیازهای فضای سبز آتش‌نشانی و مصرف عمومی هم می‌شود. باتوجه به این که افزایش جمعیت در افق طرح (سال ۲۰۳۶) با نرخ رشد حدود ۱/۲٪ در سال از ۵۳۶۰۰ به ۷۶۷۱۲ نفر خواهد رسید، و با فرض این که نیاز سرانه‌ی مصرف آب در شرایط آینده با مقدار فعلی برابر در نظر گرفته‌شود، مقدار نیاز سالانه‌ی آب شهری ۷ میلیون مترمکعب در سال در افق طرح خواهد بود. نیاز شهری، کشاورزی و زمین باغی در جدول ۲ آورده شده‌است. در جدول ۳ مقدار ماهانه‌ی حق آب زیست‌محیطی رودخانه‌ی کمیش بر پایه‌ی روش مونتانا «کیفیت حیات آب‌زیان در رودخانه در حد پذیرفتنی» آورده شده‌است. مقدار سالانه‌ی حق آب زیست‌محیطی رودخانه‌ی کمیش ۶/۶ میلیون مترمکعب یا میانگین ۲۰۸ لیتر در ثانیه است. در شرایط فصل زراعی حق آب زیست‌محیطی از کشاورزان برای آبیاری زمین کشاورزی به کار برده شد. در جدول ۴ کشت محصول‌های مختلف در الگوی کشت منتخب (سلیمی و همکاران ۱۳۹۹) آورده شده‌است.

فرض نفوذناپذیر بودن (آبخیز) تبدیل می‌کند؛ و تابع تبدیل خطی (یا نمودار آبی واحد UH) که بارش مؤثر را به جریان مدل‌سازی شده (Xk) تبدیل می‌کند. بخش نخست هدررفت و بخش دوم تابع تبدیل (نمودار آبی واحد) است. بخش هدررفت برای همه‌ی فرآیندهای غیرخطی بارش-روان‌آب در مقیاس آبخیز در نظر گرفته می‌شود، و بخش تابع تبدیل مبتنی بر نظریه‌ی سامانه‌ی خطی است. مدل IHACRES شش سنجه دارد، که سه سنجه‌ی آن مربوط به بخش هدررفت غیرخطی $(1/C, \tau_w, 1)$ است، که به‌ترتیب ظرفیت ذخیره‌ی آبخیز (مدت زمانی که می‌گذرد تا آبخیز خشک شود (روز)) و عامل تعدیل حرارت حوزه (C^*) را نشان می‌دهد. سه سنجه‌ی مربوط به بخش تابع تبدیل خطی $q(\tau)$ و $\tau(s)$ به‌ترتیب زمانی که طول می‌کشد تا جریان سریع و آهسته کاهش یابد (روز)، و $V^{(S)}$ حجمی از جریان آهسته که در ایجاد رودخانه مشارکت دارد را نشان می‌دهند (m^3) (خسروانیان ۲۰۱۳).

داده‌های مشاهده‌ی بارش، دما و روان‌آب حوزه در دوره‌ی پایه برای واسنجی مدل به‌کاربرده شد. در ابتدا مدل IHACRES برای منطقه‌ی پژوهش واسنجی به‌کار برده شد. داده‌های مشاهده‌ی دما، بارش و آورد ماهانه‌ی دوره‌ی پایه (۲۰۱۱-۱۹۸۴) به‌کاربرده شد. پس از تنظیم کردن مدل، روان‌آب ماهانه‌ی حوزه برای دو دوره‌ی آینده با معرفی داده‌های دما و بارش اصلاح شده‌ی مدل‌های اقلیمی و برای حالت‌های ممکن مختلف پیش‌بینی شد (آقابگی و همکاران ۲۰۱۹). در پایان نتیجه‌ی عمل‌کرد مدل برای مدل‌های اقلیمی مختلف و حالت‌های ممکن بحث شد.

اندازه‌های متوسط آب‌دهی درازمدت سالانه‌ی منبع‌های آبی سراب هرسین ۳۶/۳ میلیون مترمکعب، روان‌آب ناشی از بارش در حوزه‌ی آبخیز ۶/۷۷ میلیون مترمکعب، روان‌آب حوزه‌ی میانی ۸/۰۶ میلیون متر مکعب و حجم آبخوان بالادست و

شبیه‌سازی و بهینه‌سازی تغییر حجم آبگیر سد هرسین بر اثر حالت‌های...

جدول ۲- مقدار نیازهای شهری و کشاورزی (میلیون متر مکعب) (شرکت آب منطقه‌ی استان کرمانشاه ۲۰۱۲).

ماه	نیاز شهری شده با فاضلاب	زمین باغی با آبیاری سطحی	زمین باغی با آبیاری قطره‌یی	زمین زراعی با آبیاری سطحی	زمین زراعی با آبیاری بارانی
ژانویه	۰/۵۶۵	.	.	.	.
فوریه	۰/۵۲۹	.	.	.	.
مارس	۰/۴۸۴	.	.	.	.
آوریل	۰/۵۵۲	۰/۲۷	۰/۰۲۷	۰/۱۵۹	۰/۳۷۹
می	۰/۷۰۸	۰/۸۳	۰/۱۸۷	۰/۴۶۴	۱/۱۹
ژوئیه	۰/۶۸۳	۱/۰۱	۰/۵۲۹	۰/۸۰۹	۲/۴۵
جولای	۰/۷۰۸	۱/۰۷	۰/۷۴۸	۱/۰۵	۳/۲۹
اگوست	۰/۶۷۲	۰/۹۴	۰/۷۴۳	۰/۹۱۹	۲/۸۹
سپتامه	۰/۶۶۵	۰/۴۰	۰/۵۴	۰/۴۵۸	۱/۳۳
بر	۰/۶۶۸	۰/۴۲	۰/۲۲۵	۰/۲۰۵	۰/۵۷۹
اکتبر	۰/۶۵۶	۰/۰۱۱	.	۰/۰۱۱	۰/۰۳۳
نوامبر	۰/۵۵۹	.	.	.	.
دسامبر	.	.	.	.	.

جدول ۳- مقدار ماهانه‌ی نیاز حق آبه زیست‌محیطی (مترمکعب بر ثانیه) (شرکت آب منطقه‌ی استان کرمانشاه ۲۰۱۲).

ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئیه	جولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
۰/۰۶۵	۰/۰۹۵	۰/۰۱۴۱	۰/۴۴۶	۰/۵۶۲	۰/۳۴۷	۰/۲۶۶	۰/۲۱۷	۰/۱۸۲	۰/۰۵	۰/۰۴۶	۰/۰۵

جدول ۴- درصد کشت محصولات مختلف در الگوی کشت منطقه (شرکت آب منطقه‌ی استان کرمانشاه ۲۰۱۲).

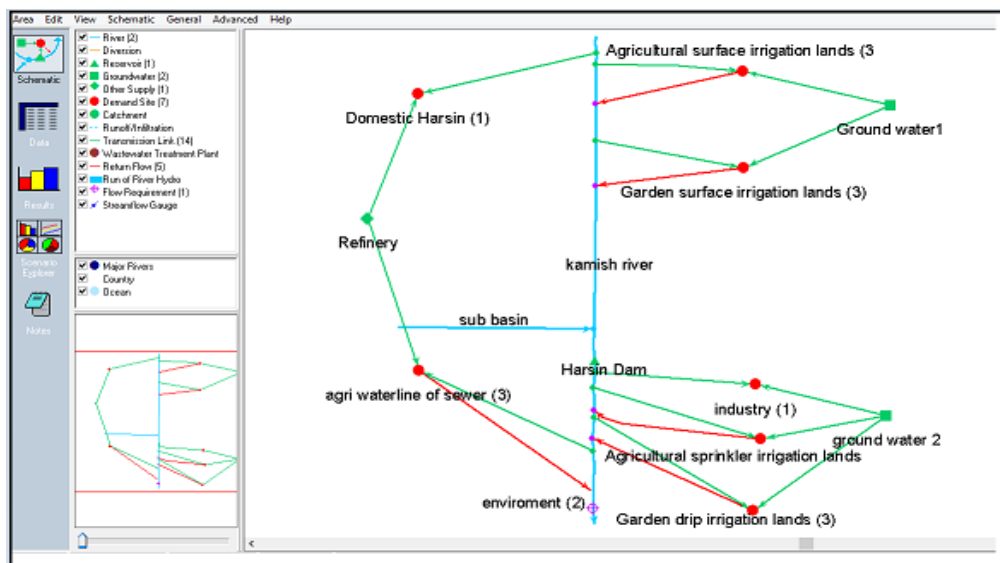
محصول	درصد کشت محصول در زمین سطحی زراعی	درصد کشت محصول در زمین بارانی زراعی
گندم	۲۵/۸۸	۲۳/۵۴
جو	۱۵/۲۹	۱۱/۷۶
چغندر قند	۹/۴۱	۱۱/۷۶
یونجه	۱۱/۷۶	۱۱/۷۶
ذرت علوفه‌یی	۱۱/۷۶	۱۰/۵۹
ذرت دانه‌یی	۰	۵/۸۸
پیاز	۹/۴۱	۰
سیب‌زمینی	۹/۴۳	۱۴/۱۲
گوجه فرنگی	۷/۰۶	۰
لوبیا	۰	۰
سویا	۰	۱۰/۵۹

(زمین زراعی و باغی با آبیاری سطحی) از آب‌خوان بالادست و چشمه‌ی سرآب هرسین را تامین می‌کند. در پایین دست نیازهای صنعت (سالانه ۱۰ میلیون مترمکعب)، زمین بارانی زراعی، قطره‌یی باغی که از آب‌گیر سد و آب‌خوان پایین دست آب می‌گیرد، و زمین‌های کشاورزی (که منبع تامین این زمین تصفیه‌خانه و آب‌گیر سد است) مشاهده می‌شود. در انتهای رودخانه حق آب زیست‌محیطی رهاسازی می‌شود که مقدار آن ۵ میلیون مترمکعب در سال است. حجم آب‌گیر در سطح عادی و کمینه‌ی بهره‌برداری به ترتیب ۱۶/۶ و ۰/۷ میلیون مترمکعب، رقوم بهنجار و کمینه‌ی بهره‌برداری ۱۴۹۱ و ۱۴۶۵ متر بالای تراز آزاد دریا است (مطالعات مرحله‌ی اول آب‌گیری سد هرسین ۲۰۱۲). سامانه‌ی منبع و مصرف سد هرسین شامل زمین باغی و زراعی و صنعت و آشامیدنی (شکل ۴) در نرم افزار WEAP با داده‌های واسنجی و برای حالت ممکن تغییر اقلیم مشخص شد. در این پژوهش تخصیص‌ها برای دوره‌های آینده پیش‌بینی شد.

از کاربردهای مدل WEAP تجزیه و تحلیل تقاضای منطقه‌یی، حفاظت از آب، حق آب‌ها و اولویت تخصیص، بهره‌برداری از آب‌گیر، تولید انرژی برق‌آبی، روندیابی آلودگی و کیفیت آب، ارزیابی آسیب‌پذیری و الزام‌های زیست‌محیطی است. مزیت اصلی WEAP در رویکرد یک‌پارچه در شبیه‌سازی سامانه‌های آبی و جهت‌گیری آن در راستای سیاست‌ها است. مدل WEAP بر پایه‌ی روش بهره‌برداری بمعیار SOP عمل می‌کند، در این روش خروجی تابعی از کل آب دسترس است (بیست و همکاران ۲۰۰۵).

$$S_{t+1} = S_t + Q_t - E_t - R_t - \text{spill} \quad 5$$

به ترتیب حجم ذخیره در دوره‌ی $t+1$ و t ، S_{t+1} ، S_t ، Q_t ، E_t ، R_t ، Spill ، جریان ورودی، حجم رهاسازی و سرریز در همان دوره (میلیون متر مکعب) است. در بالادست سد، رودخانه‌ی کمیش که چشمه‌ی هرسین به آن می‌ریزد نیازهای شهری و کشاورزی



شکل ۴- مدل‌سازی سامانه‌ی منبع‌ها و مصرف‌های سد هرسین در نرم‌افزار WEAP.

گسترده‌یی برای طراحی و حل مدل‌های بهینه‌سازی ریاضی به بهترین و ساده‌ترین شکل است که کارایی زیادی نیز دارد که برای ساخت، ویرایش و حل مسئله‌های مختلف بهینه‌سازی کاربرد دارد. سد آبیگری هرسین با هدف کاهش درصد کمبود نیازهای پایین دست در نرم‌افزار لینگو بهینه‌سازی شد (معادله‌ی ۶ تا ۹).

نیاز آشامیدنی و صنعت در اولویت اول تخصیص است، نیازهای زیست‌محیطی و کشاورزی به ترتیب در اولویت دوم و سوم تأمین است.

برای بهینه‌سازی تخصیص‌ها با نرم افزار لینگو ۱۷، برای هر حالت ممکن اقلیمی رمزنویسی شد، و خروجی سد هرسین برای هر نیاز بهینه شد. نرم‌افزار لینگو مجموعه‌ی ابزار

$$\text{Minimize} = \sum_{t=1}^n \left(\frac{D_t - R_t}{D_t} \right)^2 \quad ۶$$

$$S_{\min} \leq S_t \leq S_{\max} \quad ۷$$

$$G_{\min} \leq G_t \leq G_{\max} \quad ۸$$

$$R_t \leq D_t \quad ۹$$

$$\text{MAE} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |P_i - O_i| \quad ۱۲$$

$$R = \sqrt{\frac{(\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O}))^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 (O_i - \bar{O})^2}} \quad ۱۳$$

$$\text{NSE} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |O_i - P_i|}{\sum_{i=1}^n |O_i - \bar{O}_i|} \quad ۱۴$$

n تعداد داده‌ها، O_i مقدار مشاهده‌شده، P_i مقدار محاسبه‌شده با مدل‌ها، و \bar{O}_i و \bar{P} مقدار متوسط مشاهده‌شده و محاسبه‌شده با مدل است.

نتایج

تولید سنجه‌های اقلیمی دوره‌های آینده با خروجی ۲ مدل اقلیمی fgoals-g2 و hadgem2-ao با حالت ممکن RCP2.6، و RCP8.5 به‌کاربرده‌شده. شکل ۵ و ۷ خروجی مدل‌های اقلیمی برای سنجه‌های بارش و دما با حالت ممکن RCP 2.6 و شکل‌های ۶ و ۸ با حالت ممکن RCP 8.5 برای هر دو دوره‌ی آینده‌ی اول (۲۰۲۰-۲۰۵۹) و دوم (۲۰۶۰-۲۰۹۹) است.

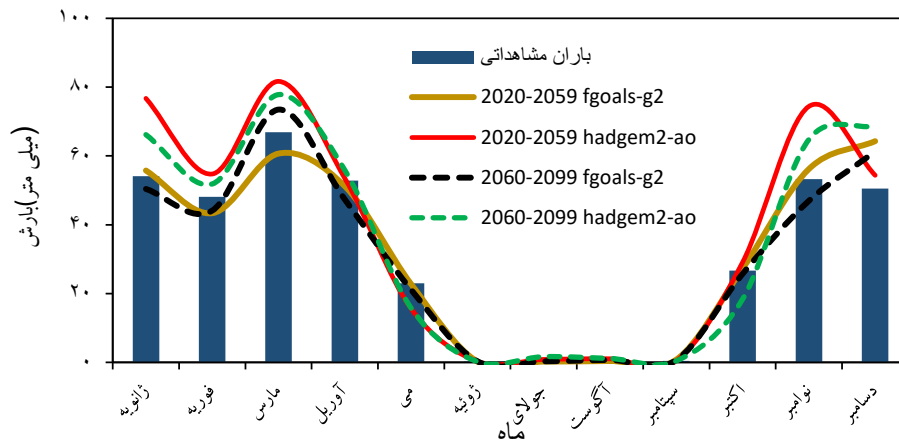
S_{\max} و S_{\min} به‌ترتیب کمینه و بیشینه‌ی ذخیره در دوره‌ی t زیرزمینی، G_{\max} و G_{\min} به‌ترتیب کمینه و بیشینه‌ی برداشت آب زیرزمینی، G_t حجم ذخیره‌ی آب زیرزمینی در دوره‌ی t ، D_t مقدار نیاز در دوره‌ی t ، و R_t مقدار خروجی سد برای هر نیاز در هر دوره‌ی t است.

خروجی‌های مدل‌های WEAP و لینگو برای هر حالت اقلیمی و هر دوره و برای نیازهای مختلف آورده شد، اما برای اطمینان از پایداری سامانه‌ی منبع‌ها و مصرف‌ها شاخص پایداری اطمینان‌پذیری (RE) می‌تواند وضعیت حوزه در برآورد مناسب نیازهای منطقه را به‌خوبی تحلیل کند. اطمینان‌پذیری نشان می‌دهد که آب اختصاص یافته به مصرف‌کننده با چه احتمالی نیاز آن را تأمین می‌کند، یا سامانه تا چه حد در حالت مطمئن و بی شکست کار می‌کند (معادله‌ی ۱).

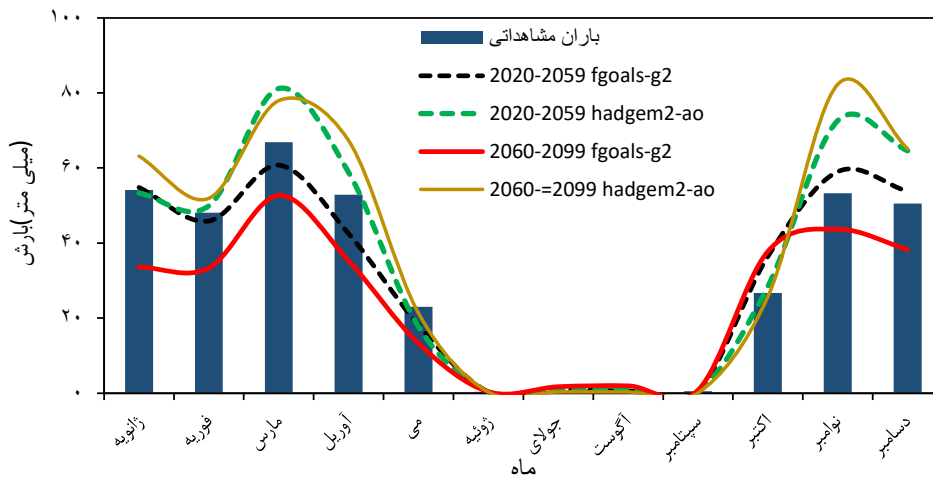
$$Re = \frac{N_s}{T} * 100 \quad ۱۰$$

N_s تعداد بارهایی که نسبت تأمین به نیاز به حد مطلوب رسیده‌است، و T تعداد گام‌های زمانی شبیه‌سازی است. برای مقایسه و ارزیابی عمل کرد مدل‌های بررسی‌شده از سنجه‌های میانگین مربع‌های خطا (RMSE)، خطای مطلق میانگین (MAE)، ضریب تعیین (R)، و ضریب نش-ساتکلیف (NSE) بهره‌گرفته شد. رابطه‌ی ۱۰ تا ۱۴).

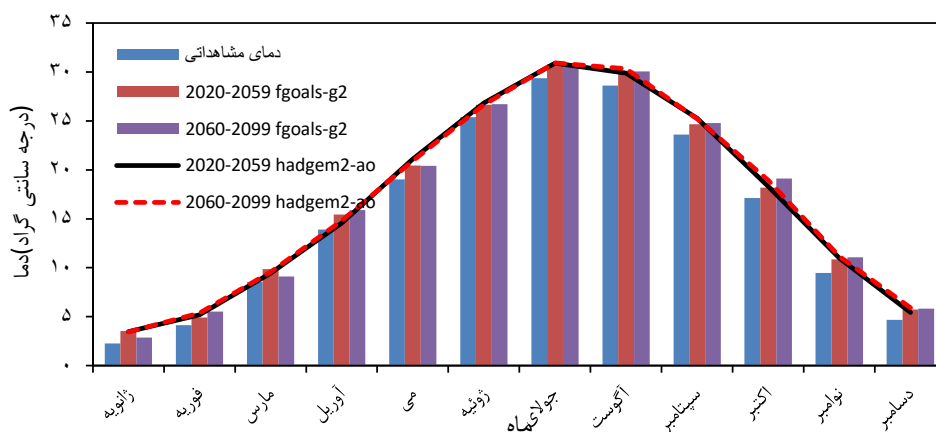
$$\text{RMSE} = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 \right)^{0.5} \quad ۱۱$$



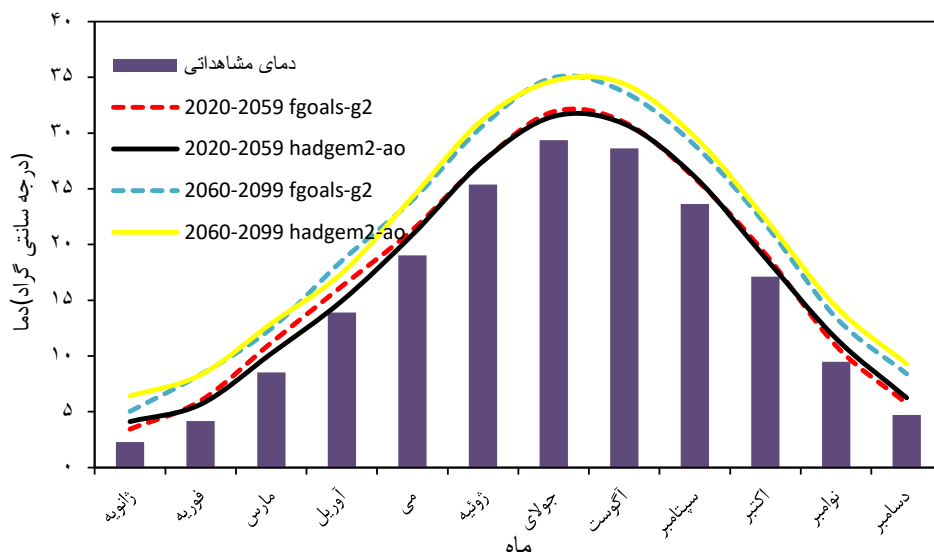
شکل ۵- بارش شبیه‌سازی شده با دو مدل اقلیمی fgoals-g2 و hadgem2-ao با حالت ممکن RCP2.6 در دو دوره‌ی آینده و دوره‌ی مشاهده‌شده.



شکل ۶- بارش شبیه‌سازی شده با دو مدل اقلیمی fgoals-g2 و hadgem2-ao با حالت ممکن RCP8.5 در دو دوره‌ی آینده و دوره‌ی مشاهده‌شده.



شکل ۷- دمای شبیه‌سازی شده با دو مدل اقلیمی fgoals-g2 و hadgem2-ao با حالت ممکن RCP2.6 در دو دوره‌ی آینده و دوره‌ی مشاهده‌شده.



شکل ۸- دمای شبیه‌سازی شده با دو مدل اقلیمی fgoals-g2 و hadgem2-ao با حالت ممکن RCP 8.5 در دو دوره‌ی آینده و دوره‌ی مشاهده‌شده.

نشان داد که در حالت کلی بیش‌ترین اختلاف بارش در مدل HADGEM2-AO با حالت RCP8.5 در نوامبر، و در مدل FGOALS-G2 کم‌ترین اختلاف بارش ماهانه با حالت ممکن RCP8.5 در سپتامبر مشاهده شد. نتیجه‌ی سنجه‌ی دما با حالت ممکن RCP2.6 در مدل HADGEM2-AO نشان داد که دما در دوره‌ی اول آینده ۱/۲۷ و دوره‌ی دوم ۱/۴۲ درجه‌ی سانتی‌گراد افزایش پیدا کرد. این افزایش دما در مدل FGOALS-G2 به ترتیب ۱/۲۵ و ۱/۳۴ سانتی‌گراد بود. نتیجه‌ی سنجه‌ی دما با حالت ممکن RCP8.5 نشان داد که در مدل اقلیمی FGOALS-G2 که در دوره‌ی اول و دوم آینده به ترتیب ۲/۰۱ و ۴/۵ درجه‌ی سانتی‌گراد نسبت به دوره‌ی پایه افزایش دما داشت، در مدل HADGEM2-AO، ۱/۸ و ۴/۹ درجه‌ی سانتی‌گراد برآورد شد. در حالت کلی اندازه‌ی افزایش دما در حالت ممکن RCP8.5 بیش‌تر از RCP2.6 گزارش شد، و سنجه‌ی دما در دوره‌ی دوم بیش‌تر از دوره‌ی اول آینده افزایش داشت.

آمار ماهانه‌ی دما، بارش و آورد سد هرسین در دوره‌ی ۱۹۷۸-۲۰۱۷ برای واسنجی و صحت‌سنجی مدل IHACRES به کار برده شد. پس از واسنجی مدل و واسنجی کردن سنجه‌های مدل بارش-روان‌آب در دوره‌ی ۱۹۸۴-۲۰۱۱، مانده‌ی داده‌ها برای صحت‌سنجی مدل انتخاب شد (جدول ۵).

نتیجه‌ی سنجه‌ی بارندگی با حالت ممکن RCP2.6 نشان داد که بارش شبیه‌سازی در مدل اقلیمی HADGEM2-AO در دوره‌ی آینده‌ی ۲۰۲۰-۲۰۵۹ و ۲۰۶۰-۲۰۹۹ به ترتیب ۱۷/۲۴ و ۱۱/۹۷٪ نسبت به دوره‌ی پایه‌ی ۲۰۱۷-۱۹۷۸ افزایش داشت. مدل FGOALS-G2 میانگین درازمدت بارش را برای دوره‌ی آینده‌ی ۲۰۲۰-۲۰۵۹، ۱/۴۸٪ افزایش، و دوره‌ی آینده‌ی ۲۰۶۰-۲۰۹۹، ۱/۳۷٪ کاهش نسبت به دوره‌ی پایه پیش‌بینی کرد.

بیش‌ترین و کم‌ترین اختلاف بارش درازمدت ماهانه در مدل FGOALS-G2 به ترتیب در دسامبر دوره‌ی اول و آگوست دوره‌ی دوم مشاهده شد. نتیجه‌ی سنجه‌ی بارندگی با حالت ممکن RCP8.5 نشان داد که میانگین درازمدت ماهانه‌ی بارش در مدل اقلیمی FGOALS-G2 کاهش ۱/۱ و ۲۲/۵۰٪ برای دوره‌های آینده‌ی اول و دوم نسبت به دوره‌ی پایه دارد، در حالی که میانگین درازمدت بارش در مدل HADGEM2-AO برای دو دوره‌ی آینده به ترتیب ۱۳/۶ و ۲۰/۶۶٪ افزایش داشت. در مدل FGOALS-G2 بیش‌ترین اختلاف بارش نسبت به دوره‌ی پایه ۱۹۷۸-۲۰۱۷ در فوریه در دوره‌ی دوم و کم‌ترین اختلاف در دوره‌ی اول و ژوئیه روی داد، بیش‌ترین و کم‌ترین اختلاف بارش در مدل HADGEM2-AO در نوامبر و ژوئیه در دوره‌ی دوم آینده بود. مقایسه‌ی دو مدل اقلیمی با حالت ممکن RCP2.6,8.5

جدول ۵- ضریب‌های تنظیم مدل IHACRES.

سنجه	بازه‌ی تغییر سنجه	مقدار بهینه
زمان خشک شدن T(W)	۲-۳۰	۴۷
ضریب دمای حوزه (F)	۰-۴	۴
ضریب آستانه‌ی رطوبت (I)	۰	۰
شدت رطوبت خاک (P)	۱	۱
ضریب خشکیدگی a(s)	-	-۰/۶۹۶
ظرفیت ذخیره‌ی رطوبت (C)	-	۰/۰۰۰۰۴۷
شاخص اوج B(s)	-	۰/۳۰۴
کاهش جریان آهسته T(s)	-	۲/۷۵۵
نسبت حجم V(s)	-	۱

ضریب تعیین (R^2)، جذر میانگین مربع‌های خطا (RMSE)، نش-ساتکلیف (NSE)، و میانگین خطای مطلق (MAE) بهره گرفته شد (جدول ۶)، و نشان‌دهنده‌ی ارزیابی خوب مدل بارش-روان آب است. در شکل ۹ داده‌های آورد مشاهده‌شده و مدل‌سازی در شرایط تنظیم و صحت‌سنجی مشاهده می‌شود.

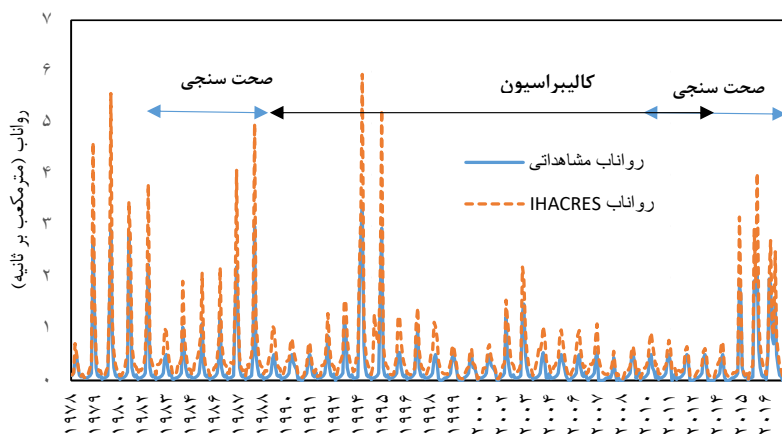
برای واسنجی مدل سال‌های مختلفی ارزیابی شد. نتیجه نشان داد که دوره‌ی ۱۹۸۴-۲۰۱۱ با ضریب هم‌بستگی (R) و معیارهای خطای آورده شده عمل کرد خوبی نسبت به دوره‌ی مشاهده داشته‌است. برای بررسی عمل کرد مدل‌ها و به‌ویژه عمل کرد مدل‌های اقلیمی از معیارهای عمل کرد

جدول ۶- ضریب‌های آماری مدل IHACRES در دوره‌ی واسنجی و صحت‌سنجی.

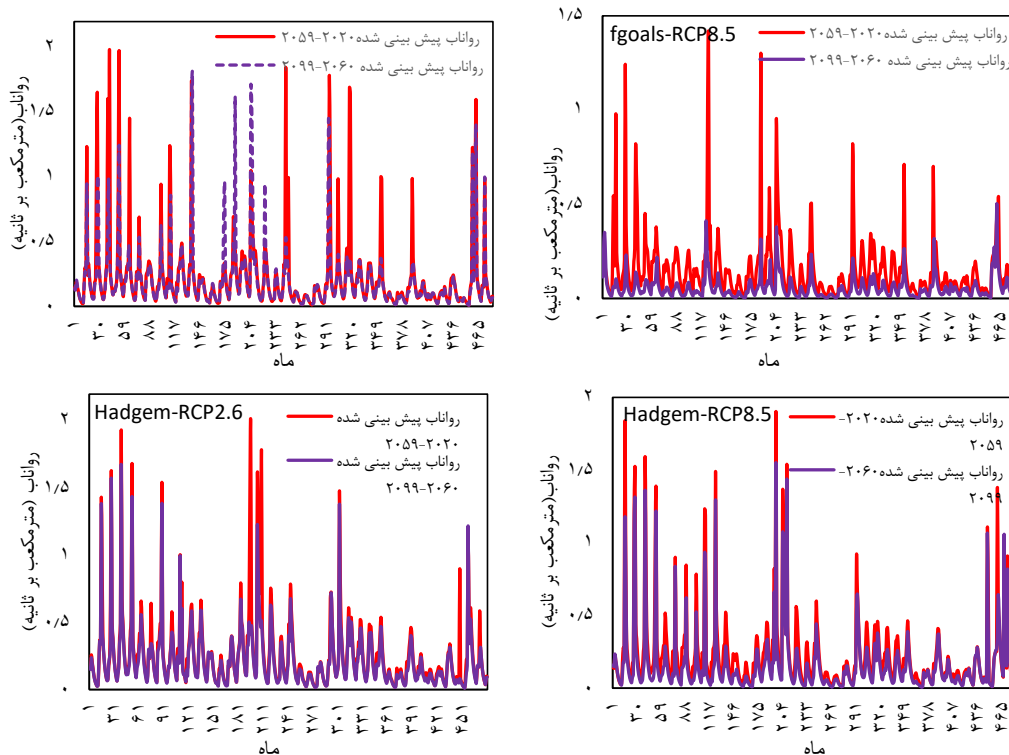
	NSE	MAE	RMSE	R
مرحله‌ی واسنجی	۰/۵۴	۰/۱۶	۰/۲۸	۰/۷۶۳
مرحله‌ی صحت‌سنجی	۰/۵۰۳	۰/۱۸	۰/۳۲	۰/۷۷۷

نش-ساتکلیف بیش‌تر از ۰/۵ باشد. نتیجه‌ی مدل شبیه‌سازی IHACRES در این پژوهش رضایت‌بخش بود.

طبق پژوهش‌های بینامن و شوماکر (۲۰۰۵) و سانتی و همکاران (۲۰۰۱) شبیه‌سازی مدل با IHACRES زمانی می‌تواند پذیرفته باشد که ضریب R بیش‌تر از ۰/۶ و



شکل ۹- مقایسه‌ی روان آب درازمدت مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده‌ی مدل IHACRES در دوره‌ی واسنجی و صحت-سنجی.



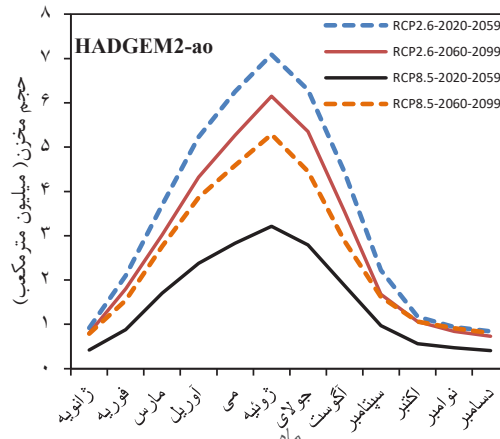
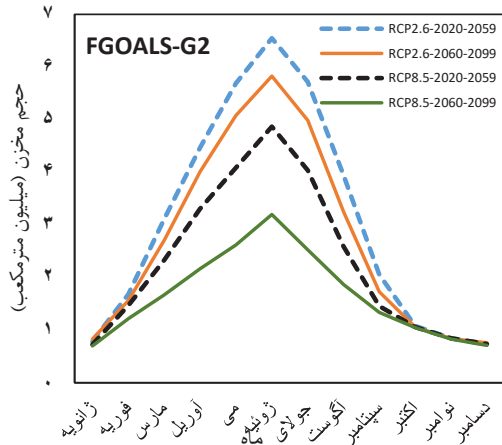
شکل ۱۰- مقدار آب‌دهی پیش‌بینی‌شده در هر مدل و هر حالت ممکن اقلیمی در دوره‌های آینده.

مدل HADGEM2-ao نیز در حالت ممکن RCP2.6 دوره‌ی اول ۳/۸۵ و در دوره‌ی دوم آینده ۱/۱۵/۳۸، و در حالت ممکن RCP8.5 دوره‌ی اول ۱۱/۵۴ و در دوره‌ی دوم RCP8.5 کم‌ترین مقدار روان آب را در دوره‌ی ۲۰۶۰-۲۰۹۹ نسبت به دیگر دوره‌ها پیش‌بینی کرد.

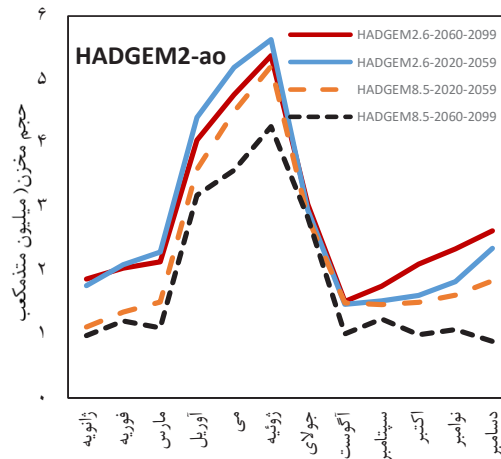
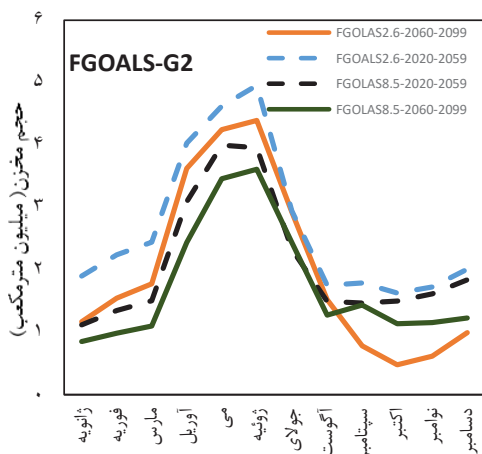
در هر دو مدل اقلیمی HADGEM2- و FGOALS-G2 با حالت ممکن RCP8.5 و RCP2.6 برای روان آب روندی کاهشی در ورودی سد هرسین پیش‌بینی شد. این کاهش در مدل FGOALS در حالت ممکن RCP2.6 در دوره‌ی اول ۱/۱۵/۳۸ و در دوره‌ی دوم ۰/۲۳، و در حالت ممکن RCP8.5 در دوره‌ی اول ۰/۴۲ و در دوره‌ی دوم ۰/۶۱ بود.

و بهینه‌ساز وارد شد و نمودارهای مربوط به حجم آب‌گیر ترسیم شد.

با استخراج مقدار روان‌آب پیش‌بینی شده با دو مدل اقلیمی، آورد ورودی به آب‌گیر در دو دوره‌ی آینده به مدل‌های شبیه‌ساز



شکل ۱۱- حجم آب‌گیر در مدل شبیه‌سازی با حالت ممکن مدل FGOALS-G2 HADGEM2-ao.



شکل ۱۲- حجم آب‌گیر در مدل بهینه‌سازی با حالت ممکن مدل FGOALS-G2 , HADGEM2-ao.

همه‌ی حالت‌ها جز RCP8.5 در دوره‌ی ۲۰۲۰-۲۰۵۹ در مدل اقلیمی HADGEM2-ao بیش‌تر از مدل شبیه‌ساز FGOALS-G2 به‌دست آمده‌است. در مدل شبیه‌ساز همه‌ی شاخص‌های اطمینان‌پذیری با حالت‌های ممکن مختلف از ۸۰٪ کم‌تر بود. بیش‌ترین مقدار برآوردشده‌ی این شاخص ۷۷/۰۸٪ بود، که برای نیاز صنعت در دوره‌ی اول آینده با مدل HADGEM2-ao با حالت ممکن RCP2.6 بود. کم‌ترین مقدار ۳۲/۱۹٪ در مدل HADGEM2-ao با حالت ممکن RCP8.5 در دوره‌ی اول آینده روی داد. با بهینه‌سازی آب‌گیر سد هر سیم می‌توان به میانگین ۱۲٪ به شاخص اطمینان‌پذیری نیازهای پایین‌دست

شکل ۱۱ و ۱۲ میانگین حجم آب‌گیر در طول دوره‌ی شبیه‌سازی و بهینه‌سازی با حالت ممکن RCP2.6 و RCP8.5 را نشان می‌دهد. حجم مخزن با حالت ممکن RCP2.6 در هر دو مدل اقلیمی و هر دو مدل شبیه‌ساز و بهینه‌ساز بیش‌تر از حالت ممکن RCP8.5 بود، در دوره‌های اول آینده سطح آب آب‌گیر بیش‌تر از دوره‌های دوم آینده بود، جز حالت ممکن RCP8.5 در مدل HADGEM2-ao که مقدار آن در دوره‌ی اول کم‌تر از دیگر دوره‌ها بود. شاخص اطمینان‌پذیری در هر حالت ممکن اقلیمی برای خروجی‌های مدل شبیه‌سازی و بهینه‌سازی محاسبه شد (جدول ۷، ۸، ۹ و ۱۰). مقدار شاخص اطمینان‌پذیری در

شبیه‌سازی و بهینه‌سازی تغییر حجم آبگیر سد هرسین بر اثر حالت‌های...

سد افزود، تا کم‌بود شدید آب روی ندهد. در حالت بهینه بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار شاخص اطمینان‌پذیری در مدل HADGEM2-ao بود، که به ترتیب در دوره‌ی اول آینده با حالت ممکن RCP2.6 برای نیاز صنعت، و دوره‌ی اول آینده با حالت ممکن RCP8.5 برای نیاز زیست‌محیطی برآورد شد.

جدول ۷- شاخص اطمینان‌پذیری مدل شبیه‌ساز در دوره‌های پیش‌بینی با مدل اقلیمی FGOALS-G2.

RCP8.5 2060-2099	RCP8.5 2020-2059	RCP2.6 2060-2099	RCP2.6 2020-2059	نیازها
۶۳/۷۵	۶۴/۱۷	۶۳/۴۲	۶۵	زمین آبیاری شده با فاضلاب
۵۵	۵۸/۷۵	۶۰/۲۱	۶۱/۴۶	زمین باغی (قطره‌یی)
۴۶/۴۶	۵۲/۷۱	۵۶/۶۷	۵۸/۵۴	زمین زراعی (بارانی)
۵۳/۳۳	۶۴/۱۷	۶۷/۷۱	۷۱/۲۵	صنعت
۴۷/۰۸	۵۸/۵۴	۶۱/۶۷	۶۵/۲۱	نیاز زیست‌محیطی

جدول ۸- شاخص اطمینان‌پذیری مدل شبیه‌ساز در دوره‌های پیش‌بینی با مدل اقلیمی HADGEM2-ao.

RCP8.5 2060-2099	RCP8.5 2020-2059	RCP2.6 2060-2099	RCP2.6 2020-2059	نیازها
۶۳/۷۵	۶۱/۳۵	۶۳/۹۶	۶۵/۴۲	زمین آبیاری شده با فاضلاب
۵۹/۱۷	۵۱/۷۷	۶۱/۰۴	۶۳/۷۵	زمین باغی (قطره‌یی)
۵۳/۹۶	۴۶/۰۴	۵۸/۳۳	۶۱/۲۵	زمین زراعی (بارانی)
۶۳/۱۳	۶۴/۷۲	۷۴/۱۷	۷۷/۰۸	صنعت
۵۸/۵۴	۳۲/۱۹	۶۵/۲۱	۶۸/۵۴	نیاز زیست‌محیطی

جدول ۹- شاخص اطمینان‌پذیری مدل بهینه‌ساز در دوره‌های پیش‌بینی با مدل اقلیمی FGOALS-G2.

RCP8.5 2060-2099	RCP8.5 2020-2059	RCP2.6 2060-2099	RCP2.6 2020-2059	نیازها
۷۱/۶۵	۷۴/۳۱	۷۵/۶۷	۸۳/۷۴	زمین آبیاری شده با فاضلاب
۶۰/۵۲	۶۳/۹	۶۹/۱۷	۷۳/۹۴	زمین باغی (قطره‌یی)
۵۴/۴۹	۵۹/۹۸	۶۵/۵۵	۶۸/۰۱	زمین زراعی (بارانی)
۶۷/۱۱	۷۰/۱۲	۷۸	۸۵/۲۶	صنعت
۵۵/۷۸	۶۵/۰۶	۷۱/۸۳	۷۵/۳۳	نیاز زیست‌محیطی

جدول ۱۰- شاخص اطمینان‌پذیری مدل بهینه‌ساز در دوره‌های پیش‌بینی با مدل اقلیمی HADGEM2-ao.

RCP8.5 2060-2099	RCP8.5 2020-2059	RCP2.6 2060-2099	RCP2.6 2020-2059	نیازها
۷۲/۷۵	۷۰/۲۲	۷۵/۹۶	۸۴/۳	زمین آبیاری شده با فاضلاب
۶۳/۶۸	۵۷/۶۴	۷۱/۰۲	۷۴/۶۶	زمین باغی (قطره‌یی)
۵۸/۰۳	۵۱/۴۱	۶۷/۳۴	۷۰/۲	زمین زراعی (بارانی)
۷۱	۷۰/۴۴	۷۹/۶۵	۸۸/۴۲	صنعت
۶۱/۴۴	۵۲/۷۱	۷۳/۷۶	۷۶/۱۵	نیاز زیست‌محیطی

شاخص اطمینان‌پذیری سامانه‌ی منبع آب را بهبود بخشد. برای نمونه کیا و همکاران (۲۰۱۸) دریافتند که روش بهینه‌سازی کرم شبتاب با اعتمادپذیری تأمین آب $0.88/3$ بهتر از دو روش GA و SOP با مقدار شاخص اطمینان‌پذیری $0.82/4$ و $0.66/7$ توانست نیازهای پایین‌دست سد را تأمین کند. این نتیجه که هم‌سو با پژوهش ما بود نشان داد که مدل بهینه‌سازی عمل‌کرد بهتری از مدل شبیه‌سازی دارد. تقیان (۲۰۱۷) در سامانه‌ی منبع آب سد زهره نشان داد که با پیاده‌سازی مدل آب‌دهی، بهبود زیادی در شاخص اصلاح‌شده‌ی کم‌بود در سامانه‌ی منبع آب بررسی‌شده در مقایسه با سیاست شبیه‌سازی بمعیار ایجاد شده‌است، به‌طوری‌که در شرایط توسعه‌ی آینده، اعتمادپذیری تأمین نیازهای سامانه‌ی منبع آب زهره معادل با 0.83 است، و آب‌دهی مطمئن سامانه‌ی زهره معادل با 0.65 نیازها خواهد بود. نتیجه‌ی این پژوهش نیز در مقایسه با پژوهش ما توان مدل بهینه‌سازی را نسبت به مدل بهره‌برداری بمعیار SOP نشان می‌دهد. محمدی و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که نتیجه‌ی به‌دست‌آمده از شاخص‌های ارزیابی عمل‌کرد مدل‌ها از نظر اطمینان‌پذیری و آسیب‌پذیری نشان داد که مدل برنامه‌ریزی ناخطی، و از دید برگشت‌پذیری، الگوریتم ژنتیک و از نظر پایداری، الگوریتم هیبریدی وال-ژنتیک بهترین عمل‌کرد را در بین مدل‌ها دارد. تقیان ۲۰۱۶ از یک مدل شبیه‌سازی مجهز به فرآیند برنامه‌ریزی خطی شبکه‌ی جریان بهره‌گرفت. با پیاده‌سازی این مدل در سامانه‌ی منبع آب رودخانه‌ی خمین، ظرفیت بهینه‌ی سد آبیگری نیشهر $4/6$ میلیون متر مکعب برآورد شد، که در این حالت قادر به حفظ اعتمادپذیری 0.85 در تأمین نیازها است. نتیجه نشان از حساسیت ابعاد حجم آب‌گیر نسبت به انتخاب اعتمادپذیری دارد که اندازه‌ی این حساسیت ناشی از شدت و طول دوره‌های کمبود آب است.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این پژوهش مدیریت منبع‌ها و مصرف‌های سد هرسین در بهترین و بدترین شرایط اقلیمی، گزارش پنجم اقلیمی از مدل‌های گردش عمومی جو یعنی حالت ممکن $RCP2.6, 8.5$ بررسی‌شد. برای شبیه‌سازی سامانه مدل $WEAP$ ، و برای بهینه‌سازی تأمین و کمینه‌کردن کم‌بودها مدل لینگو ۱۷ به‌کاربرده‌شد. ورود روان‌آب رودخانه‌ی کمیش با مدل بارش روان‌آب ایبهکرس با حالت ممکن $RCP2.6$ و $RCP8.5$ در مدل $WEAP$ موجب شد شاخص اطمینان‌پذیری نیازهای پایین‌دست سد به کم‌تر از 0.80 برسد. بیش‌ترین مقدار شاخص اطمینان‌پذیری با کاربرد حالت ممکن اقلیمی با مدل $HADGEM2-a0$ در حالت $RCP2.6$ در نیاز صنعت بود، که در حالت شبیه‌سازی $0.77/0.8$ بود، درحالی‌که در مدل بهینه‌ی $0.88/42$ افزایش یافت. کم‌ترین مقدار شاخص اطمینان‌پذیری نیز در مدل $WEAP$ ، $0.32/19$ برآورد شد، که در مدل لینگو به $0.52/71$ رسید.

شاخص اطمینان‌پذیری برای هر تقاضا در پایین‌دست سد نشان داد که مدل بهینه‌سازی در شرایط تغییر اقلیم نسبت به مدل شبیه‌سازی 0.12 افزایش داشت. دما بر اثر حالت ممکن اقلیمی افزایش و بارش با الگویی متفاوت در دو دوره‌ی $2020-2059$ و $2099-2059$ نسبت به دوره‌ی مشاهده‌شده کاهش یافت. به‌دلیل کاهش آب‌دهی‌ها در حالت ممکن اقلیمی نسبت به دوره‌ی مشاهده‌شده اندازه‌ی تخصیص‌ها به نیازهای آشامیدنی، صنعت و کشاورزی کاهش یافت، و با کاربرد مدل بهینه‌سازی توانست شاخص اطمینان‌پذیری را نسبت به حالت شبیه‌سازی بهبود بخشد.

در مدل بهینه‌سازی تغییر حجم مخزن نسبت به مدل شبیه‌سازی بیش‌تر بود. در برخی پژوهش‌ها مدل بهره‌برداری بهینه‌توانست

- Aghabeigi N, Esmali Ouri A, Mostafazade R, Golshan M. 2019. The effects of climate change on runoff using IHACRES Hydrologic Model in some of watersheds, Ardabil Province, Irrigation and Water Engineering. 10(2): 178–189. doi: 10.22125/iwe.2019.100750
- Ashofteh P, Bozorg-Haddad O. 2015. A new approach for performance evaluation of AOGCM Models in simulating runoff, Journal of Water and Soil Conservation, 22(2): 95–110. (In Persian).
- Ashofte PS, Rajaei T, Golfam P. 2017a. Assessment of water resources development projects under conditions of climate change using efficiency indexes. Water Resources Management, 31: 3723–3744.
- Ashofteh PS, Bozorg Haddad O, Miguel A, Marino. 2014. Climate change impact on reservoir performance indexes in agricultural water supply. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 139(2).
- Ashofte PS, Bozorg Haddad O, Loaiciga HA. 2017b. Logical genetic programming (LGP) development for irrigation water supply hedging under climate change conditions. Irrigation and Drainage, 66 (4): 530–541.
- Ashofteh P, Massah Bouani AR. 2010. Impact of climate change on maximum discharges: Case study of Aidogh-moush Basin, East Azerbaijan. JWSS. 14 (53):28–38. URL: <http://jstnar.iut.ac.ir/article-1-1330-en.html>. (In Persian).
- Ardakani A, Sabaghi phirozabadi MH, Sabaghi phirozabadi P. 2014. Virtual water, a way to manage water resources crisis, National Conference on Solutions to the Water Crisis in Iran and the Middle East, Shiraz. (In Persian) .<https://civilica.com/doc/369158>.
- Binaman J, Shoemaker CA. 2005. An analysis of high-flow sediment event data for evaluating model performance. Journal of Hydrological Processes, 19(3): 605–620.
- Hafezparašt M, Pourkheirollah Z. 2018. <The effect of RCP scenarios on hydrological parameters, case study: Doiraj Dam catchment>, Watershed Engineering and Management, 10(2): 231–248. Doi: 10.22092/ijwmse.2017.110468.1296. (In Persian).
- Jamshidi Pei A, Shorian M. 2017. Planning the optimal allocation of water for agriculture using the simulation-optimization approach under climate change conditions. First International Conference on Climate Change. Tehran. 28–29 February. (In Persian).
- Kheirfam H, Mostafazadeh R, Sadeghi SH. 2013. Estimation of daily discharge using IHACRES model in some watersheds of Golestan province. Journal of Watershed Management Research, 4(7):114–127 (In Persian).
- Kia I, Emadi A, Gholami MA. 2018. Efficiency of different optimization methods in the operation of Haraz Dam reservoir, Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering, 8 (4):184–196. (In Persian).
- Kermanshah Regional Water Company .2012. Studies of the first phase of Harsin Reservoir Dam. Report on Water Resources Planning Studies. (In Persian).
- Khosravi M, Esmailnejad M, Nazaripour H .2010. Climate change and its impact on water resources in the Middle East, 4th International Congress of Geographers of the Islamic World, Zahedan, Sistan and Baluchestan University Archive of the Meteorological Orga-

- nization.159 (28): 1–8. (In Persian).
- Li Z, Quan J, Li X, Wu X, Wu H, Li Y, Li G. 2016. Establishing a model of conjunctive regulation of surface water and groundwater in the arid regions. *Agriculture Water Management*. 174: 30–38.
- Lotfirad M, Adib A, Haghghi A. 2018. «Estimation of daily runoff using of the semi-conceptual rainfall-runoff IHACRES model in the Navrood watershed (a watershed in the Gilan province)», *Iranian Journal of Ecohydrology*. 5(2): 449–460. doi: 10.22059/ije.2017.234237.614. (In Persian).
- Marabi S. 2018. Evaluation of changes in quantitative and qualitative parameters of the river due to climate change under radiation induction scenarios. Ms.C Thesis. Faculty of Water Engineering, Razi University. 166 p. (In Persian).
- Mohammadi M, Mousavi S, Farzin S, Karami H. 2019. Optimal operation of dam reservoir using whale optimization algorithm and its hybrid with genetic algorithm based on multi-criteria decision making.-*Iranian Journal of Ecohydrology*. 6(2): 281–293. doi: 10.22059/ije.2019.270039.990. (In Persian).
- Panahi E, Bafkar A, Hafezparast M. 2017. «Assessment of management alternatives for maintaining watershed sustainability in the climate scenarios». *Iran-Water Resources Research*. 13(1):139–152. (In Persian).
- Rui-chao X, yu-jie G. 2018. Analysis and research on the optimal allocation of regional water resources, 4th International Conference on Energy Materials and Environment Engineering (ICEMEE 2018). 25-27 February, Da Nang, Vietnam. 38(4):1–4. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183803055>.
- Salimi Mastali F, hafezparast M, Sargordi F. 2020. Simulation and optimization of dam operation under changing cultivation pattern scenario (Case study: Harsin Dam), *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(1): 1–12. doi: 10.22059/ijswr.2019.282440.668221. (In Persian).
- Santhi , Arnold JG, Williams J, Dugas WA, Hauck L. 2001. Validation of the SWAT model on a large river basin with point and nonpoint sources. *The American Water Resources Association*, 37 (5): 1169–1188.
- Schluter M DC, Savitsky, Mckinney D, Lieth H. 2005. Optimizing long-term water allocation in the Amudarya River Delta: A water management modal for ecological impact assessment. *Environmental Modeling and Software*. 20(5):529–545.
- Song P, Wang C, Zhang W, Liu W, Sun J, Wang X, Lei X, Wang H. 2020. Urban multi-source water supply in China: Variation Tendency, Modeling Methods and Challenges. *Water*. 12(4): 1199. <https://doi.org/10.3390/w12041199>.
- Soojin M, Hyun S, Kang B. 2015. Future flow duration projection of bayesian ensemble model using the IHACRES model E-proceedings of the 36th IAHR World Congress. 28 June – 3 July The Hague, the Netherlands, pp. 1–3.
- Taghian M. 2016. «Estimation of reliable discharge in water resources systems using linear optimization», *Irrigation Science and Engineering*, 40 (1): 73–82. doi: 10.22055 / jise.2017.12668. (In Persian).
- Taghian M. 2016. Estimating the optimal capacity for reservoir dam based on reliability level for meeting demands. *Water and Soil*. 30(3): 672–684. doi: 10.22067/jsw.v30i3.34436. (In Persian).
- Wang B, Li W, Huang G, Liu L, Ji L, Li Y. 2015. Urban water resources allocation under the uncertainties of water supply and demand: A case study of Urumqi, China. *Environmental*

- Earth Science. 74: 3543–3557.
- Xu Y, Li W, Ding X. 2017. A stochastic multi-objective chance-constrained programming model for water supply management in Xiaoqing River Watershed. *Water*. 9(6). 378. <https://doi.org/10.3390/w9060378>.
- Yates D, Sieber J, Purkey D, Huber-Lee A. 2005. «WEAP21--A demand-, priority-, and preference-driven water planning Model: Part 1, Model Characteristics.» *Water International*. 30: 487–500.
- Zayn al-Dini S, Anvari S, Bagheri MH, Zahmatkesh Z. 2017. Using WEAP model to evaluate different management scenarios under climate change conditions, 14th National Conference on Irrigation and Evaporation Reduction, Kerman, Department of Water Engineering, Shahid Bahonar University, Kerman. (In Persian).
- Zhang S, Yang J, Wan Z, Yi Y. 2018. Multi-water source joint scheduling model using a refined water supply network: Case study of Tianjin. *Water*. 10(11). 1580. <https://doi.org/10.3390/w10111580>.



Watershed Management Research

VOL. 34, No.4, Ser. No: 133, Winter 2022, pp.53 -73
DOI: 10.22092/WMRJ.2021.353516.1387

Research Paper



Simulation and Optimization of Changes in the Harsin Storage Reservoir as Influenced by the Climate Scenarios

Fatemeh Salimi Mastali

Master of Water Resources Engineering, Razi University

Maryam Hafezparast Mavadat

(Corresponding Author)* Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Razi University

Farhang Sargordi

Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Razi University

Corresponding Author's Email: maryam.hafezparast@gmail.com

Received: 08 February 2021

Accepted: 06 April 2021

Abstract

The side effects of climate change have affected most aspects of human life; Therefore, the study of the various effects of climate change is more important than the identification of the climate change itself. Using the 40-year discharge (1978-2017) of the using Kamish River in the WEAP model. The reservoir of the Harsin Dam has been simulated the LINGO model, optimization was performed with the aim of minimizing the shortage of the downstream needs and the effects of climatic scenarios. By applying the RCP climate scenarios, the results indicated a decrease in the inflow of the Harsin Reservoir; however, the output of the two climate models HADGEM2-ao and FGOALS-G2 increased the maximum temperature by 5 and at least by 3 degrees Celsius in future periods. According to the RCP8.5 scenario, the volume of runoff predicted in the periods 2020-2059 and 2060-2099, is less than the runoff predicted under the RCP2.6 scenarios. Application of the runoff prediction by the precipitation-runoff model under the RCP2.6 and RCP8.5 scenarios in the WEAP model caused the reliability index of downstream demands to fall below 80%. The highest value of reliability index by applying the climate scenarios using the HADGEM2-ao model under the RCP2.6 scenario is related to the industry demand, which in the simulation mode is equal to 77.08%, while this index in the optimal model is 88.42%. The lowest value of the reliability index in the WEAP model was estimated at 32.19%; it attained 52.71% using the LINGO model.

Keywords: IHACRES, LINGO, RCP2.6, 8.5, WEAP