

ارزیابی عملکرد بهره‌برداری از مخزن سد علویان در شرایط تغییر اقلیم آتی

محمدعلی قربانی^{۱*}، سیدحسن حسینی^۲، مهسا حسنپور کاشانی^۳ و حبیبه عباسی^۳

^۱ دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

^۲ دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

^۳ دانشجوی دکتری، مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

چکیده

در سال‌های اخیر تغییر اقلیم، یکی از مهم‌ترین چالش‌ها و بررسی اثرات آن بر منابع آبی یکی از اصلی‌ترین زمینه‌های تحقیقاتی در سرتاسر جهان محسوب می‌شود. تغییر در رژیم جریان ورودی و میزان تبخیر از سطح مخازن سدها، به عنوان یکی از اصلی‌ترین منابع آب مناطق نیمه خشک، در کنار افزایش تقاضای آب، عملکرد آن را دچار چالش خواهد نمود. در این تحقیق، عملکرد مخزن سد علویان واقع بر رودخانه صوفی‌چای، تحت شرایط اقلیمی دو دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ و ۲۰۴۶-۲۰۶۵ به وسیله معیار قابلیت اطمینان کمی‌سازی گردید. برای پیش‌بینی جریان از دو مدل IHACRES و برنامه‌ریزی ژنتیک، و به منظور شبیه‌سازی ذخیره مخزن از ابزار پویایی سیستم استفاده شد. با فرض عدم افزایش میزان تقاضا، وقوع تغییر اقلیم تحت سناریو انتشار B1 و A2 در دوره اول باعث پایین آمدن قابلیت اطمینان متوسط نیازهای مختلف به جز نیاز شرب می‌شود. با این حال، با توجه عدم تغییر مقادیر میانه تغییرات، به نظر می‌رسد تغییر اقلیم اثرات بسیار شدیدی را بر قابلیت اطمینان نیازهای مختلف برای این دوره نخواهد داشت. برای دوره دوم، با افزایش نیاز شرب به میزان پیش‌بینی شده در افق طرح و رساندن نیاز زیست‌محیطی به حد قابل قبول مونتانا، مقادیر میانه تغییرات نیز در برخی ماه‌ها پایین‌تر از حدود قابل قبول قرار می‌گیرد. در مجموع می‌توان گفت حتی تحت سناریو انتشار B1 که کاهش جریان کم‌تری را برای اواسط قرن پیش‌بینی می‌کند، مخزن توانایی لازم برای تأمین نیاز پر اهمیت شرب را بر اساس مبانی طراحی مخزن در برخی ماه‌ها نخواهد داشت.

واژگان کلیدی: پویایی سیستم، تغییر اقلیم، سد علویان، قابلیت اطمینان، نمودار جعبه‌ای.

۱- مقدمه

قابلیت اطمینان، برگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری استفاده کرد. Li و همکاران [۱۴]، به منظور مطالعه اثرات پتانسیلی تغییر اقلیم بر میزان رواناب و عملکرد بهره‌برداری مخزنی در شمال آمریکا، از یک ریزمقیاس آماری ساده جهت تولید داده‌های بارش و دمای روزانه استفاده نمودند. همچنین برای تمرکز بیشتر روی شناخت ساختار و رفتار تأمین آب فرض نمودند که میزان تقاضا تا ۱۰۰ سال آینده ثابت باقی خواهد ماند. Eum و Simonovic [۱۵]، به وسیله یک سیستم مدیریت یکپارچه متشکل از سه بخش: مولد آب و هوایی (الگوریتم KNN)، مدل هیدرولوژیکی (SSARR) و مدل بهینه‌سازی دیفرانسیلی تکاملی (DE) منحنی‌های فرمان بهینه‌ای جهت منطبق شدن مخزنی چند منظوره واقع در حوضه ناکدونگ کره با تغییرات اقلیمی توسعه دادند. Rajee و Mujumdar [۱۶]، برای بررسی اثر تغییر اقلیم بر مخزنی چند منظوره در ابتدا جریانات موسمی را برای دو دوره آتی ۲۰۴۵-۲۰۶۵ و ۲۰۷۵-۲۰۹۵ از طریق ریزمقیاس نمودن خروجی‌های سه مدل گردش عمومی تحت سه سناریوی مختلف تولید نمودند. سپس در جهت کاهش اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد مخزن، سیاست بهره‌برداری بهینه‌ای را به وسیله

بررسی پیامدهای تغییر اقلیم بر منابع آب از مهم‌ترین دستور کارهای تحقیقی در سرتاسر جهان محسوب می‌شود [۱]. پیامدهایی چون تغییر در مقدار جریان و تغییر در زمان وقوع جریان‌های مهم از مسئله‌های عمده‌ای هستند که مکرراً در تحقیقات به عمل آمده به آن‌ها اشاره شده است [۲، ۳]. تلاش‌های قابل توجهی برای بررسی فرآیندهای هیدرولوژیکی، تخصیص منابع آب و اثرات تغییر اقلیم انجام شده است. روش‌های پیش‌بینی جریان رودخانه شامل: روش‌های آماری [۴]، سری‌های زمانی [۵]، مدل‌های پیچیده مبتنی بر فیزیک رواناب [۶]، شبکه‌های عصبی [۷] و ترکیبی از روش‌های فوق [۸] می‌باشند. در دهه اخیر تحقیقات ارزنده‌ای در ارتباط با سازگاری با شرایط تغییر اقلیم بسط داده شده‌اند. برخی از آن‌ها به مسأله‌های مفهومی پایه نظیر تعاریف و دسته‌بندی‌ها پرداخته‌اند [۹، ۱۰] و برخی دیگر نیز منافع گزینه‌های انطباقی مختلف را نشان داده‌اند [۱۱، ۱۲]. Habtom [۱۳]، به منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم ناشی از دو سناریو اقلیمی A2 و B2 بر مخزنی واقع در بالادست رودخانه بلو نیل در اتیوپی، از معیارهای

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مطالعاتی

صوفی‌چای با آورد تقریبی سالانه ۱۴۰ میلیون متر مکعب در منطقه مراغه جریان دارد و مساحت حوضه آبریز آن در بالادست سد علویان ۳۱۷/۱ کیلومتر مربع است که قابل تقسیم به دو زیرحوضه در بالادست دو ایستگاه هیدرومتری تازه‌کند (صوفی‌چای) و اسفستانج (استفانج‌چای) می‌باشد. با تقریب خوبی می‌توان جریان ورودی به مخزن را برابر مجموع دو جریان ثبت شده در این دو ایستگاه دانست. شکل (۱) محدوده حوضه صوفی‌چای را نمایش می‌دهد. محور سد علویان به طول ۹۳۵ متر بین مختصات جغرافیایی "۴۴' ۱۴' ۴۶° شرقی-۴۸' ۲۵' ۳۷° شمالی و "۲۲' ۱۵' ۴۶° شرقی-۴۲' ۲۵' ۳۷° شمالی واقع شده است و حجم مفید آن ۵۵/۷۲ میلیون متر مکعب می‌باشد.

۲-۲- مدل‌های GCM و سناریوهای انتشار

به منظور برآورد اثرات اقلیمی، از مدل‌های گردش عمومی (GCM)^۱ استفاده می‌شود. این مدل‌های ریاضی در ابتدا سطح زمین را به شبکه‌هایی با ابعاد ۱ تا ۴ درجه با ۵ تا ۲۰ لایه عمودی در جو و اقیانوس تقسیم کرده و سپس معادلات گاز کامل را برای سیال هوا در درون این شبکه‌ها با در نظر گرفتن شرایط مرزی بطور دینامیکی حل می‌کنند. جهت تشریح تغییر اقلیم آتی، از سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای استفاده می‌شود. سناریوها تصوراتی جایگزین از چگونگی بروز آینده خروجی انتشارات آتی می‌باشند. احتمال مشابه بودن رخداد انتشارات با آنچه در سناریوها تشریح می‌شود عدم قطعیت زیادی دارد [۲۲]. با این حال، می‌توان با به کار بردن دو سناریو A2 و B1 تا حد زیادی گستره این عدم قطعیت را شناسایی نمود. عمده‌ترین مشکل مدل‌های اقلیمی وضوح وسیع آن‌هاست که استفاده از مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی را الزامی می‌کند.

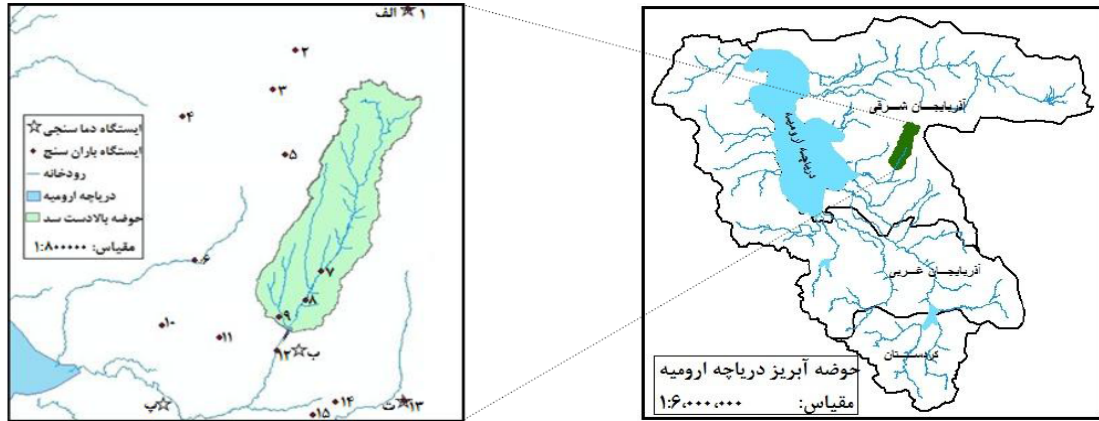
۲-۳- مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG 5

این مدل برای تقریب توزیع‌های احتمالاتی سری‌های تر و خشک، بارش، دمای حداقل و حداکثر و تابش خورشیدی روزانه از توزیع نیمه تجربی استفاده می‌کند. تعداد قطعه‌های مورد استفاده نرم‌افزار در این توزیع ۲۳ می‌باشد [۲۳]. برای هر متغیر اقلیمی v_i مقدار v_i متناظر با احتمال P_i از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$v_i = \min\{v: P(v_{obs} \leq v) \geq P_i; \quad i = 0, \dots, n \quad (1)$$

برنامه‌ریزی دینامیک استوکستیک به عنوان سیاست جایگزین به کار گرفتند. علیزاده و همکاران [۱۷] تأثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش را تحت سناریوی A2 برای ۳ دوره ۳۰ ساله آتی و با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری و خروجی‌های مدل گردش عمومی HadCM3 در حوضه کشف رود مورد بررسی قرار دادند. بابائیان و همکاران [۱۸] برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای هیدرواقلیمی بخشی از حوضه آبریز قره‌قوم در زیر حوضه‌های دو رودخانه مهم درگز، از پیش‌بینی‌های چهار مدل گردش عمومی جو MIROC, IPSL, GFDL و NCAR استفاده کردند. آبابایی و همکاران [۱۹] پس از بررسی عملکرد مدل‌های منفرد و روش ترکیب مدل‌ها در شبیه‌سازی جریانات ورودی به سد طالقان، جهت بررسی اثرات تغییر اقلیم نتایج حاصل از تولید ۱۰۰ سال داده روزانه دما و بارش تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم را به مدل‌های هیدرولوژیکی وارد نمودند. همچنین ضرائب اطمینان مربوطه استخراج شدند.

یافته‌های هیئت بین دولتی تغییر اقلیم (IPCC) نشان می‌دهد که کشورهای درحال توسعه به دلیل انعطاف‌پذیری کم جهت اصلاح ساختارهای اقتصادی و متکی بودن به کشاورزی می‌توانند نسبت به تغییر اقلیم بسیار آسیب‌پذیرتر باشند. دریاچه ارومیه در شمال غرب ایران، در دهه گذشته حجم وسیعی از آب خود را از دست داده است که تغییرات اقلیمی و احداث یا مدیریت ناصحیح سدها بر روی رودخانه‌های منتهی به این دریاچه از علل آن مطرح می‌شود. اگرچه مطالعات گوناگونی روی اثرات تغییر اقلیم بر جریانات حوضه دریاچه ارومیه [۲۰] و همچنین شبیه‌سازی بهره‌برداری از برخی مخازن موجود در آن به طور جداگانه به انجام رسیده است [۲۱]، تاکنون مطالعات معدودی به بررسی عملکرد بهره‌برداری مخزن تحت شرایط تغییر اقلیم پرداخته‌اند. همچنین در اغلب مطالعات به استفاده ساده از مدل اقلیمی HadCM3 بسنده شده و کمتر به بررسی‌های اولیه در خصوص انتخاب مدل‌های اقلیمی توجه گردیده است. هدف اصلی این تحقیق، بررسی اثرات تغییر اقلیم آتی بر میزان پاسخ هیدرولوژیکی یکی از زیرحوضه‌های نسبتاً پر آب حوضه دریاچه ارومیه به نام حوضه رودخانه صوفی‌چای و عملکرد مخزن پایین‌دست آن در تأمین نیازهای شرب، صنعت، کشاورزی و محیط زیست برای دو دوره ۲۰ ساله آتی حول سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۵۵ میلادی، با استفاده از معیار قابلیت اطمینان می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت حوضه آبریز صوفی چای و ایستگاه‌های واقع در آن

که پارامترهای τ_w ، f و T_r به ترتیب مربوط به نرخ خشک شدن مرجع، فاکتور تعدیل دما و دمای مرجع می‌باشند. پایین‌نویس k برای پارامترها نشانگر گام زمانی است. روش نسخه مورد استفاده در این تحقیق برای مدول خطی، روابط ارائه شده توسط جیکمن و هورن برگر در سال ۱۹۹۳ می‌باشد.

۲-۵- مدل مبتنی بر برنامه‌ریزی ژنتیک

برنامه‌ریزی ژنتیک در سال ۲۰۰۸ توسط جان کوزا بر اساس تئوری داروین ارائه شد. این روش جزء روش‌های الگوریتم گردشی محسوب می‌شود. به این ترتیب که جمعیتی در جهت تکامل به صورت انتخابی، جمعیت نامناسب را رها کرده و فرزندی اصلاح شده ایجاد می‌کنند. در این روش در ابتدای فرآیند هیچ‌گونه رابطه تابعی در نظر گرفته نشده و این روش قادر به بهینه‌سازی ساختار مدل و مؤلفه‌های آن می‌باشد. برنامه‌ریزی ژنتیک روی ساختار درختی فرمول‌ها عمل می‌کند. ساختارهای درختی از مجموعه توابع (عملگرهای ریاضی) و ترمینال‌ها (متغیرها و ثابت‌ها) ایجاد می‌شوند. در برنامه‌ریزی ژنتیک مراحل زیر باید مد نظر قرار گیرند: انتخاب مجموعه ترمینال‌ها (متغیرها و اعداد ثابت تصادفی)، انتخاب مجموعه عملگرهای ریاضی فرمول‌ها، انتخاب تابع برازش برای سنجش برازش فرمول‌ها، تعیین پارامترهای کنترل کننده اجرای برنامه، تعیین معیار پایان اجرا. در این مطالعه، عملکرد مدل‌ها با استفاده از دو معیار دقت R^2 و ناش (NSE) و معیار خطای RMSE بررسی می‌شود.

۲-۶- ابزار پویایی سیستم^۱

پویایی سیستم از روش‌های بسیار مؤثر برای بررسی وضعیت سیستم‌ها و از قدرتمندترین ابزارهای شبیه‌سازی می‌باشد که

برای هر متغیر اقلیمی دو مقدار P_0 و P_n به ترتیب برابر ۰ و ۱، با مقادیر متناظر $v_0 = \min\{v_{obs}\}$ و $v_n = \max\{v_{obs}\}$ ثابت‌اند. پس از ارضا برخی آزمون‌های آماری، مدل قادر به تولید سری‌های زمانی روزانه آبی برای تعداد سال‌های دلخواه می‌باشد [۲۴]. در این مطالعه برای کلیه دوره‌ها ۳۰ سال داده روزانه تولید شد.

۲-۴- مدل بارش- رواناب IHACRES 2.1

فرآیند مدل‌سازی IHACRES قابل تقسیم به دو مدول غیر خطی (تلفات) و خطی (هیدروگراف واحد) می‌باشد که اولی بارش را به بارش مؤثر و دومی بارش مؤثر را به رواناب تبدیل می‌کند. تاکنون اصلاحات مختلفی در این مدل صورت گرفته است. در حال حاضر، روش اصلاحی یه و همکاران که در سال ۱۹۹۷ ارائه شده برای محاسبه بارش مؤثر u_k از بارش مشاهداتی r_k ، به شکل زیر درون IHACRES 2 کدنویسی شده است [۲۵]:

$$u_k = [c(\phi_k - l)]^p r_k \quad (2)$$

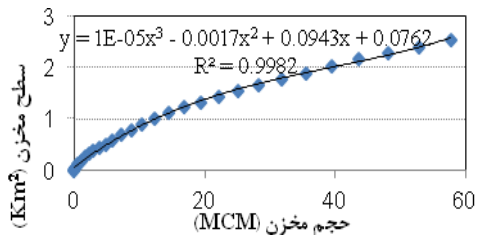
که c ، l و p به ترتیب پارامترهای موازنه جرم، آستانه شاخص رطوبتی خاک و پاسخ غیر خطی بوده و ϕ_k نیز شاخص رطوبتی است:

$$\phi_k = r_k + (1 - 1/\tau_k)\phi_{k-1} \quad (3)$$

τ_k معرف نرخ خشکی حوضه است از رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$\tau_k = \tau_w \exp(0.062 f(T_r - T_k)) \quad (4)$$

دوم هر سال آبی ۱۰٪ و ۳۰٪ از جریان ورودی را برای قابل قبول بودن تأمین این نیاز در نظر گرفت. نیاز زیست‌محیطی در مرحله طراحی سد علویان MCM ۱۴ بود که با توجه به آورد سالانه رودخانه در دوره پایه با کیفیت ضعیف جدول مونتانا مطابقت دارد. جهت محاسبه رابطه حجم-سطح مخزن با برازش منحنی بین این مقادیر، معادله غیرخطی حاصل در سیستم کدنویسی شده مخزن گنجانده شد (شکل ۲).



شکل ۲- نمودار حجم-سطح سد علویان

۲-۸- معیار قابلیت اطمینان

با توجه به اهداف تحقیق، فرض اصلی بر ثابت بودن تقاضاهای مختلف در آینده است تا بتوان روی مسأله عملکرد مخزن متمرکز شد. معیار قابلیت اطمینان به منظور بررسی عملکرد مخزن در مطالعات منابع آب رواج دارد [۱۴]. قابلیت اطمینان (R) به معنی احتمال موفقیت $R = Prob(S)$ می‌باشد. پارامتر S به میزان تأمین تقاضا مربوط می‌شود. برای هر یک از اهداف می‌توان قابلیت اطمینان را به صورت زیر محاسبه نمود:

$$R = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T R_t, \quad R_t = \frac{V_t}{V_{o,t}} \times 100 \quad (7)$$

که در آن، R قابلیت اطمینان کل (درصد) برای تأمین یک نیاز مشخص در دوره زمانی به طول T (ماه) و V_t حجم تأمین شده (MCM) از تقاضای معلوم $V_{o,t}$ (MCM) در ماه t می‌باشد. در تحلیل‌های آبی محدودده قابل قبول درصد حجم‌های تأمین شده برای نیاز شرب ۹۵ تا ۱۰۰، برای نیاز صنعت و محیط زیست ۹۰ تا ۱۰۰ و برای کشاورزی ۸۰ تا ۱۰۰ در نظر گرفته شده است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- یافتن ایستگاه معرف

برای تأمین ورودی‌های مدل بارش-رواناب از داده‌های ایستگاه معرف استفاده شد. برای پارامتر بارش، در مقایسه‌های اولیه از داده‌های ماهانه ایستگاه‌های باران‌سنجی که در ۱۱ سال آبی (۷۹ تا ۸۹) مشترک بودند استفاده شد. مقادیر متوسط

ابتدا توسط فارستر در سال ۱۹۶۱ ابداع گردید. مدل‌هایی که با این روش نوشته می‌شوند، با بینش فرایندهای بازخورد، کاربران سیستم را به فهم بهتری از رفتار دینامیکی سیستم‌ها در طول زمان نایل می‌سازند. بازخورد فرایندی است که تغییر در یک جزء را به سایر اجزای سیستم هشدار می‌دهد و بر روی اجزای اصلی سیستم اثر می‌گذارد.

۲-۷- شبیه‌سازی مخزن در VENSIM

در شروع مدل‌سازی به روش پویایی سیستم، با استفاده از نمودارهای علی می‌توان مدل ذهنی خود را اصطلاحاً روی کاغذ آورد. یکی از محدودیت‌های اصلی نمودارهای علی عدم توانایی در نمایش ساختار جریان و حالت سیستم‌ها است. حالت‌ها انباشتگی‌های سیستم هستند و به وسیله جریان‌ها تغییر می‌کنند. برای مثال، میزان ذخیره مخزن متغیر حالت است که با جریان ورودی افزایش و با جریان خروجی کاهش می‌یابد. در VENSIM حالت‌ها با مستطیل و جریان‌ها به صورت پیکان‌هایی به سمت حالت یا به بیرون آن ترسیم می‌شوند. معادله اصلی حالت-جریان یک مخزن به صورت زیر می‌باشد که همان معادله بیلان آبی مخزن است:

$$S_t = S_{t-1} + Q_{in,t} - E_t - SP_t - Q_{out,t} \quad (8)$$

در رابطه بالا، S_t و S_{t-1} به ترتیب میزان ذخیره مخزن در ماه t و $t-1$ بر حسب MCM، $Q_{in,t}$ و $Q_{out,t}$ به ترتیب میزان حجم آورد رودخانه و حجم رهاسازی شده در ماه t ، E_t حجم تبخیر و SP_t نیز حجم سرریز در ماه t (MCM/Month) می‌باشند. در شبیه‌سازی‌های آبی از میان متغیرهای فوق متغیر Q_{in} با استفاده از مدل بارش-رواناب و با در دست داشتن بارش و دما قابل پیش‌بینی است. همچنین، میزان Q_{out} با توجه به اولویت و نیازهای پایین‌دست معلوم است. برای به دست آوردن مقادیر تبخیر از سطح مخزن (E) با استفاده از دمای حداکثر و حداقل تابش، میزان ارتفاع تبخیر از تشت مدل‌سازی شده و در ضریب تشت ضرب می‌گردد. نهایتاً حاصل ضرب ارتفاع تبخیر در سطح مخزن برابر با حجم تبخیر (E) خواهد بود. ضریب تشت در ماه‌های مختلف براساس توصیه نشریه فنی ۲۴ آبیاری و زهکشی فائو با کمی اصلاح استخراج گردید. برای محاسبه نیاز محیط زیست از جدول موسوم به مونتانا استفاده می‌شود. لذا باید در هر دوره تحت هر یک از سناریوهای انتشار متوسط بلند مدت جریان ماهانه ورودی به مخزن محاسبه شده و به ترتیب در نیمه اول و

طولانی تری دارد، به عنوان ایستگاه معرف دما و ساعات آفتابی به منظور دستیابی به هدف اول انتخاب شد.

۳-۲- انتخاب مدل بارش - رواناب

برای نیل به اهداف این تحقیق، ارتباط مقادیر روزانه دو متغیر بارش و دما با جریان رودخانه مد نظر قرار گرفت. برای انتخاب بهترین مجموعه ورودی به مدل IHACRES جستجو در میان پنج ساختار مختلف ایستگاه معرف مطابق اطلاعات جدول (۱) پرداخته شد. بهترین نتایج هر یک از ساختارها در جدول (۲) آورده شده‌اند. با توجه به مقادیر دقت و خطای زیرحوضه صوفی‌چای، مدل با ساختار S1 و پارامترهای $f=6$ ، $l=0$ و 14 بهترین نتایج واسنجی و صحت‌سنجی را به همراه داشت. مقادیر این پارامترها برای مدل کردن جریان اسفستانج‌چای تحت ساختار داده‌های ورودی S4 به ترتیب ۰، ۴ و ۴ به دست آمدند.

جدول ۱- ساختار ایستگاه‌های معرف جهت ورود به مدل

IHACRES

نام ساختار	دما	بارش	جریان
S1	مراغه	مراغه	تازه‌کند
S2	مراغه	آشان	تازه‌کند
S3	لیقوان	آشان	تازه‌کند
S4	مراغه	مراغه	اسفستانج
S5	مغانجیق	مراغه	اسفستانج

با فرض انتخاب بهترین ساختار مدل IHACRES (S1) برای صوفی‌چای و S4 برای اسفستانج‌چای) داده‌های ورودی مورد استفاده در ایجاد مدل برنامه‌ریزی ژنتیک نیز شامل دما و بارش و تأخیرهای آن‌ها می‌شوند. برای درک بهتری از ورودی‌ها، تحلیل همبستگی متقاطع بارش- جریان و دما- جریان در گام‌های مختلف زمانی انجام پذیرفت. همبستگی بین بارش ۴ و ۵ روز قبل با جریان اسفستانج‌چای ۵۱٪ و این مقدار بین دمای ۷ تا ۹ روز قبل و جریان ۳۶٪- می‌باشد. مقادیر این همبستگی‌ها برای صوفی‌چای با افزایش تعداد تأخیرها تغییر قابل توجهی نداشت، لذا پتانسیل اولیه خوبی برای ایجاد مدلی قوی وجود نداشت. از آنجایی که هدف اصلی این مطالعه مقایسه دو مدل بارش- رواناب نبوده و مدل IHACRES نیز نتایج قابل قبولی در شبیه‌سازی جریان رودخانه صوفی‌چای داشت، در این قسمت از برنامه‌ریزی ژنتیک صرفاً به منظور شبیه‌سازی جریان اسفستانج‌چای استفاده شد. کار اجرای نرم‌افزار GeneXproTool با تعداد ۳ ژن و اندازه سر $h=3$ تا $h=10$ انجام گرفت و بهترین نتیجه و معادله با $h=8$ به دست آمد:

مجموع بارندگی‌های ماهانه ایستگاه‌ها، همچنین مقادیر متوسط بارندگی روی دو زیرحوضه صوفی‌چای و اسفستانج‌چای برای دوره مذکور محاسبه شد. سپس مقادیر معیارهای دقت بی‌بعد R^2 و خطای RMSE (میلی‌متر در ماه) از مقایسه بارش ماهانه و سالانه هر یک از ایستگاه‌ها با متوسط روی دو زیرحوضه به دست آمد. مراغه با بیش‌ترین طول داده‌های ثبت شده و دارا بودن بیش‌ترین میزان R^2 (۰/۹۹) و کمترین RMSE (۲/۷۶)، به عنوان ایستگاه معرف بارش زیرحوضه اسفستانج‌چای انتخاب شد. ایستگاه آشان نیز با بیش‌ترین میزان R^2 (۰/۹۷) و کمترین RMSE (۴/۹۶) نزدیک‌ترین مقادیر بارش ماهانه به متوسط روی زیرحوضه صوفی‌چای را داشت. بررسی سری زمانی مقادیر متوسط سالانه پارامتر دما در سال‌های آبی مشترک نشان داد که مقادیر این پارامتر در کلیه ایستگاه‌ها با افزایش ارتفاع کم می‌شود. وجود چنین وابستگی بین دما و ارتفاع، انتخاب ایستگاه معرف را به واقع شدن آن در ارتفاعی نزدیک به ارتفاع متوسط حوضه منوط می‌سازد. ارتفاع متوسط صوفی‌چای و اسفستانج‌چای به ترتیب ۲۳۸۵/۵ و ۱۹۲۸/۵ می‌باشند که نزدیک‌ترین ایستگاه به لحاظ ارتفاعی به این مقادیر به ترتیب ليقوان و مغانجیق می‌باشد. برآورد دما برای نیل به دو هدف: (۱) تخمین تبخیر از سطح دریاچه پشت سد و (۲) تأمین ورودی مدل‌های ریزمقیاس نمایی و بارش-رواناب مورد نیاز می‌باشد. به منظور مرتفع نمودن هدف اول ایستگاه معرف باید به موقعیت سد نزدیک باشد و بین داده‌های آن ایستگاه و مقادیر تبخیر از سطح دریاچه مخزن رابطه‌ای معنی‌دار ایجاد شود. در مورد هدف دوم نیز باید ایستگاهی با نوسانات مشابه با نوسانات متوسط دمایی منطقه انتخاب گردد. بنابراین، ایستگاه‌های سد علویان (نزدیک‌ترین به سد)، ليقوان (بهترین حدس برای متوسط دمای زیرحوضه صوفی‌چای)، مغانجیق (بهترین حدس برای متوسط دمای زیرحوضه اسفستانج‌چای) و مراغه (نزدیک به سد و دارای طولانی‌ترین داده ثبت شده) به منظور پیش‌بینی مقادیر تبخیر روزانه از تشت واقع در ایستگاه تبخیرسنجی سد علویان مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج استفاده از مدل‌های رگرسیونی دو متغیره با ورودی دمای حداقل و حداکثر نشانگر توانایی نسبتاً مشابه دو ایستگاه مراغه و سد علویان در تولید داده‌های تبخیر بود و افزودن متغیر سوم یعنی ساعات آفتابی اندازه‌گیری شده بهبود چشم‌گیری در معیار R^2 نشان نداد ($R^2=0/85$). دوره زمانی انتخاب شده برای برازش مدل‌های رگرسیونی و آزمون آن‌ها به ترتیب دو سال آبی ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷ بودند. در مجموع از آنجایی که ایستگاه سینوپتیک مراغه داده‌های ثبت شده

ثانیه)، بارش (میلی‌متر) و دمای متوسط (درجه سلسیوس) مربوط به روز t می‌باشند. معیارهای نکویی برازش براساس رابطه (۸) در جدول (۳) ارائه شده‌اند.

$$Q_t = 0.5[R_{t-4}^3 + R_{t-5}^3 + T_{t-6} + (2A - 18.534)T_{t-2} + T_{t-3}T_{t-4}(R_t + R_{t-2}) + (15.73 - 2T_{t-7})A] + 112002$$

$$A = 3.78(R_{t-6} + R_{t-7}) + R_{t-6}R_{t-7} + 14.431$$

(۸)

که در آن، Q_t ، R_t و T_t به ترتیب دبی جریان (متر مکعب بر

جدول ۲- مؤلفه‌های آماری مربوط به مدل IHACRES برای پیش‌بینی مقادیر روزانه جریان تحت ساختارهای مختلف داده‌های ورودی

صحت‌سنجی				واسنجی				نام ساختار	
دوره (سال)	RMSE (متر مکعب بر ثانیه)	R^2	NSE	دوره (سال)	RMSE (متر مکعب بر ثانیه)	(Min,Max) (متر مکعب بر ثانیه)	R^2		NSE
۸۴-۸۶	۲/۵۲۲	۰/۶۹۴	۰/۶۹۳	۶۳ و ۶۵	۲/۱۰۰	(۰/۳۳,۲۲/۶۵)	۰/۷۲۲	۰/۷۲۱	S1
۸۴-۸۶	۲/۸۳۴	۰/۶۴۲	۰/۶۱۲	۷۹-۸۱	۱/۵۲۳	(۰/۵۴,۱۹/۵)	۰/۶۹۸	۰/۶۸۱	S2
۸۴-۸۶	۳/۰۹۹	۰/۵۶۹	۰/۵۳۶	۸۱	۱/۸۷۷	(۰/۵۶,۱۹/۵)	۰/۷۵۳	۰/۷۵۲	S3
۸۶-۸۷	۰/۱۸۰	۰/۵۹۱	۰/۵۶	۸۱	۰/۱۹۰	(۰,۲/۹۶)	۰/۶۸۷	۰/۶۸۶	S4
۸۶-۸۷	۰/۱۸۵	۰/۴۳۱	۰/۳۸۷	۸۱	۰/۱۹۲	(۰,۲/۹۶)	۰/۶۷۸	۰/۶۷۷	S5

جدول ۳- مؤلفه‌های آماری مربوط به مدل برنامه‌ریزی ژنتیک برای پیش‌بینی جریان روزانه اسفستانچای تحت ساختار ورودی S4

صحت‌سنجی				واسنجی				
دوره (سال)	RMSE (متر مکعب بر ثانیه)	R^2	NSE	دوره (سال)	RMSE (متر مکعب بر ثانیه)	(Min,Max) (متر مکعب بر ثانیه)	R^2	NSE
۸۶-۸۷	۰/۲۱۷	۰/۴۰۵	۰/۳۳۹	۸۱	۰/۱۴۵	(۰,۲/۹۶)	۰/۸۲۱	۰/۸۲۳

ماهانة آن سلول محاسبه و نهایتاً این مقادیر با میانگین ۳۰ ساله ماهانه نظیر مشاهداتی ایستگاه‌های معرف در همان دوره مقایسه شدند. مدل IPSL-CM4 با $\rho=1/100$ ، $RMSE=1/48^\circ C/month$ و $MAE=1/37^\circ C/month$ دارای بهترین عملکرد و مدل BCM2.0 با وجود ρ (همبستگی) بالا دارای ضعیف‌ترین عملکرد در شبیه‌سازی دما می‌باشند. نتایج بهترین عملکرد مطابق با نتایجی هستن که واقعی در سال ۱۳۸۹ برای ایستگاه کرمانشاه به دست آورد. همچنین، مؤلفه‌های آماری مربوط به مدل‌های GCM برای بارش نشان دادند که ۵ مدل از جمله مدل HadCM3 دارای ρ نسبتاً بالا (بیش از ۰/۸۵) می‌باشند. مقایسه شاخص‌های خطا برای بارندگی بین این ۵ مدل نشان داد که مدل GISS-E-R دارای ضعیف‌ترین عملکرد و مدل GFDL-CM2.1 با $\rho=0/97$ ، $RMSE=1/4/40 mm/month$ و $MAE=10/73 mm/month$ دارای بهترین عملکرد در شبیه‌سازی بارندگی می‌باشند.

۳-۴- انتخاب مدل برآورد تبخیر

در این قسمت با استفاده از برنامه‌ریزی ژنتیک به مدل‌سازی تبخیر از تشتت به وسیله مقادیر دمای حداقل و حداکثر و تابش

در مقایسه با مدل IHACRES، نتایج حاکی از توانایی مدل برنامه‌ریزی ژنتیک در شبیه‌سازی جریان روزانه اسفستانچای در دوره واسنجی بر اساس معیارهای دقت، و ضعف آن در دوره صحت‌سنجی بر اساس معیارهای دقت و خطا می‌باشند. به منظور بررسی توانایی مدل‌های هیدرولوژیکی در نمایش متوسط تغییرات ماهانه جریان در آینده، نتایج آن‌ها برای به دست آوردن مقادیر ماهانه جمع شدند. بر اساس مقادیر معیارهای نکویی برازش، بهترین نتایج شبیه‌سازی از جمع نتایج مدل‌سازی جریان IHACRES در دو ایستگاه هیدرومتری تازه‌کند و اسفستانچ و به ترتیب با دو ساختار ورودی S1 و S4 حاصل گردید.

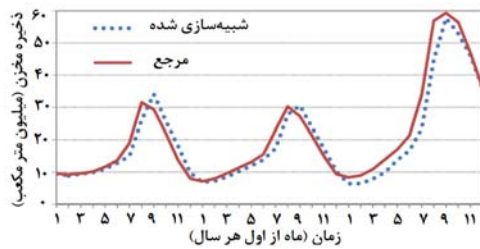
۳-۳- انتخاب مدل اقلیمی

جهت بررسی عملکرد مدل‌های GCM در شبیه‌سازی متغیرهای دما و بارش، باید مقادیر دما و بارندگی شبیه‌سازی شده توسط این مدل‌ها در دوره پایه با مقادیر مشاهداتی ایستگاه معرف مقایسه می‌شد. ابتدا فایل داده‌های ماهانه دما و بارندگی ۱۰ مدل GCM، حاوی سری زمانی متغیرهای اقلیمی مربوط به سلولی که ایستگاه مورد نظر در آن واقع شده است در دوره ۲۰۰۰-۱۹۷۱ تهیه گردید. سپس میانگین ۳۰ ساله دما و بارش

۰/۹۹ و ۰/۵۰ در دوره واسنجی و ۰/۹۶ و ۰/۶۳ در دوره صحت-سنجی) به منظور شبیه‌سازی مقادیر تبخیر از تشت استفاده می‌شود.

۳-۵- بررسی توانایی مدل VENSIM

جهت بررسی توانایی مدل VENSIM، ذخیره مخزن با در دست داشتن متغیرهای اندازه‌گیری شده برای دو دوره سه ساله پس از بهره‌برداری از مخزن که داده‌های جریان و رهاسازی قابل اعتمادی داشتند شبیه‌سازی شد (۹۰-۱۳۸۸ و ۸۱-۱۳۷۹). برای نمونه ذخیره شبیه‌سازی شده در مقایسه با ذخیره مشاهداتی (مرجع) مخزن در دوره ۸۱-۷۹ در نمودار شکل (۳) نشان داده شده است. در مجموع اختلاف بین مدل و مرجع در شش سال به طور متوسط کمتر از ۵ درصد است. بخش عمده اختلاف می‌تواند به عدم دقت داده‌ها مربوط شود. نتیجه حاکی از توانایی بالای مدل VENSIM در شبیه‌سازی رفتار مخزن می‌باشد.



شکل ۳- مقایسه رفتار ذخیره مخزن بوسیله مدل و مرجع (۸۱-۱۳۷۹)

۳-۶- سناریوهای بهره‌برداری از مخزن

شکل (۴)، نمودار حالت-جریان کامل ساخته شده در VENSIM به منظور شبیه‌سازی مخزن را نشان می‌دهد. این مدل برای حالت ترتیب اولویت شرب، محیط زیست، صنعت و کشاورزی می‌باشد. در بررسی‌های بعدی از چهار سناریو مختلف بهره‌برداری مطابق اطلاعات جدول (۶) استفاده خواهد شد.

۳-۷- عملکرد مخزن در شرایط اقلیمی کنونی (T0)

در این بخش، پارامترهای اقلیمی به کمک لارس برای دوره پایه تولید و پس از برآورد جریان و تبخیر، عملکرد مخزن شبیه‌سازی شد. سپس مقادیر قابلیت اطمینان تأمین تقاضاها تحت سناریوی بهره‌برداری کنونی (P0) محاسبه شد. به دلیل اهمیت تأمین نیاز زیست‌محیطی جهت توسعه پایدار، سناریوی بهره‌برداری P1 نیز در شرایط عدم تغییر اقلیم بررسی گردید. همچنین سناریوی P0-1 مشابه سناریوی P0، تنها با تغییر سهم نیاز محیط زیست به حد قابل قبول مونتانا، بررسی شد.

(که هر سه به وسیله مدل ریزمقیاس‌نمایی لارس تولید می‌شوند) مبادرت شده است. مقادیر تابش در دوره مشاهداتی وجود نداشت، بنابراین آن‌ها با روشی مشابه با روش به کار رفته در لارس به تابش تبدیل شدند (مقادیر ضرائب آنگستروم حاصل از این روش $a=0/۲۵۱$ و $b=0/۵۰۸$ بدست آمدند). سپس دو مدل به منظور برازش تبخیر روزانه از تشت با استفاده از پارامترهای هواشناسی ایستگاه مراغه مورد بررسی قرار گرفت (جدول (۴)).

جدول ۴- ورودی‌های مختلف جهت شبیه‌سازی تبخیر از تشت

مدل	تابع ورودی‌های مدل
M1	$E\text{-}pan_t = f(Tmax_t, Tmin_t)$
M2	$E\text{-}pan_t = f(Tmax_t, Tmin_t, Rad_t)$

جدول (۵) مؤلفه‌های آماری این دو مدل را ارائه می‌کند. دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی برای این مدل‌ها به ترتیب دو-سال آبی ۸۶ و ۸۷ می‌باشند. همان‌طور که از مقادیر این جدول معلوم است، افزودن متغیر تابش (M2) بهبود ملموسی ایجاد نکرده است. لذا مدل M1 برای شبیه‌سازی داده‌های تشت تبخیر مناسب است (رابطه (۹)).

$$E\text{-}pan_t = \{ \{ 0.213 \times Tmax_t \times Tmin_t + \sin(Tmax_t) \} \times (0.213^2) \} + [-0.374 - \sin(\sin(-0.374))] \times \cos(-0.374 \times Tmax_t) + [(\sqrt{0.213} \times \cos(-0.235)) \times (0.213 \times Tmax_t)]; \quad (9)$$

در رابطه اخیر، $E\text{-}pan_t$ متوسط تبخیر از تشت بر حسب میلی‌متر بر روز، و $Tmax_t$ و $Tmin_t$ دماهای حداکثر و حداقل در ماه t بر حسب درجه سلسیوس هستند.

جدول ۵- مؤلفه‌های آماری مربوط به مدل برنامه‌ریزی ژنتیک

برای تخمین تبخیر روزانه

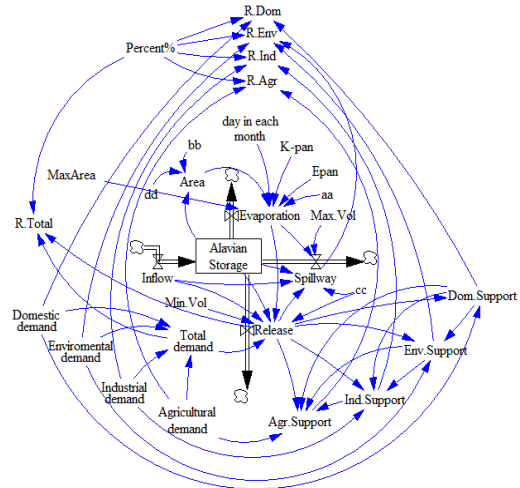
نام مدل	شاخص‌های آماری			
	صحت‌سنجی		واسنجی	
	RMSE	R ²	RMSE	R ²
M1	۲/۰۴	۰/۸۵۵	۱/۶۲	۰/۸۷۸
M2	۲/۰۷	۰/۸۵۲	۱/۵۸	۰/۸۸۵

برای تخمین ماهانه تبخیر از تشت، یک بار با میانگین‌گیری از داده‌های روزانه تولید شده توسط مدل برای هر ماه و یک بار نیز همان معادله برازش یافته بر داده‌های روزانه برای مقادیر متوسط ماهانه متغیرها به کار گرفته شد. در نتیجه، روش دوم یعنی جای‌گذاری مقادیر متوسط ماهانه دماهای حداکثر و حداقل در رابطه (۹) (به ترتیب با ضرائب تبیین و معیار خطای

بهره‌برداری P1 همچنین مقایسه عدم قطعیت دو سناریوی انتشار B1 و A2 پرداخته شده است. نتایج نشانگر افزایش روند گرمایش برای دو دوره ۲۰ ساله آتی حول سال‌های ۲۰۲۰ (۱-۱/۰۹°C) و ۲۰۵۵ (۲/۱-۲/۳۵°C) نسبت به دوره پایه ۱۹۷۱-۲۰۰۰ بودند. این تغییرات برای بارش به ترتیب (۱۱- تا ۱۹- درصد) و (۲۶- تا ۳۹- درصد) پیش‌بینی شد.

۳-۸-۱- عدم قطعیت ناشی از وجود سناریوهای انتشار در دوره T1

شکل‌های (۵) تا (۸) به ترتیب محدوده تغییرات بلندمدت قابلیت‌های اطمینان تأمین نیازهای شرب، محیط زیست، صنعت و کشاورزی در دوره آتی T1 نسبت به دوره مبدأ را نشان می‌دهند. در این شکل‌ها مقادیر متناظر با اضلاع پایین و بالا و خط واقع درون جعبه‌های مستطیلی به ترتیب بیانگر مقادیر چارک اول و سوم و میانه و دو خط وصل شده به انتهای بالا و پایین جعبه‌ها به ترتیب معرف صدک‌های ۰/۹۵ و ۰/۰۵ می‌باشند. همچنین موقعیت میانگین نیز به وسیله یک نقطه بر روی جعبه‌ها به نمایش در آمده است. مقایسه جفت نمودارهای کنار هم در هر ماه بیانگر عدم قطعیت ناشی از اعمال سناریوهای انتشار متفاوت A2 و B1 در آن ماه می‌باشد. مطابق شکل (۵)، مقادیر چارک بالا و میانه تغییرات قابلیت اطمینان شرب در شرایط اقلیمی آتی با هر دو سناریوی انتشار B1 و A2 در همه ماه‌ها نسبت به شرایط مبدأ اختلاف ندارند. این نتیجه برای مقادیر صدک ۰/۹۵ نیز به جز در دو ماه مهر و آبان برای سناریوی B1، صادق می‌باشد. در همه ماه‌ها میانگین کاهش قابلیت اطمینان تحت سناریوی A2 به مقدار اندکی بیش‌تر از B1 می‌باشد. بیش‌ترین اختلاف بین میانگین تغییرات به میزان ۳/۵۳ درصد (مرداد) رخ داده است. متوسط سالانه این کاهش تحت دو سناریوی انتشار A2 و B1 نسبت به مبدأ به ترتیب ۵/۲- و ۳/۸- درصد می‌باشد. با توجه شکل (۶)، در فاصله بهمن تا تیر اختلاف قابل توجهی بین قابلیت اطمینان محیط زیست در شرایط اقلیمی T1 و اقلیم کنونی انتظار نمی‌رود. تغییر مقادیر چارک سوم و میانه در همه ماه‌ها صفر می‌باشد. این مسأله برای سناریوی A2 شامل چارک اول تغییرات نیز می‌شود. اگرچه تغییر هم‌زمان مقادیر صدک‌های ۰/۹۵ و ۰/۰۵ تغییرات در سناریوی B1 در مرداد، شهریور و مهر نشان از بازه تغییرات وسیع پیش‌بینی شده به وسیله این سناریو دارد.



شکل ۴- نمودار حالت- جریان به منظور شبیه‌سازی مخزن سدعلویان و محاسبه قابلیت اطمینان در تأمین نیازها [۲۴]

جدول ۶- سناریوهای بهره‌برداری از مخزن سد علویان (به ترتیب اولویت تأمین، اعداد داخل پراونتز بر حسب MCM هستند)

کنونی (P0)	P0-1	P1	P2
شرب (۱۲)	شرب (۱۲)	شرب (۱۲)	شرب (۲۲)
صنعت (۸)	صنعت (۸)	محیط زیست	محیط زیست
کشاورزی	کشاورزی (۱۰۱)	صنعت (۸)	صنعت (۸)
محیط زیست	محیط زیست	کشاورزی (۱۰۱)	کشاورزی

براساس اطلاعات جدول (۷) تغییر اولویت نیاز زیست- محیطی مطابق با سناریوی بهره‌برداری P1 اختلاف مشهودی را با سناریوی P0 ایجاد نموده است. این اختلاف برای سناریو P0-1 بسیار مشهودتر می‌باشد. در هر سه سناریوی تعداد ماه‌هایی که قابلیت اطمینان شرب، صنعت و کشاورزی آن‌ها قابل قبولند، یکسان است. اما در مورد نیاز زیست‌محیطی، سناریوی بهره‌برداری P1 باعث قابل قبول شدن تأمین در سه ماه دیگر علاوه بر پنج ماه مشترک با سناریوی P0 شده است. افزایش چشم‌گیر قابلیت اطمینان زیست‌محیطی، بر اساس سناریوی P1 (از ۸۱ به ۹۳ درصد) منجر به کاهش نسبتاً کم این معیار برای صنعت (از ۹۲ به ۹۰) و کشاورزی (از ۸۵ به ۸۳) شده است. لذا نتایج سناریوی P1 در شرایط عدم رخداد تغییر اقلیم به عنوان مبنای مقایسه با نتایج دو سناریوی بهره‌برداری P1 و P2 تحت شرایط وقوع تغییر اقلیم انتخاب می‌گردد.

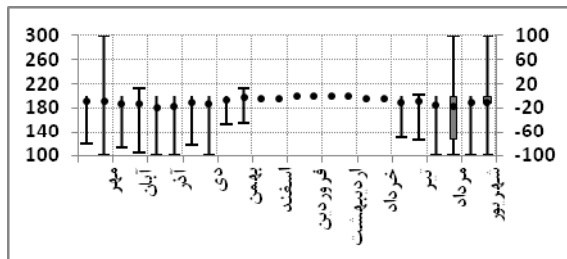
۳-۸- عملکرد مخزن در شرایط تغییر اقلیم (T1, T2)

به منظور تمرکز روی اثرات تغییر اقلیم، به مقایسه قابلیت اطمینان تأمین تقاضاهای مختلف تحت شرایط وقوع تغییر اقلیم با ثابت ماندن وضعیت اقلیمی کنونی با فرض اعمال سناریوی

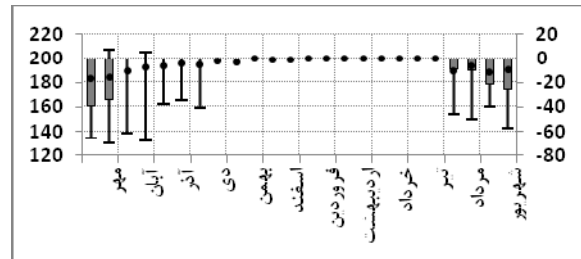
جدول ۷- درصد قابلیت اطمینان تأمین تقاضاهای مختلف تحت شرایط عدم وقوع تغییر اقلیم و سناریوهای بهره‌برداری P0 و P1 (زیر قابلیت اطمینان‌های کمتر از حد قابل قبول خط کشیده شده است)

سناریو بهره‌برداری	P0	P0-1	P1	P0	P0-1	P1	P0	P0-1	P1	P0	P0-1	P1
مهر	۶۹/۵	۶۶/۴	۶۶/۹	۷۹/۰	۷۹/۰	۷۴/۱	۶۲/۱	۵۸/۶	۸۱/۲	۹۵/۸	۹۸/۴	۹۵/۸
آبان	۷۹/۱	۷۸/۳	۷۵/۲	۸۶/۲	۸۶/۲	۸۵/۲	۷۲/۴	۶۹/۰	۸۶/۲	۹۸/۳	۹۵/۸	۹۸/۳
آذر	۸۷/۲	۸۳/۸	۸۲/۳	۹۶/۶	۹۵/۶	۹۶/۳	۷۸/۹	۷۵/۴	۹۶/۶	۹۹/۲	۹۸/۳	۹۹/۲
دی	۹۵/۵	۹۶	۹۳/۱	۹۶/۶	۹۷	۹۵/۱	۹۳/۱	۹۱	۹۶/۶	۱۰۰	۹۹	۱۰۰
بهمن	۹۳/۱	۹۰	۹۱/۲	۹۸/۲	۹۷	۹۳/۱	۹۱/۷	۸۸	۹۸/۳	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
اسفند	۹۶/۶	۹۳	۹۶/۶	۹۹/۲	۹۶	۹۶/۶	۹۶/۶	۹۳	۹۹/۱	۱۰۰	۹۹	۱۰۰
فروردین	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۵	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
اردیبهشت	۱۰۰	۹۸	۹۹/۸	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۸/۸	۸۲	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
خرداد	۸۹/۸	۸۳	۸۸	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۷۹/۲	۶۹	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
تیر	۷۷/۸	۶۹/۴	۷۶/۷	۱۰۰	۱۰۰	۹۵/۱	۷۲/۴	۶۲/۱	۱۰۰	۹۷	۱۰۰	۹۷/۰
مرداد	۶۸/۴	۵۹/۲	۶۸/۱	۸۲/۵	۷۷/۶	۷۷/۸	۶۵/۵	۵۵/۲	۸۴/۶	۸۶/۳	۹۶/۹	۸۶/۳
شهریور	۶۳/۱	۵۳/۱	۶۳/۰	۷۰/۳	۶۲/۳	۶۹/۴	۶۲/۱	۴۸/۳	۷۲/۴	۹۸/۴	۸۵/۶	۹۸/۴
کل	۸۵/۰	۸۰/۹	۸۳/۴	۹۲/۴	۹۰/۸	۹۰/۲	۸۱/۱	۷۳/۹	۹۲/۹	۹۷/۹	۹۷/۸	۹۷/۹

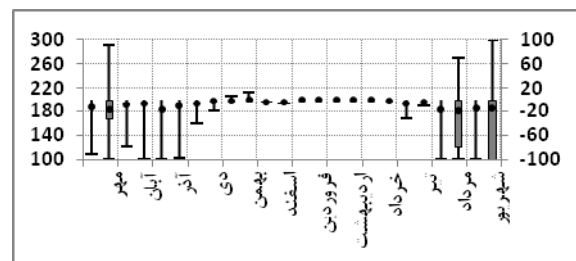
و مرداد نسبتاً کم است. متوسط کاهش قابلیت اطمینان محیط زیست تحت دو سناریوی انتشار A2 و B1 نسبت به مبنأ به ترتیب ۷/۲۵- و ۶/۴۷- درصد می‌باشد. بررسی تغییرات قابلیت اطمینان صنعت بار دیگر نشان از بازه تغییرات وسیع سناریوی B1 در مهر، مرداد و شهریور دارد (شکل ۷). کاهش میانگین قابلیت اطمینان صنعت مشابه با محیط زیست به جز در این سه ماه، به وسیله سناریوی A2 کمی بیش‌تر یا نزدیک به سناریوی B2 می‌باشد و بیش‌ترین اختلاف در ماه تیر (۳/۶۴٪) مشاهده شد. لذا عدم قطعیت انتخاب سناریوهای انتشار برای صنعت در دو ماه پرتغییر مرداد و شهریور قابل توجه نیست.



شکل ۷- محدوده درصد تغییرات سری زمانی بلندمدت قابلیت اطمینان نیاز صنعت در دوره T1 تحت سناریوی انتشار A2 (سمت چپ) و B1 (سمت راست) نسبت به دوره مبنأ



شکل ۵- محدوده درصد تغییرات سری زمانی بلندمدت قابلیت اطمینان نیاز شرب در دوره T1 تحت سناریوی انتشار A2 (سمت چپ) و B1 (سمت راست) نسبت به دوره مبنأ



شکل ۶- محدوده درصد تغییرات سری زمانی بلندمدت قابلیت اطمینان نیاز محیط زیست در دوره T1 تحت سناریوی انتشار A2 (سمت چپ) و B1 (سمت راست) نسبت به دوره مبنأ

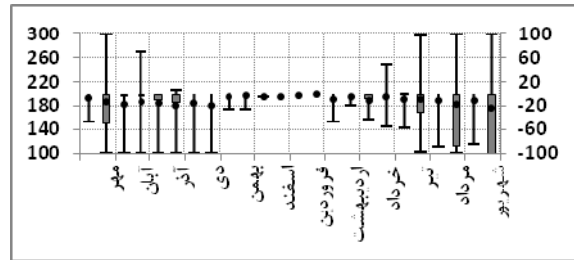
با توجه به تغییرات میانگین، سناریوی A2 به جز در سه ماه مذکور قابلیت اطمینان را برابر یا کمی کم‌تر از سناریوی B1 پیش‌بینی می‌کند و بیش‌ترین اختلاف مربوط به ماه آذر (۴/۵۶٪) می‌باشد. لذا عدم قطعیت انتخاب سناریوهای انتشار بر قابلیت اطمینان زیست محیطی در سه ماه پرتغییر مهر، شهریور

تغییرپذیری زیادی در قابلیت اطمینان نیازهای مختلف تحت هر دو سناریو تغییر اقلیم ناشی از سناریوهای انتشار A2 و B1 انتظار می‌رود. با این حال، می‌توان گفت هر دو سناریو برای کلیه نیازها کاهش قابلیت اطمینان را پیش‌بینی کرده‌اند. همچنین، میزان متوسط دراز مدت کاهش قابلیت اطمینان برای ماه‌های پربارش فصل‌های بهار و زمستان و نیز برای متوسط کل سالانه عدم قطعیت کمی را بین انتخاب سناریوهای انتشار مختلف نشان می‌دهد.

۳-۸-۲- عدم قطعیت ناشی از وجود سناریوهای انتشار

در دوره T2

مقایساتی مشابه با بخش قبل برای دوره T2 انجام شد (جدول ۹)). ملاحظه می‌شود در دوره T2 نیز سناریوی انتشار A2 قابلیت اطمینان کل را برای نیازهای مختلف کم‌تر از سناریوی B1 پیش‌بینی کرده است. این اختلاف‌ها در دوره T2 بسیار بیش‌تر از T1 می‌باشد. مقادیر بزرگ‌تر انحراف معیار در دوره T2 نیز نشانگر بازه تغییرات وسیع‌تر پیش‌بینی شده می‌باشند. با فرض عدم تغییر نیازها در دوره‌های آتی، نتایج تحت سناریوهای A2 و B1 نشان دادند به ندرت افزایش قابلیت اطمینان تأمین نیازها قابل پیش‌بینی است و بیش‌ترین کاهش‌ها در مقادیر قابلیت اطمینان مربوط به دو ماه اواخر تابستان و اوایل پاییز می‌باشد.



شکل ۸- محدوده درصد تغییرات سری زمانی بلندمدت قابلیت اطمینان نیاز کشاورزی در دوره T1 تحت سناریوی انتشار A2 (سمت چپ) و B1 (سمت راست) نسبت به دوره مبداً

در مجموع سناریوهای انتشار A2 و B1 متوسط کاهش قابلیت اطمینان صنعت را برای دوره T1 به ترتیب $-۸/۴۵$ و $-۷/۸۲$ درصد پیش‌بینی می‌کنند. شکل (۸) روند رو به رشد کاهش قابلیت اطمینان کشاورزی به سمت ماه‌های پرباران را نشان می‌دهد. بیش‌ترین اختلاف میان میانگین تغییرات تحت هر دو سناریو انتشار در شهریور ($۱۱/۸۴$ ٪) می‌باشد. همچنین کاهش قابلیت اطمینان کشاورزی به وسیله سناریوی A2 علاوه بر ماه‌های مذکور در مورد تقاضاهای صنعت و محیط زیست در دو ماه آذر و دی کم‌تر از سناریوی B2 می‌باشد که در مجموع نیز باعث کاهش بیشتر متوسط قابلیت اطمینان کشاورزی برای دوره T1 تحت سناریوی انتشار B1 ($-۱۰/۱۱$ ٪) در مقایسه با A2 ($-۹/۰۹$ ٪) شده است. به طور کلی با توجه به مقادیر ارائه شده در جدول (۸) و اطلاعاتی که از شکل‌های اخیر به دست آمد،

جدول ۸- مقادیر معیارهای قابلیت اطمینان نیازهای مختلف در دوره T1 و سناریوی بهره‌برداری P1

سناریو انتشار		شرب		محیط زیست		صنعت		کشاورزی	
		A2	B1	A2	B1	A2	B1	A2	B1
میانگین		۹۲/۷	۹۴/۲	۸۵/۷	۸۶/۴	۸۱/۸	۸۲/۴	۷۴/۳	۷۳/۳
انحراف معیار		۲۱/۳	۱۸/۷	۳۳/۶	۳۳/۹	۳۷/۹	۳۷/۳	۴۲/۰	۴۲/۵

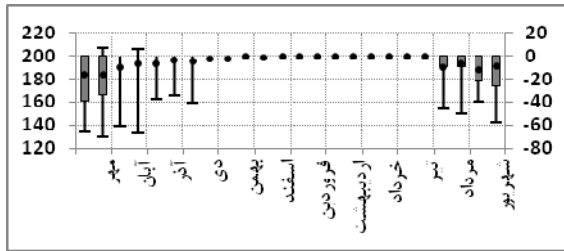
جدول ۹- مقادیر معیارهای قابلیت اطمینان نیازهای مختلف در دوره T2 و سناریوی بهره‌برداری P1

سناریو انتشار		شرب		محیط زیست		صنعت		کشاورزی	
		A2	B1	A2	B1	A2	B1	A2	B1
میانگین		۷۹/۲	۸۸/۶	۸۰/۳	۶۶/۴	۶۲	۷۵/۸	۴۷/۸	۶۶/۲
انحراف معیار		۳۵/۲	۲۶/۶	۳۹	۴۶/۷	۴۲	۴۷/۵	۴۷/۴	۴۵/۲

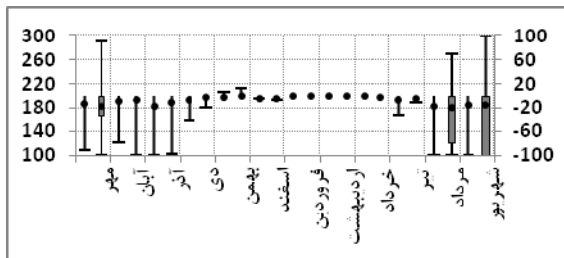
نتایج سناریوی بهره‌برداری P2 تحت شرایط تغییر اقلیم برای دوره T2 در مقایسه با شرایط اقلیمی T0 و بهره‌برداری کنونی (P1) با هدف بررسی عدم قطعیت دو سناریوی انتشار B1 و A2 ارزیابی شده است. شکل‌های (۹) تا (۱۲) به ترتیب محدوده تغییرات بلندمدت ماهانه قابلیت‌های اطمینان تأمین نیازهای

۳-۹- عملکرد مخزن در شرایط تغییر میزان تقاضا

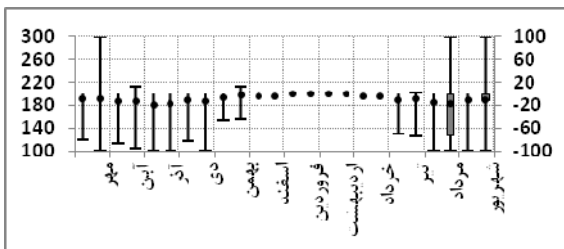
در این قسمت، صرفاً به منظور نشان دادن میزان واکنش سد علویان به تغییر در تقاضای پر اهمیت آب آشامیدنی با توجه به مقدار MCM ۲۲ ارائه شده برای افق طراحی و همچنین نیاز زیست‌محیطی به دلیل رساندن کیفیت جریان به حد قابل قبول،



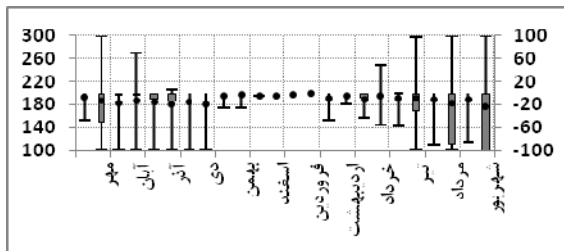
شکل ۹- محدوده درصد تغییرات سری زمانی بلندمدت قابلیت اطمینان نیاز شرب در دوره T2 تحت سناریوی انتشار A2 (سمت چپ) و B1 (سمت راست) و تحت سناریوی بهره‌برداری P2 نسبت به دوره مبنا T0 تحت سناریوی بهره‌برداری P1



شکل ۱۰- محدوده درصد تغییرات سری زمانی بلندمدت قابلیت اطمینان نیاز محیط زیست در دوره T2 تحت سناریوی انتشار A2 (سمت چپ) و B1 (سمت راست) و تحت سناریوی بهره‌برداری P2 نسبت به دوره مبنا T0 تحت سناریوی بهره‌برداری P1



شکل ۱۱- محدوده درصد تغییرات سری زمانی بلندمدت قابلیت اطمینان نیاز صنعت در دوره T2 تحت سناریوی انتشار A2 (سمت چپ) و B1 (سمت راست) و تحت سناریوی بهره‌برداری P2 نسبت به دوره مبنا T0 تحت سناریوی بهره‌برداری P1



شکل ۱۲- محدوده درصد تغییرات سری زمانی بلندمدت قابلیت اطمینان نیاز کشاورزی در دوره T2 تحت سناریوی انتشار A2 (سمت چپ) و B1 (سمت راست) و سناریوی بهره‌برداری P2 نسبت به دوره مبنا T0 تحت سناریوی بهره‌برداری P1

شرب، محیط زیست، صنعت و کشاورزی در دوره آتی T2 نسبت به دوره مبنا را با مقایسه اعمال دو سناریوی انتشار A2 و B1 نشان می‌دهند. مطابق شکل (۹) مقادیر صدک ۰/۹۵، چارک بالا و میانه تغییرات قابلیت اطمینان شرب تحت شرایط اقلیمی دوره T2 با هر دو سناریوی انتشار B1 و A2 در همه ماه‌ها به جز مهر، مرداد و شهریور نسبت به شرایط مبنا هیچ تغییری ندارند. در این سه ماه اختلاف مقدار میانه تغییرات بین دو سناریوی انتشار به طور متوسط ۲۱ درصد است. در مورد میانگین تغییرات اختلاف پیش‌بینی‌های دو سناریوی انتشار در همه ماه‌ها چشم‌گیر و برای سناریوی A2 بیشتر می‌باشد. بیش‌ترین اختلاف بین میانگین تغییرات در ماه مرداد (۰/۲۳/۱۱) رخ داده است. در مجموع متوسط کاهش قابلیت اطمینان شرب به وسیله دو سناریوی انتشار A2 و B1 نسبت به مبنا به ترتیب ۲۵/۷- و ۱۶/۸- درصد می‌باشد که نشانگر زیاد بودن عدم قطعیت میان دو سناریو انتشار می‌باشد. در مجموع فصل پاییز و تابستان مستعد رخداد بیش‌ترین کاهش‌ها در قابلیت اطمینان شرب هستند. آن‌چنان که در دو ماه مرداد و شهریور و تحت سناریوی انتشار A2 حتی مقادیر صدک ۰/۹۵ تغییرات نیز کاهش شدید مقادیر قابلیت اطمینان را نشان می‌دهند. در شکل (۱۰)، نتایج سناریوی انتشار B1 برای میانه، چارک سوم و صدک ۰/۹۵ تغییرات قابلیت اطمینان محیط زیست در ماه‌های مختلف سال به جز مهر حاکی از عدم تغییر این حدود نسبت به شرایط اقلیمی و برداشتی مبنا می‌باشد. این نتایج برای سناریوی A2 برای حدود چارک سوم و صدک ۰/۹۵ تغییرات مشابه با B1 است، اما برای میانه تغییرات در سه ماهه تابستان کاهش متوسط نزدیک به ۱۰۰٪ را نسبت به شرایط مبنا نشان می‌دهد. این نتیجه برای مقادیر چارک اول و صدک ۰/۰۵ علاوه بر تابستان در پاییز نیز صادق است. با توجه به مقادیر متوسط تغییرات، عدم قطعیت میان دو سناریوی اقلیمی منتج از دو سناریو انتشار در پاییز خیلی اندک و در تابستان قابل توجه است. بیشترین اختلاف مربوط به مرداد به میزان ۲۴/۱۴ درصد می‌باشد. در مجموع میزان قابلیت اطمینان محیط زیست برای سناریوی بهره‌برداری P2 تحت دو سناریوی انتشار A2 و B1 به ترتیب ۳۴/۴- و ۲۶/۲- درصد کاهش نسبت به شرایط مبنا را نشان می‌دهد. در شکل (۱۱) نتایج مربوط به میانه، چارک سوم و صدک ۰/۹۵ تغییرات قابلیت اطمینان نیاز صنعت تحت سناریوی انتشار B1 نسبت به شرایط مبنا تغییری نکرده است. در حالی که تحت سناریوی انتشار A2 متوسط کاهش مقادیر میانه تغییرات در مهر، مرداد و شهریور ۱۰۰- درصد می‌باشد.

می‌رسد تغییر اقلیم اثرات بسیار شدیدی را بر قابلیت اطمینان نیازهای مختلف برای دوره ۲۰۲۰ به همراه نخواهد داشت؛ اگرچه شکست سد در تأمین نیازها در برخی از سال‌ها به خصوص در اواخر تابستان انتظار می‌رود. با افزایش نیاز شرب به میزان پیش‌بینی شده در افق طرح و همچنین رساندن نیاز زیست-محیطی به حد قابل قبول مونتانا مقادیر میانه تغییرات نیز علاوه بر کاهش میانگین در برخی از ماه‌ها پایین‌تر از حدود قابل قبول قابلیت اطمینان نیازهای مختلف قرار می‌گیرند. در میان ماه‌های مختلف، ماه‌های مهر، مرداد و شهریور وخیم‌ترین شرایط برای تأمین نیاز شرب تحت هر دو سناریوی انتشار A2 و B1 را تجربه می‌کنند. قابلیت اطمینان تأمین نیازهای زیست‌محیطی و صنعت علاوه بر ماه‌های فوق در ماه تیر نیز شدیدترین کاهش‌ها را نشان می‌دهد. همچنین، در همه ماه‌های دو فصل تابستان و پاییز نیاز کشاورزی کاهش زیادی را نشان می‌دهد. با این حال، عدم قطعیت میان نتایج دو سناریوی انتشار نیز بسیار گسترده می‌باشد. در مجموع می‌توان گفت حتی تحت سناریوی انتشار B1 که کاهش جریان کمتری را برای دوره ۲۰۵۵ پیش‌بینی می‌کند، مخزن سد علویان توانایی لازم برای تأمین نیاز شرب را بر اساس مبانی طراحی مخزن در برخی ماه‌ها نخواهد داشت. علاوه بر تغییرات اقلیمی، مسائلی مثل تغییر در کاربری و پوشش گیاهی اراضی در کنار آورد سالانه رسوب به مخزن، هر یک می‌توانند به نوبه خود اثرات مجزا و چشم‌گیری را بر تغییر عملکرد مخزن داشته باشند. لذا تلفیق این مسائل با اثرات تغییر اقلیم می‌تواند دید جامع‌تری در مورد آینده یک مخزن ارائه دهد.

۵- قدردانی

بدین‌وسیله نویسندگان از کمک‌های شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی و دانشگاه تبریز کمال سپاسگزاری را دارند.

۶- مراجع

- [1] IPCC, "Summary for Policymakers in Climate Change 2007", Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt K.B, Tignor M, Miller H.L (eds.), The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, 2007, pp 1-18.
- [2] Frederick, K. D., "Introduction in: Water Resource and Climate Change", Fredrick, K. D. (ed.), Northampton MA: Edward Elgar Publishing, 2002.

مشابه نتایج نیاز زیست‌محیطی، بیش‌ترین عدم قطعیت مقادیر متوسط تغییرات قابلیت اطمینان ناشی از انتخاب سناریوهای انتشار، برای صنعت نیز در تابستان مشاهده شد. حداکثر این عدم قطعیت مربوط به ماه مرداد دقیقاً برابر مقدار نظیر نیاز محیط زیست (۲۴/۱۴٪) می‌شود. در مجموع دو سناریو انتشار A2 و B1 متوسط کاهش قابلیت اطمینان صنعت تحت سناریو بهره‌برداری P2 برای اواسط قرن را نسبت به دوره مبنا و بهره‌برداری P1 به ترتیب ۳۷/۹- و ۲۹/۵- درصد پیش‌بینی می‌کنند. در شکل (۱۲)، مقادیر چارک سوم تغییرات قابلیت اطمینان کشاورزی در همه ماه‌ها و تحت هر دو سناریوی انتشار تغییراتی نسبت به شرایط مبنا نشان نمی‌دهند ولی میانه و میانگین تغییرات در همه ماه‌ها به جز فروردین و اردیبهشت برای A2 و همچنین در مهر، آبان، آذر و شهریور برای هر دو سناریوی انتشار رو به کاهش است. در کل متوسط کاهش قابلیت اطمینان کشاورزی برای دوره T2 و تحت سناریوی بهره‌برداری P2 نسبت به شرایط مبنا با فرض وقوع هر دو سناریوی انتشار به ترتیب ۴۳/۸- و ۳۱/۸- می‌باشد. در مجموع نتایج حاکی از عدم توانایی مخزن جهت تأمین قابل قبول نیازها در شرایط اقلیمی آتی تحت هر دو سناریوی انتشار در اواسط قرن ۲۱ و تحت مقادیر مفروض برای تقاضاهای مختلف در سناریوی بهره‌برداری P2 می‌باشند. بنابر این، این نتایج توصیه منطقی برای ارزیابی مجدد قوانین بهره‌برداری کنونی را گوشزد می‌کنند.

۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این تحقیق، عملکرد مخزن سد علویان تحت شرایط تغییر اقلیم به وسیله معیار قابلیت اطمینان کمی‌سازی گردید. جریان ورودی به مخزن با تبدیل دما و بارش ایستگاه‌های معرف دو زیرحوضه منتهی به سد برآورد شد. با اجرای مدل شبیه‌ساز رفتار مخزن به وسیله VENSIM، معیار قابلیت اطمینان نیازهای مختلف تحت سناریوی عدم وقوع تغییر اقلیم و با تغییر اولویت نیازها به ترتیب شرب، محیط زیست، صنعت و کشاورزی، بالاتر از حدود قابل قبول می‌باشد. با فرض عدم افزایش تقاضاهای مختلف مخزن سد علویان در دوره‌های آتی، وقوع تغییر اقلیم تحت سناریوهای انتشار B1 و A2 در دوره ۲۰۲۰ باعث پایین آمدن قابلیت اطمینان متوسط نیازهای مختلف به جز نیاز شرب شده است. این نتیجه برای دوره ۲۰۵۵ شامل نیاز شرب نیز گردیده است. با این حال، با توجه به عدم تغییر مقادیر میانه تغییرات و همچنین بالا بودن مقادیر انحراف از معیار و با فرض این که در طول ۲۰ سال آینده میزان نیازها تغییر نکند، به نظر

- University, Arba Minch University, School of Post Graduate Studies, 2009.
- [14] Li, L., Xu, H., Chen, X., Simonovic, S., "Streamflow Forecast and Reservoir Operation Performance Assessment under Climate Change", *Water Resources Management*, 2010, 24, 83-104.
- [15] Eum, H. I., Simonovic, S., "Integrated Reservoir Management System for Adaptation to Climate Change: The Nakdong River Basin in Korea", *Water Resources Management*, 2010, 24, 3397-3417.
- [16] Rajee, D., Mujumdar P. P., "Reservoir Performance Under Uncertainty in Hydrologic Impacts of Climate Change", *Advances in Water Resources*, 2011, 33, 312-326.
- [۱۷] علیزاده، ا.، سیاری، ن.، حسامی کرمانی، م.، بنایان اول، م.، فریدحسینی، ع.، "بررسی پتانسیل اثرات تغییر اقلیمی بر منابع و مصارف آب کشاورزی (مطالعه موردی: حوضه آبریز رودخانه کشف رود)"، نشریه آب و خاک، ۱۳۸۹، ۲۴، (۴)، صفحه ۸۱۵-۸۳۵.
- [۱۸] ابائیان، ا.، ضرغامی، م.، کوهی، م.، بابائیان، ا.، کریمیان، م.، مدیریان، ر.، "بررسی رفتار منابع آب حوضه قره قوم تحت شرایط تغییر اقلیم (مطالعه موردی: زیرحوضه درگز)"، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۱۳۹۲، ۲۷، (۵)، ۹۰۷-۹۱۸.
- [۱۹] آبابایی، ب.، میرزایی، ف.، سهرابی، ت.، "مطالعه اثر تغییر اقلیم بر جریانات ورودی به مخزن سد طالقان با استفاده از روش ترکیب اطلاعات"، مدیریت آب و آبیاری، ۱۳۹۲، ۳، (۲)، صفحه ۱۳-۲۸.
- [20] Zarghami, M., Abdi, A., Babaeian, I., Hassanzadeh, Y., Kanani, R., "Impacts of Climate Change on Runoffs in East Azerbaijan, Iran", *Global and Planetary Change*, 2011, 78, 137-146.
- [21] Hassanzadeh, E., Zarghami, M., Hassanzadeh, Y., "Determining the Main Factors in Declining the Urmia Lake Level by Using System Dynamics Modeling", *Water Resources Management*, 2011, 26 (1), 129-145.
- [22] IPCC, "Climate Change 2001: The Scientific Basis", Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguer, M., van der Linden, P.J., Dai, X., Maskell, K. & Johnson, C. A. (eds.)],
- [3] Wurbs, R. A., Muttiah, R. S., Felden, F., "Incorporation of Climate Change in Water Availability Modeling", *Journal of Hydrologic Engineering*, 2005, 10 (5), 375-385.
- [4] Thomas, R. B., Megan, W. F., "Peak Flow Responses to Clear-Cutting and Roads in Small and Large Basins, Western Cascades, Oregon: A Second Opinion", *Water Resources Research*, 1998, 34, 3393-3403.
- [5] Moore, K., Pierson, D., Pettersson, K., Schneiderman, E., Samuelsson, P., "Effects of Warmer World Scenarios on Hydrologic Inputs To Lake Malaren, Sweden And Implications For Nutrient Loads", *Hydrobiologia*, 2008, 599, 191-199.
- [6] Fang, X., Pomeroy, J.W., "Drought impacts on Canadian prairie wetland snow hydrology", *Hydrological Processes*, 2008, 22, 2858-2873.
- [7] Ehrman, J. M., Higuchi, K., Clair, T. A., "Backcasting to Test The Use of Neural Networks For Predicting Runoff In Canadian Rivers", *Canadian Water Resources*, 2000, 25, 279-308.
- [8] Vicuna, S., Dracup, J. A., "The Evolution of Climate Change Impact Studies On Hydrology and Water Resources in California", *Climatic Change*, 2007, 82, 327-350.
- [9] Smit, B., Burton, I., Klein, R. J. T., Wandel, J., "An Anatomy of Adaptation to Climate Change and Variability", *Climate Change*, 2000, 45, 223-251.
- [10] Yohe, G. W., "Assessing the Role of Adaptation in Evaluating Vulnerability to Climate Change", *Climatic Change*, 2000, 46, 371-390.
- [11] Tol, R. S. J., Nicolien, V. D. G., Olsthoorn, A. A., Werff, P. E. V. D., "Adapting to climate: A Case Study on Riverine flood Risks in the Netherlands", *Risk Analysis*, 2003, 23, 575-583.
- [12] Payne, J. T., Wood, A. W., Hamlet, A. F., Palmer, R. N., Lettenmaier, D. P., "Mitigating the Effects of Climate Change on The Water Resources of the Columbia River Basin", *Climate Change*, 2004, 62, 233-256.
- [13] Habtom, M. B., "Evaluation of Climate Change on Upper Blue Nile Basin Reservoir (case Study on Gilgel Abay Reservoir, Ethiopia)", A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Masters of Science in Hydraulics and Hydropower Engineering of Arba-Minch

Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, US, 2001.

- [23] Semenov, M. A., Stratonovitch, P., "Use of multi-model ensembles from Global Climate Models for Assessment of Climate Change Impacts", *Climate Research*, 2010, 41, 1-14.

[۲۴] حسینی، س. ح.، "ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه و عملکرد مخزن (مطالعه موردی: مخزن سد علویان)"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، ۱۳۹۱.

- [25] Croke, B. F. W., Andrews, F., Spate, J., Cuddy, S. M., "IHACRES User Guide", Technical Report 2005/19, Second Edition, iCAM, School of Resources, Environment and Society, The Australian National University, Canberra, 2005.

EXTENDED ABSTRACT

Evaluation of Alavian Reservoir Operation Performance under the Condition of Future Climate Change

Mohamad Ali Ghorbani^{a,*}, Seyyed Hasan Hosseini^a, Mahsa H. Kashani^a, Habibeh Abbasi^b

^a *Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran*

^b *Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran*

Received: 18 April 2014; **Accepted:** 17 November 2014

Keywords:

Alavian reservoir, Box plot, Climate change, Reliability, System dynamics

1. Introduction

Evaluation of the impact of climate change on water resources is one of the main tasks of researchers in the world. Considerable efforts have been done to study the hydrological processes and effects of climate change on water resources. Iran is a developing country where more than 85 percent of its total water is used in agriculture. The Urmia Lake located in the North West of Iran has lost a lot of its water. This is because of building several dams in the basin areas and also climate changes. Although several studies about the effects of climate change on the basin rivers flows [1] and also simulations of the reservoirs operation [2] have been separately carried out, few studies have examined the operation of reservoirs under climate change conditions. Moreover, most of the studies have used a simple climate model, HadCM3, and less attention has been paid for evaluating other climate models. The main objective of this study is to evaluate the effects of future climate change on the hydrological response of the Sufichay River basin located at upstream of the Alavian Dam and also the reservoir operation for supplying drinking, industrial, agricultural and the environmental water demands for the next two periods of 20 years, around the years 2020 and 2055, using the reliability criterion.

2. Methodology

2.1. Case study

The Alavian Dam lies between 46° 14' 44" E - 37° 25' 48.7" N and 46° 15' 22" - 37° 25' 42.3" N. The dam is across the Sufichay River in Maragheh City. The length of the dam is 935 m and its useful volume is 55.72 Mm³. The annual discharge of the river is about 140 Mm³. The basin area upstream of the Alavian Dam is 317.1 km², which may be divided into two sub-basins located at upstream of two gauging stations, Tazeh Kand (Sufichay) and Esfestanaj (Esfestanajchay). The inflow value of the reservoir is sum of the flow recorded at the two stations.

2.2. GCM models

The general circulation models (GCM) are used to estimate the effects of climate change. In this case, greenhouse gas emission scenarios such as A2 and B1 scenarios are used.

2.3. LARS-WG 5 model

This downscaling model uses semi-empirical distribution to approximate the probability distributions of wet and dry series, daily precipitation, maximum and minimum temperatures and solar radiation. After doing some statistical tests, the model is able to generate daily time series for the desired number of years. In this study, 30 years of daily data was generated by the model for all the periods.

2.4. IHACRES 2.1 model

* Corresponding Author

E-mail addresses: ghorbani@tabrizu.ac.ir (Mohammad Ali Ghorbani), s.has.hosseini@gmail.com (Seyyed Hasan Hosseini), mahsakashani2003@yahoo.com (Mahsa H. Kashani), habibeh.abbasi@gmail.com (Habibeh Abbasi).

The modeling process of the IHACRES model is divided into two nonlinear (losses) and linear (unit hydrograph) modules. The first module converts rainfall to effective rainfall, and the latter converts the effective rainfall to runoff. The model applies a modified method suggested in 1997 by Yeh et al. for calculating the effective rainfall using the observed rainfall [3].

2.5. Genetic programming

Genetic programming was presented by John Cosa in 2008, based on Darwin's theory. This method does not make any assumption on the structure of the relationship between independent and dependent variables but it identifies an appropriate relationship for any given problem. The construction of the relationship is made possible by (i) a set of components of functions and their parameters (terminal set); and (ii) a parse tree, which is a functional set of basic operators. The evolution starts from an initially selected random population of models. As the population evolves from one generation to another, new models replace the old ones by having demonstrably better performance.

2.6. System dynamic tool

System dynamic tool is an effective tool to check the status of the systems. Moreover, it is of the most powerful and applied simulation tools. This method was developed by Forrester in 1961 for better understanding of complex dynamic systems.

3. Results and discussion

In this study, the Alavian reservoir performance under climate change condition was evaluated using the reliability criterion. The inflow of the reservoir, which is the most important factor influencing the reservoir storage to meet different demands was estimated using the temperature and precipitation data of the two stations. The IHACRES model was calibrated and tested at daily scale, and then the results were summed to calculate the monthly flow. As a result, the determination coefficient values for the Sufichay sub-basin is 0.887 and 0.830 for the calibration and test stages, respectively. The corresponding values for the Esfestanajchay sub-basin are 0.916 and 0.799, respectively. Applying the VENSIM model for simulating the reservoir behavior, the reliability criterion for different demands under scenario of no climate change and the order of demands: drinking, environment, industry and agriculture, is higher than acceptable ranges. Assuming no increase in the demands for the future periods, occurring climate change under the B1 and A2 emissions scenarios in the period of year 2020 causes the decrease in the average value of the reliability of the demands except the drinking one. This result is also true for the period of year 2055 by not excepting the drinking demand. However, it seems that the climate change will not affect the reliability of different demands for the period 2020, because of constant median values of changes and high values of the standard deviation by assuming that the demands values will not change over the next 20 years. Note that the dam failure in supplying the demands is expected in some years, especially in late summer. By increasing the drinking demand to the predicted value and increasing the environmental demand to the Montana limit, the values of median changes in addition of decreasing in some months become lower than the acceptable limits of the reliability of different demands.

4. Conclusions

The worst conditions to supply the drinking demand under both emission scenarios, A2 and B1, were obtained for the months of October, August and September. The reliability of environmental and industrial demands decreased in July in addition to the mentioned months. Moreover, the reliability of agricultural demand decreased a lot over all months of the summer and fall seasons. However, uncertainty between the results of two scenarios is very high. Generally, it can be stated that even under the B1 scenario, which predicts no more decrease in the flow for the period of 2055, the reservoir will not be able to supply the drinking demand over some months.

5. References

- [1] Zarghami, M., Abdi, A., Babaeian, I., Hassanzadeh, Y., Kanani, R., "Impacts of Climate Change on Runoffs in East Azerbaijan, Iran", *Global and Planetary Change*, 2011, 78,137-146.
- [2] Hassanzadeh, E., Zarghami, M., Hassanzadeh, Y., "Determining the Main Factors in Declining the Urmia Lake Level by Using System Dynamics Modeling", *Water Resources Management*, 2011, 26 (1), 129-145.
- [3] Croke, B. F. W., Andrews, F., Spate, J., Cuddy, S. M., "IHACRES User Guide", Technical Report 2005/19, Second Edition, iCAM, School of Resources, Environment and Society, The Australian National University, Canberra, 2005.