

پیش‌بینی وضعیت منابع آب تحت اثر تغییرات اقلیم به کمک مدل ANFIS و سناریوهای گردش عمومی جو (مطالعه موردی: حوضه زیارت شهر گرگان)

سید حامد شکیب^۱، سعید فرزین^{۲*}

۱. مربی، گروه مهندسی عمران دانشگاه بزرگمهر فائانات

۲. استادیار، گروه مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

(تاریخ دریافت ۱۳۹۶/۰۵/۰۵؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۶/۰۸/۱۸)

چکیده

وضعیت آبی منابع آب متأثر از تغییرات اقلیم در هر منطقه است و شبیه‌سازی بارش-رواناب برای دوره‌های آینده سهم مهمی در مدیریت منابع آب خواهد داشت. تغییر اقلیم می‌تواند توسط مدل گردش عمومی جو و سناریوهای مختلف اقلیمی شبیه‌سازی شود. در این تحقیق، اثر تغییرات اقلیم بر رواناب، بارش، دما و منابع آب منطقه زیارت استان گلستان بررسی شد. از مدل گردش عمومی جو HadCM3 تحت سناریوهای اقلیمی A1B، A2 و B1 برای سه دوره آبی ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰، ۲۰۳۰ تا ۲۰۴۶ تا ۲۰۶۵ و ۲۰۸۰ تا ۲۰۹۹ استفاده شد. برای ریزمقیاس‌نمایی خروجی‌های مدل HadCM3، مدل ANFIS به کار برده شد. نتایج آزمون t در سطح اعتماد ۹۵ درصد نشان داد هیچ اختلاف معناداری بین نتایج مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده وجود ندارد. مقادیر پیش‌بینی شده بیان‌کننده افزایش دما به مقدار ۰/۳۲ تا ۱/۷۷ درجه سانتی‌گراد است و کاهش میزان بارندگی نیز برای دوره‌های آبی به میزان ۱/۶۰ تا ۳۱/۴۶ میلی‌متر خواهد بود. در ادامه، داده‌های به دست آمده به همراه نقشه شماره منحنی (CN) و خصوصیات فیزیوگرافی زیرحوضه، به دست آمده از نرم‌افزار ArcGIS، به عنوان ورودی به مدل HEC-HMS وارد شد تا دبی در دوره‌های اقلیمی آینده شبیه‌سازی شود. نتایج نشان می‌دهد در هر سه سناریوی افق‌های ۲۰۲۰، ۲۰۵۵ و ۲۰۹۰، دبی پیک و حجم سیلاب کاهش یافته است و در هر سه افق یادشده، بیشترین کاهش مربوط به سناریوی A2 است. درصد کاهش دبی پیک و حجم تخلیه برای هر سناریو به ترتیب ۱/۷۲ و ۱/۸۳، ۳/۰۶ و ۳/۰۷، ۴/۴۳ و ۴/۴۸ برای دوره‌های آبی به دست آمد. نتایج اجرای مدل، بیان می‌کند که آنگیری مناسبی در پشت مخازن صورت نمی‌گیرد. در نهایت، برای حل این مسئله راهکارهایی ارائه شد.

کلیدواژگان: بارش-رواناب، تغییر اقلیم، حوضه زیارت، HadCM3، ANFIS، HEC-HMS

مقدمه

تغییرات اقلیم سبب تغییر در فرم بارش در مناطق مختلف کره زمین و همچنین بروز خشکسالی‌ها و سیلاب‌های بدون سابقه شده است. تحقیقات انجام شده در زمینه تولید سناریو و پیش‌بینی اقلیمی از سال ۱۹۹۵ تا به امروز رویکرد بهتر و دقیق‌تری به خود گرفته است [۱]. مدل‌های جهانی اقلیم از رایج‌ترین ابزارها برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی اقلیم کره زمین با استفاده از سناریوهای مختلف هستند. ریچاردسون در سال ۱۹۲۲ نخستین مدل عددی بررسی تغییر اقلیم را معرفی کرد. با آنکه علل واقعی تغییرپذیری اقلیمی به‌طور کامل شناخته نشده است، فرضیه‌هایی به‌عنوان عوامل مؤثر در این تغییرات مطرح شده‌اند که نتیجه همه آنها تغییر پارامترهای دما و بارش است [۲]. شبکه مدل‌های جهانی اقلیم در ابعاد بزرگی تعریف شده‌اند و بنابراین نمی‌توان از آنها به‌طور مستقیم برای ارزیابی مدل‌های هیدرولوژیکی تغییرات آب و هوا استفاده کرد. بنا به گزارش هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم در سال ۲۰۰۷، این مدل‌ها به‌دلیل نبود جزئیات لازم اطلاعات زمینی، مدل‌سازی را با مشکل مواجه خواهند کرد [۳].

مدل جهانی HadCM3 یک مدل جفت‌شده جو-اقیانوسی، برای انجام پیش‌بینی‌های اقلیمی آبی است. هماهنگی مناسبی بین مؤلفه‌های جو-اقیانوسی در مدل HadCM3 برقرار است و قدرت تفکیک مؤلفه‌های اقیانوسی افقی ۲/۵ در ۳/۷۵ درجه عرض و طول جغرافیایی را دارد که معادل ۹۶ در ۷۳ نقطه شبکه‌ای در کل کره زمین است و ریزمقیاس‌نمایی خروجی مدل در اندازه یک ایستگاه لازم است [۴ و ۵]. از سوی دیگر، تا کنون روش‌های رگرسیون خطی، غیرخطی و همچنین روش‌های هوش مصنوعی به‌منظور بررسی ارتباط بین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده و پیش‌بینی‌شونده و روابط حاکم بر آنها با استفاده از داده‌های پایه بزرگ‌مقیاس به‌کار گرفته شده‌اند [۶ و ۷].

شناسایی عوامل مؤثر بر پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌ها از نظر تولید رواناب امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است و در این خصوص تکنیک GIS ابزاری مفید و توانمند در شناسایی عوامل تولیدکننده رواناب است [۸]. مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS ابزار گرافیکی قدرتمند در شبیه‌سازی بارش-رواناب حوضه‌ها است که پس از ورود پارامترهای فیزیکی محاسبه‌شده توسط GIS به آن، مدل‌سازی رواناب انجام می‌شود [۹ و ۱۰]. با توجه به اهمیت موضوع، تا کنون تحقیقات متعددی

صورت گرفته است؛ هالید و رید (۲۰۰۲) با استفاده از مدل فازی به پیش‌بینی بارش پرداختند. نتایج مدل فازی در آن مطالعه نشان می‌دهد این مدل نسبت به دیگر روش‌های ریزمقیاس‌نمایی عملکرد بهتری دارد [۱۱]. ماریا و همکارانش (۲۰۰۵) با استفاده از مدل نرو-فازی مقدار بارش در سن پائولوی برزیل را تحت اثر پدیده تغییر اقلیم پیش‌بینی کردند. بررسی آنها نشان داد بهترین عملکرد مدل در همه انواع توابع عضویت، در تعداد دو تابع عضویت رخ داده است و مدل حاضر دقت مناسبی داشته است [۱۲]. چن و همکارانش (۲۰۰۷) تأثیرات تغییر اقلیم بر منابع آب حوضه رودخانه تاریم در شمال غرب چین را بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد بیشترین افزایش دما تا پنج درصد بوده و دما نیز یک درجه سانتی‌گراد طی مدت ۵۰ سال گذشته افزایش داشته است. همچنین، مقدار بارش طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۰ افزایش چشمگیری داشته است [۱۳]. تولیکا و همکارانش (۲۰۰۸) با مقایسه دو مدل رگرسیونی و شبکه عصبی مصنوعی، تغییرات اقلیم را در یونان بررسی کردند. بر اساس نتایج پژوهش آنها، مدل رگرسیونی شاخص‌های بارش را با دقت بیشتری نسبت به شبکه عصبی مدل کرده است [۱۴]. کوترولیس و همکارانش (۲۰۱۳) اثر تغییر اقلیم بر منابع آب منطقه‌ای در یونان را بررسی کردند. نتایج تحقیق لزوم بهبود برنامه‌های مدیریت آب را نشان داد [۱۵]. نپال (۲۰۱۶) تأثیرات تغییر اقلیم بر رژیم هیدرولوژیکی رودخانه کوشی را بررسی کرد. بر اساس نتایج پژوهش ایشان، پارامترهایی از جمله الگوی ریزش برف، دبی کل ناشی از ذوب برف و تبخیر-تعرق اثرپذیری زیادی نسبت به تغییر اقلیم از خود نشان می‌دهند [۱۶]. اینویه و همکارانش (۲۰۱۷) پارامترهای مربوط به اثر اقلیم بر منابع آب را برای منطقه ایداهو^۱ برآورد کردند. با توسعه مدل مربوط به حوضه رودخانه و دو مدل کمی دیگر به‌صورت جفت‌شده، سناریوی جدیدی را به‌منظور بررسی بازه تغییرات معرفی کردند [۱۷]. سیلر و همکارانش (۲۰۱۷) میزان اثرگذاری تغییر اقلیم بر منابع آب یک منطقه را بررسی کردند. این تحقیق بر اساس ۳۷ زیرحوضه در کانادا و چندین مدل یکپارچه هیدرولوژیکی انجام گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد انتخاب یک تابع هدف با مشخصات معمول تفسیر مناسبی از تغییر شرایط آبی ارائه خواهد داد [۱۸].

شامل مدل شبکه عصبی، SDSM، LARS-WG بوده است. دقت مدل ریزمقیاس کننده داده‌های بزرگ‌مقیاس، همواره عامل مهمی در صحت پيش‌بینی‌ها بوده است. به این منظور، بهره‌گیری از مدل‌های هوش مصنوعی به‌خصوص مدل نرو-فازی در عین موفقیت‌آمیز بودن در موارد مشابه، کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. علاوه بر این، بررسی کارکرد سدها در مدیریت بحران آب و پيش‌بینی‌های لازم برای برنامه‌ریزی‌های آتی بر اساس میزان ذخیره قابل استحصال در آینده کمتر مورد توجه بوده است.

در تحقیق حاضر، تغییرات مورد انتظار محتمل در میزان آب قابل دسترسی سدها با در نظر گرفتن پارامترهای مؤثر بر تغییر اقليم بررسی می‌شود. مدل هیدرولوژیکی Hec-HMS با توجه به داده‌های مشاهداتی منطقه مطالعه شده واسنجی و صحت‌سنجی شده و از داده‌های بارش و دمای به‌دست‌آمده از مدل HadCM3 تحت سه سناریوی مختلف تغییر اقليم، برای پيش‌بینی بارش دوره‌های آتی استفاده می‌شود. در یک گام ابتکاری، از مدل فازی-عصبی برای ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو برای ایستگاه زیارت استفاده می‌شود. سپس، از رواناب به‌دست‌آمده برای دوره‌های آینده به‌منظور تخمین حجم آبی مخازن استفاده می‌شود. در ادامه، به بررسی عملکرد مخازن تأخیری در تأمین آب و مهار سیلاب حوضه زیارت در آینده پرداخته می‌شود. بر این اساس، تأثیرات این سدها بر حوضه در سال‌های آتی تحلیل می‌شود و راهکارهایی برای بهبود شرایط پيش‌بینی‌شده ارائه می‌شود.

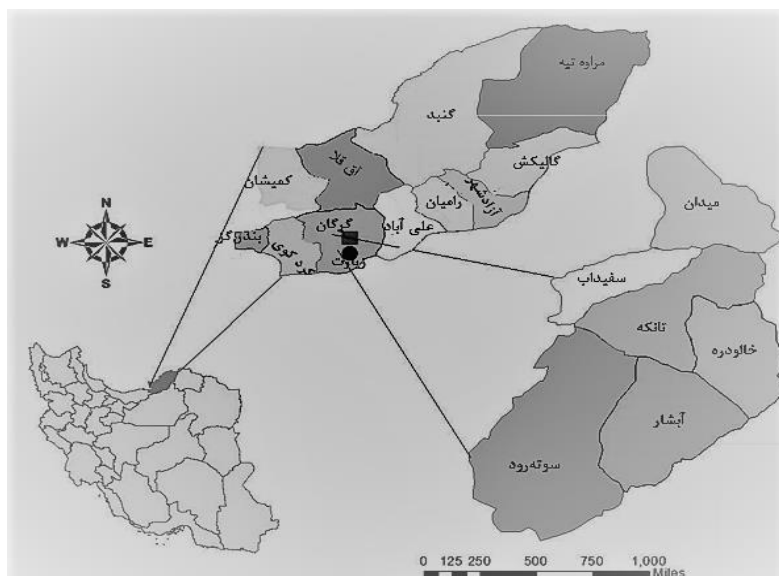
مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه شده

حوضه رودخانه زیارت از نظر موقعیت جغرافیایی در طول ۲۴°-۵۵ تا ۳۰°-۵۴ و عرض جغرافیایی ۳۶°-۳۶ تا ۴۲°-۳۶ است. مساحت این حوضه ۹۷/۵۵ کیلومتر مربع و طول آبراهه اصلی تا آن حدود ۲۱/۵ کیلومتر است. بخش عمده‌ای از مساحت این حوضه کوهستانی، شامل رشته‌کوه‌های مهمی مثل سرکوه، تالو، مرزنگ، تالدر و گردکوه است. سرچشمه رودخانه زیارت از ارتفاعات پرشیب منطقه است. پوشش گیاهی جنگلی و آب و هوای حوضه، سرد است [۲۴]. شکل ۱ موقعیت حوضه زیارت را نمایش می‌دهد. ایستگاه‌های استفاده شده در این مطالعه شامل ایستگاه تبخیرسنجی زیارت و ایستگاه هیدرومتری نهارخوران است.

محمدی (۱۳۸۰) بیان کرد که روند تغییرات بارش در تهران برای افق ۲۰۳۰، افزایشی بوده و روند فصلی و ماهانه بدون نظم خاص است [۱۹]. مساح بوانی و مرید (۱۳۸۴) اثر تغییر اقليم را با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های مربوط به آن و با استفاده از هفت مدل جفت‌شده اتمسفر-اقیانوس AOGCM تحت سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای روی حوضه زاینده‌رود ارزیابی کردند. نتایج آنها بیان‌کننده احتمال زیاد کاهش رواناب حوضه زاینده‌رود است. احتمال کاهش حجم رواناب برای دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ بین ۴۰ تا ۷۰ درصد پيش‌بینی شده است [۲۰]. آذران‌فر و ابریشمچی (۱۳۸۵) تأثیرات تغییر اقليم بر بارش و دما در حوضه آبریز زاینده‌رود را بررسی کردند. آنها در این پژوهش از نتایج مدل CGCM2 و دو روش کوچک‌مقیاس کردن آماری احتمالاتی و رگرسیونی استفاده کردند. از نظر الگوی ماهانه، تغییرات یکنواختی در کلیه ماه‌ها مشاهده شد. مقدار بارش سالانه نیز تحت سناریوی A2 طی دوره ۳۰ ساله نخست افزایش سریعی داشته و سپس در ۳۰ ساله دوم کاهش یافته است [۲۱]. مدیریان و همکارانش (۱۳۸۸) نشان دادند در کل کشور آستانه بارش‌های زیاد و بسیار زیاد به ترتیب ۱۳ و ۳۹ درصد و میانگین سالانه دما به اندازه پنج درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد داشت. همچنین، مدل آنها نشان داد میزان بارش به مقدار نه درصد در کل کشور کاهش خواهد داشت [۲۲]. مساح و مرید (۱۳۹۲) با استفاده از مدل HadCM3 تأثیرات تغییر اقليم بر جریان رودخانه زاینده‌رود را مطالعه کردند. همچنین، برای بررسی تغییرات به وجودآمده تحت سناریوهای مختلف بر جریان ورودی به سد چادگان، از روش شبکه عصبی مصنوعی بهره بردند. بررسی بارش-رواناب‌های مختلف در حوضه مشخص کرد که جریان ورودی تا ۵/۸ درصد کاهش می‌یابد. دیگر نتایج نشان داد دمای میانگین طی دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۰ با سناریوی A2، ۴/۶ و تحت سناریوی B2، ۳/۲ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد [۲۳].

تغییر اقليم در یک منطقه می‌تواند مدیریت منابع آب را با چالش جدی روبه‌رو کند. بنابراین، باید تأثیرات یادشده در تصمیمات آبی هر منطقه در نظر گرفته شود و برنامه‌ریزی لازم بر اساس آن صورت پذیرد. با توجه به مطالعات صورت‌گرفته توسط محققان، استفاده از مدل‌های گردش عمومی در بررسی‌های وضعیت آبی بارش اجتناب‌ناپذیر است. مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی استفاده‌شده در بیشتر مطالعات



شکل ۱. نقشه موقعیت حوضه زیارت در استان گلستان و ایستگاه‌های استفاده شده

$$R^2 = \frac{\sum_{k=1}^k (O_i S_i)}{\sum_{k=1}^k ((O_i)^2 \sum (S_i)^2)} \quad (2)$$

$$RSME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (O_i - S_i)^2}{n}} \quad (3)$$

در روابط یادشده، O_i مقادیر مشاهداتی، S_i مقدار شبیه‌سازی شده و O_{mean} میانگین مقادیر مشاهداتی است.

کاربرد مدل گردش عمومی جو HadCM3 در بررسی تأثیرات تغییر اقلیم

HadCM3 از نوع مدل‌های گردش عمومی جفت‌شده جو-اقیانوسی است که در مرکز هادلی سازمان هواشناسی انگلیس طراحی شده و توسعه یافته است. قدرت تفکیک زیاد مؤلفه اقیانوسی، مهم‌ترین مزیت این مدل است [۳]. در این تحقیق به منظور بررسی پدیده تغییر اقلیم از مدل گردش عمومی جو HadCM3 استفاده شده است. متغیر اقلیمی بارش، کمترین و بیشترین دما برای سه دوره آینده ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰، ۲۰۳۰ تا ۲۰۴۶ تا ۲۰۶۵ و ۲۰۸۰ تا ۲۰۹۹ به کمک خروجی این مدل و تحت سه سناریوی اقلیمی A1B، A2 و B1 شبیه‌سازی شد. با توجه به بررسی‌های انجام‌شده، سه سناریوی یادشده، در مراجع معتبر همچون آشفته و همکارانش [۲۶]، خواجه و همکارانش [۲۷] و صالح‌پور و همکارانش [۲۸] نیز استفاده شده است. جدول ۱ خصوصیات کامل هر یک از سناریوهای یادشده را نشان می‌دهد.

کاربرد مدل ANFIS در ریزمقیاس‌نمایی آماری

مدل ترکیبی استنتاج فازی - عصبی (ANFIS) ساختار پنج لایه مجزا دارد. لایه نخست ورودی‌های مدل تحت اثر توابع عضویت قرار گرفته و درجه عضویت آنها تعیین می‌شود. توابع عضویت استفاده شده انواع متفاوتی از جمله دوزنقه‌ای، مثلثی، سیگموئید، گوسی و زنگوله‌ای دارد. مقادیر وزن‌دهی شده ورودی به لایه دوم در هر گره در هم ضرب شده و اوزان قانون‌ها به دست می‌آید. در لایه سوم این اوزان نرمال‌سازی می‌شوند. لایه چهارم گره‌های نتیجه تولید شده و در لایه پنجم همه مقادیر ورودی به آن جمع شده و خروجی کل مدل به صورت غیرفازی ارائه می‌شود [۲۵].

در مطالعه حاضر، داده‌های جو-اقیانوسی به عنوان ورودی، توسط مدل انفیس تحلیل شده است. داده‌های ریزمقیاس‌شده بارش نیز به صورت خروجی مدل، استفاده شده است. برای آموزش و بالا بردن سطح دقت مدل از انواع توابع عضویت شامل مثلثی، دوزنقه‌ای، زنگوله‌ای شکل و گوسی استفاده شده است. برای رسیدن به بهترین پیش‌بینی توسط مدل، از معیارهای نش-ساتکلیف (NSE)، ضریب تبیین (R^2) و خطای انحراف معیار (RSME) به ترتیب مطابق روابط ۱ تا ۳ استفاده شده است.

$$NSE = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - O_{mean})^2} \right] \quad (1)$$

جدول ۱. خصوصیات سناریوهای تغییر اقليم

مشخصات	سناریوی تغییر اقليم
	A1B
	A2
	B1

۳. شماره منحنی حوضه طی سال‌های آتی ثابت می‌ماند (با در نظر گرفتن ثابت ماندن پوشش گیاهی و کاربری اراضی).

۴. مخازن در همه سال در حالت نیمه پر هستند. پس از بررسی پدیده تغییر اقليم و میزان اثرگذاری آن بر مدیریت منابع آب حوضه، پارامترهای هیدرولوژیکی در نرم‌افزار HEC-HMS مدل می‌شوند. به این صورت که بارش به دست آمده تحت سناریوهای اقلیمی به عنوان ورودی مدل هیدرولوژیکی استفاده می‌شوند. به این منظور ابتدا ساختار حوضه زیارت مطابق شکل ۳ در محیط نرم‌افزار HEC-HMS ایجاد شده است. شبیه‌سازی جریان برای دوره ۲۰ ساله ۱۹۸۲ - ۲۰۰۱ به عنوان شرایط پایه انجام شده و مرحله صحت‌سنجی بر مبنای داده‌های ۱۰ ساله ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ صورت می‌پذیرد.

نتایج و بحث

در این مطالعه، مدل نرو- فازی برای ریزمقیاس کردن داده‌ها به کار برده شد. به این منظور در دو مرحله از مدل یادشده استفاده شد. در مرحله نخست، ۷۰ درصد داده‌های پایه طی سال‌های ۱۹۸۲ تا ۲۰۰۱ برای کالیبراسیون و ۳۰ درصد باقی‌مانده (۲۰۰۲ تا ۲۰۱۰) برای اعتبارسنجی در نظر گرفته شد [۲۵]. تعداد توابع عضویت بین دو تا پنج انتخاب شد. جدول ۳ نتایج ارزیابی پیش‌بینی مدل انفیس با توابع عضویت مختلف را نشان می‌دهد. در همه انواع توابع عضویت، بهترین عملکرد در تعداد دو تابع عضویت رخ داده است. نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد تابع عضویت زنگوله‌ای بهتر از سایر توابع دیگر است. بنابراین، از این تابع در مدل استفاده شد. نتایج دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی داده‌های کوچک‌مقیاس شده با دما و بارش مشاهداتی در جدول ۴ ارائه شده است. مقادیر R2 مربوط به میانگین بیشترین دما دارای کمترین خطا در هر دو

به منظور به دست آوردن ارتباط منطقی بین متغیرهای بزرگ‌مقیاس جوی و محلی، لازم است متغیرهای پیش‌بینی کننده مربوط به آن‌سی‌ای پی^۱ نظر گرفته شوند. در مواردی که آمار کافی از منطقه مد نظر قابل دسترسی است، استفاده از مدل‌های شبکه عصبی یا فازی- عصبی پیشنهاد می‌شود.

شبیه‌سازی جریان حوضه زیارت با استفاده از مدل HEC-HMS

برای دستیابی به داده‌های مورد نیاز ورودی به نرم‌افزار HEC-HMS، پارامترهای فیزیوگرافی حوضه مثل مساحت، محیط، ارتفاع متوسط و زمان تمرکز با استفاده از محیط GIS به دست آمد. با تلفیق نقشه‌های گروه‌های هیدرولوژیک خاک و کاربری اراضی در GIS، مقادیر شماره منحنی زیرحوضه‌ها و کل حوضه زیارت در شرایط رطوبت پیشین متوسط به دست آمد (شکل ۲). با انجام تحلیل‌های لازم، حوضه زیارت بر اساس توپوگرافی و شبکه آبراهه‌ها مطابق جدول ۲ به سه زیرحوضه تقسیم شد. بر اساس جدول ۲ می‌توان گفت که مناطق ۱ تا ۴ بیشترین مساحت زیرحوضه‌ای و کمترین تلفات را دارند و در نتیجه بیشترین حجم رواناب توسط این مناطق تولید می‌شود. همچنین، میانگین شیب مناطق یادشده نسبت به سایر نواحی بیشتر است و سرعت نفوذ به مراتب کمتر خواهد بود. با توجه به تراکم زهکشی زیاد و شیب زیاد حوضه و در نتیجه واکنش سریع نسبت به بارش‌های ورودی و تخلیه رواناب، پتانسیل سیل‌خیزی این حوضه بالا رقم زده می‌شود. بنابراین، اهمیت سدهای تأخیری کنترل سیلاب در چنین حوضه‌هایی به خوبی مشخص می‌شود.

فرضیات استفاده شده در شبیه‌سازی جریان به این شرح است:

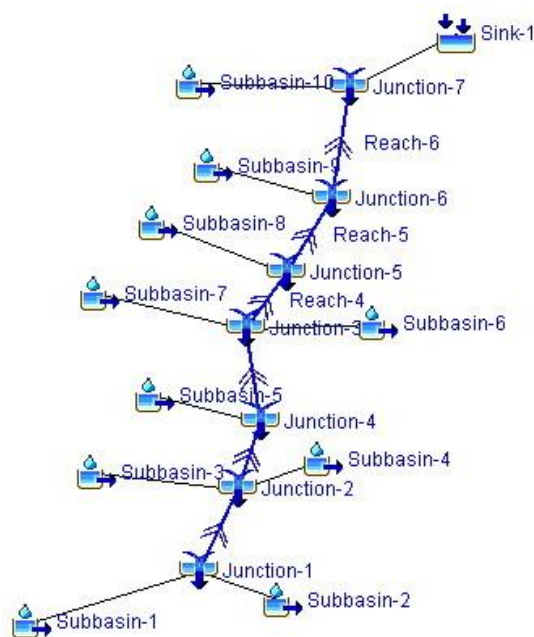
- هیچ‌گونه جریان پایه‌ای در مدل لحاظ نشده است.
- مقدار بارش در کل سطح حوضه ثابت و یکدست است.

است. در مجموع، به‌عنوان نتیجه مرحله اول می‌توان گفت که با توجه به ضریب تبیین و ضریب کارایی نش-ساتکلیف، مدل قابلیت خوبی را در پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی دما و بارش منطقه دارد.

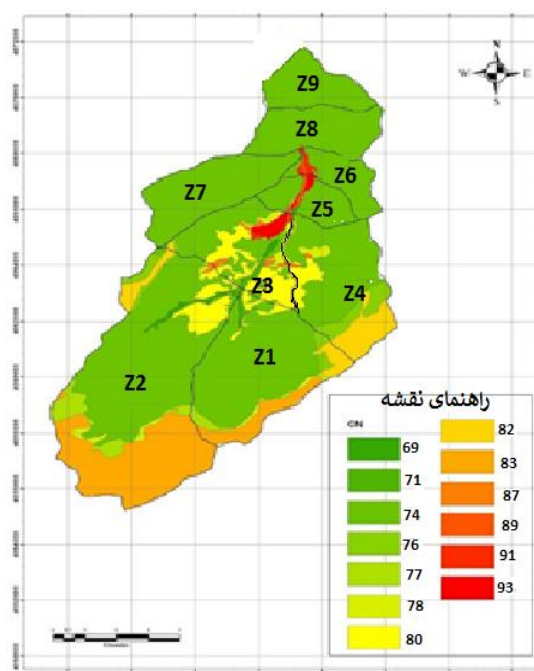
مرحله به‌ترتیب برابر ۰/۹۸ و ۰/۹۷ بوده و مقادیر ۰/۹۹ و ۰/۹۵ به‌ترتیب برای کمترین دما به‌دست آمد. برای بارش مقادیر دارای خطای بیشتر ولی قابل قبول به‌صورت ۰/۸۸ و ۰/۷۷ به‌ترتیب برای مرحله واسنجی و صحت‌سنجی

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیوگرافی زیرحوضه‌های حوضه زیارت

ردیف	زیرحوضه	مساحت (کیلومتر مربع)	محیط (کیلومتر)	شیب متوسط وزنی (درصد)	ارتفاع متوسط وزنی (متر)	بیشترین نگهداشت (میلی‌متر)	تلفات اولیه (میلی‌متر)
۱	Z1	۳۲/۷۹	۲۶/۹۰	۴۳/۲۴	۲۱۳۸/۶۲	۸۹/۲۴	۱۷/۸۵
۲	Z2	۱۶/۴۱	۱۷/۰۰	۵۲/۸۲	۲۱۷۲/۸۹	۹۸/۵۳	۱۹/۷۱
۳	Z3	۹/۱۰	۱۵/۲۷	۴۲/۰۶	۱۳۶۵/۴۹	۸۶/۷۶	۱۷/۳۵
۴	Z4	۱۲/۴۵	۱۳/۹۲	۴۹/۱۸	۱۸۰۵/۶۸	۹۴/۸۱	۱۸/۹۶
۵	Z5	۳/۶۱	۸/۱۹	۵۰/۰۶	۱۱۸۲/۵۴	۹۹/۹۶	۱۹/۹۹
۶	Z6	۳/۴۸	۹/۷۴	۴۴/۶۶	۱۱۸۳/۵۸	۱۰۰/۷۵	۲۰/۱۵
۷	Z7	۸/۰۱	۱۳/۹۱	۴۷/۰۵	۱۴۹۹/۳۰	۱۰۸/۷	۲۱/۷۴
۸	Z8	۶/۲۹	۱۱/۶۴	۴۳/۶۳	۱۰۵۱/۹۲	۱۰۸/۶	۲۱/۷۲
۹	Z9	۴/۷۴	۹/۹۴	۴۳/۶۰	۸۸۴/۹۶	۱۰۸/۸۶	۲۱/۷۷
	جمع	۹۸/۸۳	۴۹/۱۱	۴۶/۱۵	۱۷۵۳/۶۴	۸۸/۵	۱۷/۷



شکل ۳. ساختار مدل HEC-HMS در حوضه آبریز زیارت



شکل ۲. نقشه شماره حوضه منحنی زیارت در وضع موجود

جدول ۳. نتایج به دست آمده از توابع عضویت مختلف در مدل ANFIS

آزمون		آموزش		بهترین تعداد تابع عضویت	نوع توابع عضویت
NSE	R ²	NSE	R ²		
۰/۹۳	۰/۸۱	۰/۹۵	۰/۸۲	۲	مثلثی
۰/۹۶	۰/۸۷	۰/۹۳	۰/۸۶	۲	دو زنگه ای
۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۸	۰/۹۱	۲	زنگوله ای
۰/۹۴	۰/۹۰	۰/۹۶	۰/۹۲	۲	گوسی

جدول ۴. آماره های خطای به دست آمده از پارامترهای اقلیمی مشاهداتی و مدل سازی شده توسط مدل ANFIS

دوره	میانگین بارش ماهانه		میانگین کمترین دمای ماهانه		میانگین بیشترین دمای ماهانه	
	R ²	NSE	R ²	NSE	R ²	NSE
واسنجی	۰/۸۳	۰/۸۸	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۹۸
صحت سنجی	۰/۷۴	۰/۷۷	۰/۸۶	۰/۹۵	۰/۹۲	۰/۹۷

دمای حداقل به میزان ۱۲/۷۹ درجه سانتی گراد است که طی دوره ۲۰۸۰ تا ۲۰۹۹ رخ خواهد داد. کمترین دما مربوط به دوره پایه به اندازه ۱۱/۱۰ بوده و افزایش آن برای نخستین دوره آتی، حداقل ۱۱/۴۰ و برای دومین دوره، حداقل ۱۲/۱۶ درجه سانتی گراد خواهد بود.

متوسط درازمدت بیشترین دمای سالیانه برای دوره پایه و دوره های آتی در جدول ۷ ارائه شده است. جدول ۷ نشان می دهد بیشترین دما در هر سه دوره بیشتر از دوره پایه ولی با اختلاف ناچیز نسبت به آن خواهد بود (افزایش دما بین ۰/۰۵ تا ۱/۶۷ درجه سانتی گراد در بیشترین دما). مشابه کمترین دما، میانگین بیشترین دما دارای روند صعودی نسبت به دوره پایه است و طی دوره ۲۰۸۰ تا ۲۰۹۹ بیشترین دمای محتمل میانگین رخ خواهد داد. این دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ دمای حداکثر کمتری نسبت به دو دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ خواهد داشت.

با توجه به جدول ۶ مشخص می شود که سناریوی A2 نسبت به سایر سناریوها، افزایش بیشتری برای کمترین دما و به مقدار ۱/۷۷ درجه سانتی گراد داشته است. همچنین، با توجه به جدول ۷، این سناریو افزایشی برابر ۱/۶۷ درجه سانتی گراد برای بیشترین دما را نشان می دهد.

در مرحله دوم، پس از اطمینان از نتایج شبیه سازی مدل، متغیرهای دما (بیشینه و کمینه) و بارش توسط مدل HADCM3 برای سه دوره آتی ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰، ۲۰۳۰ تا ۲۰۴۶ تا ۲۰۶۵ و ۲۰۸۰ تا ۲۰۹۹ طی سناریوهای اقلیمی A1B، A2 و B1 پیش بینی شده و توسط مدل شبکه فازی-عصبی کالیبره شده، ریزمقیاس شدند. برای بررسی سطح اعتماد پذیری نتایج، نمونه تحت آزمون t قرار گرفت. فرض صفر که به معنای نبود اختلاف معنادار بین مقادیر میانگین مشاهداتی و شبیه سازی شده است، در سطح اعتماد ۹۵ درصد توسط مقادیر P-Value در جدول ۵ ارائه شده است. کمینه مقادیر موجود در جدول (برابر ۰/۱۱۸)، مربوط به بیشترین دمای تیرماه است که از مقدار بحرانی ۰/۰۵ بزرگ تر است. بنابراین، این مقادیر نشان می دهد اختلاف معناداری بین داده های مشاهداتی و خروجی مدل وجود ندارد و مدل ANFIS توانسته است با دقت قابل قبولی، میانگین بارندگی و دما را برای دوره های آتی پیش بینی کند.

مقایسه داده های متوسط کمترین دما در جدول ۶، بیان می کند که کمترین دما در هر سه دوره بیشتر از دوره پایه خواهد بود (افزایش دما بین ۰/۳۲ تا ۱/۷۷ درجه سانتی گراد در کمترین دما). طی هر سه سناریو، بیشترین

جدول ۵. مقادیر P-Value برای مقایسه میانگین ماهانه دما و بارش پیش‌بینی شده توسط مدل ANFIS با مقادیر مشاهداتی

ماه	بیشترین دما (°C)	کمترین دما (°C)	بارش (mm)
فروردین	۰/۱۳۲	۰/۱۵۳	۰/۲۱۴
اردیبهشت	۰/۳۶۷	۰/۱۶۷	۰/۴۹۱
خرداد	۰/۵۶۷	۰/۶۷۱	۰/۶۵۰
تیر	۰/۱۱۸	۰/۳۲۸	۰/۱۹۷
مرداد	۰/۸۲۱	۰/۵۹۳	۰/۴۳۸
شهریور	۰/۲۵۵	۰/۳۵۶	۰/۷۴۸
مهر	۰/۱۶۸	۰/۳۸۹	۰/۹۴۱
آبان	۰/۷۱۴	۰/۴۲۳	۰/۷۹۱
آذر	۰/۶۱۸	۰/۶۵۱	۰/۷۱۱
دی	۰/۳۲۶	۰/۳۰۶	۰/۸۵۷
بهمن	۰/۱۸۱	۰/۸۰۷	۰/۶۵۰
اسفند	۰/۵۴۷	۰/۶۶۶	۰/۸۶۷

جدول ۶. متوسط درازمدت کمترین دمای سالیانه (°C) برای دوره پایه و دوره‌های آتی

دوره	سناریو	متوسط درازمدت کمترین دما
پایه	-	۱۱/۱۰
۲۰۳۰-۲۰۱۱	A1B	۱۱/۴۸
	A2	۱۱/۴۸
	B1	۱۱/۴۰
۲۰۶۵-۲۰۴۶	A1B	۱۲/۵۲
	A2	۱۲/۶۹
	B1	۱۲/۱۶
۲۰۹۹-۲۰۸۰	A1B	۱۲/۷۹
	A2	۱۲/۸۷
	B1	۱۲/۷۹

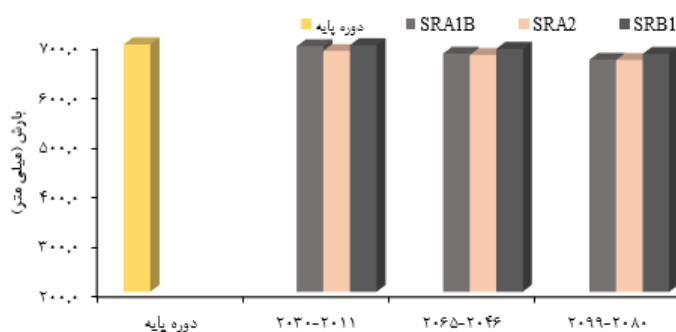
جدول ۷. متوسط درازمدت بیشترین دمای سالیانه (°C) برای دوره پایه و دوره‌های آتی

دوره	سناریو	متوسط درازمدت بیشترین دما
پایه	-	۲۱/۴۰
۲۰۳۰-۲۰۱۱	A1B	۲۱/۵۲
	A2	۲۱/۵۲
	B1	۲۱/۴۵
۲۰۶۵-۲۰۴۶	A1B	۲۱/۷۹
	RA2	۲۲/۲۰
	B1	۲۱/۷۹
۲۰۹۹-۲۰۸۰	A1B	۲۲/۸۹
	A2	۲۳/۰۶
	B1	۲۲/۷۷

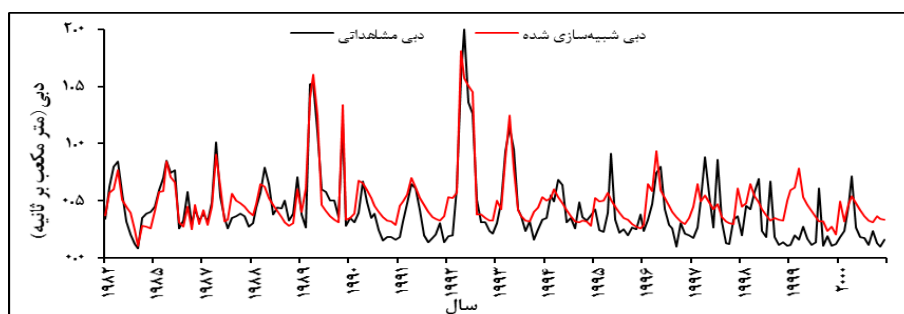
برای مدل سازی رواناب به دست آمده از بارش های آتی پیش بینی شده، ابتدا در مدل HEC-HMS پارامتر CN واسنجی می شود و اعتبار مدل از طریق اجرای مدل با پارامترهای بهینه شده برای گروه دوم داده ها انجام می گیرد. سپس، رواناب مستقیم حوضه با استفاده از روش هیدروگراف واحد SCS شبیه سازی می شود. به منظور محاسبه تلفات در مدل، از روش SCS-CN استفاده شده است. مدل حوضه با پارامترهای بهینه شده و تحت دوره های بررسی شده، دوباره واسنجی و صحت سنجی می شود. مقادیر شبیه سازی شده و مشاهداتی برای دوره واسنجی در شکل ۵ ارائه شده است. با توجه به نتایج به دست آمده در مرحله واسنجی، این مدل قابلیت خوبی به منظور شبیه سازی جریان آب در دوره زمانی مد نظر دارد. نتایج به دست آمده در سطح اعتماد ۹۵ درصد برای مرحله اعتبارسنجی در شکل ۶ نشان داده شده است. مقادیر مربوط به بررسی دقت مدل با استفاده از برنامه SUFI2 نیز در جدول ۸ ارائه شده است. مقدار ۰/۷۰ برای ضریب تبیین و ۰/۷۲ برای فاکتور p، نشان دهنده تطابق قابل قبول با داده های مرحله واسنجی است.

مقادیر متوسط درازمدت بارش سالیانه برای دوره پایه و دوره های آتی در شکل ۴ نشان داده شده است. مشخص است که بارش در هر سه دوره آینده کمتر از دوره پایه خواهد بود که این کاهش بارش بین ۱/۶۰ تا ۳۱/۴۶ میلی متر مشاهده می شود. با گذر زمان از مقادیر بارش کاسته می شود. بنابراین، طی هر سه سناریو کمترین بارش طی دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ رخ خواهد داد. این در حالی است که ارتفاع میانگین بارش در دوره پایه نزدیک به ۷۳۰ میلی متر است که با گذشت زمان در دوره های آینده با کاهش پلکانی به ترتیب به مقادیر ۷۲۸، ۷۱۰ و ۶۹۸ میلی متر خواهد رسید. دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ طی هر سه سناریوی بارش بیشتری نسبت به دو دوره دیگر خواهد داشت. همچنین، سناریوی B1 مقدار بارش را نسبت به دو سناریوی دیگر به اندازه چهار درصد و به اندازه حداکثر هشت میلی متر بیشتر پیش بینی می کند.

در ادامه، مدل HEC-HMS برای حوضه زیارت ساخته می شود و سپس شبیه سازی رواناب برای سناریوی AIB، B1، A2 و A2 طی دوره های ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ انجام می گیرد و نسبت به جریان پایه مقایسه می شود.



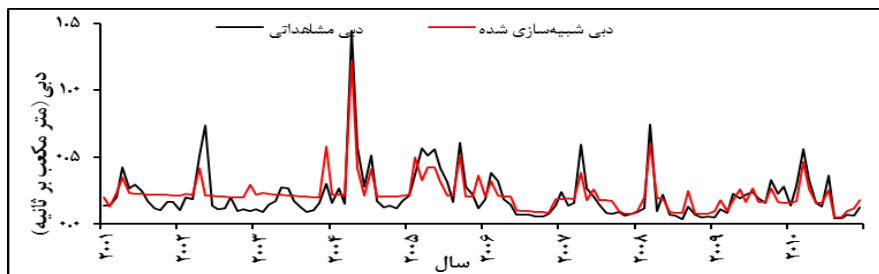
شکل ۴. متوسط درازمدت بارش سالیانه برای دوره پایه و دوره های آتی



شکل ۵. مقادیر شبیه سازی شده و مشاهداتی به همراه حدود اطمینان برای دوره واسنجی

جدول ۸. ضرایب به دست آمده در مرحله اعتبارسنجی مدل برای شبیه سازی رواناب در پایه زمانی ماهیانه

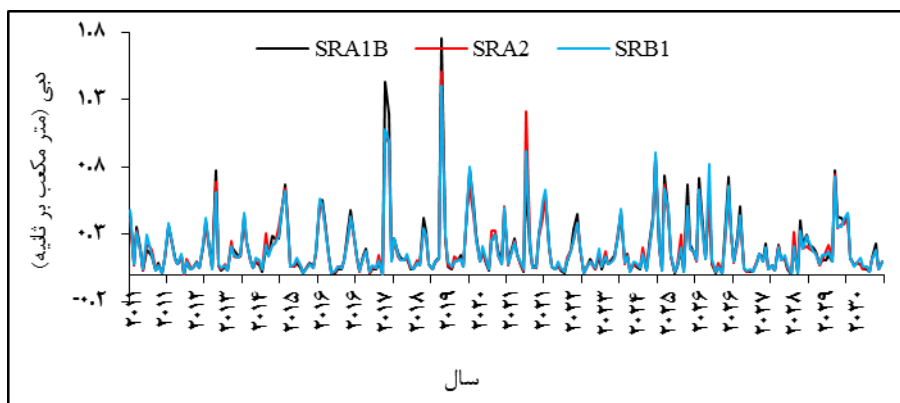
R-factor	P-factor	RMSE	NS	R ²
۱/۲۲	۰/۷۲	۰/۱۱۸	۰/۶۲	۰/۷۰



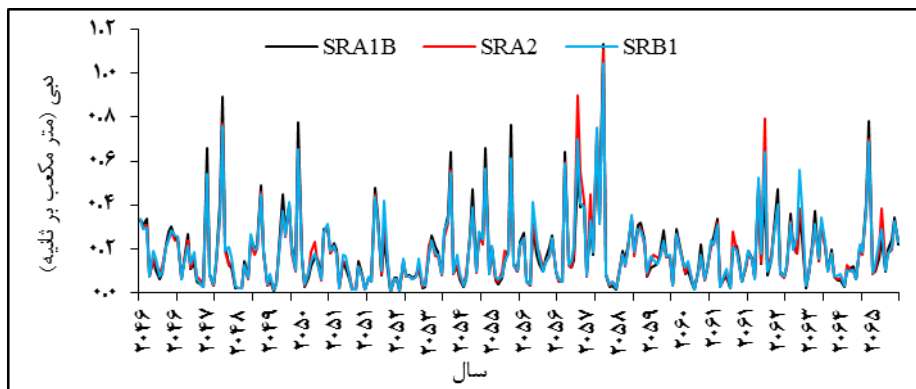
شکل ۶. مقادیر شبیه سازی شده و مشاهداتی به همراه حدود اطمینان برای دوره اعتبارسنجی

کمترین کاهش دبی جریان هستند. در دوره اول میانگین میزان حجم سیلاب برای سه سناریو به ترتیب نزولی ۰/۶۳، ۰/۵۹ و ۰/۵۴ مترمکعب بر ثانیه بوده است. این نتایج، برای دوره های دوم و سوم آتی به ترتیب نزولی ۰/۵۸، ۰/۵۳ و ۰/۵، ۰/۵۳، ۰/۴۹ و ۰/۴۴ مترمکعب بر ثانیه است.

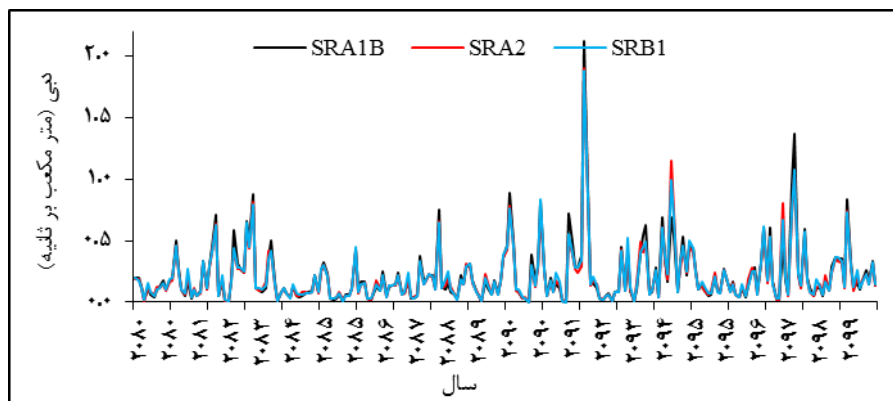
شکل های ۷-۹، نتایج مربوط به هیدروگراف شبیه سازی شده در برابر جریان پایه برای هر یک از سناریوهای A1B، A2 و B1 شامل دوره های ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ را نشان می دهد. در بین این سناریوها به ترتیب A1B، B1 و A2 نشان دهنده



شکل ۷. گراف شبیه سازی جریان برای هر سه سناریو طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰



شکل ۸. گراف شبیه سازی جریان برای هر سه سناریو طی دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵



شکل ۹. گراف شبیه‌سازی جریان برای هر سه سناریو طی دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰

دوره نیز مشهود است؛ به این معنا که در هر سه سناریوی افق ۲۰۹۰ دبی پیک و حجم سیلاب کاهش یافته است. سناریوی A2 نیز کمترین میزان جریان (۱۶۷/۷ مترمکعب بر ثانیه) و حجم سیلاب (۲/۲۴ میلیارد مترمکعب) را نسبت به دو سناریوی دیگر تخمین زده است که به ترتیب در آن، دبی پیک ۴/۴۳ درصد و حجم تخلیه ۴/۴۸ کاهش می‌یابد. در نهایت، متوسط درازمدت متغیر دبی برای دوره پایه (۱۹۸۲ تا ۲۰۱۰) و دوره‌های آتی (۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰، ۲۰۴۶ تا ۲۰۶۵ و ۲۰۸۰ تا ۲۰۹۹) طی سناریوهای اقلیمی A1B، A2 و B1 در جدول ۱۲ ارائه شده است. با مقایسه مقادیر متوسط درازمدت دبی سالیانه مشخص است که دبی در هر سه دوره آینده کمتر از دوره پایه است به طوری که کاهش دبی بین ۰/۱۱۲ تا ۰/۱۴۳ مترمکعب بر ثانیه رخ خواهد داد. بنابراین، با توجه به مشخصات مخازن می‌توان استنباط کرد که عملکرد مخازن در پدیده تغییر اقلیم طی سال‌های آتی ناپایداری بیشتری برای تأمین آب بخش‌های مختلف، نسبت به دوره‌های قبل از خود نشان خواهد داد. از این رو، نتایج اجرای مدل نشان می‌دهد تأثیر مخازن در کاهش دبی اوج سیلاب خروجی طی سالیان آتی کم می‌شود.

در جدول ۹، مشخصات جریان برای سناریوهای مختلف طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ آمده است. با توجه به این نتایج مشاهده می‌شود که در هر سه سناریوی افق ۲۰۲۰ دبی پیک و حجم سیلاب کاهش یافته است، به طوری که بیشترین کاهش مربوط به سناریوی A2 است که در آن از دبی پیک و حجم تخلیه به ترتیب به میزان ۱/۷۲ و ۱/۸۳ درصد کاسته شده است. مقدار حجم سیلاب برآوردشده کل برای حالت بحرانی، سناریوی A2 برابر ۳/۲۱ میلیارد مترمکعب است.

برای دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ مقادیر دبی پیک و حجم سیلاب مربوط به هر یک از سناریوها در جدول ۱۰ نمایش داده شده است. در هر یک از سناریوهای یادشده در افق ۲۰۵۵، کاهش دبی پیک و حجم سیلاب رخ داده است. همچنین، می‌توان گفت که بیشترین کاهش مربوط به سناریوی A2 است که در آن دبی پیک ۳/۰۶ درصد و حجم تخلیه ۳/۰۷ کاهش می‌یابد. میزان حجم به دست آمده در این دوره ۳/۱۵ میلیارد مترمکعب برآورد شد.

نتایج برآورد میزان آب قابل دستیابی و خطر پیک محتمل دوره سوم آتی برای هر یک از سناریوها در جدول ۱۱ ارائه شده است. الگوی دوره‌های قبل همچنان در این

جدول ۹. مشخصات جریان دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ برای هر یک از سناریوها

حالت	دبی پیک (مترمکعب بر ثانیه)	حجم سیلاب (میلیارد مترمکعب)	درصد اختلاف نسبت به شرایط پایه	
			دبی پیک	حجم سیلاب
سناریوی A1B	۱۷۳/۸	۳/۲۲۹	-۰/۳۱	-۰/۴۴
سناریوی A2	۱۷۱/۳	۳/۲۱۶	-۱/۷۲	-۱/۸۳
سناریوی B1	۱۷۴/۳	۳/۲۷۵	-۰/۱۱	-۰/۱۴

جدول ۱۰. مشخصات جریان دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ برای هر یک از سناریوها

حالت	دبی پیک (مترمکعب بر ثانیه)	حجم سیلاب (میلیارد مترمکعب)	درصد اختلاف نسبت به شرایط پایه	
			دبی پیک	حجم سیلاب
سناریوی A1B	۱۷۲	۳/۱۶۰	-۲/۶۶	-۲/۶۸
سناریوی A2	۱۷۱/۳	۳/۱۵۶	-۳/۰۶	-۳/۰۷
سناریوی B1	۱۷۴/۴	۳/۲۱۷	-۱/۳۰	-۱/۳۰

جدول ۱۱. مشخصات جریان دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ برای هر یک از سناریوها

حالت	دبی پیک (مترمکعب بر ثانیه)	حجم سیلاب (میلیارد مترمکعب)	درصد اختلاف نسبت به شرایط پایه	
			دبی پیک	حجم سیلاب
سناریوی A1B	۱۶۷/۸	۲/۳۰۰	-۴/۳۷	-۴/۳۶
سناریوی A2	۱۶۷/۷	۲/۲۴۴	-۴/۴۳	-۴/۴۸
سناریوی B1	۱۷۰/۸	۲/۳۴۰	-۲/۶۷	-۲/۶۴

جدول ۱۲. متوسط درازمدت متغیر دبی سالیانه برای دوره پایه و دوره‌های آتی

دوره	سناریو	متوسط درازمدت دبی
پایه	-	۰/۳۳۹
۲۰۳۰-۲۰۱۱	A1B	۰/۱۸۹
	A2	۰/۱۸۲
	B1	۰/۱۸۵
۲۰۶۵-۲۰۴۶	A1B	۰/۱۷۸
	A2	۰/۱۷۶
	B1	۰/۱۷۹
۲۰۹۹-۲۰۸۰	A1B	۰/۲۰۷
	A2	۰/۱۹۹
	B1	۰/۲۰۳

سد بر اثر تقاضای زیاد، گاهی به صفر می‌رسد. در این مناطق استفاده از سیستم‌های پایش و اقدامات تسکین و تعیین آستانه‌های هشدار خشکسالی بر اساس حجم ذخیره مخزن، می‌تواند در کاهش میزان تقاضا اثر مطلوبی داشته باشد. در این رویکرد، سطوح بحرانی و ضرایب کاهش تقاضا به فراخور وضعیت مربوط به آن (نرمال، پیش‌هشدار، هشدار، اضطراری) تعیین می‌شوند [۳۱]. سومین مسئله در خصوص مناطق پرجمعیت با بارندگی متوسط رو به بالاست. در این حالت پس از تشریح سیاست بهره‌برداری و مدل آبدهی، منحنی فرمان سد به دست آمده و می‌توان ضمن کاهش میزان کمبود آب در مواقع پرمصرف، شدت کمبودها را کنترل و به‌صورت یکنواخت در تعداد سال‌های بیشتری توزیع کرد [۳۲].

به‌علت اهمیت مسئله کمبود آب و استفاده بهینه از منابع آبی در دسترس، بهره‌گیری از روش‌های نوین همچون مدل‌های هوش مصنوعی، برای پیش‌بینی فرایندهای هیدرولوژیک اثر زیادی در مدیریت منابع آب دارد [۲۹]. از سوی دیگر، برای جلوگیری از کاهش آب به‌دست آمده از سدها، اولین مسئله برنامه‌ریزی دقیق بهره‌برداری از ذخیره مخازن است. به این معنا که برای تأمین نیازها، میزان خروجی از سد طی زمان به چه میزان باشد [۳۰]. راهکار حل این مشکل، تعریف مسئله بهینه‌سازی، تعریف متغیرهای بااهمیت مانند نیازهای کشاورزی و شرب، تولید برقابی و... و درنهایت استفاده از الگوریتم بهینه‌ساز مسئله برای انتخاب بهترین الگوی مصرف است. دومین مسئله مربوط به مناطق خشک است که حجم آب ذخیره پشت

نتیجه گیری

وضعیت آبی منابع آب متأثر از تغییرات اقلیم در هر منطقه است و شبیه سازی بارش- رواناب برای دوره های آینده سهم مهمی در مدیریت منابع آب خواهد داشت. تغییرات اقلیم سبب تغییر در بارش در مناطق مختلف کره زمین می شود و از این رو پیش بینی کیفی و کمی بارش در فواصل زمانی آینده با بررسی دقیق تغییرات اقلیم هر منطقه گره خورده است. در این تحقیق، بررسی های یادشده اعم از پایش مربوط به تغییرات اقلیم و آثار آن بر رواناب و در نهایت تغییرات حجم آب قابل دسترس مخازن، برای منطقه زیارت استان گلستان انجام گرفت. برای بررسی عملکرد مخازن تأخیری در مهار سیلاب در سال های آتی تحت پدیده تغییر اقلیم از مدل HadCM3 استفاده شد و از ANFIS برای ریزمقیاس نمایی خروجی های مدل استفاده شد. مدل ANFIS برای دوره پایه طی سال های آماری ۱۹۸۲-۲۰۰۱ واسنجی شد و سپس برای دوره ۲۰۰۱-۲۰۱۰ صحت سنجی شد. پس از مدل سازی، مقدار شاخص های NSE و R^2 مربوط به میانگین بارش ماهانه، میانگین کمترین و بیشترین دما ماهانه، به دست آمد که کمترین مقادیر این شاخص ها برای دوره کالیبراسیون و صحت سنجی به ترتیب ۰/۸۳ و ۰/۷۴ برآورد شد. نتایج آزمون t در سطح اعتماد ۹۵ درصد نشان داد هیچ اختلاف معناداری بین نتایج مشاهده ای و شبیه سازی شده وجود ندارد. این مقادیر مربوط به داده های بارش و در نهایت نشان دهنده دقت قابل قبول مدل سازی است. پس از محاسبه کمترین دما، بیشترین دما و بارش، اثر اقلیم برای سه دوره آبی ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰، ۲۰۳۰ تا ۲۰۴۶، ۲۰۴۶ تا ۲۰۶۵ و ۲۰۸۰ تا ۲۰۹۹ طی سناریوهای اقلیمی A1B، A2 و B1 روی حوضه زیارت مشخص شد. پس از ارزیابی اثر اقلیم بر بارندگی سطح حوضه، اطلاعات لازم شامل شماره منحنی حوضه، تصحیح و تلفیق نقشه ها برای تعیین خصوصیات فیزیوگرافی حوضه در محیط Arc-GIS به دست آمد. پس از برآورد داده های هواشناسی و هیدرولوژیکی، اطلاعات به دست آمده برای شبیه سازی بارش- رواناب وارد نرم افزار HEC-HMS شد. نتایج به دست آمده در قالب موارد زیر ارائه می شود:

۱. کمترین دما در هر سه دوره افزایشی بین ۰/۳۲ تا ۱/۷۷ درجه سانتی گراد نسبت به دوره پایه خواهد داشت. طی هر سه سناریو، بیشترین دمای حداقل ۱۲/۷۹ درجه سانتی گراد و مربوط به دوره ۲۰۸۰ تا ۲۰۹۹ است.

کمترین دما مربوط به دوره پایه به اندازه ۱۱/۱۰ است و افزایش آن برای اولین دوره آبی، حداقل تا ۱۱/۴۰ و برای دومین دوره، حداقل ۱۲/۱۶ درجه سانتی گراد خواهد بود.

۲. جدول ۶ نشان می دهد بیشترین دما در هر سه دوره در مقایسه با دوره پایه، افزایشی به میزان ۰/۵ تا ۱/۶۷ درجه سانتی گراد خواهد داشت. سناریوی A2 نسبت سایر سناریوها افزایش بیشتری را برای کمترین دما به مقدار ۱/۷۷ و برای بیشترین دما به مقدار ۱/۶۷ درجه سانتی گراد نشان می دهد.

۳. با توجه به شکل ۵، بارش در هر سه دوره آینده کمتر از دوره پایه خواهد بود. این کاهش بارش بین ۱/۶۰ تا ۳۱/۴۶ میلی متر مشاهده شد. با گذر زمان از مقادیر بارش کاسته می شوند. بنابراین، طی هر سه سناریو کمترین بارش طی دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ رخ خواهد داد. ارتفاع میانگین بارش در دوره پایه نزدیک به ۷۳۰ میلی متر است و برای دوره های آینده به ترتیب ۷۲۸، ۷۱۰ و ۶۹۸ میلی متر تخمین زده شد. دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ طی هر سه سناریو بارش بیشتری نسبت به دو دوره دیگر خواهد داشت. همچنین، سناریوی B1 مقدار بارش را نسبت به دو سناریوی دیگر به اندازه چهار درصد و به اندازه حداکثر هشت میلی متر بیشتر پیش بینی می کند.

۴. نتایج مربوط به هیدروگراف شبیه سازی شده در برابر جریان پایه برای هر یک از سناریوهای A1B، A2 و B1 شامل دوره های ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۳۰-۲۰۴۶، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ در شکل های ۸-۱۰ مشهود است. در بین این سناریوها به ترتیب A1B، B1 و A2 کمترین کاهش دبی جریان را نشان می دهند. در دوره اول میانگین میزان حجم سیلاب برای سه سناریو به ترتیب نزولی ۰/۶۳، ۰/۵۹ و ۰/۵۴ مترمکعب بر ثانیه بوده است. این نتایج برای دوره های دوم و سوم آبی به ترتیب نزولی ۰/۵۸، ۰/۵۳ و ۰/۵ مترمکعب بر ثانیه بوده است.

۵. در جدول ۷ مشخصات وضعیت جریان برای سناریوهای مختلف طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ آمده است. با توجه به این نتایج مشاهده می شود که در هر سه سناریوی افق ۲۰۲۰ دبی پیک و حجم سیلاب به ترتیب ۱/۷۲ و ۱/۸۳ کاهش می یابد.

مقدار حجم سیلاب برآوردشده کل برای حالت بحرانی مربوط به سناریوی A2 و به مقدار ۳/۲۱ میلیارد مترمکعب است.

- with Downscaling LARS-WG and HadCM3 models in Kerman during the next 20 years (2030-2011). The Iranian Society of Irrigation & Water Engineering. 2013; 3(12): 43-58. [In Persian]
- [5]. Neshat A, Sajadi Bami Y. The prediction of the climate change effect on the temperature parameter by the General Circulation Models HadCM3: a case study of Kerman and Bam. Water Engineering. 2017; 9(30): 51-62. [In Persian]
- [6]. Rezaee M, Nahtaj M, Moghadamniya A, Abkar A, Rezaee M. Comparison of Artificial Neural Network and SDSM Methods in the Downscaling of Annual Rainfall in the HadCM3 Modelling (Case study: Kerman, Ravar and Rabor). Water Engineering. 2015; 8(24): 25-40. [In Persian]
- [7]. Farzin, S, Karami H, Doostmohammadi M, Ghanbari A, Zamiri E. The performance of Artificial Neural Network in prediction and analysis of hydrological processes (Case study: Water shortage in Nazloo-chai watershed, West Azerbaijan province). Iranian journal of Ecohydrology. 2017; 3(4): 631-644. [In Persian]
- [8]. Mollaie A. Determination of curve number for estimating of rang of volume by GIS. 6 th International River Engineering Conference, Ahvaz. 2002; 1139-1144. [In Persian]
- [9]. Garnei R, Faridhosseini A. Optimization Parameters of Rainfall-Runoff Model of HEC-HMS through PSO Algorithm. Iranian Journal of Soil and Water Research. 2015; 46(2): 255-264. [In Persian]
- [10]. Khoshravesh M, Raeni M, Nikzad-Tehrani E, Koulaian A. The impacts of Urbanization and impervious surfaces on runoff of sardaabrud basin, kalardasht, using HEC-HMS rainfall-runoff model. Iranian Journal of Irrigation and Drainage. 2015; 1(9): 209-220. [In Persian]
- [11]. Halid H, Ridd P. Modeling inter-annual variation of a local rainfall data using a fuzzy logic technique. Proceedings of the International Forum on Climate Prediction. James Cook University, Australia. 2002; 166-170.
- [12]. Maria C, Haroldo F, Ferreira. Artificial neural network technique for rainfall forecasting applied to the Sao Paulo region. Journal of Hydrology. 2005; 301: 146-162.
- [13]. Chen YN, Li WH, Xu CC, Hao XM. Effects of climate change on water resources in Tarim River Basin, Northwest China. Journal of Environmental Sciences. 2007; 19(4):488-93.
۶. برای دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ برای هر یک از سناریوهای یادشده در افق ۲۰۵۵، کاهش دبی پیک و حجم سیلاب تحت سناریوی A2 رخ داده و دبی پیک ۳/۰۶ درصد و حجم تخلیه ۳/۰۷ درصد کاهش می‌یابد. میزان حجم به دست آمده در این دوره ۳/۱۵ میلیارد مترمکعب برآورد شد.
۷. درباره دوره سوم یعنی سال‌های ۲۰۸۰ تا ۲۰۹۹ می‌توان گفت که الگوی مشاهده‌ای در این دوره برای هر سه سناریو، مشابه الگوی مشاهداتی دوره‌های اول و دوم است. به این معنا که در هر سه سناریوی افق ۲۰۹۰ دبی پیک و حجم سیلاب کاهش یافته است. سناریوی A2 نیز کمترین میزان جریان (۱۶۷/۷ مترمکعب بر ثانیه) و حجم سیلاب (۲/۲۴ میلیارد مترمکعب) را نسبت به دو سناریوی دیگر تخمین زده است که در آن دبی پیک ۴/۴۳ درصد و حجم تخلیه ۴/۴۸ کاهش می‌یابد.
۸. با توجه به کاهش میزان ورودی به مخازن در دوره‌های آتی، برنامه‌ریزی برای مدیریت بحران آب بر اساس شرایط پیش رو اهمیت زیادی دارد. به این منظور، بهینه‌سازی مصرف با تعریف توابع مربوط به آن، استفاده از سیستم‌های پایش و اقدامات تسکین و در نهایت کاربرد منحنی فرمان مبتنی بر تشریح سیاست‌های بهره‌برداری منطقه در اولویت اجرایی قرار خواهد گرفت.
- در ادامه پژوهش حاضر، پیشنهاد می‌شود که آثار ناشی از تغییر وضعیت پوشش گیاهی و کاربری اراضی در آینده، در مدل‌سازی‌ها مد نظر قرار گیرد.

منابع

- [1]. Tirgar Fakheri F, Alijani B, Zeaiean Firuzabadi P, Akbari M. Simulation of Snowmelt Runoff Under Climate Change Scenarios in Armand Basin. Iranian Journal of Ecohydrology. 2017; 4(2): 357-368. [In Persian]
- [2]. Dehghani N, Ghasemieh H, Sadatinejad, S, Ghorbani, K. Evaluating the impact of climate change on runoff using hydrological model (Case study: Bazoft-Samsami Watershed). Iranian Journal of Ecohydrology. 2017; 4(1): 89-102. [In Persian]
- [3]. IPCC. Climate change. Contribution of Working Group II to the third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. 2007.
- [4]. Hashemin nasab F, Mousavi baygi M, Bakhtiari B, Davari K. Prediction the Rainfall Changes

- [14]. Tolika K, Anagnostopoulou C, Maheras P, Vafiadis M. Simulation of future changes in extreme rainfall and temperature conditions over the Greek area: a comparison of two statistical downscaling approaches. *Global and Planetary Change*. 2008; 63(2):132-151.
- [15]. Koutroulis AG, Tsanis IK, Daliakopoulos IN, Jacob D. Impact of climate change on water resources status: A case study for Crete Island, Greece. *Journal of hydrology*. 2013; 479 :146-158.
- [16]. Nepal S. Impacts of climate change on the hydrological regime of the Koshi river basin in the Himalayan region. *Journal of Hydro-environment Research*. 2016; 10: 76-89.
- [17]. Inouye AM, Lach DH, Stevenson JR, Bolte JP, Koch J. Participatory Modeling to Assess Climate Impacts on Water Resources in the Big Wood Basin, Idaho. Springer International Publishing. 2017.p. 289-306.
- [18]. Seiller G, Roy R, Anctil F. Influence of three common calibration metrics on the diagnosis of climate change impacts on water resources. *Journal of Hydrology*. 2017; 547: 280-95.
- [19]. Mohammadi M., Karami H., Farzin S, Farokhi A. Prediction of Monthly Precipitation Based on Large-scale Climate Signals Using Intelligent Models and Multiple Linear Regression (Case Study: Semnan Synoptic Station). *Iranian journal of Ecohydrology*. 2017; 4(1): 201-214. [In Persian]
- [20]. Massah Bavani A, Morid S. Impacts of Climate Change on Water Resources and Food Production: A Case Study of Zayandeh - Rud Basin, Esfahan, Iran. *Iran Water Resources Research*. 2005; 1(1): 40-47. [In Persian]
- [21]. Azaranfar A, Abrishamchi A. Assessment of the impact of climate change on precipitation and temperature in the Zayandeh Roud river basin by using the general rotation model outputs. *Second Conference on water resource management, Isfahan University of technology*. 2006. [In Persian]
- [22]. Modirian R, Babaeian I, Karimian M. The Optimum Configuration of RegCM3 Model for Simulation of Precipitation and Temperature at Autumn Seasonal over Khorasan Region in 1991-2000. *Physical Geography Researches Journal*. 2010; 41(70): 107-120. [In Persian]
- [23]. Massah Bavani A, Morid S. Impact of Climate Change on the Water Resources of Zayandeh Rud Basin. *Journal of Water and Soil Science*. 2013; 9(4): 17-28. [In Persian]
- [24]. Javidan N, Bahremand A. Sensitivity Test of Parameters Influencing Flood Hydrograph Routing with a Diffusion-Wave Distributed using Distributed Hydrological Model, Wet Spa, in Ziarat Watershed. *Journal of Water and Soil*. 2016; 30(3): 685-697. [In Persian]
- [25]. Soltani J, Moghaddamnia A, Piri J, Mirmoradzehi J. Performance Comparison of Integrated Models of NN-ARX and ANFIS with GA-GT to Daily Pan Evaporation Estimation Under Arid and Hot Climate of Baluchistan. *Journal of Water and Soil*. 2013; 27(2): 381-393. [In Persian]
- [26]. Ashofteh PS, Bozorg-Haddad O, Loáiciga HA. Development of adaptive strategies for irrigation water demand management under climate change. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 2017;143(2): 04016077.
- [27]. Khajeh S, Paimozd S, Moghaddasi M. Assessing the Impact of Climate Changes on Hydrological Drought Based on Reservoir Performance Indices (Case Study: ZayandehRud River Basin, Iran). *Water Resources Management*. 2017; 11: 1-6.
- [28]. Salehpour JA, Mohseni SM, Bazrafshan J, Khalighi S. Investigation of Climate Change Effect on Drought Characteristics in the Future Period using the HadCM3 model (Case Study: Northwest of Iran). *Journal of Range and Watershed Management*. 2015; 537-548.
- [29]. Mohammadi M, Karami H, Farzin S, Farokhi A. Prediction of Monthly Precipitation Based on Large-scale Climate Signals Using Intelligent Models and Multiple Linear Regression (Case Study: Semnan Synoptic Station). *Iranian journal of Ecohydrology*. 2017; 4(1): 201-214. [In Persian]
- [30]. Momeni M, Rezaee N. Aras Dam Reservoir Operation Model by Using of Dynamic Programming. *Journal of Industrial Management*. 2008; 1(1): 139-152. [In Persian]
- [31]. Farshadmehr M, Moghaddas M, Meftahe Halaghi M. Linking Drought Monitoring Systems to Management Measures for Zarrinehrood Dam Operation (Case Study: Zarrinehrood Basin). *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 2015; 46(3): 423-430. [In Persian]
- [32]. Emadi A, Khademi M. Reservoir Operation Rule Curve of Doroodzan Dam using Yield Model. *Journal of Water and Soil*. 2012; 25(5): 1058-1068. [In Persian]