

ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر جریان ورودی به مخزن سد شاهچراغی

محمد ابراهیم بنی حبیب^{*1} - خدیجه حسنی² - علیرضامساح بوانی³

تاریخ دریافت: 1392/11/20

تاریخ پذیرش: 1393/11/05

چکیده

در این تحقیق، اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای هیدرولوژیکی و اقلیمی حوضه آبریز سد شاهچراغی واقع در استان سمنان، با استفاده از مدل جامع ارزیابی اثر تغییر اقلیم بررسی شده است. در مدل پیشنهادهی، زیرمدل LARS-WG برای تبدیل خروجی روزانه مدل CGCM3 تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 به مقیاس محلی و زیرمدل شبکه عصبی مصنوعی (زیرمدل بدست آمده با استفاده از ترکیب‌های متفاوتی از پارامترهای ورودی شامل، دما، بارش و همچنین تابش خورشیدی) برای شبیه‌سازی جریان ورودی به مخزن در آینده استفاده و با استفاده از آمار دوره پایه 1990-2008 واسنجی شده‌اند. در نهایت جریان ورودی به مخزن سد در دوره آتی (2015-2044) شبیه‌سازی و با دوره پایه مقایسه شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با وجود متوسط افزایش دمای حداقل و حداکثر به ترتیب برابر 1/15 و 1/21 درجه سانتی‌گراد در دوره آینده نسبت به دوره پایه، میزان تابش خورشیدی تغییرات محسوسی نداشته است و به طور متوسط 0/55 درصد در دوره آینده افزایش می‌یابد. همچنین بیشترین افزایش در میزان بارش در دوره آتی در ماه می (129 درصد) و بیشترین کاهش در ماه ژانویه (9 درصد) رخ می‌دهد. از طرفی بررسی‌ها نشان از آن دارد که شاهد افزایش جریان ورودی به مخزن در آوریل و می به میزان 45 و 70 درصد و نیز کاهش میزان جریان در ماه اوت به میزان 18 درصد در دوره آتی خواهیم بود، ولی در مقیاس سالانه میزان جریان ورودی به مخزن حدود 2/1 تا 4/1 درصد در سناریوهای مختلف کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: جریان ورودی، دامغان، ریزمقیاس نمایی، مدل جامع

مقدمه

مخزن سد برقایی در حوضه آبریز ریو لمپا واقع در آمریکای مرکزی با کمک خروجی 16 مدل گردش عمومی تحت دو سناریوی انتشار B1 و A2 پرداختند. نتایج نشان‌دهنده افزایش دما و کاهش بارش و نیز کاهش جریان ورودی به مخزن سد می‌باشد که در نتیجه آن ظرفیت تولید برقایی نیز کاهش می‌یابد (9). مک بین و مطیعی نیز دریافتند که تغییر اقلیم موجب کاهش 50 سانتی‌متر ارتفاع آب دریاچه سوپریور واقع در آمریکای شمالی شده است که کمترین حد در 81 سال گذشته می‌باشد. همچنین دریافتند که در بازه زمانی کوتاه مدت، سطح آب دریاچه به میزان یک سانتی‌متر در هر سال کاهش یافته و با توجه به نتایج بدست آمده دریافتند که این تغییرات می‌توانند نشانه‌هایی از حادث شدن پدیده تغییر اقلیم در منطقه مورد مطالعه باشند (12). اختر و همکاران نیز مطالعه‌ای بر روی 3 حوضه آبریز در هند انجام دادند. خروجی ریزمقیاس شده مدل PRECIS تحت سناریوی انتشار A2 نشان دهنده افزایش دما و بارش منطقه تا انتهای قرن بیستم می‌باشد. در نتیجه، میزان رواناب و شدت سیلاب نیز تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار گرفته و افزایش پیدا خواهد نمود (1). به همین

تغییر اقلیم سبب افزایش دما و تغییر در الگوی زمانی بارش و نیز کاهش و یا افزایش بارندگی در فصول مختلف شده و بر منابع آب موجود در منطقه نیز اثرگذار است به طوری که برخی مناطق با کاهش رواناب و یا پیک زودرس جریان در بهار روبرو خواهند بود. در این راستا تحقیقات دیگری نیز توسط محققان در نقاط مختلف دنیا انجام شده است. استیل دان و همکاران اثر تغییر اقلیم برای 9 حوضه ایرلند را با کمک ریزمقیاس نمایی دینامیکی داده‌های بارش و دمای مدل ECHAM5 بررسی کرده و سپس تغییرات رواناب منطقه را با کمک مدل عددی HBV-Light تحت سناریو انتشار A1B ارزیابی کردند که نتایج به توسعه چرخه فصلی در سراسر کشور به واسطه افزایش بارش زمستان، کاهش بارش تابستان و افزایش دما اشاره دارد (14). ماورر و همکاران نیز به بررسی اثر تغییر اقلیم بر رواناب ورودی به

1 و 3- دانشجویان گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان
(* - نویسنده مسئول: (Email: babihabib@ut.ac.ir)

2- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان

مواد و روش‌ها

در شکل (1) روندنمای روش انجام تحقیق و مراحل مختلف آن ارائه شده است، در بخش اول آمار و اطلاعات مورد نیاز تعیین و جمع آوری گردیده که شامل اطلاعات اقلیمی و هیدرولوژیکی محدوده مطالعاتی در دوره پایه (1990-2008) و نیز خروجی مدل $CGCM3^2$ تحت سناریوهای انتشار A1B، A2 و B1 در دوره آینده (2015-2044) می‌باشد. در بخش دوم خروجی مدل $CGCM3$ تحت سناریوهای انتشار A1B، A2 و B1 با کمک زیرمدل $LARS-3^3$ WG (نسخه 5.1) ریزمقیاس شده و در ادامه با کمک زیرمدل شبکه عصبی مصنوعی که با استفاده از آمار دوره پایه واسنجی و صحت سنجی شده، رواناب ورودی به مخزن در دوره آینده تعیین می‌گردد. در انتها به بررسی میزان تغییرات پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی در دوره آینده نسبت به دوره پایه پرداخته می‌شود.

منطقه مورد مطالعه

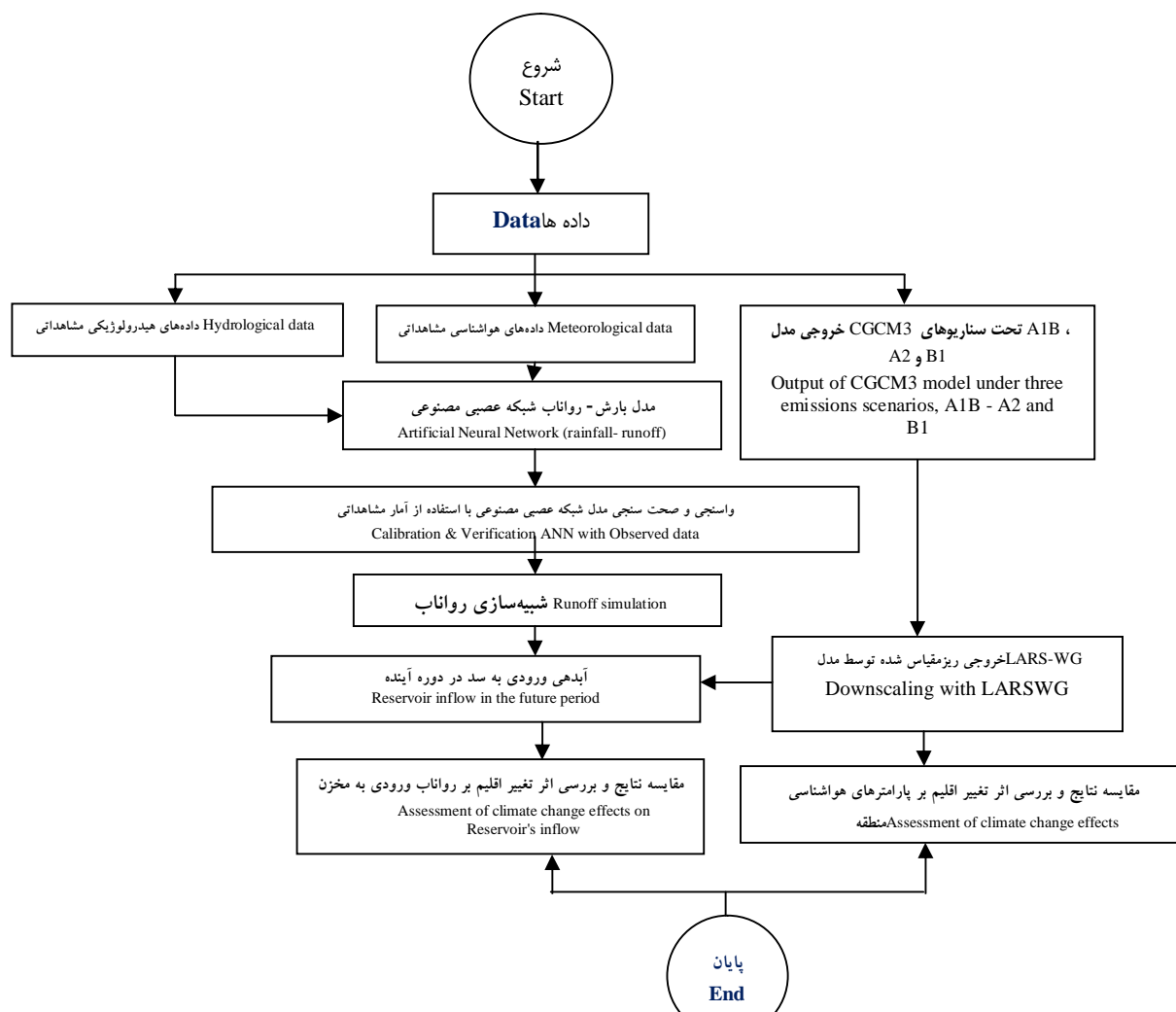
حوضه آبریز سد شاهچراغی در حد فاصل $5300'$ تا $54^{\circ}30'$ طول شرقی و $3600'$ تا $36^{\circ}30'$ عرض شمالی قرار داشته و سد شاهچراغی در 12 کیلومتری شمال شهر دامغان بر روی رودخانه چشمه علی واقع شده است (شکل 2). وسعت حوضه آبریز سد شاهچراغی 1373 کیلومترمربع بوده و میانگین دراز مدت سالانه حجم آبدی ورودی به مخزن سد 17/9 میلیون مترمکعب می‌باشد. میانگین بارندگی منطقه 137 میلی‌متر و کل تبخیر سالیانه در حدود 1986 میلی‌متر است. داده‌های آبدی، بارش و دمای متوسط، حداکثر و حداقل و نیز تابش خورشیدی به صورت ماهانه و در مقیاس میلادی برای دوره زمانی سال‌های 1990 تا 2008 میلادی به‌عنوان داده‌های دوره‌ی پایه جمع‌آوری گردیده و برای تعیین مناسب‌ترین ایستگاه هیدرومتری منطقه، ایستگاه‌های هیدرومتری در داخل و خارج حوضه با دوره آماری مناسب بررسی و از 11 ایستگاه هیدرومتری منطقه، نزدیک‌ترین ایستگاه هیدرومتری با طولانی‌ترین دوره آماری یعنی ایستگاه هیدرومتری لبرود بر روی رودخانه چشمه علی با مختصات $54^{\circ}13'$ و $36^{\circ}13'$ با داده‌های آبدی ثبت شده از سال 1990 تا سال 2008 به عنوان ایستگاه آبدی مورد مطالعه منطقه انتخاب شد. 17 ایستگاه هواشناسی منطقه برای تعیین ایستگاه هواشناسی مناسب در داخل و مجاور منطقه بررسی گردیده و با توجه به اینکه ایستگاه مناسب باید در حین داشتن دوره آماری قابل قبول، متناسب با ارتفاع متوسط حوضه باشد.

ترتیب کندلا و همکاران نیز تغییرات اقلیمی حوضه آبریز سیوران¹ در اسپانیا را با استفاده از خروجی مدل ECHAM5 تحت دو سناریوی انتشار A2 و B1 در دو دوره زمانی (2013-2037) و (2038-2062) مورد بررسی قرار داده و از مدل HEC-HMS جهت شبیه‌سازی جریان حوضه استفاده کردند. نتایج نشان دهنده افزایش دما، کاهش بارش و نیز کاهش جریان خروجی حوضه می‌باشد (4). همچنین در تحقیقی دیگر، ثانی خانی و همکاران اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه آبی چای در استان آذربایجان شرقی را مورد بررسی قرار دادند. بررسی داده‌های ریزمقیاس شده مدل HADCM3 و سناریوهای A1B، A2 و B1 با کمک مدل LARS-WG در افق 2055 افزایش دما و کاهش بارش را در منطقه نشان می‌دهد. همچنین رواناب شبیه‌سازی شده با کمک مدل هوشمند برنامه‌ریزی بیان ژن نیز کاهش قابل توجهی در حوضه مورد مطالعه داشته است (13).

از دیگر پیامدهای پدیده تغییر اقلیم و افزایش دمای کره زمین تبدیل الگوی بارش برف به باران می‌باشد که این مسئله باعث کاهش آورد رودخانه‌های وابسته به ذوب برف در فصول بهار و تابستان و افزایش رواناب در فصول پاییز و زمستان می‌شود. این مسئله باعث می‌شود که آبدی مطمئن سدها با آنچه در زمان طراحی در نظر گرفته شده تطابق نداشته باشد که از جمله چالش‌های پیش رو در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب خواهد بود (14). لذا در تحقیق حاضر به بررسی اثر تغییر اقلیم بر رواناب ورودی به مخزن سد شاهچراغی در استان سمنان پرداخته شده است. حوضه مورد مطالعه جزو مناطق خشک ایران از نظر آب و هوایی محسوب می‌شود، با توجه به خشک و کم آب بودن منطقه و اهمیت مدیریت منابع آب موجود در این حوضه آبریز، اهمیت بررسی اثرات احتمالی تغییر اقلیم در آینده در این حوضه بیشتر احساس می‌شود. در این مطالعه از مدل شبکه عصبی مصنوعی جهت شبیه‌سازی رواناب ورودی به مخزن استفاده می‌شود. از طرفی به دلیل برفی بودن حوضه و نقش موثر تابش خورشیدی در شبیه‌سازی رواناب در این‌گونه حوضه‌ها، این پارامتر اقلیمی نیز مورد ارزیابی قرار می‌گیرد که در تحقیقات پیشین مطرح شده بررسی نشده است. همچنین در ادامه این مطالعه از خروجی‌های روزانه مدل $CGCM3$ که یکی از مدل‌های گردش عمومی جو است، استفاده شده است. برای افزایش مدیریت عدم قطعیت ناشی از سناریوهای گازه‌های گلخانه‌ای، از خروجی سه سناریوی انتشار (A1B، A2 و B1) در این تحقیق استفاده گردید. بنابراین هدف اصلی این تحقیق همان‌گونه که پیشتر نیز اشاره شد، ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب ورودی به مخزن سد شاهچراغی در دوره آبی می‌باشد.

2-The Third Generation Coupled Global Climate Model
3- Long Ashton Research Station Weather Generator

1- Siurana



شکل 1- روند نمای مراحل انجام تحقیق

Figure 1- Flowchart of research

دیفرانسیل هیدرودینامیکی و ترمودینامیکی را به صورت عددی حل می نمایند. مدل های GCM، اقلیم را با شبکه سه بعدی در گستره جهان در نظر می گیرند که برای نمونه تفکیک افقی نمونه های اولیه آن ها بین 250 تا 600 کیلومتر می باشد.

همچنین 10 تا 20 لایه عمودی در جو و بیش از 30 لایه را در اقیانوس ها پوشش می دهند. این مدل ها خود شامل دو دسته کلی مدل های AGCMs² (که برهم کنش اتمسفر را در نظر می گیرند) و مدل های OGCMs³ (که تأثیر متقابل اقیانوس ها را در نظر می گیرند) می باشند و معمولاً مدل های گردش عمومی ترکیبی از دو دسته AGCM و OGCM را شامل شده که به اختصار AOGCM⁴ نامیده می شوند (<http://www.spss-iran.com>).

از بین ایستگاه های موجود، داده های بارش روزانه ایستگاه باران سنجی آستانه و داده های دمای متوسط، حداقل و حداکثر روزانه ایستگاه هواشناسی شاهرود استفاده گردید (<http://daminfo.wrm.ir>). علاوه بر آن ها به علت نقش موثر تابش خورشیدی در ذوب برف و تبخیر، از این متغیر به عنوان ورودی مدل استفاده شد. از آنجا که آمار ثبت شده تابش خورشیدی در تمامی ایستگاه های منطقه ناقص بود، اطلاعات مربوط به این پارامتر توسط رابطه هارگریوز و با کمک اطلاعات دمای حداقل و حداکثر محاسبه شده است (فائو).

شبیه سازی متغیرهای اقلیمی منطقه در دوره آینده

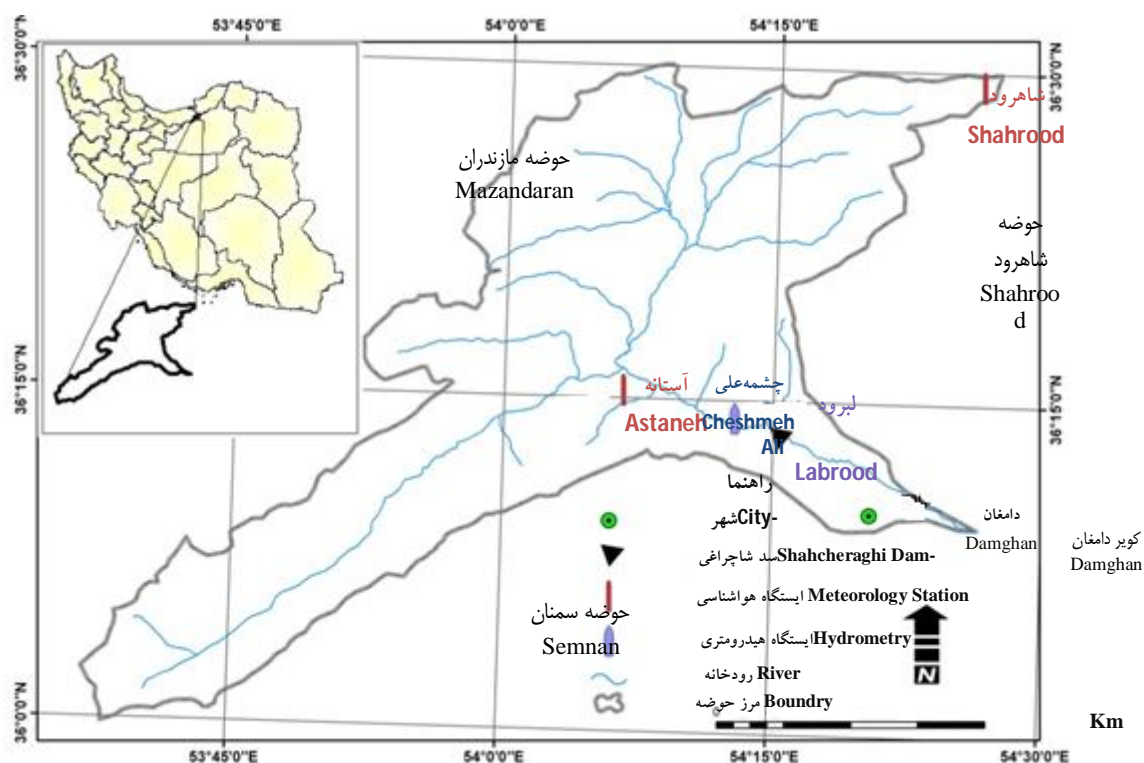
به منظور بررسی تغییرات جوی در مقیاس جهانی از مدل های گردش عمومی جو (GCM¹) استفاده می شود. این مدل ها معادلات

2- Atmospheric General Circulation Model

3- Ocean General Circulation Model

4- Atmospheric-Ocean General Circulation Model

1- General Circulation Model



شکل 2- حوضه آبریز سد شاهچراغی
Figure 2-The Shahcheraghi Dam's River basin

وجود ندارد تولید شده و احتمال اختلاف آماری معنی دار بین مشخصه های آماری داده های مشاهداتی و ساختگی بررسی می شود. در مرحله سوم داده های اقلیمی (دما، بارش و تابش) بر اساس داده های خروجی مدل GCM برای هر سناریوی تغییر اقلیم، تولید می شود. در مرحله دوم، زیرمدل برای مقایسه بین داده های مشاهده و تولید شده از سه معیار توزیع های احتمال، میانگین ها و انحراف معیارها به ترتیب از طریق آزمون های آماری کای اسکور (χ^2) ، t و F استفاده می کند. این آزمون ها بر اساس این فرض هستند که داده های اقلیمی مشاهده و تولید شده، هر دو نمونه های تصادفی از توزیع های موجود هستند. این آزمون ها فرض صفر را بررسی می کنند. فرض صفر در این آزمون ها این است که هر دو دسته داده دارای توزیع مشابه هستند و اختلاف میانگین ها معنی دار نیست. هر آزمون دارای یک مقدار P^3 می باشد که احتمال این که هر دو مجموعه از داده ها متعلق به همان توزیع باشند را می سنجد. در این تحقیق برای این آزمون ها سطح معنی داری یک درصد در نظر گرفته شده است. توضیحات بیشتر در مورد روابط و جزئیات تمامی آزمون های آماری نام برده شده در منبع (<http://www.spss-iran.com>) ارائه شده است.

از آنجا که انتشار گازهای گلخانه ای بر روی تغییرات اقلیمی موثر بوده ولی تعیین مقدار انتشار این گازها در دوره های بعد بطور قطعی امکان پذیر نیست، سناریوهای مختلفی برای انتشار این گازها، در تحقیقات تغییر اقلیم استفاده می شود (IPCC, 2000).

خصوصیات کلی سناریوهای A2، B1 و A1B که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته اند، در جدول (1) ارائه شده است.

یکی از مشکلات عمده در استفاده از خروجی مدل های گردش عمومی جو، کم بودن درجه تفکیک¹ آن ها، و در واقع بزرگ مقیاس بودن مکانی سلول محاسباتی آن ها نسبت به منطقه مورد بررسی است که ریزمقیاس کردن آن ها را با استفاده از روش های مناسب ضروری می سازند (11 و 15). در این تحقیق به منظور ریزمقیاس نمایی داده های هواشناسی خروجی های مدل GCM انتخابی در مقیاس روزانه از مدل LARS-WG که یکی از مدل های مولد داده های هواشناسی بوده و توانایی تولید آمار در مقیاس روزانه را دارد، استفاده شده است. فرایند تولید داده های مصنوعی با این زیرمدل شامل سه مرحله واسنجی، صحت سنجی و تولید داده های مصنوعی اقلیمی می باشد. در مرحله اول، مشخصه های آماری متغیرهای اقلیمی بر اساس تحلیل داده های مشاهداتی دوره پایه استخراج می شود. در مرحله دوم داده های ساختگی با این فرض که هیچ گونه تغییر اقلیمی

2- Chi-squared
3- P-value

1- Resolution

جدول 1- معرفی سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای (14)

Table 1- Definition of Emissions Scenarios (14)

سناریو Scenario	مشخصات Definition
A1	رشد جمعیت کم، رشد اقتصادی زیاد، نوآوری‌ها در فن‌آوری زیاد، همگرایی بین نواحی مختلف دنیا زیاد، کاهش اختلاف بین درآمد سرانه در سطح دنیا، تعاملات فرهنگی و اجتماعی زیاد. Low population growth, high economic growth, high innovations in technology, high integration between different parts of the world, reduction in the gap between per capita incomes in the world, high cultural and social interactions.
A2	ناهمگونی ¹ در دنیا زیاد، رشد جمعیت زیاد، رشد اقتصادی به صورت منطقه‌ای، توسعه و تغییرات فن‌آوری به صورت منطقه‌ای (و نه جهانی). High heterogeneous in the world, high population growth, regional economic growth, local development and technology changes (and not globally).
B1	تاکید به دستیابی به راه‌حل‌های جهانی در مورد مسائل زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی (این سناریو مزایای سناریوی A1 را در کنار توسعه پایدار لحاظ می‌کند). Emphasis on achieving global solutions on environmental, social and economic issues. (This scenario have the benefits of A1 scenario in addition to the sustainable development)
A1B	یکی از زیرشاخه‌های سناریوی A1 بوده که به یکی از جهات رشد اقتصادی توجه کرده و آن هم ایجاد تعادل بین همه منابع انرژی موجود (انرژی‌های فسیلی و غیر فسیلی و ...) است. This is one of the subdirectories of A1 scenario that consider an aspects in economic growth that is creating balance between economic growth and energy resources (fossil and non-fossil energy sources, etc).

دارد، شبکه‌های پیشرو با الگوریتم پس انتشار⁷ هستند (ASCE, 2000). لذا در تحقیق حاضر از ساختار شبکه عصبی پیشرو جهت شبیه‌سازی جریان ورودی به مخزن استفاده گردیده است. ساختار پیشرو متشکل از سه لایه ورودی، پنهان و خروجی بوده و جهت حرکت داده‌ها یک طرفه بوده از سمت لایه ورودی به سمت لایه خروجی است.

در این زیرمدل شبکه عصبی مصنوعی، تعداد نرون لایه ورودی و خروجی به ترتیب بر اساس تعداد داده‌های ورودی و خروجی زیرمدل تعیین شده است. در مورد تعداد نرون لایه میانی (مخفی)، مبنای خاصی وجود نداشته و معمولاً با روش سعی و خطا به نحوی انتخاب می‌گردد که خطای شبکه حداقل شود. به این ترتیب که، ابتدا یک نرون به عنوان تعداد نرون لایه میانی انتخاب می‌گردد، سپس شبکه آموزش داده می‌شود و نتایج حاصل از آن بدست می‌آید. پس از آن به تدریج تعداد نرون‌ها افزایش می‌یابد تا جایی که دیگر با افزایش نرون تغییر محسوسی در کاهش خطای شبکه حاصل نگردد. به‌منظور بررسی پارامترهای موثر در شبیه‌سازی جریان، زیرمدل‌های هفت‌گانه‌ی زیر بررسی شده است:

$$(1) \text{ زیرمدل } Q_i = f(P_i)$$

$$(2) \text{ زیرمدل } Q_i = f(P_i, Tavg_i)$$

$$(3) \text{ زیرمدل } Q_i = f(P_i, Tavg_i, R_{s_i})$$

7- Feed forward back propagation

برای تولید داده‌های روزانه آبی توسط مدل LARS-WG که در آن نوسانات اقلیمی به همراه میانگین‌ها نیز مدل شود احتیاج به داده‌های روزانه مدل‌های GCM می‌باشد که در بین مدل‌ها تنها مدل CGCM3 دارای داده‌های روزانه است که توسط مرکز کانادایی مدل سازی و آنالیز اقلیم² توسعه داده شده است. به لحاظ صحت سنجی مدل برای منطقه نیز باید اشاره کرد که تمامی مدل‌های گزارش شده توسط IPCC برای تمام نقاط دنیا صحت سنجی شده‌اند.

شبیه‌سازی بارش - رواناب

از زیرمدل شبکه عصبی مصنوعی³ برای شبیه‌سازی جریان ورودی به مخزن سد شاهچراغی در تحقیق حاضر استفاده شده است. این زیرمدل از سه لایه به نام لایه‌های ورودی⁴، مخفی⁵ و خروجی⁶ تشکیل شده و در هر لایه یک یا چند عنصر پردازشگر بنام نرون وجود دارد که با تمامی نرون‌های لایه بعدی مرتبط می‌باشند. حدود 90 درصد شبکه‌هایی که در مسائل مختلف هیدرولوژی کاربرد

1-Heterogeneous

2- Canadian Centre for Climate Modeling and Analysis (CCCma)

3- Artificial Neural Network

4- Input layer

5- Hidden layer

6- Output layer

داده‌های ریز مقیاس شده سناریوهای تغییر اقلیم برای ورودی زیرمدل واسنجی شده (زیرمدل گام قبل) استفاده شده و جریان ورودی به مخزن سد حوضه در آینده برای سناریوهای تغییر اقلیم شبیه‌سازی گردیده است.

نتایج زیرمدل برای شرایط سناریوهای تغییر اقلیم با دوره پایه مقایسه شده تا میزان تغییرات نسبت به دوره پایه مشخص شود.

نتایج و بحث

به‌منظور صحت سنجی زیرمدل LARS-WG در جداول (2) تا (4) نتایج آزمون‌های آماری برای توزیع‌های احتمال داده‌های مشاهده‌ای و تولید شده توسط زیرمدل ارائه شده است. نتایج آزمون‌ها برای داده‌های بارندگی، تابش خورشیدی، دمای حداقل و حداکثر در تمامی ماه‌های سال نشان می‌دهد که مقادیر P در سطح احتمال یک درصد قابل قبول بوده و فرض صفر مبنی بر این که هر دو دسته داده دارای توزیع مشابه هستند و اختلاف میانگین‌ها معنی دار نیست قبول می‌شود. بنابراین می‌توان گفت که زیرمدل LARS-WG توانمندی لازم در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی منطقه در دوره آینده را دارد.

در شکل (3) مقدار تغییرات پارامترهای اقلیمی مورد بررسی در دوره آینده (برای شرایط سناریوهای تغییر اقلیم) نسبت به دوره پایه نشان داده شده است. این شکل محدوده تغییرات بلند مدت دمای حداقل، حداکثر، تابش خورشیدی و بارش را در دوره آینده نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد. با بررسی و مقایسه نتایج سه سناریوی انتخابی می‌توان گفت که تقریباً روند تغییرات پارامترهای اقلیمی در هر سه سناریو یکسان بوده و تفاوت در مقدار و درصد تغییرات می‌باشد.

با مقایسه نتایج سناریوهای مختلف، مشاهده می‌شود که میانه تغییرات دمای حداقل و حداکثر، در تمامی ماه‌ها افزایش دما را نشان می‌دهد و این افزایش در دمای حداقل به‌طور متوسط 1/15 درجه سانتی‌گراد و در دمای حداکثر 1/21 درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بیشترین افزایش دمای حداکثر در ماه می و تحت سناریوی A1B رخ می‌دهد و مقدار آن 2/51 درجه سانتی‌گراد می‌باشد، و بیشترین افزایش دمای حداقل در ماه سپتامبر و تحت سناریوی A2 رخ داده و مقدار آن برابر 2/16 درجه سانتی‌گراد می‌باشد. همچنین اختلاف مقادیر بیشترین و کمترین تغییرات دمای حداقل و حداکثر به ترتیب مربوط به ماه مارس سناریوی A1B و A2 بوده و مقادیر آن برای دمای حداقل و حداکثر به ترتیب برابر 8/24 و 12/6 درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

درصد متوسط تغییرات تابش خورشیدی در ماه‌های مختلف متفاوت است و در برخی ماه‌ها از جمله فوریه، ژوئیه و اوت با کاهش تابش خورشیدی و در برخی دیگر مانند مارس و آوریل منطقه با افزایش تغییرات این پارامتر روبرو خواهد بود.

$$Q_i = f(P_i, RS_i) \quad \text{(زیرمدل 4)}$$

$$Q_i = f(P_i, T_{min_i}, T_{max_i}) \quad \text{(زیرمدل 5)}$$

$$Q_i = f(P_i, T_{min_i}, T_{max_i}, RS_i) \quad \text{(زیرمدل 6)}$$

$$Q_i = f(P_i, T_{avg_i}, T_{min_i}, T_{max_i}, RS_i) \quad \text{(زیرمدل 7)}$$

در این زیرمدل‌ها، Q معرف آینده ماهانه رودخانه، P معرف بارش ماهانه منطقه، T_{max} T_{min}, T_{avg} به ترتیب برابر دمای میانگین، حداقل و حداکثر ماهانه منطقه و RS تابش خورشیدی ماهانه منطقه می‌باشند. اندیس i نیز بیانگر زمان (ماه از یک تا 12) می‌باشد. زیر مدل‌های (1) تا (7) در کنار توابع فعالیت مختلف (سیگموئیدی و تانژانت هیپربولیک در لایه میانی و خطی در لایه خروجی) و با کمک تابع آموزش لونیگ-مارکوارت با تغییر در تعداد نرون ساخته می‌شوند. به منظور بررسی عملکرد زیرمدل‌های هفت‌گانه فوق از شاخص ضریب همبستگی (R)، میانگین قدرمطلق خطای نسبی¹ و شاخص K استفاده گردید که از روابط زیر بدست آمدند (بنی حبیب و جمالی، 2010):

$$MARE = \left(\sum_{i=1}^n \frac{|Q_{oi} - Q_{ci}|}{Q_{oi}} \right) / n \quad (1)$$

$$\rho = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_{ci} - \mu_c)(Q_{oi} - \mu_o)}{\sigma_c \times \sigma_o} \quad (2)$$

$$K = \frac{RMSE}{Q_{obs}} \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - Q_{ci})^2}{n}} \quad (4)$$

در این روابط Q_{ci} آینده محاسبه شده در ماه نام بر حسب (m³/s)، Q_{oi} آینده مشاهداتی در ماه نام بر حسب (m³/s) میانگین داده‌ها، σ انحراف معیار داده‌ها، و n برابر تعداد داده‌ها و شاخص K که نسبت مجذور متوسط خطا به متوسط دبی مشاهداتی می‌باشند. مقدار R بیانگر ارتباط خطی بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی بوده که مقدار آب بین صفر تا یک می‌باشد. هرچه مقدار R به یک نزدیک‌تر باشد نشان همبستگی قوی‌تر خطی بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده می‌باشد. با توجه به این که این معیار فقط الگوی رفتاری دو مجموعه از داده‌ها را نشان می‌دهد، بنابراین از معیار MARE استفاده شد. که کمتر شدن آن به منزله اختلاف حداقل بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی بوده و نشانگر عملکرد بهتر زیرمدل است. لذا زیرمدل منتخب بر اساس این شاخص تعیین شده است. با استفاده از زیرمدل شبکه عصبی مصنوعی منتخب اثر تغییر اقلیم بر جریان ورودی به مخزن سد، بشرح زیر بررسی شده است:

زیرمدل منتخب با استفاده از داده‌های دوره پایه، واسنجی و صحت سنجی شده است.

جدول 2- نتایج آزمون‌های آماری برای توزیع‌های احتمال دوره‌های تر و خشک مشاهده‌ای و تولید شده توسط LARS-WG
 Table 2- Results of the probability distribution for wet and dry periods of Observed Data & Generated by LARS-WG

Month ماه		Period دوره	χ^2	P-value
Win زمستان	Dec-Feb دسامبر - فوریه	Wet تر	0.093	0.999
		Dry خشک	0.082	1
Spr بهار	Mar-May مارس - می	Wet تر	0.028	1
		Dry خشک	0.122	0.99
Sum تابستان	Jun-Aug ژوئن - اوت	Wet تر	0.054	1
		Dry خشک	0.075	1
Fall پاییز	Sep-Nov سپتامبر - نوامبر	Wet تر	0.069	1
		Dry خشک	0.07	1

جدول 3- نتایج آزمون‌های آماری برای توزیع‌های احتمال داده‌های مشاهده‌ای و تولید شده توسط LARS-WG
 Table 3- Results of the probability distribution for Observed Data & Generated by LARS-WG

Month ماه	Solar Radiation تابش خورشیدی				Precipitation بارندگی			
	P-value	t	P-value	χ^2	P-value	t	P-value	χ^2
Jan ژانویه	0.05	-8.78	1	0.09	0.5	-0.67	0.63	0.21
Feb فوریه	0.06	4.23	1	0.09	0.78	-0.28	0.58	0.22
Mar مارس	0.4	0.85	1	0.04	0.91	0.12	0.95	0.15
Apr آوریل	0.58	0.55	1	0.04	0.83	-0.21	0.91	0.16
May می	0.41	0.83	1	0.04	0.26	-1.14	0.67	0.21
Jun ژوئن	0.1	2.04	1	0.09	0.51	0.66	0.79	0.18
Jul ژوئیه	0.1	2.11	1	0.09	0.69	-0.4	0.78	0.19
Aug اوت	0.08	3.13	1	0.09	0.94	0.08	0.99	0.1
Sep سپتامبر	0.1	1.89	1	0.09	0.59	-0.55	0.48	0.24
Oct اکتبر	0.64	0.47	1	0.04	0.44	-0.78	0.77	0.19
Nov نوامبر	0.66	-0.45	0.98	0.13	0.58	0.56	0.52	0.23
Dec دسامبر	0.49	-0.7	1	0.04	0.63	-0.49	0.9	0.16

جدول 4- نتایج آزمون‌های آماری برای توزیع‌های احتمال داده‌های مشاهده‌ای و تولید شده توسط LARS-WG
 Table 4- Results of the probability distribution for Observed Data & Generated by LARS-WG

Month ماه	Max Temperature دمای حداکثر				Min Temperature دمای حداقل			
	P-value	t	P-value	χ^2	P-value	t	P-value	χ^2
Jan ژانویه	0.1	1.69	0.91	0.16	0.24	1.19	0.91	0.16
Feb فوریه	0.25	1.17	0.91	0.16	0.89	0.13	0.99	0.11
Mar مارس	0.72	0.37	0.99	0.11	0.72	-0.36	0.99	0.11
Apr آوریل	0.61	0.52	0.99	0.11	0.44	0.77	0.99	0.11
May می	0.29	-1.08	1	0.05	0.15	-1.46	1	0.05
Jun ژوئن	0.22	1.23	0.91	0.16	0.26	1.13	0.99	0.11
Jul ژوئیه	0.41	0.83	0.99	0.11	0.87	-0.16	1	0.05
Aug اوت	0.18	1.37	0.91	0.16	0.1	1.97	0.91	0.16
Sep سپتامبر	0.56	-0.59	0.99	0.11	0.65	-0.46	0.99	0.11
Oct اکتبر	0.19	1.34	0.99	0.11	0.86	0.18	1	0.05
Nov نوامبر	0.42	-0.81	1	0.05	0.79	-0.27	0.99	0.11
Dec دسامبر	0.71	0.37	0.91	0.16	0.54	-0.61	0.99	0.11

داده‌های موجود در دوره پایه که شامل آمار ماهانه بارش، دمای حداقل، میانگین و حداکثر و نیز تابش خورشیدی ماهانه می‌باشند، به ترتیب به دو بخش آموزش و آزمون تقسیم گردید. در این تحقیق نسبت این دو دسته 80 به 20 می‌باشد بدین ترتیب که 80 درصد داده‌ها در مرحله آموزش و 20 درصد باقیمانده در مرحله آزمون مورد استفاده قرار گرفت. خروجی این زیرمدل مقادیر آینده ماهانه ایستگاه ورودی به مخزن (ایستگاه لبرود) می‌باشد.

برای تعیین مناسب‌ترین زیرمدل شبیه‌سازی جریان ورودی به مخزن سد، زیرمدل‌های هفت‌گانه یاد شده بررسی و در تمامی زیرمدل‌های مورد بررسی با تغییر در تعداد نرون لایه میانی (از یک تا 70) و ایجاد تأخیر در هر یک از پارامترهای ورودی (از یک تا 12 تأخیر جهت بررسی تأثیر سیکل یکساله پارامترهای ماهانه) مورد بررسی قرار گرفته و نتایج حاصله مقایسه شد. در جدول (5)، نتایج عملکرد تمامی زیرمدل‌های مورد بررسی و میزان شاخص‌های تعریف شده ارائه شده است. در تمامی زیرمدل‌های مورد بررسی، بهترین نتایج با کمک تابع فعالیت تانژانت هیپربولیک در لایه میانی و تابع خطی در لایه آخر حاصل شد. مناسب‌ترین شبکه، زیرمدل شماره (6) است که ورودی‌های آن پارامترهای دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و تابش خورشیدی در مقیاس ماهانه می‌باشد که نسبت به بقیه زیرمدل‌های مورد بررسی، عملکرد بهتری داشته است (جدول 5). در شکل (4) نتایج این زیرمدل را ارائه می‌کند. این شکل نشان می‌دهد که این زیرمدل توانایی شبیه‌سازی جریان ورودی به مخزن را داشته و مقادیر جریان در دوره پایه را به خوبی شبیه‌سازی می‌کند. بنابراین از این زیرمدل برای شبیه‌سازی رواناب ورودی به مخزن در دوره آینده استفاده گردید.

بعد از واسنجی زیرمدل شبکه عصبی مصنوعی، گام بعدی برآورد جریان ورودی به مخزن برای سناریوهای تغییر اقلیم می‌باشد. برای این کار از آمار بارش، دما و تابش خورشیدی ریزمقیاس شده توسط زیرمدل LARS-WG به عنوان ورودی به زیرمدل شبکه عصبی مصنوعی استفاده می‌شود و جریان ورودی به مخزن در دوره تغییر اقلیم (آینده) شبیه‌سازی می‌شود. در شکل (5) محدوده درصد تغییرات سری زمانی بلند مدت رواناب ماهانه در دوره آینده نسبت به دوره مشاهداتی شبیه‌سازی شده تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 نشان داده شده است. بررسی شکل (5) نشان می‌دهد تقریباً هر سه سناریوی مورد بررسی روند یکسانی از تغییرات آینده آبدهی را می‌باشند و بیشترین درصد افزایش میانه آبدهی حوضه مربوط به ماه می تحت سناریوی A1B و ماه آوریل تحت سناریوی B1 بوده که مقدار آن به ترتیب برابر 70 و 45 درصد است. به‌طور کلی میزان آبدهی در فصل تابستان (ژوئیه تا سپتامبر) کاهش می‌یابد و بیشترین میزان درصد کاهش میانه رواناب حوضه در ماه اوت و تحت سناریوی

نمودار تغییرات تابش خورشیدی به‌طور متوسط در دوره آتی افزایش 0/55 درصد را نشان می‌دهد و بیشترین درصد تغییرات مربوط به ماه آوریل سناریوی B1 بوده و مقدار آن برابر 5/1 درصد می‌باشد. همچنین اختلاف مقادیر بیشترین و کمترین درصد تغییرات مربوط به ماه می سناریوی B1 بوده که مقداری برابر 23/8 درصد می‌باشد.

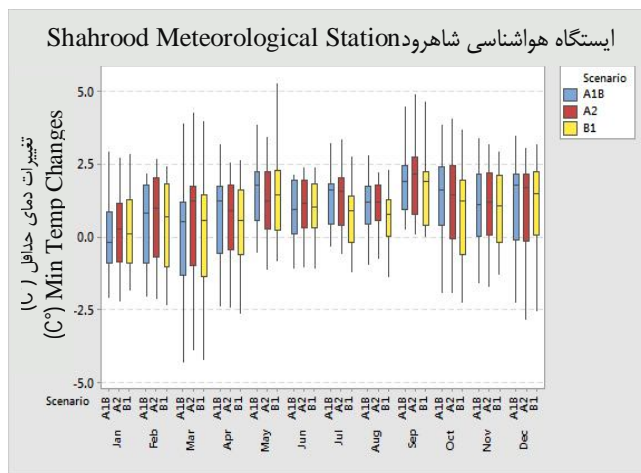
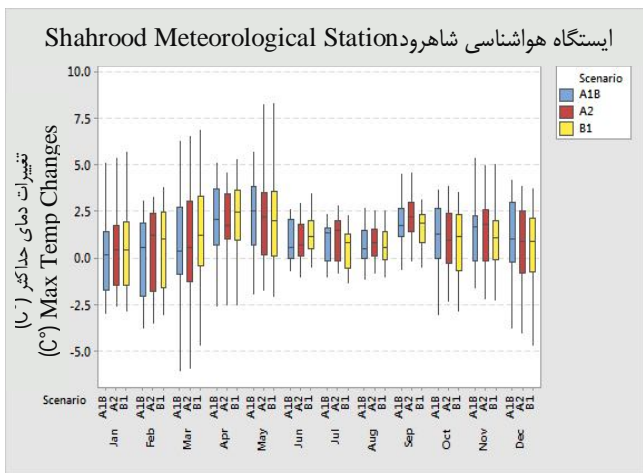
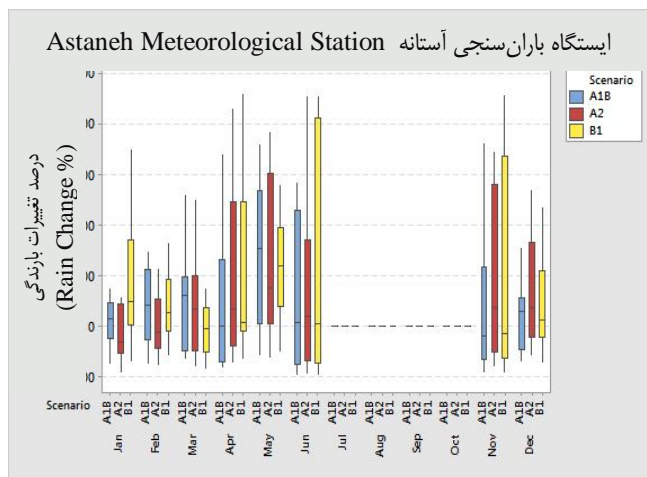
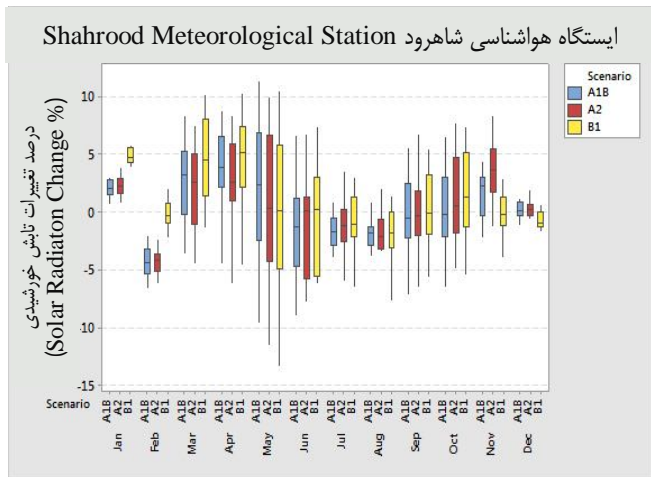
بارش نه‌تنها تأثیر مهمی در وضعیت اقلیمی منطقه دارد، بلکه می‌تواند به‌عنوان مهم‌ترین عامل موثر بر رواناب منطقه قلمداد شود. محدوده درصد تغییرات بلند مدت بارش ماهانه برای سناریوهای مورد بررسی، در شکل (3) نشان داده شده است. همچنان که در شکل (3) مشاهده می‌شود، به‌طور متوسط تغییرات بارش در فصل زمستان بین 92- تا 350+ درصد متغیر بوده، یعنی به‌طور مثال در ماه ژانویه و در شرایط سناریوی A2 حداکثر کاهش بارش به میزان 92 درصد رخ می‌دهد در حالی که در همین ماه و در شرایط سناریوی B1 بیشترین درصد افزایش بارش رخ می‌دهد و مقدار آن برابر 350 درصد می‌باشد، در سایر ماه‌های این فصل میزان درصد تغییرات بارش بین این محدوده در نوسان است. این محدوده برای فصل بهار بین 96- تا 450+ درصد می‌باشد. به‌طور کلی درصد متوسط تغییرات در زمستان و بهار افزایش و در تابستان و پاییز کاهش می‌یابد به‌طوری‌که بیشترین افزایش درصد متوسط تغییرات بارش مربوط به ماه می سناریوی A1B (129 درصد) و بیشترین کاهش درصد متوسط تغییرات مربوط به ماه ژانویه سناریوی A2 (9 درصد) می‌باشد. قابل ذکر است که درصد تغییرات بارش در ماه‌های ژوئیه تا اکتبر برآورد شده است، ولی به علت کم بودن بارش در این فصل که نزدیک به صفر است و اثر چندانی در بارندگی این فصل در دوره آتی نخواهد داشت لذا در شکل نشان داده نشده است.

مطالعات انجام شده در زمینه تغییر اقلیم در دیگر نقاط کشور نیز نشان دهنده افزایش دما و کاهش بارش در دوره‌های آتی در حوضه‌های مختلف ایران می‌باشد. به‌طور مثال در تحقیقی که توسط کوچکی و همکاران بر روی ایستگاه‌های مختلف کشور انجام شده در دوره 2025 و 2050 به ترتیب شاهد حداکثر افزایش دما 3/8 و 4/7 درجه سانتی‌گراد خواهیم بود. همچنین بر اساس نتایج بدست آمده شدت کاهش بارندگی در مناطق خشک و نیمه خشک بیشتر از مناطق مرطوب بوده و کاهش بارندگی در پاییز و زمستان بیشتر از بهار و تابستان خواهد بود. بر اساس این تحقیق متوسط کاهش بارندگی پاییزه به ترتیب 8 و 11 درصد می‌باشد و این تغییر در فصل تابستان ناچیز است (کوچکی و همکاران، 2009). مطالعه مساح بوانی و همکاران در حوضه آبریز زاینده رود اصفهان تحت دو سناریو A2 و B2 نیز در مجموع نشان از کاهش 10 و 16 درصدی بارندگی و افزایش 4/6 و 3/2 درجه سانتی‌گراد درجه حرارت دارد (10).

برای واسنجی و صحت‌سنجی مدل شبکه عصبی مصنوعی،

به ناپیز بودن میزان بارش در فصل تابستان، میزان رواناب ورودی به مخزن نیز در این ماه کاهش می‌یابد.

B1 رخ می‌دهد که مقدار آن برابر 18 درصد می‌باشد. با بررسی نحوه تغییرات آبدهی ورودی به مخزن سد در مقابل تغییرات متغیرهای اقلیمی مشاهده می‌شود که با افزایش میزان بارش در بهار و در ماه می، میزان آبدهی نیز در این ماه افزایش می‌یابد به دنبال آن با توجه

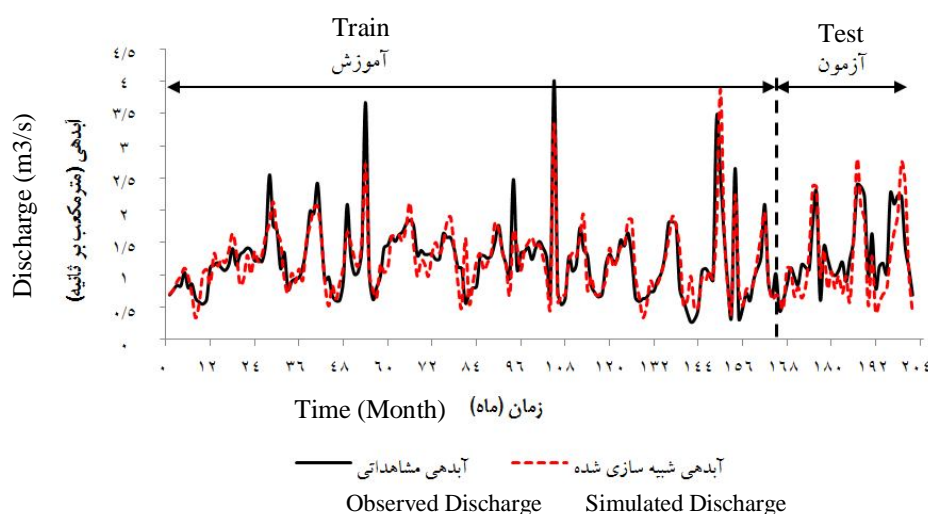


شکل 3- محدوده‌ی تغییرات بلند مدت ماهانه متغیرهای اقلیمی منطقه در دوره آینده نسبت به دوره پایه تحت سه سناریوی A1B, B1, A2
Figure 3- Changes in Monthly long-term climatic variables in future period for A2, B1 & A1B Scenarios

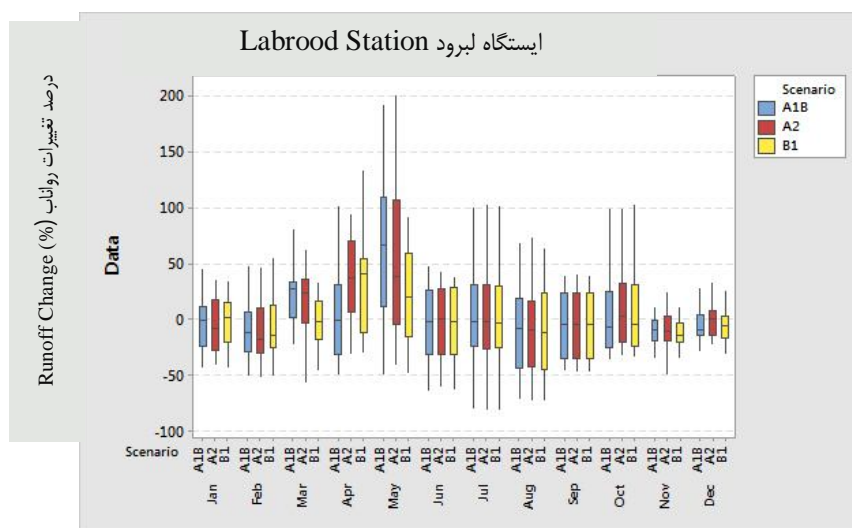
جدول 5- نتایج مرحله آموزش و آزمون زیرمدل‌های متفاوت از شبکه عصبی مصنوعی

Table 5-Results of Train & Test Phases of ANN Submodels

تعداد نرون لایه میانی No. Neron in middle layer	تعداد تاخیر در ورودی No. Delay in input	شماره مدل No. Model	آموزش Train			آزمون Test		
			ρ	MARE	K	ρ	MARE	K
20	12	1	0.68	0.26	0.36	0.59	0.41	0.45
15	5	2	0.83	0.23	0.4	0.59	0.57	0.23
15	10	3	0.81	0.24	0.3	0.72	0.29	0.3
14	10	4	0.81	0.23	0.29	0.71	0.25	0.35
6	5	5	0.83	0.19	0.24	0.74	0.23	0.35
12	2	6	0.84	0.21	0.21	0.82	0.27	0.26
15	5	7	0.84	0.23	0.26	0.77	0.22	0.3



شکل 4- سری زمانی شبیه سازی جریان ایستگاه لبرود توسط شبکه عصبی مصنوعی در دوره مشاهداتی
Figure 4- Time series of Labrood Station Inflow Simulated By ANN in Observation Period

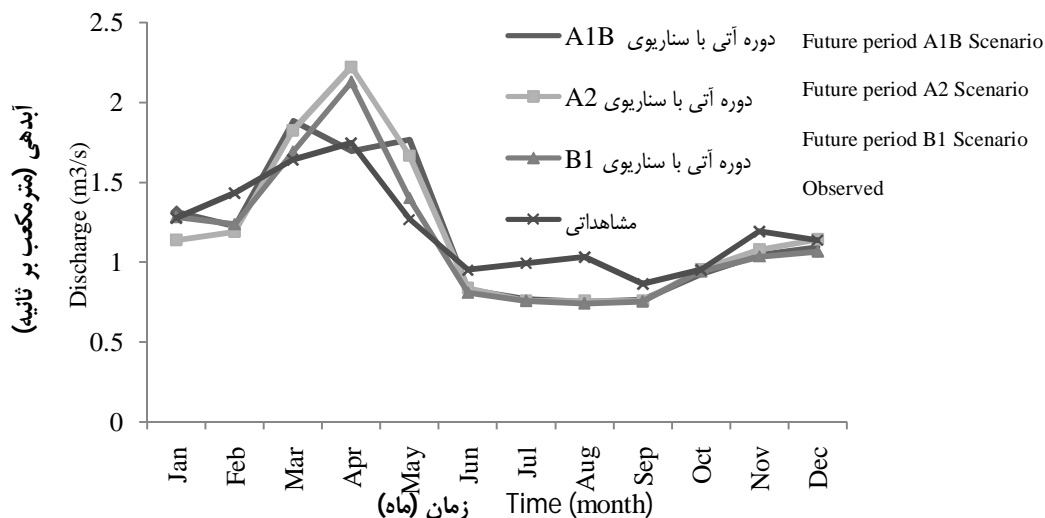


شکل 5- محدوده درصد تغییرات سری زمانی بلند مدت رواناب ماهانه ورودی به مخزن سد شاهچراغی در دوره آینده شبیه سازی شده توسط زیرمدل CGCM3 تحت سناریوهای انتشار A1B، A2 و B1

Figure 5-Percentage Changes in Monthly long-term Inflow to Shahcheraghi Reservoir in future Period simulated by CGCM3 Submodel under A2, B1&A1B Emission Scenarios

تحت هر سه سناریوی انتشار A1B، A2 و B1 کاهش می یابد و میزان این کاهش به ترتیب 2/1، 2/3 و 4/1 درصد می باشد. بررسی نتایج بدست آمده از تحقیقات مشابه در حوضه های دیگر کشور نیز نشان دهنده کاهش آبدی مطمئن سدها در دوره های آتی می باشد. به عنوان نمونه می توان به مطالعه کارآموز و همکاران اشاره کرد که آبدی مطمئن سد ستارخان در حوضه آبریز اهرچای با کاهش 11 تا 32 درصدی روبرو خواهد شد (7). مطالعه مساح بوانی و همکاران بر روی سد چادگان در حوضه آبریز زاینده رود اصفهان نیز کاهش جریان تا 5/8 درصد را در دوره آتی نشان می دهد (10).

در شکل (6) مقادیر متوسط ماهانه آبدی ورودی به مخزن در دوره پایه و نیز دوره آینده تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 نشان داده شده است. با توجه به شکل مشاهده می شود که مقادیر جریان ورودی به مخزن سد در ماه های مارس تا می نسبت به دوره پایه افزایش می یابد که در مقابل منطقه مطالعاتی در ماه های ژوئن تا فوریه با کاهش جریان ورودی به مخزن روبرو خواهد بود. در جدول (6) میزان تغییرات میانگین درازمدت ماهانه رواناب ورودی به مخزن سد در دوره آتی نسبت به دوره پایه ارائه شده است. با توجه به نتایج، در مقیاس سالانه می توان گفت که میزان آبدی ورودی به مخزن



شکل 6- رواناب درازمدت ورودی به مخزن سد شاهچراغی در دوره مشاهداتی و آینده تحت سناریوهای انتشار A1B، A2 و B1
Figure 6- long-term Inflowto Shahcheraghi Reservoir in Observed & Future period under A2, B1&A1B Emission Scenarios

جدول 6- تغییرات میانگین درازمدت ماهانه آبدهی ورودی به مخزن سد در دوره آینده تحت سناریوهای انتشار A1B، A2 و B1
Table 6- Changes in Average long-term InflowtoReservoir inFuture periodunder A2, B1&A1B Emission Scenarios

سناریو Scenario	درصد افزایش / کاهش (%)												سالانه Annual
	ژانویه Jan	فوریه Feb	مارس Mar	آوریل Apr	می May	ژوئن Jun	ژوئیه Jul	اوت Aug	سپتامبر Sep	اکتبر Oct	نوامبر Nov	دسامبر Dec	
A1B	2.92	-1.53	14.6	-0.2	32.3	-13.1	-11.6	-23.2	-8.9	-3	-12.5	-1.3	-2.1
A2	-10.8	-16.9	11.1	27.2	31.4	-11.8	-15.5	-22.5	-10.3	0.23	-9.8	0.3	-2.3
B1	0.46	-3.7	3	21.9	10.5	-15.1	-13.8	-25.2	-11.8	-1.2	-11.3	-3.4	-4.1

نتیجه گیری کلی

نیز در اوایل فصل زمستان و در ماه ژانویه رخ می دهد. از آنجایی که هدف نهایی این مطالعه بررسی تغییرات میزان رواناب ورودی به مخزن سد شاهچراغی می باشد، از زیرمدل شبکه عصبی مصنوعی جهت شبیه سازی رواناب استفاده شد. زیرمدل مورد استفاده شبکه عصبی پیشرو با الگوریتم پس انتشار می باشد. در ادامه با استفاده از داده های مشاهداتی در دوره پایه و با سعی و خطا مناسب ترین شبکه با کمترین شاخص خطای (MARE) (0/27) در مرحله در مرحله آزمون) و بالاترین ضریب همبستگی (ρ) (0/82) در مرحله آزمون، برای شبیه سازی جریان ماهانه ورودی به مخزن سد شاهچراغی در دوره آینده تهیه شد. نتایج رواناب ورودی به سد شاهچراغی تحت سناریوهای مورد بررسی نشان دهنده افزایش میزان جریان در ماه های آوریل و می است در مقابل منطقه با کاهش جریان در بقیه ماه های سال روبرو می باشد. بیشترین افزایش جریان در ماه می (70 درصد) و بیشترین کاهش در ماه اوت (18 درصد) رخ می دهد. به طور کلی، در مقیاس سالانه می توان گفت که میزان آبدهی ورودی به مخزن تحت هر سه سناریوی انتشار A1B، A2 و

هدف از انجام این تحقیق بررسی اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای اقلیمی حوضه آبریز سد شاهچراغی و نیز چگونگی تاثیر بر رواناب حوضه مورد مطالعه در دوره 2015-2044 به کمک مدل پیشنهادی می باشد. بدین منظور از خروجی مدل CGCM3 تحت سه سناریوی A1B، A2 و B1 از مجموعه سناریوهای انتشار استفاده شده و از زیرمدل LARS-WG برای تبدیل متغیرهای اقلیمی دوره آینده به مقیاس منطقه ای و از زیرمدل شبکه عصبی مصنوعی تهیه شده، برای برآورد جریان ماهانه ورودی به مخزن استفاده گردیده است. نتایج بررسی تغییرات متغیرهای اقلیمی در دوره آینده نشان دهنده افزایش دمای حداقل و حداکثر نسبت به دوره پایه می باشد، از طرفی میزان تابش خورشیدی در دوره آینده تغییرات بسیار کمی داشته است. بارش در دوره آینده دارای نوسان بوده و در برخی ماه ها با افزایش و در برخی دیگر با کاهش میزان بارش روبرو می باشد، در این بین بیشترین افزایش بارش مربوط به فصل بهار و ماه می بوده و بیشترین کاهش

B1 کاهش می‌یابد و میزان این کاهش به ترتیب 2/1، 2/3 و 4/1 درصد می‌باشد.

منابع

- 1- Akhtar M., Ahmad N., and Booij M.J. 2008. The impact of climate change on the water resources of Hindukush-Karakorum- Himalaya region under different glacier coverage scenarios. *Journal of Hydrology*, 355:148-163.
- 2- ASCE Task Committee on Application of Artificial Neural Network in Hydrology .2000. Artificial neural networks in hydrology, I: preliminary concepts. *Journal of Hydrologic Engineering*, 5:115-123.
- 3- Banihabib M.E., and Jamali F.S. 2010. Comparison of Dynamic Artificial Neural Network and Multivariate Linear Regression Models for Inflow Forecasting Using Remote Sensing Data. *J of Water & Soil Science*, 20/1(2): 173-185. (in Persian with English Abstract).
- 4- Candela L., Tamoh K., Olivares G., and Gomez M. 2012. Modelling impacts of climate change on water resources in ungauged and data-scarce watersheds. Application to the Siurana catchment (NE Spain). *Science of the total environment*, 440: 253-260.
- 5- FAO Irrigation and Drainage Paper- No. 56- Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements)
- 6- IPCC, 2000. Intergovernmental Panel on Climate Change, Special Report on Emissions Scenarios, Nebojsa Nakicenovic and Rob Swart (Eds.), Cambridge University Press, UK, pp.570.
- 7- Karamouz M., Emami f., Ahmadi A., and Moridi A. 2009. Development of reservoir operation with regard to climate change. Eighth International Congress of Civil Engineering-Iran. Shiraz. (in Persian).
- 8- Koocheki M., Nassiri Gh., and Kamali A. 2009. Climate indices of Iran under climate change. *J of agricultural research*, 5(1): 133-142 (in Persian with English Abstract).
- 9- Maurer E.P., Adam J.C., and Wood A.W. 2009. Climate model based consensus on the hydrologic impacts of climate change to the Rio Lempa basin of Central America. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13(2): 183-194.
- 10- Massah Bavani A. R., and Morid S. 2006. Impact of Climate Change on the Water Resources of Zayandeh Rud Basin. *J of Water & Soil Science-Science & Technology of Agriculture & Natural Resources*, 9 (4): 17-28 (in Persian).
- 11- Massah Bavani A. R., Morid S., and Mohammadzadeh M. 2010. Evaluating different AOGCMs and downscaling procedures in climate change local impact assessment studies. *Journal of Earth & Space Physics*. 36(4): 99-110 (in Persian with English Abstract).
- 12- Motiee H., and McBean E. 2009. An assessment of long-term trends in hydrologic components and implications for water levels in Lake Superior. *Journal of Hydrology Research*, 564-579.
- 13- Sanikhani H., Dinpajoh Y., Pour Yusef S., Ghavidel S.Z., and Solati B. 2014. The Impacts of Climate Change on Runoff in Watersheds (Case Study: Ajichay Watershed in East Azerbaijan Province, Iran). *Journal of Water and Soil*, 27 (6): 1225-1234. (in Persian with English abstract).
- 14- Steele-Dunne S., Lynch P., McGrath R., Semmler T., et al. 2008. The impacts of climate change on hydrology in Ireland. *Journal of Hydrology*, 356: 28-45.
- 15- Xu C. y .1999. From GCMs to river flow: A review of downscaling methods and hydrologic modeling approaches. *Progress in physical Geography*, 23: 229-249.
- 16- www.daminfo.wrm.ir
- 17- <http://ipcc-data.org/>
- 18- <http://www.spss-iran.com/>

Assessment of Climate Change Effects on Shahcheraghi Reservoir Inflow

M. E. Banihabib^{1*}-K. Hasani²-A. R. Massah Bavani³

Received: 09-02-2014

Accepted: 25-01-2015

Introduction: Forecasting the inflow to the reservoir is important issues due to the limited water resources and the importance of optimal utilization of reservoirs to meet the need for drinking, industry and agriculture in future time periods. In the meantime, ignoring the effects of climate change on meteorological and hydrological parameters and water resources in long-term planning of water resources cause inaccuracy. It is essential to assess the impact of climate change on reservoir operation in arid regions. In this research, climate change impact on hydrological and meteorological variables of the Shahcheragh dam basin, in Semnan Province, was studied using an integrated model of climate change assessment.

Materials and Methods: The case study area of this study was located in Damghan Township, Semnan Province, Iran. It is an arid zone. The case study area is a part of the Iran Central Desert. The basin is in 12 km north of the Damghan City and between 53° E to 54° 30' E longitude and 36° N to 36° 30' N latitude. The area of the basin is 1,373 km² with average annual inflow around 17.9 MCM. Total actual evaporation and average annual rainfall are 1,986 mm and 137 mm, respectively. This case study is chosen to test proposed framework for assessment of climate change impact hydrological and meteorological variables of the basin. In the proposed model, LARS-WG and ANN sub-models (7 sub models with a combination of different inputs such as temperature, precipitation and also solar radiation) were used for downscaling daily outputs of CGCM3 model under 3 emission scenarios, A2, B1 and A1B and reservoir inflow simulation, respectively. LARS-WG was tested in 99% confidence level before using it as downscaling model and feed-forward neural network was used as rainfall-runoff model. Moreover, the base period data (BPD), 1990-2008, were used for calibration. Finally, reservoir inflow was simulated for future period data (FPD) of 2015-2044 and compared to BPD. The best ANN sub-model has minimum Mean Absolute Relative Error (MARE) index (0.27 in test phases) and maximum correlation coefficient (ρ) (0.82 in test phases).

Results and Discussion: The tested climate change scenarios revealed that climate change has more impact on rainfall and temperature than solar radiation. The utmost growth of monthly rainfall occurred in May under all the three tested climate change scenarios. But, rainfall under A1B scenario had the maximum growth (52%) whereas the most decrease occurred (-21.5%) during January under the A2 climate change scenario. Rainfall dropped over the period of June to October under the three tested climate change scenarios. Furthermore, in all three scenarios, the maximum temperature increased about 2.2 to 2.6°C in May but the lowest increase of temperature occurred in January under A2 and B1 scenarios as 0.3 and 0.5°C, respectively. The maximum temperature usually increased in all months compared to the baseline period. Minimum and maximum temperatures enlarged likewise in all months, with 2.05°C in September under A2 climate change scenario. Conversely, solar radiation change was comparatively low and the most decreases occurred in February under A1B and A2 climate change scenarios as -4.2% and -4.3% , respectively, and in August under the B1 scenario as -4.2%. The greatest increase of solar radiation occurs in April, November, and March by 3.1%, 3.2%, and 4.9% for A1B, A2, and B1 scenarios, respectively. The impact of climate change on rainfall and temperature can origin changes on reservoir inflow and need new strategies to adapt reservoir operation for change inflows. Therefore, first, reservoir inflow in future period (after climate change impact) should be anticipated for the adaptation of the reservoir.

A Feed-Forward (FF) Multilayer-Perceptron (MLP) Artificial Neural Network (ANN) model was nominated for the seven tested ANN models based on minimization of error function. The selected model had 12 neurons in the hidden layer, and two delays. The comparison of forecasted flow hydrograph by selecting an ANN model and observed one proved that forecasted flow hydrograph can follow observed one closely. By comparison with

1 and 3- Associate Professors, Department of Irrigation and Drainage Engineering, University College of Aburaihan, University of Tehran

(*-Corresponding Author Email: babihabib@ut.ac.ir)

2- M.Sc. Graduated, Department of Irrigation and Drainage Engineering, University College of Aburaihan, University of Tehran

the IHACRES model, this model displayed a 54% and 46% lower error functions for validation data. The selected model was used to forecast flow for the climate change scenarios of the future period.

Conclusions: The results show a reduction of monthly flow in most months and annual flow in all studied scenarios. The following main points can be concluded:

- By climate change, flow grows in dry years and it declines in wet and normal years.
- The studied climate change scenarios showed that climate change has more impact on rainfall and temperature than solar radiation.

Keywords: Climate change, Downscaling, Integrated model, Shahcheraghi Dam.