

ارزیابی اثر تغییر اقلیم، تحت تأثیر عدم قطعیت روش‌های ریز مقیاس گردانی: مطالعه‌ی

موردی حوضه قرآن طالار

مهدی احمدی^{۱*}، باقر قرمز چشمه^۲، هدی قاسمیه^۳

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۸ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۲/۳

چکیده

در دهه‌های گذشته، در نتیجه‌ی فعالیت‌های انسانی و طبیعی، میزان گازهای گلخانه‌ای در نیوار افزایش یافته و در نتیجه، دمای کره‌ی زمین روند افزایشی را به خود گرفته است. افزایش دمای کره‌ی زمین به نوبه‌ی خود، باعث تغییرات معنی‌داری در حیطه‌های مرتبط، به ویژه منابع آب و رواناب شده است، بنابراین، مطالعه و شبیه‌سازی تغییرات عناصر اقلیمی (به ویژه دما و بارش) می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های مدیریت منابع آب کشور، بسیار با اهمیت باشد. در حال حاضر، معتبرترین ابزار جهت تولید نمایشنامه‌های اقلیمی، نرم‌افزارهای سه بعدی جفت شده اقیانوس-نیوار گردش عمومی جو (AOGCM) است. در این تحقیق، تأثیر عدم قطعیت مربوط به نرم‌افزارهای AOGCM و همچنین روش‌های ریز مقیاس گردانی نرم‌افزارهای اقلیمی در حوضه‌ی قرآن طالار در دوره‌ی ۲۰۱۱-۲۰۴۰ میلادی تحت نمایشنامه انتشار A₂ و B₂ نرم‌افزار HadCM₃ مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا از دو نرم‌افزار ریز مقیاس گردانی: چندگانه‌ی خطی SDSM و نرم‌افزار شبکه‌ی عصبی مصنوعی استفاده گردید و سرانجام SDSM به عنوان بهترین نرم‌افزار انتخاب شد. نتایج به دست آمده نشان دادند که در دوره‌ی آتی، میزان بارش در ایستگاه قرآن‌طالار در نمایش نامه‌های A₂ و B₂ HadCM₃ به ترتیب ۷ و ۶ درصد افزایش خواهد یافت. اندازه‌ی دما ی حوضه، ۰/۳۴ تا ۰/۸۶ درجه‌ی سانتی‌گراد افزایش خواهد گرفت. با توجه به افزایش بارش و دما در دوره‌ی آتی در ۲ نمایش نامه‌ی A₂ و B₂ موجب می‌گردد رواناب نیز افزایش یابد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی، تغییر اقلیم، SDSM، شبکه‌ی عصبی مصنوعی

^۱ دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری واحد علوم و تحقیقات.

Email: ahmadimehdi533@yahoo.com، تلفن: ۰۹۹۰۴۶۴۶۰۶۳

^۲ استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

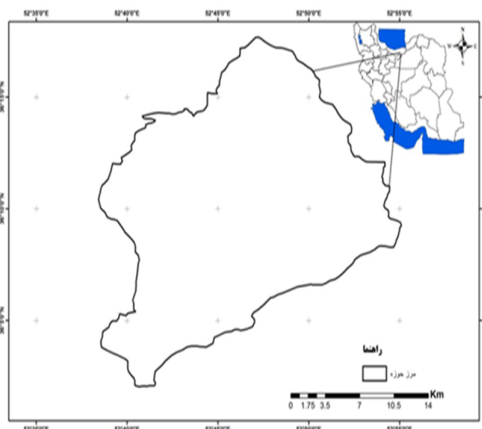
^۳ استادیار دانشگاه کاشان

مقدمه

با توجه به این که طبیعت توانایی خودپالایی دارد، و می‌تواند تا حدودی آثار مخرب موجود در خود را از بین ببرد، ولی استفاده بیش از حد از سوخت‌های سنگواره‌ای، تغییر کاربری اراضی و افزایش جمعیت جهان، و به تبع آن، گسترش روز افزون فعالیت‌های صنعتی برای تأمین رفاه و نیازهای جمعیت کره زمین، موجب افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای به ویژه دی‌اکسید کربن در چند دهه اخیر شده است. هیأت بین دول تغییر اقلیم IPCC که در سال ۱۹۸۸ به وسیله سازمان هواشناسی جهان (WMO) و برنامه‌ی محیط‌زیست سازمان ملل (UNEP) تأسیس شد است، وظیفه شناختن تمام جنبه‌های پدیده‌ی تغییر اقلیم را عهده‌دار است. مطالعات نشان می‌دهند که با حضور گازهای گلخانه‌ای، دمای زمین ۳۳ درجه سانتی‌گراد گرم‌تر از شرایط بدون این گازها است. با افزایش میزان گازهای گلخانه‌ای در جو زمین، بخش بیشتری از کارمایه‌ی خورشیدی در زمین نگهداری می‌شود و این امر، سبب افزایش دمای کره زمین خواهد شد. این گرم شدن به نوبه خود بر اقلیم زمین تأثیر گذاشته و پدیده تغییر آن را سبب می‌شود (IPCC، ۲۰۰۷). گرم شدن کره زمین از اواخر قرن نوزدهم آغاز شده و انتظار می‌رود که در سال‌های آینده نیز ادامه پیدا کند. این افزایش دما انکارناپذیر است. کاربرد روش‌های گوناگونی از قبیل برداشت‌های محلی و ماهواره-ای اندازه‌گیری شده ذوب یخچال‌ها، و بالا آمدن سطح آب-های آزاد نیز گواه محکمی بر وجود آن است. دلیل اصلی این رویدادها، افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای مانند دی‌اکسید کربن و متان در جو است که از پیامدهای فعالیت‌های گوناگون انسان، از قبیل مصرف سوخت‌های سنگواره‌ای و جنگل‌زدایی به شمار می‌رود (IPCC، ۲۰۰۴). تغییر اقلیم می‌تواند موجب تغییر مقادیر میانگین، یا تغییرپذیری سایر خصوصیات فراسنج‌های اقلیمی شود. از میان فراسنج‌های اقلیمی که تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار می‌گیرند، می‌توان به دما، زمان بارش، باد، تابش و غیره اشاره نمود، که به دلیل تغییرپذیری طبیعی، یا در نتیجه فعالیت‌های بشر در آنها، تغییراتی ایجاد شده است (IPCC، ۲۰۰۱). براساس تخمین تجمع گازهای گلخانه‌ای در گزارش هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم، افزایش دمایی معادل ۱/۱ تا ۴/۶ درجه سانتی‌گراد تا سال ۲۱۰۰ میلادی پیش

بینی می‌شود. مقدار گرم شدن زمین طی صد سال آینده، بیش از آن چه طی ۱۰۰۰۰ سال گذشته رخ داده است، خواهد بود (مساح بوانی و مرید، ۱۳۸۴؛ واتقی، ۱۳۸۹). علاوه بر نقش عوامل طبیعی در تغییرات اقلیمی، بشر نیز در شدت و وسعت تغییرات آب و هوایی نقش مؤثری دارد، به طوری که امروزه وقتی صحبت از مباحث تغییر اقلیم می‌شود، بیشتر نظرها به سمت انسان و فعالیت‌های بشری معطوف می‌گردد. این امر به طور عمده به علت افزایش مصرف سوخت‌های سنگواره‌ای، شهرنشینی، جنگل‌زدایی، بیابان‌زایی است (کمال، ۱۳۸۸). نرم‌افزارهای گردش عمومی جو-اقیانوس (AO-GCM)، بهترین اطلاعات را درباره پاسخ جو به افزایش تمرکز گازهای گلخانه‌ای را فراهم می‌کنند. این نرم‌افزارها وابسته به زمان، و دارای شبیه‌سازی‌های عددی ۳ بعدی شامل حرکات جوی تبدلات گرمایی، و اندرکنش‌های یخ و اقیانوس و خشکی هستند (دراکاپ، ۲۰۰۵). با توجه به افزایش میزان دی‌اکسید کربن و به تبع آن، وقوع گرم شدن جهانی و تأثیر آن بر منابع آب ملی و منطقه‌ای، بررسی تأثیر تغییرات اقلیم در برنامه‌ریزی‌های منابع آب ضروری به نظر می‌رسد. ارتباط تنگاتنگی بین چرخه آب شناسی و سامانه‌ی اقلیمی وجود دارد. هر تغییری در اقلیم، بر عناصر آب‌شناسی اثر می‌گذارد. رواناب، آبدهی رودها، آب‌های زیرزمینی و شدت سیلاب و خشکی، همگی متأثر از بارش و دما (از مهم‌ترین عناصر اقلیمی) می‌باشند، یکی از ایرادهای نرم‌افزار گردش عمومی و اقیانوسی، درشت مقیاس بودن خروجی این نرم‌افزارها است. برای برطرف کردن این مشکل نیاز به ریز مقیاس گردانی خروجی این نرم‌افزارها می‌باشد (صمدی و همکاران، ۱۳۸۹). به طور کلی، ۲ روش برای ریز مقیاس گردانی وجود دارد ۱- ریز مقیاس گردانی پویایی ۲- ریز مقیاس گردانی آماری. در کشور ما، به دلیل اینکه منبع نرم‌افزار گردش عمومی جو و اقیانوس در دسترس نمی‌باشد، نمی‌توان از روش ریز مقیاس گردانی پویایی استفاده کرد. مطالعات مختلفی در زمینه‌ی تغییر اقلیم در ایران انجام شده است ولی به طور کلی بیشتر این مطالعات در مناطق جنوبی کشور به خصوص حوضه‌ی قره سو انجام شده است. احمدی (۱۳۹۳)، قرمز چشمه (۱۳۹۳) در ایران، و هاشمی و همکاران (۲۰۰۹، ۲۰۱۱) در نیوزلند عملکرد نرم افزار SDSM را بهتر از شبیه‌های دیگر دانسته‌اند، دیبایک و همکاران (۲۰۰۶، ۲۰۰۷) در کانادا به

میانگین دمای حداکثر برابر با $21/32$ درجه‌ی سانتی‌گراد است. با توجه به مطالعات دسترنج (۱۳۹۲) در مورد دما و بارش، منطقه از لحاظ شرایط آب و هوایی در اقلیم مرطوب قرار گرفته است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد پژوهش در تحقیق.

در مطالعات تغییر اقلیم در ابتدا لازم است که متغیرهای پایه مشخص شوند. متغیرهای پایه مورد استفاده در این تحقیق شامل داده‌های مشاهداتی دما و بارش به صورت روزانه در دوره‌های مختلف، که مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در جدول (۱) قابل مشاهده اند. لازم به ذکر است که علت استفاده از داده‌های روزانه، لزوم دقت در بررسی نتایج بود. جهت انتخاب نرم‌افزار AOGCM، ابتدا نرم‌افزارهای گوناگونی که در پژوهش‌های مختلف به‌وسیله‌ی محققینی مانند صمدی و همکاران (۱۳۸۹)، کمال (۱۳۸۸)، هراتیان هرب (۱۳۸۸)، خلیلی اقدم و همکاران (۱۳۸۸، ۱۳۹۰)، کمال و مساح بوانی (۱۳۹۰)، مهدی‌زاده و همکاران (۱۳۹۰)، فرج‌زاده (۱۳۹۲)، یزدانی (۱۳۹۰) استفاده شده بود و دسترسی اطلاعات میانگین ماهانه بارش و دما در پایگاه DDC (پایگاهی که اطلاعات شبیه‌ها قابل دسترس است)، کسب شدند. مشخصات این شبیه‌ها در جدول (۲)، آورده شده اند. ذکر این نکته الزامی است که هنگام انجام تحقیق، فقط داده‌های HadCM₃ و CGCM₃ به صورت روزانه قابل دسترس بودند و در سایر نرم‌افزارها، تنها اطلاعات ماهانه در پایگاه DDC در اختیار بودند. با توجه به مطالعات

مقایسه‌ی نرم افزار SDSM و TFLN پرداخته و عملکرد شبکه‌ی عصبی را در برآورد بارش بهتر معرفی نموده اند. با توجه به پژوهش‌های دیبایک و همکاران (۲۰۰۷، ۲۰۰۶) در کانادا و دیگر محققین، نمی توان نرم افزار خاصی را برای یک منطقه معرفی نمود، چه، عملکرد یک شبیه ریز مقیاس گردانی به کاربرد خروجی نهایی مربوط می گردد. هدف از انجام این تحقیق بررسی ریز مقیاس گردانی آماری خطی و غیر خطی در منطقه‌ی شمالی کشور ایران به خصوص حوضه‌ی آبخیز قرآن طالار، و بررسی آمار ایستگاه وزارت نیرو در فرایند ریز مقیاس گردانی می‌باشد. علاوه بر موارد بالا، برای اولین بار فرایند ریزمقیاس گردانی و مطالعه‌ی عدم قطعیت (نرم‌افزارها) در دامنه‌ی شمالی البرز، که در این منطقه شرایط محلی بسیار تاثیرگذار است انجام گرفته و بررسی این موضوع، که آیا نرم‌افزارهای ریزمقیاس گردانی قابلیت شبیه سازی شرایط محلی را دارا می‌باشد، که در نهایت به آن پاسخ داده خواهد شد.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مورد مطالعه در این پژوهش، حوضه‌ی آبخیز قرآن‌طالار، به عنوان یکی از زیرحوضه‌های حوضه‌ی آبخیز تالار است که در ارتفاعات منطقه‌ی مرکزی سلسله جبال البرز، در استان مازندران واقع شده است. وسعت این حوضه $403/5$ کیلومتر مربع است حوضه از نظر مختصات جغرافیایی بین 52 درجه و 35 دقیقه تا 52 درجه و 55 دقیقه طول شرقی و 36 درجه و 5 دقیقه تا 36 درجه و 15 دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). علت انتخاب این حوضه، به پیچیده بودن منطقه از لحاظ شرایط آب و هوایی بخصوص در فصل پاییز که تحت تاثیر شرایط محلی منطقه، و دستکاری کمتر منطقه مربوط می‌گردد. منطقه مورد مطالعه، شاخه‌ی ابتدایی بابل‌رود است، و هر تغییری که در منطقه رخ دهد، بر کل آب موجود در بابل-رود تأثیرگذار خواهد بود، بنابراین، حوضه‌ی مورد مطالعه دارای اهمیت خاصی است. میانگین بارش سالانه در حوضه در یک دوره‌ی ۳۰ ساله (۱۹۷۱-۲۰۰۱) 1077 میلی‌متر است. آمار دمای حوضه از آمار ایستگاه قائم‌شهر به دست آمده اند. دلیل این امر نزدیک بودن منطقه‌ی مورد مطالعه به ایستگاه مذکور است. میانگین دمای حداقل ایستگاه قائم‌شهر در دوره‌ی آماری ۱۹۸۴-۲۰۰۱ برابر با $12/35$ ، و

حدی در شبکه‌ی عصبی کمتر حساس می‌باشد. برای انتخاب دوره‌ی واسنجی از ۷۰ الی ۶۰ درصد، و برای صحت سنجی از ۳۰ الی ۴۰ درصد داده‌ها استفاده شد. متغیرهای منتخب از میان ۲۶ متغیر به کمک همبستگی و همبستگی داخلی مشخص و انتخاب گردیدند، و در نهایت با کمک متغیرها پیش بینی در دوره‌ی آتی تحت ۲ نمایشنامه‌ی انتشار انجام شدند. برای بررسی خطای نرم‌افزارها از رابطه‌های ۱ الی ۵، و از معیارهای زیر استفاده گردیده است:

$$\text{Bias} = \frac{\sum (Q_o - Q_m)}{n} \quad (1)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (Q_o - Q_m)^2}{\sum (Q_o - Q_m)^2} \quad (2)$$

$$\text{MSE} = \frac{\sum (Q_o - Q_m)^2}{n} \quad (3)$$

$$\text{MAE} = \frac{\sum |Q_o - Q_m|}{n} \quad (4)$$

$$\text{RB} = \frac{\sum (Q_o - Q_m)}{Q_o} * 100 \quad (5)$$

که در روابط مذکور، Q_o : مقدار مشاهداتی، Q_m : مقدار برابری و N : تعداد داده‌ها است.

برای بررسی عدم قطعیت از آزمون من ویتنی و T جفتی در نرم‌افزار SPSS در سطح ۰/۹۵ انجام شد (قرمزچشمه، ۱۳۹۳). همچنین لازم به ذکر است که بده، دمای بیشینه و دمای کمینه جزء فراسنج‌های پیوسته محسوب می‌شوند. لذا به منظور بررسی عدم قطعیت فراسنج‌های مذکور، آزمون T جفتی استفاده شد (بی‌همتا و زارع چاهوکی، ۱۳۸۷).

از آنجا که بارش، جزء فراسنج‌های ناپیوسته و غیرشرطی محسوب می‌شود، لذا به منظور بررسی عدم قطعیت فراسنج‌های مذکور، آزمون من-ویتنی مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکر است که داده‌های بارش، به صورت رتبه‌ای و اسمی با توزیع بی‌هنجار و داده‌های دما با توزیع هنجار به شمار می‌روند (قرمزچشمه، ۱۳۹۲).

احمدی و همکاران (۱۳۹۳) نرم‌افزار HadCM₃ بسیار کارآمد و پاسخگو در ایران است. HadCM₃، یک شبیه‌نیواری-اقیانوسی (AOGCM) است که به وسیله مرکز هدلی (انگلستان) و نیز گوردن و همکاران (۱۹۹۹) شرح داده شده است. نرم‌افزار مذکور در نیوار، دارای سلول ۲/۵ درجه عرض جغرافیایی و ۳/۷۵ طول جغرافیایی می‌باشد، که به طور کلی سطح جهان را با تعداد ۹۶×۷۳ سلول پوشانده است. شبیه‌سازی در این نرم‌افزار بر مبنای تقویم ۳۶۰ روزه و ماه‌های ۳۰ روزه انجام می‌شود. (ویلیبی و داوسون، ۲۰۰۲، ۲۰۰۷، ۲۰۱۳). البته نرم‌افزار مذکور برای بهبود شبیه‌سازی، نیازی به تنظیمات شار سطحی (شار مصنوعی اضافی برای سطح اقیانوس) ندارد (صمدی و همکاران، ۱۳۸۹). مهم‌ترین مزیت HadCM₃، قدرت تفکیک بالای مولفه اقیانوسی است (ویلیبی و همکاران، ۲۰۱۳). همچنین، وجود هماهنگی خوبی بین مؤلفه‌های جوی و اقیانوسی از دیگر مزیت‌های نرم‌افزار است (صمدی، ۱۳۸۸). برای ریز مقیاس گردانی، از نرم‌افزار SDSM و نرم‌افزار شبکه‌ی عصبی مصنوعی با کاربرد نرم‌افزار متلب با کمک تابع‌های پسانتشار و شبیه‌سازی بهره‌برداری شد. علت استفاده از نرم‌افزارهای نامبرده عملکرد بهتر در ریز مقیاس گردانی در ایران و خطای کمتر (قرمزچشمه، ۱۳۹۳: احمدی، و همکاران ۱۳۹۳، صمدی و همکاران، ۱۳۸۹) مربوط می‌گردد. نرم‌افزار SDSM و شبکه‌ی عصبی جزء روش‌های آماری ریز مقیاس گردانی است با این تفاوت که نرم‌افزار SDSM به صورت خطی، و با کمک روابط وایازی چند متغیره، بین متغیر بارش و دما و فراسنج NCEP، و انتخاب بهترین فراسنج از میان ۲۶ متغیر NCEP به کمک وایازی و همبستگی متغیرهای مورد نظر خود را پیش‌بینی می‌نماید، در حالی که در شبکه‌ی عصبی، به کمک آزمون و خطا و تغییر در وزن هر فراسنج به صورت غیر خطی مراحل فوق را انجام می‌دهد. فراسنج NCEP به طور کلی برای صحت سنجی در تقویم ۳۶۰ روزه است و شامل متغیرهایی می‌باشد که برای شبیه‌سازی متغیر بارش و دما مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از برتری‌های نرم‌افزار SDSM نسبت به شبکه‌ی عصبی ساخت نرم‌افزار در مرحله‌ی واسنجی به صورت ماهانه، فصلی و سالانه، و توسعه‌ی روابط وایازی چند متغیره برای هر یک است که میزان خطا در شبیه‌سازی را کمتر نشان می‌دهد. افزون بر آن نرم‌افزار SDSM نسبت به مقادیر

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در تحقیق.

ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی درجه، دقیقه	عرض جغرافیایی درجه، دقیقه	ارتفاع از سطح دریا به فوت	سال آماری
بابلسر	سینوپتیک	۳۹° ۵۲'	۴۳° ۳۶'	۸۵	۲۰۰۱-۱۹۶۱
قائم شهر	سینوپتیک	۴۶° ۵۲'	۲۷° ۳۶'	۱۳۶	۲۰۰۱-۱۹۸۴
قرآن طالار	وزارت نیرو	۴۷° ۵۲'	۱۸° ۳۶'	۳۷۷	۱۳۸۴-۱۳۴۸
دیوا	وزارت نیرو	۵۲° ۳۴'	۱۹° ۳۶'	۵۹۰	۱۳۸۴-۱۳۶۰
بندی	وزارت نیرو	۳۷° ۵۲'	۱۸° ۳۶'	۶۹۳	۱۳۸۴-۱۳۵۴
قرآن طالار	هیدرومتری	۴۷° ۵۲'	۱۸° ۳۶'	۳۷۷	۱۳۸۹-۱۳۲۸

جدول ۲- مشخصات شبیه‌های بزرگ‌مقیاس مورد استفاده در تحقیق.

نام مدل	مرکز تحقیقات ارائه دهنده	قدرت تفکیک اتمسفری (درجه)	قدرت تفکیک اقیانوسی (درجه)
CGCM ₃	مرکز تحلیل و مدل‌سازی اقلیم کانادا	۳/۷۵*۳/۷۵	۱/۸۷۵*۱/۸۷۵
HadCM ₃	مرکز تحقیقات و پیش‌بینی اقلیم هادلی- انگلستان	۳/۷۵*۲/۵	۱/۲۵*۱/۲۵
CSIRO	مرکز اقلیم‌شناسی استرلیا	۱/۸۷۵*۱/۸۷۵	۱/۸۷۵*۰/۹۵
ECHA5	مرکز اقلیم‌شناسی ماکس- پلانک در آلمان	۱/۸۷۵*۱/۸۷۵	۱*۱
BCM2	مرکز اقلیمی بیجینگ در چین	۱/۵*۱/۵	۱/۵*۰/۵

نتایج

در CGCM₃ و HadCM₃ در اختیار بودند، در نتیجه، در منطقه‌ی مطالعاتی با توجه به میانگین ماهانه، نرم افزار HadCM₃ به عنوان مشبیه منتخب در منطقه معرفی شد. نتایج به دست آمده حاکی از آنند که شرایط محلی قابل

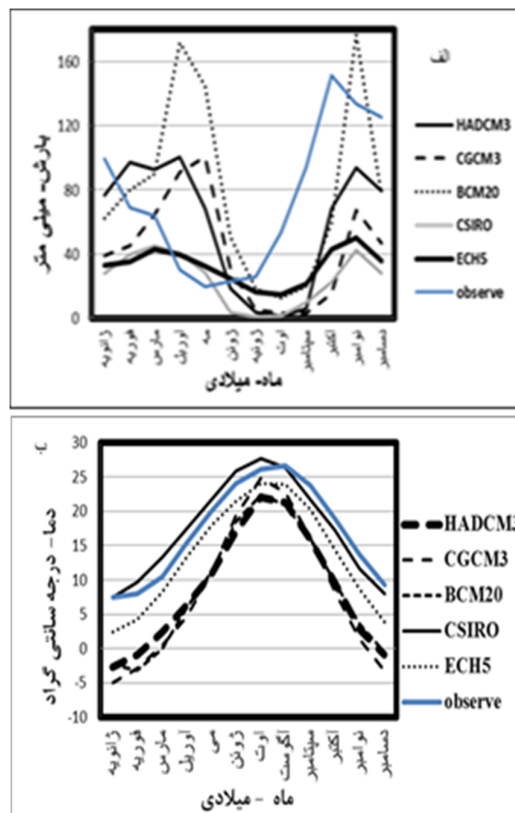
۳-۱- نتایج انتخاب نرم‌افزار AOGCM

با بررسی شکل (۲ الف، ب)، و با توجه به این نکته که در انجام تحقیق فقط داده‌های روزانه‌ی نرم‌افزارهای

۱۹۶۱-۲۰۰۱، نتایج نشان داد که عملکرد نرم‌افزار SDSM، بهتر از شبکه‌ی عصبی است، و نرم‌افزار شبکه‌ی عصبی مصنوعی در فصل‌های بهار و پائیز، به خصوص در دسامبر، دچار خطای زیادی در میانگین ماهانه شده است. بررسی واریانس‌ها در شکل (۳-ب)، نشان داد که نرم‌افزار شبکه‌ی عصبی در همه ماه‌ها به جز ماه‌های آوریل، مه، ژوئن و ژوئیه، بیش‌برآورد، و نرم‌افزار SDSM به جز ماه ژوئن، در سایر ماه‌ها کم‌برآورد نموده است. در نتیجه، میزان خطا در مقادیر حدی به ویژه مقادیر حدی فصل پائیز برای هر دو نرم‌افزار به دست آمد. همچنین بیشترین اختلاف واریانس (۲ برابری) محاسبه شده در هر دو نرم‌افزار، مربوط به اکتبر، نوامبر و دسامبر بود. با بررسی میانگین انحرافی خطای، نرم‌افزار SDSM دارای عملکرد بهتری نسبت به شبکه‌ی عصبی است. نرم‌افزار شبکه‌ی عصبی در فصل‌های بهار و پائیز خطای زیادی را نشان داد. همچنین، بیشترین خطا در نرم‌افزار SDSM در دسامبر مشاهده گردید، نرم‌افزار در این ماه، دارای ۵۸ میلی‌متر (۴۶ درصد) میانگین انحراف خطای کاهشی بود، اما میزان خطا در سایر ماه‌ها کمتر از ۳۰ میلی‌متر به دست آمد. نتایج بارش سالانه نیز در شکل (۳-ج)، نشان دادند که هر ۲ شبیه در شبیه‌سازی بارش سالانه، دارای عملکرد مناسبی بوده‌اند، به طوری که میزان خطای وزنی سالانه در نرم‌افزار SDSM برابر با ۷/۰۳ و در شبکه‌ی عصبی برابر با ۳/۲۳ درصد به دست آمد.

در ایستگاه قائم شهر، نتایج مشابه ایستگاه بابل‌سر به دست آمدند، ولی میزان خطای حاصل کمتر بود. بررسی میانگین انحراف خطای ماهانه در ایستگاه قائم شهر در نرم‌افزار SDSM دارای عملکرد بهتری است، و بیشترین خطا در دسامبر برابر با ۲۵ میلی‌متر کاهش، و در سایر ماه‌ها، کمتر از ۱۷ میلی‌متر کاهش حاصل شد، و شبکه‌ی عصبی مصنوعی در فصل‌های بهار و پائیز، خطای زیادی را نشان داد. خطای وزنی شبکه‌ی عصبی مصنوعی و SDSM به ترتیب برابر با ۶/۲۶ و ۱/۲۵ به دست آمدند. بررسی آزمون من ویتنی در سطح ۰/۹۵ درصد در جدول (۳)

توجهی در فصل پائیز در منطقه‌ی مورد مطالعه تأثیرگذار است، اما نرم‌افزارهای گردش عمومی جو- اقیانوس، شرایط محلی را در نظر نمی‌گیرند، و لذا، باید به این موضوع حتماً توجه شود (قرمز چشمه، ۱۳۹۲).



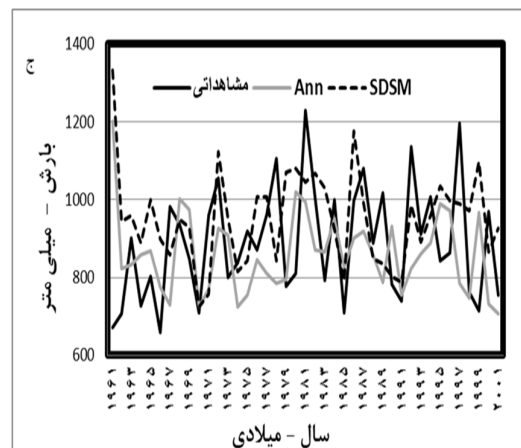
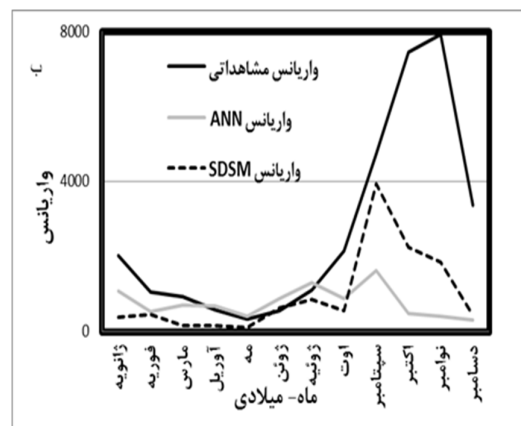
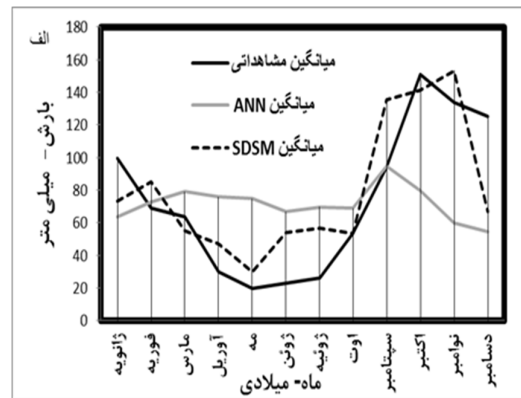
شکل ۲- الف، میانگین ماهانه بارش مشاهداتی و مدل‌های AOGCM، ب، میانگین ماهانه دما مشاهداتی و مدل‌های AOGCM (ایستگاه بابل‌سر).

موارد بالا نشان می‌دهند که نرم‌افزارهای AOGCM دارای عدم قطعیت بوده، و به خصوص این عدم قطعیت در بارش فصل پائیز منطقه‌ی مطالعاتی وجود دارد. عدم قطعیت در دما بسیار زیاد بوده و در همه‌ی ماه‌ها مشاهده می‌گردد. نرم‌افزارهای AOGCM به جز CSIRO دچار کم‌برآورد در نتایج تمام ماه‌ها شده‌اند.

۳-۲- بارش

با توجه به شکل (۳ الف)، مقایسه‌ی عملکرد میانگین نرم‌افزارهای آماری ریزمقیاس‌گردانی تحت نمایشنامه‌ی A2 نرم‌افزار HadCM3 در ایستگاه بابل‌سر در دوره‌ی آماری

در هر ۲ ایستگاه قائم شهر و بابلسر عملکرد نرم‌افزار SDSM و شبکه‌ی عصبی با هم برابر و تا حدودی عملکرد نرم‌افزار SDSM بهتر بوده است. بررسی میانگین دمای ماهانه‌ی مشاهداتی و برآوردی (شکل ۴) الف در ایستگاه بابلسر نشان داد که نرم‌افزار SDSM تا حدودی دارای عملکرد بهتری نسبت به شبکه‌ی عصبی مصنوعی بوده و نرم‌افزار شبکه‌ی عصبی در آوریل، مه، ژوئن، دسامبر، سپتامبر و نوامبر، و فصل تابستان، کم‌برآورد نموده است، مدل SDSM در زمستان و بهار و نوامبر برآورد کم را نشان داد. همچنین، بیش برآورد سایر ماه‌ها در هر ۲ نرم‌افزار دیده شد. بررسی واریانس‌ها در شکل (۴ب) نیز نشان داد که SDSM در همه ماه‌ها کم‌برآورد، و شبیه شبکه‌ی عصبی مصنوعی در همه‌ی ماه‌ها، به جز آوریل و مه و فصل پائیز، بیش‌برآورد نموده است، و در نتیجه هر ۲ نرم‌افزار در فصل‌های سرد سال به علت ناپایداری فرآیند جوی نمی‌توانند مقادیر حدی کم را اندازه‌گیری کنند؛ ولی به طور کلی، عملکرد نرم‌افزار ANN در فرایند حدی بهتر است. با توجه به بررسی میانگین سالانه‌ی وزنی شبکه‌ی عصبی مصنوعی، و SDSM در شکل (۴ج) به ترتیب برابر با ۰/۹۳ و ۰/۴۶ درصد کاهش (ایستگاه بابلسر) نسبت به دوره‌ی پایه حاصل شد. بیشترین خطا در SDSM مربوط به دسامبر برابر با ۱/۰۰۱ و در شبکه‌ی عصبی مصنوعی مربوط به اوت برابر با ۲/۲ درجه‌ی سانتی‌گراد به دست آمد. در ایستگاه قائم‌شهر، نرم‌افزار شبکه‌ی عصبی در ژانویه، فوریه، مارس، مه، ژوئن و دسامبر بیش‌برآورد، و SDSM در ژانویه، آوریل، ژوئیه، اوت، سپتامبر و نوامبر کم‌برآورد داشت. بررسی واریانس‌ها نیز حاکی از کم‌برآوردی SDSM در بیشتر ماه‌ها و بیش‌برآوردی شبکه‌ی عصبی در تعدادی از ماه‌ها، بود. با بررسی میانگین انحراف خطا میزان خطای نرم‌افزار بسیار پایین بود، ولی عملکرد SDSM بهتر است. بیشترین خطا در شبکه‌ی عصبی در مارس برابر با ۲/۸ درجه‌ی سانتی‌گراد و در SDSM در ماه آگوست برابر با ۲ درجه‌ی سانتی‌گراد حاصل شد.



شکل ۳- الف، مقایسه میانگین دو مدل. ب، واریانس دو مدل. ج، مقایسه سالانه دو مدل (ایستگاه بابلسر، بارش).

نشان از عملکرد بهتر نرم‌افزار SDSM نسبت به شبکه‌ی عصبی است.

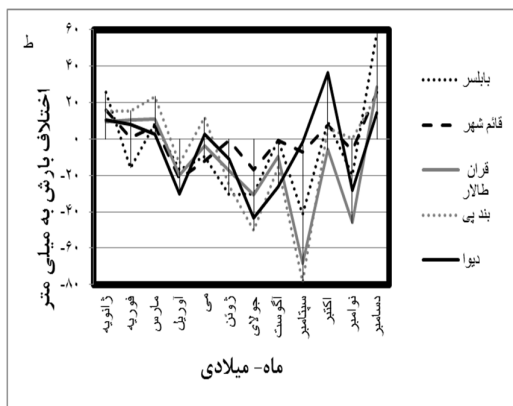
نرم‌افزار SDSM تا حدودی دارای عملکرد بهتری نسبت به نرم‌افزار شبکه‌ی عصبی مصنوعی بوده است.

۳-۵- عدم قطعیت

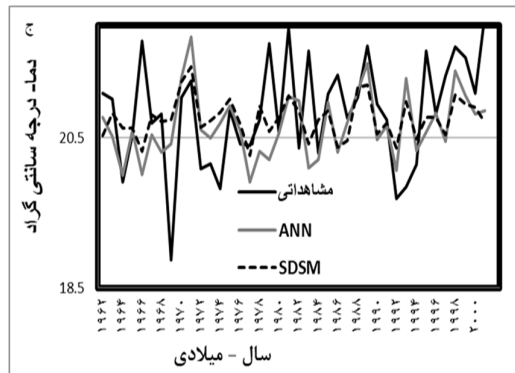
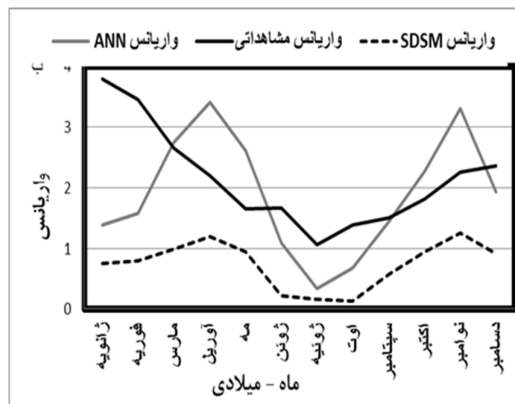
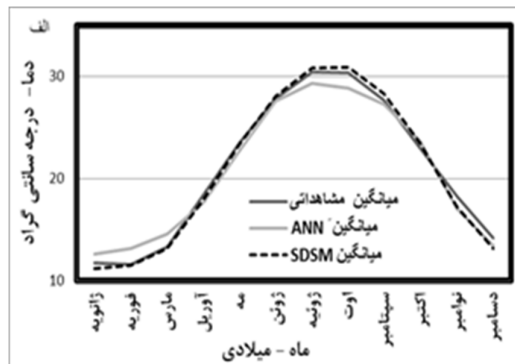
عدم قطعیت نرم‌افزار SDSM در برآورد بارش و دمای بیشینه در ۲ ایستگاه بابلسر و قائم شهر بهتر از شبکه‌ی عصبی مصنوعی می‌باشد. با توجه به نتایج میانگین مربعات خطای ماهانه در دوره‌ی ارزیابی ایستگاه‌ها در نمایشنامه A₂ که در جدول (۴) قابل مشاهده است، عملکرد SDSM در خصوص متغیر بارش بهتر از شبکه‌ی عصبی مصنوعی بوده، و در دمای بیشینه نیز، SDSM بهتر عمل نموده است. میزان میانگین مربعات خطا در SDSM برای فراسنج دمای کمینه در ایستگاه بابلسر فقط به اندازه کمی بیش از شبکه‌ی عصبی است. میانگین مربعات خطا هر دو نرم‌افزار در ایستگاه قائم‌شهر، تقریباً برابر به دست آمد. با بررسی خطا و عدم قطعیت، مشاهده شد که نرم‌افزار منتخب ریز مقیاس‌گردانی در منطقه‌ی پژوهش، که دارای شرایط متغیر می‌باشد، SDSM است.

۳-۶- سایر ایستگاه

با توجه به این نکته که SDSM به عنوان شبیه‌ساز منتخب منطقه معرفی گردیده است، ریز مقیاس‌گردانی برای سایر ایستگاه‌ها انجام شد. با بررسی شکل (۵) مشاهده شد که عملکرد ایستگاه سینوپتیک بهتر از ایستگاه‌های باران سنجی (وزارت نیرو) بوده است، و خطاهای فروانی در ریز مقیاس‌گردانی ایستگاه‌های باران سنجی وجود دارد، در نتیجه، عدم قطعیت ایستگاه‌های باران سنجی بیش از ایستگاه‌های وزارت نیرو است.



شکل ۵- میانگین خطای کل ایستگاه‌ها.



شکل ۴- الف، مقایسه‌ی میانگین دو شبیه‌ساز، ب، واریانس دو شبیه‌ساز، ج، مقایسه سالانه دو مدل (ایستگاه بابلسر، دما).

نتایج سالانه‌ی هر ۲ شبیه‌ساز نشان‌دهنده‌ی عملکرد خوب آن‌ها بود، به طوری که خطای وزنی به ترتیب در شبکه‌ی عصبی مصنوعی و SDSM برابر با ۰/۳۱ و ۰/۸۱ درصد کاهش نسبت به دوره‌ی پایه به دست آمد.

۳-۴- دمای کمینه

نتایج به دست آمده در دمای کمینه همانند دمای بیشینه بوده و عملکرد هر نرم‌افزار خوب برآورد گردید، و

جدول ۳- بررسی عدم قطعیت در نرم افزار SPSS.

نام مدل	SDSM	SDSM	ANN	ANN	SDSM	SDSM	ANN	ANN	SDSM	SDSM
نام ایستگاه	بابلسر	قائم شهر	بابلسر	قائم شهر	بابلسر	قائم شهر	بابلسر	قائم شهر	بابلسر	قائم شهر
نوع آزمون	من ویتنی بارش				T جفتی دمای بیشینه			T جفتی دما کمینه		
ماه	سطح معنی داری ۰/۹۵									
ژانویه	۰/۰۰۵	۰/۰۵۹	۰	۰/۰۵۱	۰/۱۱	۰/۲۷	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۴۴	۰
فوریه	۰/۰۱	۰/۶۷۳	۰/۶۶	۰/۱۴۳	۰/۸۹	۰/۱۴	۰	۰	۰/۳۸	۰
مارس	۰/۲۹۳	۰/۹۸۸	۰/۰۱	۰/۰۴۴	۰/۵۱	۰/۳۵	۰	۰	۰/۰۶	۰
آوریل	۰	۰/۰۰۱	۰	۰	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۰۴	۰/۶۴	۰	۰/۸
مه	۰	۰/۰۳۷	۰	۰	۰/۴۹	۰/۶۳	۰/۰۱	۰/۲۳	۰	۱
ژوئن	۰	۰/۱۱۱	۰	۰/۰۳۴	۰/۳۴	۰	۰/۲۹	۰	۰/۱۹	۰
ژوئیه	۰	۰/۰۰۶	۰	۰/۰۰۷	۰/۰۲	۰/۰۶	۰	۰/۰۴	۰/۷۷	۰/۴۱
اوت	۰/۲۸	۰/۵۸۵	۰/۰۱	۰/۱۷۱	۰/۰۱	۰	۰/۱۴	۰	۰/۳۹	۰/۳۱
سپتامبر	۰/۰۰۳	۰/۶۵	۰/۵۱	۰/۳۰۸	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۵	۰	۰/۹۷	۰
اکتبر	۰/۷۴۲	۰/۷۶۷	۰	۰	۰/۱۳	۰/۳۶	۰	۰/۲۶	۰/۷۸	۰/۶۵
نوامبر	۰/۰۳۴	۰/۴۰۶	۰	۰/۰۰۸	۰	۰/۰۸	۰	۰	۰	۰/۲۶
دسامبر	۰	۰/۰۰۹	۰	۰/۰۲۲	۰	۰/۶۶	۰/۰۴	۰/۸۶	۰/۰۱	۰/۰۱

جدول ۴- بررسی RMSE (دما بر حسب درجه سانتی گراد، بارش بر حسب میلی متر).

RMSE	نوع پارامتر	نام ایستگاه	نوع مدل
۷۵	بارش	بابلسر	ANN
۶۵	بارش	بابلسر	SDSM
۵۶	بارش	قائم شهر	ANN
۴۳	بارش	قائم شهر	SDSM
۴/۲	دمای بیشینه	بابلسر	ANN
۳	دمای بیشینه	بابلسر	SDSM
۲/۷	دمای بیشینه	قائم شهر	ANN
۲/۱	دمای بیشینه	قائم شهر	SDSM
۱/۶۹	دما کمینه	بابلسر	ANN
۱/۵	دما کمینه	بابلسر	SDSM
۱/۴	دما کمینه	قائم شهر	ANN
۱/۴	دما کمینه	قائم شهر	SDSM

۳-۷- در دوره‌ی آتی

ایستگاه‌های بابلسر، قائم‌شهر، بندپی و قرآن‌تالار دچار بیش‌برآورد، و در ایستگاه دیوا، دچار کم برآورد شد. همچنین همه‌ی ایستگاه‌ها در دسامبر، دچار کم‌برآورد شده‌اند. بیشترین افزایش بارش در دوره آتی در نوامبر یا

با توجه به نتایج به دست آمده در تمامی ایستگاه‌ها، بیشترین خطای بارش در دوره‌ی ارزیابی در فصل پاییز مربوط به سپتامبر، نوامبر و دسامبر به دست آمد. در

ماه‌هائی، که نرم‌افزار در دوره واسنجی و صحت‌سنجی دچار بیش برآورد و کم برآورد در نتایج بارش شده بود، این روند در دوره‌ی آتی نیز مشاهده شد. همچنین، بیشترین خطا در ماه و فصل‌های پر بارش به خصوص پائیز مشاهده شد و نرم‌افزار در دوره‌ی آتی در همین ماه‌ها خطا را نشان داد، در نتیجه، در دوره‌ی آتی باید به عدم قطعیت فصل پائیز توجه شود.

با توجه به نتایج ذکر شده در جدول (۶)، بررسی دماهایی بیشینه و کمینه‌ی هر دو ایستگاه نشان‌دهنده‌ی افزایش دما بود، لازم به ذکر است که افزایش در فصل‌های زمستان و بهار حائز اهمیت است، چه، باعث ذوب شدن سریعتر برف‌ها می‌شود. دما در هر ۲ نمایشنامه افزایش یافته است و به طور کلی، افزایش ۰/۳۴ تا ۰/۸۶ درجه سانتی‌گرادی در ۲ نمایشنامه در دوره‌ی آتی نسبت به میانگین دوره‌ی پایه به دست آمد.

سپتامبر، و یا هر دو مشاهده شد، و در دسامبر از میزان بارش کاسته شده است. به طور کلی، افزایش بارش در فصل پائیز در همه‌ی ایستگاه‌ها مشاهده شد، به غیر از ایستگاه دیوا که یک روند نزولی ۳ میلی‌متری را در نمایشنامه‌ی A₂ و ۰/۲ میلی‌متر را در نمایشنامه B₂ نشان داد. با بررسی خطاها و عدم قطعیت‌ها مشاهده شد که بارش در فصل پائیز ایستگاه دیوا نیز یک روند افزایشی دارد. بیشترین کاهش در فصل زمستان در همه‌ی ایستگاه‌ها در هر دو نمایشنامه مشاهده شد. همچنین، تغییرات فصل‌های تابستان و بهار مشابه بود، و در ۵ ایستگاه منطقه، افزایش بارش سالانه در دوره‌ی آتی، به غیر از ایستگاه قائم‌شهر و نمایشنامه B₂ دیوا مشاهده شد. در ایستگاه‌های بابلسر، قائم‌شهر و بندپی، روند نمایشنامه B₂ نسبت به A₂ افزایشی‌تر بوده و روند A₂ نسبت به B₂ نیز در ایستگاه‌های قرآن‌طالار و دیوا، افزایشی بوده است (جدول ۵).
به طور کلی، نتایج در دوره‌ی آتی نشان دادند که در

جدول ۵- روند تغییرات سالانه و فصلی بارش در دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ (در هر ۲ نمایشنامه. واحدهای جدول برحسب میلی‌متر).

بارش	مجموع سالانه	A ₂	B ₂	A ₂	A ₂	A ₂	A ₂	B ₂	B ₂	B ₂	B ₂
		در دوره آتی	در دوره آتی	زمستان	بهار	تابستان	پائیز	زمستان	بهار	تابستان	پائیز
بابلسر	۸۸۸	۸۸۸	۸۹۴	-۲۸	۲	۴/۶	۲۰	-۲۵	۱/۲	۲/۲	۲۳/۲۲
قائم‌شهر	۷۱۸	۷۰۵	۷۰۷	-۱۶/۵	۴/۸	۰/۷	۶/۸	-۱۵/۱۵	۴/۲	-۴	۱۱/۱۲
دیوا	۸۸۰	۸۸۷	۸۶۷	-۱۶	۴	۱۳/۷۲	-۳	-۱۴	۱	۸	-۰/۲
بندپی	۱۱۱۰	۱۱۱۳	۱۱۴۰	-۲۱	-۹	۱۳	۱۸/۶۵	-۱۹	-۱۰	۹/۷۴	۳۰
قرآن‌طالار	۱۰۶۸	۱۱۵۲	۱۱۳۹	-۳۰	۱/۷	۴/۶	۳۹	-۱۶	-۱/۵	-۳/۲۵	۴۲

جدول ۶- روند سالانه‌ی تغییرات دمای بیشینه و کمینه در دوره‌ی ۲۰۱۱-۲۰۴۰ نسبت به دوره‌ی مشاهداتی

دما (درجه‌ی سانتی‌گراد)	روند تغییرات	روند تغییرات	روند تغییرات
نام ایستگاه	میانگین سالانه	سالانه A ₂	B ₂ سالانه
دمای بیشینه بابلسر	۲۰/۸۹	۲۱/۳۶	۲۱/۳۵
دمای بیشینه قائم‌شهر	۲۱/۳۲	۲۱/۶۶	۲۱/۶۸
دمای کمینه بابلسر	۱۳/۱۶	۱۳/۵۳	۱۳/۵۵
دمای کمینه قائم‌شهر	۱۲/۳۵	۱۳/۱۵	۱۳/۲۱

نتیجه گیری و پیشنهادها

اهداف انجام تحقیق حاضر، بررسی تغییر اقلیم و انتخاب بهترین نرم‌افزار ریزمقیاس گردانی و ارزیابی عملکرد ایستگاه وزارت نیرو در فرایند مذکور نمودند. روش‌های به کار گرفته شده در این تحقیق عبارت بودند از: روش‌های ریزمقیاس گردانی آماری شامل الف- روش وابازی خطی (SDSM)، ب- وابازی غیرخطی (ANN) در محیط کاری متلب برای ریزمقیاس گردانی و شبیه‌سازی عناصر اقلیمی همچون، به منظور بررسی خطا، از معیارهای میانگین، واریانس، میانگین انحرافی خطا، خطای وزنی و برای بررسی عدم قطعیت، از آزمون‌های T جفتی و من- ویتنی استفاده شد، در نهایت، بهترین نرم‌افزار ریزمقیاس گردانی در منطقه انتخاب گردید.

در فرایند بارش و مقایسه‌ی هر دو نمایشنامه‌ی (شبکه‌ی عصبی و SDSM)، عملکرد نرم‌افزار SDSM، با توجه به میزان خطا، میانگین و واریانس و بررسی عدم قطعیت (به طوری که در مجموع، نرم‌افزار SDSM در دو ایستگاه در ۱۱ ماه، و شبکه‌ی عصبی در ۶ ماه، اختلاف معنی‌داری را در ماه و شبکه عصبی در ۶ ماه، اختلاف معنی‌داری در سطح ۰/۹۵ درصد میان میانگین داده را نشان داد) بهتر از شبکه‌ی عصبی مصنوعی در منطقه‌ی مطالعاتی است. بررسی نتایج سالانه نیز نشان داد که عملکرد نرم‌افزار ANN بهتر از SDSM است. به طور کلی، علت برتری نرم‌افزار ANN در نتایج به ساخت نرم‌افزار سالانه مربوط می‌شود، که در اینجا شبکه‌ی عصبی بهتر عمل نموده است. شبیه شبکه‌ی عصبی در ماه‌های کم‌بارش دچار بیش‌برآورد و در ماه‌های پر بارش دچار کم‌برآورد شده است که در نتایج سالانه یکدیگر را پوشش می‌دهند. عملکرد هر دو نرم‌افزار در دمای بیشینه و کمینه نیز بسیار خوب و رضایت‌بخش بوده است، ولی با بررسی خطا و عدم قطعیت، نرم‌افزار SDSM دارای عملکرد نسبتاً بهتری بود، و در شبیه‌سازی موفق‌تر عمل کرده است. میزان خطا در هر ۲ نرم‌افزار در فصول سرد سال افزایش یافته است، که می‌توان این روند را در واریانس مشاهده نمود. به طور کلی، می‌توان گفت که به علت آنکه شبیه شبکه‌ی عصبی مصنوعی (انحراف و الگوریتم) به صورت سالانه اجرا شده، در نهایت نتایج سالانه، نرم‌افزار بهتر از SDSM می‌باشد، در حالی که نرم‌افزار SDSM به صورت ماهانه اجرا و صحت‌سنجی و واسنجی شده است، در نهایت، عملکرد ماهانه‌ی

نرم‌افزار بهتر است. صمدی (۱۳۸۸) در زیر حوضه‌ی قره‌سو، عملکرد شبکه‌ی عصبی مصنوعی را نامطلوب دانست و بیان کرد که نرم‌افزار نمی‌تواند بارش و دما را به درستی ریزمقیاس کند. دیبایک و همکاران (۲۰۰۶) به مقایسه‌ی SDSM و شبکه‌ی عصبی پرداخته و بیان کردند که عملکرد نرم‌افزار شبکه‌ی عصبی در داده‌های روزانه، بهتر از SDSM است. قرمزچشمه (۱۳۹۳) در ۸ ایستگاه در اطراف دریاچه‌ی ارومیه، به مقایسه شبکه‌ی عصبی، SDSM و LARS-WG پرداخته، و عملکرد SDSM را بهتر از ANN، و ANN را بهتر از LARS-WG معرفی نموده است. همچنین، هاشمی (۲۰۰۹) عملکرد نرم‌افزار SDSM را بهتر از شبکه‌ی عصبی دانسته است.

در دوره‌ی آتی، در همه‌ی ایستگاه‌ها، به جز قائم‌شهر و نمایشنامه B₂ دیوا و A₂ بابلسر، در مابقی افزایش بارش، و همچنین کاهش بارش در فصل زمستان در همه ایستگاه‌ها در هر ۲ نمایشنامه گزارش شده است. ذکر این نکته الزامی است که بارش در دوره‌ی ارزیابی زمستان دچار کم‌برآورد در نتایج شده است، که نشان می‌دهد تغییرات محلی در این فصل تأثیرگذاراند، ولی به طور کلی، بارش در آینده در این فصل، روند کاهشی را دارد. بیش‌ترین افزایش هم در هر ۲ نمایشنامه در فصل پاییز، به غیر از ایستگاه دیوا که دارای روند کاهشی است، گزارش شده است. تغییرات در فصل بهار هم تقریباً شرایطی ثابت بوده و در بعضی از ایستگاه‌ها، افزایش و یا کاهش کم به دست آمد، در فصل تابستان، شرایط مشابه فصل بهار بود. همچنین، میزان بارش نمایشنامه B₂ در ایستگاه‌های بابلسر، قائم‌شهر و بندپی، به مقدار کمی نسبت به نمایشنامه A₂ افزایشی بوده است، و در ایستگاه‌های قرآن-طالار و دیوا، روند سناریوی A₂ افزایشی‌تر است. افزایش در دمای بیشینه و کمینه، در هر ۲ نمایشنامه مشاهده شده است، به طوری که افزایش ۰/۳۴ تا ۰/۸۶ درجه‌ی سانتی‌گراد در میانگین سالانه‌ی دما به دست آمد، و اندازه بارش دارای یک روند افزایشی ۶ تا ۷ درصدی در منطقه‌ی مطالعاتی است. افزایش بارش و دما به خصوص افزایش دما در فصل زمستان، باعث ذوب شدن سریع‌تر برف، در نتیجه افزایش رواناب فوریه، مارس و آوریل می‌شود. همچنین، افزایش بارش متوسط سالانه در دوره‌ی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ نشان می‌دهد که به دلیل امکان افزایش فرسایش و رسوب و سیلاب در دوره‌ی آتی، به ویژه در فصل پاییز لازم می

پایان‌نامه دکتری گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تبریز، ۱۹۲ ص.

۱۰) کمال، ع.، ۱۳۸۸. ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رواناب تحت تأثیر عدم قطعیت مدل‌های AOGCM-AP4 و روش‌های کوچک مقیاس کردن (مطالعه موردی حوضه قره‌سو)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشگاه تهران. ۹۵ ص.

۱۱) کمال، ع.، و مساح‌بوانی، ع. ۱۳۸۹. تأثیر تغییر و نوسانات اقلیمی بر رواناب حوضه با دخالت عدم قطعیت دو مدل هیدرولوژی، نشریه آب و خاک ۲۴ (۵): ۹۲۰-۹۳۱.

۱۲) کمال، ع.، و مساح‌بوانی، ع. ۱۳۹۰. ارزیابی عدم قطعیت مدل‌های AOGCM-AP4 و مدل‌های هیدرولوژی در تخمین دما و بارش و رواناب حوضه قره‌سو تحت تأثیر تغییر اقلیم. مجله پژوهش آب ایران ۵ (۹): ۳۹-۵۰.

۱۳) مساح‌بوانی، ع.، و مرید، س. ۱۳۸۴. اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه زاینده‌رود اصفهان، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۹ (۴): ۴۰-۴۷.

۱۴) مهدی‌زاده، ص.، مفتاح، م.، قاسمی، س. و مساعدی. آ. ۱۳۹۰. بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر میزان بارش در حوضه سد گلستان. مجله پژوهشی حفاظت آب و خاک. ۱۸ (۳): ۱۱۷-۱۳۱.

۱۵) واثقی، ر. ۱۳۸۹. بررسی تأثیر جمعی خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی جو- اقیانوس بر رواناب حوضه قره‌سو در دوره آتی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات، ص ۸-۲۵ و ۷۹-۸۲.

۱۶) هراتیان‌عرب، آ. ۱۳۸۸. ریزمقیاس‌گردانی آماری متغیرهای دما و بارش (مطالعه موردی شهر همدان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته جغرافیا طبیعی، دانشگاه رازی. ص ۲۰.

۱۷) یزدانی، م. ۱۳۹۰. بررسی تغییر اقلیم بر منابع آب (آب‌های سطحی) حوزه آبخیز زاینده‌رود، پایان‌نامه دکتری رشته جغرافیا طبیعی (گرایش اقلیم‌شناسی)، دانشگاه اصفهان. ص ۲۰.

18) Dibike, B.Y., and Coulibaly, P. 2006, Temporal neural network for downscaling variability extremes Neural Networks 19: 135-144.

19) Dibike, Y.B., Gachon, P., St-hilaire, A., Quarda, T.B. and NguYen. V. 2007. Uncertainty analysis of statistically downscaled temperature and precipitation régimes in Northern Canada. Theoretical and Applied Climatology 91: 149-170.

گردد که در مهندسی رودخانه و مدیریت منابع آب به خصوص مدیریت جامع در دوره آتی به این موضوع توجه گردد. پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات آینده از نرم‌افزار ASD و LARS- WG در ریز مقیاس گردانی ایستگاه وزارت نیرو استفاده شود.

منابع

- ۱) احمدی، م.، قاسمی، ه.، و قرمز چشمه ب. ۱۳۹۳. بررسی اثر تغییر اقلیم در دوره آتی تحت سناریو انتشار. دومین همایش ملی بیابان با رویکرد مناطق خشک و بیابانی. دانشگاه سمنان.
- ۲) بی‌همتا، ع.، و زارع چاهوکی. م. ع. ۱۳۸۷. اصول آمار در علوم منابع طبیعی، انتشارات دانشگاه تهران. ۲۹۸ ص.
- ۳) خلیلی‌اقدم، ن.، مساعدی، آ. و سلطانی، آ. ۱۳۸۸. بررسی تغییر اقلیم ارومیه طی ۵۰ سال گذشته، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک ۱۹ (۴): ۱۴۱-۱۵۱.
- ۴) خلیلی‌اقدم، ن.، مساعدی، آ.، سلطانی، آ. و کامکار، ب. ۱۳۹۰. ارزیابی توانایی مدل LARS_WG در پیش‌بینی برخی پارامترهای جوی سنندج، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک ۱۹ (۱۴): ۸۵-۹۶.
- ۵) دسترنج، ع. ۱۳۹۱. پیش‌بینی مقادیر بارش و دما با کاربرد مدل‌های گردش عمومی جو و شبیه‌سازی اقلیم (منطقه مورد مطالعه: استان‌های نیمه شمالی کشور)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشگاه تهران، ۱۲۰ ص.
- ۶) صمدی، ز. ۱۳۸۸. بررسی عدم قطعیت روش‌های کوچک مقیاس کردن آماری- رگرسیونی بر رواناب رودخانه (مطالعه موردی: حوضه قره‌سو)، پایان‌نامه دکتری منابع آب، دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات، ۲۱۶ ص.
- ۷) صمدی، س.ز.، مساح‌بوانی، ع.، و مهدوی، م. ۱۳۸۹. انتخاب متغیر پیش‌بینی کننده به منظور کوچک مقیاس کردن آماری داده‌های دما و بارندگی در حوضه آبخیز کرخه، پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، گرگان، ۲ الی ۳ اردیبهشت ماه، ص ۲۶۰-۲۷۱.
- ۸) فرج‌زاده، م. ۱۳۹۰. تحلیل اثرات تغییر اقلیم بر میزان آبدهی رودخانه (مطالعه موردی رودخانه شش‌پیر). مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیط ۲۴ (۱): ۱۸-۳۲.
- ۹) قرمزچشمه، ب.، ۱۳۹۳. ارزیابی عدم قطعیت ناشی از ریزمقیاس کردن مدل‌های AOGCM با تحلیل عناصر دما و بارش (مطالعه موردی: حوضه آبخیز دریاچه ارومیه)،

- 20) Dracup, J.A. and Vicuna., S. 2005. An overview of hydrology and water resources studies on climate change: the California experience. Proc. EWRI 2005: Impacts of Global Climate Change.
- 21) Hashemi, M.Z., Shamseldin., A.Y., and Melville. B.W. 2009. Comparison of SDSM and LARS-WG for simulation and downscaling of extreme precipitation events in a watershed. *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.* 25: 475-484.
- 22) Huang, J., Zhang, J., and Zhang, Z. 2011. Simulation of extreme precipitation indices in the Yangtze River Basin by using statistical Downscaling Method (SDSM), *Theor. Appl. Climatol.* 10.1007/s00704-011-0536-3.
- 23) IPCC-TGCIA. 2004. Guidelines for use of climate scenarios developed from statistical downscaling methods. IPCC draft 2004.
- 24) IPCC. 2007. Summary for policymakers, In: *Climate Change. IPCC draft.*
- 25) IPCC. 2001. *Climate Change 2001. The science of climate change. Contribution of working group I to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Eds. Houghton, J.T., Filho, L.G.M., Callander, B.A., Harris, N., Attenberg, A., and Maskell K., Cambridge University Press, Cambridge. 572 pp.
- 26) Wilby. R. L., Dawson, C.W., and Barrow, E. M. 2002. SDSM: A decision support tool for the assessment of regional climate change Impacts *Environmental and Modeling Software* 17: 145-157.
- 27) Wilby, R. L., and Dawson, C. 2007. SDSM 4.2. A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. User, Manual.
- 28) Wilby, R.L., and Dawson. C. 2013. Statistical downScaling model – decision Centric (SDSM-DC) Version 5. 1 supplementary note (USER GUIDE).

