



جغرافیا و روابط انسانی، تابستان ۱۳۹۹، دوره ۳، شماره ۱

ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات اقلیم در دهه‌های آینده با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی مدل‌های گردش عمومی جو (GCMs)

علی دسترنج^{*}، محمد رستمی خلج^۱

۱- بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۳۱

چکیده

مدل‌های گردش عمومی جو بر اساس سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای اقلیم آینده کره زمین را پیش‌بینی می‌کنند. دقت تفکیک زمانی این مدل‌ها مناسب می‌باشد ولی دقت تفکیک مکانی این مدل‌ها بسیار بزرگ می‌باشد که نتایج آنها نمی‌تواند در علومی مانند هیدرولوژی، منابع آب و حفاظت خاک استفاده شود، لذا ریزمقیاس‌گردانی داده‌های مدل گردش عمومی جو ضرورت پیدا می‌کند. این تحقیق به منظور پیش‌بینی مقادیر بارش و دما و تعیین اقلیم آینده با کاربرد مدل‌های گردش عمومی جو و شبیه‌سازی اقلیمی در دوره‌های ۲۰۷۰-۲۰۹۹ و ۲۰۴۹-۲۰۷۰ در ایستگاه‌های سینوپتیکی بابلسر، گرگان، رامسر، رشت، قزوین، تهران و زنجان انجام گردید. به منظور تهیه سناریوهای اقلیمی در آینده از خروجی‌های مدل گردش عمومی *HadCM3* تحت سناریوی انتشار *A2* و *B2* و روش ریزمقیاس‌نمایی آماری و به کارگیری مدل *SDSM* استفاده گردید و در ادامه با استفاده از روش دومارتن اقلیم آینده تعیین گردید. نتایج حاصل از پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی نشان داد شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی توسط مدل با دقت بالایی انجام گرفته است. در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه بارش در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ در مقایسه با دوره مشاهداتی ۱۹۷۹-۲۰۰۸ دارای یک روند افزایشی می‌باشد و در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ نسبت به دوره مشاهداتی (۱۹۷۹-۲۰۰۸) بارش افزایش یافته است ولی نسبت به دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ دارای یک روند کاهشی می‌باشد. درجه حرارت حداکثر، حداقل و میانگین در دوره‌های ۲۰۷۰-۲۰۹۹ و ۲۰۴۹-۲۰۷۰ نسبت به دوره مشاهداتی ۱۹۷۹-۲۰۰۸ افزایش خواهد یافت. نتایج حاصل از تعیین اقلیم به روش دومارتن نشان داد که اقلیم در ایستگاه‌های بابلسر، قزوین، رامسر و رشت نسبت به اقلیم مشاهداتی ۱۹۷۹-۲۰۰۸ در دوره‌های آتی تغییری نخواهد کرد. ولی در ایستگاه گرگان در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ تحت سناریو *A2* اقلیم از مدیترانه‌ای به نیمه خشک تغییر خواهد کرد. در ایستگاه تهران در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ تحت سناریو *A2* اقلیم از نیمه خشک به خشک تغییر خواهد کرد. در ایستگاه زنجان در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ تحت سناریو *A2* اقلیم از نیمه خشک به مدیترانه‌ای و در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ از اقلیم مدیترانه‌ای دوباره به اقلیم نیمه‌خشک تغییر خواهد کرد.

کلمات کلیدی: دومارتن، تغییر اقلیم، پیش‌بینی، مدل‌های گردش عمومی جو، *SDSM*

مقدمه

طی نیم قرن اخیر رشد صنایع، مصرف بیش از حد سوخت های فسیلی و در نتیجه افزایش انتشار گازهای جاذب گرما موجب ایجاد پدیده تغییر اقلیم در بسیاری از نقاط جهان شده است (نیک مهر و همکاران، ۱۳۹۹). بر اساس آخرین گزارش مجمع بین الدول تغییر اقلیم (IPCC)، میانگین درجه حرارت جهان تا سال ۲۰۶۰ بین ۰/۶ تا ۲/۵ درجه سلسیوس و تا پایان قرن حاضر ۱/۱ تا ۶/۴ درجه سلسیوس افزایش می یابد و دامنه این افزایش درجه حرارت در مقیاس منطقه ای بسیار زیاد خواهد بود (ادوی و همکاران، ۱۳۹۸). مقدار گرم شدن زمین طی صد سال آینده، بیش از آن چه طی ۱۰۰۰۰ سال گذشته رخ داده است، خواهد بود (Frias, 2012). بر اساس گزارش IPCC بین سال های ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰ تعداد روزها و شب های گرم افزایش و تعداد روز و شب های سرد کاهش سرد کاهش یافته است (Chu, 2010). در طول دهه گذشته بسیاری از مطالعات نشان دادند که در بسیاری از مناطق جهان درجه حرارت آستانه به علت تغییر اقلیم افزایش یافته است. به عنوان مثال می توان به موج گرمای تابستانه در اروپا و روسیه اشاره کرد (دوستی، ۱۳۹۲ و Harmsen, 2009). تغییر اقلیم پیامدهای سنگینی بر جوامع انسانی و محیط زیست دارد و همچنین دارای پیامدهای غیر قابل پیش بینی می باشد. بنابراین پیش بینی تغییرات اقلیم در آینده اطلاعات مهم و حیاتی را برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر جوامع انسانی و محیط زیست فراهم می کند (رضایی زمان و همکاران، ۱۳۹۲). معتبرترین ابزار جهت بررسی اثرات پدیده تغییر اقلیم بر سیستم های مختلف استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه سازی شده توسط مدل های جفت شده اتمسفر-اقیانوس گردش عمومی جو^۱ GCM می باشد (روشن و همکاران، ۱۳۹۲). در مطالعات ارزیابی تاثیر اقلیم در سطوح منطقه ای، یکی از مشکلات اصلی در استفاده از مدل های موجود، وسعت محدوده پیش بینی متغیرها در این مدل ها (۱۰۰-۵۰۰) است که با توجه به تغییرات توپوگرافی و اقلیم در این محدوده، نمی توان از نتایج به طور مستقیم در مقیاس ایستگاهی استفاده نمود. برای رفع این نقیصه، روش های مختلفی جهت تولید سناریوهای اقلیمی در مقیاس منطقه ای ایجاد شده اند که به آنها ریزمقیاس کردن (Down-Scaling) گفته می شود (IPCC, 2013). روش های مختلفی بدین منظور وجود دارد که روش های آماری از روش های مرسوم می باشد و نرم افزارهایی نیز بدین منظور توسعه یافته است که جمله آنها می توان مدل SDSM را نام برد (Mastrandrea, 2011). مبنای این مدل رگرسیون های چندمتغیره می باشد که بین متغیرهای پیش بینی کننده بزرگ مقیاس (متغیر مستقل) و متغیرهای پیش بینی شونده (متغیر وابسته) تعریف می گردد (Wilby, 2007). تاکنون از مدل SDSM در مطالعات زیادی استفاده شده است (Wang, Wilby, 2002) و (IPCC, 2013; ۲۰۱۲) Pervez (۲۰۱۴) با استفاده از خروجی سناریوی A1B و A2 مدل CGCM3.1 و ریزمقیاس نمایی آماری با استفاده از مدل SDSM نوسانات و مقادیر بارش را برای گنگز و براهماپوترا شبیه سازی

¹ - General Circulation Model

کردند و افزایش بارش را برای هر دو منطقه گزارش نمودند. (Rashid mahmood, ۲۰۱۳) در پاکستان با استفاده از خروجی سناریوی A2 و B2 و با استفاده از مدل SDSM دمای حداکثر و حداقل را شبیه‌سازی کردند. نتایج نشان داد که شدت و فرکانس درجه‌حرارت خیلی گرم افزایش و شدت و فرکانس درجه‌حرارت‌های خیلی سرد در آینده کاهش می‌یابد. (Wetterhall, ۲۰۰۵) در پژوهشی در کشور چین و سوئد، تغییرات بارش را با استفاده از خروجی‌های مدل گردش عمومی HARDAM3P, NCAR و خروجی‌های NCEP با توجه به روش‌های کوچک مقیاس-سازی آماری مورد بررسی قرار داد. بررسی‌ها نشان داد که همه مدل‌ها کاهش بارش پائیزی و کاهش تعداد روزهای بارانی تابستانی را پیش‌بینی می‌کنند. روش‌های PCA و TWS در کوچک مقیاس‌سازی هیچ برتری نسبت به هم ندارند ولی روش‌های MOFRBC و SDMS نسبت به روش AM بهتر عمل می‌کند.

. رضایی‌زمان و همکاران (۱۳۹۲) در تحقیقی با استفاده از داده‌های تغییر اقلیم از مدل HadCM3 (سناریوهای A2 و B2) تغییرات دما و بارش را در دوره‌های آتی در حوضه سیمینه رود بررسی کردند. جهت ریزمقیاس کردن داده‌ها از ترکیب مدل SDSM و روش TOPSIS استفاده شد. نتایج نشان داد که پدیده تغییر اقلیم تبعات منفی بر اقلیم حوزه دارد که باعث کاهش تا ۴۰ درصدی بارش ماهیانه و افزایش با ۲ درجه سلسیوسی دما می‌شود. آبکار و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی میزان کارایی مدل SDSM در شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی در مناطق خشک و نیمه خشک پرداختند. به منظور ارزیابی مدل از معیار میانگین خطای مطلق استفاده شد و با استفاده از دو مدل گردش عمومی CGCM1 و HadCM3 تحت دو سناریو A2 و B2 شاخص‌های دمایی (حداکثر، حداقل و متوسط دمای سالانه) تا سال ۲۱۰۰ شبیه‌سازی شد. نتایج حاصله از این تحقیق نشان داد، که مدل مذکور توانایی لازم جهت شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی را دارد. صمدی‌نقاب و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی با انتخاب ۴۱ ایستگاه در کل کشور خروجی مدل HadCM3 را تحت سناریوی A2 توسط مدل اقلیمی SDSM ریزمقیاس کردند. سپس با استفاده از روش‌های آماری و بدست آوردن ضرائب وزنی داده‌های ریزمقیاس شده و داده‌های پایه را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و واسنجی مناسبی از آنها ارائه گردد. نتایج بیا نگر آن است که بین مقادیر ریزمقیاس شده بارش، دمای کمینه و بیشینه و مقادیر واقعی آنها تفاوت معنا داری با خطای بحرانی ۰/۰۵ وجود ندارد.

در این مطالعه هدف شبیه‌سازی اقلیمی برای پارامترهای بارش، دمای حداکثر، حداقل و میانگین در دوره مشاهداتی ۲۰۰۸-۱۹۷۹ و دوره‌های آتی ۲۰۴۹-۲۰۲۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ می‌باشد که با استفاده از روش ریزمقیاس‌نمایی آماری و به کارگیری مدل SDSM و با استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 تحت سناریوی A2 و B2 انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دقت داده‌های شبیه‌سازی شده بستگی به کیفیت داده‌های هواشناسی ثبت شده دارد لذا برای شبیه‌سازی قابل قبول نیاز به داده‌های با کیفیت بالا می‌باشد (صمدی‌نقاب و همکاران، ۱۳۹۰). آمار هواشناسی روزانه از ایستگاه‌های قزوین، رامسر، رشت، تهران، زنجان، بابل و گرگان در فواصل سال‌های ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۸ (جدول ۱) از سازمان هواشناسی کشور جمع‌آوری شدند.

جدول ۱- موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

نام ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه - دقیقه)	عرض جغرافیایی (درجه - دقیقه)	ارتفاع (متر)	سال تاسیس
قزوین	۵۰° ۰۳'	۳۶° ۱۵'	۱۲۷۹/۲	۱۹۵۹
تهران	۵۱° ۱۹'	۳۵° ۴۱'	۱۱۹۰/۸	۱۹۵۱
زنجان	۴۸° ۲۹'	۳۶° ۴۱'	۱۶۶۳	۱۹۵۵
رشت	۴۹° ۳۹'	۳۷° ۱۲'	۳۶/۷	۱۹۵۶
رامسر	۵۰° ۴۰'	۳۶° ۵۴'	-۲۰	۱۹۵۵
بابل و رامسر	۵۲° ۳۹'	۳۶° ۴۳'	-۲۱	۱۹۵۱
گرگان	۵۴° ۱۶'	۳۶° ۵۱'	۱۳/۳	۱۹۵۲

مأخذ: سازمان هواشناسی کشور

معرفی مدل

در این پژوهش برای کوچک مقیاس‌سازی آماری از نرم افزار *SDSM4.2.9* (Wilby, 2007) برای بررسی تغییرات دما و بارش در منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. مدل کوچک مقیاس‌سازی *SDSM*^۱ از اولین ابزارهای کمکی برای ارزیابی تأثیرات تغییر اقلیم محلی می‌باشد، که توسط ویلبی و داوسون^۲ در سال ۲۰۰۱ انگلستان توسعه یافت. این مدل بر اساس داده‌های روزانه اقلیم محلی (دما، بارش) و داده‌های بزرگ مقیاس ناحیه ای *NCEP*^۳ تنظیم می‌شود و پس از آن با استفاده از متغیرهای بزرگ جوی ناشی شده از مدل‌های اقلیم جهانی آب و هوای روزانه محلی، برای دوره‌های پایه و آینده شبیه‌سازی می‌شوند. این مدل ترکیبی از مدل مولدهای آب و هوا و مدل رگرسیون است (Wilby, 2007). برای بررسی و ارزیابی تأثیرات تغییر اقلیم در آینده نیازمند یک دوره مرجع به

^۱ - Statistical Downscaling Model

^۲ - L. Wilby and W. Dawson

^۳ - National Center Environment Prediction

عنوان دوره پایه می باشیم. در این مدل ابتدا روابط بین پیش بینی کننده‌ها^۱ (خروجی مدل های گردش عمومی جو) و پیش بینی شونده‌ها^۲ (داده های تاریخی ایستگاه های هواشناسی) مورد بررسی و تحلیل قرار می گیرد و روابط تجربی بین آنها تعیین می شود و به کاربر اعلام می گردد.

روش کار

با توجه به معیار توصیه شده توسط سازمان جهانی هواشناسی (WMO) که حداقل باید یک دوره سی ساله به منزله دوره پایه در نظر گرفته شود (خام چین مقدم، ۱۳۸۸)، بنابراین در این تحقیق از آمار ایستگاه‌های سینوپتیک تهران، قزوین، زنجان، رشت، رامسر، بابل و گرگان استفاده شد که داده‌های مورد نیاز در یک دوره زمانی سی ساله را ثبت کرده‌اند. بدین منظور داده‌های دمای حداکثر، حداقل، میانگین و بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه در یک دوره ۳۰ ساله (۱۹۷۹-۲۰۰۸) استخراج شد. در این مطالعه با استفاده از داده های مدل گردش عمومی جو *HadCM3* تحت سناریوی *A2* و *B2* (جدول ۲) با استفاده از روش ریزمقیاس نمایی آماری و به کارگیری مدل *SDSM* شبیه سازی اقلیمی برای پارامترهای بارش، دمای حداکثر، حداقل و میانگین در دوره مشاهداتی ۱۹۷۹-۲۰۰۸ و دوره‌های آتی ۲۰۲۰ - ۲۰۴۹ و ۲۰۷۰ - ۲۰۹۹ انجام گرفت. تولید داده‌های *SDSM* به طور کلی در شش مرحله صورت می‌گیرد که عبارت‌اند از: ۱- کنترل کیفیت و تبدیل داده‌ها: تنها اندکی از ایستگاه‌های اقلیمی داده‌های کامل و صد درصدی دارند و در بسیاری از آنها بخشی از داده‌ها گم شده است. پیش از کار با داده‌ها می‌بایست این داده‌ها گم شده مورد بررسی قرار بگیرند، در مدل *SDSM*، بخش کنترل کیفیت این کار را برعهده دارد. ۲- انتخاب متغیرهای پیش‌کننده غالب: در این گام کاربر انواع متغیرهای پیش‌بینی کننده را به همراه یک متغیر پیش‌بینی شونده به مدل معرفی می‌کند، مدل با توجه به تنظیمات کاربر مثلاً استوکاستیک^۳ یا دترمینستیک^۴ بودن فرآیندها، شرطی یا غیرشرطی^۵ بودن فرآیندها، بررسی تورم اتورگرسیو^۶ و... روابط بین متغیرها را بررسی نموده و میزان همبستگی^۷ متغیر پیش‌بینی شونده را با تک تک متغیرهای پیش‌بینی کننده اعلام می‌کند، در پایان این مرحله کاربر با توجه به جداول و نمودارهای ارائه شده توسط مدل و تجربه خویش برخی از متغیرهای پیش‌بینی کننده را که با متغیر پیش‌بینی شونده همبستگی بیشتری دارند، انتخاب می‌کند و از آنها برای کالیبراسیون مدل استفاده خواهد کرد. ۳- کالیبراسیون مدل: مدل *SDSM*، از یک الگوریتم بهینه‌سازی خاص که نویسندگان مدل با توجه به سال‌ها تجربه در انجام عملیات کوچک مقیاس کردن و بررسی روش‌های مختلف کوچک مقیاس کردن آماری ارائه نموده‌اند، پیروی

¹ - Predictor

² - Predictand

³ - Stochastic

⁴ - Deterministic

⁵ - Conditional or unconditional

⁶ - autoregressive

⁷ - Correlation

می‌کند. در این مرحله کاربر متغیر پیش‌بینی شونده و متغیرهای متغیرهای پیش‌بینی کننده را به مدل معرفی و شرایط خاص مسئله مانند شرطی یا غیرشرطی بودن فرآیندهای اقلیمی، در نظر گرفتن تورم آتورگرسیو، انجام یا عدم انجام تحلیل چاو^۱ و بالاخره ماهانه، فصلی و یا سالانه بودن عملیات کالیبراسیون را برای مدل تعیین می‌کند. ۴- تولید داده‌های تاریخی و صحت سنجی مدل: در این مرحله مدل *SDSM* قادر است دسته‌هایی از سری‌های زمانی آب و هوای روزانه را برای متغیرهای پیش‌بینی کننده و مدل رگرسیونی کالیبره شده تولید کند. این بخش قادر به صحت-سنجی مدل کالیبره شده با تولید سری‌های زمانی مصنوعی و مقایسه آنها با سری‌های تاریخی می‌باشد. ۵- آنالیز داده‌ها: انواع آزمون‌ها و آماره‌های لازم توسط کاربر در بخش تنظیمات مشخص می‌شوند. آماره‌ها و آزمون‌هایی که در مدل می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد شامل میانگین، ماکزیمم، مینیمم، مجموع، واریانس، رخدادهای بزرگتر یا کمتر از مقدار حدی، خودهمبستگی، همبستگی، چولگی، روزهای تر و خشک و... می‌باشند. ۶- در این گام نرم‌افزار با کمک فایل مدل کالیبره شده و برای دوره تاریخی و آینده تعیین شده توسط کاربر و با توجه به تعداد دسته سری زمانی مورد نیاز کاربر، دسته‌های مختلف از سری‌های زمانی را برای آینده پیش‌بینی می‌کند. تولید سناریوهای اقلیمی آینده. بر این اساس برای اجرای مدل پس از پردازش و مرتب‌سازی داده‌ها، دوره ۳۰ ساله (۱۹۷۹-۲۰۰۸) به عنوان دوره پایه برای ورود به مدل انتخاب شد. بعد از کنترل کیفیت و تبدیل داده‌ها متغیرهای پیش‌بینی کننده غالب از بین متغیرهای *NCEP* انتخاب گردید. سپس با معرفی متغیرهای پیش‌بینی کننده و پیش-بینی شونده به مدل، کالیبراسیون مدل انجام گرفت. پس از واسنجی و صحت سنجی مدل، پارامترهای اقلیمی با استفاده از مدل های گردش عمومی (*HadCM3*)، (سناریوهای *A2* و *B2*) برای دوره های سی ساله ۲۰۰۸-۱۹۷۹، ۲۰۲۰-۲۰۴۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ پیش بینی و با دوره سی ساله مشاهداتی ۲۰۰۸-۱۹۷۹ مقایسه گردیدند. در نهایت با استفاده از روش دومارتن اقلیم منطقه در دوره مشاهداتی و آینده تعیین گردید.

جدول ۲ - سناریوهای *A2* و *B2* مورد نظر *IPCC* برای آینده

سناریو	مشخصات
<i>A2</i>	ناهمگونی در دنیا زیاد، رشد جمعیت زیاد، رشد اقتصادی به صورت منطقه‌ای، توسعه و تغییرات فن‌آوری به صورت منطقه‌ای (و نه جهانی)
<i>B2</i>	رشد جمعیت و رشد اقتصادی متوسط، رشد فن‌آوری از سناریوی <i>A1</i> و <i>B1</i> کمتر است. تأکید به دستیابی به راه‌حل‌های محلی در مورد مسائل زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی.

^۱ - Chaw Test

نتایج

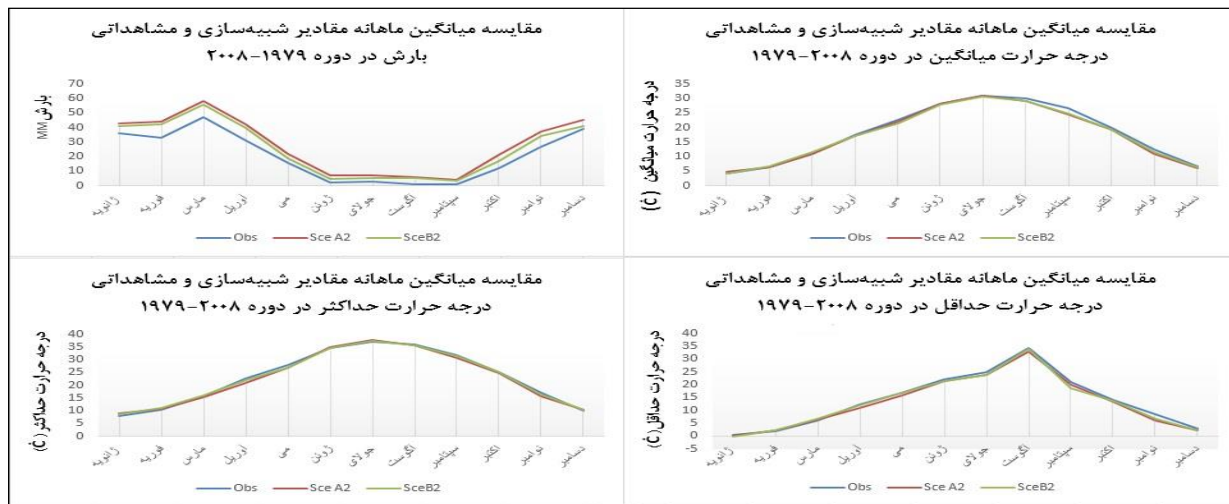
ارزیابی مدل

ارزیابی مدل و اطمینان از صحت آن از طریق مقایسه بین داده‌های مشاهداتی با داده‌های تولید شده توسط مدل در دوره پایه (۲۰۰۸ - ۱۹۷۹) انجام گرفت. برای این منظور، ابتدا مدل برای دوره پایه اجرا گردید، سپس عملکرد مدل در پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی ارزیابی شد. بدلیل زیاد بودن جداول و شکل‌های مربوط به ارزیابی مدل در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی در اینجا فقط نتایج مربوط به ایستگاه تهران آورده شده است. جدول (۳ و ۴) و شکل (۱) مقایسه میانگین ماهانه مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی را در دوره ۱۹۷۹-۲۰۰۸ برای بارش، درجه حرارت میانگین، حداکثر و حداقل را تحت سناریو A2 و B2 نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول (۳ و ۴) و شکل (۱) مشاهده می‌شود مقادیر پارامترهای اقلیمی با دقت خوبی مدله شده‌اند و داده‌های پیش‌بینی شده تطابق بالایی با داده‌های مشاهداتی دارند. به خصوص برای درجه حرارت میانگین، حداکثر و حداقل که داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل تحت سناریو A2 و B2 بسیار به مقادیر داده‌های مشاهداتی نزدیک بوده و دارای اختلاف بسیار نامحسوسی می‌باشند. داده‌های بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل نسبت به داده‌های درجه حرارت شبیه‌سازی شده توسط مدل در مقایسه با داده‌های مشاهداتی در سطح ایستگاه دارای اختلاف بیشتری می‌باشند. یعنی مدل درجه-حرارت را نسبت به بارش بهتر شبیه‌سازی کرده است.

جدول ۳-: ارزیابی صحت‌سنجی مدل در پیش‌بینی پارامترهای بارندگی، درجه حرارت حداکثر، حداقل و میانگین

برای ایستگاه تهران در دوره مشاهداتی ۱۹۷۹-۲۰۰۸

شاخص	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
بارندگی	Obs	۳۶	۳۳	۴۷	۳۱	۱۵/۵	۲/۳	۱	۱	۱۲	۲۷	۳۹
	SceA2	۴۳	۴۴	۵۸	۴۲	۲۲	۷	۶	۴	۲۱	۳۷	۴۵
	SceB2	۴۱	۴۲	۵۶	۴۰	۱۹	۴/۵	۵/۵	۵/۲	۳/۱	۱۷	۴۱
دمای حداکثر	Obs	۸	۱۰/۵	۱۵/۵	۲۲/۸	۲۸	۳۴/۵	۳۷	۳۶	۳۲	۲۵	۱۷
	SceA2	۹	۱۰/۹	۱۵/۴	۲۱	۲۷	۳۵	۳۷/۹	۳۸/۸	۳۰/۷	۲۴/۸	۱۵/۸
	SceB2	۸/۵	۱۱/۱	۱۶/۱	۲۲	۲۶/۹	۳۴/۸	۳۷/۵	۳۵/۸	۳۱/۴	۲۵/۱	۱۶/۲
دمای حداقل	Obs	۰/۴	۲	۶/۲	۱۲/۵	۱۷	۲۲	۲۵	۳۴/۵	۲۱	۱۴	۸/۵
	SceA2	۰/۳	۲/۴	۶/۳	۱۱	۱۶	۲۱/۶	۲۳/۹	۳۳	۲۰/۲	۱۳/۴	۶/۲
	SceB2	-۰/۱	۲/۳	۶/۸	۱۲	۱۷	۲۱/۳	۲۳/۸	۳۴	۱۸/۶	۱۳/۶	۶/۶
میانگین	Obs	۴/۲	۶/۲	۱۱	۱۷/۵	۲۲/۵	۲۸/۲	۳۱	۳۰	۲۶/۵	۲۰	۱۲/۵
	SceA2	۴/۷	۶/۴	۱۱	۱۷	۲۲	۲۸/۳	۳۰/۸	۲۹	۲۴/۴	۱۹/۱	۱۱
	SceB2	۴/۱	۶/۵	۱۱/۵	۱۷	۲۱/۵	۲۸	۳۰/۶	۲۹	۲۴/۹	۱۹/۳	۱۱/۴



شکل (۱): ارزیابی صحت‌سنجی مدل در پیش‌بینی پارامترهای بارندگی، درجه حرارت حداکثر، حداقل و میانگین برای ایستگاه تهران در دوره مشاهداتی ۱۹۷۹-۲۰۰۸

جدول ۴- مقایسه مقادیر شاخص‌های ارزیابی برای صحت‌سنجی ایستگاه تهران و رشت

صحت‌سنجی			ایستگاه
شاخص	R^2	RMSE	
بارش	۰/۶۵	۶/۵۴	تهران
درجه حرارت حداکثر	۰/۹۰	۰/۸۲	
درجه حرارت حداقل	۰/۹۱۰	۰/۸۷	
درجه حرارت میانگین	۰/۹۱	۱/۱	

بررسی اقلیم دوره‌های آینده

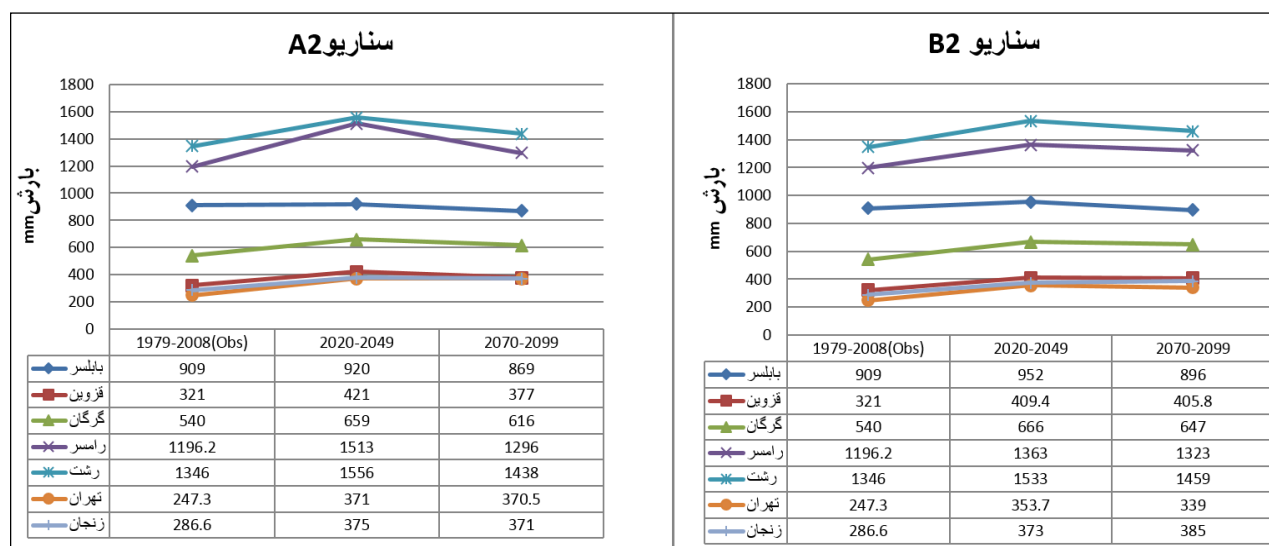
برای پیش‌بینی شرایط آینده، از سناریوهای فرضیه‌ای یا مدل‌های گردش عمومی جو استفاده می‌شود. سناریوهای فرضیه‌ای تغییرات اقلیم، محدوده تغییرات ممکن برای قرن بیست و یکم را شامل می‌شوند و استفاده از این سناریوها بیشتر در مطالعات قدیم، مرسوم بوده است (Ashiq, 2010). مزیت استفاده از سناریوهای فرضیه‌ای، سادگی آنها

¹ - General Circulation Models (GCMs)

می‌باشد. اما امروزه در بیشتر تحقیقات از داده‌های مدل‌های گردش عمومی جو که معمولاً با سناریوهای پخش تعریف شده و توسط هیئت بین دول تغییر اقلیم اجرا شده‌اند، استفاده می‌شود. یکی از مشکلات عمده در استفاده از خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی جو (*GCM*)، بزرگ مقیاس بودن سلول‌های محاسباتی آنها به لحاظ مکانی نسبت به منطقه مورد مطالعه می‌باشد. روش‌های مختلفی جهت تولید سناریوهای اقلیمی منطقه‌ای از سناریوهای اقلیمی مدل‌های *GCM* وجود دارد که به این روش‌ها، کوچک مقیاس کردن گفته می‌شود. (*Xu*, ۱۹۹۹). در این مطالعه پس از واسنجی و صحت‌سنجی مدل، پارامترهای اقلیمی با استفاده از مدل‌های گردش عمومی (*HadCM3*)، (سناریوهای *A2* و *B2*) برای دوره‌های سی‌ساله ۱۹۷۹-۲۰۰۸، ۲۰۰۸-۲۰۲۰ و ۲۰۲۰-۲۰۹۹-۲۰۷۰ پیش‌بینی و با دوره سی‌ساله مشاهداتی ۱۹۷۹-۲۰۰۸ مقایسه گردیدند.

بارش: شکل (۲) نتایج پیش‌بینی شده برای میانگین بارش سالانه در دوره‌های ۲۰۷۰-۲۰۹۹ و ۲۰۲۰-۲۰۴۹ و ۲۰۲۰-۲۰۴۹ تحت سناریوهای *A2* و *B2* و دوره مشاهداتی ۱۹۷۹-۲۰۰۸ را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل (۲) ملاحظه می‌شود بارش سالانه در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه نسبت به دوره مشاهداتی ۱۹۷۹-۲۰۰۸ افزایش خواهد یافت (سناریو *A2* و *B2*). در این دوره بیش‌ترین افزایش بارش برآوردی نسبت به دوره مشاهداتی در ایستگاه رامسر به میزان ۳۱۷ میلی‌متر تحت سناریو *A2* و ایستگاه رشت به میزان ۱۸۷ میلی‌متر تحت سناریو *B2* می‌باشد و کم‌ترین افزایش مربوط به ایستگاه بابل‌سر به میزان ۱۱ میلی‌متر تحت سناریو *A2* و ۴۳ میلی‌متر تحت سناریو *B2* می‌باشد. در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ در همه ایستگاه‌ها به جز ایستگاه بابل‌سر بارش سالیانه نسبت به دوره مشاهداتی ۱۹۷۹-۲۰۰۸ افزایش خواهد یافت (سناریو *A2* و *B2*). در ایستگاه بابل‌سر میانگین بارش سالانه به میزان ۴۰ و ۱۳ میلی‌متر تحت سناریو *A2* و *B2* نسبت به دوره مشاهداتی کاهش خواهد یافت. در این دوره بیش‌ترین افزایش بارش سالانه نسبت به دوره مشاهداتی مربوط به ایستگاه تهران به میزان ۱۲۳ میلی‌متر (سناریو *A2*) و ایستگاه رامسر ۱۲۷ میلی‌متر (سناریو *B2*) می‌باشد. همان‌گونه که در شکل ملاحظه می‌شود میانگین بارش سالانه از دوره مشاهداتی ۱۹۷۹-۲۰۰۸ تا دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ دارای روند افزایشی می‌باشد ولی از دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ تا دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ روند کاهشی می‌باشد.

^۱ - Downscaling



شکل (۲): روند کلی تغییرات بارش در ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره‌های ۲۰۷۰-۲۰۹۹ و ۲۰۲۰-۲۰۴۹ (سناریو

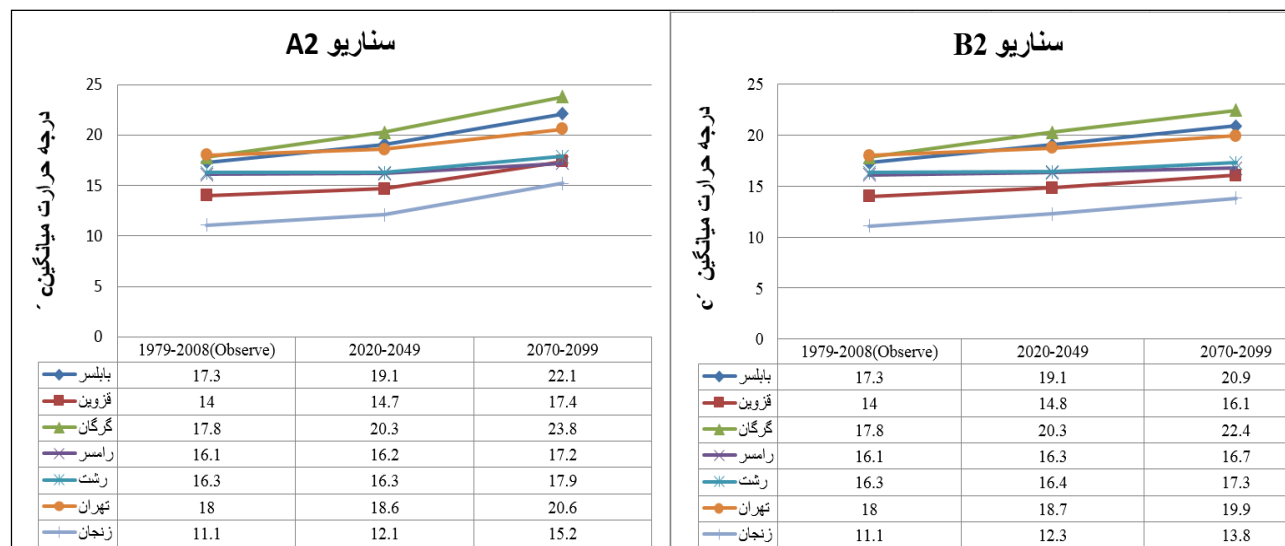
A2 و B2)

که این نتایج با مطالعات Wetterhall (۲۰۰۵)، Harmsen (۲۰۰۹)، Lhomme (۲۰۰۹) و بابائیان و همکاران (۱۳۸۸) مطابقت دارد.

درجه حرارت میانگین:

شکل (۳) نتایج پیش‌بینی شده برای درجه حرارت میانگین سالانه در دوره‌های ۲۰۷۰-۲۰۹۹ و ۲۰۲۰-۲۰۴۹ و دوره مشاهداتی ۱۹۷۹-۲۰۰۸ را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل (۳) ملاحظه می‌شود درجه حرارت میانگین در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ در تمام ایستگاه‌ها افزایش خواهد یافت (سناریو A2). در این دوره بیش‌ترین افزایش درجه-حرارت میانگین در ایستگاه قزوین به میزان ۲/۷ درجه سانتی‌گراد تحت سناریو A2 و ۲/۸ درجه سانتی‌گراد تحت سناریو B2 خواهد بود و کم‌ترین افزایش دما در ایستگاه‌های رامسر و رشت به میزان ۰/۱ درجه سانتی‌گراد تحت سناریو B2 می‌باشد، در این دو ایستگاه (رامسر و رشت) تحت سناریو A2 دما ثابت می‌باشد و افزایشی نخواهد داشت. در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ نسبت به دوره مشاهداتی ۱۹۷۹-۲۰۰۸ دما در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه افزایش خواهد یافت (سناریو A2 و B2). در این دوره بیش‌ترین افزایش دمای میانگین سالانه در ایستگاه گرگان به میزان ۶ درجه سانتی‌گراد تحت سناریو A2 و ۴/۶ درجه سانتی‌گراد تحت سناریو B2 مشاهده خواهد شد. کم‌ترین افزایش دمای میانگین سالانه در ایستگاه رامسر به میزان ۱/۱ درجه سانتی‌گراد تحت سناریو A2 و ۰/۵ درجه سانتی‌گراد تحت سناریو B2 خواهد بود. درجه حرارت میانگین سالانه در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ نسبت به دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ افزایش یافته است. یعنی روند افزایش درجه حرارت میانگین در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ نسبت به دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹

در مقایسه با دمای میانگین دوره مشاهداتی ۱۹۷۹-۲۰۰۸ بیشتر خواهد بود.



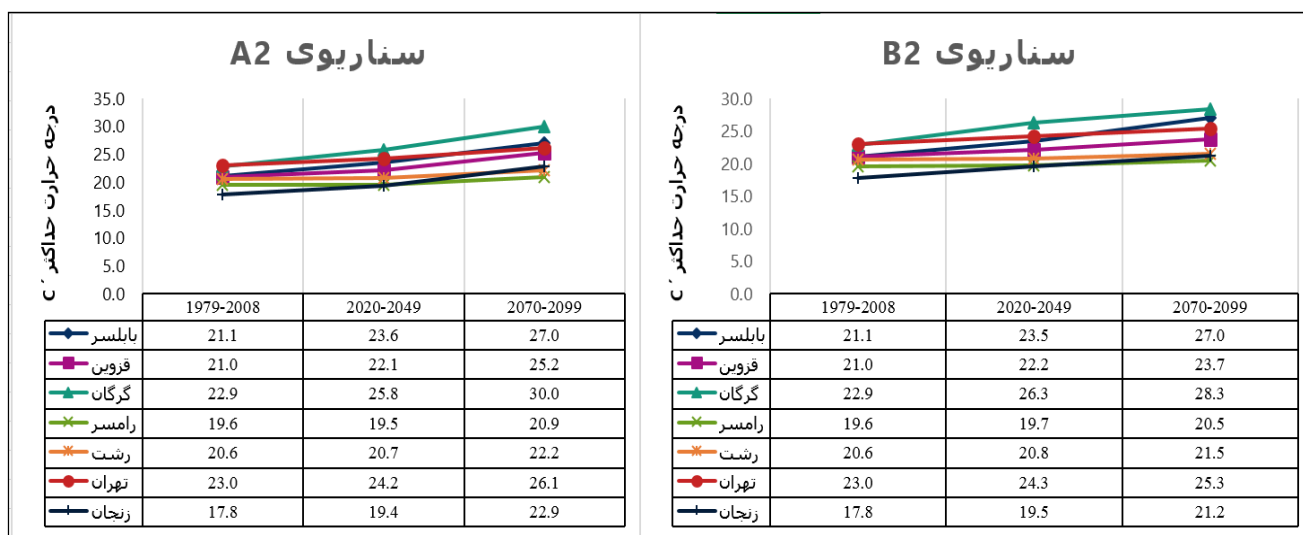
شکل (۳): روند کلی تغییرات درجه حرارت میانگین در ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره‌های ۲۰۷۰-۲۰۹۹ و ۲۰۷۰-۲۰۴۹-۲۰۲۰ (سناریو A2 و B2)

که این نتایج با مطالعات *Yano (۲۰۰۷)*، *Ozkul (۲۰۰۹)*، *Sultana (۲۰۰۹)*، *Lhomme (۲۰۰۹)*، همخوانی دارد. افزایش دما می‌تواند باعث طولانی شدن و زود فرا رسیدن فصل رشد و نمو گیاهان شده و همچنین بر منابع آبی از طریق تشدید تبخیر اثر گذاشته و از کم و کیف منابع آبی خواهد کاست. با افزایش دما از میزان بارش‌های جامد نیز کاسته خواهد شد و با ذوب برف‌ها و یخ‌ها در منطق کوهستانی و مرتفع و افزایش بارش‌های همرفتی، پتانسیل رخداد سیلاب افزایش خواهد یافت.

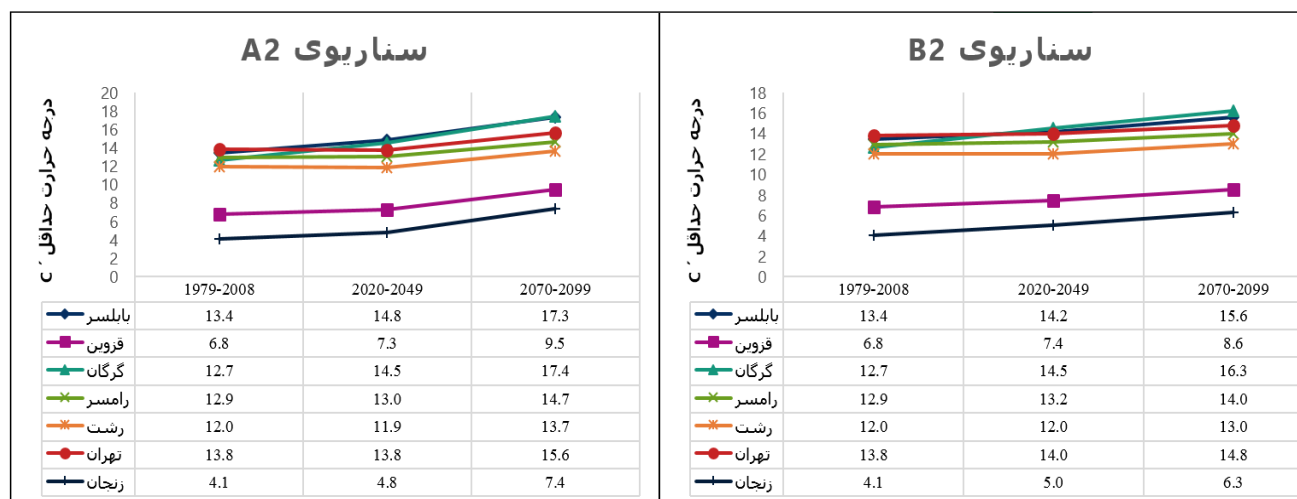
درجه حرارت حداکثر و حداقل:

شکل (۴) و (۵) روند تغییرات کلی درجه حرارت حداکثر و حداقل پیش‌بینی شده را برای ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره‌های ۲۰۷۰-۲۰۹۹ و ۲۰۷۰-۲۰۴۹ و ۲۰۲۰-۲۰۴۹ تحت سناریوی A2 و B2 را نشان می‌دهند. همانطور که ملاحظه می‌شود در هر دو دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ و ۲۰۷۰-۲۰۴۹ و ۲۰۲۰-۲۰۴۹ درجه حرارت حداکثر و حداقل نسبت به دوره مشاهداتی ۱۹۷۹-۲۰۰۸ تحت هر سناریوی A2 و B2 در همه ایستگاه‌ها افزایش خواهد یافت به جز ایستگاه رامسر در دوره ۲۰۴۹-۲۰۲۰. دمای حداکثر به میزان ۰/۱ درجه سانتی‌گراد و در ایستگاه رشت درجه حرارت حداقل به میزان ۰/۱ درجه سانتی‌گراد تحت سناریوی A2 کاهش خواهد یافت. در دوره ۲۰۴۹-۲۰۲۰ بیشترین افزایش دمای حداکثر در ایستگاه گرگان ۳/۹ درجه سانتی‌گراد تحت سناریو A2 و ۳/۴ درجه تحت سناریو B2 خواهد بود. در این دوره

بیشترین افزایش درجه حرارت حداقل در ایستگاه گرگان $1/8$ درجه سانتی گراد تحت هر دو سناریوی $A2$ و $B2$ خواهد بود. در دوره $2070-2099$ بیشترین افزایش درجه حرارت حداکثر همانند دوره $2020-2049$ و $2020-2049$ مربوط به ایستگاه گرگان برابر با $7/1$ درجه سانتی گراد تحت سناریو $A2$ و $5/4$ درج سانتی گراد تحت سناریوی $B2$ خواهد بود. و بیشترین افزایش درجه حرارت حداقل $4/7$ درج سانتی گراد تحت سناریو $A2$ و $2/6$ درجه تحت سناریو $B2$ خواهد بود. درجه حرارت حداکثر و حداقل در دوره $2070-2099$ نسبت به دوره $2020-2049$ نیز افزایش خواهد یافت.



شکل (۴): روند کلی تغییرات درجه حرارت حداکثر در ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره‌های $2070-2099$ و $2020-2049$ (سناریو $A2$ و $B2$)



شکل (۵): روند کلی تغییرات درجه حرارت حداقل در ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره‌های $2070-2099$ و $2020-2049$ (سناریو $A2$ و $B2$)

تعیین اقلیم آینده با استفاده از روش دومارتن

روش‌های زیادی برای تعیین اقلیم وجود دارد، روش دومارتن ساده‌ترین و مرسوم‌ترین آن‌ها است که در اغلب پروژه‌های اقلیم‌شناسی، به‌ویژه در سدسازی، کشاورزی و غیره استفاده می‌شود. نتایج حاصل از تعیین اقلیم با روش دومارتن در جدول (۵) آمده است. همان‌طور که در جدول (۵) ملاحظه می‌شود در ایستگاه‌های بابلسر، قزوین، رامسر و رشت اقلیم در دوره‌های آینده هیچ تغییری نمی‌کند ولی در ایستگاه‌های گرگان، تهران و زنجان اقلیم در دوره‌های آینده تغییر می‌کند. در ایستگاه گرگان در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ تحت سناریو A2 اقلیم از مدیترانه‌ای به نیمه‌خشک تغییر می‌کند ولی در سناریو B2 تغییری نمی‌کند. در ایستگاه تهران در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ تحت سناریو A2 اقلیم از خشک به نیمه‌خشک تبدیل خواهد شد. در ایستگاه زنجان در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ تحت سناریو A2 اقلیم از نیمه‌خشک به مدیترانه‌ای و در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ (سناریو A2) دوباره به نیمه‌خشک تغییر خواهد کرد.

جدول (۵): نتایج حاصل از تعیین اقلیم با روش دومارتن

شهر	اقلیم ۱۹۷۹-۲۰۰۸		اقلیم ۲۰۲۰-۲۰۴۹				اقلیم ۲۰۷۰-۲۰۹۹			
			A ₂		B ₂		A ₂		B ₂	
	ضریب خشکی	اقلیم	ضریب خشکی	اقلیم	ضریب خشکی	اقلیم	ضریب خشکی	اقلیم	ضریب خشکی	اقلیم
بابلسر	۳۳/۳	مرطوب	۳۱/۸	مرطوب	۳۲/۴	مرطوب	۲۸	مرطوب	۲۹/۱	مرطوب
قزوین	۱۳/۵	نیمه‌خشک	۱۷/۱	نیمه‌خشک	۱۶/۷	نیمه‌خشک	۱۳/۸	نیمه‌خشک	۱۵/۴	نیمه‌خشک
گرگان	۳۰/۲	مدیترانه‌ای	۲۱/۹	مدیترانه‌ای	۲۲/۲	مدیترانه‌ای	۱۸/۳	نیمه‌خشک	۲۰/۱	مدیترانه‌ای
رامسر	۴۴/۶	بسیار مرطوب	۶۷	بسیار مرطوب	۶۷/۵	بسیار مرطوب	۶۱/۳	بسیار مرطوب	۶۴	بسیار مرطوب
رشت	۵۱/۲	بسیار مرطوب	۷۰	بسیار مرطوب	۷۰/۴	بسیار مرطوب	۶۲	بسیار مرطوب	۶۵	بسیار مرطوب
تهران	۸/۸	خشک	۱۲/۳	نیمه‌خشک	۱۲/۴	نیمه‌خشک	۱۰/۳	نیمه‌خشک	۱۱/۳	نیمه‌خشک
زنجان	۱۳/۶	نیمه‌خشک	۲۰	مدیترانه‌ای	۲۰/۶	مدیترانه‌ای	۱۶/۵	نیمه‌خشک	۱۸/۶	نیمه‌خشک

بحث و نتیجه‌گیری

برای انجام این تحقیق از داده‌های ایستگاهی سینوپتیکی روزانه بارش و درجه حرارت حداکثر، حداقل و میانگین استفاده شد. از این پارامترها بارش غیر شرطی و بقیه شرطی محسوب می‌شوند که نتایج بدست آمده برای داده‌های شرطی نتایج قابل قبول‌تری را نشان دادند که با نتایج دیگر محققین همخوانی دارد. (۲۰۰۲) Wilby با استفاده از

پارامترهای مولد هواشناسی شرطی^۱، کوچک مقیاس کردن متغیر بارش فصلی را در انگلستان مورد بررسی قرار دادند. آنها در تحقیق خود از متغیرهای پیش‌بینی کننده سینوپتیکی برای کوچک مقیاس کردن متغیرهای حداکثر و حداقل فراوانی بارش روزانه در منطقه بریتیش ایسلز^۲ استفاده نمودند. نتایج بررسی آنها نشان داد که مدل‌های شرطی برای پیش‌بینی وقایع بارش ماهانه نتایج قابل قبولی را ارائه می‌دهند.

در این مطالعه با استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی جو *HadCM3* تحت سناریوی *A2* و *B2* با استفاده از روش ریزمقیاس نمایی آماری و به کارگیری مدل *SDSM* شبیه سازی اقلیمی برای پارامترهای بارش، دمای حداکثر، حداقل و میانگین در دوره مشاهداتی ۲۰۰۸-۱۹۷۹ و دوره‌های آتی ۲۰۴۹-۲۰۲۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ انجام گرفت. پس از واسنجی و صحت‌سنجی مدل، پارامترهای اقلیمی با استفاده از مدل‌های گردش عمومی (*HadCM3*)، (سناریوهای *A2* و *B2*) برای دوره‌های سی ساله ۲۰۴۹-۲۰۲۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ پیش‌بینی و با دوره سی ساله مشاهداتی ۲۰۰۸-۱۹۷۹ مقایسه گردیدند. نتایج نشان می‌دهد که در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه بارش در دوره ۲۰۴۹-۲۰۲۰ نسبت به دوره مشاهداتی ۲۰۰۸-۱۹۷۹ تحت سناریوی *A2* و *B2* دارای یک روند افزایشی خواهد بود. همچنین بارش در دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ در همه ایستگاه‌ها به جز بابلسر نسبت به دوره مشاهداتی ۲۰۰۸-۱۹۷۹ به طور کلی افزایش یافته است ولی نسبت به دوره ۲۰۴۹-۲۰۲۰ دارای یک روند کاهشی می‌باشد. یعنی بارش در دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ نسبت به دوره ۲۰۴۹-۲۰۲۰ کاهش یافته است. همچنین نتایج نشان داد درجه حرارت میانگین، حداکثر و حداقل در ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره‌های ۲۰۹۹-۲۰۷۰ و ۲۰۴۹-۲۰۲۰ نسبت به دوره مشاهداتی تحت هر دو سناریوی *A2* و *B2* افزایش خواهد یافت.

نتایج حاصل از تعیین اقلیم با روش دومارتن نشان داد که در ایستگاه‌های بابلسر، قزوین، رامسر و رشت اقلیم در دوره‌های آینده هیچ تغییری نمی‌کند ولی در ایستگاه‌های گرگان، تهران و زنجان اقلیم در دوره‌های آینده تغییر می‌کند. در ایستگاه گرگان در دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ تحت سناریو *A2* اقلیم از مدیترانه‌ای به نیمه‌خشک تغییر می‌کند ولی در سناریو *B2* تغییری نمی‌کند. در ایستگاه تهران در دوره ۲۰۴۹-۲۰۲۰ تحت سناریو *A2* اقلیم از خشک به نیمه‌خشک تبدیل خواهد شد. در ایستگاه زنجان در دوره ۲۰۴۹-۲۰۲۰ تحت سناریو *A2* اقلیم از نیمه‌خشک به مدیترانه‌ای و در دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ (سناریو *A2*) دوباره به نیمه‌خشک تبدیل می‌گردد.

بطور کلی نتایج بیانگر این امر است که مدل به خوبی توانسته شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی را برای دوره‌های آتی شبیه‌سازی بکند و داده‌های شبیه‌سازی شده به خوبی توانسته است همخوانی مناسبی با داده‌های اقلیمی واقعی منطقه داشته باشد (جدول ۲ و شکل ۱) و می‌توان با صحت بالا از این داده‌های شبیه‌سازی شده جهت آینده‌نگری مناسب‌تر

^۱ - Conditioned Weather generator parameters

^۲ - British Isles

از شرایط آب‌وهوایی در دوره‌های آتی استفاده کرد و به کمک آن مدیریت‌های کلان آتی را در زمینه‌های بهره‌وری مناسب‌تر از منابع و به خصوص منابع آبی ارتقاء بخشید. با توجه به این نتایج و با توجه به تغییراتی که در پارامترهای اقلیمی موجود روی خواهد، پیشنهاد می‌شود که مسئولان و برنامه ریزان منطقه مورد بررسی در بخش های کشاورزی، منابع آب، محیط زیست، صنعت و اقتصاد راهکارهای لازم را برای کاهش پیامدها و سازگاری با شرایط آب و هوایی جدید اتخاذ کنند.

منابع

۱. آبکار، ع؛ حبیب‌نژاد محمود، م؛ سلیمانی، ک؛ نقوی، ه. ۱۳۹۲. "بررسی میزان کارایی مدل *SDSM* در شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی در مناطق خشک و نیمه خشک". فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. سال چهارم، شماره چهاردهم، ص ۱۷-۱.
۲. بابائیان، ا؛ نجفی‌نیک، ز؛ عباسی، ف؛ نوخندان، م؛ ادب، ح. ۱۳۸۸. "ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو *ECHO-G*". جغرافیا و توسعه، شماره ۱۶، ص ۱۵۲-۱۳۵.
۳. حجارپور، ا؛ یوسفی، م؛ کامکار، ب. ۱۳۹۳. "آزمون دقت شبیه‌سازی *CLIMGEN* و *WeatherMan*، *LARS-WG* در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی سه اقلیم مختلف (گرگان، گنبد و مشهد)". مجله جغرافیا و توسعه. شماره ۳۵، ص ۲۱۶-۲۰۱.
۴. حق‌طلب، ن؛ گودرزی، م؛ حبیبی نوخندان، م؛ یآوری، ا؛ جعفری، ح. ۱۳۹۳. "مدل‌سازی اقلیم استان‌های تهران و مازندران با استفاده از مدل اقلیمی *LARS-WG* و مقایسه تغییرات آن در جبهه‌های شمالی و جنوبی البرز مرکزی". علوم و تکنولوژی محیط زیست. دوره پانزدهم، شماره یک، ص ۴۹-۳۷.
۵. خام‌چین مقدم، ف؛ رضایی پزند، ح؛ ۱۳۸۸. "نقد روش اقلیم بندی دومارتن برای بارش حداکثر روزانه در ایران به کمک روش گشتاورهای خطی". نشریه فنی و مهندسی، دوره ۲، شماره ۲، ص ۱۰۳-۹۳.
۶. دوستی، م؛ حبیب‌نژاد روشن، م؛ شاهدی، ک؛ میریعقوب‌زاده، م. ۱۳۹۲. "بررسی شاخص‌های اقلیمی حوضه آبخیز تمر، استان گلستان در شرایط تغییر اقلیم با کاربرد مدل *LARS-WG*". مجله فیزیک زمین و فضا. دوره ۳۹، شماره ۴، ص ۱۷۷-۱۸۹.
۷. رضایی‌زمان، م؛ مرید، س؛ دلاور، م. ۱۳۹۲. "ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای هیدروکلیماتولوژی حوضه سیمینه رود". نشریه آب و خاک. جلد ۲۷، شماره ۶، ص ۱۲۵۹-۱۲۴۷.
۸. روشن، غ؛ خوش اخلاق، ف؛ عزیزی، ق. ۱۳۹۲. "آزمون مدل مناسب گردش عمومی جو برای پیش‌یابی مقادیر دما و بارش ایران، تحت شرایط گرمایش جهانی". جغرافیا و توسعه، شماره ۲۷، ص ۳۶-۱۹.
۹. سیامک نیک مهر، منصور زیبایی، ۱۳۹۹. "ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر شرایط هیدرولوژیکی و اقتصادی زیر حوضه کرخه جنوبی، مجله اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۳۴(۱)، ۷۹-۶۳".

۱۰. صمدی نقاب، سینا؛ خورشید دوست، ع؛ حبیبی نوخندان، م؛ زابل عباسی، ف. "بکارگیری مدل *SDSM* جهت ریزمقیاس-نمایی داده‌های *GCM* بارش و دما". ۱۳۹۰. نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، سال دوم، شماره پنجم و ششم، ص ۶۸-۵۷.
۱۱. ظهراب اداوی، محمود رضا تدین، ابوالفضل باغبانی، ۱۳۹۸. پیش بینی اثر تغییر اقلیم بر تولید سیب زمینی در فریدون شهر و ارزیابی راهکارهای سازگاری (تغییر رقم و تاریخ کاشت، مجله تولید و فراآوری محصولات زراعی و باغی، ۷۹-۹۸.
۱۲. کآموز، م؛ عراقی نژاد، ش. ۱۳۸۴. "هیدرولوژی پیشرفته". انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر. ۴۶۴ ص.
۱۳. Ashiq M, Zhao C, Ni J, Akhtar M. 2010. GIS-based high-resolution spatial interpolation of precipitation in mountain–plain areas of Upper Pakistan for regional climate change impact studies. *Theor Appl Climatol* 99 (3): 239-2۵۳.
۱۴. Cheng CS, Auld H, Li Q, Li GL. 2012. Possible impacts of climate change on extreme weather events at local scale in south-central Canada. *Climatic Change* 112 (3-4): 963-۹۷۹.
۱۵. Chu J, Xia J, Xu CY, Singh V. 2010. Statistical downscaling of daily mean temperature, pan evaporation and precipitation for climate change scenarios in Haihe River, China. *Theor Appl Climatol* 99 (1): 149-161.
۱۶. Frias MD, Miguez R, Gutierrez JM, Mendez FJ. 2012. Future regional projections of extreme temperatures in Europe: a nonstationary seasonal approach. *Climatic Change* 113 (۲): ۳۷۱-۳۹۲.
۱۷. Gu H, Wang G, Yu Z, Mei R. 2012. Assessing future climate changes and extreme indicators in east and south Asia using the RegCM4 regional climate model. *Climatic Change* 114 (2): 301- 317.
۱۸. Harmsen, E. W. Miller, N. L. Schelgel, N. J. and Gonzalez, J.E. 2009. Seasonal climate change Impacts on Evapotranspiration, Precipitation deficit and crop Yield in Puer Rico. *J. of Agricultural Water Management*, 96. 1085- 1۰۹۵.
۱۹. IPCC. 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge, United Kingdom and New York, USA
۲۰. Lhumme, Q. Bellotti, W. Williams, M. Wange, E. 2009. Adaption to Climate change of Wheat growing in South Australia: Analysis of Management and breeding Strategies. *J. of Agriculture, Ecosystem and Environment*, 129. 261-267.
۲۱. Mahmood R, Babel M. 2013. Evaluation of *SDSM* developed by annual and monthly sub-models for downscaling temperature and precipitation in the Jhelum basin, Pakistan and India. *Theor Appl Climatol* 113 (1-2): 27-۴۴.
۲۲. Mastrandrea MD, Tebaldi C, Snyder CW, Schneider SH. 2011. Current and future impacts of extreme events in California. *Climatic Change* 10943-7۰.
۲۳. Ozkul, S. 2009. Assessment of climate change effects in Aegean River Basins: The case Of Gediz Buyuk Menders Basins. *J. climate change*.

۲۴. Rashid M, Mukand S. 2014. Future changes in extreme temperature events using the Statistical Downscaling Model (SDSM) in the trans-boundary region of the Jhelum River basin. *Weather and Climate Extremes*. 2014.
۲۵. Shahriar .P. Geoffrey M. Henebry. 2014. Projections of the Ganges–Brahmaputra precipitation—downscaled from GCM predictors. *Journal of Hydrology* 517 ,120–1۳۴
۲۶. Sultana,H. Ali, N. Iqbal, M. M. and khan. A. 2009. Vulnerability and daptability of Wheat Production in different Climatic Zones of Pakistan under Climate change scenarios. *J. Climate change*, 94, 123- 142.
۲۷. Wang XY, Yang T, Shao QX, Acharya K, Wang WG, Yu ZB. 2012. Statistical downscaling of extremes of precipitation and temperature and construction of their future scenarios in an elevated and cold zone. *Stoch Env Res Risk a* 26 (3): 405-4۱۸.
۲۸. Wetterhall, F. 2005. Statistical Downscaling of Precipitation from Large – scal Atmospheric Circulation – Comparison of methods and Climate Region. Msc dissertation, Faculty Of Sceince and Technology , UPPSALA University.
۲۹. Wilby, R. L. Dawson, C. W. 2007. Using SDSM version 4.2 –A decision Support tool from assessment of regional Climate change impacts. User manual.
۳۰. Wilby, R. L. Dawson, C. W. Barrow, E. M. 2002. SDSM-a Decision Support tool for the assessment of regional Climate change impacts. *J. Environmental Modeling and Sothware*, 17. 147-159.
۳۱. Xu, C. Y. 1999. From GCMs to river flow: A review of downscaling methods and hydrologic Modeling approaches, *J. physical Geography*. 23. 203-2۲۸.
۳۲. Yano, T. Aydin, M. Haraguchi, T. 2007. Impact of Climate change on Irrigation Demand and Crop Growth in a Mediterranean Environment of Turkey. *J. Sensors*, 7, 2297-2۳۱۵.