



پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی توسط مدل چندگانه خطی *SDSM* در دوره آینده بر پایه سناریو *A2*

علی سلاجقه^۱، الهام رفیعی ساردوئی^{۲*}، علیرضا مقدم نیا^۳، آرش ملکیان^۴، شهاب عراقی نژاد^۴، شهرام خلیقی سیگارودی^۳، امین صالح پورجم^۵

۱. استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران
 ۲. دانش‌آموخته دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران
 ۳. دانشیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران
 ۴. دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران
 ۵. استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور
- * نویسنده مسئول: ellrafiei@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۲/۲۳

چکیده

در چند دهه گذشته افزایش دمای زمین موجب برهم خوردن تعادل اقلیمی کره زمین شده و تغییرات اقلیمی گسترده‌ای در بیشتر سطح کره زمین ایجاد شده است که از آن به عنوان تغییر اقلیم یاد می‌شود. هدف از این پژوهش، پیش‌بینی تغییرات اقلیمی توسط مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری *SDSM* در دوره آینده بر پایه سناریو *A2* می‌باشد. داده‌های روزانه بارش، دمای کمینه و دمای بیشینه ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه، برای دو دوره ۲۰۱۵-۲۰۴۰ و ۲۰۴۰-۲۰۶۵، پیش‌بینی و با دوره پایه مورد مقایسه قرار گرفت. از ۲۷ سال اول داده‌ها (۱۹۸۸-۱۹۶۱) برای واسنجی و از ۱۲ سال دوم (۱۹۸۹-۲۰۰۱) برای اعتبارسنجی مدل استفاده شده است. نتایج نشان داد که بر پایه سناریو *A2* در ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه، مقدار بارش میانگین سالانه در دوره‌های ۲۰۱۵-۲۰۴۰ و ۲۰۴۰-۲۰۶۵، نسبت به دوره پایه کاهش، دمای متوسط کمینه و دمای متوسط بیشینه نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. از آنجاکه کاهش بارش و افزایش دما یکی از عوامل اصلی بیابان‌زایی می‌باشند، لذا ضروری است که مسئولین و برنامه‌ریزان استان در بخش‌های کشاورزی و منابع آب راهکارهای لازم را برای کاهش پیامدها و سازگاری با شرایط آب و هوایی جدید در نظر بگیرند.

واژگان کلیدی: بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه، تغییر اقلیم

■ مقدمه

بر پایه گزارش چهارم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم که با عنوان "گزارشات ارزیابی تغییر اقلیم" (IPCC¹, 2014) انتشار یافته است، افزایش جهانی دما و رخداد تغییر اقلیم با بهره‌گیری از داده‌های اندازه‌گیری شده دمای سطح خشکی‌ها و آب‌های جهان، تأیید شده است. افزایش گازهای گلخانه‌ای به ویژه گاز CO₂ در نتیجه مصرف سوخت‌های فسیلی، در چند دهه اخیر موجب زیاد شدن غلظت این گاز از ۲۸۰ PPM در سال ۱۷۵۰ به ۳۷۹ PPM در سال ۲۰۰۵ شده است. روند خطی میانگین دمای سطح زمین در دوره صدساله (۱۹۰۶-۲۰۰۵) از رابطه $0.74^{\circ}C \pm 0.18^{\circ}C$ تبعیت می‌نماید. روند افزایشی دما در ۵۰ سال دوم این دوره صدساله تقریباً دو برابر ۵۰ سال اول می‌باشد. براساس این گزارش، سال‌های ۱۹۹۸ و ۲۰۰۵ گرم‌ترین سال‌های جهان بوده‌اند و ۱۱ سال از ۱۲ سال گرم دنیا در دوره ۱۲ ساله ۱۹۹۵-۲۰۰۶ قرار گرفته است. اما الگوی نسبتاً مشخصی مانند دما در مورد بارش وجود ندارد (IPCC, ۲۰۱۴). امروزه مدل‌های گردش عمومی جو قوی‌ترین ابزار برای تولید سناریوهای اقلیمی می‌باشند (صالح پور جم، ۱۳۹۳). برای ریزمقیاس‌سازی داده‌های اقلیمی از بین روش‌های ریزمقیاس‌سازی، بیشتر از مدل‌های آماری استفاده می‌کنند (Fowler et al, 2007). یکی از دلایل استفاده از این مدل‌ها عملکرد سریع و آسان آن‌ها نسبت به سایر روش‌ها می‌باشد (Dibike et al, 2008). از جمله مدل‌های ریزمقیاس‌سازی آماری که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرد مدل SDSM می‌باشد (Samadi, 2013). مدل SDSM از مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی تابع انتقالی آماری است (Dawson, 2007 & Wilby, 2005)، که به‌عنوان پرکاربردترین مدل ریزمقیاس‌نمایی در سطح جهان شناخته شده است (Dibike & Coulibaly, 2005). مقایسه این مدل با سایر روش‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری نشان می‌دهد که این مدل برای پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی از توانایی لازم برخوردار است (Khan, 2006).

در پژوهشی، به معرفی و مقایسه دو مدل SDSM و LARS-WG در مناطق مختلف ایران پرداختند. نتایج نشان داده که مدل SDSM دارای عدم قطعیت کمتری می‌باشد (آقاشاهی و همکاران، ۲۰۱۲).

نتایج بهره‌گیری از مدل SDSM برای ریزمقیاس‌نمایی دما در منطقه Shikoku نشان داد که در دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۱ دما تحت بیشتر سناریوها نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد (Tatsumi et al, 2013). از طرف دیگر بررسی عدم قطعیت مدل چندگانه خطی SDSM در حوزه آبخیز کارون شمالی نشان دهنده دقت زیاد این مدل برای شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در دوره پایه است (فرزانه، ۱۳۸۹).

نتایج پژوهشی دیگر جهت ریزمقیاس‌نمایی داده‌های بارش، دما و تبخیر در تبریز از مدل SDSM نشان داد که این مدل عملکرد مناسبی در ریزمقیاس‌کردن داده‌ها دارد (دهقانی پور و همکاران، ۲۰۱۱).

دو مدل SDSM و ماشین بردار پشتیبان برای ریزمقیاس‌نمودن بارندگی در حوزه رودخانه هانجیانگ استفاده گردید و نتایج عملکرد بهتر مدل SDSM در مقایسه با ماشین بردار پشتیبان را نشان داد (Chen et al, 2012).

با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی و مدل SDSM، مقدار بارندگی را پیش‌بینی کردند، نتایج حاکی از عملکرد بهتر مدل شبکه عصبی مصنوعی بودند (Harpham et al, 2005).

در پژوهشی، با بهره‌گیری از مدل LARS-WG اقلیم کشور ایران در دهه ۲۰۲۰ مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج نشان داد که مقدار بارش کشور ۹ درصد کاهش و میانگین دمای کشور به مقدار ۰/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد (Babaeian et al, 2009).

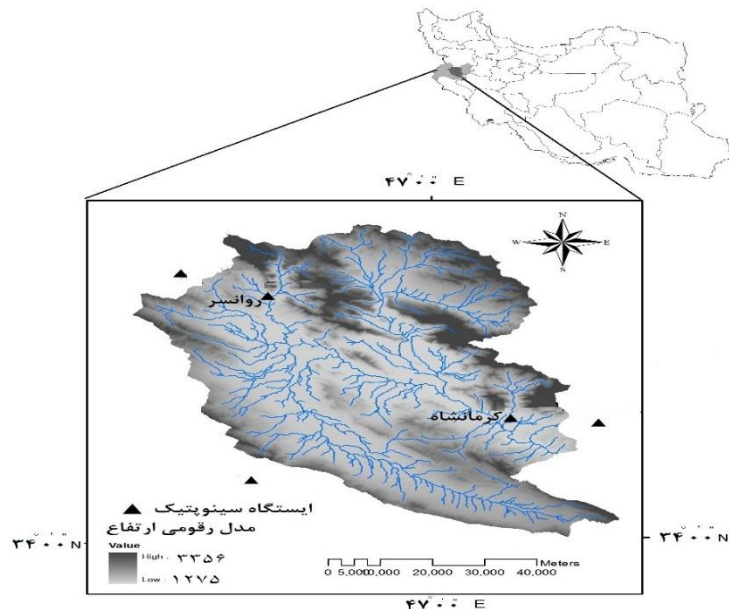
با کاربرد سناریو A2 در حوزه آبخیز رودخانه دنیس در دانمارک، به بررسی اثر تغییر اقلیم پرداخته شد. نتایج نشان داد بارش سالانه ۴۷ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه هم ۳/۲ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت (Anderson et al, 2006).

¹ Intergovernmental Panel on Climate Change

■ مواد و روش‌ها محدوده مطالعاتی

قره‌سو از زیر حوزه‌های حوضه آبخیز رودخانه کرخه است. این حوضه با وسعتی بالغ بر ۵ هزار کیلومترمربع در نیمه غربی کشور، در ارتفاعات زاگرس و در حدفاصل عرض‌های جغرافیایی ۳۴ ۰۰ و ۳۴ ۴۵ و طول‌های جغرافیایی ۴۶ ۲۲ و ۴۷ ۲۲ واقع شده و بیشینه ارتفاع آن ۳۳۵۶ متر و کمینه ارتفاع ۱۲۷۵ متر می‌باشد. میانگین شیب حوضه آبخیز حدود ۱۶ درصد و شیب خالص رودخانه‌های اصلی بین ۰/۱۲ تا ۱۲/۶ درصد است. در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه و روانسر در حوزه قره‌سو کرمانشاه نشان داده شده است.

بنابراین پیش‌بینی‌های اقلیمی در مناطق مختلف نیازمند استفاده از مدل‌های اقلیمی است که دارای درجه اطمینان زیادی باشد و به‌توان از آن‌ها در مدیریت پایدار سرزمین و برنامه‌ریزی‌های کلان در رابطه با بلایای طبیعی بهره جست. با توجه به ضرورت یادشده در این پژوهش سعی شد تا متغیرهای اقلیمی دما و بارش توسط مدل چندگانه خطی *SDSM* و مدل‌های گردش عمومی جو *HadCM3* در دوره آینده براساس سناریو A2، در ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه شبیه‌سازی و پیش‌بینی گردیده و اثر تغییر اقلیم روی آن‌ها بررسی شده و همچنین مقدار کارایی مدل ریزمقیاس نمایی آماری *SDSM* در منطقه موردنظر که یک منطقه نیمه‌خشک است، مشخص شود.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز قره‌سو

مشاهداتی روزانه (پیش‌بینی شونده)، پیش‌بینی‌کننده‌های مشاهداتی ($NCEP^1$) و نیز پیش‌بینی‌کننده‌های بزرگ‌مقیاس حاصل از مدل‌های گردش عمومی جو ($HadCM3^2$)، پس از آماده‌سازی داده‌های مشاهداتی و کنترل کیفیت داده‌ها آن‌ها انجام شد. ریزمقیاس نمایی متغیرهای اقلیمی توسط مدل *SDSM* به‌ترتیب مراحل زیر انجام می‌گردد: ۱- آماده‌سازی داده‌های پیش‌بینی شونده و پیش‌بینی‌کننده‌های بزرگ‌مقیاس، ۲- کنترل

روش پژوهش

در این پژوهش در آغاز داده‌های مشاهداتی ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه جمع‌آوری شده و کنترل کیفیت روی آن‌ها انجام شد. سپس مدل ریزمقیاس نمایی آماری *SDSM 5.1*، برای شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی دما و بارش در ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه در دوره پایه و دوره آینده تحت تأثیر تغییر اقلیم مورد بهره‌برداری قرار گرفت. ریزمقیاس نمایی آماری با کاربرد داده‌های

² Hadley Centre Coupled Model Version

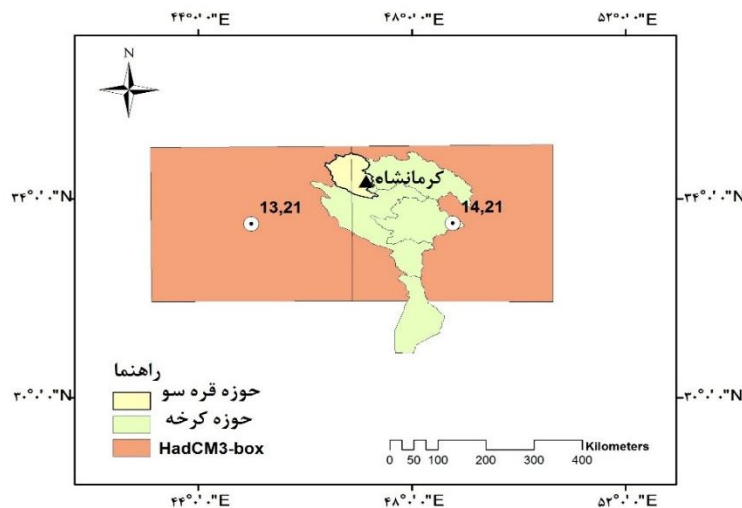
¹ National Centers for Environmental Prediction

بیشینه و بارندگی) در ایستگاه کرمانشاه برای دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۰۱، به‌صورت تک ستونه در فایل *Notepad* مرتب شد و به‌جای داده‌های مفقود کد ۹۹- قرار داده شد. برای آماده‌سازی پیش‌بینی‌کننده‌های بزرگ‌مقیاس *NCEP* و *HadCM3*، در آغاز به انتخاب شبکه‌های پوشش‌دهنده منطقه مورد بررسی در شبکه مشبک جهانی موجود در سایت *CCSN* اقدام شد. بنابراین، با در نظر گرفتن مختصات جغرافیایی ایستگاه و مراکز سلول‌های شبکه، نقشه مشبک پوشش‌دهنده منطقه مورد مطالعه با کاربرد با نرم‌افزار *ARCGIS 9.3* ترسیم شد (شکل ۲).

کیفیت داده‌ها و تغییر شکل داده‌ها ۳- انتخاب بهترین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده، ۴- کالیبره کردن مدل، ۵- تولید مولد هواشناسی با استفاده از پیش‌بینی‌کننده مشاهداتی، ۶- آنالیز آماری، ۷- خروجی گرافیکی مدل و ۸- تولید سناریو اقلیمی با بهره‌گیری از پیش‌بینی‌کننده‌های اقلیمی مدل.

آماده‌سازی داده‌های پیش‌بینی شونده و پیش‌بینی‌کننده‌های بزرگ‌مقیاس

در این مرحله داده‌های سری زمانی روزانه به‌طور جداگانه برای هر متغیر اقلیمی (دمای کمینه، دمای



شکل ۲- شبکه مشبک *HadCM3* پوشش‌دهنده منطقه مورد مطالعه

در این مرحله ریزمقیاس نمایی آماری، پس از انتخاب متغیرهای بزرگ‌مقیاس پیش‌بینی‌کننده که به‌طور معنی‌داری از همبستگی بالا با داده‌های مشاهداتی ایستگاه کرمانشاه برخوردارند، به انجام رسید. در این تحقیق، دوره زمانی ۱۹۶۱-۲۰۰۱ به‌عنوان دوره پایه در نظر گرفته شد. بر این اساس، واسنجی و صحت‌سنجی مدل، به‌ترتیب طی دوره‌های ۱۹۶۱-۱۹۸۸ و ۲۰۰۱-۱۹۸۹ مبتنی بر داده‌های کوچک‌مقیاس شده حاصل از پیش‌بینی‌کننده‌های مشاهداتی صورت گرفت. همچنین، صحت‌سنجی مدل گردش عمومی جو در دوره پایه (۱۹۶۱-۲۰۰۱) مبتنی بر کوچک‌مقیاس‌سازی پیش‌بینی‌کننده‌های *Hadcm3* تحت سناریوی A2 انجام

کنترل کیفیت و تبدیل داده‌ها

در این مرحله به بررسی فایل‌های ورودی از نظر داده‌های مفقود یا مشکوک اقدام گردید و کد ۹۹- به‌جای داده‌های مفقود در مرحله آماده‌سازی داده‌های مشاهداتی به کار گرفته شد تا مدل بتواند ضمن تشخیص آن‌ها، پرش لازم را در هنگام مواجهه به انجام رساند. همچنین در این پژوهش برای داده‌های پیش‌بینی شونده (داده‌های بارش) از تبدیل ریشه چهارم در فرایند کوچک‌مقیاس‌سازی استفاده شد.

کوچک‌مقیاس کردن داده‌های اقلیمی

واریانس است. مقادیر $RMSE$ و MAE معرف دقت در بسیاری از روش‌های آماری می‌باشد. هرچه این مقادیر به صفر نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده دقت بالای مدل و مقدار صفر، نشان‌دهنده عدم وجود خطا در برآورد مدل است. R^2 بیانگر ارتباط داده‌های مشاهداتی و محاسباتی می‌باشد. دامنه این پارامتر بین ۰ تا ۱ است هرچه این مقدار به ۱ نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده ارتباط قوی بین دو گروه می‌باشد. دامنه ضریب بین ۱ تا ۰ می‌باشد دامنه ضریب نش ساتکلیف (NSE) بین ۰ تا ۱ قابل قبول و بهترین حالت زمانی است که برابر ۱ باشد. $PBIAS$ ، هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده دقت بالاتر مدل در برآورد متغیر مورد نظر می‌باشد. در صورتی که مقدار این شاخص به سمت مثبت میل کند نشان‌دهنده این است که متغیر مورد نظر بسیار کمتر از مقدار واقعی برآورد شده است. اگر این پارامتر به سمت منفی میل کند نشان می‌دهد که پارامتر مورد نظر مقدار متغیر را بسیار بیشتر از مقدار برآورد کرده است. قابل ذکر است که برای این شاخص آستانه خاصی در نظر گرفته نشده است. در جدول ۱ پیش‌بینی کننده‌های منتخب برای کوچک‌مقیاس کردن آماری دما و بارش روزانه ایستگاه کرمانشاه نشان داده شده است.

شد. جهت بررسی عملکرد مدل‌ها و مقایسه آن‌ها از دو روش ترسیمی و معیارهای آماری مرسوم^۱ $PBIAS$ ، NSE ^۲، MAE ^۳، $RMSE$ ^۴، R^2 استفاده شد. این معیارها بر اساس روابط ۱ تا ۵ محاسبه می‌شوند.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (o_i - s_i)^2}{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})^2} \quad (1)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (s_i - o_i)^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

$$R^2 = \left[\frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (s_i - \bar{s})(o_i - \bar{o})}{\sigma_s \times \sigma_o} \right]^2 \quad (3)$$

$$PBIAS = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (o_i - s_i) * 100}{\sum_{i=1}^n (o_i)} \right] \quad (4)$$

$$MAE = 1/n \sum_{i=1}^n (s_i - o_i) \quad (5)$$

که در آن O_i داده‌های مشاهداتی، s_i داده‌های برآورد شده، \bar{o} و \bar{s} میانگین داده‌های مشاهداتی و برآورد شده

جدول ۱- پیش‌بینی کننده‌های منتخب برای کوچک‌مقیاس کردن آماری دما و بارش روزانه ایستگاه کرمانشاه

متغیر	پیش‌بینی کننده‌های منتخب	پیش‌بینی کننده‌های منتخب	P-value	همبستگی جزئی
	Mean Sea Level Pressure	میانگین فشار سطح دریا	.	۰/۱۳۸
بارش	500hpa Geopotential	ژئوپتانسیل در ارتفاع معادل ۵۰۰ هکتوپاسکال	.	۰/۱۹
	Relative humidity in 500 hpa surface	رطوبت نسبی در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال	.	۰/۳۱
	Mean Sea Level Pressure	میانگین فشار سطح دریا	.	۰/۳۳
دمای	500hpa Geopotential	ژئوپتانسیل در ارتفاع معادل ۵۰۰ هکتوپاسکال	.	۰/۵۴۲
کمینه	Relative humidity in 500 hpa surface	رطوبت نسبی در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال	.	۰/۴۴۷
	Mean Temperature at 2m	میانگین دما در ارتفاع ۲ متری	.	۰/۶۸
	Mean Sea Level Pressure	میانگین فشار سطح دریا	.	۰/۴۲
دمای	500hpa Geopotential	ژئوپتانسیل در ارتفاع معادل ۵۰۰ هکتوپاسکال	.	۰/۵۵
بیشینه	Mean Temperature at 2m	میانگین دما در ارتفاع ۲ متری	.	۰/۶۵
	850hpa Geopotential	ژئوپتانسیل در ارتفاع معادل ۸۵۰ هکتوپاسکال	.	۰/۴۳

^۴ Root mean square error

^۵ Returns the square

^۱ Percent bias

^۲ Nash-Sutcliffe efficiency

^۳ Mean absolutely error

■ نتایج

نتایج حاصل از ارزیابی مدل‌ها مبتنی بر آماره‌های مربوطه بر طبق جدول، بیانگر این است که *NCEP* و سناریوها در برآورد مقدار دمای بیشینه و کمینه و بارش ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه دارای کارایی و دقت نسبتاً خوبی می‌باشند. نتایج بیانگر عملکرد رضایت‌بخش مدل در حوضه قره‌سو کرمانشاه با اقلیم نیمه‌خشک است. با توجه به مقدار شاخص‌های ارزیابی *NSE*، *RMSE*، *MAE* و

PBIAS در جداول ۲ تا ۳ مشخص شد که داده‌های دما نسبت به داده‌های بارندگی همبستگی بیشتری با داده‌های مشاهداتی داشته‌اند. این به آن علت است که بارش متغیری شرطی و گسسته است و تحت تأثیر عوامل زیادی قرار دارد اما دما متغیر غیرشرطی و پیوسته است و کمتر تحت تأثیر عوامل و ناهنجاری‌های اقلیمی قرار می‌گیرد که با نتایج پژوهش‌های سمیرمی و همکاران (۱۳۹۳) و کبیری و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد.

جدول ۲- شاخص‌های ارزیابی مدل پیش‌بینی کننده *NCEP* در ایستگاه کرمانشاه در مرحله واسنجی

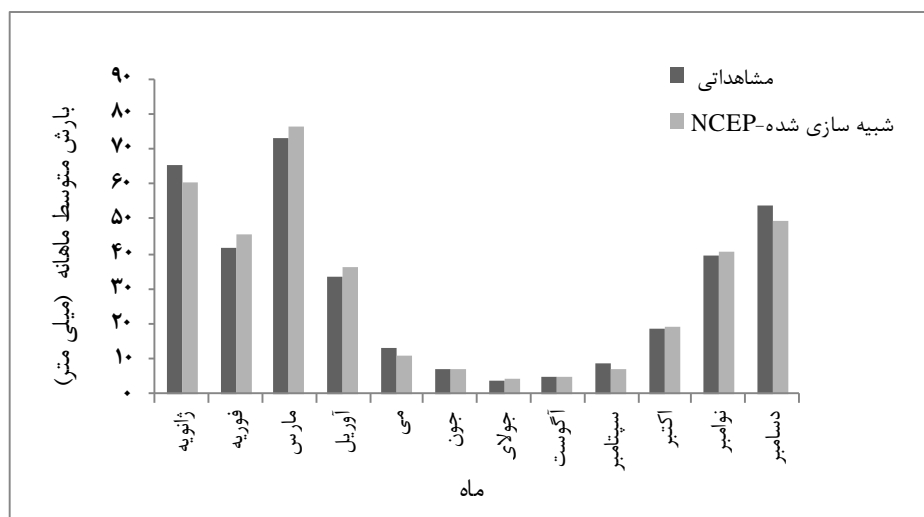
متغیر اقلیمی	<i>RMSE</i>	R^2	<i>MAE</i>	<i>NSE</i>	<i>PBIAS</i>
بارش	۲/۵۷	۰/۸۲	۰/۶۳	۰/۹۶۱	-۱۹/۶
دمای کمینه	۱/۲۲	۰/۸۳	۰/۱۳	۰/۹۶۵	-۹/۹۸
دمای بیشینه	۱/۵۵	۰/۸۲۲	۰/۳۳	۰/۹۸	-۴/۸

جدول ۳- شاخص‌های ارزیابی مدل پیش‌بینی کننده *HadCM3-A2* در ایستگاه کرمانشاه در مرحله صحت‌سنجی

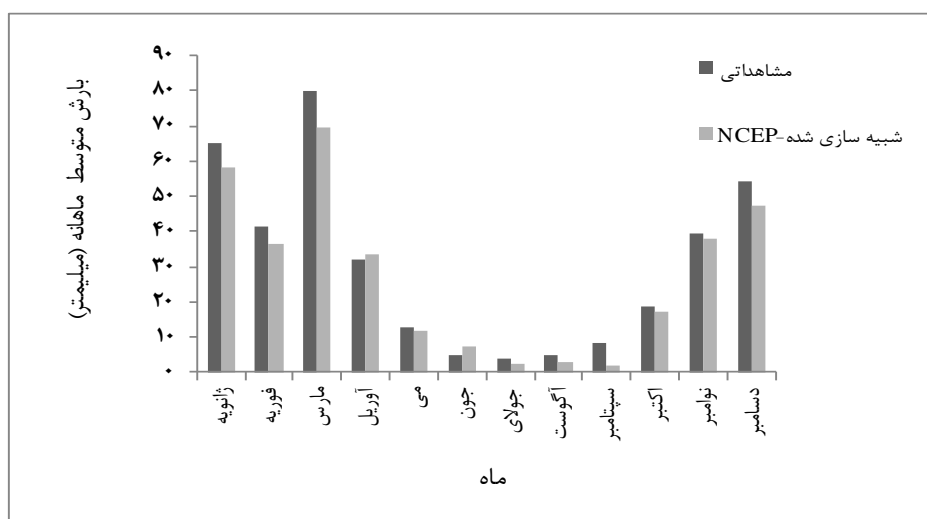
متغیر اقلیمی	<i>RMSE</i>	R^2	<i>MAE</i>	<i>NSE</i>	<i>PBIAS</i>
بارش	۴/۳۳	۰/۸۳	۰/۶	۰/۹۱	۲۰/۲۹
دمای کمینه	۱/۲۳	۰/۸۶	۰/۱۲	۰/۹۶	-۸/۸۷
دمای بیشینه	۱/۶	۰/۸۳۸	۰/۵۸	۰/۹۸	-۸/۴۳

در شکل‌های ۳ تا ۹ مقایسه بین مقدار میانگین ماهانه متغیرهای اقلیمی (دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش) مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده ایستگاه کرمانشاه طی دوره‌های واسنجی ۱۹۸۸-۱۹۶۱ و دوره‌های صحت‌سنجی ۱۹۸۹-۲۰۰۱ و ۱۹۶۱-۲۰۰۱ به ترتیب حاصل از پیش‌بینی‌کننده‌های بزرگ‌مقیاس مشاهداتی (*NCEP*) و مدل گردش عمومی جو (*HadCM3*) نشان داده شده است. در ایستگاه کرمانشاه، تورم واریانس‌های اعمال شده در تولید داده‌های کوچک‌مقیاس شده بارش، دمای کمینه

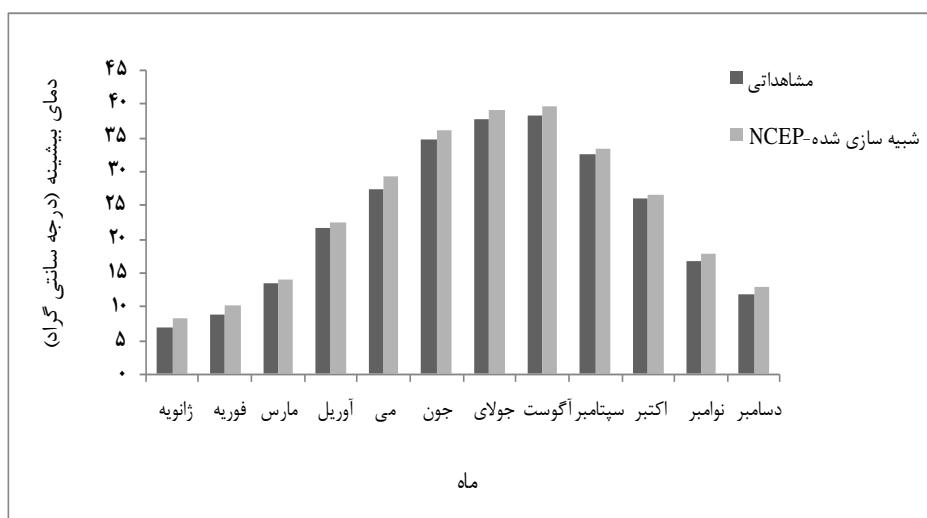
و دمای بیشینه حاصل از متغیرهای پیش‌بینی کننده مشاهداتی *NCEP* به ترتیب ۱۲، ۷ و ۱۶ و حاصل از متغیرهای پیش‌بینی کننده *HadCM3* به ترتیب ۱، ۱۹ و ۱۰ هست چنانچه در جدول ۱ نشان داده شده است از بین پارامترهای *NCEP* میانگین دما در ارتفاع ۲ متری، بیشترین همبستگی را با دمای کمینه و بیشینه و رطوبت نسبی در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال بیشترین همبستگی را با بارش دارد.



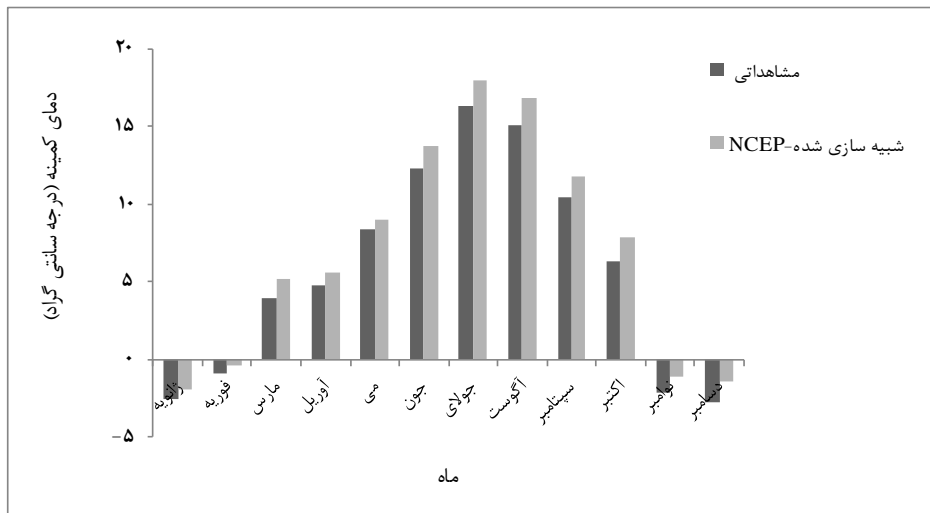
شکل ۳- مقایسه مقادیر متوسط ماهانه بارش مشاهده‌ای و شبیه سازی شده از NCEP در مرحله واسنجی (۱۹۶۱-۱۹۸۸)



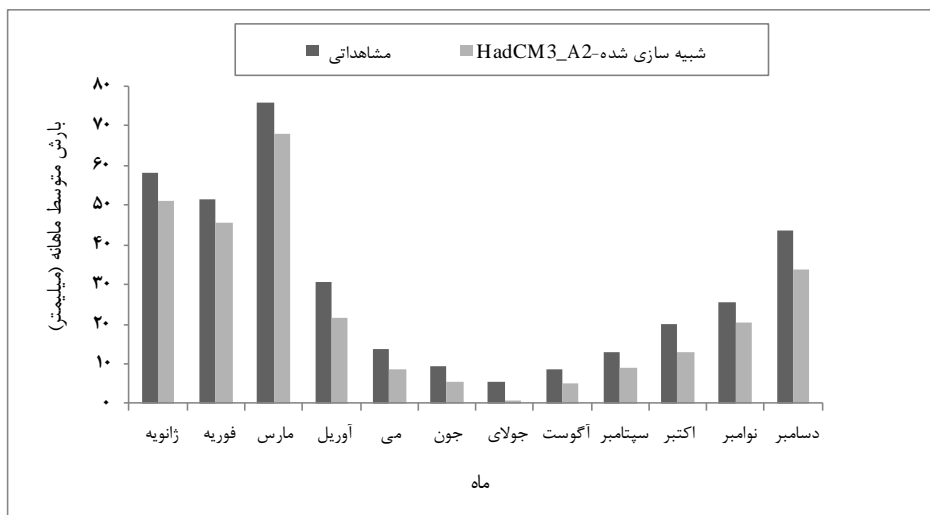
شکل ۴- مقایسه مقادیر متوسط ماهانه بارش مشاهده‌ای و شبیه سازی شده از NCEP در مرحله صحت سنجی (دوره ۲۰۰۱-۱۹۸۹)



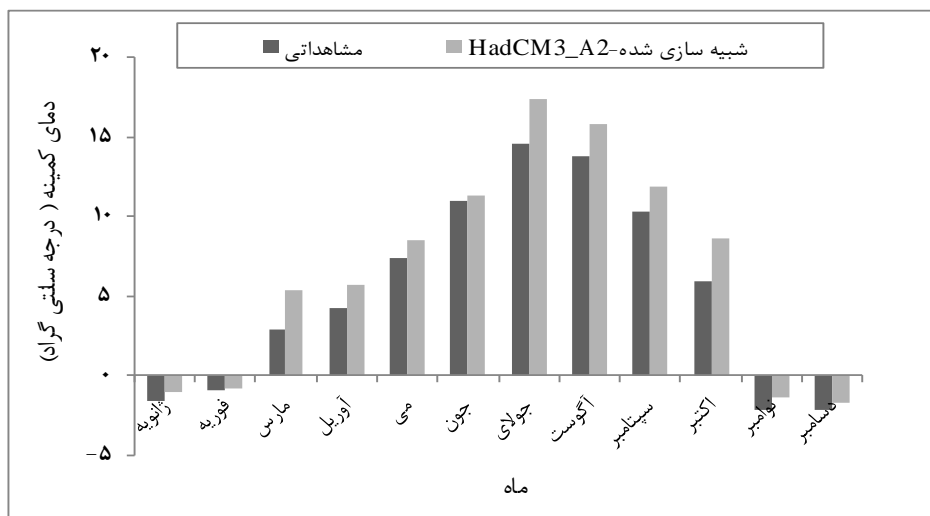
شکل ۵- مقایسه مقادیر متوسط ماهانه دمای بیشینه مشاهده‌ای و شبیه سازی شده از NCEP در مرحله صحت سنجی (دوره ۲۰۰۱-۱۹۸۹)



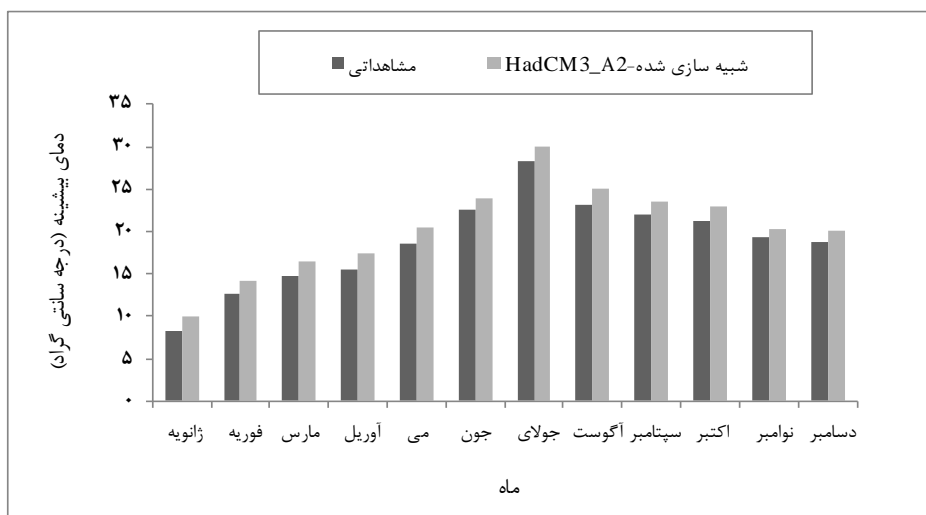
شکل ۶- مقایسه مقادیر متوسط ماهانه دمای کمینه مشاهداتی و شبیه سازی شده از NCEP در مرحله صحت سنجی (دوره ۲۰۰۱-۱۹۸۹)



شکل ۷- مقایسه مقادیر متوسط ماهانه بارش مشاهداتی و شبیه سازی شده از HadCM3-A2 در مرحله صحت سنجی (دوره ۲۰۰۱-۱۹۶۱)



شکل ۸- مقایسه مقادیر متوسط دمای کمینه مشاهداتی و شبیه سازی شده از HadCM3-A2 در مرحله صحت سنجی (دوره ۲۰۰۱-۱۹۶۱)

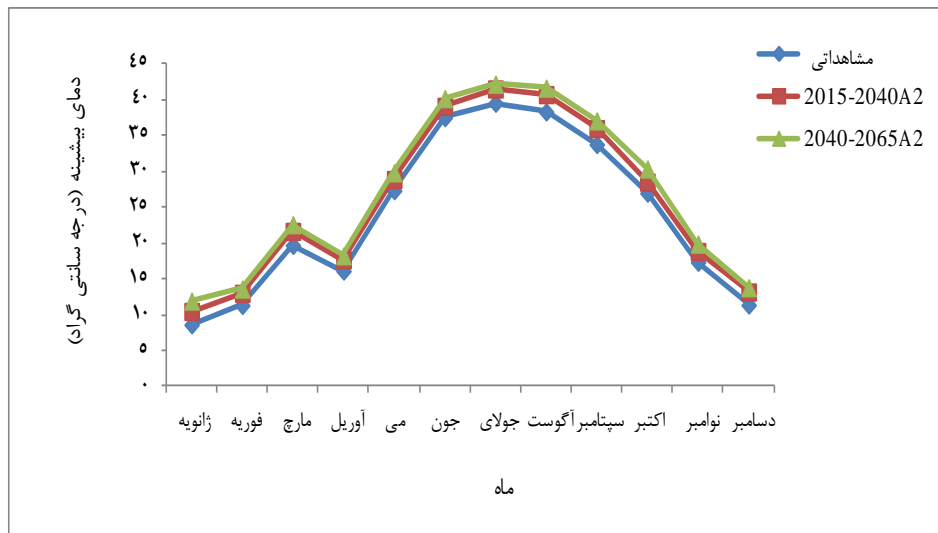


شکل ۹- مقایسه مقادیر متوسط دمای بیشینه مشاهداتی و شبیه سازی شده از HadCM3-A2 در مرحله صحت سنجی (دوره ۲۰۰۱-۱۹۶۱)

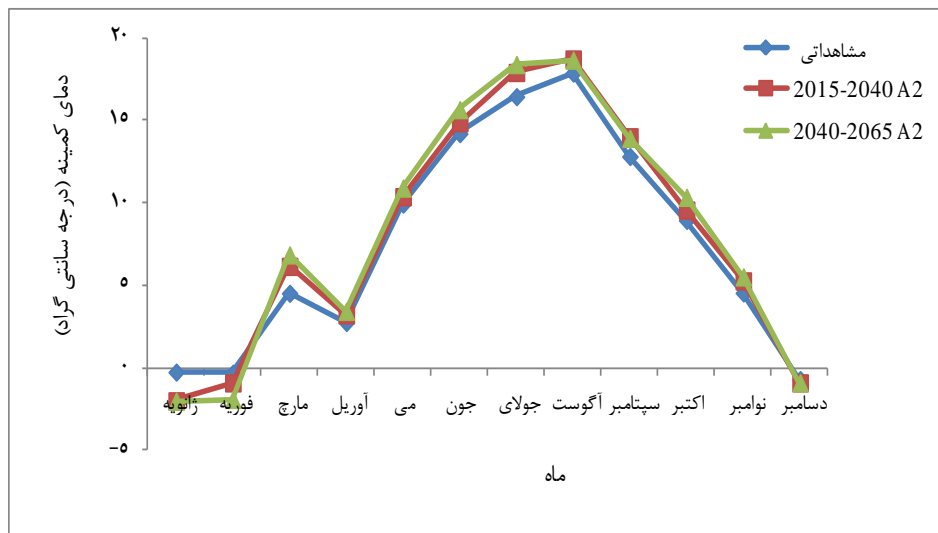
۵/۵، ۷/۱۳ میلی متر کاهش یافت. دمای میانگین کمینه در دوره دوم در فصول زمستان، بهار، تابستان و پاییز به ترتیب ۱/۱۵، ۰/۷۶، ۰/۹۴، ۰/۳۲ درجه سانتی گراد و در دوره سوم به ترتیب ۱/۷۹، ۱/۲۶، ۰/۹۶، ۰/۶۳ درجه سانتی گراد افزایش می یابد. دمای متوسط بیشینه نیز در دوره دوم در فصول زمستان، بهار، تابستان و پاییز به ترتیب ۰/۷۹، ۰/۱۶، ۰/۱۸، ۱/۲ درجه سانتی گراد و در دوره سوم به ترتیب ۱/۴۲، ۱/۰۲، ۱/۶۹، ۱/۳۸ درجه سانتی گراد افزایش می یابد. دمای متوسط بیشینه ماهانه در تمامی ماهها افزایش و دمای متوسط کمینه ماهانه در تمامی ماهها افزایش و در ماه ژانویه و فوریه کاهش می یابد. بارش متوسط ماهانه در تمامی ماهها جز دسامبر و نوامبر کاهش یافته است. بارش متوسط ماهانه در دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۰ (دوره سوم) نسبت به دوره پایه بیشینه مقادیر کاهش را به خود اختصاص داده و دمای متوسط کمینه و بیشینه ماهانه نیز در دوره سوم بیشینه مقادیر افزایش را نسبت به دوره پایه داشته است. اشکال ۱۰ تا ۱۲ تغییرات متغیرهای اقلیمی را در دوره های شبیه سازی شده آینده نسبت به دوره مبنا نشان می دهند.

نتایج حاصل از بررسی داده ها در دوره های مشاهداتی و شبیه سازی شده آینده با سناریوی A2 نشان دهنده کاهش بارش متوسط سالانه و افزایش دمای متوسط کمینه و بیشینه در دوره های شبیه سازی شده آتی نسبت به دوره مبنا در ایستگاه کرمانشاه بوده، به طوری که در ایستگاه کرمانشاه در دوره های ۲۰۱۵-۲۰۴۰ (دوره دوم) و ۲۰۴۰-۲۰۶۵ (دوره سوم)، بارش متوسط سالانه به ترتیب ۷/۹ (۱۱/۲۹ درصد) و ۱۶/۴۳ (۱۳/۲۸ درصد) میلی متر نسبت به دوره پایه (دوره اول) کاهش، دمای متوسط کمینه به ترتیب ۰/۵۲ و ۰/۸۷ و دمای متوسط بیشینه ۰/۶۱ و ۰/۹۷ درجه سانتی گراد نسبت به دوره پایه افزایش می یابد. بارش متوسط سالانه در دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۰ (دوره سوم) نسبت به دوره پایه بیشینه مقادیر کاهش را به خود اختصاص داده و دمای متوسط کمینه و بیشینه سالانه نیز در دوره سوم بیشینه مقادیر افزایش را نسبت به دوره پایه داشته است.

بارش متوسط در فصل های مختلف (زمستان، بهار، تابستان، پاییز) در دوره دوم به ترتیب ۷/۴، ۵/۵، ۴/۰۲، ۴/۸۹ میلی متر و در دوره سوم نیز به ترتیب ۹/۶، ۶/۷،



شکل ۱۰- تغییرات دمای بیشینه دوره مبنا و شبیه‌سازی شده آینده (ایستگاه کرمانشاه)



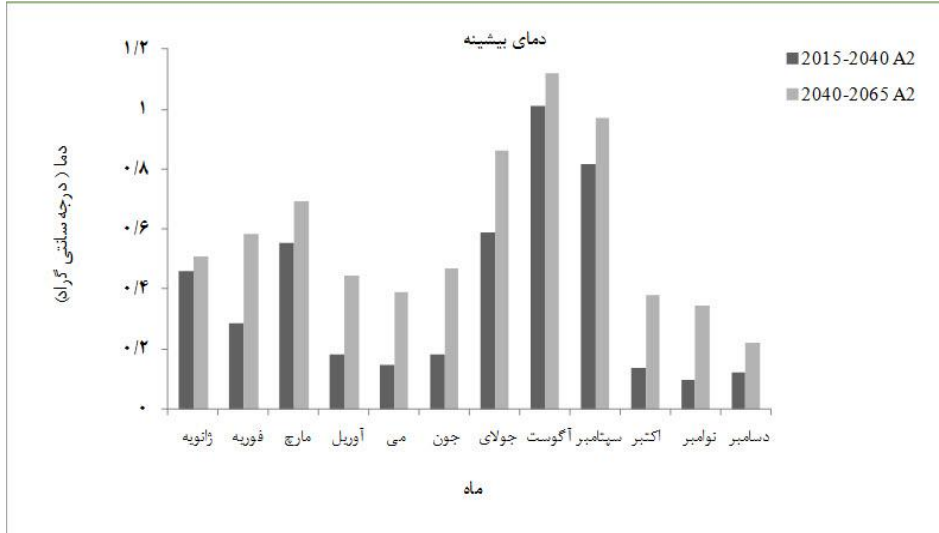
شکل ۱۱- تغییرات دمای کمینه دوره مبنا و شبیه‌سازی شده آینده (ایستگاه کرمانشاه)



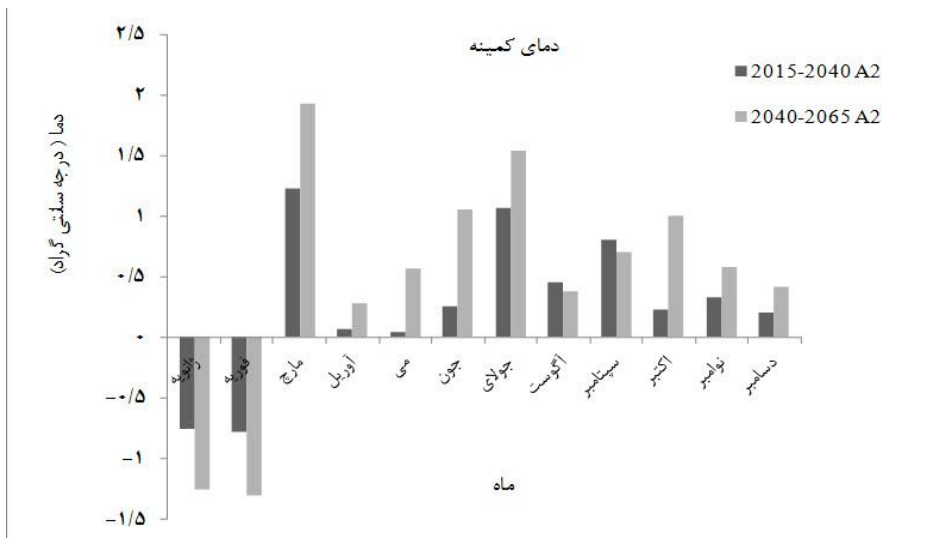
شکل ۱۲- تغییرات بارش متوسط ماهانه دوره مبنا و شبیه‌سازی شده آینده (ایستگاه کرمانشاه)

نتایج حاصل از تغییرات متغیرهای موردبررسی را نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد.

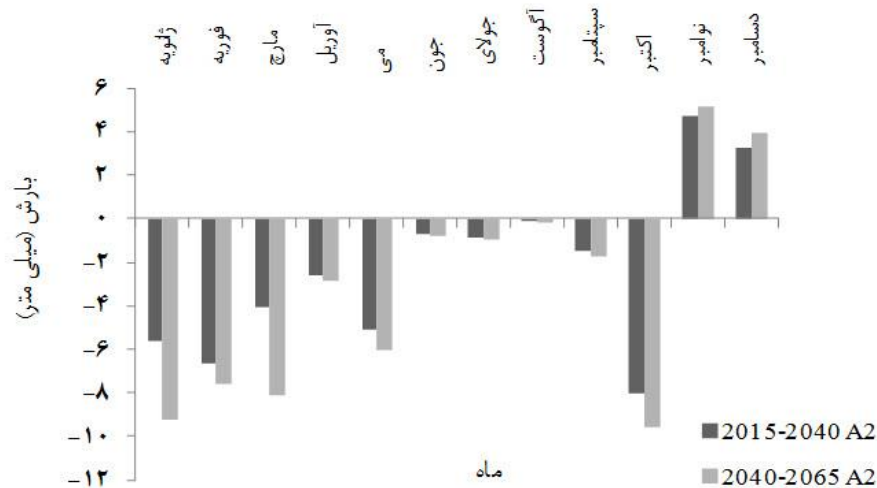
پس از پیش‌بینی بارش و دما برای دوره‌های ۲۰۱۵-۲۰۴۰ و ۲۰۴۰-۲۰۶۵، اقدام به مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده با مقادیر مشاهداتی شد. اشکال ۱۳ تا ۱۵



شکل ۱۳- تغییرات دمای بیشینه در دو دوره آینده نسبت به دوره پایه



شکل ۱۴- تغییرات دمای کمینه در دو دوره آینده نسبت به دوره پایه



شکل ۱۵- تغییرات بارش متوسط ماهانه در دو دوره آینده نسبت به دوره پایه

بیشتری با داده‌های مشاهداتی داشته‌اند. این بدان علت است که بارندگی یک متغیر شرطی و گسسته است و تحت تأثیر عوامل زیادی قرار دارد اما دما متغیری پیوسته و غیرشرطی است و کمتر تحت تأثیر عوامل و ناهنجاری‌های اقلیمی قرار می‌گیرد که با نتایج پژوهش‌های *Samadi* و همکاران (۲۰۱۳) و *Coulibaly* و همکاران (2005) مطابقت دارد.

در جمع‌بندی کلی تجزیه روند تغییر دما و بارش نشان داد که اقلیم منطقه در حال تغییر می‌باشد و روند کاهش بارش و افزایش دما و گرم شدن نسبی را سپری می‌کند. از آنجا که کاهش بارش و افزایش دما از عوامل بیان‌زایی هستند لذا ضروری است که مدیران و برنامه ریزان استان در بخش‌های کشاورزی و منابع آب راهکارهای لازم را برای کاهش پیامدها و سازگاری با شرایط آب و هوایی جدید در نظر داشته باشند.

■ بحث و نتیجه‌گیری

از آنجا که نتایج نشان می‌دهد دمای متوسط ماهانه بیشینه در تمامی ماه‌ها و دمای متوسط ماهانه کمینه در تمامی ماه‌ها غیر از دسامبر افزایش می‌یابد. همچنین بارش ماهانه منطقه در دوره آینده کاهش پیدا می‌کند. این امر می‌تواند به علت افزایش گازهای گلخانه‌ای و افزایش دما باشد که با نتایج پژوهش‌های (*Katirae et al, 2007*) مطابقت دارد. نتایج حاصل از ارزیابی مدل‌ها مبتنی بر آماره‌های مربوطه، بیانگر آن است که مدل *SDSM* در برآورد مقدار دمای بیشینه و کمینه و بارش ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه دارای کارایی و دقت خوبی است و با داده‌های مشاهداتی آینده به طور نسبی مطابقت دارد. نتایج بیانگر عملکرد رضایت‌بخش مدل در حوضه قره‌سو کرمانشاه که اقلیمی نیمه‌خشک است، می‌باشد. باتوجه به مقادیر معیارهای ارزیابی مدل مشخص شد که داده‌های دما نسبت به داده‌های بارندگی همبستگی

■ منابع

- آقاشاهی، م.، اردستانی، م.، نیک سخن، م.ح. و طهماسبی، ب. (۱۳۹۱). معرفی و مقایسه مدل‌های *LARS-WG* و *SDSM* به منظور ریزمقیاس سازی پارامترهای زیست‌محیطی در مطالعات تغییر اقلیم، ششمین همایش ملی مهندسی محیط‌زیست، تهران، دانشگاه تهران، دانشکده محیط‌زیست.
- دهقانی پور، ا.ح.، حسن‌زاده، م.ح.، عطاری، ج و عراقی نژاد، ش. (۱۳۹۰). ارزیابی توانمندی مدل *SDSM* در ریزمقیاس نمایی بارش، دما و تبخیر (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک تبریز). یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان، دانشگاه شهید باهنر.

۳. رضایی، م.، نهستانی، م.، مقدم نیا، ع.، آبکار، ع.، رضایی، م. و میرکازهی ریگی، م. (۱۳۹۳). بررسی کارایی مدل ریزمقیاس نمایی آماری در پیش‌بینی بارش در دو اقلیم خشک و فراخشک. نشریه آب و خاک، ۸۳۶-۸۴۵.
۴. صالح پورجم، ا.، محسنی ساروی، م.، بذرافشان، ج. و خلیقی سیگارودی، ش. (۱۳۹۴). بررسی اثر تغییر اقلیم بر ویژگی‌های خشکسالی دوره آینده با کاربرد مدل گردش عمومی جو *HadCM3* (مطالعه موردی: شمال غربی ایران). مجله مرتع و آبخیزداری، ۶۷ (۴)، ۵۳۷-۵۴۸.
۵. طائی سمیرمی، س.، مرادی، ح. ر. و خداقلی، م. (۱۳۹۳). شبیه‌سازی و پیش‌بینی برخی از متغیرهای اقلیمی توسط مدل چندگانه خطی *SDSM* و مدل‌های گردش عمومی جو (مطالعه موردی: حوزه آبخیز بار نیشابور). مجله انسان و محیط زیست، ۱۲، ۱-۱۵.
۶. فرزانه، م.، صمدی، س. ز.، اکبرپور، ا. و اسلامیان، س. س. (۱۳۸۹). معرفی پیش‌بینی‌کننده‌های منتخب جهت کوچک‌مقیاس کردن آماری-رگرسیون در زیر حوضه بهشت‌آباد کارون شمالی، نخستین کنفرانس پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، کرمانشاه، دانشگاه صنعتی کرمانشاه.
7. Anderson, H.E., Kronvang, B., Larsen, S.E., Hoffmann, C., Jensen, T.S. & Rasmussen, E.K. (2006). *Climate impacts on hydrology and nutrients in a Danish Lowland river basin, Science of the Total Environment*, 365, 223-237.
8. Babaeian, I., Najafi Nik, Z., Abassi, F., Habibi Nokhandan, M., Adab, H., & Malbusi S. (2009). *Climate change assessment over Iran during 2010-2039 by using Statistical downscaling of ECHO-G data. Journal of Geography and Development*, 16, 135-152.
9. Chen, H., Xuo, Y., & Guo, S. (2012). *Comparison and evaluation of multiple GCMs, statistical and hydrological models in the study of climate change impacts on runoff, Journal of Hydrology*, 434, 36-45.
10. Coulibaly, P., & Yonas, B. (2005). *Downscaling precipitation and temperature with temporal neural network. American Meteorology society*, 6, 483-496.
11. Dibike, Y., & Coulibaly, P. (2005). *Hydrological impact of climate change in the Saguenay watershed: Comparison of downscaling methods and hydrologic models. Journal of Hydrology*, 307, 145-163.
12. Fowler, H.J., Blenkinsop, S & Tebaldi, C. (2007) *Linking climate change modeling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modeling. International journal climatology*. 27, 1547-1578.
13. Harpham, H and Wibly, R.L. (2005). *Multi-site down scaling of heavy daily precipitation occurrence and amount. Journal of hydrology*, (312), 235-255
14. IPCC, (2014): *Summary for policymakers. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32.*
15. Khan, M. S., Coulibaly, P., & Dibike, Y. (2006). *Uncertainty analysis of statistical downscaling methods using Canadian Global Climate Model predictors, Hydrology. Process*, 20, 3085-3104
16. Kabiri, R., Ramani Bai, V., & Chan, A. (2015). *Assessment of hydrologic impacts of climate change on the runoff trend in Klang Watershed, Malaysia, Environmental Earth Science Journal*, 73, 27-37.
17. Samadi, S., Wilson, C. A. M. E., & Moradkhani, H. (2013). *Uncertainty analysis of statistical downscaling models using Hadley Centre Coupled Model. Theoretical applied climatology journal*. 114, 673-690.
18. Tatsumi, K., Oizumi, T., & Yamashiki, Y. (2013). *Introduction of daily minimum and maximum temperature change signals in the Shikoku region using the statistical downscaling method by GCMs. Hydrological Research Letters*, 7(3), 48-53.
19. Wilby, R. L., & Dawson, W. C. (2007). *SDSM 4.2- A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts, SDSM manual version 4.2, Environment Agency of England and Wales*, 94 pp.

Prediction of Climatic Variables using Statistical Downscaling Model (SDSM) in Future under Scenario A2

A.Salajegheh¹, E. Rafiei Sardooei^{2*}, A. Moghaddamnia³, A. Malekian³, Sh. Araghinejad⁴,

Sh. Khalighi Sigaroodi³, A. Salehpourjam⁵

1. Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
 2. Former student, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
 3. Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
 4. Associate Professor, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran
 5. Assistant Professor, Soil Conservation and watershed Management Research Institute, Tehran, Iran
- * Corresponding Author, Email: ellrafiei@ut.ac.ir

Received date: 03/01/2016

Accepted date: 12/05/2016

Abstract

In recent decades, the increase of temperature has caused the disturbance of climatic balance of the earth and extensive climate changes which is called climate change. The aim of this study is to predict the climate changes using statistical downscaling model (SDSM) based on A2 scenario over future periods. Daily precipitation, minimum and maximum temperature data of Kermanshah synoptic station, for two periods 2015-2040 and 2040-2065, were predicted and compared with the baseline period. The first 27 years of data (1988-1961) were used for calibration and the second 12 years (1989-2001) were used for validation of the model as well. The results showed that based on the A2 scenario, in the periods of 2015- 2040 and 2040- 2065, the average annual precipitation decreases, the average minimum and maximum temperature increases compared to the baseline period in the Kermanshah synoptic station. Since the precipitation reduction and temperature increase are one of the main factors of desertification, so it is necessary for decision makers and planners in Kermanshah province to adopt necessary solutions for mitigation and adaptation with new climatic conditions.

Keywords: Precipitation, Minimum Temperature, Maximum Temperature, Climate Change