

بررسی تغییرات چند شاخص اقلیمی در خروجی مدل گردش جهانی NCCCSM مطالعه موردی: کرمانشاه (ایران)

احمد رجبی^{۱*} و سعید شعبانلو^۲

چکیده

در این پژوهش تأثیر تغییر اقلیم در دوره‌های آبی در ایستگاه کرمانشاه در غرب ایران بررسی شد. با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG داده‌های بارندگی روزانه و حداقل و حداکثر دمای روزانه ریزمقیاس شدند. داده‌های جوی بر اساس مدل گردش عمومی NCCCSM و با سناریوهای A1B، A2 و B1 و در سه دوره زمانی ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ برآورد شدند. شاخص‌های اقلیمی مورد استفاده شامل شاخص قاره‌ای جانسون، شاخص اقیانوسی کرنر، شاخص خشکی دومارتن و شاخص ترکیبی پینا است. مقایسه نتایج هر ۴ شاخص در دوره پایه و دوره‌های زمانی آبی نشان دهنده خشک‌تر شدن اقلیم منطقه است. خشک شدن اقلیم در سناریو A2 شدیدتر از دو سناریو دیگر است. بر اساس نمودار بارندگی-درجه حرارت منطقه ماه می به تدریج خشک خواهد شد و ماه آپریل هم به شرایط خشکی نزدیک می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، شاخص اقلیمی، کرمانشاه (ایران)، مدل LARS-WG، مدل گردش جهانی NCCCSM.

ارجاع: رجبی ا. و شعبانلو س. ۱۳۹۲. بررسی تغییرات چند شاخص اقلیمی در خروجی مدل گردش جهانی NCCCSM مطالعه موردی: کرمانشاه (ایران). مجله پژوهش آب ایران. ۷(۱۳):۴۱-۴۹.

۱- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمانشاه.

۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمانشاه.

* نویسنده مسئول: ahmadrjb@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۷/۰۵

مقدمه

روش‌های متعددی برای تولید سناریوهای اقلیمی منطقه‌ای از سناریوهای اقلیمی مدل‌های GCM، وجود دارند. در این پژوهش از مدل ریزمقیاس کردن LARS-WG استفاده شده است. LARS-WG یک تولید کننده جوی تصادفی است که برای شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی در یک ایستگاه خاص در شرایط حال حاضر و در شرایط آینده تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم به کار می‌رود. داده‌های آن به صورت سری‌های زمانی روزانه برای یک سری از متغیرهای اقلیمی مانند بارندگی (میلی‌متر)، حداقل و حداکثر دما (درجه سانتی‌گراد) است (سمنوف و بارو، ۲۰۰۷). در نسخه جدید این مدل یک توسعه کامل برای تهیه یک مدل توانمند برای تولید داده‌های اقلیمی مصنوعی در یک محدوده وسیع اقلیمی ایجاد شده است. این مدل با سایر تولیدکننده‌های تصادفی با کاربرد گسترده که از زنجیره مارکف استفاده می‌کنند، مقایسه شده است. در مناطقی با تنوع اقلیمی مشخص شده که نتایج آن اگر از سایر مدل‌ها بهتر نباشد، حداقل به خوبی آن‌ها بوده است (سمنوف و بارو، ۱۹۹۷).

در بررسی مسایل اقلیمی دو عنصر دما و بارندگی به عنوان ساختار اقلیم اهمیت ویژه‌ای دارند. زیرا پارامترهای اقلیمی دیگر مورد استفاده در تعدادی از شاخص‌های اقلیمی، تابعی از شرایط دمایی و بارندگی هستند. از این‌رو در این مطالعه تغییرات ۴ شاخص اقلیمی در دوره‌های آبی بر اساس سناریوهای مختلف چند مدل تغییر اقلیم بررسی شده است. سمنوف (۲۰۰۷) با استفاده از تولید کننده جوی تصادفی LARS-WG سناریوهای تغییر اقلیم را با دقت بالا برای کاربرد در کشاورزی و هیدرولوژی ارزیابی کرد. از نتایج آن برای تحلیل رویدادهای اقلیمی حدی آینده و حال حاضر و بررسی اثرات تغییر اقلیم روی گندم در انگلستان استفاده کرد. سمنوف (۲۰۰۸) با استفاده از آمار و اطلاعات ۲۰ ایستگاه در نقاط مختلف دنیا با اقلیم‌های متفاوت توانایی مدل تولید کننده جوی LARS-WG برای شبیه‌سازی رویدادهای جوی حدی را بررسی کرد.

دوبروفسکی و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از ۵ سناریو تغییر اقلیم، برای بررسی وضعیت خشکسالی آینده، سری‌های هواشناسی ماهانه ۴۵ ایستگاه را در جمهوری چک تا سال ۲۱۰۰ برآورد کردند. سپس با تعریف شاخص‌های خشکسالی جدید rSPI و rPDSI که به ترتیب شاخص استاندارد بارندگی نسبی و شاخص شدت خشکسالی

به طور کلی مقادیر متوسط کمیت‌های جوی یک منطقه بدون توجه به زمان وقوع آن‌ها اقلیم آن منطقه را تشکیل می‌دهد. شاخص‌های اقلیمی توابعی هستند که در آن‌ها از دو یا چند متغیر اقلیمی استفاده شده و بر حسب مقادیر عددی محاسبه شده، نوع اقلیم منطقه مشخص می‌شود.

تغییر اقلیم در سال‌های اخیر اهمیت زیادی پیدا کرده است. بررسی‌های اولیه^۱ IPCC نشان از تغییرات پارامترهای مختلف اقلیمی دما، بارندگی، پوشش برف و سطح دریاها در اثر پدیده تغییر اقلیم دارد (هیأت بین دول تغییر اقلیم، ۲۰۰۱). پژوهش‌های مختلف نشان از وجود تأثیر افزایش گازهای گلخانه‌ای روی اقلیم کره زمین دارد. مهمترین اثر این افزایش بر درجه حرارت اتمسفر کره زمین بوده که از آن به عنوان گرم شدن سراسری^۲ یاد می‌گردد (مرید و مساح، ۲۰۱۰). این تأثیر فقط بر درجه حرارت نبوده و دیگر متغیرهای اقلیمی از جمله بارندگی، تبخیر و تعرق، تابش خورشیدی را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد که باعث پدیده تغییر اقلیم می‌شود. با توجه به اینکه تغییرات کوچک در متغیرهای اقلیمی می‌تواند منجر به تغییرات محسوس در بهره‌برداری از منابع آب شود، بررسی این تغییرات از اهمیت بالایی خواهد داشت (هیأت بین دول تغییر اقلیم، ۲۰۰۱). گزارش ارزیابی چهارم هیأت بین دول تغییر اقلیم (AR4) بر پایه مجموعه داده‌های بسیاری از پروژه‌های تغییر اقلیم در آینده توسط ۱۸ گروه جهانی مدل‌سازی، ایجاد شده است که تجربی‌های اقلیمی در چندین مدل گردش جهانی^۳ (GCM) و سناریوهای مختلف اجرا شده‌اند (سمنوف و استراتونوویچ، ۲۰۱۰).

یکی از محدودیت‌های اصلی در استفاده از داده‌های اقلیمی مدل‌های GCM این است که دقت تجزیه مکانی و زمانی آن‌ها با دقت مورد نیاز مدل‌های هیدرولوژیکی مطابقت ندارد. دقت مکانی این مدل‌ها در حدود ۲۰۰ کیلومتر است، که این دقت برای بررسی مناطق کوهستانی و پارامترهای اقلیمی نظیر بارش و دما نامناسب است. با استفاده از روش‌های ریزمقیاس‌نمایی، می‌توان خروجی‌های GCM را به متغیرهای سطحی در مقیاس حوضه مورد مطالعه تبدیل کرد (ویلی و همکاران، ۲۰۰۲).

1- Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC)

2- Global warming

3- Global Circulation Model (GCM)

مدل LARS-WG بر اساس سری‌های تولیدکننده‌های جوی که توسط (راکسکو و همکاران، ۱۹۹۱) تشریح و بنا شده است. در نسخه ۵ مدل LARS-WG حداکثر و حداقل دما برای روزهای خشک و تر، توسط توزیع‌های نیمه‌تجربی برای هر ماه با محاسبه خود همبستگی و همبستگی ماهانه متقابل، برآورد می‌شود (در نسخه قبلی فقط یک ضریب خودهمبستگی و همبستگی متقابل سالانه استفاده می‌شد). انجام این تغییرات به طور معنی‌داری باعث بهبود شبیه‌سازی دماهای حدی می‌شود (سمنوف و استراتونوویچ، ۲۰۱۰). این مدل می‌تواند داده‌های مصنوعی را با حداقل یک سال داده جوی مشاهده‌ای، شبیه‌سازی کند. اما استفاده از داده‌های مشاهده‌ای بیشتر باعث می‌شود که نرم‌افزار بتواند با دقت بیشتری اقلیم منطقه مورد مطالعه را تطبیق دهد. استفاده از حداقل ۲۰ تا ۳۰ سال داده جوی روزانه توسط مدل توصیه شده است. این مدل از سه بخش اصلی کالیبره کردن مدل^۱، ارزیابی مدل^۲ و ایجاد داده‌های هواشناسی مصنوعی^۳ تشکیل شده است. اولین مرحله برای تولید سری‌های زمانی روزانه داده‌های جوی کالیبره کردن مدل است. در این مرحله داده‌های مشاهده‌ای برای تعیین خصوصیات آماری تحلیل می‌شوند. در بخش ارزیابی مدل یک مقایسه آماری بین داده‌های جوی مصنوعی تولید شده با پارامترهای به دست آمده از داده‌های مشاهده‌ای انجام می‌شود. برای اطمینان از این که توزیع‌های احتمالاتی داده‌های شبیه‌سازی شده به توزیع‌های مشاهده‌ای بلندمدت منطقه مورد مطالعه نزدیک باشد، تعداد زیادی از سال‌های داده‌های جوی شبیه‌سازی شده باید تولید شود. در بخش سوم می‌توان داده‌های مصنوعی با خصوصیات آماری مشابه داده‌های مشاهده‌ای تولید کرد و یا داده‌های جوی مصنوعی مطابق با یک سناریو تغییر اقلیم ایجاد نمود. سناریوهای مختلف تغییر اقلیم در این مدل قابل کاربرد است.

در این مطالعه از مدل گردش جهانی NCCCSM و ۳ سناریو A2، A1B و B1 استفاده شده است که توسط مرکز ملی تحقیقات جوی آمریکا^۴ ارائه شده است. در این مطالعه از چهار شاخص اقلیمی که کاربرد گسترده‌ای در تعیین اقلیم مناطق مختلف دارند و در آنها تنها

پالمر نسبی هستند، وضعیت خشکسالی را در دهه‌های آتی ارزیابی کردند. رجبی و همکاران (۲۰۱۰) دو مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG و SDSM برای ریزمقیاس کردن داده‌های جوی را در کرمانشاه (غرب ایران) ارزیابی کردند. بر اساس ارزیابی داده‌های ریزمقیاس شده بارندگی، حداکثر و حداقل دمای روزانه، هر دو مدل تقریباً تمام ویژگی‌های آماری داده‌های مشاهده‌ای را در سطح اطمینان ۹۵٪ در داده‌های ریزمقیاس تولید می‌کنند. اما در مجموع LARS-WG مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری بهتری نسبت به مدل SDSM بر اساس داده‌های منطقه مورد مطالعه می‌باشد. SDSM می‌تواند خصوصیات آماری داده‌های مشاهده شده را در نتایج ریزمقیاس شده تولید کند.

باتلاس (۲۰۰۷) با استفاده از چهار شاخص اقلیمی شاخص قاره‌ای جانسون، شاخص اقیانوسی کرنر، شاخص خشکی دومارتن و شاخص ترکیبی پینا توزیع مکانی این شاخص‌ها را در شمال یونان ارزیابی کردند. دنیز و همکاران (۲۰۱۱) چهار شاخص اقلیمی را به عنوان ابزار تشخیصی مناسب برای توصیف شرایط اقلیمی در ترکیه به کار بردند. این شاخص‌ها با استفاده از ۲۲۹ ایستگاه هواشناسی در ترکیه در دو دوره زمانی ۱۹۹۰-۱۹۶۰ و ۲۰۰۶-۱۹۹۱ با استفاده از داده‌های ماهانه بارندگی و دما محاسبه شده‌اند. نتایج آن نشان می‌دهد که مناطق نیمه‌خشک در دوره ۲۰۰۶-۱۹۹۱ نسبت به ۱۹۹۰-۱۹۶۰ افزایش یافته است.

با توجه به این که در پژوهش‌های مختلف از افزایش درجه حرارت اتمسفر در اثر افزایش گازهای گلخانه‌ای و به تبع آن تغییر سایر متغیرهای اقلیمی به عنوان تغییر اقلیم یاد می‌شود، در این مطالعه اثر این تغییرات روی چند شاخص اقلیمی بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

در محدوده مورد مطالعه ۱۳ ایستگاه تبخیرسنجی وابسته به وزارت نیرو و ۱۰ ایستگاه سینوپتیک وابسته به سازمان هواشناسی کشور وجود دارد. با توجه به این که سناریوهای مدل گردش جهانی، پارامترهای جوی دوره پایه را در دوره ۲۰۰۰-۱۹۶۰ محاسبه کرده‌اند، لذا آمار ایستگاه‌هایی قابل استفاده است که در این دوره زمانی دارای آمار روزانه باشند. لذا تنها ایستگاهی که آمار و اطلاعات کافی در این دوره زمانی دارد، ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه است که به عنوان ایستگاه شاخص در نظر گرفته شده است.

1- Model calibration

2- Model validation

3- Generation of synthetic weather data

4- National Center for Atmospheric Research (NCAR)

افزایش در مقدار IDM با ثابت بودن درجه حرارت دلالت بر افزایش بارندگی دارد. طبقه‌بندی اقلیمی بر پایه مقادیر شاخص دومارتن در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- طبقه بندی شاخص اقلیمی دومارتن (دومارتن ۱۹۲۵)

IDM	بارندگی سالانه (mm)	اقلیم
IDM < ۱۰	P < ۲۰۰	خشک
۱۰ ≤ IDM ≤ ۲۰	۲۰۰ ≤ P < ۴۰۰	نیمه‌خشک
۲۰ ≤ IDM < ۲۴	۴۰۰ ≤ P < ۵۰۰	مدیترانه‌ای
۲۴ ≤ IDM < ۲۸	۵۰۰ ≤ P < ۶۰۰	نیمه‌مرطوب
۲۸ ≤ IDM < ۳۵	۶۰۰ ≤ P < ۷۰۰	مرطوب
۳۵ ≤ IDM ≤ ۵۵	۷۰۰ ≤ P < ۸۰۰	خیلی مرطوب

شاخص ترکیبی پینا (PCI)^۴

پینا یک شاخص ترکیبی را به صورت زیر ارائه داده است:

$$I_p = \frac{1}{2} \left(\frac{P}{T+10} + \frac{12P'_d}{T'_d+10} \right) \quad (۴)$$

که در آن P و T به ترتیب مقادیر میانگین سالانه بارندگی بر حسب mm و دمای هوا بر حسب °C و P'_d و T'_d میانگین مقدار باران بر حسب mm و دمای هوا بر حسب °C در خشک‌ترین ماه است. این شاخص با روش بهتری مناطق و فصل‌هایی را که آبیاری لازم است با توجه به بارندگی و دمای خشک‌ترین ماه تشریح می‌کند. اگر مقدار شاخص کمتر از ۱۰ باشد اقلیم خشک طبقه بندی شده و هنگامی که بین ۱۰ و ۲۰ باشد، اقلیم مدیترانه‌ای نیمه‌خشک می‌باشد (باتالاس، ۲۰۰۷).

مقادیر ماهانه بارندگی و دمای هوا برای ایجاد نمودار بارندگی-درجه حرارت در هر ایستگاه مورد نیاز است. بر اساس تعریف (گوسین، ۱۹۵۶) یک ماه هنگامی خشک است که:

$$P' < 2T' \quad (۵)$$

که در آن P' و T' به ترتیب میانگین ماهانه بارندگی (mm) و درجه حرارت هوا (°C) می‌باشد.

نتایج و بحث

داده‌های بارندگی، حداکثر و حداقل دمای روزانه ایستگاه کرمانشاه در دوره زمانی ۲۰۰۶-۱۹۶۱ از سازمان هواشناسی دریافت گردید. با توجه به اینکه ثبت داده‌های جوی در کرمانشاه در دوره زمانی ۲۰۰۶-۱۹۶۱ از سازمان هواشناسی دریافت شد. با توجه به این‌که ثبت داده‌های جوی در

پارامترهای اقلیمی دما و بارندگی به کار رفته، استفاده شده است.

شاخص قاره‌ای جانسون (JCI)^۱

این شاخص برای طبقه‌بندی اقلیمی بین اقلیم قاره‌ای و اقیانوسی به کار می‌رود. این شاخص با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$K = \frac{1.7E}{\sin f} - 20.4 \quad (۱)$$

که در آن E محدوده سالانه متوسط دمای ماهانه بر حسب °C است. (اختلاف بین حداکثر و حداقل میانگین دمای هوا) و f عرض جغرافیایی ایستگاه بر حسب درجه می‌باشد. روش‌های مختلف دیگری هم برای تعیین شاخص قاره‌ای اقلیم یک منطقه وجود دارد. اما معادله فوق بیشترین کاربرد را در بسیاری از مطالعات دارد. در صورتی که K بین صفر تا ۳۳ باشد، اقلیم دریایی و اگر بین ۳۴ تا ۶۶ باشد اقلیم قاره‌ای و بین ۶۷ تا ۱۰۰ اقلیم فوق‌العاده است (اسجوگرستن و ووکی، ۲۰۰۴).

شاخص اقیانوسی کرنر (KOI)^۲

این شاخص بر اساس این واقعیت که در اقلیم دریایی، ماه‌های بهار سردتر از ماه‌های پاییز می‌باشد، شکل گرفته است (گاویلان، ۲۰۰۵):

$$K_1 = \frac{100(T_o - T_a)}{E} \quad (۲)$$

که در آن T_o و T_a به ترتیب مقادیر دمای ماهانه اکتبر و آوریل و E محدوده سالانه متوسط دمای ماهانه بر حسب °C است. مقادیر منفی یا کوچک شاخص بیانگر اقلیم قاره‌ای و مقادیر بزرگتر آن بیانگر اقلیم اقیانوسی می‌باشد. به طور خاص در این مطالعه مقادیر بزرگتر از ۱۰ به عنوان اقلیم اقیانوسی در نظر گرفته شده است.

شاخص خشکی دومارتن (DAI)^۳

شاخص دومارتن یک شاخص خشکی-رطوبتی است و فقط به صورت منطقه‌ای به کار می‌رود. مقدار خشکی یک منطقه بر اساس پیشنهاد دو مارتن (۱۹۲۵) با معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$I_{DM} = \frac{P}{T+10} \quad (۳)$$

که در آن P میانگین بارندگی سالانه بر حسب mm و T میانگین درجه حرارت سالانه هوا بر حسب °C است. یک

1- Johansson Continentality Index (JCI)

2- Kerner Oceanity Index (KOI)

3- De Martonne Aridity Index (DAI)

4- Pinna Combinative Index (PCI)

کاهش خواهد داشت. در نهایت در دوره زمانی سوم هم مقدار بارندگی سالانه در سناریو A1B حدود ۳ درصد، در سناریو A2 به مقدار جزئی ۱/۵۰ درصد و در سناریو B1 حدود ۵ درصد کاهش بارندگی رخ خواهد داد.

حداقل و حداکثر دمای سالانه در همه سناریوها و دوره‌های زمانی آتی افزایش خواهد یافت که این افزایش تا حدودی منظم است. در دوره زمانی اول در هر سه سناریو افزایش دما تقریباً یکسان است و افزایش دمایی در حدود ۱/۵ درجه سانتی‌گراد واقع خواهد شد. این موضوع نشان می‌دهد سیاست‌ها و برنامه‌های اصلاحی تأثیر چندانی در دوره زمانی اول نخواهد داشت. در دوره‌های زمانی دوم و سوم افزایش دما در سناریو B1 کمتر از سایر سناریوها بوده و اختلاف دمای این سناریو در دوره زمانی سوم بسیار محسوس‌تر می‌باشد و نتایج این برنامه‌ها و سیاست‌ها ملموس است. با توجه به برنامه‌های منطقه‌ای سناریو A1B، افزایش دما در این سناریو از سناریو B1 بیشتر بوده اما از سناریو A2 کمتر خواهد بود.

جدول ۲- تغییرات بارندگی سالانه در دوره‌های زمانی مختلف

نسبت به دوره پایه

دوره زمانی	A1B	A2	B1
تغییر	۵/۰۷	-۳/۶۹	-۳۲/۶۵
درصد	۱/۱۲	-۰/۸۱	-۷/۲۰
تغییر	-۲۵/۵۶	-۲۰/۰۱	-۶/۸۵
درصد	-۵/۶۳	-۴/۴۱	-۱/۵۰
تغییر	-۱۳/۸۸	-۶/۸۱	-۲۳/۸۶
درصد	-۳/۰۶	-۱/۵۰	-۵/۲۶

ایستگاه‌های سازمان هواشناسی بر اساس تقویم میلادی انجام می‌شود، فایل‌های ورودی مدل LARS-WG بر همین اساس ایجاد شد و داده‌های ریزمقیاس شده هر سه پارامتر جوی برای یک دوره ۹۰ ساله شبیه‌سازی شد.

تأثیر تغییر اقلیم بر پارامترهای جوی

همچنان که در بخش‌های قبلی عنوان شد، در این مطالعه تأثیر سناریوهای مختلف مدل‌های GCM در کرمانشاه بررسی شده است. مدل چرخش عمومی مورد بررسی مدل NCCCSM است. برای این مدل سناریوهای A1B، A2 و B1 در دوره‌های زمانی آینده به شرح زیر (با توجه به خروجی مدل LARS-WG) محاسبه شده است:

- دوره زمانی اول: ۲۰۱۱-۲۰۳۰

- دوره زمانی دوم: ۲۰۴۶-۲۰۶۵

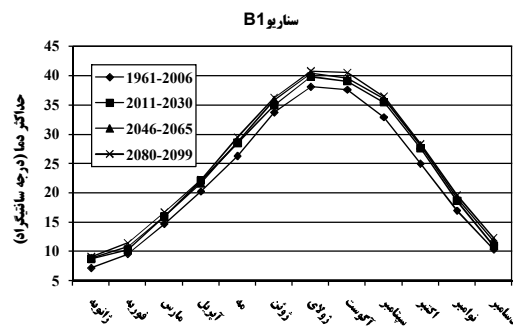
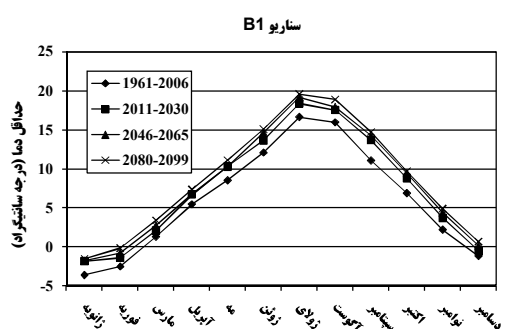
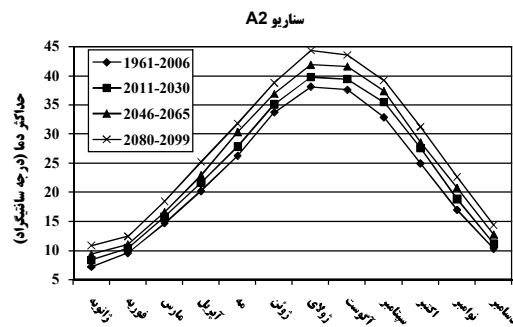
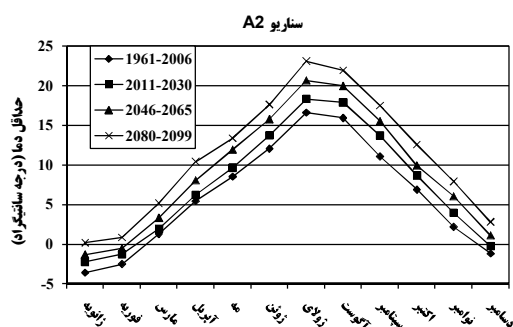
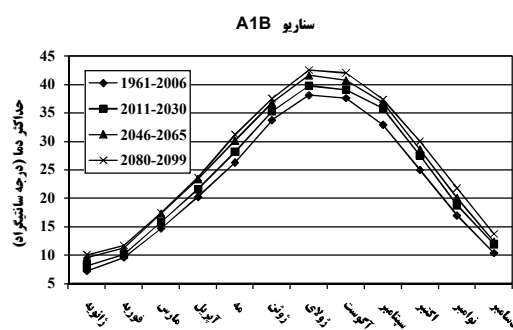
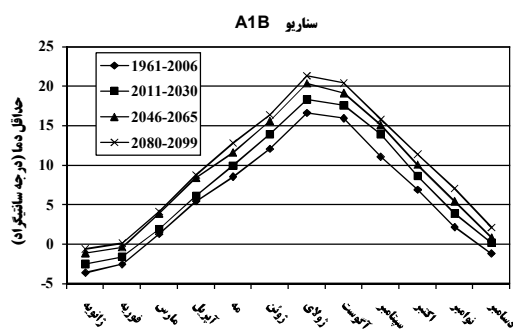
- دوره زمانی سوم: ۲۰۸۰-۲۰۹۹

نتایج پارامترهای جوی برآورد شده در سناریوهای مختلف در شکل‌های ۱ تا ۳ ارائه شده و میزان تغییرات آن‌ها نسبت به دوره پایه در جدول‌های ۲ و ۳ آمده است.

تغییرات بارندگی در دوره‌های آتی چندان منظم نمی‌باشد. در دوره زمانی اول در سناریو B1 مقدار بارندگی سالانه حدود ۷ درصد کاهش خواهد یافت. در حالی که در دو سناریو دیگر تغییر بارندگی سالانه جزئی بوده و در سناریو A2 حدود ۰/۸ درصد کاهش و در سناریو A1B یک درصد افزایش رخ خواهد داد. در دوره زمانی دوم در سناریو A1B مقدار بارندگی سالانه حدود ۵/۵ درصد، در سناریو A2 ۴/۵ درصد و در سناریو B1 به مقدار جزئی ۱/۵۰ درصد

جدول ۳- تغییرات حداکثر و حداقل دمای سالانه در دوره‌های زمانی و سناریوهای مختلف

دوره زمانی	حداکثر دما			حداقل دما		
	A1B	A2	A1B	A2	A1B	
۲۰۱۱-۲۰۳۰	۱/۵۴	۱/۴۹	۱/۴۷	۱/۴۷	۱/۵۲	
۲۰۴۶-۲۰۶۵	۱/۹۳	۳/۰۴	۳/۱۵	۲/۰۳	۲/۹۱	
۲۰۸۰-۲۰۹۹	۲/۴۶	۴/۹۴	۳/۹۱	۲/۵۷	۳/۷۸	



شکل ۲- مقادیر میانگین دمای حداقل ماهانه در دوره‌های زمانی و سناریوهای مختلف

شکل ۱- مقادیر میانگین دمای حداکثر ماهانه در دوره‌های زمانی و سناریوهای مختلف

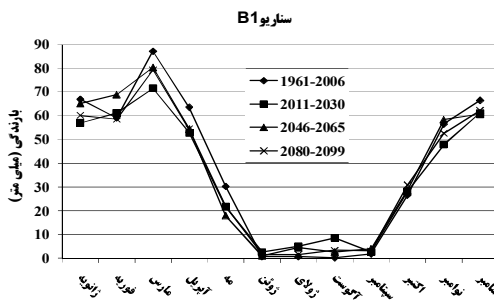
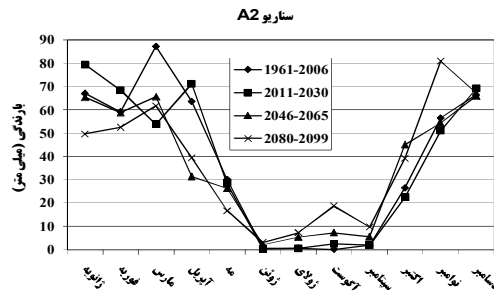
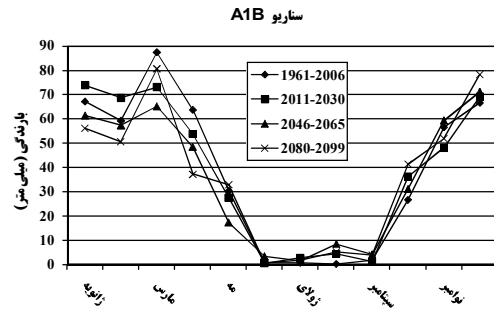
برآورد شاخص‌های اقلیمی در دوره‌های آینده با توجه به مقادیر بارندگی و دمای میانگین ماهانه که برای دوره‌های آینده محاسبه شده است، شاخص قاره‌ای جانسون، شاخص اقیانوسی کرنر، شاخص خشکی دومارتن و شاخص ترکیبی پینا در دوره زمانی پایه (مشاهده‌ای) و سه دوره زمانی ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ و برای ۳ سناریو A1B، A2 و B1 محاسبه شده‌اند که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است.

شاخص اقیانوسی کرنر (K.O.I.) در تمام دوره‌های زمانی و سناریوها بیشتر از ۱۰ بوده و اقلیم منطقه بر این اساس اقیانوسی است. این شاخص در دوره زمانی اول در هر ۳ سناریو شاهد یک افزایش نسبی است. اما در دوره زمانی دوم مقدار شاخص در سناریو B1 نسبت به دوره زمانی اول افزایش می‌یابد، این در حالی است که در ۲ سناریو A1B و A2 این شاخص کاهش می‌یابد. در دوره زمانی سوم هم در دو سناریو A1B و A2 مقدار شاخص نسبت به دوره قبل افزایش می‌یابد که این افزایش در سناریو A1B بیشتر خواهد بود. در حالی که در سناریو B1 مقدار شاخص اقیانوسی کرنر اندکی کاهش خواهد یافت.

مقدار شاخص خشکی دومارتن هم بین ۱۰ و ۲۰ بوده لذا اقلیم منطقه نیمه‌خشک می‌باشد. در تمام دوره‌های زمانی و سناریوها مقدار این شاخص روند کاهشی داشته که این موضوع بیانگر خشک‌تر شدن اقلیم در همه سناریوها خواهد بود. کاهش شاخص خشکی دومارتن در سناریو A2 بیشتر از دو سناریو دیگر بوده و این موضوع بیانگر خشک‌تر شدن اقلیم در شرایط این سناریو می‌باشد.

مقدار شاخص خشکی دومارتن در سناریو B1 نسبت به دوره زمانی اول افزایش می‌یابد، این در حالی است که در ۲ سناریو A1B و A2 این شاخص کاهش می‌یابد. در دوره زمانی سوم هم در دو سناریو A1B و A2 مقدار شاخص نسبت به دوره قبل افزایش می‌یابد که این افزایش در سناریو A1B بیشتر خواهد بود. در حالی که در سناریو B1 مقدار شاخص اقیانوسی کرنر اندکی کاهش خواهد یافت.

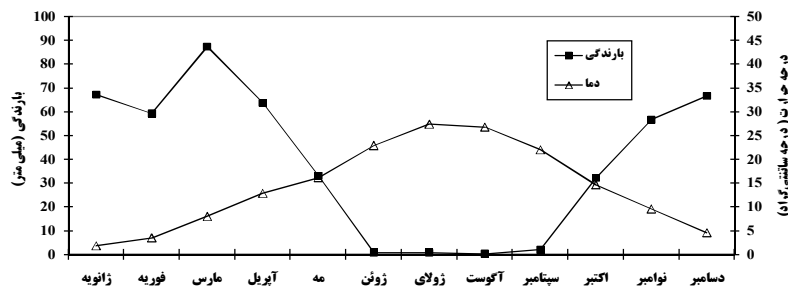
شاخص ترکیبی پینا هم در تمام دوره‌های زمانی و سناریوها بین ۱۰ و ۲۰ بوده و لذا اقلیم منطقه در خشک‌ترین ماه سال، خشک است. و مقایسه دوره‌های زمانی و سناریوها هم مشابه شاخص خشکی دومارتن می‌باشد. در شکل ۴ بارندگی- درجه حرارت ایستگاه کرمانشاه در دوره مشاهده‌ای ارایه شده است. در نمودارهای بارندگی- درجه حرارت اندازه واحد بارندگی (در محور عمودی سمت چپ) بر حسب میلی‌متر دو برابر اندازه واحد درجه حرارت (در محور عمودی سمت راست) بر حسب درجه سانتی‌گراد می‌باشد. همچنان که ملاحظه می‌شود ۴ ماه ژوئن الی سپتامبر کاملاً خشک بوده و دو ماه می و اکتبر به صورت مرزی مرطوب هستند. در شکل‌های ۵ الی ۷ بارندگی- درجه حرارت در دوره‌های زمانی آینده و سناریوی A1B به عنوان نمونه ارایه شده است. واضح است که ماه می که در دوره پایه جزء ماه‌های مرطوب می‌باشد، در دوره آتی به ماه خشک تبدیل می‌شود. و شدت آن در دوره زمانی ۲۰۴۶-۲۰۶۵ به مراتب بیشتر هم می‌شود. در ضمن ماه آپریل هم به تدریج به شرایط خشک نزدیک می‌شود و در دوره زمانی ۲۰۸۰-۲۰۹۹ در شرایط مرزی بین خشک و مرطوب خواهد بود. از طرف دیگر ماه اکتبر در آینده شرایط نسبتاً بهتری خواهد داشت و در دوره‌های زمانی آتی مرطوب خواهد بود.



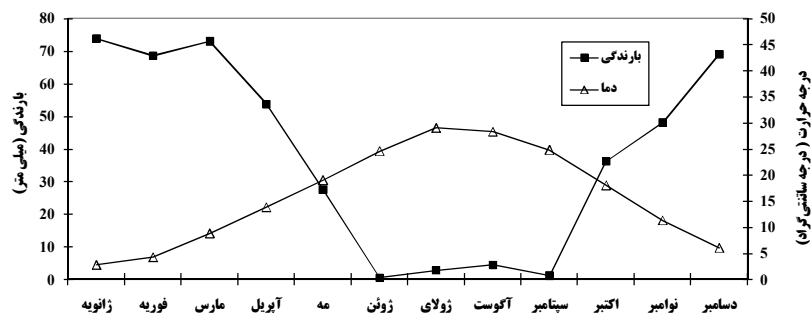
شکل ۳- مقادیر میانگین بارندگی ماهانه در دوره‌های زمانی و سناریوهای مختلف

جدول ۴- تغییرات شاخص‌های اقلیمی در دوره‌های زمانی و سناریوهای مختلف

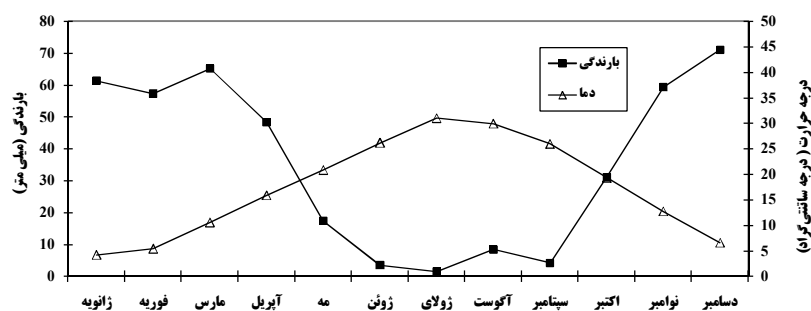
B1				A2				A1B				دوره زمانی
P.C.I.	D.A.I.	K.O.I.	J.C.I.	P.C.I.	D.A.I.	K.O.I.	J.C.I.	P.C.I.	D.A.I.	K.O.I.	J.C.I.	
۹/۴۳	۱۸/۶۰	۱۸/۵۲	۳۰/۰۰	۹/۴۳	۱۸/۶۰	۱۸/۵۲	۳۰/۰۰	۹/۴۳	۱۸/۶۰	۱۸/۵۲	۳۰/۰۰	۱۹۶۱-۲۰۰۶
۸/۵۸	۱۶/۲۴	۲۲/۶۱	۳۰/۰۵	۸/۷۹	۱۷/۳۹	۲۴/۹۸	۳۰/۰۶	۸/۹۵	۱۷/۷۲	۲۵/۱۳	۳۰/۱۷	۲۰۱۱-۲۰۳۰
۸/۶۵	۱۶/۹۴	۲۷/۳۷	۲۹/۷۰	۸/۲۵	۱۵/۷۸	۲۲/۵۲	۲۹/۶۵	۸/۳۹	۱۵/۶۵	۲۰/۶۸	۲۹/۶۶	۲۰۴۶-۲۰۶۵
۸/۲۵	۱۵/۹۸	۲۵/۴۴	۲۹/۶۷	۸/۰۹	۱۵/۲۰	۲۴/۶۶	۲۹/۶۱	۷/۹۰	۱۵/۵۸/	۲۷/۲۱	۲۹/۶۱	۲۰۸۰-۲۰۹۹



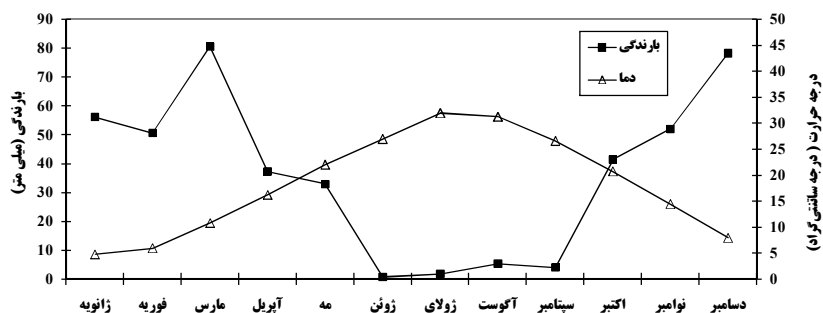
شکل ۴- بارندگی- درجه حرارت ایستگاه کرمانشاه در دوره مشاهده‌ای



شکل ۵- بارندگی - درجه حرارت ایستگاه کرمانشاه در دوره‌های زمانی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ و سناریو A1B



شکل ۶- نمودار بارندگی - درجه حرارت ایستگاه کرمانشاه در دوره‌های زمانی ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و سناریو A1B



شکل ۷- بارندگی - درجه حرارت ایستگاه کرمانشاه در دوره‌های زمانی ۲۰۰۹-۲۰۸۰ و سناریو A1B

زمانی و سناریوها مشابه شاخص خشکی دومارتن است. در مقایسه سناریوها در سناریو B1 روند خشک‌تر شدن اقلیم کندتر از دو سناریو دیگر بوده و این روند در سناریو A2 شدیدتر می‌باشد و سناریو A1B بین دو سناریو دیگر قرار می‌گیرد که این موضوع با فرضی‌های این سناریوها هم همخوانی دارد. در نمودار بارندگی - درجه حرارت ۴ ماه ژوئن الی سپتامبر کاملاً خشک بوده و دو ماه می و اکتبر به صورت مرزی مرطوب هستند. ماه می در دوره‌های آتی به ماه خشک تبدیل می‌شود و آوریل هم به تدریج به شرایط خشک نزدیک می‌شود. با توجه به معیارها و تعریف‌های متفاوت شاخص‌های مورد استفاده، این شاخص‌ها با یکدیگر قابل مقایسه نیستند و

نتیجه‌گیری

بر اساس شاخص قاره‌ای جانسون اقلیم دریایی بوده و با کاهش این شاخص در دوره‌های آتی اقلیم منطقه خشک‌تر خواهد شد که شدت آن در دوره‌های زمانی دوم و سوم بیشتر است. اقلیم منطقه بر اساس شاخص اقیانوسی کرنر اقیانوسی است. کاهش این شاخص در دوره‌های زمانی دوم و سوم حاکی از خشک‌تر شدن اقلیم منطقه در آینده است. اقلیم کرمانشاه بر اساس شاخص خشکی دومارتن نیمه‌خشک است. با توجه به سیر نزولی این شاخص در دوره‌های زمانی دوم و سوم بر اساس این شاخص هم اقلیم منطقه خشک‌تر خواهد شد. شاخص ترکیبی پینا هم در مقایسه دوره‌های

- climate change: scientific- technical analyses, eds. Watson, R. T. Zinyowera M. C. and Moss R. h. Contribution of working group I to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change, Cambridge University Press. Cambridge. pp. 1-53.
9. Morid S. and Massah Bavani A. R. 2010. Exploration of potential adaptation strategies to climate change in the Zayandeh Rud irrigation system, Iran. *Irrigation and Drainage*. 59(2):226-238.
 10. Racsko P. Szeidl L. and Semenov M. 1991. A serial approach to local stochastic weather models. *Ecological Modeling*. 57(1-2):27-41.
 11. Rajabi A. Sedghi H. Eslamian S. and Musavi H. 2010. Comparison of LARS-WG and SDSM Downscaling Models in Kermanshah (Iran). *Ecology, Environment and Conservation*. 16(4):465-474.
 12. Semenov M. A. and Stratonovitch P. 2010. The use of multi-model ensembles from global climate models for impact assessments of climate change. *Climate Research*. 41(1):1-14.
 13. Semenov M. A. 2008. Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator. *Climate Research*. 35(3):203-212.
 14. Semenov M. A. 2007. Development of high-resolution UKCIP02-based climate change scenarios in the UK. *Agricultural and Forest Meteorology*. 144(1-2):127-138.
 15. Semenov M. A. and Barrow E. M. 2007. LARS-WG A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies. User Manual. 27 p.
 16. Semenov M. A. and Barrow E. M. 1997. Use of a stochastic weather generator in the development of climate change scenarios. *Climatic Change*. 35(4):397-414.
 17. Sjogersten S. and Wookey P. A. 2004. Decomposition of mountain birch leaf litter at the forest-tundra ecotone in the Fennoscandian mountains in relation to climate and soil conditions. *Plant and Soil*. 262(1-2):215-227.
 18. Wilby R. L. Dawson C. W. and Barrow E. M. 2002. SDSM- A Decision Support Tool for the Assessment of Regional Climate Change Impacts. *Journal of Environmental Modeling and Software*. 17(2):147-159.
- حتی نوع اقلیم منطقه مورد مطالعه در دو شاخص جانسون و کرنر به ترتیب دریایی و اقیانوسی می باشد که به لحاظ معنای لغوی با واقعیت منطقه همخوانی ندارد. بنابراین می توان نتیجه گرفت این دو شاخص قابل استفاده برای این منطقه نیستند.
- ### سپاس گزاری
- نویسندگان مقاله از پشتیبانی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمانشاه در انجام این پژوهش قدردانی می کنند. همچنین از همکاری اداره کل هواشناسی استان کرمانشاه و کارشناسان محترم آن برای در اختیار گذاشتن داده های مورد نیاز تشکر می شود.
- ### منابع
1. Batlas E. 2007. Spatial distribution of climatic indices in northern Greece. *Meteorol. Appl*. 14(1):69-78.
 2. De Martonne E. 1925. *Trait'e de G'eographie Physique*: 3 tomes, Paris.
 3. Deniz A. Toros H. and Incecik S. 2011. Spatial variations of climate indices in Turkey. *International Journal of Climatology*. 31(3):394-403.
 4. Dubrovsky M. Svoboda M. D. Trnka M. Hayes M. J. Wilhite D. A. Zalud Z. and Hlavinka P. 2008. Application of Relative Drought Indices in Assessing Climate Change Impacts on Drought Conditions in Czechia. *Theor Appl Climatol*. 96(1-2):155-167.
 5. Gaussen H. 1956. Le XVIII congres international de Geographie, Rio de Janeiro. Aout. 1956. *Annales De Geographie*. 353:1-19.
 6. Gavilan R. G. 2005. The use of climatic parameters and indices in vegetation distribution. A case study in the Spanish Sistema Central. *International Journal of Biometeorology*. 50(2):111-120.
 7. IPCC. 2007. *Climate Change, Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 104 p.
 8. IPCC. 2001. Technical summary. In: *Climate change. Impacts, adaptations and mitigation of*

