

پیش‌بینی تغییرات عوامل محیطی اقلیمی منطقه زاگرس برای دوره‌های آتی

نگار صالحی هفشجانی^۱، آرش ملکیان^{۱*}، حسین آذرنیوند^۱، علی سلاجقه^۱، رفعت زارع بیدکی^۲،
باقر شیرمحمدی^۱

^۱گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
^۲گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۶

چکیده

انتشار غیر قابل کنترل گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر به عنوان عامل اصلی و تهدید برای تغییر اقلیم مطرح شده است. این امر موجب کاهش بارش‌ها، افزایش درجه حرارت و وقوع پیامدهای حدی اقلیمی در آینده است. با توجه به ویژگی‌های جوامع و محدودیت‌ها می‌تواند پیامدهای زیانباری به همراه داشته باشد. درک روند این تغییرات در انجام پروژه‌های تغییر اقلیمی در مقیاس جهانی برای فهم تغییرات اقلیمی آینده بسیار مهم است. در این پژوهش، از مدل اقلیمی ریزمقیاس نمایی آماری جهت ریزمقیاس‌سازی در مقیاس منطقه‌ای برگرفته از مدل های گردش جهانی جو استفاده شده است. این پژوهش در حوزه آبخیز کارون شمالی به بررسی روند مؤلفه‌های بارش و درجه حرارت میانگین، جهت آشکارسازی تأثیر تغییرات بر اقلیم منطقه، انجام شده است که نتایج در پیش‌بینی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد، در بازه پیش‌بینی شده (۲۰۲۰-۲۱۰۰) با استفاده از دو سناریوی خوشبینانه و بدبینانه (RCP2.6 و RCP8.5) عملکرد ارزیابی مدل برای متغیر بارش ($R=0.85$)، $(RMSE=0.84, MSE=0.73, MAD=0.58)$ و برای متغیر درجه حرارت ($R=0.93, MAD=2.2, MSE=1.5, RMSE=1.3$) می‌باشد. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، متوسط بارش نسبت به دوره مشاهداتی تحت سناریو RCP2.6 به میزان ۳۵/۹۷ میلی متر افزایش و تحت سناریوی RCP8.5 به مقدار ۷۳/۵۷ میلی متر افزایش خواهد داشت. همچنین درجه حرارت در هر دو سناریو RCP2.6 و RCP8.5 به ترتیب ۳/۰۱ و ۴/۷۹ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد داشت.

کلید واژگان: تغییر اقلیم، گازهای گلخانه‌ای، مدل گردش عمومی جو، مدل ریزمقیاس نمایی آماری

مقدمه

وجود اکوسیستم سالم و به دنبال آن، آب برای حیات انسان ضروری است. کاهش سطح آب، تغییرات اقلیمی و اکوسیستم‌های ناپایدار تهدیدی برای پایداری کشاورزی، آب و سلامت محیط زیست است. دسترسی به این منابع و مدیریت آن‌ها پایه و اساس توسعه پایدار محسوب می‌شود. در بسیاری از مناطق، تغییر بارش یا ذوب برف و یخ‌ها سیستم‌های هیدرولوژیکی را تغییر داده و منابع آب را از نظر کمی و کیفی تحت تأثیر قرار می‌دهند. یخچال‌ها تقریباً در سراسر جهان به دلیل تغییرات آب و هوایی، که بر رواناب و منابع آب پایین دست تأثیر می‌گذارند، در نهایت باعث گرم شدن و ذوب شدن یخچال‌ها می‌شود (Perry et al., 2007). امروزه، به دلیل افزایش و متمرکز شدن گازهای گلخانه‌ای، گرم شدن کره زمین دارای تأثیرات قابل توجهی بر بارندگی، فرایندهای رواناب و ویژگی‌های منابع آب است (Reynard and Arnell, 1996). بنابراین، بارندگی به عنوان عامل کلیدی بر تغییرات فراوانی و بزرگی چرخه هیدرولوژیکی می‌تواند پیامدهای جدی بر اجتماع، توسعه کشاورزی و اقتصادی داشته باشد (Najafi et al., 2015). منابع آب موجود در منطقه خاورمیانه به دلیل تأثیرات ناشی از تغییرات اقلیمی به وضعیت شدید تغییر می‌کند. ایران نیز کشوری است که در مناطق خشک و نیمه خشک خاورمیانه، که عمدتاً دارای بارندگی کم و درجه حرارت بالا است، ناهنجاری‌های اقلیمی در بارندگی و درجه حرارت، نقش مهمی در توسعه سریع کشور در زمینه‌های کشاورزی، رشد جمعیت گسترده، شهرنشینی و توسعه سریع اقتصادی نشان می‌دهد که در صورت ادامه روند ایران با چالش‌های شدیدی در منابع آب موجود به‌ویژه در آینده با آن روبرو خواهد شد (Perry et al., 2007). در راستای تعیین روند پارامترهای تأثیرگذار در تغییرات اقلیمی، از مدل‌های گردش عمومی جو استفاده می‌گردد. سناریوها در این مدل‌ها، عمدتاً بر پارامترهای درجه حرارت و بارش تمرکز می‌کنند. مدل‌های گردش عمومی جو-اقیانوس یا AOGCM ها، مدل‌های

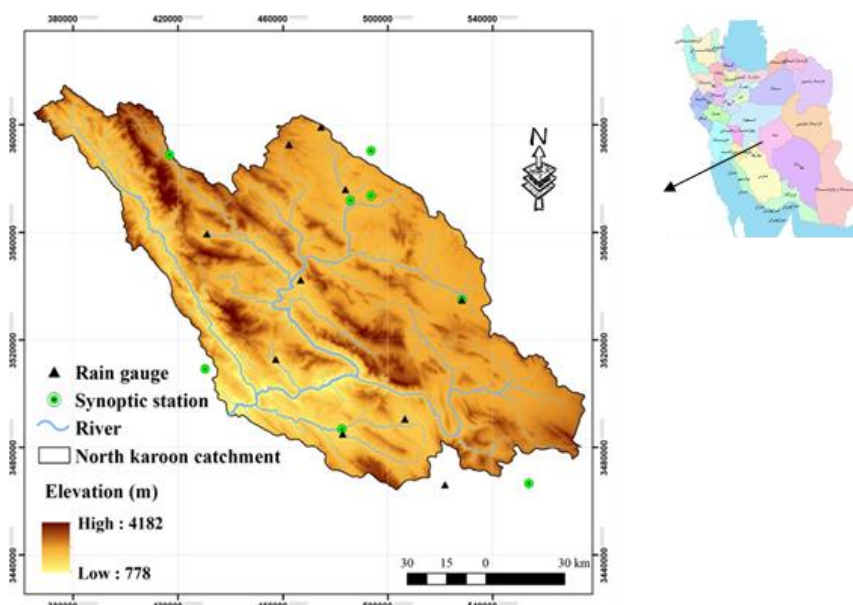
ترکیبی اتمسفر و اقیانوس هستند که شبیه‌سازی اقلیمی را در مقیاس دنیا انجام می‌دهند (Zhang et al., 2016). این مدل‌ها اصلی‌ترین جزء مدل‌های اقلیم جهانی General Circulation Models (GCMs) می‌باشند که مهمترین ابزار مورد استفاده جهت کمی‌سازی و ارزیابی اثرات تغییر اقلیم هستند (Harri and Wilby, 2006). با توجه به اینکه شبیه‌سازی‌های اقلیم جهانی بسیار هزینه‌بر هستند، بنابراین این مدل‌ها پیش‌بینی را در یک مقیاس بزرگتری انجام می‌دهند (در اغلب موارد، ۲۵۰*۲۵۰ کیلومتر) (Gulacha and Mulungu, 2017; Zhang et al., 2016). مدل‌های گردش عمومی (GCM) به عنوان مدل‌های عددی که فرایندهای فیزیکی را در جو نشان می‌دهند، می‌توانند آب و هوای کنونی را شبیه‌سازی کرده و شرایط آب و هوایی آینده را در سناریوهای مختلف پیش‌بینی کنند (McAfee et al., 2007; Miao et al., 2013; Parry et al., 2011). مسئله اینجاست که مدل‌های ارزیابی اثرات محیط زیستی به ویژگی‌های اقلیم محلی حساس بوده و محرک‌های تغییر اقلیم محلی در مدل‌های بزرگ مقیاس (GCMs) قابل دستیابی نیست (Maurer and Hidalgo, 2008). به همین دلیل GCM ها توصیف دقیقی از اقلیم محلی ارائه نمی‌دهند. در واقع این مدل‌ها، اثر عوارض محلی مانند توپوگرافی و پوشش گیاهی را در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی دخالت نمی‌دهند (Wilby and Dawson, 2007). در راستای غلبه بر این مشکل، از روش‌های ریزمقیاس نمایی جهت پیش‌بینی اقلیم محلی بر اساس سناریوهای حاصل از GCM ها استفاده می‌شود (Parry et al., 2007). در این مطالعه از روش آماری Statistical Down Scaling Model (SDSM) که دارای فرایند دو مرحله‌ای (۱) توسعه روابط آماری بین متغیرهای اقلیم محلی و پیش‌بینی‌های بزرگ مقیاس، (۲) استفاده روابط تعریف شده به منظور شبیه‌سازی ویژگی‌های اقلیم محلی در آینده است، استفاده خواهد شد (Mahmood and Babel, 2014; Maurer and Hidalgo, 2008). مدل ریزمقیاس نمایی SDSM یکی از

پرکاربردترین روش‌های ریزمقیاس است که با استفاده از رگرسیون خطی چند متغیره، روابط بین متغیرهای مستقل و وابسته را مشخص می‌کند (Babel and Mahmood, 2014). ریزمقیاس نمایی آماری یک رویکرد واقع‌بینانه جهت توسعه پیش‌بینی خاصی از اقلیم محلی است. معمولاً این روش آماری در پیش‌بینی‌های GCM ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین، ریزمقیاس نمایی ممکن است در راستای خروجی Representative Concentration Pathway (RCP) مورد استفاده قرار گیرد که در این صورت نتایج ممکن است نشان‌دهنده اقلیم محلی نباشد (Skaugen et al., 2002; Van Vuuren et al., 2011). علاوه بر این، خروجی RCP ها ممکن است تفکیک مکانی کافی برای برخی از مطالعات ارزیابی اثرات را نداشته باشد از این‌رو بایستی ریزمقیاس نمایی آماری دیگری برای نتایج مدل دینامیکی استفاده شود (Benestad et al., 2007). در بررسی تغییرات اقلیمی حوزه دریاچه ارومیه با استفاده از مدل اقلیمی (HadCM3) (Hadley Centre Coupled Model, version 3 طبق دو سناریو A2 و B2 متغیر بارش به مقدار یک میلی‌متر در روز تحت سناریو A2 کاهش و تحت سناریو B2 به میزان ۰/۳ میلی‌متر افزایش بارندگی داشته و درجه حرارت در هر دو سناریو به ترتیب ۱/۲ و ۱/۱ سانتی‌گراد افزایش خواهد داشت (Shirmohammadi et al., 2020). مدل SDSM را در شبیه‌سازی درجه حرارت ی هوا، تبخیر، بارش و همچنین برخی رویدادهای حدی درجه حرارت و بارش در ۱۱ ایستگاه هواشناسی در حوضه رودخانه‌های چین ارزیابی نمودند. نتایج نشان‌دهنده قابلیت مناسب SDSM در ریزمقیاس نمایی بود. اما در شبیه‌سازی رویدادهای حدی خطای سیستماتیک وجود داشت. در مجموع نتایج حاصل قابل قبول تشخیص داده شد (Chu et al., 2010). در پژوهش حاضر برای ریزمقیاس نمایی آماری از نرم‌افزار SDSM4.2 استفاده گردید. داده‌های اتمسفری بزرگ مقیاس مربوط به داده‌های باز تحلیل National Centers for Environmental

Prediction (NCEP) مدل گردش عمومی سیستم زمین کانادا CanESM2 می‌باشد که توسط مرکز کانادایی برای مدل‌سازی و تحلیل اقلیم (CCCma) محیط‌زیست کانادا توسعه یافته است (Parry, 2007). خروجی CanESM2 برای سناریوهای مسیر غلظت گازهای گلخانه‌ای (RCP) شامل RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 از طریق وبسایت کانادا، تهیه شده است (Mohammadi et al., 2018). در بررسی تغییرات اقلیمی در حوزه آبخیز کرمانشاه با استفاده از مدل SDSM به پیش‌بینی دو متغیر بارش و درجه حرارت تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۹۹ پرداختند که نتایج کاهش بارندگی و افزایش درجه حرارت را نسبت به دوره پایه تخمین زده است. با توجه به پژوهش‌های انجام شده در زمینه ریزمقیاس‌سازی به دلیل اهمیت منطقه کارون شمالی به عنوان یکی از سرشاخه‌های مهم کارون بزرگ، بررسی متأثر شدن منابع آبی از نوع بارش و نیز تأثیرگذاری افزایش و یا کاهش درجه حرارت ناشی از تغییرات اقلیمی در این منطقه ضروری به نظر می‌رسد. همچنین با توجه به تغییرات شدید آب و هوایی، افزایش شدت خشک‌سالی‌های اخیر، و انتقال آب بین حوضه ای باعث کمبود آب و ایجاد خسارت در بخش کشاورزی و حتی مصارف شرب شده است. بنابراین این مطالعه با هدف به‌دست آوردن تغییرات ارتفاع بارش و درجه حرارت جهت ایجاد برنامه‌ریزی بلند مدت و منسجم محیطی در منطقه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه: حوزه آبخیز کارون شمالی، با مساحت ۱۴۴۷۶ کیلومتر مربع ۲۳ درصد از کل مساحت حوزه آبخیز رودخانه کارون بزرگ را شامل می‌شود (Alimirzai et al., 2018). این حوضه در محدوده عرض جغرافیایی ۳۱° ۱۸' شمالی تا ۳۲° ۴۰' شمالی و طول جغرافیایی ۴۹° ۳۴' شرقی تا ۵۱° ۴۷' شمالی قرار گرفته است. بخش مهمی از این محدوده، در استان



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز کارون شمالی و محل قرار گیری ایستگاه‌ها.

بودن داده‌ها، داده‌های روزانه بارش و درجه حرارت براساس تعداد سال‌های آماری مشترک و موقعیت مکانی هر ایستگاه در منطقه مورد بررسی در مدل در نظر گرفته شده است (جدول ۱). عملکرد مدل در پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی بر اساس شاخص‌های ضریب تشخیص (R^2)، جذر میانگین مربعات خطای میانگین (RMSE)، میانگین خطای استاندارد (MSE) و میانگین قدر مطلق انحراف (MAD) که در جدول ۲ تعریف شده‌اند در ادامه جهت ارزیابی داده‌های پایه بکار گرفته می‌شوند. به عنوان مثال بهترین مقادیر R زمانی است، که مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده‌ای داده‌های بزرگ مقیاس NCEP و GCM به دست آمده از نزدیک‌ترین شبکه جهانی از آدرس <https://climate-scenarios.canada.ca/?page=pred-canesm2> منطقه مورد مطالعه برای بررسی تغییرات دوره‌های آبی مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش از یکی از مدل‌های GCM به نام CanESM2 در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی درجه حرارت و بارش استفاده شد، متغیرهای اتمسفری بزرگ مقیاس مراکز پیش‌بینی محیطی NCEP و مرکز ملی پژوهش اتمسفری برای ایجاد ارتباط آماری با داده‌های ایستگاه مشاهداتی و مدل‌سازی شده از ۲۶ متغیر در داده‌های NCEP استفاده کرده است که لیست این متغیرها در جدول ۳ ارائه شده است.

چهارمحال و بختیاری شامل حوزه کارون است، ولی مرز حوضه در کل نقاط منطبق بر تقسیمات کشوری نمی‌باشد، کل این بخش از حوضه در استان‌های اصفهان، چهارمحال و بختیاری واقع شده است (شکل ۱). متوسط بارش سالیانه، در منطقه بین ۸۰۰-۱۴۰۰ میلی‌متر به ثبت رسیده است. تغییرات درجه حرارت در این منطقه با نوسانات زیادی همراه است، به طوری که حداقل درجه حرارت مطلق هوا در ایستگاه‌های کوهستانی ۳۱- درجه سانتی‌گراد و حداکثر مطلق درجه حرارت هوا به ۳۴/۷ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. میانگین تبخیر نیز به ۲۵۰۰ میلی‌متر در سال می‌رسد.

داده‌ها: برای مدل‌سازی داده‌های اقلیمی توسط CanESM2 از سه نوع ورودی داده‌های روزانه بارندگی، درجه حرارت و داده‌های باز تحلیل شده جو (NCEP) و داده‌های مدل CanESM2 استفاده می‌شود. از ۲۸ ایستگاه موجود در این منطقه، به دلیل محدودیت در طول دوره آماری، تنها به نتایج هشت ایستگاه سینوپتیک برای داده‌های بارش و چهار ایستگاه سینوپتیک برای داده‌های درجه حرارت استناد شده است. برای بررسی و ارزیابی اثرات تغییرات اقلیمی آینده در بازه پیش‌بینی (۲۰۰۶-۲۱۰۰) به یک دوره پایه به عنوان دوره مرجع نیاز است که با توجه به در دسترس

جدول ۱- ایستگاه‌های اقلیمی استفاده شده در پژوهش.

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	نوع ایستگاه	بازه آماری
۱	شهرکرد	۵۰° ۵۰'	۳۲° ۱۷'	۲۰۵۰	سینوپتیک	۱۹۸۶-۲۰۰۵
۲	کوه‌رنگ	۵۰° ۷'	۳۲° ۲۷'	۲۳۶۵	سینوپتیک	۱۹۶۱-۲۰۰۵
۳	لردگان	۵۰° ۵۰'	۳۱° ۳۰'	۱۶۱۱	سینوپتیک	۱۹۸۶-۲۰۰۵
۴	بروجن	۵۱° ۱۷'	۳۱° ۵۸'	۲۲۶۰	سینوپتیک	۱۹۸۸-۲۰۰۵
۵	جوققان	۵۰° ۳۹'	۳۲° ۱۰'	۲۰۶۵	سینوپتیک	۱۹۹۰-۲۰۰۵
۶	ناغان	۵۰° ۴۴'	۳۱° ۵۶'	۲۰۴۵	سینوپتیک	۱۹۸۶-۲۰۰۵
۷	کاج	۵۰° ۳۲'	۳۲° ۰۵'	۲۲۵۰	سینوپتیک	۱۹۸۷-۲۰۰۵
۸	مرغملک	۵۰° ۲۹'	۳۲° ۲۸'	۲۴۱۳	سینوپتیک	۱۹۸۶-۲۰۰۵

جدول ۲- معیار های ارزیابی عملکرد مدل SDSM استفاده شده در پژوهش.

معیار عملکرد	نماد	فرمول
ضریب تبیین	R^2	$\left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(S_i - \bar{S})}{[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2]^{0.5} [\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2]^{0.5}} \right\}^2$
میانگین خطای استاندارد	MSE	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i - O_i ^2$
خطا ریشه میانگین مربعات	RMSE	$\left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i - O_i ^2 \right]^{1/2}$
میانگین قدر مطلق انحراف	MAD	$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n A_t - F_t }{n}$

نماد O و S نامد Observed می باشد.

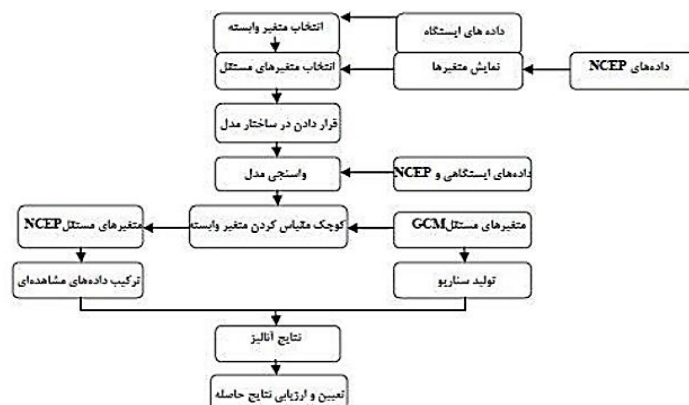
سناریوهای تغییر اقلیم: طبق گزارش ارزیابی چهارم Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) در سناریو تغییر اقلیم RCP2.6 شدت تابش رادیواکتیو ۴/۵ وات بر متر مکعب می‌باشد. مهمترین فرضیه این سناریو این است که جمعیت جهانی به‌حداکثر خود یعنی ۹ میلیارد در سال ۲۰۶۵ خواهد رسید و بعد از آن به ۸/۷ میلیارد در سال ۲۱۰۰ کاهش خواهد یافت، تولید ناخالص داخلی جهانی به‌ترتیب رشد افزایشی، کاهش در مصرف انرژی، افزایش در مصرف سوخت‌های فسیلی، افزایش قابل توجه در انرژی‌های تجدیدپذیر و استفاده از انرژی هسته‌ای و افزایش زیاد در سطح جنگل خواهد یافت که این سناریو به‌عنوان یک استراتژی کاهشی در نظر گرفته شده است. RCP 8.5 نماینده سناریوهای با انتشار زیاد است و با افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای در طول زمان مشخص می

شود (IPCC, 2007). برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در آینده و بدون تغییر در سیاست‌های آب و هوایی سازگار است (Benestad et al., 2007). این روش همچنین به‌عنوان سناریوی پایه و بدون هیچگونه سیاست اقلیمی شناخته می‌شود. در سناریوی افزایش انتشار HGH ۸/۵ وات بر مترمربع شدت تابشی رادیواکتیو در پایان قرن ۲۱ اشاره دارد. مهمترین فرضیه در این روش ادامه روند افزایشی جمعیت جهانی به ۱۲ میلیارد نفر در سال ۲۱۰۰ می‌باشد، رشد کم اقتصادی، با نرخ متوسط پیشرفت فنی، تقاضای طولانی مدت برای انرژی، حرکت به سمت فن‌آوری‌های متراکم زغال سنگ و انتشار زیاد در غیاب سیاست‌های تغییر اقلیم است (IPCC, 2007).

مدل ریز مقیاس نمایی آماری (SDSM): جزئیات طرح ریزمقیاس‌سازی آماری که توسط ویلی ارائه شد، بیان

جدول ۳- لیست متغیرهای پیش‌بینی کننده بزرگ مقیاس NCEP.

ردیف	علامت	پیش‌بینی کننده	ردیف	علامت	پیش‌بینی کننده
۱	Mslp	فشار متوسط سطح دریا	۱۴	P5zhaf	واگرایی در hpa۵۰۰
۲	P-faf	قدرت جریان سطحی	۱۵	Faf-p8	قدرت جریان در hpa۸۵۰
۳	P-uaf	سرعت مداری سطحی	۱۶	Uaf-p8	سرعت مداری در hpa۸۵۰
۴	P-vaf	سرعت نصف‌النهاری سطحی	۱۷	Vaf-p8	سرعت نصف‌النهار در hpa۸۵۰
۵	P-zaf	سرعت نصف‌النهاری سطحی	۱۸	Zaf-p8	چرخندگی در hpa۸۵۰
۶	P-thaf	چرخندگی سطحی	۱۹	P850af	ارتفاع ژئوپتانسیل hpa۵۰۰
۷	P-zhaf	جهت باد سطحی	۲۰	P8thaf	جهت باد در hpa۸۵۰
۸	faf-p5	واگرایی سطحی	۲۱	P8zhaf	واگرایی در hpa۸۵۰
۹	uaf-P5	قدرت جریان در hpa۵۰۰	۲۲	R500af	رطوبت نسبی در hpa۵۰۰
۱۰	vaf-p5	سرعت مداری در hpa۵۰۰	۲۳	R850af	رطوبت نسبی در hpa۸۵۰
۱۱	zaf-p5	چرخندگی در hpa۵۰۰	۲۴	rhumaf	رطوبت سطحی در نزدیکی سطح
۱۲	P500af	ارتفاع ژئوپتانسیل hpa۵۰۰	۲۵	shumaf	رطوبت ویژه سطحی
۱۳	P5thaf	جهت باد در hpa۵۰۰	۲۶	tempaf	متوسط درجه حرارت در ارتفاع دومتری



شکل ۲- فرآیند ریزمقیاس سازی و تولید سناریوی اقلیمی مدل SDSM

۱) کنترل کیفیت و تبدیل داده‌ها: در این بخش، مدل SDSM به کنترل کیفی داده‌ها از جمله داده‌های گمشده می‌پردازد و در قسمت تبدیل داده‌ها، آن‌ها را با روش نمایشی، لگاریتمی و توانی نرمال‌سازی می‌کند.

۲) انتخاب متغیرهای پیش‌بینی کننده برتر: داده‌های مشاهداتی با داده‌های NCEP به مدل معرفی شده تا میزان همبستگی داده‌ها به صورت فرد به فرد تعیین و پیش‌بینی کننده‌ها در صفحه‌ای جداگانه اعلام می‌شوند. که بسته به شرطی یا غیرشرطی بودن داده‌ها نتایج متفاوت خواهد بود. در اینجا داده‌های بارش را شرطی و داده‌های درجه حرارت را غیرشرطی معرفی می‌کند. همبستگی قوی بین متغیرها زمانی ایجاد می‌شود که همبستگی جزئی متغیرها بزرگ‌تر

می‌کند که بهتر است، در طبقه‌بندی تکنیک‌های کوچک‌سازی، به ترکیبی از فاکتورهای تصادفی اقلیمی بر پایه روش‌های رگرسیونی استناد کرد، در مدل بزرگ مقیاس الگوهای گردش رطوبت جو است که می‌تواند مقیاس محلی پارامترهای مولد اقلیم را تعیین کند (Wilby et al., 2000).

بنابراین مدل‌های دینامیک در مهارت تخمین متغیرهای اقلیمی، مانند HadCM2 به طور قطع می‌تواند دوره‌های آینده را واقع‌گرایانه‌تر نسبت به مدل‌های اقیانوسی اتمسفری GCM بزرگ مقیاس پیش‌بینی کنند، چرا که بسیار به تغییرات آب و هوایی حساس بوده و همین حساسیت بزرگترین مانع آن‌ها می‌باشد (Wilby et al., 2006) طریقه استفاده از SDSM شامل شش مرحله است:

باشد (Wilby et al., 2007).

۳) صحت‌سنجی و ارزیابی داده‌ها: به‌منظور ارزیابی عملکرد مدل لازم است سری زمانی تولید شده و مشاهداتی با یکدیگر مقایسه شوند. بنابراین دو سوم برای ارزیابی و یک سوم از آن‌ها برای صحت‌سنجی مدل در عملیات شبیه‌سازی داده‌ها و کالیبراسیون در مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای صحت‌سنجی مدل، با استفاده از قابلیت پیش‌بینی کننده‌های آب و هوایی NCEP و خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی در دوره ۲۰۰۵-۱۹۶۱، سری‌های زمانی تولیدشده، سری‌های زمانی مشاهداتی و متغیرهای اقلیمی در دوره‌های مورد نظر مقایسه می‌شوند.

۴) آنالیز داده‌ها: در این بخش، داده‌های تاریخی مشاهداتی را با داده‌های تاریخی تولید شده در بخش صحت‌سنجی مقایسه و میزان صحت نتایج مدل بررسی می‌شود. متغیری که دارای بیشترین همبستگی بین متغیرها باشد، انتخاب شده و به‌عنوان پیش‌بینی کننده برتر شناخته می‌شود. پیش‌بینی کننده‌هایی که که دارای بیشترین همبستگی جزئی و کمترین مقدار P-value باشند، به‌عنوان پیش‌بینی کننده برتر شناخته می‌شوند. پیش‌بینی کننده‌هایی که مقدار P-value بزرگتر از (۰/۰۵) دارند، حذف می‌شوند تا نتایج از نظر آمار معنی‌دار باشند و پیش‌بینی کننده‌هایی که همبستگی زیادی دارند کنار گذاشته می‌شوند. باید دقت شود که میزان همبستگی در مؤلفه بارش همواره کمتر از مؤلفه درجه حرارت است.

۵) تولید سناریوهای اقلیمی آینده: با استفاده از سری داده زمانی کالیبره شده به تهیه سناریوهای اقلیمی به‌ازای سناریوهای RCP2.6 (خوشبینانه) و RCP8.5 (بدبینانه) پرداخته می‌شود. فرآیند ریزمقیاس‌سازی و تولید سناریوهای اقلیمی در شکل ۲ نمایش داده شده است.

نتایج

تحلیل و بررسی ریزمقیاس‌سازی مدل گردش

عمومی جو: عملکرد مدل در پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی بر اساس ضریب تبیین، شاخص میانگین قدرمطلق انحراف و خطای ریشه میانگین مربعات و میانگین خطای استاندارد ارزیابی شد. نتایج بر اساس سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 در سه دوره (۲۰۰۶-۲۰۳۰)، (۲۰۰۶-۲۰۶۰) و (۲۰۶۱-۲۱۰۰) مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، مقادیر متغیرهای اقلیمی با دقت قابل قبولی مدل‌سازی شده‌اند.

میانگین درجه حرارت: با توجه به نتایج جدول ۴، ضرایب برای دوره ارزیابی به ترتیب برابر $(R^2=0.93, MAD=2/2, MSE=1/5, RMSE=1/3)$ تعیین شد. مقادیر میانگین درجه حرارت مشاهداتی ۲۰۰۵-۱۹۸۶ به‌عنوان دوره پایه برای پیش‌بینی دوره (۲۰۰۶-۲۱۰۰) در شکل ۳ نشان داده شده است. مدل به‌خوبی مقادیر میانگین درجه حرارت را شبیه‌سازی کرده است. میزان انحراف معیار در شکل ۳ به‌ازای هر الگوی درجه حرارت در هر ایستگاه نشان می‌دهد که پراکنش داده‌ها حداقل بوده و داده‌های خروجی حاصل از مدل بیشترین میزان همبستگی را در ارزیابی داشته است.

در نتیجه کالیبراسیون مدل، و تهیه دوره تاریخی برای مؤلفه درجه حرارت متغیرهای پیش‌بینی کننده مناسب انتخاب شد. پیش‌بینی کننده‌های منتخب براساس جدول ۵ شامل ارتفاع ژئوتانسیل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال، ارتفاع ژئوتانسیل سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال، و اگرایی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال و میانگین دما در ارتفاع دو متری هستند. که میزان همبستگی جزئی برای درجه حرارت بیشتر از ۰/۳ انتخاب شده است.

مؤلفه بارش: با توجه به جدول ۴ ضرایب برای دوره واسنجی و ارزیابی به ترتیب برابر $(R=0.85, MAD=0.58, MSE=0.73, RMSE=0.84)$ تعیین شد. مقادیر تاریخی بارش مشاهداتی به‌عنوان دوره پایه برای پیش‌بینی دوره (۲۰۰۶-۲۱۰۰) در شکل ۴ برای کلیه ایستگاه‌های سینوپتیک، نشان داده شده است.

جدول ۴- معیارهای ارزیابی مدل SDSM برای پیش‌بینی تغییرات اقلیمی درجه حرارت در حوزه کارون شمالی.

درجه حرارت	R ²	MAD	MSE	RMSE
ایستگاه بروجن	۰/۹۶	۰/۴۸	۰/۴۶۶	۰/۶۸۲
ایستگاه شهرکرد	۰/۹۶	۱/۲۵۰	۲/۲۵۰	۱/۵
ایستگاه لردگان	۰/۹۷	۰/۸۳۳	۲	۱/۴۱۴
ایستگاه کوهرنگ	۰/۸۴	۲	۱/۶۶	۱/۹
میانگین	۰/۹۳	۲/۲	۱/۵	۱/۳



شکل ۳- ارزیابی نتایج مدل SDSM برای درجه حرارت میانگین حوزه آبخیز کارون شمالی.

جدول ۵- پیش‌بینی کننده‌های منتخب برای متغیرهای اقلیمی NCEP مؤلفه درجه حرارت.

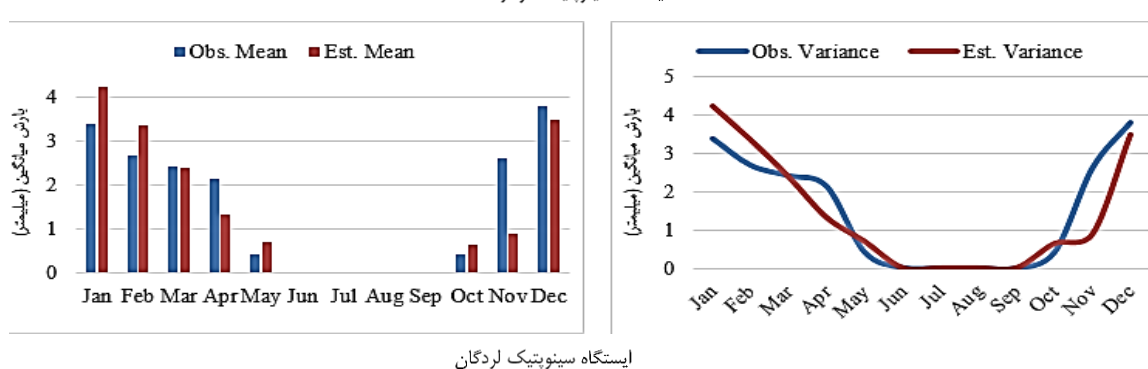
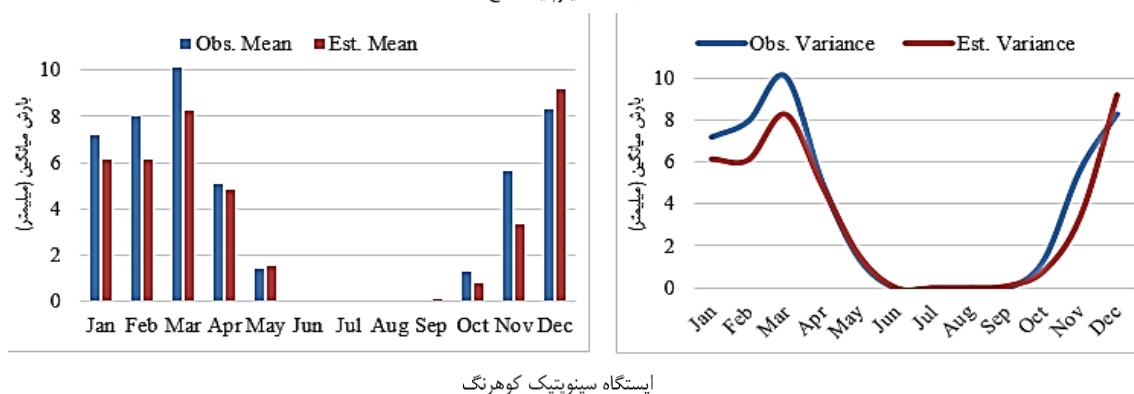
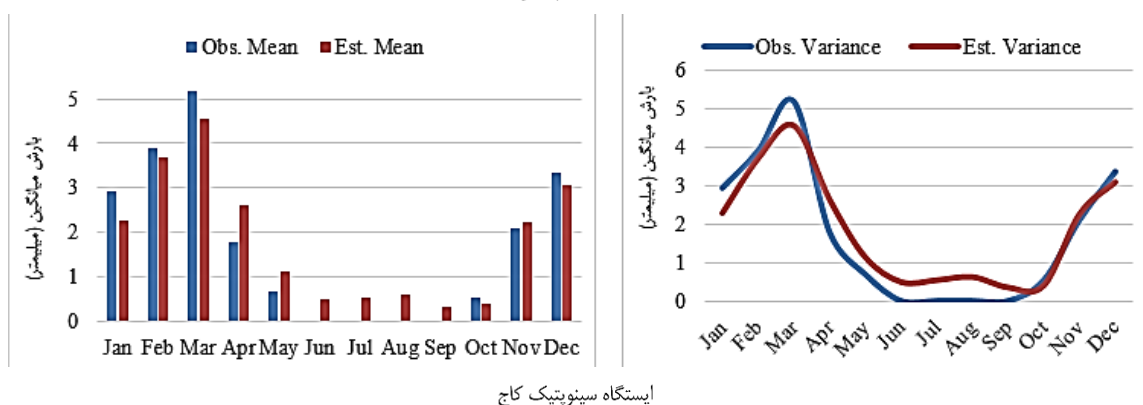
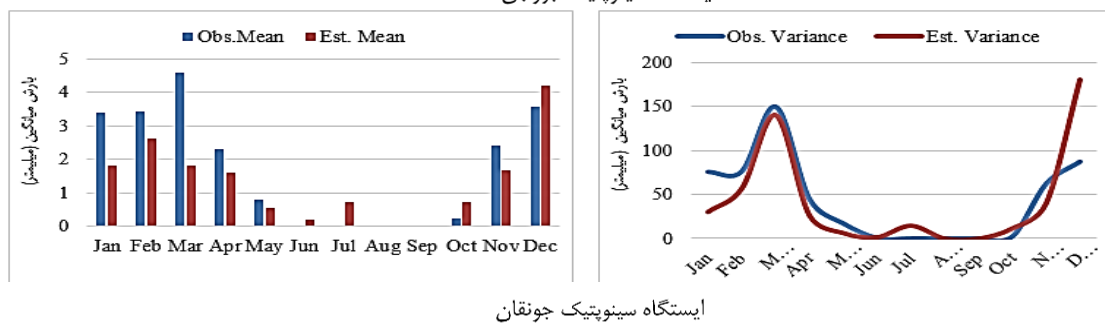
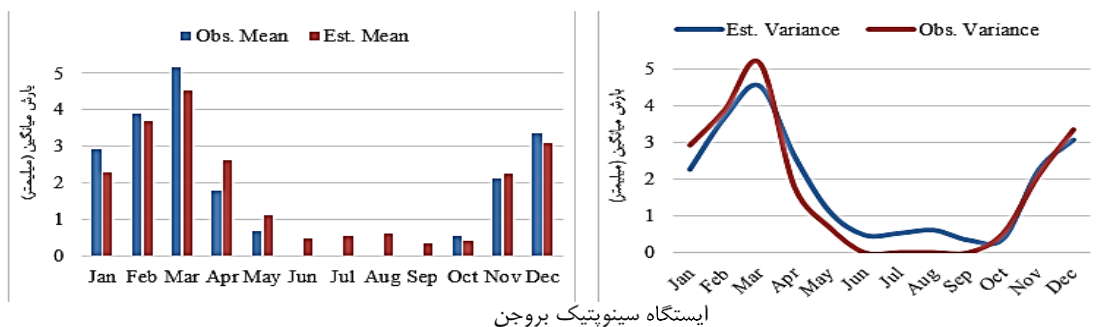
ایستگاه سینوپتیک	همبستگی جزئی	اسم اختصاری پیش‌بینی کننده
شهرکرد	۰/۳۰۹	P1-zgl
	۰/۸۷۹	P-500gl
	۰/۵۱۰	P5zhgl
	۰/۹۶۳	tempgl
	۰/۳۰۹	P1-zgl
لردگان	۰/۸۳۲	P500gl
	۰/۵۲۴	P5zhgl
	۰/۴۷۸	S500gl
	۰/۹۲۴	tempgl
	۰/۸۲۸	P500gl
کوهرنگ	۰/۴۸۷	P5zhgl
	۰/۴۵۲	S500gl
	۰/۹۰۹	tempgl
	۰/۸۰۴	P500gl
	۰/۴۹۰	P5zhgl
بروجن	۰/۴۶۰	S500gl
	۰/۹۳۰	tempgl

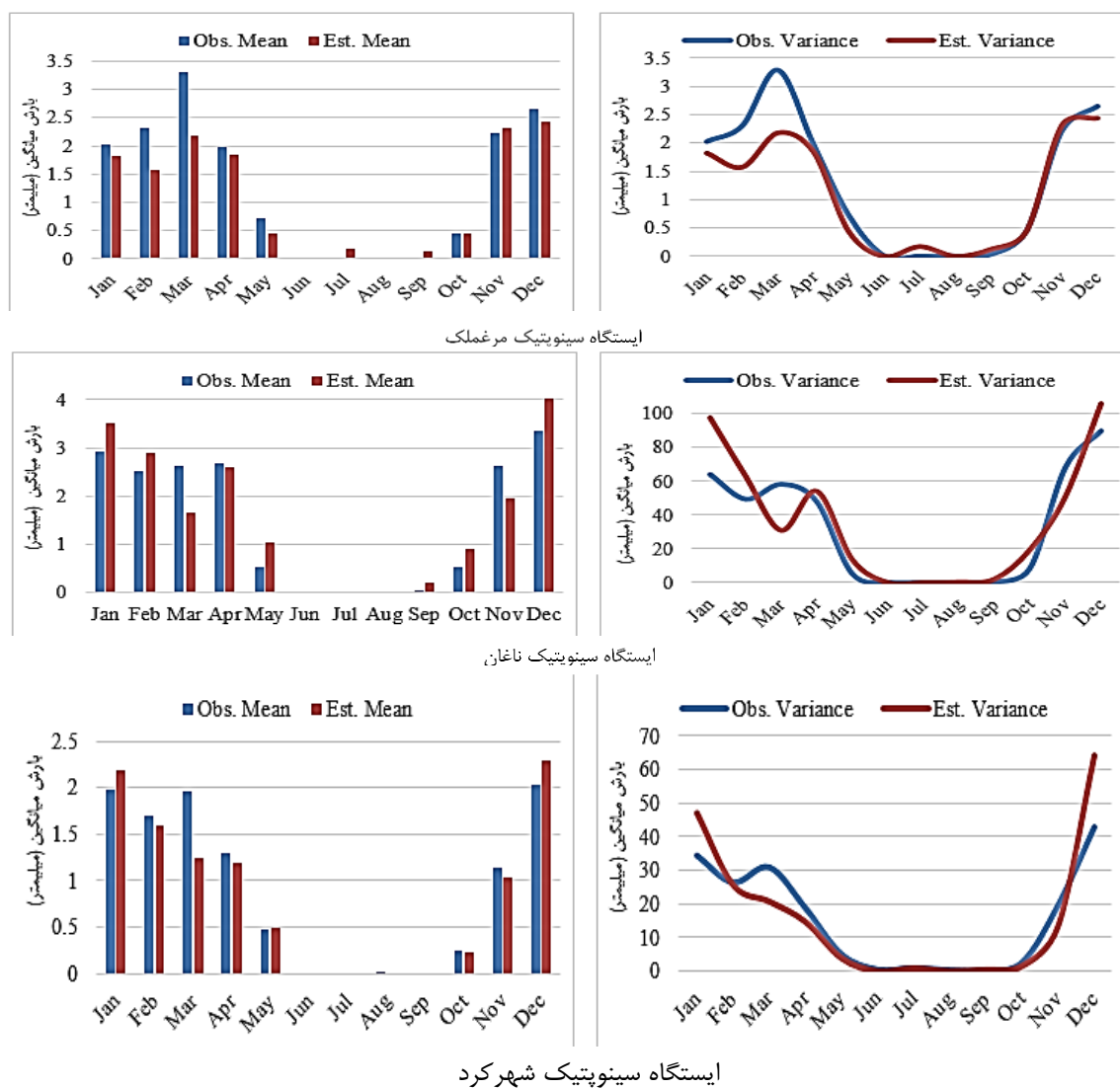
جدول ۶- معیارهای ارزیابی مدل SDSM برای پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی بارش در حوزه کارون شمالی.

بارش	R ²	MAD	MSE	RMSE
ایستگاه بروجن	۰/۹۸	۰/۵۸۳	۰/۷۰۸	۰/۸۴۲
ایستگاه شهرکرد	۰/۹۱	۰/۸۳۳	۱/۱۶۷	۱/۰۸
ایستگاه لردگان	۰/۹۶	۰/۵	۰/۵	۰/۷۰۷
ایستگاه کوهرنگ	۰/۹۵	۰/۷۰۸	۰/۸۵۴	۰/۹۲۴
ایستگاه مرغملک	۰/۵۴	۰/۴۱۷	۰/۳۷۵	۰/۶۱۲
ایستگاه کاج	۰/۸	۰/۵	۰/۸۳۳	۰/۹۱۳
ایستگاه جونقان	۰/۸۱	۰/۵۴۲	۰/۶۸۸	۰/۸۲۹
میانگین	۰/۸۵	۰/۵۸	۰/۷۳	۰/۸۴

همان‌طور که مشاهده می‌شود، مدل به‌خوبی مقادیر بارش را شبیه‌سازی کرده است. میزان پراکنش داده‌های پیش‌بینی شده نسبت به داده‌های مشاهداتی در شکل ۴ به ازای هر ایستگاه ارائه شده است. عملکرد مدل در نتیجه پراکنش میلی‌متر بارش روزانه در روز قابل قبول می‌باشد. در شکل ۵ مشاهده می‌شود، که بیشترین تغییرات در ایستگاه در ماه‌های آبان، دی، بهمن، اسفند و فروردین که بارندگی دارند دیده می‌شود، ولی روند بارش روزانه شبیه‌سازی شده و سری داده‌های مشاهداتی از یک الگو با تغییرات کمی پیروی کرده است. در شکل ۵ عملکرد مدل برای تولید میانگین‌های بارش روزانه در سطح اعتماد ۹۰٪ ارزیابی شده است که نتایج نشان می‌دهد میانگین روزانه بارش به‌خوبی شبیه‌سازی

شده‌اند. رابطه مدل‌سازی متغیرهای محلی با استفاده از متغیرهای بزرگ مقیاس یک رابطه خطی است و باقیمانده‌ها در مقیاس ماهانه حذف می‌شوند که می‌توان تا حدی منجر به عدم تطابق کامل واریانس مدل مشاهداتی در مقیاس ماهانه شود (Hasirchian et al., 2018). با توجه به جدول ۷، پیش‌بینی بارش نسبت به متغیر درجه حرارت با دقت کمتری انجام شده است. به این علت که داده بارش متغیری شرطی و گسسته است و تحت تأثیر عوامل زیادی قرار دارد اما درجه حرارت متغیر غیرشرطی و پیوسته است و کمتر تحت تأثیر عوامل و ناهنجاری‌های اقلیمی قرار می‌گیرد، به‌همین دلیل میزان همبستگی جزئی در پارامتر بارش نسبت به پارامتر دما کمتر است.





شکل ۴- ارزیابی نتایج مدل SDSM برای بارش حوزه کارون شمالی.

جدول ۷- پیش‌بینی‌کننده‌های منتخب برای متغیرهای اقلیمی NCEP مؤلفه بارش.

ایستگاه سینوپتیک	همبستگی جزئی	اسم اختصاری پیش‌بینی‌کننده
شهرکرد	۰/۳۱۲	P1_vgl
	۰/۳۵۲	P5_vgl
	۰/۳۰۶	P8_vgl
	۰/۴۰۲	Prcpgl
	۰/۳۰۳	shumgl
لردگان	۰/۳۲۱	P5_vgl
	۰/۳۳۴	P850gl
	۰/۲۷۲	P8_vgl
	۰/۵۲۰	Prcpgl
	۰/۳۱۴	shumgl

ادامه جدول ۷.

ایستگاه سینوپتیک	همبستگی جزئی	اسم اختصاری پیش بینی کننده
کوهرنگ	۰/۳۶۸	p1-fgl
	۰/۳۶۵	P5-fgl
	۰/۴۸۶	P8_vgl
	۰/۴۵۱	Prcpgl
	۰/۴۷۱	shumgl
بروجن	۰/۲۳۲	P1_vgl
	۰/۲۵۲	P1-fgl
	۰/۳۴۸	8_vgl
	۰/۲۳۹	Prcpgl
	۰/۳۶۹	shumgl
جوتقان	۰/۳۸۱	P1-vgl
	۰/۱۷۱	P5-vgl
	۰/۴۸۲	Prcpgl
	۰/۲۳۳	shumgl
	۰/۲۳۰	P8-vgl
مرغملک	۰/۳۴۲	P1-vgl
	۰/۲۸۲	P5-vgl
	۰/۳۲۱	Prcpgl
	۰/۵۴۱	shumgl
	۰/۳۸۳	P1-fgl
کاج	۰/۳۲۱	P1-fgl
	۰/۴۰۴	P1-vgl
	۰/۳۵۱	P8-fgl
	۰/۴۴۳	Prcpgl
	۰/۳۴۹	shumgl

جدول ۸- مقادیر پیش بینی کننده سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 پارامتر بارش در بازه های (۲۰۳۰-۲۰۰۶)، (۲۰۶۰-۲۰۳۱) و (۲۱۰۰-۲۰۶۱).

ایستگاه سینوپتیک	سال	RCP 2.6	RCP 8.5
بروجن	۲۰۰۶-۲۰۳۰	۲۵/۲	۳۲/۷
	۲۰۳۱-۲۰۶۰	۲۵/۶۲	۴۴/۳۷
	۲۰۶۱-۲۱۰۰	۳۱/۲۷	۶۳/۸۸
جوتقان	۲۰۰۶-۲۰۳۰	۶۶/۵۴	۷۳/۲۹
	۲۰۳۱-۲۰۶۰	۷۸/۹۳	۹۲/۹۹
	۲۰۶۱-۲۱۰۰	۷۰/۷۴	۱۱۳/۳۲
کاج	۲۰۰۶-۲۰۳۰	۷۵/۱۰۶	۸۳/۶۳
	۲۰۳۱-۲۰۶۰	۸۴/۹۶	۹۴/۰۶
	۲۰۶۱-۲۱۰۰	۷۹/۵۲	۱۱۷/۷۴
کوهرنگ	۲۰۰۶-۲۰۳۰	۱۵۲/۵۴	۱۷۸/۷۲
	۲۰۳۱-۲۰۶۰	۱۹۱/۷۳	۲۳۳/۵۳
	۲۰۶۱-۲۱۰۰	۱۷۴/۸	۳۱۶/۲۵

ادامه جدول ۸.

ایستگاه سینوپتیک	سال	RCP 2.6	RCP 8.5
لردگان	۲۰۰۶-۲۰۳۰	۴۰/۲۹	۴۲/۳۶
	۲۰۳۱-۲۰۶۰	۴۱/۲۹	۳۸/۲۵
	۲۰۶۱-۲۱۰۰	۴۲/۹۸	۳۷/۳۷
مرغملک	۲۰۰۶-۲۰۳۰	۱۴۹/۸	۸۴/۵۴
	۲۰۳۱-۲۰۶۰	۱۸۴/۳	۱۲۸/۵۶
	۲۰۶۱-۲۱۰۰	۳۸۲/۵۶	۹۹۷/۲۸
ناغان	۲۰۰۶-۲۰۳۰	۳۹/۳۱	۴۴/۰۳
	۲۰۳۱-۲۰۶۰	۴۳/۲۳	۴۰/۲۸
	۲۰۶۱-۲۱۰۰	۴۰/۸۴	۳۷/۷۴
شهرکرد	۲۰۰۶-۲۰۳۰	۲۹/۷۴	۳۵/۸۸
	۲۰۳۱-۲۰۶۰	۳۹/۹۱	۴۱/۰۶
	۲۰۶۱-۲۱۰۰	۳۳/۵۸	۵۷/۴۱

جدول ۹- میانگین سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 پارامتر بارش در بازه‌های (۲۰۰۶-۲۰۳۰)، (۲۰۳۱-۲۰۶۰) و (۲۰۶۱-۲۱۰۰).

میانگین RCP	سال	متغیر بارش
۶۹/۸۵	۲۰۰۶-۲۰۳۰	RCP 2.6
۸۸/۶۲	۲۰۳۱-۲۰۶۰	
۱۰۷/۳۶	۲۰۶۱-۲۱۰۰	
۷۱/۸۱	۲۰۰۶-۲۰۳۰	RCP 8.5
۸۹/۱۳	۲۰۳۱-۲۰۶۰	
۲۱۷/۶۲	۲۰۶۱-۲۱۰۰	

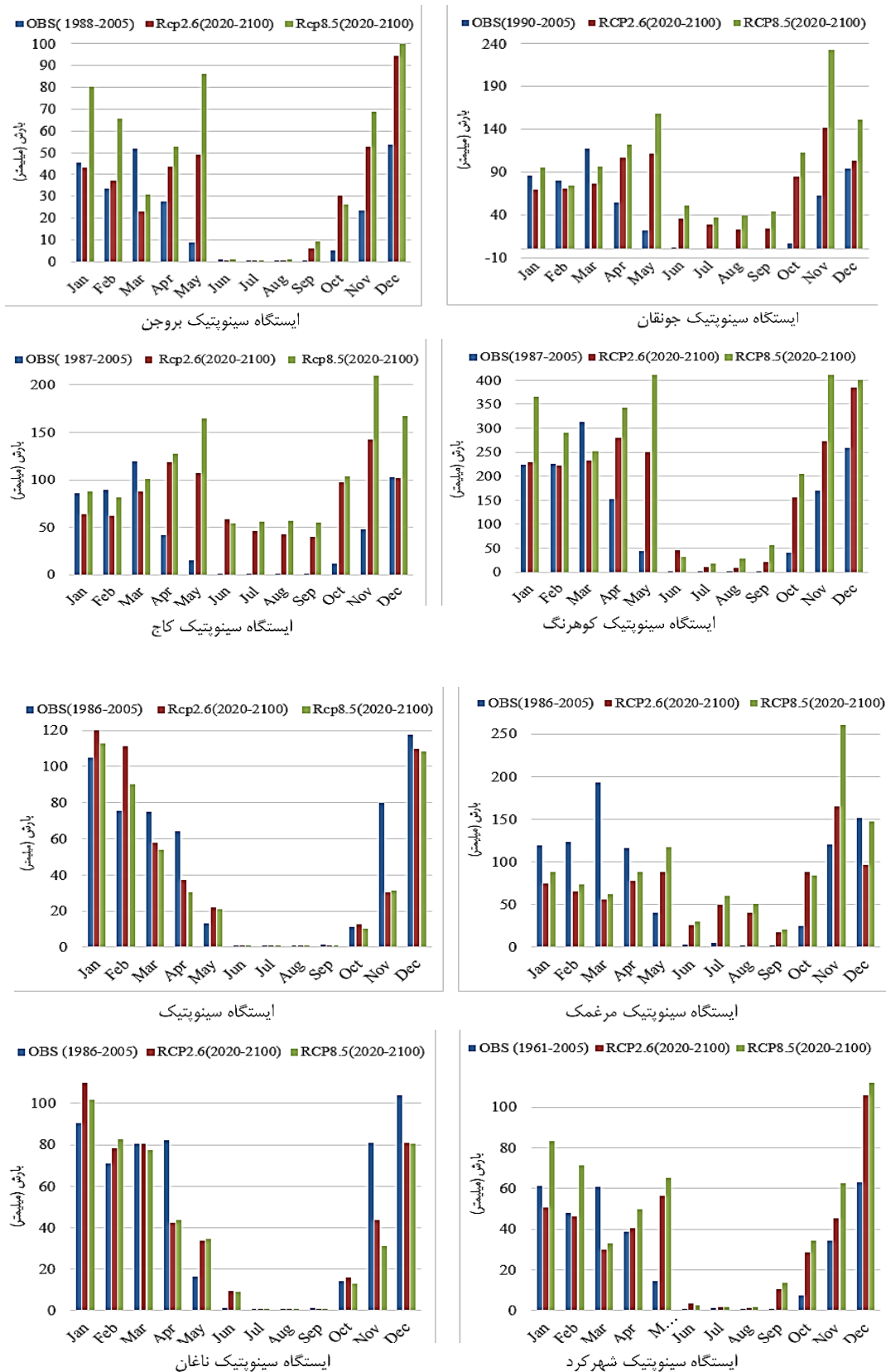
جدول ۱۰- مقدار میانگین درجه حرارت مشاهداتی در بازه (۱۹۸۹-۲۰۰۵).

مرغملک	کاج	جونقان	ناغان	کوه‌رنگ	لردگان	شهرکرد	بروجن
۷۵/۹	۴۳/۱	۴۳/۷۷	۴۵/۲۴	۱۱۹/۲۴	۴۵/۲۹	۲۷/۶۲	۲۰/۹۸

میانگین بارش مشاهداتی: ۵۲/۶۴

سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5: بررسی سناریوهای اقلیمی در پارامتر بارش: به‌طور کلی مقادیر پیش‌بینی کننده ارتفاع بارش تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 در بازه‌های مورد مطالعه (۲۰۰۶-۲۰۳۰)، (۲۰۳۱-۲۰۶۰) و (۲۰۶۱-۲۱۰۰) در جدول ۸ ارائه شده است. در بازه آماری ۲۰۰۶-۲۰۳۰، ارتفاع بارش تحت سناریوی RCP2.6 برابر ۱۷/۲۱ میلی‌متر، و تحت سناریو RCP8.5 برابر ۱۹/۱۷ میلی‌متر افزایش بارندگی نسبت به دوره پایه خواهد داشت. طبق اطلاعات جدول ۹ و ۱۰ ارتفاع بارش ۲/۶ میلی‌متر کاهش را تحت سناریوی RCP8.5 خواهد

داشت. در پیش‌بینی‌هایی که برای دوره ۲۰۳۱-۲۰۶۰ در دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 نظر گرفته شده است، در هر دو سناریو ارتفاع بارش به‌ترتیب ۳۶/۰۲ و ۳۶/۴۹ میلی‌متر افزایش داشته است. در بازه زمانی ۲۰۶۱-۲۱۰۰ برای دو سناریو RCP2.6 و RCP8.5 به‌ترتیب ارتفاع بارش ۵۴/۷۲ و ۱۶۲/۹ میلی‌متر افزایش داشته است. به‌طور کلی ارتفاع بارش در سناریوهای بازه ۲۰۰۶-۲۱۰۰ برای RCP2.6 برابر ۳۵/۹۸ میلی‌متر و RCP8.5 برابر ۷۳/۵۷ میلی‌متر نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت.



شکل ۵- روند تغییرات درجه حرارت میانگین و بارش با استفاده از داده‌های تاریخی در آینده در بازه آماری ۲۱۰۰-۲۰۲۰ تحت سناریوهای اقلیمی RCP2.6 و RCP8.5.

جدول ۱۱- مقادیر پیش‌بینی کننده سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 پارامتر بارش در بازه‌های (۲۰۳۰-۲۰۰۶)، (۲۰۶۰-۲۰۳۱) و (۲۱۰۰-۲۰۶۱).

ایستگاه سینوپتیک	سال	RCP 2.6	RCP 8.5
بروجن	۲۰۰۶-۲۰۳۰	۳۳/۲	۳۳/۱
	۲۰۳۱-۲۰۶۰	۳۳/۱۲	۳۳/۵
	۲۰۶۱-۲۱۰۰	۳۴/۴۱	۳۲/۹
کوه‌رنگ	۲۰۰۶-۲۰۳۰	۲۹/۵۲	۲۹/۱۶
	۲۰۳۱-۲۰۶۰	۲۹/۷۸	۲۹/۴
	۲۰۶۱-۲۱۰۰	۳۰/۷۸	۲۸/۹۱
لردگان	۲۰۰۶-۲۰۳۰	۴۸/۰۴	۴۸/۲۵
	۲۰۳۱-۲۰۶۰	۴۸/۸۶	۴۸/۱۹
	۲۰۶۱-۲۱۰۰	۴۹/۹۸	۴۷/۸۲
شهرکرد	۲۰۰۶-۲۰۳۰	۴۸/۱۲	۴۸/۴۹
	۲۰۳۱-۲۰۶۰	۴۹/۲۷	۴۸/۵۶
	۲۰۶۱-۲۱۰۰	۵۰/۷۶	۴۸/۶۱

جدول ۱۲- میانگین سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 مؤلفه درجه حرارت میانگین در بازه‌های (۲۰۳۰-۲۰۰۶)، (۲۰۶۰-۲۰۳۱) و (۲۱۰۰-۲۰۶۱).

میانگین RCP	سال	متغیر درجه حرارت
۳۹/۸۲	۲۰۰۶-۲۰۳۰	RCP 2.6
۳۹/۷۷	۲۰۳۱-۲۰۶۰	
۳۹/۴	۲۰۶۱-۲۱۰۰	
۳۹/۶	۲۰۰۶-۲۰۳۰	RCP 8.5
۴۰/۳۱	۲۰۳۱-۲۰۶۰	
۴۳/۹۶	۲۰۶۱-۲۱۰۰	

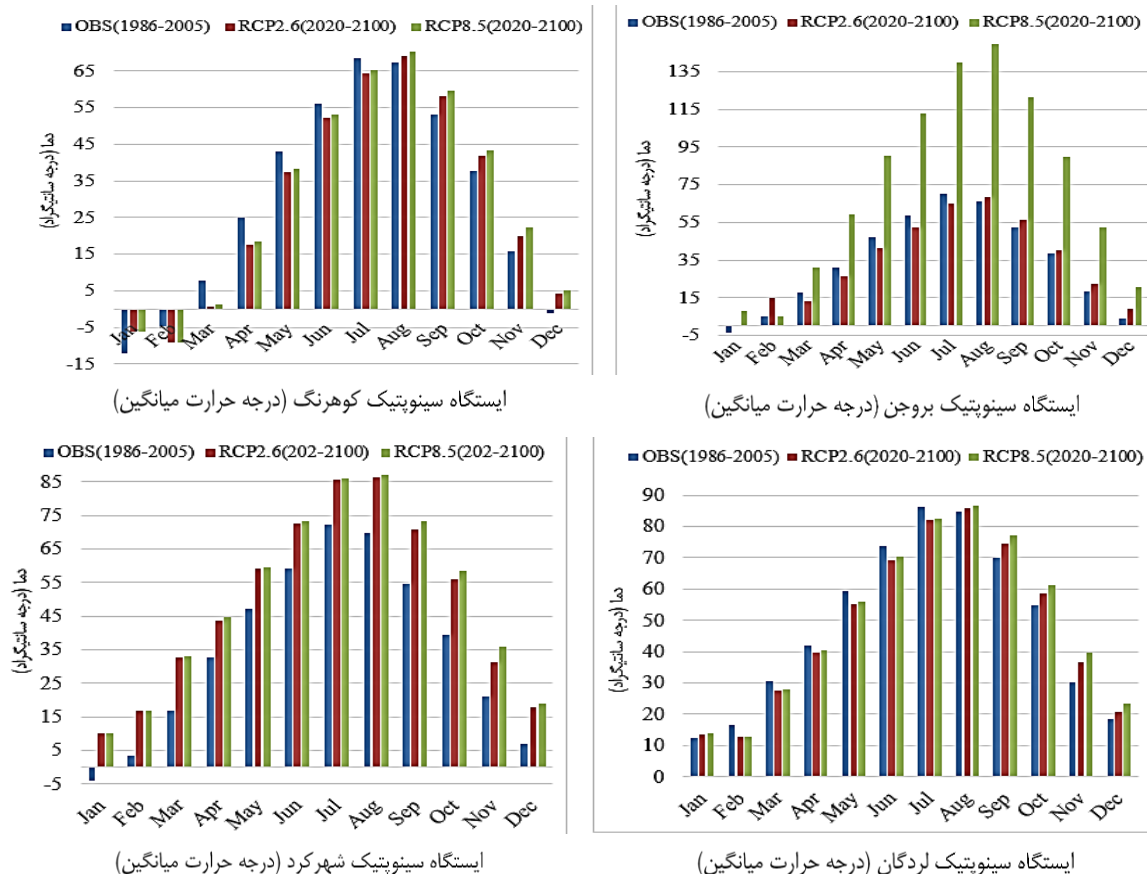
جدول ۱۳- مقدار میانگین درجه حرارت مشاهداتی در بازه (۱۹۸۹-۲۰۰۵).

میانگین درجه حرارت مشاهداتی:	بروجن	کوه‌رنگ	لردگان	شهرکرد
۳۶/۶۵	۳۳/۷	۲۹/۶۴	۴۸/۲۹	۳۴/۹۱

با توجه به شکل ۱۵ این افزایش بارندگی ناشی از تغییرات اقلیمی در تابستان نیز مشاهده شده است.

بررسی سناریوهای اقلیمی در پارامتر درجه حرارت: با توجه به جدول نتایج ۱۱ درجه حرارت در دوره (۲۰۳۰-۲۰۰۶) تحت سناریوی RCP2.6. ۳/۱۷ درجه سانتی‌گراد بیشتر از مقدار درجه حرارت میانگین مشاهده‌ای است، و تحت سناریو RCP8.5 ۲/۹۵ درجه سانتی‌گراد افزایش بارندگی نسبت به دوره پایه خواهد داشت. در پیش‌بینی‌هایی که برای دوره (۲۰۳۱-۲۰۶۰) در دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 در نظر گرفته شده است، طبق نتایج

جدول‌های ۱۲ و ۱۳، در هر دو سناریو میزان درجه حرارت به‌ترتیب ۳/۱۲ و ۳/۶۶ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است. بازه زمانی (۲۰۶۱-۲۱۰۰) برای دو سناریو RCP2.6 و RCP8.5 به‌ترتیب ۲/۷۵ و ۷/۳۱ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است. به‌طور کلی سناریوها در بازه (۲۱۰۰-۲۰۰۶) RCP2.6 میزان ۳/۰۱ درجه سانتی‌گراد و RCP8.5 میزان ۴/۰۴ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش درجه حرارت خواهد داشت. براساس نتایج شکل ۶ این افزایش درجه حرارت ناشی از تغییرات اقلیمی در ماه‌های تابستان بیشتر مشهود می‌باشد.



شکل ۶- روند تغییرات درجه حرارت میانگین با استفاده از داده‌های تاریخی در آینده در بازه آماری ۲۱۰۰-۲۰۲۰ تحت سناریوهای اقلیمی RCP2.6 و RCP8.5.

میزان $4/04$ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش درجه حرارت خواهد داشت. براساس نتایج شکل ۶ این افزایش درجه حرارت ناشی از تغییرات اقلیمی در ماه‌های تابستان بیشتر مشهود می‌باشد.

بحث و نتیجه گیری

عدم قطعیت در پیش‌بینی آب و هوا در مناطق خشک به دلیل تنوع زیاد اقلیم بسیار زیاد است. GCM ها یا مدل‌های بزرگ مقیاس، توانایی پیش‌بینی اقلیم در طیف گسترده‌ای را دارند در صورتی که برای یافتن نتایج بهتر لازم است به ریز مقیاس‌سازی با استفاده از داده‌های این مدل‌ها پرداخت. مدل SDSM یکی از مدل‌های ریز مقیاس از زیر شاخه‌های GCM ها می باشد که قادر است با استفاده از اطلاعات NCEP ها با ۲۶ متغیر پیش‌بینی کننده (فشار متوسط سطح

بررسی سناریوهای اقلیمی در پارامتر درجه

حرارت: با توجه به جدول نتایج ۱۱ درجه حرارت در دوره (۲۰۰۶-۲۰۳۰) تحت سناریوی RCP2.6. $3/17$ درجه سانتی‌گراد بیشتر از مقدار درجه حرارت میانگین مشاهده‌ای است، و تحت سناریو RCP8.5 $2/95$ درجه سانتی‌گراد افزایش بارندگی نسبت به دوره پایه خواهد داشت. در پیش‌بینی‌هایی که برای دوره (۲۰۳۱-۲۰۶۰) در دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 در نظر گرفته شده است، طبق نتایج جدول‌های ۱۲ و ۱۳، در هر دو سناریو میزان درجه حرارت به ترتیب $3/12$ و $3/66$ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است. بازه زمانی (۲۰۶۱-۲۱۰۰) برای دو سناریو RCP2.6 و RCP8.5 به ترتیب $2/75$ و $7/31$ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است. به طور کلی سناریوها در بازه (۲۱۰۰-۲۰۰۶) RCP2.6 میزان $3/01$ درجه سانتی‌گراد و RCP8.5

Hasirchian و همکاران (2108) بیان شده است در پژوهشی که در حوزه آبخیز رودخانه بشار در یاسوج، صورت گرفته است نتایج نشان‌دهنده افزایش بارش و درجه حرارت سالانه می‌باشد. همچنین در پژوهش Anderson و همکاران (۲۰۰۶)، در حوزه آبخیز رودخانه دنیش دانمارک، به بررسی اثر تغییر اقلیم پرداختند، نتایج نشان داد ارتفاع بارش و دمای سالانه به ترتیب ۴۲ میلی‌متر و ۳/۲ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. آشکارسازی روند افزایش درجه حرارت و افزایش بارندگی از دیدگاه علمی با استفاده از پژوهش صورت گرفته بسیار ارزشمند می‌باشد، این امر باعث برنامه‌ریزی بهتر در جهت مصرف آب و تغییر در تقویم الگوی کشت و کار در منطقه می‌گردد. علاوه بر این می‌توان بیان کرد که انتقال آب بین حوضه‌ای با این روند افزایش دما و شکننده شدن شرایط محیطی در منطقه، پیشنهاد نمی‌گردد. اهمیت حداقل‌ها در اکوسیستم از جمله در زندگی حشرات، حیوانات، گیاهان مرتعی و خودرو حائز اهمیت بوده به طوری که افزایش دما می‌تواند در روند کشاورزی، زندگی گیاهان و حشرات تعیین‌کننده باشد. همچنین در جهت تکمیل فرایند تحقیق، می‌توان نتایج بدست آمده را در سیستم‌های هشدار سیل ادغام و نتایج را مورد بررسی قرار داد.

دریا، قدرت جریان سطحی، سرعت مداری سطحی، رطوبت نسبی در ۸۵۰ hpa، ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ hpa و...) همراه با دو فاکتور بارش و درجه حرارت روزانه به عنوان ورودی به ساختن دوره تاریخی مطابق اقلیم منطقه با استفاده از متغیرهای اقلیمی مدل گردش عمومی جو (CanESM2) سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 تحت دوره‌های (۲۰۳۰-۲۰۶۰)، (۲۰۶۰-۲۰۹۰) و (۲۰۹۰-۲۱۰۰) برای پیش‌بینی و با دوره مشاهداتی مقایسه شد. یافته‌های اصلی به شرح زیر است: در این ارزیابی میزان بارش حاصل از ارزیابی ۵۲/۶۴ میلی‌متر به عنوان بارش میانگین مشاهداتی به دست آمد که در سناریو RCP2.6 برابر ۳۵/۹۸ و در سناریو RCP8.5 برابر ۷۳/۵۷ میلی‌متر افزایش بارش در بازه (۲۰۶۰-۲۱۰۰) خواهد داشت. مقدار درجه حرارت میانگین حاصل از ارزیابی ۳۶/۶۵ میلی‌متر به عنوان درجه حرارت میانگین مشاهداتی به دست آمد که در سناریو RCP2.6 برابر ۳/۰۱ و در سناریو RCP8.5 برابر ۴/۰۴ درجه سانتی‌گراد افزایش درجه حرارت در بازه (۲۰۶۰-۲۱۰۰) خواهد داشت. مقدار درجه حرارت میانگین نشان داد که همبستگی داده‌های پیش‌بینی شده بارش به دلیل شرطی بودن نسبت به همبستگی داده‌های پیش‌بینی شده دما که غیر شرطی‌اند، کمتر است. همان‌طور که در مطالعه

References

- Alimirzayi, Z., Zare Bidaki, R., Zamani Ahmad Mahmoudi, R., 2018, Meteorological and hydrological monitoring of North Karun watershed. Hydro Geomorphology 5(15), 115-133. (In Persian)
- 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.
- Arnell, N.W., Reynard, N.S., 1996. The effects of climate change due to global warming on river flows in Great Britain. Journal of Hydrology 183(3-4), 397-424.
- Benestad, R.E., Hanssen-Bauer, I., Chen, D., 2007. Empirical Statistical Downscaling. World Scientific Publishing, Singapore.
- Change, I. P. O. C. (1990). Climate change: The IPCC scientific assessment. Mass, Cambridge. Christensen, Hewitson, J.H., Busuioc, B., Chen, A., Gao, A., Held, X., I., Whetton, P., 2007. Regional climate projections. Chapter 11.
- Chu, J.T., Xia, J., Xu C.Y., Singh, V.P., 2010. Statistical downscaling of daily mean temperature, pan evaporation and precipitation for climate change scenarios in Haihe River, China. Theoretical and Applied Climatology 99, 149-161.
- Gulacha, M.M., Mulungu, D.M., 2017. Generation of climate change scenarios for precipitation and temperature at local scales using SDSM in Wami-Ruvu River Basin Tanzania. Physics and Chemistry of the

- Earth, Parts A/B/C. Aug 1, 100:62-72.
- Hasirchian, M., Zahabiun, B., Khazayi, M., 2018. Evaluating the performance of the SDSM model in investigating the effect of climate change on precipitation and temperature, *Irrigation and Water Engineering* 9(34), 108-120. (In Persian)
- Lee, B.S., Park, J., Seo, J., Song, S.H., Kim, W., 2019. Delineation of agricultural drought-prone zones considering irrigation capacities of agricultural facilities under climate change. *Paddy and Water Environment* 17(4), 783-796.
- Mahmood, R., Babel, M.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* 5, 56-66. (In Persian)
- Maurer, E.P., Hidalgo, H.G., 2008. Utility of daily vs. monthly large-scale climate data: an intercomparison of two statistical downscaling methods. *Hydrology and Earth System Sciences* 12(2), 551-563.
- McAfee, S.A., Russell, J.L., Goodman, P.J., 2011. Evaluating IPCC AR4 cool-season precipitation simulations and projections for impacts assessment over North America. *Climate Dynamics* 37(11), 2271-2287.
- Miao, C., Duan, Q., Sun, Q., Li, J., 2013. Evaluation and application of Bayesian multi-model estimation in temperature simulations. *Progress in Physical Geography* 37(6), 727-744.
- Mohammadi, P., Malekian, A., Ghorbani, M., Nazari Samani, A., 2018. Investigation of changes of some climatic variables under future climate conditions in a semi-arid region. *Desert Ecosystem Engineering* 10(30), 65-80. (In Persian)
- Najafi, M.R., Zwiers, F.W., Gillett, N.P. 2015. Attribution of Arctic temperature change to greenhouse-gas and aerosol influences. *Nature Climate Change* 5(3), 246-249.
- Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., van Ypersele, J.P., 2014. Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 151 p.
- Parry, M., Parry, M. L., Canziani, O., Palutikof, J., Van der Linden, P., Hanson, C. (Eds.). 2007. Climate change 2007-impacts, adaptation and vulnerability: Working group II contribution to the fourth assessment report of the IPCC (Vol. 4). Cambridge University Press.
- Shirmohammadi, B., Malekian, A., Salajegheh, A., Taheri, B., Azarnivand, H., Malek, Z., Verburg, P.H. 2020. Impacts of future climate and land use change on water yield in a semiarid basin in Iran. *Land Degradation & Development* 31(10), 1252-1264.
- Skaugen, T., Astrup, M., Roald, L.A. and Skaugen, T.E., 2002. Scenarios of extreme pre- cipitation of duration 1 and 5 days for Norway caused by climate change. Technical report. Norgesvassdragsogenergidirektorat, NVE, Postboks 5091 Majorstua, 0301 Oslo, Norway.
- Van Vuuren, D.P., Edmonds, J.A., Kainuma, M., Riahi, K., Weyant, J., 2011. A special issue on the RCPs. *Climatic Change* 109(1), 1-4.
- Wilby, R.L., Dawson, C.W., 2007. Statistical Downscaling Model SDSM Version 4.2. 94 p.
- Wilby, R.L., Harris, I., 2006. A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: low-flow scenarios for the River Thames, UK. *Water Resources Research* 42 (2).
- Wilby, R.L., Hay, L.E., Gutowski, W.J., Arritt, R.W., Takle, E.S., Pan, Z., Leavesley, G.H., Clark, M.P., 2000. Hydrological responses to dynamically and statistically downscaled climate model output. *Geophysical Research Letters* 27, 1199-1202.
- Zhang, L., Hickel, K., Dawes, W.R., Chiew, F.H.S., Western, A.W., Briggs, P.R. 2004. A rational function approach for estimating mean annual evapotranspiration. *Water Resource Research* 40, W02502.
- Zhang, X.C., 2007. A comparison of explicit and implicit spatial downscaling of GCM output for soil erosion and crop production assessments. *Climatic Change* 84, 337-363.
- Zhang, Y., You, Q., Chen, Ch., Ge, J. 2016. Impacts of climate change on stream flows under RCP scenarios: A case study in Xin River Basin, China. *Atmospheric Research* 178-179, 521-534.