مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال ششم، شماره سیزدهم، پاییز ۱۳۹۶
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۴/۲۱
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱/۲۷
صفحات: ۳۰ - ۱۵

ارزیابی تغییر اقلیم در حوضه سد قشلاق در دهه آینده با استفاده از ریزگردانی داده‌های مدل گردش عمومی جو

شیوا بخشایی[۱]، گلاله غفاری[۲*]، مهرانه خدامرادپور[۳]

چکیده

فرآیند تغییر اقلیم به دلیل تأثیر قابل توجه‌ای که بر ابعاد گوناگون زندگی انسان دارد، در دهه‌های اخیر بسیار مورد توجه محققین قرار گرفته است و مدل‌های گردش عمومی جو یکی از بهترین و متداول‌ترین تکنیک‌های پیش بینی تغییر اقلیم در جهان هستند. در این تحقیق با توجه به اهمیت بارش و دما در ذخیره آب سد قشلاق و تأمین نیاز آبی شهر سنندج، شبیه‌سازی تغییر اقلیم در حوضه سد قشلاق در دهه آینده با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو صورت گرفت. به منظور تهیه سناریوهای اقلیمی در این تحقیق، از خروجی‌های مدل گردش عمومی HadGEM2 تحت سناریوی RCP4.5 استفاده گردید. جهت حصول به وضوح بالا از خروجی‌های مدل‌گردش عمومی نیز از مدل دینامیکی کوچک‌مقیاس‌سازی RegCM4 استفاده و تغییرات پارامترهای مجموع بارندگی، دمای بیشینه، دمای کمینه و سرعت باد برای دهه آینده (۲۰۱۵ -۲۰۲۵) شبیه‌سازی گردید. در مرحله راستی آزمایی، داده‌های تاریخی شبیه‌سازی شده توسط مدل برای دوره آماری سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۰ با داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های منطقه، با استفاده از ضریب تبین و مجذور میانگین مربعات خطا مورد بررسی قرار گرفتند و نهایتاً با استفاده از نرم‌افزار GIS، توزیع مکانی پارامترهای اقلیمی در دهه آتی تهیه گردید. نتایج نشان داد که مدل عملکرد خوبی در شبیه‌سازی پارامترهای متوسط ماهانه دمای بیشینه و کمینه دارد و داده‌های متوسط ماهانه بارندگی با دقت کمتری برآورد شده است که علت آن می‌تواند نرمال نبودن و غیر شرطی بودن داده‌های بارش باشد. همچنین نتایج تحقیق بر اساس سناریو RCP4.5 نشان داد که در آینده نزدیک در فصل تابستان هوا گرم‌تر خواهد شد و شاهد کاهش مقدار کل بارندگی خواهیم بود و در عوض متوسط سالانه حداکثر دما افزایش خواهد یافت.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، ریزگردانی دینامیکی، RegCM، HadGM2.

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشگاه آزاداسلامی واحد سنندج
۲- استادیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج(نویسنده مسئول) Ghaffari58@yahoo.com
۳- استادیار گروه علوم و مهندسی آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینای همدان

مقدمه

اقلیم معرف شرایط متوسط هوا برای یک محدوده خاص و یک دوره خاص می‌باشد و تغییر اقلیم به افزایش گازهای گلخانه‌ای در چند دهه اخیر که باعث برهم خوردن تعادل اقلیمی کره زمین شده اطلاق می‌گردد، از مهمترین پیامدهای تغییر اقلیم می‌توان به افزایش میانگین دمای کره زمین، افزایش پدیده‌های حدی اقلیمی نظیر سیل، طوفان و ذوب شدن یخ‌های قطبی اشاره کرد(حق طلب و همکارن، ۱۳۹۲). برای درک ماهیت پیچیده اتمسفر و پیش‌بینی تغییرات آن در آینده، باید مدلی از اقلیم با استفاده از قوانین و روابط ریاضی، بین پارامترهای مختلف اتمسفر فراهم نمود. مدل‌های اقلیمی ابزارهای نوینی هستند که بیشتر از ۳۰ سال از ارائه آنها نمی‌گذرد. به طورکلی می‌توان مدل‌های اقلیمی را بر اساس ساختار و نوع عملکرد به چهار نوع تقسیم کرد: الف- مدل‌های توازن انرژی، ب - مدل‌های تابشی همرفتی، ج- مدل‌های دو بعدی دینامیکی - آماری و د- مدل‌های گردش عمومی جو[1] (GCM) (شهابفر و قیامی، ۱۳۸۰). در هر مدل اقلیمی تلاش شده تا فرآیندهایی که بر اقلیم موثر هستند شبیه‌سازی گردد و بر اساس آن وضعیت اقلیم برای سال‌های آینده پیش‌بینی شود. باوجود کارکردهای شایان توجه مدل‌های گردش عمومی جو در ارزیابی تغییرات اقلیمی(پیلک و ویلبای[2]،۲۰۱۲. کریستن سن و همکاران[3]، ۲۰۰۷) اندازه تفکیک آنها بسیار درشت بوده و تنها برای مقیاس‌های کلان بطور مستقیم قابل استفاده می‌باشند. بدین ترتیب این مدل‌ها در ارزیابی اثر عواملی مانند توپوگرافی منطقه‌ای، ابرناکی یا اثر کاربری اراضی بر تغییرات اقلیمی که در مقیاس‌های کمتر از ۲۰۰ کیلومتر نمود می‌یابند، ناکارمد جلوه می‌کنند(فولر و همکاران[4]، ۲۰۰۷، مارون و همکاران[5]،۲۰۱۰). بدین ترتیب مدل‌های GCM قادر به پیش‌بینی الگوهای مؤثر بر شکل‌گیری رخدادهای هیدرولوژیکی در مقیاس منطقه‌ای نیستند. از این رو وضوح بسیار ضعیف مدل‌های GCM در رابطه با فرآیندهای آب و هوای محلی و منطقه‌ای باعث شکل‌گیری و گسترش مدل‌های اقلیمی منطقه‌ای یا RCMs[6] شدند. با استفاده از مدل‌های منطقه‌ای و به کارگیری سناریوهای خاص می‌توان فرآیندهای کوچک‌مقیاس، میان‌مقیاس و منطقه‌ای را شناسایی، مطالعه و پیش‌بینی کرد(وود و همکاران[7]، ۱۹۹۷).

به‌طور خلاصه سه روش برای به دست آوردن نتایجی در حد مقیاس محلی- منطقه‌ای از مدل‌های اقلیمی وجود دارد. ۱- مدل‌های گردش عمومی تفکیک مکانی بسیار بالا، ۲- روش‌های آماری ریزمقیاس‌نمایی و ۳- مدل‌های اقلیمی مقیاس منطقه‌ای مشهور به روش‌های ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی(پاسینی[8]، ۲۰۰۶). در این تحقیق به منظور ارزیابی تغییراقلیم در حوضه سد قشلاق در دهه آینده از روش ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی استفاده شد. در روش دینامیکی،

---

[1]- General Circulation Models
[2]- Pielke & Wilby
[3]- Christensen et al.
[4]- Fowler et al.
[5]- Maruan, et al.
[6]- Regional climate models
[7]- Wood et al.
[8]- Pasini

مدل‌های اقلیمی گردش عمومی جو شرایط مرزی[1] را برای مدل‌های ترکیبی جو زمین، با قدرت تجزیه مکانی بالا فراهم می‌کنند همچنین مدل‌های دینامیکی با وجود طرحواره‌ها قادر هستند که فیزیک پدیده‌های جوی کوچک-مقیاس و زیرشبکه‌ای را که مدل قادر به آشکارسازی آن نیست شبیه‌سازی کند(ابریشمچی و حسینی، ۱۳۸۸).

در دو دهه اخیر مطالعات زیادی در ارتباط با روش‌ها و کارکردهای ریزمقیاس نمودن دینامیکی اطلاعات اقلیمی انجام گرفته است(فلور و همکاران، ۲۰۰۷، کریستسن‌سن و همکاران، ۲۰۰۷، مارون و همکاران، ۲۰۱۰). در برخی از این پژوهش‌ها از روش ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی به منظور شبیه‌سازی ویژگی‌های اقلیمی محلی مانند بارش‌های کوهپایه‌ای(فری و همکاران[2]، ۲۰۰۳)، رخدادهای بیشینه-حداقل اقلیمی(فری و همکاران، ۲۰۰۶) و یا وقایع غیرمعمول اقیمی در مقیاس منطقه‌ای مانند عوامل متأثر از نوسانات جنوبی ال‌نینو(لونگ و همکاران[3]، ۲۰۰۳) استفاده شده است. همچنین نتایج پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد که قابلیت یک مدل بطور قابل ملاحظه‌ای متأثر از انحراف‌ها و خطاهای ذاتی مدل GCM مربوطه و حضور یا شدت اثر عوامل مؤثر در مقیاس منطقه‌ای همچون توپوگرافی، کاربری اراضی یا پوشش گیاهی منطقه هدف است(فلور و همکاران،۲۰۰۷). از سوی دیگر زیرمقیاس‌سازی و پیش‌بینی شرایط آب و هوایی در مقیاس منطقه‌ای در فرآیند برنامه‌ریزی منطقه‌ای و مدیریت منابع آب کاربرد زیادی دارد. به عنوان مثال لگاندی و جورجی (۲۰۰۶)، شبیه‌سازی‌هایی را با استفاده از مدل RegCM برای سال‌های ۱۹۴۸ تا ۱۹۹۰ به منظور بررسی واکنش سطح دریای خزر به تغییرات اقلیمی انجام دادند. آنها تغییرات ارتفاع سطح دریای خزر را با استفاده از یک معادله ساده هیدرولوژیکی پیش‌بینی کردند. در این مطالعه مشخص شد که مدل به-خوبی تغییرات واقعی ارتفاع سطح دریای خزر را شبیه‌سازی نموده است (الگاندی و جورجی، ۲۰۰۶). از سوی دیگر جیورجی و همکاران[4] (۲۰۱۲) پس از توسعه نسخه چهارم مدل RegCM4، شرحی از تفاوت‌های آن با نسخه‌های قبلی از جمله طرحواره‌های جدید سطح زمین، لایه مرزی سیاره‌ای و شار جو - اقیانوس ارائه کردند. همچنین یکسری از اجراهای آزمایشی را در چهار محدوده معین شده در چارچوب ORDEX [5] ارائه کردند تا مثال‌هایی گویا از رفتار و حساسیت‌های مدل در رژیم‌های اقلیمی مختلف در دسترس قرار دهند. نتایج نشان داند که کارایی RegCM4 در جنبه‌های مختلف در مقایسه با نسخه‌های قبلی بطورکلی بهبود یافته است. اوه و همکاران[6](۲۰۱۴)، تغییرات مکانی و زمانی بارندگی را در محدوده آسیای شرقی از چارچوب CORDEX برای دوره حاضر(۱۹۸۶ تا ۲۰۰۵ میلادی) و آینده (۲۰۳۱ تا ۲۰۵۰ میلادی) با استفاده از مدل RegCM4 بررسی کردند. پیش‌بینی‌های اقلیم آینده که توسط نسخه دوم مدل محیطی جهانی مرکز هدلی جفت شده با جو - اقیانوس[7](HadGEM2-AO) تولید شده و مطابق بر سناریوهای تغییراقلیم جهانی)RCP4.5و RCP8.5) هستند، به عنوان شرایط مرزی هواشناسی برای

---

[1]- Boundary conditions
[2]- Frei et al.
[3]- Leung et al.
[4]- Giorgi et al.
[5]- International coordinated regional climate downscaling experiment
[6]- Oh et al.
[7]- Hadley Center Global Environmental Model version2 coupled with the Atmosphere Ocean

RegCM استفاده شدند. بطورکلی نتایج نشان‌دهنده کارایی قابل قبول مدل اما در عین حال نتایج نسبتاً ضعیف‌تر (کم برآوردی در مقدار بارش) در تابستان نسبت به زمستان است. از جمله تحقیقات صورت گرفته در ایران نیز می-توان به پژوهش بابایان و همکاران(۱۳۸۶)؛ اشاره کرد که حساسیت مدل RegCM را با طرحواره‌های بارش همرفتی بررسی کردند. آنها دو فصل زمستان کم بارش و پربارش را برای بررسی حساسیت مدل انتخاب کردند. در مطالعه آنها، تفاوت‌های اساسی بین بارش و دمای مدل با داده‌های واقعی، CRU[1] آشکار گردید. براساس این مطالعه، طرحواره گرل با خطای تقریبی ۲۰ درصد، توانمندی خوبی برای پیش‌بینی بارش در کل کشور دارد(بابایان و همکاران، ۱۳۸۶). مفیدی و همکاران (۱۳۹۲)، نیز با استفاده از مدل RegCM4 نقش دریای خزر را بارش‌های سواحل جنوبی آن بررسی کردند. نتایج این بررسی نشان داد که مدل RegCM4 قادر است به خوبی روند بارش‌های ماهانه را در منطقه خزری شبیه‌سازی کند. اگرچه در برآورد مقادیر واقعی بارش اریبی مثبت را برای ماه‌های بهاری نشان می‌دهد. در مجموع اغلب مطالعات از عملکرد قابل توجه روش‌ها و مدل‌های مختلف ریزمقیاس‌سازی دینامیکی به ویژه مدل RegCM4 در پیش‌بینی الگوهای تغییر اقلیم در مقیاس محلی حکایت می‌کنند.

به طور کلی می توان گفت که مدل گردش عمومی با تفکیک مکانی بالا فعلا در مرحله آزمایش بوده و به لحاظ مالی و زمانی مقرون به صرفه نیست(پاسینی، ۲۰۰۶). از سویی در چند دهه گذشته مدل‌سازی اقلیم منطقه‌ای با استفاده از RCMs رشد چشمگیری داشته و کاربرد زیادی در پیش‌بینی فصلی و توسعه مدل‌های منطقه‌ای داشته است ونگ و همکاران[2] (۲۰۰۴)؛ بنابراین به منظور بررسی تغییراقلیم سد قشلاق در استان کردستان در این تحقیق از مدل دینامیکی استفاده شد.

استان کردستان با دارا بودن بارندگی حدود ۵۰۰ میلی‌متر (بیش از دو برابر بارندگی متوسط ایران) یکی از پرآب‌ترین استان‌های ایران است، به طوری که با ۱/۷ درصد مساحت ۳/۵ درصد حجم بارندگی های کشور را دریافت می‌کند. با این وجود روند رو به افزایش کاهش بارندگی و شدت خشکسالی در سال‌های اخیر (مصطفی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴)، منابع آبی منطقه را با تهدید جدی مواجه نموده است. در این تحقیق با هدف پیش‌بینی شرایط اقلیم آینده حوضه سد قشلاق که مهمترین منابع تامین آب شرب شهر سنندج است، از مدل ریزمقیاس دینامیکی RegCM-4.4.5.5که داده‌های آن خروجی مدل HadGM2 (یکی از مدل‌های اقلیم جهانی یا چرخش عمومی) است، تحت سناریو RCP4.5 استفاده شد.

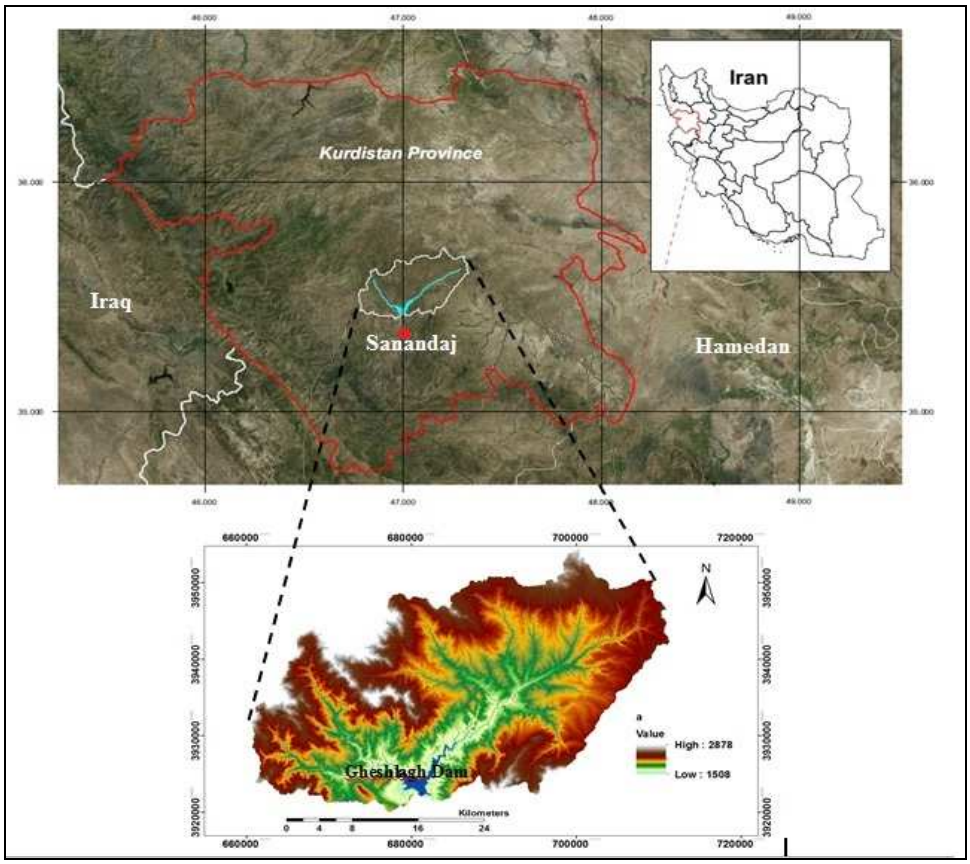
داده‌ها و روش‌ها

منطقه تحقیق

حوزه آبخیز سد قشلاق در استان کردستان و درشمال غربی ایران در فاصله ۱۲ کیلومتری شمال شهر سنندج واقع شده است. این حوضه بین مختصات ´46 °46 تا ´20 °47 طول جغرافیای شرقی و ´24 °35 تا ´35 °43 عرض جغرافیایی

[1]- Climate Research Unit
[2]- Wang et al.

شمالی واقع شده است. این منطقه بر اساس تقسیم‌بندی طرح جامع آب کشور بخشی از حوضه رودخانه مرزی سیروان است. مساحت حوزه آبخیز سد قشلاق منتهی به خروجی سد، ۱۰۶۲/۱۲ کیلومترمربع می‌باشد. بر اساس اطلاعات دوره آماری ۴۰ ساله ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه (از سال ۱۹۶۵ الی ۲۰۰۵) متوسط بارندگی سالیانه حوضه ۴۵۸/۴ میلیمتر و متوسط دما سالیانه ۱۳/۳ درجه سانتیگراد می‌باشد. همچنین با استناد به منحنی آمبروترمیک برای ارتفاع متوسط حوضه از اواسط مهر ماه تا اواسط اردیبهشت ماه، ماه‌های مرطوب و بقیه ماه‌های سال دوره خشک محسوب می‌شوند. شکل ۱ موقعیت مکانی محدوده مورد مطالعه نسبت به کل کشور و استان کردستان را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت مکانی محدوده مورد مطالعه نسبت به کل کشور و استان کردستان

روش تحقیق

در این پژوهش نسخه دوم مدل محیطی جهانی مرکز هدلی با نام مدل HadGEM2[1] به عنوان مدل گردش عمومی مورد استفاده قرار گرفت. این مدل برای هدف خاص شبیه‌سازی و فهم ارزیابی اقلیم در مقیاس صد ساله شامل

[1]- Hadley Centre Global Environmental Model version 2

بازخوردهای زیست گیاه‌شناسی[1] طراحی شده است. دلیل انتخاب و استفاده از این مدل، ساختن مدلی پایدار بوده که حالت و وضعیتی واقعی را از شرایط زیستی اقلیم، پوشش گیاهی و اقیانوس بدون نیاز به اصلاحات فرضی و ساختگی ارائه دهد(کالینز و همکاران[2]، ۲۰۱۱). چون داده‌های اقلیمی در مقیاس واقعی فاقد وضوح کافی و مشمول محدودیت‌های جدی می‌باشند، برای حصول وضوح ودقت کافی نیازمند ریزمقیاس‌نمایی داده‌ها هستیم، از اینرو، در این تحقیق یکی از مدل‌های اقلیم منطقه‌ای RCMs که مدل RegCM4 نام دارد برای ریزمقیاس‌نمایی به‌کار گرفته شده است. ساختار دینامیکی RegCM4 شامل ورژن هیدرواستاتیک نسخه پنجم مدل میان‌مقیاس (MM5) مرکز ملی تحقیقات اتمسفری[3](NCAR) و دانشگاه ایالتی پنسیلوانیا است هسته دینامیکی آن با قابلیت تراکم‌پذیری، تفاضل نامتناهی در مشتقات با تعادل هیدرواستاتیک و سیستم مختصات سیگمائی با دامنه مکانی محدود و عموماً در مقیاس زمانی بیشتر از یک‌ماه است (گرل وهمکاران[4]، ۱۹۹۴). ساختار افقی در مدل RegCM شبکه جابه‌جا شده از نوع آراکاوا – B می‌باشد. تمام شاره‌ها بر روی نقاط اصلی شبکه و متغیرهای حالت برروی نقاط میانی واقع در بین نقاط اصلی شبکه (X) تعریف شده است. دستگاه قائم از نوع سیگما (سیگما بین صفر و یک) ساختار ناهمواری‌ها در سطح را حفظ و با افزایش ارتفاع تخت‌تر می‌شود. قدرت تفکیک قائم مدل شامل ۱۸ تراز با هفت تراز آن زیر لایه ۸۰۰ هکتو پاسکال است که برای این تحقیق از مطالعه انتس[5](۱۹۹۷) استخراج شده است.

داده‌های مورد نیاز تحقیق برای اجرای مدل، داده‌های بازتحلیل شده همانند بازتحلیل‌های جهانی NNRPI[6] مرکز ملی پیش‌بینی محیطی / مرکز ملی پژوهش‌های جوی آمریکا با تفکیک افقی ۲/۵×۲/۵ درجه و در بازه زمانی ۶ ساعته با استفاده از روش واهلش نمایی[7] برای سال های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ مورد استفاده قرار گرفت. علاوه براین، سیستم مختصات مورد استفاده در این تحقیق، سیستم مختصات لامبرت [8] می باشد که برای عرض‌های میانی و بالای جغرافیایی مناسب است. از این داده‌ها می‌توان به داده‌های سطح زمین شامل داده‌های توپوگرافی،کاربری اراضی و نوع خاک با دقت ۳۰ ثانیه اشاره کرده که از بانک اطلاعاتی سازمان زمین شناسی ایالت متحده آمریکا تهیه شد. مدل RegCM مورد استفاده ما در این تحقیق برای نمایش فرآیندهای سطح زمین، بصورت پیش‌فرض شامل طرحواره انتقال زیست‌کره – هواکره BATS می‌باشدکه این ترکیب طرحواره‌ها براساس ترکیب پیشنهادی دیکنسون و همکاران (۱۹۹۳) انتخاب شده است. مطابق الگوی جیورجی و همکاران(۲۰۰۳)، BATS شامل ۲۰ نوع پوشش زمین و ۱۲ دسته‌بندی برای رنگ و پوشش خاک می‌باشد. علاوه بر این، یک ساختار زیرشبکه سطح زمین[9]، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، به این ترتیب که هرنقطه از شبکه مدل به یک زیرشبکه منظم تقسیم می‌شود و فرایندهای سطح

1- Biogeochemical feedbacks
2- Collinz et al.
3- National Center for Atmospheric Research
4- Grell et al.
5 Anthes
6- NCEP/NCAR Reanalysis Project
7- Exponential relaxation
8- Lambert Conformal
9- Sub-grid land surface configuration

زمین در هر نقطه زیرشبکه با درنظر گرفتن کاربری اراضی و توپوگرافی محل مورد محاسبه قرار می‌گیرند. در این تحقیق طرحواره BATS1E به عنوان مدل سطح زمین و برای دمای سطح دریا از داده‌های ماهانه مدل HadGM2 و برای توپوگرافی سطحی از داده‌های ارتفاع جهانی USGS با دقت ۳۰ ثانیه قوسی استفاده شد. مدل با گام زمانی ۶ ساعته، قدرت تفکیک ۵×۵ کیلومتر، تعداد نقاط شبکه مدل ۲۰ نقطه در راستای عمودی با مرکز ۴۷/۰۵۲ در عرض و ۳۵/۵۵ در راستای عمودی طول جغرافیایی، برای دوره آماری ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ اجرا شد.

همچنین در این پژوهش از سناریوی RCP4.5 برای پیش شرایط اقلیمی ده سال آینده (از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵) در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. سناریوهای RCP در سال ۲۰۱۰ توسط یک کمیته علمی و زیر نظر هیئت بین‌الدول تغییرات اقلیمی با هدف مهیا نمودن مجموعه‌ای از اطلاعات برای ردیابی عوامل اصلی تغییرات اقلیم و اعمال نتایج آن برای مدل‌های اقلیمی ایجاد و معرفی شد. مدل‌های اقلیمی از نتایج این سناریوها برای نشان دادن غلظت و انتشار گازهای گلخانه‌ای و میزان آلودگی‌ها و تغییرات کاربری‌اراضی استفاده می‌کنند. سناریو RCP۴,۵ به‌کار گرفته شده در این تحقیق، مبتنی بر یک حالت تعادل در سیاست‌گذاری و پایداری در غلظت دی‌اکسید کربن در جو است. در سناریوی RCP۴,۵ ، میزان غلظت CO2تا سال ۲۱۰۰، ۶۵۰PPM و اثر گازهای گلخانه‌ای بر واداشت‌های تابشی، ۴/۵ وات بر متر مربع برآورد شده است. این سناریو تقریبا معادل با سناریوی B1 در سناریوهای قبلی است.

در قسمت پس‌پردازش، داده‌های خام حاصل از اجرای مدل به صورت روزانه ذخیره و سپس با استفاده ازعملگرهای کد CDO به سالانه و میانگین‌های منطقه‌ای تبدیل شد. همچنین برای جدا کردن متغییرها از یکدیگر از عملگرهای GRADS استفاده گردید. داده‌های خروجی با فرمت NetCDF برای دوره زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ تهیه شد. این داده‌ها شامل مولفه‌هایی چون بیشینه بارش کل(pr)، بیشینه سرعت باد (sfcWindmax)، بیشینه دمای سطح (tsmax) وکمینه دما سطح (tsmin)، می‌باشند. همچنین در این پژوهش برای جدا کردن ایستگاه هواشناسی مورد نظر از برنامه‌نویسی FORTRAN و برای رسم خروجی‌ها نیز از نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد.

نقشه توپوگرافی مربوط به منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ از سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور جهت بررسی موقعیت فیزیوگرافی و آمار مورد نیاز ایستگاه‌های سینوپتیک و اقلیم‌شناسی داخل و نزدیک حوضه از سازمان هواشناسی استان کردستان در طول دوره آماری مورد نیاز تهیه گردید. در این تحقیق از دو ایستگاه سازمان هواشناسی (سینوپتیک و اقلیم‌شناسی) به‌منظور راستی‌آزمایی مدل و مقایسه داده‌های مشاهده‌ای و تاریخی مدل استفاده شد. مشخصات این دو ایستگاه‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: مشخصات ایستگاه سینوپتیک و اقلیم شناسی سازمان هواشناسی کشور

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول شمالی (درجه-دقیقه)	عرض شرقی (درجه-دقیقه)	ارتفاع از سطح دریا (m)	دوره آماری
سنندج	سینوپتیک (نزدیک منطقه)	۴۷-۰	۳۵-۲۰	۱۳۷۳/۴	۲۰۱۲- ۱۹۶۱
خلیفه‌ترخان	اقلیم‌شناسی (داخل منطقه)	۳۵-۲۹	۴۷-۱۴	۱۷۸۸	۲۰۱۲-۱۹۷۸

جهت ارزیابی مدل، ابتدا میانگین منطقه‌ای داده‌های کل بارندگی، دمای بیشینه، دمای کمینه و سرعت باد، حاصل از اجرای مدل در دوره پنج ساله ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۰ بر اساس سناریو مورد نظر تهیه شد و سپس میانگین ماهانه و سالانه دوره ۵ ساله داده‌های شبیه‌سازی شده‌ی تاریخی و مشاهداتی (متوسط وزنی دو ایستگاه) مقایسه شدند. برای مقایسه داده‌های مشاهده‌ای و تاریخی، از دو پارامتر آماری RMSE (ریشه مربعات میانگین خطا) و RE استفاده شد(روابط ۱ و ۲).

$$R^2 = \frac{\sum_i^n X_i.Yi}{\sqrt{\sum_i^n Xi^2.\sum_i^n Y_i^2}} \quad (۱)$$

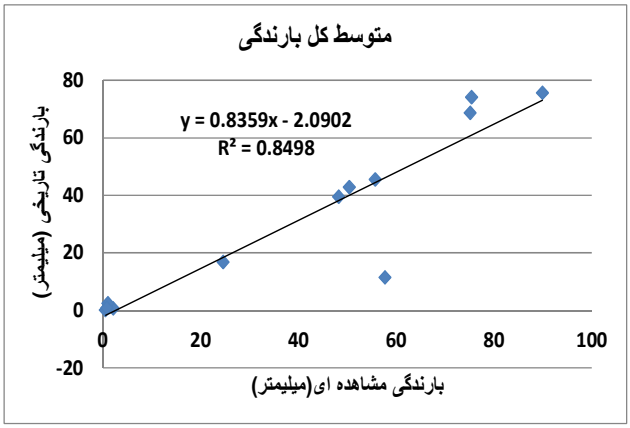
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - x_i)^2}{n}} \quad (۲)$$

که در آن X_i: مقادیر مشاهده‌ای و Y_i: مقادیر برآوردی می‌باشد. هرچه مقادیر RMSE به صفر نزدیک‌تر باشند نشان‌دهنده شبیه‌سازی بهتر مدل است، از آن‌جایی که این پارامترها دارای بعد می‌باشد محدوده قابل قبول آن به مقادیر داده‌ها وابسته است، بنابراین در رابطه با بارندگی برای مقایسات ماهانه و سالانه به جای بارندگی تجمعی از متوسط بارندگی روزانه استفاده شد تا مقادیر RMSE قابل قیاس باشند. R^2 نشان‌دهنده بخشی از تغییرات کل می‌باشد که به‌وسیله رابطه خطی بین دو متغیر توجیه می‌شود، در شرایطی که مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده باهم برابر باشند (بهترین حالت ممکن) مقادیر R^2 برابر با یک خواهد بود.

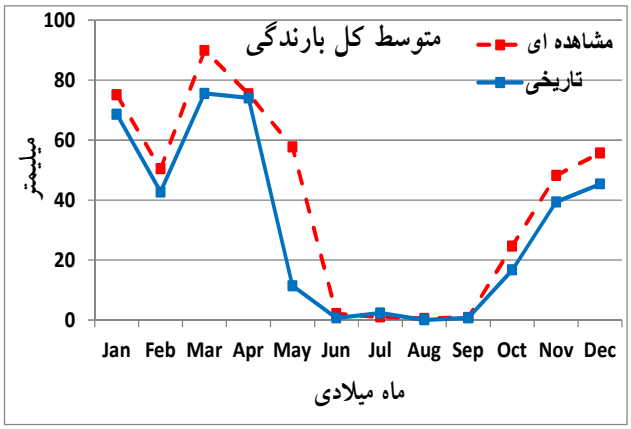
نتایج و بحث

نتایج راستی‌آزمایی مدل

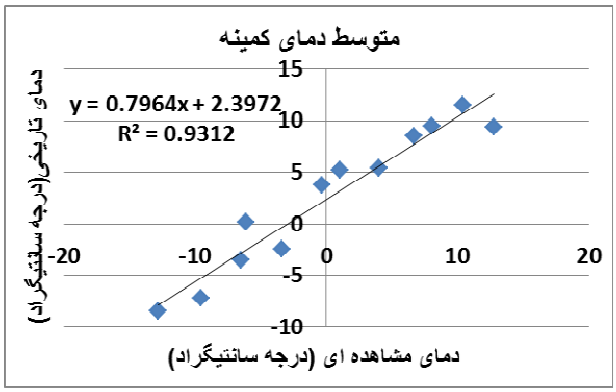
برای سری زمانی ماهانه بارندگی، مقدار RMSE برابر ۱۵/۲ میلی‌متر در روز و R^2 برابر با ۰/۸۴ در پنج سال شبیه‌سازی (۲۰۰۰- ۱۹۹۶) و برای دمای بیشینه، مقدار RMSE برابر با ۵/۱۵ درجه سانتی‌گراد و R^2 برابر با ۰/۹۴، برای دمای کمینه، مقدار RMSE برابر با ۳/۳۰ درجه سانتی‌گراد و R^2 برابر با ۰/۹۳ و در نهایت برای سری‌های زمانی ماهانه سرعت باد مقدار RMSE برابر با ۳/۸۸ درجه سانتی‌گراد و R^2 برابر با ۰/۸۵ محاسبه شدند. شکل‌های ۲ الی ۹ مقایسه‌ی دماهای ماهانه را برای این ۵ سال نشان می‌دهد. همانگونه که ملاحظه می‌شود در معادله‌ی خطی مربوطه شیب خط بسیار نزدیک به یک می‌باشد که نشان‌دهنده‌ی عملکرد مناسب مدل در شبیه‌سازی پارامترها است.



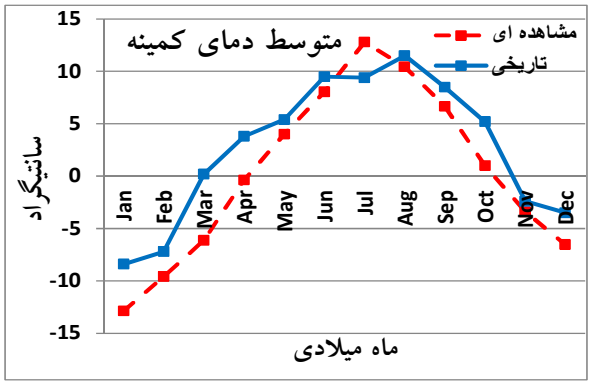
شکل ۲: رابطه متوسط کل باران ماهانه مشاهده‌ای و تاریخی(۲۰۰۰-۱۹۹۶).



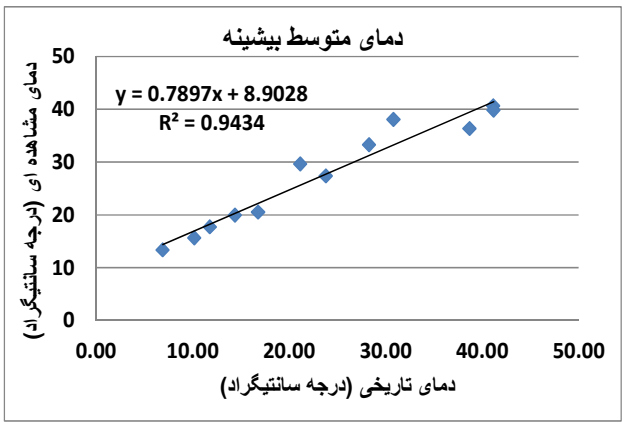
شکل ۳: تغییرات ماهانه متوسط کل بارش برای دوره تاریخی و مشاهده‌ای.



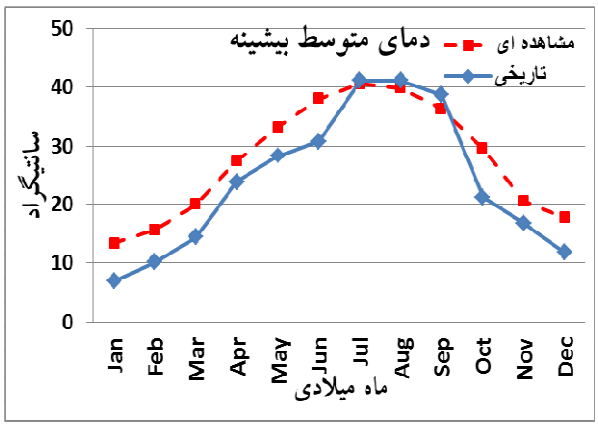
شکل۴: رابطه متوسط دمای کمینه مشاهده‌ای و تاریخی (۲۰۰۰-۱۹۹۶).



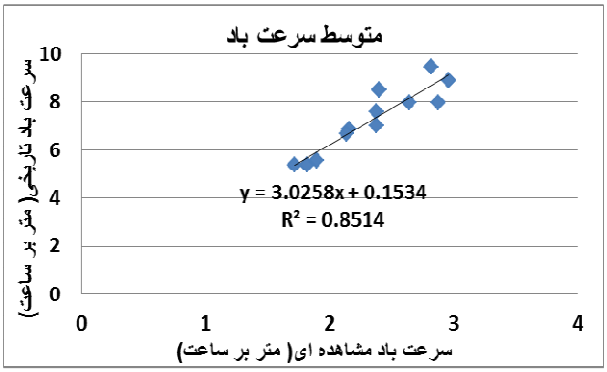
شکل۵: تغییرات متوسط دمای کمینه برای دوره تاریخی و مشاهده‌ای.



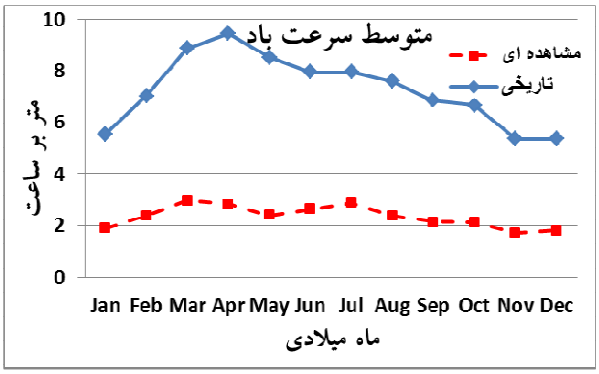
شکل۶: رابطه متوسط دمای بیشینه ماهانه مشاهده‌ای و تاریخی (۲۰۰۰-۱۹۹۶).



شکل۷: تغییرات متوسط دمای بیشینه برای دوره تاریخی و مشاهده‌ای.

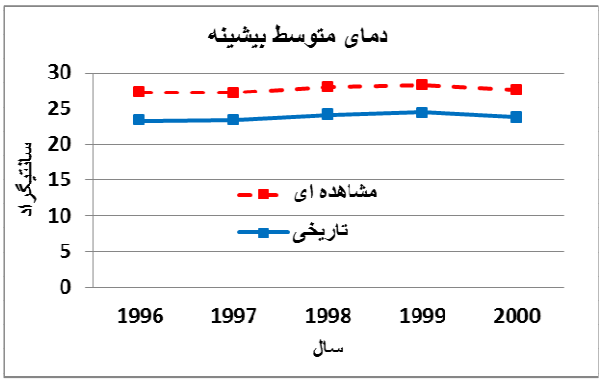


شکل۸: متوسط سرعت باد ماهانه مشاهده‌ای و تاریخی(۲۰۰۰-۱۹۹۶).

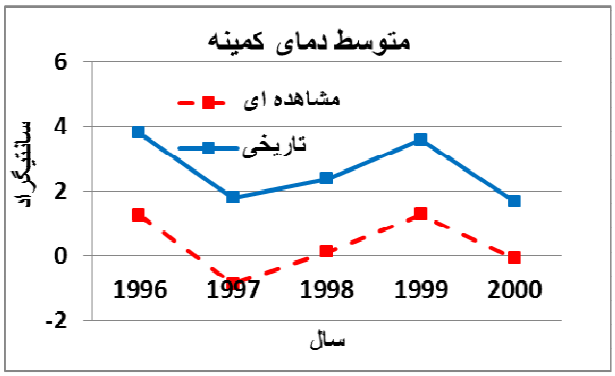


شکل۹: مقایسه تغییرات متوسط سرعت باد برای دوره تاریخی و مشاهده‌ای.

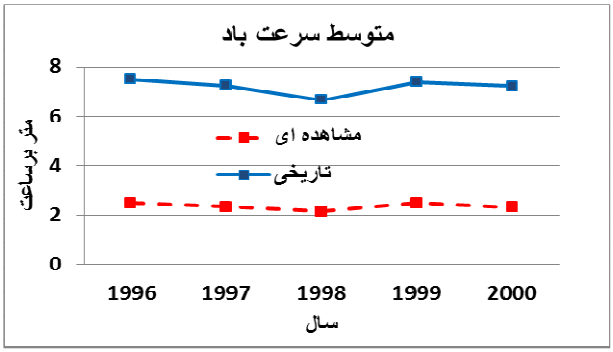
مقایسه میانگین سالانه بازه ۵ ساله (۲۰۰۰-۱۹۹۶) برای بارندگی نتایج را اندکی بهبود داد(جدول۲). شکل ۱۰ تغییرات میانگین سالانه دمای بیشینه شبیه‌سازی شده و مشاهده شده را نشان می‌دهد. دراین مقایسه مقادیر RMSEو R^2 به ترتیب ۲/۵۰ و ۰/۹۷ محاسبه شدند. در مقایسه میانگین سالانه کمینه دمای سطح مقادیر RMSEو R^2 به ترتیب ۱/ ۴۱ و ۰/۹۶ محاسبه شد(شکل۱۱). شکل ۱۲ نیز تغییرات میانگین سالانه ۵ ساله بارندگی شبیه-سازی شده و مشاهده شده را نشان می‌دهد. دراین مقایسه مقادیر RMSE وR^2 بهترتیب ۵/۷۹ و ۰/۸۹ محاسبه شدند که حاکی از بهبود نتایج نسبت به مقایسه ماهانه است. در نهایت مقایسه میانگین سالانه سرعت باد مقادیر RMSEو R^2 به ترتیب ۲/۴۲ و ۰/۹۷ بدست آمد(شکل۱۳).



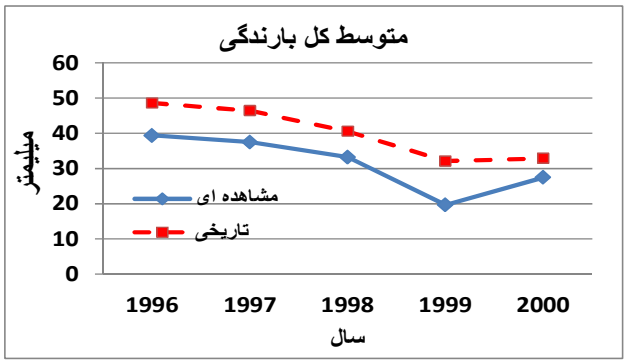
شکل۱۰: تغییرات سالانه دمای بیشینه برای دوره تاریخی و مشاهده‌ای.



شکل۱۱: تغییرات سالانه دمای متوسط کمینه برای دوره تاریخی و مشاهده‌ای.



شکل ۱۲: تغییرات سالانه سرعت باد برای دوره تاریخی و مشاهده‌ای.



شکل ۱۳: تغییرات سالانه متوسط کل بارندگی برای دوره تاریخی و مشاهده‌ای.

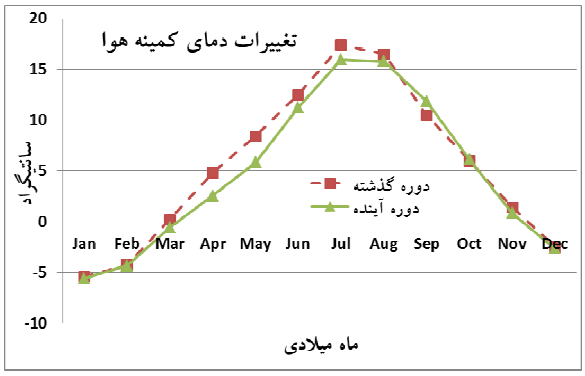
جدول ۲: نتایج راستی آزمایی مدل (مقایسه دوره تاریخی شبیه سازی شده و دوره مشاهده ای (۱۹۹۶ الی ۲۰۰۰).

دوره	پارامتر آماری	میانگین کل بارندگی	میانگین دمای بیشینه	میانگین دمای کمینه	میانگین سرعت باد
ماهانه	R2	۰/۸۴	۰/۹۴	۰/۹۳	۰/۸۵
	RMSE	۱۵/۲	۵/۱۵	۳/۳۰	۳/۸۸
سالانه	R2	۰/۸۹	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۷
	RMSE	۵/۷۹	۲/۵۰	۱/۴۱	۲/۴۲

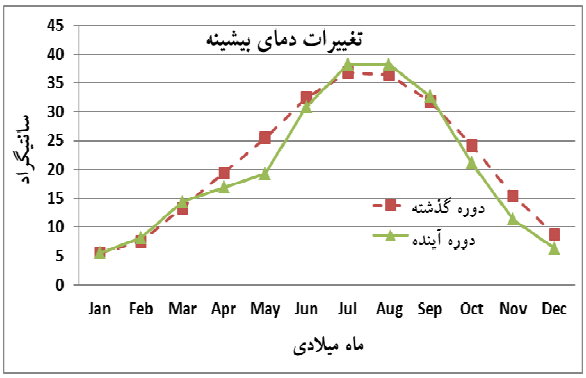
مقایسه متوسط تغییرات ماهانه پارامترهای اقلیمی در دوره گذشته و آینده

مقایسه تغییرات متوسط ماهانه پارامترهای دما بیشینه و کمینه هوا، بیشینه سرعت باد در ۱۰ متری و متوسط کل بارش برای دوره گذشته (سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۲) و دوره آینده (سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵) به ترتیب در شکل‌های ۱۲ الی ۱۵ ارائه شده است. در نمودار مقایسه تغییرات متوسط ماهانه دمای کمینه هوا در گذشته و آینده مشاهده شد که در دوره گذشته کمینه دمای هوا مربوط به ماه ژانویه به مقدار ۵/۴- درجه سانتی‌گراد بوده و در آینده هم کمینه دما با کمی کاهش باز هم مربوط به ماه ژانویه به مقدار ۵/۵۸- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. همچنین مشاهده می‌شود که در دوره آینده در اکثر ماه‌های سال دمای کمینه کمتر از دوره گذشته می‌باشد (شکل ۱۲). از سویی براساس مقایسه صورت گرفته متوسط ماهانه دمای بیشینه هوا دوره گذشته در ماه جولای به‌مقدار ۳۶/۸ درجه سانتیگراد رخ داده در حالی که در پیش‌بینی اقلیم در ۱۱ سال آینده بر اساس سناریو RCP۴,۵ متوسط دمای بیشینه هوا در ماه آگوست به‌مقدار ۳۸/۱۹ می‌باشد و به طور کلی در آینده در فصل تابستان هوا گرم‌تر خواهد شد (شکل ۱۳). همچنین مقایسه تغییرات متوسط ماهانه کل بارش در دوره نشان داد که در گذشته بیشترین بارش مربوط به ماه مارس به مقدار ۷۹/۹ میلیمتر و کمترین بارش مربوط به ماه آگوست به‌مقدار ۰/۵ میلیمتر می‌باشد این در حالی است که در پیش‌بینی آینده بیشترین بارش مربوط به ماه می به مقدار ۸۳/۶۱ میلیمتر و کمترین بارش مربوط به ماه سپتامبر به مقدار ۰/۷۸ میلیمتر می‌باشد همچنین مشاهده می‌شود که در پیش‌بینی آینده مقدار بارش در ماه‌های سرد سال به کمترین میزان رسیده است (شکل ۱۴). در نهایت مقایسه تغییرات متوسط ماهانه سرعت باد

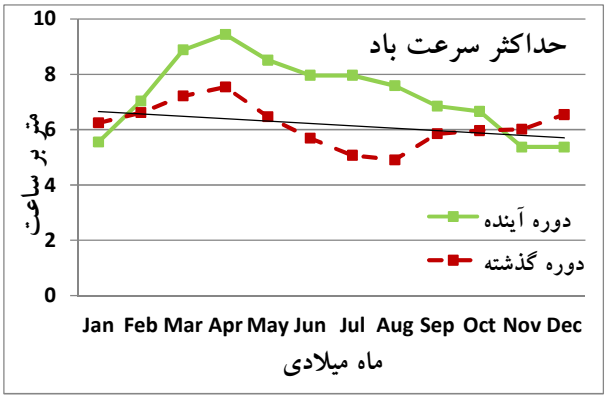
سرعت باد در دو دوره نیز نشان داد که در گذشته بیشترین سرعت باد مربوط به ماه آپریل به مقدار ۹/۴۴ متر بر ثانیه می‌باشد و در پیش‌بینی آینده هم بیشینه سرعت باد مربوط به ماه آپریل به‌مقدار ۷/۵۵ متربرثانیه و کمینه آن مربوط به ماه جولای به میزان ۶/۵۸ متربرثانیه می‌باشد و در اکثر ماه‌های سال سرعت باد کاهش یافته است(شکل۱۵).



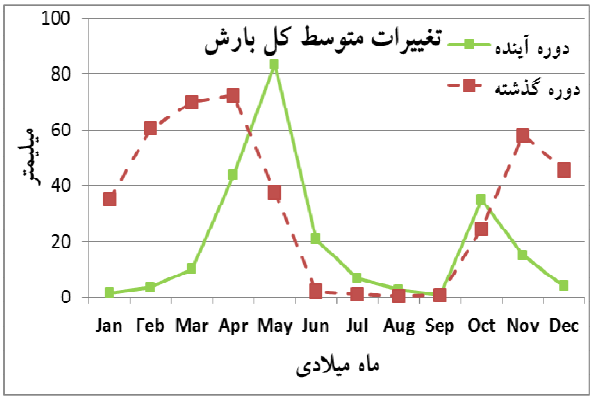
شکل۱۴: متوسط ماهانه کمینه دمای هوا دوره گذشته و آینده.



شکل۱۵: تغییرات متوسط ماهانه بیشینه دمای هوا دوره گذشته و آینده.



شکل۱۶: متوسط کل بارش ماهانه برای دوره گذشته و آینده

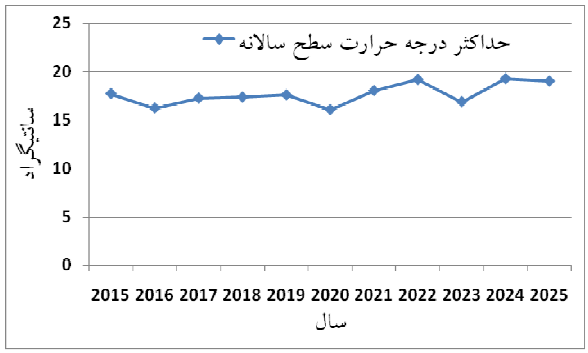


شکل۱۷: مقایسه تغییرات متوسط سرعت باد ماهانه برای دوره گذشته و آینده

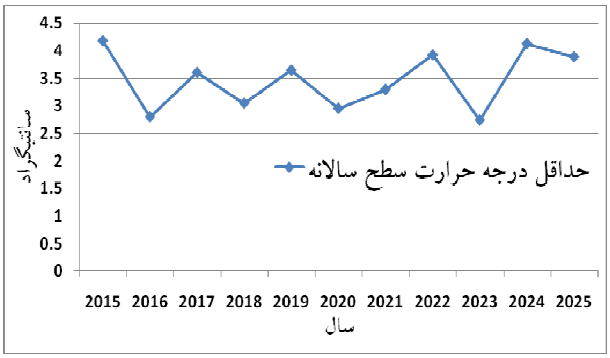
تغییرات سالانه پارامترهای اقلیمی پیش‌بینی شده

در شکل‌های ۱۶ الی ۱۹ نیز تغییرات متوسط سالانه پارامترهای شبیه‌سازی شده بیشینه دما سطح خاک، کمینه دما سطح خاک، بیشینه بارش کل، سرعت باد در ۱۰ متری، برای سال‌های ۲۰۱۵ الی ۲۰۲۵ تحت RCP۴,۵ . در حوضه سد قشلاق ارائه شده است. نتایج حاصل از بررسی تغییرات سالانه پارامترهای اقلیم آینده (۲۰۱۵-۲۰۲۵) نشان داد که بیشترین دما سطح سالانه مربوط به سال ۲۰۲۴ به میزان ۱۹/۲۷ درجه سانتیگراد و کمینه دما سطح سالانه مربوط به سال‌های ۲۰۲۳ به‌میزان ۲/۷۳ درجه سانتیگراد می‌باشد (شکل‌های ۱۶ و ۱۷). تغییرات متوسط بارش کل

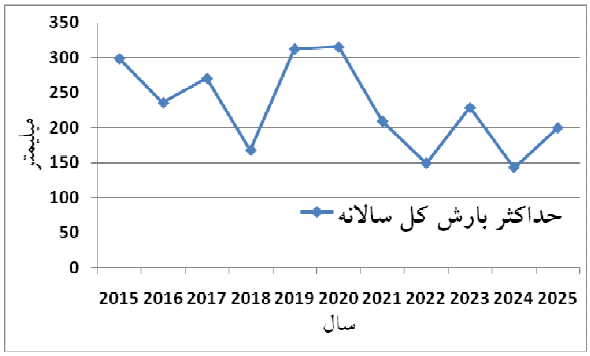
سالانه مربوط به سال ۲۰۲۰ به‌میزان ۳۱۵/۶۲ میلیمتر می‌باشد(شکل ۱۸) و بیشینه سرعت باد سالانه مربوط به سال ۲۰۲۲ به‌میزان ۷/۷۸ متربرثانیه می‌باشد (شکل ۱۹). در کل بر اساس سناریوی مورد نظر، روند کاهش یا افزایش برای دما در ۱۰ سال آینده مشاهده نشد.



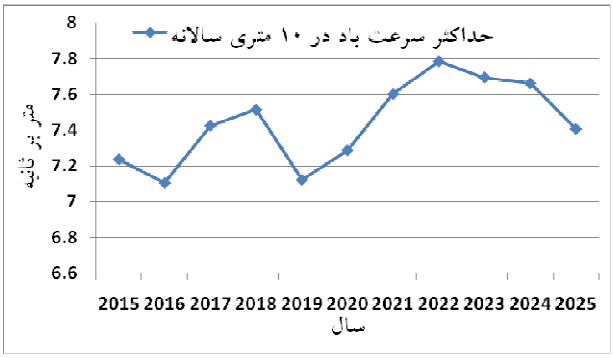
شکل۱۸: تغییرات سالانه بیشینه دماسطح خاک.



شکل۱۹: تغییرات سالانه کمینه دماسطح خاک



شکل۲۰: تغییرات سالانه بیشینه بارش کل.

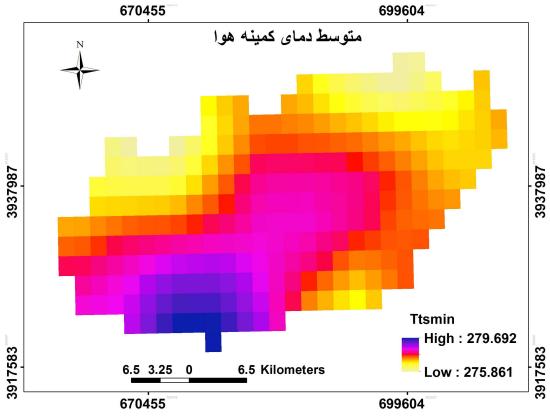


شکل۲۱: تغییرات سالانه بیشینه سرعت باد در ۱۰ متری

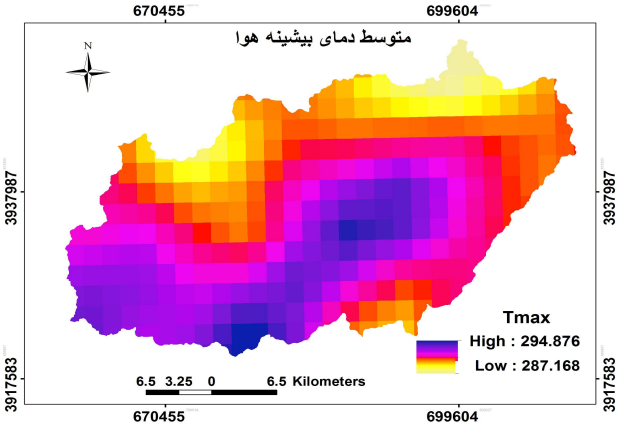
تغییرات مکانی پارامترهای اقلیمی پیش‌بینی شده

نقشه‌های پراکنش متوسط سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ برای پارامترهای دمای کمینه سطح خاک، دمای بیشینه سطح خاک، متوسط شار بارش کل، سرعت باد در ۱۰ متری، تحت سناریو RCP۴,۵ در حوضه سد قشلاق ارائه شد(شکل ۲۰ الی ۲۳). در مقایسه تغییرات مکانی پارامترهای اقلیم آینده (۲۰۱۵-۲۰۲۵) با استفاده از مدل گردش عمومی جو مشاهده شد قسمت جنوب و سپس مرکزی حوضه سد قشلاق بیشترین بیشینه دما سطح و کمترین کمینه دما را تجربه خواهد کرد(شکل‌های۲۰ و ۲۱). برای قسمت شمالی حوضه سد قشلاق سنندج بیشترین شار کل بارش و در بخش‌های جنوب غربی و مرکزی حوضه کمترین شارکل بارش پیش‌بینی شده است(شکل۲۲). با توجه به

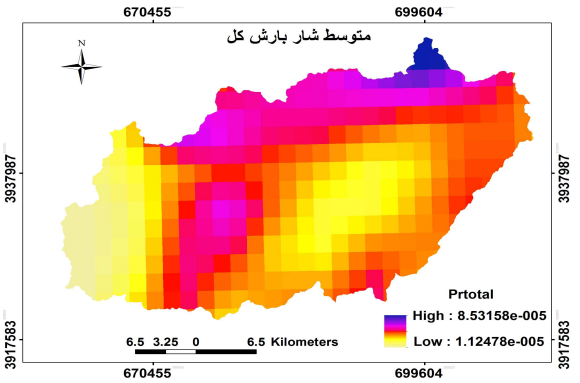
پیش‌بینی‌های مدل RegCM در آینده بیشینه سرعت باد متوسط سالانه مربوط به جنوب‌شرقی و مرکز حوضه سد قشلاق می‌باشد(شکل۲۳).



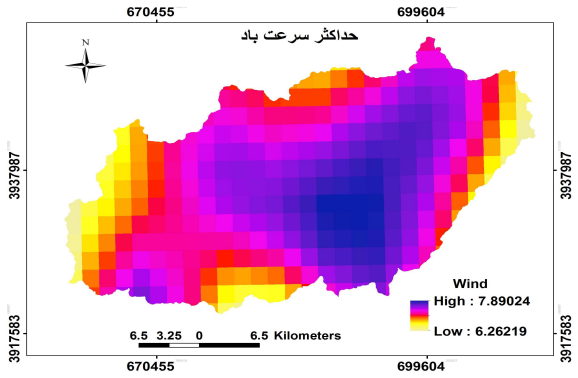
شکل۲۲: تغییرات مکانی متوسط سالانه کمینه دما



شکل۲۳: تغییرات مکانی متوسط سالانه بیشینه دما



شکل۲۴: تغییرات مکانی متوسط سالانه شار کل بارش



شکل۲۵: تغییرات مکانی متوسط سالانه بیشینه سرعت باد

نتیجه‌گیری

افزایش میزان گازهای گلخانه‌ای در سال‌های آینده منجربه پیدایش تغییراتی در پارامترهای اقلیمی خواهد شد. در این پژوهش با توجه به محدوده کوچک حوضه سد قشلاق سنندج مدل RegCM4 در مقیاس مکانی ۵×۵ کیلومتر به ریزگردانی خروجی‌های مدل HadGEM2 پرداخته شد همچنین طرحواره BATS1E به‌عنوان مدل سطح زمین انتخاب شد. نتایج حاصل از پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی نشان داد که مدل در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی دما حداکثر، حداقل دارای عملکرد با دقت بالایی می‌باشد و شبیه‌سازی روند تغییرات بارش با دقت کمتری انجام گرفته است که علت آن می‌تواند نرمال نبودن و غیر شرطی بودن داده‌های بارش باشد. این نتایج با تحقیقات بابائیان و

همکاران، (۱۳۸۶) و جیورجی و همکاران (۲۰۱۲) که بر کارایی مدل تایید داشتند همخوانی دارد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در آینده نزدیک شاهد کاهش مقدار کل بارندگی خواهیم بود و در عوض متوسط سالانه بیشینه دما افزایش خواهد یافت که تبعات آن افزایش تبخیر و تعرق، کاهش ذخیره آب زیر زمینی و آب‌های سطحی است پژوهش کار شده در این مورد می‌توان به تحقیق هارمسن و همکاران[1] (۲۰۰۹)، منطقه پورتوریکو[2] اشاره کرد که نتایج آنها نشان داد که بارندگی‌ها در فصل پر باران سال افزایش و در فصل خشک سال کاهش می‌یابد؛ به عبارت دیگر، فصل مرطوب، مرطوب‌تر و فصل خشک، خشک‌تر می‌شود. نتایج بررسی مساح بوانی و همکاران (۱۳۸۵) در حوضه زاینده‌رود نیز نشان داد که در دوره‌های آتی میزان بارندگی کاهش و دما افزایش خواهد یافت؛ بنابراین لازم است راه‌های تطبیق با این تغییرات در جهت کاهش هرچه بیشتر اثرات منفی احتمالی گرم شدن جهانی را در برنامه-ریزی‌های آینده حوضه سد قشلاق در نظر داشت. این برنامه‌ها می‌تواند تغییر در سیاست بهره‌وری مخزن و نیز تغییر در برنامه مصرفی پایین‌دست و یا مدیریت تقاضا شرب (با تغییر الگوی مصرف) یا تغییر در تقاضای صنعت و کشاورزی باشند. به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که با استفاده از مدل ریزمقیاس دینامیکی RegCM۴,۴,۵,۵ تحت سناریو RCP۴,۵ می‌توان شرایط اقلیم دهه‌ی آینده حوضه سد قشلاق را با دقت قابل قبولی شبیه‌سازی شد. اسچمیدل و همکاران[3] (۲۰۰۷) نیز در تحقیق خود به دقت بیشتر نتایج بدست آمده از کوچک مقیاس‌سازی دینامیکی نسبت به آماری اشاره کرده‌اند. لازم به ذکر است که همواره در مدل‌سازی اقلیم منطقه‌ای که از خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی استفاده می‌شود بایستی خطاهای ناشی از مدل گردش عمومی را نیز مدنظر قرار داد.

منابع

ابرشمچی، احمد، حسینی، فرزاد (۱۳۸۸). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر پارامترهای دما و بارش در حوضه آبریز کرخه، هشتمین کنگره بین-المللی مهندسی عمران، دانشگاه شیراز، صص ۳۴۰-۳۴۹.

بابائیان، ایمان، کریمیان، مریم، مدیریان، راحله، حبیبی‌نوخندان، مجید (۱۳۸۶). شبیه‌سازی بارش ماه‌های سرد سال‌های ۱۳۷۶ و ۱۳۷۹ با استفاده از مدل منطقه‌ای اقلیمی RegCM3. جغرافیا و توسعه، ۱، صص ۷۲-۵۵.

حق‌طلب، نفیسه، گودرزی، محسن، حبیبی نوخندان، مجید (۱۳۹۲). مدل‌سازی اقلیم استانهای تهران و مازندران با استفاده از مدل اقلیمی LARS-WGو مقایسه تغییرات آن در جبهه‌های شمالی و جنوبی البرز مرکزی، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره ۱۵، شماره ۱، تهران، صص ۴۹-۳۷.

شهابفر، علیرضا، قیامی، علی (۱۳۸۰). پیش بینی درازمدت متغیرهای اقلیمی توسط مدل‌های رقومی گردش عمومی و روش‌های تبدیل مقیاس خروجی‌های این مدل‌ها از مقیاس جهانی به منطقه‌ای. اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، دانشگاه زابل، صص ۱۲۳-۱۳۲.

[1]- Harmsen
[2]- Puerto Rico
[3]- Schimidli at al.

مصطفی‌زاده، رئوف، شهابی، معصومه، ذبیحی، محسن (۱۳۹۴). تحلیل خشکسالی هواشناسی در استان کردستان با استفاده از مدل نمودار سه‌متغیره. مجله آمایش جغرافیایی فضا، ۵(۱۷)، صص ۱۲۹-۱۴۰.

مفیدی، عباس، کارخانه، میثم، زرین، آذر (۱۳۹۲). شبیه‌سازی نقش دریای خزر در وقوع بارش های منطقه ای با استفاده از مدل اقلیمی مقیاس منطقه ای RegCM پیوند خورده با مدل دریاچه، نخستین کنفرانس ملی آب و هواشناسی ایران، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان، صص ۱۰۰-۱۰۰۸.

Anthes, RA. (1977), A cumulus parameterization scheme utilizing a one-dimensional cloud model. Mon Weather Rev105: pp.1423–1438.

Christensen, J.H., Carter, T.R., Rummukainen, M., Amanatidis, G. (2007), Evaluating the performance and utility of regional climate models: the PRUDENCE project. Climatic Change 81(Supplement): 1–6.

Collins, W.J., Bellouin, N., Doutriaux-Boucher, M., Gedney, N., Halloran, P., Hinton, T., Woodward, S. (2011), Development and evaluation of an Earth-System model-HadGEM2. Geoscientific Model Development, 4(4), pp:1051-1075.

Dickinson, RE., Henderson-Sellers, A., Kennedy, P. (1993), Biosphere-atmosphere transfer scheme. (BATS) version 1eas coupled to the NCAR community climate model. National Center for Atmospheric Research.

Elguindi, N., Giorgi, F. (2006), Simulating multidecadal variability of Caspian sea level changes using regional climate model outputs, Climate Dynamics, 26, pp: 167-181

Fowler, H.J., Ekstrom, M., Kilsby, C.G., Jones, P.D. (2005a), New estimates of future changes in extreme rainfall across the UK using regional climate model integrations. 1. Assessment of control climate. Journal of Hydrology 300, 212–233.

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 of climatology, 27(12), pp: 1547-1578.

Frei, C., Christensen, J.H., Deque, M., Jacob, D., Jones, R.G., Vidale, P.L. (2003), Daily precipitation statistics in regional climate models: evaluation and intercomparison for the European Alps. Journal of Geophysical Research 108(D3), pp: 4124-4132.

Frei C, Scholl R, Fukutome S, Schmidli J, Vidale PL. (2006), Future change of precipitation extremes in Europe: an intercomparison of scenarios from regional climate models. Journal of Geophysical Research-Atmospheres, 111, pp: 234-148.

Giorgi, J., Coppola, E., Solmon, F., Mariotti, L., Sylla, M.B., Bi, X., Brankovis, c. (2012), Regcm4: model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains: Climate Research, 52, pp:7-29.

Grell, G., Dudhia, J., Stauffer, DR. (1994), A description of the fifth-generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5). National Center for Atmospheric Research,14, pp: 342-361.

Leung RL, Mearns LO, Giorgi F, Wilby RL. (2003a), Regional climate research: Needs and opportunities. Bulletin of the American Meteorological Society 84, pp: 89–95.

Maraun, D., Wetterhall, F., Ireson, A. M., Chandler, R. E., Kendon, E. J., Widmann, M., ... & Venema, V. K. C. (2010). Precipitation downscaling under climate change: Recent developments to bridge the gap between dynamical models and the end user. Reviews of Geophysics, 48(3), pp: 478-490.

Oh, S.G., Park. J.H., Lee, S.H., Suh, M.S. (2014), Assessment of the RegCM4 over East Asia and future precipitation change adapted to the RCP scenarios journal of Geophysical Research: Atmospheres, 119(6), pp: 2913-2927.

Pasini, A., (2006), From Observation to Simulation: A conceptual introduction to weather and climate modeling: Translated by Francesca Sofri, Published by World Scientific Publishing Co. Inc., 216 p

Pielke, R. A., & Wilby, R. L. (2012), Regional climate downscaling: What's the point?. Eos, Transactions American Geophysical Union, 93(5), pp: 52-53.

Wang, Y., Leung, L. R., McGrrgor, J. L., Lee, DK., Wang, W-Ch., Ding, Y., and Kimura, F. (2004), Regional climate modeling: Progress, challenges, and prospects: J. Meteorol. Soc.Japan, 82(6), pp:1599–1628

Wood Andrew, W., Lettenmaier, Dennis P., Palmer, Ricgard N. (1997), Assessing Climate Implication For Water Resources Planning", Climate Change 37, pp: 203-228.

Assessment of Climate Change Using Dynamical Downscaling of GCM in Gheshlagh Dam Basin During the Coming Decades

Shiva Bakhshai[1], Golaleh Ghaffari*[2], Mehraneh Khodamorad Pour [3]

1- MA of Watershed management, Department of Watershed management, Islamic Azad University, Sanandaj Branch, Sanandaj, Iran

2- Assistant Professor, Department of Watershed management, Islamic Azad University, Sanandaj Branch, Sanandaj, Iran

Email: ghaffari58@yahoo.com

3- Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

Received: 2016-07-11 Accepted: 2017-04-16

Abstract

The process of climate change because of its significant impact on various dimensions of the fitted living beings, in recent decades has been highly regarded and general circulation models of the atmosphere are one of the best and most common climate change forecasting techniques in the world. In this study regarding the importance of precipitation and temperature on water saving and increasing kishlak dam water requirement for Sanandaj city, simulation of climate change in Kishlak basin dam in next decade were done by circulation model of the atmosphere. In order to prepare the climatic scenarios in this research, the general circulation model HadGEM2 under RCP4.5 scenario HadGEM2 was used. In order to ensure a high resolution of the general circulation model output, small dynamic model downscaling 'RegCM4' were used and total rainfall, maximum temperature, minimum temperature and wind speed parameters for next decade (2015-2020) were simulated. In the verification phase, the historical data simulated by the model for 1996-2000 periods with observed data from local stations compared by using correction coefficient and mean square of error. Finally, the spatial distribution of climatic parameters for future decades was obtained by GIS software. The results showed a good performance of the model for simulation of the average monthly maximum and minimum temperature parameters, however, average monthly rainfall data with less accuracy were estimated may be due to un-normal rainfall data. Also based on RCP4.5 scenario it can be concluded that in the near future in summer the temperature will increase and the total amount of rainfall will decrease and mean annual temperature will increase.

Keywords: Climate change, RegCM, HadGM2