

مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دوره دهم، شماره سی و نهم، بهار ۱۳۹۹

تأیید نهایی: ۱۳۹۹/۰۴/۱۵

دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۰/۲۵

صص ۱-۱۷

بررسی اثر تغییر مقیاس زمانی داده‌های حوضی آبریز سد درودزن

بر مدل تغییر اقلیم LARS-WG6

سیدسعید سجادیان، دانشجوی دکتری گروه مهندسی عمران- مهندسی و مدیریت منابع آب، واحد مرودشت،

دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران

محمدهادی فتاحی*، استادیار گروه مهندسی عمران- مهندسی و مدیریت منابع آب، واحد مرودشت، دانشگاه

آزاد اسلامی، مرودشت، ایران

چکیده

در این پژوهش، به منظور بررسی تأثیر بازه‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت داده‌های مشاهداتی بر کیفیت پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی، با نرم‌افزار ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG6 برای مدل EC-EARTH و سناریوی خوش‌بینانه RCP4.5 و سناریوی بدبینانه RCP8.5 و مدل HadGEM2-ES با سناریوی خوش‌بینانه RCP2.6 و سناریوی متوسط RCP4.5 و سناریوی بدبینانه RCP8.5 برای سه دوره ۲۰ ساله آینده (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰) پیش‌بینی صورت گرفت. سه دوره آماری روزانه ایستگاه سینوپتیک سد درودزن شامل دوره ۳۰ ساله (۱۹۸۸-۲۰۱۷)، دوره ۲۰ ساله (۱۹۹۸-۲۰۱۷) و دوره ۱۸ ساله (۱۹۸۸-۲۰۰۵) استفاده شد که دوره ۱۸ ساله به وسیله‌ی بررسی روند دوره ۳۰ ساله و آنالیز فراکتال داده‌ها تعیین گردید که شامل الگوی کامل تکرار رویدادهای اقلیمی بارش، دمای حداقل و حداکثر بود. توانمندی مدل در شبیه‌سازی با توجه به دوره‌ی پایه و مقادیر تولیدشده، سنجیده شد و توسط آزمون‌های آماری MAD، MSE، RMSE بررسی گردید. تحلیل نتایج به‌دست‌آمده به روشنی بیانگر تأثیر تغییر مقیاس زمانی بر دقت پیش‌بینی‌های صورت گرفته بود؛ به‌طوری‌که دوره‌ی زمانی ۲۰ ساله کم‌ترین خطا را به‌ویژه برای پارامتر بارش از خود نشان داد. به صورت کلی مشخص شد که مدل با دقت بسیار مناسب دمای حداقل و حداکثر را پیش‌بینی کرده و پیش‌بینی بارش با دقت کم‌تری همراه بوده است. پیش‌بینی مدل‌ها تحت سناریوهای مختلف و بازه‌های زمانی متفاوت، افزایش دمای حداقل و حداکثر را نشان داد. همچنین طبق پیش‌بینی‌ها ضمن افزایش میانگین سالیانه‌ی بارش در سال‌های آتی، الگوی بارش دستخوش تغییر خواهد شد؛ به‌طوری‌که در ماه آوریل، ژانویه و دسامبر افزایش بارش را شاهد خواهیم بود و از میزان بارش در ماه فوریه، کاسته خواهد شد.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، تغییر مقیاس، مقیاس زمانی، سد درودزن، آنالیز فراکتال، LARS-WG6.

* Email: fattahi.mh@miau.ac.ir

نویسنده‌ی مسئول:

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد سیدسعید سجادیان با عنوان «بررسی اثر تغییر مقیاس زمانی- مکانی داده‌های حوضه‌های آبریز بر مدل‌های تغییر اقلیم LARS-WG & SWAT» است.

۱- مقدمه

در دهه‌های اخیر آب‌وهوا و محیط‌زیست جهان، تغییرات زیادی را به خود دیده است؛ گسترش صنعت و استفاده از سوخت‌های فسیلی جهت تأمین انرژی موردنیاز جوامع، موجب افزایش گازهای گلخانه‌ای نظیر کلروفلوئوروکربن (CFC)، متان (CH₄) و مخصوصاً دی‌اکسید کربن (CO₂) شده است (Bolin, 1986: 29; Cao et al., 2011: 244). دی‌اکسید کربن و برخی از ترکیبات اتمسفر زمین، برخلاف ترکیبات حیاتی آن یعنی اکسیژن و نیتروژن، توانایی جذب تشعشعات فرسرخ را دارد. این گازها انرژی گرمایی را جذب می‌کنند و به‌عنوان دومین منبع تابش تشعشعات سطح زمین را گرم می‌کنند. این انرژی گرمایی در دام اتمسفر زمین باقی می‌ماند و بسته به سطحی از گازها که آن را جذب کرده‌اند، وضع بدتر می‌شود. هرچه سطح گازهای گلخانه‌ای افزایش پیدا کند، توانایی آن‌ها در جذب تشعشعات فرسرخ نیز بیشتر می‌شود و در نتیجه گرمای بیش‌تری در اتمسفر زمین به دام می‌افتد. بدیهی است افزایش گازهای گلخانه‌ای جذب‌کننده‌ی گرما در جو کره‌ی زمین، میزان درجه حرارت را افزایش خواهد داد و از آنجاکه دما با سایر مؤلفه‌های اقلیم در واکنش متقابل قرار دارند، انتظار می‌رود تغییرات چشم‌گیری در آب‌وهوای جهان رخ دهد (IPCC, 2007). گرم شدن زمین موجب تغییر میزان تابش از سطح زمین، گردش اتمسفر، تغییر الگوی بارش و افزایش سرعت چرخش بخار آب می‌گردد. همچنین پارامترهای هیدرولوژیکی مانند تبخیر و رواناب را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Kundzewicz et al., 2007: 173; Merritt et al., 2006: 326). بر اساس گزارش‌های هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، درجه حرارت کره‌ی زمین در طول قرن گذشته به صورت میانگین یک درجه‌ی سانتی‌گراد افزایش داشته و میزان افزایش آن در حال حاضر شدت گرفته است (Field et al., 2014: 20). تغییر اقلیم عبارت است از؛ تغییرات رفتار آب و هوایی یک منطقه نسبت به رفتاری که در طول یک افق زمانی بلندمدت از اطلاعات مشاهده یا ثبت‌شده در آن منطقه‌ی مورد انتظار است (Alizadeh, 2010). بررسی پدیده‌ی تغییر اقلیم از مهم‌ترین چالش‌هایی است که جامعه‌ی بشری در قرن بیست-ویکم با آن مواجه خواهد بود. اثرات تغییر اقلیم در مناطق مختلف جهان، نشان‌دهنده‌ی روندها و تغییرپذیری طولانی‌مدت در پارامترهای آب و هوایی مانند بارش و دما است با توجه به اثرات گوناگونی که تغییر اقلیم بر کره‌ی زمین و ساکنان آن می‌گذارد. شناخت این پدیده و اطلاع از شدت آن در آینده کمک شایانی به پیشگیری و کنترل آن کرده و می‌تواند آینده‌ی کره‌ی زمین را از مخاطرات جدی در امان نگه دارد.

از مدت‌ها قبل مدل‌های متعددی ایجاد شدند تا رفتار اقلیم را پیش‌بینی کنند و مدام در حال به‌روزرسانی هستند تا طبق شرایط موجود بهترین عملکرد را داشته باشند. یافتن راه‌هایی جهت بهبود عملکرد این مدل‌ها و بالا رفتن دقت آن می‌تواند کمک قابل‌توجهی محسوب شود، لذا در پژوهش حاضر با شناخت تأثیر تغییر مقیاس زمانی بر داده‌های حوضه‌های آبریز بر مدل LARS-WG6 در جهت افزایش دقت این ابزار گام برمی‌داریم. پژوهش‌های گسترده‌ای در مورد تغییر اقلیم و پیامدهای آن صورت گرفته است. مدل‌های گوناگونی تغییر اقلیم و اثرات آن را موردسنجش و ارزیابی قرار داده و در غالب این مدل‌ها، یک بازه‌ی زمانی به‌عنوان مبنا و شاهد قرار داده شده و بر اساس آن، تغییرات پارامترهای اقلیمی در دوره‌ی بخصوص پیش‌بینی می‌شود. طبق تحقیقات صورت گرفته مقاله‌های زیر بر روی تأثیر تغییر اقلیم و پیش‌بینی پارامترهای آن برای دوره‌ی آتی انجام شده است. صادقی و آزاد جلودارلو (۲۰۱۸)، پیش‌بینی دمای هوا و روند تغییرات آن در دوره‌های آتی تحت شرایط تغییر اقلیم را برای زنگان بررسی نمودند. آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار LARS-WG6 و مدل HadGEM2-ES تحت سناریوهای RCP دمای حداقل و دمای حداکثر را برای سه دوره‌ی بیست‌ساله‌ی آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰) پیش‌بینی نمودند. نتایج حاصل برای همه‌ی دوره‌های زمانی و تحت سناریوهای مختلف افزایش دمای حداقل و دمای حداکثر را نشان می‌دهد و بیش‌ترین افزایش دما مربوط به سناریو RCP8.5 و دوره‌ی زمانی (۲۰۶۱-۲۰۸۰) است (صادقی و آزاد جلودارلو، ۱۳۹۷: ۱).

سروری و همکاران (۲۰۱۹)، داده‌های هواشناسی روزانه در دوره‌ی آماری ۱۹۹۱-۲۰۱۸ میلادی را در ایستگاه سینوپتیک نیشابور جهت پیش‌بینی دمای حداقل و دمای حداکثر با استفاده از مدل LARS-WG برای سه دوره‌ی

آتی ۲۰ ساله مورد استفاده قرار دادند. نتایج نشان داد نرم افزار LARS-WG مقادیر ماهانه‌ی دمای حداقل و دمای حداکثر را به خوبی شبیه‌سازی می‌کند. همچنین نتایج نشان داد که تحت هر سه سناریو، میانگین دما در منطقه‌ی مورد بررسی افزایش خواهد یافت که بیش‌ترین افزایش مربوط به سناریوی RCP8.5 خواهد بود. همچنین نتایج حاصل از بررسی شیب خط روند نشان‌دهنده‌ی معنی‌داری روند افزایشی میانگین دمای هوا در سطح یک درصد در دوره‌ی پایه و دوره‌ی آتی ۲۰۸۰-۲۰۲۱ تحت سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 است.

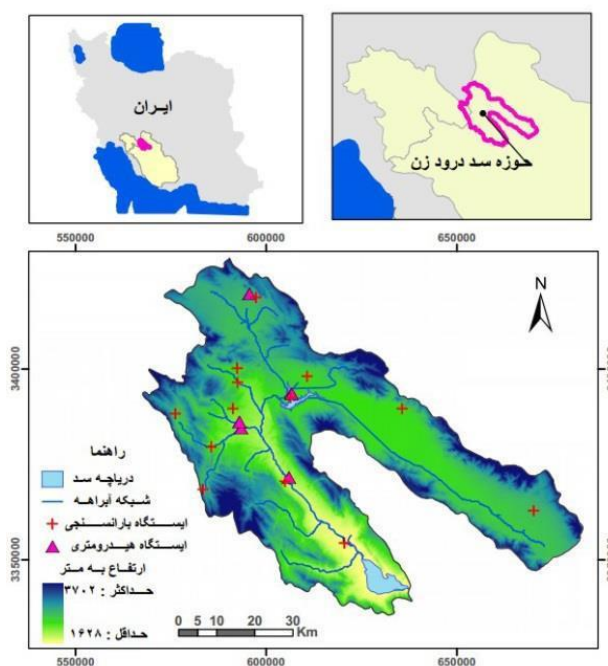
حیدری تاشه کبود و همکاران (۱۳۹۸)، چشم‌انداز تغییرات بارش در شمال غرب ایران با استفاده از مدل‌های گردش کلی جو تحت سناریوهای اقلیمی را بررسی کردند، بدین منظور از داده‌های ۵ مدل گردش کلی جو تحت دو سناریوی خوش‌بینانه و بدبینانه (RCP4.5 و RCP8.5) با کاربست مدل ریزگردانی LARS-WG6 بهره گرفته شد و تغییرات بارش در طول سه دوره‌ی زمانی مختلف (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۵۱-۲۰۷۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰) نسبت به دوره‌ی پایه‌ی (۲۰۱۰-۱۹۸۰) مورد بررسی قرار گرفت. جهت واسنجی و صحت‌سنجی مدل LARS-WG، داده‌های مشاهداتی و داده‌های خروجی مدل‌ها با استفاده از آزمون‌های F و T و همچنین شاخص‌های MAE، MSE، RMSE و R^2 مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاکی از کارایی مناسب مدل‌ها برای منطقه‌ی مورد مطالعه است. بررسی بارش‌ها در شمال غرب کشور نشان داد که میزان بارش در بیش‌تر مدل‌ها به‌ویژه مدل‌های EC-EARTH و MIROC5، در دوره‌ی ۲۰۲۱-۲۰۴۰، نسبت به دوره‌ی ۲۰۵۱-۲۰۷۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰، تمامی مدل‌ها به استثنای HadGEM2 کاهش بارش را بر روی منطقه نشان می‌دهند. بر اساس شرایط متوسط، انتظار می‌رود میزان بارش در سطح منطقه در دوره‌ی ۲۰۲۱-۲۰۴۰ به میزان ۰/۳ درصد افزایش و در دو دوره‌ی ۲۰۷۰-۲۰۸۱ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ به ترتیب به میزان ۰/۷ و ۱/۴ درصد کاهش را نسبت به دوره‌ی پایه تجربه نمایند.

صادقی و دین‌پژوه (۲۰۱۸)، پیش‌بینی دمای تبریز و روند تغییرات آن با استفاده از مدل EC-EARTH، پیش‌بینی دمای کمینه (T_{min}) و دمای بیشینه (T_{max}) شهر تبریز با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری LARS-WG6 برای سه دوره‌ی آتی ۲۰ ساله (۲۰۶۱-۲۰۸۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰ و ۲۰۲۱-۲۰۴۰) انجام شد. بدین منظور، از مدل گردش عمومی EC-EARTH که یکی از مدل‌های جفت شده CMIP5 است و نیز دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 استفاده گردید. برای تولید سری زمانی دوره‌های آتی از داده‌های روزانه در دوره‌ی آماری ۱۹۸۰-۲۰۱۵ استفاده شد. طبق هر دو سناریو، میانگین T_{min} و T_{max} در همه‌ی ماه‌های سال در هر سه دوره‌ی آتی نسبت به دوره‌ی پایه افزایش خواهد یافت. در هر سه دوره‌ی آتی، بیش‌ترین افزایش دمای هوا مربوط به سناریوی RCP8.5 است. در دوره‌ی ۲۰۸۰-۲۰۶۱ کم‌ترین و بیش‌ترین افزایش میانگین دمای هوا (T_{mean}) به ترتیب، در ماه می و مربوط به سناریوی RCP4.5 (به مقدار ۱،۹ درجه سلسیوس) و در ماه مارس و مربوط به سناریوی RCP8.5 (به مقدار ۴،۲ درجه سلسیوس نسبت به دوره‌ی پایه) خواهد بود.

همان‌طور که مشخص است در تمامی تحقیقات صورت‌گرفته یک بازه‌ی زمانی معین به‌عنوان دوره‌ی پایه قرار داده شده و بر اساس دیتاهای این دوره برای دوره‌های آتی پیش‌بینی صورت گرفته است، اما در هیچ‌یک از آن‌ها بازه‌های زمانی متفاوت بررسی نشده و حساسیت مدل بر بازه‌های مختلف زمانی دوره‌ی پایه تحلیل نگردیده است. لذا در تحقیق حاضر به منظور یافتن بهترین مقیاس زمانی برای دقیق‌ترین پیش‌بینی در دوره‌ی آتی بازه‌های زمانی مختلف مورد ارزیابی و سنجش قرار گرفت تا محققین زین پس با دقت بالاتری نسبت به انتخاب دوره‌ی پایه اقدام نمایند تا کم‌ترین خطای پیش‌بینی را داشته باشند. نتایج حاصل از این پژوهش کمک بسیار زیادی بر مطالعات تغییر اقلیمی خواهد کرد؛ چراکه می‌توان با قرار دادن بهینه‌ترین مقیاس زمانی بسته به داده‌های موجود در مدل‌های تغییر اقلیم بهترین و دقیق‌ترین خروجی را دریافت نمود و از سعی و خطا و رسیدن به جواب‌های اتفاقی اجتناب کنیم.

۲- منطقه مورد مطالعه

رود کر از ارتفاعات شمال غربی استان فارس سرچشمه گرفته و پرآب‌ترین رود استان فارس است و پس از طی ۲۷۰ کیلومتر به دریاچه‌ی بختگان و طشک می‌ریزد. سد مخزنی درودزن در پنجاه کیلومتری شمال غرب مرودشت و ۷۰ کیلومتری شمال شیراز بر روی رود کر ساخته شده است. مساحت حوضه آبریز رود کر-بختگان در بالادست این سد ۴۵۶۲/۵ کیلومترمربع است که با احداث سد جدید ملاصدرا در فاصله‌ی ۵۵ کیلومتری بالادست آن این مساحت به ۲۰۹۰ کیلومترمربع تقلیل یافته است. در این پژوهش از اطلاعات ایستگاه سینوپتیک سد درودزن استفاده شده است. ایستگاه سینوپتیک سد درودزن در طول جغرافیائی ۵۲,۴۴ و عرض جغرافیائی ۳۰,۲۱ با ارتفاع ۱۶۶۱ متر از سطح دریا واقع شده است. اطلاعات ایستگاه‌های سینوپتیک سد درودزن از اداره کل هواشناسی استان فارس دریافت گردید.



شکل ۱: موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه

۳- مواد و روش‌ها

در این پژوهش به منظور بررسی اثر تغییر مقیاس زمانی دیتاهای سه بازه‌ی زمانی تهیه و آماده گردید. دیتاهای دوره‌ی آماری ۳۰ ساله ایستگاه سینوپتیک سد درودزن شامل حداقل دما، حداکثر دما، بارش و ساعت آفتابی به صورت روزانه از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۷ تهیه گردید و مقدار دی‌اکسید کربن موجود در هوا به صورت میانگین ابتدا و انتهای بازه‌ی زمانی محاسبه و در مدل وارد گردید. در اطلاعات دریافتی از سازمان هواشناسی در سال‌های ابتدایی اندکی با خلأ آماری برای برخی ماه‌های سال روبه‌رو بودیم که با استفاده از نرم‌افزار SPSS بازسازی داده‌ها صورت پذیرفت. ابتدا آمار ایستگاه سینوپتیک شیراز و آمار ایستگاه سینوپتیک درودزن را وارد نرم‌افزار کردیم و سپس میزان همبستگی بین داده‌های دو ایستگاه را محاسبه کرده و با توجه به بالا بودن همبستگی بین آن‌ها فرایند بازسازی داده‌ها صورت پذیرفت. در انتها نیز آمارهای بازسازی‌شده با شبیه‌ترین دوره‌ی آماری در خود ایستگاه سینوپتیک درودزن مورد مقایسه قرار گرفت و دقت بالای بازسازی مورد تصدیق قرار گرفت. برای دوره‌ی آماری ۲۰ ساله از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۷ و دوره‌ی آماری ۱۸ ساله از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۵ مطابق دوره‌ی ۳۰ ساله فوق دیتاها آماده و به مدل معرفی گردید. دوره‌ی ۱۸ ساله از طریق بررسی روند دیتاهای مشاهده‌ای ۳۰ ساله درودزن در نرم‌افزار متلب و تعیین بعد فرکتال

داده‌های دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش محاسبه و تحلیل گردید که بیانگر یک الگوی کامل رویداد در این دوره‌ی زمانی است.

۳-۱- توصیف مدل LARS-WG

LARS-WG یک مولد آب‌وهوای تصادفی است که می‌تواند برای شبیه‌سازی داده‌های جوی در یک ایستگاه، تحت شرایط اقلیم کنونی و آینده استفاده شود. اولین نسخه‌ی LARS-WG در بوداپست در سال ۱۹۹۰ برای ارزیابی ریسک کشاورزی در مجارستان توسعه یافت (Racsco, 1991: 57). سپس در سال ۱۹۹۸ توسط سمونوف بازنگری و تعدیل شد. LARS-WG سری‌های زمانی روزانه دمای حداقل و حداکثر، بارندگی و تابش خورشید را تولید می‌کند. نسخه‌ی ششم این نرم‌افزار که اوایل سال ۲۰۱۸ عرضه شد و از سناریوهای RCP و مدل‌های جفت شده CMIP5 پشتیبانی می‌کند. در این پژوهش از نسخه‌ی آخر این نرم‌افزار؛ یعنی LARS-WG6 استفاده گردید. فرآیند مدل‌سازی به کمک LARS-WG از سه بخش اصلی به شرح واسنجی، ارزیابی و تولید یا شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی دهه‌های آینده تشکیل شده است. نیاز اساسی مدل در مرحله‌ی واسنجی، فایلی است که مشخص‌کننده‌ی رفتار اقلیم در دوره‌ی گذشته است. این فایل با استفاده از داده‌های روزانه بارش، بیشینه و کمینه دما و تعداد ساعت آفتابی در دوره‌ی پایه، برای ایستگاه موردبررسی تهیه شد و مدل بر اساس آن اجرا گردید. پس از کنترل و تأیید توانایی LARS-WG در شبیه‌سازی رفتار متغیرهای اقلیمی در دوره‌ی پایه، شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی برای دوره‌های آینده بر اساس داده‌های دو مدل EC_EARTH و HadGEM2-ES و سناریوی RCP صورت پذیرفت. در این مرحله، مدل با استفاده از رفتار متغیرها در دوره‌ی پایه و ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل چرخش عمومی جو بر اساس هر یک از سناریوهای موجود، پارامترهای اقلیمی آینده را در حد مقیاس منطقه‌ی مورد مطالعه، شبیه‌سازی کرد (Zarebyaneh et al., 2016: 29). IPCC جهت پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم سناریوهای مختلفی را ارائه کرده است. جدیدترین سناریوهای منتشرشده IPCC در گزارش ارزیابی پنجم (AR5) آمده است. سناریوهای جدید RCP نماینده‌ی خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای هستند. RCP دارای چهار خط سیر کلیدی به نام‌های RCP2.6، RCP4.5، RCP6، RCP8.5 است که بر اساس میزان واداشت تابشی آن‌ها در سال ۲۱۰۰ نام‌گذاری شده‌اند. جدول زیر ویژگی سناریوهای RCP را نشان می‌دهد (Chaumont, 2014: 12).

جدول ۱: ویژگی‌های سناریوهای RCP^۱

نام سناریوها	واداشت تابشی	غلظت دی‌اکسید کربن (قسمت در میلیون)	آنومالی دما (درجه‌ی سانتی‌گراد)	خط سیر	معادل آنومالی دمای هوا طبق سناریوی انتشار SRES
RCP8.5	۸٫۵ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰	≥ 1370	۴/۹	افزایشی	A1F1
RCP6	۶ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰	~ ۸۵۰	۳	تثبیت بدون جهش	B2
RCP4.5	۴٫۵ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰	~ ۶۵۰	۲/۴	تثبیت بدون جهش	B1
RCP2.6	۲٫۶ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰	~ ۴۹۰	۱/۵	افزایش سپس کاهش	هیچ‌کدام

1- Representative Concentration Pathways

2- Fractal

بدون اتخاذ سیاست‌های کاهش گازهای گلخانه‌ای و مقابله با پیامدهای تغییر اقلیم، آب‌وهوای کره‌ی زمین در خط سیر سناریوی RCP8.5 پیش خواهد رفت؛ به طوری که ادامه‌ی این روند منجر به واداشت تابشی به میزان 8.5 وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می‌شود. در این هنگام غلظت دی‌اکسید کربن به بیش از ۱۰۰۰ ppm رسیده و همچنان روند افزایشی خواهد داشت (Asakereh and akbarzadeh, 2017: 23).

واسنجی مدل بر اساس دوره‌های مذکور صورت پذیرفت و پس از اطمینان از توانمندی مدل در تولید داده‌ها از طریق شاخص‌های میانگین قدر مطلق خطا (MAD)، میانگین مربعات خطا (MSE) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، برای سه دوره‌ی ۲۰۲۱ تا ۲۰۴۰، ۲۰۴۱ تا ۲۰۶۰ و ۲۰۶۱ تا ۲۰۸۰ تحت مدل EC-EARTH و سناریوهای ۴,۵ و ۸,۵ و مدل HadGEM2-ES تحت سناریوهای ۲,۶، ۴,۵ و ۸,۵ پیش‌بینی صورت گرفت و از طریق تعیین همبستگی دیتاهای پیش‌بینی شده و دیتاهای مشاهداتی، دقت مدل‌ها در پیش‌بینی بررسی گردید.

۲-۳ - آنالیز فراکتال

فراکتال‌ها^۲ اشیاء و یا فرآیندهایی هستند که در مقیاس‌های مکانی و یا زمانی متعددی، شکل ظاهری و یا رفتار یکسانی از خود بروز می‌دهند. این چنین اشیاء و یا فرآیندهایی دارای چنان پیچیدگی‌هایی در مقیاس‌های بسیار کوچک هستند که هندسه اقلیدسی قادر به تفسیر آن نیست. هر فراکتال می‌تواند به بخش‌هایی تقسیم شود که هر بخش شبیه جسم اصلی است. بسیاری از پدیده‌ها و فرآیندهای طبیعی مبتنی بر الگوهای فراکتال می‌باشند. فراکتال‌ها از نگاه ریاضیاتی اجسامی هستند که رفتار یک معادله را به تصویر می‌کشند و از این نظر دارای ویژگی‌های زیر هستند: ۱- هر جسم فراکتال از قطعاتی تشکیل یافته که هر قطعه کاملاً نماینده شکل و ویژگی‌های کل جسم است. به این خاصیت خودمتشابهی گفته می‌شود. ۲- فراکتال‌ها دارای ابعاد صحیح نیستند و بعد آن‌ها به صورت کسری بیان می‌شود. ۳-

این اجسام توسط یک فرآیند تکراری ساخته می‌شوند و می‌توان برای آن‌ها یک تابع بازگشتی در نظر گرفت که n بار تکرار می‌شود (Baas, 2002: 48). واژه‌ی فرکتال توسط (Mandelbort, 1967: 156). برای توصیف اشیاء هندسی پیچیده که درجه‌ی بالایی از خودمتشابهی دارند، ابداع شد. یک فرکتال، شکل هندسی چندپاره یا ناهموار است که می‌تواند به بخش‌هایی تقسیم شود که هر کدام از آن‌ها یک کپی تعدیل یافته از لحاظ اندازه، از کل شکل است. هندسه‌ی فراکتالی به اجسامی تعلق دارد که دارای یک الگوی تکرارشونده، اما پیچیده می‌باشند. در واقع، این مسئله در بعضی موارد آن قدر پیچیده است که تعیین این الگوی تکرارشونده در بعد زمانی و مکانی به راحتی امکان پذیر نیست. آنالیز فراکتال شامل روش‌های محاسبه بعد فراکتال است. روش‌های محاسبه بعد فراکتالی بر اساس طبقه‌بندی این اجسام به دو دسته‌ی خودوابسته (ضریب بزرگ‌نمایی الگوی تکرارشونده در جهات مختلف برای رسیدن به شکل اصلی متفاوت باشد) و خودمتشابه (ضریب بزرگ‌نمایی الگوی تکرارشونده در جهات مختلف برای رسیدن به شکل اصلی متفاوت باشد) صورت می‌پذیرد. برای محاسبه‌ی بعد فراکتالی در اشیاء خودمتشابه از روش‌هایی مانند روش شمارش جعبه‌ای استفاده می‌شود. در این تحقیق از روش شمارش جعبه‌ای برای محاسبه‌ی بعد فراکتالی سری زمانی پارامترهای هیدرو اقلیمی دما و بارش استفاده شده است.

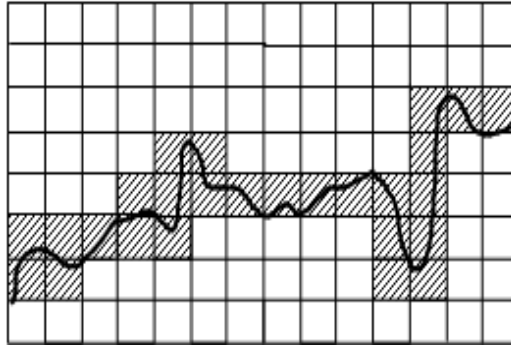
۳-۳ - روش شمارش جعبه‌ای

در این روش همان‌گونه که در شکل ۲ می‌بینیم مجموعه نقاط روی یک منحنی یا یک سطح با مربعاتی (همان جعبه‌ها) به طول ضلع ε پوشانده می‌شود. در واقع کل فضای موردنظر با استفاده از این روش شبکه‌بندی می‌گردد. تعداد مربعاتی که هر قسمت از منحنی موردنظر را پوشش می‌دهند، محاسبه می‌شود. این کار برای مربعات با طول اضلاع مختلف تکرار می‌شود. حد نهایی این قسمت زمانی است که ε به صفر میل کند. در این صورت با استفاده از رابطه‌ی $L = N \cdot \varepsilon$ ، طول محاسبه‌شده به طول واقعی بسیار نزدیک می‌گردد. مقدار بعد فراکتالی با استفاده از این روش به صورت تئوری با استفاده از رابطه‌ی زیر حاصل می‌گردد:

$$D = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\log N(\varepsilon)}{\log \frac{1}{\varepsilon}}$$

رابطه‌ی ۱

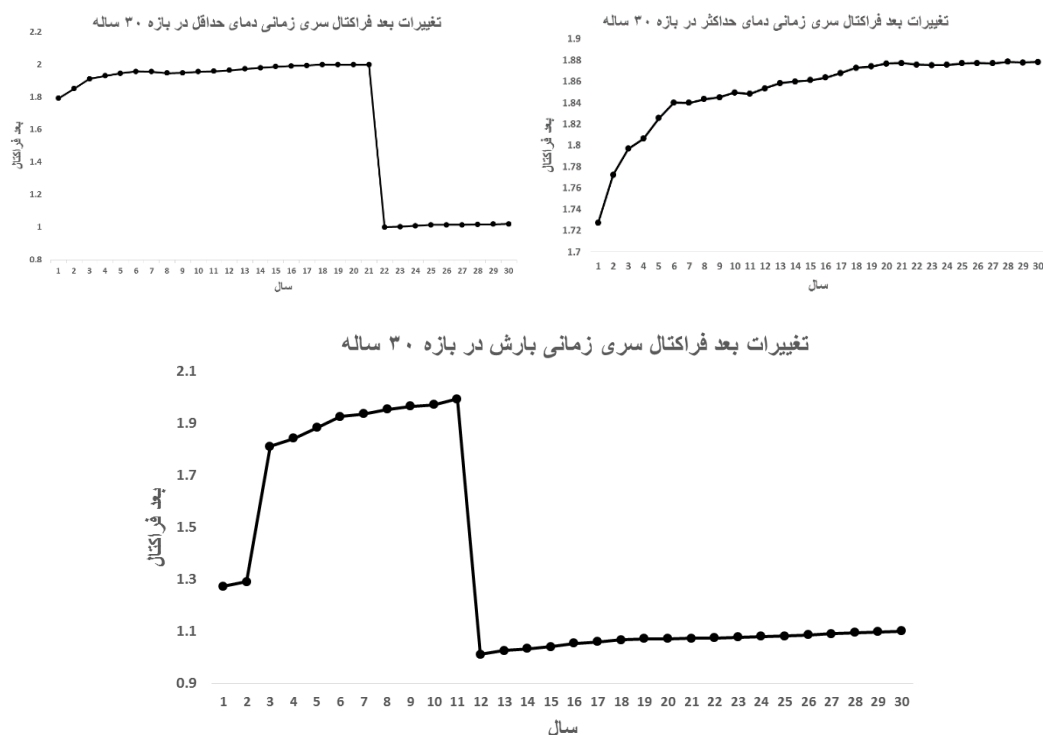
D: بعد فراکتالی، N: تعداد مربعات که شامل قسمتی از جسم فراکتالی مورد نظر است. با توجه به اعداد به دست آمده، نموداری به صورت لگاریتمی که محورهای افقی و عمودی آن به ترتیب معرف $\log(\frac{1}{\varepsilon})$ و $\log(N(\varepsilon))$ می‌باشند، رسم می‌گردد. شیب خط عبوری از نقاط حاصله در منحنی لگاریتمی، بعد فراکتالی شیء مورد نظر را بیان می‌نماید (L et al., 2009: 42; Molteno, 1993: 48).



شکل ۲: نحوه‌ی محاسبه بعد به روش شمارش جعبه‌ای

۴- بحث و نتایج

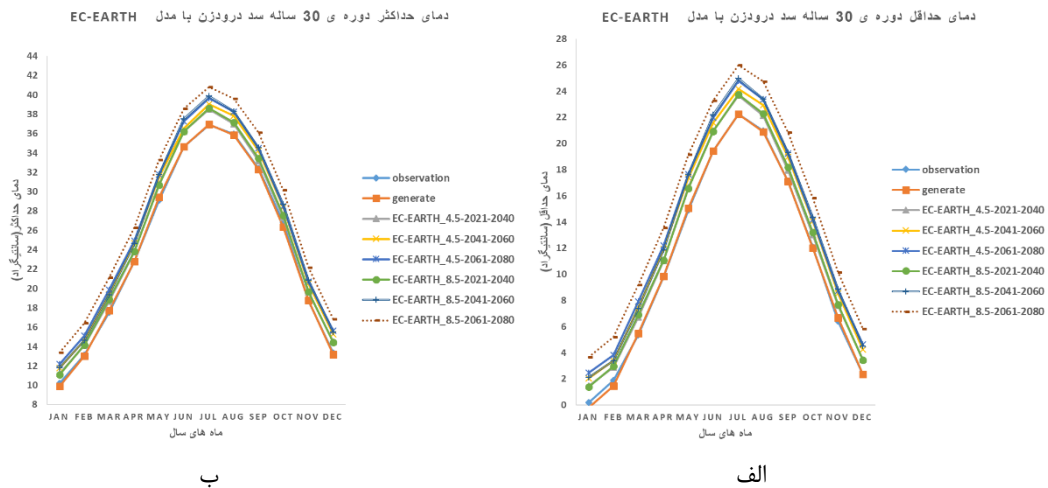
به منظور یافتن الگوی کامل تکرار رویدادهای اقلیمی، سری زمانی ۳۰ ساله پارامترهای دمای حداکثر، دمای حداقل و بارش مورد سنجش فراکتال قرار گرفت. روند بعد فراکتال آن‌ها در (شکل ۳) نشان داده شده است. مشخص گردید که دوره‌ی ۱۸ ساله بین سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۵ می‌تواند الگوی کامل تکرار رویدادهای اقلیمی باشد، لذا این بازه به عنوان یکی از مقیاس‌های زمانی انتخاب و به نرم‌افزار LARS-WG6 معرفی گردید.



شکل ۳: آنالیز بعد فراکتال سری زمانی دیتاهای ۳۰ ساله‌ی ایستگاه سینوپتیک سد درودزن (۱۹۸۸-۲۰۱۷)

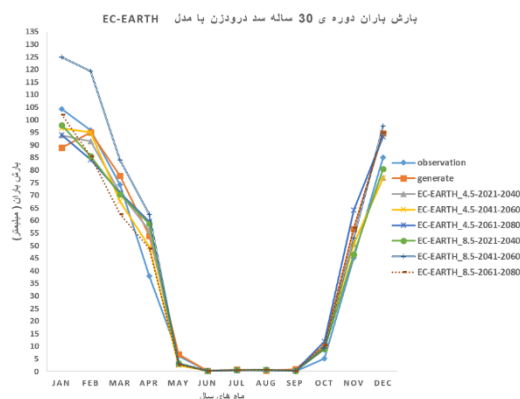
۴-۱- پیش‌بینی با داده‌های دوره‌ی آماری ۳۰ ساله‌ی ایستگاه سینوپتیک درودزن ۴-۱-۱- مدل EC-EARTH تحت RCP4.5 و RCP8.5

مطابق با شکل ۴، قسمت الف و ب همه‌ی سناریوها برای دمای حداقل و حداکثر افزایش را در ۳ دوره‌ی ۲۰ ساله‌ی آینده نشان دادند. در دو دوره‌ی ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۰ و ۲۰۴۱ تا ۲۰۶۰ دو سناریوی ۴،۵ و سناریو ۸،۵ افزایش نزدیک به هم را نشان دادند و همچنین دوره‌ی ۲۰۶۱ تا ۲۰۸۰ و تحت سناریو ۸،۵ میزان افزایش دما را با اختلاف بالاتری نشان داده است.



شکل ۴: الف و ب: به ترتیب مقایسه‌ی میانگین ماهانه‌ی دمای حداقل و حداکثر مشاهداتی در دوره‌ی ۳۰ ساله‌ی سد درودزن (۱۹۸۸-۲۰۱۷) و پیش‌بینی‌شده توسط مدل EC-EARTH برای سه دوره‌ی آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰) تحت RCP4.5 و RCP8.5

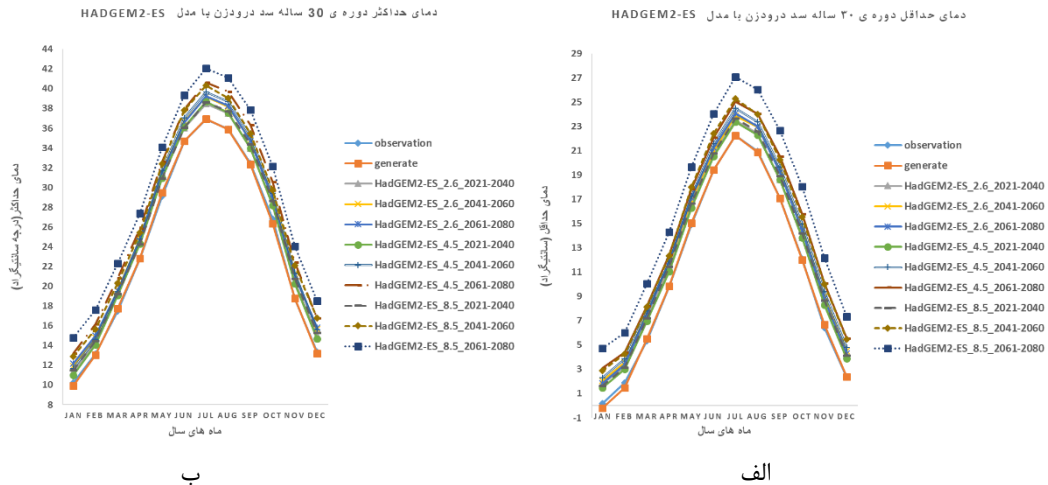
همان‌گونه که در شکل ۵ می‌بینیم، پیش‌بینی مدل برای بارش حاکی از افزایش جزئی در فصل پاییز و اواخر تابستان بوده است. همچنین میزان بارندگی برای فصل زمستان، کاهش‌ی پیش‌بینی شده است و بارش در ماه آوریل افزایش چشم‌گیری داشته است.



شکل ۵: مقایسه‌ی میانگین مجموع بارش ماهانه‌ی مشاهداتی در دوره‌ی ۳۰ ساله‌ی سد درودزن (۱۹۸۸-۲۰۱۷) و پیش‌بینی‌شده توسط مدل EC-EARTH برای سه دوره‌ی آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰) تحت RCP4.5 و RCP8.5

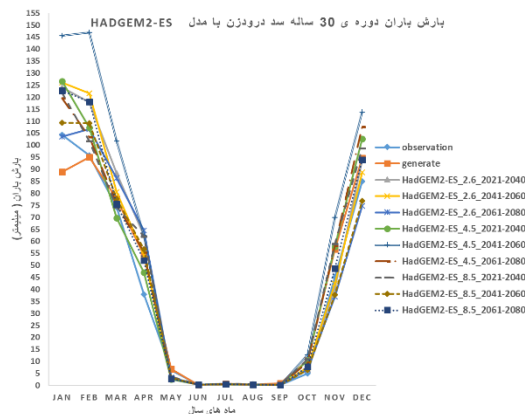
۴-۱-۲- مدل HadGM2-ES تحت RCP2.6, RCP4.5 و RCP8.5

مطابق با شکل ۶ قسمت الف و ب، همانند مدل EC-EARTH با گذشت زمان دمای حداقل و حداکثر افزایش یافته است. دمای حداقل و حداکثر تحت سناریوی ۲,۶ بین سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۸۰ به کندی افزایش یافته است، ولی سناریوهای ۴,۵ و ۸,۵ با گذشت زمان میزان اختلاف بیش‌تری را در افزایش دما نشان داده‌اند.



شکل ۶: الف و ب: به ترتیب مقایسه‌ی میانگین ماهیانه‌ی دمای حداقل و حداکثر مشاهداتی در دوره‌ی ۳۰ ساله‌ی سد درودزن (۱۹۸۸-۲۰۱۷) و پیش‌بینی‌شده توسط مدل HadGEM2-ES برای سه دوره‌ی آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۸۰-۲۰۶۱) تحت RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5

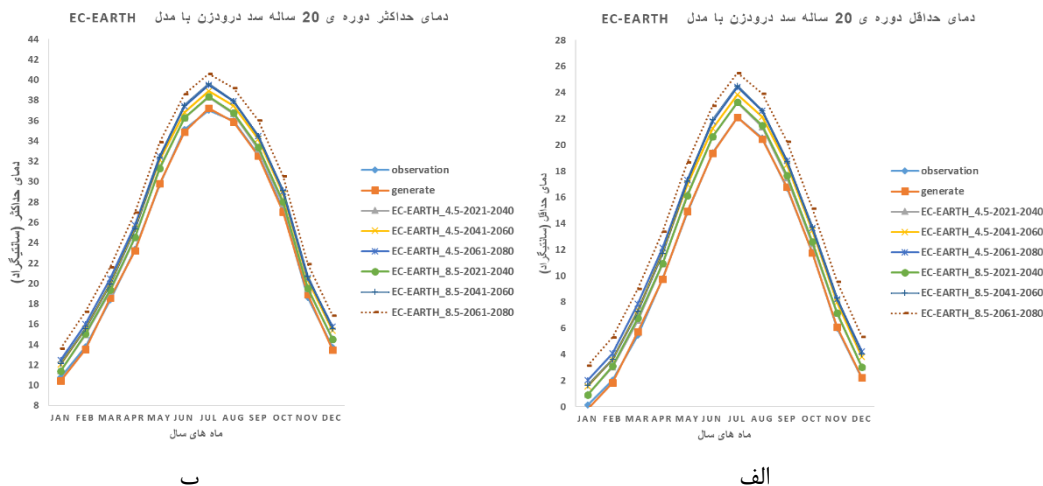
در شکل ۷ می‌بینیم که برای بارش پیش‌بینی مدل تحت همه‌ی سناریوها افزایش قابل توجه در ماه آوریل و کاهش اندک در ماه می و افزایش جزئی در انتهای تابستان و اوایل پاییز بوده است.



شکل ۷: مقایسه‌ی میانگین مجموع بارش ماهیانه‌ی مشاهداتی در دوره‌ی ۳۰ ساله‌ی سد درودزن (۱۹۸۸-۲۰۱۷) و پیش‌بینی‌شده توسط مدل HadGEM2-ES برای سه دوره‌ی آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۸۰-۲۰۶۱) تحت RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5

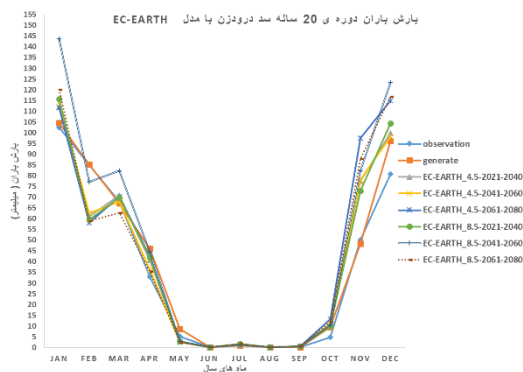
۴-۲- پیش‌بینی با دیتاهای دوره‌ی آماری ۲۰ ساله‌ی ایستگاه سینوپتیک درودزن ۴-۲-۱- مدل EC-EARTH تحت RCP4.5 و RCP8.5

در شکل ۸، قسمت الف و ب، مشخص است که روند پیش‌بینی دمای حداقل و حداکثر در این مدل شبیه به پیش‌بینی دوره‌ی آماری ۳۰ سال بوده است؛ با این تفاوت که میزان افزایش دما نسبت به آن کم‌تر بوده و افزایش کم‌تری نشان داده است.



شکل ۸: الف و ب: به ترتیب مقایسه‌ی میانگین ماهیانه‌ی دمای حداقل و حداکثر مشاهداتی در دوره‌ی ۲۰ ساله‌ی سد درودزن (۱۹۹۸-۲۰۱۷) و پیش‌بینی‌شده توسط مدل EC-EARTH برای سه دوره‌ی آبی (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰) تحت RCP4.5 و RCP8.5 (۲۰۶۱)

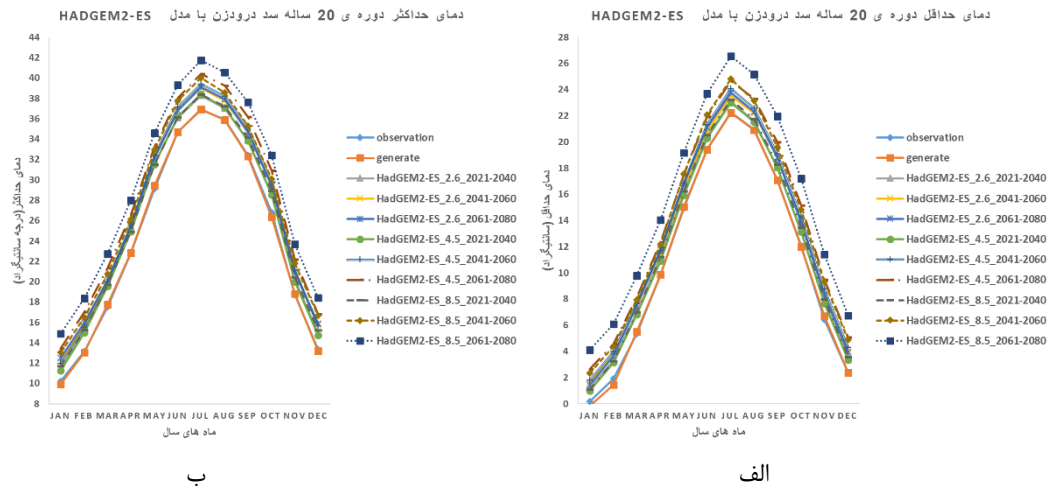
در شکل ۹ می‌بینیم که برای بارش، این مدل افزایش در ماه‌های آوریل و ژانویه همچنین افزایش در فصل پاییز را نشان داده است و کاهش محسوس در ماه فوریه پیش‌بینی شده است.



شکل ۹: مقایسه‌ی میانگین مجموع بارش ماهیانه‌ی مشاهداتی در دوره‌ی ۲۰ ساله‌ی سد درودزن (۱۹۹۸-۲۰۱۷) و پیش‌بینی‌شده توسط مدل EC-EARTH برای سه دوره‌ی آبی (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰) تحت RCP4.5 و RCP8.5

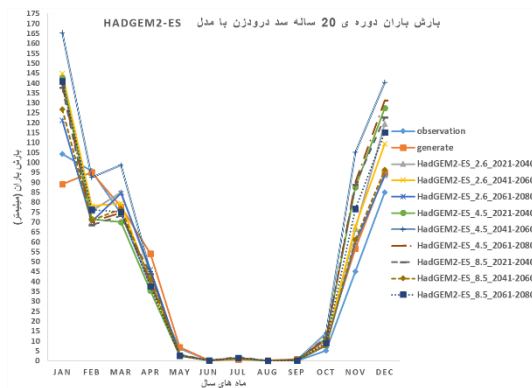
۲-۲-۴ مدل HadGM2-ES تحت RCP2.6 , RCP4.5 و RCP8.5

همان‌گونه که در شکل ۱۰ قسمت الف و ب مشخص است، روند پیش‌بینی‌شده برای دمای حداقل شبیه به دوره‌ی آماری ۳۰ سال بوده است. به‌طور میانگین میزان افزایش دمای حداکثر از دمای حداقل بیش‌تر بوده است. اختلاف افزایش دما بین سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۸۰ تحت سناریوی ۲٫۶ کم بوده است، همچنین میزان افزایش دما طبق سناریوی ۸٫۵ و بین سال‌های ۲۰۶۱ تا ۲۰۸۰ به شکل محسوسی از سایر سناریوها بیش‌تر بوده است.



شکل ۱۰: الف و ب: به ترتیب مقایسه‌ی میانگین ماهیانه‌ی دمای حداقل و حداکثر مشاهداتی در دوره‌ی ۲۰ ساله‌ی سد درودزن (۱۹۹۸-۲۰۱۷) و پیش‌بینی‌شده توسط مدل HadGEM2-ES برای سه دوره‌ی آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۸۰-۲۰۹۹) تحت RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5

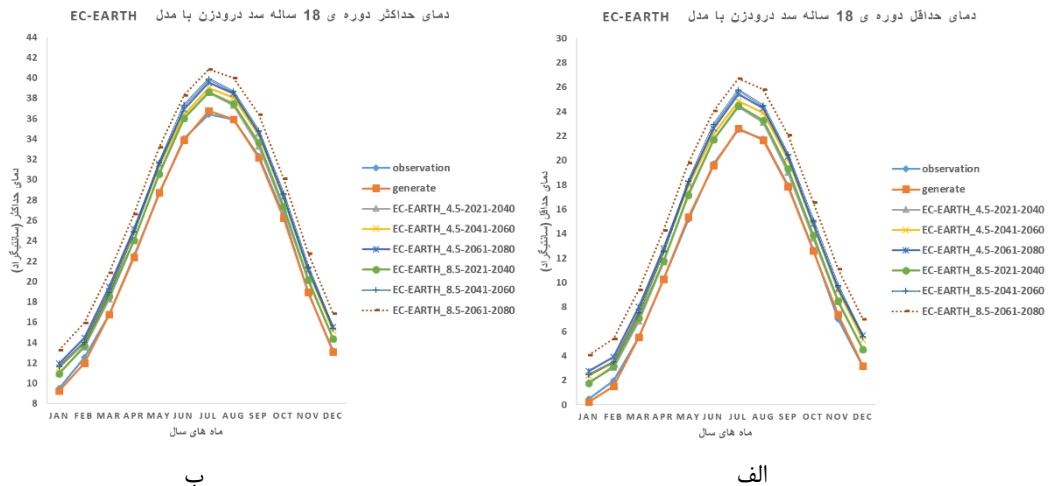
مطابق شکل ۱۱ این مدل برای بارش، افزایش را در ماه‌های ژانویه و آوریل و کاهش را برای ماه‌های فوریه و می پیش‌بینی کرده است.



شکل ۱۱: مقایسه‌ی میانگین مجموع بارش ماهیانه‌ی مشاهداتی در دوره‌ی ۲۰ ساله‌ی سد درودزن (۱۹۹۸-۲۰۱۷) و پیش‌بینی‌شده توسط مدل HadGEM2-ES برای سه دوره‌ی آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۸۰-۲۰۹۹) تحت RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5

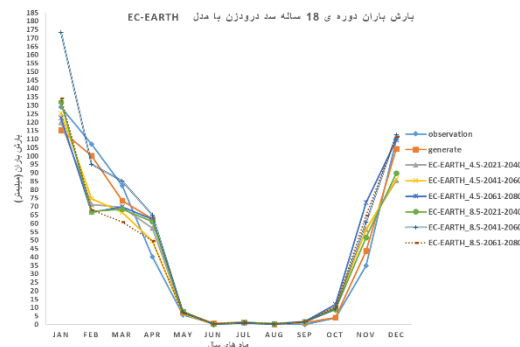
۳-۴- پیش‌بینی با دیتاهای دوره‌ی آماری ۱۸ ساله‌ی ایستگاه سینوپتیک درودزن ۳-۴-۱- مدل EC-EARTH تحت RCP4.5 و RCP8.5

طبق شکل ۱۲ قسمت الف و ب، میزان پیش‌بینی دمای حداقل و حداکثر مانند مدل EC-EARTH افزایشی بوده است و با گذشت زمان اختلاف این افزایش، بیش‌تر شده است.



شکل ۱۲: الف و ب: به ترتیب مقایسه‌ی میانگین ماهیانه‌ی دمای حداقل و حداکثر مشاهداتی در دوره‌ی ۱۸ ساله‌ی سد درودزن (۱۹۸۸-۲۰۰۵) و پیش‌بینی‌شده توسط مدل EC-EARTH برای سه دوره‌ی آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰) تحت RCP4.5 و RCP8.5 (۲۰۶)

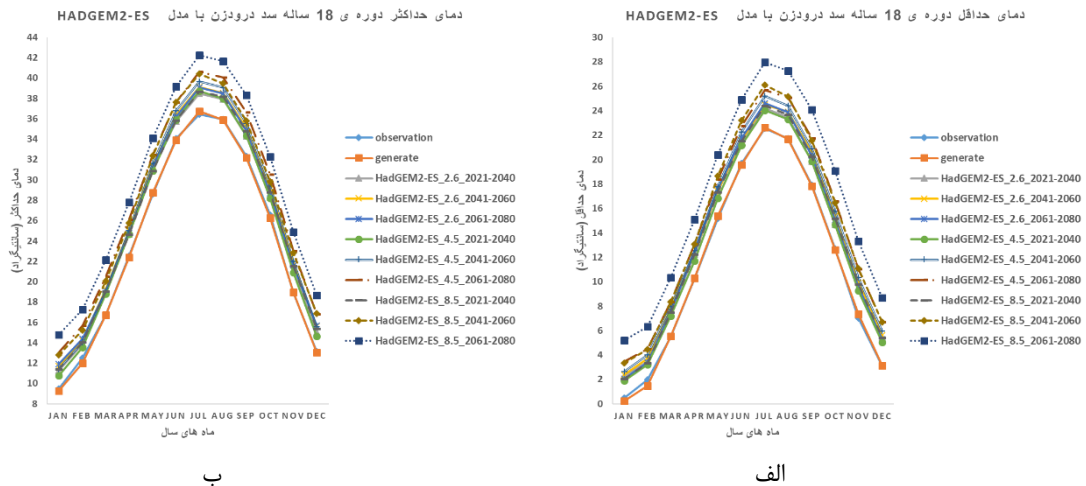
در شکل ۱۳ می‌بینیم که پیش‌بینی مدل برای بارش، افزایش در ماه آوریل، افزایش بین ماه‌های سپتامبر تا نوامبر و کاهش در فصل زمستان بوده است.



شکل ۱۳: مقایسه‌ی میانگین مجموع بارش ماهیانه‌ی مشاهداتی در دوره‌ی ۱۸ ساله‌ی سد درودزن (۱۹۸۸-۲۰۰۵) و پیش‌بینی‌شده توسط مدل EC-EARTH برای سه دوره‌ی آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰) تحت RCP4.5 و RCP8.5 (۲۰۶)

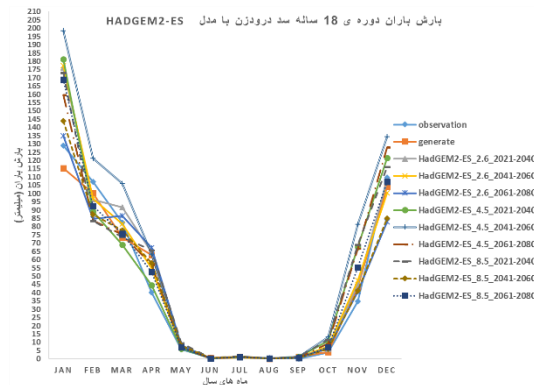
۲-۳-۴ مدل HadGM2-ES تحت RCP2.6 , RCP4.5 و RCP8.5

مطابق شکل ۱۴ قسمت الف و ب، روند افزایش دمای حداقل و حداکثر مانند مدل Had-GEM2-ES و دوره‌ی آماری ۲۰ ساله بوده است؛ با این تفاوت که سناریوی ۸,۵ بین سال‌های ۲۰۶۱ تا ۲۰۸۰ افزایش چشم‌گیر دما را پیش‌بینی کرده است.



شکل ۱۴: الف و ب: به ترتیب مقایسه‌ی میانگین ماهیانه‌ی دمای حداقل و حداکثر مشاهداتی در دوره‌ی ۱۸ ساله‌ی سد درودزن (۱۹۸۸-۲۰۰۵) و پیش‌بینی‌شده توسط مدل HadGEM2-ES برای سه دوره‌ی آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰) تحت RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5

در شکل ۱۵ می‌بینیم که پیش‌بینی این مدل برای بارش، افزایش چشم‌گیر در ژانویه و افزایش در آوریل، سپتامبر، اکتبر و نوامبر بوده است.



شکل ۱۵: مقایسه میانگین مجموع بارش ماهیانه‌ی مشاهداتی در دوره‌ی ۱۸ ساله سد درودزن (۱۹۹۸-۲۰۰۵) و پیش‌بینی‌شده توسط مدل HadGEM2-ES برای سه دوره‌ی آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰) تحت RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5

تعیین همبستگی بین داده‌های دوره‌ی پایه و داده‌های پیش‌بینی‌شده در سناریوهای مختلف و بازه‌های زمانی متفاوت برای سه دوره‌ی بیست‌ساله‌ی آینده (جدول ۲، ۳ و ۴).

جدول ۲: میزان همبستگی داده‌های پیش‌بینی و مشاهده‌ای ۲۰۲۱-۲۰۴۰

سناریو/مدل/دوره‌ی زمانی	بارش باران	دمای حداکثر	دمای حداقل
EC-EARTH ۱۸ درودزن ۴,۵	0/9564	0/9990	0/9992
EC-EARTH ۱۸ درودزن ۸,۵	0/9493	0/9994	0/9996
Had-GEM۲-ES ۱۸ درودزن ۲,۶	0/9701	0/9996	0/9994
Had-GEM۲-ES ۱۸ درودزن ۴,۵	0/9502	0/9996	0/9993
Had-GEM۲-ES ۱۸ درودزن ۸,۵	0/9446	0/9996	0/9989
EC-EARTH ۲۰ درودزن ۴,۵	0/9569	0/9994	0/9996
EC-EARTH ۲۰ درودزن ۸,۵	0/9561	0/9995	0/9997
Had-GEM۲-ES ۲۰ درودزن ۲,۶	0/9592	0/9991	0/9996
Had-GEM۲-ES ۲۰ درودزن ۴,۵	0/9238	0/9991	0/9997
Had-GEM۲-ES ۲۰ درودزن ۸,۵	0/9244	0/9994	0/9995
EC-EARTH ۳۰ درودزن ۴,۵	0/9856	0/9995	0/9995
EC-EARTH ۳۰ درودزن ۸,۵	0/9842	0/9997	0/9997
Had-GEM۲-ES ۳۰ درودزن ۲,۶	0/9898	0/9998	0/9996
Had-GEM۲-ES ۳۰ درودزن ۴,۵	0/9919	0/9998	0/9995
Had-GEM۲-ES ۳۰ درودزن ۸,۵	0/9877	0/9997	0/9992

جدول ۳: میزان همبستگی داده‌های پیش‌بینی و مشاهده‌ای ۲۰۴۱-۲۰۶۰

سناریو/مدل/دوره‌ی زمانی	بارش باران	دمای حداکثر	دمای حداقل
EC-EARTH ۱۸ درودزن ۴,۵	0/9642	0/9996	0/9995
EC-EARTH ۱۸ درودزن ۸,۵	0/9663	0/9994	0/9992
Had-GEM۲-ES ۱۸ درودزن ۲,۶	0/9657	0/9996	0/9989
Had-GEM۲-ES ۱۸ درودزن ۴,۵	0/9744	0/9995	0/9990
Had-GEM۲-ES ۱۸ درودزن ۸,۵	0/9709	0/9995	0/9987
EC-EARTH ۲۰ درودزن ۴,۵	0/9592	0/9995	0/9997
EC-EARTH ۲۰ درودزن ۸,۵	0/9679	0/9996	0/9997
Had-GEM۲-ES ۲۰ درودزن ۲,۶	0/9616	0/9993	0/9995
Had-GEM۲-ES ۲۰ درودزن ۴,۵	0/9453	0/9994	0/9996
Had-GEM۲-ES ۲۰ درودزن ۸,۵	0/9668	0/9995	0/9996
EC-EARTH ۳۰ درودزن ۴,۵	0/9914	0/9998	0/9996
EC-EARTH ۳۰ درودزن ۸,۵	0/9933	0/9996	0/9996
Had-GEM۲-ES ۳۰ درودزن ۲,۶	0/9908	0/9997	0/9991
Had-GEM۲-ES ۳۰ درودزن ۴,۵	0/9956	0/9996	0/9992
Had-GEM۲-ES ۳۰ درودزن ۸,۵	0/9855	0/9996	0/9991

جدول ۴: میزان همبستگی داده‌های پیش‌بینی و مشاهده‌ای ۲۰۸۰-۲۰۶۱

سناریو/مدل/دوره‌ی زمانی	بارش باران	دمای حداکثر	دمای حداقل
۴,۵ EC-EARTH ۱۸ درودزن	0/9293	0/9994	0/9995
۸,۵ EC-EARTH ۱۸ درودزن	0/9435	0/9997	0/9996
۲,۶ Had-GEM۲-ES ۱۸ درودزن	0/9628	0/9997	0/9993
۴,۵ Had-GEM۲-ES ۱۸ درودزن	0/9595	0/9996	0/9983
۸,۵ Had-GEM۲-ES ۱۸ درودزن	0/9679	0/9995	0/9973
۴,۵ EC-EARTH ۲۰ درودزن	0/9175	0/9995	0/9997
۸,۵ EC-EARTH ۲۰ درودزن	0/9294	0/9996	0/9997
۲,۶ Had-GEM۲-ES ۲۰ درودزن	0/9689	0/9995	0/9995
۴,۵ Had-GEM۲-ES ۲۰ درودزن	0/9219	0/9995	0/9995
۸,۵ Had-GEM۲-ES ۲۰ درودزن	0/9510	0/9995	0/9989
۴,۵ EC-EARTH ۳۰ درودزن	0/9698	0/9996	0/9997
۸,۵ EC-EARTH ۳۰ درودزن	0/9830	0/9998	0/9997
۲,۶ Had-GEM۲-ES ۳۰ درودزن	0/9745	0/9998	0/9994
۴,۵ Had-GEM۲-ES ۳۰ درودزن	0/9911	0/9997	0/9987
۸,۵ Had-GEM۲-ES ۳۰ درودزن	0/9945	0/9995	0/9977

جداول ۵، ۶ و ۷، میزان خطای محاسبه‌شده داده‌های پیش‌بینی‌شده و داده‌های مشاهده‌ای از آزمون‌های آماری برای بازه‌های زمانی متفاوت را نشان می‌دهد.

جدول ۵: میزان خطای داده‌های مشاهده‌ای و پیش‌بینی دوره‌ی آماری ۳۰ سال درودزن

نام شاخص	بارش	دمای حداقل	دمای حداکثر
MAD	5/3092	0/1325	0/1567
MSE	63/2081	0/0378	0/0442
RMSE	7/9503	0/1943	0/2102

جدول ۶: میزان خطای داده‌های مشاهده‌ای و پیش‌بینی دوره‌ی آماری ۲۰ سال درودزن

نام شاخص	بارش	دمای حداقل	دمای حداکثر
MAD	3/4642	0/0967	0/1967
MSE	37/5282	0/0190	0/0443
RMSE	6/1260	0/1379	0/2105

جدول ۷: میزان خطای داده‌های مشاهده‌ای و پیش‌بینی دوره‌ی آماری ۱۸ سال درودزن

نام شاخص	بارش	دمای حداقل	دمای حداکثر
MAD	5/8758	0/1483	0/1733
MSE	78/7862	0/0409	0/0491
RMSE	8/8762	0/2022	0/2215

۴-۴- بحث

فرضیه‌ی اصلی در این پژوهش اثر تغییر مقیاس زمانی بر مدل تغییر اقلیم LARS-WG6 است که نتایج به‌دست‌آمده‌ی این فرضیه را تصدیق نمود. انتظار می‌رفت که بهترین عملکرد در پیش‌بینی را دوره‌ی ۱۸ ساله که از بررسی روند سری زمانی داده‌ها به صورت یک الگوی کامل تکرار رویداد محاسبه شده بود، داشته باشد که نتایج به‌دست‌آمده خلاف آن را ثابت نمود و مهم‌ترین فاکتور در پیش‌بینی مدل‌ها، پیوستگی دوره‌های آماری مشاهده‌ای و پیش‌بینی بود. همچنین نزدیک بودن دوره‌های آماری به دوره‌ی پیش‌بینی؛ چراکه بهترین عملکرد را دوره‌ی بیست‌ساله از ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۷ از خود نشان داد. از طریق ارزیابی شاخص‌های آماری کم‌ترین میزان خطا مربوط به دوره‌ی بیست‌ساله‌ی فوق‌الذکر بود.

۵- نتیجه‌گیری

تأثیر تغییر مقیاس زمانی بر عملکرد مدل LARS-WG6 به صورت کاملاً محسوس دیده می‌شود. مشخص گردید که پیش‌بینی صورت‌گرفته از قرار دادن دیتاهای بازه‌ی زمانی ۲۰ ساله (۱۹۹۸-۲۰۱۷) کم‌ترین خطا را در هر سه آزمون MAD، MSE و RMSE به‌ویژه برای پارامتر بارش نشان می‌دهد. می‌توان نتیجه گرفت که طولانی بودن دوره‌ی پایه، الزاماً افزایش دقت پیش‌بینی را به دنبال نخواهد داشت؛ چراکه اثرات پدیده‌ی تغییر اقلیم، پارامترهای اقلیمی منطقه را دستخوش تغییر خواهد کرد و بازه‌های زمانی بزرگ‌مقیاس به علت فاصله گرفتن از شرایط اقلیمی موجود معیار مناسبی برای پیش‌بینی دوره‌های آتی نخواهند بود. به همین دلیل بازه‌ی زمانی ۲۰ ساله، عملکرد بهتری در مقایسه با دوره‌ی ۳۰ ساله از خود نشان داد. همچنین بازه‌ی زمانی ۱۸ ساله که شامل الگوی کامل تکرار رویدادهای اقلیمی بود، به علت فاصله داشتن از زمان حال (۱۹۸۸-۲۰۰۵) دارای خطای به مراتب بیش‌تری نسبت به بازه‌ی زمانی ۲۰ ساله (۱۹۹۸-۲۰۱۷) که نزدیک به زمان حال بود، داشت. در حالت کلی، نتایج آزمون‌های MAD، MSE و RMSE نشان داد مدل‌های EC-EARTH و HadGEM2-ES با دقت بسیار بالایی دمای حداقل و حداکثر را پیش‌بینی کردند، ولی پیش‌بینی پارامتر بارش با دقت کم‌تری صورت پذیرفته است. هر دو مدل EC-EARTH و HadGEM2-ES تحت سناریوهای مختلف و تغییرات مقیاس زمانی پارامترهای ورودی به نرم‌افزار LARS-WG6، افزایش دمای حداقل و حداکثر نسبت به دوره‌ی پایه را نشان دادند. طبق مدل EC-EARTH در دوره‌های آتی بیش‌ترین میزان افزایش دما در ماه می رخ خواهد داد، ولی مدل HadGEM2-ES بیش‌ترین میزان افزایش دما را ماه‌های اکتبر و نوامبر پیش‌بینی نموده است. همچنین از غالب پیش‌بینی مدل‌ها می‌توان نتیجه گرفت که میزان افزایش دمای حداکثر به نسبت دمای حداقل بیش‌تر بوده است. طبق سناریوهای بدبینانه RCP8.5 و در دوره‌ی ۲۰۶۱ تا ۲۰۸۰ میزان دمای هوا نیز نسبت به سایر سناریوها اختلاف زیادی داشته و بیش‌ترین افزایش را به خود اختصاص داده است. در بحث بارش، پیش‌بینی‌ها نشان داد که میزان میانگین بارش سالیانه در دوره‌های آتی افزایش خواهد یافت. همچنین تغییر الگوی بارندگی به نسبت دوره‌ی پایه مشهود است؛ به‌طوری‌که در غالب مدل‌ها و سناریوها میزان بارش در ماه ژانویه و آوریل همچنین در فصل پاییز افزایش یافته و میزان بارش در ماه فوریه دچار کاهش محسوس گردیده است.

۶- منابع

۱. حیدری تاشه کبود، شادیه، مفیدی، عباس، حیدری تاشه کبود، اکبر (۱۳۹۸). چشم‌انداز تغییرات بارش در شمال غرب ایران با استفاده از مدل‌های گردش کلی جو تحت سناریوهای اقلیمی، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره‌ی ۲۹، صص ۱۵۱-۱۳۳.
۲. سروری، مائده، سیدابوالقاسم، مرتضوی، سیدحبیب اله، موسوی (۱۳۹۸). پیش‌بینی پارامتر دما و روند تغییرات آن تحت سناریوهای جدید IPCC با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی LARS_WG، نخستین کنفرانس ملی علوم زمین، آب‌وهوا و تغییرات اقلیمی، تهران، مؤسسه‌ی آموزش عالی مهر اروند، ایران.

۳. صادقی، امین، آزاد جلودارلو، کوروش (۱۳۹۷). پیش‌بینی دمای هوا و روند تغییرات آن در دوره‌ی های آتی تحت شرایط تغییر اقلیم (مطالعه‌ی موردی: زنجان)، کنفرانس عمران، معماری و شهرسازی کشورهای جهان اسلام، تبریز، دانشگاه تبریز- دانشگاه شهید مدنی آذربایجان- دانشگاه علمی کاربردی شهرداری تبریز، ایران.
۴. صادقی، امین، دین‌پژوه، یعقوب (۱۳۹۷). پیش‌بینی دمای تبریز و روند تغییرات آن با استفاده از مدل EC-EARTH، کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و مدیریت توسعه شهری در ایران، تهران، دانشگاه صنعتی مراغه با همکاری دانشگاه تبریز- دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، ایران.
5. Alizadeh, A. (2010). Principles of applied hydrology. 30, 5. University of Emam Reza, Mashhad, Iran, 991.
 6. Askareh, Hossein, Akbarzadeh, & Younes. (2017). Simulation of temperature and precipitation changes of Tabriz synoptic station during the period (2010-2011) using statistical exponential microscale (SDSM) and output of CanESM2 model. *Geography and Environmental Hazards*, 6 (1), 153-174.
 7. Baas, A. C. (2002). Chaos, fractals and self-organization in coastal geomorphology: simulating dune landscapes in vegetated environments. *Geomorphology*, 48(1-3), 309-328.
 8. Bolin, B. (1986). The greenhouse effect, climate change, and ecosystems. *SCOPE* 29, 541.
 9. Cao, L., Zhang, Y., & Shi, Y. (2011). Climate change effect on hydrological processes over the Yangtze River basin. *Quaternary International*, 244(2), 202-210.
 10. Change, I. C. (2007). The physical science basis: summary for policymakers. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change secretariat.
 11. Chaumont, D. (2014). A guidebook on climate scenarios: Using climate information to guide adaptation research and decisions. Ouranos: Montréal, QC, Canada.
 12. Field, C. B. (Ed.). (2014). Climate change 2014–Impacts, adaptation and vulnerability: Regional aspects. Cambridge University Press.
 13. Kundzewicz, Z. W., Mata, L. J., Arnell, N. W., Döll, P., Kabat, P., Jiménez, B., ... & Shiklomanov, I. A. (2007). Freshwater resources and their management. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, ML Parry, OF Canziani, JP Palutikof, PJ van der Linden and CE Hanson, Eds.
 14. Li, J., Du, Q., & Sun, C. (2009). An improved box-counting method for image fractal dimension estimation. *Pattern Recognition*, 42(11), 2460-2469.
 15. Mandelbrot, B. (1967). How long is the coast of Britain? Statistical self-similarity and fractional dimension. *science*, 156(3775), 636-638.
 16. Merritt, W. S., Alila, Y., Barton, M., Taylor, B., Cohen, S., & Neilsen, D. (2006). Hydrologic response to scenarios of climate change in sub watersheds of the Okanagan basin, British Columbia. *Journal of Hydrology*, 326(1-4), 79-108.
 17. Molteno, T. C. A. (1993). Fast O (N) box-counting algorithm for estimating dimensions. *Physical Review E*, 48(5), R3263.
 18. Racsko, P., Szeidl, L., & Semenov, M. (1991). A serial approach to local stochastic weather models. *Ecological modelling*, 57(1-2), 27-41.
 19. ZARE, A. H., GHABAEI, S. M., & Mosaedi, A. (2015). Drought monitoring based on Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) under the effect of climate change.