

Drought Forecasting for Future Periods Using LARS-WG Model: The Case Study of Kermanshah City

Sara Heshmati^{1*}, Hadi Ramezani Etedali²

- 1. PhD Student of Water Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran*
- 2. Associate Professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran*

(Received: September 16, 2021; Accepted: November 20, 2021)

Abstract

The prediction of climatic changes is of great importance due to their destructive effects on aquatic, environmental, economic, and social resources. Accordingly, the purpose of this study was to predict the climatic changes of Kermanshah city using micro-scale general atmospheric circulation models accessible in LARS-WG6 (GFDL-CM3, MPI-ESM-MR, MIROC5) model in scenarios RCP4.5 and RCP8.5 for the 2020 to 2100 period based on the benchmark period of 1980-2010. In order to evaluate the data forecasted in LARS-WG model, the error rate of the observed and predicted data was addressed using R2, RMSE, MSE, and MAD criteria. The results showed that LARS-WG model had the needed capability to predict climatic data in future. In the secondary models, the MPI-ESM-MR model in scenario RCP4.5 showed a higher reliability rate compared to other secondary models evaluated in the study. Moreover, all models indicated increases in the average minimum and maximum temperature and forecasted changes in rainfall pattern in future periods in the studied area. Then, the SPI and De Martonne indices were calculated for all models. According to SPI index, all evaluated climatic models demonstrated that by the year 2100, the years with normal index would decrease while the years with dry conditions would increase. Moreover, based on De Martonne index, the GFDL model in RCP8.5 scenario estimated the climatic changes level more than other models, and predicted that dry and semi-dry years will be more than wet years. Contrarily, the MIRO model in RCP45 scenario acted more optimistically and predicted less climatic changes.

Keywords

climate change, micro-scale, SPI and PNI index, LARS-WG model.

* Corresponding Author, Email: heshmati74@yahoo.com

پیش‌بینی وضعیت خشک‌سالی در دوره‌های آتی با استفاده از مدل LARS-WG (مطالعه موردی: شهرستان کرمانشاه)

سارا حشمتی^{۱*}، هادی رضوانی‌اعتدالی^۲

۱. دانشجوی دکتری منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی^(ه)، قزوین، ایران

۲. دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی^(ه)، قزوین، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۵ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۲۹)

چکیده

پیش‌بینی تغییرات اقلیمی به دلیل آثار مخرب بر منابع آبی، زیست‌محیطی، اقتصادی، و اجتماعی از اهمیتی ویژه برخوردار است. بنابراین، هدف از این تحقیق پیش‌بینی تغییرات اقلیمی شهرستان کرمانشاه با استفاده از مدل‌های ریزمقیاس گردش عمومی جو قابل دسترس در مدل LARS-WG6 (GFDL-CM3, MPI-ESM-MR, MIROC5) تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره ۲۰۲۰ تا ۲۱۰۰ با دوره پایه ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ بود. برای ارزیابی داده‌های پیش‌بینی شده در مدل LARS-WG به بررسی میزان خطای داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی شده با استفاده از معیارهای R2, RMSE, MSE, MAD پرداخته شد. نتایج نشان داد مدل LARS-WG قابلیت لازم را برای پیش‌بینی داده‌های اقلیمی در آینده دارد و بین زیرمدل‌ها مدل MPI-ESM-MR تحت سناریوی RCP4.5 از ضریب اطمینان بالاتری نسبت به سایر زیرمدل‌های ارزیابی شده برخوردار است. همچنین، همه مدل‌ها بیانگر افزایش متوسط دمای حداقل و حداکثر و تغییر الگوی بارش در دوره‌های زمانی آینده در منطقه مورد مطالعه بودند. در ادامه شاخص‌های SPI و دو مارتن برای همه مدل‌ها محاسبه شدند. بر اساس شاخص SPI همه مدل‌های اقلیمی مورد ارزیابی نشان دادند تا سال ۲۱۰۰ سال‌های با شاخص نرمال کاهش یافته در مقابل شرایط خشک افزایش خواهند یافت و همچنین بر اساس شاخص دو مارتن مدل GFDL تحت سناریوی RCP8.5 میزان تغییرات اقلیم بیشتر از سایر مدل‌ها برآورد شد و سال‌های خشک و نیمه‌خشک بیشتر از سال‌های مرطوب خواهد بود. اما در مقابل مدل MIROC تحت سناریوی RCP4.5 خوشبینانه‌تر عمل کرد و میزان تغییر اقلیم کمتری صورت خواهد گرفت.

کلیدواژگان

تغییر اقلیم، ریزمقیاس نمایی، شاخص‌های SPI و PNI، مدل LARS-WG.

* رایانامه نویسنده مسئول: s.heshmati74@yahoo.com

مقدمه

صنعتی شدن جوامع و افزایش گازهای گلخانه‌ای در سال‌های گذشته سبب زیاد شدن دمای کره زمین و تغییر پارامترهای اقلیمی شده است. همچنین میانگین دمای سطح زمین بر اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای در حال افزایش است؛ به طوری که بررسی‌های اخیر هیئت بین‌الدول تغییر افزایش میانگین دمای جهانی را 0.76 درجه سانتی‌گراد در قرن گذشته برآورد و $6/4$ درجه سانتی‌گراد تا سال ۲۱۰۰ پیش‌بینی می‌کند (IPCC 2001). افزایش گازهای گلخانه‌ای در دوره‌های آبی و در نتیجه تشدید تغییرات پارامترهای اقلیمی می‌تواند تأثیر منفی زیادی بر سیستم‌های مختلف - از جمله منابع آب، محیط زیست، صنعت، بهداشت، کشاورزی، و همه عناصر مرتبط با تغییر اقلیم - بگذارد (IPCC 2007). تبعات منفی این پدیده برای بشر تا آنجا می‌تواند مخرب باشد که بین ده عامل تهدیدآمیز بشر در قرن ۲۱ - مانند فقر، سلاح‌های هسته‌ای، کمبود غذا، و غیره - پدیده تغییر اقلیم مقام اول را به خود اختصاص داده است. گرچه کاهش گازهای گلخانه‌ای می‌تواند از تشدید پدیده تغییر اقلیم در دوره‌های آبی بکاهد، باید توجه داشت که حتی اگر در حال حاضر انتشار همه گازهای گلخانه‌ای در سطح کره زمین متوقف شود، پدیده تغییر اقلیم تا اواخر قرن ۲۱ ادامه خواهد یافت (IPCC 2001). از طرفی، با توجه به اینکه منابع آب در معرض خطرات ناشی از تغییرات اقلیم قرار دارند، بررسی تغییرات دما و بارش در سال‌های آینده می‌تواند راه‌حلی برای معضلاتی مانند خشک‌سالی، سیل، تبخیر زیاد، و تخریب‌های زیست‌محیطی باشد که همگی به ایجاد یا توسعه بیابان منجر خواهد شد. به همین منظور برای ارزیابی تغییرات اقلیمی مدل‌های جهانی (GCMS) طراحی شده‌اند. این مدل‌ها خصوصیات فیزیکی، چرخش‌ها، و حرکات اتمسفری را تحلیل و در ادامه متغیرهای هواشناسی را شبیه‌سازی می‌کنند (شائمی و حبیبی نوخندان ۱۳۸۸). بنابراین، در صورتی که خروجی این مدل‌ها به طور مستقیم به منزله ورودی مدل‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی قرار گیرد، باعث افزایش عدم قطعیت می‌شود. از این رو، برای افزایش دقت مکانی این داده از روش‌های ریزمقیاس‌گردانی استفاده می‌شود که به روش‌های آماری و دینامیکی تقسیم می‌شوند. امروزه مدل‌های ریزمقیاس، مانند SDSM و LARS، کاربرد فراوانی در ارزیابی تغییر اقلیم دارند.

اهداف و سؤالات پژوهش

با توجه به اینکه مدیریت صحیح منابع آب در هر منطقه بسیار حیاتی است و بررسی وضعیت مناطق مورد مطالعه در آینده تحت تأثیر تغییر اقلیمی قرار خواهد گرفت، نیز با توجه به خشک‌سالی‌های اخیر در منطقه، این تحقیق با هدف پایش وضعیت خشک‌سالی به کمک شاخص‌های SPI و دو مارتن^۱ و تعیین شدت و مدت و فراوانی خشک‌سالی در شهرستان کرمانشاه انجام شد. همچنین، میزان تغییرات دمای حداقل و حداکثر و بارندگی در دوره آتی نسبت به دوره پایه با استفاده از ۳ مدل گردش عمومی جو موجود در مدل ریزمقیاس (GFDL- LARS-WG6) (CM3, MPI-ESM-MR, MIROC5) با سناریوی RCP45 و RCP85 ارزیابی شد. سؤالات اصلی تحقیق پیش رو این است که تغییرات دما و بارش شهرستان کرمانشاه در آینده روند کاهشی دارد یا افزایشی؟ با توجه به شاخص‌های SPI و دو مارتن روند و شدت و مدت خشک‌سالی چگونه تغییر می‌یابد؟

پیشینه پژوهش

شاگاگا^۲ و همکاران (۲۰۱۹) به پیش‌بینی آب‌وهوا در تانزانیا به کمک LARS-WG پرداختند. نتایج کار آن‌ها نشان داد حداقل و حداکثر دما حدود ۲ درجه افزایش می‌یابد؛ طوری که کمترین افزایش دما در آینده در اکتبر و نوامبر و بیشترین افزایش در ماه‌های ژوئن و ژوئیه رخ می‌دهد. گیتن^۳ و همکاران (۲۰۱۹) تغییرات آب‌وهوایی را در حوضه رودخانه مانینگ^۴ استرالیا با استفاده از نرم‌افزار Lars-Wg تحت سناریوی RCP 8.5 بررسی کردند. نتایج کار آن‌ها کاهش بارندگی در سال‌های ۲۰۶۰ تا ۲۱۰۰ را نشان داد. (سارکر و چیچلیکار^۵ ۲۰۱۵) مدل Lars-wg را در یک اقلیم خشک در هندوستان به کار بردند. نتایج مطالعه مدل و میانگین و انحراف استاندارد بارندگی ماهیانه را بر اساس آزمون‌های آماری f و t برای دوره مشاهداتی به طور مناسب پیش‌بینی کرد؛ درحالی‌که

1. de marton
2. Shagega
3. Gaitan
4. Maning
5. Sarkar &Chicholikar

دماهای بیشینه و کمینه شبیه‌سازی شده تطابق بهتری با مقادیر مشاهداتی داشتند. (ژانگت^۱ و همکاران ۲۰۱۹) به پیش‌بینی دما و امواج سرد و گرم در اسپانیا، با استفاده از خروجی‌های گزارش پنجم در دو مرحله ریزمقیاس‌نمایی، پرداختند. بر اساس نتایج، سناریوهای تغییر اقلیمی افزایش تدریجی را در دمای حداکثر روزانه نشان دادند؛ بدین صورت که بیشترین افزایش دما در فصل تابستان در سناریوی RCP8.5 به میزان ۷ درجه سانتی‌گراد رخ خواهد داد. (ون^۲ و همکاران ۲۰۱۲) Lars-wg (Won et al. 2012) یکی از مدل‌های مولد داده‌های تصادفی هواشناسی مشهور است که در مطالعات تغییر اقلیم کاربرد فراوان دارد. (سیمو^۳ ۲۰۰۸) Semenov 2008 طی تحقیقی با استفاده از آمار ۲۰ ایستگاه در نقاط مختلف دنیا با اقلیم‌های متفاوت توانایی مدل Lars-wg را برای شبیه‌سازی رویدادهای جوئی بررسی کردند. نتایج نشان داد میانگین حداکثر سالیانه و مقادیر دوره بازگشت بارندگی‌ها در محدوده ۹۵ درصد اطمینان قرار دارند. (جعفری و همکاران ۱۳۹۹) به پیش‌بینی تغییرات اقلیمی استان کرمان با استفاده از WG-LARS پرداختند نتایج کار آن‌ها نشان داد که به طور متوسط دمای حداقل و حداکثر در سال‌های آینده روند افزایشی دارد همچنین الگوی بارش‌ها در این استان دچار تغییر خواهد شد و با افزایش دوره بازگشت مقادیر حداکثر بارش محتمل طبق دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 افزایش داشته و تحت سناریوی RCP8.5 شدیدتر بوده است. (جهانگیر و همکاران ۱۳۹۹) به شبیه‌سازی اقلیم آینده‌ی شیراز با استفاده از LARS-WG پرداختند. داده‌های مورد استفاده شامل مقادیر روزانه‌ی بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعات آفتابی ایستگاه شیراز در یک دوره‌ی ۴۶ ساله (۱۳۴۹-۱۳۹۵) و به‌عنوان ورودی برای مدل آماری LARS-WG بود. نتایج نشان داد در برخی مناطق خشک‌سالی و در مقابل بعضی مناطق با افزایش بارندگی همراه با تغییر الگوی زمانی موجه خواهد شد. (لطیفی و همکاران ۱۳۹۸) به شبیه‌سازی اقلیمی حوضه‌ی زرینه رود به کمک LARS-WG پرداختند نتایج نشان داد روند دما با افزایش و بارش، با کاهش در شبیه‌های مختلف روبرو شد. ایستگاه سقز نسبت به تکاب روند شدیدتری را در شبیه‌سازی نشان داد، به گونه‌ای که دما در این ایستگاه به طور متوسط ۰٫۵ تا ۱٫۵

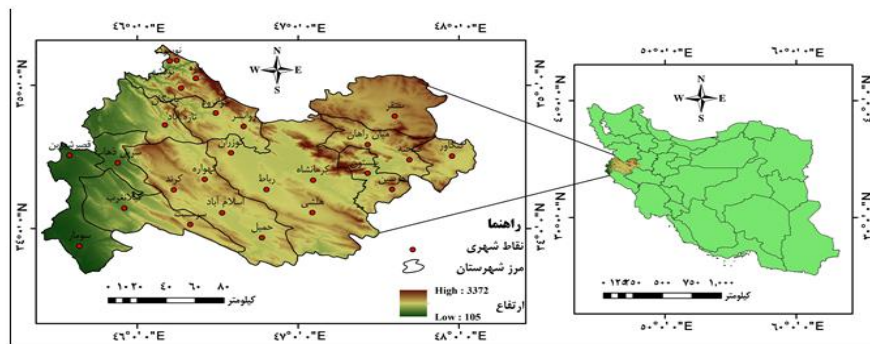
-
1. Zhanget
 2. Won
 3. Semenov

درجه ی سانتی گراد افزایش بیشتری را نسبت به ایستگاه تکاب نشان داده، و در بارش هم در شبیه‌های کاهشی ۱۰ تا ۸۰ میلی متر کاهش، و در شبیه‌های افزایشی ۵ تا ۱۰ میلی متر افزایش را نسبت به تکاب نشان می‌دهد. همچنین دمای حداقل نسبت به دمای حداکثر افزایش بیشتری را در هر دو ایستگاه نشان می‌دهد. (قضاوی و همکاران ۱۳۹۷) به منظور بررسی تغییرات کمی آب رودخانه‌ی هروچای اردبیل، دبی رودخانه با استفاده از مدل SWAT شبیه‌سازی کردند. در ادامه با استفاده از مدل اقلیمی LARS-WG داده‌های دما و بارش به صورت روزانه تحت سه سناریو A2، B1 و A1B برای دوره‌ی ۲۰۴۰-۲۰۱۴ استخراج و داده‌های شبیه‌سازی شده به مدل SWAT وارد و مدل برای دوره‌ی آماری مذکور اجرا گردید. بر اساس نتایج حاصل از پیش‌بینی بارش، تحت شرایط دو سناریو A2 و B1 بارش در دوره‌ی پیش‌بینی افزایش خواهد یافت ولی کاهش بارش تحت شرایط سناریو A1B اتفاق خواهد افتاد. (زهره‌وندی و همکاران ۱۳۹۹) به پیش‌بینی پارامترهای دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و تابش به عنوان پارامترهای مهم اقلیمی به صورت روزانه تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 از طریق مدل ریزمقیاس گردانی آماری LARS-WG در ۶ ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب در غرب کشور در سطح سه استان کردستان، کرمانشاه و همدان پرداختند. نتایج کلی حاصل از بررسی برای دوره‌های آینده حاکی از کاهش ۷/۷ درصدی بارش، افزایش ۳/۴ درجه سلسیوس دمای حداقل و ۳/۳ درجه سلسیوس دمای حداکثر به طور متوسط بلندمدت در سطح منطقه مطالعاتی نسبت به دوره پایه می‌باشد. (بیگلی و همکاران ۱۳۹۵) با بکارگیری نرم افزار LARS-WG مقادیر بارش، دمای کمینه و دمای بیشینه استان آذربایجان غربی در دوره‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۱، در چهار ایستگاه سینوپتیک استان شامل ارومیه، خوی، مهاباد و ماکو پیش‌بینی و تغییرات آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در استان آذربایجان غربی میزان بارندگی در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ به غیر از سه ماه، Agu، Dec، Mar روند کاهشی دارد. همچنین دمای کمینه و بیشینه در تمام دوره‌ها روند افزایشی دارد.

محدوده و قلمرو مورد مطالعه

محل اجرای این پژوهش شهرستان کرمانشاه در استان کرمانشاه بود. این استان در غرب ایران با مختصات جغرافیایی ۳۶° ۳۳' تا ۱۵° ۳۵' شمالی و ۲۴' ۴۵° تا ۳۰' ۴۸° طول شرقی قرار دارد

(شکل ۱). این استان از شمال با استان کردستان، از جنوب با استان‌های لرستان و ایلام، از خاور با استان‌های همدان، و از باختر با کشور عراق هم‌مرز است.



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

روش و ابزار تحقیق

در تحقیق حاضر ابتدا داده‌های حداقل دما، حداکثر دما، بارندگی، و تابش خورشید از ایستگاه سینوپتیک شهرستان کرمانشاه طی دوره آماری ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ به صورت روزانه تهیه (جدول ۱) و به عنوان ورودی مدل LARS-WG در نظر گرفته شد. فرایند پیش‌بینی داده‌ها در زمان آینده به کمک این مدل طی چهار مرحله انجام می‌گیرد (آقاشاهی و همکاران ۱۳۹۱):

- آنالیز داده‌های پایه: تجزیه و تحلیل ویژگی‌های آماری داده‌های مشاهداتی به منظور تعیین ویژگی‌های آماری داده‌ها؛

- تولید اولیه داده: تولید داده به صورت مصنوعی به کمک مدل در دوره پایه و تعیین خصوصیات آماری داده‌های مصنوعی تولیدشده؛

- مقایسه آماری: تطبیق و مقایسه ویژگی‌های آماری داده‌های مشاهداتی و داده‌های مصنوعی تولیدشده؛

- تولید داده‌های روزانه در آینده: استفاده از ویژگی‌های آماری داده‌های پایه و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای و خروجی مدل‌های گردش عمومی در تولید سری‌های زمانی روزانه منتقل شده به آینده با همان خصوصیات آماری داده‌های پایه.

جدول ۱. نام و مشخصات ایستگاه سینوپتیک استفاده‌شده در تحقیق

ارتفاع از سطح دریا	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	نوع ایستگاه	نام ایستگاه
۱۴۱۹	۳۴/۵	۴۶/۸۷	سینوپتیک	کرمانشاه

توصیف مدل‌های گزارش پنجم

نسل جدیدی از مدل‌های گردش عمومی، که در تهیه گزارش پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم استفاده شد، تحت عنوان پروژه درون‌مقایسه‌ای مدل‌های جفت‌شده^۱ (CMIP5) شناخته شده است. مجموعه‌ای از آزمایش‌ها شامل شبیه‌سازی قرن ۲۰ و پروژه‌های تغییر اقلیم قرن ۲۱ تحت سناریوهای جدید انتشار با عنوان نماینده خط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای^۲ (RCP) مدل‌های گزارش پنجم را تشکیل می‌دهند (Moss et al. 2010). در مطالعه حاضر از ۳ مدل قابل استفاده در نرم‌افزار WG-LARS تحت دو سناریوی RCP45 و RCP85 برای پیش‌بینی اقلیم شهرستان کرمانشاه استفاده شد (جدول ۲).

جدول ۲. مشخصات مدل‌های گردش عمومی جو در دسترس به عنوان ورودی نرم‌افزار LARS-WG

مدل	مرجع	قدرت تفکیک مکانی به درجه	سناریوها	منبع
GFDL-CM3	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (United States)	۲ × ۲/۵	RCP85 RCP45	Raddatz et al. 2007
MPI-ESM-MR	Max Planck Institute for Meteorology, Germany	۱/۸۷۵ × ۱/۸۶۵	RCP85 RCP45	Dunne et al. 2012
MIROC5	Atmosphere and Ocean Research Institute, Japan	۱/۴۰ × ۱/۴۰	RCP85 RCP45	Watanabe et al. 2010

1. coupled model intercomparison phase 5
2. representative concentration pathway

ریز‌مقیاس‌نمایی

با توجه به بزرگ‌مقیاس بودن مدل‌های گردش عمومی جو از ریز‌مقیاس‌نمایی استفاده می‌شود. ریز‌مقیاس‌سازی به معنای ایجاد ارتباط بین پیش‌بینی‌کننده‌های جو بزرگ‌مقیاس و متغیرهای پیش‌بینی‌شونده (عموماً دما و بارش) در مقیاس ناحیه‌ای است. به طور کلی، دو روش ریز‌مقیاس‌سازی وجود دارد: ریز‌مقیاس‌سازی آماری و ریز‌مقیاس‌سازی دینامیکی. مدل LARS-WG یک ریز‌مقیاس‌سازی آماری است. روش کار در این پژوهش با استفاده از مدل LARS-WG به این صورت بود که مدل داده‌های دیده‌بانی‌شده دوره پایه دریافت و با بررسی آن‌ها مشخصه‌های آماری داده‌ها استخراج شدند. سپس به منظور صحت‌سنجی و اطمینان از توانمندی مدل برای دوره آماری پایه مدل اجرا شد تا یک سری داده‌های مصنوعی در دوره پایه بار دیگر ایجاد شوند. سپس این خروجی‌ها به منظور ارزیابی عملکرد مدل در بازسازی داده‌ها با مشخصات آماری مشاهداتی به کمک آزمون‌ها و معیارهای مختلف مقایسه شدند. تطابق مشخصات آماری داده‌های مشاهداتی و داده‌های بازتولیدی نشان داد مدل سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای انتخابی و خروجی مدل‌های اقلیمی GCM را به داده‌های دوره پایه اعمال و تغییرات را شبیه‌سازی می‌کند (آقاشاهی و همکاران ۱۳۹۱). جهت ارزیابی و تحلیل عملکرد مدل ریز‌مقیاس‌گردانی نیز از معیارهای R^2 , RMSE, MSE, MAD استفاده شد. ضریب R^2 معیاری بدون بعد و بهترین مقدار آن برابر ۱ است (رابطه ۱). میانگین مربعات خطا (MSE) می‌تواند از ۰ در عملکرد عالی تا بی‌نهایت تغییر کند (رابطه ۲). مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) به منزله مقیاسی برای نشان دادن اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده از مقادیر اندازه‌گیری به کار می‌رود. این معیار، که به صورت رابطه ۳ تعریف می‌شود، به منزله مرسوم‌ترین شاخص خطا به کار می‌رود (Lin et al. 2006) و آخرین معیار مورد استفاده میانگین مطلق داده (MAD) بود (رابطه ۴).

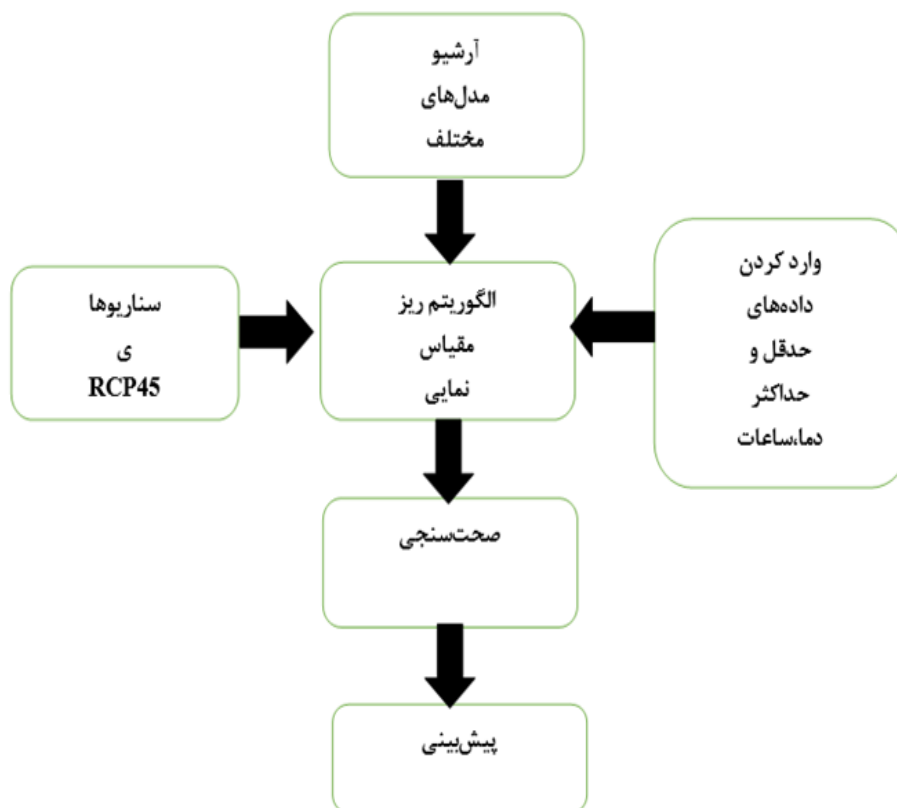
$$(R)^2 = \left(\sum_{i=1}^{Nn} X_0 X_S \right) / \sqrt{\sum_{i=1}^N (X_0)^2 (X_S)^2} \quad (1)$$

$$MSE = 1/N \sum_{i=1}^N (X_0 - X_S)^2 \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_0 - x_s)^2 / N} \quad (۳)$$

$$MAD = \sum_{i=1}^N |X_0 - X_S| / N \quad (۴)$$

در روابط یادشده X_0 داده‌های مشاهداتی، X_S داده‌های پیش‌بینی شده، N تعداد داده‌هاست. در شکل ۱ مراحل ریزمقیاس‌سازی دما و بارش مشخص شده است.



شکل ۲. مراحل ریزمقیاس‌سازی در LARS-WG

شاخص بارش استاندارد (SPI): در پژوهش حاضر، پس از پیش‌بینی بارندگی و حداقل دما و حداکثر دما تحت شرایط تغییر اقلیم آینده، برای برآورد احتمال وقوع خشک‌سالی در شهر

کرمانشاه از شاخص خشک‌سالی SPI استفاده شد. شاخص SPI احتمال وقوع بارش برای تعدادی از ماه‌های متوالی است. هدف اصلی آن بیان کمبود بارش یک منطقه در مقیاس زمانی خاص نسبت به اقلیم آن منطقه است. در این روش داده‌های طولانی‌مدت ثبت‌شده با یک توزیع احتمالاتی برازش داده می‌شوند و سپس به یک توزیع نرمال تبدیل می‌شوند؛ طوری که میانگین SPI برای هر منطقه یا دوره مورد نظر ۰ است. مطابق جدول ۳ مقدار SPI مثبت بیانگر بارش بیشتر از متوسط و مقدار SPI منفی بیانگر بارش کمتر از مقدار متوسط است. زمانی که مقدار SPI محاسبه‌شده منفی باشد نشانه شروع خشک‌سالی است و هنگامی که این شاخص مثبت باشد پایان خشک‌سالی را نوید می‌دهد.

جدول ۳. مقیاس‌های طبقه‌بندی برای SPI

وضعیت	عدد مربوط به شاخص
ترسالی حاد	$SPI < -2$
ترسالی شدید	$1/5 < SPI < 1/99$
ترسالی متوسط	$1 < SPI < 1/49$
ترسالی خفیف	$0/5 < SPI < 0/99$
نرمال	$-0/49 < SPI < 0/49$
خشک‌سالی خفیف	$-1/99 < SPI < -1/5$
خشک‌سالی متوسط	$-1 < SPI < -1/49$
خشک‌سالی شدید	$-1/99 < SPI < -1/49$
خشک‌سالی حاد	$SPI < -2$

شاخص SPI بر اساس اختلاف میان مقدار بارندگی در هر ماه و میانگین بارندگی در دوره زمانی مشخص بر انحراف معیار بارندگی در آن مقیاس زمانی محاسبه می‌شود (رابطه ۵). مهم‌ترین مزیت این شاخص در مقایسه با سایر شاخص‌ها قابلیت محاسبه در مقیاس‌های زمانی مختلف سالیانه و ماهیانه است. به طور کلی روش محاسبه SPI بر اساس توزیع گاما مطابق رابطه ۵ است.

$$SPI = (X_i - \bar{X}) / S_X \quad (5)$$

که در آن X_i مقدار بارندگی سالیانه یا ماهیانه، X مقدار میانگین بارش درازمدت، و SX انحراف از معیار بارندگی است. در این پژوهش شاخص SPI برای داده‌های دوره پایه و داده‌های پیش‌بینی شده به صورت سالیانه محاسبه می‌شود.

شاخص دو مارتن

این طبقه‌بندی بر مبنای شاخص خشکی^۱ بنا نهاده شده است و در آن از دما و بارندگی برای تعیین نوع اقلیم استفاده می‌شود.

دو مارتن معادله تجربی ۶ را جهت تعیین نوع اقلیم یک منطقه ارائه داد.

$$IDM = (P / (t + 10)) \quad (6)$$

که در آن IDM شاخص خشکی دو مارتن، P میانگین بارش سالیانه بر حسب میلی‌متر، و t متوسط درجه حرارت سالیانه بر حسب سانتی‌گراد است. بر اساس این شاخص ۶ نوع اقلیم وجود دارد که در جدول ۴ قابل مشاهده است.

جدول ۴. طبقه‌بندی نوع اقلیم بر اساس شاخص دو مارتن

نوع اقلیم	محدوده ضریب دو مارتن
خشک	$IDM < 10$
نیمه‌خشک	$10 < IDM < 19/99$
مدیترانه‌ای	$20 < IDM < 23/99$
نیمه‌مرطوب	$24 < IDM < 27/99$
مرطوب	$28 < IDM < 34/99$
بسیار مرطوب	$IDM > 35$

در این تحقیق شاخص دو مارتن برای داده‌های پیش‌بینی شده مدل LARS-WG به منظور تعیین و پیش‌بینی اقلیم شهرستان‌های کرمانشاه و جوانرود تا سال ۲۱۰۰ با مقیاس سالیانه محاسبه شد.

یافته‌های پژوهش

در این پژوهش پیش‌بینی اقلیم شهرستان کرمانشاه تا سال ۲۱۰۰ با استفاده از داده‌های پایه از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰، شامل حداقل و حداکثر دما و بارندگی و ساعات آفتابی، به کمک مدل‌های ریزمقیاس‌گردش عمومی جو قابل دسترس در مدل LARS-WG6 (GFDL-CM3, MPI-ESM-MR, MIROC5) تحت سناریوهای RCP45 و RCP85 انجام شد. به منظور کالیبره کردن و اطمینان از صحت مدل ریزمقیاس‌گردانی مورد بررسی ابتدا مدل LARS-WG6 برای دوره آماری پایه اجرا شد. سپس خروجی‌های مدل، شامل پارامترهای مورد بررسی و انحراف معیار آن‌ها، با داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های مورد بررسی مقایسه شد. نتایج ارزیابی داده‌های مشاهداتی و تولیدشده توسط مدل با استفاده از معیارهای ارزیابی مختلف در جدول ۵ آمده است. در مجموع، نتایج حاصل از معیارهای ارزیابی مختلف بیانگر آن است که مدل LARS-WG جهت ریزمقیاس‌گردانی پارامترهای مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه دقت مناسبی دارد و میان زیرمدل‌ها مدل MPI-ESM-MR تحت سناریوی RCP45 نسبت به سایر مدل‌ها از کلاس ارزیابی مناسب‌تری برخوردار است.

جدول ۵. ارزیابی زیرمدل‌های LARS-WG با استفاده از معیارهای مختلف (شهرستان کرمانشاه)

مدل‌های اقلیمی							آزمون‌های آماره	پارامتر
MIROC5- RCP4585	MIROC5- RCP45	MPI- ESM- MR- RCP85	MPI- ESM- MR- RCP45	GFDL- CM3- RCP85	GFDL- CM3- RCP45	R2		
۰/۸۳	۰/۸۱	۰/۹۸	۰/۹۱	۰/۶۸	۰/۷	R2	بارش	
۲/۳	۲/۰۵	۲/۰۱	۱/۹۹	۳/۳۷	۳/۲۱	RMSE	(میلی‌متر)	
۲/۹	۳/۴	۲/۰۹	۱/۷۸	۶/۷۸	۶/۷۹	MSE		
۱/۸۲	۱/۹۹	۱/۲۹	۱/۱۷	۱/۵۹	۱/۴۸	MAD		
۰/۷۱	۰/۷۹	۰/۸۲	۰/۸۷	۰/۷۱	۰/۶۹	R2	دمای کمینه	
۲/۴	۲/۰۱	۱/۸۸	۱/۶۸	۱/۷۸	۱/۵۶	RMSE	(سانتی‌گراد)	
۱/۶۸	۱/۵۹	۱/۶۹	۱/۵۹	۴/۸۹	۴/۳۷	MSE		
۲/۲۹	۲/۰۵	۱/۲۶	۱/۱۶	۱/۹۷	۲/۰۱	MAD		
۰/۷۹	۰/۷۱	۰/۸۳	.8	۰/۷۹	۰/۶۵	R2	دمای بیشینه	
۱/۹۶	۱/۸۳	۱/۴۹	۱/۶۸	۱/۲۷	۱/۳۹	RMSE	(سانتی‌گراد)	
۱/۷	۱/۵۲	۱/۷۷	۱/۵۹	۱/۴۹	۱/۷۲	MSE		
۱/۶۶	۱/۷۸	۱/۵۹	۱/۶	۱/۹۹	۲/۰۱	MAD		

نتایج حاصل از زیرمدل‌های LARS نشان داد زیر مدل GFDL-CM3 تحت سناریوی RCP85 بدینانه‌ترین حالت ممکن برای شرایط اقلیمی کرمانشاه رخ خواهد داد؛ یعنی تا سال ۲۱۰۰ مقدار متوسط بارندگی سالیانه حدود ۴۰ میلی‌متر کاهش و متوسط دمای حداکثر ۱۷ و حداقل دما ۱۰ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت (جدول ۶).

جدول ۶. مقادیر بارندگی (mm) و حداقل و حداکثر دمای (c) پیش‌بینی‌شده کرمانشاه تا سال ۲۱۰۰ به کمک مدل GFDL

مدل‌های GCM	سناریو	۲۰۴۰-۲۰۲۰			۲۰۶۰-۲۰۴۰			۲۰۸۰-۲۰۶۰			۲۱۰۰-۲۰۸۰		
		حداقل	حداکثر	بارش	حداقل	حداکثر	بارش	حداقل	حداکثر	بارش	حداقل	حداکثر	بارش
GFDL	RCP85	۸/۶	۲۲	۴۶۳	۱۱	۲۴/۹	۴۵۲	۱۴/۴	۲۹	۴۲۷	۱۹	۳۹	۴۳۷
GFDL	RCP45	۶/۳	۱۹/۸	۴۷۰	۹	۲۱/۸	۴۶۸	۱۳/۵	۲۴	۴۳۳	۱۷	۳۱	۴۴۱

همچنین مدل MIRO تحت سناریوی RCP45 خوشبینانه‌ترین حالت ممکن برای شرایط اقلیمی کرمانشاه رخ خواهد داد؛ یعنی تا سال ۲۱۰۰ مقدار متوسط بارندگی سالیانه حدود ۲۰ میلی‌متر کاهش و متوسط دمای حداکثر ۱۲ و حداقل دما ۷ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت که کمترین تغییرات اقلیمی نسبت به سایر مدل‌ها را نشان می‌دهد (جدول ۷).

جدول ۷. مقادیر بارندگی (mm) و حداقل و حداکثر دمای (c) پیش‌بینی‌شده کرمانشاه تا سال ۲۱۰۰ به کمک مدل MIRO

مدل‌های GCM	سناریو	۲۰۴۰-۲۰۲۰			۲۰۶۰-۲۰۴۰			۲۰۸۰-۲۰۶۰			۲۱۰۰-۲۰۸۰		
		حداقل	حداکثر	بارش	حداقل	حداکثر	بارش	حداقل	حداکثر	بارش	حداقل	حداکثر	بارش
MIRO	RCP85	۷/۹	۱۸/۵	۴۷۸	۹/۹	۲۱	۴۶۴	۱۲/۴	۲۴/۱	۴۴۸	۱۶	۳۰/۴	۴۵۰
MIRO	RCP45	۵/۷	۱۵	۴۸۰	۸/۶	۱۹/۲	۴۷۰	۱۰/۵	۲۲/۹	۴۵۹	۱۳/۵	۳۰	۴۶۹

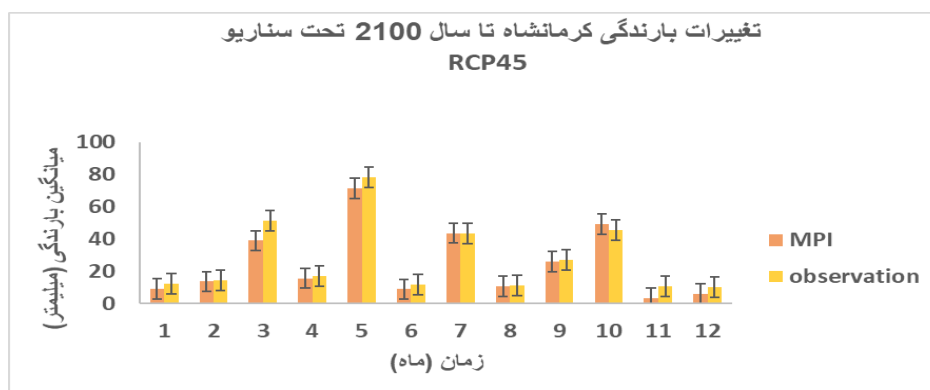
مطابق نتایج ارزیابی داده‌های مشاهداتی و تولیدشده در جدول ۵ با استفاده از معیارهای R2, RMSE, MSE, MAD مدل MPI-ESM-MR تحت سناریوی RCP45 نسبت به سایر مدل‌ها از

کلاس ارزیابی مناسب‌تری برخوردار است که نشان می‌دهد داده‌های حاصل از این مدل تغییرات اقلیمی کرمانشاه را دقیق‌تر و نزدیک‌تر به واقعیت پیش‌بینی کرده است (جدول ۸).

جدول ۸. مقادیر بارندگی (mm) و حداقل و حداکثر دمای (c) پیش‌بینی‌شده کرمانشاه تا سال ۲۱۰۰ به کمک مدل MPI

مدل‌های GCM		سناریو			۲۰۴۰-۲۰۲۰			۲۰۶۰-۲۰۴۰			۲۰۸۰-۲۰۶۰			۲۱۰۰-۲۰۸۰													
حداقل	حداکثر	بارش	حداقل	حداکثر	بارش	حداقل	حداکثر	بارش	حداقل	حداکثر	بارش	حداقل	حداکثر	بارش	حداقل	حداکثر											
MPI	RCP85	۷/۲	۱۹	۴۶۵	۹/۵	۲۱/۵	۴۵۱	۱۱	۲۴/۵	۴۲۸	۱۵/۸	۳۵	۴۴۰	MPI	RCP45	۵/۱	۱۶	۴۷۳	۸	۱۹/۹	۴۶۹	۱۱	۲۳	۴۳۷	۱۴/۵	۳۱	۴۴۹

همچنین نمودار تغییرات بارندگی و حداکثر دما و حداقل دمای مدل MPI تحت سناریوی RCP45 نسبت به دوره پایه^۱ نشان داده شده است.



شکل ۳. تغییرات بارندگی کرمانشاه تا سال ۲۱۰۰ بر اساس مدل MPI تحت سناریوی RCP45

طبق نتایج و شکل ۲ میزان متوسط بارش ماهیانه تا سال ۲۱۰۰ در کرمانشاه حدود ۱/۵ میلی‌متر کاهش می‌یابد و بیشترین بارش در ماه‌های JUL و MAY و MAR و Oct رخ خواهد داد که با تغییر الگوی بارش نسبت به دوره پایه همراه خواهد بود. همچنین بیشترین متوسط حداقل دما در ماه‌های Jun و Jul و Aug و Sep خواهد بود. نیز مشخص شد طول دوره فصول سرد کوتاه‌تر و

1. observation

فصول گرم طولانی‌تر می‌شود. به عبارت دیگر زمستان‌های سرد کمتر و تابستان‌های گرم بیشتر خواهد شد. همچنین نتایج این تحقیق با پژوهش‌های Jahangir et al 2020 و Latifi et al. 2020 هم‌سو بود. زیرا افزایش دما در سال‌های آتی برآورد شده است.

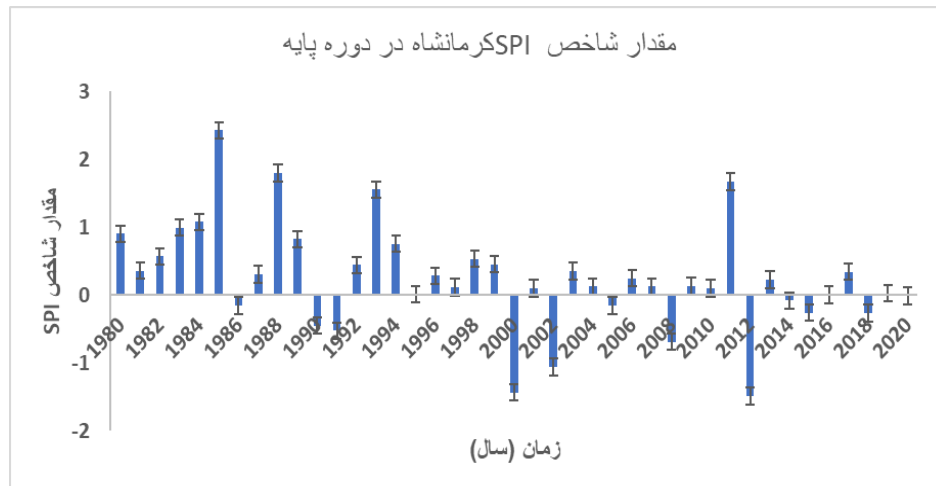
نتایج حاصل از شاخص SPI

ابتدا میانگین بارش ایستگاه کرمانشاه در مقیاس ماهیانه در دوره پایه ۱۹۸۰ – ۲۰۱۰ و دوره پیش‌بینی محاسبه شد (جدول ۹). بیشترین بارش ماهیانه کرمانشاه در دوره پایه در Jan و Feb و همچنین عمده بارش در فصل زمستان اتفاق افتاده است و بیشترین بارش ماهیانه کرمانشاه در دوره پیش‌بینی در OCT و Mar و JULY و May است. نیز عمده بارش در اواسط زمستان تا اواسط بهار است که تغییر الگوی بارش در سال‌های آینده را نشان می‌دهد.

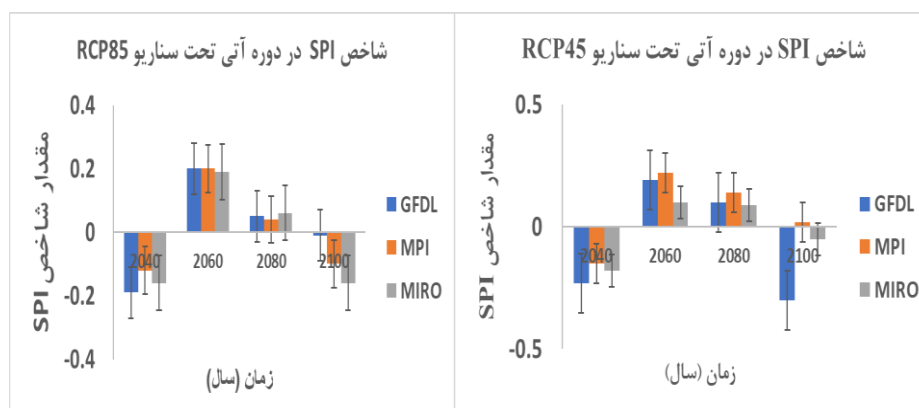
جدول ۹. میانگین بارش ماهیانه کرمانشاه در دوره مشاهداتی و پیش‌بینی شده

ایستگاه مورد مطالعه	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
کرمانشاه (مشاهداتی)	۵۷/۵	۶۲/۳	۵۶/۳	۶۳	۴۶/۱	۲/۳	۱	۰/۱	۴/۲	۲۰/۷	۴۲/۵	۵۲/۱
کرمانشاه (پیش‌بینی)	۱۰/۴	۱۳	۴۰	۱۴	۶۵	۹	۳۹	۱۰	۲۴	۴۶	۶	۷

همان‌طور که گفته شد، در پژوهش حاضر از شاخص بارش استاندارد شده سالیانه^۱ به منظور سنجش خشک‌سالی در مقیاس سالیانه برای دوره مشاهداتی و پیش‌بینی شده استفاده شد (شکل‌های ۴ و ۵).



شکل ۴. شاخص SPI در دوره مشاهده شده (۱۹۸۰ - ۲۰۲۰)



شکل ۵. شاخص SPI در دوره پیش بینی شده شهرستان کرمانشاه تحت سناریوهای RCP85 و RCP45

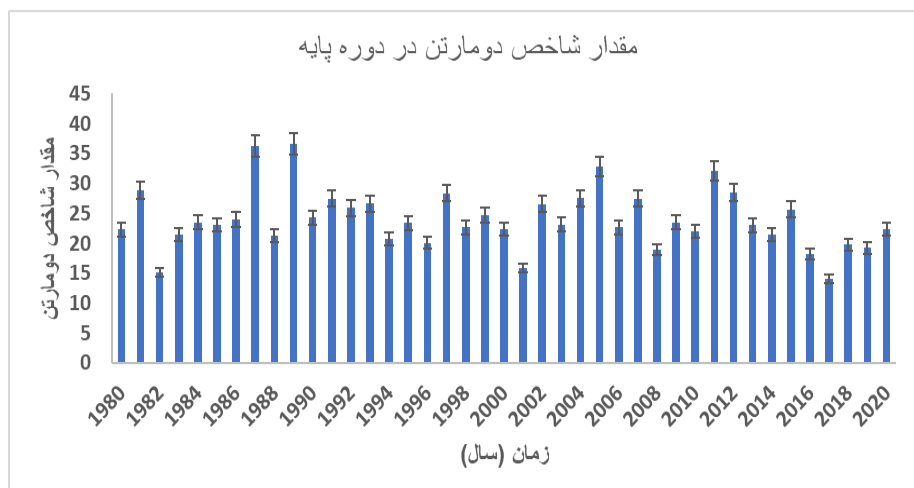
با توجه به شکل های ۹ و ۱۰ و ۱۱ و جدول ۲ (مقیاس های طبقه شاخص SPI) شهر کرمانشاه در دوره مشاهده ای سال های ۱۹۸۰ الی ۲۰۲۰ خشک ترین وضعیت و سال های ۲۰۰۰ و ۱۹۸۵ مرطوب ترین سال است. همچنین ۱۶ سال نرمال، ۸ سال خشک سالی شدید، ۳ سال ترسالی حاد، و ۱۴ سال ترسالی خفیف تا متوسط دارد.

با استفاده از خروجی های هر سه مدل GFDL-CM3, MPI-ESM-MR, MIROC5 تحت سناریوهای RCP85 و RCP45 تا سال ۲۱۰۰ مقدار شاخص SPI محاسبه و نمودار مربوط به این

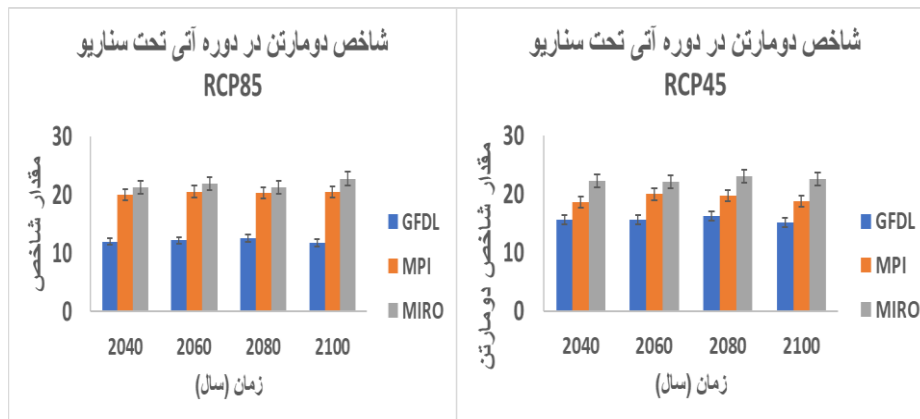
شاخص برای دوره پایه و دوره پیش‌بینی شده تا سال ۲۱۰۰ رسم شد. با توجه به شکل‌های ۹ و ۱۰ و جدول ۲ (مقیاس‌های طبقه شاخص SPI) تا سال ۲۱۰۰ متوسط بارندگی کرمانشاه کاهش می‌یابد. در نتیجه مقادیر منفی شاخص SPI نیز زیاد می‌شود. در کرمانشاه تعداد سال با بارندگی نرمال کاهش و در مقابل سال‌های خشک افزایش می‌یابد. بنابراین، با توجه به افزایش دما و کاهش بارندگی پیشنهاد می‌شود از الگوی کشت با نیاز آبی کم و سازگار با تغییرات اقلیمی استفاده شود.

نتایج حاصل از شاخص دو مارتن

در این پژوهش با استفاده از خروجی‌های هر سه مدل GFDL-CM3, MPI-ESM-MR, MIROC5 تحت سناریوهای RCP45 و RCP85 تا سال ۲۱۰۰ مقدار شاخص دو مارتن برای کرمانشاه محاسبه شد. نتایج نشان داد بر اساس مدل‌های MPI-ESM-MR و MIROC5 با هر دو سناریو تا سال ۲۱۰۰ مقدار این شاخص روند نزولی دارد و اقلیم شهر کرمانشاه به دلیل کاهش بارندگی و افزایش متوسط دما از مدیترانه‌ای به نیمه‌خشک تغییر می‌کند. اما مطابق مدل GFDL-CM3 مقدار شاخص دو مارتن کمتر خواهد شد و حتی در بعضی سال‌ها مقدار این شاخص به زیر ۱۰ خواهد رسید؛ یعنی به شرایط خشک نزدیک خواهد شد. نمودار روند شاخص دو مارتن بر اساس همه مدل‌ها با هر دو سناریو در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است.



شکل ۶. شاخص دو مارتن در دوره مشاهده شده (۱۹۸۰ - ۲۰۲۰)



شکل ۷. شاخص دو مارتن در دوره پیش‌بینی‌شده شهر کرمانشاه تحت سناریوهای RCP85 و RCP45

نتایج مقایسه میزان تغییرات اقلیمی شهر کرمانشاه با توجه به شاخص دو مارتن تا سال ۲۱۰۰ در جدول ۱۰ ارائه شده است.

جدول ۱۰. وضعیت اقلیمی شهر کرمانشاه تا سال ۲۱۰۰ بر اساس شاخص دو مارتن

سناریو	نام مدل	تعداد سال‌های خشک	تعداد سال‌های نیمه‌خشک	تعداد سال‌های مدیترانه‌ای	تعداد سال‌های نیمه مرطوب	تعداد سال‌های مرطوب
RCP45	GFDL	۳	۷۰	۱۰	۰	۰
	MPI	۰	۴۷	۲۵	۸	۰
	MIRO	۰	۲۵	۲۴	۲۲	۸
RCP85	GFDL	۱۷	۶۳	۰	۰	۰
	MPI	۰	۳۴	۲۶	۹	۳
	MIRO	۰	۲۸	۲۷	۲۰	۴

بر اساس شاخص دو مارتن در مدل GFDL تحت سناریوی RCP85 تغییر اقلیم شهر کرمانشاه از مدیترانه‌ای به نیمه‌خشک و حتی گاهی خشک پیش‌بینی می‌شود و میزان تغییر اقلیم نسبت به سایر مدل‌ها بیشتر ارزیابی شده است. اما در مقابل مدل MIRO تحت سناریوی RCP45 نسبت به

سایر مدل‌ها خوشبینانه‌تر عمل کرده و مطابق این مدل تا سال ۲۱۰۰ اقلیم کرمانشاه اندکی به سمت نیمه‌خشک تغییر خواهد کرد و با پدیده خشکی مواجه نخواهد شد. همچنین نتایج نشان داد با توجه به اینکه متوسط دما و بارش پارامترهای شاخص دو مارتن است، تغییر در هر یک از این‌ها سبب تغییر در مقدار این شاخص می‌شود. از آنجا که مطابق جدول ۶ تغییرات مقدار متوسط دمای سالیانه نسبت به مقدار بارش سالیانه تا سال ۲۱۰۰ بیشتر است پارامتر دما بر میزان تغییرات دو مارتن مؤثرتر است. توصیه می‌شود با انجام دادن کارهای به موقع، مانند کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و استفاده از انرژی‌های پاک، از افزایش دما و گازهای گلخانه‌ای جلوگیری شود تا آثار مخرب تغییرات اقلیمی به حداقل برسد.

نتیجه

در این تحقیق به کمک مدل ریزمقیاس LARS-WG و با استفاده از سه زیرمدل GFDL-CM3, MPI-ESM-MR, MIROC5 تحت سناریوهای RCP45 و RCP85 برای دوره ۲۰۲۰ تا ۲۱۰۰ با دوره پایه ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ به پیش‌بینی اقلیم شهرستان کرمانشاه پرداخته شد و جهت صحت‌سنجی مدل‌های انتخاب‌شده از پارامترهای آماری R^2 , RMSE, MSE, MAD بهره برده شد. نتایج نشان داد مدل LARS-WG قابلیت لازم جهت پیش‌بینی داده‌های اقلیمی در آینده را دارد و بین زیرمدل‌ها مدل MPI-ESM-MR تحت سناریوی RCP45 از ضریب اطمینان بالاتری نسبت به سایر زیرمدل‌های ارزیابی‌شده برخوردار است. طبق این مدل متوسط حداقل و حداکثر دمای کرمانشاه در سال‌های آتی حدود ۲/۵ و ۳/۵ درجه سانتی‌گراد زیاد و متوسط بارندگی ماهیانه تا سال ۲۱۰۰ حدود ۱/۵ میلی‌متر کم می‌شود. بیشترین بارش این شهرستان در ماه‌های JUL و MAY و MAR و Oct خواهد بود که با تغییر الگوی بارش نسبت به دوره پایه همراه است. خروجی همه مدل‌ها بیانگر افزایش حداقل و حداکثر دما و کاهش بارندگی در سال‌های آتی است. همچنین علاوه بر این تغییرات الگوی بارش نیز دچار تغییر خواهد شد؛ طوری که میزان بارش‌های بهاری نسبت به زمستانه بیشتر و طول فصل‌های سرد سال کوتاه‌تر و فصل‌های گرم بیشتر می‌شود. در پایان، شاخص‌های SPI و دو مارتن با استفاده از داده‌های خروجی مدل LARS-WG برآورد شد. مطابق هر دو شاخص، جز در بازه زمانی ۲۰۴۰ تا ۲۰۸۰، در بازه زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۱۰۰ مقادیر

خشک‌سالی شهرستان کرمانشاه افزایش می‌یابد. همچنین، جهت کنترل تغییرات اقلیمی اقدامات لازم- مانند کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی، استفاده از انرژی پاک، مدیریت صحیح، نظارت کامل- باید به‌موقع انجام شود تا آثار خطرناک تغییرات اقلیمی بر منابع طبیعی و انسان‌ها کنترل شود.

منابع

- آقاشاهی، محسن؛ مجتبی اردستانی؛ محمدحسین نیک‌سخن؛ بهشته طهماسبی (۱۳۹۱). «معرفی و مقایسه مدل‌ها به منظور ریزمقیاس‌سازی پارامترهای زیست‌محیطی در مطالعات تغییر اقلیم، ششمین SDSM و LARS-WG»، همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران، ۱۰.
- بیگلی، زینب؛ مجید منتصری؛ یدالله بلیانی؛ اسماعیل جوکار؛ علی بیات (۱۳۹۵). «پیش‌بینی تغییرات اقلیمی آذربایجان غربی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری خروجی مدل ۳HADM و ارزیابی اثرات آن بر خشک‌سالی استان»، اندیشه جغرافیا، ۸ (۱۵)، صص ۹۱ - ۱۱۳.
- جعفری گدنه، میثم؛ علی سلاجقه؛ پارسا حقیقی (۱۳۹۹). «پیش‌بینی مقایسه‌ای بارش و دمای شهرستان کرمان با استفاده از مدل‌های LARS-WG6»، اکوهیدرولوژی، ۷ (۲)، صص ۲۹ - ۵۳۸.
- جهانگیر، محمدحسین؛ مریم جهان‌پناه؛ مهناز ابوالقاسمی (۱۳۹۹). «پیش‌بینی وضعیت خشک‌سالی برای دوره‌های آبی با استفاده از مدل LARS-WG (مطالعه موردی: ایستگاه شیراز)»، محیط زیست و مهندسی آب، ۶ (۱)، صص ۶۹ - ۸۲.
- زهره‌وندی، حسن؛ حسن خورشیددوست؛ بهروز ساری‌صراف (۱۳۹۹). «پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در غرب ایران با استفاده از ریزمقیاس‌گردانی خروجی مدل ۳HadCM تحت سناریوهای مختلف»، تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۱ (۹۹)، صص ۴۹ - ۶۴.
- شائمی، اکبر؛ مجید حبیبی نوخندان (۱۳۸۸). گرمایش جهانی و پیامدهای زیستی اکولوژیکی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- قضاوی، رضا؛ میثم ندیمی؛ ابراهیم امیدوار؛ رسول ایمانی (۱۳۹۷). «بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی آینده بر تغییرات دبی رودخانه هروچای اردبیل با استفاده از مدل‌های SWAT و LARS-WG»، هیدروژئومورفولوژی، ۵ (۱۵)، صص ۵۴ - ۷۹.

References

- Aghashahi, M., Ardestani, M., Niksokhan, M.H., & Tahmasbi, B. (2014). "Introduction and comparison of SDSM and LARS-WG models for down scaling of ecosystem parameters in climate change studies", *Sixth National Conference and Specialized Exhibition of Environmental Engineering*, Tehran, pp. 10-16. (in Persian)
- Beigli, Z., Montaseri, M., Balyani, Y., Jokar, E., & Bayat, A. (2017). "West Azerbaijan's

- Climate Changes Predict using exponential statistical Downscaling, HADCM3 model's output and evaluation of its effects on drought", *Geographic Thought*, 8 (15), pp. 91-113. (in Persian)
- Dunne, JP., John, JG., Adcroft, AJ., Griffies, SM., Hallberg, RW., Shevliakova, E., Stouffer, RJ., Cooke, W., Dunne, KA., Harrison, MJ., & Krasting, JP. (2012). "GFDL's ESM2 global coupled climate-carbon earth system models. Part I: Physical formulation and baseline simulation characteristics", *Journal of climate*, (25) 19, pp. 6646-65.
- Gaitán, E., Monjo, R., & Pórtolos. J. (2019). "Pino-Otín MR Projection of temperatures and heat and col waves for Aragón (Spain) using a two-ste statistical downscaling of CMIP5 model outputs. *Science of the Total Environment*", 10, pp. 650: 2778-95.
- Ghazavi, R., Nadimi, M., Omidvar, E., & Imani, R. (2018). "The Study of the Effects of the Future Climate Change on Discharge Variation of the Herochay River using SWAT and LARS-WG", *Hydrogeomorphology*, 5 (15), pp. 54-79. (in Persian)
- IPCC. (2001). in: Watson, R.T., Zinyowera, M.C., Moss, R.H., & Dokken, D.J. (Eds.), *Special Report on The Regional Impacts of Climate Change: An Assessment of Vulnerability*, Cambridge University Press, UK. 517 p.
- (2007). Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., & Miller, H.L. (eds.) (2007). Summary for Policymakers, in: *Climate Change, Climate Change: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, 996 p.
- Jafary, G., Salajeghe, A., & Haghighi, P. (2020). "Forecast Comparative of Rainfall and Temperature in Kerman County Using LARS-WG6 Models", *Iranian journal of Ecohydrology*, 7 (2), pp. 529-538. (in Persian)
- Jahangir, M., Jahanpanah, M., & Abolghasemi, M. (2020). "Drought Forecasting for Future Periods Using LARS-WG Model (Case Study: Shiraz Station)", *Environment and Water Engineering*, 6 (1), pp. 69-82. (in Persian)
- Latifi, M., Zakeri, N, M., & Moazemi, G. S. (2020). "The effect of climate change on climate parameters of Takab and Saghez stations in Zarrinehroud Basin via LARS-WG", *Water Resources Engineering*, 12 (43), pp. 37-48. (in Persian)
- Lin, J.Y., Cheng, C.T., Chau, K.W. (2006). "Using support vector machines for long-term discharge prediction", *Hydrological Science Journal*, 51, pp. 599-612.
- Moss, RH., Edmonds, JA., Hibbard, KA., Manning, MR., Rose, SK., Van Vuuren, DP., Carter, TR., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., & Meehl, GA. (2010). "The next generation of scenarios for climate change, research and assessment", *Nature*, (463) 742, pp. 56.
- Raddatz, TJ., Reick, CH., Knorr, W., Kattge, J., Roeckner, E., Schnur, R., Schnitzler, KG., Wetzal, P., & Jungclaus, J. (2007). "Will the tropical land biosphere dominate the climate-carbon cycle feedback during the twenty-first century?", *Climate Dynamics*, Nov. 1, 29 (6), pp. 565-574.
- Sarkar, J. & Chicholikar, JR. (2015). "Climate change scenario in the Gujarat region, Analyses based on LARS-WG model", *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, 12, pp. 31-41.
- Semenov, M.A. & Barrow, E. M. (2008). A stochastic weather generator for use in climate

- impact studies, User's manual, Version 3.0.
- Shagega, FP., Munishi, SE., Kongo, VM. (2019). "Prediction of future climate in Ngerengere river catchment", Tanzania, Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C. (1) 112, pp. 200-209.
- Watanabe, M., Suzuki, T., O'ishi, R., Komuro, Y., Watanabe, S., Emori, S., Takemura, T., Chikira, M., Ogura, T., Sekiguchi, M., & Takata, K. (2010). "Improved climate simulation by MIROC5: mean states, variability, and climate sensitivity", *Journal of Climate*, (23) 23, pp. 6312-3.
- Won, J., Moradkhani, H., & Chang, H. (2012). "Uncertainty assessment of climate change impacts for hydrological distinct river basins", *Journal of Hydrology*, (466), pp. 73-87.
- Zhang, H., Wang, B., Li Liu, D., Zhang, M., Feng, P., Cheng, L., Yu, Q., & Eamus, D. (2019) "Impacts of future climate change on water resource availability of eastern Australia: A case study of the Manning River basin", *Journal of hydrology*, (1) 573, pp. 49-59.
- Zohrevandi, H., Khorshiddost, H., & Sari saraf, B. (2019). "Predicting Climate Change in Western Iran Using HADCM3 Model Output down scaling Under Different Scenarios, model's output and evaluation of its effects on drought", *Journal of Spatial Analysis Environmental hazards*, 1 (99), pp. 49-64. (in persian)