

Spatial analysis of observed Precipitation in Fars province and its projection using CanESM5 climate model output

Asadi, A.¹  | Sanaei-Nejad, S.H.² 

1. PhD Student of Agricultural Meteorology, Water Science and Engineering Dept., Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

2. Professor of Agricultural Meteorology, Water Science and Engineering Dept., Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

Corresponding Author E-mail: sanaein@gmail.com

(Received: 01 Sep 2024, Revised: 04 Jan 2025, Accepted: 04 Jan 2025, Published online: 09 Apr 2025)

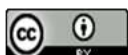
Abstract

Fars province is one of the agricultural hubs of the country, due to the dependence of its water resources on annual precipitation, the change of precipitation regime can impact the pattern of cultivation and production in this province. This research intends to investigate and analyze the trend of spatial and temporal changes in precipitation in Fars province during the thirty-year period (1985-2014), using one of the CMIP6 climate models (namely CanESM5) under SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 and SSP5-8.5 scenarios to project the annual and monthly changes of precipitation in the coming decades (2026-2096). To carry out this research, the monthly and annual precipitation of the Fars province synoptic stations and the data of the CanESM5 climate model, which is one of the most widely used global atmospheric general circulation model, were used. The results showed that there is a possibility of an increase in the annual precipitation of Fars province in all scenarios; Thus, the SSP126 scenario projected the least increase and the SSP370 scenario predicted the highest increase in precipitation compared to the base period. Accordingly, it was estimated that the increasing trend of projected precipitation will be insignificant under the SSP126 scenario, but will be significant under the other scenarios. Also, the examination of the monthly precipitation regime of Fars province showed that in almost all SSP scenarios, there is a decrease in precipitation in the relatively hot months of the year, i.e. August, September or October, and in the case of the SSP126 and SSP245 scenarios, a decrease in precipitation in the early months of the year (January and February) is also predicted. On the other hand, a probable increase in the spring precipitation of Fars province was predicted, compared to the base period and in all scenarios, as well. The results of this research indicate the necessity of planning to make maximum use of the changes in the monthly precipitation regime of Fars province for spring crops and observing the necessary precautions and measures for autumn crops and considering the possibility of a decrease in autumn precipitation of this province. In addition, it is suggested that future studies utilize a variety of GCM models and different downscaling methods to quantize the uncertainties in precipitation projections arising from three sources: the model, the downscaling method, and the emission scenarios.

Keywords: CMIP6, SSP scenarios, precipitation regime, Fars province, Mann-kendall test, Sens slope Estimate

Cite this article: Asadi, A. and Sanaei Nejad, S. H. (2025). Spatial analysis of observed Precipitation in Fars province and its projection using CanESM5 climate model output. Journal of the Nivar, 49(128-129), 68-79. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2025.476368.1307>

E-mail: (1) aliarash_asadi@yahoo.com



تحلیل مکانی بارش مشاهداتی استان فارس و پیش‌نگری آن با استفاده از برون‌داد مدل اقلیمی CanESM5

علی اسدی^۱ | سیدحسین ثنائی‌نژاد^۲ ✉

۱. دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، دانشکده علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

۲. استاد گروه هواشناسی کشاورزی، دانشکده علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

رایانامه نویسنده مسئول: sanaein@gmail.com

(دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۱۱، بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۱۵، پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۵، انتشار آنلاین: ۱۴۰۴/۰۱/۲۰)

چکیده

استان فارس یکی از قطب‌های کشاورزی کشور است که بدلیل وابستگی منابع آبی آن به بارش‌های سالانه، تغییر رژیم بارش‌ها می‌تواند الگوی کشت و تولید محصول در این استان را دستخوش تغییر کند. این پژوهش در نظر دارد تا ضمن بررسی و تحلیل روند تغییرات مکانی و زمانی بارش‌های استان فارس طی دوره سی ساله (۱۳۹۳-۱۳۶۴ شمسی)، با بکارگیری یکی از مدل‌های اقلیمی CMIP6 و تعدادی از سناریوهای اقتصادی اجتماعی SSP اقدام به تحلیل روند تغییرات سالانه و ماهانه بارش‌ها در دهه‌های آتی (۱۴۷۵-۱۴۰۵ شمسی) بپردازد. برای انجام این پژوهش از آمار بارش ایستگاه‌های سینوپتیک استان فارس و داده‌های مدل اقلیمی CanESM5 بعنوان یکی از پرکاربردترین مدل‌های جهانی گردش عمومی استفاده شد. نتایج نشان داد که احتمال افزایش بارش سالانه استان فارس در همه سناریوها وجود دارد؛ بطوری که سناریوی SSP1-2.6 کمترین افزایش و سناریوی SSP3-7.0 بیشترین افزایش بارش نسبت به دوره پایه را پیش‌نگری کرده‌اند. بر این اساس، مشخص گردید که روند افزایشی بارش‌های پیش‌نگری شده طبق سناریوی SSP126 غیرمعنی‌دار، ولی طبق سایر سناریوها معنی‌دار خواهد بود. همچنین، بررسی رژیم ماهانه بارش‌های استان فارس، نشان داد که تقریباً در همه سناریوهای SSP، کاهش بارش در ماه‌های نسبتاً گرم سال یعنی آگوست، سپتامبر و یا اکتبر وجود دارد و در مورد سناریوهای SSP1-2.6 و SSP2-4.5 کاهش بارش در ماه‌های آغازین سال میلادی (ژانویه و فوریه) نیز پیش‌نگری شده است. در مقابل، در همه سناریوها افزایش محتمل بارش‌های بهاره استان فارس نسبت به دوره پایه پیش‌نگری شد. نتایج این پژوهش بیانگر ضرورت برنامه‌ریزی برای استفاده حداکثری از تغییرات رژیم بارش ماهانه استان فارس برای کشت‌های بهاره و رعایت احتیاط و تدابیر لازم برای کشت‌های پاییزه و در نظر داشتن احتمال کاهش بارش‌های پاییزه در این استان می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: مدل‌های CMIP6، سناریوهای SSP، بارش، استان فارس، من‌کندال، شیب سن

۱. مقدمه

تهدید بوده و متاثر از پدیده تغییر اقلیم و بویژه تغییرات بارش باشند. در واقع در دهه‌های اخیر، منابع آب زیرزمینی و سطحی کشور تحت تاثیر توزیع نامناسب مکانی و زمانی و روند کاهشی بارش‌ها در اقصی نقاط قرار داشته و این مساله (بحران آب) بعنوان یکی از مهمترین مسائل و دغدغه‌های کلان کشور شناخته شده که بخش‌هایی نظیر کشاورزی،

میانگین درازمدت بارش کشور ۲۴۳ میلی‌متر و پتانسیل تبخیر در حدود ۲۰۰۰ میلی‌متر می‌باشد که به ترتیب یک سوم و سه برابر میانگین جهانی است (عباسی و همکاران، ۱۳۹۶). این دو موضوع (بارش کم و تبخیر زیاد) سبب می‌شوند تا منابع آبی کشور - که عمدتاً زیرزمینی هستند - همواره در معرض

استناد: اسدی، علی؛ و ثنائی‌نژاد، سید حسین. (۱۴۰۴). تحلیل مکانی بارش مشاهداتی استان فارس و پیش‌نگری آن با استفاده از برون‌داد مدل اقلیمی CanESM5. مجله نیوار،

DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2025.476368.1307> ۶۸-۷۹، (۱۲۸-۱۲۹) ۴۹

رایانامه: (۱) aliarash_asadi@yahoo.com



گرفته و در یک فضای سه بعدی در سطح کره زمین حل می‌کنند. از دهه ۱۹۹۰ تا کنون نسخه‌های مختلفی از این مدل‌ها توسط کشورهای مختلف ارائه شده است. بمنظور مقایسه بین مدل‌های AOGCM ارائه شده توسط کشورها و تعیین مدل‌های مناسب برای کاربردهای عملی، از سال ۱۹۹۵ کارگروهی تحت عنوان گروه مدل‌های جفت شده (WGCM) تشکیل شده که در پروژه‌ای تحت عنوان CMIP مدل‌های AOGCM را مورد ارزیابی قرار می‌دهند (بابائیان و همکاران، ۱۳۹۸). در سال ۲۰۱۶ میلادی، داده‌های آخرین مدل‌های اقلیمی یعنی CMIP6 منتشر شدند. جدیدترین مدل‌های موجود AOGCM مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. برای تصویرسازی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آتی توسط مدل‌های AOGCM نیاز به سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای تا سال ۲۱۰۰ (و یا بیش از آن) می‌باشد. تا کنون چهار سری از سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای ارائه شده است. سری IS92 با شش سناریو (لگت و همکاران، ۱۹۹۲) که در گزارش دوم IPCC مورد استفاده قرار گرفته‌اند، سری SRES با ۴۰ سناریو (ناکینسونویچ و همکاران، ۲۰۰۰) که در سومین گزارش IPCC مورد استفاده قرار گرفتند، سری RCP با چهار سناریو (مینشوسن و همکاران، ۲۰۱۱) و نهایتاً جدیدترین سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای تحت عنوان سناریوهای SSP می‌باشند که در سال ۲۰۲۰ ارائه شدند. سناریوهای SSP بر پایه پنج گزینه مختلف اقتصادی و اجتماعی توسعه یافته‌اند که شامل توسعه پایدار (SSP1)، رقابت منطقه‌ای (SSP3)، نابرابری (SSP4)، توسعه سوخت فسیلی (SSP5) و پروژه انرژی پایدار (SSP2) که مورد آخر به سناریوی میانه راه معروف می‌باشد (احمدی و محمدی‌مهر، ۱۴۰۳). یکی از مهمترین متغیرهای اقلیمی که در اثر پدیده تغییر اقلیم ممکن است رژیم زمانی و مکانی آن تغییر کند، بارش می‌باشد که تحقیقات زیادی نیز روی پیش‌نگری بارش انجام شده است. بعنوان مثال، بابائیان و همکاران (۱۴۰۳) برای پیش‌نگری بارش ایران از سال ۲۰۲۶ تا ۲۰۷۵ تحقیقی انجام دادند و همچنین زرین و همکاران (۱۴۰۱) پیش‌نگری شدت بارش در ایران تا سال

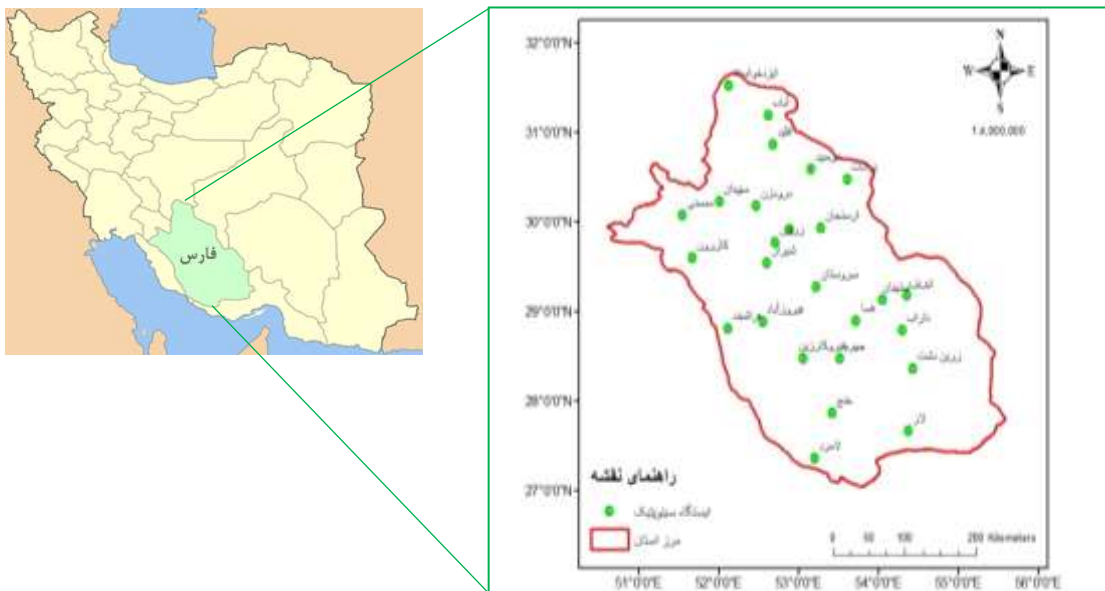
صنعت، شرب و بهداشت را تحت تاثیر مستقیم خود قرار داده است. یکی از این مناطق، استان فارس در مرکز کشور است که فعالیت‌های اساسی آن من جمله کشاورزی وابسته به رژیم بارش‌های سالانه و تغذیه منابع آب زیرزمینی آن است؛ بطوری که کاهش بارش‌های سالانه تاثیر مستقیمی بر تولید محصولات کشاورزی بویژه گندم می‌گذارد. لازم به ذکر است که بخش کشاورزی استان فارس نقش اساسی در تولید اشتغال و امنیت غذایی کشور داشته و سهم عمده‌ای از تولید ناخالص ملی را به خود اختصاص می‌دهد؛ بطوری که حدود ۹ درصد ارزش افزوده بخش کشاورزی کشور مربوط به استان فارس است (مقام اول) و ۲۳ درصد از شاغلین این استان در بخش کشاورزی فعالیت دارند (آمارنامه بخش کشاورزی استان فارس، ۱۴۰۲). استان فارس از نظر سطح زیر کشت محصولات سالانه کشور در رتبه دوم و در زمینه سطح زیر کشت محصولات دائمی رتبه سوم را به خود اختصاص داده است. در خصوص تولید محصولات باغی و زراعی نیز استان فارس از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است؛ بطوری که با تولید حدود ۹ درصد از محصولات زراعی کشور در جایگاه دوم قرار داشته و با تولید حدود ۱۶ درصد از محصولات باغی کشور، رتبه اول را به خود اختصاص داده است (آمارنامه بخش کشاورزی استان فارس، ۱۴۰۲). در حال حاضر، سالیانه حدود ۷ میلیارد متر مکعب آب در بخش کشاورزی استان فارس مصرف می‌گردد که ۸۵ درصد آن از آب‌های زیرزمینی تامین می‌شود (شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان فارس، ۱۴۰۲). در حال حاضر معتبرترین ابزار جهت تصویرسازی پدیده تغییر اقلیم در سال‌های آتی، استفاده از مدل‌های AOGCM است. این مدل‌ها در دهه ۶۰ میلادی برای اولین بار توسط فردی بنام فیلیپس معرفی و ارائه گردیدند (یوسف‌دوست و همکاران، ۲۰۱۷). در واقع این مدل‌ها بر اساس سناریوهای مختلف، برای شبیه‌سازی اثر گازهای گلخانه‌ای بر اقلیم حاضر کره زمین توسعه داده شده‌اند و قادرند تغییرات اقلیمی آینده را شبیه‌سازی کنند. این مدل‌ها تمامی روابط فیزیکی حاکم بر اجزاء سیستم اقلیم کره زمین شامل جو کره، یخ کره، زیست کره و آب کره را در نظر

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در استان فارس واقع در جنوب غرب کشورمان انجام شده است (شکل ۱). استان فارس بین عرض‌های جغرافیایی ۲۷ تا ۳۱ درجه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۵۰ تا ۵۵ درجه شرقی قرار گرفته از شمال به استانهای اصفهان و یزد، از غرب به استانهای بوشهر و کهگیلویه و بویر احمد، از جنوب به استان هرمزگان و از شرق به استان کرمان محدود است. وسعت استان فارس بالغ بر ۱۲۲ هزار کیلومتر مربع بوده که معادل ۷/۵ درصد از مساحت کل کشور می باشد.

۲۱۰۰ را با به کارگیری مدل اقلیمی و استفاده از داده‌های مقیاس گاهی شده، تحقیقاتی در قالب پژوهشی انجام دادند. ثبوتی و همکاران (۱۳۹۴) نیز به پیش‌نگری دما و بارش ایران از سال ۲۰۱۰ تا سال ۲۰۳۰ همت گماشته‌اند. با توجه به اهمیت بارش در استان فارس و نقش آن در تولیدات کشاورزی و لزوم برنامه‌ریزی و پیش‌نگری اثرات تغییر اقلیم بر روی بارش‌های سالانه، این پژوهش نیز در نظر دارد که به ارزیابی و تحلیل مکانی بارش‌های استان فارس تحت تاثیر پدیده تغییر اقلیم در دهه‌های آتی به کمک نتایج داده‌های مدل اقلیمی CanESM5 بعنوان یکی از مدل‌های سری CMIP6 که از جدیدترین سری مدل‌های جوی - اقیانوسی عمومی یا AOGCM شناخته می‌شود، بپردازد.



شکل ۱- موقعیت قرارگیری استان فارس بر روی نقشه کشوری همراه با موقعیت مکانی ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک

گرفته و با فعال شدن بر روی دریای سرخ، استان فارس را تحت تأثیر قرار داده و باعث بارش در بیشتر نقاط استان می‌گردد؛ سوم توده هوای گرم عربستان که در فصل تابستان از سمت شبه جزیره عربستان به سمت استان وزیده و باعث گرما، ورود ذرات گرد و خاک به استان و کوتاه شدن دوره فصل بهار می‌گردد (حاتمی بهمن‌بیگلو و خوشحال دستجردی، ۱۳۸۹).

استان فارس از نظر اقلیمی دارای تنوع زیادی است؛ بطوری که در نقاط مختلف این استان سه نوع آب و هوای کوهستانی، معتدل و گرم وجود دارد. بطور کلی، سه توده هوای مختلف، استان فارس را تحت تأثیر قرار می‌دهند. اول توده هوای مدیترانه‌ای که دریای مدیترانه به سمت کوه‌های زاگرس آمده و موجب بارش‌هایی به صورت برف (در مناطق مرتفع شمالی و شمال باختر) و باران می‌شوند؛ دوم توده هوای سودانی که در فصل زمستان از مرکز کم‌فشار سودان شکل

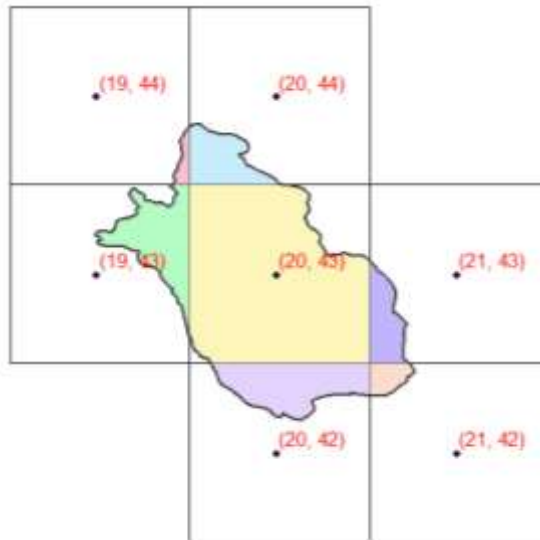
۲-۲. داده‌ها و روش کار

فعالیت‌های این پژوهش مشتمل بر تهیه داده‌های بارش ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک استان، تهیه داده‌های مدل‌های جهانی جوی-اقیانوسی AOGCM از مجموعه مدل‌های اقلیمی استفاده شده در گزارش ششم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (CMIP6) و دانلود آن‌ها از سایت esgf (از جمله <https://wcrp-cmip.org/nodes>)، استخراج داده‌های بارش از مجموعه داده‌های CMIP6 به کمک نرم‌افزار R و پکیج netcdf4 و نهایتاً ارزیابی تغییرات بارش استان فارس در دهه‌های آتی طبق تاثیر سناریوهای مختلف SSP می‌باشد. بنابراین، آمار مکانی بارش استان فارس در دوره پایه (۱۳۹۳-۱۳۶۴ شمسی) و همچنین داده‌های بارش دوره‌های آتی مدل‌های سری CMIP6 از مهمترین داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز برای انجام این پژوهش می‌باشد. داده‌های بارش دوره پایه منطبق بر دوره تاریخی تعریف شده برای مدل‌های CMIP6 یعنی بازه زمانی ۲۰۱۴-۱۹۸۵ میلادی (مصادف با سالهای ۱۳۶۴ لغایت ۱۳۹۳ شمسی) بوده است. برای سالهای فاقد آمار در تعدادی از ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک استان فارس، اقدام به بازسازی آمار سال‌های مذکور از طریق تعیین بهترین رابطه رگرسیون با نزدیکترین ایستگاه هواشناسی معتبر به آن نقطه گردید. بدین ترتیب، داده‌های بارش دوره پایه مربوط به ایستگاه‌های مختلف استان فارس بصورت سری زمانی تهیه شدند. جهت بررسی روند تغییرات سالانه بارش‌ها (تعیین روند افزایشی یا کاهش‌ی سری زمانی)، از آزمون ناپارامتریک من‌کندال ۱ و تخمین شیب سن ۲ بعنوان یکی از روش‌های مناسب در این زمینه استفاده شد. در این روش، پارامترهای Q و B برای روند تغییرات سری زمانی مورد مطالعه محاسبه می‌شوند. منظور از Q شیب خط و منظور از B عرض از مبدا خط روند می‌باشد. شیب خط (Q) بصورت حد بالا و حد پایین (Qmin) و Qmax) و برای سطح اطمینان ۹۹ درصد (Qmin99) و Qmax99) و سطح اطمینان ۹۵ درصد (Qmin95) و

Qmax95) نیز محاسبه می‌شود. اگر حد بالا و پایین Q هر دو مثبت باشند، فرض وجود روند افزایشی در آن پارامتر در سطوح اطمینان ۹۹ یا ۹۵ درصد ثابت می‌شود. اگر حد بالا و پایین Q هر دو منفی بدست آیند، فرض وجود روند کاهش‌ی در آن پارامتر در سطوح اطمینان ۹۹ یا ۹۵ درصد ثابت می‌شود و اگر حد بالا و پایین یکی مثبت و دیگری منفی باشد، فرض وجود روند در پارامتر مورد بررسی، تایید نمی‌گردد (روزبه و همکاران، ۱۳۹۵). در این پژوهش برای انجام آزمون من‌کندال و تخمین شیب سن، از نرم‌افزار MAKESENS استفاده شده است. در این نرم افزار، برای انجام آزمون من‌کندال به حداقل ۴ عدد و برای تخمین شیب سن به حداقل ۱۰ عدد بصورت سری زمانی پارامتر مورد بررسی (بارش) نیاز است. برای اخذ داده‌های CMIP6 مربوط به استان فارس، درگاه‌های اینترنتی مختلفی وجود دارند که یکی از کاربرپسندترین آن‌ها سایت esgf ۳ است. برای استخراج داده‌ها از این درگاه نیاز به ایجاد فیلترهای مختلف جهت عملیات جستجو می‌باشد که به ترتیب از فیلترهای Source, Frequency, Experimental ID, Variable, Variant Label, ID استفاده شده است. فیلتر Variable ID برای انتخاب متغیر مورد نظر و مشخصاً بارش (pr)، فیلتر Experimental ID برای انتخاب نوع داده شامل تاریخی (historical) و یا آینده (ssp)، فیلتر Frequency برای انتخاب بازه زمانی مورد نظر مثلاً ماهانه، فیلتر Source ID برای انتخاب مدل مورد نظر مثلاً AOGCM مدل CanESM5 و فیلتر Variant Label برای انتخاب آنسامبل مورد نظر کاربرد دارد. پس از دانلود فایل‌های مورد نظر، داده‌های منطقه مورد مطالعه (استان فارس) از داخل انبوهی از داده‌های اقلیمی CanESM5 استخراج شدند. این کار به کمک نرم‌افزار حد واسط آماری R نسخه 3.6.1 و از بسته تخصصی بنام netcdf4 انجام شد. با توجه به گستردگی استان فارس در ۷ سلول مختلف از داده‌های مدل CanESM5 (شکل ۲)، ابتدا داده‌های بارش مربوط به تمامی

مدل CanESM5 مقیاس‌گاهی شود. همانطوری که قبلاً اشاره شد، برای پیش‌نگری متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آتی توسط مدل اقلیمی CanESM5 نیاز به سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای برای دهه‌های آتی می‌باشد که برای این تحقیق، از جدیدترین سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای با عنوان سناریوهای SSP استفاده شده است. سناریوهای SSP بر پایه پنج گزینه مختلف اقتصادی و اجتماعی توسعه یافته‌اند که شامل توسعه پایدار (SSP1)، رقابت منطقه‌ای (SSP3)، نابرابری (SSP4)، توسعه سوخت فسیلی (SSP5) و پروژه انرژی پایدار (SSP2) می‌باشند. مقیاس‌گاهی بر روی داده‌های بارندگی همه سناریوها انجام شد.

سلول‌های مذکور استخراج شدند و سپس با توجه به درصد مساحت اشغال شده توسط هر سلول، وزن‌دهی داده‌های هر سلول انجام گردید و نهایتاً میانگین وزنی بارش استان فارس بر اساس داده‌های مدل CanESM5 برای سال‌های مختلف آماری بدست آمد. برای مقیاس‌گاهی داده‌های اقلیمی از روش تناسبی (جونز و هولم، ۱۹۹۶) استفاده گردید. در این روش ابتدا ضرایب نسبت بارش ماهانه استان فارس در دوره پایه به بارش ماهانه مدل CanESM5 در دوره پایه برای هر یک از ماه‌های سال بصورت مجزا محاسبه شد. سپس ضریب هر ماه در مقادیر بارش همان ماه در دوره آتی مربوط به مدل CanESM5 ضرب گردید تا بارش‌های ماهانه دوره آتی



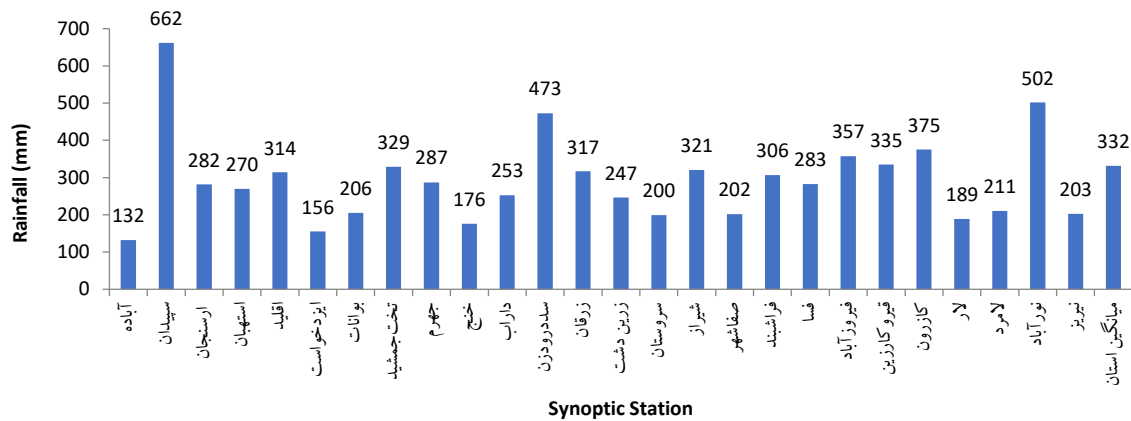
شکل ۲- نحوه قرارگیری سلول‌های مدل اقلیمی CanESM5 بر روی استان فارس

ایستگاه سپیدان (۶۶۲ میلیمتر) و کمترین بارش مربوط به ایستگاه آباده (۱۳۲ میلیمتر) بوده است. از لحاظ مکانی، بیشترین مقادیر بارش درازمدت در مناطق غربی و شمال غربی استان فارس (ایستگاه‌های سپیدان، ممسنی و درودزن) و کمترین مقادیر بارش درازمدت استان فارس در مناطق جنوبی، جنوب شرقی و نواحی محدودی از شمال استان به ثبت رسیده است. میانگین بارش استان در دوره پایه ۳۳۲ میلیمتر برآورد شد.

۳. نتایج و بحث

الف- تحلیل بارش استان در دوره مشاهداتی (۱۳۹۳-۱۳۶۴ شمسی):

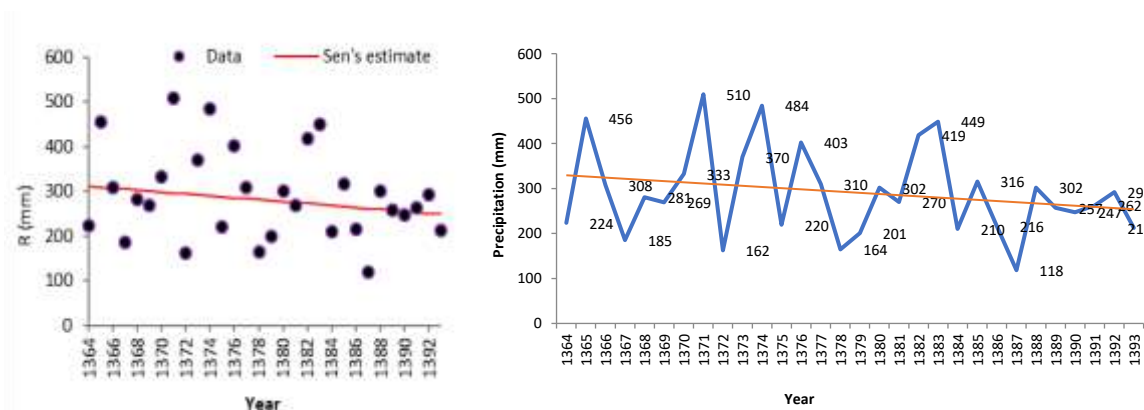
برای برآورد میانگین بارش سالانه استان فارس از روش روش تیسن استفاده شد. شکل ۳ میانگین بارش ایستگاه‌های مختلف استان را در دوره پایه ۱۳۹۳-۱۳۶۴ شمسی (معادل ۲۰۱۴-۱۹۸۵ میلادی) نشان می‌دهد. بیشترین بارش مربوط به



شکل ۳- میانگین بارش سالانه ایستگاه‌های مختلف استان فارس در دوره پایه (۱۳۶۴-۱۳۹۳ شمسی)

کاهش بارش‌ها طی دوره آماری پایه در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه استان فارس (بجز تعداد معدودی از ایستگاه‌ها) بود. شکل ۴-ب نتیجه آزمون من‌کنдал و شیب سن برای میانگین بارش استان فارس طی دوره پایه (۱۳۶۴-۱۳۹۳ شمسی) را نشان می‌دهد. همانطوری که ملاحظه می‌شود، شیب تغییرات میانگین بارش استان فارس منفی بوده و روند نزولی بارش طی دهه‌های ۶۰ تا ۹۰ شمسی اتفاق افتاده است. بر اساس آزمون Z که بیانگر شیب خط سن می‌باشد، مقدار آن برای میانگین بارش‌های استان فارس ۱/۱- بوده است.

شکل ۴-الف تغییرات میانگین بارش سالانه استان فارس در دوره پایه (۱۳۶۴-۱۳۹۳ شمسی) را نشان می‌دهد. این شکل بیانگر نوسانات بارش طی دوره آماری پایه است؛ بطوری که میانگین بارش در دهه‌های ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ به ترتیب برابر با ۲۸۷، ۳۱۶، ۲۸۶ و ۲۵۳ میلیمتر بوده است. در یک نگاه کلی، روند نزولی بارش طی دوره سی ساله قابل مشاهده می‌باشد. همچنین، این روند برای هر یک از ایستگاه‌های سینوپتیک به کمک آزمون ناپارامتریک من‌کنдал و تخمین گر شیب سن بررسی گردید. بطور کلی، برازش خط سن بر روی سری زمانی بارش‌های ایستگاه‌های مختلف استان فارس حاکی از



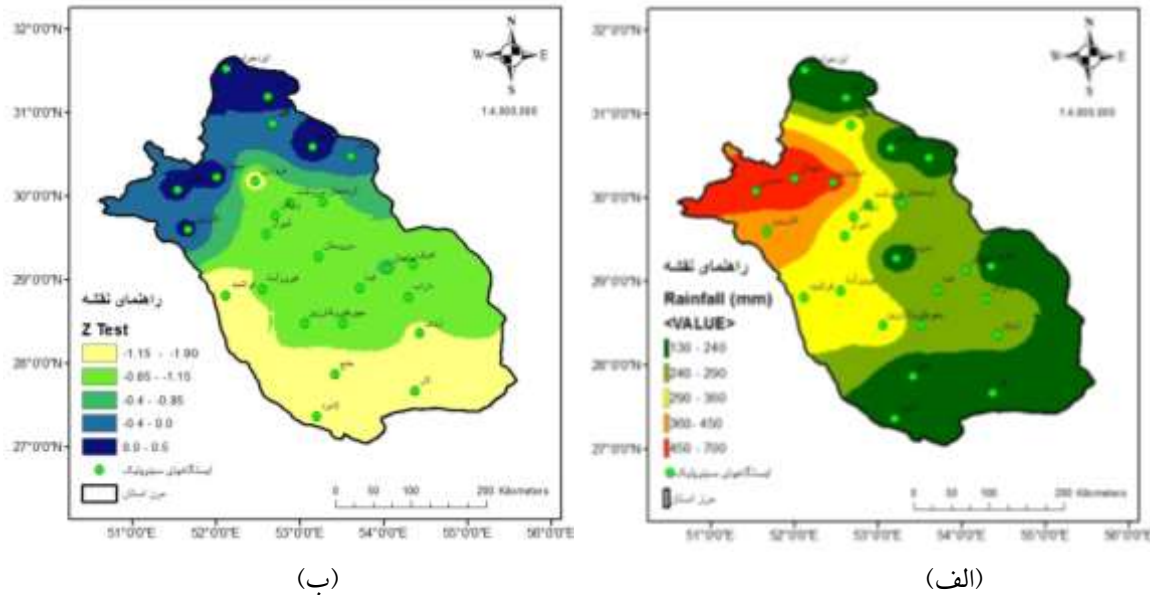
شکل ۴- تغییرات میانگین بارش سالانه استان فارس و نتیجه آزمون من‌کنдал و شیب سن برای میانگین بارش استان فارس در دوره پایه (۱۳۶۴-۱۳۹۳ شمسی)

کاهشی (-) یا افزایشی (+) بارش در دوره پایه (۱۳۶۴-۱۳۹۳ شمسی) می‌باشد. همانطوری که ملاحظه می‌گردد، نواحی جنوبی استان فارس، بیشتر تحت تاثیر پدیده تغییر اقلیم قرار

شکل ۵ نقشه پراکنش مکانی آزمون Z در استان فارس را نشان می‌دهد. این نقشه که یکی از مهمترین خروجی‌های این پژوهش محسوب می‌شود، نشان‌دهنده مناطق دارای روند

فارس، کمترین تاثیر را از تغییر اقلیم برای دوره آماری سی‌ساله مورد مطالعه (۱۳۹۳-۱۳۶۴ شمسی) داشته‌اند.

گرفته و روند کاهش بارش طی دوره آماری، شدیدتر از سایر مناطق استان فارس بوده است. نواحی شمالی و شمال غربی



شکل ۵- نقشه‌های میانگین بارش استان فارس (الف) و پراکنش مکانی نتیجه آزمون Z (ب) برای تشخیص مناطق دارای روند کاهشی (-) یا افزایشی بارش (+) طی دوره آماری پایه

اقلید، بوانات، مرودشت، جهرم، خنج، داراب، سد درودزن، زرقان، زرین‌دشت، سروستان، شیراز، فراشبند، فسا، فیروزآباد، قیر و کارزین، لار، لامرد و نیریز دارای روند منفی بارش در دوره پایه هستند. همچنین، بارش میانگین استان فارس در دوره پایه دارای روند منفی (نزولی) معنی‌دار می‌باشد. در این بین، روندهای مثبت و منفی بدست آمده برای ایستگاه‌های آباده، سپیدان، اقلید، ایزدخواست، بوانات، صفاشهر، کازرون و نورآباد در سطح ۵ درصد معنی‌دار نبوده و برای سایر ایستگاه‌ها معنی‌دار بوده است.

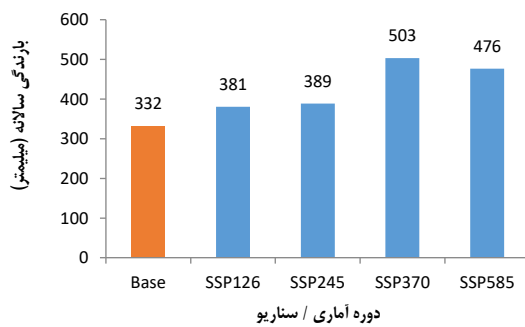
جدول شماره ۱ نتیجه بررسی روند افزایشی (+) یا کاهشی (-) بارش دوره آماری پایه برای ایستگاه‌های مختلف استان فارس را نشان می‌دهد. در این جدول، مقادیر Z (شیب خط سن) برای هر ایستگاه آورده شده و معنی‌داری روند بارش در سطح اطمینان ۹۵٪ (خطای ۵ درصد) مورد بررسی قرار گرفته است. مقادیر مثبت بیانگر روند افزایشی و مقادیر منفی Z بیانگر روند کاهشی بارش در دوره پایه است. بر این اساس، ایستگاه‌های آباده، سپیدان، ایزدخواست، صفاشهر، کازرون و نورآباد دارای روند مثبت و ایستگاه‌های ارسنجان، استهبان،

جدول ۱- روند تغییرات بارش (افزایشی/کاهشی-) بر اساس آزمون Z برای ایستگاه‌های مختلف استان فارس طی دوره آماری پایه

ایستگاه	روند	ایستگاه	روند	ایستگاه	روند
آباده	+0.2	خنج	-1.5*	فسا	-1.0*
سپیدان	+0.3	داراب	-1.1*	فیروزآباد	-1.1*
ارسنجان	-1.0*	سد درودزن	-1.4*	قیر و کارزین	-1.1*
استهبان	-0.8*	زرقان	-1.2*	کازرون	+0.1
اقلید	-0.1	زرین دشت	-1.2*	لار	-1.5*
ایزدخواست	+0.4	سروستان	-1.1*	لامرد	-1.2*
بوانات	-0.1	شیراز	-1.0*	نورآباد	+0.1
مرودشت	-1.1*	صفاشهر	+0.5	نیریز	-1.1*
جهرم	-0.9*	فراشبند	-1.9*	استان فارس	-1.1*

* معنی‌داری روند تغییرات بارش در سطح ۵ درصد

بطوری که سناریوی SSP1-2.6 کمترین افزایش و سناریوی SSP3-7.0 بیشترین افزایش بارش نسبت به دوره پایه را پیش‌نگری کرده‌اند. سناریوهای SSP1-2.6 و SSP3-7.0 به ترتیب به عنوان سناریوهای توسعه پایدار و رقابت منطقه‌ای شناخته می‌شوند. کمترین افزایش بارش‌ها در دوره آتی مربوط به دوره ۱۴۰۵-۱۴۲۵ شمسی و بیشترین افزایش بارش‌ها مربوط به دوره ۱۴۵۱-۱۴۷۵ شمسی می‌باشد.

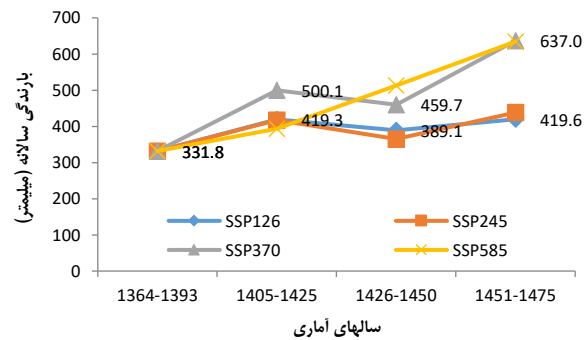


شکل ۶- پیش‌نگری بارش‌های سالانه استان فارس در دهه‌های آتی (۱۴۰۵-۱۴۷۵ شمسی) طبق تاثیر سناریوهای مختلف SSP

این جدول روند پیش‌نگری بارش دوره آماری ۱۴۰۵-۱۴۷۵ همگی افزایشی (+) بوده، لیکن طبق سناریوی SSP126 غیرمعنی‌دار بدست آمده ولی طبق سناریوی SSP245 در سطح ۵ درصد و طبق سناریوهای SSP370 و SSP585 در سطح ۱ درصد معنی‌دار خواهد بود.

ب- پیش‌نگری بارش استان فارس در دهه‌های آتی (۱۴۷۵-۱۴۰۵ شمسی):

شکل ۶ پیش‌نگری بارش سالانه استان فارس در دهه‌های آتی (۱۴۷۵-۱۴۰۵ شمسی) طبق سناریوهای مختلف SSP را در مقایسه با میانگین بارش دوره پایه (۱۳۹۳-۱۳۶۴ شمسی) نشان می‌دهد. همانطوری که ملاحظه می‌گردد، افزایش بارش سالانه استان فارس در همه سناریوها پیش‌نگری شده است؛



در جدول ۲ روند افزایشی (+) یا کاهش (-) بارش استان فارس برای دوره‌های آماری مختلف بر اساس آزمون Z (شیب خط سن) طبق تاثیر سناریوهای مختلف SSP نشان داده شده و معنی‌داری روند پیش‌نگری بارش‌ها در سطوح اطمینان ۹۵٪ (خطای ۵ درصد) و ۹۹٪ (خطای ۱ درصد) نیز مورد بررسی قرار گرفته است. بعنوان مثال، با توجه به ردیف آخر

جدول ۲- بررسی روند پیش‌نگری بارش استان فارس در دهه‌های آتی بر اساس آزمون Z (افزایشی/کاهش (-) طبق تاثیر سناریوهای مختلف SSP

سناریو				دوره آماری
SSP585	SSP370	SSP245	SSP126	
+1.33*	+1.61**	+0.3	-0.12	۱۴۰۵-۱۴۲۵
+0.01	+1.28*	-0.44	+1.52**	۱۴۲۶-۱۴۵۰
+1.19*	+0.26	+0.91*	-1.05*	۱۴۵۱-۱۴۷۵
+2.82**	+2.04**	+1.20*	+0.11	۱۴۰۵-۱۴۷۵

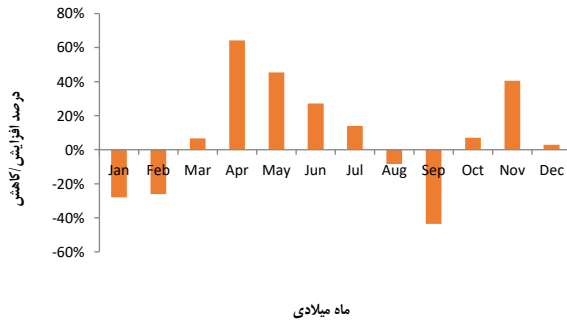
* معنی‌داری روند تغییرات بارش در سطح ۵ درصد ** معنی‌داری روند تغییرات بارش در سطح ۱ درصد

شکل ۷ به پیش‌نگری درصد تغییرات بارش ماهانه سالانه استان فارس در دهه‌های آتی (۱۴۰۵-۱۴۷۵ شمسی) طبق تاثیر

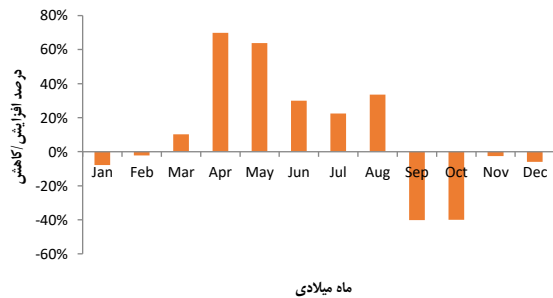
به منظور بررسی رژیم ماهانه بارش‌های استان فارس، اقدام به بررسی تغییرات آنها در هر یک از سناریوهای SSP شد.

روی افزایش بارش‌های بهاره (ماه‌های آپریل، می و ژوئن) و استفاده حداکثری از این موضوع برای کشت‌های بهاره حساب ویژه‌ای باز کرد. در مقابل، احتمال کاهش بارش‌های ماهانه اوایل فصل زمستان (ماه‌های ژانویه و فوریه) و همچنین اواخر تابستان و اوایل پاییز (سپتامبر و اکتبر) وجود دارد. در خصوص کاهش بارش ماه‌های سپتامبر و اکتبر بایستی به همزمانی این ماه‌ها با آغاز کشتهای پاییزه در استان فارس در شرایط فعلی توجه داشت و در صورت امکان با تعویق فصل کشت، روی بارش‌های پاییزه حساب کمتری باز نمود و با پیش‌بینی آبیاری تکمیلی کشت‌های دیم، از بروز خسارت به محصولات دیم جلوگیری بعمل آورد.

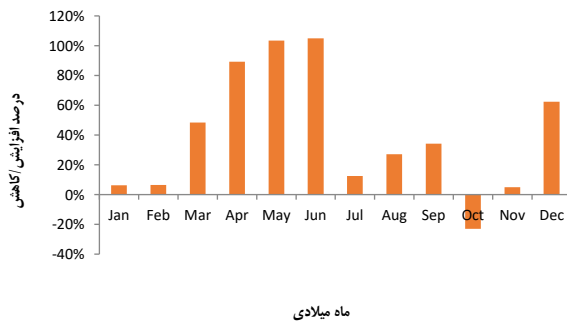
سناریوهای مختلف SSP پرداخته است. همانطوری که ملاحظه می‌گردد، تقریباً در همه سناریوهای SSP کاهش بارش در ماه‌های نسبتاً گرم سال یعنی آگوست، سپتامبر و یا اکتبر پیش‌نگری شده است. همچنین در مورد سناریوهای SSP1-2.6 و SSP2-4.5 کاهش بارش در ماه‌های آغازین سال میلادی (ژانویه و فوریه) نیز پیش‌نگری شده است. در مقابل، در همه سناریوها پیش‌نگری بارش ماه‌های مارس تا ژولای بصورت افزایشی است که بیانگر افزایش محتمل بارش‌های بهاره استان فارس نسبت به دوره پایه می‌باشد. تغییرات مذکور حاکی از تغییر رژیم بارش ماهانه استان فارس در دهه‌های آتی نسبت به دوره پایه می‌باشد؛ بطوری که میتوان



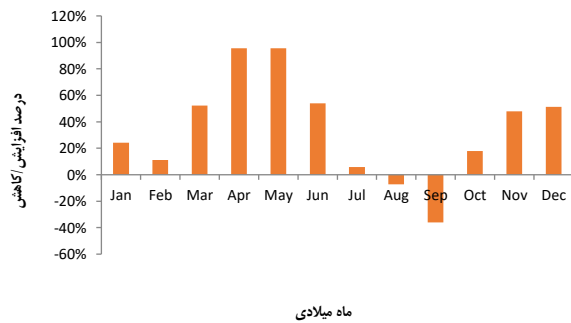
ب- سناریوی SSP2-4.5



الف- سناریوی SSP1-2.6



د- سناریوی SSP5-8.5



ج- سناریوی SSP3-7.0

شکل ۷- پیش‌نگری درصد تغییرات بارش‌های ماهانه استان فارس در دهه‌های آتی (۱۴۷۵-۱۴۰۵ شمسی) طبق تاثیر سناریوهای مختلف SSP

کمترین بارش‌ها در مناطق جنوبی، جنوب شرقی و نواحی کوچکی از شمال استان رخ داده است. همچنین بطور کلی، برآزش خط سن بر روی سری زمانی بارش‌ها حاکی از کاهش بارش‌ها طی دوره آماری پایه در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه استان فارس (بجز تعداد معدودی از ایستگاه‌ها) بود.

۴. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

بررسی پراکنش مکانی بارش ایستگاه‌های سینوپتیک استان فارس در دوره پایه (۱۳۹۳-۱۳۶۴ شمسی) نشان داد که بیشترین بارش‌ها در مناطق غربی و شمال غربی استان فارس (ایستگاه‌های اردکان سپیدان، نورآباد ممسنی و درودزن) و

برای استفاده حداکثری از تغییرات رژیم بارش ماهانه استان فارس برای کشت‌های بهاره و رعایت احتیاط و تدابیر لازم برای کشت‌های پاییزه و در نظر داشتن احتمال کاهش بارش‌های پاییزه در این استان می‌باشد. همچنین، به منظور برنامه‌ریزی‌های فوق، امکان بهره‌گیری از توانمندی‌های مدل اقلیمی CanESM5 و شبیه‌سازی بارش در دوره‌های آتی منطقه مطالعاتی وجود دارد. علاوه بر این، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده با بکارگیری انواع مدل‌ها و روش‌های مختلف مقیاس‌کاهی، عدم قطعیت‌های پیش‌نگری بارش ناشی از سه منبع مدل، روش مقیاس‌کاهی و سناریوی انتشار مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

۱. احمدی، م. محمدی مهر، ن. (۱۴۰۳). پیش‌نگری هواویزهای جنوب غرب آسیا براساس سناریوهای SSP مدل‌های CMIP6. پژوهشهای دانش زمین، 15(1)، 131-141. doi: 10.48308/esrj.2023.104050
۲. بابائیان، ا.، کریمیان، م.، مدیریان، ر. و میرزایی، ا. (۱۳۹۸). پیش‌نگری فراسنج‌های اقلیمی کشور با بکارگیری مدل‌های گردش کلی سری CMIP5: دوره ۲۱۰۰-۲۰۲۰. نیوار، 20(2)، 67-77. doi: 10.30467/nivar.2019.142745.1103
۳. بابائیان، ا.، گیولینی، گ.، مدیریان، ر.، کریمیان، م. (۱۴۰۳). پیش‌نگری بارش ایران در دوره ۲۰۲۶-۲۰۲۷ با استفاده مقیاس‌کاهی دینامیکی توسط مدل منطقه‌ای RegCM4.7 طبق سناریوهای SSP، مجله هواشناسی کشاورزی، دوره 12، جلد 12، شماره 1، صفحات ۲۰ تا ۳۴.
۴. ثبوتی، ی.، درویش زاده، ر. نقوی آزاد، ا. (۱۳۹۴). اقلیم ایران، پیش‌نگری دما و بارش تا ۲۰۳۰ میلادی، نشریه‌ی نساء، شماره ۲، خرداد ۹۴.
۵. حاتمی بهمن‌بیگلر، خ. و خوشحال دستجردی، ج. (۱۳۸۹). نواحی اقلیمی استان فارس به روش تحلیل عاملی. فضای جغرافیایی، 10(۳۲)، ۱۳۵-۱۵۰. <https://sid.ir/paper/91624/fa>

شیب تغییرات میانگین بارش استان فارس طی دوره آماری پایه منفی بوده و کاهش بارش طی دهه‌های ۶۰ تا ۹۰ شمسی اتفاق افتاده است. بر اساس آزمون Z که بیانگر شیب خط سن می‌باشد، مقدار آن برای میانگین بارش‌های استان فارس ۱/۱- بود؛ بطوری‌که روند تغییرات بارش در دوره آماری پایه بصورت نزولی و در سطح ۵ درصد، معنی‌دار بدست آمد (جدول ۱). همچنین، بر اساس نقشه مناطق دارای روند کاهش (-) یا افزایش (+) بارش در دوره پایه (۱۳۹۳-۱۳۶۴ شمسی)، نواحی جنوبی استان فارس بیشتر تحت تاثیر پدیده تغییر اقلیم قرار گرفته و روند کاهش بارش شدیدتر و معنی‌دارتر از سایر مناطق بوده است. نواحی شمالی و شمال غربی استان فارس کمترین تاثیر را از تغییر اقلیم طی دوره آماری سی‌ساله مورد مطالعه داشته‌اند. در ادامه، با بررسی تغییرات بارش دوره‌های آتی (۱۴۷۵-۱۴۰۵ شمسی) به کمک نتایج مدل CanESM5 مشخص شد که احتمال افزایش بارش سالانه استان فارس در همه سناریوها وجود دارد؛ بطوری‌که سناریوی SSP1-2.6 کمترین افزایش و سناریوی SSP3-7.0 بیشترین افزایش بارش نسبت به دوره پایه را پیش‌نگری کرده‌اند. در ادامه روند پیش‌نگری بارش دوره‌های آتی (۱۴۷۵-۱۴۰۵ شمسی) از لحاظ آماری بررسی شد (جدول ۲) و مشخص گردید که این روند همگی افزایشی (+) بوده، لیکن افزایش پیش‌نگری‌ها طبق سناریوی SSP126 غیرمعنی‌دار بدست آمده، ولی طبق سناریوی SSP245 در سطح ۵ درصد معنی‌دار و طبق سناریوهای SSP370 و SSP585 در سطح ۱ درصد معنی‌دار خواهد بود. همچنین، بررسی رژیم ماهانه بارش‌های استان فارس، نشان داد که تقریباً در همه سناریوهای SSP، کاهش بارش در ماه‌های نسبتاً گرم سال یعنی آگوست، سپتامبر و یا اکتبر وجود دارد که در مورد سناریوهای SSP1.2-6 و SSP2-4.5 کاهش بارش در ماه‌های آغازین سال میلادی (ژانویه و فوریه) نیز پیش‌نگری شده است. در مقابل، در همه سناریوها پیش‌نگری بارش ماه‌های مارس تا ژولای بصورت افزایشی بوده که بیانگر افزایش محتمل بارش‌های بهاره استان فارس نسبت به دوره پایه می‌باشد. نتایج این پژوهش بیانگر ضرورت برنامه‌ریزی

- Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 1040, 75–95.
10. Meinshausen, M., Smith, S., Calvin, K.V., Daniel, J., Kainuma, Mikiko., Lamarque, Jean-F., Matsumoto, K., Montzka, S., Raper, S., Riahi, K., Thomson, A.M., Velders, Guus J. M., Vuuren, Detlef., 2011. The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. *Climatic Change*; 109. 213-241. DOI: 10.1007/s10584-011-0156-z.
11. Nakicenovic N.J., Alcamo, J. Davis, G. Vries, B. Fenhann, J., Gaffin, S., Gregory, K. Grubler, A., Jung, T.Y., Kram, TomT., La Rovere, E., Michaelis, L., Mori, Sh., Morita, T., Pepper, W., HM, Pitcher, Price, L., Riahi, K., Roehrl, A., Z., Dadi. 2000. IPCC Special Report on Emissions Scenarios. Cambridge University Press, Cambridge. UK.
12. YoosefDoost, A.; S. Sadeghian, M.; Ali Node Farahani, M.; Rasekhi, A. 2017. Comparison between Performance of Statistical and Low Cost ARIMA Model with GFDL, CM2.1 and CGM 3 Atmosphere-Ocean General Circulation Models in Assessment of the Effects of Climate Change on Temperature and Precipitation in Taleghan Basin. *American Journal of Water Resources*. 5 (4): 92–99. doi:10.12691/ajwr-5-4-1. ISSN 2333-4797.
۶. روزبه، س.، شاهدی، ک.، دارابی، ح.، و سلیمانی، ک. (۱۳۹۵). بررسی روند تغییرات شرایط هیدرو اقلیمی حوزه آبخیز مهارلو با استفاده از آزمون های من کندال و شیب سن. همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران (توسعه مشارکتی در مدیریت حوزه های آبخیز).
<https://sid.ir/paper/886353/fa>
۷. زرین، آ. داداشی رودباری، ع. (۱۴۰۱)، پیش‌نگری شدت بارش در ایران با به کارگیری رویکرد همادی چند مدلی با استفاده از داده‌های مقیاس گاهی شده NEX-GDDP، مجله ژئوفیزیک ایران، جلد ۱۶، شماره ۱، صفحات ۴۷ تا ۶۸.
۸. عباسی، ف. عباسی، ن. و توکلی، ع.ر. (۱۳۹۶). بهره‌وری آب در بخش کشاورزی؛ چالش‌ها و چشم اندازها. آب و توسعه پایدار، جلد ۴، شماره ۱، صص. ۱۴۴-۱۴۱. doi: 10.22067/jwsd.v4i1.67121
9. Leggett, J. Pepper, William, Swart, Rob, 1992. Emissions scenarios for IPCC: An update. In *Climate Change 1992 - The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*. J.T. Houghton, J.T., B.A. Callander, and S.K. Varney (eds). WMO/UNEP Intergovernmental Panel on