

پیش‌نمایی دما و تابش خورشیدی با استفاده از نرم افزار LARS WG8 (ایستگاه‌های مطالعاتی: گرگان، شیراز و ارومیه)

مرضیه باقری خانقاهی^{۱*}، ابوطالب هزارجریبی^۲، محمداسماعیل کمالی^۳، فاطمه زمانی^۴

^۱ دانشجوی دکتری مهندسی آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

^۲ دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

^۳ استادیار، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری

^۴ استادیار، گروه هوش مصنوعی، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۲۲، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۶

چکیده

هدف از این پژوهش، پیش‌نمایی دما و تابش آینده شهرهای گرگان، شیراز و ارومیه با استفاده از LARS-WG8 (از مدل اقلیمی HadGEM3 و تحت سناریوهای انتشار SSP126، SSP245 و SSP585)، بر اساس داده‌های گذشته (۲۰۲۰-۱۹۹۱) می‌باشد. نتایج نشان داد در دوره آماری ۶۰ ساله آینده تحت سناریوهای نامبرده نسبت به دوره گذشته، در شهر گرگان دمای پیشینه به ترتیب ۱/۲، ۱/۴۹ و ۲/۳۶ درجه سلسیوس و دمای کمینه ۱/۷، ۲/۱۵ و ۳ درجه سلسیوس، در شهر شیراز دمای پیشینه به ترتیب ۱/۲۵، ۱/۶۷ و ۲/۴۵ درجه سلسیوس و دمای کمینه ۱/۹۶، ۲/۵ و ۳/۵۲ درجه سلسیوس، در شهر ارومیه دمای پیشینه به ترتیب ۱/۲۸، ۱/۸ و ۲/۹۶ درجه سلسیوس و دمای کمینه ۱/۹، ۲/۵ و ۳/۵ درجه سلسیوس بیشتر از دوره گذشته می‌باشد. روند تغییرات تابش نیز در آینده در شهرهای گرگان و شیراز به ترتیب بیشتر و کمتر از دوره گذشته بود و در شهر ارومیه تحت سناریوهای مختلف متفاوت بود. بنابراین با توجه به تغییرات دما و تابش در آینده، مدیران و برنامه‌ریزان می‌بایست تصمیمات درستی در راستای بهبود بخش‌های تأثیرپذیر از پارامترهای اقلیمی (منابع آب و خاک، کشاورزی، محیط زیست و صنعت) اتخاذ نمایند. بنابراین پیشنهاد می‌گردد جهت سازگاری با شرایط اقلیم جدید، محصولات مناسب‌تر در مناطق اقلیمی مطالعاتی کشت شود و اقدامات لازم برای حفظ کمی و کیفی منابع آب و خاک و انرژی مبذول گردد.

کلمات کلیدی: تغییر اقلیم، مقیاس کاهی، کشاورزی، محیط زیست، منابع آب، مدل اقلیمی

مقدمه

گرمایش جهانی و افزایش تولید و انتشار گازهای گلخانه‌ای، منجر به پدیده تغییر اقلیم شده است، که یکی از مهم‌ترین نگرانی‌های قرن حاضر و آینده می‌باشد. بررسی‌های مختلف نشان می‌دهد، که این پدیده می‌تواند بر بخش‌های مختلف منابع آب، کشاورزی، محیط زیست، صنعت و اقتصاد اثرات منفی داشته باشد. بنابراین، پیش‌نگری اقلیم آینده برای مدیریت بخش‌های مربوطه حیاتی است (پنگ و همکاران، ۲۰۲۳؛ کامروزمان و همکاران، ۲۰۲۳). به‌منظور پیش‌نگری اقلیم آینده می‌توان از مدل‌های توانمند و قابل اطمینان (موسوم به GCM)، استفاده نمود. خروجی مدل‌های اقلیم جهانی مستقیماً برای پیش‌نگری و ارزیابی پیامدهای تغییر اقلیم در مقیاس منطقه‌ای و نقطه‌ای مورد استفاده قرار نمی‌گیرند و آنها نیازمند مقیاس‌گامی هستند (حاجیوند پایداری و همکاران، ۱۴۰۱). در مطالعات بسیاری برای مقیاس‌گامی خروجی GCM‌ها از مدل‌های مولد داده‌های هواشناسی (WGs) استفاده شده است، که یکی از این مدل‌های پرکاربرد و مشهور، LARS WG می‌باشد و برای شبیه‌سازی بارش روزانه، تابش، دمای حداکثر و دمای حداقل در یک ایستگاه در شرایط اقلیم حاضر و آینده استفاده می‌شود (پدرسون و همکاران، ۲۰۲۲). مدل LARS WG قادر است با داده‌های مشاهداتی کم (مثلاً در حد یک سال)، داده‌های اقلیمی را پیش‌نمایی کند. به‌منظور بررسی دقیق‌تر، بهتر است، که از ۲۰ تا ۳۰ سال داده روزانه استفاده نمود. برتری این مدل نسبت به مدل‌های دیگر، مانند، مدل کوچک‌سازی SDSM گزارش شده است (رجبی و همکاران، ۲۰۱۹؛ سمونوف و بارو، ۲۰۰۲). مهم‌ترین مرجع پژوهش‌ها و پیش‌نگری‌های مربوط به تغییر اقلیم (IPCC)، نسخه‌های به‌روزتر و پیشرفته‌تر مدل‌های GCM را منتشر کردند. این نسخه‌ها مدل‌های سری فاز ششم پروژه مقایسه مدل‌های جفت شده (CMIP6) می‌باشند؛ که، اقلیم آینده را تحت

سناریوهای انتشار SSP (Shared Socioeconomic Pathways) شیبه‌سازی می‌کنند. سری‌های جدیدتر سناریوهای انتشار از نظر کارایی محاسباتی، قدرت تفکیک‌پذیری و نمایش فرایندهای فیزیکی نسبت به سری‌های قبل‌تر بهبود یافته‌اند (ایرینگ و همکاران، ۲۰۱۹). سناریوهای گزارش ششم به‌صورت ترکیبی از خط سیرهای اقتصادی-اجتماعی (SSP) به پنج دسته اصلی تقسیم می‌شوند: یک- توسعه پایدار (SSP1)، دو- توسعه سیاست‌های میانی (SSP2)، سه- توسعه رقابت منطقه‌ای (SSP3)، چهار- توسعه نابرابری (SSP4) و پنج- توسعه سوخت‌های فسیلی (SSP5). به‌طوریکه امکان تحلیل بازخورد میان تغییر اقلیم و عوامل اجتماعی-اقتصادی نظیر رشد جهانی جمعیت، توسعه اقتصادی و پیشرفت‌های فناوری را فراهم می‌آورند (اونیل، ۲۰۱۷). در این راستا پژوهشگران به مطالعه بررسی اقلیم آینده در مناطق مختلف در ایران و جهان پرداخته‌اند، که در اینجا به برخی از این مطالعات اشاره می‌گردد. نتایج حاصل از تصویرگری اقلیمی طی ۲۰ سال آتی در حوضه‌های مختلف کشور حاکی از افزایش دما به‌طور متوسط بین ۰/۱ تا ۰/۶ درجه سلسیوس خواهد بود (انصاری مهابادی و همکاران، ۱۴۰۱). ایرانشاهی و همکاران (۱۴۰۱) با بررسی روند تغییرات دما تحت سناریوهای SSP در ایستگاه‌های الشتر و خرم‌آباد، اعلام کردند که دمای بیشینه و دمای کمینه در دوره‌های زمانی آینده نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. محققان با استفاده از مدل SDSM برای مقیاس‌گامی، دریافتند، که دمای هوای آینده در طبس تحت سناریو SSP245 و SSP585 به‌ترتیب ۳/۲ و ۴/۷ درجه سلسیوس افزایش خواهد داشت (ایزدی و همکاران، ۱۴۰۲). قربانی مینائی و همکاران (۱۴۰۳) طی پژوهشی اظهار داشتند؛ که، در ایستگاه‌های زیرحوضه قره‌سو، دمای کمینه و بیشینه در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه روند معنی‌دار افزایشی دارد. در پژوهشی دیگر، به ارزیابی عملکرد ۲۸ مدل CMIP6 برای

پژوهش حاضر به پیش‌نمایی دمای بیشینه، دمای کمینه و تابش در ایستگاه‌های مطالعاتی گرگان (با اقلیم مدیترانه‌ای)، شیراز و ارومیه (با اقلیم نیمه‌خشک) می‌پردازد. به طوری که پس از انتخاب مدل اقلیمی برتر در نرم افزار، تحت سناریوهای انتشار (SSP126)، SSP245 و SSP585) پیش‌نمایی پارامترهای اقلیمی برای سه دوره زمانی آینده بر اساس روند تغییر اقلیم در دوره گذشته (مشاهداتی) انجام پذیرفت و نتایج مورد بحث و بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

با توجه به هدف پژوهش، سه ایستگاه همدید با اقلیم‌های مدیترانه‌ای (گرگان) و نیمه‌خشک (شیراز و ارومیه) براساس طبقه‌بندی اقلیمی شاخص دومارتن به‌منزله مناطق مطالعاتی انتخاب شدند. مختصات جغرافیایی و وضعیت میانگین دما و بارش سالانه ایستگاه‌های مطالعاتی در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. مشخصات و موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

منطقه	گرگان	شیراز	ارومیه
طول جغرافیایی	۵۴/۱۶	۵۲/۳۳	۴۵/۰۵
عرض جغرافیایی	۳۶/۵	۲۹/۳۶	۳۷/۵
ارتفاع از سطح دریا (متر)	۱۳/۳	۱۵۰۰	۱۳۲۵
میانگین بارش سالانه (میلیمتر)	۵۰۵	۳۱۳	۳۱۴

حاوی اطلاعات طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا و تمرکز CO₂ (مربوط به ایستگاه‌های مطالعاتی) است و فایل دیگر شامل داده‌های اقلیمی، سال، ماه و روز می‌باشد. پس از تنظیمات مورد نیاز در پنجره‌های مختلف نرم افزار و همچنین انتخاب نوع مدل اقلیمی GCM از پنجره Generator، فراخوانی فایل‌های متنی از پنجره Site Analysis انجام گرفت. در این پژوهش در ابتدا صحت برخی مدل‌های GCM موجود در نرم افزار مانند

شبه‌سازی دمای هوای سطحی بر روی فلات تبت در سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۴ پرداختند. نتایج ایشان نشان داد، که استفاده از میانگین نتایج چند مدل نسبت به نتایج هر مدل به تنهایی، الگوهای مکانی - زمانی دماهای سطحی را برای دهه‌های گذشته به‌طور دقیق‌تری به تصویر می‌کشد (چن و همکاران، ۲۰۲۲). همچنین نتایج تحقیق (موسس، ۲۰۲۴) حوضه رودخانه اوکاوانگو در جنوب آفریقا حاکی از افزایش دما در دهه‌های آتی می‌باشد. در پژوهشی که در حوضه سد آلتینکایا در ترکیه صورت گرفت، نشان داده شد که در سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه، افزایش دما به ترتیب تا ۳/۱۱ درجه سلسیوس و ۵/۶۴ درجه سلسیوس می‌رسد (بیلماز، ۲۰۲۴).

از آنجا که پیش‌نمایی پارامترهای اقلیمی در برخی مناطق مختلف اقلیمی ایران کمتر مورد بررسی قرار گرفته است و از طرف دیگر مدل‌های اقلیمی در حال بروزرسانی هستند و نسخه‌های جدیدتر نرم افزار LARS WG مدل‌ها و سناریوهای کامل‌تری را ارائه می‌دهند، بنابراین،

روش پژوهش

ابتدا داده‌های اقلیمی روزانه دمای بیشینه، دمای کمینه و تابش دوره آماری گذشته (۲۰۲۰-۱۹۹۱)، از ایستگاه‌های همدید گرگان، شیراز و ارومیه از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. پس از تنظیم داده‌ها در اکسل، فایل - های متنی حاوی اطلاعات اقلیمی به منظور ورود به نرم افزار LARS WG8 بر اساس فرمت و الگوی ترتیب داده‌های ورودی مدل ساخته شد. یکی از فایل‌های متنی

$$w_j = \frac{d_j}{\sum d_j} \quad (۴)$$

که در آن W_j وزن و d_j درجه انحراف می‌باشد. درجه انحراف نیز از معادله ۵ بدست می‌آید.

$$d_j = 1 - E_j \quad (۵)$$

که در آن E_j شاخص آنتروپی می‌باشد (برای درک تعاریف و مفاهیم این روش و نحوه محاسبه شاخص آنتروپی به مقاله مقدس و همکاران (۱۴۰۳) رجوع شود). این روش بر پایه اطلاعات نسبی پارامترها است. وزن‌ها مقادیر مطلق پارامترها را در نظر نمی‌گیرند؛ بلکه، فقط اهمیت نسبی هر پارامتر را در مجموعه داده مشخص می‌کنند. وزن‌های حاصل بی‌بعد هستند و مقادیر آنها بین صفر و یک می‌باشند. مقادیر بالای وزن‌ها برای پارامترها در مدل اقلیمی موردنظر به این معناست که آن مدل نسبت به سایر مدل‌ها قطعیت بالاتری در پیش‌بینی پارامترها دارد. در نهایت با انتخاب مدل برتر از لیست مدل‌های اقلیمی GCM در پنجره مربوطه، سناریوهای انتشار (SSP126، SSP245 و SSP585) و دوره‌های زمانی آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰ و ۲۰۸۰-۲۰۶۱) نیز انتخاب شدند. بدین ترتیب، پارامترهای دما و تابش براساس تشخیص روند تغییر اقلیم در دوره مشاهداتی (۲۰۲۰-۱۹۹۱)، برای دوره‌های زمانی آتی تحت سناریوهای مختلف SSP برای مناطق مطالعاتی مدنظر پیش‌نمایی گردید. سپس مقادیر پارامترهای مستخرج از نرم افزار، در فایل اکسل به صورت ماهانه و سالانه میانگین‌گیری شدند و نمودارهای میانگین ماهانه پارامترهای اقلیمی ترسیم و تحلیل شد. همچنین روند تغییرات دمای بیشینه، دمای کمینه و تابش در دوره‌های آماری آتی نسبت به دوره مشاهداتی با استفاده از آزمون آماری ناپارامتریک منکندال در نرم افزار SPSS مورد بحث و بررسی قرار گرفت.

ACCESS-ESM1-5، HadGEM3-GC31-LL و MRI-ESM2-0 ارزیابی شد. در مرحله ارزیابی عملکرد مدل‌ها مقدار اختلاف بین داده‌های مشاهداتی (اخذ شده از ایستگاه همدید هواشناسی) با داده‌های مدل‌سازی شده (موجود در بانک اطلاعاتی ضمیمه مدل LARS-WG) در دوره تاریخی مدنظر برای تعیین خصوصیات آماری تحلیل می‌شوند. بنابراین، با استفاده از آماره‌های ضریب تبیین (R^2)، شاخص ضریب نش-ساتکلیف ($N-S$)، ریشه میانگین مربعات خطا ($RMSE$)، اقدام به ارزیابی داده‌های تولید شده توسط مدل در دوره تاریخی و مقایسه آنها با داده‌های واقعی (مشاهده شده) می‌گردد. در معادلات ۱ تا ۳ شاخص‌های نامبرده، O_i و P_i به ترتیب مقادیر مشاهدات و مدل‌سازی، (\bar{O}) و (\bar{P}) میانگین مقادیر و n تعداد مشاهدات است.

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})]^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (۱)$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (۲)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}} \quad (۳)$$

در مطالعات پیش‌نمایی اقلیم آینده و بررسی نتایج مختلف مدل‌ها لازم است ابتدا عدم قطعیت در مراحل ارزیابی تغییر اقلیم در نظر گرفته شود، تا نتایج قابل اطمینان‌تری حاصل شود. در این پژوهش به منظور بررسی عدم قطعیت سه مدل به کار رفته، از یکی از روش‌های وزن‌دهی تصمیم‌گیری چند معیاره (روش آنتروپی شانون) استفاده گردید. بنابراین، وزن متغیرهای اقلیمی مدل‌سازی شده (مستخرج از مدل‌های اقلیمی) به منظور بررسی عدم قطعیت و انتخاب مدل برتر، محاسبه شد. در گام اول، ماتریس تصمیم ساخته می‌شود و پس از نرمال‌سازی ماتریس، آنتروپی هر متغیر و درجه انحراف محاسبه می‌گردد و در نهایت وزن برآورد می‌شود (معادله ۴).

بحث و نتایج

ارزیابی عملکرد مدل‌ها در تولید داده‌های دما و تابش و تابش (Ra) را در ایستگاه‌های مطالعاتی نشان می‌دهد. جدول ۲ نتایج ارزیابی عملکرد مدل‌های اقلیمی در تولید داده‌های دمای بیشینه (Tmax)، دمای کمینه (Tmin) و تابش (Ra) را در ایستگاه‌های مطالعاتی نشان می‌دهد. مقدار شاخص‌های ضریب تبیین و نش ساتکلیف برای تمامی پارامترها در ایستگاه‌های مطالعاتی در هر سه مدل اقلیمی ۹۹ درصد است که نشان‌دهنده همپوشانی بسیار خوب مدل‌ها می‌باشد. همچنین مقادیر کم ریشه میانگین مربعات خطا مبین خطای ناچیز و عدم اختلاف معنی‌داری بین مقادیر مشاهداتی و مدل‌سازی شده می‌باشد. بنابراین، مقایسه بین داده‌های مشاهداتی و مدل‌سازی شده براساس شاخص‌های آماری نشان از صحت و توانایی بسیار بالای هر سه مدل در پیش‌بینی پارامترهای مورد نظر در مناطق مطالعاتی می‌باشد.

بررسی عدم قطعیت مدل‌ها در تولید داده‌های دما و تابش
جدول ۳ میانگین وزن‌های پارامترهای دمای بیشینه، دمای کمینه و تابش را برای مناطق مطالعاتی بر اساس مدل‌های اقلیمی نوع اول، دوم و سوم (به ترتیب MRI-، HadGEM3-GC31-LL، ACCESS-ESM1-5-ESM2-0) نشان می‌دهد. با مقایسه میانگین وزن‌ها، پارامترهای مستخرج از مدل HadGEM3 دارای وزن بیشتری نسبت به پارامترهای مستخرج از سایر مدل‌ها می‌باشند. در نتیجه مدل HadGEM3 نسبت به دو مدل دیگر عملکرد مناسب‌تری دارد و مدل برتر شناخته می‌شود.

جدول ۲. نتایج مقایسه مقادیر شاخص‌های ارزیابی عملکرد مدل‌های اقلیمی در پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی در ایستگاه‌های مطالعاتی

مدل‌های اقلیمی			پارامترها	شاخص آماری	ایستگاه
MRI-ESM2-0	HadGEM3-GC31-LL	ACCESS-ESM1-5			
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	Tmax	R ²	گرگان
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	Tmin		
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	Ra		
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	Tmax	N-S	
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	Tmin		
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	Ra		
۰/۳۱	۰/۲۸	۰/۳	Tmax	RMSE	
۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۱۹	Tmin		
۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۷	Ra		
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	Tmax	R ²	شیراز
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	Tmin		
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	Ra		
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	Tmax	N-S	
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	Tmin		
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	Ra		
۰/۲۷	۰/۲۴	۰/۲۳	Tmax	RMSE	
۰/۱۹	۰/۱۵	۰/۱۵	Tmin		
۰/۱۶	۰/۱۷	۰/۱۶	Ra		
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	Tmax	R ²	ارومیه

۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	Tmin	N-S
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	Ra	
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	Tmax	
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	Tmin	RMSE
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	Ra	
۰/۳۲	۰/۲۳	۰/۲۸	Tmax	
۰/۱۶	۰/۱۹	۰/۱۳	Tmin	
۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۱۷	Ra	

جدول ۳. نتایج مقایسه میانگین وزن‌های پارامترهای اقلیمی (به روش وزن‌دهی آنتروپی شانون) بر اساس مدل‌های اقلیمی در مناطق مطالعاتی

مدل‌های اقلیمی			پارامترها	ایستگاه
MRI-ESM2-0	HadGEM3-GC31-LL	ACCESS-ESM1-5		
۰/۵۱	۰/۵۲	۰/۵۱	Tmax	گرگان
۰/۴۹	۰/۵	۰/۴۸	Tmin	
۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۵۱	Ra	
۰/۵۲	۰/۵۳	۰/۵۲	Tmax	شیراز
۰/۴۹	۰/۵	۰/۴۹	Tmin	
۰/۵۴	۰/۵۴	۰/۵۴	Ra	
۰/۵۳	۰/۵۳	۰/۵۳	Tmax	ارومیه
۰/۵	۰/۵۱	۰/۵	Tmin	
۰/۵۱	۰/۵۲	۰/۵۲	Ra	

پیش‌نمایی متغیرهای اقلیمی

در این پژوهش نتایج پیش‌نمایی متغیرهای اقلیمی دمای بیشینه، دمای کمینه و تابش بر اساس مدل اقلیمی برتر (HadGEM3)، تحت سناریوهای SSP در مناطق مطالعاتی (گرگان، شیراز و ارومیه) مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

پیش‌نمایی دمای بیشینه، دمای کمینه و تابش

در شهر گرگان

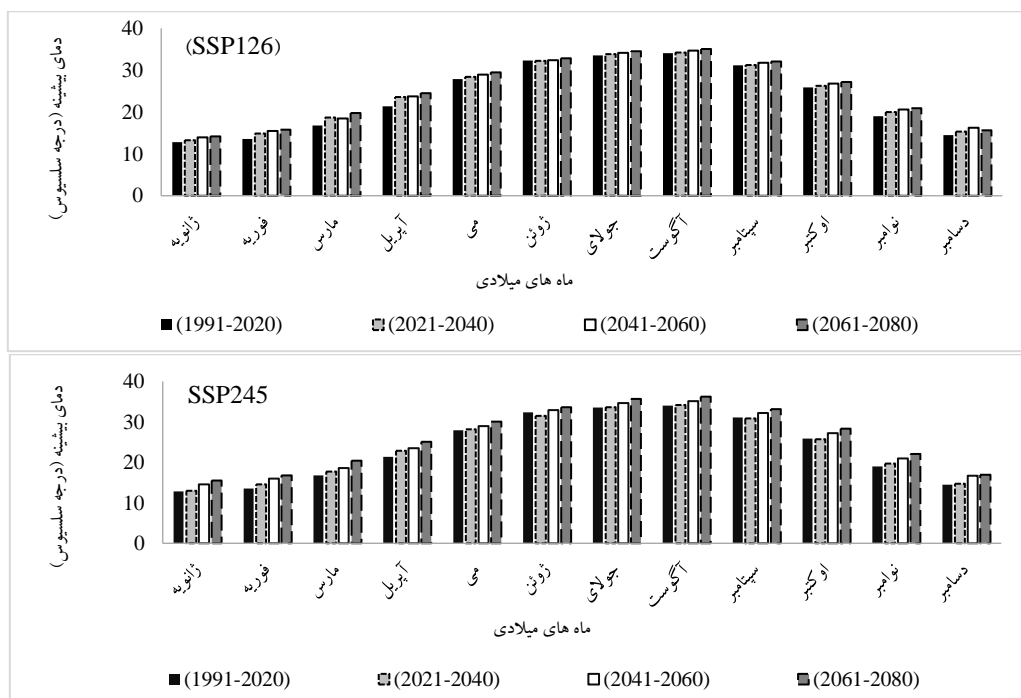
شکل‌های ۱، ۲ و ۳ به ترتیب میانگین ماهانه دمای بیشینه، دمای کمینه و تابش در دوره گذشته (۱۹۹۱-۲۰۲۰) و دوره‌های آینده (تحت سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585) را برای شهر گرگان نشان می‌دهند. در مقایسه بین دوره گذشته و دوره‌های آینده (تحت سناریوهای SSP) مقدار دمای بیشینه در تمامی ماه‌ها در دوره‌های

آینده بیشتر از دوره گذشته می‌باشد. تنها در دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱، ماه ژوئن (تحت سناریوهای SSP126 و SSP585) و ماه‌های ژوئن، سپتامبر و اکتبر (تحت سناریو SSP245)، مقدار دمای بیشینه کمتر از دوره گذشته می‌باشد. به‌طور کلی در مقایسه بین تمامی دوره‌ها، بیشترین مقدار دمای بیشینه متعلق به ماه آگوست از دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ تحت سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585 به ترتیب با مقادیر ۳۵/۰۳، ۳۶/۲۳ و ۳۷/۸۲ درجه سلسیوس می‌باشد. کمترین مقدار دمای بیشینه نیز متعلق به ماه ژانویه از دوره گذشته با مقدار ۱۲/۸۳ درجه سلسیوس است. در مقایسه بین دوره گذشته و دوره‌های آینده (تحت سناریوهای SSP) مقدار دمای کمینه در تمامی ماه‌ها در دوره‌های آینده بیشتر از دوره گذشته می‌باشد. به‌طور کلی در مقایسه بین تمامی دوره‌ها، بیشترین مقدار دمای کمینه متعلق به ماه جولای از دوره

۲۰۶۱-۲۰۸۰ تحت سناریو SSP126 با مقدار ۲۴/۷۶ درجه سلسیوس، ماه آگوست از دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ تحت سناریوهای SSP245 و SSP585 به ترتیب با مقادیر ۲۵/۹ و ۲۷/۶۲ درجه سلسیوس می‌باشد. کمترین مقدار دمای کمینه نیز متعلق به ماه ژانویه از دوره گذشته با مقدار ۲/۴۹ درجه سلسیوس می‌باشد.

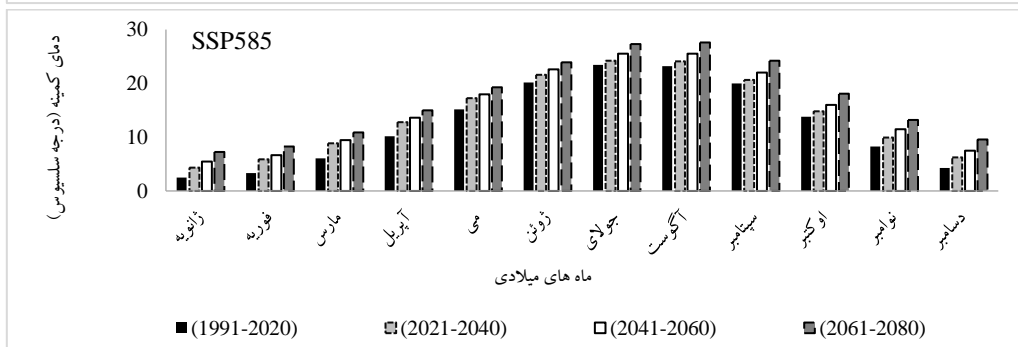
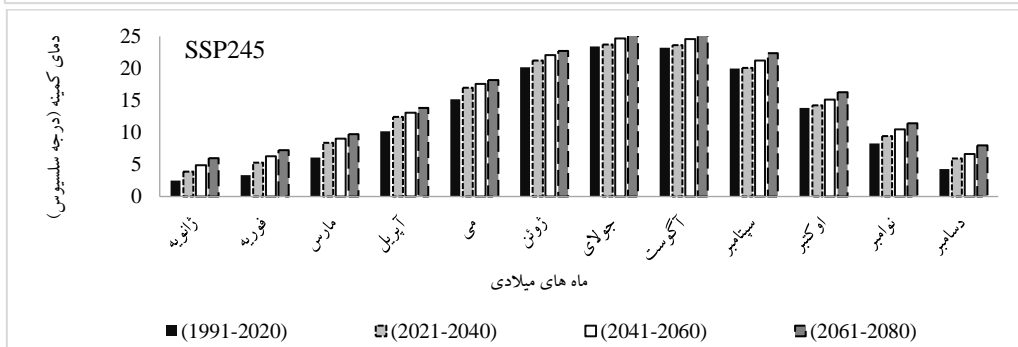
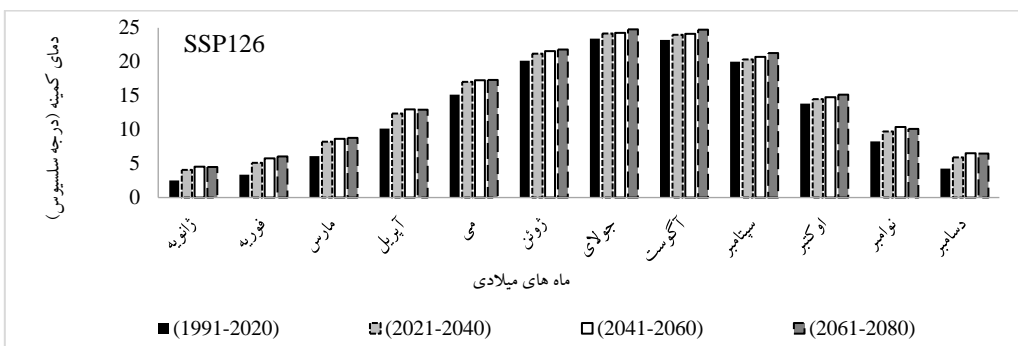
در مقایسه بین دوره گذشته و دوره‌های آینده تحت سناریو SSP126 مقدار تابش در تمامی ماه‌ها در دوره‌های آینده با اختلاف ناچیزی بیشتر از دوره گذشته می‌باشد. اما در ماه می در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ مقدار تابش کمی کمتر از دوره گذشته است. در مقایسه بین دوره گذشته و دوره‌های آینده تحت سناریو SSP245 در ماه‌های ژانویه، جولای، آگوست و سپتامبر، مقدار تابش در دوره‌های آینده بیشتر از دوره گذشته می‌باشد. اما در سایر ماه‌ها مقدار تابش در بعضی دوره‌ها کمتر از دوره گذشته می‌باشد. در مقایسه بین دوره گذشته و دوره‌های

آینده تحت سناریو SSP585 در ماه‌های مارس، ژوئن، جولای، آگوست، سپتامبر و اکتبر مقدار تابش در دوره‌های آینده بیشتر از دوره گذشته می‌باشد. اما در سایر ماه‌ها مقدار تابش در بعضی دوره‌ها با اختلاف ناچیزی کمتر از دوره گذشته می‌باشد. به‌طور کلی در مقایسه بین تمامی دوره‌ها، بیشترین مقدار تابش متعلق به ماه ژوئن از دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ تحت سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP245 به ترتیب با مقادیر ۴۲/۳۹، ۴۲/۱ و ۴۲/۵۳ ژول بر سانتی متر مربع بر روز می‌باشد. کمترین مقدار تابش نیز متعلق به ماه دسامبر از دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ تحت سناریوهای SSP245 و SSP585 به ترتیب با مقادیر ۱۵/۳۳ و ۱۵/۴۴ ژول بر سانتی متر مربع بر روز می‌باشد. در مقایسه بین دوره گذشته با دوره‌های آینده تحت سناریو SSP126، کمترین مقدار تابش متعلق به ماه دسامبر در دوره گذشته با مقدار ۱۵/۷ ژول بر سانتی متر مربع بر روز می‌باشد.

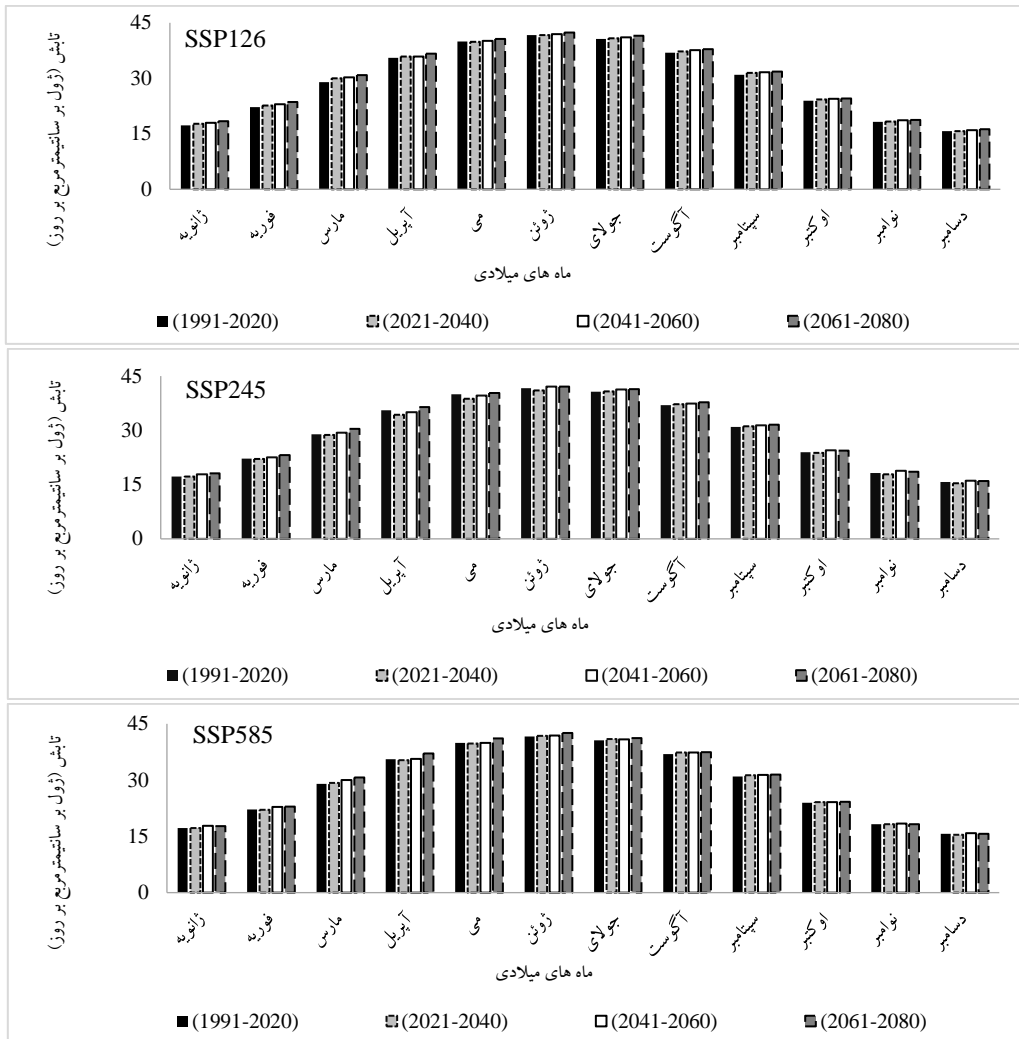




شکل ۱. مقایسه میانگین ماهانه دمای بیشینه دوره گذشته و دوره‌های آینده (تحت سناریوهای SSP) در شهر گرگان



شکل ۲. مقایسه میانگین ماهانه دمای کمینه دوره گذشته و دوره‌های آینده (تحت سناریوهای SSP) در شهر گرگان



شکل ۳. مقایسه میانگین ماهانه تابش دوره گذشته و دوره‌های آینده (تحت سناریوهای SSP) در شهر گرگان

تمامی ماه‌های سال دارای روند افزایشی معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد می‌باشد.

روند تغییرات ماهانه پارامترهای اقلیمی دما و تابش در شهر گرگان با استفاده از آزمون ناپارامتری منکندال در جدول ۴ آمده است. دمای بیشینه، دمای کمینه و تابش در

جدول ۴- نتایج بررسی روند تغییرات ماهانه پارامترهای اقلیمی بر اساس آزمون من-کندال در شهر گرگان

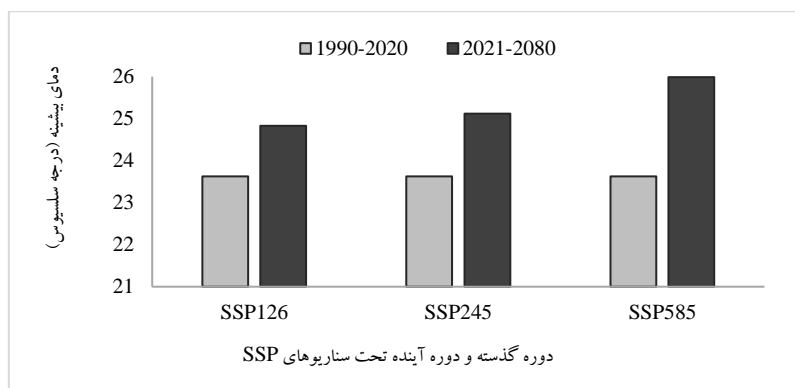
ماه	دمای بیشینه %		دمای کمینه %		تابش %	
	Z	P-Value	Z	P-Value	Z	P-Value
ژانویه	۰/۲۳۴	۰/۰۲۲	۰/۲۳۴	۰/۰۲۲	۰/۲۳۳	۰/۰۲۷
فوریه	۰/۲۴۴	۰/۰۱۷	۰/۲۴۴	۰/۰۱۷	۰/۲۳۴	۰/۰۲۲
مارس	۰/۲۴۴	۰/۰۱۷	۰/۲۴۴	۰/۰۱۷	۰/۲۳۴	۰/۰۲۲
آوریل	۰/۲۴۵	۰/۰۱۷	۰/۲۴۵	۰/۰۲۲	۰/۲۳۴	۰/۰۲۲

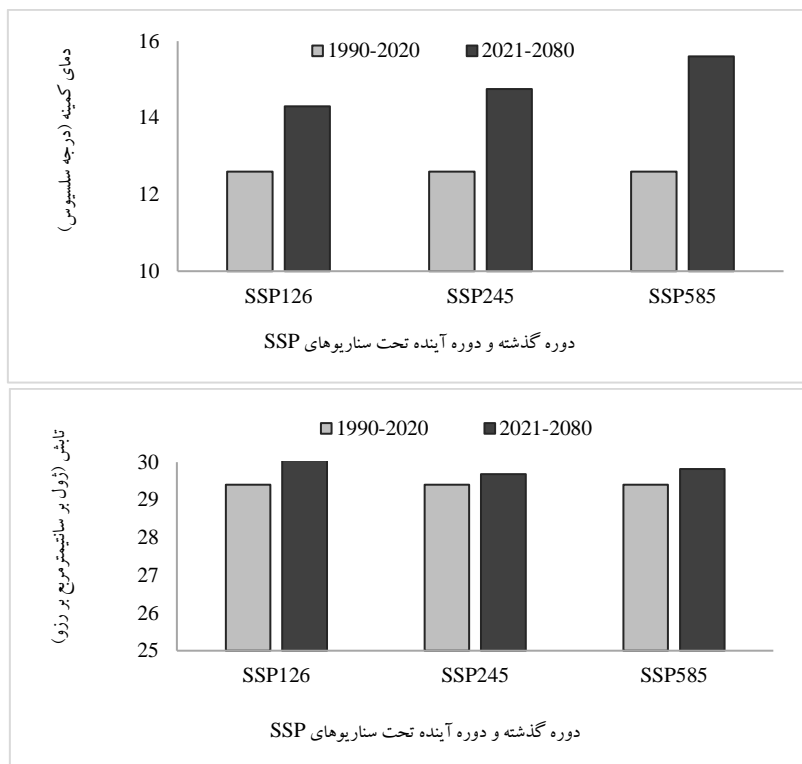
۰/۲۳۴	۰/۰۲۲	۰/۲۴۵	۰/۰۱۷	۰/۲۴۵	۰/۰۱۷	می
۰/۲۲۳	۰/۰۲۷	۰/۲۴۵	۰/۰۱۷	۰/۲۴۵	۰/۰۱۷	ژوئن
۰/۲۳۴	۰/۰۲۲	۰/۲۴۵	۰/۰۱۷	۰/۲۴۵	۰/۰۱۷	جولای
۰/۲۴۴	۰/۰۱۷	۰/۲۴۵	۰/۰۱۷	۰/۲۴۵	۰/۰۱۷	آگوست
۰/۲۴۴	۰/۰۱۷	۰/۲۴۵	۰/۰۱۷	۰/۲۴۵	۰/۰۱۷	سپتامبر
۰/۲۲۳	۰/۰۲۷	۰/۲۴۵	۰/۰۱۷	۰/۲۴۵	۰/۰۱۷	اوت
۰/۲۱۲	۰/۰۲۷	۰/۲۳۴	۰/۰۲۲	۰/۲۴۵	۰/۰۱۷	نوامبر
۰/۲۱۲	۰/۰۴۳	۰/۲۳۴	۰/۰۲۲	۰/۲۳۴	۰/۰۲۲	دسامبر

داده شد که مطابق پیش‌بینی مدل‌های HadCM3 و G-ECHO، میانگین سالانه دمای کمینه به ترتیب ۰/۵ و ۱/۶ و دمای بیشینه به ترتیب ۰/۲ و ۰/۷ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت. نتایج پژوهش حاضر بر اساس مدل اقلیمی HadGEM3 با پژوهش ایشان مطابقت داشت.

میانگین سالانه تابش نیز در دوره آماری ۶۰ ساله آینده تحت سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585 به ترتیب ۰/۶۵، ۰/۲۷ و ۰/۴۱ ژول بر سانتی‌متر مربع بر روز نسبت به دوره آماری گذشته افزایش می‌یابد. دلیل این افزایش می‌تواند افزایش زاویه ارتفاع خورشیدی و بیشتر شدن تعداد روزهای آفتابی در آینده باشد. افزایش تابش نیز می‌تواند در مواردی رشد متعادل محصولات کشاورزی را برهم زند و یا بر تولید نیرو (آب و برق) اثر بگذارد.

شکل ۴ نیز مقایسه میانگین دمای بیشینه، دمای کمینه و تابش را بین دوره ۳۰ ساله گذشته و دوره ۶۰ ساله آینده تحت سناریوهای SSP در شهر گرگان نشان می‌دهد. میانگین سالانه دمای بیشینه در دوره آماری ۶۰ ساله آینده تحت سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585، به ترتیب ۱/۲، ۱/۵ و ۲/۳۶ درجه سلسیوس نسبت به دوره آماری گذشته افزایش می‌یابد. میانگین سالانه دمای کمینه در دوره آماری ۶۰ ساله آینده تحت سناریوهای نامبرده به ترتیب ۱/۷، ۲/۱۵۵ و ۳ درجه سلسیوس نسبت به دوره آماری گذشته افزایش می‌یابد. بنابراین، بر طبق نتایج، افزایش دما در آینده می‌تواند منجر به کاهش منابع آبی، خشکسالی، کاهش کیفیت خاک و نیز خسارت به محصولات کشاورزی در شهر گرگان شود. طی مطالعه‌ی کابوسی و کردجزی (۱۳۹۶) با بررسی اثر تغییر اقلیم بر متغیرهای هواشناسی و خشکسالی در استان گلستان نشان





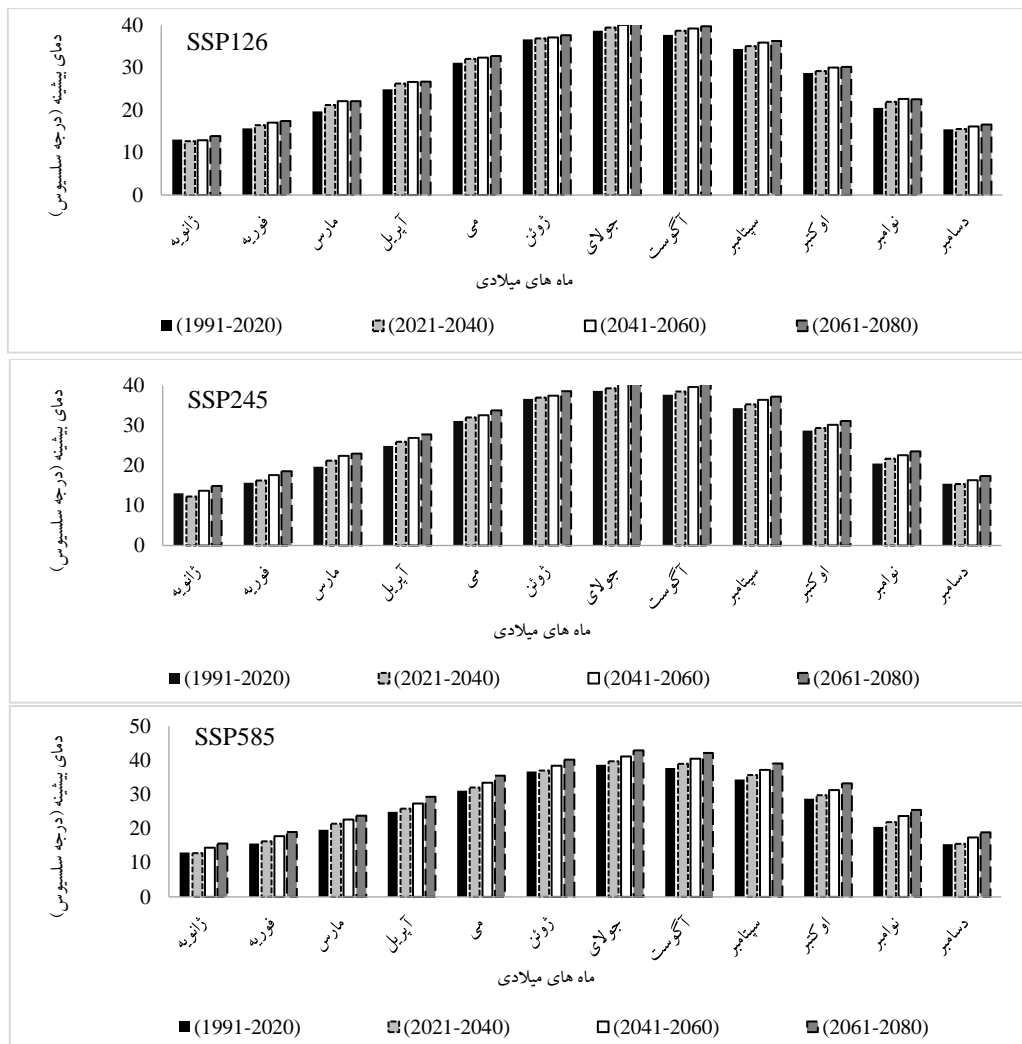
شکل ۴- مقایسه میانگین سالانه پارامترهای اقلیمی دوره ۳۰ ساله گذشته و دوره ۶۰ ساله آینده تحت سناریوهای SSP در شهر گرگان

پیش‌نمایی دمای بیشینه، دمای کمینه و تابش در شهر شیراز شکل‌های ۵، ۶ و ۷ به ترتیب میانگین ماهانه دمای بیشینه، دمای کمینه و تابش در دوره گذشته (۱۹۹۱-۲۰۲۰) و دوره‌های آینده (تحت سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585) را برای شهر شیراز نشان می‌دهند. در مقایسه بین دوره گذشته و دوره‌های آینده (تحت سناریوهای SSP)، مقدار دمای بیشینه در دوره‌های آینده بیشتر از دوره گذشته می‌باشد. اما مقدار دمای بیشینه در ماه ژانویه تحت سناریو SSP126 در دو دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ و ۲۰۴۱-۲۰۶۰ با اختلاف ناچیزی کمتر از دوره گذشته می‌باشد. مقدار دمای بیشینه در ماه ژانویه تحت سناریو SSP245 و SSP585 در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ کمتر از دوره گذشته می‌باشد. به‌طور کلی در مقایسه بین تمامی دوره‌ها، بیشترین مقدار دمای بیشینه متعلق به ماه جولای از دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ تحت سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585

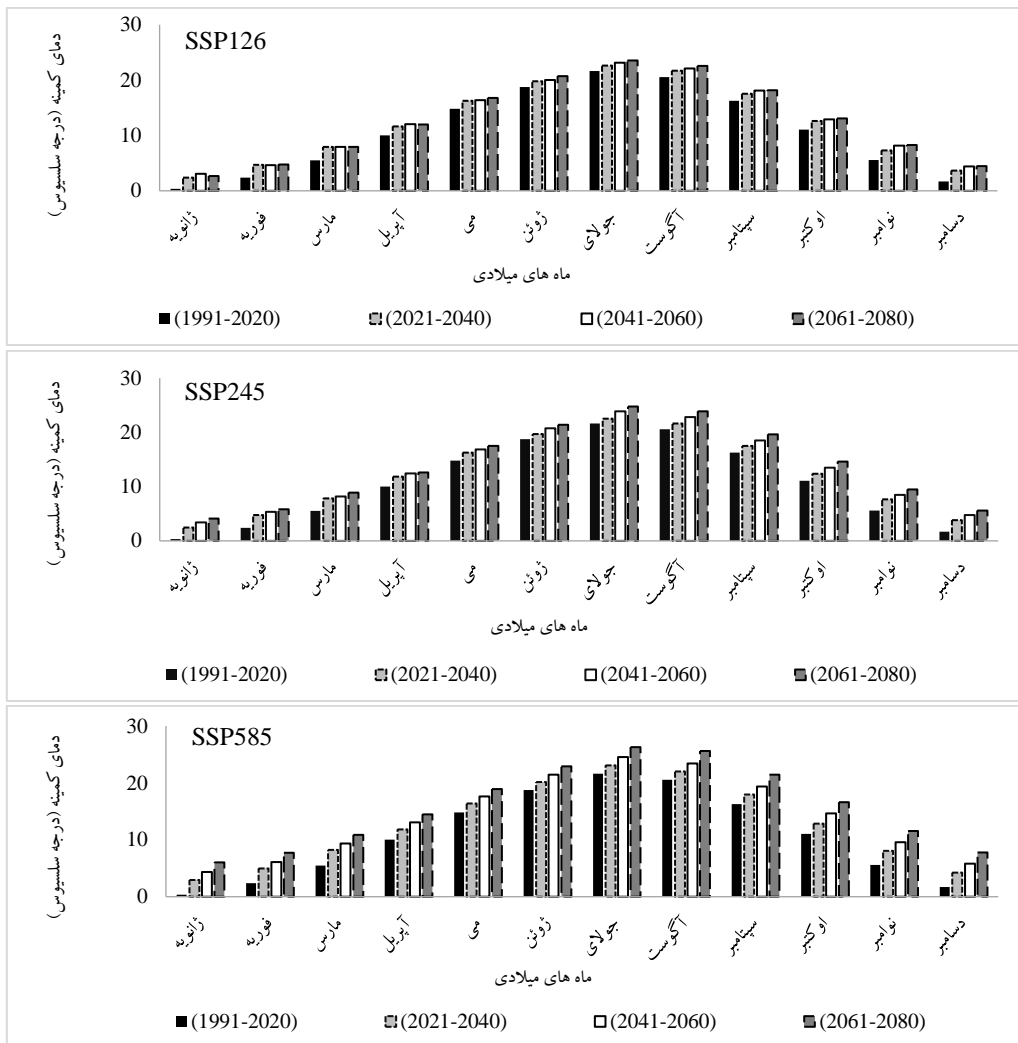
SSP245 به ترتیب با مقادیر ۴۰/۵۳، ۴۱/۳۶ و ۴۲/۹ درجه سلسیوس می‌باشد. کمترین مقدار دمای بیشینه نیز متعلق به ماه ژانویه از دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ تحت سناریوهای نامبرده به ترتیب با مقادیر ۱۲/۶۸، ۱۲/۲۸ و ۱۲/۸۴ درجه سلسیوس می‌باشد. در مقایسه بین دوره گذشته و دوره‌های آینده (تحت سناریوهای SSP) در تمامی ماه‌ها، مقدار دمای کمینه در دوره‌های آینده بیشتر از دوره گذشته می‌باشد. به‌طور کلی در مقایسه بین تمامی دوره‌ها، بیشترین مقدار دمای کمینه متعلق به ماه جولای از دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ تحت سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP245 به ترتیب با مقادیر ۲۳/۵۶ درجه سلسیوس، ۲۴/۷۳ و ۲۶/۲۹ درجه سلسیوس می‌باشد. کمترین مقدار دمای کمینه نیز متعلق به ماه ژانویه از دوره گذشته با مقدار ۰/۳۴ درجه سلسیوس می‌باشد.

به ماه ژوئن از دوره ۲۰۶۰-۲۰۴۱ با مقدار ۴۱/۰۸۳۵ ژول بر سانتی مترمربع بر روز می‌باشد. همچنین در مقایسه بین دوره گذشته و دوره‌های آینده تحت سناریوهای SSP245 و SSP585 بیشترین مقدار تابش متعلق به ماه ژوئن از دوره گذشته با مقدار ۴۱/۰۶ ژول بر سانتی مترمربع بر روز می‌باشد. کمترین مقدار تابش نیز متعلق به ماه دسامبر از دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ تحت سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585 به ترتیب با مقادیر ۱۹/۷۷، ۱۹/۴۱ و ۱۹/۲۶ ژول بر سانتی مترمربع بر روز می‌باشد.

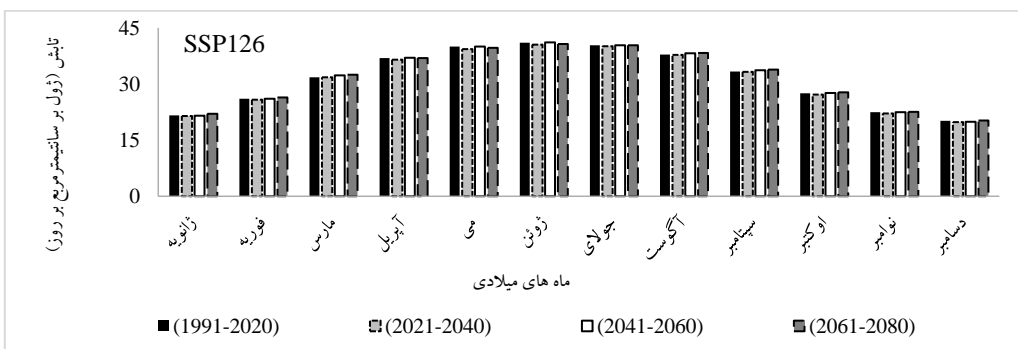
در مقایسه بین دوره گذشته و دوره‌های آینده تحت تمامی سناریوهای SSP روند تغییرات تابش معنی‌دار نیست. تنها در دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ تحت سناریو SSP126، در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آگوست، سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر، مقدار تابش با اختلاف کمی بیشتر از دوره گذشته است. در دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ تحت سناریو SSP245، در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس و آوریل، مقدار تابش با اختلاف کمی بیشتر از دوره گذشته است. به‌طور کلی در مقایسه بین دوره گذشته و دوره‌های آینده تحت سناریو SSP126، بیشترین مقدار تابش متعلق

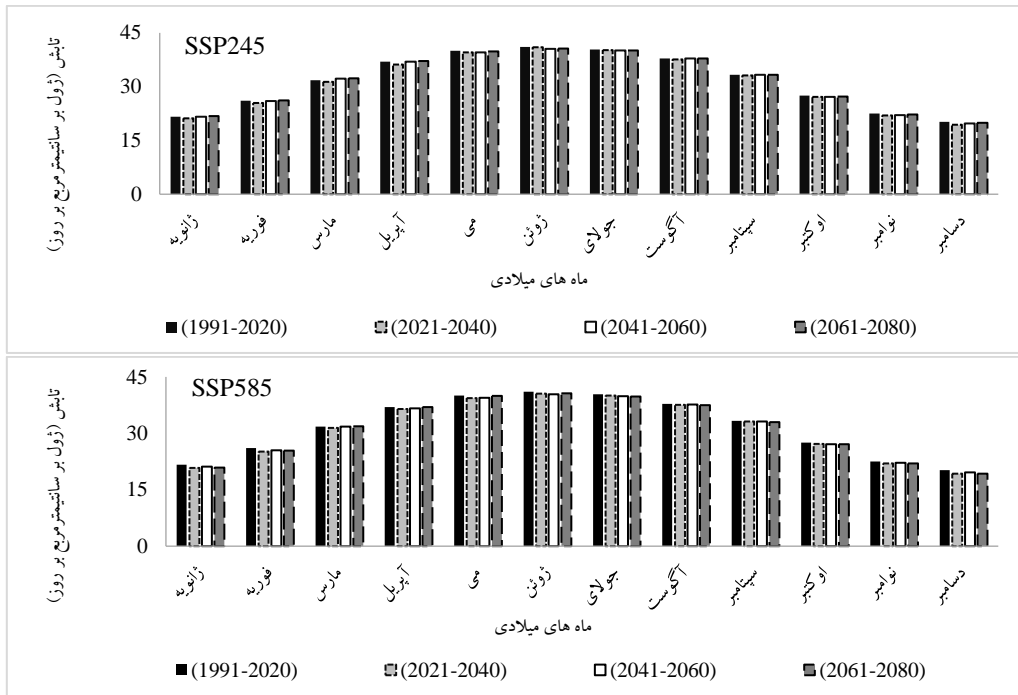


شکل ۵- مقایسه میانگین ماهانه دمای بیشینه دوره گذشته و دوره‌های آینده (تحت سناریوهای SSP) در شهر شیراز



شکل ۶- مقایسه میانگین ماهانه دمای کمینه دوره گذشته و دوره‌های آینده (تحت سناریوهای SSP) در شهر شیراز





شکل ۷- مقایسه میانگین ماهانه تابش دوره گذشته و دوره‌های آینده (تحت سناریوهای SSP) در شهر شیراز

اطمینان ۹۵ درصد می‌باشد. از طرفی تغییرات تابش در شیراز در ماه‌های ژوئن، آگوست، سپتامبر، اکتبر و نوامبر معنی‌دار نمی‌باشد، اما در سایر ماه‌ها روند افزایشی معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارد.

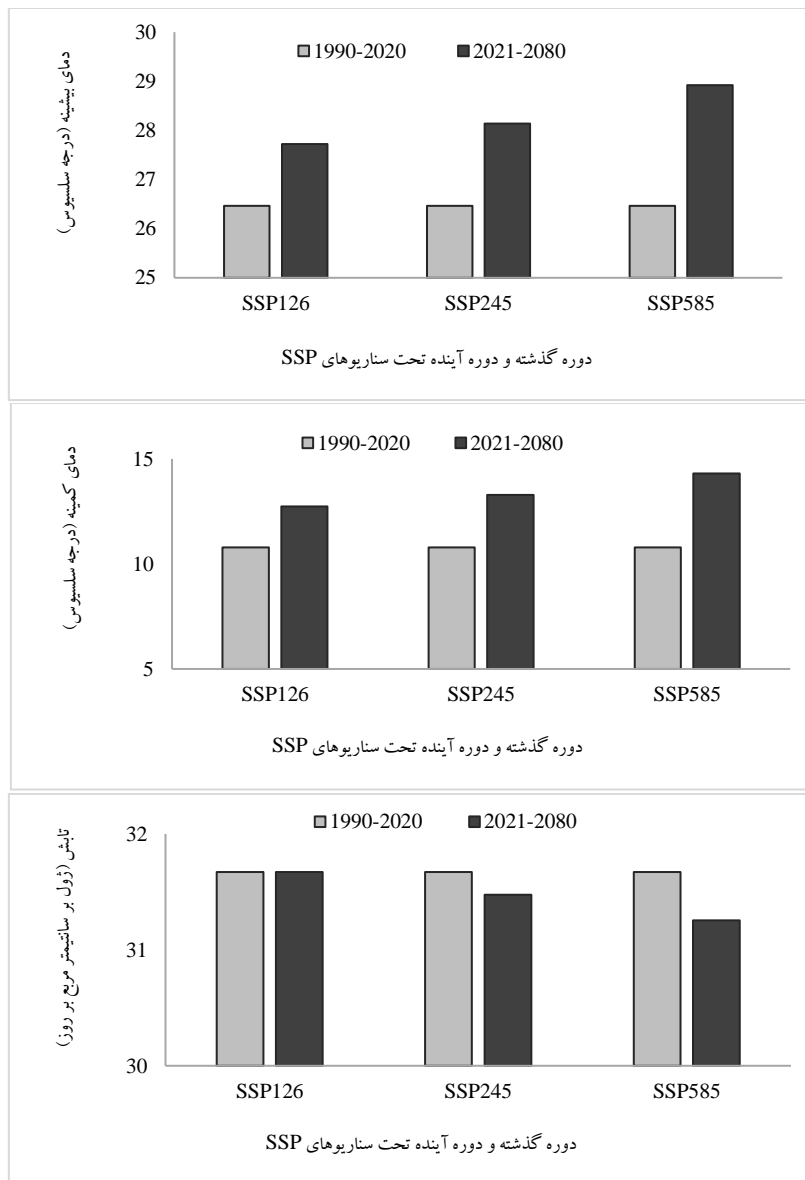
روند تغییرات ماهانه پارامترهای اقلیمی دما و تابش در شهر شیراز با استفاده از آزمون ناپارامتری من‌کندال در جدول ۵ آمده است. دمای بیشینه و دمای کمینه در تمامی ماه‌های سال دارای روند افزایشی معنی‌داری در سطح

جدول ۵- نتایج بررسی روند تغییرات ماهانه پارامترهای اقلیمی بر اساس آزمون من-کندال در شهر شیراز

ماه	دمای بیشینه %		دمای کمینه %		تابش %	
	Z	P-Value	Z	P-Value	Z	P-Value
ژانویه	۰/۲۳۴	۰/۰۲۲	۰/۲۳۴	۰/۰۲۲	۰/۲۱۲	۰/۰۳۴
فوریه	۰/۲۴۴	۰/۰۱۷	۰/۲۳۴	۰/۰۲۲	۰/۲۱۲	۰/۰۳۴
مارس	۰/۲۴۴	۰/۰۱۷	۰/۲۱۲	۰/۰۳۴	۰/۲۴۴	۰/۰۱۷
آوریل	۰/۲۴۴	۰/۰۱۷	۰/۲۳۴	۰/۰۲۲	۰/۲۰۱	۰/۰۴۳
می	۰/۲۴۵	۰/۰۱۷	۰/۲۴۴	۰/۰۱۷	۰/۲۰۱	۰/۰۳۴
ژوئن	۰/۲۴۵	۰/۰۱۷	۰/۲۴۴	۰/۰۱۷	۰/۱۶۸	۰/۰۸۲
جولای	۰/۲۴۵	۰/۰۱۷	۰/۲۴۴	۰/۰۱۷	۰/۲۱۲	۰/۰۳۴
آگوست	۰/۲۴۵	۰/۰۱۷	۰/۲۴۴	۰/۰۱۷	۰/۱۷۹	۰/۰۶۶
سپتامبر	۰/۲۴۵	۰/۰۱۷	۰/۲۴۵	۰/۰۱۷	۰/۱۷۹	۰/۰۶۶
اکتبر	۰/۲۴۵	۰/۰۱۷	۰/۲۴۵	۰/۰۱۷	۰/۱۵۷	۰/۰۱۰۲
نوامبر	۰/۲۳۴	۰/۰۲۲	۰/۲۴۵	۰/۰۱۷	۰/۱۹۰	۰/۰۵۳
دسامبر	۰/۲۳۴	۰/۰۲۲	۰/۲۴۵	۰/۰۱۷	۰/۲۱۷	۰/۰۳۱

دما می‌تواند جمع شدن گازهای گلخانه‌ای در جو زمین و به دام افتادن حرارت خورشید باشد. این افزایش دما در آینده می‌تواند منجر به افزایش تبخیر تعرق گیاهان شود و تولیدات کشاورزی در شهر شیراز را تحت تأثیر قرار دهد. میانگین سالانه تابش نیز در دوره آماری ۶۰ ساله آینده تحت سناریو SSP126 به مقدار ناچیزی نسبت به دوره آماری گذشته افزایش می‌یابد. اما تحت سناریوهای SSP245 و SSP585 به ترتیب ۰/۱۹ و ۰/۴۱ ژول بر سانتی‌متر مربع بر روز نسبت به دوره آماری گذشته کاهش می‌یابد.

شکل ۸ نیز مقایسه میانگین دمای بیشینه، دمای کمینه و تابش را بین دوره ۳۰ ساله گذشته و دوره ۶۰ ساله آینده تحت سناریوهای SSP در شهر شیراز نشان می‌دهد. میانگین سالانه دمای بیشینه در دوره آماری ۶۰ ساله آینده تحت سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP245، به ترتیب ۱/۲۵، ۱/۶۷ و ۲/۴۵ درجه سلسیوس نسبت به دوره آماری گذشته افزایش می‌یابد. میانگین سالانه دمای کمینه در دوره آماری ۶۰ ساله نیز تحت سناریوهای نامبرده به ترتیب ۱/۹۶، ۲/۵ و ۳/۵۲ درجه سلسیوس نسبت به دوره آماری گذشته افزایش می‌یابد. عامل مهم افزایش



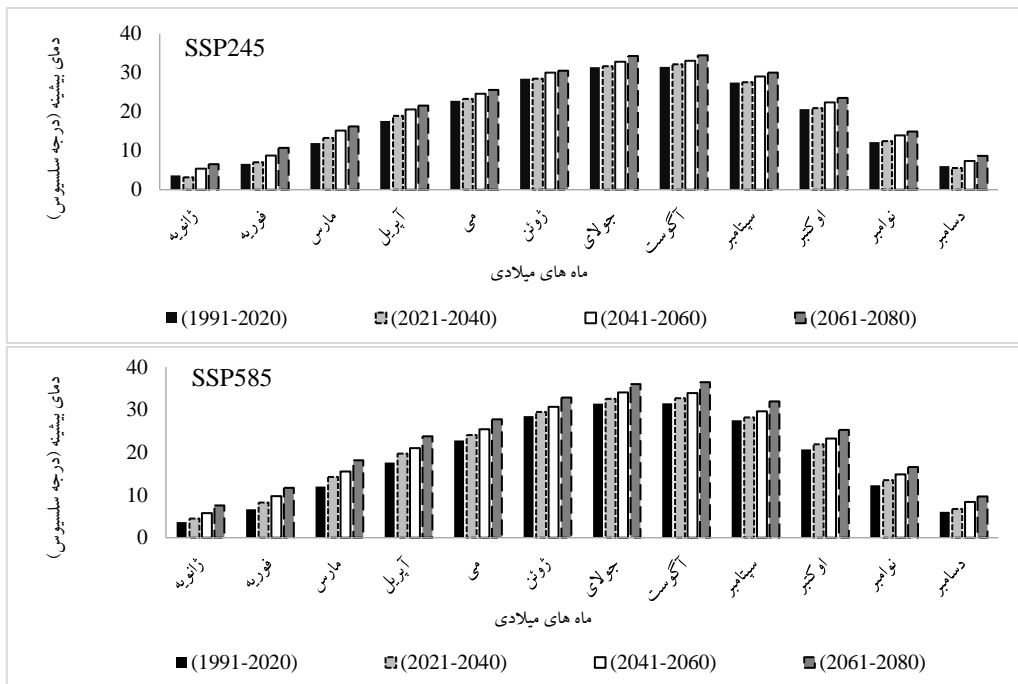
شکل ۸- مقایسه میانگین سالانه پارامترهای اقلیمی دوره ۳۰ ساله گذشته و دوره ۶۰ ساله آینده تحت سناریوهای SSP در شهر شیراز

پیش‌نمایی دمای بیشینه، دمای کمینه و تابش در شهر ارومیه شکل‌های ۹، ۱۰ و ۱۱ به ترتیب میانگین ماهانه دمای بیشینه، دمای کمینه و تابش در دوره گذشته (۲۰۲۰-۱۹۹۱) و دوره‌های آینده (تحت سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585) را برای شهر ارومیه نشان می‌دهند. در مقایسه بین دوره گذشته و دوره‌های آینده (تحت سناریوهای SSP)، مقدار دمای بیشینه در دوره‌های آینده بیشتر از دوره گذشته می‌باشد. اما مقدار دمای بیشینه در ماه‌های ژانویه و دسامبر تحت سناریو SSP245 در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ با اختلاف کمی کمتر از دوره گذشته می‌باشد. به‌طور کلی در مقایسه بین تمامی دوره‌ها، بیشترین مقدار دمای بیشینه متعلق به ماه جولای از دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ تحت سناریو SSP126 با مقدار ۳۳/۲۸ درجه سلسیوس، ماه آگوست از دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ تحت سناریوهای SSP245 و SSP585 به‌ترتیب با مقادیر ۳۴/۴۹ و ۳۶/۴۳ درجه سلسیوس می‌باشد. کمترین مقدار دمای بیشینه نیز متعلق به ماه ژانویه از دوره گذشته با مقدار ۳/۶۹ درجه سلسیوس می‌باشد، اما در مقایسه بین دوره گذشته با دوره‌های آینده (تحت سناریو SSP245) کمترین مقدار دمای بیشینه متعلق به ماه ژانویه از دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ با مقدار ۳/۲ درجه سلسیوس می‌باشد. در مقایسه بین دوره گذشته و دوره‌های آینده (تحت سناریوهای SSP) در تمامی ماه‌ها، مقدار دمای کمینه در

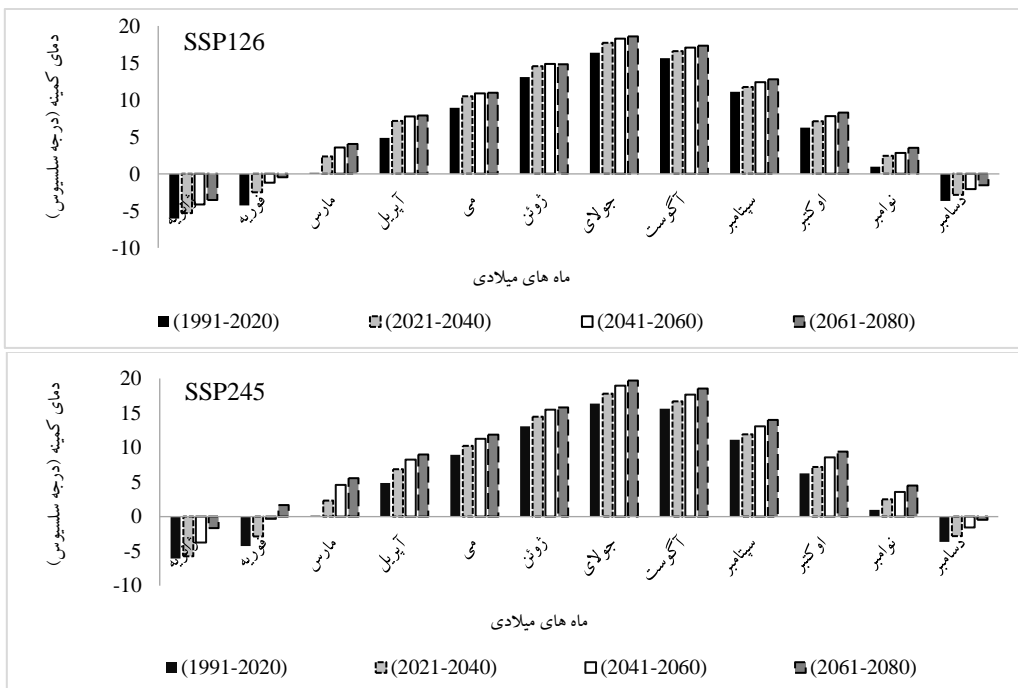
دوره‌های آینده بیشتر از دوره گذشته می‌باشد. به‌طور کلی در مقایسه بین تمامی دوره‌ها، بیشترین مقدار دمای کمینه متعلق به ماه جولای از دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ تحت سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585 به‌ترتیب با مقادیر ۱۸/۵۸، ۱۹/۷ و ۲۰/۹۷ درجه سلسیوس می‌باشد. کمترین مقدار دمای کمینه نیز متعلق به ماه ژانویه از دوره گذشته (۶/۰۴- درجه سلسیوس) می‌باشد.

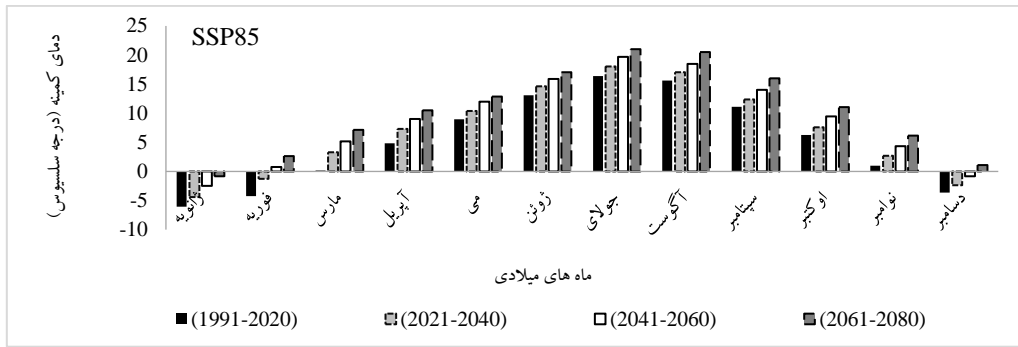
در ماه‌های آگوست و سپتامبر، تغییرات تابش با اختلاف بسیار کم سیر صعودی را از گذشته به سمت آینده طی می‌کند. در سایر ماه‌ها، روند تغییرات بین دوره‌های مختلف متغیر و نامنظم است. به‌طور کلی در مقایسه بین دوره گذشته و دوره‌های آینده (تحت سناریو SSP126)، بیشترین مقدار تابش متعلق به ماه ژوئن از دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ با مقدار ۴۱/۹ ژول بر سانتی‌متر مربع بر روز می‌باشد. در مقایسه بین دوره گذشته و دوره‌های آینده (تحت سناریوهای SSP245 و SSP585) بیشترین مقدار تابش متعلق به ماه ژوئن از دوره گذشته با مقدار ۴۱/۶۸ ژول بر سانتی‌متر مربع بر روز می‌باشد. کمترین مقدار تابش نیز متعلق به ماه دسامبر از دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ تحت سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585 به‌ترتیب با مقادیر ۱۴/۷۲، ۱۴/۴۹ و ۱۴/۶۱ ژول بر سانتی‌متر مربع بر روز می‌باشد.



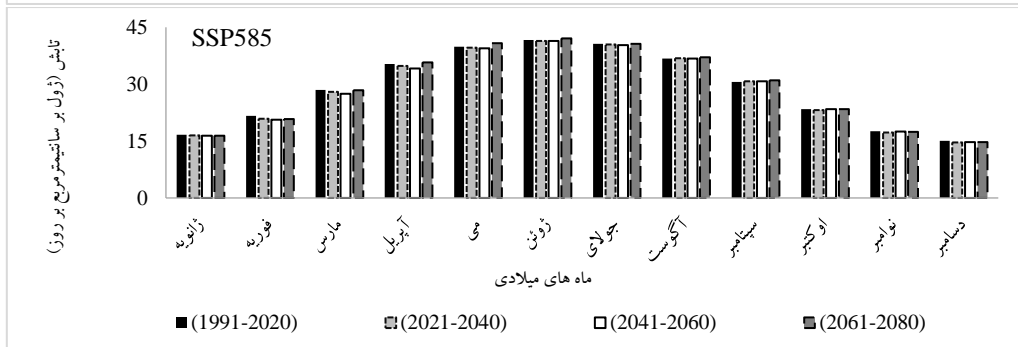
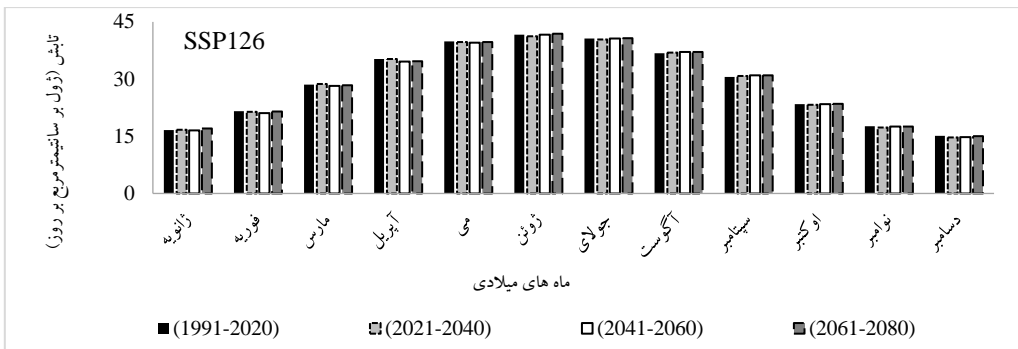


شکل ۹- مقایسه میانگین ماهانه دمای بیشینه دوره گذشته و دوره‌های آینده (تحت سناریوهای SSP) در شهر ارومیه





شکل ۱۰- مقایسه میانگین ماهانه دمای کمینه دوره گذشته و دوره‌های آینده (تحت سناریوهای SSP) در شهر ارومیه



شکل ۱۱- مقایسه میانگین ماهانه تابش دوره گذشته و دوره‌های آینده (تحت سناریوهای SSP) در شهر ارومیه

ماه‌های سال دارای روند افزایشی معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد می‌باشد. از طرفی تغییرات تابش در ارومیه در ماه‌های ژانویه، جولای معنی‌دار نیست، اما در

روند تغییرات ماهانه پارامترهای اقلیمی دما و تابش در شهر ارومیه با استفاده از آزمون ناپارامتری منکندال در جدول ۶ آمده است. دمای بیشینه و دمای کمینه در تمامی

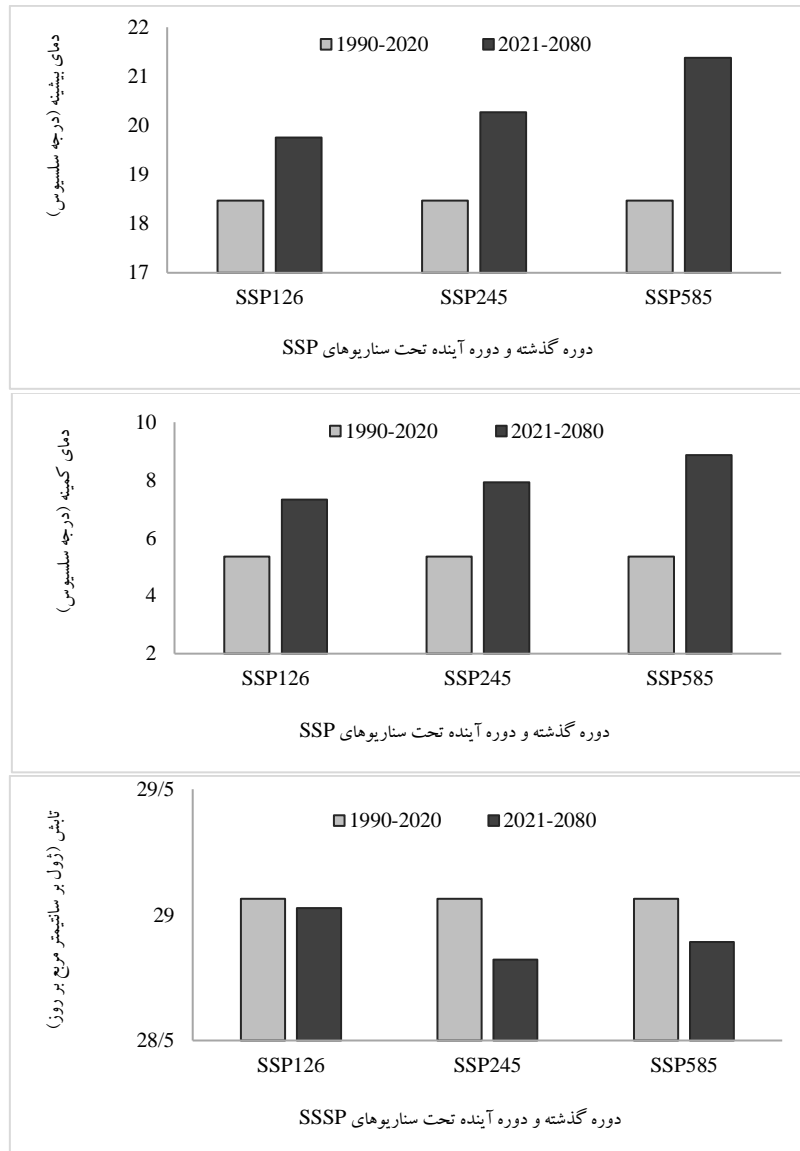
سایر ماه‌ها روند افزایشی معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارد.

جدول ۶. نتایج بررسی روند تغییرات ماهانه پارامترهای اقلیمی بر اساس آزمون من-کندال در شهر ارومیه

ماه	دماى بیشینه %		دماى کمینه %		تابش %	
	Z	P-Value	Z	P-Value	Z	P-Value
ژانویه	۰/۲۲۳	۰/۰۲۷	۰/۲۴۴	۰/۰۱۷	۰/۱۶۸	۰/۰۸۲
فوریه	۰/۲۴۴	۰/۰۱۷	۰/۲۳۴	۰/۰۲۲	۰/۲۳۴	۰/۰۲۲
مارس	۰/۲۳۴	۰/۰۱۷	۰/۲۴۴	۰/۰۱۷	۰/۲۱۲	۰/۰۳۴
آوریل	۰/۲۳۴	۰/۰۲۲	۰/۲۴۴	۰/۰۱۷	۰/۱۹۵	۰/۰۴۸
می	۰/۲۴۵	۰/۰۲۲	۰/۲۴۵	۰/۰۱۷	۰/۱۹۵	۰/۰۲۷
ژوئن	۰/۲۴۵	۰/۰۱۷	۰/۲۳۴	۰/۰۲۲	۰/۲۳۴	۰/۰۲۲
جولای	۰/۲۴۵	۰/۰۱۷	۰/۲۴۴	۰/۰۱۷	۰/۱۷۹	۰/۰۶۶
آگوست	۰/۲۴۵	۰/۰۱۷	۰/۲۴۴	۰/۰۱۷	۰/۲۳۴	۰/۰۲۲
سپتامبر	۰/۲۴۵	۰/۰۱۷	۰/۲۴۴	۰/۰۱۷	۰/۲۳۴	۰/۰۲۲
اکتبر	۰/۲۴۵	۰/۰۱۷	۰/۲۴۴	۰/۰۱۷	۰/۲۱۷	۰/۰۳۱
نوامبر	۰/۲۴۵	۰/۰۱۷	۰/۲۴۴	۰/۰۱۷	۰/۲۳۴	۰/۰۲۲
دسامبر	۰/۲۳۴	۰/۰۲۲	۰/۲۳۴	۰/۰۲۲	۰/۲۴۴	۰/۰۱۷

شکل ۱۲ نیز مقایسه میانگین دمای بیشینه، دمای کمینه و تابش را بین دوره ۳۰ ساله گذشته و دوره ۶۰ ساله آینده تحت سناریوهای SSP در شهر ارومیه نشان می‌دهد. میانگین سالانه دمای بیشینه در دوره آماری ۶۰ ساله آینده تحت سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585، به ترتیب ۱/۲۸، ۱/۸ و ۲/۹ درجه سلسیوس نسبت به دوره آماری گذشته افزایش می‌یابد. میانگین سالانه دمای کمینه در دوره آماری ۶۰ ساله آینده تحت سناریوهای نامبرده، به ترتیب ۱/۹۶، ۲/۵۶ و ۳/۵ درجه سلسیوس نسبت به دوره آماری گذشته افزایش می‌یابد. در نتیجه، افزایش دما در آینده در شهر ارومیه می‌تواند آسیب جدی به محیط زیست و اکوسیستم وارد کند و عملیات و

تولیدات کشاورزی را با مشکلات عدیده‌ای مواجه سازد. جهانگیر و محمدی (۱۳۹۷) نیز طی مطالعه‌ای در ارومیه افزایش دما تا ۱/۵ درجه سلسیوس و ۳ درجه سلسیوس به ترتیب تا سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۶۵ را پیش‌نمایی کردند. میانگین سالانه تابش نیز در دوره آماری ۶۰ ساله آینده تحت سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585 به ترتیب ۰/۳۶، ۰/۲۴ و ۰/۱۷۲ ژول بر سانتی‌متر مربع بر روز نسبت به دوره آماری گذشته کاهش می‌یابد. دلیل کاهش تابش خورشیدی توسط جو می‌تواند پراکندگی، جذب و یا افزایش رطوبت هوا در آینده باشد. همچنین با افزایش فاصله نسبی زمین تا خورشید شدت تابش خورشیدی کمتر خواهد شد.



شکل ۱۲- مقایسه میانگین سالانه پارامترهای اقلیمی دوره ۳۰ ساله گذشته و دوره ۶۰ ساله آینده تحت سناریوهای SSP در شهر ارومیه

نتیجه گیری

بود که میانگین دمای بیشینه در دوره آماری ۶۰ ساله آینده تحت سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585 نسبت به دوره گذشته افزایش می‌یابد. به طوری که تحت سناریوهای نامبرده در شهر گرگان به ترتیب ۱/۲، ۱/۴۹ و ۲/۳۶ درجه سلسیوس، در شهر شیراز به ترتیب ۱/۲۵، ۱/۶۷ و ۲/۴۵ درجه سلسیوس و در شهر ارومیه به ترتیب ۱/۲۸، ۱/۸ و ۲/۹۶ درجه سلسیوس بیشتر از دوره گذشته می‌باشد. میانگین دمای کمینه نیز در دوره آماری ۶۰ ساله آینده تحت سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585

پژوهش حاضر به بررسی روند تغییرات دما و تابش در آینده تحت سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585 از مدل اقلیمی برتر (HadGEM3) در شهرهای گرگان، شیراز و ارومیه پرداخت. نتایج تحلیل آماری آزمون من‌کندل در شهرهای مطالعاتی نشان داد که روند تغییرات ماهانه دمای بیشینه و کمینه در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بود. روند تغییرات ماهانه تابش در شهر گرگان در تمامی ماه‌ها معنی‌دار بود و در شهرهای شیراز و ارومیه در بعضی ماه‌ها معنی‌دار نبود. نتایج حاکی از آن

نسبت به دوره گذشته افزایش می‌یابد. به طوری که تحت سناریوهای نامبرده در شهر گرگان به ترتیب ۱/۷، ۲/۱۵ و ۳ درجه سلسیوس، در شهر شیراز به ترتیب ۱/۹۶، ۲/۵ و ۳/۵۲ درجه سلسیوس و در شهر ارومیه به ترتیب ۱/۹، ۲/۵ و ۳/۵ درجه سلسیوس بیشتر از دوره گذشته می‌باشد. این افزایش دما می‌تواند به دلیل افزایش گازهای گلخانه‌ای نظیر CO₂ باشد. گرم‌تر شدن زمین در آینده می‌تواند الگوهای کلی گردش‌های جوی را بر هم زند و خشکسالی و توفان‌های شدید را به همراه داشته باشد و منجر به کاهش تنوع زیستی و تخریب زیست‌بوم‌ها گردد. افزایش دما در آینده می‌تواند بر کیفیت و کمیت منابع آب و خاک تأثیر بگذارد. همچنین، نیاز آبی گیاهان و تولیدات کشاورزی را در شهرهای مطالعاتی تحت تأثیر قرار دهد. تابش نیز در آینده تحت سناریوهای نامبرده در شهر گرگان به ترتیب ۰/۶۵، ۰/۲۷ و ۰/۴۱ ژول بر سانتی‌متر مربع بر روز بیشتر از دوره گذشته و در شهر ارومیه به ترتیب ۰/۳۶، ۰/۲۴ و ۰/۱۷ ژول بر سانتی‌متر مربع بر روز کمتر از دوره گذشته می‌باشد. در شهر شیراز مقدار تابش در دوره آماری ۶۰ ساله آینده تحت سناریو SSP126، نسبت به دوره گذشته به مقدار ناچیزی افزایش می‌یابد. اما تحت سناریو SSP245 و SSP585 به ترتیب ۰/۱۹ و ۰/۴۱ ژول بر سانتی‌متر مربع بر روز نسبت به دوره گذشته کاهش می‌یابد. افزایش یا کاهش تابش خورشیدی در شهرهای مطالعاتی نیز می‌تواند در صنایع مختلف (تولید برق، گرمایش آب، تولید هیدروژن) و مدیریت بهینه انرژی نقش مؤثری داشته باشد. همچنین برای انجام فتوسنتز مطلوب گیاهان، نور با شدت زیاد لازم است، هر چند تابش خورشیدی بیش از حد باعث احتلال در رشد گیاه و یا حتی سبب مرگ گیاه می‌گردد. بنابراین، بر طبق نتایج پژوهش حاضر آگاهی از وضعیت پارامترهای اقلیمی دما و تابش آینده می‌تواند به تصمیم‌گیری و عملکرد مدیران و برنامه‌ریزان در بخش‌های منابع آب و خاک، کشاورزی،

محیط زیست، صنعت و اقتصاد کمک شایانی نماید. در این راستا پیشنهاد می‌گردد که گیاهان مناسب و سازگار با شرایط اقلیمی جدید در آینده در مناطق مطالعاتی کشت شود. همچنین اقدامات لازم به منظور حفظ کمی و کیفی منابع آب و خاک و انرژی از سوی دولت به عمل آید.

منابع

- انصاری‌مه‌بادی، ث؛ دهیان، ح؛ زارعیان، م ج؛ و فرخ‌نیا، ا. (۱۴۰۱). بررسی روند تغییرات دما و بارش حوضه‌های آبریز ایران در افق ۲۰ سال آینده بر اساس برون‌داد مدل‌های CMIP6. پژوهش آب ایران. ۱۱(۱)، ۲۴-۱۱.
- ایران‌شاهی، م؛ ابراهیمی، ب؛ یوسفی، ح. و مریدی، ع. (۱۴۰۱). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت دما و بارش با استفاده از شبکه عصبی و گزارش ششم IPCC (مطالعه موردی: ایستگاه‌های الشتر و خرم‌آباد). نشریه مدیریت آب و آبیاری، ۱۲(۴)، ۸۴۵-۸۲۱. DOI: <http://doi.org/10.22059/jwim.2022.346796.1009>
- ایزدی، ن؛ امیرآبادی زاده، م؛ دستورانی، م. (۱۴۰۲). بررسی تغییرات دمای هوا در شهرستان طبس در افق آینده با استفاده از گزارش ششم تغییر اقلیم. نشریه هواشناسی علم و جو. ۱۶(۱)، ۱-۱۴.
- جهانگیر، م ح و محمدی، ع. (۱۳۹۷). پهنه‌بندی دما و بارش استان آذربایجان شرقی با استفاده از مدل ریزمقیاس LARS WG برای سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۶۵. فصلنامه علمی-پژوهشی جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای). ۲۸(۲)، ۱۱۹-۱۳۰.
- حاجیوند پایداری، س.، یزدان‌پناه، ح.، اندرزیان، ب. (۱۴۰۱). بررسی اثرات منطقه‌ای پدیده تغییر اقلیم در شمال استان خوزستان با بهره‌گیری از مدل HadCM3 تحت ریزمقیاس‌نمایی LARS WG در دوره آماری ۲۰۱۰-۲۰۳۰ و ۲۰۵۰-۲۰۳۰. نشریه جغرافیا و روابط انسانی. ۱۵(۱)، ۲۹۹-۳۱۴.
- زرین، آ؛ داداشی رودباری، ع. (۱۴۰۲). بررسی مدل‌های CMIP6 در برآورد دمای ایران با تأکید بر حساسیت اقلیم ترازمند (ECS) و پاسخ اقلیم گذرا (TCR). مجله ژئوفیزیک ایران. ۱۱(۱)، ۵۶-۳۹. <https://doi.org/10.30499/ijg.2022.344862.1430>
- شجاع، ف؛ حمیدیان‌پور، م. (۱۴۰۲). پیش‌نمایی پیامدهای تغییر اقلیم در توسعه گردشگری سواحل جنوب (جزیره

14. Moses. (2024). Projected changes in rainfall and temperature using CMIP6 models over the Okavango River basin, southern Africa. *Theoretical and Applied Climatology*. 155: 5337–5351. <https://doi.org/10.1007/s00704-024-04950-6>.
15. Pedersen, J.T.S., Vuuren, D., Gupta, J., Santos, F.D., Jae Edmonds, J., & Swart, R. (2022). IPCC emission scenarios: How did critiques affect their quality and relevance 1990–2022?, *Global Environmental Change*, Volume 75, 102538, ISSN 0959-3780.
16. Peng, SH., Wang, CH., Li, ZH., Mihara, K., Kuramochi, K., Toma, Y., & Hatano, R. (2023). Climate change multi-model projections in CMIP6 scenarios in Central Hokkaido, Japan. 13-230. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-27357-7>.
17. O'Neill B C, Kriegler E, & Ebi, K L. (2017). The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Global Environmental Change* 42:169–180
18. Rajabi, A.; Sedghi, H.; Eslamian, S., & Musavi, H. (2010). Comparison of LARS-WG and SDSM downscaling models in Kermanshah (Iran). *Ecol. Environ. Conserv.* 16, 1–7.
19. Semenov, M.A., & Barrow, E.M. (2002). LARS-WG: A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies; Rothamsted Research: Hertfordshire, UK.
20. Yılmaz, B., Aras, A., & Nacar, S. (2024). A CMIP6-ensemble-based evaluation of precipitation and temperature projections. *Theoretical and Applied Climatology*. 155:7377–7401. <https://doi.org/10.1007/s00704-024-05066-7>.
- کیش). فصلنامه علمی پژوهشی گردشگری و توسعه. ۱۲(۴)، ۲۳۷–۲۵۵.
۸. قربانی مینائی، ل؛ مساعدی، ا؛ ذاکری نیا، م؛ کلجلی، ا؛ و قبائی سوق، م. (۱۴۰۲). بررسی تغییر اقلیم بر روند دما و بارش آبی حوضه قره سو طبق مدل‌های CMIP6. *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*. ۲۵۵(۲)، ۲۴۵–۲۶۸. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.369146.669613>
۹. کابوسی، ک. و کردجزی، م. (۱۳۹۶). بررسی اثر تغییر اقلیم بر متغیرهای هواشناسی و خشکسالی در استان گلستان. *نشریه تحقیقات منابع آب ایران*. ۱۳(۳)، ۲۰۵–۲۱۳.
۱۰. مقدس، پ؛ محجوبی، ع؛ و قره چلو، س. (۱۴۰۳). اولویت‌بندی مدل‌های گردش عمومی جو مبتنی بر گزارش ششم تغییر اقلیم با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در حوضه آبریز نکارود. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*. ۱۸(۱)، ۱۵–۲۵.
11. Chen R., Li H., Wang X., Gou X., Yang M., & Wan G. (2022). Surface air temperature changes over the Tibetan Plateau: Historical evaluation and future projection based on CMIP6 models. *Geoscience Frontiers* 13(6):101452
12. Eyring V., Cox P M., & Flato G M. (2019). Taking climate model evaluation to the next level. *Nature Climate Change* 9(2):102–110.
13. Kamruzzaman, M., Wahid, SH., Shahid, SH., Alam, E., Mainuddin, M., Touhidul Islam, H.M., Cho, J., Rahman, M.D., Biswasi, J.C., & Thorp Kelly. R. (2023). Predicted changes in future precipitation and air temperature across Bangladesh using CMIP6 GCMs. *Heliyon*. Volume 9, Issue 5. e16274.

Projection of Future Temperature and Solar Radiation in Gorgan, Shiraz, and Urmia Using the LARS WG Software

Marzieh Bagheri Khaneghahi^{1*}, Aboutaleb Hezar jaribi², Mohammad Ismaeil Kamali³, Fatemeh Zamani⁴

1. PhD student in irrigation and drainage engineering, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
2. Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
3. Assistant Professor, Department of Soil and Water Research, Center for Research and Education of Agriculture and Natural Resources of Mazandaran Province, Organization of Research, Education and Extension of Agriculture, Sari
4. Assistant Professor, Department of Artificial intelligence, Faculty of Electrical and Computer Engineering, Noshirvani University of Technology, Babol

*Corresponding Author Email: Marziehb67@yahoo.com

Received: 11 January 2025, Accepted: 15 April 2025

ABSTRACT

The objective of this study is to project the future temperature and solar radiation for the cities of Gorgan, Shiraz, and Urmia using the LARS-WG8 weather generator (driven by the HadGEM3 climate model under the SSP126, SSP245, and SSP585 emission scenarios), based on historical data from the 1991-2020 period. The results indicated that, for the upcoming 60-year statistical period, compared to the historical period, the maximum temperature in Gorgan is projected to increase by 1.2 °C, 1.49 °C, and 2.36 °C, and the minimum temperature by 1.7 °C, 2.15 °C, and 3.0 °C under the three scenarios, respectively. In Shiraz, the maximum temperature is projected to increase by 1.25 °C, 1.67 °C, and 2.45 °C, and the minimum temperature by 1.96 °C, 2.5 °C, and 3.52 °C, respectively. In Urmia, the maximum temperature is projected to increase by 1.28 °C, 1.8 °C, and 2.96 °C, and the minimum temperature by 1.9 °C, 2.5 °C, and 3.5 °C, respectively. The future trend of solar radiation was projected to be higher in Gorgan and lower in Shiraz compared to the historical period, while in Urmia, it varied under the different scenarios. Therefore, in light of these future changes in temperature and radiation, managers and planners must make sound decisions to improve sectors affected by climatic parameters (i.e., water and soil resources, agriculture, the environment, and industry). Consequently, it is recommended that, to adapt to the new climatic conditions, more suitable crops be cultivated in the studied regions and that necessary measures be taken to preserve the quantity and quality of water, soil, and energy resources.

Keywords: Climate Change, Downscaling, LARS-WG, Temperature Projection, Solar Radiation, Agriculture, Water Resources, Iran.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Bagheri Khaneghahi, M. , Hezarjaribi, A. , Kamali, M.E. , Zamani, F. (2025). Projection of Future Temperature and Solar Radiation in Gorgan, Shiraz, and Urmia Using the LARS WG Software. *Journal of Meteorology and Atmospheric Science.*, 7(1): 37-59. Doi: 10.22034/jmas.2025.499268.1237

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

