

بررسی رخداد تغییر اقلیم و تأثیر آن بر طول دوره رشد گندم (مطالعه موردی: استان فارس)

محمد رضائی چرمهینی^{۱*}، حسین یوسفی^۲، زینب منصوری^۳، پارسا حقیقی^۴

۱. دانشجوی دکتری علوم و تکنولوژی بذر؛ دانشگاه تهران

۲. دانشیار گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

۳. کارشناسی ارشد علوم و تکنولوژی بذر دانشگاه تهران

۴. کارشناسی ارشد مهندسی طبیعت، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۸/۰۵/۲۰؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۸/۱۱/۲۰)

چکیده

هدف از پژوهش حاضر، پیش‌بینی تغییرات اقلیمی و بررسی اثر تغییر احتمالی اقلیم روی مقادیر درجه-روز رشد و تعداد روز کل رشد گندم در استان فارس است. به این منظور، با استفاده از داده‌های اقلیمی سه ایستگاه سینوپتیک شیراز، لار و آبادۀ استان فارس و داده‌های دو مدل HADGEM2-ES و EC-EART تحت سناریوهای RCP45 و RCP85 ریزمقیاس شده‌اند. به‌منظور ریزمقیاس‌نمایی، از مدل آماری LARS-WG استفاده شده است. نتایج نشان داد مدل LARS-WG دقت مناسب در ریزمقیاس‌نمایی پارامترهای اقلیمی بارش، دمای کمینه و بیشینه استان فارس را دارد. دمای کمینه و بیشینه هر سه ایستگاه شیراز، لار و آبادۀ تحت دو سناریوی RCP45 و RCP85 روندی افزایشی داشته است. مقدار افزایش دمای کمینه دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۱۵) استان فارس نسبت به دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ برای سناریوی RCP45 و RCP85 به‌ترتیب برابر با ۱/۴۳ و ۱/۶۵ درجه سانتی‌گراد است. مقدار افزایش دمای بیشینه دوره پایه نسبت به این دوره برای سناریوی RCP45 و RCP85 به‌ترتیب برابر با ۱/۵۱ و ۱/۶۶ درجه سانتی‌گراد است. مقدار تغییرات بارش دوره پایه نسبت به دوره یادشده برای سناریوی RCP45 و RCP85 به‌ترتیب برابر با ۲/۹۳ و ۱/۹۵ درصد افزایش را نشان می‌دهد. در ادامه، با استفاده از معادله ADP مقدار شاخص تعداد-روز تحت دو آستانه دمایی ۴ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد برای بازه زمانی پایه و آینده (۲۰۲۱-۲۰۴۰) محاسبه و نتایج نشان داد درجه روزهای دوره رشد گندم (GDD) و تعداد روز کل دوره رشد (DAP) نسبت به دوره پایه به‌ترتیب روندی افزایشی و کاهش داشته است. تعداد روز کل دوره رشد ایستگاه شیراز مدل HadGEM2-ES تحت دو سناریوی RCP45 و RCP85 از ۲۴۴ (دوره پایه) به ۱۶۹ و ۱۶۵ کاهش داشته و برای ایستگاه آبادۀ از ۲۷۷ به ۲۲۰ و ۲۱۷ و برای ایستگاه لار از ۱۹۸ به ۱۴۳ و ۱۴۵ کاهش داشته است.

کلیدواژگان: استان فارس، تغییر اقلیم، سناریوهای RCP، ریزمقیاس‌نمایی، GDD، ADP.

مقدمه

آب‌وهوا یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار بر بیشتر وقایع جهانی است. در این میان تغییر اقلیم، می‌تواند زمین را دستخوش تغییر کند و بر بسیاری از پدیده‌ها، از جمله کشاورزی و عملکرد محصولات زراعی و باغی، تأثیر ویژه‌ای داشته باشد [۱]. تغییر اقلیم از گسترش‌یافته‌ترین موضوع‌های بحث‌شده در رشته اقلیم‌شناسی در دو دهه اخیر است. انسان به عنوان جزئی از سیستم اقلیمی تأثیر زیادی بر رفتار اقلیم دارد. به‌خصوص در عصر حاضر با افزایش جمعیت و نیاز انسان به منابع آب و غذا و در نتیجه افزایش اراضی کشاورزی، از بین رفتن جنگل‌ها، بیابان‌زایی و افزایش استفاده از انرژی‌های فسیلی سبب دگرگونی در سیستم اقلیمی شده است [۲]. بر اساس داده‌های ثبت‌شده اقلیمی، متوسط دمای سطح زمین تا پایان قرن بیستم حدود ۰/۶ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته که بیشترین گرمایش از سال‌های ۱۹۱۰ تا ۱۹۴۵ و از ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۰ اتفاق افتاده است. بر اساس مدل‌های گردش عمومی تحت سناریوهای مختلف، پیش‌بینی می‌شود متوسط دمای جهان طی دوره‌های ۱۹۹۰ تا ۲۱۰۰ بین ۱/۴ تا ۵/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. که این افزایش دما همراه با تغییراتی در الگوهای مکانی و زمانی بارش خواهد بود [۳]. مدل‌های گردش عمومی جو مدل‌هایی هستند که برای شبیه‌سازی اقلیم کنونی کره زمین توسعه یافته‌اند تا تغییرات اقلیم آینده کره زمین را پیش‌بینی کنند [۴]. در گزارش مربوط به IPCC همچنین بیان شده است که کاهش گازهای گلخانه‌ای می‌تواند از تشدید پدیده تغییر اقلیم در دوره‌های آتی بکاهد، ولی باید توجه داشت که حتی اگر در حال حاضر، انتشار تمامی گازهای گلخانه‌ای در سطح کره زمین متوقف شود، آثار این پدیده تا اواخر قرن بیست و یکم به دلیل عمر ماندگاری طولانی دی‌اکسید کربن به عنوان مهم‌ترین گاز گلخانه‌ای موجود در جو کره زمین، ادامه خواهد یافت [۵]. اگرچه بخش‌های مختلف اقتصادی اعم از کشاورزی، جنگلداری، آب، صنعت، گردشگری، انرژی و حتی بازارهای مالی و بیمه از تغییرات اقلیم متأثر می‌شوند. در این میان، بخش کشاورزی وابسته‌ترین بخش به اقلیم بوده و اقلیم تعیین‌کننده اصلی مکان، منابع تولید و بهره‌وری فعالیت‌های کشاورزی است. افزون بر این، بخش کشاورزی سهم زیادی در اقتصاد کشورهای در حال توسعه

داشته و ارتباطات گسترده‌ای با دیگر بخش‌های اقتصادی دارد، ضمن اینکه خود یکی از منابع تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای است. فعالیت‌های کشاورزی انسان تابعی از محیط فیزیکی ای است که وی در آن زندگی می‌کند. انسان همواره سعی می‌کند محدودیت‌های فیزیکی را به حداقل برساند و در این خصوص شناخت مقدماتی محیط طبیعی از جمله عوامل اصلی مؤثر بر کشاورزی مانند اقلیم، برای توسعه کشاورزی امری ضروری بوده است. آب (بارش) و دما دو عامل اصلی کارکرد سیستم فیزیولوژی و رشد همه گیاهان هستند [۶]. از نظر فیزیولوژی گیاهان زراعی، هر تغییر محیطی می‌تواند بر فرایندهای رشد و نمو گیاهان و در نهایت بر تولید و عملکرد گیاه زراعی مؤثر باشد [۷]. تردیدی نیست که در شرایط تغییر اقلیم، شاخص‌های اقلیمی کشاورزی نیز دستخوش تغییر می‌شوند و با ارزیابی تغییر این شاخص‌ها، امکان بررسی واکنش گیاهان زراعی به شرایط اقلیمی میسر خواهد شد [۸]. یکی از این شاخص‌های اقلیم کشاورزی که نقش عمده‌ای در مراحل تکامل و رشد گیاه به عهده دارد، پارامتر درجه-روز مورد نیاز گیاه است [۹]. درجه-روز رشد (GDD) به طور معمول در مدیریت کشاورزی و منابع طبیعی برای پیش‌بینی رشد گیاهان استفاده می‌شود [۱۰]. و بر این ایده استوار است که رشد و توسعه یک گیاه فقط زمانی صورت می‌گیرد که برای تعداد معینی روز، دمای بیش از یک دمای پایه باشد [۱۱]. بنابراین، شناخت تغییرات زمانی درجه-روز، به عنوان یکی از مؤلفه‌های آب‌وهوایی تأثیرگذار بر رشد و بازده محصولات کشاورزی امری ضروری است. تا کنون مطالعات متعددی در زمینه استفاده از روش‌های ریزمقیاس‌نمایی برای تحلیل آثار تغییر اقلیم و تأثیر آن بر کشاورزی صورت پذیرفته است. برای شبیه‌سازی واکنش سیستم اقلیم زمین به افزایش گازهای گلخانه‌ای و تغییرات اقلیمی، از مدل‌های اقلیمی استفاده می‌شود. مدل‌های گردش عمومی پیوندی اقیانوس-اتمسفر (AOGGM) که در دسته مدل‌های سه‌بعدی قرار دارند، از معتبرترین این مدل‌ها هستند. مدل‌های گردش عمومی پیوندی برای شبیه‌سازی وضعیت اقلیمی آینده زمین، فرایندهای به‌وجودآورنده وضعیت اقلیمی را بررسی کرده و از طریق قوانین فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی، شرایط اقلیمی احتمالی در آینده را پیش‌بینی می‌کنند. همچنین، این مدل‌ها متغیرهای اقلیمی مانند دما، بارش،

سرعت باد، فشار و... را برآورد می‌کنند. تغییر اقلیم همه بخش‌های اقتصادی را تا اندازه‌ای تحت تأثیر قرار می‌دهد و شاید بخش کشاورزی، حساس‌ترین و آسیب‌پذیرترین آن باشد؛ چراکه محصولات کشاورزی وابستگی زیادی به منابع اقلیمی دارند و با توجه به شواهد علمی، تغییر اقلیم آینده، به‌ویژه آثار ترکیبی افزایش دما و زیاد شدن غلظت CO₂ جو، افزایش احتمال وقوع حوادث حدی (خشکسالی، سیلاب و یخبندان)، می‌تواند آثار فراوانی روی محصولات کشاورزی داشته باشد [۱۲]. تحقیقات مختلفی در زمینه تأثیر تغییر اقلیم بر رشد گیاهان زراعی و کشاورزی انجام شده است که در ادامه به تعدادی از آنها در داخل و خارج کشور اشاره شده است. در مطالعه‌ای شریلانت و همکاران (۲۰۱۶) آثار دما و بارش را بر عملکرد و ریسک عملکرد دانه سورگوم مربوط به منطقه خاص هندوستان برای دوره زمانی مشخص ۳۳ ساله (۱۹۶۹-۲۰۰۲) بررسی کردند. در پژوهش یادشده با استفاده از داده‌های پانل و تابع تولید تصادفی جاست و پاپ و رگرسیون چندمتغیره نشان داده شد که افزایش دما سبب اثر منفی بر عملکرد و ریسک عملکرد محصول می‌شود، در حالی که افزایش بارش به‌خصوص در دوره رشد آثار مثبتی بر عملکرد و ریسک عملکرد محصول می‌گذارد [۱۳]. سلیمانی نادگانی و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی رخدادهای شش پدیده تغییر اقلیم و تأثیر آن بر زمان کاشت، طول دوره رشد و نیاز آبی گندم زمستانه در منطقه بهشهر به این نتیجه رسیدند که تحت شرایط تغییر اقلیم در آینده، دوره زمانی مناسب برای کاشت گندم طی روز کوتاه‌تر خواهد شد. تبخیر و تعرق گیاه در ۹-۲۷ روز افزایش و طول دوره رشد گیاه بین ۱۴ طول فصل رشد افزایش می‌یابد، اما در مجموع تبخیر و تعرق کل فصل رشد گیاه به دلیل کوتاه‌تر شدن دوره رشد، کاهش خواهد یافت [۱۴]. ولی‌زاده و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقی که با هدف شبیه‌سازی آثار تغییر اقلیم بر تولیدات گندم دیم در دوره رشد برای منطقه سیستان و بلوچستان، با استفاده از شاخص‌های سطح برگ (LAI) توده زیستی و عملکرد دانه انجام داده بودند، دریافتند که در تمام حالات تغییرات آب‌وهوایی، عملکرد و حداکثر شاخص سطح برگ دانه گندم در مقایسه با فصل رشد گیاه به دلیل افزایش احتمالی دما و به‌خصوص میزان سرعت رشد گندم تأثیر منفی داشت [۱۵]. پائولو و همکاران (۲۰۱۵) اثر تغییر اقلیم روی محصولات

زراعی همچون گندم، چغندر قند و کلزا را با استفاده از سه مدل اقلیمی SIMONTO _ WW REMO. UBA و SIMONTO _ ZR برای دوره آماری (۱۹۷۰-۲۱۰۰) در نیدرزاکسن (آلمان) بررسی کردند. نتایج شبیه‌سازی برای محصولات مطالعه شده نشان داد افزایش دمای خطر ابتلا به بیماری‌ها را به‌ویژه برای گندم و چغندر قند در پی خواهد داشت [۱۶]. اینمکالدا و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از مدل MPI - OM / ECHAM5 و سناریوهای A2 و B1 اثر تغییر اقلیم روی گل‌دهی درخت سیب در زیرحوضه مدیریتانه‌ای را بررسی کردند. نتایج پژوهش یادشده نشان داد ارقام سیب از اواسط قرن ۲۱ متحمل تأخیر در زمان شکوفه دادن شده است و سناریوی A2 اختلال شدیدی را به عنوان پیامد انجماد نامناسب در طولانی مدت نشان می‌دهد و بر تولید محصول در منطقه مطالعه شده تأثیر می‌گذارد [۱۷]. لیانگ و همکاران (۲۰۱۵) اثر تغییر اقلیم بر فنولوژی درختان زردآلو را در پنج منطقه چین با مدل رگرسیون ارزیابی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد در مناطق با آب‌وهوای سرد، با گرم شدن بیشتر فصل بهار شکوفه‌دهی درختان زردآلو زودتر اتفاق می‌افتد؛ اما در مناطق گرم‌تر، دمای سرد به معنای زمان شکوفه‌دهی است که نشان می‌دهد گرم شدن بیشتر فصل زمستان سبب تأخیر در مراحل فنولوژیک بهار می‌شود [۱۸]. حجارپور و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهش شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر تولید نخود در شرایط دیم و آبی کرمانشاه، با استفاده از مدل SSM - CHICKPEA، به این نتیجه دست یافتند که عامل اصلی تعیین‌کننده عملکرد محصول نخود در آینده، افزایش دماست. نتایج پژوهش یادشده نشان داد عملکرد نخود دیم در آینده افزایش خواهد یافت؛ زیرا افزایش دما با تأثیر بر فنولوژی گیاه، سبب زودرس شدن نخود و عدم برخورد گیاه با تنش خشکی انتهای فصل می‌شود که همین امر عملکرد را افزایش می‌دهد؛ اما در شرایط آبی به علت کاهش دوره رشد گیاه بر اثر افزایش دما و آثار منفی دماهای زیاد، کاهش عملکرد را در پی دارد [۱۹]. پاپاریوز و ماتزراکیس (۲۰۱۶) در پژوهشی با ارزیابی حال و آینده درجه-روزهای رشد در شرایط آب‌وهوایی یونان به این نتیجه رسیدند که تحت دو سناریوی A1B و B1، درجه-روزهای رشد در دوره‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۵۰ و ۲۰۷۱ تا ۲۱۰۰ روندی افزایشی خواهد داشت [۱۳]. محمدی و همکاران (۱۳۹۳) با

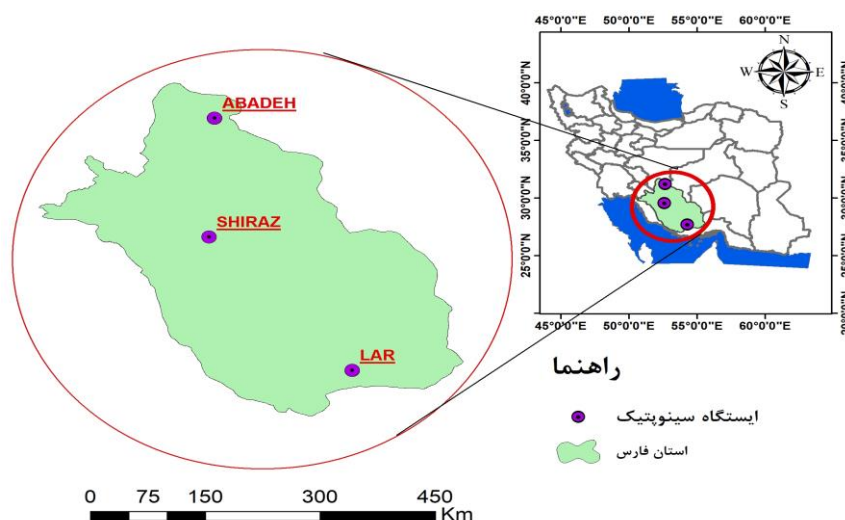
بعد از بخش خدمات را دارد و حدود ۲۷/۸ درصد از شاغلان استان فارس در بخش کشاورزی فعالیت دارند. همچنین، استان فارس صاحب رتبه اول تولید گندم در سطح کشور است [۲۲]. بنابراین، هدف از پژوهش حاضر، بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر پارامتر درجه - روز رشد گیاه گندم است.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه شده

استان فارس در بخش جنوبی ایران واقع شده است. آب‌وهوای استان فارس در نقاط مختلف آن به سه نوع کوهستانی، معتدل و گرم تقسیم می‌شود. مختصات جغرافیایی کامل استان فارس روی کره زمین از طول جغرافیایی ۵۰°۳۶ تا ۵۵°۳۵ شرقی و از عرض جغرافیایی ۲۷°۰۳ تا ۳۱°۴۰ شمالی است. استان فارس از شمال به استان اصفهان و از شمال شرق به استان یزد و از شمال غرب به استان کهگیلویه و بویراحمد و از جنوب و جنوب شرق به استان هرمزگان و از شرق به استان کرمان محدود می‌شود (شکل ۱). استان فارس ۲۳۸ هزار هکتار سطح کشت گندم آبی و ۱۱۸ هزار و ۲۲۷ هکتار کشت دیم گندم داشته که در پی آن، یک میلیون و ۱۱۱ هزار تن گندم تولید کرده است. به منظور بررسی منطقی تغییرات اقلیمی در استان با در نظر گرفتن کفایت داده‌ها و پراکنش مناسب سه ایستگاه سینوپتیک شیراز، آباده و لار در نظر گرفته شد. انتخاب سه ایستگاه مد نظر با توجه به موقعیت مکانی و کفایت داده‌ها انجام شد.

کوچک‌مقیاس‌سازی آماری داده‌های خروجی مدل CCSM4 به کمک نرم‌افزار LARS - WG تحت سناریوی RCP4.5 رخداد تغییر اقلیم در سرارود کرمانشاه را بررسی کرده و تأثیر آن را بر زمان کاشت و طول دوره رشد گندم دیم محاسبه کردند و دریافتند تحت شرایط تغییر اقلیم در دوره ۲۰۱۳ تا ۲۰۳۹، طول دوره رشد ۲۵ روز کوتاه‌تر خواهد شد و دوره زمانی مناسب برای کشت گندم دیم بین ۹ تا ۲۰ روز کاهش خواهد یافت [۲۰]. شاهکویی و روشن (۱۳۹۲) در پژوهشی برای ارزیابی تأثیر گرمایش جهانی در دو بازه زمانی ۲۰۳۵ - ۲۰۴۹ و ۲۰۶۵ - ۲۰۷۹ روی مقادیر درجه - روز مورد نیاز گیاه سویا در شهرستان گرگان از مدل گردش عمومی HadCM3 و ریزمقیاس‌نمایی LARS- WG تحت سه سناریوی A2، A1B و B1 استفاده کردند. نتایج شبیه‌سازی آنها نشان داد بر اثر افزایش دما، روند کلی مقادیر درجه - روز برای بیشتر سناریوها و سال‌های شبیه‌سازی شده افزایش خواهد یافت [۲۱]. بررسی مطالعات انجام‌شده نشان داد تغییر در پارامترهای اقلیمی مانند دما و بارش به صورت مستقیم و غیرمستقیم بر عملکرد گیاهان زراعی تأثیر داشته است. بخش کشاورزی در استان فارس کارکردی اساسی در تأمین تولید و اشتغال و امنیت غذایی کشور داشته و همچنین سهم عمده‌ای از تولید ناخالص ملی را به خود اختصاص می‌دهد، به طوری که ۸/۱ درصد ارزش‌افزوده بخش کشاورزی کشور (مقام دوم) مربوط به بخش کشاورزی استان فارس است. ارزش‌افزوده بخش کشاورزی با ۱۶/۶ درصد از کل ارزش‌افزوده استان، مقام دوم



شکل ۱. منطقه مطالعه شده

شبهه‌سازی‌های عددی سه‌بعدی شامل حرکات جوئی، تبدلات گرمایی و اندرکنش‌های یخ، اقیانوس و خشکی هستند. از آنجا که خروجی مدل‌های چرخش عمومی معتبرترین روش برای مطالعات تغییر اقلیم است و از طرفی، خروجی این مدل‌ها دارای دقت مکانی و زمانی کافی برای مطالعات تأثیر تغییر اقلیم بر سیستم‌های هیدرولوژی نیست، باید داده‌های خروجی مدل‌های چرخش عمومی کوچک‌مقیاس شوند [۲۳]. در پژوهش حاضر از مدل LARS-WG برای ریزمقیاس‌نمایی استفاده شده است. جدیدترین گزارش IPCC در سال ۲۰۱۳ منتشر شد. برای ارزیابی تغییرات اقلیمی آینده، از دو مدل گردش عمومی EC-EARTH، HadGEM2-ES که در گزارش پنجم IPCC آمده است، تحت دو سناریوی RCP45 و RCP85 استفاده شد. سناریوهای اقلیمی مطالعه‌شده در جدول ۲ ارائه شده است.

به منظور جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز برای پژوهش حاضر از ایستگاه‌های سینوپتیک موجود در منطقه کمک گرفته شد. برای بررسی تأثیرات تغییر اقلیم بر مقادیر حدی بارش و دمای استان فارس سه ایستگاه شیراز، آباده و لار بررسی شده و مقادیر بارش و دما طبق جدیدترین گزارش IPCC ریزمقیاس شده است. در جدول ۱ موقعیت جغرافیایی سه ایستگاه بررسی شده ارائه شده است. متوسط بارش بلندمدت ایستگاه‌های سینوپتیک شیراز، لار و آباده به ترتیب برابر است با ۳۳۲، ۲۰۲/۲۶ و ۱۳۶/۴۹ میلی‌متر در درازمدت به صورت سالانه است.

مدل‌های گردش عمومی و سناریوهای انتشار RCP

مدل‌های چرخش عمومی (GCM) بهترین اطلاعات درباره پاسخ جو به افزایش تمرکز گازهای گلخانه‌ای را می‌توانند فراهم کنند. این مدل‌ها وابسته به زمان و دارای

جدول ۱. موقعیت سه ایستگاه مطالعه‌شده

نام ایستگاه	ارتفاع (متر)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	بارندگی درازمدت (میلی‌متر)	متوسط دمای کمینه درازمدت (درجه سانتی‌گراد)	متوسط دمای بیشینه درازمدت (درجه سانتی‌گراد)
آباده	۱۴۸۴	۳۴°۵۲'	۳۳°۲۹'	۱۳۷	۰/۹۷	۲۶/۷۷
شیراز	۱۴۸۴	۵۲°۳۶'	۲۹°۵۳'	۳۳۲	۵/۱۸	۳۰
لار	۹۷۲	۵۴°۱۷'	۲۷°۶۸'	۱۲۰	۱۰/۵۸	۳۶

جدول ۲. سناریوهای اقلیمی گزارش پنجم

سناریو	کشور و مؤسسه طراح	فرض‌های کلیدی
RCP85	گروه مدل‌سازی MESSAGE و مؤسسه بین‌المللی آنالیز سیستم‌های کاربردی اتریش (IIASA)	بدون اتخاذ هیچ‌گونه سیاست‌های کاهش آثار و مقابله با پیامدهای اقلیم، آب‌وهوای کره زمین در خط سیر انتشار پیش خواهد رفت. به طوری که ادامه این روند به واداشت تابشی به میزان ۸/۵ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ منجر می‌شود. در این هنگام غلظت در اکسید کربن به ۱۰۰۰ PPM رسیده و همچنان این روند افزایش خواهد داشت.
RCP45	گروه مدل‌سازی MiniCAM و مؤسسه (JGCRI) در شمال غرب اقیانوس آرام	واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه‌ای، قبل از سال ۲۱۰۰ در مقدار ۴/۵ وات بر مترمربع ثابت می‌ماند.

مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS - WG

این مدل از سه بخش اصلی تشکیل شده است که عبارت‌اند از: کالیبراسیون، ارزیابی و تولید یا شبهه‌سازی داده‌های هواشناسی دهه‌های آینده. نیاز اساسی مدل در مرحله کالیبراسیون، فایلی است که مشخص‌کننده رفتار اقلیم در دوره گذشته است؛ این فایل با استفاده از داده‌های

روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعت آفتابی با در نظر گرفتن یک دوره پایه، تهیه شده و مدل بر اساس آن اجرا می‌شود. این مدل‌ها ابزاری برای پیش‌بینی وضع هوا یا اقلیم نیستند، بلکه به منظور بررسی آثار و ارزیابی اقلیم دهه‌های آتی طراحی شده‌اند. این مدل‌ها قادر به تولید داده‌های روزانه از خروجی ماهانه مدل‌های گردش

روزانه و T base دمای پایه‌ای لازم برای رشد گیاه است. در پژوهش حاضر دمای پایه برای گندم دماهای بین ۴ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است (رابطه ۳) [۲۶].

$$GDD = \sum (T_{max} + T_{min}) / 2 - T_{base} \quad (3)$$

شاخص DAP

بعد از به دست آوردن شاخص GDD، می‌توان با تقسیم کردن مقدار این شاخص به تعداد روزهایی که گیاه قدرت رویش دارد، مقدار شاخص DAP را به دست آورد. در پژوهش حاضر منظور از تعداد روزهایی که گیاه توان رویش دارد، روزهایی است که متوسط دمای روز بین ۴ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد باشد؛ یعنی روزهایی که میزان دما خارج از این محدوده است، گیاه توان رویش ندارد و در محاسبات وارد نمی‌شود [۲۵].

شاخص GDD/DAP

شاخص متوسط روزانه درجه-روز رشد (GDD/DAP) از تقسیم شاخص درجه-روز رشد (GDD) به شاخص تعداد روز رشد (DAP) می‌توان میزان متوسط روزانه درجه-روز رشد برای گیاه را به دست آورد [۲۷].

نتایج

در مطالعه حاضر ابتدا با استفاده از داده‌های بارش و دمای روزانه سه ایستگاه سینوپتیک شیراز، آباده و لار با بهره‌گیری از مدل LARS-WG دو مدل EC-EARTH، HadGEM2-ES مربوط به آخرین گزارش IPCC ریزمقیاس شد. اعتبارسنجی مدل LARS-WG از طریق مقایسه بین داده‌های آماری تجربی و داده‌های تولیدشده انجام شد. به منظور ارزیابی کارایی مدل از معیارهای آزمون و خطا استفاده شده است. مقایسه مقادیر مدل‌سازی و مشاهده‌ای برای سه ایستگاه سینوپتیک شیراز، لار و آباده برای پارامترهای دمای کمینه، بیشینه و بارش در شکل ۲ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد مدل LARS-WG به خوبی توانسته میزان دمای کمینه و بیشینه را طبق مدل‌های گزارش پنجم مدل کند. میزان دقت مدل‌سازی در پارامتر دمایی مناسب‌تر از بارش بوده است.

عمومی جو هستند. به منظور ارزیابی مدل از آماره‌های آزمون ضریب تعیین^۱، میانگین مربعات خطا^۲ استفاده شده است؛ که روابط مربوط به آنها در ادامه ارائه شده است (روابط ۱ و ۲) [۲۴].

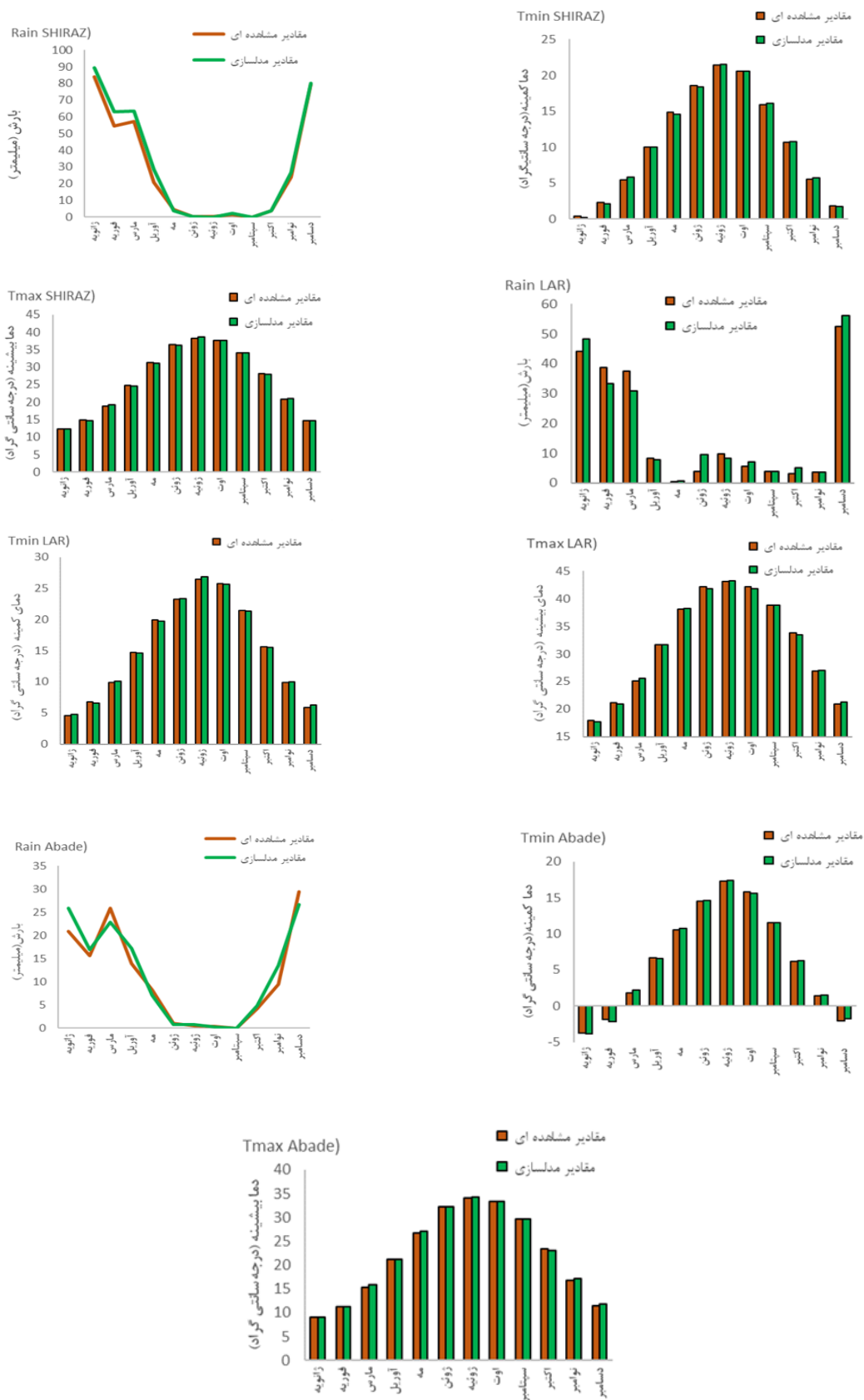
$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (1)$$

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

که در آنها، x_i و y_i به ترتیب i امین داده واقعی (مشاهده‌شده) و شبیه‌سازی شده توسط مدل، \bar{x} و \bar{y} میانگین کل داده‌های x_i و y_i در جامعه آماری و n تعداد کل نمونه‌های ارزیابی شده هستند. پس از اطمینان از صحت نتایج ارزیابی و قابلیت مدل LARS-WG در شبیه‌سازی داده‌های مشاهده‌ای، اقدام به شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی با دو مدل EC-EARTH، HadGEM2-ES تحت دو سناریوی RCP45 و RCP85 برای یک دوره زمانی تعریف شده در مدل LARS-WG شد. دوره پایه در مطالعه حاضر از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۵ و دوره زمانی ۲۰۲۱-۲۰۴۰ برای پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی در نظر گرفته شد.

شاخص درجه-روز رشد (GDD)

هر گیاهی برای کامل کردن مراحل فنولوژیکی نیاز به مقدار مشخصی دما دارد تا از یک دوره رشد به دوره رشد دیگر تبدیل شود. این نیاز گرمایی به صورت شاخص درجه-روز رشد بیان می‌شود. مبنای شاخص درجه-روز بر اساس صفر پایه یا همان صفر بیولوژیک صورت می‌پذیرد. صفر پایه دمایی است که در کمتر از آن دما، در گیاه هیچ رشدی صورت نخواهد گرفت. صفر بیولوژیک در گیاهان مختلف متفاوت است. هنگامی که دمای متوسط روزانه (مجموع کمینه و بیشینه مطلق دما در هر روز)، برای هر ایستگاه، از دمای صفر بیولوژیک بیشتر شود، رشد گیاه آغاز شده و درجه-روز محاسبه خواهد شد [۲۵]؛ که در آن، به ترتیب T max و T min بیشترین و کمترین دمای



شکل ۲. ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG و مقایسه مقادیر مدل سازی و مشاهده‌ای بارش، دمای کمینه و بیشینه سه ایستگاه شیراز، لار و آباده

مقادیر روزانه بارش، دمای کمینه و بیشینه تهیه شد. نتایج ارزیابی با استفاده از آماره‌های R^2 و RMSE نشان داد مدل HadGEM2-ES در مجموع مقادیر دما و بارش را بهتر برآورد کرده است، ولی هر دو مدل در پیش‌بینی دما دقت قابل قبولی دارند. در ادامه، به منظور مقایسه منطقی بین مقادیر مدل و سناریوهای مختلف طی دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ با دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۱۵) مقایسه شد. تفاوت بین مقادیر مشاهده‌ای و سناریوهای مختلف در دوره یادشده محاسبه شد. نتایج مربوط به این تغییرات برای ایستگاه سینوپتیک شیراز در جدول ۴ آورده شده است.

نتایج مربوط به آماره‌های واسنجی به منظور ارزیابی مدل LARS-WG6 برای سه ایستگاه شیراز، لار و آباد در جدول ۳ آورده شده است. با نگاه اجمالی به جدول ۳ می‌توان برداشت کرد که مدل LARS-WG با دقت قابل قبول پارامترهای بارش، دمای کمینه و بیشینه را مدل کرده است. آماره‌های خطا نشان داد مدل LARS-WG دقت بیشتری در بازه تولید داده‌های دمای کمینه و بیشینه نسبت به بارش داشته است.

پس از اعتبارسنجی مدل LARS-WG در ریزمقیاس‌نمایی دو مدل EC-EARTH، HadGEM2-ES

جدول ۳. مقادیر آماره‌های واسنجی برای ارزیابی دو مدل

آباد		لار		شیراز		ایستگاه سینوپتیک	مدل
RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	پارامتر	
۲/۰۱	۰/۶۹۲	۳/۲۲	۰/۶۱۲	۲/۲۷	۰/۷۱۶	بارش	EC-EARTH
۰/۲۰۲	۰/۹۷۷	۰/۴۱۴	۰/۹۷۴	۰/۲۳۲	۰/۹۸۴	دمای کمینه	
۰/۴۰۲	۰/۹۸۴	۰/۳۰۲	۰/۹۸۴	۰/۳۱۵	۰/۹۷۲	دمای بیشینه	
۱/۹۵	۰/۷۶۲	۳/۱۸	۰/۷۱۲	۲/۱۷	۰/۷۹۲	بارش	HadGEM2-ES
۰/۲	۰/۹۸۷	۰/۳۱۹	۰/۹۸۱	۰/۲۱۲	۰/۹۸۷	دمای کمینه	
۰/۳۷	۰/۹۸۹	۰/۳۰۱	۰/۹۸۵	۰/۳۰۲	۰/۹۸۲	دمای بیشینه	

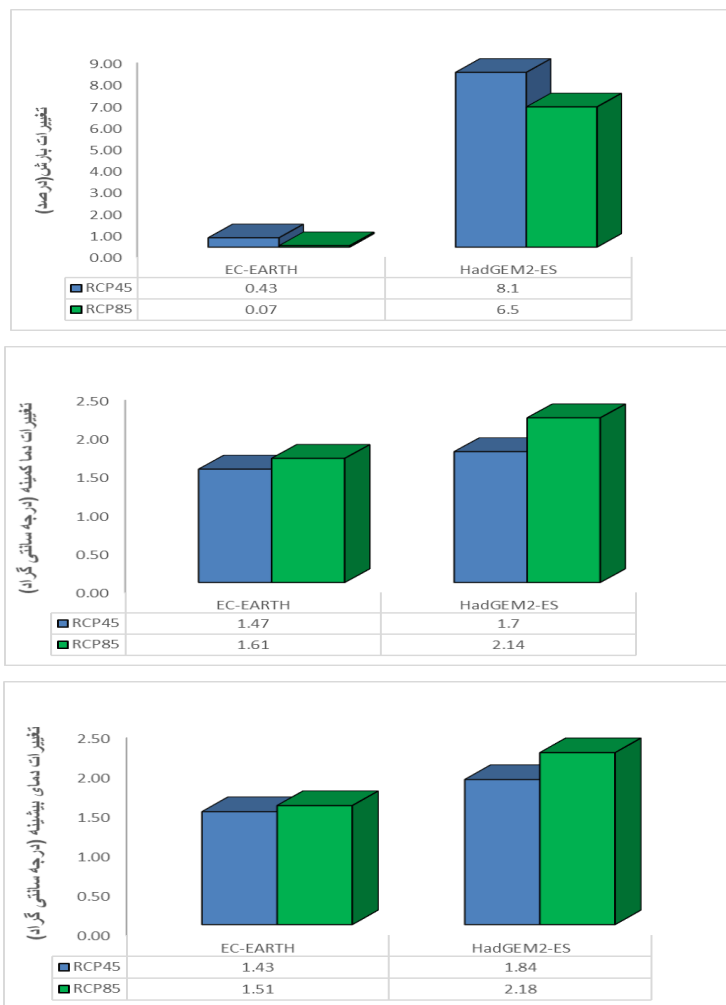
جدول ۴. تغییرات بارش و دمای کمینه و بیشینه برای دو مدل و یک دوره تحت دو سناریوی RCP45 و RCP85 برای ایستگاه سینوپتیک شیراز، آباد و لار

بارش (درصد تغییرات)		دمای کمینه (درجه سانتی‌گراد)				دمای بیشینه (درجه سانتی‌گراد)				ایستگاه	سناریو	مدل				
سالانه	تابستان	بهار	تابستان	پاییز	سالانه	تابستان	بهار	تابستان	پاییز							
۱/۵۱	-۵/۲۲	۰/۵۴	۷/۶۹	۲/۸۲	۱/۵۰	۱/۰۳	۱/۸۳	۱/۸۷	۱/۲۵	-۲/۱	۱۳/۲	۱۱/۵	-۰/۲	-۵/۵	شیراز	EC-EARTH
۱/۶۳	۱/۲۱	۱/۷۸	۱/۶۹	۱/۸۵	۱/۶۰	-۳/۱۰	-۰/۴۸	۶/۱۶	۲/۸۶	۶/۲	۱۶/۹	-۴۱/۰	۹/۴	۱/۹	آباد	
۱/۱۵	۰/۵۹	۱/۰۷	۱/۶۵	۱/۲۷	۱/۳۲	-۰/۸۳	۱/۳۴	۱/۶۴	۱/۵۸	-۲/۱۸	۴۲/۵	۸/۴	-۶/۲	-۱۰/۶	لار	
۱/۴۷	-۵/۲۵	۸۳/۰	۷/۵۰	۲/۶۹	۱/۶۳	۱/۱۷	۱/۸۲	۲/۰۵	۱/۵۰	۱/۱	۱۰/۷	۲۷/۳	۹/۸	-۴/۴	شیراز	EC-EARTH
۱/۶۷	۱/۴۱	۱/۸۸	۱/۷۸	۲/۶۲	۱/۷۲	-۳/۰۲	-۰/۸۲	۶/۰۲	۳/۰۶	۶/۷	۱۵/۲	۲۱/۱	-۳/۹	۱۱/۰	آباد	
۱/۳۸	۰/۹۳	۱/۲۶	۲/۰۱	۱/۳۲	۱/۴۹	۱/۰۸	۱/۶۲	۱/۷۶	۱/۴۹	-۷/۶	۳۱/۶	۲۲/۱	-۱۲/۱	-۱۷/۶	لار	
۱/۸۷	-۴/۵۸	۱/۴۱	۷/۸۷	۲/۷۷	۱/۷۰	۲/۰۰	۱/۵۳	۱/۶۴	۱/۶۲	۴	-۴/۲	-۰/۳	-۵/۵	۸/۱	شیراز	EC-EARTH
۲/۱۶	۲/۲۱	۲/۲۰	۲/۴۳	۱/۸۱	۱/۷۸	-۲/۶۹	-۰/۸۱	۵/۸۹	۳/۱۰	۸/۳	-۲/۵	۲/۳	-۰/۲	۱۵/۵	آباد	
۱/۴۸	۱/۶۵	۱/۳۹	۱/۶۹	۱/۲۱	۱/۶۲	۱/۹۰	۱/۶۴	۱/۴۵	۱/۴۹	۱۲/۰	۸/۱	-۰/۶	-۳/۸	۱۷/۹	لار	HadGEM2-ES
۲/۲۸	-۳/۷۶	۱/۷۰	۷/۹۰	۳/۲۹	۲/۱۴	۲/۵۶	۱/۹۶	۲/۲۶	۱/۷۱	۵/۵	-۲/۱	۳۵/۱	۱۲/۳	۳/۲	شیراز	
۲/۴۴	۲/۹۴	۲/۲۲	۲/۴۰	۲/۱۹	۲/۱۶	-۲/۰۱	۱/۳۲	۶/۳۵	۲/۹۹	-۱/۵	-۹/۲	۳۴/۰	۴/۴	-۶/۴	آباد	HadGEM2-ES
۱/۸۱	۲/۰۸	۱/۶۱	۱/۸۷	۱/۶۶	۲/۱۴	۲/۳۴	۲/۱۸	۱/۹۶	۲/۰۸	۱۵/۵	۴۷/۴	۱۰/۸	-۵/۰	۱۷/۷	لار	

مدل‌ها و سناریوهای بررسی شده روندی افزایشی داشته است (جدول ۴). همچنین، در ایستگاه آبادیه نتایج مربوط به پیش‌بینی بارش نشان می‌دهد بیشترین کاهش درصد بارش مربوط سناریوی RCP85 نسبت به دوره پایه تحت HadGEM2-ES با ۱/۵ درصد کاهش، مطابق جدول ۴ که تغییرات بارش و دمای کمینه و بیشینه برای دو مدل تحت دو سناریوی RCP45 و RCP85 برای ایستگاه آبادیه نشان داده شده است، مشاهده می‌شود. بیشترین افزایش درصد پیش‌بینی بارش مربوط به سناریوی RCP45 و مدل HadGEM2-ES با افزایش درصد ۸/۳ است. همچنین، میزان تغییرات دمای کمینه و دمای بیشینه تحت هر دو سناریوی RCP45، RCP85 و دو مدل یادشده روندی افزایشی مشاهده می‌شود.

شکل ۳ تغییرات دما و بارش استان فارس (مربوط به سه ایستگاه بررسی شده) در دوره مد نظر، نسبت به دوره پایه را نشان می‌دهد. پس از پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی بارش و دما طبق مدل‌ها و سناریوهای مد نظر، به منظور بررسی میزان تغییرات بارش (درصد) و دما (درجه سانتی‌گراد) کل محدوده مد نظر با دوره پایه مقایسه شده و متوسط تغییرات برای هر سه ایستگاه محاسبه شده است. نتایج مربوط به تغییرات متوسط هر سه ایستگاه شیراز، لار و آبادیه نشان داد دما در هر دو سناریوی RCP45 و RCP85 روندی افزایشی داشته است؛ که بیشترین میزان افزایش دمای کمینه و بیشینه مربوط به مدل HadGEM2-ES و سناریوی RCP85 است و کمترین میزان افزایش دمای کمینه و بیشینه مربوط به مدل EC-EARTH سناریوی RCP45 است. پس از برآورد میزان تغییرات بارش برای سه ایستگاه شیراز، لار و آبادیه با متوسط‌گیری از تغییرات درصد بارش، میزان تغییرات برای کل حوضه محاسبه شده است. نتایج مربوط به شکل ۳ نشان می‌دهد، بیشترین میزان افزایش بارش طبق مدل HadGEM2-ES و سناریوی RCP85 اتفاق خواهد افتاد و بیشترین میزان کاهش بارش (با متوسط‌گیری از هر سه ایستگاه) مربوط به مدل EC-EARTH سناریوی RCP85 برآورد شده است.

پس از اعتبارسنجی مدل LARS-WG تحت سناریوهای RCP45 و RCP85 مدل اجرا شده و تغییرات فصلی پارامترهای اقلیمی دوره زمانی ۲۰۲۱-۲۰۴۰ نسبت به دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۱۵) محاسبه شد. در ایستگاه شیراز نتایج مربوط به پیش‌بینی بارش نشان می‌دهد این دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) و سناریوی RCP45 نسبت به دوره پایه تحت مدل EC-EARTH، ۲/۱ درصد کاهش داشته و مدل HadGEM2-ES نیز ۴ درصد افزایش داشته است. همچنین، تحت سناریوی RCP85 نیز دو مدل EC-EARTH و HadGEM2-ES به ترتیب ۱/۱ و ۵/۵ درصد افزایش را نشان می‌دهد. میزان تغییرات دمای کمینه در این دوره و تحت هر دو سناریوی RCP45، RCP85 و دو مدل یادشده روندی افزایشی داشته است. بیشترین مقدار تغییرات دمای کمینه به صورت سالانه مربوط به مدل HadGEM2-ES و سناریوی RCP85 بوده است که مقدار این افزایش برابر با ۲/۱۲ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه است و کمترین میزان افزایش دما مربوط به مدل EC-EARTH، RCP45 با ۱/۵ درجه سانتی‌گراد است. دمای بیشینه به صورت سالانه در همه مدل‌ها و سناریوهای تحت بررسی روندی افزایشی داشته و میزان تغییرات دما برای فصل پاییز روندی کاهشی داشته است. همچنین، در ایستگاه لار نتایج مربوط به پیش‌بینی بارش نشان می‌دهد بیشترین کاهش درصد بارش مربوط به سناریوی RCP85 نسبت به دوره پایه تحت مدل EC-EARTH با ۷/۶ درصد کاهش است؛ و بیشترین افزایش درصد پیش‌بینی بارش مربوط به سناریوی RCP85 و مدل HadGEM2-ES با افزایش مقدار ۱۵/۵ مشاهده می‌شود. میزان تغییرات دمای کمینه تحت هر دو سناریوی RCP45، RCP85 و دو مدل یادشده روندی افزایشی داشته است. کمترین میزان تغییرات دمای کمینه به صورت سالانه مربوط به مدل EC-EARTH سناریوی RCP45 بوده است که مقدار این افزایش برابر با ۱/۳۲ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه است. همچنین، بیشترین میزان افزایش دما مربوط به مدل HadGEM2-ES و سناریوی RCP85 با مقدار ۲/۱۴ درجه سانتی‌گراد است. دمای بیشینه به صورت سالانه در همه



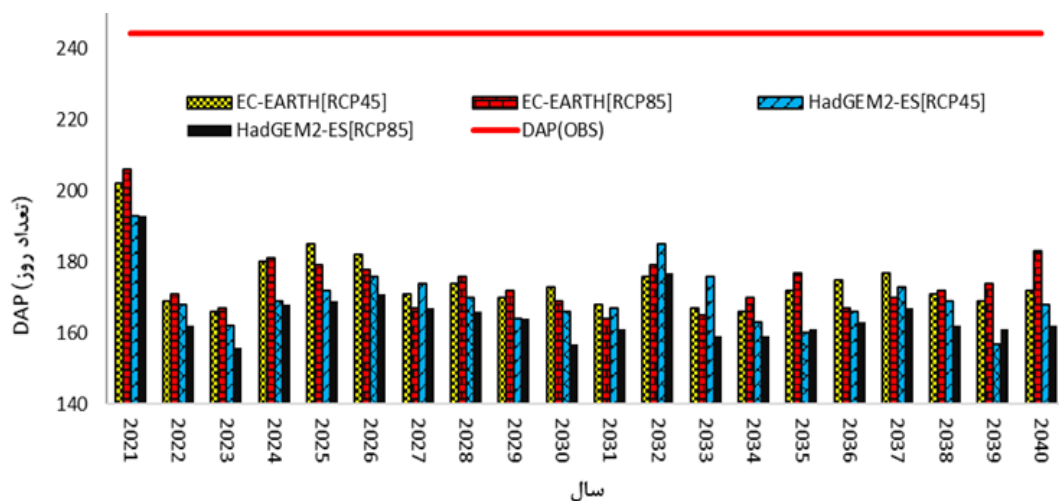
شکل ۳. تغییرات بارش و دمای کمینه و بیشینه پیش‌بینی شده نسبت به دوره پایه استان فارس با استفاده از سناریوهای RCP45 و RCP85 و سه مدل بررسی شده

جدول ۵. تغییرات شاخص‌های درجه-روزهای دوره رشد (GDD)، تعداد روز کل دوره رشد (DAP) و متوسط روزانه درجه-روز رشد (GDD/DPI)

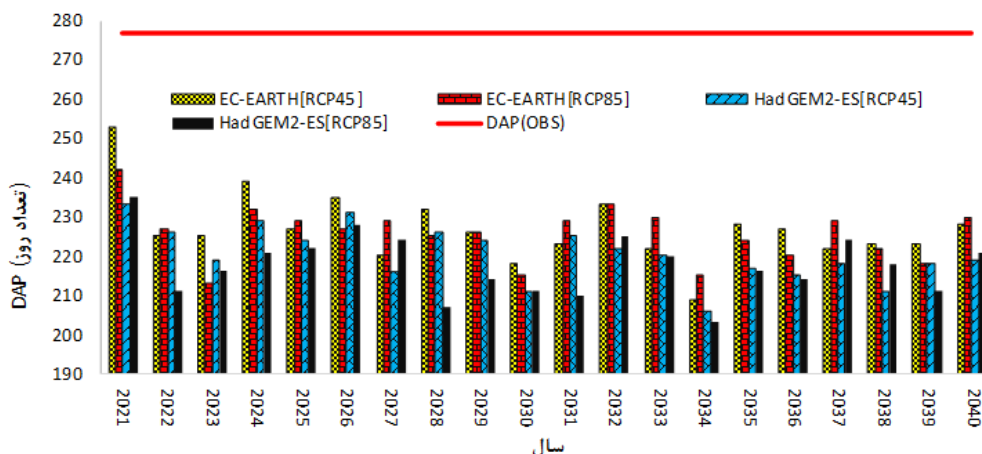
ایستگاه	مدل	سناریو	GDD	DAP	GDD/DAP
شیراز	دوره پایه	-	۴۸۶۴	۲۴۴/۳۶	۱۹/۹
		RCP45	۴۹۸۵/۳۳	۱۶۹/۹	۲۹/۳۴
	HadGEM2-ES	RCP85	۵۰۴۷/۹۱	۱۶۵/۲۵	۳۰/۷۱
		RCP45	۴۹۶۱/۰۴	۱۷۵/۲۵	۲۸/۴۷
آباده	EC-EARTH	RCP85	۴۹۲۳/۷۸	۱۷۴/۳۵	۲۸/۲۴
		RCP45	۳۸۳۳/۷۳	۲۷۷	۱۳/۸۴
	HadGEM2-ES	RCP45	۴۲۴۴/۵۸	۲۲۰/۵	۱۹/۲۴
		RCP85	۴۳۲۹/۲۲	۲۱۷/۵۵	۱۹/۸۹
لار	EC-EARTH	RCP45	۴۱۲۶/۹۳	۲۲۶/۹	۱۸/۱۸
		RCP85	۴۱۵۴/۷۷	۲۲۵/۷۵	۱۸/۴
	دوره پایه	-	۶۰۵۵/۳۳	۱۹۸/۲۳	۳۰/۵۴
		RCP45	۵۷۸۱/۶۹	۱۴۳/۷	۴۰/۲۳
HadGEM2-ES	RCP85	۵۸۴۶/۳۶	۱۴۵/۱	۴۰/۲۹	
	RCP45	۵۷۳۴	۱۴۹/۵۵	۳۹/۳۴	
EC-EARTH	RCP85	۵۷۶۰/۵۹	۱۴۷/۲	۳۹/۱۳	

در ایستگاه آباده بیشترین و کمترین تغییرات آن به ترتیب در مدل اقلیمی EC-EARTH تحت سناریوی RCP45 و مدل اقلیمی HadGEM2-ES تحت سناریوی RCP85 به میزان ۲۲۶/۹ و ۲۱۷/۵۵ است. در مورد شاخص GDD/DAP می توان این طور برداشت کرد که مدل اقلیمی HadGEM2-ES تحت سناریوی RCP85 با میزان تغییرات ۱۹/۸۹ بیشترین تغییرات و مدل اقلیمی EC-EARTH تحت سناریوی RCP45 با میزان تغییرات ۱۸/۱۸ کمترین تغییرات را نسبت به دوره پایه داشته اند. اما در ایستگاه لار بیشترین تغییرات شاخص GDD نسبت به دوره پایه مربوط به مدل اقلیمی HadGEM2-ES تحت سناریوی RCP85 که میزان آن ۵۸۴۶/۳۶ است و کمترین تغییرات شاخص GDD مربوط به مدل اقلیمی EC-EARTH تحت سناریوی RCP45 به میزان ۵۷۳۴ است. در مورد شاخص DAP در ایستگاه لار بیشترین و کمترین تغییرات آن به ترتیب در مدل اقلیمی EC-EARTH تحت سناریوی RCP45 و مدل اقلیمی HadGEM2-ES تحت سناریوی RCP45 به میزان ۱۴۹/۵۵ و ۱۴۳/۷ است. در مورد شاخص GDD/DAP می توان این طور برداشت کرد که مدل اقلیمی HadGEM2-ES تحت سناریوی RCP85 با میزان تغییرات ۴۰/۲۹ بیشترین تغییرات و مدل اقلیمی EC-EARTH تحت سناریوی RCP85 با میزان تغییرات ۳۹/۱۳ کمترین تغییرات را نسبت به دوره پایه داشته اند.

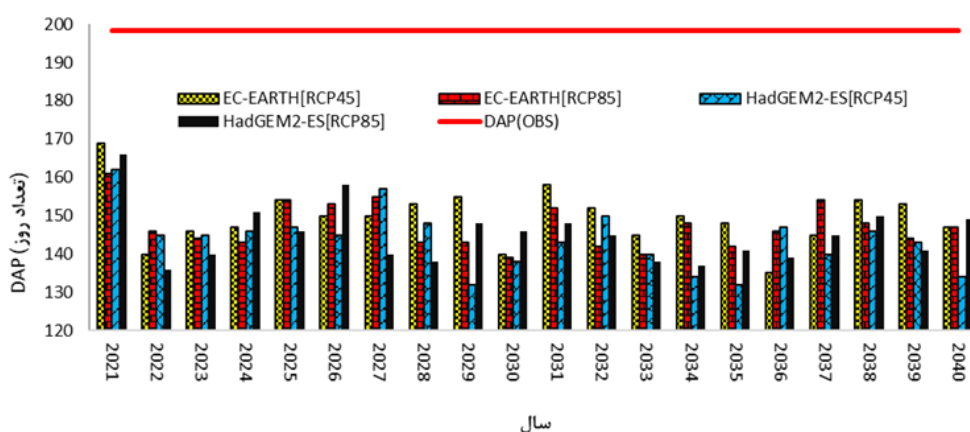
در این قسمت به بحث روی نتایج حاصل از آنالیزهای مربوط به تأثیر تغییر اقلیم بر شاخص GDD, DAP و GDD/DAP پرداخته می شود. همان طور که در جدول ۵ مشاهده می شود، در ایستگاه شیراز بیشترین تغییرات شاخص GDD نسبت به دوره پایه مربوط به مدل اقلیمی HadGEM2-ES تحت سناریوی RCP85 به میزان ۵۰۴۷/۹۱ است. همچنین، کمترین تغییرات شاخص GDD مربوط به مدل اقلیمی EC-EARTH تحت سناریوی RCP85 به میزان ۴۹۲۳/۷۸ است. در مورد شاخص DAP در ایستگاه شیراز بیشترین و کمترین تغییرات آن به ترتیب در مدل اقلیمی EC-EARTH تحت سناریوی RCP45 و مدل اقلیمی HadGEM2-ES تحت سناریوی RCP85 به میزان ۱۶۵/۲۵ و ۱۷۵/۲۵ است. در مورد شاخص GDD/DAP می توان چنین برداشت کرد که مدل اقلیمی HadGEM2-ES تحت سناریوی RCP85 با میزان تغییرات ۳۰/۷۱ بیشترین تغییرات و مدل اقلیمی EC-EARTH تحت سناریوی RCP85 با میزان تغییرات ۲۸/۲۴ کمترین تغییرات را نسبت به دوره پایه داشته اند. در ایستگاه آباده بیشترین تغییرات شاخص GDD نسبت به دوره پایه مربوط به مدل اقلیمی HadGEM2-ES تحت سناریوی RCP85 که میزان آن ۴۳۲۹/۲۲ است و کمترین تغییرات شاخص GDD مربوط به مدل اقلیمی EC-EARTH تحت سناریوی RCP45 به میزان ۴۱۲۶/۹۳ است. در مورد شاخص DAP



شکل ۴. تغییرات شاخص تعداد روز کل دوره رشد (DAP) برای دو مدل و تحت دو سناریوی RCP45 و RCP85 برای ایستگاه سینوپتیک شیراز



شکل ۵. تغییرات شاخص تعداد روز کل دوره رشد (DAP) برای دو مدل و تحت دو سناریوی RCP45 و RCP85 برای ایستگاه سینوپتیک آباده



شکل ۶. تغییرات شاخص تعداد روز کل دوره رشد (DAP) برای دو مدل و تحت دو سناریوی RCP45 و RCP85 برای ایستگاه سینوپتیک لار

تحت سناریوی RCP45 و مدل اقلیمی HadGEM2-ES تحت سناریوی RCP85 به میزان ۲۲۶/۹ و ۲۱۷/۵۵ است. همچنین، برای ایستگاه لار به ترتیب برای مدل اقلیمی EC-EARTH تحت سناریوی RCP45 و مدل اقلیمی HadGEM2-ES تحت سناریوی RCP45 به میزان ۱۴۹/۵۵ و ۱۴۳/۷ است.

بحث و نتیجه‌گیری

شواهد موجود نشان می‌دهد تغییر جهانی اقلیم بسیاری از متغیرهای اقلیمی کشاورزی ایران را در چند دهه آینده تحت تأثیر قرار خواهد داد. با این حال، مطالعات اندکی در مورد پیامدهای آن بر تولید گیاهان زراعی انجام شده است. شاخص‌های اقلیمی کشاورزی، اثر عوامل اقلیمی مؤثر بر

با توجه به شکل‌های ۴-۶ می‌توان دریافت که مدل‌های EC-EARTH و HadGEM2-ES تحت دو سناریوی RCP45 و RCP85 در دوره زمانی مد نظر برای ایستگاه شیراز، آباده و لار نسبت به دوره پایه، شاخص تعداد-روز (DAP) روند نزولی داشته یعنی تعداد روزهایی که گیاه در آن مدت می‌تواند دوره رشد خود را کامل کند، کاهش می‌یابد؛ به این معنا که تعداد روزهای مناسب برای رشد گیاه در آینده کم می‌شود. بیشترین و کمترین متوسط بلندمدت تعداد-روز (DAP) برای ایستگاه شیراز به ترتیب برای مدل اقلیمی EC-EARTH تحت سناریوی RCP45 و مدل اقلیمی HadGEM2-ES تحت سناریوی RCP85 به میزان ۱۷۵/۲۵ و ۱۶۵/۲۵ است و برای ایستگاه آباده به ترتیب برای مدل اقلیمی EC-EARTH

رشد گیاهان را با استفاده از پارامترهای هواشناسی محاسبه و تصویری از وضعیت رشد، نمو و تولید محصولات زراعی در شرایط مختلف آب‌وهوایی ارائه می‌دهند. کشاورزی به علت ارتباط بسیار نزدیک با شرایط آب‌وهوایی نسبت به تغییر اقلیم آینده آسیب‌پذیر است. اگرچه عوامل اقلیمی متعددی بر رشد گیاه مؤثرند، اما دما و میزان درجه-روز یکی از مهم‌ترین عوامل محسوب می‌شوند که این شاخص نیز در دوره‌های آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار می‌گیرد. پژوهش حاضر به بررسی تأثیرات احتمالی پدیده تغییر اقلیم بر طول دوره رشد گندم در استان فارس پرداخته است. در تحقیق حاضر به منظور برآورد درجه-روزهای رشد تحت شرایط تغییر اقلیم در افق آینده، ابتدا داده‌های روزانه سه ایستگاه سینوپتیک مد نظر در دوره ۱۹۸۰-۲۰۱۵ به‌عنوان داده‌های ورودی به مدل LARS-WG وارد شد و داده‌های روزانه متغیرهای هواشناسی در همین دوره تولید شد. ارزیابی مدل LARS-WG نشان داد مدل کارایی لازم را برای تولید داده‌های روزانه پارامترهای دمای حداقل و حداکثر و بارش در منطقه مطالعه شده داشته است. در مرحله بعد این مدل برای ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های دو مدل اقلیمی HadGEM2-ES و EC-EARTH و تولید داده‌های مصنوعی برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ با استفاده از سناریوهای RCP45 و RCP85 اجرا شده و در مرحله آخر با استفاده از معادلات GDD و ADP مقادیر درجه-روز رشد و تعداد روز تحت دو آستانه دمایی ۴ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد برای بازه زمانی پایه و آینده (۲۰۲۱-۲۰۴۰) محاسبه و مقایسه شد که مهم‌ترین نتایج آن به شرح زیر است:

پس از پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی بارش و دما طبق مدل‌ها و سناریوهای مد نظر، به‌منظور بررسی میزان تغییرات بارش (درصد) و دما (درجه سانتی‌گراد) کل محدوده مد نظر با دوره پایه مقایسه شده و متوسط تغییرات برای هر سه ایستگاه محاسبه شده است. نتایج مربوط به تغییرات متوسط هر سه ایستگاه شیراز، لار و آباد به‌عنوان نشان داد دما در هر دو سناریوی RCP45 و RCP85 روندی افزایشی داشته است؛ که بیشترین میزان افزایش دمای کمینه و بیشینه مربوط به مدل HadGEM2-ES و سناریوی RCP85 است و کمترین میزان افزایش دمای کمینه و بیشینه مربوط به مدل EC-EARTH سناریوی RCP45 است. پس از برآورد میزان تغییرات بارش

برای سه ایستگاه شیراز، لار و آباد به‌متوسط‌گیری از تغییرات درصد بارش، میزان تغییرات برای کل حوضه محاسبه شده است. نتایج نشان می‌دهد بیشترین میزان افزایش بارش طبق مدل HadGEM2-ES و سناریوی RCP85 اتفاق خواهد افتاد و بیشترین میزان کاهش بارش (با متوسط‌گیری از هر سه ایستگاه) مربوط به مدل EC-EARTH سناریوی RCP85 برآورد شده است. همچنین، در هر دو مدل HadGEM2-ES و EC-EARTH تحت سناریوهای RCP45 و RCP85 در دوره زمانی مد نظر برای ایستگاه شیراز، آباد و لار نسبت به دوره پایه، شاخص تعداد-روز (DAP) شیب نزولی داشته است، یعنی تعداد روزهایی که گیاه در آن مدت می‌تواند دوره رشد خود را کامل کند، کاهش می‌یابد، به این معنا که تعداد روزهای مناسب برای رشد گیاه در آینده کم می‌شود. بیشترین و کمترین متوسط بلندمدت تعداد-روز (DAP) در ایستگاه شیراز به‌ترتیب برای مدل اقلیمی EC-EARTH تحت سناریوی RCP45 و مدل اقلیمی HadGEM2-ES تحت سناریوی RCP85 به میزان ۱۷۵/۲۵ و ۱۶۵/۲۵ است و در ایستگاه آباد به‌ترتیب برای مدل اقلیمی EC-EARTH تحت سناریوی RCP45 و مدل اقلیمی HadGEM2-ES تحت سناریوی RCP85 به میزان ۲۲۶/۹ و ۲۱۷/۵۵ است. همچنین، در ایستگاه لار به‌ترتیب برای مدل اقلیمی EC-EARTH تحت سناریوی RCP45 و مدل اقلیمی HadGEM2-ES تحت سناریوی RCP85 به میزان ۱۴۹/۵۵ و ۱۴۳/۷ است. در شرایط تغییر اقلیم، شاخص‌های اقلیمی کشاورزی نیز دچار تغییر شده است که با ارزیابی تغییر این شاخص‌ها، امکان بررسی واکنش گیاهان زراعی به شرایط اقلیمی آینده میسر خواهد بود. نتایج تحقیق حاضر با مطالعه‌ای که سلیمانی ننادگانی و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی رخدادهای شش پدیده تغییر اقلیم و تأثیر آن بر زمان کاشت، طول دوره رشد و نیاز آبی گندم زمستانه در منطقه بهشهر داشته‌اند، مطابق بود و به این نتیجه رسیدند که تحت شرایط تغییر اقلیم در آینده، دوره زمانی مناسب برای کاشت گندم بین روز کوتاه‌تر خواهد شد [۲۸]. ولی‌زاده و همکاران (۲۰۱۴) نیز که آثار تغییر اقلیم بر تولیدات گندم در دوره رشد، برای منطقه سیستان و بلوچستان، با استفاده از شاخص‌های سطح برگ توده زیستی و عملکرد دانه را انجام داده بودند، دریافتند که در تمام حالات تغییرات آب‌وهوایی، عملکرد و حداکثر شاخص سطح برگ‌دانه گندم در مقایسه با

رشد گیاهان را با استفاده از پارامترهای هواشناسی محاسبه و تصویری از وضعیت رشد، نمو و تولید محصولات زراعی در شرایط مختلف آب‌وهوایی ارائه می‌دهند. کشاورزی به علت ارتباط بسیار نزدیک با شرایط آب‌وهوایی نسبت به تغییر اقلیم آینده آسیب‌پذیر است. اگرچه عوامل اقلیمی متعددی بر رشد گیاه مؤثرند، اما دما و میزان درجه-روز یکی از مهم‌ترین عوامل محسوب می‌شوند که این شاخص نیز در دوره‌های آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار می‌گیرد. پژوهش حاضر به بررسی تأثیرات احتمالی پدیده تغییر اقلیم بر طول دوره رشد گندم در استان فارس پرداخته است. در تحقیق حاضر به منظور برآورد درجه-روزهای رشد تحت شرایط تغییر اقلیم در افق آینده، ابتدا داده‌های روزانه سه ایستگاه سینوپتیک مد نظر در دوره ۱۹۸۰-۲۰۱۵ به‌عنوان داده‌های ورودی به مدل LARS-WG وارد شد و داده‌های روزانه متغیرهای هواشناسی در همین دوره تولید شد. ارزیابی مدل LARS-WG نشان داد مدل کارایی لازم را برای تولید داده‌های روزانه پارامترهای دمای حداقل و حداکثر و بارش در منطقه مطالعه شده داشته است. در مرحله بعد این مدل برای ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های دو مدل اقلیمی HadGEM2-ES و EC-EARTH و تولید داده‌های مصنوعی برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ با استفاده از سناریوهای RCP45 و RCP85 اجرا شده و در مرحله آخر با استفاده از معادلات GDD و ADP مقادیر درجه-روز رشد و تعداد روز تحت دو آستانه دمایی ۴ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد برای بازه زمانی پایه و آینده (۲۰۲۱-۲۰۴۰) محاسبه و مقایسه شد که مهم‌ترین نتایج آن به شرح زیر است:

پس از پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی بارش و دما طبق مدل‌ها و سناریوهای مد نظر، به‌منظور بررسی میزان تغییرات بارش (درصد) و دما (درجه سانتی‌گراد) کل محدوده مد نظر با دوره پایه مقایسه شده و متوسط تغییرات برای هر سه ایستگاه محاسبه شده است. نتایج مربوط به تغییرات متوسط هر سه ایستگاه شیراز، لار و آباد به‌عنوان نشان داد دما در هر دو سناریوی RCP45 و RCP85 روندی افزایشی داشته است؛ که بیشترین میزان افزایش دمای کمینه و بیشینه مربوط به مدل HadGEM2-ES و سناریوی RCP85 است و کمترین میزان افزایش دمای کمینه و بیشینه مربوط به مدل EC-EARTH سناریوی RCP45 است. پس از برآورد میزان تغییرات بارش

- [8]. ROUNSEVELL, M. D. A., et al. Future scenarios of European agricultural land use: II. Projecting changes in cropland and grassland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2005, 107.2-3: 117-135.
- [9]. Kozaki, A. Nasiri Mahallati, M.Sc. The effect of climate change with increasing CO2 concentration on wheat yield in Iran and evaluation of adaptation strategies. *Iranian Agricultural Research*. 2008: 139-153. [Persian].
- [10]. MILLER, Perry; LANIER, Will; BRANDT, Stu. Using growing degree days to predict plant stages. *Ag/Extension Communications Coordinator, Communications Services, Montana State University-Bozeman, Bozeman, MO*, 2001, 1-2.
- [11]. CESARACCIO, Carla, et al. An improved model for determining degree-day values from daily temperature data. *International journal of biometeorology*, 2001, 45.4: 161-169.
- [12]. CHIOTTI, Quentin P.; JOHNSTON, Tom. Extending the boundaries of climate change research: a discussion on agriculture. *Journal of Rural Studies*, 1995, 11.3: 335-350.
- [13]. Shreekant, G., Partha, S., & Saumya, V. Impact of Climate Change on Foodgrain Yields in India (No. 2015-9). Center for Economic Institutions, Institute of Economic Research, Hitotsubashi University. (2016).
- [14]. SOLEYMANI NM, Parsinejad M, Araghinejad S, MASSAH BA. STUDY ON CLIMATE CHANGE EFFECT ON NET IRRIGATION REQUIREMENT AND YIELD FOR RAINFED WHEAT (CASE STUDY: BEHSHAHR).
- [15]. Valizadeh J, Ziaei SM, Mazloumzadeh SM. Assessing climate change impacts on wheat production (a case study). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 2014 Jun 1;13(2):107-15.. [Persian].
- [16]. PARAJULI, P. B., et al. Assessing the impacts of climate change and tillage practices on stream flow, crop and sediment yields from the Mississippi River Basin. *Agricultural Water Management*, 2016, 168: 112-124.
- [17]. FUNES, Inmaculada, et al. Future climate change impacts on apple flowering date in a Mediterranean subbasin. *Agricultural Water Management*, 2016, 164: 19-27.
- [18]. GUO, Liang, et al. Responses of spring phenology in temperate zone trees to climate warming: a case study of apricot flowering in China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2015, 201: 1-7.
- فصل رشد گیاه به دلیل افزایش احتمالی دما و به خصوص میزان سرعت رشد گندم تأثیر منفی داشت [۱۵]. رخداد تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی اثرگذار است و این اثرگذاری بر عملکرد محصولات بیشتر از سایر بخش‌های کشاورزی است. تغییر اقلیم بسیار کند و خزنده و تا حدی نامحسوس است، بنابراین باید به طور جدی آن را در نظر گرفت؛ زیرا با توجه به محسوس نبودن آن و همچنین بی‌توجهی به این مقوله مهم، زمانی دچار تأثیرات عمیق تغییر اقلیم می‌شویم که پیامدهای اجتماعی و سیاسی زیادی به دنبال خواهد داشت.

منابع

- [1]. Aghashahi, M Ardestani, M Nik Nik, MH, Tahmasebi, B, "Introduction and Comparison of LARS-WG and SDSM Models for Micro-Scaling of Environmental Parameters in Climate Change Studies". 6th National Conference on Environmental Engineering, Tehran, University of Tehran, Faculty of Environment. 2012. [Persian].
- [2]. Asakereh, H. Akbarzadeh, Y, Simulation of Temperature and Precipitation Changes in Tabriz Synoptic Station during the Period (2010-2001) Using Statistical Exponential Microscopy (SDSM) and CanESM2 Model Output, *Geography and Environmental Hazards*, No, 2017. 21. [Persian].
- [3]. IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE). Climate change 2001: the scientific basis. *Contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change*, 2001, 881.
- [4]. XU, Chong-yu. From GCMs to river flow: a review of downscaling methods and hydrologic modelling approaches. *Progress in physical Geography*, 1999, 23.2: 229-249.
- [5]. Change, C. Impacts, vulnerabilities and adaptation in developing countries. *Climate Change Secretariat*, 2007, (UNFCCC).
- [6]. Ullah, A. Bakht, J. Shafi, M. Shah, W. A., & Islam, Z. (2002). Effect of various irrigations levels on different chickpea varieties. *Asian Journal of Plant Sciences*, 1(4), 355-357.
- [7]. MEZA, Francisco J.; SILVA, Daniel; VIGIL, Hernán. Climate change impacts on irrigated maize in Mediterranean climates: evaluation of double cropping as an emerging adaptation alternative. *Agricultural systems*, 2008, 98.1: 21-30.

- [19]. Hajjarpour, A. Soltani, A. Zinli, A. Seyyedi, F., (1). "Simulating the Impact of Climate Change on Chickpea Production in Kermanshah Rain and Water Conditions". *Plant Production Research*, 1392, (20). [Persian].
- [20]. Mohammadi, Ayazdan panah, h. Mohammadi, F. "Investigation of Climate Change Occurrence and its Impact on Sowing Time and Growth Period of Durum Wheat (Case Study) Case Study of Sararood Station of Kermanshah", *Natural Geography Research*, 2014, 1: 1-3. [Persian].
- [21]. Shahkoui, A. Clear, etc., "Time-varying day-time variations of soybean plant based on climate change in the coming decades case study of Gorgan city", *Journal of Space Geography*, Golestan University of Science and Technology, 2013, 1: 1-3. [Persian].
- [22]. Biname, 2011, *Agricultural Statistics First Volume of Crops, 2008-2010*, Office of Statistics and Information Technology, Ministry of Agriculture, First Edition. 2011. [Persian].
- [23]. WILBY, Robert L.; WIGLEY, T. M. L. Downscaling general circulation model output: a review of methods and limitations. *Progress in physical geography*, 1997, 21.4: 530-548.
- [24]. Salahi, B, Fatemi Nia, F. S., & Hosseini, S. M. Assessment of future climate change in Isfahan province using BCM2 & HADCM3 models by lars-wg downscaling model. *Arid Regions Geographic Studies*, 2015, 4(16).
- [25]. Alavi D, M. Believe me, m. Falah Qhalheri, etc. "The Impact of Climate Change on Pomegranate Areas". Master's Degree in Natural Geography. Faculty of Geography and Environmental Sciences. Hakim Sabzevari University. 2016. [Persian].
- [26]. Rahimpour, P. Salahi, b. Behrouz, S. "The Impact of Climate Change on the Flowering Stage of Apple, Grape and Peach Trees in Meshginshahr Area." Master of Science in Natural Geography. Faculty of Literature and Social Sciences. University of Mohaghegh Ardabili. 2017. [Persian].
- [27]. Zolfaghari, H. Masoumpour Samakoush, vol. Chahwari, Sh. Estimation of degree-days growth in northwestern Iran based on climate change models. *Journal of Applied Geosciences Research*, 2018. 18 (49): 240-221. [Persian].
- [28]. Soleymani N, M., Parsinejad, M., Araghinejad, Sh., & Massah, B. A.. Study on climate change effect on net irrigation requirement and yield for rainfed wheat (case study: behshahr) (2012).