

Shifts in Planting Date and Change in Length of Growing Season in Yazd Province under Warmer Climate Conditions

Mansuoreh kohi, M.¹  | Fattahi, E.²  | Asadi Oskouei, E.³ 

1. **Corresponding Author**, Assistant Prof, ASMERC, Climatological Research Institute, Mashhad, Iran. Email: man_koohi@yahoo.com
2. Associate Professor, ASMERC, Tehran, Iran. Email: ebfat2002@yahoo.com
3. Faculty member of ASMERC, Research Institute of Climatology and Climate Change, Mashhad, Iran. Email: e.asadi.o@gmail.com

(Received: 15 Sep 2022, Revised: 30 Nov 2022, Accepted: 2 Jan 2023, Published Online: 2 Jan 2023)

Abstract

Changes in the land biosphere since 1970 are consistent with global warming: climate zones have shifted poleward in both hemispheres, and the growing season has on average lengthened by up to two days per decade since the 1950s in the Northern Hemisphere extratropic. In this research, projected change of growing season length (GSL) and the start date of the growing season over Yazd province are investigated using three GCMs (GFDL, HadGEM and MIROC5) under the RCP8.5 scenario during 2021-2040. The results indicate Yazd province will experience extended GSL in a warmer world. The thermal growing season has been projected to increase owing to the earlier onset of growth in late winter and spring. Therefore, the prolongation of GSL under the RCP8.5 is attributed to earlier onset. Future temperature and precipitation scenarios based on GFDL and HadGEM models under the RCP8.5 scenario show more unfavorable conditions for this province. Because of the sensitivity of agriculture to weather and climate conditions, these impacts can have substantial direct and indirect effects on production and profitability.

Keywords: Climate Change, RCP, Yazd, Planting Date.

Cite this article: mansuoreh kohi, M., Fattahi, E., Asadi Oskouei, E.(2022). Shifts in Planting Date and Change in Length of Growing Season in Yazd Province under Warmer Climate Conditions. Nivar, Vol. 46, No. 118-119. 55-72. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2023.361965.1226>



جابجایی تاریخ کاشت و تغییر طول فصل رشد در استان یزد تحت شرایط اقلیم گرم تر

منصوره کوهی^۱ | ابراهیم فتاحی^۲ | ابراهیم اسعدی اسکویی^۳

۱. نویسنده مسئول، استادیار، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، پژوهشکده اقلیم شناسی و تغییر اقلیم، مشهد، ایران. رایانامه:

man_koohi@yahoo.com

۲. دانشیار، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران. رایانامه: ebfat2002@yahoo.com

۳. استادیار، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، پژوهشکده اقلیم شناسی و تغییر اقلیم، مشهد، ایران. رایانامه: e.asadi.o@gmail.com

(دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۲۴، بازنگری: ۱۴۰۱/۰۹/۰۹، پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۲، انتشار آنلاین: ۱۴۰۱/۱۰/۱۲)

چکیده

تغییرات در زیست کره از ۱۹۷۰ با گرمایش جهانی منطبق است. طی دهه‌های اخیر، نواحی اقلیمی در هر دو نیمکره به سمت قطب شمال جابجا شده‌اند و فصل رشد در مناطق برون حاره‌ی نیمکره شمالی از دهه ۱۹۵۰ به طور میانگین تا دو روز بر دهه افزایش یافته است. در این پژوهش، تغییرات پیش‌نگری شده طول فصل رشد (GSL) و تاریخ آغاز فصل رشد در استان یزد با استفاده از سه مدل GFDL، HadGEM و MIROC5 تحت سناریوی RCP8.5 برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ ارایه شد. نتایج نشان داد استان یزد طولانی‌تری را در اقلیم گرم‌تر آتی تجربه خواهد کرد. بر اساس پیش‌نگری انجام شده تحت سناریوی RCP8.5، طول فصل رشد با جابجایی به سمت اوایل فروردین و اواخر زمستان در سه مدل در سه ایستگاه منتخب افزایش خواهد یافت. سناریوهای آتی دما این استان بر مبنای دو مدل GFDL و HadGEM شرایط نامناسب‌تری را نشان می‌دهد بطوریکه دما به طور معنی‌داری افزایش خواهد یافت. به دلیل حساسیت کشاورزی به شرایط آب و هوا و اقلیمی، این اثرات ممکن است بر تولید و بهره‌وری کشاورزی این استان به طور مستقیم یا غیر مستقیم تأثیر بگذارد.

کلمات کلیدی: تغییر اقلیم، RCP، یزد، تاریخ کاشت.

۱. مقدمه

بسیار آسیب‌پذیر می‌باشد. در سراسر جهان تمرکز بر پیش‌نگری و برآورد اثرات تغییر اقلیم بر سامانه‌های کشاورزی در حال افزایش است چرا که شناخت اثرات مورد انتظار و محتمل تغییر اقلیم می‌تواند انتخاب سازوکارهای سازگاری در این بخش را تحت تأثیر قرار دهد. براساس نتایج حاصل از ترکیب مدل‌های جهانی اقتصادی، مدل‌های شبیه‌سازی عملکرد محصولات زراعی و تحت سناریوهای خط سیر مشترک اقتصادی-اجتماعی (SSPs) ۴، ۱، ۲ و ۳ (سناریوهای SSP، جدیدترین سناریوهای اقلیمی هستند که تلفیقی از سناریوهای اقتصادی-اجتماعی با در نظر گرفتن میزان واداشت انرژی تابشی خورشیدی (RCP) می‌باشند)، احتمالاً در سال ۲۰۵۰ قیمت غلات ۱-۲۹٪ به دلیل

در اقتصاد اغلب کشورهای در حال توسعه، کشاورزی همچنان بخش غالب است و در بسیاری از کشورها به عنوان یک فعالیت اقتصادی، تولیدکننده ۱ تا ۶۰ درصد (با میانگین جهانی حدود ۴٪ در سال ۲۰۱۷) تولید ناخالص داخلی است. در کشور ایران با وجود اینکه فلات مرکزی را نواحی کویری می‌پوشاند و میزان بارش آن از ۲۵۰ میلی‌متر کمتر است بخش کشاورزی با حدود ۱۱ درصد تولید ناخالص ملی، ۲۳ درصد اشتغال و تأمین غذای بیش از ۸۰ درصد افراد جامعه، نقشی حیاتی در اقتصاد ایران دارد. کشاورزی با توجه به تأثیرپذیری بسیار آن از الگوهای آب و هوایی طبیعی و چرخه آب و هوا، نسبت به تغییرات اقلیمی

۴۴/۳ درصد و به عبارتی هفت درصد بیشتر از میانگین کشوری است. با وجود محدودیت‌های اقلیمی و کمبود منابع آبی، سطح زیر کشت محصولات کشاورزی در استان یزد کمتر از یک درصد سطح اراضی قابل کشت کشور است. ۷۰ درصد سطح اراضی زیر کشت یزد را باغ‌ها، ۲۹ درصد اراضی زراعی و یک درصد را گلخانه‌ها تشکیل می‌دهد. عمده محصولات کشاورزی این استان به ترتیب در شهرستان‌های خاتم و ابرکوه تولید می‌شود. محصولاتی همچون گندم، ذرت، زرد آلو، انار، بادام، پسته، انگور و غیره در این مناطق به عمل می‌آید.

تاکنون پژوهش‌هایی در ارتباط با بررسی اثرات تغییر اقلیم بر کشاورزی و شاخص‌های توسعه آن بویژه عملکرد گیاهان زراعی و باغی در ایران انجام شده است که یا نحوه تغییرات عملکرد محصول خاص تحت شرایط اقلیم آتی مورد بررسی قرار داده است و یا بر میزان تغییرات متغیرهای اقلیمی و شاخص‌های اقلیمی کشاورزی طی دوره‌های آتی تمرکز داشته است. به عنوان مثال، نصیری محلاتی و همکاران (۱۳۸۴) در تحقیق خود به محاسبه نمایه‌های اقلیمی کشاورزی تحت شرایط آینده اقلیمی و مقایسه این نمایه‌ها با شرایط فعلی و نهایتاً پیش‌بینی وضعیت تولیدات کشاورزی در اقلیم احتمالی آینده ایران پرداختند. با توجه به تاخیر در تاریخ وقوع اولین یخبندان پاییزه و جلو افتادن تاریخ آخرین یخبندان بهار، طول فصل رشد در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه به میزان ۲۳-۵ روز و ۴۲-۱۶ روز به ترتیب برای سال‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ میلادی افزایش نشان داد. باباییان و کوهی (۱۳۹۱) در پژوهش خود، اثر گرمایش جهانی بر متغیرهای بارش، دما و نمایه‌های اقلیمی کشاورزی همچون طول دوره خشکی، طول دوره رشد و تبخیر-تعرق بالقوه در سه دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ میلادی در سه ایستگاه هواشناسی مشهد، سبزوار و تربت حیدریه بررسی نمودند. نتایج نشان داد در دوره‌های ۲۰۱۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۶۹، طول دوره رشد در دو ایستگاه مشهد و سبزوار افزایش و در تربت حیدریه کاهش خواهد یافت. کوچکی و نصیری محلاتی (۱۳۹۵) در پژوهش خود عملکرد گندم، ذرت، نخود و چغندر قند به‌عنوان ۴ محصول مهم زراعی در شرایط اقلیمی سال ۲۰۵۰ میلادی با

تغییر اقلیم افزایش خواهد یافت که نتیجه آن در مقیاس جهانی، افزایش قیمت غذا خواهد بود. در مقیاس منطقه‌ای این تاثیر متفاوت بوده و در این بین، به‌ویژه مصرف‌کنندگان با درآمد پایین، خطرپذیری بالایی نسبت آن خواهند داشت به‌طوری‌که مدل‌ها افزوده شدن ۱ تا ۱۸۳ میلیون نفر را به جمع‌گرسنگان دنیا تحت سناریوهای SSPs در مقایسه با سناریوهایی بدون لحاظ تغییر اقلیم پیش‌نگری کرده‌اند. با وجود پیش‌بینی مزایای افزایش CO₂ برای عملکرد محصولات زراعی در شرایط افزایش کمتر دما، کاهش ارزش غذایی این محصولات نیز پیش‌نگری شده است. گندم کشت شده در غلظت ۵۸۶-ppm، ۵۴۶ دی اکسید کربن به میزان ۱۲/۷-۵/۹ درصد پروتئین، ۳/۶-۷/۵ درصد روی و ۵/۲-۷/۵ درصد آهن کمتری خواهد داشت (ملبو و همکاران، ۲۰۱۹).

در دهه‌های اخیر بررسی آثار تغییر اقلیم بر تمامی بخش‌ها، فعالیت‌ها و ارزیابی پیامدهای آن و ایجاد راهکارهای تطبیق و سازگاری با این تغییرات به یکی از موضوعات مورد علاقه مدیران در سطح کلان و خرد تبدیل شده است. مطالعات نشان می‌دهد که تغییر اقلیم تا سال ۲۰۵۰، دارای اثرات منفی بر عملکرد محصول زمین‌های زراعی در خاورمیانه و شمال آفریقا خواهد بود. تا سال ۲۰۵۰ تولید محصول برنج در این منطقه ۳۰ درصد، ذرت ۴۷ درصد و گندم با ۲۰ درصد کاهش مواجه خواهند شد. این در حالی است که انتظار می‌رود کالری مورد نیاز در این فاصله زمانی از ۲۸۴۶ به ۳۱۱۹ به ازای هر نفر در روز افزایش یابد که در صورت بروز تبعات تغییر اقلیم نه تنها کالری مازاد تامین نخواهد شد که سقف کالری دریافتی ساکنان از میزان فعلی هم کمتر خواهد شد (بانک جهانی، ۲۰۰۵).

یزد با ۷۳ هزار هکتار وسعت و یک میلیون و ۲۰۰ هزار نفر جمعیت در منطقه گرم و خشک ناحیه مرکزی ایران قرار دارد، ۸۷ درصد جمعیت آن در ۲۴ شهر و مابقی در روستاها و آبادی‌ها زندگی می‌کنند. کمترین منبع آب کشاورزی به دلیل خشکی اقلیم و اندک بودن میزان بارش بین استان‌های ایران، در این استان قرار دارد. بر مبنای آمار، میانگین رشد فعالیت کشاورزی کشور ۳۷/۳ درصد است که این عدد در استان یزد

تغییرات پرداختند. پژوهش با این با مواجهه جهت مناسب از استفاده با و متفاوت میزان بارش اقلیمی سناریوی چهار برای ۲۰ سال انجام (PMP) مثبت ریاضی ریزی برنامه روش اقلیم (حاوی دو توامان تغییر سناریوی دو داد نتایج نشان شد. فرض دوم این پژوهش یعنی تغییر اقلیم که در آن اعداد و ۰/۰۵ واریانس تصادفی نرمال با نصف میانگین فعلی بارش آن و فرض سوم تغییرپذیری اقلیم که در آن اعداد تصادفی نرمال با میانگین فعلی بارش و ۰/۳۰ واریانس فعلی آن در نظر را بر نمایه اثر بیشترین ترتیب به اقلیم تغییر گرفته شده است) و داشته‌اند. کریمی و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی مورد های مرور مقالات و پژوهش‌های انجام شده در ارتباط با اثرات تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی در ایران پرداختند. بررسی مقالات نشان داده است که عملکرد سیب زمینی در ایران در دهه ۲۰۵۰ به میزان ۴۸/۳ درصد کاهش خواهد یافت. در صورت انجام سازگاری، میزان کاهش عملکرد به رقم ۱۳/۳ درصد تنزل خواهد یافت. لشکری و همکاران (۱۳۹۰) نیز در بررسی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد ذرت در خراسان، درصد کاهش را برای دوره ۲۱۰۰ به ترتیب با دامنه ۴۲/۲-۶/۴ و ۳۹-۱ درصد بر آورد کرده‌اند. احمدی و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهش خود نشان داد یکی از اثرات تغییر اقلیم بر درختان میوه، از طریق افزایش انباشت گرمایی در دوره آینده رخ خواهد داد. افزایش پتانسیل یا انباشت گرمایی موجب کاهش طور دوره رشد درختان میوه خواهد شد. نتایج نشان دادند در مناطق کشت درخت انگور در و RCP8.5 ایران به طور متوسط دمای کمینه تحت سناریوهای در دوره های ۲۰۲۰-۲۰۵۵، ۲۰۵۶-۲۰۹۰ نسبت به RCP4.5 در دوره پایه افزایش خواهد یافت بنابراین رخداد آستانه زیستی و مراحل فنولوژیکی درخت انگور در دوره آتی نسبت به دوره گذشته در زمان جلوتری تکمیل خواهد شد. بنابراین اثر عمده تغییر اقلیم در قالب تغییر رخداد مرحله فنولوژیکی گل دهی درختان میوه ظاهر خواهد شد (شجاعی و همکاران، ۱۳۹۹). موسوی و همکاران (۲۰۲۰) اثرات بالقوه تغییر اقلیم بر دشت بهار همدان از ابعاد اقتصادی، فیزیولوژی، هیدرولوژیکی و جنبه‌های هواشناسی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که تغییر اقلیم در این منطقه دارای اثرات منفی بر بخش کشاورزی

مقادیر فعلی مقایسه و تغییرات آن را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که میانگین عملکرد گندم، ذرت، نخود و چغندر در سال ۲۰۵۰ در مناطق مختلف کشور به ترتیب ۱۸/۶، ۱۹/۱، ۶/۶ و ۲۰ درصد کاهش خواهد یافت. این کاهش عمدتاً به دلیل افزایش دما بوده و افزایش غلظت دی اکسید کربن تنها در حدود ۵/۶ درصد از اثرات منفی دمای بالا را جبران می‌کند. کوچکی و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهش خود نشان دادند که عملکرد ذرت در استان خراسان رضوی تحت تاثیر تغییر اقلیم از ۱۱ تا ۳۸ درصد نسبت به شرایط کنونی کاهش خواهد یافت. بطور کلی کاشت زود هنگام ذرت (۱۰ اردیبهشت) باعث تولید عملکرد بالاتری نسبت به سایر تاریخ‌های کاشت (۲۰ اردیبهشت و ۱ خرداد) در شرایط تغییر اقلیم شد. دهقان و علیقی (۱۳۹۴) در مقاله خود به ارزیابی تغییرات اقلیمی بر انگور با استفاده از مدل مقیاس‌کاهی LARS-WG در شهرستان اردبیل پرداختند. نتایج نشان داد دما در شهرستان اردبیل تا سال ۲۰۳۰ حدود ۴ درجه افزایش خواهد داشت و بارش تا آن زمان حدود ۵/۵ میلیمتر کاهش خواهد داشت که این افزایش و کاهش دما و بارش باعث افت عملکرد انگور در شهرستان اردبیل خواهد شد. امیرنژاد و اسدپور (۱۳۹۶) نیز در بررسی خود نشان دادند بین دو متغیر اقلیمی انتشار سالانه CO₂ و مجموع بارش سالانه) و سطح زیر کست گندم رابطه‌ای مثبت و معنی‌دار وجود دارد. ایشان در این پژوهش نتیجه گرفتند که اثر مستقیم گاز CO₂ در ایران بیش تر بوده و باعث افزایش فرآیند فتوسنتز و کاهش تعرق شده که هر دو عامل باعث سرعت بخشیدن به رشد گندم و در نتیجه افزایش در تولید و عملکرد گندم می‌شود. اگرچه برای منطقه سیستان و بلوچستان نشان داده شده است که دوره فصل رشد و عملکرد گندم تحت شرایط تغییر اقلیم نسبت به شرایط فعلی کاهش خواهد یافت (ولی زاده و همکاران، ۲۰۱۴). کیانی و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از داده‌های مربوط به تولید پنج محصول عمده زراعی ایران (جو، ذرت، سیب زمینی، گوجه فرنگی و چغندر قند) و همچنین داده‌های آب و هواشناسی طی سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۷۹ به بررسی تأثیر اثرات تغییر اقلیم بر توسعه کشاورزی ایران و نحوه برنامه‌ریزی

مطلق استان ۴۸ درجه و کمینه مطلق آن ۲۴- درجه سلسیوس می‌باشد.

از مجموع ۱۷۳ هزار هکتار اراضی قابل کشت استان یزد به دلیل تداوم خشکسالی و تغییر الگوی کاشت و کشت گیاهانی با نیاز آبی پایین هم اکنون ۱۱۳ هزار و ۷۶۰ هکتار آن زیر کشت قرار دارد که ۳۲ هزار و ۶۶۹ هکتار (۲۹ درصد) به کشت محصولات زراعی و بقیه به باغی و گلخانه‌ای اختصاص دارد که ۱۱۷ هزار و ۸۰۰ کشاورز، دامدار و بهره‌بردار در تولید محصولات کشاورزی، باغی، گلخانه‌ای و دامی استان فعال هستند.

۲-۲. داده‌های مشاهداتی

در این پژوهش از داده‌های دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و ساعت آفتابی مربوط به ۱۱ ایستگاه همدید استان در مقیاس روزانه استفاده شد (شکل ۱). طول دوره آماری ایستگاه‌ها یکسان نبود، به طوری که بعضی از آن‌ها مثل ایستگاه فرودگاهی یزد از قدمت طولانی برخوردار بوده و از سال ۱۳۳۱ هجری شمسی (۱۹۵۱ میلادی) دارای داده بوده و برخی دیگر نیز دارای تعداد سال آماری کمتری بودند. به منظور واسنجی و صحت سنجی مدل مقیاس کاهی آماری با استفاده از LARS-WG دوره نرمال اقلیمی ۲۰۱۰-۱۹۸۱ در نظر گرفته شد. مختصات جغرافیایی ایستگاه‌ها در جدول ۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱. توزیع مکانی ایستگاه‌های همدید استان یزد

از طریق کاهش عملکرد محصول و بیلان آب‌های زیرزمینی است. در افق ۲۰۹۰ و تحت سناریوی خوش‌بینانه، بارش و سطح آب زیرزمینی احتمالاً به ترتیب ۱۴/۴ تا ۱۲/۳ درصد کاهش و میانگین دما تا ۱۴/۷٪ افزایش خواهد یافت. بر این اساس، ارزش اقتصادی آب ۴۴ درصد افزایش می‌یابد و ارزش افزوده کشاورزی (درآمد خالص) ۱۹ درصد کاهش خواهد یافت که نشانگر تشدید بحران کمبود آب و رکود کشاورزی است.

مناطق خشک و نیمه خشک در مقابل تغییرات اقلیمی بسیار حساس و شکننده هستند و با توجه به قرارگیری استان یزد در این منطقه و نقش کشاورزی در معیشت ساکنان این استان، ضرورت دارد اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای دما و بارش و اثرات احتمالی آن بر شاخص‌های کشاورزی بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد. هدف این پژوهش، بررسی تغییرات پیش‌نگری شده دما و فصل رشد طی دوره آتی در استان یزد تحت سناریوی RCP8.5 و برآورد تفاوت متغیرهای مذکور با دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۱) تحت سناریوی RCP8.5 می‌باشد.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. موقعیت جغرافیایی و اقلیم منطقه

استان یزد با ۱۳۱ هزار کیلو متر مربع وسعت، از شمال و غرب به استان اصفهان، شمال شرق به استان خراسان جنوبی، از جنوب به استان کرمان و استان فارس، محدود است. این استان در کمربند خشک و نیمه خشک نیمکره شمالی قرار دارد. میانگین بلند مدت بارش استان یزد در حدود ۹۵ میلیمتر است که به عنوان کم‌بارش‌ترین و یکی از بیابانی‌ترین استان‌های کشور محسوب می‌شود. از طرفی تغییرات مکانی و زمانی بارش در استان بسیار زیاد است به طوری که مهدی‌آباد یزد با میانگین بارش سالانه ۳۸/۳ و آمحسن ده‌بالا با میانگین بارش سالانه ۳۲۸/۵ میلیمتر به ترتیب کم‌بارش‌ترین و پر بارش‌ترین نقاط استان می‌باشند. میانگین بارش استان از ۲۶ میلیمتر در کم‌بارش‌ترین سال تا ۱۶۶ میلی‌متر در پر بارش‌ترین سال در نوسان می‌باشد. نوسان دمای استان نیز در زمستان و تابستان و حتی در شب و روز بسیار زیاد است. بطوریکه بیشینه دمای

۲-۳. برون داد مدل های اقلیمی

مدل ها، شناخت مولفه های فیزیکی و دینامیکی سامانه اقلیم (جو، اقیانوس، سطح زمین و یخ دریا) است و پیش‌نگری های این مدل‌ها براساس واداشت گازهای گلخانه‌ای و آتروسول‌ها می‌باشد.

مدل (AOGCM) مدل‌های گردش عمومی جو- اقیانوس های استاندارد هستند که در ارزیابی گزارش چهارم هیات بکار رفته‌اند. تابع اصلی این (AR4) بین‌الدول تغییر اقلیم

جدول 1. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی هم‌دید استان یزد به تفکیک شهرستان

ایستگاه	شهرستان	طول جغرافیایی (درجه و دهم درجه)	عرض جغرافیایی (درجه و دهم درجه)	ارتفاع (متر)	سال تاسیس	
					شمسی	میلادی
ابرکوه (نسبتاً خشک و سرد)	ابرکوه	۵۳/۲	۳۱/۱۲	۱۵۳۶	۱۳۷۶	۲۰۰۳
رباط پشت بادام (فراخشک گرم)	اردکان	۵۵/۶	۳۳/۰۱	۱۲۳۴	۱۳۷۱	۱۹۹۲
عقدا		۵۳/۶	۳۲/۴۵	۱۱۵۰	۱۳۸۱	۲۰۰۲
باقق (نیمه خشک سرد)	باقق	۵۵/۴۲	۳۱/۶۳	۹۹۱	۱۳۷۱	۱۹۹۲
بهاباد (خشک بسیار گرم)	بهاباد	۵۶/۰۵	۳۱/۸۴	۱۴۳۶	۱۳۷۷	۱۹۹۸
گاریز	تفت	۵۴/۱۰	۳۱/۳۱	۱۹۸۵	۱۳۷۴	۱۹۹۵
هرات	خاتم	۵۴/۳۸	۳۰/۰۲	۱۶۳۲	۱۳۸۲	۲۰۰۳
مروست (نسبتاً خشک سرد)		۵۴/۲۱	۳۰/۴۶	۱۵۴۷	۱۳۷۵	۱۹۹۶
مهریز	مهریز	۵۴/۴۴	۳۱/۵۹	۱۴۸۷	۱۳۸۱	۲۰۰۲
میبد	میبد	۵۳/۹۸	۳۲/۲۲	۱۱۱۰	۱۳۷۸	۱۹۹۹
فرودگاه یزد (خشک غبارآلود)	یزد	۵۴/۲۹	۳۱/۹۰	۱۲۳۷	۱۳۳۱	۱۹۵۲

برخی فراسنج‌های اجتماعی- اقتصادی، فناوریانه و همچنین میزان غلظت برخی گازها برای دهه‌های آینده طراحی شده‌اند. سناریوی واداشت تابشی RCP8.5 نشان دهنده شرایطی است که در صورت ادامه روند فعلی انتشار گازهای گلخانه‌ای و بدون هیچگونه کاهش یا تعدیلی در انتشار آن‌ها قابل انتظار خواهد بود و RCP2.6 بیشترین حد محدودیت است که زمین می‌تواند هنوز تاب‌آوری داشته باشد. دو سناریوی دیگر (RCP4.5 و RCP6.5) شرایطی را نشان می‌دهند که کاهش گازهای گلخانه‌ای تا حدی تحقق می‌یابد (IPCC, 2014).

و MIROC5، HadGEM2-ES از برون‌داد سه مدل به منظور ارزیابی RCP8.5 تحت سناریوی GFDL-CM3 HadGEM-es سناریوهای آبی دما و بارش استفاده شد. مدل مربوط به گروه مدل‌سازی مرکز هدلی دفتر هواشناسی که به MIROC5 انگلیس، با قدرت تفکیک $1^\circ \times 1^\circ$ ، مدل طور مشترک در مرکز پژوهش‌های سامانه اقلیمی دانشگاه توکیو، پژوهشکده ملی مطالعات محیطی و آژانس علوم و

از سال ۱۹۹۵، کارگروه مدل‌سازی جفت شده (WGCM)، تحت حمایت برنامه پژوهش اقلیم جهان (WCRP)، پروژه ارزیابی متقابل مدل‌های جفت شده (CMIP) را به عنوان یک پروتکل استاندارد به منظور دسترسی پژوهش‌گران به برون‌داد مدل‌های اقلیمی برای استفاده از برون‌داد مدل‌های گردش عمومی جفت شده جو- اقیانوس در مطالعات و پژوهش‌های در دست انجام، پایه‌گذاری کرد. طی سال ۲۰۱۳-۲۰۱۲، WCRP پیش‌بینی‌های جهانی اقلیم بر اساس فاز پنجم CMIP، در اختیار جامعه علمی قرار دارد (هیات بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۱۳، تیلور و همکاران، ۲۰۱۲).

در مدل‌های پروژه ارزیابی متقابل مدل‌های جفت شده (CMIP5)، از سناریوهای جدید به نام نماینده خط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای (RCPs) استفاده شده است که شامل چهار سناریوی با نام‌های RCP۲/۶، RCP۴/۵، RCP۶، و RCP۸/۵ می‌باشند که براساس میزان واداشت تابشی آنها در سال ۲۱۰۰ نام‌گذاری شده‌اند. این سناریوها بر اساس نتایج حاصل از

جو و عدم قطعیت بالای آنها در خروجی‌های روزانه بویژه بارش، استفاده مستقیم از این خروجی‌ها را در مطالعات اثرات تغییر اقلیم بر بخش‌های مختلف و کاربرد در مدل‌های هیدرولوژیکی نامناسب ساخته است (زمنف، ۲۰۰۸). جهت استفاده از این داده‌ها لازم است تا خروجی‌های این مدل‌ها با استفاده از روش‌های موجود تا سطح ایستگاهی ریزمقیاس گردد. روش‌های مقیاس‌کاهی شامل مقیاس‌کاهی دینامیکی با استفاده از مدل‌های اقلیمی منطقه‌ای نظیر PRECIS (ویلسون و همکاران، ۲۰۰۵) یا RegCM (جورجی، ۱۹۹۳)، ریزمقیاس کردن آماری با استفاده از مدل‌هایی چون ASD (حسامی و همکاران، ۲۰۰۸) و SDSM (ویلی و همکاران، ۲۰۰۱) و مدل‌های تولید‌کننده تصادفی آب و هوا (WG) مانند LARS-WG می‌باشد (زمنف و بروکر، ۱۹۹۹).

در این پژوهش از مدل LARS-WG استفاده شد. این مدل یکی از پرکاربردترین مدل‌های آماری در ریزگردانی خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی جو محسوب می‌گردد. نسخه اولیه LARS-WG در بوداپست طی سال ۱۹۹۱ به عنوان بخشی از پروژه ارزیابی ریسک‌های کشاورزی در کشور مجارستان ابداع شد. هدف اصلی از اجرای این روش، غلبه بر محدودیت‌های روش زنجیره مارکف در وقوع بارش بود. خواص آماری داده‌های تولید شده توسط این مدل مشابه مقادیر مشاهداتی در ایستگاه است اما امکان تولید داده برای دوره طولانی‌تر به منظور ارزیابی ریسک در کشاورزی و هیدرولوژی با این ابزار وجود دارد.

این مدل، توزیع نیمه تجربی (SED) را برای برآورد توزیع احتمالاتی سری‌های خشک و تر، بارش روزانه، بیشینه و کمینه دما و تابش خورشیدی بکار می‌برد که به صورت تابع توزیع تجمعی احتمالات a مشخص می‌شود. برای هر متغیر اقلیمی (v) ، یک مقدار از متغیر اقلیمی (v_i) متناظر با احتمال p_i به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$i = 0, \dots, n \quad v_i = \min\{v: P(v_{obs} \leq v) \geq p_i\} \quad (2)$$

فناوری دریایی-زمین ژاپن توسعه یافته و قدرت تفکیک آن $1/4^\circ \times 1/4^\circ$ است. مدل GFDL-CM3 در آزمایشگاه ژئوفیزیک دینامیک سیالات ایالات متحده توسعه یافته و دارای قدرت تفکیک مکانی $2/5^\circ \times 2/5^\circ$ می‌باشد. در این پژوهش از عضو همادی اول (r1i1p1) هر مدل استفاده شده است (هیات بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۱۳). در متن مقاله سه مدل مذکور به صورت خلاصه با نام MIROC, HadGEM و GFDL ذکر شده‌اند.

۲-۴. روش درونیابی متغیرهای دما و بارش

استفاده از ایستگاه‌های هواشناسی به تنهایی برای نمایش اقلیم یک منطقه کافی نیست، بنابراین لازم است از مجموعه داده‌های شبکه‌ای متغیرهای اقلیمی به منظور تحلیل و بررسی توزیع مکانی متغیرهای مد نظر استفاده شود (مورال و همکاران، ۲۰۲۱). در این پژوهش، به منظور تولید داده‌های شبکه‌ای، از روش گرادیان به علاوه وزن‌دهی عکس فاصله (GIDS) استفاده شده است. این روش ترکیبی از دو روش وایزش خطی و روش وزن‌دهی عکس فاصله است (نالدرو وین، ۱۹۹۸). GIDS ابتدا شامل وایزش خطی مطابق رابطه (۱) بوده، سپس با استفاده از شیب b_1 - b_2 مقدار متغیر را از ایستگاه‌های معلوم برای ایستگاه‌های شبکه بدست می‌آید. این روش بر اساس رابطه زیر بیان می‌شود:

$$Tp = \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i} \right)^2 \right]^{-1} * \sum_{i=1}^n \left\{ [T_i + b_i(\text{long}_p - \text{long}_i) + b_2(\text{Lat}_p - \text{Lat}_i) + b_3(h_p - h_i)] * \left(\frac{1}{d_i} \right)^2 \right\}$$

به ترتیب نمایشگر مقادیر پیش‌بینی p که در آن اندیس فاصله d_i شده و اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌ها هستند. همچنین هر نقطه تا ایستگاه اندازه‌گیری می‌باشد.

۲-۵. مقیاس‌کاهی

قدرت تفکیک پایین زمانی و مکانی مدل‌های گردش عمومی

در این رابطه، \bar{d} میانگین اختلاف دو متغیر، s انحراف معیار d است. این آماره دارای توزیع t با $n-1$ درجه آزادی است. در آزمون فوق لازم است فرض برابری واریانس و توزیع نرمال باید مد نظر قرار گیرد. از آزمون نسبت واریانس (آزمون F) به منظور انجام مقایسه واریانس‌ها استفاده می‌شود. فرضیه‌های این آزمون به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\begin{cases} H_0: \frac{\sigma_A}{\sigma_B} = 1 \\ H_1: \frac{\sigma_A}{\sigma_B} \neq 1 \end{cases} \quad (۶)$$

در صورت بزرگ‌تر بودن مقدار احتمال از احتمال خطای نوع اول (α)، دلیلی بر رد فرض صفر (برابری واریانس‌ها) وجود ندارد.

۳. نتایج

۳-۱. ارزیابی توانمندی مدل LARS-WG در مقیاس‌های دما و بارش

داده‌های روزانه دمای کمینه ($^{\circ}\text{C}$)، دمای بیشینه ($^{\circ}\text{C}$)، بارش (mm) و ساعت آفتابی (h) ایستگاه‌های یزد، بافق، گاریز، ابرکوه، رباط، مروست و مهریز برای دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۸۱، آماده و وارد مدل LARS-WG6 شد و با تغییر عدد تصادفی مدل برای شبیه‌سازی متغیرهای مورد نظر اجرا گردید. به منظور بررسی توانمندی این مدل در شبیه‌سازی داده‌های آب و هوایی می‌توان مقادیر میانگین و انحراف معیارهای متغیرهای اقلیمی را با استفاده از آزمون t و F مورد مقایسه قرار داد (زمنف و استراتونوویچ، ۲۰۱۰). نتایج حاصل از آزمون t برای این ایستگاه‌ها (پس از چند بار اجرا) نشان داد که بین میانگین شبیه‌سازی شده‌ی بارش، دمای کمینه و بیشینه با مقدار واقعی این دو متغیر اختلاف معنی‌داری در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ وجود ندارد. به عنوان مثال، ضریب همبستگی در سری ماهانه داده‌های دیدبانی شده و شبیه‌سازی شده در دو متغیر بارش، دمای کمینه و دمای بیشینه برای ایستگاه یزد برای دو متغیر، برابر ۰/۹۹ و برای بافق ۰/۹۷ و رباط ۰/۹۸ بدست آمد. مقدار RMSE برای بارش ماهانه به مقدار ۰/۶ (بافق) و ۱/۱ و رباط ۱/۶ میلی‌متر) و برای دو متغیر دمای کمینه و بیشینه به میزان ۲/۰

که در این رابطه $P()$ نشان دهنده احتمال بر مبنای داده‌های مشاهده‌ای $\{v_{\text{obs}}\}$ می‌باشد. برای هر متغیر اقلیمی، دو مقدار p_0 و p_n به صورت $p_0 = 0$ و $p_n = 1$ متناظر با $v_0 = \min\{v_{\text{obs}}\}$ و $v_n = \max\{v_{\text{obs}}\}$ تعیین می‌شود. در این مدل، دمای کمینه و بیشینه روزانه، به عنوان فرآیندهای تصادفی با میانگین‌ها و انحراف معیار روزانه بر مبنای تر یا خشک بودن آن روز محاسبه می‌شوند. مدل‌سازی تابش مستقل از دما صورت می‌گیرد. با توجه به متفاوت بودن توزیع تابش خورشیدی در دو وضعیت روزهای تر و خشک، توزیع نیمه تجربی جداگانه‌ای برای توصیف تابش خورشیدی در روزهای تر و خشک بکار می‌رود. در این پژوهش از نسخه ۶ این مدل استفاده شده است.

۲-۶. معیارهای ارزیابی مدل

در این پژوهش از آماره‌ی ضریب همبستگی پیرسون (r) که به درجه همبستگی خطی مربوط می‌شود و دامنه آن بین -۱ تا ۱ می‌باشد، استفاده شده است (رابطه ۳).

(۳)

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(R_i - \bar{R})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 (R_i - \bar{R})^2}}$$

از جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) به منظور بررسی توانمندی مدل در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی استفاده شد. مقدار بهینه RMSE صفر است که نشان دهنده همخوانی کامل بین مجموعه داده‌های دیدبانی و شبیه‌سازی شده است.

$$RMSE = \sqrt{(n-1) \sum_{i=1}^n (R_i - O_i)^2} \quad (۴)$$

در مدل LARS-WG از آزمون t به منظور بررسی برابری میانگین دو نمونه استفاده می‌شود. آماره آزمون t به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$T = \frac{\bar{d}}{s/\sqrt{n}} \quad (۵)$$

GFDL، دامنه میان چارکی بزرگتری داشته و داده‌ها دارای چولگی مثبت هستند. در واقع توزیع داده‌ها با دوره پایه متفاوت است. اما تفاوت آماری معنی‌داری در میانگین بارش این ماه با دوره پایه وجود ندارد. میانگین سالانه دو مدل دیگر تفاوتی با دوره پایه ندارد (شکل ۲).

بررسی میانگین ماهانه دمای کمینه دوره آبی با مقادیر دوره پایه برای یزد نشان داد بیشترین مقدار افزایش دما برای ماه ژوئیه توسط مدل GFDL به میزان $3/5^{\circ}\text{C}$ پیش‌بینی شده است. در مدل HadGEM، در تمامی ماه‌ها بجز ژانویه و فوریه (افزایش $1/4^{\circ}\text{C}$)، دما به میزان تقریباً 2°C افزایش خواهد یافت. در مدل MIROC بیشترین مقدار تفاوت این متغیر با

دوره پایه مربوط به ماه سپتامبر به میزان $1/8^{\circ}\text{C}$ است. در هر سه مدل میزان افزایش دما در ماه‌های زمستان نسبت به فصول دیگر کمتر بدست آمد. با 95% اطمینان میانه‌های دمای کمینه در مدل‌های مذکور از لحاظ آماری با مقادیر دوره پایه اختلاف معنی‌داری دارند که این مورد در تمامی ماه‌ها مشاهده می‌شود. برای دوره آبی، در ایستگاه ابرکوه به دلیل عدم همپوشانی فاصله میان چارکی در ماه‌های ژوئن، ژوئیه، اوت، مه، اکتبر، نوامبر و سپتامبر در هر سه مدل، تفاوت معنی‌داری بین میانگین ماه‌ها مذکور با دوره پایه وجود دارد (شکل ۳). چولگی داده‌ها در ماه اوت مدل GFDL به راست (کشیدگی به سمت مقادیر بالاتر) و در دو مدل دیگر چولگی به چپ (کشیدگی به سمت مقادیر پایین‌تر) بدست آمد.

مقایسه میانگین دمای بیشینه روزانه در ایستگاه یزد طی دو دوره با مقادیر دوره پایه نیز نشان داد مدل GFDL طی ماه‌های می تا سپتامبر و مدل HadGEM طی ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر افزایش بیشتری را برآورد کرده است. می‌توان با 95% اطمینان گفت که میانه‌های دمای کمینه و بیشینه در مدل‌های مذکور از لحاظ آماری با مقادیر دوره پایه اختلاف معنی‌داری دارند که این مورد در دو ایستگاه در تمامی ماه‌ها مشاهده می‌شود. در ایستگاه یزد، مدل MIROC بیشترین افزایش را برای ماه‌های سپتامبر و اوت به میزان 2°C نشان می‌دهد. مدل HadGEM

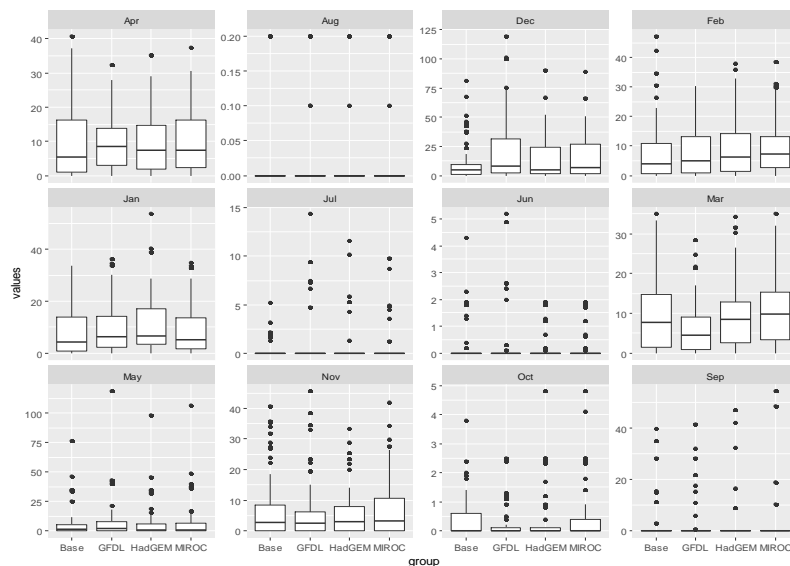
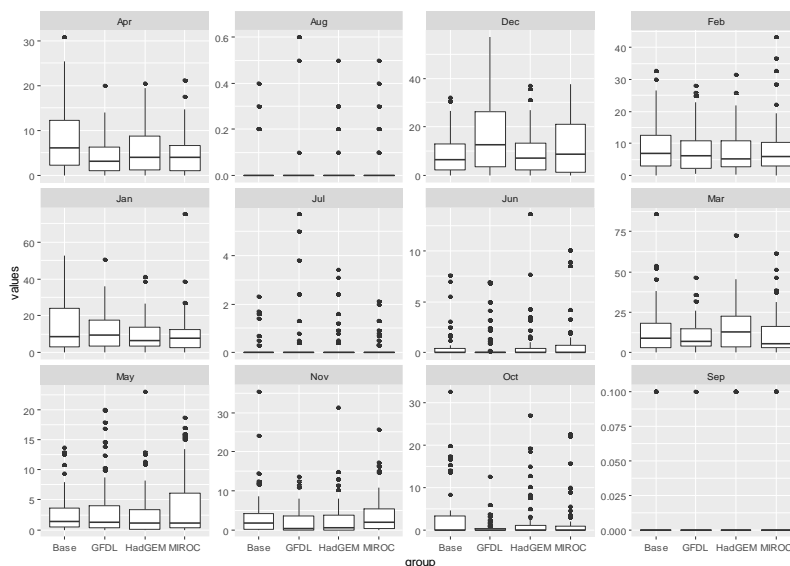
(بافق $0/3$ و رباط $0/4$ درجه سلسیوس) محاسبه شد. مقدار انحراف معیار بارش ماهانه در ماه‌های ژانویه و فوریه کم برآورد و در ماه آوریل بیش برآورد شد. نتایج نشان داد مدل از توانمندی خوبی در شبیه‌سازی دمای کمینه و بیشینه برخوردار است. انحراف معیار در هر دو سری داده‌های دمای کمینه و بیشینه کم برآورد (تا $1/5^{\circ}\text{C}$) شده است که این امر، به عدم توانمندی مدل‌های آماری مقیاس‌گاهی در برآورد انحراف معیار این متغیرها برمی‌گردد (زمنف و همکاران، ۲۰۰۸). ارزیابی عملکرد مدل و شکل‌های مربوطه برای سایر ایستگاه‌ها آورده نشده است.

۲-۳. پیش‌نگری متغیرهای اقلیمی

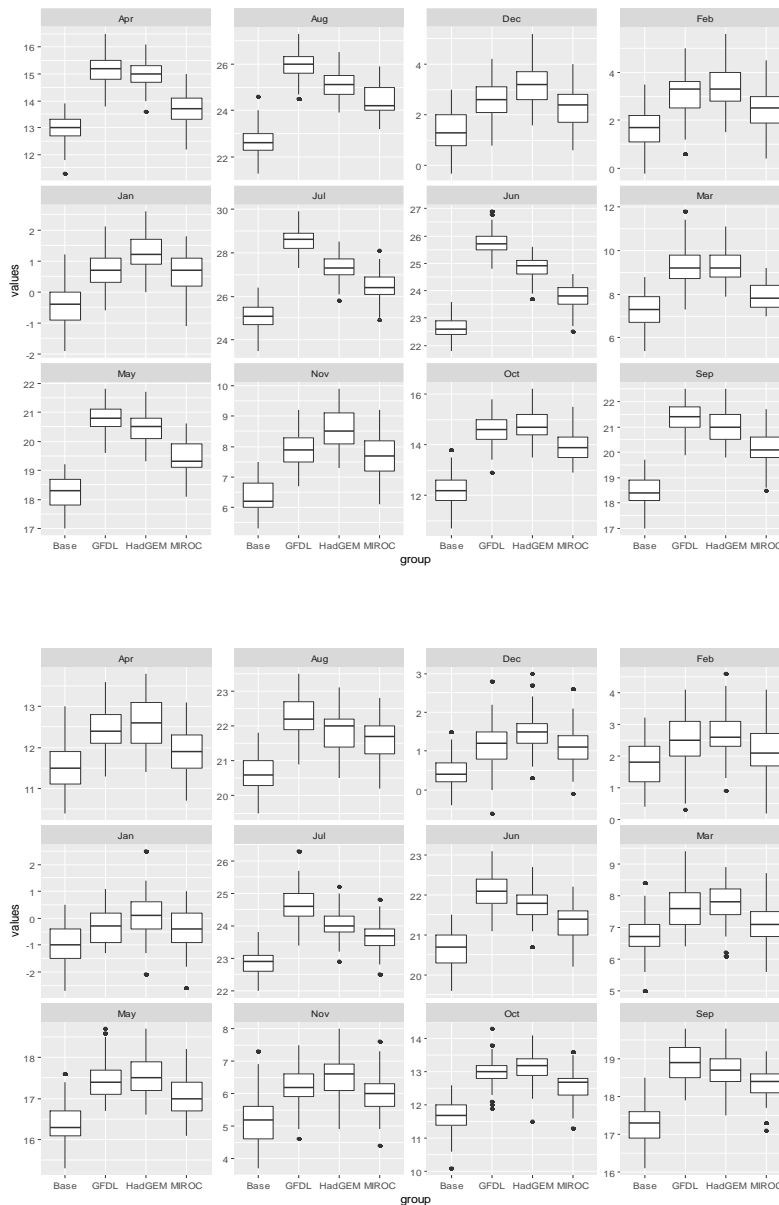
مدل LARS-WG برای تولید سناریوهای اقلیمی آبی دما و بارش (آینده نزدیک) برای سه مدل اقلیمی منتخب اجرا و مقادیر روزانه متغیرهای دما و بارش برای دوره پایه و دو دوره آبی، شبیه‌سازی (۳۰۰ سال) و مقادیر ماهانه متغیرهای مذکور محاسبه شد. علاوه بر ایستگاه یزد، با توجه به اینکه عمده محصولات کشاورزی این استان به ترتیب در شهرستان‌های خاتم و ابرکوه تولید می‌شود. لذا، سناریوهای آبی دما و بارش ایستگاه ابرکوه نیز ارائه شد.

نتایج آزمون t نشان داد میانگین بارش سالانه مدل MIROC طی دوره‌ی مورد بررسی تفاوت معنی‌داری با دوره پایه نخواهد داشت. در رسم نمودار جعبه‌ای (توکی، ۱۹۶۹) چندین شاخص مرکزی و پراکندگی آماری بکار می‌رود. همانطور که شکل ۲ مشاهده می‌شود در ماه دسامبر طی دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱، دامنه میان چارکی (فاصله بین چارک دوم و چهارم) و بیشینه بارش در دو مدل GFDL و MIROC برای ایستگاه یزد بیش از دوره پایه برآورد شده است. برای ایستگاه ابرکوه، در مدل MIROC نسبت به دوره پایه مقدار بارش ماهانه بجز نوامبر، افزایش خواهد یافت. نرخ افزایش بارش سالانه این مدل، ۱۶ درصد بدست آمد. میانه و دامنه میان چارکی (پراکندگی) بارش هر سه مدل در ماه‌های ژانویه، فوریه و مه (به جز MIROC) بیش از دوره پایه است. در ماه دسامبر، مدل

افزایش تا $2/7^{\circ}\text{C}$ (ماه می و اکتبر) و مدل GFDL تا $3/6^{\circ}\text{C}$ (برای ماه ژوئیه) پیش‌نگری کرده است. به عنوان یک نمایه حدی در ایستگاه یزد، میانگین بیشینه ماهانه این متغیر طی دوره‌های آبی با مقادیر دوره پایه مقایسه شد. بیشترین مقدار توسط مدل GFDL برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ به میزان $48/9^{\circ}\text{C}$ درجه سلسیوس برای ماه ژوئیه پیش‌نگری شده است که در مقایسه با مقدار دوره پایه به میزان $45/4^{\circ}\text{C}$ افزایش $3/5^{\circ}\text{C}$ را نشان می‌دهد.



شکل ۲- نمودار جعبه‌ای مجموع بارش ماهانه طی ۲۰۲۱-۲۰۴۰ در مقایسه با مقادیر دوره پایه در ایستگاه یزد (بالا) و ابرکوه (پایین)



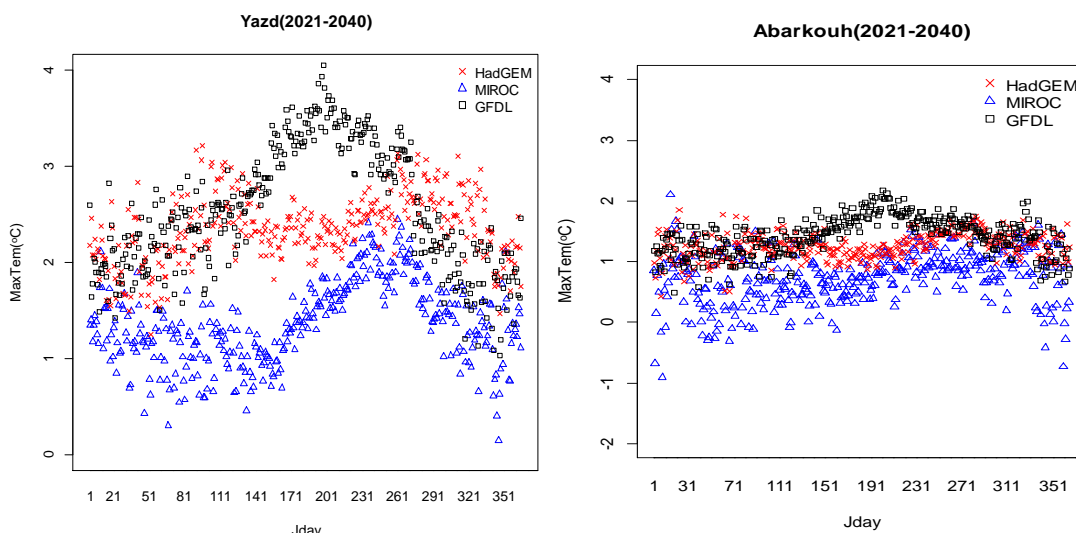
شکل ۳- نمودار جعبه‌ای میانگین ماهانه دمای کمینه طی ۲۰۲۱-۲۰۴۰ در مقایسه با مقادیر دوره پایه در ایستگاه یزد (بالا) و ابرکوه (پایین)

می‌باشد. کمترین مقادیر تفاوت مطلق بین دو دوره مربوط به ترتیب بازه ۰/۱ تا ۲/۴ درجه سلسیوس را نشان می‌دهد. مدل MIROC است که به ترتیب برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ به برای ایستگاه ابرکوه، مدل MIROC، کمترین افزایش (تا ۱°C) را برای این متغیر برآورده کرده است (بجز ماه ژانویه). میانگین روزانه معدودی از روزهای ماه‌های ژانویه و دسامبر به میزان ۱ درجه سلسیوس کمتر از میانگین دوره پایه بدست آمده است. مدل HadGEM، افزایش دما را در بازه ۰/۵ تا ۱/۸ درجه سلسیوس برآورد کرده که کمترین تفاوت مربوط به آوریل تا

با هدف بررسی نحوه تغییرات میانگین مقادیر روزانه دمای کمینه و بیشینه روزانه (°C) دوره آتی با دوره پایه، میانگین روزانه این متغیرها برای ۳۶۵ روز دوره پایه و دوره آتی محاسبه و تفاوت آن به منظور بررسی الگوی افزایش یا کاهش بدست آمد. نتایج نشان داد طی دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ هر سه مدل افزایش میانگین دمای کمینه و بیشینه روزانه را نشان می‌دهند. بازه افزایش بین ۰/۱ °C تا ۴°C پیش‌نگری شده است. بیشترین مقدار افزایش در میانگین روزانه دمای بیشینه در مدل GFDL طی دو دوره شامل ماه‌های اردیبهشت تا مهر و همچنین ماه دی

آمده است. طی دوره آتی، در مدل MIROC میزان تفاوت این متغیر در مقایسه با دوره پایه در بازه ۰/۲ تا ۱/۸ درجه سلسیوس بدست آمد.

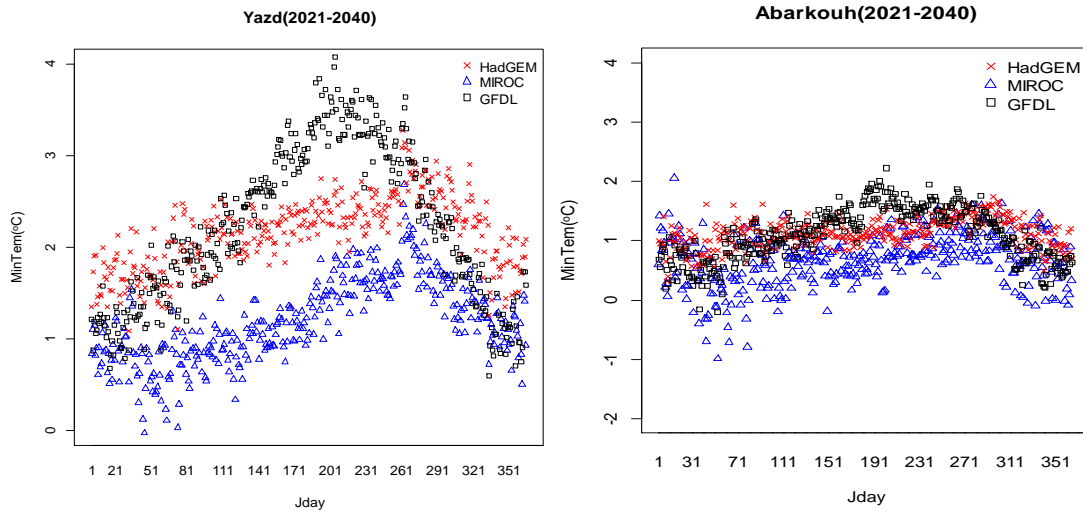
اوت می‌باشد. تفاوت میانگین روزانه دمای بیشینه در مدل GFDL، از الگوی سالانه دمای کمینه پیروی کرده و بیشترین افزایش در فصل تابستان به میزان ۲/۲ درجه سلسیوس بدست



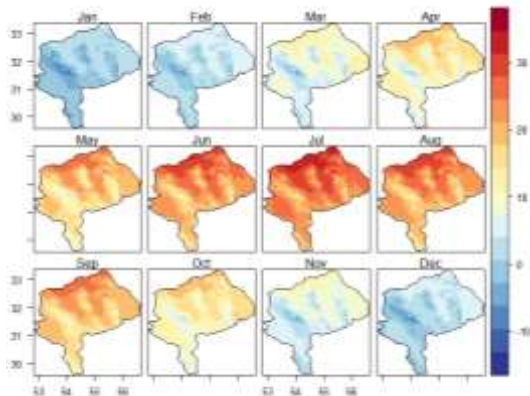
شکل ۴- تفاوت میانگین روزانه دمای بیشینه GCMs با دوره پایه طی دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ در ایستگاه یزد (بالا) و ابرکوه (پایین)

مشابهی را نشان می‌دهند بطوریکه در این دو مدل افزایش بیشتر در ماه‌های سپتامبر و اکتبر رخ می‌دهد. برای ایستگاه ابرکوه، همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود دو مدل GFDL و MIROC کاهش میانگین روزانه این متغیر را در معدودی از روزهای ماه‌های فوریه و دسامبر پیش بینی کرده‌اند که بیشترین مقدار کاهش به میزان ۱ درجه سلسیوس در مدل MIROC قابل ملاحظه است.

در شکل ۴ تفاوت مطلق میانگین دمای کمینه روزانه طی دو دوره آتی با دوره پایه ترسیم شده است. بر اساس پیش‌نگری انجام شده توسط مدل MIROC، بیشترین افزایش طی روزهای فصل بهار، تابستان و پاییز در هر دو دوره مشاهده می‌شود. همانند دمای بیشینه، مدل GFDL (تا ۴ درجه سلسیوس برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰) بیشترین تفاوت دمایی را با دوره پایه نشان می‌دهد. دو مدل HadGEM و MIROC به رغم تفاوت در مقدار افزایش، الگوی زمانی



شکل ۵. تفاوت میانگین روزانه دمای کمینه GCMs با دوره پایه طی دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ در ایستگاه یزد (راست) و ابرکوه (چپ)

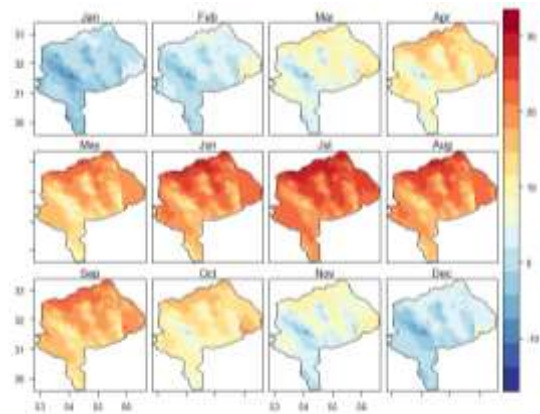


شکل ۷. میانگین ماهانه دمای کمینه (°C) مدل GFDL طی دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ تحت سناریوی RCP8.5

در این مدل، بیشترین میزان افزایش دما در ماه ژوئیه و اوت (۴ °C) در مناطق شمالی و شمال غرب و مناطق مرکزی پیش‌نگری شده است. در منطقه جنوب شرقی استان (بهاباد) کاهش دما پیش‌نگری شده است به منظور برآورد دقیق‌تر دما در این ناحیه، نیاز به استفاده از ایستگاه‌هایی از خارج استان می‌باشد. در ماه‌های فصل زمستان کمترین افزایش دما (تا ۱/۵ درجه سلسیوس) برآورد شده است.

میانگین ماهانه دمای کمینه روزانه بر اساس پیش‌نگری مدل HadGEM در ماه‌های ژوئن تا نوامبر تا ۳ درجه سلسیوس افزایش در اکثر مناطق استان (بجز جنوب شرق) افزایش نشان می‌دهد. در ماه‌های ژانویه و فوریه تا ۲ درجه سلسیوس در

با توجه به استفاده از دمای کمینه در محاسبه طول فصل رشد، به منظور بررسی توزیع و تفاوت مکانی این متغیر طی دوره آبی با دوره پایه، مقدار این متغیر با روش GIDS پهنه‌بندی شد (شکل ۶). همانطور که ملاحظه می‌شود در درون‌یابی انجام شده دامنه سالانه این متغیر از ۱۰- تا ۳۰ درجه سلسیوس بدست آمد. در شکل ۷، میانگین این متغیر برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ براساس پیش‌نگری مدل GFDL درون‌یابی و ارایه شده است.



شکل ۶. میانگین ماهانه دمای کمینه (°C) دوره ۱۹۸۱-۲۰۱۰

است. گروه تغییرپذیری کمیسیون اقلیم شناسی طول دوره رشد را بر مبنای فاصله زمانی بین اولین دوره بعد از اول ژوئیه که حداقل ۶ روز متوالی، دمای میانگین روزانه بیش از 5°C و اولین دوره ۶ روزه با دمای میانگین روزانه کمتر از این آستانه، تعریف کرده است. به دلیل تنوع اقلیمی موجود در کشور و گستردگی آن در عرض‌های جغرافیایی بالا و پایین، این تعریف در عرض‌های جغرافیایی بالاتر در مقایسه با عرض‌های پایین جغرافیایی معنی‌دار است و یا به عبارت دیگر در ایستگاه‌های جنوبی کشور نظیر بوشهر و آبادان با توجه به دامنه تغییرات دمایی‌شان، استفاده از این تعریف کارایی چندانی ندارد (صداقت کردار و رحیم زاده، ۱۳۸۵). لذا در این پژوهش شروع دوره رشد، اولین دوره ۶ روزه با دمای کمینه روزانه $T_{\min} \geq 5^{\circ}\text{C}$ و $T_{\min} \geq 10^{\circ}\text{C}$ به عنوان آغاز دوره و آخرین دوره ۶ روزه با دمای کمینه $T_{\min} \leq 5^{\circ}\text{C}$ و $T_{\min} \leq 10^{\circ}\text{C}$ به عنوان پایان طول دوره رشد محاسبه شده است (مظفری و دهقان، ۱۳۹۲). بر این اساس، طول فصل رشد نیز برای دوره پایه و سه مدل تحت سناریوی RCP8.5 برای سه ایستگاه یزد، ابرکوه (اهمیت کشاورزی) و گاریز (مرتفع-ترین ایستگاه مورد بررسی) محاسبه شد (جدول ۲).

مناطق شمال و مرکز و جنوب غربی افزایش پیش‌بینی شده است. کاهش کمتر در ناحیه غربی استان تا ۱ درجه سلسیوس برآورد شده است. عدم وجود تفاوت در این متغیر محدود به ارتفاعات استان و کاهش آن محدود به ناحیه جنوب شرق (منطقه بهاباد) نیز بدست آمده است. در مدل MIROC در ماه ژانویه افزایش تا $1/2$ درجه سلسیوس برای مناطق شمالی و غربی استان پیش‌نگری شده است. در سایر مناطق، دما تفاوت با دوره پایه ندارد. بیشترین مقدار افزایش در ماه‌های اوت، سپتامبر و اکتبر تا ۲ درجه سلسیوس برای تمام استان و ارتفاعات استان (افزایش $0/5$ درجه سلسیوس) برآورد شده است.

۳-۳. طول فصل رشد

مناطق خشک و نیمه خشک نسبت به تغییرات محیطی حساس تر و به دلیل ساختار اکولوژیکی خاصی که دارند آسیب پذیرتر هستند. بنابراین به نظر می‌رسد رخداد احتمالی تغییر اقلیم در این مناطق دارای اثرات قابل ملاحظه‌ای بر کشاورزی باشد. تعیین فصل رشد در هر منطقه بر انتخاب محصول، رقم آن، تعیین زمان کاشت و سایر تصمیم‌گیری‌های زراعی نقش موثری دارد. برای این متغیر، تعریف‌های متعددی ارائه شده

جدول ۲. میانگین طول دوره رشد (روز) بر مبنای دمای 5°C و 10°C با احتمال ۷۵٪ برای دوره آتی برای ایستگاه‌های منتخب

دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰		مدل	ایستگاه
10°C	5°C		
۲۱۶	۲۶۹	GFDL	ابرکوه
۲۱۹	۲۷۳	HadGEM	
۲۱۱	۲۶۵	MIROC	
۱۶۰	۲۱۷	GFDL	گاریز
۱۵۹	۲۲۳	HadGEM	
۱۵۳	۲۱۵	MIROC	
۲۳۷	۲۸۴	GFDL	یزد
۲۳۴	۲۸۸	HadGEM	
۲۲۹	۲۷۶	MIROC	

رشد که می‌تواند پتانسیل‌های جدیدی را در زمینه کاشت محصولات جدید یا کشت مجدد محصول فراهم آورد ولی نتایج مربوط به تعداد روزهای یا دمای بیش از ۴۰ درجه سلسیوس (روزهای داغ) نشان داد تعداد این نوع روزها در یزد از میانگین سالانه ۲۶ روز طی دوره پایه به ترتیب به ۶۰، ۵۱ و ۵۴ روز (ماه آوریل تا سپتامبر) در مدل GFDL، HadGEM و MIROC طی دوره آتی افزایش خواهد یافت که این امر منجر به خسارت به محصولات در مراحل فنولوژی حساس به دما خواهد شد.

۴. نتیجه گیری

تغییرات در زیست کره زمین از ۱۹۷۰ با گرمایش جهانی همراه شده است. نواحی اقلیمی در هر دو نیمکره به سمت قطب شمال جابجا شده و از دهه ۱۹۵۰، فصل رشد در مناطق برون حاره‌ای نیمکره شمالی به طور میانگین تا دو روز بر دهه دارای روند افزایشی بوده است (IPCC, 2021). در پژوهش‌های مرتبط با دوره‌های آتی نیز این افزایش تایید شده است به طور مثال ژو و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهش خود نشان دادند شمال اوراسیا طول دوره رشد توسعه یافته و گسترده‌تری را تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 تجربه خواهد کرد.

در این پژوهش با هدف ارایه دورنمایی از اقلیم استان یزد و با تاکید بر بخش کشاورزی، مقادیر روزانه دمای کمینه، بیشینه و بارش ۷ ایستگاه با استفاده از مدل LARS-WG برای دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰) ریزمقیاس شد و مقادیر آتی دما و بارش و تغییرات این متغیرها بر اساس پرونداد سه مدل GFDL، HadGEM و MIROC تحت سناریوی RCP8.5 مورد ارزیابی قرار گرفت. در ادامه، تغییرات طول دوره رشد و جابجایی آغاز فصل رشد تحلیل و بررسی شد.

نتایج حاکی از افزایش قابل توجه دما بر اساس پیش‌نگری سه مدل منتخب می‌باشد و سناریوهای آتی دما و بارش در دو مدل GFDL و HadGEM تحت سناریوی RCP8.5 شرایط نامساعدتری را برای این استان نشان می‌دهد. پیش‌نگری بارش نشان داد در سه مدل، میانگین بارش سالانه طی دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ تفاوت معنی داری با دوره پایه ندارد. برزگری و ملکی

طی دوره پایه، برای ایستگاه یزد، طول دوره رشد بر مبنای دمای ۵ و ۱۰ درجه سلسیوس با احتمال ۷۵٪ به ترتیب ۲۷۰ و ۲۱۷ روز برآورد شد. برای ایستگاه ابرکوه ۲۶۳ و ۲۰۶ و برای ایستگاه گاریز ۲۰۴ و ۱۴۴ روز بدست آمد. همانطور که در جدول ۲ ملاحظه می‌شود برای یزد، کمترین افزایش برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ در مدل MIROC پیش‌نگری شده است که ۶ روز برای طول دوره رشد با آستانه ۵°C و ۱۲ روز برای آستانه ۱۰°C بدست آمد. در ایستگاه گاریز نیز میانگین سه مدل نشان داد طی دوره مذکور، این متغیر به میزان ۱۴ روز برای آستانه ۵°C (بیشترین در مدل HadGEM با ۱۹ روز) و ۱۳ روز برای آستانه ۱۰°C افزایش می‌یابد. طی دوره بعدی، برای هر دو آستانه، افزایش ۲۰ روزه بر مبنای میانگین سه مدل (بیشترین مقدار در مدل HadGEM و GFDL به تعداد ۲۲ روز) بدست آمد. در ایستگاه ابرکوه، بیشترین (کمترین) افزایش در مدل HadGEM (MIROC) به میزان ۱۰ (۲) و ۱۳ (۵) روز برای آستانه‌های ۵ و ۱۰ درجه سلسیوس بدست آمد. در ایستگاه یزد، جابجایی ۱۴ روزه به سمت ماه اسفند در دو آستانه در مدل GFDL بدست آمد. مدل HadGEM جابجایی ۱۵ روزه به سمت اواخر اسفند را برای آستانه ۵ درجه سلسیوس پیش‌نگری کرد. در ایستگاه ابرکوه، مدل GFDL بیشترین جابجایی را به میزان ۹ روز در آستانه ۵ درجه سلسیوس نشان داد. در ایستگاه گاریز، بیشترین جابجایی در شروع فصل رشد، احتمالاً برای آستانه ۱۰°C رخ خواهد داد. تاریخ شروع فصل رشد با آستانه ۵°C در این ایستگاه‌ها نیز با احتمال ۷۵ درصد محاسبه شد که نتایج در جدول ۳ آورده شده است. طی دوره پایه، آغاز فصل رشد در یزد با آستانه ۵°C و ۱۰°C به ترتیب ۶ فروردین و ۳۱ فروردین می‌باشد. مظفری و دهقان (۱۳۹۲) آغاز فصل رشد را برای این ایستگاه بر مبنای دوره آماری ۲۰ ساله و با احتمال ۸۰٪ روز دوم فروردین و ۲۵ فروردین تعیین کردند. در ایستگاه ابرکوه، تاریخ شروع فصل رشد با آستانه‌های مذکور به ترتیب ۶ فروردین و ۳ اردیبهشت می‌باشد. با توجه به اقلیم متفاوت گاریز، شروع فصل رشد به ترتیب روزهای ۹ اردیبهشت و ۲ خرداد طی دوره پایه بدست آمد. به رغم افزایش طول دوره

گرم‌تر و تعرق شدید ناشی از گرمای هوای تابستان، سبب سستی و ریزش برگ‌ها طی سالیان اخیر شده است.

این استان بر اساس پژوهش کوچکی و همکاران (۱۳۹۲) از نظر منابع کشاورزی در وضعیت ناپایدار ضعیف و از نظر پیشرفت کشاورزی جزو ناپایدارترین استان‌ها و به طور کلی از نظر توسعه کشاورزی پایدار در وضعیت ناپایداری ضعیف قرار دارد. کمبود آب در دهه‌های گذشته، باعث انتقال بین حوضه-ای آن از استان‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری شده است اخیراً با توجه به بالا رفتن مصرف آب، عدم کفایت این پروژه به خوبی احساس می‌شود.

پیشنهاد می‌شود سناریوهای آبی دما و بارش بر پرونداد مدل‌های CMIP6، بروز شده تا چشم انداز اقلیم استان تحت سناریوهای جدید خط سیر مشترک بخش‌های اقتصادی-اجتماعی (SSPs) ارایه گردد.

۵. سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی با عنوان "مطالعه تغییر اقلیم استان یزد و تاثیر آن بر شاخص‌های توسعه کشاورزی با تاکید بر محصولات استراتژیک استان" است که با حمایت اداره کل هواشناسی استان یزد و پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو انجام شده است که بدینوسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

۶. منابع

۱. احمدی، ح.، فلاح قالمیری، غ.، باعقیده، م.، اسماعیل امیری، م. (۱۳۹۷). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر الگوی انباشت گرمایی مناطق کشت درخت سیب در ایران در دوره آیند، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال پنجم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۵، صفحات ۳۵-۵۴.
۲. امیر نژاد، ح.، اسدپور کردی، م. (۱۳۹۶). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تولید گندم ایران، تحقیقات اقتصاد کشاورزی، جلد ۹ مردشت، صص ۱۸۲-۱۶۳.
۳. باباییان، ا.، کوهی، م. (۱۳۹۱). ارزیابی شاخص‌های اقلیم کشاورزی تحت سناریوهای تغییر اقلیم در ایستگاه‌های

نژاد (۱۳۹۷) در پژوهش خود نشان دادند تغییرات دما و توزیع بارش در منطقه یزد تحت سناریوی حد واسط RCP4.5 معنی‌دار خواهد بود که منجر به افزایش تبخیر-تعرق و نیاز آبی تا ۴ درصد خواهد شد. دستورانی و همکاران (۲۰۱۱) نیز در پژوهش خود نشان دادند بارش یزد تحت سناریوی A2 (۳۰/۵ میلی متر) و تحت سناریوی B2 (۱/۳ میلی متر) طی دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ کاهش خواهد یافت. همچنین دمای کمینه و بیشینه این ایستگاه نیز به ترتیب $1/5^{\circ}\text{C}$ و $1/2^{\circ}\text{C}$ تحت سناریوی A2 برای دوره مذکور افزایش خواهد یافت. تحت سناریوی B2 نیز ۱ و ۱/۱ درجه سلسیوس افزایش دما پیش-نگری شده است. افزایش طول دوره رشد و جابجایی تاریخ آغاز فصل رشد به سمت اواخر زمستان و اوایل فروردین در سه مدل در سه ایستگاه مورد بررسی مورد تایید قرار گرفت. طولانی شدن فصل رشد دارای مزایایی همچون امکان کشت مجدد است ولیکن می‌تواند به این معنی نیز باشد که آفات فرصت بیشتری برای تکثیر و تولید نسل‌های متعدد در سال خواهند داشت که نتایجی همچون افزایش جمعیت و مقاومت بیشتر آنها در برابر حشره‌کش‌ها را در پی خواهد داشت. در مناطق سردتر، افزایش طول دوره رشد منجر به ثبیت بیشتر CO2 توسط گیاهان می‌شود اما احتمالاً این مزیت با تنش آبی پیش‌نگری شده از بین خواهد رفت.

نتایج این پژوهش نشان داد میانگین دما از جمله پاییز و زمستان افزایش خواهد یافت که این افزایش بر شاخص‌های توسعه‌ای باغداری و زراعت تاثیر مستقیم خواهد داشت. برای محصولی مانند پسته که کشت آن در این استان (به دلیل نیاز آبی کم و تحمل شوری) طی سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است، افزایش میزان تنفس جوانه‌های گل و به دنبال آن کاهش ذخیره کربوهیدراتی را در پی خواهد داشت که این پدیده سبب ضعف و ریزش جوانه‌های گل در انتهای زمستان می‌گردد. همچنین افزایش دما به ویژه در زمان گرده افشانی و تلقیح سبب خسارت قابل توجه‌ای به باغداران می‌گردد. افزایش تعداد روزهای گرم تابستان طی مراحل تکامل مغز و رسیدگی میوه سبب اختلال در روند پر شدن مغز و سوختگی میوه خواهد شد. عدم تأمین نیاز سرمایی به دلیل زمستان‌های

۴. منتخب خراسان رضوی، آب و خاک، دوره ۲۶، شماره ۳، ۹۶۷-۹۵۳.
۵. برزگری، ف.، ملکی نژاد، ح. (۱۳۹۷). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی و پایداری مصرف آب در بخش کشاورزی دشت یزد-اردکان، بوم شناسی کشاورزی، ۱۰(۴): ۱۱۶۱-۱۱۷۶.
۶. دهقان، ط.، علیقی، س. (۱۳۹۴). ارزیابی تغییرات اقلیمی بر روی گیاهان انگور با استفاده از مدل لارس (نمونه موردی شهرستان اردبیل) همایش بین‌المللی پژوهش‌های کاربردی در کشاورزی، تهران.
۷. شجاعی، ط.، فلاح قاهره، غ.، کاشکی، ع. (۱۳۹۹). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر زمان رخداد آستانه زیستی و مرحله گل دهی درخت انگور در ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۱۴۵-۱۲۹، ۵۲(۱).
۸. صداقت کردار، ع.، رحیم زاده، ف. (۱۳۸۵). تغییرات طول دوره رشد گیاهی در نیمه دوم قرن بیستم کشور، پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی، شماره ۷۵، ۱۹۲-۱۸۲.
۹. کوچکی، ع.، نصیری محلاتی، م. (۱۳۹۵). تاثیر تغییر اقلیم بر کشاورزی ایران: ۲- پیش بینی تولید محصولات زراعی و راهکارهای سازگاری، پژوهش‌های زراعی ایران، دوره ۱۴، شماره ۱، شماره پیاپی ۴۱، صص ۲۰-۱.
۱۰. کوچکی، ع.، نصیری، م.، مرادی، ر.، منصوری، ح. (۱۳۹۲). پهنه بندی وضعیت توسعه کشاورزی پایدار در ایران و ارایه راهبردهای پایدار، دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۲۳(۴): ۱۷۹-۱۹۷.
۱۱. کیانی، س.، شهرکی، ج.، اکبری، ا.، سردار شهرکی، ع. (۱۳۹۸). برنامه ریزی و بررسی اثرات تغییر اقلیم بر توسعه کشاورزی ایران: کاربرد تکنیک برنامه ریزی ریاضی مثبت (PMP)، برنامه ریزی منطقه ای، دوره ۹، شماره ۳۴، ۳۶-۱۵.
۱۲. لشکری، ا.، علیزاده، ا.، بنایان اول، م. (۱۳۹۰). بررسی امکان کاهش اثر تغییر پارامترهای اقلیمی بر تولید ذرت دانه ای در شمال شرق ایران. آب و خاک، ۲۵(۴).
۱۳. مظفری، غ.، دهقان، ح. (۱۳۹۲). پهنه بندی طول فصل رشد گیاهان بر مبنای ویژگی‌های دمایی در ایران، جغرافیا و توسعه ناحیه-ای، ۱۱(۲)، ۱۲۱-۱۳۷.
۱۴. نصیری محلاتی، م.، کوچکی، ع. (۱۳۸۴). اثر تغییر اقلیم بر شاخص‌های آگروکلیماتیک مناطق کشت گندم دیم در ایران، مجله پژوهش‌های زراعی ایران، ۳(۲): ۲۹۱-۳۰۳.
15. Dastorani MT, Bavani AM, Poormohammadi S, Rahimian MH (2011) Assessment of potential climate change impacts on drought indicators (case study: Yazd station, central Iran). *Desert* 16:159-167.
16. Giorgi F, Marinucci MR, Bates G. (1993). Development of a second generation regional climate model (RegCM2). I. Boundary layer and radiative transfer processes. *Mon Weather Rev*, 121, pp 2794-2813.
17. Hessami, M., Gachon, P., Ouarda, T.B.M.J., St-Hilaire A. (2008). Automated regression-based statistical downscaling tool, *Environmental Modelling and Software*, 23, pp 813-834.
18. IPCC, (2021): Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
19. Karimi, V., Karami, E., M., Keshavarz. (2018). Climate change and agriculture: Impacts and adaptive responses in Iran. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(1), 1-15
20. Mbow, C., Rosenzweig, C., Barioni, L. G., Benton, T. G., Herrero, M., Krishnapillai, M., ... & Xu, Y. (2019). Food Security. In: *Climate Change and Land: An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems*. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

30. Wilby, R. L., Dawson, C. W., Barrow, E. M. (2001). A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Journal of Environmental Modeling and Software*, 17, pp 147-159.
31. Wilson, S., Hassell, D., Hein, D., Morrell, C., Tucker, S., Jones, R., Taylor, R. (2011). Installing and Using the Hadley Centre Regional Climate Modelling System, PRECIS (Version 1.9.3). Met Office Hadley Centre: Exeter, UK.
32. World Bank, (2005). Natural Hotspots Study: A Global Risks Analysis (Disaster Risk Management Series), No. 5.
33. Zhou, B., Zhai, P., Chen, Y., & Yu, R. (2018). Projected changes of thermal growing season over Northern Eurasia in a 1.5 C and 2 C warming world. *Environmental Research Letters*, 13(3), 035004.
34. IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*
35. [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell,
36. E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press.
21. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2019/11/08_Chapter-5.pdf.
22. Moral FJ, García-Martín A, Rebollo FJ, Rozas MA, Paniagua LL. (2021). GIS-Based Analysis and Mapping of the Winter Chilling Hours in Mainland Spain. Application to Some Sweet Cherry Cultivars. *Agronomy*. 11(2):330. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020330>.
23. Mosavi, S. H., Soltani, S., & Khalilian, S. (2020). Coping with climate change in agriculture: Evidence from Hamadan-Bahar plain in Iran. *Agricultural Water Management*, 241, 106332.
24. Nalder, I. A., & Wein, R. W. (1998). Spatial interpolation of climatic normals: test of a new method in the Canadian boreal forest. *Agricultural and forest meteorology*, 92(4), 211-225.
25. Semenov, M. (2008), Simulation of Extreme Weather Events by a Stochastic Weather Generator. *Climate Research*, 35:203–212.
26. Semenov, M. A., & Brooks, R. J. (1999). Spatial interpolation of the LARS-WG stochastic weather generator in Great Britain. *Climate Research*, 11(2), 137-148.
27. Semenov, M. A., & Stratonovitch, P. (2010). Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. *Climate research*, 41(1), 1-14.
28. Taylor, K. E., Stouffer, R. J., & Meehl, G. A. (2012). An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bulletin of the American meteorological Society*, 93(4), 485-498.
29. Valizadeh J, Ziaei S M, Mazlounzadeh S M. (2014). Assessing climate change impacts on wheat production (a case study). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 13,107–115.