پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دورهٔ ۵۲، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۹
ص ۱۴۵-۱۲۹

بررسی اثرات تغییر اقلیم بر زمان رخداد آستانهٔ زیستی و مرحلهٔ گُل‌دهی درخت انگور در ایران

طیبه شجاعی- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی کشاورزی، دانشکدهٔ جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران
غلامعباس فلاح قالهری*- دکتری اقلیم‌شناسی، دانشیار گروه ژئومورفولوژی و اقلیم‌شناسی، دانشکدهٔ جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران
عبدالرضا کاشکی- دکتری اقلیم‌شناسی، استادیار گروه ژئومورفولوژی و اقلیم‌شناسی، دانشکدهٔ جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۴/۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۱۶

چکیده

درختان میوه، به‌دلیل ساختار بیولوژیکی‌شان، به تغییرات آب و هوایی حساسیت بسیار زیادی دارند. مطالعهٔ حاضر در دو دورهٔ گذشته (۲۰۰۵-۱۹۸۵) و دورهٔ آینده (۲۰۹۰-۲۰۲۰) بررسی شد. در دورهٔ آینده از مدل‌های BCC-CSM1.1، MRI.CGCM3، GFDL-CM3، MIROC-ESM، و GISS-E2-R از سری مدل‌های CMIP5 پایگاه دادهٔ MarksimGCM در خط سیر سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5 استفاده شد. نتایج نشان داد مدل MRI.CGCM3 از وزن و توانایی بیشتری در شبیه‌سازی آینده نسبت به دیگر مدل‌ها برخوردار است. در مناطق کشت درخت انگور در ایران به‌طور متوسط دمای کمینه در خط سیرهای واداشتی RCP8.5 و RCP4.5 در دوره‌های ۲۰۲۰- ۲۰۵۵ و ۲۰۵۶-۲۰۹۰، به‌ترتیب ۱/۶ و ۴/۲ و ۱/۲ و ۲/۳ درجهٔ سانتی‌گراد نسبت به دورهٔ پایه افزایش خواهد یافت. با توجه به افزایش دمای هوا، زمان رخداد آستانهٔ زیستی و مراحل فنولوژیکی درخت انگور در دورهٔ آینده نسبت به دورهٔ گذشته در زمان جلوتری تکمیل خواهد شد؛ به‌طوری‌که در الگوی واداشتی بدبینانه، زمان رخداد آستانهٔ زیستی در آیندهٔ میانی و دور ۸ تا ۱۶ روز و زمان گُل‌دهی نیز ۶ تا ۱۶ روز، جلوتر رخ خواهد داد. بنابراین، یکی از اثرهای عمدهٔ تغییر اقلیم در قالب تغییر رخداد مرحلهٔ فنولوژیکی گُل‌دهی درختان میوه ظاهر خواهد شد.

واژگان کلیدی: ایران، انگور، تغییر اقلیم، سناریوهای RCP، CMIP5.

مقدمه

کشاورزی یکی از بخش‌های مهم اقتصادی است که تغییر اقلیم می‌تواند اثرهای بزرگی در آن ایجاد کند و رشد محصولات و در نتیجه بهره‌وری را تحت تأثیر قرار دهد. از آنجا که فعالیت‌های کشاورزی تأمین غذا را تضمین می‌کند و منبع مهم درآمد برای اقتصادهای محلی است، بررسی اثرهای تغییر اقلیم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا می‌تواند ورودی علمی لازم را برای برنامه‌ریزی صحیح و راهبردهای سازگاری با تغییر اقلیم آینده فراهم آورد (جورجوپولوآ، ۲۰۱۷: ۱۶۴). در سطح جهانی، کشاورزی با چالش سه‌گانهٔ افزایش تولید برای رفع نیاز فزایندهٔ مواد غذایی، سازش با تغییر شرایط اقلیمی، و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کشاورزی روبه‌روست (سپکوتا و همکاران، ۲۰۱۹: ۱۳۴۲). در طی پنجاه سال گذشته، افزایش تولید محصولات کشاورزی برای تأمین مواد غذایی جمعیت در حال رشد به تقریباً دوبرابرشدن میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای از کشاورزی، جنگل‌داری، و شیلات منجر شده است (اسمیت و همکاران، ۲۰۱۴: ۸۱۶). با بررسی و مطالعات فنولوژیکی می‌توان تاریخ و زمان گذر مراحل فنولوژیکی را در هر منطقه مشخص و از هدررفت منابع و سرمایه جلوگیری کرد (فلاح قالهری و احمدی، ۱۳۹۶: ۵۷). تغییر اقلیم تولید محصولات کشاورزی و امنیت غذایی جهان را به‌مخاطره خواهد انداخت.

* نویسندهٔ مسئول، تلفن: ۰۹۱۳۲۶۳۹۸۸۱ Email: g.fallah@hsu.ac.ir

بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک خاورمیانه دارای رشد سریع جمعیت است و تأمین نیازهای روزافزون مواد غذایی به تولیدات باغی بستگی دارد و ارزیابی پیش‌بینی تغییرات آب و هوا بر تولیدات و محصولات باغی در آینده ضروری شده است (احمدی، ۱۳۹۶: ۴۱). آب و هوا عاملی کنترل‌کننده برای توزیع جغرافیایی گیاهان بومی و محصولات کشت‌شده به‌شمار می‌رود (پارکر و اباتزوگلو، ۲۰۱۸: ۲). گرم‌شدن کرهٔ زمین، که در اثر افزایش گازهای گلخانه‌ای و قطع جنگل‌ها و استفادهٔ زیاد از مراتع بوده است، نیز تغییراتی در سازش‌پذیری گیاهان و میزان فتوسنتز آن‌ها، افزایش فسادپذیری مواد آلی، تغییر الگوی بارندگی و پیدایش خشکی، گرد و غبار، فرسایش خاک، تأثیر نامطلوب بر منابع آب، غذا، و زیست‌بوم‌ها ایجاد کرده است (صمدی یزدی، ۱۳۹۶: ۱۵). تولید کشاورزی در آینده بسیار متفاوت‌تر از شرایط گذشته خواهد بود و تغییرات آب و هوایی چالش عمده در این زمینه خواهد بود. تغییر اقلیم می‌تواند اثرهای بالقوه‌ای در کشاورزی داشته باشد؛ به‌طور نمونه، تغییر محدوده‌های جغرافیایی کشت درختان میوه، کاهش عملکرد و تغییر زمان رخداد مراحل فنولوژیکی جزو مهم‌ترین اثرهای تغییر آب و هوا بر بخش درختان میوه به‌شمار می‌رود (ماچیونا و فیلی، ۲۰۱۳).

دمای هوا شاخص مهمی برای تغییرات اقلیمی سطح زمین به‌شمار می‌رود (زاو و همکاران، ۲۰۱۵). دمای هوا اغلب عمده‌ترین فاکتور مؤثر بر فازهای فنولوژیکی درختان میوه در اقلیم‌های معتدله به‌شمار می‌رود (گرب و کاپرو، ۲۰۱۱). محسوس‌شدن آثار تغییر اقلیم در زندگی روزمرهٔ جوامع در نقاط مختلف دنیا باعث افزایش توجه عمومی به مسئلهٔ تغییر اقلیم شده است (قهرمان و همکاران، ۱۳۹۵: ۶۳). بررسی‌های هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم در گزارش پنجم نشان داد که میانگین دمای جهانی در دورهٔ ۲۰۱۸ تا ۲۱۰۰ براساس سناریوی RCP4.5، ۰٫۵ تا ۱٫۸ درجهٔ سانتی‌گراد و براساس سناریوی RCP8.5، ۰٫۷ تا ۳٫۷ درجهٔ سانتی‌گراد نسبت به دورهٔ ۱۹۸۶–۲۰۰۵ افزایش خواهد یافت (ونگ و همکاران، ۲۰۱۵).

درخت انگور به نام مو یا تاک شناخته می‌شود. مو گیاهی از تیرهٔ *Ampelidaceae* است. گیاهان این تیره درختچه‌های هستند با ساقه‌های گره‌دار، و با توجه به پیچک‌هایی که دارند بالارونده‌اند. منشأ اصلی تاک آسیایی–اروپایی به نام ویتیس وینی فرا آسیای صغیر است. انگور گیاهی رونده است که ارتفاع آن به ۱۰–۱۵ متر می‌رسد. طول دورهٔ رشد آن بین ۵–۶ ماه است. انگور بومی مناطق معتدله نیمه‌گرمسیری است و ارقام مختلف آن از مناطق سردسیر کشور تا معتدل نیمه‌گرمسیری پرورش‌دادنی است (زرین و فراهانی، ۱۳۹۴: ۱۳۵). انگور به گروه میوه‌های دانه‌ریز تعلق دارد و از نظر میزان تولید جزو مهم‌ترین میوه‌ها در دنیا و ایران است (خوشخوی و همکاران، ۱۳۸۷: ۳۴۱). همچنین، از نظر غذایی و اشتغال‌زایی نیز جزو مهم‌ترین درختان میوه و محصولات در ایران به‌شمار می‌رود. در ایران، براساس آمار وزارت جهاد کشاورزی، درخت انگور ۲۹۴۲۴۹ هزار هکتار از کاربری باغات را به خود اختصاص می‌دهد. از این سطح زیر کشت، ۳۱۶۷۴۳۷ میلیون تن انگور در کشور تولید می‌شود (احمدی و همکاران، ۱۳۹۵: ۸).

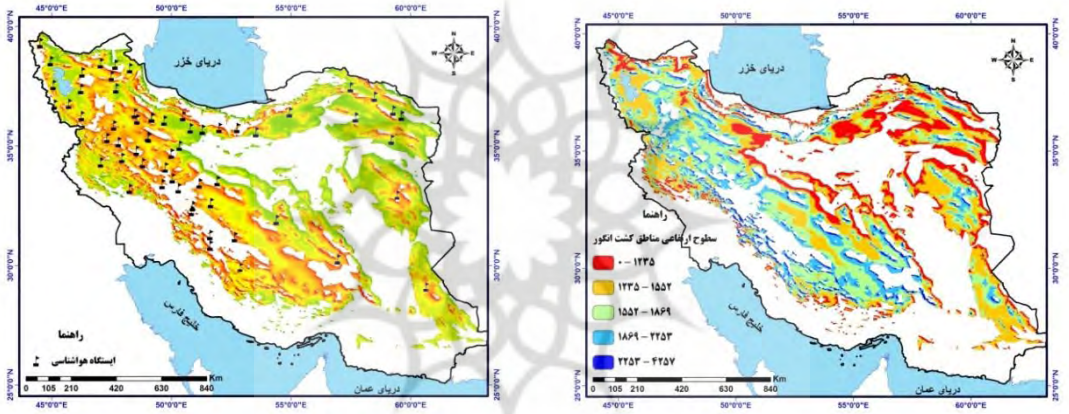
دگرگونی آب و هوا و پیامدهای آن از جوانب مختلف بر کرهٔ زمین بر کسی پوشیده نیست. هر گونه تغییر در ابر دستگاه جو تغییرات جدی برای شرایط زیستی انسان، گیاهان، و جانوران همراه خواهد داشت. امروزه، معضل تغییر اقلیم و اثرهای آن مهم‌ترین چالش پیش رو در کشور در بخش باغبانی است، زیرا بخش باغبانی و درختان میوه، به‌عنوان یکی از منابع عمدهٔ اقتصاد کشاورزی و اشتغال‌زایی در کشور، در معرض دگرگونی آب و هوایی قرار دارد. با توجه به اهمیت محصول انگور در اقتصاد کشور، ضرورت بررسی اثرهای تغییر اقلیم بر این درخت در کشور حائز اهمیت است. بنابراین، در مطالعهٔ حاضر با هدف آشکارسازی اثرهای تغییرات اقلیمی بر زمان رخداد مرحلهٔ فنولوژیکی گُل‌دهی درخت انگور در ایران براساس برون‌داد مدل‌های جدید CMIP5 و سناریوهای واداشت تابشی (RCP) بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد مطالعه

قلمرو مکانی تحقیق حاضر مناطق کشت درخت انگور در ایران است. مناطق عمدهٔ کشت درخت انگور در ایران در مناطق مرتفع و سردسیر نیمهٔ شمالی، غربی، و شرقی کشور واقع شده‌اند (احمدی و همکاران، ۱۳۹۵: ۷). ماهیت درخت انگور به‌عنوان یک درخت خزان‌کننده موجب شده تا مناطق کشت این درخت بیشتر مناطق مرتفع و کوهستانی را پوشش بدهد.

در تحقیق حاضر، با روش آماری- تحلیلی، از دو نوع دادهٔ متناسب با هدف و محتوای تحقیق استفاده شد. دادهٔ دورهٔ پایه یا گذشته براساس آمار واقعی ۵۵ ایستگاه هواشناسی در مناطق کشت درخت انگور از سازمان هواشناسی کشور تهیه و استخراج شده است (شکل ۱). این دادهٔ مشاهداتی دورهٔ آماری (۱۹۸۵–۲۰۰۵) را دربر می‌گیرد. دادهٔ دورهٔ آینده، به‌عنوان دادهٔ شبیه‌سازی‌شده، مبتنی بر برون‌داد مدل‌های CMIP5 است. این داده در دو خط سیر واداشتی RCP8.5 و RCP4.5 از سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۹۰ پردازش شده است. دادهٔ دورهٔ آینده به دوره‌های آیندهٔ میانی (۲۰۲۰–۲۰۵۵) و آیندهٔ دور (۲۰۵۶–۲۰۹۰) برای پردازش‌های نهایی و مقایسه با دورهٔ پایه تقسیم شد.



شکل ۱. مناطق کشت درخت انگور در ایران و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی موردمطالعه (شکل سمت چپ)، وضعیت ارتفاعی مناطق کشت درخت انگور ایران براساس (شکل سمت راست)

از آنجا که برون‌داد مدل‌های گردش کلی جو قابلیت لازم را برای بعد محلی ندارند، برای جبران این نقیصه، باید از روش‌های ریزمقیاس‌گردانی استفاده شود. ریزمقیاس‌گردانی مطمئن به دردسترس‌بودن داده‌های تاریخی معتبر اقلیمی بستگی دارد (جونز و تورنتون، ۲۰۱۳). در این راستا، برای شبیه‌سازی اقلیم دورهٔ آینده، از داده‌های ریزمقیاس‌شدهٔ پایگاه دادهٔ MarkSIMGCM[1] با تفکیک شبکه‌ای ۰٫۵ در ۰٫۵ درجه، براساس خروجی مدل‌های AOGCM تحت سناریوهای واداشت تابشی[2]، در دو خط سیر ۸٫۵ و ۴٫۵ وات بر متر مربع، استفاده شد. پایگاه دادهٔ مذکور، با سازوکاری مبتنی بر وب، با استفاده از مدل تصادفی مرتبهٔ سوم مارکوف داده‌های بارش و براساس رویکرد ریچاردسون (۱۹۸۱) داده‌های دمای کمینه و بیشینه و تابش آفتاب در مقیاس روزانه را ریزگردانی می‌کند (احمدی، ۱۳۹۶: ۱۲۲؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۸۰). این پایگاه داده برای ریزمقیاس‌گردانی دورهٔ ۱۹۶۱–۱۹۹۰ را به‌عنوان دورهٔ تاریخی درنظر می‌گیرد. براساس ۱۷ مدل AOGCM از سری مدل‌های CMIP5[3] و براساس گزارش

1. http://gisweb.ciat.cgiar.org/marksimgcm
2. Reprecentative Concentration Path ways (RCP)
3. Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5)

پنجم تغییر اقلیم (۲۰۱۳) تحت عنوان سناریوهای واداشت تابشی (RCP) به شبیه‌سازی دادهٔ دورهٔ آینده از ۲۰۱۰ تا ۲۰۹۵ اقدام می‌کند. این پایگاه داده از آنجا که مبتنی بر وب است، برای کلیهٔ نقاط کرهٔ زمین به‌راحتی قابل دسترس است (احمدی، ۱۳۹۶: ۱۲۳؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۷: ۳۶). مدل‌هایی که در این پایگاه تعبیه شده‌اند جزو مناسب‌ترین مدل‌ها از نظر سلول محاسباتی یا تفکیک مکانی محسوب می‌شوند. این پایگاه با ارائهٔ داده‌های ریزمقیاس‌شده از تغییر اقلیم آینده برای مدل‌سازی در مطالعات کشاورزی ابداع شده است (نوری و همکاران، ۲۰۱۷؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۷: ۳۶). برای پایگاه MarkSimGCM یک برنامهٔ فورترن جهت‌دار توسعه داده شده تا براساس روش درون‌یابی Anuspline به ریزمقیاس‌گردانی بپردازد. در این پایگاه کاربر با انتخاب محل موردنظر (برنامهٔ قابلیت فراهم‌سازی برای هر نقطه از کرهٔ زمین، برای دسترسی به نرمال، داده‌های اقلیم آینده را داراست) و انتخاب یکی از مدل‌های گردش کلی جو و یکی از چهار خط سیر سناریوهای واداشت تابشی به دادهٔ ریزمقیاس‌شده دست پیدا می‌کند (احمدی، ۱۳۹۶: ۱۵۶؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۷: ۳۷).

از برون‌داد پنج مدل پیشنهادی(BCC-CSM1.1، MRI.CGCM3، GFDL-CM3، MIROC-ESM، و GISS-E2-R) تحت سناریوهای واداشت تابشی در دو خط سیر واداشتی ۸٫۵ و ۴٫۵ وات بر متر مربع، با استفاده از دادهٔ دورهٔ مشاهده‌ای پایه (۱۹۸۵–۲۰۰۵) انجام شد. نام مدل‌ها، مؤسسات ارائه‌دهندهٔ مدل، و تفکیک افقی مدل‌های مورد مطالعه در جدول ۱ مشخص شده است.

جدول ۱. مشخصات مدل‌های CMIP5 ارزیابی‌شده در مطالعهٔ حاضر

نام مدل‌های جوی- اقیانوسی جفت‌شده	نام مؤسسهٔ ارائه‌دهندهٔ مدل	تفکیک افقی مدل
BCC-CSM1.1	مرکز برکنس برای تحقیقات آب و هوا (دانشگاه برگن، نروژ)	۱٫۹ * ۱٫۹
MRI.CGCM3	مرکز تحقیقات هواشناسی ژاپن	۱٫۳ * ۱٫۳
GFDL-CM3	آزمایشگاه ژئوفیزیک و دینامیک شاره‌ها	۲ * ۲٫۵
MIROC-ESM	مؤسسهٔ مطالعات جوی و اقیانوسی و علوم زمینی- دریایی و مؤسسهٔ مطالعات علوم محیطی ژاپن	۲٫۸ * ۲٫۸
GISS-E2-R	مؤسسهٔ مطالعات فضایی گودارد	۲ * ۲٫۵

در مدل‌سازی عدم قطعیت‌هایی وجود دارد که این موارد به‌علت عدم قطعیت‌های موجود در شرایط اولیه، داده‌های مشاهداتی، و پارامترهای مدل به‌وجود می‌آیند و عمدتاً ناشی از این واقعیت‌اند که بعضی از فرایندها در سامانهٔ اقلیم به‌خوبی شناخته نشده‌اند. روش‌های گوناگونی برای کاهش این عدم قطعیت‌ها از طرف هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم ارائه شده است (بابائیان و کوهی، ۱۳۹۱: ۹۵۴). استفاده از نتایج مدل‌های گردش کلی جو با تفکیک ۲۰۰ کیلومتر و پایین‌تر در مطالعات محیطی از نتایج بهتری برخوردار است. با توجه به تفکیک مکانی بالای مدل‌های سری CMIP5 در مقایسه با سری CMIP3 (تیرگرفاخری و همکاران، ۱۳۹۶: ۳۵۴)، در مطالعهٔ حاضر از مدل‌های گردش کلی جو ارائه‌شده در پروژهٔ درون‌مقایسه‌ای مدل‌های جفت‌شده استفاده شد.

از میان مدل‌های پیشنهادی (BCC-CSM1.1، MRI.CGCM3، GFDL-CM3، MIROC-ESM، و GISS-E2-R) تعبیه‌شده در پایگاه MarkSimGCM، با اعمال روش وزن‌دهی (رابطهٔ ۱) و معیارهای اعتبارسنجی ارائه شده بر روی دادهٔ گذشته (۱۹۸۵–۲۰۰۵) و دادهٔ برون‌داد مدل‌ها، مدل مرکز تحقیقات هواشناسی ژاپن (MRI.CGCM3) با تفکیک مکانی 1.3 * 1.3 به‌دلیل اختلاف کمتر با دادهٔ مشاهده‌ای از توانایی بیشتری برخوردار است.

$$W_{i,j} = \frac{\frac{1}{\Delta F_{i,j}}}{\sum_{i=1}^{n}(1/\Delta F_{i,j})} \quad (۱)$$

در رابطهٔ فوق F متغیر هواشناسی مورد بررسی، ΔF اختلاف بین متغیر شبیه‌سازی‌شده تحت سناریوهای مختلف با مقدار مشاهداتی در دورهٔ پایه، و W وزن شبیه‌سازی‌های هر مدل گردش عمومی جو برای سناریوی موردنظر است. i وj به ترتیب نشان‌دهندهٔ ماه و مدل گردش عمومی جو است (بابائیان و کوهی، ۱۳۹۱: ۹۵۴؛ احمدی، ۱۳۹۶: ۲۱۰).

یافته‌های پژوهش

اعتبارسنجی مدل‌های شبیه‌سازی‌کنندهٔ گردش کلی جو از تغییر اقلیم آینده

نتایج اعتبارسنجی و تعیین میزان توانمندی مدل‌های گردش کلی جو با دادهٔ دورهٔ گذشته (۱۹۸۵–۲۰۰۵) براساس روش وزن‌دهی در جدول ۲ مشخص شده است. نتایج نشان داد که مدل MRI.CGCM3 با توجه به وزن بالاتر نسبت به دیگر مدل‌های گردش کلی جو پیشنهادشده از توانمندی بیشتری در شبیه‌سازی رفتار دما و بارش در دورهٔ آینده نسبت به دورهٔ پایه برخوردار است. همان‌طورکه در جدول ۱ مشخص شده، مدل مذکور برای دمای کمینه، بیشینه، و بارش به‌ترتیب از وزنی برابر با ۰٫۴۰، ۰٫۳۹، و ۰٫۲۹ برخوردار است. بنابراین، از داده‌های مدل مذکور پروژهٔ درون‌مقایسه‌ای مدل‌های جفت‌شده، بر اساس سناریوهای واداشت تابشی، برای ارزیابی و آشکارسازی اثرهای تغییر اقلیم دورهٔ آینده استفاده شد.

جدول ۲. نتایج اعتبارسنجی مدل‌های گردش کلی جو براساس روش وزن‌دهی در مقایسه با دورهٔ تاریخی (۱۹۸۵–۲۰۰۵)

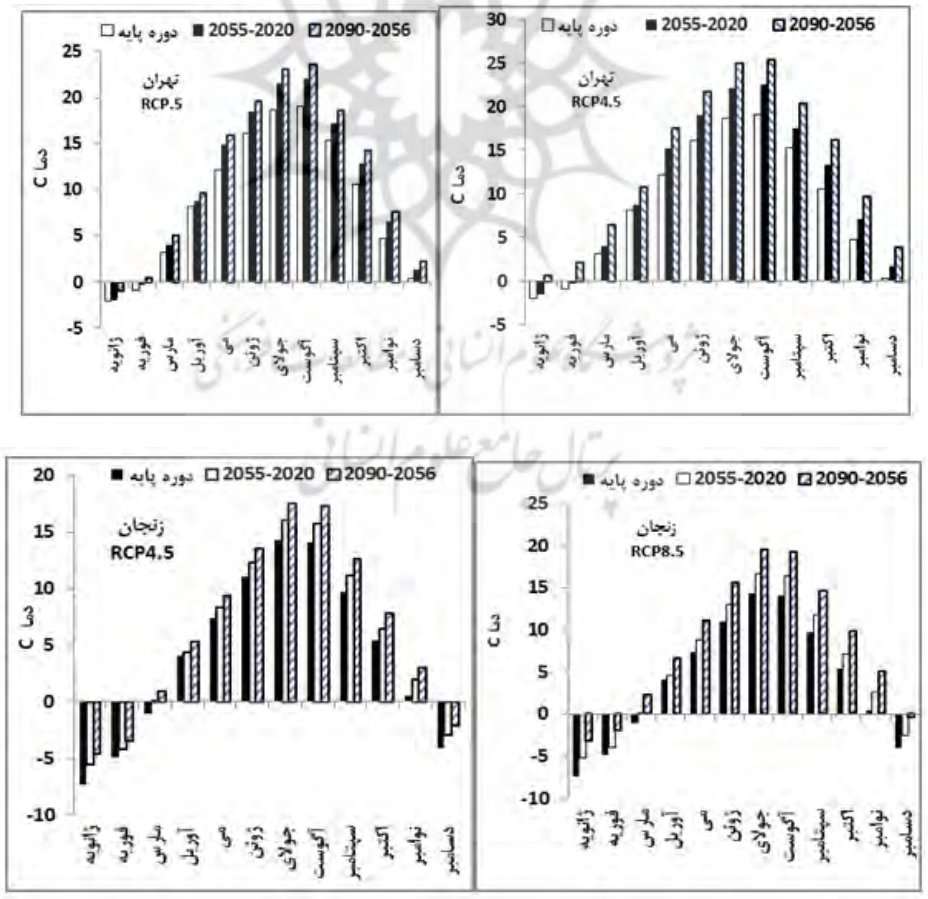
	BCC-CSM1.1	MRI.CGCM3	GFDL-CM3	MIROC-ESM	GISS-E2-R
دمای کمینه	۰٫۳۰	۰٫۴۰	۰٫۲۵	۰٫۲۹	۰٫۱۹
دمای بیشینه	۰٫۲۷	۰٫۳۹	۰٫۲۳	۰٫۱۸	۰٫۱۷
بارش	۰٫۲۶	۰٫۲۹	۰٫۱۳	۰٫۱۹	۰٫۱۳

تغییرات دمای ماهانه بر اساس سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5 در مناطق کشت درخت انگور در ایران

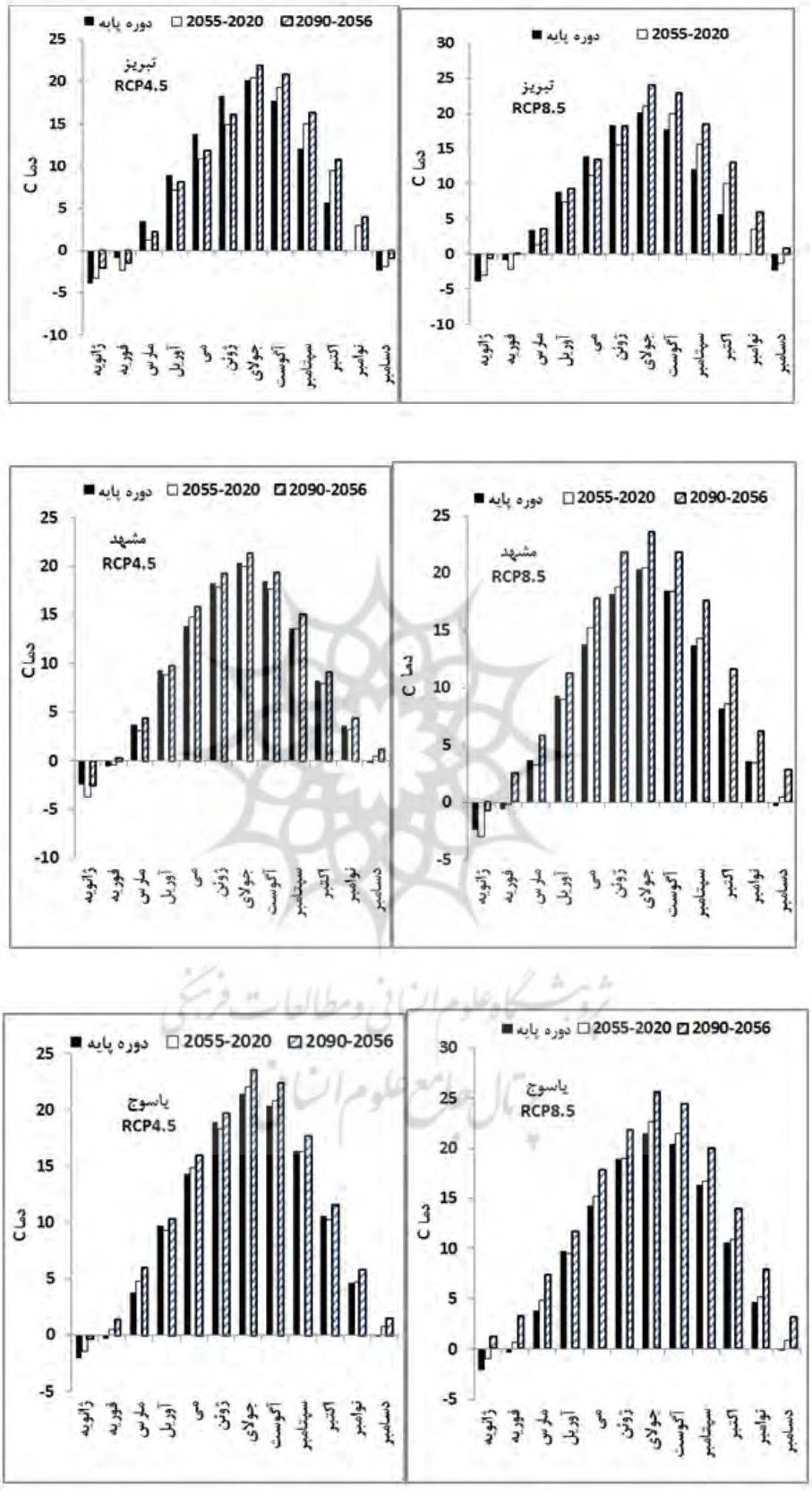
به‌منظور شناخت بیشتر از وضعیت تغییر اقلیم دورهٔ آینده تا افق ۲۰۹۰ میلادی در مناطق کشت درخت انگور، تغییرات دمای ماهانهٔ دورهٔ آینده نسبت به دورهٔ پایه براساس سناریوی RCP8.5 در مقایسه با دورهٔ پایه به‌صورت نمایش نموداری در شکل‌های ۲ و ۳ مشخص شده است. با توجه به تعدد بالای ایستگاه‌ها در مناطق کشت درخت انگور، این شرایط برای پنج ایستگاه منتخب در مناطق مختلف کشت درخت انگور (تهران، زنجان، تبریز، مشهد، و یاسوج) مشخص شده است. نتایج نشان داد که میزان دمای هوا در الگوی واداشتی بدبینانه و حد وسط به‌ترتیب RCP8.5 و RCP4.5 نسبت به دورهٔ پایه افزایش خواهد داشت. این میزان افزایش در الگوی بدبینانه بیشتر از الگوی حد وسط مشاهده شد. میزان تغییرات در دورهٔ آیندهٔ دور (۲۰۵۶–۲۰۹۰) بیشتر از دورهٔ آیندهٔ میانی (۲۰۲۰– ۲۰۵۵) رخ خواهد داد. مقدار این تغییرات در خط سیر واداشتی RCP8.5 در دوره‌های ۲۰۲۰– ۲۰۵۵ و ۲۰۵۶–۲۰۹۰ در سطح ایستگاه‌های منتخب به‌طور متوسط به‌ترتیب ۱٫۶ و ۴٫۲ درجهٔ سانتی‌گراد و در خط سیر واداشتی RCP4.5 به‌ترتیب ۱٫۲ و ۲٫۳ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش نسبت به دورهٔ پایه است. بنابراین، دمای هوا در دورهٔ آینده در مناطق کشت درخت انگور افزایش درخورتوجهی خواهد یافت.

نتایج نشان داد که در همهٔ ایستگاه‌های موردمطالعه در مناطق کشت انگور در ایران، در همهٔ فصول دمای کمینهٔ هوا در دورهٔ آینده نسبت به دورهٔ پایه افزایش خواهد یافت. مقایسهٔ ایستگاه‌ها نشان داد که، با توجه به شرایط محلی و مکانی

ایستگاه‌ها، بین ۰٫۸–۰٫۹ درجهٔ سانتی‌گراد اختلاف در میزان افزایش دمای هوا در کل مناطق وجود دارد. در ایستگاه‌های مناطق خیلی سرد و سردسیر مانند زنجان، تبریز، اهر، سراب، اردبیل، سقز، و شهرکرد افزایش دمای هوا در فصل زمستان بیشتر از دیگر فصول سال مشاهده می‌شود. البته، این میزان افزایش نسبت به دیگر ماه‌های سال ۰٫۶–۰٫۷ درجهٔ سانتی‌گراد است (شکل ۲). در مناطق گرم و خشک و عرض‌های جنوبی‌تر با تابستان‌های گرم‌تر مانند ایستگاه‌های مشهد، تهران، یاسوج، داراب، اصفهان، فسا، لارستان، زاهدان، یزد، کرمان، بیرجند، و غیره میزان افزایش دمای کمینه در ماه‌های فصول تابستان و پاییز بیشتر از دیگر ماه‌ها رخ خواهد داد. این افزایش دمای هوا با شدت و ضعف متفاوتی در هر دو سناریوی موردمطالعه برای دورهٔ آینده نسبت به دورهٔ پایه رخ خواهد داد. به‌طورکلی، در همهٔ ایستگاه‌ها در دورهٔ آینده افزایش دمای هوا نسبت به دورهٔ پایه رخ خواهد داد. در هر دو سناریوی موردمطالعه نیز افزایش دمای هوای کمینه نسبت به دورهٔ پایه مشهود است. در ایستگاه‌های مناطق سردسیر؛ مناطق غرب، شمال غرب، و شمال شرق (مانند ایستگاه‌های اردبیل، اهر، تبریز، مشکین‌شهر، ارومیه، خوی، سقز، مراغه، بجنورد، قوچان، شاهرود، سراب، و مهاباد) و ایستگاه‌های نیمهٔ غربی کشور (مانند سنندج، شهرکرد، خرم‌آباد، همدان، ملایر، نهاوند، یاسوج، بیجار، کنگاور، و فریدون‌شهر) زمستان‌های ملایم بیشتر رخ خواهد داد؛ هرچند در دیگر ماه‌های سال نیز افزایش دمای هوای کمینه وجود دارد، در این فصل بیشتر مشاهده می‌شود. در مناطق گرم و خشک، به‌دلیل شرایط اقلیمی آن مناطق، افزایش دمای ماه‌های گرم سال بیشتر از دیگر ماه‌های سال مشاهده می‌شود. شرایط محلی و شرایط اقلیمی هر یک از ایستگاه‌ها علت اصلی تفاوت در مقدار تغییرات دمایی دورهٔ آینده نسبت به دورهٔ پایه محسوب می‌شود.



شکل ۲. تغییرات میانگین دمای کمینهٔ ماهانه در دورهٔ آینده نسبت به دورهٔ پایه در خط سیر واداشتی RCP8.5


دوره پایه
2055-2020
2090-2056
تبریز
RCP4.5
تبریز
RCP8.5
مشهد
RCP4.5
مشهد
RCP8.5
یاسوج
RCP4.5
یاسوج
RCP8.5
دما C
ژانویه
فوریه
مارس
آوریل
می
ژوئن
جولای
آگوست
سپتامبر
اکتبر
نوامبر
دسامبر

ادامهٔ شکل ۲

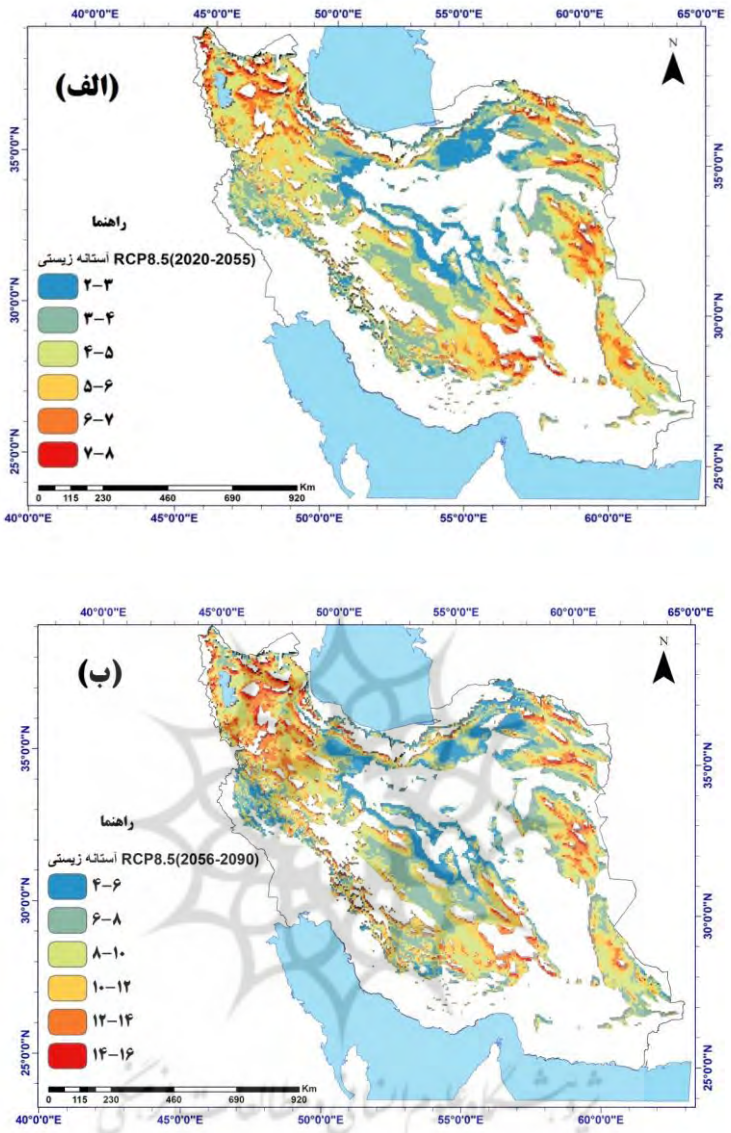
تغییرات زمان رخداد مراحل فنولوژیکی درخت انگور در دورهٔ آینده نسبت به دورهٔ پایه

تغییرات زمان رخداد مراحل فنولوژیکی درختان میوه یکی از نشانه‌های عمده برای سنجش اثرهای تغییر اقلیم در آینده به‌شمار می‌رود. در این راستا، با توجه به هم‌پوشانی مراحل، این تغییرات برای مرحلهٔ فنولوژیکی آستانهٔ زیستی برای شروع فصل رشد و نمو و مرحلهٔ گُل‌دهی درختان انگور در مناطق کشت درخت انگور در ایران در دو خط سیر واداشتی RCP8.5 و RCP4.5 بررسی شده است.

تغییرات زمان رخداد آستانهٔ زیستی درخت انگور در دورهٔ آینده نسبت به دورهٔ پایه

نتایج تغییرات آستانهٔ زیستی درخت انگور در دورهٔ آینده نسبت به دورهٔ پایه در خط سیر واداشتی RCP8.5 و RCP4.5 در شکل‌های ۳- الف و ۳- ب و ۴- ج و ۴- د مشخص شده است. بررسی‌ها نشان داد که در اثر افزایش دمای هوا و تغییر اقلیم دورهٔ آینده زمان رخداد دمای زیستی درختان انگور زودتر رخ خواهد داد. درواقع، افزایش دمای هوا و ظهور زمستان‌های ملایم‌تر موجب ظهور زودهنگام این آستانهٔ زیستی در اواخر زمستان و اوایل بهار خواهد شد. نتایج نشان داد که در الگوی واداشتی RCP8.5 (شکل ۳- الف و ۳- ب) بیشترین تغییرات در زمان رخداد آستانهٔ زیستی درختان انگور رخ خواهد داد. این شرایط در مناطق کشت درخت انگور در ایران در دورهٔ آیندهٔ میانی تا ۸ روز و در آیندهٔ دور تا ۱۶ روز به جلو خواهد افتاد. درواقع، به ازای هر دهه ۴٫۳ روز زمان رخداد آستانهٔ زیستی زودتر تکمیل و ظاهر خواهد شد. به ازای هر ۰٫۵ درجه افزایش دمای کمینه، ۲ روز زمان رخداد آستانهٔ زیستی زودتر رخ خواهد داد. همان‌طورکه در شکل‌های ۳- الف و ۳- ب مشخص شده، در این الگوی واداشتی، بیشترین تغییرات در مناطق مرتفع مناطق کشت انگور رخ خواهد داد. نتایج مطالعات الیکادیک و همکاران (۲۰۱۹) نیز نشان داده که تغییرات پیش‌نگری‌شده برای مراحل فنولوژیکی در دورهٔ آینده همسان و یکنواخت نخواهد بود و بیشترین اثرهای افزایش دمای هوا در مناطق مرتفع رخ خواهد داد. این مناطق در مناطق شمال شرقی، شمال غربی، غرب و نواحی از مرکز و شرق بیشتر مشاهده می‌شود. در دورهٔ ۲۰۲۰-۲۰۵۵ میزان تغییرات آستانهٔ زیستی انگور از ۲-۳ روز در نواحی کم‌ارتفاع حاشیهٔ مناطق دشت‌های داخلی و کویری و مناطق کم‌ارتفاع جنوبی و شرقی تا ۷-۸ روز در مناطق مرتفع تغییر خواهد یافت (شکل ۳- الف). در دورهٔ ۲۰۵۶-۲۰۹۰ میزان تغییرات از ۴-۶ روز در مناطق کم‌ارتفاع تا ۱۴-۱۶ روز در مناطق مرتفع متغیر خواهد بود (شکل ۳- ب). به‌طورکلی، از نواحی و مناطق کم‌ارتفاع به سمت مناطق مرتفع کشت انگور بر میزان تغییرات آستانهٔ زیستی درخت انگور افزوده می‌شود. تغییرات کمتر در نواحی کم‌ارتفاع در حاشیهٔ کویر و نواحی دشت‌های داخلی و جنوبی و جنوب شرقی مشاهده می‌شود. در دهه‌های آیندهٔ دورتر میزان تغییرات بیشتر مشاهده می‌شود.

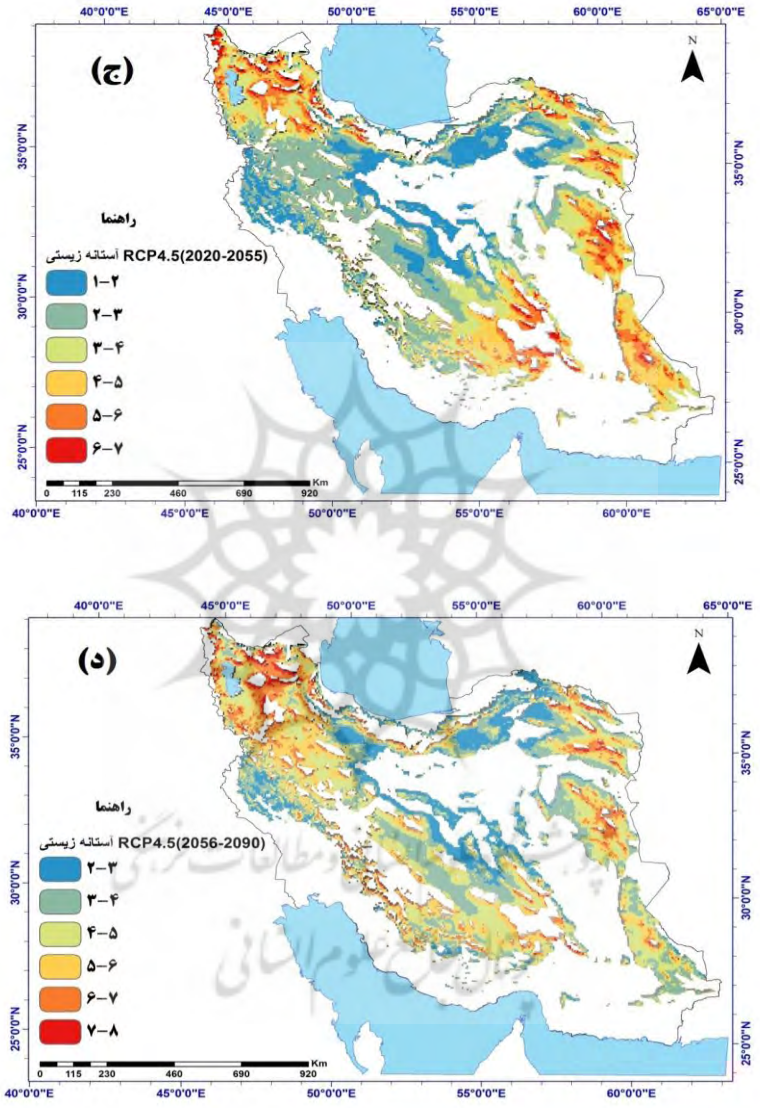
در خط سیر واداشتی RCP4.5 میزان تغییرات کمتر از الگوی بدبینانه مشاهده شد. در این الگوی واداشتی نیز بیشترین تغییرات در عرض‌های بالا و مناطق سردسیر مشاهده می‌شود (شکل‌های ۴- ج و ۴- د). در این الگو در دورهٔ آیندهٔ میانی و دور- ۲۰۲۰-۲۰۵۵ و ۲۰۵۶-۲۰۹۰- آستانه زیستی به‌ترتیب ۶ و ۸ روز تغییر خواهد یافت که معادل ۱٫۲ و ۲٫۳ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش دمای هوا است. در این الگوی واداشتی نیز میزان تغییرات از نظر توزیع مکانی مشابه الگوی واداشتی فوق است، اما، با توجه به شرایط و ساختار این خط سیر واداشتی، میزان تغییرات اندک است و در شرایط حد وسط قرار دارد. هر گونه افزایش دمای هوا هرچند هم جزئی بر زمان رخداد آستانهٔ زیستی درخت انگور تأثیر می‌گذارد. در خط سیر واداشتی RCP4.5 در دورهٔ ۲۰۲۰-۲۰۵۵ میزان تغییرات از ۱-۲ روز در مناطق کم‌ارتفاع تا ۶-۷ روز در مناطق مرتفع رخ خواهد داد (شکل ۴- ج). در دورهٔ آیندهٔ دورتر (۲۰۵۶-۲۰۹۰) میزان تغییرات از ۲-۳ روز در نواحی کم‌ارتفاع تا ۸ روز در نواحی مرتفع تغییر خواهد یافت (شکل ۴- د).



شکل ۳. پهنه‌بندی تغییرات تاریخ رخداد آستانهٔ زیستی درخت انگور براساس الگوی RCP8.5 در دورهٔ ۲۰۲۰–۲۰۹۰ نسبت به دورهٔ پایه

بنابراین، تغییر زمان رخداد آستانهٔ زیستی درختان انگور یکی از واکنش‌های عمدهٔ درختان میوه مانند انگور به اثرهای گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی در آینده خواهد بود. افزایش دمای هوا در دورهٔ آینده، زمان رخداد آستانهٔ زیستی به‌عنوان مبنای رشد رویشی و زایشی درختان انگور تا ۱۶ روز در الگوی بدبینانه و تا ۸ روز در الگوی حد وسط را به جلو خواهد انداخت. همچنین، در شرایط تغییر اقلیم با توجه به تغییر زمان وقوع آستانهٔ زیستی، طول دورهٔ رشد کوتاه‌تر خواهد شد که این شرایط بر روی کیفیت میوه می‌تواند تأثیرگذار باشد. تغییر زمان رخداد آستانهٔ زیستی درختان میوه و انگور در مناطق کشت یکسان نخواهد بود که این به شرایط توپوگرافیکی این مناطق در وهلهٔ اول بستگی دارد. نتایج مطالعات الیکادیک و همکاران (۲۰۱۹) نیز در این راستا نشان داده که بیشترین اثرهای افزایش دمای هوا در مناطق مرتفع آشکار خواهد شد و عامل ارتفاع موجب نایکنواختی تغییرات زمان رخداد مراحل فنولوژیکی دورهٔ آینده خواهد شد. این شرایط

می‌تواند این درختان را در مراحل حساس فنولوژیکی مانند جوانه‌زنی و گُل‌دهی در مصاف با سرماهای دیررس بهاره قرار بدهد. مطالعات موزدیل و همکاران (۲۰۱۵) نیز دال بر این یافته بوده است. آن‌ها در ارزیابی اثرهای تغییر اقلیم بر ریسک یخبندان و شرایط گُل‌دهی درخت انگور مشخص کردند که خطر یخبندان‌های دیررس بهاره در شرایط تغییر اقلیم آینده به‌دلیل ظهور زودهنگام جوانه‌زنی انگور به‌دلیل گرمای انتهای فصل زمستان افزایش می‌یابد.



شکل ۴. پهنه‌بندی تغییرات تاریخ رخداد آستانهٔ زیستی درخت انگور براساس الگوی RCP4.5 در دورهٔ ۲۰۲۰-۲۰۹۰ نسبت به دورهٔ پایه

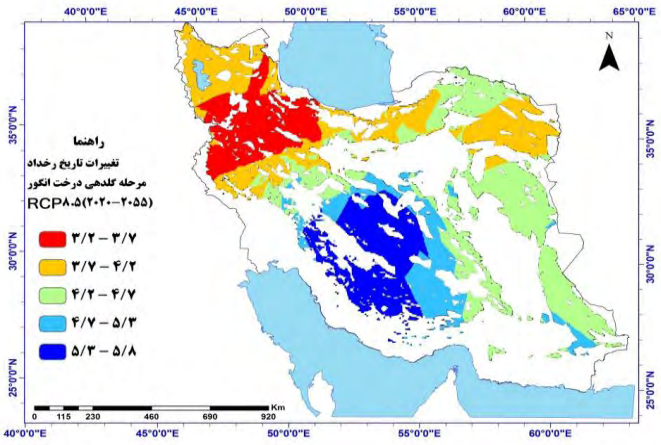
تغییرات تاریخ رخداد مرحلهٔ فنولوژیکی گُل‌دهی درخت انگور در آینده نسبت به دورهٔ پایه

نتایج تغییرات زمان رخداد مرحلهٔ فنولوژیکی گُل‌دهی به‌عنوان یکی از مراحل فنولوژیکی حساس در الگوهای واداشتی مورد مطالعه بررسی شد. نتایج نشان داد که در الگوی واداشتی RCP8.5 در دورهٔ آیندهٔ میانی و آیندهٔ دور- ۲۰۲۰-۲۰۵۵ و ۲۰۵۶-۲۰۹۰۶- به‌ترتیب زمان رخداد این مرحله در درخت انگور در مناطق کشت آن در ایران ۶ و ۱۶ روز

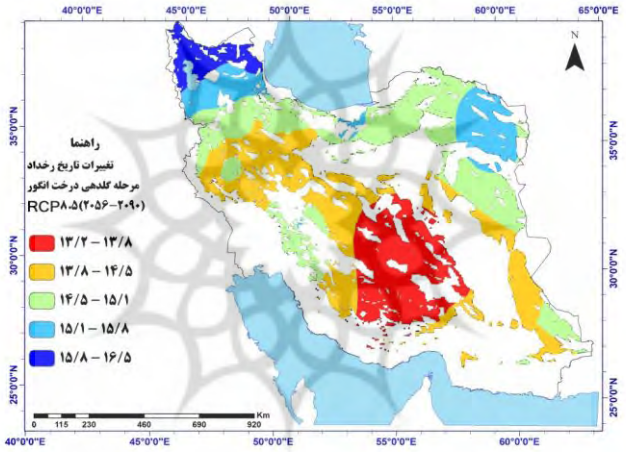
جلوتر رخ خواهد داد. این تغییرات در زمان رخداد در کل مناطق کشت درخت انگور یکسان نخواهد بود و متناسب با شرایط اقلیمی و توپوگرافیکی تغییر در زمان رخداد متغیر خواهد بود. به‌طوری‌که در دورهٔ آیندهٔ میانی زمان رخداد مرحلهٔ گُل‌دهی از ۳٫۲ روز تا ۵٫۸ روز متغیر خواهد بود (شکل ۵). در دورهٔ حاضر زمان رخداد گُل‌دهی درخت انگور در مناطق کشت آن در ایران از اوایل تا اواسط خردادماه رخ می‌دهد. مطالعات رمیزر و کارلال (۲۰۱۵) تغییر زمان رخداد مرحلهٔ فنولوژیکی گُل‌دهی برای درختان میوهٔ خزان‌کننده از جمله انگور در تأیید این نتایج است. با هر گونه تغییر در وضعیت دمای هوا، زمان مراحل فنولوژیکی نیز دست‌خوش تغییر می‌شود. به‌جز دورهٔ میانی، که بیشترین تغییرات در نیمهٔ جنوبی مناطق کشت درخت انگور رخ داده، در دورهٔ آیندهٔ دور، عمدهٔ تغییرات در مناطق عرض‌های بالا و مناطق مرتفع رخ خواهد داد. در دورهٔ آیندهٔ دور، بیشترین تغییر در مناطق عرض‌های بالا در مناطق شمال غرب و شمال شرق رخ خواهد داد. درواقع، مناطق سردسیر از تغییرات بیشتری برخوردار خواهند بود. در دورهٔ آیندهٔ دور از ۱۳٫۲ تا ۱۶٫۵ روز زمان رخداد مرحلهٔ فنولوژیکی گُل‌دهی تغییر خواهد یافت (شکل ۶). نتایج مطالعات الیکادیک و همکاران (۲۰۱۹) نشان داده که تسریع بیشتر در وضعیت فنولوژیکی درخت انگور بیشتر در واریته‌های کشت‌شده در مناطق مرتفع مشاهده خواهد شد. تغییر وضعیت مراحل فنولوژیکی درخت انگور در آینده براساس سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5 در کشور اسپانیا توسط مطالعات راموس (۲۰۱۷) نیز تأیید شده است. وی مشخص کرده است که تغییرات فنولوژیکی بسته به واریتهٔ درخت انگور تقریباً متفاوت بوده و به‌طور متوسط در آیندهٔ دور تا ۱۶ روز زمان رخداد فنولوژی انگور از جمله گُل‌دهی تغییر خواهد کرد. هر چقدر به دهه‌های پایانی قرن حاضر پیش برویم، ظهور زودهنگام مراحل فنولوژیکی از جمله گُل‌دهی زودتر رخ خواهد داد.

مطالعات احمدی(۱۳۹۶) بر روی درخت سیب موید این مطلب است که تغییر زمان رخداد مرحله فنولوژیکی گل دهی، رخ خواهد داد. در آن مطالعه مشخص شده که زمان رخداد مرحلهٔ فنولوژیکی درخت سیب در شرایط تغییر اقلیم آینده نسبت به دورهٔ پایه ۷ و ۱۵ روز زودتر تکمیل خواهد شد. در مطالعات حیدری بنی و همکاران (۱۳۹۷) بر روی اثرهای تغییر اقلیم بر مراحل فنولوژیکی گیاه کلزا نیز تغییر و کاهش زمان رخداد مرحلهٔ فنولوژیکی کلزا تأیید شده است. آن‌ها مشخص کردند که بیشترین میزان کاهش در دوره گُل‌دهی کلزا، درواقع، ظهور زودهنگام با سناریوی RCP8.5 دیده می‌شود. مطالعات هیدالگو- گالوز و همکاران (۲۰۱۸) بر روی تغییر وضعیت مرحلهٔ فنولوژیکی گُل‌دهی بهاره در اسپانیا نیز نشان داده که زمان گُل‌دهی جلوتر رخ می‌دهد. همچنین، با مطالعات الیکادیک و همکاران (۲۰۱۹) درمورد اثرهای تغییر اقلیم بر وضعیت فنولوژی انگور هم‌خوانی دارد. مطالعات آن‌ها نشان داده که تغییر اقلیم آینده موجب ظهور زودهنگام مراحل فنولوژی درخت انگور می‌شود.

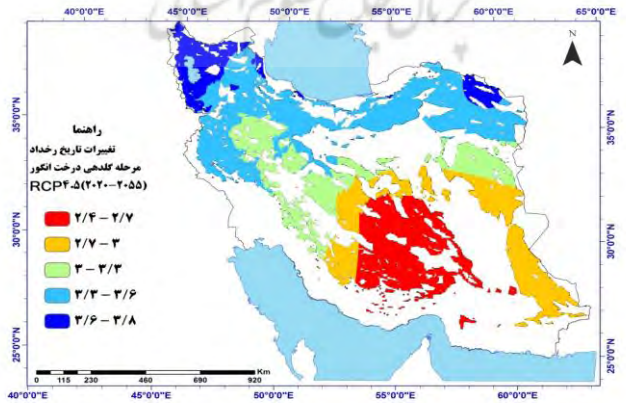
در الگوی واداشتی RCP4.5 بیشترین تغییرات در دورهٔ آیندهٔ دور (۲۰۵۶-۲۰۹۰) رخ خواهد داد (شکل‌های ۷ و ۸). در این الگوی واداشتی در دورهٔ آیندهٔ میانی زمان رخداد مرحلهٔ فنولوژیکی گُل‌دهی ۲٫۴ تا ۳٫۸ روز به جلو خواهد افتاد (شکل ۷). کمترین تغییرات در نیمهٔ جنوبی و بالاترین تغییرات نیز در نیمهٔ شمالی رخ خواهد داد. در دورهٔ آیندهٔ دور (۲۰۵۶-۲۰۹۰) متناسب با شرایط اقلمیی و توپوگرافیکی زمان رخداد گُل‌دهی از ۴٫۲ تا ۶٫۷ روز متغیر خواهد بود (شکل ۸). به‌طورکلی، براساس این الگوی واداشتی، زمان رخداد گُل‌دهی تا اواخر قرن حاضر تا ۷ روز به جلو خواهد افتاد. از نظر توزیع مکانی بیشترین تغییرات در مناطق شمال غرب و شمال شرق رخ خواهد داد.



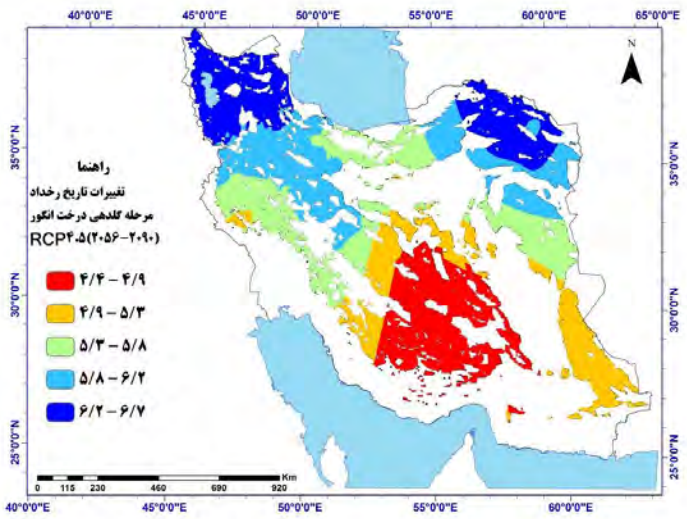
شکل ۵. پهنه‌بندی تغییرات تاریخ رخداد مرحلهٔ فنولوژیکی گُل‌دهی درخت انگور براساس الگوی RCP8.5 در دورهٔ ۲۰۲۰–۲۰۵۵ نسبت به دورهٔ پایه



شکل ۶. پهنه‌بندی تغییرات تاریخ رخداد مرحلهٔ فنولوژیکی گُل‌دهی درخت انگور براساس الگوی RCP8.5 در دورهٔ ۲۰۵۶–۲۰۹۰ نسبت به دورهٔ پایه



شکل ۷. پهنه‌بندی تغییرات تاریخ رخداد مرحلهٔ فنولوژیکی گُل‌دهی درخت انگور براساس الگوی RCP4.5 در دورهٔ ۲۰۲۰–۲۰۵۵ نسبت به دورهٔ پایه



شکل ۸. پهنه‌بندی تغییرات تاریخ رخداد مرحلهٔ فنولوژیکی گُل‌دهی درخت انگور براساس الگوی RCP4.5 در دورهٔ ۲۰۵۶-۲۰۹۰ نسبت به دورهٔ پایه

نتایج نهایی این بخش نشان داد که در دورهٔ آیندهٔ میانی و دور، میزان تغییرات زمان رخداد مرحلهٔ فنولوژیکی گُل‌دهی درختان میوه نیز بیشتر خواهد شد. تغییر در زمان وقوع مرحلهٔ فنولوژیکی گُل‌دهی در مناطق سردسیرتر بیشتر از مناطق گرم و نسبتاً گرم‌تر عرض‌های جنوبی مناطق کشت انگور خواهد بود. با استناد به یافته‌های تحقیق حاضر، می‌توان بیان کرد که یکی از اثرهای تغییر اقلیم بر درختان میوه به‌صورت تغییر زمان رخداد مراحل فنولوژیکی درختان میوه ظاهر خواهد شد. درختان میوه با گرم‌شدن دمای هوا در انتهای زمستان زودتر از دورهٔ رکود یا خواب خارج و وارد مرحلهٔ رشد رویشی و زایشی خواهند شد؛ این شرایط می‌تواند با ریسک مخاطرهٔ سرما و یخبندان زمستانه و دیررس بهاره همراه باشد. هر قدر زمان رخداد مرحله گُل‌دهی درختان میوه به‌عنوان اقتصادی‌ترین مرحلهٔ فنولوژیکی این درختان زودتر رخ بدهد مواجه‌شدن با سرما و یخبندان انتهای فصل سرد و اوایل بهار بیشتر خواهد بود. بنابراین، اتخاذ برنامه‌های سازگارانه برای زیربخش باغبانی در بیشتر میوه‌ها حائز اهمیت است.

نتیجه‌گیری

مطالعهٔ حاضر با هدف آشکارسازی اثرهای تغییر اقلیم بر زمان رخداد مرحلهٔ فنولوژیکی گُل‌دهی درخت انگور در ایران بر اساس سناریوهای واداشت تابشی RCP بررسی شد. نتایج نشان داد که براساس روش وزن‌دهی و اعمال شاخص‌های آماری بر برون‌داد مدل‌های CMIP5، برون‌داد مدل گردش کلی مدل MRI.CGCM3 در تصویرسازی تغییر اقلیم دورهٔ آینده از توانایی و خطای شبیه‌سازی کمتری نسبت به دورهٔ مشاهده‌ای یا دورهٔ پایه برخوردار است. درواقع، براساس معیارهای ارزیابی یا سنجه‌های خطاسنجی، مدل مذکور انطباق بیشتری با داده‌های مشاهداتی نشان می‌دهد. عموماً مدل‌های گردش کلی در شبیه‌سازی یا تصویرسازی پارامتر دمای هوا از توانمندی بیشتری نسبت به بارش برخوردارند. نتایج برون‌داد مدل‌ها نشان داد که دمای هوا در دورهٔ آینده نسبت به دورهٔ پایه افزایش خواهد یافت. نتایج نشان داد که در بدبینانه‌ترین حالت در دورهٔ آیندهٔ میانی و دور به‌ترتیب ۱٫۶ و ۴٫۲ درجهٔ سانتی‌گراد دمای کمینه نسبت به دورهٔ پایه افزایش خواهد یافت. نتایج نشان داد که بیشترین تغییرات در زمان رخداد مراحل فنولوژیکی در مناطق سردسیر و

عرض‌های بالای مناطق کشت درخت انگور رخ خواهد داد. با توجه به افزایش دمای هوا در دورهٔ آینده، زمان رخداد مراحل فنولوژیکی درخت انگور نیز تغییر خواهد یافت. در اثر افزایش دمای هوای دورهٔ آینده، زمان رخداد آستانهٔ زیستی جلوتر رخ خواهد داد و در نتیجه دورهٔ رویشی و زایشی درخت انگور نیز زودتر از دورهٔ گذشته آغاز خواهد شد. به‌طوری‌که در الگوی واداشتی بدبینانه، زمان آستانهٔ زیستی در آیندهٔ میانی و دور ۸ تا ۱۶ روز و زمان گُل‌دهی نیز ۷ روز تا ۱۶ روز، زمان رخداد آن‌ها جلوتر رخ خواهد داد. زمان تکمیل مرحلهٔ فنولوژیکی گُل‌دهی درخت انگور به‌عنوان مبنای مراحل فنولوژیکی دورهٔ رشد درخت انگور در دورهٔ آینده زوتر از دورهٔ گذشته شکل خواهد گرفت. بنابراین، یکی از اثرهای عمدهٔ تغییر اقلیم بر درختان میوه به‌صورت تغییر زمان رخداد مرحلهٔ فنولوژیکی گُل‌دهی ظهور خواهد کرد. تغییر و جابه‌جایی زمان رخداد آستانهٔ زیستی درخت انگور موجب ریسک خطرهای احتمالی سرما و یخبندان‌های دیررس در بیشتر مناطق کشت درخت انگور به‌خصوص نیمهٔ شمالی را افزایش می‌دهد. انتخاب گونه‌ها و واریته‌های مقاوم و سازگار با شرایط اقلیمی هر منطقه حائز اهمیت است.

نتایج مطالعهٔ حاضر از نظر تغییر زمان رخداد مرحلهٔ فنولوژیکی گُل‌دهی بر اثر تغییر اقلیم دورهٔ آینده نسبت به دورهٔ پایه در تأیید مطالعات احمدی (۱۳۹۶)، ونگ و همکاران (۲۰۱۵)، راموس (۲۰۱۷)، و آلکادلیک و همکاران (۲۰۱۹) است. همچنین، از نظر توانمندی مدل‌های CMIP5 و پایگاه دادهٔ جهانی MarkSimGCM و همچنین افزایش دمای هوا تا ۴٫۲ درجهٔ سانتی‌گراد تا افق ۲۰۹۰ در آینده در الگوی بدبینانه براساس مدل‌های CMIP5 در تأیید مطالعات احمدی و همکاران (۱۳۹۷) است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

احمدی، ح. (۱۳۹۶). *بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی درخت سیب در ایران*، پایان‌نامهٔ دکتری، دانشکدهٔ جغرافیا و علوم محیطی، گروه آب و هواشناسی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار.

احمدی، ح.؛ فلاح قالهری، غ. و باعقیده، م. (۱۳۹۸). پیش‌نگری اثرات تغییر اقلیم بر بارش فصلی مناطق سردسیر ایران براساس سناریوهای واداشت تابشی (RCP)، نشریهٔ *فیزیک زمین و فضا*، ۴۵(۱): ۱۷۷-۱۹۶.

احمدی، ح.؛ فلاح قالهری، غ.؛ باعقیده، م. و امیری، م. ا. (۱۳۹۷). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر الگوی انباشت گرمایی مناطق کشت درخت سیب در ایران، نشریهٔ *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۵(۲): ۳۵-۵۴.

احمدی، ک.؛ قلی‌زاده، ح.؛ عبادزاده، ح.؛ حاتمی، ف.؛ حسین‌پور، ر.؛ کاظمی‌فرد، ر. و عبدشاه، ه. (۱۳۹۵). *آمارنامهٔ کشاورزی، سال زراعی ۱۳۹۳-۱۳۹۴*، ج ۳: *محصولات باغبانی*، وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات، ص ۱-۲۰.

بابائیان، ا. و کوهی، م. (۱۳۹۱). ارزیابی شاخص‌های اقلیم کشاورزی تحت سناریوهای تغییر اقلیم در ایستگاه‌های منتخب خراسان رضوی، نشریهٔ *آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۲۶(۴): ۹۵۳-۹۶۷.

تیرگرفاخری، ف.؛ علیجانی، ب.؛ ضیاییان فیروزآبادی، پ. و اکبری، م. (۱۳۹۶). شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف تحت سناریوهای تغییر اقلیمی در حوضهٔ ارمند، *اکوهیدرولوژی*، ۴(۲): ۳۵۷-۳۶۸.

خوشخوی، م.؛ شیبانی، ب.؛ روحانی، ا. و تفضلی، ع. (۱۳۸۷). *اصول باغبانی*، چ ۱۷، شیراز: انتشارات دانشگاه شیراز.

حیدری بنی، م.؛ یزدان‌پناه، ح. و محنت‌کش، ع.ا. (۱۳۹۷). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد و مراحل فنولوژیکی کلزا (مطالعهٔ موردی: استان چهارمحال و بختیاری)، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۰(۲): ۳۷۳-۳۸۹.

زرین، م. و فراهانی، ح.ر. (۱۳۹۴). *راهنمای جامع و کاربردی باغبانی*، تهران: انتشارات آموزش فنی و حرفه‌ای مزرعهٔ زرین.

صمدی یزدی، ب. (۱۳۹۶). کاربرد فناوری‌های آینده‌نگر در تأمین امنیت غذایی در ایران و جهان، مجلهٔ *پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، ۲(**۱**): ۱۵-۲۸.

فلاح قالهری، غ. و احمدی، ح. (۱۳۹۶). بررسی روند تغییرات نیازهای سرمایی و طول مراحل فنولوژیک درخت سیب (مطالعهٔ موردی: منطقهٔ کرج)، نشریهٔ *هواشناسی کشاورزی*، ۵(۱): ۵۷-۷۰.

قهرمان، ن.؛ بابائیان، ا. و طباطبایی، س.م. (۱۳۹۵). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی و طول دورهٔ رشد گیاه نیشکر تحت سناریوهای واداشت تابشی، نشریهٔ *حفاظت منابع آب و خاک*، ۶(۱): ۶۳-۷۳.

یعقوب‌زاده، م.؛ احمدی، م.؛ برومندنسب، س. و حقایقی مقدم، س. ا. (۱۳۹۵). اثر تغییر اقلیم بر روند تغییرات تبخیر- تعرق در طی دورهٔ رشد گیاهان مزارع آبی و دیم با استفاده از مدل‌های جفت‌شده، نشریهٔ *پژوهش آب در کشاورزی*، ۳۰(۴): ۵۱۲-۵۲۳.

Ahmadi, H. (2017). *Investigating the effects of climate change on apple tree in Iran*, PhD thesis, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Department of Climatology, Hakim Sabzevari University. Sabzevar.

Ahmadi, H.; Fallah Ghalhari, GH. and Baaghideh, M. (2019). Projection of Climate Change Impacts on Seasonal Precipitation in Iranian Cold Regions Based on Radiative Forcing Scenarios (RCP), *Journal of the Earth and Space Physics*, 45(1): 196-177.

Ahmadi, H.; Fallah Ghalhari, GH.; Baaghideh, M. and Amiri, M.A. (2018). Investigating the effects of climate change on the heat accumulation pattern of Apple tree cultivations in Iran, *Journal of Environmental Hazards Spatial Analysis*, 5(2): 54-35.

Ahmadi, K.; Gholizadeh, H.; Ebadzadeh, H.; Hatami, F.; Hosseinpour, R.; Kazemi Fard, R. and Abdeshah, H. (2016). *Statistics of Agricultural Letter, Crop Year 2014-2015, Horticultural Products, Ministry of Agricultural Jihad*, Deputy of Planning and Economics, Information and Communication Technology Center. pp. 1-20.

Alikadic, A.; Pertot, I.; Eccel, E.; Dolci, C.; Zarbo, C.; Caffarra, A. and Furlanello, C. (2019). The impact of climate change on grapevine phenology and the influence of altitude: A regional study, *Agricultural and forest meteorology*, 271: 73-82.

Babaian, A. and Koohi, M. (2012). Evaluation of Agricultural Climate Indicators under Climate Change Scenarios in Selected Stations in Khorasan Razavi, *Water and Soil Journal (Agricultural Sciences and Technology)*, 26(4): 967-953.

Fallah Ghalhari, GH. and Ahmadi, H. (2017). Trend analysis of phenological stages length and chilling requirements of apple tree (Case study: Karaj station), *Journal of Agricultural Meteorology*, 5(1): 57-70.

Georgopoulou, E.; Mirasgedis, S.; Sarafidis, Y.; Vitaliotou, M.; Lalas, D.P.; Theloudis, I. and Zavras, V. (2017). Climate change impacts and adaptation options for the Greek agriculture in 2021–2050: A monetary assessment, *Climate Risk Management*, 16: 164-182.

Ghahraman, N.; Babayan, A. and Tabatabaei, S.M. (2016). Investigating the effects of climate change on water requirement and growth period of cane sugar under radiation induced scenarios, *Journal of Water and Soil Conservation*, 6(1): 73-63.

Grab, S. and Craparo, A. (2011). Advance of apple and pear tree full bloom dates in response to climate change in the southwestern Cape, South Africa: 1973–2009. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151: 406-413.

Heydari Bani, MH.; Yazdanpanah, MH. and Mohendkash, AS A. (2018). Investigation of Climate Change Effects on Yield and Phenological Stages of Rapeseed (Case Study: Chaharmahal and Bakhtiari Province). *Physical Geography Researches*, 50(2): 389-373.

Hidalgo-Galvez, M.D.; García-Mozo, H.; Oteros, J.; Mestre, A.; Botey, R. and Galán, C. (2018). Phenological behaviour of early spring flowering trees in Spain in response to recent climate changes, *Theoretical and applied climatology*, 132(1-2): 263-273.

IPCC (2014). Summary for policymakers. In: *Ipcc. Climate change, impact, adaptation and vulnerability*. Contribution of working group 2 to the Fifth Assessment Report of the Intergovernment Panel of Climate Change, pp. 132. Cmbridge, UK andNew York, USA, Cambridge University Press.

Jones, P.G. and Thornton, P.K. (2013). Generating downscaled weather data from a suite of climate models for agricultural modelling applications, *Agricultural Systems*, 114: 1-5.

Khoshkhooy, M.; Shibani, B.; Rouhani, A. and Tafazli, A.S. (2008). *Principles of gardening*, Shiraz University Press, Seventh Edition, Shiraz.

Machovina, B. and Feeley, K.J. (2013). Climate change driven shifts in the extent and location of areas suitable for export banana production. *Ecological Economics*, 95: 3-95.

Mosedale, JR.; Wilson, RJ. and Maclean, IMD. (2015). Climate Change and Crop Exposure to Adverse Weather: Changes to Frost Risk and Grapevine Flowering Conditions, *PLoS* ONE 10(10): e0141218. doi:10.1371/journal.pone.0141218.

Nouri, M.; Homaee, M.; Bannayan, M. and Hoogenboom, G. (2017). Towards shifting planting date as an adaptation practice for rainfed wheat response to climate change, *Agricultural Water Management*, 186: 108-119.

Parker, L.E. and Abatzoglou, J.T. (2018). Shifts in the thermal niche of almond under climate change, *Climate Change*, 147: 211-224.

Ramirez, F. and Kallarackal, J. (2015). *Responces of fruit trees to the global climate change*, Springer Cham Heidelberg New York, Dordrecht London. ISBN. 978-3-319-14199-2.

Ramos, M.C. (2017). Projection of phenology response to climate change in rainfed vineyards in north-east Spain, *Agricultural and forest meteorology*, 247: 104-115.

Samadi Yazdi, B. (2017). Application of Prospective Technologies in Food Security in Iran and the World, *Journal of Strategic Research in Agricultural Science and Natural Resources*, 2(1): 28-15.

Sapkotaa, T.B.; Vetter, S.H.; Jata, M.L.; Sirohic, S.; Shirsathd, P.B.; Singhe, R.; Jatf, H.S.; Smithb, P.; Hillierg, J. and Stirling, C.M. (2019). *Science of the Total Environment*, 655:1342-1354.

Sapkota, T.B., Vetter S.H., Jat, M.L., Sirohi, S., Shirsath, p.B., Singh, R., Jat, H.S., Smit, P., Hillier, j. & Stirling, C.M.(2019). Cost-effective opportunities for climate change mitigation in Indian agriculture. *Science of the Total Environment*, 655:1342-1354.Shrestha, S.; Bach, T.V. and Pandey, V.P. (2015). Climate change impacts on groundwater resources in Mekong Delta under representative concentration pathways (RCPs) scenarios, *Environmental Science & Policy*, 61: 1-13.

Smith, P.; Bustamante, M.; Ahammad, H.; Clark, H.; Dong, H.; Elsiddig, E.A.; Haberl, H.; Harper, R.; House, J.; Jafari, M.; Masera, O.; Mbow, C.; Ravindranath, N.H.; Rice, C.W.; Robledo Abad, C.; Romanovskaya, A.; Sperling, F. and Tubiello, F. (2014). Agriculture, forestry and other land use (AFOLU). In: Edenhofer, O., PichsMadruga, R., Sokona, Y.,Farahani, E., Kander, S., Seyboth, K. (Eds.), *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change, Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kindgdom and New York, NY, USA.

Tirgar Fakhri, F.; Alijani, B.; Ziaeian Firouzabadi, P. and Akbari, M. (2017). Simulation of Snow Melt Runoff under Climate Change Scenarios in Armand Basin, *Ecohydrology*, 4(2): 368-357.

Wang, B.; Liu, D.L.; Asseng, S.; Macadam, I. and Yu, Q. (2015). Impact of climate change on wheat floering time in sastern Australia. *Agriculture and forest Meteorology*, 210: 11-21.

Wang, H.; Ge., Q.; Dai, J. and Tao, Z. (2015). Geographical pattern in first bloom variability and its relation to temperature sensitivity in the USA and China. *Int J Biometeorology*, 59: 961-969.

Yaqoubzadeh, M.; Ahmadi, M.; Boroumand Nasab, S. and Fatemeh Moghaddam, S.U. (2016). The Effect of climate change on evapotranspiration change during growth of plants in hydroponic and dryland plants using paired models, *Journal of Water Research in Agriculture*, 30(4): 523-512.

Zarrin, M. and Farahani, H.R. (2015). *Comprehensive and Applied Gardening Guide, Publications of Technical and Vocational Education of Zarrin Farm*, First Printing, Tehran.

Zhao, L.; Xu, J.; Powell, A.M. and Jiang, Z. (2015). Uncertainties of the global-to-regional temperature and precipitation simulations in CMIP5 models for past and future 100 years, *Theoretical and Applied Climatology*, 122: 259-270.