

بررسی اثرات تغییر اقلیم بر الگوی انباشت گرمایی مناطق کشت درخت سیب در ایران در دوره آینده

حمزه احمدی^۱، دانش آموخته دکتری اقلیم شناسی کشاورزی، گروه جغرافیا، دانشکده جغرافیای و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.

غلامعباس فلاح قاله‌ری، دانشیار اقلیم شناسی، دانشکده جغرافیای و علوم محیطی، گروه جغرافیا، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.

محمد باعقیده، دانشیار اقلیم شناسی، دانشکده جغرافیای و علوم محیطی، گروه جغرافیا، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.

محمد اسماعیل امیری، استاد علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، گروه باغبانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۰۱/۱۵

دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۷/۱۲

چکیده

تغییر اقلیم مهم‌ترین چالش پیش‌روی بشر است. زیر بخش باغبانی یکی از بخش‌های حساس به تغییرات اقلیمی است. در مطالعه حاضر برای آشکار سازی اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت انباشت گرمایی مناطق کشت درخت سیب در ایران، از داده شبیه سازی شده برونداد مدل جفت شده HadGEM2-ES از سری مدل‌های CMIP5، بر اساس سناریوهای واداشت تا شی RCP8.5 و RCP4.5 به عنوان سناریوهای بدبینانه و خوشبینانه، استفاده شد. نتایج نشان داد که انباشت گرمایی مناطق کشت درخت سیب در دوره آینده نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. به طور نمونه، در آستانه زیستی درخت سیب بر اساس سناریوی RCP8.5 در دوره آینده میانی (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و آینده دور (۲۰۹۰-۲۰۵۶)، به ترتیب ۱۱۳۲ و ۲۱۷۱ درجه روز فعال بر انباشت گرمایی افزوده خواهد شد. این شرایط به ترتیب معادل ۵۱ و ۴۲ درصد افزایش پتانسیل گرمایی مناطق کشت درخت سیب خواهد بود. بر اساس سناریوی RCP4.5، به ترتیب ۳۹۰ و ۶۸۰ درجه روز فعال، معادل ۹/۳ و ۱۵/۱ درصد افزایش انباشت گرمایی نسبت به دوره پایه رخ خواهد داد. از نظر توزیع فضایی کم‌ترین انباشت گرمایی در مناطق شمال غرب و البرز مرکزی محدود کشت درخت سیب رخ خواهد داد. در چشم اندازهای طبیعی کم ارتفاع، دره‌ها و دشت‌های نواحی شمال شرق، نیمه جنوبی زاگرس مرکزی و اطراف دریاچه ارومیه، پتانسیل و انباشت گرمایی بالاتری در آینده رخ خواهد داد. بنابراین 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 طول دوره رشد درختان میوه خواهد شد. در واقع درختان میوه سیکل رویشی و زایشی خود را زودتر تکمیل خواهند کرد.

واژه‌های کلیدی: انباشت گرمایی، تغییر اقلیم، درخت سیب، سناریوهای RCP، مدل‌های CMIP5.

مقدمه

تغییر اقلیم و گرمایش جهانی تولید محصولات کشاورزی و امنیت غذایی جهان را به مخاطره خواهد انداخت. در حال حاضر استقلال غذایی هر کشور در گرو مدیریت متغیرهای محیطی تأثیر گذار بر تولیدات کشاورزی است. تأثیر گرمایش جهانی بر تولیدات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک جهان بیش از مناطق معتدل خواهد بود. پیش‌بینی‌ها، بیانگر محدودیت بیشتر منابع آب و افزایش دمای هوا برای آینده ایران خواهد بود (ترکمان، ۱۳۹۴). دانشمندان بر این باورند که فعالیت بشر به علت تولید بیشتر دی‌اکسید کربن و سایر گازهای گلخانه‌ای (به طور عمده متان و اکسیدهای نیتروژن) از دلایل مهم افزایش دما است (بنی‌هاشمی، ۱۳۹۵). گرم شدن هوای زمین که در اثر افزایش گازهای گلخانه‌ای و قطع جنگل‌ها و استفاده زیاد از مراتع بوده است نیز تغییرهایی را در سازش پذیری گیاهان و میزان فتوسنتز آنها، افزایش فساد پذیری مواد آلی، تغییر الگوی بارندگی و پیدایش خشکی، و گردغبار، فرسایش خاک، تأثیر نامطلوب بر منابع آب، غذا و زیست بوم‌ها ایجاد نموده است (صمدی یزدی، ۱۳۹۶). 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 اثر بالقوه‌ای بر روی کشاورزی داشته باشد، به طور نمونه کاهش طول فصل رشد و تجمع بالای واحدهای گرمایی از مهم‌ترین اثرات تغییر در الگوی دمای هوا و مولفه‌های وابسته به آن محسوب می‌شود (Machovina & Feeley, 2013). افزایش میانگین دمای سطح زمین بر اثر تولید گازهای گلخانه‌ای سبب ایجاد پدیده‌ای به نام تغییر اقلیم شده است (یعقوب زاده، ۱۳۹۵). محسوس شدن آثار تغییر اقلیم در زندگی روزمره جوامع در نقاط مختلف دنیا، باعث افزایش توجه عمومی به مسئله تغییر اقلیم گردیده است (قهرمان و همکاران، ۱۳۹۵). بررسی‌های هیات بین‌الدول تغییر اقلیم در گزارش پنجم، به عنوان آخرین گزارش تغییر اقلیم نشان داد که میانگین دمای جهانی در دوره ۲۰۱۸ تا ۲۱۰۰ براساس سناریوی RCP4.5، ۰/۵ تا ۱/۸ درجه سانتی‌گراد و براساس سناریوی RCP8.5 ۰/۷ تا ۳/۷ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره ۲۰۰۵-۱۹۸۶ افزایش خواهد یافت (Wang et al, 2015). اقلیم یک نقش اساسی در تولید موفق محصولات باغی خزان‌کننده و خشکبار در تجارت جهانی ایفا می‌کند. فعالیت‌های باغبانی به شدت وابسته به شرایط آب و هوایی محل است (سبزی پروری و ولاشدی، ۱۳۹۴). تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین مسائل پیش‌رو در تولید و توسعه درختان میوه در آینده می‌باشد (اداوی، ۱۳۹۳). حساسیت بالای درختان میوه به شرایط اقلیمی و اثرات دگرگونی الگوهای دما و بارش بر رشد و نمو و توسعه درختان میوه، اهمیت تحقیقات جامع در زمینه تغییر اقلیم را آشکار می‌سازد. هر گونه تغییر در الگوی دمای هوا، موجب تغییر در مراحل فنولوژیکی، طول فصل رشد عملکرد و تغییر مولفه‌های اقلیم کشاورزی درختان میوه خواهد شد (Ramirez & Kallarackal, 2015). درخت سیب مهم‌ترین درخت میوه خزاندار بر حسب تولید است (راحی، ۱۳۸۹). این درخت یکی از کهن‌ترین درختان میوه خزان‌دار مناطق معتدله و سرد سیر در جهان است و قابلیت سازگاری در اقلیم‌های مختلف را دارد (ولاشدی و سبزی پرور، ۱۳۹۴). سیب مشهورترین میوه مناطق معتدله، از روزگار باستان در مناطق اروپا و آسیا کشت شده است. امروزه میوه سیب به صورت تجاری در کشورهای زیادی تولید شده و از نظر اقتصادی حائز اهمیت می‌باشد (Ramirez & Davenport, 2013). اهمیت پدیده تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی و زیر بخش باغبانی به دلیل نقش مهم آن در امنیت غذایی همواره مورد توجه مطالعات بین‌المللی بوده است. گوتیرز و همکاران (Gutierrez et al, 2009) به بررسی اثرات گرمایش جهانی بر روی درخت زیتون در کالیفرنیا و ایتالیا پرداختند. نتایج آنها نشان داد که گرمایش جهانی با تغییر الگوهای دمایی، محدوده‌های کشت درختان میوه در اثر تجمع دمای زیاد جابجا خواهد کرد. گرب و کاپرو (Grab & Craparo, 2011) واکنش درخت سیب به تغییر اقلیم در جنوب غربی کیپ‌تاون در آفریقای جنوبی را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که درخت سیب واکنش بالایی به تغییرات اقلیمی نشان خواهد داد، به طوری که در این منطقه، تاریخ گلدهی درختان دیررس سیب در اثر افزایش دمای هوا جلوتر رخ خواهد داد. اولیو و همکاران (Avolio et al, 2012) به ارزیابی پیامدهای تغییر اقلیم بر روی درخت زیتون در کالابریا در جنوب ایتالیا پرداختند. نتایج آنها نشان داد که تجمع زود هنگام واحدهای گرمایی مورد نیاز در اثر افزایش دمای هوا، زمان رخداد مراحل فنولوژی درختان میوه را به طور جدی تحت تأثیر قرار خواهد داد، به طوری که

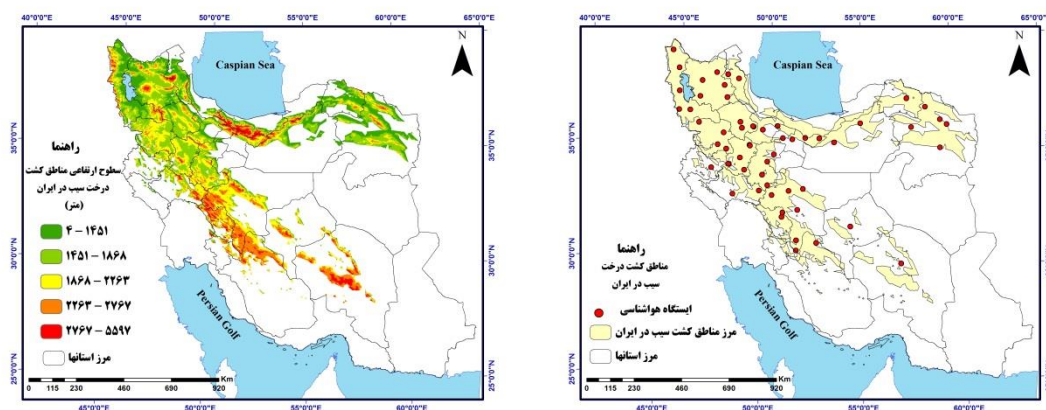
براساس سناریوی A۲ تا ۲۱۰۰، زمان گلدهی درخت زیتون در جنوب ایتالیا تا بیش از ۱۰ روز به جلو خواهد افتاد. داریچرو همکاران (Darbyshir et al, 2013) پیامدهای گرمایش جهانی در آینده بر روی نیاز سرمایی درختان میوه خزان کننده در زمستان در منطقه استرالیا را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که تحت شرایط تغییر اقلیم آینده و افزایش میزان دمای هوا، مقدار نیاز سرمایی کاهش یافته اما انباشت گرمایی زیاد خواهد شد. ماچوینا و فریلی (Machovina & Freeley, 2013) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تغییر محدوده‌های کشت مناطق مناسب کشت موز صادراتی پرداختند. نتایج آنها نشان داد که تا سال ۲۰۶۰، محدوده مناطق مناسب کشت درخت موز در منطق حاره‌ایی به میزان ۱۹ درصد تغییر خواهد کرد. و در واقع در اثر افزایش دما و تجمع زود هنگام نیاز گرمایی، مناطقی که خارج از شرایط مناسب برای تولید موز بوده اند، به صورت مناسب تغییر پیدا خواهند کرد. ونگ و همکاران (Wang et al, 2015) پیامدهای تغییر اقلیم بر روی محصول گندم در شرق استرالیا را بررسی نموده‌اند. آنها براساس ۱۹ مدل GCM تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 مشخص نمودند که تا سال ۲۱۰۰، در انباشت زود هنگام نیاز گرمایی، تاریخ گلدهی گندم به ترتیب ۱۰/۲ و ۱۷/۸ روز، جلوتر رخ خواهد داد. راموس (۲۰۱۷) (Ramos, 2017) اثرات تغییر اقلیم بر درخت انگور در مناطق شمال شرقی اسپانیا را بررسی نمودند. در این مطالعه سه مرحله فنولوژی جوانه زنی، گلدهی و رسیدن میوه را تحت شرایط سناریوهای واداشت تابشی RCP8.5 و RCP4.5 تا ۲۰۷۰ بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که تغییر اقلیم در آینده با تجمع واحدهای حرارتی بیشتر، موجب تسریع در زمان رخداد تمام مراحل فنولوژی درخت انگور می‌گردد. به طوری که براساس سناریوی RCP4.5 زمان رخداد مرحله گلدهی درخت انگور تا ۷ روز و براساس سناریو RCP8.5 تا ۱۲ روز در دهه ۲۰۷۰ در واریته‌های مختلف جلوتر رخ می‌دهد. زنگ و همکاران (Zhang et al, 2017) به بررسی تغییرات مناطق مناسب کشت برنج و ذرت در چین تحت شرایط تغییر اقلیم پرداختند. نتایج آنها نشان داد که یکی از اثرات تغییر اقلیم به صورت ازدیاد واحدهای گرمایی مراحل نمو گیاهان زراعی رخ خواهد داد.

فلاح قاهری (۱۳۹۱) در مطالعه‌ای به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر محدوده‌های کشت مرکبات در ایران پرداختند. نتایج بر مبنای ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی ECHO-G تحت سناریوهای انتشار تا ۲۰۳۹، نشان داد که گرمایش جهانی محدوده‌های کشت و کیفیت مرکبات در ایران را تحت تأثیر قرار خواهد داد. به طوری که محدوده کشت مرکبات در آینده در اثر افزایش دمای هوا و ازدیاد واحدهای گرمایی، به مناطق مرکزی ایران جابجا خواهد شد. غریبی (۱۳۹۱) وضعیت مرحله فنولوژی گلدهی و احتمال وقوع خسارت در درخت زیتون بر مبنای پارامترهای دمایی در منطقه طارم علیا را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که مجموع ساعات سرمایی یا CUH دریافتی زیتون دارای روند منفی بوده و به عبارتی یعنی زمستان‌های گرمتری در آینده رخ خواهد داد. در مقابل واحدهای گرمایی روند افزایش بالایی را نشان می‌دهند. این شرایط خسارت زیادی بر درخت زیتون وارد خواهد ساخت. سبزی پرور و ولاشیدی (۱۳۹۴) اثر تغییر اقلیم بر روند تامین نیاز سرمایی گیاهان خزان‌دار (مطالعه موردی: استان همدان) را بررسی نمودند. نتایج مدل‌های مختلف GCM در قالب مدل Lars-WG تحت گزارش چهارم IPCC نشان داد که نیاز سرمایی گیاهان خزان‌دار در منطقه همدان کاهش خواهد یافت و در افق زمانی سال‌های ۲۰۳۱ تا ۲۰۵۰ به میزان ۲۵ تا ۴۰ درصد از انباشت سرما در فصل زمستان کاسته خواهد شد. این شرایط در اثر افزایش دمای هوا رخ خواهد داد. این شرایط تولید محصولات آجیلی را به مخاطره خواهند انداخت. ترکمان (۱۳۹۴) به بررسی اثر گرمایش جهانی و تغییر اقلیم آینده بر ویژگی‌های زراعی و تولید سیب زمینی در ایران پرداختند. نتایج براساس سناریوهای واداشت تابشی و نتایج مدل‌های GFDL-ESM2G و HadGEM2-ES نشان داد که در اثر افزایش و تجمع زود هنگام نیاز گرمایی مراحل فنولوژی، طول مراحل فنولوژی گیاه سیب زمینی کوتاهتر خواهد شد و مناطق کشت به تبع دچار تغییر خواهند شد. کوچکی و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر کشاورزی ایران و پیش‌بینی وضعیت آگروکلیماتیک آینده پرداختند. نتایج آنها نشان داد که تا ۲۰۵۰ میلادی میانگین دمای سالانه بین ۳/۵ تا ۴/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت و بیشترین اثرات منفی تغییر اقلیم بر شاخص‌های آگروکلیماتیک در جنوب، شرق و مرکز کشور بروز خواهد کرد.

جمعیت ایران در حال حاضر حدود ۷۹ میلیون نفر برآورد شده است. پیش بینی می شود که با نرخ رشد ۱/۴ درصدی، جمعیت کشور، در سال ۱۴۰۴ خورشیدی (۲۰۲۵ میلادی) برابر ۹۰ میلیون و در ۱۴۲۹ (۲۰۵۰ میلادی) حدود ۱۱۵ میلیون نفر می شود (صمدی یزدی، ۱۳۹۶). زیر بخش باغبانی مزیت شناخته شده اقتصاد کشاورزی ایران است. احداث باغ و تولید میوه نیاز به سرمایه گذاری بالایی دارد. تنش ها و مخاطرات محیطی به دلیل تغییرات آب و هوایی، می تواند تولیدات باغ های میوه را تحت تأثیر قرار بدهد. زیر بخش باغبانی به دلیل اینکه زمان طولانی تری تا تولید محصول نیاز دارد، لذا از تغییرات اقلیمی بیشتر تأثیر می پذیرد. کاهش درآمد به دلیل پیامدهای تغییر اقلیم خود دلیل عمده ای برای کاهش انگیزه باغداران، رهاسازی باغات و تغییر کاربری می باشد. تغییر اقلیم آینده یکی از اولویتهای کشورهای جهان برای برنامه ریزی ها و تصمیم گیری ها محسوب می شود. بنابراین بررسی ابعاد تهدید جهانی تغییر اقلیم و پیامدهای آن در بخش باغبانی و تولیدات باغی، به منظور آگاهی بخشی به برنامه ریزان و دست اندرکاران بخش کشاورزی و باغبانی کشور در جهت مقابله با تأثیرات آن بر تولید پایدار محصولات باغی کشور حائز اهمیت می باشد. تحقیق حاضر در نظر دارد اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت انباشت گرمایی مناطق کشت درخت سیب در ایران به عنوان یکی از محصولات استراتژیک را براساس سناریوهای واداشت تابشی و آخرین گزارش تغییر اقلیم تحت عنوان گزارش پنجم، مورد بررسی قرار بدهد.

داده ها و روش کار

با توجه به اهداف تحقیق، کل کشور در حالت اولیه مورد توجه تحقیق حاضر بوده است که با سلسله بررسی های ممتد براساس آمار و اطلاعات ایستگاههای هواشناسی سراسر کشور و اطلاعات میدانی و کتابخانه ای، مناطق عمده کشت درخت سیب براساس شرایط اقلیمی مکانیابی شده که نقشه مناطق مناسب کشت درخت سیب در شکل (۱) مشخص شده است. مناطق و محدوده مناسب کشت درخت سیب در ایران از نظر اقلیمی، مساحتی معادل ۲۹۵۵۹۴/۲۷ کیلومتر مربع، برابر با ۳۰ درصد از سطح مساحت کشور را شامل می شود. ماهیت درخت سیب به عنوان یک درخت خزان کننده سردسیری با نیاز سرمایی بالا، موجب شده تا مناطق کشت این درخت، بیشتر مناطق مرتفع و کوهستانی را پوشش بدهد (شکل ۱). تحقیق حاضر با روش آماری - تحلیلی انجام گردید. در این مطالعه دو نوع داده زیربنای تحقیق را تشکیل می دهند؛ داده های دوره پایه یا دوره گذشته و داده های شبیه سازی شده بروداد مدل برای دوره آینده. داده مشاهده ای از سازمان هواشناسی کشور تهیه و پالایش شد. این داده، ۵۳ ایستگاه هواشناسی مناطق کشت درخت سیب که در مناطق مرتفع و سردسیر کشور نیز واقع شده اند، را پوشش می دهد. پراکنش و موقعیت جغرافیایی ایستگاههای منتخب در مناطق کشت درخت سیب در ایران در شکل (۱) مشخص شده است. دوره آماری ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۳ به عنوان دوره پایه یا گذشته برای دستیابی به اهداف تحقیق مشخص گردید.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه با پراکنش ایستگاهها (شکل سمت راست) و وضعیت ارتفاعی مناطق کشت درخت سیب در ایران (شکل سمت چپ)

از آنجایی که برونداد مدل‌های گردش جهانی قابلیت لازم برای بعد محلی ندارند، لذا برای جبران این نقیصه بایستی از روش‌های ریزمقیاس گردانی استفاده شود. در این راستا برای شبیه سازی اقلیم دوره آینده از نرم افزار MarkSIMGCM برای ریزمقیاس نمایی خروجی مدل‌های AOGCM استفاده شد. نرم افزار مذکور به عنوان یک ابزار مبتنی بر وب، با استفاده از مدل تصادفی مرتبه سوم مارکوف داده‌های دمای کمینه و بیشینه، بارش و تابش آفتاب به روزانه ریزگردانی می‌کند (Nouri et al, 2017 ; Jones & Thornton, 2013). این نرم افزار برای ریزمقیاس نمایی دوره ۱۹۶۱-۱۹۹۰ را به عنوان دوره پایه در نظر می‌گیرد. این نرم افزار براساس ۱۷ مدل AOGCM از سری مدل‌های CMIP5 براساس آخرین گزارش تغییر اقلیم (گزارش پنجم) تحت عنوان سناریوهای واداشت تابشی اجرا می‌شود. این نرم افزار با توجه به اینکه مبتنی بر وب است برای کلیه نقاط کره زمین به راحتی قابل دسترسی است. مدل‌هایی که در این نرم افزار تعبیه شده جزو مناسب ترین مدل‌ها از نظر تفکیک مکانی محسوب می‌شوند. این ابزار به عنوان یکی از ریزمقیاس کننده های نوظهور برای مدلسازی در مطالعات کشاورزی ابداع و توسعه داده شده است (Nouri et al, 2017). در این تحقیق از برونداد مدل HadGEM2.ES به عنوان یکی از مدل‌های CMIP5 با تفکیک مکانی مناسب استفاده شد. ابزار MarkSimGCM یک برنامه فورترن جهت‌دار توسعه داده شده تا برونداد ریزمقیاس نمایی بررسی شود و این با یک GUI رابط کاربر گرافیکی در Google Earth ارتباط داده شده است. این ابزار به طور آزادانه از درگاه^۱ قابل دسترسی می‌باشد. کاربر با انتخاب محل مورد نظر (برنامه قابلیت فراهم سازی برای هر نقطه از کره زمین برای دسترسی به نرمال داده‌های اقلیم آینده دارا می‌باشد) و انتخاب یکی از مدل‌های GCM و یکی از چهار سناریو تغییر اقلیم براساس آخرین گزارش هیات بین الدول تغییر اقلیم (IPCC AR5) به ریزمقیاس نمایی بپردازد.

مدل HadGEM2.ES مولفه‌های عمده‌ای چون جو، اقیانوس و یخ دریا با و بدون بعد عمودی در مدل جو تا استراتوسفر و مولفه‌های سامانه زمینی شامل چرخه کربن خشکی و اقیانوسی و در شیمی جو را در بر می‌گیرد (Jones & Thornton, 2013). فاز پنجم پروژه مدل‌های جفت شده بین مقایسه ای CMIP5 به عنوان جدیدترین مدل‌ها، یک پرتکل آزمایشی استاندارد برای مطالعه برونداد مدل‌های جوی - اقیانوسی گردش عمومی جو محسوب می‌شود. هدف از این مدل‌ها ارائه چارچوبی برای آزمایش‌های تغییر اقلیم در قالب شبیه سازی براساس گزارش پنجم IPCC می‌باشد. به طور کل این مدل‌ها (۱) ارزیابی اینکه چطور مدل‌ها گذشته نزدیک را شبیه سازی می‌کنند (۲) ارائه پیش‌نگری‌های از تغییر اقلیم آینده در دو مقیاس زمانی؛ دوره نزدیک (تا ۳۵ سال) و دوره بلند مدت (تا ۲۱۰۰)، (۳) درک بعضی از فاکتورهایی که در پیش‌نگری‌های مدل‌ها نقش آفرینی می‌کنند به طور نمونه می‌توان به ارزیابی پس‌خورهایی مانند ابرها و چرخه کربن اشاره نمود (Jones & Thornton, 2013).

در ادامه داده دوره آینده یا داده شبیه سازی شده برای دوره آینده میانی (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و آینده دور (۲۰۵۶-۲۰۹۰) براساس سناریوی بدبینانه RCP8.5 و سناریوی خوشبینانه RCP4.5 تنظیم گردید. از آنجایی که برونداد و عملکرد هر مدل باید راستی آزمایی شود، لذا در این راستا براساس شاخص‌های اعتبارسنجی یا خطا سنجی عملکرد مدل برای شبیه سازی داده تغییر اقلیم آینده ارزیابی شد. آمارها یا معیارهای RMSE، MAE، MBE و R² جزو متداول ترین معیارهای برای خطاسنجی محسوب می‌شوند. این معیارها از طریق معادله‌های ۱ تا ۴ محاسبه می‌شود.

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

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

1- <http://gismap.ciat.cgiar.org/MarkSimGCM>

$$MAE = \frac{\sum_i^n |P_i - O_i|}{n} \quad (3)$$

$$R^2 = \frac{\left(\sum (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O}) \right)^2}{\sum (P_i - \bar{P})^2 \sum (O_i - \bar{O})^2} \quad (4)$$

افزایش دمای هوا تنش جدی برای درختان مناطق سردسیر است. در این راستا به منظور شناسایی وضعیت و الگوی انباشت گرمایی مناطق کشت درخت سیب در ایران در دوره آینده نسبت به دوره پایه، تاریخ آخرین و اولین رخداد آستانه‌های دمایی (صفر، ۴/۵ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد) براساس آمار دمای روزانه در دوره بلند مدت مشخص شد. آستانه ۴/۵ درجه سانتی‌گراد، آستانه زیستی درخت سیب است. در این راستا با شناسایی اولین و آخرین زمان رخداد آستانه‌های مذکور از طریق دماهای کمینه، به صورت تجمعی میانگین دمای روزانه تا آستانه مذکور محاسبه شد. در ادامه معادله خط رگرسیونی بر روی مدل رقومی ارتفاع اجرا گردید و در نهایت نقشه توزیع مکانی یا الگوی فضایی انباشت گرمایی در آستانه‌های مختلف برای دوره پایه و آینده در مناطق کشت درخت سیب در ایران ترسیم گردید. این عملیات با استفاده از امکانات سامانه اطلاعات جغرافیایی^۱ در قالب ابزارهای تحلیل مکانی و مدل رقومی ارتفاع (DEM) براساس نرم افزار ArcGIS10.2 مشخص گردید.

شرح و تفسیر نتایج

- ارزیابی عملکرد مدل HadGEM2-ES از شبیه‌سازی دمای و بارش دوره آینده

در این راستا جهت اطمینان از صحت نتایج مدل HadGEM2-ES در شبیه‌سازی رفتار تغییرات دما و بارش دوره آینده تا افق ۲۰۹۰ براساس سناریوهای واداشت تابشی RCP4.5 و RCP8.5 در منطقه مورد مطالعه نسبت به دوره گذشته یا پایه، شاخص‌های خطایابی یا اعتبار سنجی بر روی ۸ ایستگاه هواشناسی منتخب در مناطق مختلف کشت درخت سیب انجام شد (جدول ۱ و ۲). با توجه تعدد زیاد ایستگاهها فقط سناریوی RCP8.5 اینجا ارائه شده است.

نتایج نشان داد که برون‌داد مدل جفت شده جوی - اقیانوسی HadGEM2.ES براساس سناریوهای واداشت تابشی و ابزار ریزمقیاس گردانی MarksimGCM، از نتایج عملکرد بالا و مناسبی برخوردار می‌باشد. پردازش‌ها نشان داد که مدل جفت شده HadGEM2.ES از توانمندی بالایی در شبیه‌سازی دمای هوا نسبت به بارش برخوردار می‌باشد. برون‌داد مدل مذکور از شبیه‌سازی دمای کمینه و بیشینه دوره آینده براساس سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به دوره گذشته در تمام ایستگاههای مورد مطالعه، به طور متوسط از ضریب همبستگی ۰/۹۹ و ضریب تعیین ۰/۹۸ برخوردار می‌باشد. نتایج مقدار شاخص‌های میانگین قدر مطلق خطاها (MAE)، میانگین مربع خطاها (MBE) و ریشه میانگین مربع خطاها (RMSE) در پارامتر دمای کمینه و بیشینه بسیار کمتر از پارامتر بارش مشاهده شد. در واقع نتایج شبیه‌سازی مدل جفت شده HadGEM2.ES برای رفتار دمای کمینه و بیشینه دارای دقت بالا و تقریباً یکسان بوده است. شبیه‌سازی بارش در تمام ایستگاهها خیلی متغیرتر از پارامتر دما بوده است. نتایج نشان داد که شبیه‌سازی بارش با عدم قطعیت بالاتری همراه بوده و هر چه قدر دوره آینده دورتر می‌شود این عدم قطعیت شدت بیشتری پیدا می‌کند. به طور کل مدل مذکور در شبیه‌سازی بارش از دقت کمتری نسبت به دما برخوردار می‌باشد که این امر ناشی از پیچیده بودن فرایند بارش و همچنین ساختار مدل‌های اقلیمی است.

جدول ۱- نتایج بررسی عملکرد مدل HadGEM2-ES در شبیه سازی تغییرات دما و بارش دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) براساس سناریوی

RCP8.5 با استفاده از شاخص های خطاسنجی نسبت به دوره پایه

RMSE	MBE	MAE	R ²	R	پارامتر اقلیمی	ایستگاه هواشناسی
۲/۳۱	۵/۳۲	۲/۰۲	۰/۹۹	۰/۹۹	دمای کمینه	کرج
۳/۶۷	۱۳/۴۸	۳/۳۱	۰/۹۷	۰/۹۸	دمای بیشینه	
۶/۰۹	۳۷/۰۵	۴/۷۹	۰/۹۰	۰/۹۵	بارش	
۱/۷۷	۳/۱۲	۱/۶۸	۰/۹۹	۰/۹۹	دمای کمینه	زنجان
۴/۴۱	۱۹/۴۳	۴/۳۵	۰/۹۸	۰/۹۹	دمای بیشینه	
۱۲/۷۱	۳۱/۴۹	۱۲/۴۰	۰/۵۳	۰/۷۳	بارش	
۰/۸۳	۰/۶۹	۰/۷۴	۰/۹۹	۰/۹۹	دمای کمینه	شاهرود
۲/۵۲	۶/۳۶	۲/۵۰	۰/۹۹	۰/۹۹	دمای بیشینه	
۳/۱۲	۹/۷۲	۲/۵۵	۰/۸۸	۰/۹۴	بارش	
۰/۶۰	۰/۳۶	۰/۴۹	۰/۹۹	۰/۹۹	دمای کمینه	مشهد
۱/۷۵	۳/۰۶	۱/۶۱	۰/۹۹	۰/۹۹	دمای بیشینه	
۲/۸۶	۳/۱۹	۲/۱۲	۰/۹۸	۰/۹۹	بارش	
۲/۵	۴/۱	۱/۲	۰/۹۹	۰/۹۹	دمای کمینه	تبریز
۲/۳	۶/۶	۲/۴۸	۰/۹۸	۰/۹۹	دمای بیشینه	
۷/۸۸	۶۲/۰۹	۶/۵۹	۰/۸۶	۰/۹۲	بارش	
۳/۶۲	۱۳/۱۳	۳/۵۰	۰/۹۹	۰/۹۹	دمای کمینه	سقز
۲/۹۳	۸/۵۶	۲/۷۶	۰/۹۹	۰/۹۹	دمای بیشینه	
۹/۳۶	۸۷/۷۰	۷/۷۷	۰/۹۰	۰/۹۵	بارش	
۴/۳۴	۱۸/۸۲	۴/۲۴	۰/۹۹	۰/۹۹	دمای کمینه	شهرکرد
۳/۳۵	۱۱/۳۰	۳/۳۱	۰/۹۹	۰/۹۹	دمای بیشینه	
۱۱/۵۰	۳۲/۲۲	۷/۷۴	۰/۸۳	۰/۹۱	بارش	
۰/۸۳	۰/۶۹	۰/۷۴	۰/۹۹	۰/۹۹	دمای کمینه	یاسوج
۲/۰۴	۴/۱۴	۱/۸۸	۰/۹۹	۰/۹۹	دمای بیشینه	
۱۱/۱۲	۴۶/۳۵	۴۷/۱۱	۰/۸۴	۰/۹۱	بارش	

جدول ۲- بررسی عملکرد مدل HadGEM2-ES در شبیه سازی تغییرات دما و بارش دوره (۲۰۹۰-۲۰۵۶) براساس سناریوی

RCP8.5 با استفاده از شاخص های خطاسنجی نسبت به دوره پایه

RMSE	MBE	MAE	R ²	R	پارامتر اقلیمی	ایستگاه هواشناسی
۱/۹۳	۳/۷۳	۱/۶۷	۰/۹۹	۰/۹۹	دمای کمینه	کرج
۳/۱۹	۱۰/۲۱	۲/۹۰	۰/۹۸	۰/۹۹	دمای بیشینه	
۴/۷۲	۲۲/۲۷	۳/۷۱	۰/۹۳	۰/۹۶	بارش	
۱/۳۰	۱/۶۹	۱/۲۳	۰/۹۹	۰/۹۹	دمای کمینه	زنجان
۲/۵۲	۶/۳۳	۲/۳۷	۰/۹۹	۰/۹۹	دمای بیشینه	
۱۷/۳۵	۳۵/۰۳	۱۱/۵۳	۰/۵۷	۰/۷۵	بارش	
۰/۶۱	۰/۳۷	۰/۵۴	۰/۹۹	۰/۹۹	دمای کمینه	شاهرود
۲/۱۷	۴/۶۹	۲/۱۴	۰/۹۹	۰/۹۹	دمای بیشینه	
۲/۵۹	۶/۷۲	۱/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۵	بارش	
۰/۶۴	۰/۴۱	۰/۵۵	۰/۹۹	۰/۹۹	دمای کمینه	مشهد
۱/۳۶	۱/۸۵	۱/۲۴	۰/۹۹	۰/۹۹	دمای بیشینه	
۲/۵۶	۶/۵۳	۲/۰۸	۰/۹۷	۰/۹۸	بارش	
۲/۳۴	۵/۴۸	۲/۰۶	۰/۹۹	۰/۹۹	دمای کمینه	تبریز
۲/۹۹	۸/۹۲	۲/۲۱	۰/۹۸	۰/۹۹	دمای بیشینه	
۷/۴۵	۵۵/۵۷	۵/۶۵	۰/۸۵	۰/۹۲	بارش	
۳/۰۹	۹/۵۵	۲/۹۷	۰/۹۹	۰/۹۹	دمای کمینه	سقز

۲/۴۲	۵/۸۴	۲/۲۵	۰/۹۹	۰/۹۹	دمای بیشینه	
۸/۷۹	۷۷/۲۶	۷/۲۱	۰/۹۲	۰/۹۵	بارش	
۳/۸۶	۱۴/۹۱	۳/۷۷	۰/۹۹	۰/۹۹	دمای کمینه	شهرکرد
۳/۰۵	۹/۳۳	۲/۹۷	۰/۹۹	۰/۹۹	دمای بیشینه	
۱۱/۴۶	۱۳۱/۴۴	۷/۶۵	۰/۸۳	۰/۹۱	بارش	ياسوج
۰/۶۱	۰/۳۷	۰/۵۴	۰/۹۹	۰/۹۹	دمای کمینه	
۲/۳۸	۵/۶۵	۲/۲۵	۰/۹۹	۰/۹۹	دمای بیشینه	
۱۶/۱۸	۱۱۲/۲	۴۶/۳۸	۰/۸۵	۰/۹۲	بارش	

- بررسی وضعیت انباشت گرمایی مناطق کشت درخت سیب در دوره گذشته یا پایه

از آنجا که شرایط دمایی از طریق انباشت گرمایی عامل اساسی در کنترل مراحل رشد و نمو درختان میوه محسوب می‌شود، بررسی انباشت گرمایی در آستانه‌های مختلف براساس دماهای روزانه، رهیافت مناسبی برای تغییرات آب و هوایی محسوب می‌شود. در این راستا وضعیت پتانسیل گرمایی یا توان انباشت گرمایی مناطق کشت درخت سیب در دوره پایه به صورت دماهای فعال در آستانه‌های صفر درجه سانتی‌گراد، ۴/۵ درجه سانتی‌گراد (آستانه زیستی درخت سیب) و ۱۰ درجه سانتی‌گراد به عنوان آستانه اوج فعالیت‌های زیستی براساس داده‌های دوره اقلیمی گذشته یا پایه بررسی گردید.

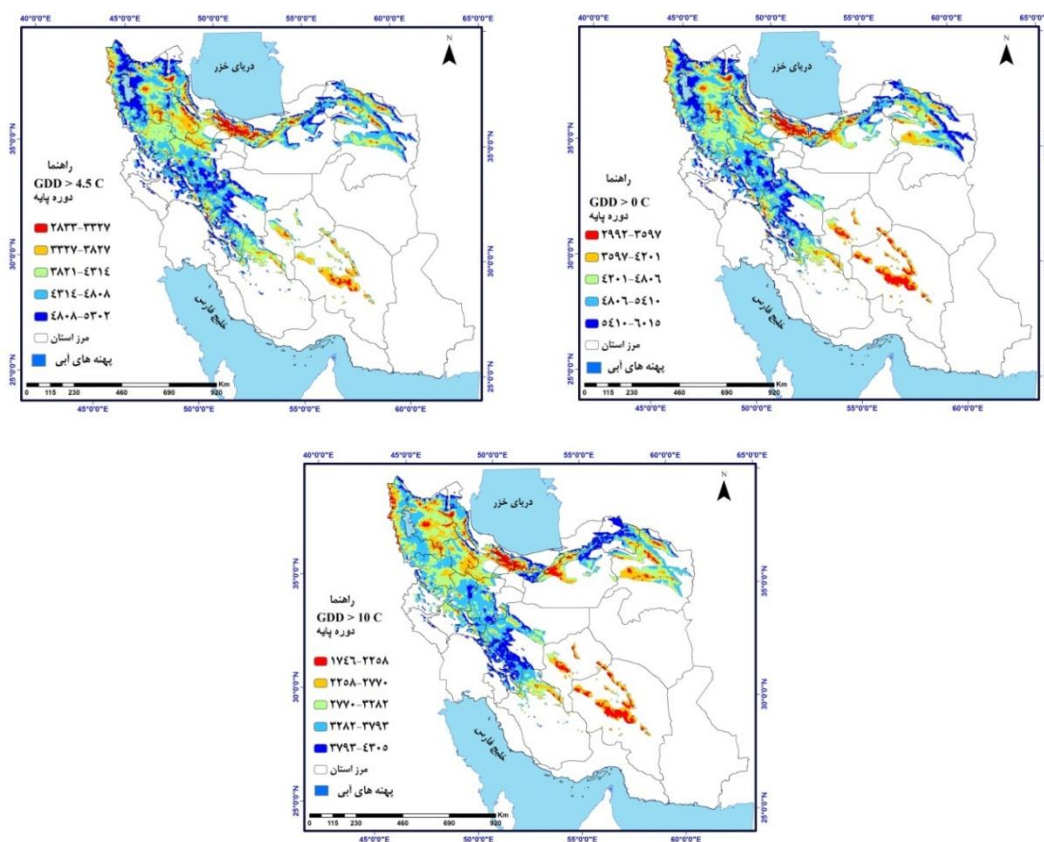
در این راستا نتایج ارتباط و معادله خط بین توان گرمایی و پارامترهای مکانی (طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا) در جدول (۳) مشخص شده است. نتایج نشان داد که ارتباط نسبتاً بالایی بین توان گرمایی و مولفه‌های مکانی وجود دارد. این ارتباط در آستانه‌های صفر و ۱۰ درجه سانتی‌گراد بیشتر از آستانه زیستی درخت سیب (۴/۵) درجه سانتی‌گراد) مشاهده گردید. این ارتباط در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ معنی‌دار است.

جدول ۳- نتایج ارتباط و معادله‌های خط بین پتانسیل گرمایی مناطق کشت درخت سیب و مولفه‌های مکانی در دوره پایه

معادله خط	R ²	R	آستانه‌های دمایی
Y=12933.739+49.150 Lon-263.865 Lat-1.411 Elv	۰/۵۹	۰/۷۷	توان گرمایی بالاتر از آستانه صفر درجه سانتی‌گراد
Y=11105.058+59.020 Lon-230.64 Lat-1.364 Elv	۰/۴۷	۰/۶۹	توان گرمایی بالاتر از آستانه زیستی درخت سیب (۴/۵) سانتی‌گراد
Y=5803.810+70.152 Lon-147.001 Lat-1.031 Elv	۰/۵۹	۰/۷۷	توان گرمایی بالاتر از آستانه ۱۰ درجه سانتی‌گراد
Lon: طول جغرافیایی Lat: عرض جغرافیایی Elv: ارتفاع از سطح دریا			

نتایج توزیع مکانی پتانسیل و انباشت گرمایی مناطق کشت درخت سیب در آستانه‌های صفر، ۴/۵ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد در شکل (۳) مشخص شده است. نتایج حاصل از این محاسبات، اختلاف‌های عمده‌ای را در توان‌های گرمایی مناطق کشت درخت سیب در ایران آشکار ساخته است. براساس آستانه‌های صفر و ۱۰ درجه سانتی‌گراد، به ترتیب بیشترین و کمترین درجه روزهای فعال مشاهده گردید. نتایج نشان داد که براساس آستانه صفر درجه سانتی‌گراد، توان گرمایی مناطق کشت سیب از ۲۹۹۲ درجه روز در مناطق مرتفع تا ۶۰۱۵ درجه روز در مناطق کم ارتفاع متغیر می‌باشد. متوسط پتانسیل گرمایی در مناطق کشت درخت سیب در این آستانه، ۳۸۶۳ درجه روز فعال است. براساس آستانه زیستی درخت سیب (۴/۵) درجه سانتی‌گراد) نیز توان گرمایی از ۲۸۳۳ درجه روز در مناطق مرتفع تا ۵۳۰۲ درجه روز در مناطق کم ارتفاع متغیر می‌باشد. متوسط پتانسیل گرمایی مناطق کشت درخت سیب در این آستانه، ۳۷۶۵ درجه روز فعال می‌باشد. براساس آستانه ۱۰ درجه سانتی‌گراد، توان گرمایی مناطق کشت درخت سیب از ۱۷۴۶ درجه روز در مناطق مرتفع تا ۴۳۰۵ درجه روز در مناطق کم ارتفاع متغیر می‌باشد. متوسط پتانسیل گرمایی مناطق کشت درخت سیب در این آستانه، ۲۵۴۴ درجه روز فعال است. بررسی‌ها نشان داد که مناطقی که میزان انباشت درجه روز فعال به بیش از ۲۵۰۰ درجه روز فعال برسد، برای کاشت درخت سیب زودرس و مناطقی که بیش از ۳۵۰۰ درجه روز فعال در آنها رخ می‌دهد، برای ارقام دیررس مناسب می‌باشد. بنابراین مناطق کشت درخت سیب در ایران از توان گرمایی لازم برای درخت سیب

برخوردار می‌باشد. این نتایج برای دیگر درختان میوه از نظر انتخاب گونه‌های سازگار براساس توان گرمایی هر منطقه حائز اهمیت می‌باشد.



شکل ۳- توزیع مکانی انباشت گرمایی مناطق کشت درخت سیب در آستانه‌های (صفر، ۴/۵ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد) در دوره گذشته

چشم انداز تغییرات پتانسیل و انباشت گرمایی مناطق کشت درخت سیب در آینده نسبت به دوره پایه

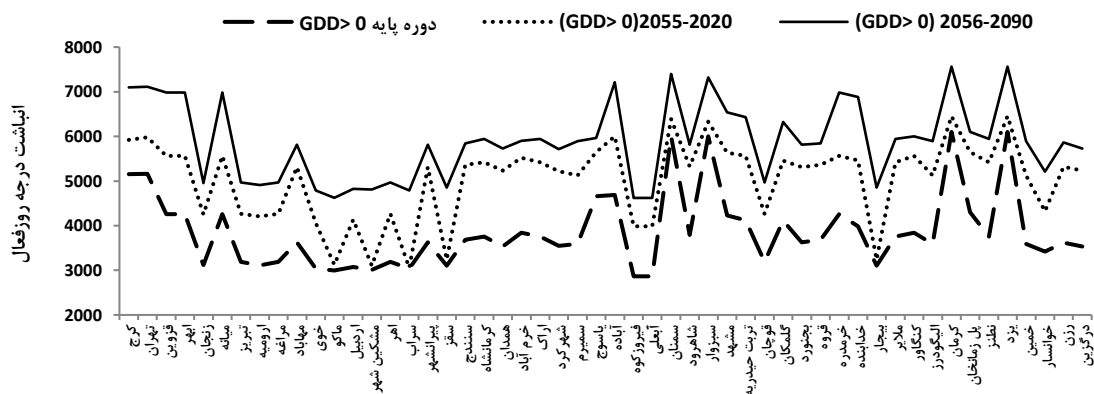
سرعت رشد و نمو گیاه به تجمع دماهای متوسط روزانه بستگی دارد (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۹: ۹۳). یکی از نمودهای اصلی تغییرات آب و هوایی، تغییر در مقدار و وضعیت پتانسیل گرمایی یا توان انباشت گرمایی مناطق مختلف برای فصل رشد و نمو محصولات مختلف و بخصوص درختان میوه می‌باشد. درخت سیب به عنوان یکی از درختان خزان‌کننده علاوه بر انباشت سرمایی کافی در ایام سرد سال، برای تکمیل دوره رویشی و زایشی خود به انباشت گرمایی یا پتانسیل گرمایی به صورت دماهای فعال بالاتر از آستانه‌های مختلف نیاز دارد. در این راستا مقدار تغییرات و الگوی پتانسیل گرمایی یا توان انباشت گرمایی مناطق کشت درخت سیب در آستانه‌های (صفر، ۴/۵ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد) از طریق آمار دمای کمینه، دمای بیشینه و میانگین دمای روزانه شبیه سازی شده تا افق ۲۰۹۰ براساس سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 مشخص گردید.

نتایج انباشت گرمایی بالاتر از آستانه صفر درجه سانتی‌گراد مناطق کشت درخت سیب براساس سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5 در شکل‌های (۴) و (۵) مشخص شده است. نتایج نشان داد که در دوره آینده میانی و آینده دور، در اثر افزایش دما، پتانسیل گرمایی یا توان انباشت گرمایی نسبت به دوره پایه در مناطق کشت درخت سیب افزایش خواهد یافت. به طوری که براساس سناریوی RCP8.5 به طور متوسط در مناطق کشت درخت سیب پتانسیل یا انباشت گرمایی در دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) به ترتیب ۱۲۵۱ و ۲۰۳۰ درجه روز فعال افزایش خواهد داشت که به ترتیب ۲۴ و ۳۴ درصد، افزایش در انباشت گرمایی نسبت به دوره پایه را نشان می‌دهد. همچنین براساس سناریوی RCP4.5 در دوره

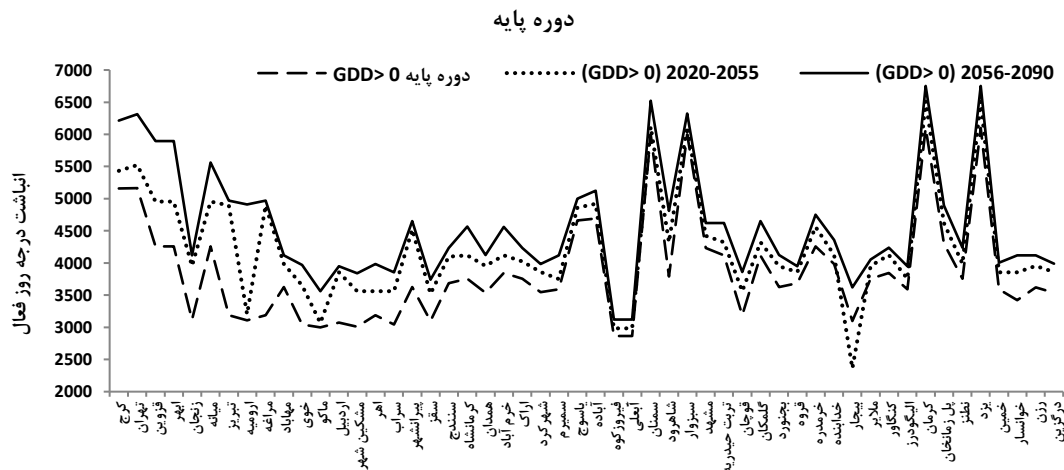
(۲۰۲۰-۲۰۵۵) و (۲۰۹۰-۲۰۵۶) پتانسیل یا انباشت گرمایی به ترتیب ۴۰۰ و ۷۱۴ درجه روز فعال افزایش خواهد داشت که به ترتیب، ۱۵ و ۹/۳ درصد نسبت به دوره پایه افزایش نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که با توجه به افزایش دمای هوا، تغییرات قابل توجه‌ای در پتانسیل و انباشت گرمایی در این آستانه دمایی در مناطق کشت درخت سیب در آینده رخ خواهد داد (جدول ۴).

جدول ۴- متوسط تغییرات پتانسیل یا انباشت گرمایی در آستانه صفر درجه سانتی‌گراد در مناطق کشت درخت سیب در آینده

RCP4.5				RCP8.5				دوره پایه
۲۰۵۶-۲۰۹۰		۲۰۲۰-۲۰۵۵		۲۰۵۶-۲۰۹۰		۲۰۲۰-۲۰۵۵		
درصد تغییرات	درجه روز	درصد تغییرات	درجه روز	درصد تغییرات	درجه روز	درصد تغییرات	درجه روز	
۱۵	۴۵۷۷	۹/۳	۴۲۴۶	۳۴	۵۸۹۴	۲۴	۵۰۴۰	۳۸۶۳



شکل ۴- تغییرات پتانسیل گرمایی مناطق کشت درخت سیب در آستانه صفر درجه سانتی‌گراد براساس سناریو RCP8.5 نسبت به



شکل ۵- تغییرات پتانسیل گرمایی مناطق کشت درخت سیب در آستانه صفر درجه سانتی‌گراد براساس سناریو RCP4.5 نسبت به

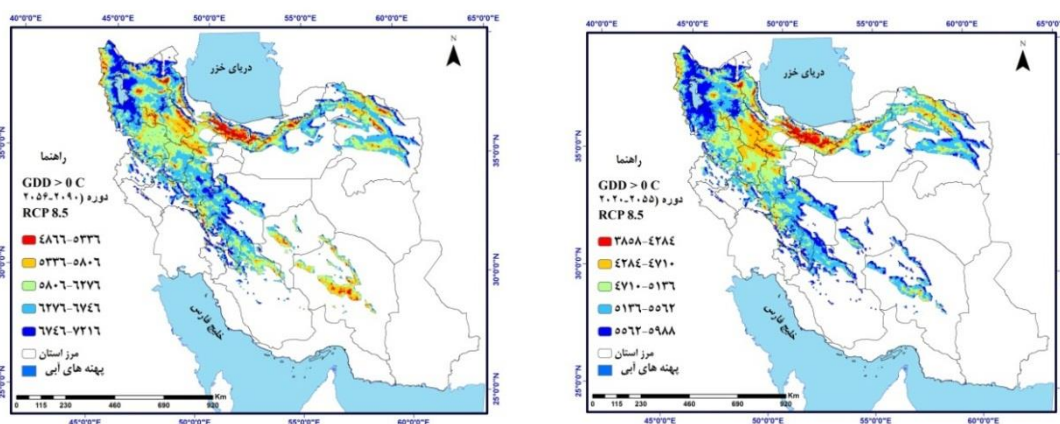
دوره پایه
در ادامه توزیع مکانی پتانسیل یا انباشت گرمایی مناطق کشت درخت سیب در آستانه صفر درجه سانتی‌گراد مشخص گردید. در ابتدا ارتباط و معادله خط بین پتانسیل و انباشت گرمایی با مولفه‌های مکانی (طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا) مشخص گردید (جدول ۵). نتایج نشان داد که ارتباط نسبتاً بالایی بین مولفه‌های مکانی و پتانسیل و انباشت گرمایی در آستانه صفر درجه سانتی‌گراد وجود دارد. ضریب تعیین بدست آمده در دوره آینده دور

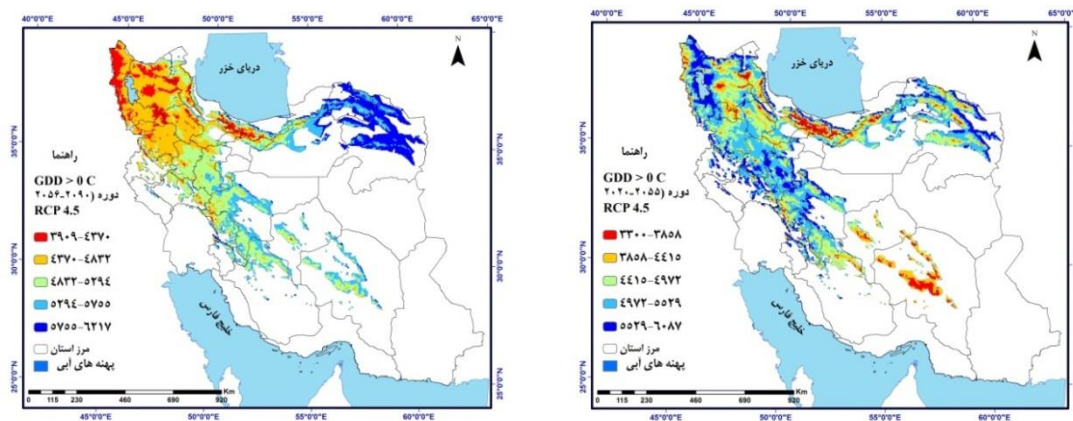
(۲۰۹۰-۲۰۵۶) بیشتر از آینده میانی (۲۰۲۰-۲۰۵۵) است. بنابراین مولفه‌های مکانی در وضعیت انباشت گرمایی مناطق کشت درخت سیب نقش مؤثری خواهند داشت. این ارتباط در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار مشاهده شد.

جدول ۵- نتایج ارتباط و معادله‌های خط بین پتانسیل گرمایی مناطق کشت درخت سیب در آستانه صفر درجه سانتی‌گراد با مولفه‌های مکانی در دوره آینده

معادله خط	R ²	R	پتانسیل و انباشت گرمایی
Y=15076.152+51.411 Lon-301.2245 Lat-1.219 Elv	۰/۳۳	۰/۵۷	دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) براساس سناریوی RCP8.5
Y=14471.221+47.790Lon-254.887Lat-1.260Elv	۰/۵۹	۰/۷۷	دوره (۲۰۵۶-۲۰۹۰) براساس سناریوی RCP8.5
Y=1298.810+141.507Lon-74.906Lat-0.542Elv	۰/۳۴	۰/۵۸	دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) براساس سناریوی RCP4.5
Y=15479.574+46.111Lon-277.396Lat-1.309Elv	۰/۵۹	۰/۷۷	دوره (۲۰۵۶-۲۰۹۰) براساس سناریوی RCP4.5
Lon: طول جغرافیایی Lat: عرض جغرافیایی Elv: ارتفاع از سطح دریا			

نتایج توزیع مکانی یا الگوی فضایی انباشت گرمایی مناطق کشت درخت سیب در آستانه صفر درجه سانتی‌گراد در شکل (۶) مشخص شده است. نتایج نشان داد که براساس سناریوی RCP8.5 در دوره آینده میانی (۲۰۲۰-۲۰۵۵) انباشت گرمایی از ۳۸۵۸ درجه روز فعال در مناطق با چشم اندازی مرتفع تا ۵۹۸۸ درجه روز فعال در مناطق با چشم اندازی کم ارتفاع متغیر خواهد بود. در دوره آینده دور (۲۰۵۶-۲۰۹۰) این پتانسیل گرمایی با توان بالاتر نسبت به دوره آینده میانی از ۴۸۶۶ درجه روز فعال در مناطق مرتفع تا ۷۲۱۶ درجه روز فعال در مناطق پست و کم ارتفاع تغییر خواهد کرد. براساس سناریوی RCP4.5 توان انباشت گرمایی در دوره آینده میانی (۲۰۲۰-۲۰۵۵) از ۳۳۰۰ درجه روز فعال در مناطق مرتفع تا ۵۹۸۸ درجه روز فعال در مناطق کم ارتفاع متغیر خواهد بود. در دوره آینده دور (۲۰۵۶-۲۰۹۰) این پتانسیل گرمایی با افزایش بیشتری، از ۳۰۹۹ درجه روز فعال در مناطق مرتفع، تا ۶۲۱۷ درجه روز در مناطق کم ارتفاع متغیر خواهد بود. در واقع پتانسیل و انباشت گرمایی در این آستانه دمایی از مولفه‌های مکانی، بخصوص عامل ارتفاع از سطح دریا و عرض جغرافیایی تأثیر می‌پذیرد. توزیع فضایی در مناطق کشت درخت سیب نشان داد که مناطق البرز میانی و ارتفاعات مرتفعی چون کرمان و یزد و مناطق شمال غرب بخصوص آذربایجان شرقی، از پتانسیل گرمایی کمتری نسبت به ارتفاعات میانی و دشتهای پابکوهی برخوردار می‌باشند. چشم اندازهای طبیعی کم ارتفاع و دره‌ها و دشتهای نواحی شمال شرق، نیمه جنوبی زاگرس مرکزی و نواحی جلگه ای اطراف دریاچه ارومیه در شمال غرب کشور، از پتانسیل و انباشت گرمایی بالاتری در آینده برخوردار خواهند بود.



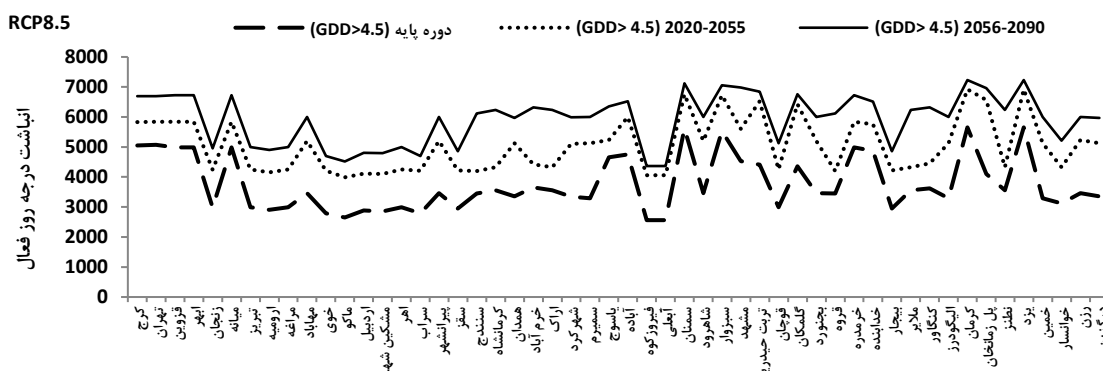


شکل ۶- توزیع مکانی انباشت گرمایی مناطق کشت درخت سیب بالاتر از آستانه صفر درجه در دوره آینده نسبت به دوره پایه

نتایج تغییرات پتانسیل یا انباشت گرمایی بالاتر از آستانه زیستی درخت سیب (۴/۵ درجه سانتی‌گراد) دوره آینده در مناطق کشت درخت سیب براساس سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در شکل‌های (۷) و (۸) مشخص گردید. نتایج نشان داد که در دوره آینده میانی (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و آینده دور (۲۰۵۶-۲۰۹۰)، در اثر افزایش دما، پتانسیل و انباشت گرمایی مناطق کشت درخت سیب در آستانه زیستی درخت سیب (۴/۵ درجه سانتی‌گراد) نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. به طوری که براساس سناریوی RCP8.5، به طور متوسط انباشت گرمایی در آستانه زیستی درخت سیب، در دوره (۲۰۵۵-۲۰۲۰) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) به ترتیب، ۱۱۳۲ و ۲۱۷۱ درجه روز فعال افزایش خواهد داشت. این شرایط به ترتیب معادل ۵۱ و ۴۲ درصد تغییرات نسبت به دوره پایه خواهد بود. براساس سناریوی RCP4.5 پتانسیل یا انباشت گرمایی در دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) به ترتیب ۳۹۰ و ۶۸۰ درجه روز فعال افزایش خواهد داشت که معادل ۹/۳ و ۱۵/۱ درصد افزایش انباشت و توان گرمایی مناطق کشت درخت سیب، نسبت به دوره پایه می‌باشد (جدول ۶).

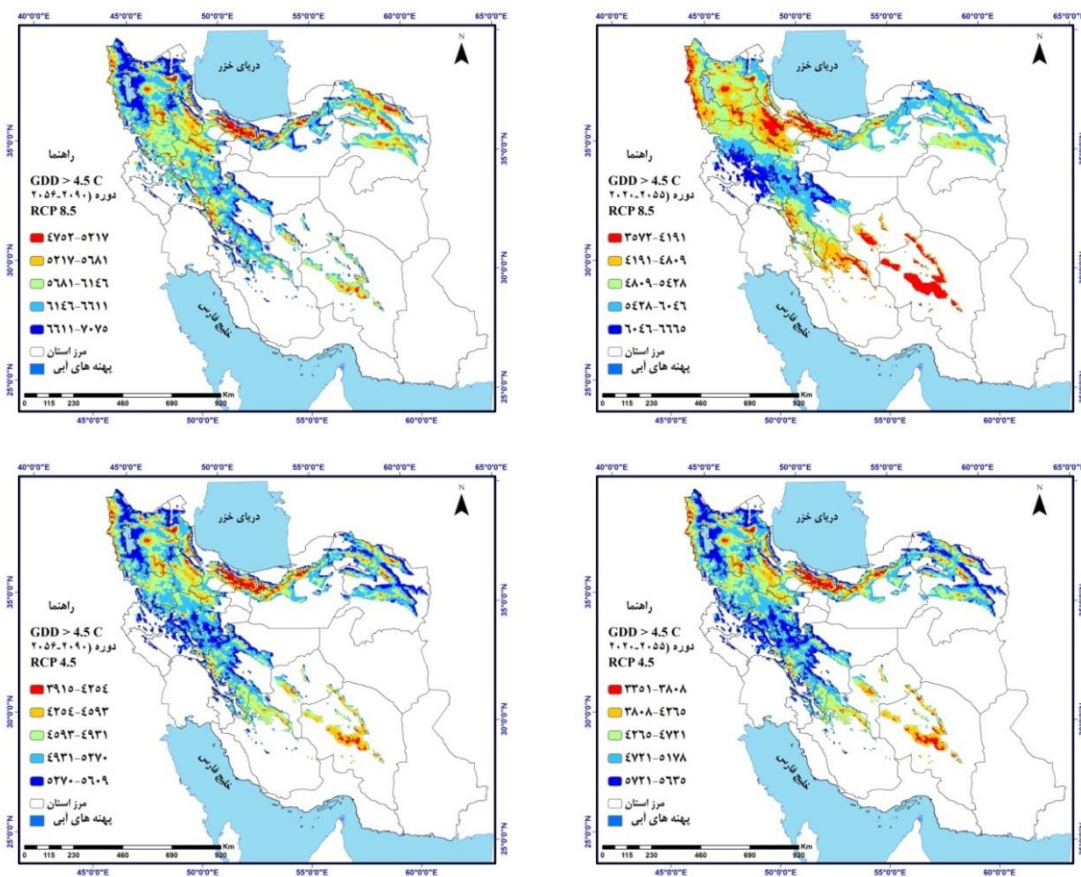
جدول ۶- متوسط تغییرات پتانسیل یا انباشت گرمایی در آستانه ۴/۵ درجه سانتی‌گراد در مناطق کشت درخت سیب در آینده

RCP4.5		RCP8.5		RCP4.5		RCP8.5		دوره پایه	آستانه زیستی سیب (۴/۵)
۲۰۵۶-۲۰۹۰		۲۰۲۰-۲۰۵۵		۲۰۵۶-۲۰۹۰		۲۰۲۰-۲۰۵۵			
درصد تغییرات	درجه روز	درصد تغییرات	درجه روز	درصد تغییرات	درجه روز	درصد تغییرات	درجه روز		
۱۵/۱	۴۴۸۵	۹/۳	۴۱۵۴	۴۲	۵۵۳۷	۵۱	۴۸۹۷	۳۷۶۵	



شکل ۷- تغییرات پتانسیل گرمایی مناطق کشت درخت سیب در آستانه زیستی (۴/۵ درجه سانتی‌گراد) براساس سناریوی RCP8.5 نسبت به دوره پایه

RCP8.5 نسبت به دوره پایه

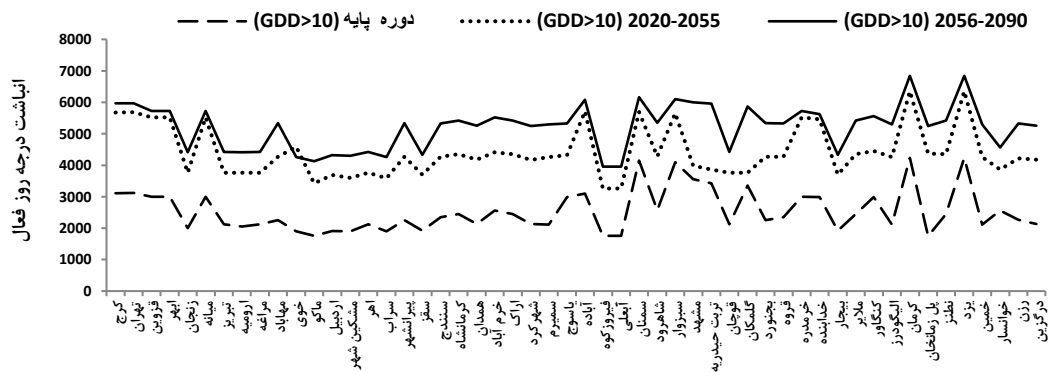


شکل ۹- توزیع مکانی پتانسل و انباشت گرمایی مناطق کشت درخت سبب بالاتر از آستانه زیستی درخت سبب (۴/۵ درجه سانتی گراد) در دوره آینده نسبت به دوره پایه

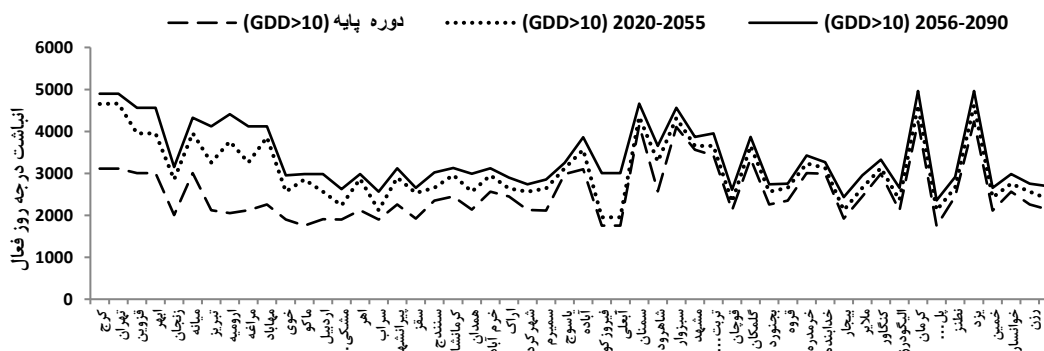
نتایج تغییرات پتانسیل و انباشت گرمایی بالاتر از آستانه ۱۰ درجه سانتی گراد در مناطق کشت درخت سبب براساس سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در شکل‌های (۱۰) و (۱۱) مشخص شده است. نتایج نشان داد که پتانسیل گرمایی در این آستانه نیز نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت. به طوری که براساس سناریوی RCP8.5 به طور متوسط در مناطق کشت درخت سبب پتانسیل یا انباشت گرمایی در آستانه ۱۰ درجه سانتی گراد در دوره‌های (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و (۲۰۹۰-۲۰۵۶) به ترتیب ۱۵۰۰ و ۱۸۰۰ درجه روز فعال افزایش خواهد داشت که معادل ۳۶ و ۲۳ درصد تغییرات نسبت به دوره پایه می‌باشد. براساس سناریوی RCP4.5 در دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و (۲۰۹۰-۲۰۵۶) به ترتیب ۵۵۰ و ۸۶۰ درجه روز فعال افزایش خواهد داشت که برابر با ۱۷ و ۲۵ درصد تغییرات می‌باشد (جدول ۸).

جدول ۸- متوسط تغییرات پتانسیل گرمایی یا انباشت گرمایی در آستانه ۱۰ درجه سانتی گراد در مناطق کشت درخت سبب در آینده

RCP4.5		RCP8.5		دوره پایه	آستانه ۱۰ درجه سانتی گراد
۲۰۵۶-۲۰۹۰	۲۰۲۰-۲۰۵۵	۲۰۵۶-۲۰۹۰	۲۰۲۰-۲۰۵۵		
درصد تغییرات	درصد تغییرات	درصد تغییرات	درصد تغییرات	درصد تغییرات	درصد تغییرات
۲۵	۳۴۰۱	۱۷	۳۰۶۸	۲۳	۵۲۲۲
				۳۶	۴۴۱۶
				۲۵	۲۵۴۴



شکل ۱۰- تغییرات پتانسیل یا انباشت گرمایی مناطق کشت سیب براساس آستانه ۱۰ درجه سانتی گراد براساس سناریوی RCP8.5 نسبت به دوره پایه



شکل ۱۱- تغییرات توان گرمایی مناطق کشت سیب براساس آستانه ۱۰ درجه سانتی گراد براساس سناریوی RCP4.5 نسبت به دوره پایه

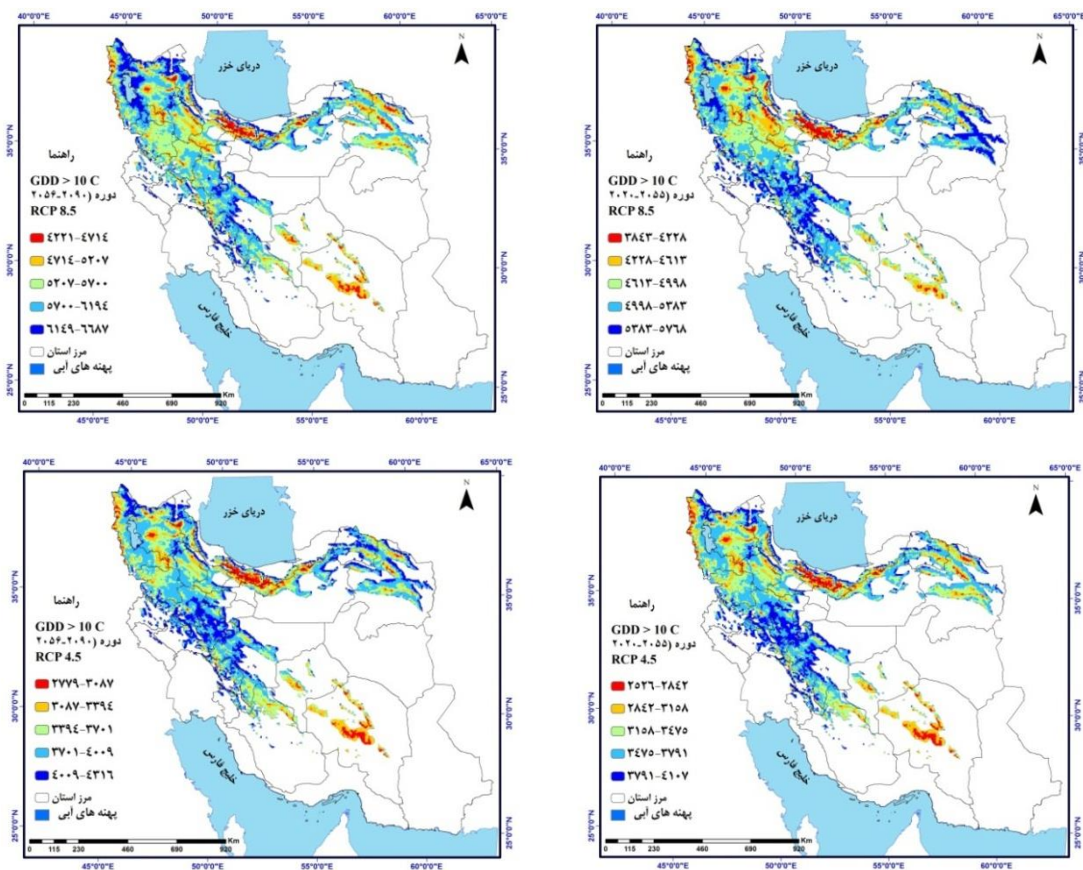
به منظور توزیع مکانی پتانسیل یا انباشت گرمایی در آستانه ۱۰ درجه سانتی گراد نتایج ارتباط و معادله‌های خط بین پتانسیل گرمایی با مولفه‌های مکانی در جدول (۹) مشخص شده است. نتایج نشان داد که در این آستانه نیز ارتباط قابل قبولی بین مولفه‌های مکانی و پتانسیل گرمایی وجود دارد. در این آستانه نیز ارتباط در سطح ۰/۰۵ معنی دار مشاهده شد.

جدول ۹- نتایج ارتباط و معادله‌های خط بین پتانسیل گرمایی مناطق کشت سیب در آستانه ۱۰ درجه سانتی گراد با مولفه‌های مکان در دوره آینده

معادله خط	R ²	R	پتانسیل گرمایی
$Y=15656.506+11.292 Lon-291.921 Lat-1.267 Elv$	۰/۳۶	۰/۶۶	دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) براساس سناریوی RCP8.5
$Y=13462.610+42.119 Lon-242.178 Lat-1.145 Elv$	۰/۶۴	۰/۸۸	دوره (۲۰۵۶-۲۰۹۰) براساس سناریوی RCP8.5
$Y=9135.402+21.844 Lon-137.1091 Lat-1.185 Elv$	۰/۴۳	۰/۶۵	دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) براساس سناریوی RCP4.5
$Y=7020.326+30.766 Lon-89.498 Lat-1.281 Elv$	۰/۳۳	۰/۵۸	دوره (۲۰۵۶-۲۰۹۰) براساس سناریوی RCP4.5

Lon: طول جغرافیایی Lat: عرض جغرافیایی Elv: ارتفاع از سطح دریا

توزیع مکانی یا الگوی فضایی پتانسیل یا انباشت گرمایی براساس آستانه ۱۰ درجه سانتی گراد در شکل (۱۲) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که در مناطق کشت سیب براساس سناریوی RCP8.5 در دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) انباشت گرمایی از ۳۸۴۳ درجه روز فعال در مناطق مرتفع تا ۵۷۶۸ درجه روز فعال در مناطق کم ارتفاع متغیر خواهد بود. در دوره (۲۰۹۰-۲۰۵۶) این شرایط از ۴۲۲۱ درجه روز فعال در نقاط مرتفع تا ۶۶۸۷ درجه روز فعال در مناطق کم ارتفاع افزایش خواهد یافت. براساس سناریوی RCP4.5 توان گرمایی در دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) از ۲۵۲۶ درجه روز در مناطق مرتفع تا ۴۱۰۷ درجه روز در نقاط کم ارتفاع متغیر خواهد بود. در دوره (۲۰۹۰-۲۰۵۶) نیز این شرایط از ۲۷۷۹ درجه روز فعال در ارتفاعات بالا تا ۴۳۱۶ درجه روز فعال در مناطق کم ارتفاع افزایش خواهد یافت. مناطق شمال شرقی، نیمه غربی و زاگرس مرتفع، نواحی حاشیه مراکز داخلی کشور و اطراف دریاچه ارومیه از بالاترین سطح انباشت گرمایی برخوردار می‌باشند.



شکل ۱۲- توزیع مکانی انباشت گرمایی یا پتانسل گرمایی مناطق کشت درخت سیب بالاتر از آستانه ۱۰ درجه سانتی گراد در دوره آینده نسبت به دوره پایه

بررسی‌ها نشان داد که تغییر اقلیم مهم‌ترین تهدید و چالش محیطی پیش روی بشر است، که با تغییر در الگوها و مولفه‌های اقلیمی، بر تمام جنبه‌های حیات در زیست کره تاثیر خواهد گذاشت. بخش کشاورزی و زیر بخش باغبانی به عنوان یکی از مهم ترین کاربری‌های تامین کننده اشتغال، ارزآوری، استقلال اقتصادی و تامین امنیت غذایی به شدت نسبت به تغییرات اقلیمی، بخصوص افزایش دما حساس است. نتایج نشان داد که یکی دیگر از نمودهای اصلی تغییرات آب و هوایی دوره آیند به صورت افزایش انباشت گرمایی بیشتر در مناطق مختلف خودنمایی خواهد کرد. سرعت نمو گیاه به تجمع دماهای متوسط روزانه بستگی دارد. هر چه دمای هوا سریعتر تجمع یابد، گیاه سریعتر مراحل رشد و نمو را طی می‌کند (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۹: ۹۳). نتایج نشان داد که پتانسیل و انباشت گرمایی مناطق کشت درخت سیب در دوره‌های آینده نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. افزایش پتانسیل و انباشت گرمایی موجب کاهش طول دوره رشد درخت سیب خواهد شد و در واقع درخت سیب سیکل رویشی و زایشی خود را زودتر تکمیل خواهد کرد. هر چند افزایش انباشت گرمایی در اثر افزایش دمای هوا موجب افزایش رشد رویشی و امکان رشد دو محصول در کنار هم خواهد شد، اما برای درختان میوه خزان کننده و نقاط سردسیر، انباشت گرمایی یک مخاطره جدی خسارت زا محسوب می‌شود (غریبی، ۱۳۹۵). با توجه به نتایج بدست آمده در این تحقیق، انباشت گرمایی زیادی در مناطق کشت درخت سیب که جزو مناطق مرتفع و سردسیر ایران هم محسوب می‌شوند، تجمع پیدا خواهد کرد. این شرایط آثار منفی بیشتری بر کیفیت، طعم و رنگ پذیری واریته‌های پاییزه یا دیررس تجاری خواهد گذاشت. نتایج این بخش مطالعات محمدی و همکاران (۱۳۹۳) را تایید می‌نماید. آنها براساس سناریوهای RCP مشخص نمودند که در آینده با توجه به افزایش دمای هوا و بالا رفتن میزان درجه روزهای رشد، طول فصل رشد درخت سیب و دیگر درختان میوه مشابه، کوتاهتر خواهد شد. در اثر افزایش دمای هوای ناشی از اثرات تغییر

اقلیم براساس سناریوهای واداشت تابشی، پتانسیل و توان انباشت گرمایی مناطق کشت درخت سیب برای کشت گونه‌های مختلف افزایش خواهد داشت. نتایج مطالعات غربی (۱۳۹۱) بر روی درخت زیتون در منطقه طارم نشان داد که انباشت گرمایی از روند افزایشی برخوردار بوده و این انباشت واحدهای گرمایی برای درخت زیتون در پیوند با گرمایش جهانی است. افزایش دمای هوا برای درختان خزان کننده با نیاز سرمایی بالا، یک مخاطره جدی محسوب می‌شود و بایستی برنامه‌های سازگانه طراحی شود. مطالعات (Ramirez & Kallarackal, 2015) در بررسی واکنش درختان میوه به گرمایش جهانی و تغییر اقلیم نشان داد که انباشت گرمای زیاد، محدوده مناسب کشت درختان مناطق سردسیر مانند درخت سیب را تغییر خواهد داد. افزایش دمای هوا و تجمع زود هنگام واحدهای حرارتی در مراحل رشد و نمو، موجب کاهش فصل رشد و همچنین کاهش عملکرد و کیفیت محصولات باغی مناطق معتدله و سردسیر ایران خواهد شد. با توجه به این شرایط، مناطق کشت درخت سیب در ایران در آینده به نواحی مرتفع‌تر کشیده خواهد شد، زیرا همانطور که مشخص شد درخت سیب یک نبات مناطق سردسیر بوده و این افزایش پتانسیل گرمایی با کاهش طول فصل رشد، کیفیت میوه سیب را کاهش می‌دهد. افزایش انباشت گرمایی هر چند از نظر رشد رویشی برای درخت مناسب بوده و امکان رشد گونه‌های دیگر در کنار درخت سیب را فراهم می‌سازد، اما رشد زایشی و عملکرد و کیفیت میوه را تحت تأثیر قرار خواهد داد. از طرفی دیگر با چنین انباشت گرمایی، وضعیت رطوبت خاک مناطق کشت درخت سیب در اثر افزایش دمای هوا خشک‌تر شده، لذا افزایش نیاز آبی نیز به دلیل خشکی خاک بالا می‌رود و توان تامین آب در بعضی مناطق کشت درخت سیب در ایران مانند شمال شرق و نواحی حاشیه مناطق بیابانی با کمبود بیشتر مواجه خواهند شد. بنابراین افزایش دمای هوا دوره آینده در اثر تغییر اقلیم، یک مخاطره و تنش جدی برای درختان خزان کننده مناطق معتدله و سردسیر ایران مانند سیب محسوب می‌شود. انجام برنامه‌های سازگانه با هدف اصلاح الگوی کشت و اصلاح واریته‌ها حائز اهمیت است.

نتیجه گیری

مطالعه حاضر با هدف آشکار سازی اثرات تغییر اقلیم بر پتانسیل و انباشت گرمایی مناطق کشت درخت سیب در ایران بر اساس سناریوهای واداشت تابشی و آخرین گزارش تغییر اقلیم واکاوی گردید. نتایج نشان داد که پتانسیل و انباشت گرمایی مناطق کشت درخت سیب در دوره آینده نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. یکی از اثرات افزایش و تغییر الگوهای دمایی در آینده برای درختان میوه، به صورت افزایش انباشت گرمایی آشکار خواهد شد. افزایش انباشت گرمایی موجب کاهش طول دوره رشد درختان میوه بخصوص درختان خزان کننده مانند سیب خواهد شد. در واقع درختان میوه، چرخه رویشی و زایشی خود را زودتر تکمیل خواهند کرد. تکمیل زود هنگام مراحل فنولوژی درختان سیب پاییزه و دیگر درختان میوه مشابه، پیامدهایی مانند کاهش عملکرد، کاهش کیفیت و رنگ پذیری و توان رقابتی در بازار صادراتی را در پی خواهد داشت. با توجه به این شرایط، مناطق مساعد کشت درخت سیب در آینده برای دستیابی به شرایط اقلیمی مناسب‌تر، به نواحی مرتفع‌تر کشیده خواهد شد. از طرفی دیگر با چنین انباشت گرمایی، وضعیت رطوبت خاک مناطق کشت درخت سیب در اثر افزایش دمای هوا خشک‌تر شده، لذا افزایش نیاز آبی نیز به دلیل خشکی خاک بالا می‌رود و توان تامین آب در بعضی مناطق کشت سیب کشور مانند شمال شرق و نواحی حاشیه مناطق بیابانی با کمبود و تنش جدی در تامین آب برای رفع نیاز آبی مواجه خواهد شد. بنابراین افزایش دمای هوا و انباشت گرمایی بالا در اثر گرمایش جهانی و تغییرات آب و هوایی در آینده، برای درختان خزان کننده یک تهدید و تنش جدی از طریق کاهش عملکرد و عدم تامین سرمای زمستانه لازم خواهد بود. برای دیگر درختان میوه مانند گرم‌سیری و نیمه گرم‌سیری، این افزایش انباشت گرمایی می‌تواند یک فرصت باشد. با توجه به نتایج مطالعه حاضر، کشت و تولید محصول استراتژیک سیب درختی در ایران در آینده با ریسک تغییر اقلیم و افزایش دمای هوا همراه خواهد بود، بنابراین انجام برنامه‌های تغییر الگوی کشت، اصلاح واریته‌ها به سمت واریته‌های بومی و زودرس، ساده‌ترین و کم هزینه‌ترین راهکارها برای اهداف سازگانه در شرایط تغییر اقلیم محسوب می‌شود.

منابع

- آمار نامه محصولات باغی کشور ۱۳۹۴. وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات.
- بنی ها شمی، ضیالالدین. ۱۳۹۵. تغییر های اقلیمی و بیماری های گیاهی. *مجله پژوهش های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، ۱(۲): ۱۷۲-۱۶۵.
- اداوی، ظهرا ب. ۱۳۹۳. شبیه سازی اثرات تغییر اقلیم بر تولید سیب زمینی در منطقه فریدن شهر اصفهان و ارائه راهکارهای سازگاری براساس رهیافت های مدل سازی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد.
- ترکمان، مجتبی. ۱۳۹۴. بررسی اثر گرمایش و تغییر اقلیم بر ویژگی های زراعی و تولید سیب زمینی در ایران، پایان نامه دکتری، دانشگاه فردوسی، دانشکده کشاورزی، گروه اکولوژی گیاهان زراعی. مشهد.
- صمدی یزدی، بهمن. ۱۳۹۶. کاربرد فناوری های آینده نگر در تامین امنیت غذایی در ایران و جهان، *مجله پژوهش های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، ۲(۱): ۲۸-۱۵.
- راحی، مجید. ۱۳۸۹. درختان میوه معتدله در اقلیم های گرم، چاپ اول. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، مشهد.
- سبزی پرور، علی اکبر، ولاشیدی، رضا نوروز. ۱۳۹۴. اثر تغییر اقلیم بر روند تامین نیاز سرمایی گیاهان خزان دار (مطالعه موردی: استان همدان) *نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۲۹(۳): ۳۶۷-۳۵۸.
- غریبی، خسرو. ۱۳۹۱. بررسی فنولوژی گلدهی و احتمال وقوع خسارت در زیتون (*Olea europaea L*) بر مبنای پارامترهای دمایی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی کرج، کرج.
- فلاح قاهره، غلامعباس. ۱۳۹۱. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر محدوده های کشت مرکبات در ایران، پایان نامه دکتری، دانشگاه اصفهان، اصفهان.
- محمدی، الهام، حجت اله یزدان پناه و فریبا، محمدی. ۱۳۹۳. بررسی رخداد تغییر اقلیم و تاثیر آن بر زمان کاشت و طول دوره رشد گندم دوروم (دیم) مطالعه موردی: ایستگاه سرارود کرمانشاه، *پژوهش های جغرافیای طبیعی*، ۴۶(۲): ۲۴۶-۲۳۱.
- قهرمان، نوذر، ایمان بابائیان و سید محمدرضا طباطبایی. ۱۳۹۵. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی و طول دوره رشد گیاه نیشکر تحت سناریوهای واداشت تابشی. *نشریه حفاظت منابع آب و خاک*، ۱(۶): ۷۳-۶۳.
- کوچکی، علیرضا، مهدی نصیری محلاتی و لیلا جعفری. ۱۳۹۴. بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر کشاورزی ایران: پیش بینی وضعیت آگروکلیماتیک آینده. *نشریه پژوهش های زراعی ایران*، ۱۳(۴): ۶۶۴-۶۵۱.
- یعقوب زاده، مصطفی، محسن احمدی، سعید برومند نسب و سید ابوالقاسم حقایقی مقدم. ۱۳۹۵. اثر تغییر اقلیم بر روند تغییرات تبخیر - تعرق در طی دوره رشد گیاهان مزارع آبی و دیم با استفاده از مدل های جفت شده، *نشریه پژوهش آب در کشاورزی*، ۳۰(۴): ۵۲۳-۵۱۲.
- Guo, L., J. Dai, M. Wang, J. Xu and E. Luedeling. 2015. Responses of spring phenology in temperate zone trees to climate warming: a case study of apricot flowering in China. *Agricultural and Forest Meteorology*, **201**: 1-7. DOI: S0168192314002676
- Alvolio, A. Orlandi, F. Bellecci, C. (2012). Assessment of the impact of climate change on the Olive flowering in Calabria(Southern Italy). *Theoretical and Applied Climatological*, 107:531-540. Doi:org/10.1007/s00704-011-0500-2
- Darbyshir, R. L. Webb, I. Goodwin, and E.W.R. Barlow. 2013. Impact of future warming on winter chilling I Australia. *International Journal of Biometeorology*, **57**:355-366. DOI: org/10.1007/s00484-012-0558-2
- Grab, S. A. Craparo. 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. DOI: org/10.1016/j.agrformet.2010.11.001
- Gutierrez, A. P., L. Ponti, Q. A. and Cossu. 2009. Effects of climate warming on olive and olive fly (*Bactrocera oleae* (Gmelin) in California and Italy. *Climatic Change*, **95**(1): 195-217. Doi.org/10.1007/s10584-008-9528-4
- Jones, P. G., P. K.Thornton. 2013. Generating downscaled weather data from a suite of climate models for

- agricultural modelling applications. *Agricultural Systems*, **114**: 1-5. Doi.org/10.1016/j.agsy.2012.08.002
- Machovina, B. K.J. Feeley. 2013. Climate change driven shifts in the extent and location of areas suitable for export banana production. *Ecological Economics*, **95**: 3-95. doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.08.004
- Nouri, M., M. Homaei, M. Bannayan, G. Hoogenboom. 2017. Towards shifting planting date as an adaptation practice for rainfed wheat response to climate change. *Agricultural Water Management*, **186**: 108-119. doi.org/10.1016/j.agwat.2017.03.004
- Ramirez, A. T.L. Davenport. 2013. Apple pollination: A review. *Scientia Horticulture*, **162**: 188-203.
- Ramirez, F. J. Kallarackal. 2015. Responses of fruit trees to the global climate change. Springer Cham Heidelberg New York, Dordrecht London. ISBN. 978-3-319-14199-2.
- Wang, H. Q, J. Ge, Z. Dai, Tao. N. 2015. Geographical pattern in first bloom variability and its relation to temperature sensitivity in the USA and China. *International Journal of Biometeorology*, **59**:961-969. doi.org/10.1007/s00484-014-0909-2
- Zhang, Y. Y. Wang, and H. Niu. 2017. Spatio-temporal variations in the areas suitable for the cultivation of rice and maize in China under future climate scenarios, *Total Environment*, **601-602**: 518-531. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.232