

مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دوره هشتم، شماره‌ی بیست و نهم، پاییز ۱۳۹۶

دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۱/۲۱ تأیید نهایی: ۱۳۹۶/۰۶/۲۰

صص ۱۷-۳۲

ارزیابی پیامدهای تغییر اقلیم بر روند و ساختار پارامترهای آب‌وهوایی مؤثر بر تولید پسته مطالعه‌ی موردی: سبزوار

محمد باعقیده*، دانشیار اقلیم‌شناسی-دانشگاه حکیم سبزواری

الهه عسگری، دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی-دانشگاه حکیم سبزواری

عبدالرضا کاشکی، استادیار اقلیم‌شناسی-دانشگاه حکیم سبزواری

چکیده

مطالعه‌ی اثرات تغییر اقلیم بر محصولات کشاورزی و شاخص‌های آگروکلیمایی می‌تواند موجب بهبود و توسعه‌ی راهبردهای مدیریتی در ارتباط با نیازهای مهم کشاورزی در دهه‌های آینده باشد و زمینه‌ساز اتخاذ روش‌های سازگاری و کاهش اثرات سوء تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی گردد. هدف این مطالعه، بررسی پیامدهای تغییر اقلیم بر ساختار و روند پارامترهای آب و هوایی مؤثر بر تولید پسته (رقم کله‌قوچی) بر اساس رویکرد جدید در گزارش IPCC-AR5 در شهرستان سبزوار است. جهت انجام این پژوهش ابتدا بر مبنای داده‌های اقلیمی مشاهداتی در دوره‌ی ۲۰۰۵-۱۹۷۶ نیازهای حرارتی پسته بر اساس شاخص وینکلر محاسبه و سپس ۲۴ شاخص دما و بارش و روند هر یک از آنها با استفاده از آزمون من‌کندل و شیب سن استخراج گردید. در نهایت، نیاز آبی برای هر یک از مراحل فنولوژی محصول برآورد شد. در ادامه با ریزمقیاس‌گردانی داده‌های خروجی مدل CanESM2 به کمک نرم‌افزار SDSM پارامترهای اقلیمی تحت سناریوهای (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5) در دوره‌ی ۲۰۴۰-۲۰۱۱ شبیه‌سازی شد. نتایج بررسی شاخص‌های دمایی و بارشی برای دوره‌ی مشاهداتی بیانگر این بود که میانگین دمای فصل رشد ۰/۶ درجه‌ی سانتی‌گراد در دهه، دارای روند افزایشی است. خروجی شاخص‌های بارشی نشان از کاهش قابل ملاحظه‌ی این پارامترها در طول مراحل سوم، چهارم و پنجم (مراحل رسیدن میوه) دارد. یافته‌ها برای دوره‌ی آتی نشان داد که متوسط دما برای سناریوهای RCP4.5, RCP2.6 و RCP8.5 در فصل رشد در محدوده‌ی ۰/۶ تا ۰/۸ درجه‌ی سانتی‌گراد دارای روند افزایشی خواهد بود که این امر سبب تسریع در گلدهی و رسیدگی زودتر محصول نسبت به دوره‌ی مشاهداتی می‌گردد. بارش در همه‌ی سناریوها در طول مرحله‌ی سوم، چهارم و پنجم فنولوژی نسبت به دوره‌ی پایه کاهش یافته است. با توجه به افزایش دما و کاهش بارش در طول مراحل رشد، نیاز آبی محصول (ETC) باید از طریق آبیاری بیش‌تر جبران گردد.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، کشاورزی، پسته، سبزوار.

۱- مقدمه

در دهه‌های آینده، تغییر اقلیم بر امنیت غذایی و آب اثر خواهد گذاشت و شواهد محکمی مبنی بر این‌که کشورهای در حال توسعه متحمل فشار ناشی از پیامدهای زیان‌بار تغییر اقلیم می‌شوند، وجود دارند (مؤمنی و زیبایی، ۱۳۹۲: ۱۷۰). بخش کشاورزی به دلیل وابستگی‌اش به وضعیت منابع آب و درجه‌ی حرارت، آسیب‌پذیرترین بخش نسبت به تغییر اقلیم است (آشفته، ۱۳۹۱: ۱۴۱). عمده‌ترین علت تغییر اقلیم در سال‌های اخیر افزایش گازهای گلخانه‌ای بوده است. در بین گازهای گلخانه‌ای، دی‌اکسید کربن بیش‌ترین اثر تابشی را بر موازنه گرمایی کل زمین می‌گذارد. از آنجایی‌که متغیرهای اقلیمی به‌عنوان یکی از ورودی‌های اصلی در فرآیند تولید محصولات کشاورزی محسوب می‌شوند، لذا هرگونه تغییر در مقدار میانگین و انحراف معیار آن‌ها می‌تواند در میزان تولید و عملکرد محصولات کشاورزی مؤثر باشد. یک شاخص حساس و قابل دیده‌بانی از پاسخ گیاه به تغییر اقلیم، تغییرات در دوره‌های فنولوژی گیاهی است. متأسفانه داده‌های بسیار کمی از اندازه‌گیری‌های فنولوژی گیاهی برای بررسی ارتباط بین گرمایش جهانی دهه‌های اخیر و تغییر در فنولوژی گیاهی (در سراسر جهان) وجود دارد (Sparks et al., 2005: 531)؛ اما مطالعات انجام‌شده نشان از تغییرات در حال وقوع در دوره‌های فنولوژیکی در گیاهان دارد. مطالعه‌ی تاریخ اولین شکوفه دهی بر سه گونه‌ی درختی (هلو، گیلان و اقلانیا) و دو گونه‌ی درختچه‌ای (فورسینیه و ازالیه) در فصل بهار ۱۹۲۲-۲۰۰۴ در سنول کره جنوبی نشان می‌دهد که تاریخ اولین شکوفه‌دهی برای گونه‌های درختی به میزان ۱/۴ تا ۲/۴ روز بر دهه‌ی و برای گونه‌های درختچه‌ای ۰/۵ روز، زودتر اتفاق افتاده است (Ho et al., 2006: 1727). ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر عملکرد گیاهان چندساله از جمله انگور، پسته، پرتقال، گردو و آوآدو در کالیفرنیا نشان می‌دهد که اثر منفی تغییر اقلیم بر عملکرد این محصولات حتمی و کاهش محصول تا بیش از ۴۰ درصد قابل پیش‌بینی است (Lobell et al., 2006: 208). پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر تولید گندم با استفاده از خروجی‌های مدل UKMO در غرب و شمال غرب ایران حکایت از کاهش ۱۸ درصدی متوسط محصول تا سال ۲۰۲۵ و ۲۴ درصدی آن تا سال ۲۰۵۰ دارد که این کاهش در اثر کاهش بارندگی و کوتاهی طول دوره‌ی رشد گندم بوده است (نصیری و همکاران، ۲۰۰۶: ۱). راموس^۱ و همکاران (۲۰۰۸) در پژوهشی به بررسی اثرات پارامترهای اقلیمی دما و بارش بر تولید انگور در شمال شرق اسپانیا پرداختند که نتایج گویای افزایش ۱ تا ۲/۲ درجه‌ی سانتی‌گراد شاخص‌های دمایی و کاهش بارش در منطقه است. اسمیت^۲ و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهشی به بررسی پیامدهای تغییر اقلیم بر نیاز آبی محصولات کشاورزی (مرکبات، پسته، زردآلو، انگور، پیاز و سیب‌زمینی) در جنوب استرالیا پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که نیاز آبی دو محصول زردآلو و پسته در دهه‌ی ۲۰۳۰ افزایش می‌یابد. ارزیابی اثر تنش گرمایی ناشی از تغییر اقلیم بر ۴ محصول استراتژیک (گندم، برنج، ذرت و سویا) در سطح جهان با استفاده از مدل GAZE^۳ نشان می‌دهد که بیش‌تر مناطق تحت تنش گرمایی در عرض‌های جغرافیایی ۴۰ تا ۶۰ درجه‌ی شمالی (مرکز و شرق آسیا، مرکز آمریکای شمالی و قسمت‌های شمالی هند) واقع شده‌اند (Teixeira et al., 2013: 206). اسنگ^۴ و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیقی به شبیه‌سازی تولید گندم در دماهایی مختلف پرداختند نتایج این مطالعه نشان داد تولید گندم در دماهای بالا کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از بررسی رویدادهای فرین (سیل، خشک‌سالی و امواج گرمایی) بر روی تولید غلات در سراسر جهان نشان می‌دهد که در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۷-۱۹۶۴ تولید غلات به میزان ۹ تا ۱۰ درصد کاهش یافته است که حدود ۷٪ این کاهش در اثر خشک‌سالی بوده و در این بین، کشورهای توسعه‌یافته به میزان ۸ تا ۱۱ درصد نسبت به کشورهای در حال توسعه کم‌تر آسیب دیده‌اند (Lesk et al., 2016: 84). یِن و همکاران^۵ (۲۰۱۶) با ارزیابی اثرات پارامترهای آب‌وهوایی، خشک‌سالی و نیاز آبی بر عملکرد ذرت در شمال شرقی چین دریافتند که افزایش دمای

1- Ramos

2- Smith

3- Global Agro-Ecological Zones Model

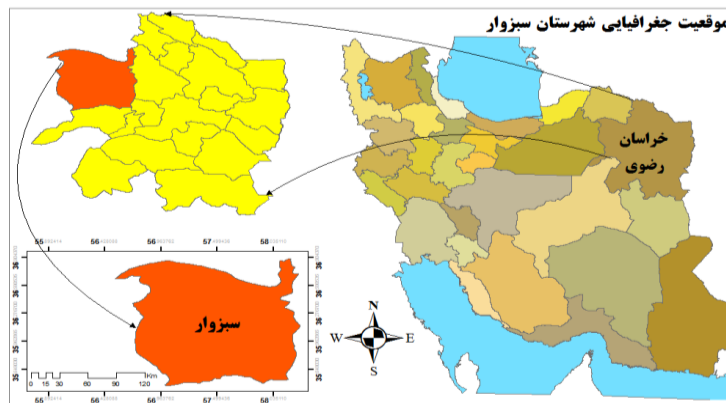
4- Asseng

5- Yen

میانگین در مراحل کاشت و بلوغ بر عملکرد ذرت تأثیر مثبت دارد؛ درحالی که بارش بیش از حد به‌ویژه در مراحل کاشت و گلدهی به عملکرد ذرت آسیب می‌رساند. در سطح کشور مطالعاتی در مورد پیامدهای تغییر اقلیم بر طول فصل رشد و عملکرد محصولات کشاورزی صورت گرفته است. تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد محصولات اصلی حوضه‌ی زاینده‌رود توسط مساح و مرید (۱۳۸۴) مورد بررسی قرار گرفت. این پژوهش تحت داده‌های مدل گردش عمومی HADCM3 و دو سناریوی A2 و B2 در دوره‌ی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ انجام شد که نتایج حاکی از کاهش عملکرد و افزایش ضریب تغییرات سالانه تولید محصولات بود. در ادامه، در جهت تطبیق با این شرایط، تغییر در الگوی کشت و به‌طور مشخص جایگزینی گندم به‌جای برنج به‌منظور کاهش مصرف آب و افزایش تولید کالری توصیه گردید. واثقی و اسماعیلی (۱۳۸۷) در مطالعه‌ای به اندازه‌گیری اثرات اقتصادی تغییر اقلیم بر تولید محصول گندم با استفاده از روش ریکاردین پرداختند. نتایج مطالعه نشان داد که متغیرهای اقلیمی آثار معنادار و غیرخطی بر درآمد خالص به ازای هر هکتار کشت گندم دارند. اثرات بالقوه‌ی تغییر اقلیم بر میزان و توزیع رفاه حاصل از بخش کشاورزی در استان فارس نشان می‌دهد که درجه‌حرارت و بارندگی اثر معنی‌دار و غیریکنواخت بر محصولات بر جای می‌گذارند و دما در تغییر رفاه جامعه، فاکتور مؤثرتری از بارندگی است (مؤمنی و زیبایی، ۱۳۹۲: ۱۶۲). محمدی و همکاران (۱۳۹۴) در مقاله‌ای با عنوان «بیماری‌ها و تغییرات اقلیمی، تهدیدی برای تولید پسته در ایران» به اثر تغییر اقلیم در گسترش بیماری‌ها پرداختند و با معرفی بیماری‌های جدید راه‌کارهایی را در جهت کاهش خسارت ناشی از تغییر اقلیم ارائه دادند. هم‌چنین کریمی و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای نشان دادند که تغییر اقلیم سبب افزایش شوری خاک می‌شود که این امر یک تهدید جدی برای صنعت کشت و تولید پسته در ایران است. کوچکی و نصیری (۱۳۹۵) در پژوهشی به ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیمی بر تولید و عملکرد ۴ گونه مهم زراعی به‌وسیله‌ی مدل گردش عمومی GFDL در ایران پرداختند. نتایج نشان داد که میانگین عملکرد گندم، ذرت، نخود و چغندر در سال 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 است. هم‌چنین افزایش دما، طول کل دوره‌ی رشد و نیز طول دوره‌ی پر شدن دانه را در گیاهان دانه‌ای کاهش می‌دهد. بر اساس نتایج پژوهش‌های صورت گرفته، تغییر اقلیم برای برخی جوامع و نواحی اقلیمی مسئله‌ساز و موجب بروز مشکلات فراوانی در تولید محصولات کشاورزی خواهد شد (Challinor & at al, 2007: 190)؛ بنابراین مدل‌سازی و شناخت پیامدهای گرمایش جهانی می‌تواند از دیدگاه مدیریتی و برنامه‌ریزی برای کاهش اثرات و سازگاری با این پدیده بسیار ارزشمند باشد. هدف پژوهش حاضر ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر شاخص‌های اقلیمی مؤثر بر تولید پسته در ایستگاه سبزوار است. در این راستا از نرم‌افزار SDSM جهت ریزمقیاس‌نمایی داده‌های نسل دوم مدل گردش عمومی CanEMS2 که توسط مرکز تحقیقات آب و هوایی کانادا تحت سناریوهای جدید تغییر اقلیم مدل‌سازی شده است، استفاده گردید.

۲- منطقه مورد مطالعه

سبزوار یکی از شهرستان‌های استان خراسان رضوی است که در محدوده‌ی جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۲ دقیقه‌ی عرض شمالی ۵۷ درجه و ۳۷ دقیقه طول شرقی و در فاصله ۲۴۰ کیلومتری غرب مشهد واقع گردیده است (شکل ۱). این شهرستان دارای آب‌وهوای بیابانی با تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد و خشک است. وضعیت طبیعی و آب و هوای سبزوار نشان‌دهنده‌ی استعداد طبیعی این منطقه برای پرورش محصولات کشاورزی مقاوم به خشکی است.



شکل ۱: منطقه‌ی مورد مطالعه

۳- مواد و روش‌ها

پسته (*Pistacia Vera*) به‌عنوان یکی از محصولات باغی و سومین کالای صادراتی ایران از اهمیت اقتصادی ویژه‌ای برخوردار است. تحمل به شوری، خشکی و توانایی رشد این گیاه در خاک‌های ضعیف از خصوصیات مهم پسته است که آن را برای کشت در زمین‌های حاشیه‌ی کویر مستعد نموده و منبع درآمد مهمی برای ساکنین این مناطق محسوب می‌شود (اسماعیل پور، ۱۳۸۵: ۸۵). مهم‌ترین ارقام پسته در ایران عبارت‌اند از: اوحدی، کله‌قوچی، اکبری، احمد آقایی، ممتاز، بادامی زرنند، شاه‌پسند، سفید پسته نوق، خنجری دامغان و قزوینی. نیاز سرمایی درخت پسته از ۶۰۰ ساعت با دمای کمتر از ۶ درجه‌ی سانتی‌گراد برای رقم کله‌قوچی تا ۱۲۰۰ ساعت با دمای کمتر از ۷ درجه‌ی سانتی‌گراد برای رقم اکبری متفاوت بوده است. عدم تأمین سرمای موردنیاز درخت پسته موجب تأخیر در گلدهی، گلدهی نامنظم، کاهش تعداد برگچه‌های برگ، تولید برگ‌های غیرطبیعی و ساده می‌شود. درخت پسته قادر به تحمل دمای ۴۵ درجه‌ی سانتی‌گراد در تابستان و دمای ۲۰- درجه‌ی سانتی‌گراد در زمستان است. برای داشتن حداکثر محصول، حداکثر مقدار رطوبت نسبی بایستی کمتر از ۳۵٪ باشد. این گیاه برای رساندن میوه‌ی خود به ۱۸۰-۱۶۰ روز (از گلدهی تا رسیدگی کامل و زمان برداشت) نیاز دارد. رقم انتخاب‌شده در این پژوهش، رقم کله‌قوچی است که با ۳۵۰۰ هکتار بیش‌ترین سطح زیر کشت شهرستان را داراست. نیاز آبی رقم مذکور ۳۰۰۰ مترمکعب بوده که در بین ارقام پسته، بالاترین نیاز آبی را دارد؛ عملکرد آن ۲ تن در هکتار است (جهاد کشاورزی خراسان رضوی، ۱۳۹۵: ۳۹). در این مطالعه، داده‌های روزانه‌ی هواشناسی شامل بیشینه، کمینه، میانگین دما و بارش به‌صورت روزانه در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۵-۱۹۷۶ از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. پس از بازسازی و بررسی صحت و همگنی داده‌ها، شاخص‌های اقلیم-کشاورزی مؤثر بر رشد پسته با انجام محاسبات و تبدیلات لازم بر روی پارامترهای اقلیمی استخراج شد که خروجی آن همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود در یک طبقه‌بندی کلی به دو دسته شاخص دما و بارش تقسیم شده است. شاخص‌های دمایی نیز خود شامل فصلی و سالانه می‌شوند که شاخص‌های فصلی عبارت‌اند از: متوسط، حداکثر و حداقل دمای فصل رشد، DTR یا دامنه‌ی دمای روزانه (اختلاف دمای کمینه و بیشینه) در طول ماه رسیدن به‌منظور به دست آوردن عوامل مؤثر در طعم، کیفیت و عطر محصول (Mullins et al., 1992: 239) شاخص‌های سالانه شامل: تعداد روزهای سالانه با دمای حداقل یا حداکثر کم‌تر از صدک ۱۰ ام و بیش‌تر از صدک ۹۰ ام است، بررسی وقوع یخبندان که به‌وسیله‌ی تعداد روزهای با دمای کم‌تر از صفر درجه‌ی سانتی‌گراد مشخص می‌شود و همچنین با توجه به گلدهی زودهنگام درخت پسته و آسیب دیدن جوانه تازه بیدار شده، درصد تعداد روزهای با شرایط فوق در مرحله‌ی گلدهی و استخوانی شدن پوسته نیز تعیین گردید. ارزیابی طول دوره‌ی بدون یخبندان که به‌وسیله‌ی فاصله زمانی بین وقوع دو یخبندان محاسبه می‌گردد. شاخص‌های بارش شامل مجموع بارش سالانه، مجموع بارش فصل رشد، بارش در طول مراحل مختلف فصل رشد، تعداد روزهای با بارش بیش از صدک ۹۵ ام (روزهای خیلی مرطوب)، درصد بارش سالانه ثبت‌شده در روزهای خیلی مرطوب

و حداکثر طول فصل خشک یا DPL (طول دوره‌ی بدون بارش) است. شایان ذکر است که وجه مشترک جدول شماره‌ی ۲ با پژوهش راموس و همکاران (۲۰۰۸) در شاخص‌های استفاده شده است. این شاخص‌ها در مطالعات مشابه دیگر، برای محصولات متفاوت همچون بادام، سیب و ... نیز مورد استفاده قرار گرفته است. تمام محاسبات انجام شده مربوط به شاخص‌ها بر اساس ویژگی‌های اقلیمی پسته مبتنی بر داده‌های اقلیمی ایستگاه سینوپتیک سبزوار است. همچنین با توجه به آب و هوای نیمه‌خشک منطقه و تابستان کم بارش، مقادیر تبخیر و تعرق (ETC) برای هر مرحله‌ی از رشد با استفاده از رابطه تبخیر و تعرق گیاه محاسبه شده است (وزیری و همکاران، ۱۳۸۷: ۱۲۶).

$$ET_C = ET_0 K_C$$

رابطه‌ی ۱

در این رابطه، ETC مقدار تبخیر و تعرق روزانه پسته در مراحل مختلف دوره‌ی رشد (mm/d)، K_C ضرایب گیاهی پسته در مراحل مختلف رشد و ETO مقدار تبخیر و تعرق مرجع (mm/d) است که با روش هارگریز-سامانی محاسبه شده است. لازم به ذکر است که در این پژوهش از ضرایب گیاهی (KC) پیشنهاد شده در نشریه‌ی شماره‌ی 56 FAO استفاده گردید (همان: ۱۳۳).

دو آزمون من-کندال (Z) و شیب سن استیمیتور (Q) جزو متداول‌ترین روش‌های ناپارامتری تحلیل روند سری‌های زمانی آب و هواشناسی به شمار می‌روند که توسط پژوهشگران بسیاری مورد تأیید و استفاده قرار گرفته‌اند (رسولی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۱) هر دوی این آزمون‌ها از تحلیل تفاوت بین مشاهدات یکسری زمانی بهره می‌گیرند و در این مطالعه برای ارزیابی روند شاخص‌های اقلیمی در مراحل مختلف فنولوژی مورد استفاده قرار گرفتند. بر این اساس سری‌های زمانی هر یک از ۱۲ شاخص مبتنی بر دما (ردیف‌های ۱ تا ۱۲ جدول ۲) و سری‌های زمانی شاخص‌های مبتنی بر بارش (ردیف‌های ۱۳ تا ۲۴ جدول ۲) به‌عنوان ورودی مورد آزمون قرار گرفتند. در آزمون من‌کندال پس از تعیین علامت هر سری زمانی آماره Z محاسبه می‌گردد و در نهایت فرض صفر مبنی بر عدم وجود روند مورد آزمون قرار می‌گیرد. زمانی این فرض تأیید می‌شود که $Z\alpha/2 < Z < Z\alpha/2$ باشد، فرض مقابل یا فرض تحقق بر وجود روند دلالت دارد و زمانی تأیید می‌شود که $Z < -Z\alpha/2$ باشد. در آزمون سن استیمیتور نیز برای هر جفت داده یکسری زمانی حاصل می‌آید که محاسبه میانه سری شیب‌های به‌دست آمده (Qmed) به‌عنوان شیب خط روند در نظر گرفته می‌شود؛ اگر این پارامتر مثبت باشد و روند صعودی و در صورت منفی بودن روند نزولی است. خروجی حاصل از اعمال آزمون‌های فوق بر روی ۲۴ شاخص اقلیمی مبتنی بر دما و بارش در بخش نتایج و بحث تشریح می‌شوند.

۳-۱- درجه‌ی روز-رشد

هر گیاه به تعداد واحد گرمایی معینی جهت جوانه‌زنی، رشد، به ساقه رفتن، بلوغ و رسیدن احتیاج دارد. این تعداد واحد گرمایی را ثابت حرارتی می‌نامند که از گیاهی به گیاه دیگر متفاوت است. یکی از مباحث مهم در آب و هواشناسی، بررسی درجه-روز است. درجه-روز متوسط دمای روزانه بالاتر از دمای پایه است. در اینجا دمای پایه برای شروع گل‌دهی پسته رقم کله‌قوچی ۷ درجه‌ی سانتی‌گراد در نظر گرفته شد (امیرزاده و همکاران، ۱۳۸۷: ۵۲). مقدار درجه‌ی روز-رشد برای ایستگاه سبزوار با استفاده از شاخص وینکلر محاسبه گردید. شاخص فوق از رابطه‌ی (۲) به دست می‌آید:

$$WI = \sum_{March}^{Sep} (T_m - 7)$$

رابطه‌ی ۲

در رابطه‌ی بالا WI شاخص وینکلر و T_m میانگین روزانه‌ی دما است. طبق این شاخص، مناطق کم‌تر از ۲۵۰۰ درجه روز رشد در طبقه‌ی اول، مناطق بین ۲۵۰۱ تا ۳۰۰۰ در طبقه‌ی دوم، ۳۰۰۱ تا ۳۵۰۰ در طبقه‌ی سوم و ۳۵۰۱ تا ۴۰۰۰ در طبقه‌ی چهارم و بیش‌تر از ۴۰۰۰ در طبقه‌ی پنجم قرار می‌گیرند (Winkler, 1974: 312). همچنین با استفاده از نرم‌افزار SMADA توزیع احتمال ۹۵ درصدی تاریخ‌های مراحل فنولوژی پسته برآورد گردید. در پژوهش حاضر، نیازهای حرارتی برای هر مرحله بر اساس نتیجه آزمایش‌هایی که برای تعیین آستانه‌ی حرارتی و نیاز گرمایی در سه رقم تجاری پسته (کله‌قوچی، احمدآقایی و اوحدی) توسط امیرزاده و همکاران (از مرکز تحقیقات پسته‌ی رفسنجان) به دست آمده،

استفاده شده است. پژوهش آن‌ها در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تیمار (ارقام مختلف)، سه تکرار (در سه شهر استان کرمان: سیرجان، رفسنجان و انار) و با سه دستگاه ترموهیدروگراف برای ثبت دما در طول آزمایش، انجام شد. کمترین ضریب تغییرات حرارت مؤثر محاسبه شده به‌عنوان آستانه‌ی حداقل حرارتی انتخاب شد. نتایج پژوهش آنان نشان داد که نیاز گرمایی از گلدهی تا تمام گل ۷ درجه روز-رشد تا سخت شدن پوسته استخوانی ۹۲۱/۴ درجه‌ی روز تا شروع رشد سریع مغز ۲۰۷۲/۴ درجه‌ی روز تا پایان رشد مغز ۲۷۱۷/۴ و تا زمان برداشت ۳۳۶۹/۶ درجه برآورد گردید. نتایج این مطالعه‌ی میدانی در مطالعه‌ی حاضر مورد استفاده قرار گرفت. مراحل فنولوژی و نیازهای آب هوایی پسته در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱: مراحل فنولوژی و نیازهای حرارتی پسته رقم کله قوچی بر اساس درجه روز-رشد

واحد حرارتی تجمعی	مراحل فنولوژی
۷	مرحله‌ی اول: گلدهی
۹۲۱/۴	مرحله‌ی دوم: سخت شدن پوسته استخوانی
۲۰۷۲/۴	مرحله‌ی سوم: آغاز رشد مغز
۲۷۱۷/۴	مرحله‌ی چهارم: پر شدن کامل میوه
۳۳۶۹/۱	مرحله‌ی پنجم: رسیدگی کامل و برداشت

منبع (امیرزاده و همکاران، ۱۳۸۷: ۵۲)

جدول ۲: شاخص‌های دما و بارش انتخاب شده

شاخص‌های دمایی	توصیف	
میانگین دمای فصل رشد	GSTavg (Average growing season temperature)	۱
بیشینه‌ی دمای فصل رشد	GSTmax (Average growing season maximum temperature)	۲
کمینه‌ی دمای فصل رشد	GSTmin (Average growing season minimum temperature)	۳
شاخص وینکلر	WI (Winkler Index)	۴
دامنه‌ی دمای روزانه در ماه رسیدن	DTR (Daily temperature range during ripening (Tmax- Tmin))	۵
تعداد روزهای با دمای کمینه بیش از صدک ۹۰ ام	NDTmin90p (Annual number of days with minimum temperature > 90 th percentile)	۶
تعداد روزهای با دمای بیشینه بیش از صدک ۹۰ ام	NDTmax90p (Annual number of days with maximum temperature > 90 th percentile)	۷
تعداد روزهای با دمای کمینه کم‌تر از صدک ۱۰ ام	NDTmin10p (Annual number of days with minimum temperature < 10 th percentile)	۸
تعداد روزهای با دمای بیشینه کم‌تر از صدک ۱۰ ام	NDTmax10p (Annual number of days with maximum temperature < 10 th percentile)	۹
تعداد روزهایی که دمای کمینه کم‌تر از ۰ درجه	FD (Frost occurrence; number of days with minimum temperature < 0°C)	۱۰
درصد تعداد روزهای یخبندان در مرحله‌ی گلدهی و استخوانی شدن پوسته	%FD (Frost occurrence; number of days with minimum temperature < 0°C stage 1,2)	۱۱
طول دوره‌ی بدون یخبندان	FFL (Frost-free period length; number of days between dates with temperature < 0°C)	۱۲

شاخص‌های بارشی	توصیف	
مجموع بارش سالانه (میلی‌متر)	Pannual (Total annual precipitation)	۱۳
بارش فصل رشد	Pgs (Total growing season precipitation (March to November))	۱۴
بارش در مراحل رشد	Rainfall during	
مرحله‌ی اول: گلدهی	Stage 1: Blooming	۱۵
مرحله‌ی دوم: سخت شدن پوسته استخوانی	Stage2: hardening of the bony shell	۱۶
مرحله‌ی سوم: آغاز رشد مغز	Stage3: the beginning of brain development	۱۷
مرحله‌ی چهارم: پر شدن کامل میوه	Stage4: filling full fruit	۱۸
مرحله‌ی پنجم: رسیدگی کامل و برداشت	Stage5: ripening	۱۹
مرحله‌ی ششم: زمان پس از برداشت	Stage6: post harvest	۲۰
مرحله‌ی هفتم: دوره‌ی خواب	Stage7: dormant period	۲۱
تعداد روزهای بارشی بزرگ‌تر از صدک ۹۵ درصد (روزهای خیلی مرطوب)	NP95p (Number of days with precipitation > 95 th percentile (very wet days))	۲۲
درصد بارش سالانه ثبت‌شده در روزهای خیلی مرطوب	%P95p (Percentage of annual precipitation recorded on very wet days)	۲۳
حداکثر طول دوره‌ی خشک	DPL (Maximum annual drought period)	۲۴

منبع (Ramos& et al., 2008: 4)

۴- بحث و نتایج

جدول ۳ تاریخ‌های آغاز مراحل فنولوژی پسته با احتمال ۹۵ درصد بر اساس پارامترهای اقلیمی ایستگاه هواشناسی سبزوآر در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۵-۱۹۷۶ را نشان می‌دهد. برای این منظور ابتدا بر اساس رابطه ۲، درجه‌ی روز-رشد پسته برای هر سال محاسبه گردید. سپس از زمانی که درجه روز-رشد مثبت شده و دمای پایه به ۷ درجه رسیده، نیاز حرارتی در هر مرحله به‌صورت تجمعی برای هر یک از مراحل فنولوژی در هر سال برآورد شد. در نهایت با استفاده از توزیع احتمال پیرسون تیپ ۲ (بهترین خط برازش) در محیط نرم‌افزار SMADA، تاریخ‌های آغاز مراحل فنولوژی پسته با احتمال ۹۵ درصد برآورد گردید (جدول ۳).

جدول ۳: تاریخ‌های آغاز مراحل فنولوژی پسته با احتمال ۹۵ درصد

تاریخ مراحل فنولوژی	مراحل فنولوژی
۲۹ اسفند-۴ فروردین	مرحله‌ی اول: گلدهی
۵ فروردین-۱۵ خرداد	مرحله‌ی دوم: سخت شدن پوسته استخوانی
۱۶ خرداد-۳ مرداد	مرحله‌ی سوم: آغاز رشد مغز
۴ مرداد-۳۱ مرداد	مرحله‌ی چهارم: پر شدن کامل میوه
۱ شهریور-۵ مهر	مرحله‌ی پنجم: رسیدگی کامل و برداشت
۶ مهر-۲۲ آذر	مرحله‌ی ششم: زمان پس از برداشت
۲۳ آذر-۲۸ اسفند	مرحله‌ی هفتم: دوره‌ی خواب

خروجی‌های به دست آمده از شاخص‌های به‌کار رفته در پژوهش برای منطقه‌ی مورد مطالعه در دوره‌ی ۲۰۰۵-۱۹۷۶ در جدول ۴ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که پارامترهای میانگین، حداکثر و حداقل دمای فصل رشد به ترتیب با میانگین (۱۸، ۲۵ و ۱۲) در سطح ۹۹ درصد دارای روند معنی‌دار و مثبت می‌باشند؛ این نتایج با بسیاری از تحقیقات

در ارتباط با گرمایش جهانی همسو می‌باشد. شاخص وینکلر که تغییرات درجه‌ی روز را بررسی می‌کند، برای سبزواری معادل ۴۳۶۸ برآورده شده است که بر اساس طبقه‌بندی وینکلر در رده‌ی پنجم قرار می‌گیرد. ارزیابی خروجی شاخص، حکایت از روند افزایشی معنی‌دار آن در سطح ۹۵ درصد دارد که این مهم نشان‌دهنده‌ی پتانسیل گرمایی محیط برای کشت پسته است. درحالی‌که تغییرات دما برای ایستگاه مورد مطالعه در فصل رشد مشهود است، ولی میانگین دما در طول ماه رسیدن یا DTR هیچ‌گونه روند معناداری را ندارد که علت آن تفاوت در دمای حداکثر و حداقل در این زمان است که یک روند منسجم را نشان نمی‌دهد. ارزیابی تعداد روزهای با دمای کمینه‌ی کوچک‌تر از صدک ۱۰ ام (شب‌های سرد) و تعداد روزهای با دمای بیشینه‌ی کوچک‌تر از صدک ۱۰ ام (روزهای سرد) در منطقه‌ی مورد مطالعه روند کاهشی معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد را نشان می‌دهد. این روند برای تعداد روزهای با دمای کمینه‌ی بزرگ‌تر از صدک ۹۰ ام (شب‌های گرم) و تعداد روزهای با دمای بیشینه‌ی بزرگ‌تر از صدک ۹۰ ام (روزهای گرم) افزایشی است. تعداد روزهای یخبندان با میانگین ۴۰ روز دارای روند کاهشی بوده که این کاهش در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار است. درصد روزهای فوق در مرحله‌ی اولیه رشد میوه ۲/۵ درصد می‌باشد؛ این در حالی است که طولانی‌ترین دوره‌ی بدون یخبندان از روند خاصی برخوردار نیست. نتایج حاصل از شاخص‌های سالانه نشان می‌دهد اقلیم منطقه به سمت گرم شدن پیش می‌رود. بررسی پارامترهای مجموع بارش سالانه (۲۰۵ میلی‌متر)، درصد بارش سالانه ثبت‌شده در روزهای خیلی مرطوب (۸۲ درصد) و طول دوره‌ی خشک (۱۲۲ روز) حکایت از شرایط آب‌وهوایی خشک و کم باران در منطقه‌ی مورد مطالعه دارد. به‌طور متوسط سبزواری بیش از ۸۰ درصد از بارش سالانه خود را (معادل ۱۷۰ میلی‌متر) در ۱۸ روز تجربه می‌کند که این نوع بارش‌های با شدت بالا و مدت کوتاه، بسیار مخرب برای رشد محصول و باعث افزایش فرسایش خاک می‌باشند. با توجه به خشکی منطقه و اهمیت رطوبت خاک برای رشد محصول، تجزیه و تحلیل دقیق از توزیع بارش در طول مراحل فنولوژی پسته انجام گرفت. خروجی این قسمت نشان می‌دهد که در طول مرحله‌ی اول و دوم رشد میوه (جوانه‌زنی و سخت شدن پوسته) هنگامی که پسته نیاز به رطوبت کافی خاک برای رشد اولیه را دارد، بارش در این بازه‌ی پراکنده و در محدوده‌ی ۵۰ تا ۵ میلی‌متر متغیر بوده است و در مرحله‌ی سوم، چهارم و پنجم رشد (مرحله‌ی رسیدن) بارش به مقدار قابل‌ملاحظه‌ای کاهش نشان می‌دهد. مقدار بارش در زمان پس از برداشت و در دوره‌ی خواب در بالاترین مقدار خود می‌باشد. به‌طور کلی، تغییرات بارش در تمامی مراحل رشد پسته بالا بوده است. ارزیابی روند پارامترهای مذکور نشان می‌دهد شاخص حداکثر بارش یک‌روزه، درصد بارش سالانه ثبت‌شده در روزهای خیلی مرطوب و بارش در مرحله‌ی دوم دارای روند کاهشی و معنی‌دار در سطح اطمینان، ۹۵ درصد است.

جدول ۴: خروجی آماری آزمون من-کندال و سن برای شاخص‌های اقلیمی مبتنی بر دما و بارش در ایستگاه سبزواری (۲۰۰۵-۱۹۷۶)

Z	Q	SD	Mean	شاخص‌های دما
۲/۹۳**	۰/۰۶	۱/۰۵	۱۸/۸	میانگین دمای فصل رشد
۲/۸۲**	۰/۰۶	۱/۳۴	۲۵/۲	بیشینه‌ی دمای فصل رشد
۳/۲۱**	۰/۰۸	۰/۸۹	۱۲/۳	کمینه‌ی دمای فصل رشد
۱/۷۱*	۸/۹۶	۲۲۹/۱	۴۳۶۸/۱	شاخص وینکلر
-۰/۶۸	-۰/۰۱	۰/۶۹	۱۵/۱	دامنه‌ی دمای روزانه در ماه رسیدن
۱/۳۶	۰/۵۷	۱۵/۶	۳۷	تعداد روزهای با دمای کمینه بیش از صدک ۹۰ ام (بزرگ‌تر از ۲۲/۲ C)
۱/۱۴	۰/۲۸	۱۰/۴	۳۷/۱	تعداد روزهای با دمای بیشینه بیش از صدک ۹۰ ام (بزرگ‌تر از ۳۷/۸ C)
-۲/۵۷*	-۰/۵۹	۱۱/۲	۲۵/۵	تعداد روزهای با دمای کمینه کم‌تر از صدک ۱۰ ام (کوچک‌تر از -۱/۴۷ C)
-۲/۴*	-۰/۵۶	۱۰/۶	۳۲/۸	تعداد روزهای با دمای بیشینه کم‌تر از صدک ۱۰ ام (کوچک‌تر از ۹ C)
-۱/۸۶*	-۰/۰۶	۱۳/۱	۴۰	تعداد روزهایی که دمای کمینه کم‌تر از ۰ درجه
۰/۰۶	۰	۱/۵	۲/۵	درصد روزهای یخبندان در مرحله‌ی ابتدای (گلدهی و استخوانی شدن پوسته)

۰/۷۵	۰/۴۶	۲۵/۹	۲۸۱	طول دوره‌ی بدون یخبندان
Z	Q	SD	Mean	شاخص‌های بارش
-۱/۶۴	-۱/۷۶	۵۴/۲	۲۰۵/۱	مجموع بارش سالانه (میلی‌متر)
-۱/۲۲	-۰/۱۳	۴/۵	۱۸/۲	تعداد روزهای بارشی بزرگ‌تر از صدک ۹۵ (روزهای خیلی مرطوب)
-۱/۸۰*	-۱/۹۳	۵۱/۴	۸۲	درصد بارش سالانه ثبت‌شده در روزهای بزرگ‌تر از صدک ۹۵ تر از صدک ۹۵ خیلی مرطوب
۰/۹۳	۰/۷۳	۴۰/۱	۱۲۲/۳	حداکثر طول دوره‌ی خشک
-۱/۳۹	-۱/۴۳	۳۷/۴	۱۰۰/۵	بارش فصل رشد
۰/۳۱	۰	۶/۷	۴/۹	مرحله‌ی اول: گلدهی
-۱/۷۵*	-۱/۳	۲۹/۶	۴۹/۹	مرحله‌ی دوم: سخت شدن پوسته استخوانی
-۰/۰۶	۰	۷/۱	۳/۱	مرحله‌ی سوم: آغاز رشد مغز
-۰/۷۱	۰	۱/۳	۰/۵۱	مرحله‌ی چهارم: پر شدن کامل میوه
۱/۳۷	۰	۲/۷	۰/۸۷	مرحله‌ی پنجم: رسیدگی کامل و برداشت
-۰/۴۵	-۰/۲۳	۲۱/۷	۴۱/۵	مرحله‌ی ششم: زمان پس از برداشت
-۰/۹۳	-۰/۹۳	۴۴/۸	۱۰۴/۵	مرحله‌ی هفتم: دوره‌ی خواب

روند معنادار در سطح ۹۵ درصد *روند معنادار در سطح ۹۹ درصد

جدول ۸ متوسط بارش و تبخیر و تعرق را در بازه‌ی زمانی هریک از مراحل فنولوژی پسته نشان می‌دهد. مقدار تبخیر و تعرق در منطقه‌ی مورد مطالعه برای مرحله‌ی اول ۱ درصد، مرحله‌ی دوم ۱۶ درصد، مرحله‌ی سوم ۴۴ درصد، مرحله‌ی چهارم ۱۰ درصد، مرحله‌ی پنجم ۹ درصد، مرحله‌ی ششم ۱۲ درصد و مرحله‌ی هفتم ۷ درصد از تبخیر و تعرق سالانه را شامل می‌شود. به‌طور متوسط مقدار بارش برای ایستگاه سبزوار در تمام مراحل فنولوژی (به‌جز در دوره‌ی خواب) کم‌تر از مقدار آب مورد نیاز محصول می‌باشد. با توجه به اینکه بسیاری از پارامترهای دما (میانگین، بیشینه و کمینه‌ی دما) در طول تابستان روند افزایشی دارد. بر این اساس تقاضا برای آب به‌ویژه در مراحل رسیدن افزایش می‌یابد؛ بنابراین نیازهای آبی محصول باید از طریق روش‌های آبیاری مدیریت گردد. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر، گویای افزایش نیاز آبی برای محصول پسته در مراحل رشد است. این مهم با نتایج پژوهش فلاح‌قاله‌ری و همکاران (۱۳۹۴) مبنی بر افزایش نیاز آبی برای محصول کنجد در ایستگاه سبزوار مطابقت دارد.

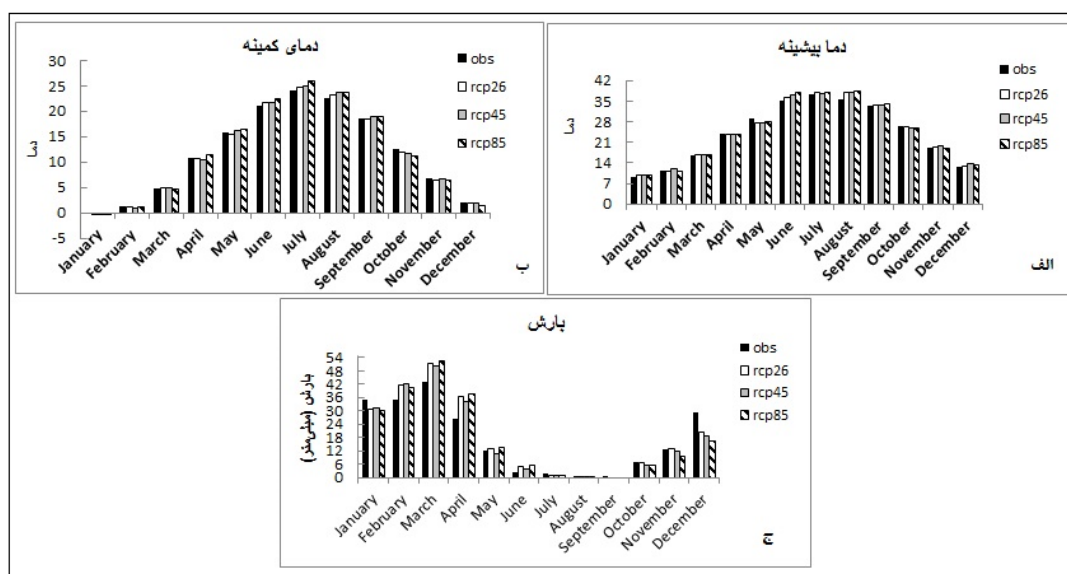
۴-۱- روند تغییرات دما و بارش در دوره‌ی ۲۰۴۰-۲۰۱۱

نتایج حاصل از شبیه‌سازی پارامترهای دما و بارش تحت سناریوهای تغییر اقلیم (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5) برای بازه‌ی زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۱ در جدول ۵ آمده است. (شبیه‌سازی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی اطلاعات مدل CanEMS2 و مقادیر مشاهداتی می‌باشد). بررسی این جدول نشان می‌دهد متوسط دمای کمینه، دمای بیشینه و مجموع بارش سالانه نسبت به دوره‌ی پایه افزایش داشته است که این افزایش برای سناریو RCP8.5 نسبت به اقلیم پایه به ترتیب ۴/۳، ۱/۷ و ۳/۴ درصد خواهد بود؛ نتایج به دست آمده با نتایج بابائیان و کوهی (۱۳۹۱) برای خراسان رضوی همسو می‌باشد. بررسی روند این پارامترها نیز نشان می‌دهد سیر صعودی به‌صورت معنی‌دار در طول دوره‌ی شبیه‌سازی وجود خواهد داشت. با توجه به شکل ۲ (الف و ب) بر اساس هر سه سناریو بیش‌ترین افزایش بیشینه و کمینه دما برای ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست (دوره‌ی گرم سال) خواهد بود و در این بین پارامتر کمینه دما افزایش بیش‌تری نسبت به بیشینه دما خواهد داشت. با توجه به هدف پژوهش که بررسی پیامدهای تغییرات آب و هوا بر ساختار پارامترهای اقلیمی مؤثر بر تولید پسته می‌باشد، تاریخ آغاز مراحل فنولوژیک پسته تحت شرایط گرمایش جهانی بررسی شد. برای این کار ابتدا با ریزمقیاس‌گردانی داده‌های خروجی مدل CanESM2 به کمک نرم‌افزار SDSM پارامترهای اقلیمی

تحت سناریوهای (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5) برای دوره‌ی ۲۰۱۱-۲۰۴۰ شبیه‌سازی شد. سپس با استفاده از رابطه‌ی ۲ درجه روز-رشد پسته برای هر سال (۲۰۱۱-۲۰۴۰) محاسبه گردید و تاریخ‌های آغاز مراحل فنولوژی پسته به‌مانند دوره‌ی مشاهده با احتمال ۹۵ درصد با استفاده از توزیع احتمال پیرسون تیپ ۲ برآورد گردید که نتایج این دوره نشان داد که مرحله‌ی گلدهی پسته در سال‌های آتی زودتر از اقلیم پایه آغاز خواهد شد. به‌طور میانگین زمان گلدهی در دوره‌ی مشاهداتی ۲۹ اسفند است؛ در حالی که این مرحله در دوره‌های آتی با توجه به سناریوهای (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5) به ترتیب در تاریخ‌های ۲۳، ۲۲ و ۲۱ اسفند خواهد بود. این تسریع در تاریخ گلدهی، تاریخ‌های دیگر مراحل فنولوژی را نیز تغییر داده به‌گونه‌ای که برداشت محصول زودتر انجام گرفته به عبارتی فاصله زمانی بین دوره‌ی گلدهی تا رسیدگی محصول کاهش می‌یابد (جدول ۶). این بخش از یافته‌ها با نتایج پژوهش‌های محمدی و همکاران (۱۳۹۳) و لورا و لانجریدا (۲۰۱۰) مطابقت دارد که متأثر از افزایش میانگین دما تحت شرایط تغییر اقلیم جهانی است.

جدول ۵: شبیه‌سازی پارامترهای دما و بارش بر اساس سناریوهای تغییر اقلیم برای دوره‌ی ۲۰۱۱-۲۰۴۰

پارامتر	۱۹۷۶-۲۰۰۵	RCP2.6	RCP4.5	RPC8.5
دمای حداقل	۱۱/۷	۱۱/۸	۱۱/۹	۱۲/۲
دمای حداکثر	۲۴/۲	۲۴/۵	۲۴/۶	۲۴/۶
مجموع بارش سالانه	۲۰۵	۲۱۸	۲۰۸	۲۱۲/۳



شکل ۲: مدل‌سازی پارامترهای دما و بارش برای دوره‌ی ۲۰۱۱-۲۰۴۰ بر اساس سناریوهای تغییر اقلیم

جدول ۷ شبیه‌سازی متغیرهای آب‌وهوایی منتخب در این پژوهش را تحت سناریوهای تغییر اقلیم برای دوره‌ی ۲۰۴۰-۲۰۱۱ نشان می‌دهد لازم به ذکر است که این متغیرها نه تنها برای کل سال‌ها بلکه برای دوره‌ی رشد محصول پسته نیز برآورد گردیده‌اند. متوسط دمای فصل رشد نسبت به دوره‌ی پایه برای هر ۳ سناریو افزایش نشان می‌دهد که مطابق انتظار بالاترین این افزایش برای سناریوی بدبینانه RCP8.5 به مقدار ارزیابی ۱۳/۸۳ بوده است به همین ترتیب برای مقادیر دمای بیشینه و کمینه نیز افزایش دما در هر سه سناریو مشاهده می‌شود. به دلیل افزایش در هر دو پارامتر (کمینه و بیشینه)، دامنه روزانه دما تغییر چندانی را تجربه نکرده است و در همان محدوده‌ی ۱۵ درجه‌ی باقی خواهد ماند. پتانسیل گرمایی محیط محاسبه شده بر اساس شاخص وینکلر برای بازه‌ی زمانی شبیه‌سازی کماکان روند افزایشی خود را حفظ کرده و تحت سناریو RCP8.5 در بالاترین مقدار خود ۴۴۴۸ برآورده شده است که پتانسیل مناسب محیط را

برای کشت پسته بیان می‌کند. با وجود افزایش دما در دوره‌ی شبیه‌سازی تعداد روزها و شب‌های گرم (که با دماهای کمینه و بیشینه بالاتر از صدک ۹۰ ام مشخص می‌شوند) تغییر چندانی را نسبت به اقلیم پایه نشان نمی‌دهند. ارزیابی شاخص‌های سالانه تعداد شب‌های سرد (روزهای با دمای کمینه کوچک‌تر از صدک ۱۰ ام) و روزهای سرد (روزهای با دمای بیشینه کوچک‌تر از صدک ۱۰ ام) حکایت از افزایش این شاخص نسبت به دوره‌ی مشاهده دارد افزایش این روزها بیانگر این است اگرچه دمای کمینه نسبت به دوره‌ی پایه افزایش یافته است، ولی این افزایش در فصل گرم سال است به عبارتی فصل گرم، گرم‌تر و فصل سرد، سردتر شده است. روزهای همراه با یخبندان (دمای کمینه کم‌تر از صفر درجه) نیز کاهش جزئی یک‌روزه را برای دوره‌ی آینده نشان می‌دهند؛ اما نکته‌ی قابل توجه تمرکز بیش‌تر این روزها در ماه‌های فصل بهار است که تهدیدی جدی برای گلدهی محصول پسته محسوب می‌شوند. خروجی حاصل از شاخص طول دوره‌ی بدون یخبندان برای سناریوهای بدبینانه (RCP8.5) ۲۸۵ روز است که ۴ روز افزایش یافته است. به‌طور کلی، ارزیابی مجموع بارش سالانه در دوره‌ی ۲۰۱۱-۲۰۴۰ تحت سناریوهای RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 حکایت از افزایش ۳ تا ۱۳ میلی‌متری بارش نسبت به دوره‌ی پایه دارد. بررسی میانگین تعداد روزهای مرطوب در دوره‌ی آینده برای هر ۳ سناریو نشان می‌دهد که به‌طور متوسط ۱۸ روز، با بارش بیش از صدک ۹۵ ام وجود دارد که در مقایسه با دوره‌ی مشاهداتی تعداد روزهای خیلی مرطوب تغییری نکرده است، اما این روزها تنها ۲۷ درصد از بارش سالانه را شامل می‌شوند که نسبت به دوره‌ی پایه کاهش قابل توجهی را نشان می‌دهد که این امر بر وجود توزیع یکنواخت‌تر بارش از نظر زمانی دلالت دارد. میانگین طول دوره‌ی خشکی در دهه‌ی مورد بررسی در سناریو خوش‌بینانه (RCP2.6) ۱۳ روز نسبت به دوره‌ی مشاهداتی کاهش و در سناریو بدبینانه (RCP8.5) ۱۴ روز افزایش یافته است. تحلیل دقیق از توزیع بارش در طول مراحل فنولوژی پسته در دوره‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد که در طول مرحله‌ی اول و دوم رشد میوه (جوانه‌زنی و سخت شدن پوسته) بارش در هر سه سناریو تغییر اقلیم نسبت به مقدار میانگین اقلیمی این کمیت افزایش یافته است. در مرحله‌ی سوم، چهارم و پنجم رشد (مرحله‌ی رسیدن) بارش به‌مانند دوره‌ی پایه به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است. مقدار بارش در زمان پس از برداشت نسبت به دوره‌ی پایه کاهش یافته است. مقادیر بارش برای سال‌های آینده نیز به‌مانند دوره‌ی مشاهده در مرحله‌ی خواب در بالاترین مقدار خود می‌باشد. بررسی روند افزایش دما و کاهش بارش در طول فصل رشد بیانگر اهمیت و لزوم توجه بیش‌تر به نیازهای آبی محصول است. تفاوت در میانگین شاخص‌های دمایی و بارش برای دوره‌ی مشاهده و دهه‌ی (۲۰۱۱-۲۰۳۰) تحت سناریوهای مختلف با استفاده از آزمون T دونمونه‌ایی انجام شد که شاخص‌های میانگین و بیشینه دمای فصل رشد، تعداد روزهای یخبندان، طول دوره‌ی بدون یخبندان، شب‌های گرم (تعداد روزهای با دمای کمینه بیش از صدک ۹۰ ام) و شب‌های سرد (تعداد روزهای با دمای کمینه کم‌تر از صدک ۱۰ ام)، حداکثر طول دوره‌ی خشک، مجموع بارش سالانه درصد بارش سالانه ثبت‌شده در روزهای با صدک بزرگ‌تر از صدک ۹۵، بارش در مرحله‌ی دوم و ششم تفاوت معنی‌داری با سناریو RCP8.5 نشان دادند و در مقابل میانگین شاخص‌های کمینه دمای فصل رشد، دامنه دمای روزانه در ماه رسیدن و شاخص وینکلر، تعداد روزهای بارشی بزرگ‌تر از ۹۵ درصد، بارش در مراحل اول، سوم، چهارم، پنجم و هفتم از نظر آماری معنادار نبودند.

جدول ۶: متوسط تاریخ آغاز مراحل فنولوژی پسته دوره‌ی ۲۰۱۱-۲۰۴۰ (در سطح ۵ درصد)

سناریو	مراحل فنولوژی	تاریخ مراحل فنولوژی
RCP2.6	مرحله‌ی اول: گلدهی	۲۳ اسفند-۲۵ اسفند
	مرحله‌ی دوم: سخت شدن پوسته استخوانی	۲۶ اسفند-۱۶ خرداد
	مرحله‌ی سوم: آغاز رشد مغز	۱۷ خرداد-۳ مرداد
	مرحله‌ی چهارم: پر شدن کامل میوه	۴ مرداد-۲۹ مرداد
	مرحله‌ی پنجم: رسیدگی کامل و برداشت	۳۰ مرداد-۲۴ شهریور
	مرحله‌ی ششم: زمان پس از برداشت	۲۵ شهریور-۲۵ آذر

مرحله‌ی هفتم: دوره‌ی خواب	۲۶ آذر-۲۲ اسفند	RCP4.5
مرحله‌ی اول: گلدهی	۲۲ اسفند-۲۷ اسفند	
مرحله‌ی دوم: سخت شدن پوسته استخوانی	۲۸ اسفند-۱۸ خرداد	
مرحله‌ی سوم: آغاز رشد مغز	۱۹ خرداد-۴ مرداد	
مرحله‌ی چهارم: پر شدن کامل میوه	۵ مرداد-۳۰ مرداد	
مرحله‌ی پنجم: رسیدگی کامل و برداشت	۳۱ مرداد-۲۲ شهریور	
مرحله‌ی ششم: زمان پس از برداشت	۲۳ شهریور-۲۴ آذر	
مرحله‌ی هفتم: دوره‌ی خواب	۲۵ آذر-۲۱ اسفند	RCP8.5
مرحله‌ی اول: گلدهی	۲۱ اسفند-۲۳ اسفند	
مرحله‌ی دوم: سخت شدن پوسته استخوانی	۲۴ اسفند-۱۶ خرداد	
مرحله‌ی سوم: آغاز رشد مغز	۱۷ خرداد-۴ مرداد	
مرحله‌ی چهارم: پر شدن کامل میوه	۵ مرداد-۲۸ مرداد	
مرحله‌ی پنجم: رسیدگی کامل و برداشت	۲۹ مرداد-۲۱ شهریور	
مرحله‌ی ششم: زمان پس از برداشت	۲۲ شهریور-۲۲ آذر	
مرحله‌ی هفتم: دوره‌ی خواب	۲۳ آذر-۲۰ اسفند	

جدول ۷: میانگین متغیرهای اقلیمی دما و بارش برای دوره‌ی (۲۰۱۱-۲۰۴۰) بر اساس سناریوهای تغییر اقلیم

RCP	RCP4.5	RCP2.6	1976-	شاخص‌های دما
۲۱/۴	۱۹/۴	۱۸/۹	۱۸/۸	میانگین دمای فصل رشد
۲۸	۲۵/۵	۲۵/۳	۲۵/۲	بیشینه‌ی دمای فصل رشد
۱۴/۹	۱۲/۶	۱۲/۴	۱۲/۳	کمینه‌ی دمای فصل رشد
۴۴۸/۱	۴۴۰/۴/۷	۴۴۰/۶/۴	۴۳۶/۸/۱	شاخص وینکلر
۱۵/۲	۱۵/۲	۱۵/۹	۱۵/۱	دامنه دمای روزانه در ماه رسیدن
۳۶/۸	۳۶/۲	۳۶/۴	۳۷	تعداد روزهای با دمای کمینه بیش از صدک ۹۰ ام
۳۷	۳۷/۱	۳۶/۵	۳۷/۱	تعداد روزهای با دمای بیشینه بیش از صدک ۹۰ ام
۳۶/۶	۳۶/۴	۳۶/۶	۲۵/۵	تعداد روزهای با دمای کمینه کمتر از صدک ۱۰ ام
۳۶/۵	۳۶	۳۶/۲	۳۲/۸	تعداد روزهای با دمای بیشینه کمتر از صدک ۱۰ ام
۳۹	۳۸	۳۹	۴۰	تعداد روزهایی که دمای کمینه کمتر از ۰ درجه‌ی
۶	۶/۲	۵/۶	۲/۵	درصد روزهای یخبندان در مرحله‌ی ابتدای (گلدهی و
۲۸۵	۲۷۹	۲۸۰	۲۸۱	طول دوره‌ی بدون یخبندان
RCP	RCP4.5	RCP2.6	1976-	شاخص‌های بارش
۲۱۲/۳	۲۰۸	۲۱۸/۴	۲۰۵/۱	مجموع بارش سالانه (میلی‌متر)
۱۸/۲	۱۸/۲	۱۸/۴	۱۸/۲	تعداد روزهای بارشی بزرگ‌تر از ۹۵ درصد (روزهای خیلی
۲۷	۲۶	۲۷	۸۲	درصد بارش سالانه ثبت‌شده در روزهای با صدک بزرگ‌تر از
۱۳۶/۸	۱۲۲/۲	۱۰۹/۲	۱۲۲/۳	حداکثر طول دوره‌ی خشک
۱۰۵/۱	۱۰۲/۱	۱۱۸/۵	۱۰۰/۵	بارش فصل رشد
۵/۲	۱۰/۱	۵/۱	۴/۹	مرحله‌ی اول: گلدهی
۸۳/۳	۶۸/۳	۷۸/۲	۴۹/۹	مرحله‌ی دوم: سخت شدن پوسته استخوانی
۴/۵	۲/۸	۳/۸	۳/۱	مرحله‌ی سوم: آغاز رشد مغز
۰/۲	۰/۳	۰/۴۷	۰/۵۱	مرحله‌ی چهارم: پر شدن کامل میوه
۰	۰	۰	۰/۸۷	مرحله‌ی پنجم: رسیدگی کامل و برداشت
۲۱/۹	۲۵/۵	۲۹/۳	۴۱/۵	مرحله‌ی ششم: زمان پس از برداشت
۱۱۵/۲	۱۱۶/۹	۱۰۱/۶	۱۰۴/۵	مرحله‌ی هفتم: دوره‌ی خواب

نتایج حاصل از میزان تبخیر و تعرق برای دوره‌ی ۲۰۱۱-۲۰۴۰ تحت سناریوهای اقلیمی RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 نشان می‌دهد که تقاضا برای آب در همه‌ی سناریوها به‌مانند دوره‌ی پایه افزایش یافته است که این افزایش تقاضا در مراحل سوم، چهارم و پنجم کاملاً مشهود است. افزایش میزان تبخیر و تعرق در سناریو RCP8.5 بیش‌تر از دو سناریو دیگر است که این مهم، با افزایش شاخص‌های بیشینه دمای فصل رشد، افزایش دمای کمینه و افزایش طول دوره‌ی خشکی در ارتباط می‌باشد (جدول ۸). این کم‌آبی در طول مراحل اصلی رشد سبب افزایش تنش رطوبتی شده و این امر روند رشد گیاه را مختل ساخته و منجر به تغییر اندازه مغز و کاهش بازدهی میوه می‌گردد؛ بنابراین نیازهای آبی محصول باید از طریق آبیاری و سایر بررسی‌های محیطی مدیریت گردد.

جدول ۸: متوسط بارش و تبخیر و تعرق محصول برای مراحل اصلی فنولوژی پسته در دوره‌ی (۲۰۰۵-۱۹۷۶) و (۲۰۴۰-۲۰۱۱)

سناریو	مراحل فنولوژی	بارش (میلی‌متر)	ETc (mm)	EtcS/Etc (%)
1976-2005	مرحله‌ی اول: گلدهی	۴/۹	۶/۶	۰/۸۱
	مرحله‌ی دوم: سخت شدن پوسته	۴۹/۹	۱۳۴/۰۲	۱۶/۶
	مرحله‌ی سوم: آغاز رشد مغز	۳/۱	۳۵۶/۷	۴۴/۱
	مرحله‌ی چهارم: پر شدن کامل میوه	۰/۵۱	۷۹/۲	۹/۸
	مرحله‌ی پنجم: رسیدگی کامل و برداشت	۰/۸۷	۷۶/۳	۹/۴
	مرحله‌ی ششم: زمان پس از برداشت	۴۱/۵	۹۷	۱۱/۹
	مرحله‌ی هفتم: دوره‌ی خواب	۱۰۴/۵	۵۹/۱	۷/۳
RCP2.6	مرحله‌ی اول: گلدهی	۵/۱	۳/۱	۰/۳۸
	مرحله‌ی دوم: سخت شدن پوسته	۷۸/۲	۱۴۲/۷	۱۷/۷
	مرحله‌ی سوم: آغاز رشد مغز	۳/۸	۳۴۷/۱	۴۲/۹
	مرحله‌ی چهارم: پر شدن کامل میوه	۰/۴۷	۷۳/۸	۹/۱
	مرحله‌ی پنجم: رسیدگی کامل و برداشت	۰	۷۶/۵	۹/۵
	مرحله‌ی ششم: زمان پس از برداشت	۲۹/۳	۱۱۱/۴	۱۳/۸
	مرحله‌ی هفتم: دوره‌ی خواب	۱۰۱/۶	۵۳/۸	۶/۷
RCP4.5	مرحله‌ی اول: گلدهی	۱۰/۱	۶/۷	۰/۸۳
	مرحله‌ی دوم: سخت شدن پوسته	۶۸/۳	۱۴۶/۹	۱۸/۳
	مرحله‌ی سوم: آغاز رشد مغز	۲/۸	۳۳۷/۳	۴۲/۱
	مرحله‌ی چهارم: پر شدن کامل میوه	۰/۳	۷۳/۸	۹/۲
	مرحله‌ی پنجم: رسیدگی کامل و برداشت	۰	۶۶/۵	۸/۳
	مرحله‌ی ششم: زمان پس از برداشت	۲۵/۵	۱۱۳/۳	۱۴/۱
	مرحله‌ی هفتم: دوره‌ی خواب	۱۱۶/۹	۵۷/۱	۷/۱
RCP8.5	مرحله‌ی اول: گلدهی	۵/۲	۳/۱	۰/۳۸
	مرحله‌ی دوم: سخت شدن پوسته	۸۳/۳	۱۴۰/۳	۱۷/۴
	مرحله‌ی سوم: آغاز رشد مغز	۴/۵	۳۴۹/۸	۴۳/۴
	مرحله‌ی چهارم: پر شدن کامل میوه	۰/۲	۷۳/۵	۹/۱
	مرحله‌ی پنجم: رسیدگی کامل و برداشت	۰	۷۲/۷	۹
	مرحله‌ی ششم: زمان پس از برداشت	۲۱/۹	۱۰۹/۱	۱۳/۵
	مرحله‌ی هفتم: دوره‌ی خواب	۱۱۵/۲	۵۸/۱	۷/۲

۴- نتیجه‌گیری

عناصر آب و هوایی نقشی بسیار اساسی در رشد و توسعه‌ی گیاهان دارند و از جمله پارامترهای غیرقابل کنترل بر کشاورزی محسوب می‌شوند. در این پژوهش، اثرات تغییر اقلیم بر شاخص‌های دمایی و بارشی مؤثر بر تولید پسته در ایستگاه سبزوار با استفاده از برون‌داد مدل گردش عمومی CanESM2 تحت سناریوهای جدید تغییر اقلیم طی دوره‌ی

۲۰۴۰-۲۰۱۱ مورد بررسی قرار گرفت. خروجی حاصل از بررسی روند میانگین دمای فصل رشد برای دوره‌ی پایه نشان داد که این پارامتر حدود ۰/۶ درجه‌ی سانتی‌گراد در هر دهه دارای روند افزایشی است که این امر با توجه به افزایش معنی‌دار شاخص‌های بیشینه دمای فصل رشد و افزایش دمای کمینه‌ی قابل توجه است. نتایج شاخص‌های بارشی گویای کاهش فراوان این پارامتر در طول مراحل سوم، چهارم و پنجم رشد پسته است. واکاوی تبخیر و تعرق نیز نشان می‌دهد که تقاضا برای آب، به‌ویژه در مرحله‌ی رسیدن میوه (سوم، چهارم و پنجم) افزایش یافته است. به‌طور کلی، نتایج به دست آمده از تغییرات دما و بارش برای دهه‌ی ۲۰۴۰-۲۰۱۱ حکایت از افزایش متوسط پارامترهای دمای کمینه، بیشینه و مجموع بارش سالانه دارد. این تغییرات با افزایش دما در فصل تابستان و افزایش بارش در اواخر زمستان نشان داده می‌شود. ارزیابی پیامدهای تغییر اقلیم بر شاخص‌های بکار رفته در پژوهش برای منطقه‌ی مورد مطالعه نشان داد که متوسط دما برای سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در فصل رشد در محدوده‌ی ۰/۶ تا ۰/۸ درجه‌ی سانتی‌گراد در دهه‌ی دارای روند افزایش بوده است که این امر سبب تسریع گلدهی و رسیدگی زودتر محصول نسبت به دوره‌ی مشاهداتی می‌گردد. تسریع مراحل فنولوژی مهم‌ترین پیامد تغییر اقلیم در کشاورزی است. رسیدگی زودتر محصول ناشی از افزایش دما در اغلب گیاهان باعث کاهش عملکرد محصول می‌شود زیرا تابش کم‌تری جذب شده و زمان کم‌تری برای تجمع ماده‌ی خشک در اختیار گیاه خواهد بود (Menzel et al., 2006: 659). نتایج به‌دست‌آمده از بارش در همه‌ی سناریوها حکایت از کاهش آن به‌مانند دوره‌ی پایه در طول مرحله‌ی سوم، چهارم و پنجم (رسیدن محصول) دارد. نیاز آبی محصول به‌ویژه در مرحله‌ی رسیدن در دهه‌های آتی با توجه به افزایش دما و کاهش بارش افزایش یافته است؛ بنابراین با توجه به مطالب بیان‌شده نیازهای آبی محصول باید از طریق اصلاح الگوی کشت، مدیریت صحیح منابع آبی و روش‌های آبیاری نوین تأمین گردد تا بدین طریق امکان سازگاری با شرایط جدید و مقابله با آثار سوء تغییر اقلیم فراهم آید.

۵- منابع

- ۱- آشفته، پریسا سادات (۱۳۹۱). تأثیر تغییر اقلیم بر نیاز آبی محصولات با استفاده از مدل HadCM3 در شبکه‌ی آبیاری آبدوغموش، نشریه‌ی آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۳، صص ۱۵۱-۱۴۲.
- ۲- اسماعیل‌پور، علیرضا (۱۳۸۵). بررسی اثر شکوه هرس و رشد تنظیم‌کننده در شاخه، عملکرد و گلدهی درختان پسته، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز.
- ۳- امیرزاده، محمد، ابوطالبی جهرمی، عبدالحسین، تاج‌آبادی‌پور، علی (۱۳۸۷). تعیین آستانه‌ی حرارتی و نیاز گرمایی در سه رقم تجاری پسته (*Pistacia vera*)، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد باغبانی، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد جهرم.
- ۴- بابائیان، ایمان، کوهی، منصوره (۱۳۹۱). ارزیابی شاخص‌های اقلیم کشاورزی تحت سناریوهای تغییر اقلیم در ایستگاه‌های منتخب خراسان رضوی، نشریه‌ی آب‌و‌خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، شماره ۴، صص ۹۶۷-۹۵۳.
- ۵- جهاد کشاورزی خراسان رضوی، دستورالعمل احداث باغ در اراضی شیب‌دار، (۱۳۹۵).
- ۶- رسولی، علی‌اکبر، ساری صراف، بهروز، محمدی، غلامحسین (۱۳۸۹). تحلیل روند وقوع پدیده‌ی اقلیمی گردوغبار در غرب کشور در ۵۵ سال اخیر با استفاده از روش‌های آماری ناپارامتری، فصلنامه‌ی جغرافیای طبیعی، سال سوم، شماره ۹، صص ۲۸-۱۵.
- ۷- فلاح قاهره‌ی، غلامعباس، راه‌چمنی، مهدی، بیرانوند، فرشته (۱۳۹۴). برآورد نیاز آبی گیاه کنجد در اقلیم سبزوار، فصلنامه‌ی مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال ششم، شماره ۲۱، صص ۱۴-۱.
- ۸- کوچکی، علیرضا، نصیری محلاتی، مهدی (۱۳۹۵). تأثیر تغییر اقلیم بر کشاورزی ایران: پیش‌بینی تولید محصولات زراعی و راه‌کارهای سازگاری، پژوهش‌های زراعی ایران، شماره ۱، صص ۲۰-۱.
- ۹- مساح‌بوانی، علیرضا، مرید، سعید (۱۳۸۴). اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب و تولید محصولات کشاورزی مطالعه‌ی موردی: رودخانه‌ی زاینده‌رود اصفهان، تحقیقات منابع آب ایران، شماره ۱، صص ۴۷-۴۰.

- ۱۰- محمدی، الهام، یزدان‌پناه، حجت‌الله، محمدی، فریبا (۱۳۹۳). بررسی رخدادهای تغییر اقلیم و تأثیر آن بر زمان کاشت و طول دوره‌ی رشد گندم دوروم (دییم) مطالعه‌ی موردی: ایستگاه سرارود کرمانشاه، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۲، صص ۲۳۱-۲۴۶.
- ۱۱- محمدی، امیرحسین، حقدل، معصومه، محمدی‌مقدم مهدی (۱۳۹۴). بیماری‌ها و تغییرات اقلیمی، تهدیدی برای تولید پسته در ایران، همایش ملی رهیافت‌های علمی در صنعت طلای سبز، پسته، دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان.
- ۱۲- مؤمنی، سکینه، زیبایی منصور (۱۳۹۲). اثرات بالقوه‌ی تغییر اقلیم بر کشاورزی استان فارس، نشریه‌ی اقتصاد و توسعه‌ی کشاورزی، شماره ۳، صص ۱۷۹-۱۶۹.
- ۱۳- کریمی، سهیل، میرفتاحی، زهرا، توللی، وحید (۱۳۹۵). تغییر اقلیم، یک تهدید جدید برای صنعت کشت و تولید پسته در ایران، سومین همایش یافته‌های نوین در محیط‌زیست و اکوسیستم‌های کشاورزی، تهران، پژوهشکده انرژی‌های نو و محیط‌زیست دانشگاه تهران.
- ۱۴- واثقی، الهه، اسماعیلی، عبدالکریم (۱۳۸۷). بررسی اثر اقتصادی تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی ایران: روش ریکادین (مطالعه‌ی موردی: گندم)، مجله‌ی علوم آب‌و خاک-علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۴۵، صص ۶۹۶-۶۸۵.
- ۱۵- وزیری، ژاله، سلامت، علیرضا، انتصاری، محمدرضا، مسچی، محمود، حیدری، نادر، دهقانی سانچ، حسین (۱۳۸۷). تبخیر-تعرق گیاهان (دستورالعمل محاسبه‌ی آب موردنیاز گیاهان کمیته‌ی ملی آبیاری و زهکشی ایران)، کمیته‌ی ملی آبیاری و زهکشی ایران، چاپ اول، ۳۵۵.
- 16- Asseng, S., Ewert, F., Martre, P., Rötter, R. P., Lobell, D. B., Cammarano, D., & Reynolds, M. P. (2015). Rising temperatures reduce global wheat production. *Nature Climate Change*, 5(2), 143-147.
- 17- Challinor, A. J., Wheeler, T. R., Craufurd, P. Q., Ferro, C. A. T., & Stephenson, D. B. (2007). Adaptation of crops to climate change through genotypic responses to mean and extreme temperatures. *Agriculture, ecosystems & environment*, 119(1), 190-204.
- 18- Ho, C. H., Lee, E. J., Lee, I., & Jeong, S. J. (2006). Earlier spring in Seoul, Korea. *International Journal of Climatology*, 26(14), 2117-2127.
- 19- Lesk, C., Rowhani, P., & Ramankutty, N. (2016). Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature*, 529(7584), 84-87.
- 20- Lobell, D. B., Field, C. B., Cahill, K. N., & Bonfils, C. (2006). Impacts of future climate change on California perennial crop yields: Model projections with climate and crop uncertainties. *Agricultural and Forest Meteorology*, 141(2), 208-218.
- 21- Menzel, A., Estrella, N., & Fabian, P. (2001). Spatial and temporal variability of the phenological seasons in Germany from 1951 to 1996. *Global Change Biology*, 7(6), 657-666.
- 22- Mullins, M. G., Bouquet, A., & Williams, L. E. (1992). *Biology of the grapevine*. Cambridge University Press.
- 23- Nassiri, M., Koocheki, A., Kamali, G. A., & Shahandeh, H. (2006). Potential impact of climate change on rainfed wheat production in Iran: (Potentieller Einfluss des Klimawandels auf die Weizenproduktion unter Rainfed-Bedingungen im Iran). *Archives of agronomy and soil science*, 52(1), 113-124.
- 24- Ramos, M. C., Jones, G. V., & Martínez-Casasnovas, J. A. (2008). Structure and trends in climate parameters affecting winegrape production in northeast Spain. *Climate Research*, 38(1), 1-15.
- 25- Smith, D. J., Christen, E. W., Cutting, M., & Hornbuckle, J. W. (2010). An analysis of climate change impacts on irrigated crop water requirement in the SA MDB region. Darling Downs: Cooperative Research Centre for Irrigation Futures, 1-20.
- 26- Sparks, T. H., Croxton, P. J., Collinson, N., & Taylor, P. W. (2005). Examples of phenological change, past and present, in UK farming. *Annals of applied biology*, 146(4), 531-537.
- 27- Teixeira, E. I., Fischer, G., van Velthuisen, H., Walter, C., & Ewert, F. (2013). Global hot-spots of heat stress on agricultural crops due to climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 170, 206-215.

- 28- Yin, X. G., Jabloun, M., Olesen, J. E., Öztürk, I., Wang, M., & Chen, F. (2016). Effects of climatic factors, drought risk and irrigation requirement on maize yield in the Northeast Farming Region of China. *The Journal of Agricultural Science*, 154(07), 1171-1189.
- 29- Winkler, A. J. (1974). *General viticulture*. Univ of California Press.