

روند تغییرات نیاز سرمایی گیاه پسته و پیش بینی آن با استفاده از مدل SDSM (مطالعه موردی: یزد)

ناصر پویان فر^۱

غلامعلی مظفری^۲

کمال امیدوار^۳

احمد مزیدی^۴

چکیده

پسته همانند بسیاری از درختان میوه مناطق نیمه گرمسیری در چرخه سالیانه خود به یک دوره سرما نیاز دارد تا بعد از مهیا شدن شرایط مناسب، شکوفایی طبیعی جوانه‌ها اتفاق افتد. بدین منظور از مدل‌های مختلفی جهت محاسبه نیاز سرمایی استفاده می‌گردد. پهنه جغرافیایی مورد مطالعه، دشت یزد- اردکان واقع در استان یزد می‌باشد. برای انجام این تحقیق از داده‌های سه ساعته دمای ایستگاه سینوپتیک یزد طی دوره آماری ۱۳۹۶-۱۳۶۷ به منظور مدل سازی و برآورد مجموع ساعات سرمایی ماهانه پسته استفاده گردید، همچنین از داده‌های روزانه دمای این ایستگاه طی دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۶۱ جهت مدل سازی در مدل SDSM و از آمار ماهانه دمای سال‌های ۱۳۹۷-۱۳۸۵ جهت ارزیابی داده‌های ریزمقیاس شده مدل CanESM2 تحت سناریوهای مختلف RCP استفاده به عمل آمد. در نهایت مدل سازی برای سال‌های ۱۴۲۹-۱۴۰۰ انجام پذیرفت. یافته‌های پژوهش حاکی از آن است که بین ساعات تجمعی ماهانه دماهای بین صفر تا ۷/۲ درجه سانتی‌گراد و پارامترهای دمایی ماهانه، نظیر میانگین حداقل دما، میانگین حداکثر دما و میانگین دمای ماهانه، همبستگی معنی داری وجود دارد که در شرایط عدم دسترسی به داده‌های ساعتی دما، برای مدل سازی و تعیین ساعات تجمعی ماهانه می‌توان از آن استفاده کرد. همچنین یافته‌ها نشان می‌دهد که نیاز سرمایی بعضی از ارقام پسته در سال‌های آتی تامین و برخی دیگر تامین نمی‌گردد.

واژگان کلیدی: پسته، تغییر اقلیم، نیاز سرمایی، SDSM، یزد- اردکان

مقدمه

اقلیم شرایط متوسط آب و هوا برای یک محدوده خاص و یک دوره خاص است. با این توصیف براساس تعریف کمیته بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC)^۵، تغییر اقلیم عبارت است از تغییر برگشت ناپذیر در متوسط شرایط آب و هوایی یک منطقه نسبت به رفتاری که در طول یک افق زمانی بلند مدت از اطلاعات مشاهده یا ثبت شده در آن منطقه مورد انتظار است. این تعریف به هرگونه تغییر در اقلیم که ناشی از فعالیت‌های انسانی یا ناپایداری طبیعی سیستم اقلیمی است اشاره دارد و از نوسان‌های کوتاه مدت اقلیمی متفاوت می‌باشد. آب و هوا یکی از عوامل تعیین کننده بهره‌وری در بخش کشاورزی است. با وجود تمامی پیشرفت‌های علمی و تکنولوژیکی در زمینه افزایش

^۱ دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه یزد

^۲ دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه یزد (نویسنده مسئول)

Email : gmozafari@yazd.ac.ir -Tel: 09144123849

^۳ استاد گروه جغرافیا، دانشگاه یزد

^۴ دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه یزد

^۵ Intergovernmental Panel of Climate Change

عملکرد و تولید محصولات زراعی، کشاورزی به شدت به آب و هوا وابسته است، به همین دلیل، تنوع اقلیمی و تغییرات آن چه در کوتاه مدت (در طول فصل رشد) و چه دراز مدت، سهم تعیین کننده ای در موفقیت تولید دارد و به همین دلیل است که تأثیر تغییرات اقلیمی آینده بر کشاورزی مورد توجه جوامع علمی بین المللی قرار گرفته است (کوچکی و همکاران، ۱۳۹۴). تأثیر اقلیم بر کشاورزی برحسب مقیاس مکانی و زمانی ارزیابی اثرات، متفاوت است. در مقیاس منطقه ای تکامل سیستم‌های کشاورزی و تنوع آنها در جهان تابع آب و هوا است، در حالی که در مقیاس کوچکتر، تغییرات فصلی و بین فصلی در رشد و نمو گیاهان، توسط شرایط آب و هوایی کنترل می گردد (روزنزیوک و همکاران ۱۹۹۴). بر این اساس می توان نتیجه گیری کرد که بروز هرگونه تغییر احتمالی در اقلیم آینده، تولیدات کشاورزی را در سطوح مختلف دستخوش تغییرات جدی خواهد ساخت (نصیری محلاتی و کوچکی، ۱۳۸۵).

پسته (*pistacia vera*) گیاهی نیمه گرمسیری، دو پایه و خزان کننده از خانواده آنا کاردیاسه است (جعفری ندوشن و احمدیان، ۱۳۸۷). گیاهان این خانواده به صورت درخت و درختچه هستند و گرده افشانی به صورت آزاد و به وسیله باد صورت می گیرد. جنس پسته دارای ۱۱ گونه است. از میان ۱۱ گونه پسته تنها سه گونه پسته اهلی (*p.vera*)، خنجک (*p.khinjuk*) و بنه (*p.mutica*) در ایران به صورت خودرو رویش دارند و بقیه گونه ها بومی سایر مناطق دنیا هستند (حسینی فرد و همکاران، ۱۳۹۶). گونه‌های پسته اهلی، میوه-های خوراکی با ارزش اقتصادی بالا تولید می کنند و سایر گونه ها بیشتر به عنوان پایه برای پسته اهلی، تولید سقز یا گاهی اوقات به صورت زینتی مورد استفاده قرار می گیرند (زوهاری، ۱۹۵۲). گیاه پسته از جمله گیاهانی است که به شدت وابسته به شرایط آب و هوایی محل است. تغییرات جهانی آب و هوا با تغییر در متوسط و واریانس داده‌های هواشناسی، احتمال رخداد وقایع حدی را بیشتر نموده و پیامدهای اساسی در چرخه سالانه گیاه به دنبال خواهد داشت. تغییرات آب و هوایی بر میزان دمای هوا، الگوی بارش، تبخیر سطحی، میزان رواناب و ذخایر رطوبتی خاک تأثیر گذار است (خسروی و همکاران، ۱۳۸۹). درختان میوه معتدله در چرخه سالیانه خود به یک دوره سرما نیاز دارند تا بعد از مهیا شدن شرایط مناسب، شکوفایی طبیعی جوانه‌ها اتفاق افتد. این سرمای مورد نیاز از دو جزء: درجه حرارت و مدت زمان تشکیل می شود. سال آوری تولید آن تابعی از تأمین نیاز سرمایی می باشد و این نیاز برای این محصول بین ارقام پسته اهلی متفاوت و بین ۶۰۰ تا ۱۲۰۰ ساعت گزارش شده است (حکم آبادی و جوانشاه، ۱۳۸۳).

مهمترین ارقام تجاری پسته در ایران، اوحدی (فندق)، کله قوچی، احمد آقایی، اکبری، ممتاز، خنجری، عباسعلی، شاه پسند، بادامی سفید، قرمز، دانشمندی، کال خندان، حاج عبدالهی و بادامی اردکان می باشند (وزارت جهاد کشاورزی، پژوهشکده پسته، ۱۳۹۶). نیاز سرمایی و محدوده دمایی موثر در گونه‌ها و حتی ارقام مختلف متفاوت است.

تحقیقات گسترده ای در زمینه پیش بینی نیاز سرمایی درختان میوه خزان دار در سطح جهان انجام پذیرفته است. بالدوکی و وون (۲۰۰۸) با بررسی انباشت سرمایی در دوره پایه و آینده تحت شرایط تغییر اقلیم در کالیفرنیا مشخص کردند که تا اواخر قرن ۲۱، انباشت سرمایی بسیاری از میوه ها در کالیفرنیا تأمین نخواهد شد. آلومی و همکاران (۲۰۱۳) اثرات انباشت سرمایی را بر روی عملکرد درختان پسته در مناطق گرم و خشک استرالیا بررسی کردند، برای انجام این تحقیق از سه مدل ساعات سرمایی (CH)^۱، یوتا (UT)^۲ و دینامیکی (CP)^۳ استفاده گردید و مدل یوتا به عنوان بهترین مدل تعیین شد. آنها با استفاده از مدل یوتا و داده های دمای ۴۰۰ ایستگاه در استرالیا، وضعیت انباشت سرمایی در دوره گذشته و دوره آینده تا سال ۲۰۳۰ را بررسی و دلیل اصلی کاهش انباشت سرمایی را افزایش گرمایش جهانی دانستند. اکبری و همکاران (۱۳۹۲) نیاز سرمایی پسته و رابطه بین میانگین دمای روزانه و نیاز سرمایی در شهرستان‌های کرمان و رفسنجان در ایران را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش براساس داده‌های یک ساعته دما، طی سال زراعی ۱۳۷۸-۱۳۸۸ و با استفاده از دو مدل ساعت سرمایی (CH) و یوتا (UT)، نیاز سرمایی درختان پسته تعیین و با استفاده از

¹ -Chilling hours

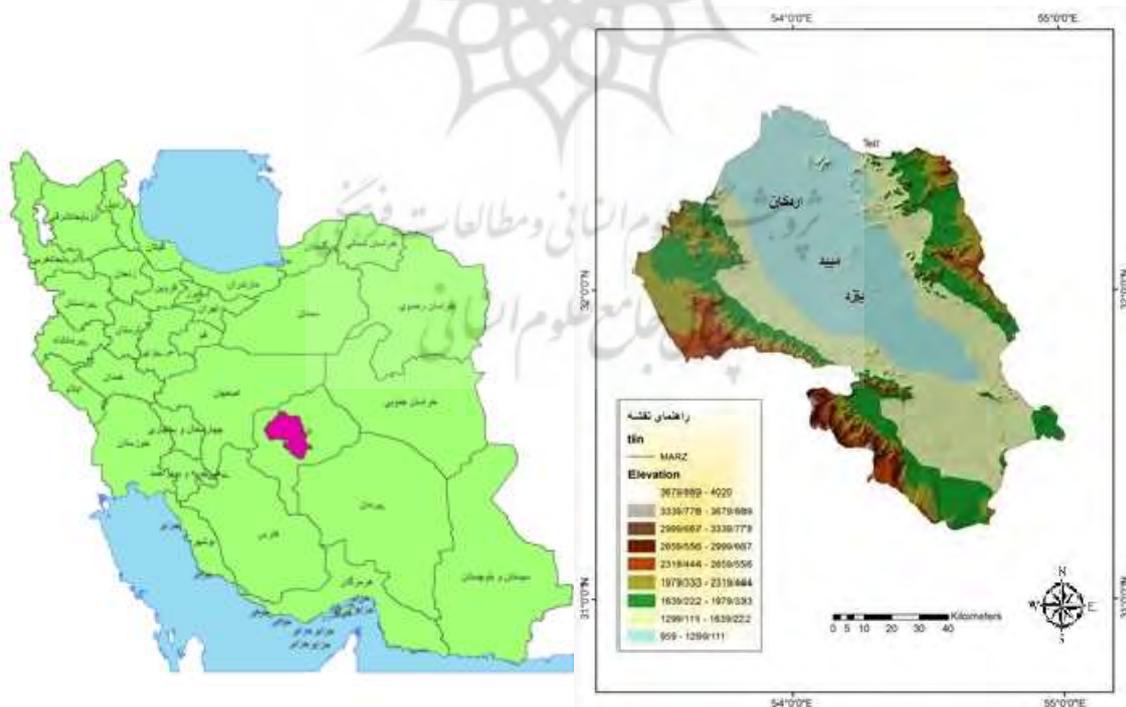
² -Utah

³ -Chill portions

داده‌های طولانی مدت، مدل ریاضی نیاز سرمایی بر اساس میانگین دمای روزانه تعیین گردید. گیو و همکاران (۲۰۱۴) انباشت سرمایی برای گلدهی درختان میوه مناطق معتدله را بررسی کردند، آنها مشخص کردند که در سری زمانی ۵۰ ساله، روند افزایشی در نیاز سرمایی وجود دارد، در حالی که انباشت سرمایی تقریباً ایستا بوده است. کافمن و بلانک (۲۰۱۶) در ارزیابی عملکرد سه مدل عددی ارزیابی انباشت سرمایی درختان میوه در آلمان، مشخص کردند که در اثر تغییرات آب و هوایی، انباشت سرمایی کاهش پیدا کرده است. فلاح قالهری و احمدی (۱۳۹۷) به منظور واکاوی الگوی انباشت سرمایی مناطق سردسیر ایران از مدل‌های ساعت سرمایی، واحدهای سرمایی و دینامیکی برای برآورده انباشت سرمایی استفاده نمودند. در این تحقیق از داده‌های سه ساعته دمای هوا برای ۲۸ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک در مناطق سردسیر و کوهستانی کشور از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۳ استفاده گردید. نتایج تحقیق نشان داد که میزان انباشت سرمایی در دهه‌های گذشته بیشتر از دهه‌های اخیر است. تحقیق حاضر با استفاده از مدل ساعات سرمایی (CH) و با هدف بررسی انباشت سرمایی زمستانه برای تعدادی از ارقام مهم پسته در سطح دشت یزد- اردکان و اثر تغییر اقلیم و گرمایش جهانی بر تامین نیاز سرمایی پسته در این منطقه انجام پذیرفته است.

داده ها و روش ها

دشت یزد- اردکان در محدوده طول جغرافیایی $53^{\circ}15'$ تا $54^{\circ}50'$ شرقی و عرض جغرافیایی $31^{\circ}15'$ تا $32^{\circ}45'$ شمالی با مساحت ۶۵۰۰ کیلومترمربع در استان یزد قرار دارد (شکل ۱). این دشت یکی از مناطق عمده کاشت پسته در سطح استان محسوب می شود. ایستگاه هواشناسی سینوپتیک یزد از جمله ایستگاه های بسیار قدیمی در این منطقه است که در عرض جغرافیایی $31^{\circ}54'31''$ شمالی، طول جغرافیایی $54^{\circ}17'20''$ شرقی و ارتفاع ۱۳۳۷ متر از سطح دریا در شهر یزد واقع گردیده و معرف مناسبی برای محدوده ی مورد مطالعه می باشد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی دشت یزد- اردکان

برای بررسی اثر تغییر اقلیم بر نیاز سرمایی ارقام مختلف پسته، از داده‌های سه ساعته دمای این ایستگاه، شامل ۲۵۰۰۰ رکورد، طی دوره آماری ۱۳۹۶-۱۳۶۷ شمسی، به منظور مدل سازی و برآورد مجموع ساعات سرمایی ماهانه پسته استفاده گردید. جهت ریزمقیاس‌نمایی از مدل SDSM^۱ و از آمار روزانه دمای این ایستگاه طی دوره آماری ۱۳۳۹ لغایت ۱۳۸۴ شمسی استفاده شد. این دوره مصادف با سالهای ۲۰۰۵-۱۹۶۱ میلادی است که با توجه به ماهیت مدل و نیاز به دوره آماری میلادی، ابتدا تاریخ‌های شمسی به میلادی تبدیل و سپس وارد مدل مذکور گردیدند. در نهایت از آمار ماهانه دمای سالهای ۱۳۹۷-۱۳۸۵ جهت ارزیابی داده‌های ریزمقیاس شده مدل CanESM2^۲ تحت سناریوهای مختلف RCP^۳ استفاده به عمل آمد.

ریزمقیاس‌نمایی مقادیر دما

در پژوهش حاضر به منظور برآورد داده‌های دمای آینده از مدل گردش عمومی جو CanESM2 تحت سه سناریو RCP ۸/۵، RCP ۴/۵ و RCP ۲/۶ و از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM نسخه ۵/۳ جهت ریزمقیاس‌نمایی داده‌های خروجی استفاده شده است. مدل CanESM2 یک مدل جامع و جفت شده و چهارمین نسل از مدل‌های گردش عمومی جفت شده (CGCM4)^۴ است و جزء سری مدل‌های CMIP5^۵ و گزارش پنجم^۶ (AR 5) هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) می باشد (ارورا و همکاران، ۲۰۱۱). در گزارش پنجم دقت شبیه‌سازی و وضوح مکانی مدل‌ها نسبت به گزارش پیشین افزایش یافته است. در سناریوهای RCP، محدوده مستدل تری از خط سیرهای تولیدگازهای گلخانه‌ای (GHGs)^۷ نسبت به سناریوهای SRES^۸ در گزارش چهارم (AR4)^۹ ارزیابی شده است.

به طور کلی عدم قطعیت‌ها در گزارش اخیر کاهش یافته است. سناریوهای RCP شامل یک سناریوی کاهش‌ی سختگیرانه (RCP۲/۶)، دو سناریوی حد واسطه (RCP ۴/۵ و RCP ۶) و یک سناریوی بدبینانه (RCP ۸/۵) با تولید گازهای گلخانه‌ای بسیار بالا می‌باشند. RCP ۶، RCP ۴/۵ و RCP ۲/۶ اثر گازهای گلخانه‌ای بر واداشت تابشی را در سال ۲۱۰۰ به ترتیب تا ۸/۵، ۴/۵ و ۲/۶ وات بر مترمربع تخمین زده‌اند (IPCC، ۲۰۱۴). مدل SDSM یک ابزار رگرسیون بنیان‌چندگانه است و امروزه به عنوان پرکاربردترین مدل ریزمقیاس‌نمایی و بهترین مولد داده شرطی در سطح جهان شناخته شده است. رضایی و همکاران (۱۳۹۳) در تحقیقی در خصوص بررسی کارایی مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM در پیش‌بینی پارامترهای دمایی دو اقلیم خشک و نیمه خشک کرمان و بم نشان دادند که این مدل از کارایی بالاتر و قابل قبولی برای پیش‌بینی دما برخوردار است. همچنین سبحانی و همکاران (۱۳۹۴)، قاسمی فر و همکاران (۱۳۹۵)، لویز و همکاران (۲۰۰۸) و کان و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند مدل SDSM مدلی با خطای بسیار پایین جهت شبیه‌سازی و ارزیابی اثرات تغییر اقلیم به ویژه دما است. عملکرد و ساختار مدل SDSM در چهار مرحله خلاصه می‌شود: انتخاب متغیرهای پیش‌بینی کننده به نام متغیر مستقل، واسنجی مدل، ارزیابی مدل و تولید سناریوهای آتی (ویلی و همکاران، ۲۰۱۴). بعد از آن کالیبراسیون مدل انجام می‌پذیرد و با سعی و خطا و در نظر گرفتن معیارهای ارزیابی، بهترین

- 1 -Statisticah Downscaling Model
- 2 -Second generation Canadian Earth System Model
- 3 -Representative concentration pathway
- 4 -Fourth-generation Coupled Global Climate Model
- 5 -Coupled Model Intercompaison Project Phase5
- 6 -Fifth Assessment Report of the IPCC
- 7 -Greenhouse Gases
- 8 -Special Report on Emissions Scenarios
- 9 -Fourth Assessment Report of the IPCC

دوره از بین آن ها سری ای انتخاب می شود که بیشترین همبستگی را با داده های مشاهداتی داشته باشد. برای آزمون کارایی مدل از معیارهای R^2 ، RMSE² و MAE³ استفاده می شود (طائی سمیرومی و همکاران، ۱۳۹۳).

در این مطالعه به منظور بررسی میزان حساسیت مدل SDSM به خروجی مدل جهانی، شاخص دما با استفاده از داده های تاریخی مدل CanESM2 شبیه سازی و سپس با داده های مشاهداتی مقایسه و توانایی مدل بزرگ مقیاس در تولید سناریو برای دوره های آتی مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از این مراحل با استفاده از داده های دوره زمانی آینده مدل بزرگ مقیاس مورد نظر، داده های دما برای دوره زمانی ۱۴۲۹-۱۴۰۰ تحت سه سناریو تایید شده IPCC برآورد گردید.

مدل های نیاز سرمایی

جهت برآورد مقادیر نیاز سرمایی از مدل های متعددی استفاده می شود. در تمامی این مدل ها حرف T معادل دمای ساعتی بر حسب درجه سانتی گراد است. مدل ساعات سرمایی که با علامت (CH) نشان داده می شود، یکی از پر کاربردترین مدل ها می باشد که به مدل واینبرگر معروف است (واینبرگر، ۱۹۵۰). این مدل یک تابع تک مرحله ای است که نیاز سرمایی یک ساعت را برای هر بازه زمانی با دمایی در بین صفر تا ۷/۲ درجه سانتی گراد ثبت می کند. در این مدل تعداد ساعات سرمایی در زمان t (زمان از آغاز دوره رکود بر حسب ساعت) بر اساس معادله ۱ بدست می آید.

$$CH = \sum_{i=1}^t T_{7.2}, \text{ with } T_{7.2} = \begin{cases} 0^\circ\text{C} < T < 7.2^\circ\text{C} : 1 \\ \text{else} : 0 \end{cases} \quad \text{معادله ۱}$$

در مدل یوتا (UT) به عنوان یک مدل وزن دار شده، دماهای بالا بر روی انباشت سرمایی اثر منفی می گذارند. در این مدل دماهای کمتر از ۱/۴ درجه سانتی گراد و بیشتر از ۱۲/۴ درجه سانتی گراد بدون ارزش سرمایی و دماهای بالاتر از ۱۵/۹ درجه سانتی گراد، اثری منفی دارند. دماهای بین ۱/۴ تا ۲/۴ درجه، دارای ارزش سرمایی ۰/۵، دماهای بین ۲/۴ تا ۹/۱ درجه، دارای ارزش سرمایی ۱ و دماهای بین ۹/۱ تا ۱۲/۴ درجه سانتی گراد نیز از ارزش سرمایی ۰/۵ برخوردار می باشند. در این مدل تعداد ساعات سرمایی در زمان t بر اساس معادله ۲ بدست می آید.

$$UT = \sum_{i=1}^t T_U, \text{ with } T_U = \begin{cases} T \leq 1.4^\circ\text{C} & : 0 \\ 1.4^\circ\text{C} < T \leq 2.4^\circ\text{C} & : 0.5 \\ 2.4^\circ\text{C} < T \leq 9.1^\circ\text{C} & : 1 \\ 9.1^\circ\text{C} < T \leq 12.4^\circ\text{C} & : 0.5 \\ 12.4^\circ\text{C} < T \leq 15.9^\circ\text{C} & : 0 \\ 15.9^\circ\text{C} < T \leq 18.0^\circ\text{C} & : -0.5 \\ T \geq 18.0^\circ\text{C} & : -1 \end{cases} \quad \text{معادله ۲}$$

1- R.squared

2- Root Mean Square Error

3-Mean Absolute Error

در مدل یوتا مثبت (UTpos) دماهای کمتر از ۱/۴ درجه سانتی گراد و بیشتر از ۱۲/۴ درجه سانتی گراد بدون ارزش سرمایه می باشند، ضمن اینکه بر خلاف مدل (UT)، دماهای بالاتر نیز بدون ارزش سرمایه می باشند. در این مدل تعداد ساعات سرمایه در زمان t بر اساس معادله ۳ بدست می آید.

معادله ۳

$$UT_{POS} = \sum_{i=1}^t T_{U+}, \text{ with } T_{U+} = \begin{cases} T \leq 1.4^{\circ}\text{C} & : 0 \\ 1.4^{\circ}\text{C} < T \leq 2.4^{\circ}\text{C} & : 0.5 \\ 2.4^{\circ}\text{C} < T \leq 9.1^{\circ}\text{C} & : 1 \\ 9.1^{\circ}\text{C} < T \leq 12.4^{\circ}\text{C} & : 0.5 \\ T \geq 12.4^{\circ}\text{C} & : 0 \end{cases}$$

برای تعیین انباشت سرمایه لازم است که دمای هر ساعت در شبانه روز در دسترس باشد، از آنجا که آمار سازمان هواشناسی به صورت سینوپ سه ساعته در اختیار کاربران قرار می گیرد. برای محاسبه انباشت سرمایه لازم است دمای هر ساعت در هر شبانه روز مشخص تا مدل های محاسبه ساعات سرمایه بتوانند ارزش سرمایه ساعات مختلف را محاسبه کنند لذا از روش درون یابی خطی برای تبدیل دمای سه ساعته به دمای ساعتی استفاده شد. در این روش اختلاف دمای سه ساعت قبل با سه ساعت بعد محاسبه و با تقسیم بر بازه سه ساعته، میزان افزایش و یا کاهش دما در هر ساعت بدست می آید که با توجه به افزایش و یا کاهش دما، این مقدار به دمای قبلی افزوده و یا کم می شود. بدین منظور با استفاده از امکانات برنامه نویسی نرم افزار اکسل، برنامه لازم نوشته و سپس با اعمال داده ساعتی، سری زمانی مجموع انباشت ساعتی از سال ۱۳۹۶-۱۳۶۷ برای دوره رکود محاسبه گردید. در نهایت میزان ساعات سرمایه بر اساس ارقام مختلف تعیین و ارتباط بین ساعات سرمایه روزانه با مقادیر میانگین دمای حداقل و حداکثر و میانگین دمای ماهانه با هدف کاربرد آن در ارائه مدل نهائی مورد استفاده قرار گرفت. دوره زمانی محاسبه نیاز سرمایه برای درختان پسته در ایران از نیمه آبان تا پایان بهمن ماه می باشد. این نیاز سرمایه بین ارقام مختلف پسته اهلی متفاوت و بین ۶۰۰ تا ۱۲۰۰ ساعت گزارش شده است (حکم آبادی و جوانشاه، ۱۳۸۳). نیاز سرمایه ارقام مهم در منطقه مطالعاتی در جدول ۱ ارائه گردیده است.

جدول ۱- نیاز سرمایه ارقام غالب پسته

ارقام	ساعت
کله قوچی	۶۰۰
اوحدی	۸۰۰
احمد آقایی	۱۰۰۰
اکبری	۱۲۰۰
فندقی	۱۲۰۰

ماخذ: حکم آبادی و جوانشاه (۱۳۸۳)



نتایج و بحث

برآورد مجموع ساعات سرمایی ماهانه پسته با استفاده از مدل های تعیین نیاز سرمایی

با فرا رسیدن فصل پاییز، رشد درختان خزان دار متوقف می شود و با کوتاه شدن طول روز و کاهش دما، گیاه وارد مرحله رکود می شود، ولی خروج از این مرحله مستلزم تامین نیاز سرمایی گیاه می باشد، به طوری که بدون این مرحله، چرخه سالانه گیاه تکمیل نشده و قادر به رشد طبیعی نخواهد بود (طالعی، ۱۳۶۷). حداقل زمان لازم برای سرمادهی یک رقم در طی فصل رکود که موجب از سر گیری رشد طبیعی آن در فصل رویش می شود نیاز سرمایی نامیده می شود.

در جدول ۲، معادلات مختلف تخمین مجموع ساعات سرمایی ماهانه پسته در ایستگاه یزد ارائه شده است. در این جدول از مدل های مختلف برآورد نیاز سرمایی استفاده شده و به کمک پارامترهای میانگین دمای حداقل ماهانه (T_{min})، میانگین دمای حداکثر ماهانه (T_{max}) و دمای میانگین ماهانه (T_{avg})، مجموع ساعات سرمایی ماهانه پسته بر حسب ساعت در ماه، قابل برآورد است. مدل دماهای بین ۰ تا ۷/۲ درجه سلسیوس (CH)، مدل واحدهای سرمایی یوتا (UT) و مدل واحدهای سرمایی یوتا مثبت (Upos) سه مدل استفاده شده در این پژوهش می باشد. مهمترین مزیت معادلات مذکور، سهولت کاربری آنها بدلیل استفاده از پارامترهای هواشناسی قابل وصول، برای برآورد ساعات سرمایی ماهانه، یعنی دمای حداقل ماهانه (T_{min})، میانگین دمای حداکثر ماهانه (T_{max}) و دمای میانگین ماهانه (T_{avg}) است، بطوریکه کاربر می تواند پس از محاسبه یکی از این سه پارامتر برای هر یک از ماه های سال (آبان، آذر، دی و بهمن) و استفاده از معادلات مذکور، به مجموع ساعات سرمایی ماهانه پسته بر حسب ساعت در ماه دست یابد.

جدول ۲- معادلات تخمین مجموع ساعات سرمایی ماهانه پسته از طریق مدل های مختلف برآورد نیاز سرمایی به کمک پارامترهای میانگین دمای حداقل ماهانه (T_{min})، میانگین دمای حداکثر ماهانه (T_{max}) و دمای میانگین ماهانه (T_{avg}) در ایستگاه یزد

نام مدل برآورد ساعات سرمایی گیاه	پارامتر مورد نیاز برای تخمین مجموع ساعات سرمایی	معادله تخمین ساعات سرمایی (بر حسب ساعت در ماه)	دقت معادله مربوطه			
			MAE	RMSE	r	R ²
مدل واحدهای سرمایی یوتا (CH)	میانگین دمای حداقل ماهانه (T_{min})	$CH = -37/37 * T_{min} + 348/8$	۴۸	۶۳	۰/۸۷	۰/۷۵۶
	میانگین دمای حداکثر ماهانه (T_{max})	$CH = -28/44 * T_{max} + 695/2$	۵۲	۶۷	۰/۸۵	۰/۷۲۳
	دمای میانگین ماهانه (T_{avg})	$CH = -34/43 * T_{avg} + 566/3$	۴۴	۵۹	۰/۸۹	۰/۷۸۶
مدل واحدهای سرمایی یوتا (UT)	میانگین دمای حداقل ماهانه (T_{min})	$U = -40/54 * T_{min} + 387/3$	۷۷	۱۰۱	۰/۷۷	۰/۵۸۷
	میانگین دمای حداکثر ماهانه (T_{max})	$U = -32/11 * T_{max} + 795/2$	۷۸	۹۵	۰/۸۰	۰/۶۳۵
	دمای میانگین ماهانه (T_{avg})	$U = -38/67 * T_{avg} + 636/1$	۷۳	۹۳	۰/۸۱	۰/۶۵۴
مدل واحدهای سرمایی یوتا مثبت (UTpos)	میانگین دمای حداقل ماهانه (T_{min})	$U^+ = -29/49 * T_{min} + 414/2$	۷۶	۹۲	۰/۶۹	۰/۴۷۸
	میانگین دمای حداکثر ماهانه (T_{max})	$U^+ = -23/12 * T_{max} + 698/7$	۷۶	۹۱	۰/۷۰	۰/۴۸۶
	دمای میانگین ماهانه (T_{avg})	$U^+ = -27/63 * T_{avg} + 590/2$	۷۴	۸۹	۰/۷۲	۰/۵۱۴

ماخذ: محاسبات نگارنده

در این جدول، آماره های خطا، مربوط به هر معادله به منظور تشخیص کارایی هر یک از معادلات مذکور ارائه گردیده است. این آماره ها شامل میانگین خطای مطلق (MAE)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب همبستگی (r) و ضریب تبیین (R^2) است. بدیهی است که کمتر بودن مقادیر MAE و RMSE و بالاتر بودن مقادیر r و R^2 به منزله مناسب تر بودن مدل مورد نظر برای تخمین مجموع ساعات سرمایی ماهانه پسته در ایستگاه یزد می باشد. بعنوان مثال، در هر سه مدل برآورد نیاز سرمایی یعنی CH، UT یا UTpos، آن دسته از معادلاتی که بر مبنای T_{avg} هستند، دقت بالاتری نسبت به معادلات بر مبنای T_{min} و T_{max} دارند و به همین دلیل

این دسته از معادلات قابل توصیه می‌باشند. در جدول مذکور، این معادلات بصورت تیره‌تر نشان داده شده‌اند. اما صرفنظر از اینکه نتایج کدامیک از مدل‌های موجود، در زمینه برآورد ساعات سرمایی پسته از دیدگاه فیزیولوژی گیاه پسته دقت و صحت بالاتری دارند، اما از دیدگاه مدل‌سازی اثرات تغییر اقلیم در آینده و به منظور ایجاد ارتباط آماری مناسب بین نتایج مدل‌های موجود و متغیرهای مختلف هواشناسی (T_{\min} ، T_{\max} و T_{avg})، مدل CH نسبت به مدل‌های یوتا و یوتا مثبت، ارجح تشخیص داده شد بطوریکه نتایج مدل CH همبستگی آماری مناسبی با هر یک از متغیرهای T_{avg} ، T_{\min} و T_{\max} دارد. همچنین در بین متغیرهای مذکور، پارامتر T_{avg} نسبت به پارامترهای T_{\min} و T_{\max} برای مدل‌سازی مناسب‌تر تشخیص داده شد. بنابراین پیشنهاد می‌گردد که از رابطه رگرسیونی زیر (معادله ۴) برای مدل‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر نیاز سرمایی پسته استفاده شود:

$$\text{CH} = -34/43 * T_{\text{avg}} + 566/3 \quad (\text{with MAE}=44, \text{RMSE}=59, r=0/89, R^2=0/786) \quad \text{معادله ۴}$$

در این معادله، T_{avg} میانگین دمای ماهانه و CH مجموع ماهانه ساعات سرمایی بین ۰ تا ۷/۲ درجه سلسیوس در ماه مورد نظر (بر حسب ساعت) می‌باشد. این معادله در شرایط عدم دسترسی به داده‌های ساعتی دمای هوا کاربرد دارد، به طوریکه با داشتن دمای میانگین هوا در هر ماه، می‌توان به تقریبی از ساعات سرمایی حادث شده در آن ماه بر حسب ساعت (CH) یا تعداد ساعتی که دمای هوا بین صفر تا ۷/۲ درجه سلسیوس بوده است) رسید. در مورد گیاه پسته با توجه به اینکه دوره رکود این گیاه از نیمه آبان تا آخر بهمن قرار دارد، بدیهی است که در صورت داشتن میانگین دمای هوا در هر یک از این ماه‌ها، می‌توان اقدام به محاسبه CH در هر ماه و نهایتاً با تجمیع آنها، کل ساعات سرمایی حادث شده طی دوره مذکور را بر حسب ساعت برآورد نمود.

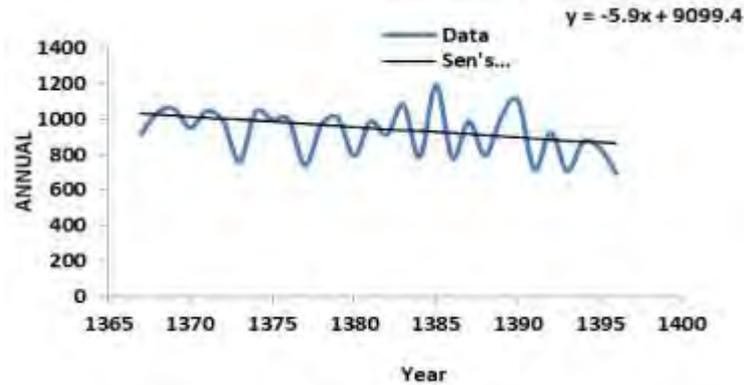
تعیین روند تغییرات نیاز سرمایی پسته در دوره پایه به روش آزمون شیب سنس

جهت برآورد نمودن شیب واقعی یک روند در یک سری زمانی، استفاده از روش ناپارامتریک سنس یکی از روش‌های مناسب در این زمینه می‌باشد. مقادیر Q در این روش نشان دهنده شیب خط می‌باشد، اگر حد بالا و پایین Q هر دو مثبت باشد، فرض وجود روند افزایشی در دما رد نمی‌شود.

اگر حد بالا و پایین Q هر دو منفی باشد فرض وجود روند کاهشی در دما ثابت می‌شود و اگر حد بالا و پایین مثبت و منفی باشد، فرض وجود روند تایید نمی‌گردد (مسعودیان، ۱۳۸۳). بر این اساس با توجه به مقادیر منفی حد بالا و پایین Q در سطح اطمینان ۹۵ درصد، روند مقادیر ساعات سرمایی تجمعی دماهای بین صفر تا ۷/۲ درجه سانتی‌گراد در دوره رکود درختان پسته در منطقه مطالعاتی طی سی سال تحت بررسی (۱۳۹۶-۱۳۶۷) بصورت منفی و نزولی بوده است (جدول ۳). بطور کلی برازش نمودار خط سنس نیز حاکی از کاهش مقادیر ساعات سرمایی در طول دوره آماری در ایستگاه مورد مطالعه است (شکل ۲).

جدول ۳- نتایج حاصل از آزمون سنس در سطوح اطمینان ۹۹ و ۹۵ درصد (ایستگاه سینوپتیک یزد)

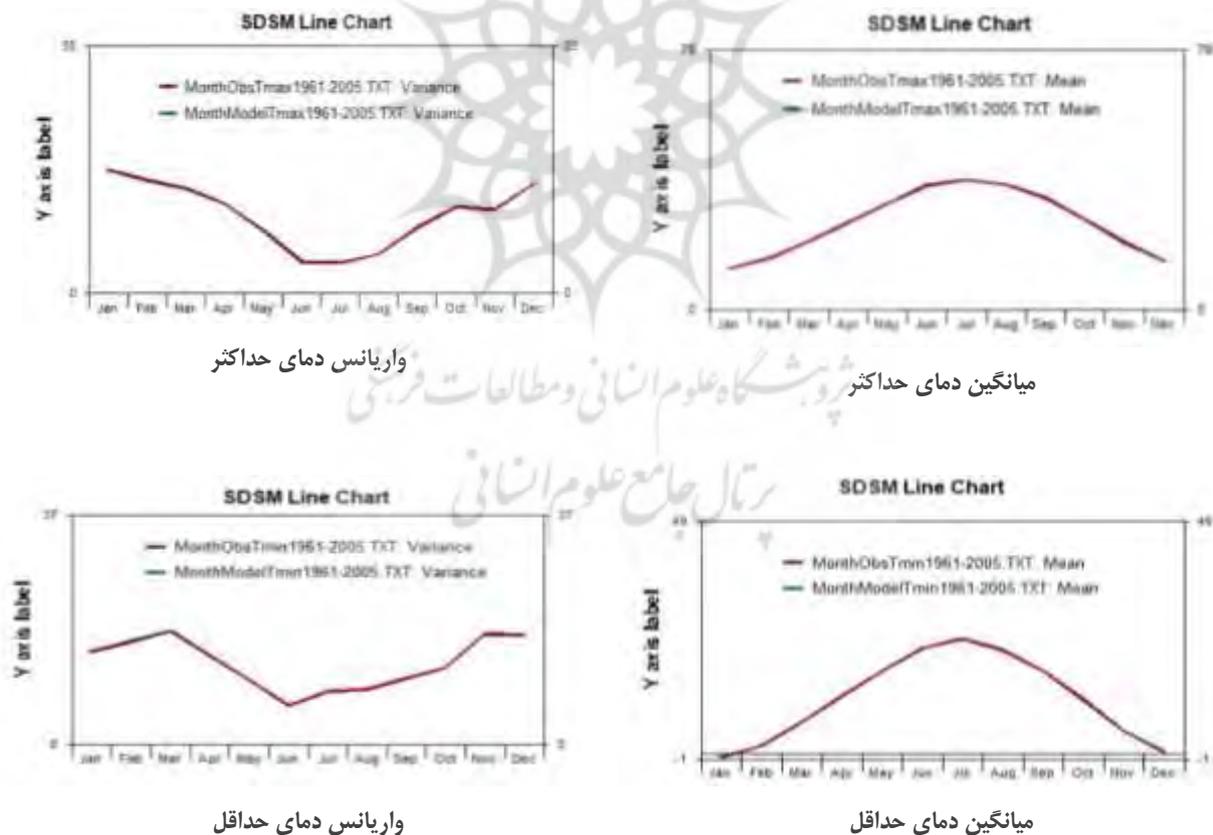
B	Q max ٪۹۹	Q min ٪۹۹	Q max ٪۹۵	Q min ٪۹۵	Q
۱/۰۳	۲/۲۳	-۱/۳۸	-۱/۵۴	-۱/۱۰	-۵/۹



شکل ۲: برازش نمودار خط سنس بر ساعات تجمعی دماهای بین + تا ۷/۲ درجه سانتی گراد در طی دوره آماری

مقایسه دماهای دوره پایه با نتایج بدست آمده توسط مدل جهانی CanESM2

به منظور مقایسه دماهای مشاهداتی در دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۶۱) و شبیه سازی شده توسط مدل CanESM2، از میانگین و واریانس دمای حداقل و حداکثر دمای روزانه ایستگاه یزد استفاده گردید. به استناد شکل ۳، میانگین و واریانس دمای حداقل و حداکثر ایستگاه یزد در دوره پایه و شبیه سازی شده بسیار شبیه هم بوده و از انطباق مناسبی برخوردارند.



واریانس دمای حداکثر

میانگین دمای حداکثر

واریانس دمای حداقل

میانگین دمای حداقل

شکل ۳- مقایسه میانگین و واریانس دمای حداقل و حداکثر ایستگاه یزد پس از انجام کالیبراسیون و ریزمقیاس سازی داده‌های مدل

CanESM2 توسط نرم افزار SDSM

شبیه سازی وضعیت دمای آینده توسط مدل CanESM2

نتایج حاصل از مقایسه میانگین دمای حداقل، میانگین دمای حداکثر و میانگین دمای ماهانه مشاهده شده در ایستگاه یزد در دوره پایه (۱۳۹۶-۱۳۶۷) با پیش‌بینی‌های صورت گرفته توسط مدل CanESM2 و سناریوهای مختلف RCP در دهه‌های آتی (۱۴۲۹-۱۴۰۰) در جدول ۴ ارائه گردیده است.

جدول ۴- مقایسه میانگین دمای حداقل، حداکثر و میانگین دمای ماهانه مشاهده شده در ایستگاه یزد در دوره پایه (۱۳۹۶-۱۳۶۷) با پیش‌بینی‌های صورت گرفته توسط مدل CanESM2 و سناریوهای مختلف RCP در دهه‌های آتی (۱۴۲۹-۱۴۰۰)

دوره پایه و سناریو	پایه			RCP۲/۶			RCP۴/۵			RCP۸/۵		
	میانگین دمای حداقل ماهیانه	میانگین دمای حداکثر ماهیانه	میانگین دمای ماهیانه	میانگین دمای حداقل ماهیانه	میانگین دمای حداکثر ماهیانه	میانگین دمای ماهیانه	میانگین دمای حداقل ماهیانه	میانگین دمای حداکثر ماهیانه	میانگین دمای ماهیانه	میانگین دمای حداقل ماهیانه	میانگین دمای حداکثر ماهیانه	میانگین دمای ماهیانه
آبان	۵/۲	۲۰/۳	۱۲/۷	۴/۲	۲۱	۱۲/۶	۴/۴	۲۱	۱۲/۷	۴/۱	۲۰/۸	۱۲/۵
آذر	۱/۴	۱۶/۳	۸/۹	۱/۲	۱۷	۹/۱	۰/۸	۱۷/۶	۸/۷	۱	۱۷/۱	۹
دی	-۰/۶	۱۲/۷	۶/۱	-۱/۱	۱۳/۴	۶/۲	-۰/۱	۱۳/۶	۶/۳	-۰/۸	۱۳/۸	۶/۵
بهمن	-۰/۶	۱۴/۱	۷/۳	۰/۴	۱۴/۴	۷/۴	۰/۳	۱۴/۷	۷/۵	۰/۴	۱۴/۸	۷/۶

نتایج مدل سازی نشان می‌دهد میانگین دمای حداقل ماهانه در ماههای آبان، آذر و دی در سناریوهای RCP ۲/۶، RCP ۴/۵ و RCP ۸/۵ نسبت به دوره پایه کاهش و در بهمن افزایش می‌یابد. میانگین دمای حداکثر ماهانه در تمامی ماه‌ها و در تمامی سناریوها افزایشی بوده و میانگین دمای ماهانه در ماه‌های آبان و آذر، حول میانگین و در ماه‌های دی و بهمن با شیب ملایم دارای روند افزایشی است.

ارزیابی و مقایسه نتایج حاصل از سناریوهای مختلف RCP در پیش‌بینی دمای ایستگاه یزد طی بازه زمانی ۲۰۱۸-۲۰۰۶

با توجه به اینکه اعداد ارائه شده توسط مدل CanESM2 مربوط به بازه زمانی ۲۰۰۶ به بعد (تا سال ۲۰۹۹ میلادی)، جزء دوره پیش‌بینی مدل محسوب می‌گردد، و از طرفی این دوره عملاً رخ داده و آمار واقعی مربوط به ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸ (۱۳۹۷-۱۳۸۵) موجود بوده است، امکان مقایسه نتایج کسب شده از سناریوهای مختلف RCP در پیش‌بینی دمای ایستگاه یزد طی بازه زمانی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷ فراهم گردید. به منظور ارزیابی روش‌های مورد استفاده در برآورد دما، مقایسه داده‌های تولید شده توسط مدل و داده‌های واقعی با استفاده از معیارهای متداول آماری ضریب همبستگی (r)، ضریب تعیین (R^2)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE) انجام شد که نتایج در جدول ۵ ارائه گردیده است.

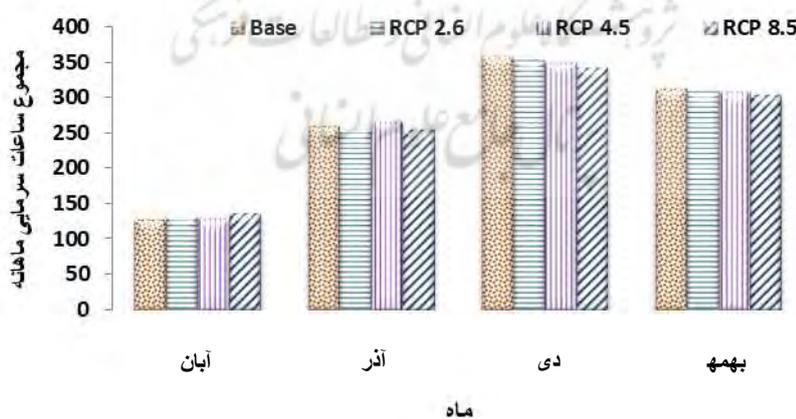
جدول ۵- ارزیابی داده‌های ریزمقیاس شده مدل CanESM2 تحت سناریوهای مختلف RCP طی بازه زمانی ۱۳۸۵-۱۳۹۷

نام سناریو	پارامتر پیش بینی شده	دقت سناریو			
		MAE	RMSE	r	R2
RCP۲/۶	دمای حداقل	۴/۲	۵/۳	.۸۶	.۷۴
	دمای حداکثر	۴/۷	۶/۱	.۸۳	.۶۹
	دمای میانگین	۳/۶	۴/۶	.۸۹	.۸۰
RCP۴/۵	دمای حداقل	۴/۲	۵/۴	.۸۶	.۷۴
	دمای حداکثر	۴/۷	۶/۱	.۸۳	.۶۹
	دمای میانگین	۳/۶	۴/۶	.۸۹	.۷۹
RCP۸/۵	دمای حداقل	۴/۲	۵/۳	.۸۶	.۷۴
	دمای حداکثر	۴/۷	۶/۱	.۸۳	.۶۹
	دمای میانگین	۳/۵	۴/۵	.۸۹	.۸۰

براساس جدول فوق، تقریباً سناریوهای تغییر اقلیم (RCP۲/۶، RCP۴/۵، RCP ۸/۵) از کارایی مشابهی در برآورد دمای حداقل، دمای حداکثر و دمای میانگین ماهانه در ایستگاه یزد برخوردارند، اما به دلیل اینکه در دمای میانگین، نسبت به پارامترهای دمای حداقل و حداکثر، مقادیر MAE و RMSE کمتر و مقادیر r^2 و r بیشتر می باشد، لذا دمای میانگین، کارایی بیشتری نسبت به سایر پارامترها دارد.

برآورد نیاز سرمایی ماهانه و سالانه پسته در دهه‌های آتی و مقایسه آن با دوره پایه

با توجه به دقت بیشتر پارامتر میانگین دمای ماهانه در مقایسه با پارامترهای میانگین دمای حداقل و حداکثر ماهانه در برآورد نیاز سرمایی، از این پارامتر برای برآورد نیاز سرمایی ماهانه و سالانه پسته در دهه‌های آتی استفاده به عمل آمد. بررسی شکل ۴ و جدول ۶ که مقادیر استخراج شده از شکل مذکور را نشان میدهد بیان کننده این موضوع است که میزان ساعات سرمایی در آبان در سناریوهای RCP ۲/۶ و RCP ۸/۵ افزایشی و در RCP ۴/۵ تقریباً معادل دوره پایه می باشد. در آذر به جز RCP ۴/۵ که ساعات سرمایی افزایش یافته است در RCP ۲/۶ و RCP ۸/۵ کاهش می باشد. در ماه‌های دی و بهمن در تمامی سناریوها کاهش تامین نیاز سرمایی وجود دارد.

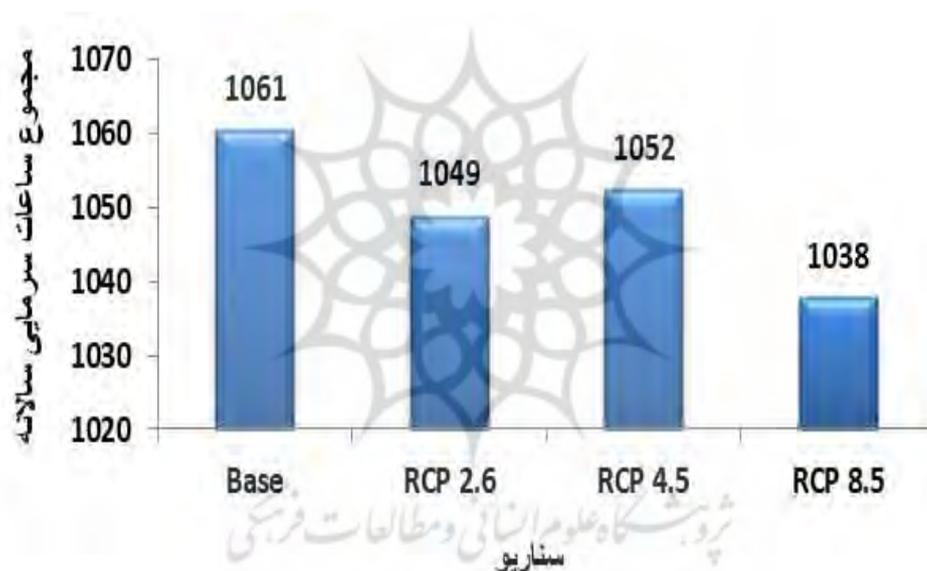


شکل ۴- مقایسه مجموع ساعات سرمایی ماهانه ایستگاه یزد در دوره پایه (۱۳۹۶-۱۳۶۷) با پیش‌بینی‌های صورت گرفته توسط مدل CanESM2 تحت سناریوهای مختلف RCP در دهه‌های آتی (۱۴۲۹-۱۴۰۰)

جدول ۶- مقایسه مجموع ساعات سرمایی ماهانه ایستگاه یزد در دوره پایه (۱۳۹۶-۱۳۶۷) با پیش‌بینی‌های صورت گرفته توسط مدل CanESM2 تحت سناریوهای مختلف RCP در دهه‌های آتی (۱۴۲۹-۱۴۰۰)

سناریو ماه	پایه	RCP۲/۶	RCP۴/۵	RCP۸/۵
آبان	۱۲۸	۱۳۲	۱۲۹	۱۳۷
آذر	۲۶۱	۲۵۴	۲۶۵	۲۵۵
دی	۳۵۸	۳۵۳	۳۵۰	۳۴۳
بهمن	۳۱۴	۳۱۰	۳۰۸	۳۰۳
جمع	۱۰۶۱	۱۰۴۹	۱۰۵۲	۱۰۳۸

شکل ۵ نشان می‌دهد که ساعات سرمایی مورد نیاز ارقام پسته در دوره پایه به میزان ۱۰۶۱ ساعت تامین شده است در حالی که این میزان در RCP ۲/۶ به ۱۰۴۹، RCP ۴/۵ به ۱۰۵۲ و RCP ۸/۵ به ۱۰۳۸ ساعت کاهش یافته است.



شکل ۵- مقایسه مجموع ساعات سرمایی سالانه ایستگاه یزد در دوره پایه (۱۳۹۶-۱۳۶۷) با پیش‌بینی‌های صورت گرفته توسط مدل CanESM2 تحت سناریوهای مختلف RCP در دهه‌های آتی (۱۴۲۹-۱۴۰۰)

به منظور بررسی میزان تامین نیاز سرمایی ارقام مختلف پسته، نسبت به مقایسه مجموع ساعات سرمایی سالانه در دوره پایه، پیش‌بینی مدل و همچنین محاسبه مازاد و یا کمبود نیاز سرمایی ارقام مختلف اقدام گردید. (جدول ۷)

جدول ۷- مقایسه مجموع ساعات سرمایی در دوره پایه و پیش بینی مدل براساس سناریوهای مختلف RCP و میزان تأمین نیاز سرمایی ارقام

مختلف پسته در ایستگاه یزد

سناریو	مجموع ساعات سرمایی سالانه	ارقام پسته	نیاز سرمایی سالانه ارقام بر حسب ساعت	مازاد یا کمبود نیاز سرمایی ارقام بر حسب ساعت
پایه	۱۰۶۱	کله قوچی	۶۰۰	۴۶۱
		اوحدی	۸۰۰	۲۶۱
		احمد آقایی	۱۰۰۰	۶۱
		اکبری	۱۲۰۰	-۱۳۹
		فندوقی	۱۲۰۰	-۱۳۹
RCP۲/۶	۱۰۴۹	کله قوچی	۶۰۰	۴۴۹
		اوحدی	۸۰۰	۲۴۹
		احمد آقایی	۱۰۰۰	۴۹
		اکبری	۱۲۰۰	-۱۵۱
		فندوقی	۱۲۰۰	-۱۵۱
RCP۴/۵	۱۰۵۲	کله قوچی	۶۰۰	۴۵۲
		اوحدی	۸۰۰	۲۵۲
		احمد آقایی	۱۰۰۰	۵۲
		اکبری	۱۲۰۰	-۱۴۸
		فندوقی	۱۲۰۰	-۱۴۸
RCP۸/۵	۱۰۳۸	کله قوچی	۶۰۰	۴۳۸
		اوحدی	۸۰۰	۲۳۸
		احمد آقایی	۱۰۰۰	۳۸
		اکبری	۱۲۰۰	-۱۶۲
		فندوقی	۱۲۰۰	-۱۶۲

بر اساس نتایج حاصل در جدول ۷ می توان نتیجه گرفت:

۱- در دوره پایه، ۱۰۶۱ ساعت نیاز سرمایی تأمین شده است که این میزان برای تأمین نیاز سرمایی ارقام کله قوچی، اوحدی و احمد آقایی کافی و برای ارقام اکبری و فندقی ناکافی می باشد، بطوری که دو رقم اخیر ۱۳۹- ساعت کمبود نیاز سرمایی دارند.

۲- در سناریو RCP ۲/۶، ۱۰۴۹ ساعت نیاز سرمایی تأمین که این میزان برای تأمین نیاز سرمایی ارقام کله قوچی، اوحدی و احمد آقایی کافی و برای ارقام اکبری و فندقی ناکافی می باشد، بطوری که دو رقم اخیر ۱۵۱- ساعت کمبود نیاز سرمایی دارند.

۳- در سناریو RCP ۴/۵، ۱۰۵۲ ساعت نیاز سرمایی تأمین که این میزان برای تأمین نیاز سرمایی ارقام کله قوچی، اوحدی و احمد آقایی کافی و برای ارقام اکبری و فندقی ناکافی می باشد، بطوری که دو رقم اخیر ۱۴۸- ساعت کمبود نیاز سرمایی دارند.

۴- در سناریو RCP ۸/۵، ۱۰۳۸ ساعت نیاز سرمایی تأمین که این میزان برای تأمین نیاز سرمایی ارقام کله قوچی، اوحدی و احمد آقایی کافی و برای ارقام اکبری و فندقی ناکافی می باشد، بطوری که دو رقم اخیر ۱۶۲- ساعت کمبود نیاز سرمایی دارند.

نتایج این مطالعه از نظر کاهش انباشت سرمایی در دهه های اخیر منطبق بر مطالعات فلاح قاله‌ری و همکاران (۱۳۹۷) است که نشان دهنده کاهش انباشت سرمایی در ایستگاه های مناطق سردسیر و کوهستانی ایران است. همچنین سبزی پرور و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیقی نشان دادند که به دلیل گرمایش جهانی، در سالهای آینده میزان نیاز سرمایی درختان خزان دار در استان همدان کافی نمی باشد. افزون بر این، نتایج بدست آمده از این تحقیق منطبق بر مطالعات آبورکوئرکو و همکاران (۲۰۰۸)، زانگ و همکاران (۲۰۱۶) و

ساتوز و همکاران (۲۰۱۶) است که نشان می‌دهد یکی از جنبه‌های بسیار مهم تغییر اقلیم بر باغ‌های میوه، کاهش انباشت سرمایه‌ی از طریق زمستان‌های ملایم است.

نتیجه‌گیری

نیاز سرمایه‌ی فرایندی در طول پاییز و زمستان است تا گیاه بطور کامل در رکود و خواب قرار گیرد. این رکود در منطقه معتدله برای درختان میوه خزان‌کننده یک فاز از نمو محسوب می‌شود که اجازه می‌دهد درختان در شرایط نامساعد زمستان زنده بمانند و در فصل گل‌دهی، گل‌دهی مناسب و در نتیجه محصول مناسب داشته باشند.

مطالعه حاضر با هدف بررسی انباشت سرمایه‌ی زمستانه در دشت یزد- اردکان و با استفاده از آمار ایستگاه هواشناسی سینوپتیک یزد صورت گرفت، نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که میزان ساعات سرمایه‌ی مورد نیاز در دوره رکود درختان پسته طی سی سال گذشته (از سال ۱۹۸۸ لغایت ۲۰۱۷) روندکاهشی بوده و بطور میانگین، سالانه در حدود ۵/۷ ساعت از ساعات تامین نیاز سرمایه‌ی پسته کاسته شده است. همچنین طی دوره آماری مذکور، نیاز سرمایه‌ی سالانه پسته برای ارقامی نظیر کله‌قوچی و اوحدی تقریباً در همه سال‌ها تامین گردیده و برای ارقامی نظیر اکبری و فندق‌هیچگاه بطور کامل تامین نشده است.

بین ساعات تجمعی ماهانه دماهای بین صفر تا ۷/۲ درجه سلسیوس و پارامترهای دمایی ماهانه نظیر، میانگین حداقل دما، میانگین حداکثر دما و میانگین دمای ماهانه ارتباط رگرسیونی مناسبی برقرار است. این روابط که بصورت معادلات رگرسیونی قابل استخراج هستند، در شرایط عدم دسترسی به داده‌های ساعتی دمای هوا و برای مدل‌سازی و تعیین ساعات تجمعی ماهانه دماهای بین صفر تا ۷/۲ درجه سلسیوس به کمک پارامترهای دمایی ماهانه کاربرد دارند، بطوریکه با داشتن میانگین دمای حداقل، حداکثر و یا میانگین در هر ماه، می‌توان با تقریب بالا به مجموع ساعات سرمایه‌ی در هر ماه دست یافت. همچنین در بین متغیرهای مذکور، پارامتر میانگین دما نسبت به پارامترهای میانگین حداقل و میانگین حداکثر برای مدل‌سازی مناسب‌تر می‌باشد که در نهایت بر مبنای آن، مدل‌سازی انجام شد. این روش یکی از تفاوت‌های این مطالعه با سایر مطالعاتی است که به منظور محاسبه ساعات سرمایه‌ی در گیاهان مختلف صورت گرفته است.

بر اساس یافته‌های جدول ۶، جمع ساعات سرمایه‌ی سالانه در دوره پایه ۱۰۶۱ ساعت می‌باشد که این میزان در سناریوهای RCP۲/۶ به ۱۰۴۹ ساعت، RCP ۴/۵ به ۱۰۵۲ ساعت و RCP ۸/۵ به ۱۰۳۵ ساعت کاهش یافته است، بنابر این نیاز سرمایه‌ی ارقام احمد آقایی، اوحدی و کله‌قوچی در منطقه مورد مطالعه در سال‌های آتی (۱۴۲۹-۱۴۰۰) تامین و نیاز سرمایه‌ی ارقام اکبری و فندق‌هیچگاه نمی‌گردد. شیب کاهشی در سری انباشت سرمایه‌ی در پیوند با گرمایش جهانی، همچنین افزایش امواج و دوره‌های گرمایی در دوره سرد سال، می‌تواند زنگ خطری برای کشت ارقام مختلف پسته باشد که باید در برنامه‌ریزی‌های آتی در نظر گرفته شود و برنامه‌ریزان امر کشاورزی باید از ارقام مناسب با شرایط پیش‌رو برای کاشت اقدام نمایند.



منابع

- اکبری، وجیهه؛ کمالی، غلامعلی؛ جوانشاه، امان الله (۱۳۹۲). تعیین نیاز سرمایی پسته و رابطه ی بین میانگین دمای روزانه و نیاز سرمایی (مطالعه شهرستان های کرمان و رفسنجان). دومین کنفرانس بین المللی مدل سازی گیاه، آب، خاک و هوا، کرمان.
- جعفری ندوشن، علی؛ احمدیان، حسنعلی (۱۳۸۷). پسپل معمولی پسته (شیره خشک) و راه های کنترل آن، سازمان جهاد کشاورزی استان یزد، نشریه شماره ۱۱۷، صص ۱-۱۵.
- حسینی فرد، سید جواد؛ بصیرت، مجید؛ صداقتی، ناصر؛ اخیانی، احمد (۱۳۹۶). مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه در درختان پسته. وزارت جهاد کشاورزی، موسسه تحقیقات علوم باغبانی/پژوهشکده پسته کشور، موسسه تحقیقات خاک و آب.
- حکم آبادی، حسین؛ جوانشاه، امان الله (۱۳۸۳). *تامین نیاز سرمایی و اهمیت آن در پسته*. شورای انتشارات موسسه تحقیقات پسته کشور. صص ۴۰.
- خسروی، محمود؛ اسماعیل نژاد، مرتضی؛ نظری پور، حمید (۱۳۸۹). تغییر اقلیم و تاثیر آن بر منابع آب خاور میانه. چهارمین کنگره بین المللی جغرافیدانان جهان اسلام. ایران. زاهدان. صص ۸.
- سبحانی، بهروز؛ اصلاحی، مهدی؛ باباییان، ایمان (۱۳۹۳). کارایی الگوهای ریز مقیاس نمایی مدل SDSM و LARSWG در شبیه سازی متغیرهای هواشناسی در حوزه آبریز دریاچه ارومیه. نشریه پژوهش های جغرافیای طبیعی. دوره ۴۷. شماره ۴. صص ۴۹۹-۵۱۶.
- سبزی پرور، علی اکبر؛ نوروز ولاشدی، رضا (۱۳۹۴). اثر تغییر اقلیم بر روند تامین نیاز سرمایی گیاهان خزان دار (مطالعه موردی: استان همدان). نشریه علوم باغبانی، جلد ۲۹، صص ۳۵۸-۳۶۷.
- طائی سمیرمی، سیاوش؛ مرادی، حمید رضا؛ خداقلی، مرتضی (۱۳۹۳). شبیه سازی و پیش بینی برخی متغیر های اقلیمی توسط مدل چند گانه خطی SDSM و مدل های گردش عمومی جو (مطالعه موردی: حوزه آبخیز بار نیشابور). نشریه انسان و محیط. شماره ۲۸. صص ۱-۱۶.
- طلائی، علیرضا (۱۳۷۷). *فیزیولوژی درختان میوه مناطق معتدله*. انتشارات دانشگاه تهران.
- فلاح قالهری، غلامعباس؛ احمدی، حمزه (۱۳۹۷). واکاوی انباشت سرمایی مناطق سردسیر ایران بر اساس مدل های CH، CP، Utah، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۵۱، صص ۹۹-۱۲۰.
- قاسمی فر، الهام؛ علیجانی، بهلول؛ سلیقه، محمد (۱۳۹۵). بررسی تغییرات دمایی سواحل جنوبی خزر با استفاده از سه مدل LARSWG و sdsM و مدل شبکه عصبی مصنوعی. فصل نامه جغرافیای طبیعی. شماره ۳۴. صص ۲۳-۴۰.
- کوچکی، علیرضا؛ نصیری محلاتی، مهدی؛ جعفری، لیلا (۱۳۹۴). بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر کشاورزی ایران، پیش بینی وضعیت آگروکلیماتیک آینده، نشریه پژوهش های زراعی ایران، جلد ۱۳، شماره ۴، صص ۶۴۴-۶۵۱.
- مسعودیان، سید ابوالفضل (۱۳۸۳). بررسی روند دمایی ایران در نیم سده ی گذشته. مجله جغرافیا و توسعه. صص ۸۹-۱۰۶.
- نصیری محلاتی، مهدی؛ کوچکی، علیرضا (۱۳۸۵). آنالیز شاخص های آگروکلیماتیک ایران در شرایط تغییر اقلیم، مجله پژوهش های زراعی ایران، شماره ۱، صص ۱۶۹-۱۸۲.
- وزارت جهاد کشاورزی. موسسه تحقیقات پسته. ۱۳۹۷.
- Albuquerque N., Garcia montiel F., Carrillo A., Burqos L. (2008). Chilling and heat requirements of sweet cherry cultivars and relationship between altitude and the probability of satisfying the chill requirements. Environmental and Experimental Botany, 64,162-170.

- Arora, V. K., Scinocca, J. F., Boer, G. J., Christain, J. R., Denman, k. l., Flato, G. M., Kharin, V. V., Lee, W. G. and Merryfield, W. J. (2011). Carbon emission limits required to satisfy future representative concentration pathways of greenhouse gases. *Geophysical Research Letters*, 38(5), 1-6.
- Baldocchi, D. wong, s. (2008). Accumulated winter chill is decreasing in the fruit growing regions of California, *Climatic Change*, 87, 153-166 .
- Elloumi ,o., Ghrab. m., Kessentini, H., and Mimoun, m. b. (2013). Chilling accumulation effect on performance of pistachio trees cv. Mateur in dry and warm area climate. *Scientia Horticulture*, 159, 80-87.
- Guo, L., Dai, J., Ranjitkar, s. , Yu H., Xu, J. , Luedeling , E. (2014). Chilling and heat requirements for flowering in temperate fruit trees. *International Journal of Biometeorology*, 58 (6), 1195-1206.
- kaufmann, H. ,Blanke, m. (2016). Performance of three numerical models to assess winter chill for fruit trees- a case study using cherry as model crop in Germany regional *Environmental change*, 16:1-9.
- Khan, M. S. Coulibaly, P. Dibike, Y. (2006). Uncertainly Analysis of Statistical Downscaling Methods, *Journal of Hydrology*, 319, 357-382.
- Lopes, P. G., Aguiar, R. Casimiro, e. (2008). Assessment of Climate Change Statistical Downscaling Methods, Application and Comparison of Two Statistical Metods to a Single site in Lisbon
- Rosenzweig. Cynthia, and M. l. parry. (1994). Potential impact of climate change on world food supply. *Nature*, 376, 133-138.
- Santos, J. A., Costa, R., Fraga, H. (2016). Climate change impacts on thermal growing condition of main fruit species in Pourtugal. *Climatic Change*, 139, 1-14.
- Weinberger, JH . (1950). Chilling requirements of peach varieties. In proceedings. American Society of Horticultural Science, 56, 122-128.
- Wilby, R. L., Dawson, C. W., Murphy, C., Connor, P. O., Hawkins, E. (2014). The Statstical DownScaling Model Deecision Centric (SDSM-DC) conceptual basis and applications. *Climate Research*, 61(3), 251-268.
- Zhuang, W. Cai, B. Gao, z. Zhang, z. (2016). Determination of chilling and heat requirements of 69 Japanese apricot cutivars. *European Journal of Agronomy*, 74, 68-74.
- Zohary, M. (1952). Amonographical study of genus pistacia. *PalestinJ. Bot (Jerusalem Series)*, 5, 187-228.