



بررسی روند تغییرات نیازهای سرمایی و طول مراحل فنولوژیک درخت سیب (مطالعه موردی:

منطقه کرج)

غلامعباس فلاح قاله‌ری^{۱*}، حمزه احمدی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۶/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۱۹

چکیده

تعیین نیازهای سرمایی و گرمایی برای انتخاب درختان میوه سازگار با اقلیم هر منطقه حائز اهمیت می‌باشد. در این تحقیق، بعد از تعیین آستانه‌های دمایی هریک از مراحل فنولوژی درخت سیب رقم red delicious در شهر کرج، آمار دمای ساعتی و روزانه بلند مدت از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۴ جمع آوری و سه مدل نیاز سرمایی CH، UTAH و CP اجرا گردید. نتایج مدل‌های فوق نشان داد که در شرایط اقلیمی کرج، نیاز سرمایی این واریته دیررس سیب تأمین نمی‌شود و روند تغییرات میزان واحدهای سرمایشی جمعی کاهش یافته است. اما کاربست مدل‌های درجه-روز نشان داد نیاز گرمایی ارقام سیب دیررس بدون محدودیت خاصی در منطقه تأمین می‌شود. تغییرات کاهش یافته و معنی‌دار روزشمار ژولیوسی تاریخ مراحل فنولوژی، مبین کوتاه‌تر شدن مراحل نمو و احتمالاً به دلیل افزایش دمای هوا می‌باشد. این شرایط (وقوع زودتر مراحل حساس زایشی) ریسک صدمه سرمازدگی و یخبندان را بیشتر می‌کند. در بیشتر مراحل فنولوژی درخت سیب، روند افزایشی و معنی‌دار دمای هوا مشاهده شد. با توجه به نتایج، کشت واریته‌های دیررس برای شرایط اقلیمی کرج مناسب نبوده و باید از ارقام زودرس استفاده شود. رعایت ملاحظات اقلیمی در توصیه ارقام باغی سازگار در اقلیم مختلف کشور با توجه به پیامدهای گرمایش جهانی توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: درخت سیب، دمای ساعتی، درجه-روز رشد، فنولوژی، نیاز سرمایی

مقدمه

مسائل به زراعی آگاهی داشت (میرحاجی و همکاران، ۱۳۸۹). با مطالعات فنولوژی می‌توان تاریخ و زمان گذر مراحل فنولوژی را در هر منطقه مشخص نمود و با مدیریت درست از هدر رفت سرمایه و منابع جلوگیری کرد (ژانگ^۴، ۲۰۱۲). از آنجا که شرایط آب و هوایی محل همانند دما (طول و مدت سرما)، عامل اساسی در کنترل مراحل رشد و نمو، مانند گلدهی درختان به شمار می‌آید. از این رو، بررسی تأمین نیاز سرمایی و پیش‌بینی تاریخ گلدهی در اقلیم‌های متفاوت نقش اساسی در تولید موفق محصولات باغی در تجارت جهانی ایفا می‌کند (ولاشدی و سبزی پرور، ۱۳۹۵). ارزیابی نیاز سرمایی و گرمایی یکی از عوامل تعیین‌کننده در تولید موفق میوه‌های خزان‌کننده از جمله سیب محسوب می‌شود (داربیش و همکاران^۵، ۲۰۱۱). مطالعه رفتار فنولوژیکی محصولات به صورت بخشی از تأثیر شرایط محیطی حائز اهمیت است، زیرا برای دستیابی به تولید مطلوب و همچنین اعمال مدیریت

هوا و اقلیم‌شناسی اساسی‌ترین علمی است که هر کس بخواهد در بستر طبیعت به فعالیت‌های تولیدی بپردازد باید از آن اطلاع داشته باشد (علیزاده، ۱۳۸۹). اقلیم یک نقش اساسی در تولید موفق محصولات باغی در تجارت جهانی ایفا می‌کند. فعالیت‌های باغبانی به شدت وابسته به شرایط آب و هوایی محل است (سبزی پروری و ولاشدی، ۱۳۹۴). باغداران با شناخت از تأثیر شرایط اقلیمی بر روی فنولوژی درختان خران‌دار منطقه معتدله از عملکرد و بهره‌وری بالاتری برخوردار می‌باشند (آلبرکور و همکاران^۳، ۲۰۰۸). با تعیین مراحل فنولوژی در هر منطقه و دانستن نیازهای دمایی در هر مرحله فنولوژی می‌توان بسیاری از

^۱ دانشیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، خراسان رضوی

(*نویسنده مسئول: ab_fa789@yahoo.com)

^۲ دانشجوی دکتری آب و هواشناسی کشاورزی، گروه جغرافیا، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، خراسان رضوی

^۳ Albuquerque et al.

^۴ Zhang

^۵ Darbyshire et al.

مطالعات مختلف بوده است. اندرسون و همکاران^۹ (۱۹۸۵) نیاز سرمایی و گرمایی درخت لیمو را براساس آمار دمای ساعتی و روزانه و مشاهدات میدانی مشخص نمودند. ولنتینی و همکاران^{۱۰} (۲۰۰۱) بررسی فازهای فنولوژیکی و نیاز گرمایی و سرمایی درختان میوه را راهکار مؤثری در شناسایی گونه‌های سازگار با شرایط اقلیمی هر منطقه بیان نموده‌اند. اجا و همکاران^{۱۱} (۲۰۰۳) با بررسی نیاز سرمایی و گرمایی ارقام بادام براساس آمار دمای ساعتی مشخص نمودند که ارقام بادام بین ۵۵۰۰ تا ۷۸۰۰ درجه ساعت‌های رشد نیاز دارند. ولف و همکاران^{۱۲} (۲۰۰۵) در ارزیابی فنولوژی درختان عمده چوبی در ارتباط با تغییرات آب و هوایی مشخص نمودند که پیامد عمده تغییر آب و هوایی در نوسانات فنولوژی گلدھی درختان قابل ردیابی می‌باشد. رعا و اسل (۲۰۰۶) شرایط فنولوژیکی و تغییرات گلدھی سیب در مناطق کوهستانی را براساس آمار دماهای ساعتی و روزانه در کنار عوامل توپوکلیمایی بررسی نمودند. سورینو و همکاران^{۱۳} (۲۰۰۷) در ارزیابی نیاز سرمایی درخت سیب براساس مدل‌های مختلف، مدل‌های یوتا و دینامیکی را مدل‌های با عملکرد بالاتر در انباشت سرمایی معرفی نمودند. ریوز و همکاران^{۱۴} (۲۰۰۷) به بررسی نیاز سرمایی و گرمایی درخت زردآلو براساس آمار دمای ساعتی ایستگاه‌های هواشناسی پرداختند. لچمن و همکاران^{۱۵} (۲۰۰۸) نیاز گرمایی درختان هلو را براساس داده‌های هواشناسی و آستانه‌های دمایی در فازهای مختلف محاسبه و پیش‌بینی نمودند. اسلامرز و همکاران^{۱۶} (۲۰۰۹) نیاز سرمایی و گرمایی واریته‌های درخت گردو را بررسی نمودند. رحیمی و پاک کیش (۲۰۰۹) با بررسی نیاز سرمایی و گرمایی درخت پسته در ایران براساس آمار یک سال زراعی مشخص نمودند که واریته کله قوچی و اکبری به ترتیب، کمترین و بیشترین نیاز سرمایی را دارا می‌باشند. ویتی و همکاران^{۱۷} (۲۰۱۰) تأثیر شرایط اقلیمی از طریق بررسی انباشت سرمایی از طریق مدل‌های CH، UTAH و CP بر روی

مناسب‌تر، دانستن مراحل فنولوژی و تغییرات آن برای محصول ضروری است (ولنتینی و همکاران^۱، ۲۰۰۱). در معمول‌ترین حالت، ارزیابی سرمایی و گرمایی و مطالعه فنولوژی درختان میوه تنها رهیافت ممکن برای درک اثرات آب و هوا و انتخاب گونه‌های سازگار می‌باشد (رعا و اسل^۲، ۲۰۰۶). بررسی نیاز سرمایی و گرمایی درختان میوه نقش کلیدی در انتخاب گونه‌های سازگار با شرایط جغرافیایی هر منطقه دارد (مالیون و همکاران^۳، ۲۰۱۴). در بین عناصر اقلیمی به جرأت می‌توان گفت دما از اهمیت اساسی برخوردار است. دمای هوا تأثیر عمده‌ای بر روی چرخه حیاتی گیاه از زمان گلدھی تا برداشت دارد (مک‌مستر و ویلهلم^۴، ۱۹۹۷؛ النصر و الازبا^۵، ۲۰۱۶). واحدهای گرمایی و سرمایی تجمع یافته به عنوان یک معیار سنجش رشد و نمو گیاهان محسوب می‌شوند (سیسارسیو و همکاران^۶، ۲۰۰۱). خواب زمستانه یک جنبه کلیدی در چرخه سالانه گیاهان خزان‌دار باغی مانند سیب به شمار می‌آید (ولاشدی و سبزی‌پرور، ۱۳۹۵). جوانه‌های درختان میوه معتدله به منظور شکستن دوره رکود خود به سرما نیاز دارند (ارز و فیشمن^۷، ۱۹۹۷). به منظور انتخاب گونه‌ها و رقم‌های مناسب درختان میوه برای هر آب و هوایی در هر منطقه مشخص، محققان مدل‌های سرمایی را ارائه نموده‌اند که این مدل‌ها، دماهای ثبت شده را به صورت کمیته از سرما تبدیل می‌کنند (سیسارسیو و همکاران، ۲۰۰۴؛ گیو و همکاران^۸، همکاران^۸، ۲۰۱۴). درخت سیب یکی از قدیمی‌ترین و کهن‌ترین درختان در جهان است که در شرایط اقلیمی مختلف از سازگاری مناسبی برخوردار می‌باشد (کمالی و همکاران، ۱۳۸۶؛ فرج‌زاده و همکاران، ۲۰۱۰؛ و لاشدی و سبزی‌پرور، ۱۳۹۵). سیب با نام علمی (Malus domestica Borks) مهم‌ترین درخت خزان‌کننده در مناطق معتدله محسوب می‌شود (ارز و فیشمن، ۱۹۹۷). باغبانی مزیت شناخته شده کشاورزی محسوب می‌شود. با توجه به اهمیت باغبانی و تولید میوه در توسعه اقتصادی، بررسی نیاز گرمایی و سرمایی درختان میوه کانون توجه

⁹ Anderson et al.

¹⁰ Valentini et al.

¹¹ Egea et al.

¹² Wolfe et al.

¹³ Severino et al.

¹⁴ Ruze et al.

¹⁵ Litschmann et al.

¹⁶ Aslamarz et al.

¹⁷ Viti et al.

¹ Valentini et al.

² Rea and Eccel

³ Maulion et al.

⁴ McMaster and Wilhelm

⁵ Elnesr and Alazba

⁶ Cesaraccio et al.

⁷ Erez and Fishman

⁸ Guo

بیشتر مناطق معتدله کشور کشت می‌شود. به طوری که براساس آخرین آمار رسمی وزارت جهاد کشاورزی، محصول سیب در کشور با میزان تولید ۳۴۸۲۱۰۸ میلیون تن، ۱۹/۱۱ درصد از کل میزان تولید محصولات باغی را به خود اختصاص می‌دهد (آمارنامه محصولات باغی، ۱۳۹۴). ارقام تجاری این درخت نیاز سرمایی بالایی نیاز دارند و بسیاری از مناطق کشور از توان اقلیمی لازم برای رشد و نمو بهینه آن‌ها برخوردار نیستند. با توجه به حادث شدن تغییرات آب و هوایی و کمبود منابع آبی در کشور، واکاوی الگوی انباشت سرمایی و گرمایی مناطق مختلف، برای انتخاب واریته‌های مناسب و سازگار با اقلیم هر منطقه ضروری به نظر می‌رسد. در مورد واکاوی تعیین نیاز سرمایی و گرمایی درخت سیب در قالب مدل‌های مختلف و همچنین وضعیت تغییرات مراحل فنولوژی و پارامترهای اقلیمی موثر، مطالعات جامعی انجام نشده است. لذا مطالعه حاضر با هدف واکاوی الگوی نیازهای سرمایی و گرمایی و تعیین تغییرات روزشمارهای مراحل فنولوژی و پارامترهای اقلیمی موثر براساس آمار دمای هوا و مشاهدات فنولوژی بر روی درخت سیب دیررس واریته رد دلشیز، طراحی و اجرا شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

در بخش میدانی مطالعه حاضر به منظور شناسایی زمان رخداد مراحل فنولوژی درخت سیب، اقدام به سلسله بازدیدهای روزانه و یادداشت‌برداری هفتگی به صورت متوالی در فصل رشد و نمو درخت سیب گردید. فنولوژی به مطالعه زمان وقوع رخدادهای تکرار پذیر زندگی گیاهان در رابطه با عوامل زنده و غیر زنده می‌پردازد (ژانگ^۳، ۲۰۱۲؛ رشوند و همکاران، ۱۳۹۳). به این منظور، یک باغ تجاری خصوصی و بارور با سطح زیر کشت مناسب از درختان سیب و رقم دیررس رد دلشیز^۴ انتخاب گردید. مجموعه باغ مورد مطالعه با ۲۰ هکتار سطح زیر کشت در شهرستان کرج، جاده کرج - ماهدشت به عنوان یکی از باغ‌های تجاری عمده در شهرستان کرج محسوب می‌شود. این باغ تجاری در موقعیت ۳۵ درجه و ۳۳ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۲ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۱۱۹۸

درخت زردآلو در مناطق مدیترانه را بررسی نمودند. لودلینگ و براون^۱ (۲۰۱۱) در تحلیلی جهانی سازگاری مدل‌های نیاز سرمایی درختان میوه و آجیلی را بررسی نمودند. گیو و همکاران (۲۰۱۴) به ارزیابی نیاز سرمایی و گرمایی درختان میوه مناطق معتدله براساس آمار دمای ساعتی و روزانه پرداختند. فیچت و همکاران^۲ (۲۰۱۴) براساس آمار دمای هوا به وضعیت مراحل فنولوژی مرکبات و توزیع زمانی و مکانی آن در ایران پرداختند. مالیون و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی مدل‌های مختلف برآورد نیاز سرمایی و گرمایی بر روی هلو و شلیل مشخص نمودند که نیاز سرمایی اهمیت بالایی دارد و بین زمان گلدهی و انباشت سرمایی ارتباط مستقیمی وجود دارد. اوحدی (۱۳۸۴) برای بررسی کمی سرمازدگی در مراحل مختلف فنولوژی محصول سیب به مشاهدات میدانی در یک سال زراعی از مرحله جوانه زنی تا گلدهی پرداختند. کمالی و همکاران (۱۳۸۶) زمان گلدهی سیب رقم گلدن بر اساس نیازهای تجمعی سرمایی جهت جلوگیری از یخبندان در منطقه گلمکان خراسان را بررسی نمودند. خوشحال و همکاران (۱۳۹۲) مراحل فنولوژی و نیازهای حرارتی گل محمدی در منطقه بزرگ کاشان را بررسی نمودند. آن‌ها با مشاهدات میدانی یک ساله مراحل فنولوژی را شناسایی و سپس نیاز سرمایی را مشخص نمودند. سبزی‌پرور و ولاشیدی (۱۳۹۴) با بررسی اثر تغییر اقلیم بر روند تأمین نیاز سرمایی گیاهان خزان‌دار، مشخص نمودند که تحت شرایط تغییر اقلیم میزان نیاز سرمایی کاهش می‌یابد. ولاشیدی و سبزی‌پرور (۱۳۹۵) با ارزیابی الگوهای برآورد نیاز سرمایی زمستانه با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای فنولوژی درخت سیب در ارومیه، مشخص نمودند که مدل دینامیکی از عملکرد بالایی در برآورد انباشت سرمایی برخوردار بوده و ارقام زودگل سیب در اواخر زمستان در خطر سرما و یخبندان قرار دارند. خورشیددوست و همکاران (۱۳۹۶) براساس آمار ایستگاه‌های هواشناسی در سال ۱۳۸۹ مشخص نمودند که ویژگی‌های کیفی میوه پرتقال تامسون ناول تحت تأثیر عنصرهای اقلیمی می‌باشد. در بین درختان خزان‌دار میوه سیب به دلیل نیاز بازار و شرایط فیزیولوژیک بهتر برای ذخیره در انبار، مورد توجه باغداران می‌باشد و تقریباً در

³ Zhang

⁴ Red Delicious

¹ -Luedeling & Brown

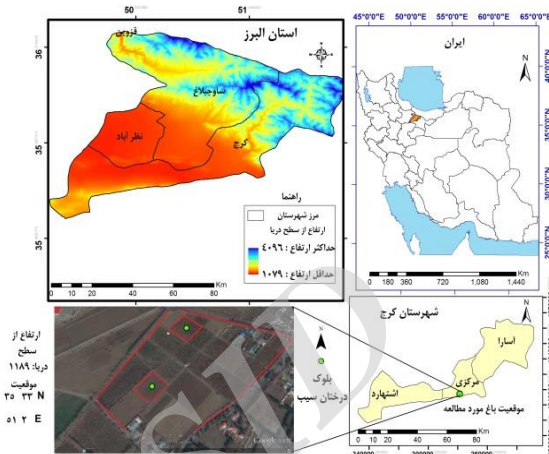
² Fitchett et al.

صورت یک سیستم کدگذاری دهگانی برای محصولات چوبی و گیاهان علفی بوده است (فدون و همکاران^۳، ۲۰۱۵؛ خوشحال و همکاران، ۱۳۹۲). با کمک کارشناسان باغبانی از مجموعه یک هکتاری از درختان سیب، ۴ درخت در مناطق مختلف باغ مشخص گردید. از هر درخت چند شاخه با سیخک‌های آشکار و سالم در میانه درخت مشخص و علامت‌گذاری گردید، سپس از زمان پایان رکود و آغاز تورم جوانه تا شروع دوره رکود یا خواب، مراحل فنولوژی و شرایط دمایی در کدهای اصلی و فرعی با بازدیدهای روزانه و هفتگی ثبت گردید. در فرایند بازدید میدانی وضعیت فنولوژیکی درختان با همدیگر بررسی و مقایسه شد. سپس آستانه دمایی و تاریخ نهایی ثبت گردید. به منظور ارزیابی نیاز گرمایی از مدل‌های درجه روزهای رشد موثر و فعال و مدل‌های درجه ساعت‌های رشد اندرسون و ریچاردسون استفاده شد. برای بررسی نیاز سرمایی از مدل‌های ساعات سرمایی CH^۴، واحدهای سرمایی UTAH و دینامیکی یا بخش‌های سرمایی CP^۵ استفاده گردید. براساس آستانه‌های دمایی و آمار روزانه دمای هوا سری روزشمار رخداد مراحل فنولوژی مشخص شد. در روزشمار ژولیوسی^۶ اولین روز ماه ژانویه به عنوان مبدأ شمارش روز انتخاب شد و سایر روزهای سال با توجه به آن شماره‌گذاری گردید. بر روی روند تغییرات روزشمارهای زمان مراحل فنولوژی در بلند مدت از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۳ و پارامترهای اقلیمی مؤثر در مراحل فنولوژی مختلف براساس آزمون ناپارامتری من‌کندال بررسی شد. روش من‌کندال که به طور گسترده در مباحث علوم محیطی و هواشناسی کاربرد دارد، یکی از روش‌های ناپارامتری مهم برای آزمون روند سری‌های زمانی محسوب می‌شود (سبزی پرور و شادمانی، ۱۳۹۰).

مدل‌های تعیین نیاز گرمایی

برای تعیین درجه روزهای رشد هر مرحله فنولوژی با استفاده از آمار کمینه و بیشینه دما درجه روزهای رشد موثر و فعال مشخص گردید. دمای پایه برای درخت سیب ۴/۵ درجه سانتی‌گراد (فری و وارینگتون^۷، ۲۰۰۳) مشخص شده است.

متر از سطح دریا واقع شده است (شکل ۱). باغ مورد مطالعه در فاصله ۱۰۰۰ متری از ایستگاه هواشناسی همدید کرج قرار دارد. موقعیت جغرافیایی و شرایط طبیعی باغ مورد مطالعه، کاملاً با ایستگاه هواشناسی همدید کرج همخوانی لازم را دارا می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

در بخش آماری، از آمار بلند مدت دمای هوا به صورت سه ساعته و روزانه ایستگاه همدید کرج استفاده شد. آمار لازم از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۳، از سازمان هواشناسی کشور و اداره هواشناسی استان البرز، تهیه و تنظیم گردید. منطقه مورد مطالعه بر اساس روش طبقه‌بندی دمارتن و کوپن به ترتیب از اقلیمی نیمه خشک و نیمه خشک گرم (BSK) برخوردار می‌باشد. میانگین دمای سالانه منطقه ۱۵/۱ درجه سانتی‌گراد، میانگین بارش سالانه ۲۵۱/۸ میلی‌متر، میانگین کمینه‌های دما، میانگین بیشینه‌های دما و میانگین سردترین دماهای مطلق به ترتیب ۸/۸، ۲۱/۳ و ۱۰- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در این مطالعه برای ثبت مراحل فنولوژی درخت سیب دیررس پاییزه وارپته رد دلپش به عنوان یکی از ارقام تجاری عمده در ایران، از سیستم کدبندی BBCH^۱ استفاده گردید. این مقیاس به صورت کد دو رقمی معیار استاندارد برای مراحل نمو گیاهان و درختان میوه محسوب می‌شود (کورنلیوس^۲، ۲۰۱۱). این مقیاس دارای یک جدول ۱۰۰ قسمتی به صورت کدهایی از ۰ تا ۹۹ بوده و برای فازهای مختلف طراحی شده است. در دهه‌های گذشته مقیاس BBCH به

³ Fadón

⁴ Chilling Hours

⁵ Chilling Portion

⁶ Julian Day

⁷ Ferree and Warrington

¹ Biologische Bundesantalt, Bundessortenamt Chemis-che Industrie

² Cornelius

$$GDH = \begin{cases} F \left(\frac{T_u - T_b}{2} \right) \left(1 + \cos \left(\pi + \pi \frac{T_i - T_b}{T_u - T_b} \right) \right), T_u \geq T_i \geq T_b \\ F (T_u - T_b) \left(1 + \cos \left(\frac{\pi}{2} + \pi \frac{T_i - T_u}{T_c - T_u} \right) \right), T_c \geq T_i \geq T_u \\ 0, T_i > T_c \text{ or } T_i < T_b \end{cases} \quad (2)$$

در این معادله، F فاکتور تنش گیاه است، اگر تنش خاصی وجود نداشته باشد، به طور معمول مقدار ۱ در نظر گرفته می‌شود. T_u ، T_b و T_c به ترتیب مقادیر ۴، ۲۵ و ۳۶ درجه سانتی‌گراد است که توسط (اندرسون و همکاران، ۱۹۸۵) برای درختان میوه پیشنهاد شده است.

مدل ریچاردسون و همکاران^۵ (۱۹۷۴)

ریچاردسون و همکاران (۱۹۷۴) یک درجه ساعت رشد GDH را به صورت یک ساعت در دمای ۱ درجه سانتی‌گراد بالاتر از دمای پایه ۴/۵ درجه سانتی‌گراد تعریف نموده‌اند. GDH به وسیله تفریق کردن ۴/۵ درجه سانتی‌گراد از هر ساعت دما بین ۴/۵ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد محاسبه می‌گردد. تمام دماهای بالاتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد، برابر با ۲۰/۵ درجه در نظر گرفته می‌شوند (ریچاردسون و همکاران، ۱۹۷۴؛ ولنتینی و همکاران، ۲۰۰۱). معادله ۳ را ریچاردسون و همکاران (۱۹۷۴) براساس دمای ساعتی ارائه کردند.

$$\begin{aligned} GDH &= 0.0 \text{ for } T < 4.5 \\ GDH &= (T - 4.5), \text{ for } 4.5 < T < 25 \\ GDH &= 20.5 \text{ for } T > 25 \end{aligned} \quad (3)$$

مدل‌های تعیین نیاز سرمای

برای تعیین نیاز سرمای منطقه از آمار دماهای ساعتی استفاده شد. ورودی تمام مدل‌های برآورد کننده نیاز سرمای، داده دمای ساعتی می‌باشد. از آنجایی که این آمار به صورت سه ساعته اندازه‌گیری و گزارش شده لذا برای تعیین نیاز سرمای بایستی به دمای هر ساعت یا ساعتی تبدیل گردد. برای این منظور از روش درون‌یابی خطی استفاده گردید. در این روش مجموع دمای سه ساعت قبل با مجموع دمای سه ساعت بعد بر ۳ تقسیم شده و یک سوم به دمای قبلی اضافه می‌گردد (غریبی، ۱۳۹۵). با تبدیل دمای سه ساعته به دمای ساعتی برای ۲۴ شبانه روز، میزان نیاز سرمای در دوره رکود درخت سیب از ماه نوامبر تا آخر مارس تعیین گردید. تشریح هر

درجه روزهای رشد موثر و فعال^۱ GDD

در این شاخص میانگین دمای هوای روزانه از آستانه دمای یخبندان (صفر درجه سانتی‌گراد) تا تکمیل ضریب حرارتی آن گونه درختی مورد نظر محاسبه می‌شود. معادله ۱ روش محاسبه درجه روز را نشان می‌دهد.

$$GDD = \sum_i^N \left[\frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \right] - T_{\text{Base}} \quad (1)$$

در این معادله، GDD معرف درجه روز است که طی N روز جمع‌آوری شده است، T_{\max} بیشینه دمای هوای روزانه، T_{\min} کمینه دمای هوای روزانه و T_{Base} دمای هوای پایه یا صفر فیزیولوژیکی گیاه و N تعداد روزها در یک زمان مشخص را نشان می‌دهد (مک مستر و ویلهلم، ۱۹۹۷). درجه روزهای فعال به مانند روش درجه روزهای موثر با این تفاوت که میانگین دمای هوا از دمای پایه کسر نمی‌شود.

مدل‌های درجه ساعت‌های رشد GDH

درجه ساعات رشد (GDH)^۲ عبارت است از تعداد ساعات گرمایی مورد نیاز برای شکوفایی جوانه‌ها یا شکوفه‌دهی بعد از تأمین نیاز سرمای (زنگ و تیلور^۳، ۲۰۱۱). برای تعیین درجه ساعت‌های رشد از دماهای ساعتی استفاده می‌گردد. برای تعیین GDH از مدل‌های مختلفی استفاده می‌شود که عمده‌ترین این مدل‌ها؛ مدل‌های اندرسون (۱۹۸۵) و ریچاردسون (۱۹۷۴) می‌باشد.

مدل آندرسون و همکاران (۱۹۸۵)

آندرسون و همکاران (۱۹۸۶) مدلی برای درجه ساعات رشد ارائه کرده‌اند. در این مدل فرض می‌شود که انباشت گرمایی زمانی رخ می‌دهد که دمای هوای ساعتی (T_i) در دامنه‌ای بین دمای پایه (T_b) و دمای بحرانی (T_c) یا آستانه بالا برای رشد گیاه و بیشینه انباشت گرما در دمای بهینه گیاه (T_o) قرار بگیرد. تابع لازم برای محاسبه GDH در معادله ۲ ارائه شده است (گیو و همکاران، ۲۰۱۴؛ لودلینگ و همکاران^۴، ۲۰۰۹).

¹ Growing Degree Day

² Growing Degree Hours

³ Zhang and Taylor

⁴ Luedeling et al.

⁵ Richardson et al.

مدل دینامیکی (بخش‌های سرمایه) CP

مدل دینامیکی، برای تولید میوه در خاورمیانه توسط ارز و همکاران^۱ (۱۹۸۹) توسعه داده شده است (لودلینگ و همکاران، ۲۰۱۳). مدلی که نتایج بهتری در آب و هواهای جنب حاره و معتدله گرم نشان می‌دهد، مدل دینامیکی می‌باشد (ارز و همکاران ۱۹۸۹؛ ارز و فیشمن، ۱۹۹۷). دقیق‌ترین مدل بیولوژیکی برای تعیین نیاز سرمایه، مدل دینامیکی است که در سراسر جهان در ۲۰ منطقه آزمایش شده است. این مدل سرما را بر مبنای دمای ساعتی اندازه‌گیری می‌کند و واحدهای انباشته شده را تحت عنوان سهم‌ها یا بخش‌های سرمایه، CP^۲ مشخص می‌نماید. بخش‌های سرمایه به اختصار CP معرفی می‌گردد (ارز و همکاران، ۱۹۸۹). در این مدل فرض می‌شود انباشت سرمایه از یک فرایند دو مرحله‌ای تشکیل شده است که در طی آن یک محصول حد واسط نخست در یک فرایندی که توسط دماهای سرد تسریع شده، تشکیل می‌شود. دماهای گرم می‌تواند این محصول حد واسط را تخریب نماید. به محض اینکه یک مقدار مشخصی از محصول حد واسط تشکیل شد، این محصول به طور برگشت ناپذیری به بخش‌های سرمایه تبدیل می‌شود (داربیش و همکاران، ۲۰۱۱؛ پپ و همکاران^۳، ۲۰۱۵). معادلات ۶ تا ۱۲ مربوط برای محاسبه تعداد سهم‌های سرمایه در زمان t عبارتست از:

$$x_i = \frac{e^{\frac{slp \cdot tetmlt \cdot T_K - tetmlt}{T_K}}}{1 + e^{\frac{slp \cdot tetmlt \cdot T_K - tetmlt}{T_K}}} \quad (6)$$

$$X_S = \frac{a_0 \cdot e^{\frac{e_1 - e_0}{T_K}}}{a_1} \quad (7)$$

$$\alpha k_1 = a_1 \cdot e^{\frac{-e_1}{T_K}} \quad (8)$$

$$inter_E = X_S - (X_S - inter_S) \cdot e^{-\alpha k_1} \quad (9)$$

$$chill\ portions_t = \begin{cases} t=t_0 & \text{delt} \\ t>t_0 & \text{delt} + chill\ portions_{t-1} \end{cases} \quad (10)$$

$$delt = \begin{cases} t=t_0 & :0 \\ t>t_0 & inter_E < 1 :0 \\ t>t_0 & inter_E \geq 1 :X_i \cdot inter_E \end{cases} \quad (11)$$

کدام از این مدل‌ها در ادامه مشخص شده است. از مدل‌های ساعات سرمایه CH (دماهای ساعتی ۰ تا ۷/۲ درجه سانتی‌گراد)، یوتا Utah و دینامیکی CP برای محاسبه نیاز سرمایه استفاده شد.

مدل ساعات سرمایه CH

به احتمال زیاد معمول‌ترین مدل سرمایه و یکی از پرکاربردترین مدل‌ها می‌باشد. مدل CH یا ساعات سرمایه، اولین بار برای درختان هلو در جرجیا در ایالات متحده آمریکا ارائه شده است. تمام ساعات با دماهایی بین صفر تا ۷/۲ درجه سانتی‌گراد به صورت موثر برای انباشت نیاز سرمایه استفاده می‌شود (لودلینگ و همکاران، ۲۰۱۳). این مدل معادله ۴، ساده‌ترین و قدیمی‌ترین روش محاسبه انباشت سرمایه است. تعداد ساعات سرمایه در زمان t (زمان از آغاز دوره رکود بر حسب ساعت) محاسبه می‌شود (داربیش و همکاران، ۲۰۱۱).

$$CH_t = \sum_{i=1}^t T_{7.2} \quad T_{7.2} = \begin{cases} 0^\circ C < T < 7.2^\circ C & :1 \\ \text{else} & :0 \end{cases} \quad (4)$$

مدل واحدهای سرمایه Utah

مدل یوتا Utah بر اساس معادله ۵، توسط ریچاردسون (۱۹۷۴) ارائه شده است. این مدل که به صورت یک تابع وزنی برای تعیین سرماهای اثر بخش استفاده می‌شود، تأثیر منفی دماهای بالا بر روی تجمع سرمای زمستان را نیز محاسبه می‌نماید.

$$UCU_t = \sum_{i=1}^t T_U \quad T_U = \begin{cases} T_U = T < 1.4 & :0 \\ 1.4 < T \leq 2.4 & :0.5 \\ 2.4 < T \leq 9.1 & :1 \\ 9.1 < T \leq 12.4 & :0.5 \\ 12.4 < T \leq 15.9 & :0 \\ 15.9 < T \leq 18 & :-0.5 \\ 18 \leq T & :0.5 \end{cases} \quad (5)$$

در این مدل دماهای پایین‌تر از ۱/۴ و بالاتر از ۱۲/۴ درجه سانتی‌گراد هیچ ارزش سرمایه ندارند (ریچاردسون و همکاران، ۱۹۷۴). مدل یوتا دماهای ساعتی را به صورت واحدهای سرمایه انباشته می‌کند. دماهای ساعتی بین ۲/۴ تا ۹/۱ بیشترین ارزش سرمایه را دارا می‌باشند.

1 - Erez et al.

2 -Chilling portions

3 - Pope et al.

دهه اول فروردین ماه شروع شده و تا اواسط ماه فروردین ماه به مدت ۱۲ روز به طول می‌انجامد. مرحله سوم فنولوژی برای ظهور گل آذین با کد اصلی (۵) هشت کد فرعی در مقیاس BBCH را در بر می‌گیرد. کد (۵۱) با عنوان تورم جوانه گل آذین، ۱۰ تا ۱۳ فروردین مشاهده گردید. کد (۵۲) برای انتهای تورم گل آذین و ظهور گل، در روزهای ۱۲ تا ۱۳ فروردین مشاهده شد. کد (۵۳) برای تنزیدن جوانه از ۱۳ تا ۱۴ فروردین مشاهده شده است. کد (۵۴) برای جوانه برگ سبز بالاتر از ۱۰ میلی متر در روزهای ۱۳ تا ۱۵ فروردین رخ می‌دهد. کد فرعی ۵۵ برای ظهور جوانه گل به صورت بسته، در روزهای ۱۵ تا ۱۶ فروردین رخ می‌دهد. کد ۵۶ برای جوانه گل در حال جداسازی (به صورت بسته) در روزهای ۱۵ تا ۱۷ فروردین رخ می‌دهد. کد (۵۷) برای جوانه صورتی و مشاهده گلبرگ‌ها از ۱۶ تا ۱۸ فروردین مشاهده گردید. در کد (۵۹) بیشتر گل‌ها و گلبرگ‌ها به صورت توپ خالی از ۱۷ تا ۱۹ فروردین رخ می‌دهد (شکل ۳). این مرحله از ابتدای تا انتهای دهه دوم ماه فروردین به مدت ۱۰ روز به طول می‌انجامد. مرحله چهارم فنولوژی سیب با عنوان گلدھی با کد اصلی (۶) با ۱۲ کد فرعی یکی از مهم‌ترین و متنوع‌ترین مراحل فنولوژی در بین مراحل فنولوژی سیب محسوب می‌شود. کد فرعی (۶۰) برای باز شدن گل‌ها، از ۱۸ تا ۲۰ فروردین مشاهده گردید. کد (۶۱) برای آغاز گلدھی (۱۰ درصد گل‌ها باز شده) از ۲۰ تا ۲۲ فروردین رخ می‌دهد. کد (۶۲) که حدود ۲۰ درصد گل‌ها باز شده از ۲۲ فروردین تا ۲۴ فروردین رخ می‌دهد. کد (۶۳) حدود ۳۰ درصد گل‌ها باز شده از ۲۴ تا ۲۶ فروردین رخ می‌دهد. کد (۶۴) که حدود ۴۰ درصد گل‌ها باز شده، از ۲۴ تا ۲۶ فروردین رخ می‌دهد. کد (۶۵) حدود ۵۰ درصد گل‌ها باز شده (شروع ریزش گلبرگ‌ها) از ۲۵ تا ۲۷ فروردین رخ می‌دهد. در کد (۶۶) با عنوان محو شدن گل‌ها (ریزش اکثریت گل‌ها) از ۲۷ تا ۳۰ فروردین رخ می‌دهد. کد (۶۹) یا انتهای گلدھی و ریزش بیشتر گل‌ها، از ۳۰ تا ۱ اردیبهشت رخ می‌دهد (شکل ۳). این مرحله به مدت ۱۰ روز از اول تا آخر دهه اول ماه فروردین طول می‌کشد.

$$\text{inter}_S = \begin{cases} t=t_0 & :0 \\ >t_0 \text{ inter}_{E-t-1} < 1 : \text{inter}_{E-t-1} \\ >t_0 \text{ inter}_{E-t-1}^{31} : \text{inter}_{E-t-1} \cdot (1-X_1) \end{cases} \quad (12)$$

مقادیر عددی ثابت‌های slp ، tetmlt ، α_0 ، α_1 و e_0 و e_1 که به طور تجربی به دست آمده‌اند و در عملیات مربوط به باغبانی از آن‌ها استفاده می‌نمایند، به ترتیب عبارتند از: ۱/۶، ۲۷۷، ۱۳۹۵۰۰، $2/567 \times 10^{18}$ ، ۴۱۵۳/۵ و ۱۲۸۸۸/۸. برای هر کدام از مدل‌ها در محیط نرم‌افزار اکسل برنامه لازم مشخص گردید و سپس با اعمال دماهای ساعتی بر این مدل‌ها، انباشت سرمای مشخص گردید.

نتایج و بحث

نتایج مشاهدات میدانی، ثبت زمان رخداد مراحل

فنولوژی درخت سیب دیررس رقم رد دلپشز

شکل ۲، مرحله اول فنولوژی درخت سیب رقم رد دلپشز را در مقیاس BBCH نشان می‌دهد. این مرحله در درخت سیب، ۵ کد فرعی را شامل می‌شود. مرحله اول با کد (۰۰) مرحله انتهای رکود و آغاز تورم جوانه و جوانه‌زنی می‌باشد. این رقم در دشت کرج از ۲۵ اسفند شروع به تورم جوانه می‌کند. کد (۰۱) برای تورم و آغاز جوانه‌زنی از ۲۵ تا ۲۸ اسفند را در بر می‌گیرد. کد (۰۳) انتهای تورم جوانه از ۲۶ اسفند تا ۲۹ اسفند را شامل می‌شود. کد (۰۷) آغاز ظهور جوانه از ۲۹ اسفند تا ۲ فروردین و کد (۰۹) آغاز ظهور جوانه از ۲ تا ۴ فروردین شکل می‌گیرد. مرحله فنولوژی جوانه‌زنی سیب دیررس پاییزه از اواخر اسفند آغاز می‌شود و تا دهه اول فروردین به مدت ۹ روز برای تکمیل تمام کدهای فرعی به طول می‌انجامد. مرحله دوم فنولوژی با عنوان نمو برگ با کد اصلی (۱) در شکل ۲، نشان داده شده است. این مرحله با کدهای فرعی ۱۰، ۱۱، ۱۵ و ۱۹ از ۴ تا ۱۲ فروردین به طول می‌انجامد. در واقع کد (۱۰) برای مرحله اندازه جوانه برگ سبز تا ۱۰ میلی‌متر از ۴ تا ۶ فروردین و کد (۱۱) برای رخداد برگ‌های اولیه که هنوز باز نشده از ۶ تا ۸ فروردین رخ می‌دهد. کد (۱۵) کامل نشدن بیشتر برگ‌ها از ۸ تا ۱۱ فروردین ماه و کد (۱۹) برگ‌های اولیه در توسعه کامل از ۱۰ تا ۱۲ آوریل رخ می‌دهد. این مرحله از



شکل ۲- مرحله اول فنولوژیکی درخت سیب دیررس پاییزه رقم رد دلشیز با کد اصلی (۰۰) در (شکل چپ) و مرحله دوم با عنوان نمو برگ با کد (۱) در (شکل راست)



شکل ۳- مرحله سوم فنولوژیکی درخت سیب دیررس پاییزه رقم رد دلشیز ، با کد اصلی (۵) با عنوان ظهور ظهور گل آذین در (شکل چپ) و مرحله چهارم فنولوژی با کد (۶)، با عنوان ظهور گلدهی در (شکل راست)

(۷۸) از ۲۸ ماه خرداد تا ۲۰ جولای رخ می‌دهد. مرحله میوه به حدود ۹۰ درصد اندازه نهایی رسیده با کد (۷۹) از ۳۰ جولای تا ۱۲ مرداد رخ می‌دهد (شکل ۴). این مرحله فنولوژیکی از اوایل اردیبهشت ماه تا اواسط مرداد ماه به طول می‌انجامد. مرحله فنولوژیکی بلوغ میوه و بذر با کد اصلی (۸) چهار کد فرعی را در بر می‌گیرد. مرحله آغاز رسیدن میوه با کد (۸۱) از ۲۸ مرداد تا ۵ شهریور رخ می‌دهد. مرحله رسیدن میوه با کد (۸۵) از ۵ تا ۲۰ شهریور و مرحله میوه رسیده برای برداشت با کد (۸۷) از ۲۰ تا ۲۵ شهریور مشاهده گردید. مرحله میوه رسیده برای مصرف با کد ۸۹ از ۲۲ تا ۲۷ شهریور به طول می‌انجامد (شکل ۴). این مرحله از اواخر مرداد ماه تا اواخر شهریور ماه به طول می‌انجامد. مرحله فنولوژیکی آغاز رکود با کد ۹ از شش کد فرعی در مقیاس BBCH تشکیل شده است. مرحله فنولوژیکی کامل شدن رشد شاخه و جوانه نهایی با کد (۹۱) ۱۸ مهرماه رخ می‌دهد.

مرحله فنولوژیکی نمو میوه با کد اصلی (۷) از ۷ کد فرعی تشکیل شده است. مرحله فرعی زمانی که اندازه میوه به ۱۰ میلی‌متر رسیده و ریزش اولیه میوه با کد (۷۱) در ۳ تا ۸ اردیبهشت ماه مشاهده گردید. مرحله اندازه میوه تا ۲۰ میلی‌متر با کد (۷۲) از ۸ تا ۱۷ اردیبهشت ماه مشاهده شد. مرحله ریزش ثانویه میوه با کد (۷۳) از ۲۶ تا ۳۰ اردیبهشت ماه رخ می‌دهد. مرحله قطر میوه برابر با ۴۰ میلی‌متر با کد (۷۴) از ۱ تا ۱۷ اردیبهشت ماه به طول می‌انجامد. مرحله میوه به حدود نیمی از اندازه نهایی خود رسیده با کد (۷۵) از ۱۷ ماه می تا ۷ تا ۱۰ خرداد ماه رخ می‌دهد. مرحله میوه به حدود ۶۰ درصد اندازه نهایی خود رسیده با کد فرعی (۷۶) از ۱۲ ماه می تا ۲۲ ماه می (اردیبهشت ماه) رخ می‌دهد. مرحله میوه به حدود ۷۰ درصد اندازه نهایی رسیده با کد (۷۷) از ۲۲ تا ۲۸ خرداد ماه مشاهده گردید. مرحله میوه به حدود ۸۰ درصد اندازه نهایی رسیده با کد



شکل ۴ - مرحله فنولوژیکی، نمو میوه درخت سیب دیررس پاییزه رقم رد دلشیز با کد ۷ (شکل سمت چپ) و مرحله فنولوژیکی بلوغ میوه و بذر با کد اصلی ۸ در شکل (سمت راست)

تکمیل نمو خود نیاز دارد. فصل رشد به صورت رشد رویشی و زایشی در این وارسته، ۲۰۱ روز به طول می‌انجامد. کوتاه‌ترین طول درون مراحل فنولوژی در مراحل اول و دوم فنولوژی یعنی نمو جوانه و نمو برگ و طولانی‌ترین طول درون مراحل در مرحله گلدهی تا نمو میوه رخ می‌دهد. درجه روزهای رشد موثر و فعال از ۵۰ درجه‌روز در مرحله اول فنولوژی به تدریج تا بیش از ۲۰۰۰ درجه‌روز در مرحله نمو میوه افزایش می‌یابد. بعد از مرحله نمو میوه میزان درجه روزها به تدریج روند نزولی پیدا می‌کنند. درخت سیب وارسته دیررس از پایان رکود، زمانی که که ۵۰ درصد جوانه‌ها متورم شده باشند، تا گلدهی کامل، زمانی که ۵۰ درصد گل‌ها باز شده باشند (ریوز و همکاران، ۲۰۰۷؛ اجا و همکاران، ۲۰۰۳)، براساس مدل اندرسون و همکاران ۸۸۸۹ و براساس مدل ریچاردسون و همکاران ۱۵۹۸۳ درجه ساعت رشد GDH، نیاز دارد. در واقع درختان سیب علاوه بر نیاز سرمایی بالا برای حیات مجدد خود به تکمیل مراحل فنولوژیکی خود به نیاز گرمایی و درجه ساعت‌های بالایی نیاز دارند، این نتایج با مطالعات (اجا و همکاران، ۲۰۰۳) مطابقت دارد. همچنین نیاز درجه روزهای رشد موثر و فعال به ترتیب ۳۴۳۸ و ۴۲۱۵ مشخص شده است. بر مبنای آمار ایستگاه همدید کرج توان گرمایی لازم برای درخت سیب به راحتی تأمین می‌شود. نتایج این بخش با مطالعات ولنتینی و همکاران (۲۰۰۱) بر روی وارسته‌های مختلف سیب و از نظر رویکرد با مطالعات آلبرکور و همکاران (۲۰۰۸) بر روی درخت گیلاس همخوانی دارد.

مرحله فنولوژیکی شروع تغییر رنگ برگ‌ها با کد (۹۲) از ۲۷ مهرماه تا ۱۰ آبان رخ می‌دهد. مرحله فنولوژیکی آغاز ریزش برگ‌ها با کد (۹۳) از ۲۷ مهرماه تا ۱۹ آبان رخ می‌دهد. مرحله فنولوژیکی ۵۰ درصد گل‌ها تغییر رنگ داده‌اند با کد (۹۵) از ۲۰ تا ۲۵ آبان رخ می‌دهد. مرحله فنولوژیکی ریزش تمام برگ‌ها با کد (۹۷) از ۲۵ آبان تا اوایل دسامبر رخ می‌دهد (شکل ۵). مرحله آخر فنولوژیکی درخت سیب دیررس، از اواسط مهرماه تا اوایل آذر ماه طول می‌کشد.



شکل ۵- مرحله فنولوژیکی آغاز رکود درخت سیب دیررس پاییزه رقم رد دلشیز با کد اصلی (۹)

نیاز گرمایی مراحل فنولوژی درخت سیب دیررس

بر مبنای آمار ایستگاه همدید کرج، کمینه و بیشینه دما، میزان درجه روزهای رشد موثر و فعال، طول روز و نیاز گرمایی در قالب درجه ساعت‌های رشد GDH، در جدول ۱ مشخص شده است. درخت سیب دیررس وارسته رد دلشیز از زمان گلدهی تا برداشت میوه ۱۵۸ روز برای

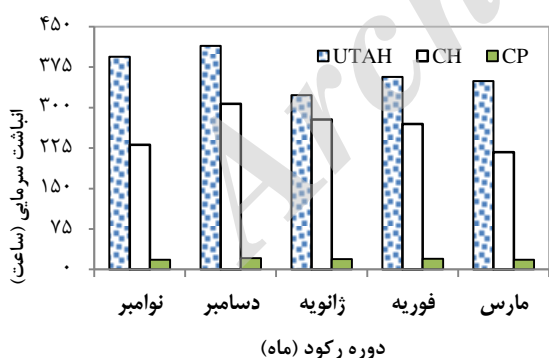
جدول ۱- تاریخ تکمیل مراحل فنولوژی و نیاز گرمایی سبب دیررس رد دلشیز در سال ۹۴-۱۳۹۳ براساس ایستگاه همدید کرج

مرحله رشد	تاریخ		طول مرحله (روز)	دما (°C)			GDD موثر	GDD فعال	GDH آندرسون و همکاران (۱۹۸۶)	GDH ریچاردسون و همکاران (۱۹۷۵)
	شروع	پایان		کمینه	بیشینه	میانگین				
نمو جوانه و جوانه زنی	۹۳/۱۲/۲۵	۹۴/۱/۴	۹	۵/۸	۱۶	۱۰/۵	۵۰	۹۵	۱۱۸۸	۲۰۸۴
نمو برگ	۹۴/۱/۴	۹۴/۱/۱۲	۹	۵/۹	۱۵/۷	۱۰/۸	۵۱	۹۶	۱۲۱۶	۱۹۲۴
ظهور گل آذین	۹۴/۱/۱۰	۹۴/۱/۱۹	۱۰	۷/۶	۲۰/۴	۱۴/۵	۹۵	۱۴۵	۲۲۸۰	۵۲۷۹
گلدهی	۹۴/۱/۱۸	۹۴/۲/۱	۱۵	۱۱/۸	۲۵/۶	۱۹	۲۰۹	۲۹۴	۴۲۰۵	۶۶۹۷
نمو میوه	۹۴/۲/۳	۹۴/۵/۱۲	۱۰۳	۱۷/۴	۳۱/۳	۲۴/۳	۲۱۳۹	۲۶۵۴	-	-
بلوغ میوه و بذر	۹۴/۵/۲۸	۹۴/۷/۱	۳۰	۱۵	۲۴	۱۹/۵	۶۸۷	۸۶۷	-	-
آغاز رکود	۹۴/۷/۲۷	۹۴/۸/۲۸	۲۵	۷	۱۴	۱۰/۵	۲۰۷	۳۶۷	-	-
مجموع			۲۰۱				۳۴۳۸	۴۲۱۵	۸۸۸۹	۱۵۹۸۳

و تجاری به خود نمی‌گیرد که دلیل عمده آن را می‌توان عدم تأمین نیاز سرمایی کافی درختان دیررس بیان نمود. با توجه به این نتایج انتخاب و کاشت ارقام زودرس و میان‌رس مانند سیب گلاب و ارقام دلبار استوال و گالا، برای منطقه پیشنهاد می‌گردد. نتایج و دستاوردهای تعیین نیاز سرمایی دوره رکود برای دیگر درختان خزان‌دار به خصوص گلابی، حائز اهمیت می‌باشد.

جدول ۲- وضعیت انباشت سرمای در دوره رکود از ماه نوامبر تا مارس براساس ایستگاه همدید کرج

مدل ساعات سرمایی CH ۰ - ۷/۲c			مدل واحدهای سرمایی UTAH			مدل دینامیکی (بخش‌های سرمایی) CP		
CV	σ	μ	CV	σ	μ	CV	σ	μ
۷	۷	۹۶	۱۲/۳	۲۲۶	۱۸۲۶	۷۰/۳	۱۶۷	۱۳۰۲



شکل ۶- توزیع ماهانه انباشت سرمایی در دوره رکود براساس ایستگاه همدید کرج

به منظور اعتبارسنجی مدل‌های مختلف برآورد کننده نیاز سرمایی، از معیارهای اعتبارسنجی MAE, MBE و RMSE استفاده شده است. در این راستا براساس روش اعتبارسنجی تقاطعی اقدام به ارزیابی این معیارها گردید (جدول ۳). نتایج نشان می‌دهد که مدل دینامیکی با توجه

وضعیت و الگوی نیاز سرمایی دوره رکود درخت سیب

بر مبنای ایستگاه همدید کرج میزان انباشت سرمایی براساس مدل ساعات سرمایی ۱۳۰۲ ساعت، براساس مدل یوتا ۱۸۳۶ واحد سرمایی و براساس مدل دینامیکی ۹۶ سهم یا بخش سرمایی رخ می‌دهد. بیشترین ضریب تغییرات با ۷۰/۳ درصد در مدل ساعات سرمایی مشاهده گردید. روش دینامیکی نسبت به دیگر مدل‌ها از تغییرات کمتری برخوردار می‌باشد (جدول ۲). براساس نتایج مدل ساعات سرمایی در شرایط ایستگاه همدید کرج، ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه تأمین‌کننده عمده سرمای زمستانه برای درختان میوه خزان‌دار به خصوص سیب محسوب می‌شوند. در ماه‌های نوامبر و مارس تأمین سرمایی کمتری رخ می‌دهد. براساس مدل یوتا بیشترین نیاز سرمایی در ماه‌های نوامبر، دسامبر، فوریه و مارس رخ می‌دهد. ساختار مدل یوتا موجب شده که دماهای بین ۱/۴ تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد وزن‌دار شوند و در واقع دماهای ملایم نیز به عنوان ارزش سرمایی در انباشت تجمعی سرما موثر باشند. براساس مدل دینامیکی بیشترین توان سرمایی دوره رکود، در ماه‌های دسامبر و فوریه با ۲۰ بخش سرمایی برای هر ماه رخ می‌دهد (شکل ۶). براساس نتایج مدل‌ها، شرایط اقلیمی کرج از توان تأمین‌کنندگی نیاز سرمایی نسبتاً متوسطی برخوردار می‌باشد، با توجه به نیاز بسیار بالای درختان سیب به میزان ۱۲۰۰ تا ۱۶۰۰ ساعت (فری و وارینگتون، ۲۰۰۳) انباشت سرمایی در شرایط اقلیمی دشت کرج برای دوره رکود تأمین‌کننده نیاز سرمایی وارپته‌های دیررس و تجاری درخت سیب نیست. مشاهدات میدانی نشان داد که سیب قرمز یا رد دلشیز در اقلیم دشت کرج رنگ کامل

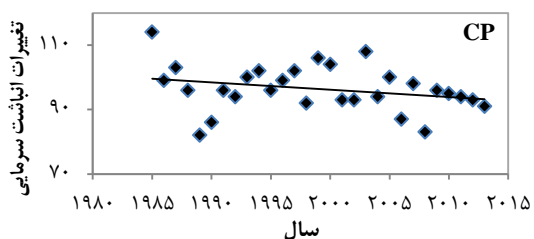
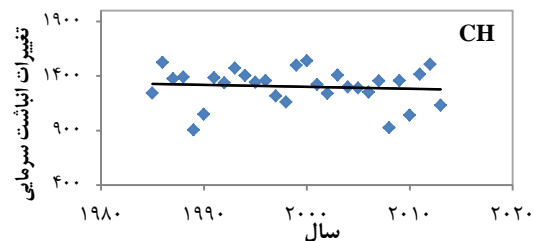
درخت سیب به تفکیک هر مرحله فنولوژی در دوره آماری بلند مدت، روند تغییرات سری روزشمارهای رخداد مراحل فنولوژی و پارامترهای اقلیمی مؤثر از طریق روش من‌کنندال در جدول ۴ مشخص شده است. روند تغییرات روزشمارهای زمان تکمیل مراحل فنولوژی از روندی کاهشی و معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ برخوردار می‌باشد. روند منفی یا کاهشی روزشمارها تداعی‌کننده رخداد زودهنگام زمان مراحل فنولوژی درختان میوه بخصوص سیب در سال‌های اخیر می‌باشد، در واقع هر چقدر به انتهای دوره آماری در سال‌های اخیر می‌رسیم، تکمیل مراحل فنولوژی درخت سیب به دلیل افزایش دمای هوا زودتر رخ می‌دهد. در تمام مراحل فنولوژی بین ابتدا و انتهای دوره مورد مطالعه، ۳-۴ روز به طور متوسط اختلاف زمان تکمیل رخداد مراحل فنولوژی وجود دارد. هر چقدر روزهای ژولیبوسی کوتاه‌تر شود یعنی دماهای گرم‌تری رخ داده و به تناسب آن تاریخ تکمیل مراحل فنولوژی زودتر شکل می‌گیرد. این شرایط خطر سرما و یخبندان دیررس بهاره برای مراحل اول تا چهارم (جوانه زنی تا گلدهی) بیشتر می‌کند. روند تغییرات پارامترهای اقلیمی در جدول ۴ مشخص شده است. نتایج نشان داد که دمای کمینه در مراحل اولیه فنولوژی، مرحله جوانه‌زنی و نمو برگ از روندی افزایشی در سطح ۰/۰۱ معنی‌داری برخوردار می‌باشد. این شرایط در ظهور زودهنگام مراحل فنولوژی و بالارفتن ریسک یخبندان‌های دیررس حائز اهمیت است. در کلیه مراحل فنولوژی بجز مرحله آغاز رکود یا مرحله پایانی، روند افزایشی معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ در پارامتر میانگین دمای هوا مشاهده شد. در مرحله نمو و بلوغ میوه که مصادف با ایام گرم سال است، روند افزایشی در بیشینه دما مشاهده شد. برای پارامترهای بارش و رطوبت نسبی روند معنی‌داری مشاهده نگردید اما شیب تغییرات منفی حائز اهمیت می‌باشد. در پارامتر روزهای گرم در مرحله نمو میوه روند افزایشی در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار مشاهده شد. به طور کل روند افزایشی دمای هوا در چرخه رویشی و زایشی درخت سیب حائز اهمیت است. هر چند بیشتر درختان میوه برای تکمیل چرخه زیستی خود به دماهای بالا خیلی واکنش نشان نمی‌دهند، اما این شرایط برای درختان سیب به عنوان یک گونه مناطق سردسیر و خنک، می‌تواند پیامدهای از جمله کاهش عملکرد و کیفیت را به همراه داشته باشد. شیب تغییرات کاهشی پارامترهای بارش

به ریشه میانگین مربعات RMSE، کمتر نسبت به دیگر مدل‌ها از عملکرد بالاتری برخوردار می‌باشد.

جدول ۳- نتایج معیارهای اعتبار سنجی بین مدل‌های مختلف تعیین الگوی نیاز سرمایی برای دوره رکود

مدل	MAE	MBE	RMSE
ساعات سرمایی (CH)	۰/۰۷۲۰۲	-۰/۰۰۲۴۸	۰/۳۸۷
واحد‌های سرمایی (Utah)	۰/۰۸۶۹۹	-۰/۰۰۳	۰/۴۶۸
دینامیکی (CP)	۰/۰۰۰۷۵	-۲/۲۷۰۰۵	۰/۰۰۴

برای شناخت بیشتر از نیاز سرمایی به عنوان یکی از موارد حیاتی در درختان خزان‌کننده، روند تغییرات سری زمانی نیاز سرمایی درازمدت از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۴ براساس مدل‌های ساعات سرمایی، یوتا و دینامیکی در شکل ۷ مشخص شده است. هر چند براساس روش من‌کنندال روند معنی‌داری در سری انباشت سرمایی مشاهده نگردید، اما برای هر سه مدل شیب منفی انباشت سرمایی در سال‌های اخیر حائز اهمیت می‌باشد. در واقع در دهه‌های اخیر بخصوص از سال ۱۹۹۵ تا حال حاضر، شیب نزولی نیاز سرمایی بیشتر شده است و این می‌تواند نشانه‌ای آشکار از تغییرات اقلیمی و گرم شدن دمای هوا در ایام سرد سال باشد.



شکل ۷- توزیع زمانی و تغییرات انباشت سرمایی براساس برون‌داد مدل‌های ساعات سرمایی CH و دینامیکی CP

روند تغییرات روزشمارهای زمان رخداد مراحل فنولوژی و پارامترهای اقلیمی مؤثر در درخت سیب درختان میوه برای تکمیل مراحل فنولوژی خود نیازمند واحدهای حرارتی می‌باشند. هر مرحله فنولوژی پس از دریافت مقدار معینی واحد حرارتی یا گرمای لازم رخ می‌دهد. پس از تعیین تاریخ تکمیل مراحل فنولوژی

درختان خزان‌دار مانند سیب به خصوص در سال‌های اخیر را تأیید می‌نماید. نتایج عملکرد بهتر مدل دینامیکی برای برآورد انباشت سرمایه درختان میوه خزان‌دار و همچنین کاهش نیاز سرمایه در سال‌های اخیر با مطالعات لودلینگ و براون (۲۰۱۱) و پوپ و همکاران (۲۰۱۵) همخوانی دارد. نتایج مطالعات از نظر اهمیت و نقش تعیین‌کننده انباشت سرمایه در رشد و نمو درختان سیب با مطالعات داربیش و همکاران (۲۰۱۱) همخوانی دارد.

و رطوبت نسبی و روند افزایشی دمای هوا، میزان تقاضا برای نیاز آبی این نوع درختان را افزایش می‌دهد. با توجه به این نتایج و با در نظر گرفتن وضعیت انباشت سرمایه در دوره رکود، استفاده از واریته‌های دیررس تجاری مانند رد دلشیز برای منطقه اقلیمی دشت کرج مقرون به صرفه نیست و بهتر است از واریته‌های زودرس تا میان‌رس استفاده شود. نتایج مطالعه حاضر همگام با مطالعه سبزی‌پرور و ولاشدی (۱۳۹۴) کاهش انباشت سرمایه برای

جدول ۴ - روند تغییرات تاریخ تکمیل مراحل فنولوژی و تغییرات پارامترهای اقلیمی در درخت سیب واریته رد دلشیز

روزهای گرم	رطوبت نسبی	بارش	میانگین دما	بیشینه دما	اختلاف روزهای			پارامتر مرحله فنولوژی
					تاریخ تکمیل از ابتدا تا انتهای دوره مطالعاتی	روند تاریخ به صورت روزشمار	کمینه دما	
۰/۹۸	-۱/۵۶	-۱/۲	*۲/۲۲	۰/۶۵	* ۲/۴	۴	-۱/۹۹	مرحله جوانه زنی
۱	-۰/۹۸	-۱/۵۸	* ۲	۱/۱	* ۱/۹	۳	* -۲	مرحله نمو برگ
۰/۹۸	-۰/۹۸	-۰/۵۶	*۲/۲	۱/۲	۱	۵	* -۲/۲	مرحله گل آذین
۱	-۱/۲	-۱/۵	*۲/۳	۱/۵	۱/۲	۴	-۱/۹۸	مرحله گلدهی
* ۲	-۱	-۰/۹۹	*۱/۹	۲/۱	۱	۴	* -۲/۲	مرحله نمو میوه
۱/۸۶	-۱/۱	۱	*۲/۳	* ۲	۱/۵	۳	* -۲	مرحله بلوغ میوه
۰/۰۰۱	۰/۹۸	۰/۵۷	-۱/۲	-۰/۵۶	-۱	۴	* -۱/۹۹	مرحله آغاز رکود

* روند در سطح ۰/۰۵ معنی داری

درخت سیب نیست. به دلیل عدم تأمین نیاز سرمایه به واسطه سرماهای ملایم، رنگ قرمز به طور مناسب در میوه سیب قرمز یا رد دلشیز ظاهر نمی‌شود. در مشاهدات میدانی نیز رنگ قرمز مناسب بر میوه سیب قرمز مشاهده نشد. تغییرات کاهش در سری زمانی انباشت سرمایه به دست آمده از برون‌داد مدل‌های یوتا و CP مشاهده شد. در بین مدل‌های برآورد کننده نیاز سرمایه، مدل دینامیکی از عملکرد بهتری برخوردار می‌باشد. کاهش انباشت سرمایه در زمستان یا دوره رکود درختان میوه خزان‌دار در پیوند با گرمایش جهانی می‌تواند نشانه بارزی از تغییرات اقلیمی در دهه‌های اخیر باشد. براساس برون‌داد مدل‌های تعیین نیاز گرمایی، منطقه کرج از توان گرمایی بالایی برخوردار بوده و نیاز گرمایی درختان سیب دیررس به راحتی تأمین می‌شود. روند تغییرات کاهش معنی‌داری در سری روزشمارهای ژولیوسی تاریخ تکمیل مراحل فنولوژی مشاهده شد. در واقع کوتاه‌تر شدن روزشمارهای ژولیوسی، نشان‌دهنده ظهور زود هنگام مراحل فنولوژی به دلیل گرمای هوا می‌باشد. از طرفی روند تغییرات افزایشی دمای کمینه در انتهای فصل سرد نیز ظهور زود هنگام

رویکرد تحقیق حاضر همسو با مطالعات ولنتینی و همکاران (۲۰۰۱) و آلبرکور و همکاران (۲۰۰۸) می‌باشد. مطالعات مذکور ارزیابی مراحل فنولوژی و نیازهای گرمایی و سرمایه درختان میوه از طریق داده‌های اقلیمی برای انتخاب گونه‌های سازگار حائز اهمیت دانستند. نتایج کوتاه‌تر شدن زمان تکمیل مراحل فنولوژی و خطر یخبندان‌های دیررس بهاره برای مرحله گلدهی با نتایج ولاشدی و سبزی‌پرور (۱۳۹۵) همخوانی دارد. به طور کل در تحقیق حاضر با تکمیل مطالعات دیگر، الگوی تغییرات انباشت سرمایه براساس آمار بلندمدت دماهای ساعتی هوا و تغییرات زمان رخداد مراحل فنولوژی و پارامترهای اقلیمی موثر در مراحل فنولوژی نیز مشخص گردید.

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر با هدف ارزیابی نیاز سرمایه و گرمایی و الگوی تغییرات آن برای درخت سیب دیررس واریته رد دلشیز با رهیافتی میدانی - آماری انجام شد. نتایج برون‌داد مدل‌های مختلف برآورد کننده نیاز سرمایه بر مبنای ایستگاه همدید کرج نشان داد که شرایط اقلیمی دشت کرج، تأمین‌کننده انباشت سرمایه واریته‌های دیررس

در مناطق خشک ایران. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۴(۲۵): ۸۲۳-۸۳۴.

سبزی پرور ع. ا.، ولاشدی، ر. ن. ۱۳۹۴. اثر تغییر اقلیم بر روند تأمین نیاز سرمایی گیاهان خزان‌دار (مطالعه موردی: استان همدان). نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)، ۳: ۳۶۷-۳۵۸.

علیزاده، ا. ۱۳۸۹. اقلیم و هواشناسی کشاورزی، چاپ اول، انتشارات آستان قدس رضوی، ۵۰۴ صفحه.

غریبی، خ. ۱۳۹۵. مدیریت ریسک و بیمه باغبانی (نمونه‌های الگویی: زیتون، موز و انبه). انتشارات پژوهشکده بیمه، ۲۹۵ صفحه.

کمالی، غ.، رحیمی، م.، محمدیان، ن.، مهدویان، ع. ۱۳۸۶. پیش‌بینی زمان گلدهی سیب رقم Golden بر اساس نیازهای تجمعی سرمایی جهت جلوگیری از خسارت یخبندان در منطقه گل‌مکان خراسان. نشریه پژوهشی علوم انسانی دانشگاه اصفهان، ۱(۲۲): ۱۷۱ - ۱۸۲.

میرحاجی، ت.، سندگل، ع.، قاسمی، م. ح.، نوری، سهیلا. ۱۳۸۹. کاربرد درجه روز رشد (GDD) در تعیین مراحل فنولوژی چهارگونه از گندمیان در ایستگاه تحقیقات مراتع همدان آبرسد. فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۷(۳): ۳۶۲-۳۷۶.

ولاشدی، ر. ن.، سبزی پرور ع. ا. ۱۳۹۵. ارزیابی الگوهای برآورد نیاز سرمایی زمستانه با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای پدیده‌شناختی درخت سیب در ارومیه. علوم باغبانی ایران، ۴۷(۳): ۵۷۰-۵۶۱.

Anderson, J. L., Richardson, E. A., Kesner, C. D. 1985. Validation of chill unit and flower bud phenology models for 'Montmorency' sour cherry. In I International Symposium on Computer Modelling in Fruit Research and Orchard Management, 184: 71-78).

Albuquerque, N., García-Montiel, F., Carrillo, A., Burgos, L. 2008. Chilling and heat requirements of sweet cherry cultivars and the relationship between altitude and the probability of satisfying the chill requirement. Environ. Exper. Bot., 64: 162-170.

Aslamarz, A. A., Vahdati, K., Rahemi, M., Hassani, D. 2009. Estimation of chilling and heat requirements of some Persian walnut cultivars and genotypes. Hort. Sci., 44(3): 697-701.

Cesaraccio, C., Spano, D., Duce, P., Snyder, R. L. 2001. An improved model for determining degree-day values from daily temperature data, Int. J. Biometeorol., 45(4): 161-169.

مراحل فنولوژی را تسریع می‌بخشد. این شرایط ریسک سرما و یخبندان برای مرحله اول تا چهارم (جوانه زنی تا گلدهی) درخت سیب را بیشتر می‌کند. همزمان با مرحله فنولوژیکی نمو میوه سیب روند افزایشی معنی‌دار در پارامتر روزهای گرم مشاهده گردید. این شرایط می‌تواند ریسک آسیب گرمایی و کاهش کیفیت میوه و همچنین افزایش نیاز آبی درخت سیب را به همراه داشته باشد. بنابراین، توان اقلیمی دشت کرج برای کشت واریته‌های تجاری دیررس درخت سیب مانند رد دلشز مناسب نبوده و بهتر است که از ارقام بومی و زودرس تا میان‌رس استفاده گردد. نتایج و دستاوردهای این تحقیق برای آگاهی بخشی در مورد نقش و اهمیت شرایط اقلیمی در انتخاب گونه‌های سازگار با اقلیم هر منطقه و همچنین ارائه الگویی برای مدیریت صحیح و مدیریت ریسک محصولات باغی حائز اهمیت می‌باشد.

منابع

اوحدی، د. ۱۳۸۴. بررسی کمی سرمازدگی در مراحل مختلف فنولوژی محصولات باغی (مطالعه موردی محصول سیب در مناطق سمیرم، کرج و گل‌مکان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشکده آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران.

آمار نامه محصولات باغی. ۱۳۹۴. وزارت جهاد کشاورزی، معاونت باغبانی. بخش میوه‌های سردسیری و خشک. خورشید دوست، ع. م.، زارع نهندی، ف.، خلیلی، ۱۳۹۶. تأثیر عامل‌های اقلیمی بر برخی ویژگی‌های کیفی میوه پرتقال تامسون ناول در استان مازندران. علوم باغبانی ایران، ۴۸(۱): ۳۹-۴۷.

خوشحال، ج.، رحیمی، د.، مجد، م. ۱۳۹۲. تعیین مراحل فنولوژی و محاسبه نیازهای حرارتی گل محمدی منطقه برزک کاشان. نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۴: ۱۶۹-۱۷۸.

رشد، س.، یگانه، ح.، سنایی، ا. ۱۳۹۳. بررسی روند مراحل فنولوژی دو گونه *Bromus tomentellus* و *Festuca ovina* در ایستگاه الموت قزوین. نشریه پژوهش‌های گیاهی (نشریه زیست‌شناسی ایران)، ۲۷(۴): ۶۴۶-۶۳۵.

سبزی پرور ع. ا.، شادمانی م. ۱۳۹۰. تحلیل روند تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از آزمون من‌کندال و اسپیرمن

- Maulión, E., Valentini, G. H., Kovalevski, L., Prunello, M., Monti, L. L., Daorden, M. E., Quaglino, M., Cervign, G. D. L. C. 2014. Comparison of methods for estimation of chilling and heat requirements of nectarine and peach genotypes for flowering. *Sci. Hort.*, 177 : 112-117.
- McMaster, G. S., Wilhelm, W. W. 1997. Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agric. for. Meteorol.*, 87(4): 291-300.
- Pope, K. S., Dose, V., DaSilva, D., Brown, P. H., DeJong, T. M. 2015. Nut crop yield records show that budbreak-based chilling requirements may not reflect yield decline chill thresholds. *Int. J. Biometeorol.*, 59(6): 707-715.
- Rahemi, M., Pakkish, Z. 2009. Determination of chilling and heat requirements of Pistachio (*Pistacia vera* L.) cultivars. *Agric. Sci. China.*, 8(7): 803-807.
- Rea, R. Eccel, E. 2006. Phenological models for blooming of apple in a mountainous region, *Int. J. Biometeorol.*, 51:1-16.
- Richardson, E. A., Seeley, S. D., Walker, D. R. 1974. A model for estimating the completion of rest for "Redhaven" and "Elberta" Peach Trees. *Hort. Sci.*, 9:331-332.
- Ruiz, D. Campoy, J. A. Egea, J. 2007. Chilling and heat requirements of apricot cultivars for flowering. *Environ. Experim. Bot.*, 61: 254-263.
- Severino, V., Gravina, A., Manzi, M., Arias, M. 2007. Models for Quantifying Effective Winter Chill on Apple Endodormancy. In VIII International Symposium on Temperate Zone Fruits in the Tropics and Subtropics, 872: 113-120.
- Valentini, N., Me, G., Ferrero, R., Spanna, F. 2001. Use of bioclimatic indexes to characterize phenological phases of apple varieties in Northern Italy. *Int. J. Biometeorol.*, 45(4): 191-195.
- Viti, R., Andreini, A., Ruiz, D., Egea, J., Bartolini, S., Iacona, C., Campoy, J. A. 2010. Effect of climatic conditions on the overcoming of dormancy in apricot flower buds in two Mediterranean areas: Murcia (Spain) and Tuscany (Italy). *Sci. Hort.*, 124: 217-224.
- Wolfe, D. W., Schwartz, M. D., Lakso, A. N., Otsuki, Y., Pool, R. M., Shaulis, N. J. 2005. Climate change and shifts in spring phenology of three horticultural woody perennials in north-eastern USA. *Int. J. Biometeorol.*, 49:303-309.
- Zhang, J. 2012. Phenology and climate change. Published by InTech, Rijeka, Croatia. 332 pages.
- Zhang, J., Taylor, C. 2011. The dynamic model provides the best description of the chill process on 'Sirora' pistachio trees in Australia. *Hort. Sci.*, 46(3): 420-425.
- Cesaraccio, C., Spano, D., Snyder, R. L., Duce, P. 2004. Chilling and forcing model to predict bud-burst of crop and forest species. *Agric. For. Meteorol.*, 126(1): 1-13.
- Cornelius, C., Petermeier, H., Estrella, N., Menzel, A. 2011. A comparison of methods to estimate seasonal phenological development from BBCH scale recording. *Int. J. Biometeorol.*, 55(6): 867-877.
- Darbyshire, R., Webb, L., Goodwin, I., Barlow, S. 2011. Winter chilling trends for deciduous fruit trees in Australia. *Agric. For. Meteorol.*, 151(8): 1074-1085.
- Egea, J., Ortega, E., Martínez-Gómez, P., Dicenta, F. 2003. Chilling and heat requirements of almond cultivars for flowering. *Environ. Exper. Bot.*, 50(1): 79-85.
- Elnesr, M. N., Alazba, A. A. 2016. An integral model to calculate the growing degree-days and heat units, a spreadsheet application. *Comput. Electron. Agric.*, 124: 37-45.
- Erez, A., Fishman, S. 1997. The dynamic model for chilling evaluation in peach buds. In IV International Peach Symposium, 465 : 507-510.
- Erez, A., Fishman, S., Linsley-Noakes, G. C., Allan, P. 1989. The dynamic model for rest completion in peach buds. In II International Symposium on Computer Modelling in Fruit Research and Orchard Management, 276: 165-174.
- Fadón, E., Herrero, M., Rodrigo, J. 2015. Flower development in sweet cherry framed in the BBCH scale. *Sci. Hort.*, 192: 141-147.
- Farajzadeh, M., Rahimi, M., Kamali, G. A., Mavrommatis, T. 2010. Modelling apple tree bud burst time and frost risk in Iran. *Meteorol. App.*, 17(1): 45-52.
- Ferree, D. C., Warrington, I. J. 2003. Apples: botany, production and uses. CABI publishing. 635 pages.
- Fitchett, J. M., Grab, S. W., Thompson, D. I., Roshan, G. 2014. Spatio-temporal variation in phenological response of citrus to climate change in Iran: 1960 - 2010. *Agric. For. Meteorol.*, 198: 285-293.
- Gue, L. Dai, J. Ranjitkar, S. Yu, H. 2014. Chilling and heat requirements for flowering in temperate fruit trees. *Int. J. Biometeorol.*, 58:1195-1206.
- Litschmann, T., Oukropec, I., Krizan, B. 2008. Predicting individual phenological phases in peaches using meteorological data. *Hort. Sci.*, 35 (2): 65-71.
- Luedeling, E., Brown H. P. 2011. A global analysis of the comparability of winter chill models for fruit and nut trees, *Int. J. Biometeorol.*, 55: 411-421.
- Luedeling, E., Kunz, A., Blanke, M. M. 2013. Identification of chilling and heat requirements of cherry trees- a statistical approach. *Int. J. Biometeorol.*, 57(5): 679-689.

Trend analysis of phenological stages length and chilling requirements of apple tree (Case study :Karaj station)

G. Fallah Ghalhari^{1*}, H. Ahmadi²

Received: 02/09/2016

Accepted: 10/08/2017

Abstract

Determination of chilling and heating requirements is an important process for selecting fruit trees specifically adapted to climatic regions. In this study, the thermal thresholds of different phenological stages of apple tree (Red Delicious variety) were determined for further analysis. Long-term hourly and daily temperature data from 1985 to 2014 of Karaj station were collected and used for running three chilling requirement models namely CH, UTAH and CP. The results showed that the chilling requirement of this late variety is not satisfied. A significant decreasing trend in accumulated chilling units was observed. Application of growing degree days (GDD) model confirmed that the required heat units are maintained without limitation. The findings revealed that there exists a significant decreasing trend in occurrence date of phenological stages which might be due to higher temperature during the season. These conditions (earlier onset of vulnerable reproductive phases) increase the risk of frost and chilling damage. In most phenological stages of the apple tree, the mean air temperature showed an increasing trend. According to the results, late varieties are not suitable for current climatic conditions of Karaj climate and should be replaced with early ones. Further agroclimatic studies are recommended for more scrutiny across the country considering the sequences of global warming.

Keywords: Apple tree, GDD, Hourly temperature, Chilling requirement, Phenology, Iran



¹ Associate Professor of Climatology, Geography Department, Hakimsabzevari University, Sabzevar, Iran
(*Corresponding Author's Email Address: ab_fa789@yahoo.com)

² Ph. D. Student of Agricultural Climatology, Geography Department, Hakimsabzevari University, Sabzevar, Iran