

بررسی دماهای سوپرکولینگ در گل‌های زردآلو

عباسعلی جنتی‌زاده^۱، محمدرضا فتاحی مقدم^{۲*}، ذبیح‌اله زمانی^۳، مصباح بابالار^۴، علیرضا عباسی^۵ و محمد عابدینی^۶

۱، ۲، ۳، ۴، ۵. دانشجوی سابق دکتری، دانشیار، استادان و دانشیار پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران،

۶. مربی مرکز تحقیقات کشاورزی شاهرود

(تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۱۹ - تاریخ تصویب: ۹۲/۴/۳۰)

چکیده

سرمازدگی دیررس بهاره از مهم‌ترین مشکلات و محدودیت‌های تولید زردآلو در ایران است. این پژوهش با هدف بررسی میزان آسیب‌پذیری به سرما در دو رقم زردآلوی نصیری و نوری دیررس در سال ۱۳۹۰ انجام شد. در دو مرحله فنولوژیکی پاپ‌کورن و تمام‌گل، گل‌های این ارقام در دستگاه سرماساز قابل برنامه‌ریزی قرار گرفتند و دمای آن به تدریج از ۵ درجه سانتی‌گراد تا ۱۰- درجه سانتی‌گراد کاهش یافت. دمای نمونه‌ها نیز توسط حسگرهای دمایی به دستگاه پردازشگر متصل به کامپیوتر منتقل و ثبت شدند. براساس نتایج به‌دست‌آمده اختلاف دمای سوپرکولینگ بین دو رقم و اثر متقابل رقم و مرحله فنولوژیکی معنادار نبود، در حالی که اثر مرحله فنولوژیکی در سطح ۵ درصد معنادار بود. کمترین دمای سوپرکولینگ ثبت شده ۶/۱- درجه سانتی‌گراد در رقم نوری دیررس و مرحله تمام‌گل بود. در رقم نوری دیررس بیش از ۳۰ درصد جوانه‌ها در مرحله پاپ‌کورن و بیش از ۶۰ درصد گل‌ها در مرحله تمام‌گل سوپرکولینگ کمتر از ۵- درجه سانتی‌گراد نشان دادند. با توجه به یافته‌های این پژوهش می‌توان گفت که رقم نوری دیررس آسیب‌پذیری کمتری در مقایسه با رقم نصیری در شرایط تنش سرمای بهاره دارد.

واژه‌های کلیدی: سرمازدگی بهاره، سوپرکولینگ، نصیری، نوری دیررس.

مقدمه

گیاهان در معرض تنش‌های زنده و غیرزنده متعددی قرار دارند که سبب کاهش عملکرد محصول گیاهان مختلف زراعی و باغی می‌شود. اگرچه بخشی از کاهش محصول ناشی از تنش‌های زنده نظیر آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز است، ولیکن عمده آن ناشی از تنش‌های غیرزنده و به‌طور عمده خشکی و سرما است (Rodrigo, 2000; Fiorino & Mancuso, 2000).

یخبندان‌های بهاره می‌تواند آسیب شدید به بافت‌های گیاهی به‌ویژه اندام‌های زایشی درختان میوه وارد کند که هم تحت‌تأثیر شرایط گیاه و هم تحت‌تأثیر تنش سرمای است. طی فصل رشد مقاومت به دماهای پایین

در درختان میوه اندک است ولی در طول پاییز فرایند خواب سبب القاء تغییراتی می‌شود که گیاه را قادر به تحمل یخبندان می‌کند. این افزایش مقاومت به سرما قابلیت خوگیری به سرما^۱ نامیده شده است که عمدتاً با پدیده سوپرکولینگ^۲ مرتبط است.

پدیده‌ای که سوپرکولینگ نام دارد، به حالتی گفته می‌شود که دمای یک ماده به پایین‌تر از نقطه یخ‌زدگی کاهش می‌یابد، بدون اینکه بلوری‌شدن آن ماده به دلیل آزاد شدن گرمای نهان^۳ یا گذر فازی اتفاق افتد (Wilson, 2003, *et al.*). رمای نهان آزاد شده در برابر انجماد یک گرم آب خالص حدود ۳۳۵ ژول است (Devireddy *et al.*, 2002). برای بت گرمای نهان عمدتاً از روش تحلیل

در برگ‌ها و ساقه‌های رقم آسکولانا نسبت به رقم کوراتینا ظرفیت سوپرکولینگ بیشتری مشاهده شد، ولی رفتار ریشه‌های ارقام بررسی شده تفاوت معنادار نداشت (Fiorino & Mancuso, 2000). بررسی اثر سرمای زمستانه روی جوانه‌های زایشی آلبالو^۵ نشان داد که ظرفیت سوپرکولینگ آن‌ها از ۲۵- درجه سانتی‌گراد در اواخر زمستان تا ۱۱- درجه سانتی‌گراد در اواخر زمستان متغیر است. همچنین زمستان‌های گرم‌تر سبب افزایش حساسیت جوانه‌های زایشی به یخبندان زمستانه می‌شود زیرا سبب تکامل جوانه‌های گل می‌شود. این در شرایطی است که هنوز خواب درونی جوانه‌ها به پایان نرسیده است (Pedryc *et al.*, 2008). بررسی مرحله‌به‌مرحله نمو پریموردیای گل در زردآلو نشان داد که حساسیت به سرمای بهاره طی این مراحل تغییر می‌کند. این تفاوت در شرایطی است که از نظر ظاهری تفاوتی بین جوانه‌های گل دیده نمی‌شود، ولی تغییرات زیادی که با افزایش مقدار آب پریموردیا مرتبط است در داخل جوانه گل اتفاق می‌افتد. همچنین حضور و یا عدم حضور آوند چوبی در پریموردیای گل زردآلو نیز تعیین‌کننده است. جوانه‌هایی که آوندهای چوبی در آن‌ها تشکیل شده است طی سرما سریع‌تر آسیب می‌بینند (Julian *et al.*, 2007). طی خواب زمستانه پیوستگی نداشتن آوند چوبی ویژگی مهمی برای نشان دادن سوپرکولینگ در دمای پایین است، زیرا از گسترش بلورهای یخ از طریق سیستم آوندی و انجماد آب درون پریموردیای گل جلوگیری می‌شود (Ashworth, 1984; Sugiura *et al.*, 1995). با نمو جوانه‌های گل و پیوستگی آوندهای چوبی، ظرفیت سوپرکولینگ نیز به‌طور هم‌زمان کاهش می‌یابد (Ashworth *et al.*, 1989) و ممکن است هسته‌های یخ در امتداد آوندهای چوبی تشکیل شود و به پریموردیای گل آسیب وارد کند (Wisniewskie *et al.*, 1997).

Li & Wang (2009) گل‌های چندین رقم زردآلو شامل ارقام یوژوان^۶، یوژوان^۷، جینتایانگ^۸، هانگ‌فنگ،

افتراق دمایی^۱ استفاده می‌شود که مبتنی بر استفاده از حسگر متصل به نمونه آزمایشی است. با استفاده از این حسگرها تغییرات دمای نمونه طی زمان ثبت می‌شود. دمایی که در آن یک شکستگی افزایشی در منحنی دمایی به دلیل تشکیل هسته‌های یخ و آزادسازی گرمای نهان انجماد رخ می‌دهد، به‌عنوان دمای سوپرکولینگ مشخص شده است (Meng *et al.*, 2007). پس از تشکیل بلورهای یخ دمای ماده و محیط به تعادل می‌رسد که می‌توان به آن دمای تعادل اطلاق کرد. زمانی که از حسگرهای متصل به نمونه گیاهی استفاده می‌شود، برای جلوگیری از خشک‌شدن و همچنین جداشدن نمونه از حسگر، استفاده از پاکت‌های پلاستیکی یا ورق‌های آلومینیومی ضروری است (Arora *et al.*, 1992; Carter & Hummer, 1999). طی خوگیری به سرما مقدار آب بافت‌ها کاهش یافته و تجمع مواد محافظ سرمایی مانند کربوهیدرات‌های قابل حل و پروتئین‌ها افزایش می‌یابد (Guy, 1990). عوامل متعددی می‌توانند سبب افزایش مقاومت و یا حساسیت گل‌های درختان میوه به سرمای بهاره شوند. یکی از عوامل تعیین‌کننده مقاومت به سرمای بهاره در درختان میوه نوع ژنوتیپ است (Westwood, 1993) که هم ظرفیت سوپرکولینگ گل^۲ و هم زمان گلدهی (Anderson & Seeley, 1993) مستقیماً توسط ژنتیک گیاه تحت تأثیر قرار می‌گیرد. همچنین برخی ویژگی‌های خاص یک رقم مانند تراکم جوانه گل و یکنواختی فنولوژیکی جوانه‌ها نیز به‌صورت غیرمستقیم بر مقاومت به سرمای بهاره تأثیر دارند (Okie & Werner, 1996).

در بررسی ظرفیت سوپرکولینگ در چندین رقم زیتون با استفاده از ثبت لحظه‌ای دما، بیشترین قابلیت سوپرکولینگ در جوانه‌های رویشی رقم مقاوم آسکولانا^۳ در حدود ۱۹/۳- درجه سانتی‌گراد و رقم حساس کوراتینا^۴ معادل ۱۲/۶- درجه سانتی‌گراد مشاهده شد.

5. Prunus cerasus
6. Youxuan
7. Youxuan I
8. Jintaiyang

1. Differential Thermal Analysis
2. Flower supercooling capacity
3. Ascolana
4. Coratina

سرمايي، رقم هسی هلیولوقلو^۶ را یکی از حساس‌ترین ارقام به سرما معرفی کرد، چنان‌که ۵۰ درصد گل‌های این رقم پس از یک ساعت قرارگرفتن در معرض دمای ۴- سانتی‌گراد از بین رفتند. در مقابل Ozturk و همکاران (2001) با اعمال دو ساعت دمای ۱- سانتی‌گراد در مرحله ریزش گلبرگ‌ها این رقم را جزء ارقام مقاوم گزارش کرده بودند. به‌علاوه در همه ارقام بررسی‌شده تحمل به سرما به‌طور یکنواخت بر مرحله فنولوژیکی منطبق نبود (Gunes, 2006). برخی ارقام در ابتدای پاپ‌کورن، برخی دیگر در انتهای پاپ‌کورن و برخی از آن‌ها در مرحله تمام‌گل مقاومت بیشتری داشتند. باین‌حال براساس گزارش Gunes (2006) درباره ارقام کباسی^۷، شکرپاره^۸ و آلیانک^۹ مقاومت به سرما هم در شرایط باغ و هم در محیط کنترل‌شده آزمایشگاهی نسبت به ارقام هسی هلیولوقلو و کاتالوقلو^{۱۰} در کلیه مراحل بیشتر بود. در سال‌های اخیر سرمازدگی‌های متعدد در فصل بهار که ناشی از گرم‌شدن هوا در اواخر فصل زمستان است، سبب آسیب و ضرر و زیان بسیار به تولید زردآلو و کاهش قابل توجه محصول آن شده است. بنابراین، در بخش پژوهش باید توجه بیشتری به بررسی پدیده سرمازدگی این محصول شود. اطلاعات موجود درباره مقاومت به سرمای دیررس بهاره طی گلدهی ارقام زردآلو و به‌ویژه ارقام ایرانی بسیار محدود است. با توجه به خسارت‌های یخبندان بهاره به گل‌های زردآلو در سال‌های اخیر و همچنین نبود گزارشی درباره دماهای سوپرکولینگ و انجماد گل‌های زردآلو در کشور، در این پژوهش نسبت به بررسی این دماها در دو رقم زردآلو اقدام شد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی

در این پژوهش دو رقم زردآلوی نوری دیررس و نصیری بررسی شدند. این ارقام برمبنای مشاهدات تجربی

ژینشیج^۱، لانژوداجیزینگ^۲، کتی و لوتوهوانگ^۳ را در معرض دماهای ۰، ۲-، ۴- و ۶- درجه سانتی‌گراد قرار دادند. براساس گزارش آن‌ها دمای نیمه‌کشنده^۴ در گل این ارقام از ۲/۵۷- درجه سانتی‌گراد در رقم کتی تا ۵/۶۵- درجه سانتی‌گراد در رقم هانگ‌فنگ متفاوت بود. براساس این گزارش ارقامی که فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، پراکسیداز (POD) و کاتالاز (CAT) در گل‌های آن‌ها بیشتر بود، از تحمل به سرمای بیشتری برخوردار بودند. همچنین محتوای پرولین، قندهای محلول و پروتئین‌های محلول در ارقام مقاوم‌تر به سرما بیشتر بود. Meng و همکاران (2007) با استفاده از دستگاه سرماساز برای تعیین ظرفیت سوپرکولینگ و انجماد در گل‌ها و میوه‌های جوان سه رقم زردآلوی کتی، گلدن سان و هونگجائو^۵ اقدام کردند. بررسی‌های آن‌ها نشان داد که با نمو جوانه گل ظرفیت سوپرکولینگ و انجماد افزایش می‌یابد که بیانگر کاهش مقاومت آن‌ها به دمای پایین است. براساس گزارش‌های آنان، جوانه‌های بررسی‌شده بیشترین مقاومت و میوه‌های جوان کمترین مقاومت را داشتند. Viti و همکاران (2010) مقاومت به سرمازدگی را در مراحل مختلف فنولوژیکی جوانه گل چندین ژنوتیپ حاصل از تلاقی‌های کنترل‌شده ارقام مختلف زردآلو از طریق اندازه‌گیری شاخص نشت مواد فنلی بررسی کردند. میزان تنش اعمال‌شده دو ساعت دمای ۴- درجه سانتی‌گراد بود که در مرحله خواب کامل آسیبی به جوانه‌های زایشی وارد نکرد، ولی با پیشرفت مراحل نموی در اوایل بهار نشت مواد فنلی در بیشتر ژنوتیپ‌های بررسی‌شده به‌طور معناداری افزایش یافت. ژنوتیپ‌های 7C 20/3، 11/19/2 و 11/48/7 که به ترتیب نتایج تلاقی‌های 'Haggit' × 'Prunus brigantia'، 'Harcot' × 'Boccuccia S.' و 'Pisana' × 'Canino T.' بودند، مقاوم‌ترین نتایج معرفی شدند. Gunes (2006) با بررسی تعدادی از ارقام زردآلوی ترکیه در شرایط تنش

6. Hacıhaliloglu
7. Kabaasi
8. Sekerpare
9. Alyanak
10. Cataloglu

1. Xinshiji
2. Lanzhoudajixing
3. Luotuhuang
4. LT₅₀
5. Honghegao

زمان گلدهی در رقم نصیری همواره ۲ تا ۵ روز دیرتر از رقم نوری دیررس است (Jannatizadeh, 2008). برخی خصوصیات این ارقام در جدول ۱ ذکر شده است. انتخاب درخت، نمونه برداری، آماده‌سازی نمونه‌ها، اعمال تنش سرمایی و ثبت داده‌ها از هر رقم دو درخت که شرایط رشدی مناسبی داشتند برای نمونه‌برداری انتخاب شدند. در دو مرحلهٔ پاپ‌کورن و تمام‌گل، شاخه‌های دارای اسپور از درختان جدا و به آزمایشگاه منتقل شدند. شکوفه‌ها و گل‌ها به‌صورت تصادفی از شاخه‌ها انتخاب و برای انجام آزمایش از شاخه‌ها جدا شدند. سپس رابط‌های سوزنی متصل به حسگرهای حرارتی داخل جام گل قرار گرفتند. (Jannatizadeh, 2008).

باغداران منطقه و همچنین مشاهدات میدانی در سالیان گذشته انتخاب شدند. رقم نصیری به‌منزلهٔ رقم حساس به سرما و رقم نوری دیررس به‌منزلهٔ یک رقم متحمل به سرمای دیررس بهاره در این پژوهش استفاده شدند. این ارقام بر روی پایه‌های بذری زردآلو پیوند شده بودند. درختان آن‌ها سن یکسانی داشتند (ده‌ساله) و از شرایط کشت‌وکار یکسانی نیز برخوردار بودند. براساس بررسی‌های انجام‌شده قدرت رشد درختان نصیری ۲۰ تا ۳۰ درصد بیشتر از درختان نوری دیررس است، درحالی‌که اندازهٔ جوانهٔ زایشی و گل در رقم نوری دیررس حدود ۲ برابر رقم نصیری است. هر دو رقم بر روی اسپورها و شاخه‌های یک‌ساله گل می‌دهند. زمان گلدهی به شرایط دمایی در فصل بهار بستگی دارد ولی

جدول ۱. برخی خصوصیات ارقام نصیری و نوری دیررس

مقدار		واحد	صفت
رقم نصیری	رقم نوری دیررس		
اسپور و سرشاخه	اسپور و سرشاخه	اسپور یا سرشاخه	تیپ گلدهی
۸	۶	روز پس از ۱۰ فروردین	تاریخ اولین گلدهی
۸	۷	روز پس از ۱۰ فروردین	تاریخ تمام‌گل
۱	۳	کد: از ۱=کوچک‌ترین تا ۷=بزرگ‌ترین	اندازهٔ گل
۴۱	۳۵	گرم	وزن میوه
۲	۲	گرم	وزن هسته
۲۲	۴۶	روز پس از ۱۵ خرداد	زمان رسیدن
۱۸/۲	۹	درصد	مواد جامد محلول
۰/۳	۱/۴	درصد	اسیدیته

نمونه‌ها در دمای ۶ سانتی‌گراد، دمای فریزر با سرعت ۱ سانتی‌گراد در ۳۰ دقیقه به دمای ۵ و سپس تا دمای ۱۰- درجهٔ سانتی‌گراد کاهش یافت و در هر درجهٔ دمایی نیز ۳۰ دقیقه متوقف شد (شکل ۱). دمای نمونه‌ها با دورهٔ زمانی هر ۲۰ ثانیه توسط یک دستگاه پردازشگر به کامپیوتر منتقل و توسط نرم‌افزار دیتالاگر^۱ (محصول شرکت کیمیا ره‌آورد پرشین) منحنی‌های دمایی رسم شدند.

پس از قرارگرفتن رابط‌های سوزنی در داخل جام گل، این مجموعه توسط چندین لایه دستمال کاغذی مرطوب پوشانیده شدند و درنهایت به دور آن‌ها یک لایه ورق آلومینیوم پیچیده شد که هدف آن جلوگیری از خروج حرارت نهان ناشی از انجماد بافت گل و انتقال آن به حسگر دمایی بود (شکل ۱).

سپس نمونه‌ها داخل فریزر قابل برنامه‌ریزی (سفارش ساخت به شرکت کیمیا ره‌آورد پرشین) تحت کنترل نرم‌افزار NP-200 با دقت کنترل دمایی ± 0.1 سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از ۳۰ دقیقه قراردادن

1. Data Logger



شکل ۱. حسگرهای دمایی استفاده شده متصل به رابط سوزنی (الف)، قراردادن رابط سوزنی در داخل جام گل و پوشش دستمال کاغذی به دور آن (ب)، استفاده از ورق آلومینیوم برای ثابت نگه داشتن گل، حسگر و دستمال کاغذی (ج)، و نمودار نحوه کاهش دما توسط فریزر تحت کنترل نرم افزار NP-200 (د).

اثر رقم و اثر متقابل رقم و مرحله فنولوژیکی معنادار نبود (جدول ۲).

شکل ۲ نمونه‌ای از منحنی‌های دمایی و شکستگی دمایی ناشی از آزاد شدن گرمای نهان انجماد را در آن نشان می‌دهد. کمترین دمای سوپرکولینگ ثبت شده ۶/۱- درجه سانتی‌گراد بود که در رقم نوری دیررس و در مرحله تمام‌گل رخ داد. بالاترین دمای سوپرکولینگ این رقم در مرحله تمام‌گل ۳/۱- سانتی‌گراد بود.

در مقایسه با رقم نوری دیررس، پایین‌ترین دمای سوپرکولینگ ثبت شده در مرحله تمام‌گل در رقم نصیری حدود ۵/۱- سانتی‌گراد بود، درحالی‌که بالاترین دمای آن ۴- سانتی‌گراد بود. در مرحله پاپ‌کورن پایین‌ترین و بالاترین دمای سوپرکولینگ در هر دو رقم به ترتیب ۵/۱- و ۳/۱- سانتی‌گراد بود. در عمده موارد دمای تعادل ثبت شده برای نمونه‌ها در هر دو رقم و هر

زمان افزایش دما در منحنی دمایی رو به کاهش به‌عنوان دمای سوپرکولینگ در نظر گرفته شد (Meng *et al.*, 2007). این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد و با توجه به منفی بودن دماهای سوپرکولینگ از قدر مطلق دماهای ثبت شده برای تجزیه استفاده شد. همچنین فراوانی هر یک از دماهای سوپرکولینگ مشاهده شده نیز از نسبت تعداد نمونه بیانگر آن دما به کل محاسبه و به‌صورت درصد نشان داده شد.

نتایج و بحث

براساس اطلاعات ثبت شده توسط دستگاه پردازشگر، دماهای سوپرکولینگ و تعادل از منحنی‌ها استخراج شد. براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس، فقط مرحله فنولوژیکی تاثیر معناداری بر نقطه سوپرکولینگ داشت و

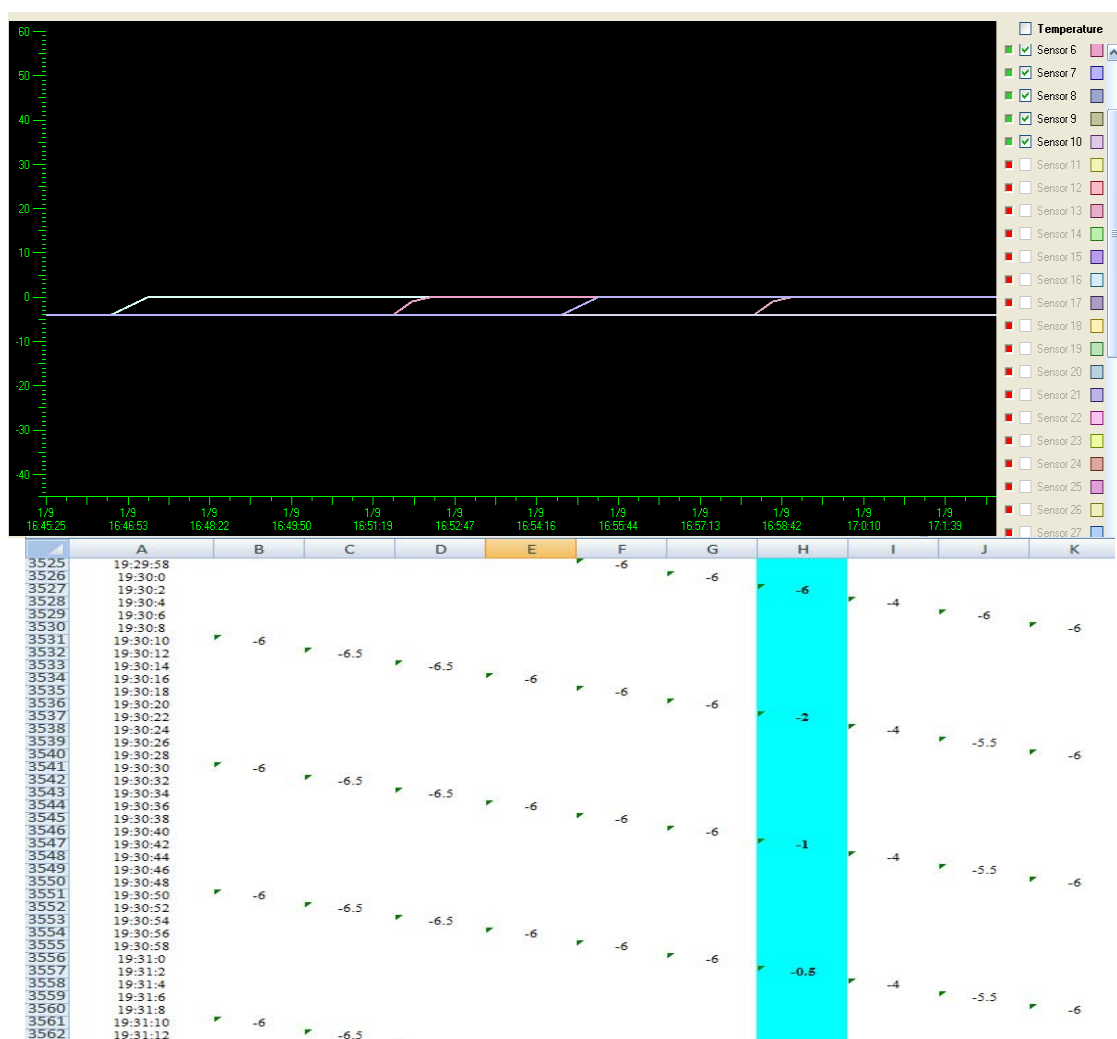
دو مرحله ۰/۱- سانتی‌گراد بود که می‌توان آن را به‌منزله یک دمای ثابت برای این ارقام در نظر گرفت (جدول ۳). در چند مورد استثنا در رقم نصیری، دمای تعادل

ثابت‌شده ۱- سانتی‌گراد بود که علت آن ظرفیت سوپرکولینگ کمتر در این رقم است.

جدول ۲. نتیجه تجزیه واریانس اثر رقم و مرحله فنولوژیکی بر نقطه سوپرکولینگ

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
رقم	۱	۰/۰۰۶۴	۰/۰۰۶۴	۰/۰۰۹۷
مرحله فنولوژیکی	۱	۳/۲۴۳	۳/۲۴۳	۴/۸۹۵*
رقم × مرحله فنولوژیکی	۱	۱/۲۳۸	۱/۲۳۸	۱/۸۶۸
خطا	۲۷	۱۷/۸۹	۰/۶۶۳	
کل	۳۰	۲۲/۳۷		

*معنادار در سطح ۵ درصد



شکل ۲. منحنی‌های دمایی و شکستگی دمایی ثبت‌شده ناشی از آزاد شدن گرمای نهان انجماد طی سوپرکولینگ (الف) و استخراج داده‌های ثبت‌شده به‌صورت فایل Excel (ب). در جدول Excel افزایش دمای نمونه در حسگر شماره ۷ (H) طی سوپرکولینگ مشاهده می‌شود.

T_۱ (دمایی که در آن ۱۰ درصد گل‌ها آسیب می‌بینند) را برای مرحله پاپ‌کورن، بازشدن اولیه و مرحله تمام‌گل به‌ترتیب ۴/۹-، ۴/۳- و ۲/۹- سانتی‌گراد گزارش کردند. براساس گزارشاتی که درباره مقاومت جوانه‌های گل در

دمای سوپرکولینگ گل‌های زردآلو ۳/۹- سانتی‌گراد برای مرحله پاپ‌کورن و ۲/۲- سانتی‌گراد برای مرحله تمام‌گل گزارش شده است (Rogers & Swift, 1970). همچنین Proebsting و Mills (1978a) متوسط دمای

۴- درجهٔ سانتی‌گراد سبب مرگ بیش از ۱۰ درصد آن‌ها می‌شود، درحالی‌که با افزایش مدت زمان از یک ساعت به سه ساعت به‌ترتیب حدود ۲۹ و ۳۴ درصد از جوانه‌های گل در این دو رقم از بین می‌روند (Gunes, 2006).

درختان میوه منتشر شده است تنوع زیادی در بین ارقام و همچنین جوانه‌های یک رقم خاص در مقاومت به سرما وجود دارد (Proebsting & Mills, 1978a; Quamme, 1978; Rodrigo 2000; Westwood, 1993; Gunes, 2006). قرارگرفتن جوانه‌های گل ارقام زردآلوی هسی هلیوقلو و کاتالقلو به‌مدت یک ساعت در معرض دمای

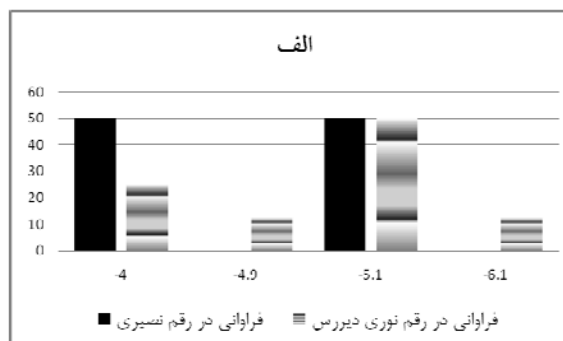
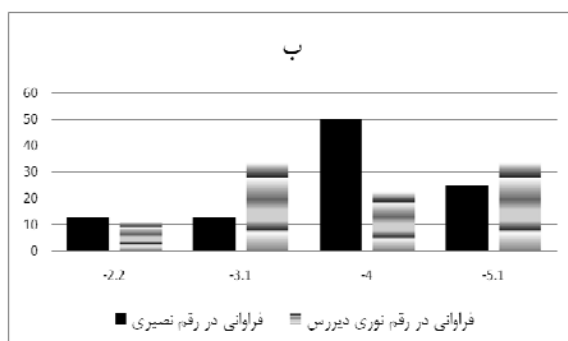
جدول ۳. حداقل و حداکثر دماهای بحرانی ثبت‌شده در دو رقم نصیری و نوری دیررس در دو مرحلهٔ فنولوژیکی مختلف

رقم	مرحلهٔ پاپ‌کورن		مرحلهٔ تمام‌گل	
	دماي تعادل	دماي سوپرکولینگ	دماي تعادل	دماي سوپرکولینگ
نوری دیررس	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
	-۰/۱	-۰/۱	-۰/۱	-۳/۱
نصیری	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
	-۰/۱	-۰/۱	-۵/۱	-۴

(Quamme, 1983; Sugiura *et al.*, 1995, Chen *et al.*, 2001). مقدار آب بافت با مقاومت جوانه‌های گل ارتباط دارد و مهم‌ترین تفاوت بین مرحلهٔ اندو دورمانسی و اکو دورمانسی ذکر شده است (Sugiura *et al.*, 1995).

بررسی مرحله‌به‌مرحلهٔ نمو پریموردیای گل در زردآلو نشان داد که حساسیت به سرمای بهاره طی این مراحل تغییر می‌کند. این تفاوت در شرایطی است که از نظر ظاهری تفاوتی بین جوانه‌های گل دیده نمی‌شود ولی تغییرات زیادی که با مقدار آب مرتبط است داخل جوانهٔ گل اتفاق می‌افتد. همچنین حضور و یا عدم حضور آوند چوبی در پریموردیای گل زردآلو نیز تعیین‌کننده است. جوانه‌هایی که آوندهای چوبی در آن‌ها تشکیل شده است طی سرما سریع‌تر آسیب می‌بینند (Julian *et al.*, 2007).

در این پژوهش اگرچه اختلاف میانگین بین دو رقم نصیری و نوری دیررس به‌منزلهٔ یک فاکتور آزمایشی معنادار نبود، ولی در رقم نوری دیررس فراوانی دماهای سوپرکولینگ پایین‌تر مشاهده شده به‌ویژه در مرحلهٔ تمام‌گل، بیشتر بود (شکل ۳). آسیب سرمازدگی تا حدود زیادی به مرحلهٔ فنولوژیکی تکامل گل نیز بستگی دارد (Julian *et al.*, 2007). بعد از دورمانسی و در مراحل ابتدایی قبل از گلدهی در اواخر زمستان و اوایل بهار جوانه‌های گل زردآلو در معرض تغییرات اقلیمی متعددی قرار می‌گیرند که دماهای زیر صفر در این شرایط به‌فراوانی اتفاق می‌افتند. در این شرایط مرحلهٔ تکامل گل زردآلو مهم‌ترین فاکتور تعیین‌کنندهٔ مقاومت به سرمازدگی است. با برآورده‌شدن نیاز سرمایی در مرحلهٔ خواب درونی (اندو دورمانسی) جوانهٔ گل زردآلو، مقدار آب پریموردیای گل افزایش قابل توجهی می‌یابد



شکل ۳. درصد فراوانی دماهای سوپرکولینگ در دو رقم نصیری و نوری دیررس، (الف) مرحلهٔ پاپ‌کورن، (ب) مرحلهٔ تمام‌گل.

بین گونه‌ها، ارقام مختلف یک گونه، باغ‌های مختلف از یک رقم (Proebsting & Mills, 1978a) و حتی درختان

مشاهده شده است که دماهای بحرانی نه‌تنها در مراحل مختلف فنولوژی جوانهٔ گل متفاوت است، بلکه در

بررسی شده دمای سوپرکولینگ کاهش می‌یابد (Ashworth & Davis, 1984; Andrew *et al.*, 1986). Ashworth (1990) علت این افزایش را بیشتر شدن احتمال وجود نقاط تشکیل هسته‌های یخ بیان کرده است. در برگ زیتون Fiorino & Mancuso (2000) این موضوع را مشروط به جدابودن نمونه از گیاه اصلی ذکر کرده‌اند، زیرا در دم‌برگ برگ‌های جداشده زیتون، هسته‌های یخ، دو تا چهار ثانیه زودتر از برگ‌ها تشکیل می‌شود که می‌تواند سبب گسترش سریع یخ به برگ‌ها شود. در ارقام زردآلوی بررسی شده در این پژوهش به‌رغم اینکه اندازه جوانه رقم نوری دیررس بزرگ‌تر بود ولی دمای سوپرکولینگ پایین‌تری را نشان داد.

براساس نتایج این پژوهش گل‌های رقم نوری دیررس مقاومت نسبتاً خوبی به سرمای دیررس بهاره دارد که با توجه به کمبود منابع مقاومت به سرمازدگی بهاره در بین ارقام تجاری زردآلو، این رقم می‌تواند در برنامه‌های اصلاحی استفاده شود و با صفات مطلوب تجاری ارقام دیگر مانند ارقام جعفری، نصیری، و رجبعلی در یک رقم تجمیع شود.

مختلف یک باغ (Westwood, 1993) نیز متفاوت است. اگرچه با در نظر گرفتن تنوع اطلاعات موجود درباره دماهای بحرانی یک گونه یا رقم نمی‌توان شرایط کاملاً دقیقی را برای آن‌ها ترسیم کرد، ولی نتایج حاصل می‌تواند در سیستم‌های حفاظت از سرما به‌طور مؤثری بهره‌برداری شود (Proebsting & Mills, 1978b). در این زمینه می‌توان از سیستم‌های پیش‌آگاهی مرتبط با رقم استفاده کرد. اگرچه دو رقم نصیری و نوری دیررس در مرحله پاپ‌کورن مقاومت تقریباً یکسانی به سرمازدگی داشتند، ولی با پیشرفت مراحل نمو، در مرحله تمام‌گل بیش از ۶۰ درصد گل‌های رقم نوری دیررس دمای سوپرکولینگ کمتر از ۵- درجه سانتی‌گراد را نشان دادند (شکل ۴). زنده‌ماندن این تعداد از جوانه‌های رقم نوری دیررس در شرایط دمای پایین سبب می‌شود که حتی پس از تنش سرمایی نسبتاً شدید نیز باردهی وجود داشته باشد، زیرا در بسیاری موارد سرماهای دیررس بهاره در دماهای ۲- تا ۴- درجه سانتی‌گراد اتفاق می‌افتد که ممکن است برای این رقم خسارت‌زا نباشد. در هلو و گیلاس با افزایش اندازه نمونه

REFERENCES

1. Anderson, J. L., & Seeley, S. D. (1993). Bloom delay in deciduous fruits. *Horticultural Review*, 15, 97-144.
2. Andrew P. K., Proebsting E. L. & Gross D. C. (1986). Ice nucleation and supercooling in freeze-sensitive peach and sweet cherry tissues. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 111, 232-236.
3. Arora, R., Wisniewski, M. & Scorza, R. (1992). Cold acclimation in genetically related (sibling) deciduous and evergreen peach [*Prunus persica* (L.) Batsch]. 1. Seasonal changes in cold hardiness and polypeptides of bark and xylem tissues. *Plant Physiology*, 99, 1562-1568.
4. Ashworth, E. N. & Davis, G. A. (1984). Ice nucleation within peach trees. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 109, 198-201.
5. Ashworth, E. N. (1990). The formation and distribution of ice within Forsythia flower buds. *Plant Physiology*, 92, 718-725.
6. Carter, J. & Hummer, K. E. (1999). Gooseberry mite infestation decreases the cold hardiness of dormant black currant flower buds. *HortScience*, 34, 218-220.
7. Chen, X. S., Shen, H. B. & Zhang, Y. M. (2001). Freezing injury investigation of apricot and sweet cherry flowers. *Acta Horticulturae Sinica*, 28, 373. (in Chinese)
8. Devireddy, R. V., Leo, P. H., Lowengrub, J. S. & Bischof, J. C. (2002). Measurement and numerical analysis of freezing in solutions enclosed in a small container. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 45, 1915-1931.
9. Fiorino, P., & Mancuso, S. (2000). Differential thermal analysis, supercooling and cell viability in organs of *Olea europaea* at subzero temperatures. *Advances in Horticultural Science*, 14, 23-27.
10. Gunes, N. T. (2006). Frost hardiness of some Turkish apricot cultivars during the bloom period. *Hortscience*, 41, 310-312.
11. Guy, C. L. (1990). Cold acclimation and freezing stress tolerance: role of protein metabolism. *Annual Review in Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 41, 187-223.

12. Jannatizadeh, A. (2008). *Molecular and Morphological Evaluation of Some Apricot Genotypes and Cultivars*. M.Sc. Thesis. University College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Iran. (In Farsi)
13. Julian, C., Herrero, M., & Rodrigo, J. (2007). Flower bud drop and pre-blossom frost damage in apricot (*Prunus armeniaca* L.). *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 81, 2-25.
14. Li, J. & Wang, Y. (2009). A Study on the cold resistance of different cultivars of apricot flower. *Northern Horticulture*, 8, 138-144. (In Chinese)
15. Meng Q. M., Liang Y. Q., Wang, W. F. & Yang, J. M. (2007). Study on supercooling point and freezing point in floral organs of apricot. *Agricultural Sciences in China*, 6, 1330-1336.
16. Okie, W.R., & Werner, D.J. (1996). Genetic influence on flower bud density in peach and nectarine exceeds that of environment. *HortScience*, 31, 1010-1012.
17. Ozturk, K., Kuden, A. B., Olmez, H. A. & Guloglu, U. (2001). *Studies on the effect of frost duration on some dried apricot cultivars grown in Malatya province to winter and spring frosts*, p. 491-499. In Ergun and Burk (Eds.). proc. 1st National Stone Fruits Symp., Yalova, turkey.
18. Pedryc, A., Hermán, R., Szabó, T., Szabó Z. & Nyéki, J. (2008). Determination of the cold tolerance of sour cherry cultivars with frost treatments in climatic chamber. *International Journal of Horticultural Science*, 14, 49-54.
19. Proebsting, E. L. & Mills, H. H. (1978a). Low temperature resistance of developing flower buds of six deciduous fruit species. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 103, 192-198.
20. Proebsting, E. L. & Mills, H. H. (1978b). A synoptic analysis of peach and cherry over bud hardiness. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 103, 842-845.
21. Quamme, H.A. (1978). Mechanism of supercooling in overwintering peach over buds. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 103, 57-61.
22. Quamme, H.A. (1983). Relationship of air-temperature to water-content and supercooling of overwintering peach flower buds. *Journal of the American Society for Horticulture Science*, 108, 697-701.
23. Rodrigo J. (2000). Spring frosts in deciduous fruit trees –morphological damage and flower hardiness. *Scientia Horticulturae*, 85, 155-173.
24. Rogers, W. J. & Swift, H. L. (1970). *Frost and the prevention of frost damage*. U.S. Dept. Commerce NOAA, silver Spring Md.
25. Sugiura, T., Yoshida, M., Magoshi, J., & Ono, S. (1995). Changes in water of peach flower buds during endodormancy and ecodormancy measured by differential scanning calorimetry and nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Journal of the American Society for Horticulture Science*, 120, 134-138.
26. Viti, R., Bartolini, S. & Andreini, L. (2010). Flower Bud Frost Tolerance of Several Italian Apricot Genotypes. *European Journal of Horticultural Science*, 75, 185-192.
27. Westwood, M. N. (1993). *Temperate-zone Pomology: Physiology and Culture*. Timber Press, Portland.
28. Wilson, P. W., Heneghan, A. F., & Haymet, A.D.J. (2003). Ice nucleation in nature: supercooling point (SCP) measurements and the role of heterogeneous nucleation. *Cryobiology*, 46, 88-98.
29. Wisniewski, M., Lindow, S.E. & Ashworth, E.N. (1997). Observations of ice nucleation and propagation in plants using infrared video thermography. *Plant Physiology*, 113, 327-334.