نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی
جلد بیست و هشتم، شماره دوم، ۱۴۰۰
۶۷-۸۴
http://jopp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jopp.2021.17834.2654

بررسی واکنش تعدادی از ارقام ایرانی فندق (*Corylus avellana* L.) به تنش سرما

شکراله حاجی‌وند*
استادیار پژوهشی، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، کرج، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۲۵

چکیده

سابقه و هدف: تنش سرما یکی از مخاطرات جدی تولید پایدار محصولات کشاورزی است که رشد و نمو گیاهان را به شدت تحت‌تأثیر قرار داده و موجب تغییرات ریخت‌شناسی، فیزیولوژیکی، زیست-شیمیایی و مولکولی زیادی می‌شود. خسارت سرما به گل‌های فندق نیز یکی از عوامل مهم محدودکننده کشت آن در دنیا می‌باشد. این پژوهش به‌منظور ارزیابی واکنش ارقام ایرانی فندق به تنش سرما در مرحله گل‌دهی و هم‌چنین بررسی ارتباط بین زمان گل‌دهی، درصد جوانه‌زنی دانه گرده، میزان آنزیم پراکسید هیدروژن و اسید آمینه پرولین با میزان حساسیت و تحمل ارقام بومی فندق نسبت به تنش سرما، انجام شده است.

مواد و روش‌ها: هشت رقم ایرانی فندق شامل اصل قره‌باغ، تابستانه، جنوب قره‌باغ، خندان، رسمی، گرد اشکورات، میش‌پستان و ناخن‌رود، به‌دلیل برتری نسبی در صفات کمی و کیفی نسبت به سایر ارقام، انتخاب شدند. از هر رقم چهار درخت انتخاب و زمان ظهور گل‌های نر و ماده، رسیدن و ریزش دانه گرده، ظاهر شدن کلاله قرمز رنگ و تیپ گل‌دهی ثبت شد. درصد جوانه‌زنی دانه گرده در محیط کشت حاوی ساکارز (دو غلظت ۱۰ و ۱۵ درصد) بررسی شد. به‌منظور بررسی اثر سرما، شاتون‌های باز نشده و گل‌های ماده تلقیح شده هشت رقم فندق در ۱۰ سطح تیمار دمایی قرار گرفتند و میزان آسیب سرمازدگی پس از گذشت ۲۴ ساعت از تیمار سرمایی ارزیابی و بر اساس نوع و میزان تغییرات ظاهری امتیازبندی شدند. میزان فعالیت آنزیم پراکسید هیدروژن و اسید آمینه پرولین در نمونه‌ها، قبل و بعد از تیمار سرمایی اندازه‌گیری شد. آزمایش‌های فاکتوریل بر مبنای طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن انجام شد.

یافته‌ها: زمان ظهور شاتون‌ها و گل‌های ماده تیرماه تا شهریورماه بود. ارقام میش‌پستان و تابستانه بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی دانه گرده در محیط حاوی ساکارز (دو غلظت ۱۰ و ۱۵ درصد) را داشتند. ارقام رسمی، تابستانه و میش‌پستان دارای بیش‌ترین و رقم خندان دارای کم‌ترین عملکرد بودند. بررسی‌های ریخت‌شناسی نشان‌دهنده شروع انجماد گل‌های ماده تلقیح یافته و شاتون‌های باز نشده به ترتیب در دمای ۳- و ۵- درجه سانتی‌گراد، انجماد کامل و از بین رفتن بافت گل‌های ماده تلقیح یافته و شاتون‌های باز نشده به ترتیب در دمای ۵- و ۱۱- درجه سانتی‌گراد بود که از این نظر شاتون‌های نر رقم میش‌پستان و گل‌های ماده رقم تابستانه بیش‌ترین مقاومت را نسبت به سرما نشان دادند. نتایج آزمایش‌های حاکی از عدم تغییرات قابل‌توجه در فعالیت آنزیم پراکسید هیدروژن با افزایش میزان سرما در ارقام مختلف بود و هم‌چنین ارقام متحمل به سرما میزان آنزیم کم‌تری نسبت به رقم شاهد داشتند. رابطه معنی‌دار و مثبت بین غلظت پرولین و میزان تحمل به سرما مشاهده شد به‌طوری‌که میزان پرولین در شاتون‌ها و گل‌های ماده تحت تنش سرما افزایش یافته و ارقام میش‌پستان و تابستانه دارای بیش‌ترین میزان پرولین بودند.

* مسئول مکاتبه: shokrollah2006@gmail.com

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، کشت ارقام میش‌پستان و تابستانه که دارای بیش‌ترین عملکرد و بیش‌ترین میزان تحمل در برابر سرما بودند در مناطقی که خطر سرمازدگی بهاره وجود دارد و دما در مرحله ظهور شاتون‌های نر و گل‌های ماده به ترتیب به کم‌تر از ۹- و ۳- درجه سانتی‌گراد نمی‌رسد، توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پراکسید هیدروژن، پرولین، سرمازدگی بهاره

مقدمه

فندق متعلق به جنس *Corylus* و خانواده Betulaceae، درختچه‌ای چندساله، خزان‌پذیر، ناهم‌رس و تک‌پایه است. این جنس دارای ۲۵ گونه است که تنها ۹ گونه آن از نظر اقتصادی و به‌نژادی اهمیت دارند. گونه *Corylus avellana* که فندق اروپایی نامیده می‌شود بیش‌ترین سطح کشت را در جهان دارد. فندق از محصولات مهم خشکباری است که از نظر میزان تولید بعد از بادام هندی، گردو، بادام، شاه بلوط و پسته در رتبه ششم جهانی قرار دارد (۸). بر اساس آمار سازمان خواروبار جهانی در سال ۲۰۱۸، کل سطح زیر کشت فندق در جهان ۹۶۶۱۹۶ هکتار و میزان تولید ۸۶۳۸۸۸ تن بوده است (۸). این محصول در بیش از ۲۰ کشور جهان کشت می‌شود و ترکیه با تولید بیش از ۵۰۰ هزار تن در سال، بزرگ‌ترین تولیدکننده فندق محسوب می‌شود و کشورهای ایتالیا، آذربایجان، آمریکا، چین، گرجستان، ایران، فرانسه، شیلی و اسپانیا در جایگاه‌های دوم تا دهم تولید قرار دارند (۸). طبق آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی در سال ۱۳۹۶، کل سطح زیر کشت فندق در کشور ۲۴۸۳۹ هکتار، میزان تولید ۲۵۲۰۸ تن و بیش‌ترین سطح کشت و تولید در استان‌های گیلان، قزوین، مازندران، اردبیل، قم و گلستان بوده است (۱).

با توجه به این‌که فندق یک منبع غذایی و دارویی بسیار مهم غنی از چربی (به‌ویژه اسیدهای چرب اشباع نشده)، پروتئین، ویتامین E و دیگر عناصر غذایی ضروری است (۱۱، ۱۵ و ۱۶) و از طرفی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین محصولات اقتصادی در اراضی درجه دو و سه محسوب می‌شود، بررسی عوامل محدودکننده کشت و تولید این محصول از جمله تنش‌های زنده و غیرزنده از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشند. در میان تنش‌های غیرزنده، تنش سرما یکی از مخاطرات جدی تولید پایدار محصولات کشاورزی محسوب می‌شود که بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی، زیست-شیمیایی، ملکولی و رشد و نمو گیاهان را تحت‌تأثیر قرار داده و موجب بروز خسارات سنگین می‌شود. فندق نسبت به سرما به‌ویژه سرمای بهاره بسیار حساس و آسیب‌پذیر است و تاکنون موارد متعددی از خسارات شدید سرمازدگی در درختان فندق گزارش شده است (۶، ۷ و ۲۰). حساسیت بافت‌های مختلف گیاهان از جمله فندق به آسیب ناشی از سرما و یخزدگی بسته به مرحله فنولوژیک و شرایط فیزیولوژیک گیاه متفاوت است (۲۳ و ۲۶). تغییر در فعالیت‌های آنزیمی مانند پراکسید هیدروژن و تجمع اسید آمینه آزاد پرولین اکثراً در گیاهان تحت تنش‌های محیطی مشاهده می‌شود و در برخی موارد با افزایش تحمل گیاهان به سرما مرتبط است (۲، ۵، ۱۲ و ۲۲). تغییرات آناتومی در بافت گل سایر گیاهان از جمله آلبالو در برابر سرما نشان می‌دهد که بین میزان پرولین و تحمل به تنش سرما همبستگی وجود دارد (۱۷). بنابراین، به نظر می‌رسد با اندازه‌گیری این عوامل بتوان به معیار مناسبی جهت تشخیص ارقام متحمل و حساس به سرما و تعیین میزان خسارت دست یافت. هدف از انجام این پژوهش ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌های ایرانی فندق به سرما در مرحله گل‌دهی و هم‌چنین بررسی ارتباط بین زمان گل‌دهی،

درصد جوانه‌زنی دانه گرده، میزان آنزیم پراکسید هیدروژن و اسید آمینه پرولین با میزان حساسیت و تحمل ارقام ایرانی فندق نسبت به تنش سرما بوده است.

مواد و روش‌ها

این مطالعه طی سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۹۵ بر روی هشت رقم ایرانی فندق شامل؛ اصل قره‌باغ، تابستانه، جنوب قره‌باغ، خندان، رسمی، گرد اشکورات، میش‌پستان و ناخن‌رود، در پژوهشکده میوه‌های معتدله و سردسیری کرج انجام شد. از هر رقم چهار درخت انتخاب و دوره زمانی ظهور شاتون‌های نر و جوانه‌های گل ماده، رسیدن و ریزش دانه گرده، ظاهر شدن کلاله قرمزرنگ و تیپ گل‌دهی ثبت شد. یادداشت‌برداری خصوصیات گل‌ها از تیرماه تا اواسط اسفندماه صورت گرفت. برای تعیین درصد جوانه‌زنی دانه گرده، از محیط کشت حاوی ساکارز (دو غلظت ۱۰٪ و ۱۵٪) و آگار (یک گرم در لیتر) استفاده شد و درصد باروری گرده‌ها نیز با رنگ‌آمیزی آن‌ها به‌وسیله استوکارمین مورد بررسی قرار گرفت. بررسی درصد خودگشنی قبل از طویل شدن شاتون‌ها و ریزش دانه‌های گرده انجام شد. بدین‌منظور، در چهار جهت جغرافیایی، چهار شاخه انتخاب و به‌وسیله پاکت‌های کاغذی پوشانده شدند تا از گرده‌افشانی ناخواسته ممانعت شود.

به‌منظور بررسی اثر سرما، شاتون‌های باز نشده در اواسط دی‌ماه و گل‌های ماده و جوانه‌های رویشی یک‌ساله و دو ساله بالغ در تاریخ ۵ فروردین ۱۳۹۶ از ارقام ذکرشده به‌طور تصادفی جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل و در معرض تیمار سرمایی قرار داده شدند. آزمایش‌های فاکتوریل بر مبنای طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اول نوع رقم بومی فندق شامل هشت ژنوتیپ و عامل دوم شدت سرما شامل ۱۰ سطح دمایی (۳+، ۱+، ۱-، ۳-، ۵-، ۷-، ۹-، ۱۱-، ۱۳- و ۱۵- درجه سانتی‌گراد) بود. بدین‌منظور نمونه‌های تهیه شده از هر رقم به مدت یک ساعت درون دستگاه انکوباتور در دماهای ذکر شده قرار داده شدند. پس از اعمال تیمارهای سرمایی، نمونه‌ها از انکوباتور خارج و پس از ۲٤ ساعت از نظر میزان آسیب‌های ریخت‌شناسی شامل؛ تغییر رنگ بافت رویی، تغییر رنگ بافت درونی، سوختگی حاشیه بافت، انجماد ضعیف بافت، انجماد کامل بافت و از بین رفتن کامل بافت، مورد ارزیابی قرار گرفتند. آسیب‌های کیفی وارد شده به صورت زیر امتیازبندی و به مقادیر کمی تبدیل شدند: صفر (بدون هیچ گونه تغییر)، یک (تغییرات کم)، سه (تغییرات متوسط)، پنج (تغییرات زیاد)، هفت (تغییرات بسیار زیاد)، که هریک از این امتیازات که شامل یک‌سری از تغییرات ریخت‌شناسی در هر سطح می‌باشد، ثبت شد.

فعالیت آنزیم پراکسید هیدروژن و پرولین قبل و بعد از تیمار سرمایی بر روی نمونه‌ها با سه تکرار اندازه‌گیری شد. برای سنجش غلظت پرولین از روش بیتس و همکاران (۱۹۳۷) استفاده شد (٤). اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پراکسید هیدروژن به روش الکسیوا و همکاران (۲۰۰۱) انجام شد (۳).

برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار SAS استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج به‌دست آمده نشان داد که شاتون‌ها در طی ۲۵ تیر تا ۲۵ شهریورماه ظاهر شده و تا آبان‌ماه رشد کردند. ریزش دانه‌های گرده از ۲۵ بهمن تا اول اسفندماه صورت گرفت و خوشه‌های گل ماده ۲۵ تیر تا اوایل شهریورماه بر روی شاخه‌های سال جاری و کلاله‌های منگوله‌ای قرمزرنگ نیز از ۲۵ بهمن تا ۲۵ اسفندماه مشاهده شدند. زمان باز شدن شاتون‌ها در

یک دوره کوتاه (۱۵-۵ روز) و گل‌های ماده در یک دوره طولانی (۳۰-۱۵ روز) صورت گرفت. به‌طور کلی باز شدن کامل شاتون‌ها و خوشه‌های ماده حدود سه ماه طول کشید. در جدول ۱ زمان ریزش دانه‌های گرده و پذیرش مادگی هشت رقم فندق نشان داده شده است.

جدول ۱- دوره پذیرش مادگی و ریزش دانه‌های گرده در هشت رقم ایرانی فندق که به‌ترتیب با نوارهای قرمز و سبز نشان داده شده‌اند.

Table 1. Pistillate receptivity period and pollen shedding period of eight hazelnut cultivars that is shown in red and green bars, respectively.

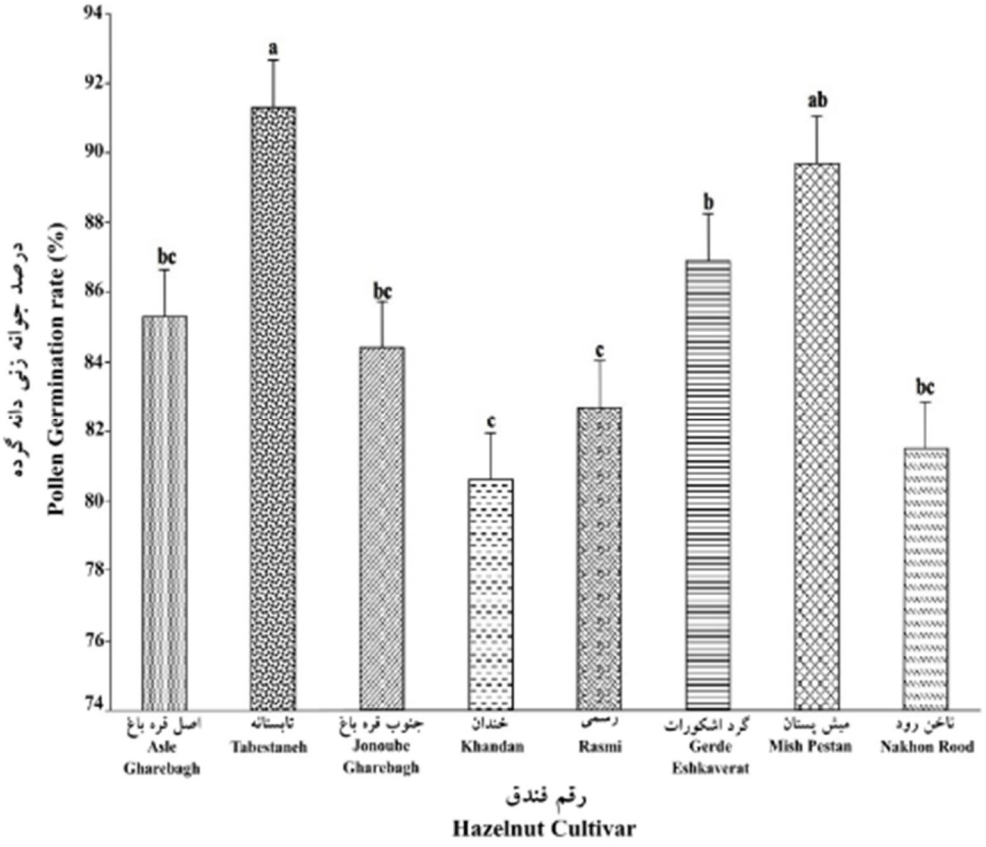
تاریخ Date / رقم Cultivar	۴ بهمن 22 Jan	۱۰ بهمن 29 Jan	۱۶ بهمن 4 Feb	۲۲ بهمن 10 Feb	۲۸ بهمن 16 Feb	۴ اسفند 22 Feb	۱۰ اسفند 28 Feb
اصل قره‌باغ (Asle Gharebagh)							
تابستانه (Tabestaneh)							
جنوب قره‌باغ (Jonoube Gharebagh)							
خندان (Khandan)							
رسمی (Rasmi)							
گرد اشکورات (Gerde Eshkaverat)							
میش‌پستان (Mish Pestan)							
ناخن‌رود (Nakhon Rood)							

بر اساس نتایج حاصل از بررسی تیپ گل‌دهی، ارقام اصل قره‌باغ و میش‌پستان پروتوژن؛ ارقام جنوب قره‌باغ، خندان، ناخن‌رود و رسمی پروتاندر؛ و ارقام تابستانه و گرد اشکورات هموگام بودند. بررسی‌ها نشان داد که گل‌آذین‌های نر و ماده فندق برجسته و مشخص، چسبیده یا مجزا (شکل ۱a)، توأم با سایر جوانه‌های رویشی (شکل ۱b) در کنار جای گل‌های افتاده در سال قبل، با هم روی یک درخت دیده می‌شوند. در شکل ۱c موقعیت جوانه گل ماده فندق در انتهای شاخه یک‌ساله نیز نشان داده شده است.

شکل ۱- a) گل‌های نر و ماده فندق؛ b) جوانه رویشی فندق و c) جوانه گل ماده در انتهای شاخه یک‌ساله.

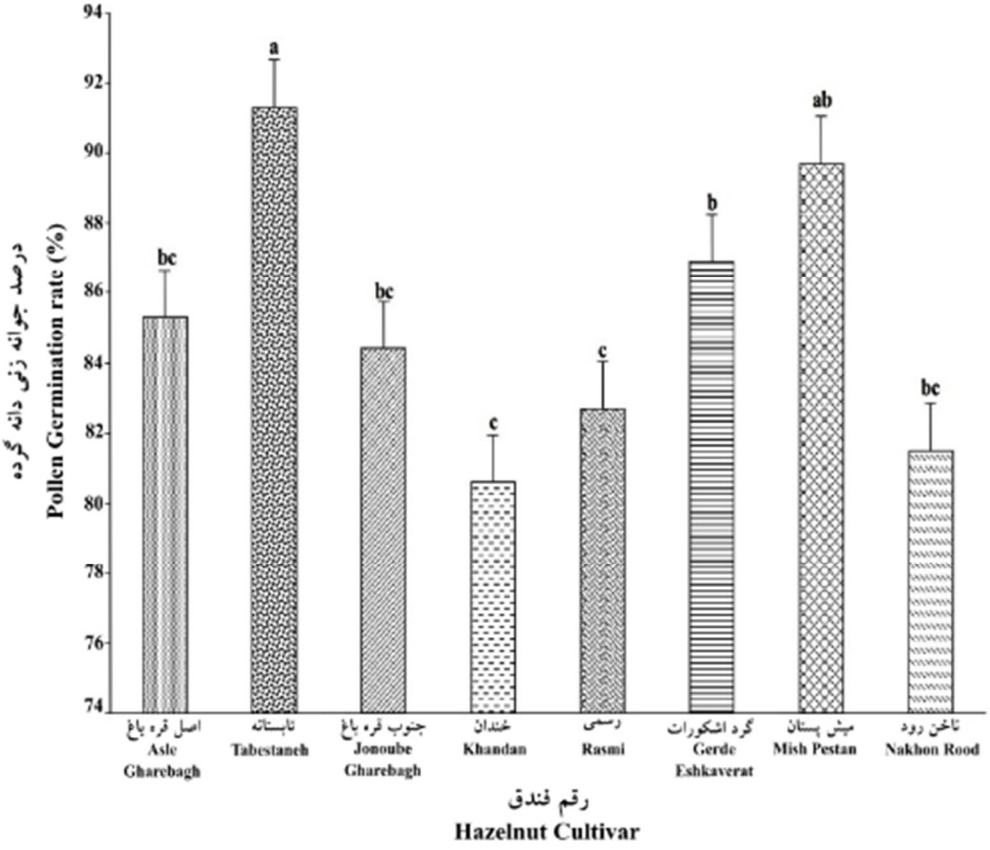
Fig. 1. a) Male and female flowers; b) vegetative bud; c) female flower bud in the end of one-year-old shoot.

درصد جوانه‌زنی دانه‌های گرده ارقام فندق در محیط‌های حاوی ۱۵ و ۱۰ درصد ساکاروز به ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ مشخص شده است. نتایج به دست آمده حاکی از اثر مثبت غلظت بالاتر ساکارز در جوانه‌زنی دانه گرده فندق است. در محیط حاوی ۱۵ درصد ساکارز، درصد جوانی‌زنی هشت رقم فندق بین ۸۰/۶۰ تا ۹۱/۳۰ درصد بود و ارقام تابستانه و میش‌پستان بیش‌ترین و ارقام خندان و ناخن‌رود کم‌ترین درصد جوانه‌زنی را داشتند. درصد جوانه‌زنی ارقام فندق در محیط کشت حاوی ۱۰ درصد ساکارز، ۲۷ درصد (رقم ناخن‌رود) تا ۳٤/٤۰ درصد (رقم تابستانه) بود. در هر دو محیط کشت، ارقام تابستانه و میش‌پستان بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی دانه گرده را دارا بودند.



شکل ۲- درصد جوانه‌زنی دانه گرده هشت رقم ایرانی فندق در محیط کشت حاوی ۱۵درصد ساکاروز. میله‌های عمودی روی ستون‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد و حروف متفاوت بیانگر وجود اختلاف آماری معنی‌دار می‌باشند (P < ۰/۰۵).

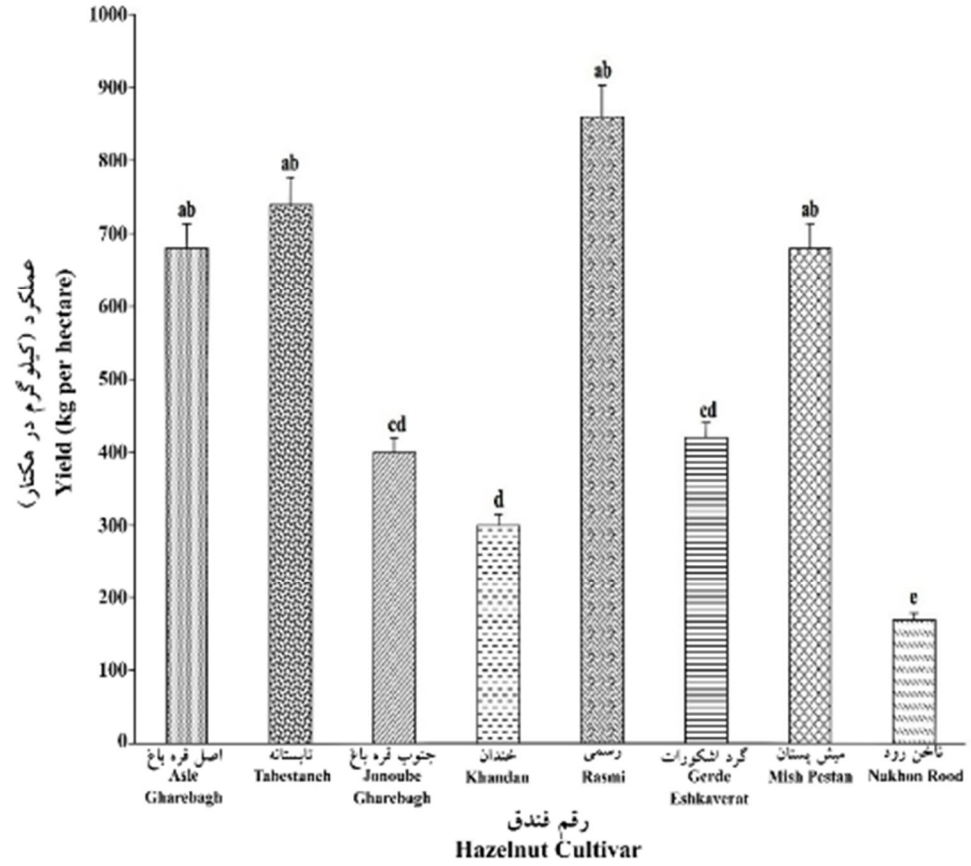
Fig. 2. Germination rate of pollen of eight Iranian hazelnut cultivars in media containing 15% sucrose. Vertical lines on the columns represent standard error and different letters indicate statistically significant differences (P < 0.05).



شکل ۳- درصد جوانه‌زنی دانه گرده هشت رقم ایرانی فندق در محیط کشت حاوی ۱۰درصد ساکاروز. میله‌های عمودی روی ستون‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد و حروف متفاوت بیانگر وجود اختلاف آماری معنی‌دار می‌باشند (P < ۰/۰۵).

Fig. 3. Germination rate of pollen of eight Iranian hazelnut cultivars in media containing 10% sucrose. Vertical lines on the columns represent standard error and different letters indicate statistically significant differences (P < 0.05).

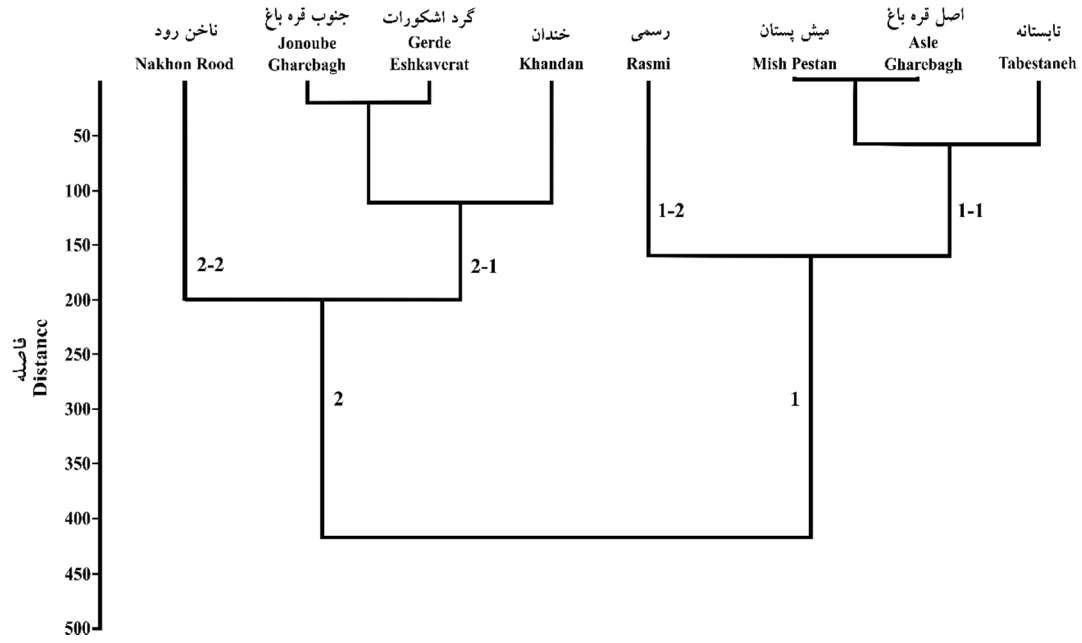
میزان عملکرد هشت رقم فندق مورد بررسی در شکل ٤ نشان داده شده است. به ترتیب ارقام رسمی، تابستانه و میش‌پستان دارای بیش‌ترین و رقم ناخن‌رود دارای کم‌ترین عملکرد در هکتار بودند.



شکل ٤- میزان عملکرد هشت رقم ایرانی فندق.

Fig. 4. Yield of eight Iranian hazelnut cultivars.

گروه‌بندی ارقام بر اساس صفات ریخت‌شناسی می‌تواند روش مؤثری در مشخص شدن رابطه ارقام و تعیین فاصله خویشاوندی آن‌ها باشد. به‌منظور گروه‌بندی ارقام فندق، تجزیه خوشه‌ای بر اساس فاصله اقلیدوسی و الگوریتم Ward انجام شد. تجزیه خوشه‌ای ارقام را به دو خوشه اصلی گروه‌بندی نمود و هر خوشه اصلی به دو گروه فرعی تقسیم شد (شکل ٥). در گروه اول ارقام تابستانه، رسمی، میش‌پستان و اصل قره‌باغ قرار گرفتند. ارقام تابستانه، میش‌پستان و رسمی در یک گروه قرار گرفتند که این ارقام از عملکرد بالایی نیز برخوردار هستند. هم‌چنین ارقام میش‌پستان و تابستانه نسبت به سرما نیز مقاومت بیش‌تری دارند.



شکل ۵- گروه‌بندی هشت رقم ایرانی فندق بر اساس صفات مورفولوژیک به روش UPGMA.

Fig. 5. Grouping of eight Iranian hazelnut cultivars based on morphological characteristics using UPGMA method.

بررسی‌های ریخت‌شناسینشان داد که شاتون‌های باز نشده در دمای ۵- درجه سانتی‌گراد به سرما حساسیت نشان داده‌اند (جدول ۲). هم‌چنین در این اندام، شروع انجماد در دماهای ۵- و ۷- درجه سانتی‌گراد بود و انجماد کامل و از بین رفتن بافت نیز در دمای ۱۱- درجه سانتی گراد صورت گرفت. از بین ارقام مورد بررسی در شاتون باز نشده، رقم میش‌پستان با شروع انجماد در ۷- درجه سانتی‌گراد و انجماد و از بین رفتن کامل بافت در دمای ۱۱- درجه سانتی‌گراد مقاومت بیش‌تری نسبت به سایر ارقام نشان داد. نتایج بررسی‌های ریخت‌شناختی گل ماده تلقیح یافته نشان داد که شروع انجماد در دمای ۳- درجه سانتی‌گراد و انجماد کامل در دماهای ۵- و ۷- درجه سانتی‌گراد رخ داده است. از بین ارقام مورد بررسی، گل ماده رقم تابستانه بیش‌ترین مقاومت را نشان داد (جدول ۳).

جدول ۲- امتیازدهی هشت رقم ایرانی فندق بر اساس ارزیابی کیفی گل نر در تیمارهای سرمایی.

Table 2. Scoring of eight Iranian hazelnut cultivars based on quality evaluation of male flower in freezing treatments.

امتیاز Score	صفر (بدون تغییر) 0 (not changed)	یک (تغییرات کم) 1 (slight changes)	سه (تغییرات متوسط) 3 (moderate changes)	پنج (تغییرات زیاد) 5 (many changes)	هفت (تغییرات بسیار زیاد) 7 (too many changes)
	بدون تغییر	سرد شدن نمونه، تغییرات بسیار ضعیف در رنگ بافت رویی	تغییر رنگ بافت رویی (قهوه‌ای کم رنگ)، شروع انجماد خیلی ضعیف، بافت مستحکم	تغییر رنگ بافت رویی به قهوه‌ای تیره، انجماد و استحکام بافت با شدت بیشتر از مرحله قبل، تغییرات ضعیف در رنگ بافت درونی و تغییر شادابی	تغییر رنگ بافت رویی به قهوه‌ای تیره، انجماد، تغییر بافت درونی (سبز تیره)، سوختگی حاشیه بافت
	Not changed	cooling, very weak changes in color of external tissue	color change of external tissue (brown), starting of very weak freezing, firm tissue	color change of external tissue to dark brown, extension of tissue freezing, firm tissue, slight changes in color of internal tissue, freshness change	color change of external tissue to dark brown, tissue freezing, color changes of internal tissue to dark green, burn margins
رقم Cultivar	تیمار دمایی مربوط به تغییرات مشاهده شده Freezing treatment related to observed changes				
ناخن‌رود Nakhon Rood	-1,+1,+3	-3	-5	-9,-7	-11
خندان Khandan	+1,+3	-1	-3	-7,-5	-11,-9
تابستانه Tabestaneh	+1,+3	-1	-5,-3	-9,-7	-11
جنوب قره‌باغ Jonoube Gharebagh	+1,+3	-3,-1	-5	-9,-7	-11
اصل قره‌باغ Asle Gharebagh	+1,+3	-1	-5,-3	-7	-9
رسمی Rasmi	+1,+3	-1	-5,-3	-9,-7	-11
گرد اشکورات Gerde Eshkaverat	+1,+3	-1	-3	-7,-5	-9
میش پستان Mish Pestan	-3,-1,+1,+3	-5	-7	-9	-11

جدول ۳- امتیازدهی هشت رقم ایرانی فندق بر اساس ارزیابی کیفی گل ماده تلقیح یافته در تیمارهای سرمایی.

Table 3. Scoring of eight Iranian hazelnut cultivars based on quality evaluation of female flower in freezing treatments.

امتیاز Score	صفر (بدون تغییر) 0 (not changed)	یک (تغییرات کم) 1 (slight changes)	سه (تغییرات متوسط) 3 (moderate changes)	پنج (تغییرات زیاد) 5 (many changes)	هفت (تغییرات بسیار زیاد) 7 (too many changes)
	بدون تغییر	سرد شدن نمونه، بدون تغییرات در رنگ و بافت	تغییر رنگ بافت خارجی و داخلی، شروع انجماد ضعیف، استحکام ضعیف بافت خارجی	تغییر رنگ بافت خارجی به سبز تیره، انجماد، بافت مستحکم	استحکام بافت، انجماد، تغییر رنگ کامل بافت خارجی و داخلی به قهوه‌ای تیره، علائم ۲۴ ساعت بعد
	not changed	cooling, without changes in color and tissue	color change of internal and external tissues, starting of weak freezing, firmness of external tissue	color change of external tissue to dark green, freezing, firm tissue	firm tissue, freezing, color change of external tissue to dark brown
رقم Cultivar	تیمار دمایی مربوط به تغییرات مشاهده شده Freezing treatment related to observed changes				
ناخن‌رود Nakhon Rood	+1,+3	-1	-3	-5	-7
خندان Khandan	+1,+3	-1	-3	-5	-7
تابستانه Tabestaneh	-1,+1,+3	-3	-5	-7	-7
جنوب قره‌باغ Jonoube Gharebagh	+1,+3	-1	-3	-5	-5
اصل قره‌باغ Asle Gharebagh	+1,+3	-1	-3	-5	-7
رسمی Rasmi	+1,+3	-1	-3	-5	-5
گرد اشکورات Gerde Eshkaverat	+1,+3	-1	-3	-5	-5
میش پستان Mish Pestan	-3,-1,+1,+3	*	-1,-3	-5	-5

نتایج تجزیه واریانس تیمارها نشان داد که اثر دما و رقم و هم‌چنین اثر متقابل این دو، در سطوح یک و پنج درصد معنی‌دار شده است (جدول ٤). نتایج مقایسه میانگین پرولین، دو سطح در تیمار دما، هشت سطح در تیمار رقم و ١٦ سطح در اثرات متقابل دما در رقم، برای شاتون نر نشان داد که سطح دمای سرمازدگی در گروه a و سطح دمای شاهد در گروه b قرار گرفتند و به ترتیب بالاترین و پایین‌ترین میانگین را به خود اختصاص دادند (شکل ٦). در هشت سطح تیمار رقم، سطح هشتم تیمار رقم و پس از آن سطح اول تیمار هر دو در گروه a قرار گرفتند و بالاترین میانگین را به خود اختصاص دادند. هم‌چنین در این آزمایش سطح پنجم تیمار رقم از نظر میانگین با توجه به آزمون دانکن در

پایین‌ترین رتبه قرار گرفت (شکل ۷). در ۱۶ سطح اثرات متقابل این دو تیمار، رقم میش‌پستان در دمای سرمازدگی و شاهد و بعد از آن اثرات متقابل رقم گرد اشکورات- جنوب قره‌باغ- ناخن‌رود همه در دمای شاهد بیش‌ترین تغییرات و بالاترین میانگین را به خود اختصاص دادند. اثرات متقابل رقم تابستانه در دمای شاهد از نظر میانگین با توجه به آزمون دانکن کم‌ترین تغییرات را داشته و در پایین‌ترین رتبه قرار گرفت (شکل ۸). نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که تیمارها و اثر متقابل آن‌ها بر تغییرات آنزیم پراکسید هیدروژن و اسید آمینه پرولین در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ٤).

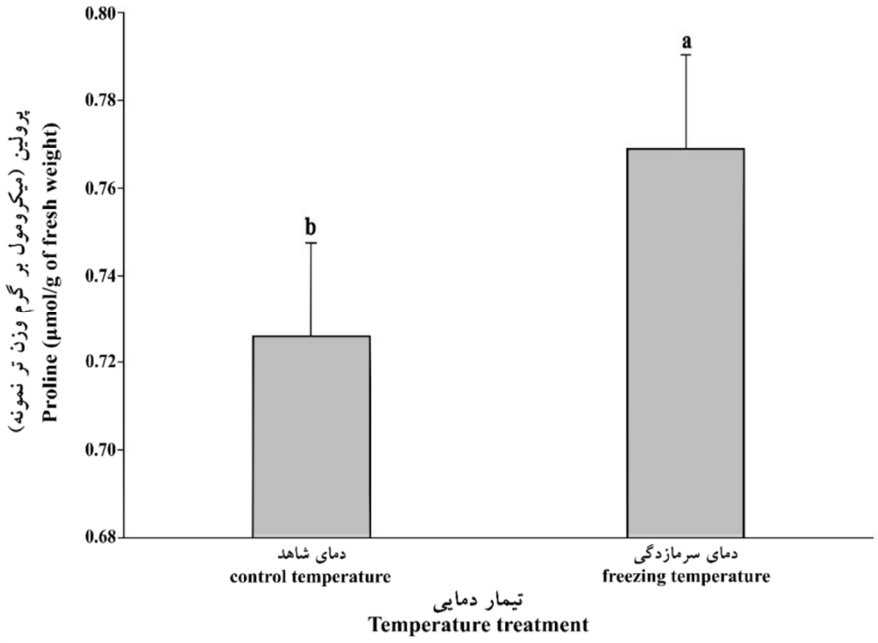
جدول ٤- تجزیه واریانس برای صفات اندازه‌گیری‌شده در گل‌های نر فندق.

Table 4. Analysis of variance for measured traits in male flowers of hazelnut.

Source of variation	منبع تغییرات	درجه آزادی df	پرولین Proline	پر اکسید هیدروژن Hydrogen peroxide
Temperature	دما	1	0.021**	0.003ns
Genotype	ژنوتیپ	7	0.036**	0.232**
Temperature x Genotype	دما × ژنوتیپ	7	0.234**	0.015**
Error	خطا	32	0.003	0.044
C.V.(%)	ضریب تغییرات		7.43	7.24

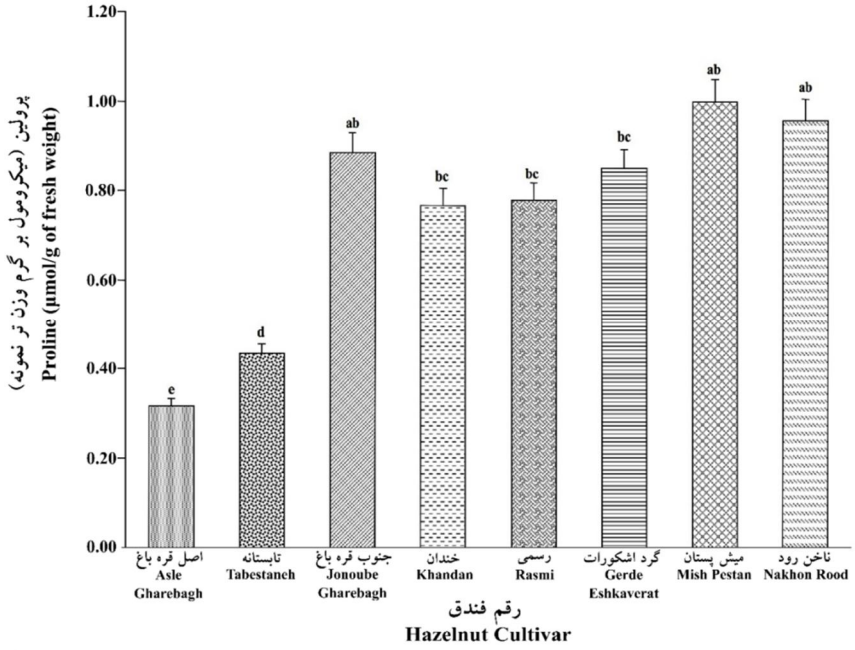
** معنی‌دار در سطح احتمال ۱درصد.

** There is significantly different at the probability level of 1%.



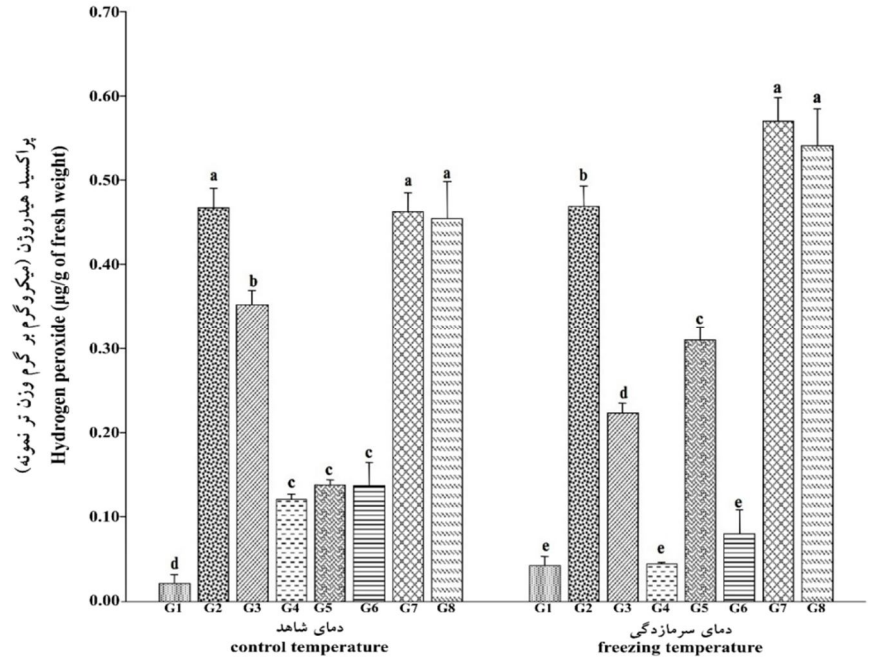
شکل ٦- تغییرات میزان اسید آمینه پرولین در گل‌های نر فندق تحت تیمار سرما در مقایسه با کنترل. میله‌های عمودی روی ستون‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد و حروف متفاوت بیانگر وجود اختلاف آماری معنی‌دار می‌باشند (P < ۰/۰۵).

Fig. 6. Proline amino acid changes in hazelnut male flowers under freezing treatment compared to control. Vertical lines on the columns represent standard error and different letters indicate statistically significant differences (P < 0.05).



شکل ۷- تغییرات میزان اسید آمینه پرولین در گل‌های نر هشت رقم ایرانی فندق. میله‌های عمودی روی ستون‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد و حروف متفاوت بیانگر وجود اختلاف آماری معنی‌دار می‌باشند (P < ۰/۰۵).

Fig. 7. Proline amino acid changes in male flowers of eight Iranian hazelnut cultivars. Vertical lines on the columns represent standard error and different letters indicate statistically significant differences (P < 0.05).



شکل ۸- اثر متقابل دما و ژنوتیپ بر پر اکسید هیدروژن در گل‌های نر هشت رقم ایرانی فندق (G1: اصل قره‌باغ، G2: تابستانه، G3: جنوب قره‌باغ، G4: خندان، G5: رسمی، G6: گرد اشکورات، G7: میش‌پستان و G8: ناخن‌رود). میله‌های عمودی روی ستون‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد و حروف متفاوت بیانگر وجود اختلاف آماری معنی‌دار می‌باشند (P < ۰/۰۵).

Fig. 8. Interaction of temperature and genotype on hydrogen peroxide in male flowers of eight Iranian hazelnut cultivars (G1: Asle Gharebagh, G2: Tabestaneh, G3: Jonoube Gharebagh, G4: Khandan, G5: Rasmi, G6: Gerde Eshkaverat, G7: Mish Pestan and G8, Nakhon Rood). Vertical lines on the columns represent standard error and different letters indicate statistically significant differences (P < 0.05).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها در شاتون نر باز نشده و گل ماده تلقیح‌یافته به‌ترتیب در جدول‌های ٤ و ٥ نشان داد که با گذشت زمان و افزایش شدت سرما مقادیر آنزیم پراکسید هیدروژن و اسید آمینه پرولین در اکثر ارقام افزایش یافته است، اما افزایش آنزیم پراکسید هیدروژن به نسبت اسید آمینه پرولین کم‌تر می‌باشد (شکل‌های ۸ و ۹).

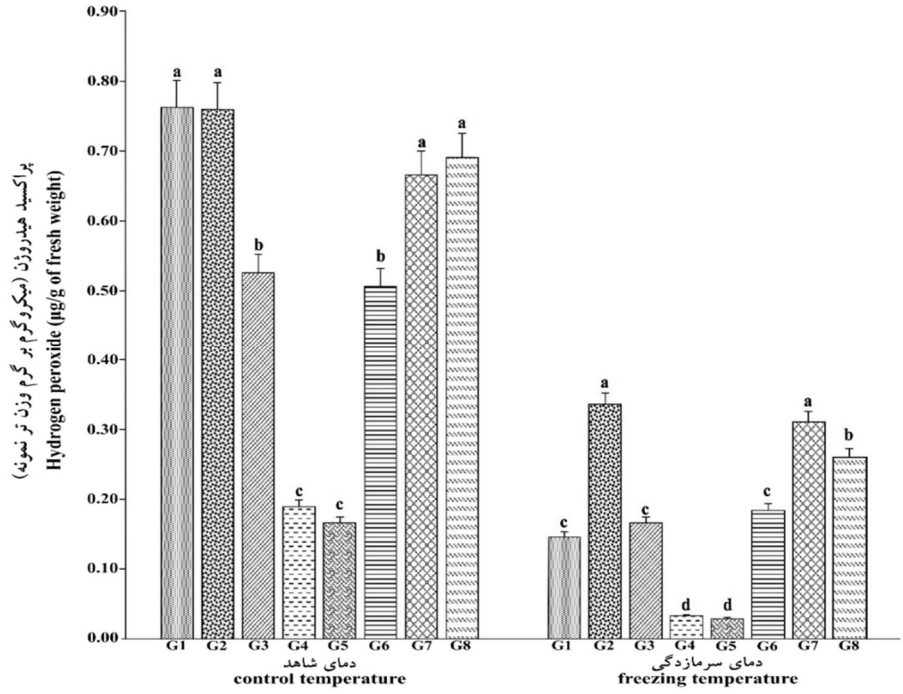
جدول ٥- تجزیه واریانس برای صفات اندازه‌گیری‌شده در گل‌های ماده فندق.

Table 5. Analysis of variance for measured traits in male flower of hazelnut.

Source of variation	منبع تغییرات	درجه آزادی df	پرولین Proline	پر اکسید هیدروژن Hydrogen peroxide
Temperature	دما	1	0.013^{**}	1.471^{ns}
Genotype	ژنوتیپ	7	1.008^{**}	0.175^{**}
Temperature x Genotype	دما × ژنوتیپ	7	0.002^{**}	0.035^{**}
Error	خطا	32	0.000	0.000
C.V.(%)	ضریب تغییرات		7.74	4.27

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱درصد.

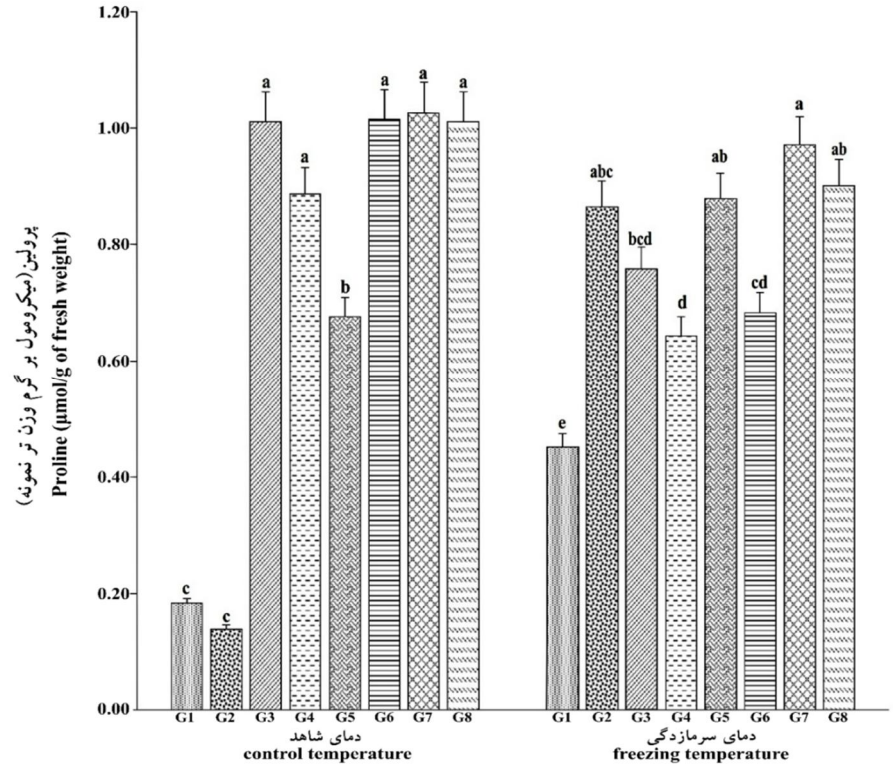
** were significantly different at the probability level of 1%.



شکل ۹- اثر متقابل دما و ژنوتیپ بر پر اکسید هیدروژن در گل‌های ماده هشت رقم ایرانی فندق (G1: اصل قره‌باغ، G2: تابستانه، G3: جنوب قره‌باغ، G4: خندان، G5: رسمی، G6: گرد اشکورات، G7: میش‌پستان و G8: ناخن‌رود). میله‌های عمودی روی ستون‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد و حروف متفاوت بیانگر وجود اختلاف آماری معنی‌دار می‌باشند (P < ۰/۰۵).

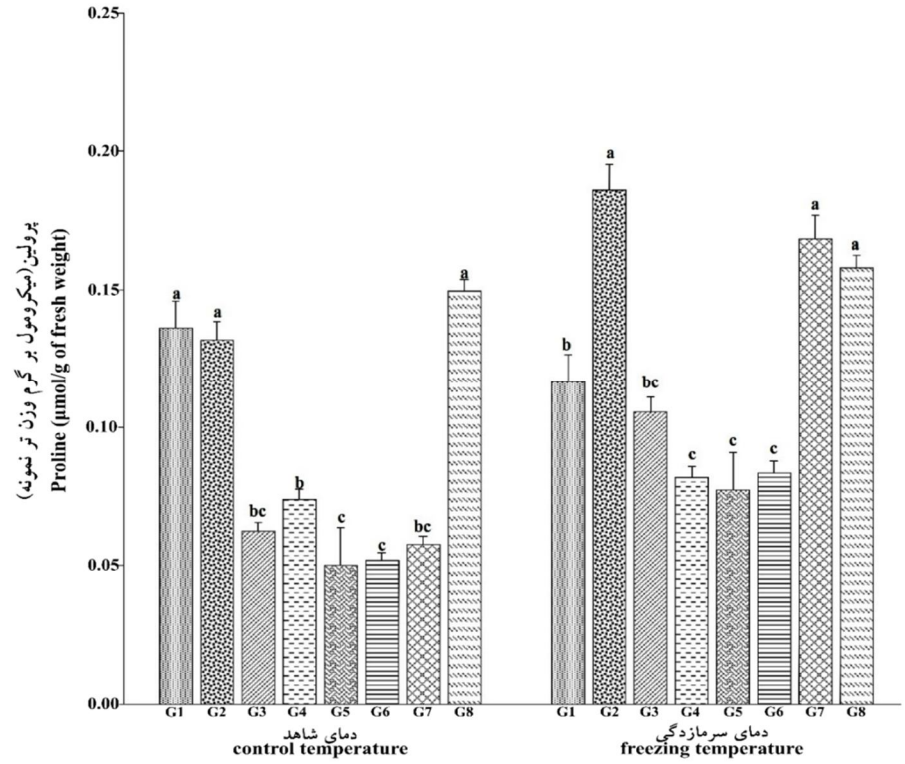
Fig. 9. Interaction of temperature and genotype on hydrogen peroxide in female flower of eight Iranian hazelnut cultivars (G1: Asle Gharebagh, G2: Tabestaneh, G3: Jonoube Gharebagh, G4: Khandan, G5: Rasmi, G6: Gerde Eshkaverat, G7: Mish Pestan and G8, Nakhon Rood). Vertical lines on the columns represent standard error and different letters indicate statistically significant differences (P < 0.05).

میزان پرولین آزاد در بسیاری از گیاهان در واکنش به تنش‌های محیطی مانند تنش سرما و خشکی به مقدار زیادی افزایش می‌یابد و باعث تثبیت غشاء در هنگام تنش به سرما می‌شود (۹). هم‌چنین پرولین به‌خاطر ایفای نقش اسمزی، اثرات مفیدی را در گیاهان تحت تنش ایفا می‌کند (۲۱). تجمع این اسید آمینه در گیاهان چند ساله از اواسط پاییز تا اواسط زمستان یک رخداد طبیعی فیزیولوژیکی در متابولیسم ذخیره نیتروژن می‌باشد. در این مطالعه میزان اسید آمینه پرولین در شاتون باز نشده و گل‌های ماده، در دمای آسیب دیدگی به حداکثر مقدار خود رسیده است. میزان پرولین در نمونه شاتون و گل ماده تحت تنش سرما افزایش یافته و ژنوتیپ‌های میش‌پستان و تابستانه بیش‌تر میزان پرولین را دارا بودند (شکل‌های ۱۰ و ۱۱). پژوهش‌های صورت گرفته روی ارقام پسته تحت تنش سرما افزایش پرولین در ارقام متحمل را نشان داده است (۱۳ و ۲٤). هم‌چنین رسولی و همکاران (۲۰۱۹) با بررسی برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی مؤثر در تحمل به سرما در پنج رقم انگور، بیش‌ترین میزان پرولین را در ارقام متحمل گزارش نمودند (۱۸). نتایج ارزیابی مقاومت ۲۰ رقم تجاری انگور در برابر سرما توسط کریمی (۲۰۱۹) حاکی از ارتباط مستقیم بین میزان پرولین و تحمل ارقام بود (۱۰).



شکل ۱۰- اثر متقابل دما و ژنوتیپ بر پرولین در گل‌های نر هشت رقم ایرانی فندق (G1: اصل قره‌باغ، G2: تابستانه، G3: جنوب قره‌باغ، G4: خندان، G5: رسمی، G6: گرد اشکورات، G7: میش‌پستان و G8: ناخن‌رود). میله‌های عمودی روی ستون‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد و حروف متفاوت بیانگر وجود اختلاف آماری معنی‌دار می‌باشند (P < ۰/۰۵).

Fig. 10. Interaction of temperature and genotype on proline in male flowers of eight Iranian hazelnut cultivars (G1: Asle Gharebagh, G2: Tabestaneh, G3: Jonoube Gharebagh, G4: Khandan, G5: Rasmi, G6: Gerde Eshkaverat, G7: Mish Pestan and G8, Nakhon Rood). Vertical lines on the columns represent standard error and different letters indicate statistically significant differences (P < 0.05).



شکل ۱۱- اثر متقابل دما و ژنوتیپ بر پرولین در گل‌های ماده هشت رقم ایرانی فندق (G1: اصل قره‌باغ، G2: تابستانه، G3: جنوب قره‌باغ، G4: خندان، G5: رسمی، G6: گرد اشکورات، G7: میش‌پستان و G8: ناخن‌رود). میله‌های عمودی روی ستون‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد و حروف متفاوت بیانگر وجود اختلاف آماری معنی‌دار می‌باشند (P < ۰/۰۵).

Fig. 11. Interaction of temperature and genotype on proline in female flowers of eight Iranian hazelnut cultivars (G1: Asle Gharebagh, G2: Tabestaneh, G3: Jonoube Gharebagh, G4: Khandan, G5: Rasmi, G6: Gerde Eshkaverat, G7: Mish Pestan and G8, Nakhon Rood). Vertical lines on the columns represent standard error and different letters indicate statistically significant differences (P < 0.05).

مقدار آنزیم پراکسید هیدروژن در برخی ارقام افزایش و در برخی کاهش یافته است (شکل‌های ۸ و ۹). بیش‌ترین مقدار در رقم تابستانه در دمای تیمار و کم‌ترین مقدار در رقم خندان در دمای شاهد است. میزان این آنزیم در سرما افزایش چشم‌گیری داشته است که نشان می‌دهد که آنزیم پراکسید هیدروژن در گیاه هنگام تنش افزایش پیدا می‌کند. نتایج این پژوهش‌ها بیان می‌دارند که افزایش بیش از اندازه پراکسید هیدروژن باعث افزایش رادیکال‌های آزاد و اکسیژن فعال می‌شود و این عامل نیز باعث تحمل گیاه به سرما می‌باشد. در بسیاری از مطالعات گزارش شده است که وقتی گیاه در معرض تنش (سرما، خشکی و غیره) قرار می‌گیرد غلظت پراکسید هیدروژن در آن افزایش می‌یابد، زیرا تیمار سرما می‌تواند کانال‌های کلسیمی را فعال کرده و غلظت کلسیم سیتوسولی را افزایش دهد، کلیسیم سیتوسولی نیز به نوبه خود آنزیم NADPH–اکسیداز غشای پلاسمایی را فعال کرده و منجر به انفجار اکسیداسیون و تولید پر اکسید هیدروژن می‌شود. از طرفی پر اکسید هیدروژن در درون سلول به عنوان یک پیام ثانویه عمل کرده بنابراین می‌تواند موجب افزایش فعالیت و یا القاء بیان برخی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی از جمله متابولیت‌های ثانویه شود. این سامانه‌های آنتی‌اکسیدانی به عنوان یک سازوکار دفاعی در مقابل انواع واکنش‌گرهای

اکسیژن عمل کرده و به سلول کمک می‌کنند تا بهتر بتوانند شرایط را تحمل کند. روی و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی مؤثر در تحمل به سرما در سه رقم انگور، افزایش میزان پراکسید هیدروژن را در شرایط تنش سرما گزارش نمودند (۱۹). در پژوهشی که ونایی و همکاران (۲۰۱۲) بر روی تنش سرما در گیاهچه نخود بر روی فعالیت آنزیمی آنتی‌اکسیدان داشتند به این نتیجه رسیدند که تنش دمایی میزان H_2O_2 را افزایش داده است (۲۵). با توجه به افزایش هم‌زمان میزان پر اکسید هیدروژن و نشت یونی می‌توان بخشی از نشت یونی رخ داده در طی تنش سرما را با افزایش پراکسید هیدروژن ناشی از این تنش نسبت داد. تنش‌های دمایی میزان آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز را افزایش می‌دهند و میزان این آنزیم‌ها با غلظت پر اکسید هیدروژن رابطه مثبت و معنی‌داری داشت که نشان‌دهنده نقش این آنزیم در تجزیه پر اکسید هیدروژن در صورت افزایش است. این نتیجه تأییدکننده افزایش و کاهش پر اکسید هیدروژن در پژوهش حاضر می‌باشد. پر اکسید هیدروژن به دلیل افزایش سرما افزایش پیدا می‌کند، اما این افزایش به اندازه‌ای است که به عنوان یک پیام‌رسان، ژن‌های مقاومت به سرما را فعال می‌کند و افزایش بیش از حد این آنزیم موجب تجزیه شدن آن توسط آنزیم کاتالاز و پر اکسیداز می‌شود.

نتیجه‌گیری

در تغییرات فصلی پرولین که در این پژوهش بررسی شد انباشت این اسید آمینه در طول دوره سازش به سرما، موجب افزایش مقاومت قندق شد و تجمع این اسید آمینه در ارقام میش‌پستان و تابستانه افزایش چشمگیری را در طول فصل نشان داد. در طی فصل، پر اکسید هیدروژن نسبت به پرولین تغییرات و تجمع قابل‌توجهی نداشت زیرا پراکسید هیدروژن در غلظت‌های بالا سمی است و به وسیله آنزیم کاتالاز و پر اکسیداز تجزیه می‌شود، اما در غلظت‌های پایین می‌تواند نقش پیام‌رسان را در فرآیندهای انتقال پیام ایفا کند و ژن‌های وابسته به مقاومت در گیاه را فعال کند، در نتیجه با وجود میزان تغییرات بسیار کم این آنزیم در ارقام میش‌پستان و تابستانه افزایش مقاومت به سرما نسبت به سایر ارقام مشاهده شد. در مناطقی که خطر سرمازدگی وجود دارد باید ارقام مقاوم را کشت نمود که در بین هشت رقم فندق مورد مطالعه در این پژوهش، رقم تابستانه و میش‌پستان نسبت به سرما متحمل‌تر بودند. این ارقام در مناطقی که دما در مرحله ظهور شاتون‌های نر به کم‌تر از ۹- درجه سانتی‌گراد نمی‌رسد و در زمان ظهور گل ماده نیز کم‌تر از ۳- درجه نیست، با در نظر گرفتن سایر عوامل محیطی قابلیت کشت و پرورش را دارند.

منابع

1. Ahmadi, K., Ebadzadeh, H.R., Hatami, F., Hossein Pour, R. and Abde Shah, H. 2018. Agricultural statistics of 2017. Statistics and information center, Ministry of Agriculture-Jihad Publications. Tehran. Iran. 233p. (In Persian)
2. Ait Barka, E. and Audran, J.C. 1997. Response of changes of shoot and bud proline concentrations in response to low temperatures and correlations with freezing tolerance. J. Hort. Sci. 72: 4. 577-582.
3. Alexieva, V., Sergiev, I., Mapelli, S. and Karanov, E. 2001. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. Plant Cell Environ. 24: 1337-1344.

4.Bates, L.S., Walderen, R.D. and Taere, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant Soil. 39: 205-207.
5.Benko, B. 1969. The content of some amino acids in young apple shoots in relation to frost resistance. Biol. Plantarum. 11: 334-337.
6.Erdogan, V. 2018. Hazelnut production in Turkey: current situation, problems and future prospects. Acta Hort. 1226: 13-23.
7.Erdogan, V. and Aygun, A. 2017. Late spring frosts and its impact on Turkish hazelnut production and trade. NUCIS, 17: 25-27.
8.FAO, 2020. Statistical database of FAO. Available online at: http://www.fao.org. Accessed 6 June 2020.
9.Hosseini, S.M. 2000. Physiological investigation of cold resistance of five pistachio cultivars from Rafsanjan. MSc thesis, Department of Biology, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman. (In Persian)
10.Karimi, R. 2019. Cold hardiness evaluation of 20 commercial table grape (*Vitis vinifera* L.) cultivars. Int. J. Fruit Sci. pp. 1-18.
11.Koyuncu, M.A., Islam, A. and Küçük, M. 2005. Fat and fatty acid composition of hazelnut kernels in vacuum packages during storage. Grasas Aceites. 56: 4. 263-266.
12.Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stress. Academic press, London, UK, 607p.
13.Mansouri Dehshoaibi, R., Davarynejad, G., Hokmabadi, H. and Tehranifar, A. 2011. Evaluation of proline, proteins and sugar during phonological processes of flower buds of commercial pistachio cultivars. J. Hort. Sci. 25: 2. 116-121. (In Persian)
14.Mehlenbacher, S.A. 2009. Genetic resources for hazelnut: State of the art and future perspectives. Acta Hort. 845: 33-38.
15.Molnar, T.J. 2011. *Corylus*. P 15-48, In: C. Kole (ed), Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources, Springer, Berlin, Heidelberg.
16.Oliveira, I., Sousa, A., Morais, J.S., Ferreira, I.C., Bento, A., Estevinho, L. and Pereira, J.A. 2008. Chemical composition, and antioxidant and antimicrobial activities of three hazelnut (*Corylus avellana* L.) cultivars. Food Chem. Toxicol. 46: 5. 1801-1807.
17.Pedryc, A., Hermán, R., Halász, J., Gutermuth, Á. and Hegedüs, A. 2009. Apricot breeding – aims and results: 'GNT – 5/47' hybrid. Hung. Agri. Res. 2: 16-18.
18.Rasouli, M., Roostaei, P. and Babaei, A. 2019. The comparison of some effective physiological characters to improve cold tolerance of seeded and seedless grapevine cultivars during the dormancy and growing seasons. J. Plant Prod. 41: 4. 125-139. (In Persian)
19.Rooy, S.S.B., Salekdeh, G.H., Ghabooli, M., Gholami, M. and Karimi, R. 2017. Cold-induced physiological and biochemical responses of three grapevine cultivars differing in cold tolerance. Acta Physiol. Plant. 39: 264.
20.Sezer, A., Köse, Ç., Gümüş, E. and Bilgen, Y. 2017. Effect of some applications on delaying leaf bud opening to protect hazelnuts from spring frost damage. Acta Hort. 1226: 297-300.
21.Stewart, G.R. and Lee, J.A. 1974. The role of proline accumulation in halophytes. Planta. 120: 279-289.
22.Szepesi, Á. and Szőllősi, R. 2018. Mechanism of proline biosynthesis and role of proline metabolism enzymes under environmental stress in plants. In: P. Ahmad, M.A. Ahanger, V.P. Singh, D.K. Tripathi, P. Alam and M.N. Alyemeni (eds), Plant Metabolites and Regulation Under Environmental Stress, Elsevier, Academic Press, London. P 337-353.
23.Taghavi, T., Dale, A., Saxena, P., Galic, D., Rahemi, A., Kelly, J. and Suarez, E. 2017. Flowering of hazelnut cultivars and how it relates to temperature in southern Ontario. Acta Hort. 1226: 131-136.

24. Tajabadipour, A., Fattahi Moghadam, M., Zamani, Z., Nasibi, F. and Hokmabadi, H. 2018. Evaluation of physiological and biochemical changes of pistachio (*Pistacia vera* L. cv. Ahmad-Aghaii) on cold tolerant and sensitive rootstocks under freezing stress conditions. J. Hort. Sci. 32: 3. 471-484. (In Persian)

25. Wanaei, S., Siosemardeh, A. and Haidari, G. 2012. The effects of cold stress at germination and seedling stages on antioxidant enzymes and some physiological aspects of chickpea (*Cicer arientinum*). IJFCS. 9: 3. 514-524. (In Persian)

26. Weiser, C.J. 1970. Cold resistance and injury in woody plants. Sci. 169: 1269-1278.