نشریه پژوهش‌های گندم
دوره دوم. شماره یکم. بهار و تابستان ۱۳۹۸
دانشگاه کردستان
Journal of Wheat Research
Volume 2. Issue 1. 2019

بررسی تحمل به سرما در برخی از ژنوتیپ‌های گندم نان در مرحله گیاهچه‌ای تحت شرایط آزمایشگاهی

محسن سعیدی[۱]، مجید عبدلی*[۲] و پروین الیاسی[۳]

۱. دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
۲. نویسند مسئول، دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران.
۳. کارشناسی ارشد بیوتکنولوژی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
پست الکترونیک نویسنده مسئول: majid.abdoli64@yahoo.com

دریافت: ۰۳/ ۰۵/ ۱۳۹۸ پذیرش: ۰۴/ ۰۶/ ۱۳۹۸

چکیده

سرمای شدید سبب بروز خسارت در گندم شده و رشد و عملکرد آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین، این آزمایش با هدف بررسی تحمل به یخزدگی هشت ژنوتیپ گندم در شرایط کنترل شده اجرا شد. ترکیب دما (۳+، ۳-، ۵-، ۷- و ۹- درجه سانتی‌گراد) و ژنوتیپ (بهار، پارسی، پیشتاز، پیشگام، چمران، زرین، سیوند و مرودشت) به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در نظر گرفته شد. دو هفته بعد از اعمال تیمار یخزدگی درصد بقاء، وزن خشک، تعداد برگ در گیاهچه و ارتفاع گیاهچه در شرایط گلخانه اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل نشان داد که با کاهش بقاء گیاهچه در اثر افت دما، میزان وزن خشک، ارتفاع و تعداد برگ در گیاهچه‌ها نیز کاهش یافت. ژنوتیپ مرودشت نیز با داشتن بیشترین توان مقاومت به یخزدگی (۵/۲- درجه سانتی‌گراد) در بین بقیه ژنوتیپ‌های گندم از نظر وزن خشک، ارتفاع گیاهچه و تعداد برگ در گیاهچه برتری داشت و ژنوتیپ‌های پارسی و زرین در رتبه‌های بعدی جای گرفتند. در حالی که ژنوتیپ پیشتاز ژنوتیپی فوق‌العاده حساس به یخزدگی بود. با توجه به نتایج بدست آمده از این تحقیق، می‌توان توصیه کرد که در مناطق با احتمال سرمازدگی، بهتر است از کشت ژنوتیپ پیشتاز خودداری کرد و به جای آن از ژنوتیپ‌های مرودشت، پارسی و زرین بهره گرفت.

کلید واژگان: *ارتفاع گیاهچه، درصد بقاء، سرما، گندم، وزن خشک*

مقدمه

گندم یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی به‌شمار می‌آید که در بین غلات از نظر تولید و سطح زیر کشت در رتبه اول قرار دارد (Arzani, 2011; FAO, 2016) و کشت آن در مناطقی با شرایط آب و هوایی متفاوت امکان‌پذیر می‌باشد. اصلاح‌گران نباتات و فیزیولوژیست‌ها سال‌هاست که مسأله تحمل به سرما را در گیاهان مورد مطالعه قرار می‌دهند و بر این باورند که عملکرد گیاهان زراعی تحت تأثیر شرایط محیطی، ساختار ژنتیکی و برهمکنش بین آنها است (Sarmadnia, 1993). اگر چه کلیه تنش‌های محیطی (اعم از گرما، سرما، خشکی، شوری و غیره) از عوامل مهم کاهش تولید محسوب می‌شوند. با این حال، سرما مهم‌ترین عامل محدود کننده رشد محصولات زراعی منجمله گندم در مرحله گیاهچه‌ای در مناطق سردسیر کشور می‌باشد (Azizi, 2005). تنش سرما در فرم‌های سرمازدگی[1]، انجماد[2] و افت ناگهانی دما[3]، سبب آسیب‌های جدی به زراعت گندم می‌شود (Mirfakhraii *et al*., 2010).

در مناطق معتدله دنیا و از جمله ایران، گیاهان زراعی سرما دوست نظیر گندم معمولاً در پاییز کشت می‌شوند (Arzani, 2011). لازم بذکر است که گندم دارای دو تیپ بهاره و پاییزه می‌باشد که تیپ پاییزه به دلیل امکان استفاده از بارندگی و نزولات جوی، نیاز کمتر به آبیاری و به‌طبع عملکرد بالاتر مورد توجه بیشتری است و نسبت به تیپ بهاره بیشتر مورد کشت و کار قرار می‌گیرد. با این حال وقوع تنش سرما در زمستان، در اغلب موارد سبب بروز خسارت‌های شدید در گندم مخصوصاً تیپ پاییزه می‌شود. بنابراین شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به سرما و کاشت آنها در مناطق تحت خطر تنش یخزدگی ازجمله راهکارهای مناسب جهت کاهش خسارت سرما است.

تأثیر سرما و یخزدگی در گیاه به شدت سرما، مدت آن و مرحله رشدی گیاه بستگی دارد (Sarhadi *et al*., 2012). خسارت ناشی از سرما در مراحل حساس رشد و نمو گیاهان یکی از عوامل مهم کاهش عملکرد گیاهان زراعی منجمله گندم در سطح جهان است (Wang and Adams, 1980). به طور کلی دمای پایین در مرحله جوانه‌زنی موجب عدم استقرار مناسب گیاهچه می‌گردد و ضعف گیاهچه در این مرحله، دستیابی به عملکرد مطلوب را تحت تأثیر قرار می‌دهد و سبب افت عملکرد می‌شود (Vitamvas and Prasil, 2008; Yin *et al*., 2009). گزارشات نشان می‌دهد که میزان زیان اقتصادی سرما و یخبندان بر محصولات زراعی کشور از جمله گندم، به مراتب بیشتر از زیان‌های سایر پدیده‌های مخرب جوی و حتی گاهی بیشتر از خسارت آفات و بیماری‌های است (Amir-Ghasemi, 2002). جهت ارزیابی و شناسایی ارقام متحمل به سرما، وجود یک روش ارزیابی سریع و مؤثر از اهمیت زیادی برخوردار است (Nezami *et al*., 2010 b). در همین راستا، محققین بخاطر شرایط غیریکنواخت مکانی و زمانی در بروز سرما و یخردگی در سطح مزرعه، هزینه بالا و طولانی مدت بودن اجرای آن، استفاده از روش‌های آزمون یخزدگی در شرایط کنترل شده را جهت بررسی مقاومت ژنوتیپ‌های گندم و نخود به تنش سرما پیشنهاد کرده‌اند (Gusta *et al*., 2001; Nezami *et al*., 2007 b; Nezami *et al*., 2009; Saeidi *et al*., 2012).

مقاومت به سرما در گندم نقش به‌سزایی در بقاء و سپری کردن زمستان دارد و درجه مقاومت به سرما به نوع ژنوتیپ و بذر آن، شدت و دوره سرما، شرایط مرفو-فیزیولوژیک گیاه (Azizi *et al*., 2008; Barzan *et al*., 2018) و مکانیسم‌های بیوشیمیایی و دفاعی (Apostolova *et al*., 2008) دخیل در این امر دارد. تولید گونه‌های فعال اکسیژن[4] (ROS) در تنش سرما باعث صدمه به غشای سلولی می‌شود (Jian *et al*., 1999) و افزایش میزان نشت الکترولیت‌ها را در پی دارد (Nezami *et al*., 2007 a,b; Nezami *et al*., 2010 b; Dashti *et al*., 2015)، بنابراین گیاهان برای جلوگیری از افزایش خسارت این گونه ترکیبات مکانیسم‌های دفاعی را فعال می‌نمایند (Anjum *et al*., 2010; Alisoltani *et al*., 2012). در این میان بیشترین نقش در پاکسازی و حذف انواع گونه‌های فعال اکسیژن بر عهده آنزیم‌های پراکسیداز، کاتالاز

[1] Frost
[2] Freezing
[3] Chilling
[4] Reactive oxygen species (ROS)

و پلی فنل اکسیداز است (Yong *et al*., 2008). با این حال علاوه بر مکانیسم‌های بیوشیمیایی، خصوصیات مرفولوژیک گیاه نیز در مقاومت به سرما مؤثر است به طوری که در این ارتباط Fowler و همکاران (1981) در بررسی ۳۶ ژنوتیپ گندم زمستانه بیان کردند که علاوه بر محتوای آب برگ و طوقه، محتوای کل قند و محتوای فسفر طوقه، ارتفاع گیاه نیز همبستگی زیادی با شاخص بقاء داشت.

در مطالعات Bridger و همکاران (1996) مشخص گردید که استفاده از شاخص درجه حرارت کشنده یا ۵۰ درصد کشندگی[1] (LT_{50}) جهت تعیین ژنوتیپ مقاوم به سرما، شاخص کارآمدی است. با مطالعه تحمل به یخزدگی ژنوتیپ‌های امیدبخش گندم به روش یخبندان طوقه مشاهده شد که واکنش ژنوتیپ‌ها از نظر درصد بقاء متفاوت است (Nazeri *et al*., 2006). در آزمایش Mirzaie Asl و همکاران (2002) بر روی سه ژنوتیپ گندم بزوستایا (مقاوم)، بولانی (نیمه مقاوم) و لاین ۵۱۸ (حساس) مشخص شد که سرعت جوانه‌زنی و رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه ژنوتیپ مقاوم به سرمای بزوستایا در دمای کم نسبت به دو ژنوتیپ دیگر بیشتر بود. همچنین Siahmerghouie و همکاران (2011) بیان کردند که با کاهش دما میزان درصد بقاء، ارتفاع، تعداد برگ، تعداد گره و وزن خشک گیاه رازیانه روند کاهشی داشت. بیان شده که بخش‌های مختلف غلات زمستانه توانایی تحمل به یخزدگی متفاوتی دارند به طوری که هرچه رطوبت بخش مورد نظر کمتر باشد تحمل به سرمای بیشتر است. برهمین اساس به ترتیب طوقه بیشترین تحمل، شاخه و برگ در رتبه بعدی و ریشه به‌عنوان حساس‌ترین بخش گیاه می‌باشد (Mirzaei Asl *et al*., 2002; Mirmohammad Meybodi and Tarkesh Esfahani, 2005). با توجه به اینکه تنش سرما در مناطق کشت گندم پاییزه به‌عنوان یک عامل محدودکننده عمل می‌کند و جهت کشت موفق گندم در این مناطق استفاده از ارقام متحمل به سرما ضروری است. بنابراین، هدف از این تحقیق بررسی اثر تنش سرما بر روی خصوصیات رشدی و صفات مرفولوژیکی گیاهچه ژنوتیپ‌های گندم و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر و مقاوم به سرمای این محصول بود.

مواد و روش‌ها

در این آزمایش تحمل به یخزدگی هشت ژنوتیپ گندم شامل بهار، پارسی، پیشتاز، پیشگام، چمران، زرین، سیوند و مرودشت در پنج تیمار دمایی شامل ۳+، ۳-، ۵-، ۷- و ۹- درجه سانتی‌گراد، مورد مطالعه قرار گرفت. برخی از مشخصات زراعی و کیفی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در جدول ۱ بیان شده است. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. به منظور تعیین تحمل به یخزدگی، ابتدا بذور ژنوتیپ‌های گندم در نیمه دوم آبان ماه سال زراعی ۱۳۸۹ در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه کشت شدند و سپس گیاهچه‌های ۶-۵ برگی هر ژنوتیپ در نیمه اول اسفند ماه از مزرعه برداشت شد. دقت شد تا بوته‌ها به طور سالم به همراه ریشه از خاک بیرون آورده شوند. سپس بوته‌ها بلافاصله به آزمایشگاه منتقل و اقدام به تهیه نمونه‌ها شد. بدین صورت که به اندازه دو سانتی‌متر از بالا و یک سانتی‌متر از پایین طوقه با اسکالپر بریده و سپس پنج طوقه در یک سطح قرار گرفتند. همراه آنها برچسب پلاستیکی که در آن دما، تکرار و ژنوتیپ مورد نظر نوشته شده بود، قرار گرفت. این مجموعه به وسیله کش محکم بهم بسته شد و برای دماهای مورد نظر در سه تکرار آماده شد. سپس مجموعه نمونه‌ها در ظروف آلومینیومی طوری قرار داده شدند که طوقه‌ها به دیواره آن بچسبند و سپس با ماسه نسبتاً مرطوب پر شد. کلیه نمونه‌ها در دستگاه ترموگرادیان[2] که قابل برنامه‌ریزی است به‌مدت ۱۴ ساعت در دمای ۳+ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند سپس به ۳- درجه سانتی‌گراد کاهش و پس از آن به ازای هر بیست دقیقه، ۲ درجه سانتی‌گراد دما کاهش یافت و به منظور ایجاد تعادل دمایی محیط، طوقه‌ها در هر تیمار دمایی به مدت نیم ساعت نگهداشته شد و سپس برداشت شدند. برای جلوگیری از ذوب شدن سریع یخ نمونه‌ها، در یخچال با دمای ۴+ درجه سانتی‌گراد به مدت یک شبانه روز نگهداری شدند. سپس نمونه‌های هر تیمار دمایی به گلخانه منتقل و در گلدان‌های پلاستیکی با قطر ۱۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر، حاوی ۱ به ۱ هوموس و کاه برگ، کاشته شدند (دو سوم طوقه در

[1] Lethal Temperature 50 (LT_{50})
[2] Thermogradient device

خاک) و در مواقع نیاز آبیاری شدند. از هر تیمار دمایی ۵ طوقه در هر گلدان کشت گردید. بعد از گذشت دو هفته در گلخانه با میانگین دمایی ۲±۲۴ درجه سانتی‌گراد، بوته‌های زنده شمارش شدند (بدین ترتیب که علاوه بر تولید برگ، ریشه نیز تولید کرده باشند) و درصد بقاء از رابطه زیر محاسبه شد (Nezami *et al*., 2010 a):

۱۰۰ × (تعداد بوته هنگام کاشت در گلدان / تعداد بوته زنده بعد از دو هفته) = درصد بقاء

در پایان این دوره جهت ارزیابی رشد مجدد گیاهچه‌ها صفاتی نظیر ارتفاع گیاهچه، تعداد برگ تولیدی و وزن خشک آنها اندازه‌گیری و ثبت شد. همچنین برای ژنوتیپ‌های مختلف با استفاده از رسم نمودار و معادله برازش بدست آمده، دمایی که در آن ۵۰ درصد بوته‌های هر ژنوتیپ از بین رفته بودند یعنی درجه حرارت کشنده (LT_{50}) برای هر یک از ژنوتیپ‌ها تعیین گردید (Gusta *et al*., 1982). در نهایت برای مقایسه میانگین از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد استفاده شد. جهت تجزیه و تحلیل داده‌های بدست آمده از نرم‌افزار SAS ver. 8.2 و جهت رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel بهره گرفته شد. شمایی از مراحل مختلف آزمایش در شکل ۱ قابل مشاهده است.

جدول ۱- مشخصات زراعی و کیفی ژنوتیپ‌های گندم مورد مطالعه

Table 1- Agronomic and qualitative characteristics of wheat genotypes studied

ویژگی ها Traits	بهار Bahar	پارسی Parsi	پیشتاز Pishtaz	پیشگام Pishgam	چمران Chamran	زرین Zarin	سیوند Sivand	مرودشت Marvdasht
میانگین عملکرد (تن در هکتار)	۸/۵	۸/۶	۷/۴	۷/۴	۶/۵	۶/۴	۸/۷	۷/۶
میانگین ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	۹۵	۹۷	۹۳	۹۲	۹۵	۱۰۳	۹۲	۱۰۲
تیپ رشد	بهاره	بهاره	بهاره	بینابین	بهاره	بینابین و نسبتا دیررس	بهاره	بهاره و متوسط رس
واکنش نسبت به بیماری زنگ زرد	مقاوم	مقاوم	مقاوم	مقاوم	مقاوم	مقاوم	مقاوم	مقاوم
واکنش نسبت به بیماری زنگ قهوه‌ای	متحمل	نیمه حساس	مقاوم	مقاوم	مقاوم	مقاوم	مقاوم	مقاوم
مقاومت به خوابیدگی	مقاوم	مقاوم	مقاوم	مقاوم	مقاوم	نیمه مقاوم	مقاوم	نیمه مقاوم
وضعیت ریزش دانه	مقاوم	مقاوم	نیمه مقاوم	مقاوم	نیمه مقام	نیمه مقاوم	مقاوم	نیمه مقاوم
رنگ دانه	زرد کهربایی	زرد کهربایی	زرد	زرد روشن	قهوه‌ای	زرد کهربایی	زرد کهربایی	زرد
میانگین پروتئین دانه (٪)	۱۰/۹	۱۲/۰۰	۱۱/۲۰	۱۱/۵	۱۱/۳	۱۰/۹	۱۲/۰۰	۱۰/۹
میانگین گلوتن (٪)	۲۶	-	۳۲	۳۲	۳۰	۲۷	-	۲۹
میانگین وزن هکتولیتر (کیلوگرم)	۸۳/۵	-	۸۱/۹	۸۱/۹	۸۳/۴	۸۲/۶	-	۸۱/۲

منبع: Saeidi و همکاران (2005)

شکل ۱- شمایی از مراحل مختلف آزمایش. (A): نمونه‌برداری گیاهچه‌های ۶-۵ برگی هر ژنوتیپ از مزرعه،(B): برش و آماده کردن طوقه، (C-D): قرار دادن نمونه‌ها در ظروف آلومینیومی پرشده با ماسه، (E): انتقال نمونه‌ها به دستگاه ترموگرادیان قابل برنامه‌ریزی، (F): کشت کردن نمونه‌های هر تیمار دمایی در گلدان‌های پلاستیکی و انتقال به گلخانه، (G-H): سپری شدن دو هفته در گلخانه و درنهایت اندازه‌گیری صفات مورد مطالعه.

Figure 1- An overview of different stages of testing. (A): Sampling seedlings (in 5-6 leaves stage) of each genotype from the field, (B): Cut and prepare the crown, (C-D): Placing the samples in sand-filled aluminum containers, (E): Transfer of samples to programmable thermogradient device, (F): Cultivating samples of each temperature treatment in plastic pots and transferring to the greenhouse, (G-H): Elapsed two weeks in the greenhouse and finally measuring the studied traits.

نتایج و بحث

درصد بقاء: بر اساس نتایج تجزیه واریانس مشخص گردید که اثر دماهای یخزدگی و ژنوتیپ به ترتیب در سطح یک و پنج درصد بر درصد بقاء معنی‌دار است (جدول ۲). نتایج حاصل از مقایسه میانگین دماهای مختلف یخزدگی در ژنوتیپ‌های مختلف گندم نشان داد که به طور کلی با کاهش دما، میزان بقای گیاهچه‌ها افت پیدا می‌کند. به طوری که در دماهای ۳- ، ۵-، ۷- و ۹- سانتی‌گراد، میزان بقاء گیاهچه‌ها به‌ترتیب ۵۱/۷، ۷۰/۸، ۸۸/۳ و ۹۵ درصد تنزل یافت (شکل ۲). همچنین در دمای ۳- درجه سانتی‌گراد بیشترین بقاء مربوط به ژنوتیپ‌های مرودشت، زرین و پارسی (به ترتیب با ۶۷، ۶۰ و ۶۰ درصد) بود و کمترین آن در دمای ۵- درجه سانتی‌گراد در ژنوتیپ پیشتاز حاصل شد (جدول ۳)، به بیان دیگر تمامی ژنوتیپ‌های مورد بررسی قادر به تحمل دمای ۳- درجه سانتی‌گراد هستند ولی در دمای ۵- سانتی‌گراد فقط ژنوتیپ پیشتاز قادر به تحمل دمای فوق نیست. با این حال ژنوتیپ‌های مرودشت و چمران در دمای ۹- درجه سانتی‌گراد با ۱۳/۳ درصد بیشترین بقاء گیاهچه را داشتند و ژنوتیپ‌های پیشگام و بهار با ۶/۷ درصد در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (جدول ۳).

نتایج نشان داد که همبستگی درصد بقاء با وزن خشک گیاهچه (r=۰/۸۴**)، ارتفاع (r=۰/۸۱**) و تعداد برگ تولیدی (r=۰/۸۸**) مثبت و معنی‌داری دارد (جدول ۷). این امر نشانگر این مطلب است که با افزایش درصد بقاء در ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش سرما، میزان پارامترها فوق نیز در مقایسه با ژنوتیپ‌های حساس بهبود می‌یابد.

مطابق با نتایج این تحقیق Fowler و Gusta (1979) و Nezami و همکاران (2009) مشاهده کردند که ارقام گندم، درصد بقاء متفاوتی در شرایط زمستان دارند به نحوی که در برخی از ژنوتیپ‌ها این میزان به ۱۰۰ درصد نیز می‌رسد. همچنین Nezami و همکاران (2009) محدوده درصد بقاء را بین ۶۰ تا ۹۰ درصد در شرایط عدم خوسرمایی و خوسرمایی گزارش کردند. یکی از دلایل کاهش درصد بقاء در اثر تنش سرما احتمالاً بخاطر صدمات وارده به گیاهچه‌ها و افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن است که سبب اختلالاتی در سلول به ویژه از طریق اکسیداسیون لیپیدهای غشاء، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک می‌گردند (Fridovich, 1986). در این تحقیق برخی از ژنوتیپ‌ها به ویژه مرودشت، پارسی، زرین و چمران احتمالاً بخاطر مکانیسم‌های دخیل در تغییر متابولیسم چربی و فسفولیپید، افزایش اسیدهای چرب و کربوهیدرات‌های محلول موجب تنظیم فرآیند تحمل به یخزدگی در گیاهچه‌ها و پایداری غشاء سلولی شده‌اند (Yoshida *et al*., 1998) و از طرفی شاید بدلیل سازوکارهای آنتی‌اکسیدانی کارآمدتر نسبت به بقیه ژنوتیپ‌هاست که توانسته‌اند در برابر اثرات مخرب گونه‌های فعال اکسیژن که در اثر تنش سرما بوجود می‌آیند، از گیاهچه‌ها محافظت نماید (Dionisio-Sese *et al*., 1998; Hassibi *et al*., 2008; Alisoltani *et al*., 2012).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در گیاهچه‌های گندم پس از اعمال تیمارهای یخزدگی و رشد مجدد
Table 2- Analysis of variance of studied traits in wheat seedlings after application of freezing and regrowth treatments.

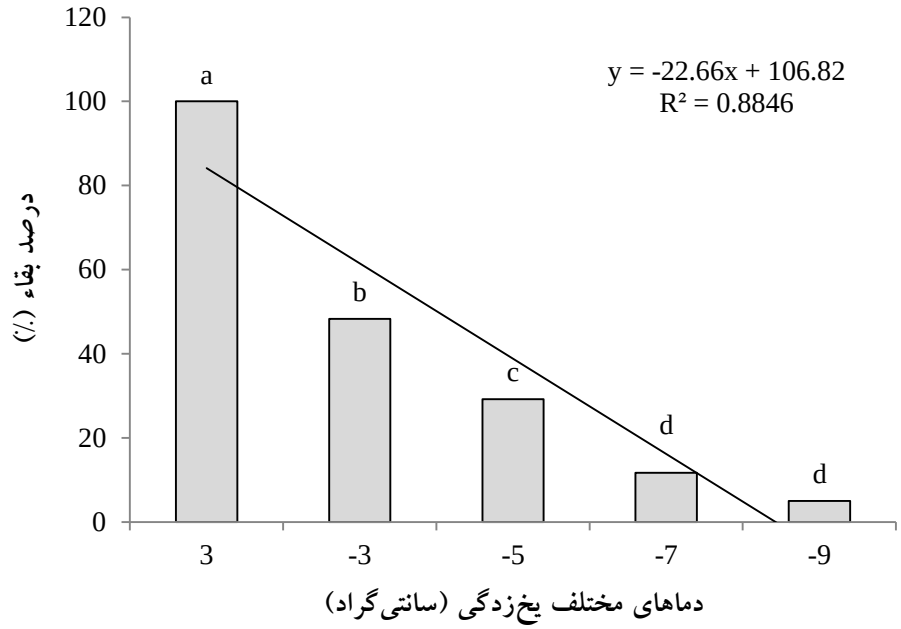
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares			
		درصد بقاء **survival percent**	وزن خشک Dry weight	ارتفاع Height	تعداد برگ Leaf number
دماهای یخزدگی Freezing temperatures	4	34847.7**	10295.9 **	183.5 **	17.5 **
ژنوتیپ Genotypes	7	818.6 *	1773.4 **	30.9 **	2.34 **
دماهای یخزدگی × ژنوتیپ Freezing temperatures ×Genotypes	28	216.2 ns	170.7 ns	5.30 ns	0.349 ns
خطا Error	80	323.3	338.2	5.24	0.539
ضریب تغییرات C.V.	-	10.3	22.7	19.8	23.5

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.
ns, * and ** are non-significant and significant at 1% and 5 % probability levels, respectively

جدول ۳- میانگین درصد بقاء گیاهچه‌ها تحت دماهای مختلف یخزدگی در ژنوتیپ‌های گندم پس از دو هفته بازیابی در گلخانه
Table 3- Average of survival percent of seedling under different freezing temperatures in wheat genotypes after two weeks of recovery in green house

ژنوتیپ‌های گندم Wheat genotypes	درصد بقاء در دماهای مختلف یخزدگی (سانتی‌گراد) survival percent of seedling under different freezing temperatures								
	+3	-3	*کاهش (%)	-5	کاهش (%)	-7	کاهش (%)	-9	کاهش (%)
بهار Bahar	100	40.0 ± 6.7	60	33.3 ± 10	66.7	13.3 ± 3.8	86.7	6.7 ± 3.8	93.3
پارسی Parsi	100	60.0 ± 6.7	40	40.0 ± 17	60	6.7 ± 3.8	93.3	0.0 ± 0.0	100
پیشتاز Pishtaz	100	20.0 ± 6.7	80	0.0 ± 0.0	100	0.0 ± 0.0	100	0.0 ± 0.0	100
پیشگام Pishgam	100	46.7 ± 3.8	53.3	26.7 ± 3.8	73.3	20.0 ±6.7	80	6.7 ± 3/8	93.3
چمران Chamran	100	46.7 ± 10	53.3	40.0 ± 11	60	20.0 ± 6.7	80	13.3 ± 7.7	86.7
زرین Zarin	100	60.0 ± 0.0	40	20.0 ± 0.0	80	13.3 ± 3.8	86.7	0.0 ± 0.0	100
سیوند Sivand	100	46.7 ± 3.8	53.3	20.0 ± 0.0	80	6.7 ± 3.8	93.3	0.0 ±0.0	100
مرودشت Marvdasht	100	66.7 ± 10	33.3	53.3 ± 13	46.7	13.3 ±3.8	86.7	13.3 ± 7.7	86.7

*بیانگر میزان درصد کاهش صفت مورد مطالعه هر یک از دماهای یخزدگی نسبت به دمای ۳+ درجه سانتی‌گراد است.
اشتباه معیار ± میانگین.



شکل ۲- مقایسه میانگین درصد بقاء تحت دماهای مختلف یخزدگی در مرحله گیاهچه‌ای
Figure 2- Mean comparison of survival percent under different freezing temperatures in seedling stage

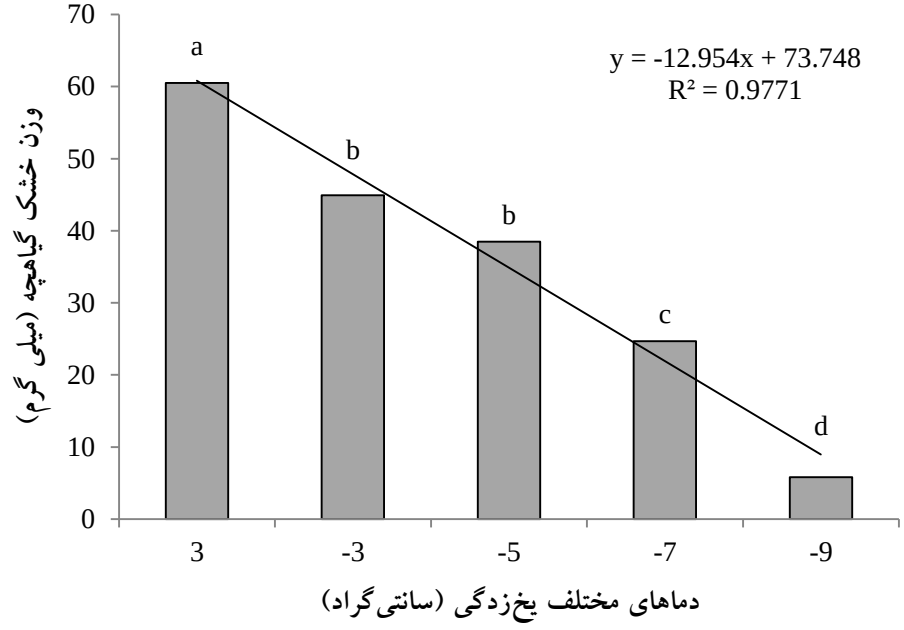
وزن خشک گیاهچه: بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر دما و ژنوتیپ بر وزن خشک گیاهچه‌های تولیدی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). در بررسی بازیافت و رشد گیاهان پس از اعمال تیمارهای یخزدگی مشاهده شد که ژنوتیپ مرودشت در دمای ۳- درجه سانتی‌گراد بیشترین وزن خشک گیاهچه را با ۵۷/۷ میلی‌گرم داشت. همچنین در دمای ۹- درجه سانتی‌گراد نیز بیشترین وزن خشک را با ۱۶/۷ میلی‌گرم به خود اختصاص داد اما در این بین، ژنوتیپ پارسی در دمای ۳- درجه سانتی‌گراد دارای ۵۸/۳ میلی‌گرم وزن خشک بود و فقط تا دمای ۷- سانتی‌گراد تاب تحمل تنش سرما را داشت (جدول ۴). از طرفی با کاهش دما میزان ماده خشک تولیدی گیاهچه‌ها هم کم شد به طوری که در دماهای ۳-، ۵-، ۷- و ۹- سانتی‌گراد میزان وزن خشک گیاهچه‌ها به‌ترتیب ۲۷/۳، ۳۹/۵، ۶۱/۴ و ۹۰/۴ درصد کاهش یافت (شکل ۳).

احتمالاً ژنوتیپ‌های مقاوم به سرما در این تحقیق با تغییر در ساختار غشاء، ترکیب اسیدهای چرب غشاء، تغییرات متابولیکی، تغییر در مقادیر پروتئین، افزایش فعالیت آنزیم‌های دخیل در جمع‌آوری گونه‌های فعال اکسیژن و به طبع با کاهش صدمات وارده به غشاء سلولی و کاهش نشت الکترولیت‌ها توانسته‌اند یکپارچگی ساختار غشاء را حفظ نموده و فرآیندهای متابولیسمی را با کارایی بیشتر در شرایط سرما در پی بگیرند و وزن خشک بیشتری پس از دوره سرما باز یابند (Gusta *et al*., 1982; Dashti *et al*., 2015; Nezami *et al*., 2016). مطابق با نتایج این تحقیق، Griffith و McIntyre (1993) و Nezami و همکاران (2009) به ترتیب بر روی گیاهان چاودار و گندم بیان کردند که با کاهش درجه حرات میزان وزن خشک گیاه به طور معنی‌داری کاهش یافت به طوری که در دمای پایین، ماده خشک کمتری تولید شد. Azizi و همکاران (2007) و Nezami و همکاران (2010 a) به ترتیب در بررسی گندم و جو، کاهش وزن خشک گیاهان را در دوره بازیافت بدلیل اثر خسارت ناشی از یخزدگی و کاهش رشد مجدد اندام‌های هوایی دانسته‌اند.

جدول ۴- میانگین وزن خشک گیاهچه (میلی‌گرم) تحت دماهای مختلف یخزدگی در ژنوتیپ‌های گندم پس از دو هفته بازیابی در گلخانه
Table 4- Average of seedling dry weight (mg) under different freezing temperatures in wheat genotypes after two weeks of recovery in greenhouse

ژنوتیپ‌های گندم Wheat genotypes	وزن خشک گیاهچه در دماهای مختلف یخزدگی (سانتی‌گراد) seedling dry weight under different freezing temperatures								
	+3	-3	*کاهش (%)	-5	کاهش (%)	-7	کاهش (%)	-9	کاهش (%)
بهار Bahar	60.9	45.3 ± 2.7	25.6	31.2 ± 9.0	48.9	36.7 ± 11	39.8	10.0 ± 5.8	83.6
پارسی Parsi	73.9	58.3 ± 3.8	21.1	41.3 ± 13	44.1	30.0 ± 12	59.4	0.0 ± 0.0	100
پیشتاز Pishtaz	33.9	18.3 ± 5.4	46.0	0.0 ± 0.0	100	0.0 ± 0.0	100	0.0 ± 0.0	100
پیشگام Pishgam	61.4	45.8 ± 4.6	25.4	55.0 ±2.9	10.5	26.7 ± 8.4	56.6	11.7 ± 6.7	81.0
چمران Chamran	51.4	35.8 ± 1.7	30.3	41.7 ± 2.4	19.0	21.0 ± 6.1	59.2	8.3 ± 4.8	83.8
زرین Zarin	60.8	45.2 ± 4.6	25.7	46.7 ± 3.8	23.2	26.7 ± 7.7	56.1	0.0 ± 0.0	100
سیوند Sivand	68.1	52.5 ± 4.3	22.9	40.0 ± 3.3	41.3	20.0 ± 8	70.6	0.0 ± 0.0	100
مرودشت Marvdasht	73.1	57.5 ± 5.1	21.3	52.0 ± 2.8	28.9	36.7 ± 11	49.8	16.7 ± 9.6	77.2

*بیانگر میزان درصد کاهش صفت مورد مطالعه هر یک از دماهای یخزدگی نسبت به دمای ۳+ درجه سانتی‌گراد است.
اشتباه معیار ± میانگین.



شکل ۳- مقایسه میانگین وزن خشک گیاهچه تحت دماهای مختلف یخزدگی در مرحله گیاهچه‌ای.
Figure 3- Mean comparison of seedling dry weight under different freezing temperatures in seedling stage.

ارتفاع گیاهچه: براساس نتایج تجزیه واریانس مشخص شد که اثر دما و ژنوتیپ بر وزن ارتفاع گیاهچه‌های تولیدی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بررسی تأثیر دماهای یخزدگی بر ارتفاع گیاهچه ژنوتیپ‌های مورد بررسی نشان داد که بیشترین ارتفاع گیاهچه در ژنوتیپ‌های پارسی و مرودشت به‌ترتیب با ۸/۸ و ۸/۴ سانتی‌متر و کمترین آن در ژنوتیپ پیشتاز با ۲/۸ سانتی‌متر در دمای ۳- درجه سانتی‌گراد بدست آمد و با کاهش دما میزان ارتفاع گیاهچه‌ها نیز کاهش یافت. به طوری که در دمای ۹- درجه سانتی‌گراد در ژنوتیپ‌های پیشگام، بهار، مرودشت و چمران به ترتیب ۲/۴، ۱/۷، ۱/۶ و ۰/۷ سانتی‌متر بود (جدول ۵). نتایج نشان داد که میزان ارتفاع گیاهچه‌ها در دماهای ۳-، ۵-، ۷- و ۹- سانتی‌گراد به میزان ۱۸/۲، ۴۰/۴، ۶۱/۵ و ۸۸/۶ درصد کاهش یافت (شکل ۴). نتایج همبستگی بین صفات نشان داد که وزن خشک گیاهچه با ارتفاع (r=۰/۹۴**) و تعداد برگ تولیدی (r=۰/۹۵**) همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد (جدول ۷). این بدان معنی است که گیاهچه‌های با جثه بزرگتر قادر به بازیابی و تولید برگ‌های بیشتری تحت تنش سرما هستند.

بیان شده که برخی از خصوصیات مانند پایداری غشاءهای سلولی (Cyril *et al*., 1988)، ترکیب و ذخیره کربوهیدرات‌های محلول (Fry *et al*., 1993) و سنتز پروتئین‌های تنش سرما نقش مهمی در تحمل به یخزدگی و توان بازیابی گیاهچه پس از دوره سرما دارد. Barzan و همکاران (2018) بیان کردند که ژنوتیپ‌های متحمل به سرما دارای بنیه و توانایی اولیه بالاتری بودند، به طوری که مطابق با نتایج این تحقیق به ترتیب Nezami و همکاران (2009) و Nezami و همکاران (2010 a) طی تحقیقات خود بر روی گندم و جو بیان کردند که سرما سبب کاهش ارتفاع گیاه می‌شود. در آزمایش دیگری Siahmerghouie و همکاران (2011) گزارش کردند که با کاهش دما از صفر به ۱۵- درجه سانتی‌گراد، ارتفاع گیاه رازیانه روند کاهشی داشت.

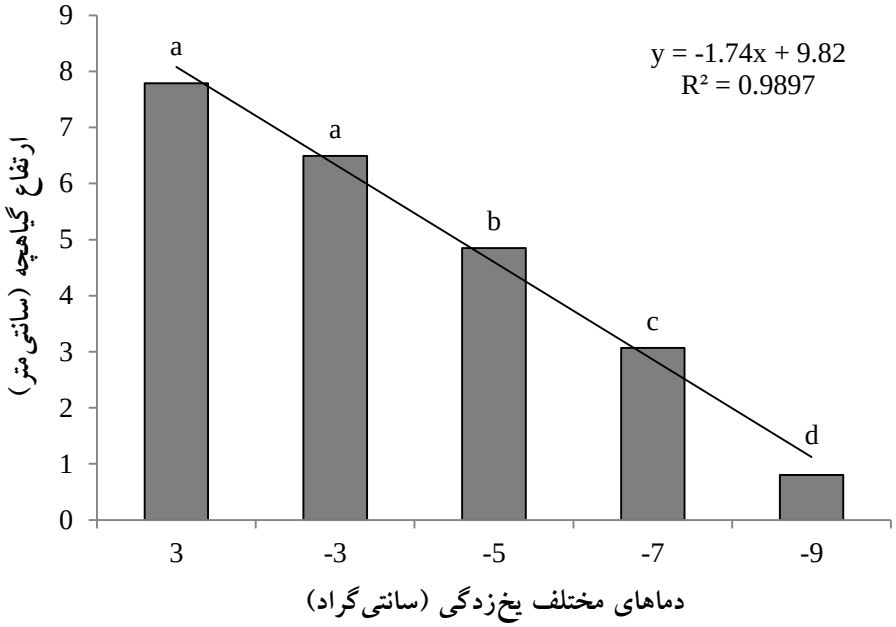
جدول ۵- میانگین ارتفاع گیاهچه (سانتی‌متر) تحت دماهای مختلف یخزدگی در ژنوتیپ‌های گندم پس از دو هفته بازیابی در گلخانه

Table 5- Average of seedling height (cm) under different freezing temperatures in wheat genotypes after two weeks of recovery in greenhouse

ژنوتیپ‌های گندم Wheat genotypes	ارتفاع گیاهچه در دماهای مختلف یخزدگی (سانتی‌گراد) seedling height under different freezing temperatures							
	+3	-3	*کاهش (%)	-5	کاهش (%)	-7	کاهش (%)	-9	کاهش (%)
بهار Bahar	8.1	6.8 ± 0.4	16.1	4.5 ± 1.3	44.7	4.8 ± 1.5	40.1	1.7 ±0.9	79.3
پارسی Parsi	10.1	8.8 ± 0.7	12.9	6.3 ±1.9	37.3	1.9 ± 1.1	80.9	0.0 ± 0.0	100
پیشتاز Pishtaz	4.1	2.8 ± 0.8	31.9	0.0 ± 0.0	100	0.0 ± 0.0	100	0.0 ± 0.0	100
پیشگام Pishgam	5.3	4.0 ± 0.3	24.5	4.8 ± ۰0.5	8.8	2.8 ± 1.0	46.5	2.4 ± 1.4	54.4
چمران Chamran	7.9	6.6 ± 0.2	16.4	4.2 ± 0.1	46.9	4.9 ± 1.4	37.6	0.7 ± 0.4	91.2
زرین Zarin	8.2	6.9 ± 0.3	15.9	7.3 ± 0.2	11.5	4.0 ±1.2	51.2	0.0 ± 0.0	100
سیوند Sivand	8.9	7.6 ± 0.3	14.6	5.2 ± 0.4	41.8	2.3 ± 1.3	73.7	0.0 ± 0.0	100
مرودشت Marvdasht	9.7	8.4 ± ۰/۵	13.4	6.6 ± 0.4	32.5	3.7 ± 1.1	62.3	1.6 ± 0.9	83.7

*بیانگر میزان درصد کاهش صفت مورد مطالعه هر یک از دماهای یخزدگی نسبت به دمای ۳+ درجه سانتی‌گراد است.

اشتباه معیار ± میانگین.



شکل ۴- مقایسه میانگین ارتفاع گیاهچه تحت دماهای مختلف یخزدگی در مرحله گیاهچه‌ای
Figure 4- Mean comparison of seedling height under different freezing temperatures in seedling stage

تعداد برگ در گیاهچه: بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر دما و ژنوتیپ بر وزن تعداد برگ تولیدی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که در دمای ۳- درجه سانتی‌گراد بیشترین تعداد برگ مربوط به ژنوتیپ مرودشت بود و کمترین آن در ژنوتیپ پیشتاز مشاهده شد (جدول ۶). در دمای ۵- درجه سانتی‌گراد ژنوتیپ پیشتاز به علت عدم بقاء گیاهچه، برگی نداشت، در دمای ۷- سانتی‌گراد نیز تنزل تعداد برگ در گیاهچه مشاهده شد و در نهایت در دمای ۹- درجه سانتی‌گراد، ژنوتیپ‌های بهار، پیشگام و مرودشت بیشترین و ژنوتیپ چمران کمترین تعداد برگ تولیدی را داشتند (جدول ۶). نتایج نشانگر این امر بود که تعداد برگ در گیاهچه به میزان ۳۳/۲، ۴۴/۴، ۶۶/۷ و ۸۸/۸ درصد به ترتیب تحت دماهای ۳-، ۵-، ۷- و ۹- کاهش یافت (شکل ۵).

در این ارتباط Chen و همکاران (1983) با اعمال تیمارهای یخزدگی بر روی گندم در شرایط کنترل شده بیان کردند که با کاهش دمای یخزدگی از ۵- به ۱۰- درجه سانتی‌گراد میزان رشد مجدد اندام‌های هوایی در حدود ۲۰ درصد کاهش یافت. همچنین بر روی گیاه رازیانه گزارش شده که با کاهش دما، تعداد برگ در بوته کاهش یافت (Siahmerghouie *et al*., 2011). در بررسی تحمل به یخزدگی تریتیکاله مشخص گردید که اثر دما بر تعداد برگ معنی‌دار است و با کاهش دما، تعداد برگ نیز کاهش می‌یابد به طوری که در دمای ۸- و ۱۲- درجه سانتی‌گراد تعداد برگ به ترتیب ۱۰/۴ و ۲۲/۹ درصد نسبت به شاهد تنزل پیدا می‌کند (Nezami *et al*., 2010 c). کاهش تعداد برگ گیاه مینای چمنی در اثر افت دما توسط Moosavi و همکاران (2011) نیز گزارش شده است.

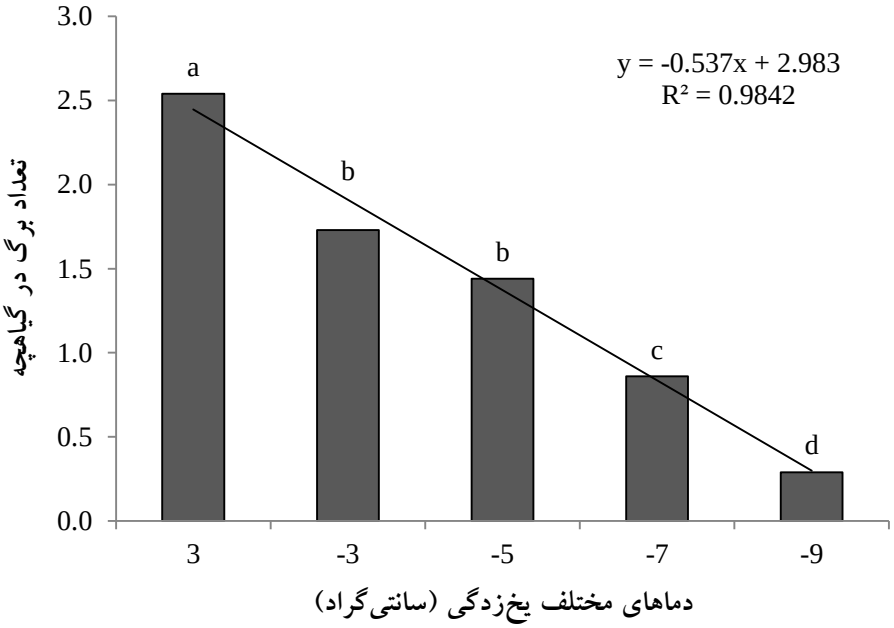
جدول ۶- میانگین تعداد برگ در گیاهچه تحت دماهای مختلف یخزدگی در ژنوتیپ‌های گندم پس از دو هفته بازیابی در گلخانه

Table 6- Average of number of leaves per seedling under different freezing temperatures in wheat genotypes after two weeks of recovery in greenhouse

ژنوتیپ‌های گندم Wheat genotypes	تعداد برگ در گیاهچه در دماهای مختلف یخزدگی (سانتی‌گراد) number of leaves per seedling under different freezing temperatures								
	+3	-3	*کاهش (٪)	-5	کاهش (٪)	-7	کاهش (٪)	-9	کاهش (٪)
بهار Bahar	2.8	2.0 ± 0.2	28.6	1.4 ± 0.4	48.4	1.3 ± 0.4	52.4	0.7 ± 0.4	76.2
پارسی Parsi	2.9	2.1 ± 0.1	27.7	2.1 ± 0.8	28.3	0.5 ± 0.3	82.7	0.0 ± 0.0	100
پیشتاز Pishtaz	1.6	0.8 ± 0.2	50.7	0.0 ± 0.0	100	0.0 ± 0.0	100	0.0 ± 0.0	100
پیشگام Pishgam	2.2	1.3 ± 0.1	37.5	1.8 ± 0.1	16.7	1.3 ± 0.4	37.5	0.7 ± 0.4	68.8
چمران Chamran	2.5	1.7 ± 0.1	32.4	1.5 ± 0.2	39.2	1.2 ± 0.4	50.5	0.3 ± 0.2	86.5
زرین Zarin	2.5	1.7 ± 0.1	32.1	1.7 ± 0.2	33.2	1.0 ± 0.3	59.9	0.0 ± 0.0	100
سیوند Sivand	2.6	1.8 ± 0.1	31.4	1.7 ± 0.3	34.6	0.3 ±0.2	86.9	0.0 ± 0.0	100
مرودشت Marvdasht	3.2	2.4 ± ۰0.1	24.9	1.4 ± 0.2	55.1	1.2 ± 0.4	63.7	0.7 ± 0.4	79.3

*بیانگر میزان درصد کاهش صفت مورد مطالعه هر یک از دماهای یخزدگی نسبت به دمای ۳+ درجه سانتی‌گراد است.

اشتباه معیار ± میانگین

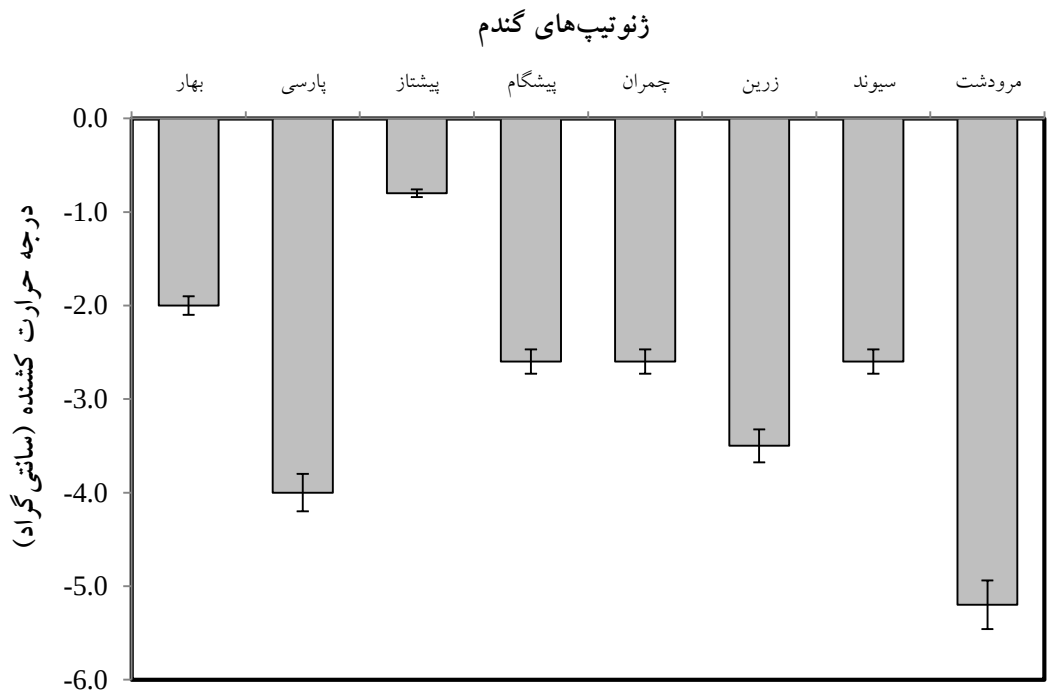


شکل ۵- مقایسه میانگین تعداد برگ در گیاهچه تحت دماهای مختلف یخزدگی در مرحله گیاهچه‌ای

Figure 5- Mean comparison of number of leaves per seedling under different freezing temperatures in seedling stage

درجه حرارت کشنده (LT_{50}): نتایج حاصل از شکل ۶ نشان داد که ژنوتیپ‌های مرودشت، پارسی و زرین به ترتیب با ۵/۲-، ۴- و ۳/۵- درجه سانتی‌گراد بیشترین توان مقاومت به یخزدگی را داشتند و ژنوتیپ پیشتاز با ۰/۸- درجه سانتی‌گراد کمترین میزان مقاومت به یخزدگی را داشت. بنابراین ژنوتیپ پیشتاز به‌عنوان ژنوتیپ حساس در بین بقیه ژنوتیپ‌های مورد بررسی شناسایی گردید. این نتایج نشانگر تفاوت ژنتیکی وسیع در بین ژنوتیپ‌های گندم است که امکان انتخاب آنها را از نظر مقاومت به سرما محیا می‌کند.

باتوجه به اینکه طوقه در غلات (نظیر گندم) کلیدی‌ترین قسمت گیاه است و رشد مجدد آن پس از سرما نقش حیاتی در زنده ماندن گیاه دارد، بنابراین بهترین روش برآورد ماندگاری گندم در شرایط مزرعه تعیین درجه حرارت کننده (LT_{50}) بر اساس بافت طوقه است (Mirzaei Asl *et al*., 2002). در این ارتباط سایر محققین نیز در بررسی ارقام و ژنوتیپ‌های مختلف گندم تفاوت محسوسی را در بین آنها از نظر درجه حرارت کشنده (LT_{50}) گزارش کردند، به طور مثال Azizi و همکاران (2007) در بررسی تحمل به سرمای ۱۴ رقم گندم بیان کردند که ارقام گلنسون و مارون به ترتیب با درجه حرارت کشنده معادل ۱۵/۸- و ۳/۷- به‌عنوان ارقام مقاوم و حساس بودند. در آزمایش دیگر تفاوت معنی‌داری از نظر درجه حرارت کشنده ارقام جو (Nezami *et al*., 2010 a) و علف چمنی (Nezami *et al*., 2016) گزارش شد. احتمالاً این تفاوت در ژنوتیپ‌های گندم و جو از نظر واکنش متفاوت به تنش سرما بخاطر مکانیسم‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی درگیر در آنها برای کاهش اثرات مخرب یخزدگی است.



شکل ۶- درجه حرارت کشنده (LT_{50}) در ژنوتیپ‌های مختلف گندم
Figure 6- Lethal Temperature 50 (LT_{50}) in different wheat genotypes

جدول ۷- ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه در گیاهچه‌های گندم
Table 7. Correlation coefficients between studied traits in wheat seedlings

صفات	درصد بقاء Survival percent	وزن خشک Dry weight	ارتفاع Height	تعداد برگ Leaf number
درصد بقاء Survival percent	1			
وزن خشک Dry weight	0.84 **	1		
ارتفاع height	0.81 **	0.94 **	1	
تعداد برگ Leaf number	0.88 **	0.95 **	0.96 **	1

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

نتیجه‌گیری

به طور کلی، نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که آزمون یخزدگی در شرایط کنترل شده و اندازه‌گیری درصد بقاء و صفات مرفولوژیکی می‌تواند معیار قابل قبولی را جهت تخمین خسارت ناشی از سرما فراهم آورد. همچنین نتایج نشانگر این مطلب است که با کاهش بقاء گیاهچه در اثر افت دما، میزان وزن خشک، ارتفاع گیاهچه و تعداد برگ در گیاهچه‌های تولیدی نیز کاهش یافت. با وجود این بسته به شدت تنش یخزدگی واکنش ژنوتیپ‌های گندم مورد مطالعه متفاوت بود به طوری که ژنوتیپ مرودشت با داشتن بیشترین توان مقاومت به یخزدگی (۵/۲- درجه سانتی‌گراد) در بین بقیه ژنوتیپ‌های گندم از نظر وزن خشک، ارتفاع و تعداد برگ گیاهچه نیز برتری داشت و ژنوتیپ پیشتاز در بین بقیه ژنوتیپ‌های مورد بررسی ژنوتیپی فوق‌العاده حساس به یخزدگی شناسایی شد. در نهایت جهت حصول اطمینان از تحمل به سرمای ژنوتیپ‌های یاد شده، انجام آزمایش در شرایط مزرعه پیشنهاد می‌گردد.

.

سپاسگزاری

بودجه این تحقیق توسط دانشگاه رازی تأمین گردید که بدینوسیله تشکر و قدردانی می‌گردد

منابع

FAO. 2016. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Statistical database. Available online: www.fao.org

Alisoltani, A., Alizadeh, H., Mahfoozi, S. and Khayalparast, F. 2012. The effect of short and long terms cold acclimation on biochemical characteristics of spring and winter wheat (*Triricum aestivum* L.) cultivars. Iranian Journal of Crop Sciences, 14(1): 108-120. (In Persian).

Amir-Ghasemi, T. 2002. Frosting of plants: Frost danger, prediction and protection. Ayandeghan Publishing, Iran. 124 p. (In Persian).

Anjum, N.A., Chan, M.T. and Umar, S. 2010. Ascorbate-glutathione pathway and stress tolerance in plants. In: Fotopoulos, V., Ziogas, V., Tanou, G. and Molassiotis, A. (eds.), Involvement of AsA/DHA and GSH/GSSG Ratios in Gene and Protein Expression and in the Activation of Defence Mechanisms under Abiotic Stress Conditions. Springer Dordrecht Heidelberg. pp. 265-302.

Apostolova, P., Yordanova, R. and Popova, L. 2008. Response of antioxidative defence system to low temperature stress in two wheat cultivars. General and Applied Plant Physiology, 34(3-4): 281-294.

Arzani, A. 2011. Breeding field crops (Translation). By: Sleper, D. A. and Poehlman, J. M., 4th edition. Isfahan University of Technology Publications, Iran. 628 p. (In Persian).

Azizi, H. 2005. Evaluation of cold tolerance in wheat under field and controlled conditions. M.Sc. Thesis. Agriculture Faculty, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian).

Azizi, H. Nezami, A., Khazaee, H.R. and Nassiri, M. 2008. Evaluation of cold tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under field conditions. Iranian Journal of Field Crops Research, 6(2): 343-352. (In Persian).

Azizi, H., Nezami, A., Nassiri, M. and Khazaee, H.R. 2007. Evaluation of cold tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under controlled conditions. Iranian Journal of Field Crops Research, 6(1): 109-120. (In Persian).

Barzan, Z., Dehdari, M. and Amiri Fahliani, R. 2018. Evaluation of cold tolerance in rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes at seedling stage and its association with microsatellite markers. Journal of Crop Production and Processing, 8(2): 33-45. (In Persian).

Bridger, G.M., Falk, D.E., Mckersie, B.D. and Smith, D.L. 1996. Crown freezing tolerance and field winter survival of winter cereals in eastern Canada. Crop Science, 36(1): 150-157.

Chen, T.H., Gusta, L.V. and Fowler, D.B. 1983. Freezing injury and root development in winter cereals. Plant Physiology, 73: 773-777.

Cyril, J., Duncan, R.R. and Baird, W.V. 1998. Changes in membrane fatty acids in cold-acclimated turf grass. Journal of Horticultural Science, 33: 453-465.

Dashti, M., Kafi, M., Tavakkoli, H., Mirza, M. and Nezami, A. 2015. Effects of freezing stress on morpho-physiological indices and chlorophyll fluorescence of *Salvia leriifolia* Benth. seedlings. Journal of Plant Researches (Iranian Journal of Biology), 25(5): 962-973. (In Persian).

Dionisio-Sese, M.L. and Tobita, S. 1998. Antioxidant responses of rice seedlings to salinity stress. Plant Science, 135: 1-9.

Fowler, D.B. and Gusta, L.V. 1979. Selection for winter hardiness in wheat. I. Identification of genotypic variability. Crop Science, 19: 769-772.

Fowler, D.B., Gusta, L.V. and Tyler, N.J. 1981. Selection for winter hardiness in wheat. III. Screening methods. Crop Science, 21: 896-901.

Fridovich, I. 1986. Biological effects of the superoxide radical. Archives of Biochemistry and Biophysics, 247: 1-11.

Fry, J.D., Lang, N.S., Clifton, R.G.P. and Maier, F.P. 1993. Freezing tolerance and carbohydrate content of low temperature-acclimated and non-acclimated centipede grass. Crop Science, 33: 1051-1055.

Griffith, M. and McIntyre, C.H. 1993. The interrelationship of growth and frost tolerance in winter rye. Physiologia Plantarum, 87: 335-344.

Gusta, L.V., Fowler, D.B. and Tyler, N.J. 1982. Factors influencing hardening and survival in winter wheat. In: Li, P.H. and Sakai, A. (eds.), Plant Cold Hardiness and Freezing Stress, Mechanisms and Crop Implications. Vol. 2, Academic Press, London. pp. 23-40.

Gusta, L.V., O'Connor, B.J., Gao, Y.P. and Jana, S. 2001. A re-evaluation of controlled freeze-test and controlled environment hardening conditions to estimate the winter survival potential of hardy winter wheat. Canadian Journal of Plant Science, 81: 241-246.

Hassibi, P., Moradi, F. and Nabipour, M. 2008. Effect of low temperature on antioxidant mechanisms in sensitive and tolerance (*Oryza sativa* L.) genotypes in seedling stage. Iranian Journal of Crop Sciences, 10(3): 262-280. (In Persian).

Jian, L.C., Li, J.H. and Chen, W.P. 1999. Cytochemical localization of calcium and Ca^{+2}_ATPase activity in plant cells under chilling stress: A comparative study between the chilling sensitive maize and the chilling insensitive winter wheat. Plant and Cell Physiology, 10: 1061-1071.

Mirfakhraii, R., Mardi, M., Talei, A., Mahfoozi, S. and Zali, A. 2010. Identification of quantitative trait loci associated with low-temperature tolerance in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). Iranian Journal of Crop Science, 41: 105-112. (In Persian).

Mirmohammad Meybodi, A.M. and Tarkesh Esfahani, S. 2005. Physiology and breeding aspects of cold stress in crops. Golbon Publications, Isfahan, Iran. 336 p. (In Persian).

Mirzaie Asl, A., Yazdi Samadi, B., Zali, A. and Sadeghian Motahhar, Y. 2002. Measuring cold resistance in wheat by laboratory tests. Journal of Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources), 6(1): 177-186. (In Persian).

Moosavi, M.J., Nezami, S., Izadi Darbandi, E., Nezami, A., Yousefsani, M. and Keykha Akhar, F. 2011. Evaluation of freezing tolerance of English daisy (*Bellis perennis*) under controlled conditions. Journal of Water and Soil, 25(2): 380-388. (In Persian).

Nazeri, M., Ahmadi, A., Tabeei, M. and Kohestani, B. 2006. Study of frost tolerance in promising wheat genotypes using crown freezing method. Iranian Journal of Field Crops Research, 4(1): 155-168. (In Persian).

Nezami, A., Ahmadi Lahijani, M.J., Shojaei Noferest, K., Rezaei, J. and Fazeli, F. 2016. Freezing tolerance of grass species under controlled conditions. Journal of Plant Production Research, 23(1): 89-106. (In Persian).

Nezami, A., Bagheri, A., Rahimian, H., Kafi, M. and Nasiri Mahallati, M. 2007 b. Evaluation of freezing tolerance of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes under controlled conditions. Journal of Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources), 10(4): 257-269. (In Persian).

Nezami, A., Borzooei, A., Jahani, M., Azizi, M. and Sharif, A. 2007 a. Electrolyte leakage as an indicator of freezing injury in colza (*Brassica napus* L.). Iranian Journal of Field Crops Research, 5(1): 167-175. (In Persian).

Nezami, A., Khazaei, H.R., Azizi, H. and Najibnia, S. 2009. Effects of acclimation on wheat (*Triticum aestivum* L.) cold tolerance under laboratory conditions. Journal of Crop Production, 2(4): 55-70. (In Persian).

Nezami, A., Nabati, J., Borzooei, A., Kamandi, A., Masomi, A. and Salehi, M. 2010 a. Evaluation of freezing tolerance in barley (*Hordeum vulgar* L.) cultivars at seedling stage under controlled conditions. Environmental Stresses in Crop Sciences, 3(1): 9-22. (In Persian).

Nezami, A., Rezaei, J. and Alizadeh, B. 2010 b. Evaluation of cold stress tolerance in several species of grasses by electrolyte leakage test. Journal of Water and Soil, 24(5): 1019-1026. (In Persian).

Nezami, A., Soleimani, M.R., Ziaee, M., Ghodsi, M. and Bannayan Aval, M. 2010 c. Evaluation of freezing tolerance of hexaploid triticale genotypes under controlled conditions. Notulae Scientia Biologicae, 2(2): 114-120.

Saeidi, A., Akbari, A., Bakhtiari, S., Mehrvar, M.R. and Nategh, Z. 2005. Characteristics of wheat bread, durum wheat, barley, triticale and rye. Introduced by the cereal sector (1930-2003). Agricultural Education Publishing, Iran. 103 p. (In Persian).

Saeidi, M., Eliasi, P., Abdoli, M. and Sasani, S. 2012. Freezing tolerance of wheat cultivars at the early growing season after winter. African Journal of Biotechnology, 11(17): 4045-4052.

Sarhadi, E., Mahfoozi, S., Majidi Hervan, E. and Amini, A. 2012. Determination of vernalization requirement and cold tolerance in two bread wheat cultivars. Iranian Journal of Crop Sciences, 14(1): 29-43. (In Persian).

Sarmadnia, G. 1993. Importance of environmental stresses in agronomy. Key-Note papers, First Iranian Congress of Crop Production and Breeding. Karaj, Iran. pp. 167-168. (In Persian).

Siahmerghouie, A., Azizi, G., Nezami, A. and Jahani-Kandari, M. 2011. Investigation of laboratory freeze tolerance of field grown fennel (*Fueniculum vulgar*) ecotypes. Journal of Horticultural Science, 25(1): 64-72. (In Persian).

Vitamvas, P. and Prasil, L.T. 2008. WCS120 protein family and frost tolerance during cold acclimation, deacclimation and reacclimation of winter wheat. Plant Physiology and Biochemistry, 46(11): 970-976.

Wang, C.Y. and Adams, D.O. 1980. Ethylene production by chilled cucumbers (*Cucumis sativus* L.). Plant Physiology, 66: 841-843.

Yin, L., Wang, C., Chen, Y., Yu, C., Cheng, Y. and Li, W. 2009. Cold stratification, light and high seed density enhance the germination of *Ottelia alismoides*. Aquatic Botany, 90: 85-88.

Yong, Z., Hao-Ru, T. and Ya, L. 2008. Variation in antioxidant enzyme activities of two strawberry cultivars with short-term low temperature stress. World Journal of Agricultural Sciences, 4(4): 458-462.

Yoshida, M., Abe, J., Moriyama, M. and Kuwabara, T. 1998. Carbohydrate levels among winter wheat cultivars varying in freezing tolerance and snow mold resistance during autumn and winter. Physiologia Plantarum, 103: 8-16.

Cold tolerance evaluation in some bread wheat genotypes in seedling stage under laboratory conditions

Mohsen Saeidi[1], Majid Abdoli[2*] & Parvin Elyasi[3]

1. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran.
2*. Corresponding author, Ph.D. of Crop Physiology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran.
3. M.Sc. of Biotechnology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran.
Email: majid.abdoli64@yahoo.com

Received: 2019/ 07/ 25 **Accepted:** 2019/ 08/ 26

Abstract

Sever coldness causes damage to the wheat and affect its growth and yield. Therefore, this experiment was conducted in controlled conditions to investigate freezing tolerance of eight wheat genotypes. Combination of temperature (+3, -3, -5, -7 and -9 °C) and genotypes (Bahar, Parsi, Pishtaz, Pishgam, Chamran, Zarin, Sivand and Marvdasht) as a factorial based on completely randomized design with three replications. Survival percentage, dry weight, number of leaves per seedling and seedling height were measured two weeks after freezing in the glasshouse. The results showed that with decreasing seedling survival due to temperature drop, dry weight, height and number of leaves in seedlings also decreased. The genotype of Marvdasht had the highest freezing resistance (-5.2 °C) was superior to other wheat genotypes in terms of dry weight, seedling height and number of leaves per seedling. Parsi and Zarin genotypes were in the next rank. While the Pishtaz genotype was a highly sensitive genotype to freezing. According to the results of this research, it can be recommended that in the regions with the probability of frostbite, it is better to avoid cultivating the Pishtaz genotype and instead use Marvdasht, Parsi and Zarin genotypes.

Key words: *Plant height, Survival percent, Cold, Wheat, Dry weight*