

ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌های گندم به تنش سرما در مرحله ظهور سنبله با استفاده از شاخص‌های فیزیولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد

مهرداد طاوسی^{۱*}، احمد نادری^۲ و غلامعباس لطفعلی آینه^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت، گروه کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، اهواز

۲. دانشیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

۳. مربی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۲/۳۰ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۱۲/۱۲)

چکیده

کاهش دما در ماه‌های دی و بهمن در خوزستان یک پدیده غالب اقلیمی است که سبب خسارت دیدن گیاه و عملکرد می‌شود. به منظور مطالعه اثر تنش سرما در مرحله ظهور سنبله بر وزن دانه در سنبله اصلی، اجزای آن و برخی صفات فنولوژیکی و فیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های گندم، این تحقیق در سال ۱۳۹۲ تحت شرایط کنترل شده گلخانه با پنج ژنوتیپ (ارقام چمران، ویریناک، استار و کرخه و لاین M-83-17) و چهار دمای محیط (بدون سرما، +۳، صفر، -۳- درجه سانتی‌گراد) به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان اجرا شد. زمان رسیدگی فیزیولوژیکی، ارتفاع بوته و طول سنبله، وزن دانه در سنبله اصلی و اجزای آن شامل تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن هزاردانه و شاخص‌های کلروفیل فلورسانس F_m/F_o و F_v/F_m ارزیابی شدند. نتایج نشان داد اثر تنش سرما بر زمان از سبز شدن تا رسیدگی فیزیولوژیکی، تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سنبله اصلی و شاخص F_v/F_m معنی‌دار بود. بیشترین وزن دانه در سنبله اصلی در شرایط بدون تنش به لاین M-83-17، در تنش -۳- و صفر درجه سانتی‌گراد به رقم چمران و در تنش سرمای +۳- درجه سانتی‌گراد به رقم ویریناک تعلق داشت. شاخص F_v/F_m در تنش صفر درجه، بیشترین اختلاف را نسبت به وضعیت قبل از تنش داشت. لاین M-83-17 به عنوان یک ژنوتیپ برتر پتانسیل عملکرد بیشتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشت، در حالی که رقم چمران رقمی با قابلیت ژنتیکی بیشتر برای تحمل تنش ارزیابی شد.

واژه‌های کلیدی: تنوع ژنتیکی، ظهور سنبله، فنولوژیکی، فیزیولوژیکی، گندم.

مقدمه

سرما یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده محدودکننده رشد، تولید و توسعه گندم است. خسارت تنش سرما در ژنوتیپ‌های گندم به دو شکل روی می‌دهد: سرمازدگی^۱ که در دمای بیش از صفر درجه سانتی‌گراد اتفاق می‌افتد و یخ‌زدگی^۲، که در دما -۳ تا -۵- درجه سانتی‌گراد رخ می‌دهد (Saulescu & Brawn, 2001). وقتی دما به اندازه کافی تا سرمازدگی

گندم یکی از گیاهان زراعی مهم و راهبردی به‌شمار می‌آید و کشت آن در مناطقی با شرایط آب‌وهوایی متنوع امکان‌پذیر است. با وجود دامنه وسیع سازگاری ژنوتیپ‌های گندم به شرایط متنوع آب‌وهوایی، خسارت ناشی از برخی پدیده‌های اقلیمی از جمله سرما از عوامل کاهش تولید این گیاه ارزیابی می‌شود.

علاوه بر آن وقوع یخبندان یک تا پنج روز در استان خوزستان در محدوده زمانی بین دی ماه تا اواخر اسفند که همزمان با مراحل رشد طولی ساقه و ظهور سنبله است، از خصوصیات اقلیمی این استان به شمار می‌رود (Lotfeali ayene *et al.*, 2012). ارزیابی ژنوتیپ‌های گندم بهاره در شرایط اقلیمی خوزستان از نظر تحمل به سرما و مطالعه روابط بین برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و فنولوژیکی با عملکرد دانه و اجزای آن برای تنظیم مدیریت‌های زراعی به منظور اجتناب از برخورد با تنش سرما، و مطالعه تنوع ژنوتیپ‌های گندم از نظر صفات درگیر با تحمل به این تنش از اهمیت زیادی برخوردار است. هدف از این تحقیق بررسی خصوصیات فیزیولوژیکی و فنولوژیکی و عملکرد دانه و اجزای آن در ژنوتیپ‌های گندم در شرایط آب‌وهوایی خوزستان است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۱۳۹۲ به صورت گلدانی در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب کاملاً تصادفی با سه تکرار صورت گرفت. عوامل این تحقیق شامل چهار دمای محیط (بدون سرما، +۳، صفر، -۳ درجه سانتی‌گراد) و پنج ژنوتیپ گندم (ارقام چمران، ویریناک، استار، کرخه و لاین M-83-17) بودند. بذر هر ژنوتیپ در گلدان‌هایی به قطر ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر کشت شد. خاک گلدان‌ها از خاک مزرعه و ماسه به نسبت ۱:۳ (سه واحد رس و یک واحد ماسه) بود. در هر گلدان تعدادی بذر در عمق ۲-۳ سانتی‌متری کشت شد که با تنک کردن در مرحله پنجه‌زنی پنج بوته باقی ماند. برای اعمال تنش سرما، گلدان‌های هر کدام از ژنوتیپ‌ها در مرحله ظهور سنبله، به مدت چهار ساعت در شرایط تنش سرمای مورد نظر در سردخانه سابکول^۱ ساخت شرکت عایق‌بارد^۲ با قابلیت تنظیم دما در دامنه +۱۶ تا -۲۰ سانتی‌گراد قرار داده شدند. سنجش فلورسانس از کلروفیل شامل فلورسانس حداقل^۳ (F₀)، فلورسانس حداکثر^۴ (F_m) و حداکثر ظرفیت فتوشیمیایی فتوسیستم

کاهش یابد، بقا و رشدونمو گیاهان زراعی زمستانه نظیر گندم تحت تأثیر قرار می‌گیرد و عملکرد کاهش می‌یابد (Mahajan & Tuteja, 2005). خسارت به برگ، کاهش سطح برگ، تأخیر رشد و ضعف گیاه از جمله آثار تنش سرماست (Saulescu & brawn, 2001; Foyer *et al.*, 2002; Ahmed & Farooq, 2013). به دلیل تفاوت در دامنه تحمل هر یک از مراحل رشد گیاه، دوام و شدت تنش سرما و نوع ژنوتیپ‌های گندم، نمی‌توان دمای مشخصی را به عنوان دمای تنش‌زا برای همه مراحل رشدونمو در ژنوتیپ‌های مختلف گندم در نظر گرفت (Timmermans *et al.*, 2007; Farooq *et al.*, 2008). گزارش شده است در ژنوتیپ‌های گندم، فازهای زایشی به تنش دما حساس‌ترند (Farooq *et al.*, 2008; Chakrabarti *et al.*, 2011) و در بین این فازها، بیشترین حساسیت در اثر تنش سرما به مرحله گلدهی منتسب شده است (Thomashow, 2001; Sofalian *et al.*, 2006).

در شرایط تنش، به دلیل قطع ارتباط بین پلاستوکوئینون و سایتوکروم، جریان انتقال الکترون از فتوسیستم II به فتوسیستم I محدود شده و با تشدید شرایط محیطی در اثر تنش‌هایی نظیر سرما، گرما و کمبود آب قطع می‌شود که در نتیجه آن الکترون برانگیخته در فتوسیستم II به حالت پایدار اولیه خود باز می‌گردد و انرژی اولیه دریافتی توسط الکترون بازتابش می‌شود. به این پدیده که معیاری از واکنش گیاه به شرایط تنش است، فلورسانس کلروفیل گفته می‌شود. صفات مختلف فیزیولوژیکی برای ارزیابی شدت تنش و میزان تحمل گیاهان زراعی از جمله گندم به شرایط تنش سرما پیشنهاد شده است. از جمله این صفات می‌توان به شاخص فلورسانس کلروفیل، میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، و حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم اشاره کرد (Govindjee, 1995; Huang *et al.*, 2006; Hajiboland & Habibi, 2011). اما عملکرد دانه و اجزای آن به عنوان هدف اصلی زراعت از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند.

در خوزستان در ارقام گندم بهاره که در پاییز کشت می‌شوند، از نظر ژنتیکی تحمل تنش سرما در تیپ‌های بهاره نسبت به تیپ‌های زمستانه و بینابین کمتر است.

1. SAB-COOL

2. AYEGBARD

3. Minimum chlorophyll Florescence

4. Maximum chlorophyll Florescence

تحقیقات قبلی و در شرایط مزرعه‌ای گزارش شد، بسیار کمتر بود (Asadollah-zadeh *et al.*, 2010). همچنین کاهش شدید ارتفاع گیاه، طول سنبله و عملکرد دانه در شرایط کشت گلدانی در دو لاین و جمعیت نوترکیب حاصل از تلاقی آنها در مقایسه با شرایط مزرعه‌ای گزارش شد (Chalish & Houshmand, 2011).

در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی، لاین M-83-17 از نظر تعداد سنبلچه در سنبله و طول سنبله از سایر ژنوتیپ‌ها برتر بود، بیشتر بودن طول سنبله در این لاین را می‌توان به تعداد بیشتر سنبلچه در سنبله نسبت داد، از نظر ارتفاع گیاه رقم چمران بیشترین میانگین این صفت را به خود اختصاص داد (جدول ۲). ارتفاع گیاه صفتی است که خود بر این دو صفت تعداد میانگه در ساقه و میانگین طول میانگه است. در بین این دو صفت، تعداد میانگه‌ها بیشتر تحت کنترل خصوصیات ژنتیکی است، در حالی که طول میانگه تحت تأثیر شرایط محیطی قرار می‌گیرد و ممکن است تحت تأثیر تنش‌های محیطی از جمله تنش سرما، کاهش یابد (Saleem *et al.*, 2005; Yao *et al.*, 2011). ارتفاع و طول سنبله در ژنوتیپ‌های گندم در شرایط تنش سرما گزارش شده بود (Inamullah *et al.*, 2007). نتایج مشابهی در خصوص اثر معنی‌دار تنش سرما بر خصوصیات رشد و عملکرد در ژنوتیپ‌های گندم نیز در تحقیقات گذشته به دست آمد (Guy *et al.*, 1992).

ارزیابی میانگین صفات در اثر متقابل تنش سرما×ژنوتیپ نشان داد که اگرچه تنش دما سبب برخی تغییرات معنی‌دار در روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی شد (جدول ۳)، این تغییرات در ژنوتیپ‌ها و در دماهای مختلف، روند یکسانی نداشت. با وجود برخی تفاوت‌ها، با توجه به اینکه گلدان‌ها پس از تجربه تنش، به شرایط بدون تنش منتقل شدند، تفاوت‌های در مدت زمان از ظهور سنبله تا رسیدگی فیزیولوژیکی را نمی‌توان به اثر تنش مرتبط دانست. اگرچه تنش سرما سبب کاهش تعداد دانه در سنبله شد، روند کاهش این صفت در برخی ارقام متناسب با کاهش دما نبود؛ اما در همه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، تعداد دانه در سنبله در دماهای صفر و ۳- درجه سانتی‌گراد در مقایسه با شاهد و ۳+ درجه سانتی‌گراد کاهش نشان داد (جدول ۴). کاهش شدید در تعداد دانه در سنبله را می‌توان

II (F_v/F_m) با استفاده از دستگاه کلروفیل فلوریمتر (استرس‌متر) مدل OS30P ساخت کشور هلند قبل و بعد از اعمال تنش انجام گرفت (Kocheva *et al.*, 2004). تعداد روز از جوانه زدن تا رسیدگی فیزیولوژیکی، ارتفاع بوته و طول سنبله (بدون ریشک)، وزن دانه در سنبله اصلی و اجزای آن شامل تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه تعیین شد.

براساس میانگین وزن دانه در سنبله اصلی در شرایط بدون تنش و میانگین وزن دانه در سنبله اصلی در شرایط تنش، شاخص حساسیت به تنش^۲ و شاخص تحمل تنش^۳ برای هر ژنوتیپ به ترتیب از فرمول‌های ۱ و ۲ محاسبه شد:

$$SSI = [1 - (Y_{si}/Y_{pi})] / [1 - (Y'_{s}/Y'_{p})] \quad (1)$$

$$STI = (Y_{si} \times Y_{pi}) / (Y'_{p})^2 \quad (2)$$

در روابط بالا Y_{si} و Y_{pi} وزن دانه در سنبله اصلی ژنوتیپ نام به ترتیب در شرایط بدون تنش و تنش سرما و Y'_s و Y'_p میانگین وزن دانه در سنبله اصلی همه ژنوتیپ‌ها به ترتیب در شرایط بدون تنش و تنش سرما هستند. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها براساس حداقل اختلاف معنی‌دار با شاهد (LSD) با استفاده از نرم‌افزار MSTATC، ضرایب همبستگی و رگرسیون با استفاده از نرم‌افزار MINITAB و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

وزن دانه در سنبله اصلی و اجزای آن

نتایج نشان داد که از نظر وزن دانه در سنبله اصلی و اجزای آن، اثر تنش سرما بر تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه در سنبله اصلی معنی‌دار شد، تفاوت ژنوتیپ‌ها از نظر وزن دانه در سنبله اصلی و اجزای آن معنی‌دار بود، اثر متقابل تنش سرما×ژنوتیپ بر رسیدگی فیزیولوژیکی، تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سنبله اصلی و وزن هزارانه معنی‌دار شد (جدول ۱).

میانگین ارتفاع گیاه، طول سنبله و تعداد سنبلچه در سنبله در جدول ۲ نشان داده شده است. میانگین ارتفاع در شرایط اجرای این تحقیق که به صورت گلدانی صورت گرفته بود، در مقایسه با ارتفاع این ژنوتیپ‌ها که در

1. Quantum Yield of PSII

2. SSI: Stress Susceptibility Index

3. STI: Stress Tolerance Index

به عقیم شدن سنبلچه‌ها و گلچه‌ها در اثر تنش سرما نسبت داد. دماهای کشنده حتی در حد چند ساعت در مرحله ظهور سنبله که همزمان با تقسیمات میوزی و تشکیل اندام‌های زایشی است، می‌تواند سبب کاهش شدید تعداد دانه در سنبله شود. عقیم شدن سنبلچه‌ها و گلچه‌ها و در نتیجه کاهش تعداد دانه در سنبله و در پی آن عملکرد دانه در گندم در اثر تنش سرما گزارش شده است (Chakrabarti et al., 2011).

جدول ۱. تجزیه واریانس وزن دانه در سنبله اصلی و اجزای آن و برخی خصوصیات زراعی و فنولوژیکی براساس میانگین مربعات در تنش سرما در مرحله ظهور سنبله در گندم

منابع تغییرات	درجه آزادی	رسیدگی فیزیولوژیکی	طول سنبله	ارتفاع گیاه	تعداد سنبلچه در سنبله	تعداد دانه در سنبله	وزن دانه در سنبله اصلی	وزن هزاردانه
تنش دما (سرما)	۳	۱۱/۳۳**	۰/۸۵**	۱۵/۹۹**	۳/۵۹ ^{ns}	۰/۲۰**	۰/۰۱**	۱۱/۶۶ ^{ns}
ژنوتیپ	۴	۲۹/۲۰**	۱۴/۹۷**	۳۲/۰۰**	۱۴/۶۱**	۱/۰۳**	۰/۰۳**	۴۵۷/۳۵**
ژنوتیپ × تنش سرما	۱۲	۷/۴۸**	۰/۸۶ ^{ns}	۱۸/۲۶ ^{ns}	۳/۰۴ ^{ns}	۰/۰۵**	۰/۰۰۲**	۲۸/۵۷**
خطا	۴۰	۲/۰۱	۰/۴۷	۹/۷۹	۲/۴۹	۰/۰۱۸	۰/۰۰۱	۸/۷۱
ضریب تغییرات (%)	۱	۱	۱۰	۹	۱۴	۱۱	۲۱	۱۵

ns: غیرمعنی‌دار، **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۲. میانگین تعداد سنبلچه در سنبله، طول سنبله و ارتفاع گیاه در تیمار تنش و در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه گندم

تیمارها	تعداد سنبلچه در سنبله	طول سنبله بدون ریشک (سانتی‌متر)	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)
تنش سرما (oc)			
۳	۱۱ D	۶/۶ C	۳۶/۰ C
۰	۱۱ D	۶/۴ D	۳۵/۱ C
-۳	۱۱ D	۶/۷ C	۳۳/۵ C
شاهد	۱۲ C	۷/۰ C	۳۴/۶ C
LSD (/۵)	۱	۰/۵	۲/۳
LSD (/۱)	۲	۰/۷	۳/۱
ژنوتیپ			
رقم ویریناک	۱۱ D	۷/۴ C	۳۴/۷ C
رقم کرخه	۱۰ E	۴/۷ D	۳۲/۶ E
رقم استار	۱۰ E	۶/۷ C	۳۵/۰ C
لاین M-83-17	۱۳ B	۷/۲ C	۳۴/۵ D
رقم چمران	۱۲ C	۷/۲ C	۳۷/۲ C
LSD (/۵)	۱	۰/۶	۲/۶
LSD (/۱)	۲	۰/۷	۳/۵

C شاهد و بدون اختلاف با شاهد، A و B بیشتر از شاهد به ترتیب در سطح ۱ و ۵ درصد و D و E کمتر از شاهد به ترتیب در سطح ۵ و ۱ درصد.

و دمای +۳ درجه سانتی‌گراد به ترتیب لاین M-83-17 و رقم ویریناک، در تنش صفر درجه سانتی‌گراد رقم چمران و در تنش دمای -۳ درجه سانتی‌گراد لاین M-83-17 و ارقام چمران و ویریناک بیشترین وزن دانه در سنبله اصلی را به خود اختصاص دادند. بیشتر بودن وزن دانه در سنبله اصلی در شرایط مختلف اجرای این تحقیق در لاین M-83-17 نشان‌دهنده تحمل نسبی این

میانگین وزن دانه در سنبله اصلی در اثر متقابل تنش سرما × ژنوتیپ، به جز رقم ویریناک در دمای +۳ درجه سانتی‌گراد و رقم چمران در تنش دمای -۳ درجه سانتی‌گراد که از وزن دانه در سنبله اصلی در شاهد بدون تنش بیشتر بود، در سایر موارد میانگین این صفت با تجربه تنش دما در مرحله ظهور سنبله، نسبت به شاهد کاهش نشان داد (جدول ۳). در شرایط بدون تنش

این مطلب را به خوبی نشان داد (جدول ۹). با کاهش تعداد دانه در سنبله و با توجه به اینکه منابع فیزیولوژیکی شامل فتوسنتز جاری و توزیع مجدد ماده خشک از اندام‌های رویشی به دانه به تعداد کمتری دانه اختصاص می‌یابد، در شرایط مذکور وزن هزاردانه افزایش نشان می‌دهد. این یافته نشان داد که ارزیابی عملکرد دانه براساس وزن هزاردانه حتی ممکن است گمراه‌کننده باشد؛ به عبارت دیگر ارزیابی عملکرد دانه براساس وزن هزاردانه و مستقل از تعداد دانه در واحد سطح، قرین صحت نیست.

لاین به تنش، در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌های بررسی شده در این پژوهش است. برخی تغییرات ناهماهنگ و البته غیرمعنی‌دار در وزن دانه در ساقه اصلی با روند کاهش دما، برای مثال در رقم کرخه در دمای ۳- درجه سانتی‌گراد در مقایسه با شاهد را می‌توان به خطای آزمایشی نسبت داد. افزایش وزن هزاردانه در برخی از تیمارهای تنش در مقایسه با شاهد را می‌توان با رابطه منبع فیزیولوژیکی و مخزن فیزیولوژیکی تشریح و تفسیر کرد. ضریب همبستگی معنی‌دار و منفی بین دو صفت وزن هزاردانه و تعداد دانه در سنبله ($r = -0.73^{**}$) نیز

جدول ۳. میانگین عملکرد دانه و برخی اجزای آن در اثر متقابل تنش سرما ژنوتیپ در گندم

ژنوتیپ	تنش سرما (°C)	رسیدگی کامل روز	تعداد دانه در سنبله	وزن هزاردانه (گرم)	وزن دانه در ساقه اصلی (گرم)
رقم ویریناک	شاهد	۱۱۱ C	۱۸ E	۱۶/۵ C	۰/۴۲ C
	۳	۱۱۰ C	۲۴ C	۱۹/۹ C	۰/۵۸ C
	۰	۱۱۳ A	۱۷ E	۱۶/۶ C	۰/۳۱ E
	-۳	۱۱۱ C	۱۹ E	۱۵/۴ E	۰/۳۳ E
رقم کرخه	شاهد	۱۱۴ A	۱۰ E	۳۲/۷ A	۰/۳۱ E
	۳	۱۱۴ A	۴ E	۲۹/۷ A	۰/۱۶ E
	۰	۱۱۴ A	۳ E	۳۳/۰ A	۰/۱۲ E
	-۳	۱۱۴ A	۴ E	۲۴/۴ A	۰/۱۵ E
رقم استار	شاهد	۱۱۴ A	۲۳ D	۱۴/۷ E	۰/۴۱ C
	۳	۱۱۴ A	۲۱ E	۱۳/۶ E	۰/۳۰ E
	۰	۱۱۴ A	۱۹ E	۱۲/۹ E	۰/۲۴ E
	-۳	۱۱۴ A	۱۶ E	۱۳/۲ E	۰/۲۱ E
لاین M-83-17	شاهد	۱۱۰ C	۳۴ A	۲۲/۸ A	۰/۷۴ A
	۳	۱۱۰ C	۲۹ B	۲۱/۴ B	۰/۵۱ C
	۰	۱۱۰ C	۲۲ E	۱۸/۲ C	۰/۴۰ C
	-۳	۱۱۳ A	۱۰ E	۱۸/۴ C	۰/۳۳ E
رقم چمران	شاهد	۱۱۰ C	۲۶ C	۱۸/۶ C	۰/۴۹ C
	۳	۱۱۰ C	۲۲ E	۲۳/۴ A	۰/۵۲ C
	۰	۱۱۶ A	۲۴ C	۱۴/۶۷ E	۰/۴۰ C
	-۳	۱۱۰ C	۱۳ E	۱۵/۲ E	۰/۳۲ E
LSD (٪۵)		۲	۳	۲/۳	۰/۱۱
LSD (٪۱)		۳	۴	۳/۱	۰/۱۵

C شاهد و بدون اختلاف با شاهد، A و B بیشتر از شاهد به ترتیب در سطح ۱ و ۵ درصد و D و E کمتر از شاهد به ترتیب در سطح ۵ و ۱ درصد.

جدول ۴. تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیکی وابسته به کلروفیل براساس

میانگین مربعات در تنش سرما در مرحله ظهور سنبله در گندم

منابع تغییرات	F ₀	F _m	F _v /F _m
تنش دما (سرما)	۱۷۰/۴۰ ^{**}	۵۹۰۵/۵۲ ^{**}	۰/۰۴۰ ^{**}
ژنوتیپ	۲۲۹/۹۰ ^{**}	۳۶۹۵/۰۸ [*]	۰/۰۱۵ ^{ns}
ژنوتیپ × تنش سرما	۷۱/۶۲ ^{ns}	۵۵۱۹/۵۱ ^{**}	۰/۰۲۱ ^{**}
خطا	۳۵/۳۶	۱۲۴۹/۹۳	۰/۰۰۶
ضریب تغییرات (٪)	۱۱	۱۴	۱۰

صفات فیزیولوژیکی وابسته به کلروفیل

نتایج تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیکی وابسته به کلروفیل در جدول ۴ نشان داده شده است. اثر تنش سرما بر مقدار فلورسانس حداقل (F_0)، حداکثر فلورسانس کلروفیل (F_m) و حداکثر ظرفیت فتوشیمیایی فتوسیستم II (F_v/F_m) معنی دار شد، تفاوت ژنوتیپها فقط از نظر حداکثر ظرفیت فتوشیمیایی فتوسیستم II و اثر متقابل تنش سرما×ژنوتیپ بر مقدار فلورسانس حداقل معنی دار نبود (جدول ۴). مقایسه میانگینها برای مقدار فلورسانس حداقل در اثر ساده تنش سرما و بین ژنوتیپها (جدول ۵) و برای سایر صفات براساس میانگین در اثر متقابل تنش

سرما×ژنوتیپ (جدول ۶) ارائه می شود. با توجه به حداقل اختلاف معنی دار، با تشدید شدت سرما مقدار فلورسانس کلروفیل حداقل افزایش نشان داد، در بین ژنوتیپها نیز لاین M-83-17 دارای کمترین مقدار فلورسانس حداقل بود (جدول ۵). کمتر بودن مقدار فلورسانس کلروفیل نشان دهنده پایداری نسبی جریان انتقال بین سیستمی الکترون و افزایش آن دلیلی بر اختلال در ارتباط فتوسیستم I و فتوسیستم II ارزیابی می شود (Govindjee, 1995)، با توجه به تنش اعمال شده در این تحقیق، مقدار فلورسانس کلروفیل در شرایط تنش به دلیل اختلال در جریان در فتوسنتز قابل انتظار بود.

جدول ۵. میانگین فلورسانس حداقل (F_0) در تنش سرما در مرحله ظهور سنبله و ژنوتیپهای مورد مطالعه گندم

تنش سرما (درجه سانتیگراد)			LSD (/۵)	LSD (/۱)
۳	صفر	-۳		
۴۹/۸۳۳ B	۵۶/۳۸۸ A	۵۴/۴۷۳ A	۴/۴۶	۵/۹۷۱

ژنوتیپها						
ویریناک	کرخه	استار	M-83-17	چمران	LSD (/۵)	LSD (/۱)
۵۰/۴۳۰ C	۵۷/۹۴۷ A	۵۲/۷۶۷ B	۴۷/۳۲۳ C	۵۹/۳۵۸ A	۵/۷۶	۷/۷۰۸

ارزیابی فلورسانس کلروفیل را به عنوان راهبردی مهم در برنامه های به نژادی برای مطالعه واکنش ژنوتیپهای گندم در واکنش به تنش سرما و معیاری برای انتخاب ژنوتیپهای متحمل معرفی کردند (Sayed, 2003; Baker & Rosenqvist, 2004).

ارزیابی حساسیت ژنوتیپها به شرایط تنش سرما

مقادیر عددی شاخص حساسیت به تنش و شاخص تحمل تنش در جدول ۷ نشان داده شده است. براساس شاخص حساسیت به تنش، در دمای +۳ درجه سانتیگراد ارقام استار و کرخه به ترتیب متحمل تر و حساس تر، در دمای صفر درجه سانتیگراد ارقام چمران و کرخه به ترتیب متحمل تر و حساس تر و در تنش دمای -۳ درجه سانتیگراد رقم چمران و لاین M-83-17 به ترتیب متحمل تر و حساس تر از سایر ژنوتیپها ارزیابی شدند، در حالی که بر مبنای شاخص تحمل تنش در دمای +۳ و صفر درجه سانتیگراد لاین M-83-17 و رقم کرخه به ترتیب متحمل تر و حساس تر و در تنش دمای -۳ درجه سانتیگراد ارقام چمران و کرخه به ترتیب متحمل تر و

میانگین مقدار فلورسانس کلروفیل حداکثر و عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در اثر متقابل تنش سرما×ژنوتیپ در جدول ۶ نشان داده شده است. مقدار فلورسانس کلروفیل حداکثر در ژنوتیپهای مورد بررسی و در تنشهای اعمال شده از روند خاصی تبعیت نکرد (جدول ۶)، اگرچه انتظار می رفت که با تشدید تنش سرما، مقدار این صفت در ژنوتیپهای مورد مطالعه کاهش یابد. برخی از این ناهمگونی در تغییرات این صفت در اثر متقابل تنش سرما×ژنوتیپ را می توان به تنوع ژنتیکی در پاسخ به شدت های مختلف تنش، که خود یک سازوکار تحمل تنش است، ارزیابی کرد. همچنان که انتظار می رفت با اعمال تنش سرما، عملکرد کوانتومی فتوسیستم II به دلیل اختلال در انتقال بین سیستمی الکترون ها، کاهش یابد، اما شدت کاهش در ژنوتیپهای مختلف مورد مطالعه در این تحقیق، متفاوت بود، کمترین کاهش در عملکرد کوانتومی در هر سه دمای اعمال شده به رقم استار تعلق داشت و بیشترین کاهش در این صفت به لاین M-83-17 در تنش -۳ درجه سانتیگراد مربوط بود. دیگران نیز

براساس نتایج این تحقیق می‌توان لاین M-83-17 را که دارای پتانسیل عملکرد بیشتر نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها است (جدول ۳)، به‌عنوان ژنوتیپ برتر مدنظر داشت، درحالی که رقم چمران را می‌توان رقمی با قابلیت ژنتیکی بیشتر برای تحمل تنش ارزیابی کرد.

حساس‌تر از سایر ژنوتیپ‌ها ارزیابی شدند. به‌طور کلی ارزیابی با این دو شاخص به نتایج یکسان منجر نشد، به‌طوری که لاین M-83-17 که براساس شاخص حساسیت به تنش به‌عنوان ژنوتیپ حساس ارزیابی شد، با شاخص تحمل تنش دارای بیشترین میزان تحمل تنش سرما بود.

جدول ۶. میانگین فلورسانس کلروفیل حداکثر و عملکرد کوانتمی فتوسینتزم II در اثر متقابل تنش سرما × ژنوتیپ گندم

ژنوتیپ	تنش سرما (°C)	Fm	Fv/Fm
ویریناک	۳	۲۹۷/۵۵۰ A	۰/۸۵۳ A
	۰	۲۶۶/۸۸۷ A	۰/۸۰۲ A
	-۳	۲۵۵/۸۶۷ A	۰/۷۸۳ A
کرخه	۳	۲۷۲/۰۶۷ A	۰/۷۹۹ A
	۰	۲۹۰/۵۵۰ A	۰/۷۷۹ A
	-۳	۲۵۸/۸۶۷ A	۰/۷۸۳ A
استار	۳	۲۲۸/۶۴۳ B	۰/۷۹۵ A
	۰	۲۵۵/۵۰۰ A	۰/۷۹۱ A
	-۳	۲۸۱/۴۳۳ A	۰/۷۹۱ A
M-83-17	۳	۲۷۴/۴۴۰ A	۰/۸۴۲ A
	۰	۲۷۶/۹۹۷ A	۰/۷۹۸ A
	-۳	۱۲۳/۲۰۰ C	۰/۴۷۷ B
چمران	۳	۲۷۹/۴۴۳ A	۰/۷۸۰ A
	۰	۲۵۷/۲۲۰ A	۰/۷۷۶ A
	-۳	۲۵۸/۵۰۰ A	۰/۷۴۲ A
LSD (/۵)		۵۹/۳۲	۰/۱۳
LSD (/۱)		۷۹/۳۸	۰/۱۷۴

جدول ۷. مقادیر عددی شاخص‌های تحمل (STI) و حساسیت به تنش (SSI) برای ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در تنش‌های مختلف در گندم

ژنوتیپ‌ها	SSI			STI		
	تنش سرما (درجه سانتی‌گراد)	تنش سرما (درجه سانتی‌گراد)	تنش سرما (درجه سانتی‌گراد)	تنش سرما (درجه سانتی‌گراد)	تنش سرما (درجه سانتی‌گراد)	تنش سرما (درجه سانتی‌گراد)
	+۳	صفر	-۳	+۳	صفر	-۳
رقم ویریناک	۱/۱۷	۰/۸۸	۰/۶۶	۱/۱۱	۰/۵۷	۰/۶۳
رقم کرخه	۱/۴۴	۱/۹۵	۱/۶۴	۰/۲۲	۰/۱۵	۰/۱۹
رقم استار	۰/۸۳	۱/۲۸	۱/۵۰	۰/۵۶	۰/۴۵	۰/۳۹
لاین M-83-17	۰/۹۶	۱/۴۵	۱/۷۰	۱/۷۲	۱/۳۲	۱/۱۱
رقم چمران	۱/۰۳	۰/۵۱	۰/۳۲	۰/۷۰	۰/۸۸	۱/۱۶

جدول ۸. خسارت ناشی از تنش سرما بر عملکرد و اجزای آن در گندم

ژنوتیپ	درصد خسارت		
	عملکرد دانه	تعداد دانه در سنبله	وزن هزارانه
ویریناک	۴	۱۴	۵
کرخه	۵۴	۶۶	۱۱
استار	۳۹	۱۸	۱۰
لاین M-83-17	۴۵	۴۰	۱۵
چمران	۱۳	۲۵	۵

جدول ۹. همبستگی میانگین‌های عملکرد و اجزای عملکرد در تنش سرما در مرحله ظهور سنبله در گندم

عملکرد	وزن هزاردانه	طول سنبله	تعداد سنبلچه در سنبله	تعداد دانه در سنبله	ظهور برگ پرچم
وزن هزاردانه	-۰/۲۳۳ ^{ns}				
طول سنبله	۰/۸۲۹ ^{**}	-۰/۵۷۵ ^{**}			
تعداد سنبلچه در سنبله	۰/۸۶۸ ^{**}	۰/۰۵۶ ^{ns}	۰/۷۱۹ ^{**}		
تعداد دانه در سنبله	۰/۷۶۴ ^{**}	-۰/۷۲۶ ^{**}	۰/۸۳۶ ^{**}	۰/۵۲۲ ^{**}	
رسیدگی کامل	-۰/۶۶۵ ^{**}	۰/۰۶۸ ^{ns}	-۰/۶۱۵ ^{**}	-۰/۷۴۶ ^{**}	-۰/۴۳۴ [*]
ارتفاع گیاه	۰/۴۸۵ [*]	-۰/۳۰۳ ^{ns}	۰/۵۶۷ ^{**}	۰/۵۲۵ ^{**}	-۰/۴۱۳ ^{ns}

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

نتیجه‌گیری کلی

تفاوت ژنوتیپ‌ها به خصوص تفاوت بین گندم‌های نان و دوروم (کرخه) از نظر تحمل به تنش سرما بود. براساس نتایج این تحقیق می‌توان لاین M-83-17 را که دارای پتانسیل عملکرد بیشتر نسبت به سایر ژنوتیپ‌هاست، ژنوتیپ برتر معرفی کرد، در حالی که رقم چمران را به‌عنوان رقمی با قابلیت ژنتیکی بیشتر برای تحمل تنش ارزیابی کرد.

تنش‌های سرما در دماهای صفر و ۳- درجه سانتی‌گراد تا حد زیادی سبب کاهش بیشتر صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های بررسی شده در این تحقیق شد. تنش سرما در مرحله ظهور سنبله از طریق اثر بر Fm موجب تأثیر بر فتوسنتز شد. تفاوت در اثر تنش از طریق خسارت بر عملکرد و اجزای آن در ژنوتیپ‌های مختلف نشان‌دهنده

REFERENCES

- Ahmed, M. & Farooq, S. (2013). Growth and physiological response of wheat cultivars under various planting windows. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 23(5), 1407-1414.
- Asadollah-zadeh, R., Naderi, A. & Lakzadeh, A. (2010). The effect of plant density on yield and yield components of grain, wheat genotypes in different cultivation models. *Journal of crop physiology, Islamic Azad University, Ahvaz Branch*, 2(1), 55-66. (In Farsi)
- Baker, N. & Rosenqvist, E. (2004). Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: An examination of future possibilities. *Journal of Experimental Botany*, 55, 1607-1621.
- Chakrabarti, B., Singh, S.D., Nagarajan, S. & Aggarwal, P.K. (2011). Impact of temperature on phenology and pollen sterility of wheat varieties. *Australian Journal of Crop Science*, 5(8), 1039-1043.
- Chalish, L. & Houshmand, S. (2011). Estimate of heritability and relationship of some durum wheat characters using recombinant inbred lines. *Electronic Journal of Crop Production*, 4(2), 223-238. (In Farsi)
- Farooq, M., Basra, S.M.A., Rehman, H. & Saleem, B.A. (2008). Seed priming enhancement the performance of late sown wheat by improving chilling tolerance. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 194, 55-60.
- Foyer, C.H., Vanacker, H., Gomez, L.D. & Harbinson, J. (2002). Regulation of photosynthesis and antioxidant metabolism in maize leaves at optimal and chilling temperatures: review. *Plant Physiology and Biochemistry*, 40, 659-668.
- Govindjee, R. (1995). Sixty-three years since Kautsky: Chlorophyll a fluorescence. *Australian Journal of Plant Physiology*, 22, 131-160.
- Guy, C.L., Huber, J.L.A. & Huber, S.C. (1992). Sucrose phosphate syntheses and sucrose accumulation at low temperature. *Plant Physiology*, 100, 502-508.
- Hajiboland, R. & Habibi, G.h. (2011). Contrastive responses of spring and winter wheat cultivars to chilling and acclimation treatments. *Acta Agriculturae Slovenica*, 97-3, September 2011 str. 233-239.
- Huang, B.K., Xu, S., Xuan, W., Li, M., Cao, Z.Y., Liu, K.L., Ling, T.F. & Shen, W.B. (2006). Carbon monoxide alleviates salt-induced oxidative damage in wheat seedling leaves. *Journal of Integrative Plant Biology*, 48(3), 249-254.
- Inamullah, A., Shah, N.H., Khan, F.U. & Haq, Z. (2007). An analysis of the planting date's effect on yield and yield attributes of spring wheat. *Sarhad Journal of Agriculture*, 23(2), 356-364.
- Kocheva, K., Lambrev, P., Georgiev, G., Goltsev, V. & Karabaliev, M. (2004). Evaluation of chlorophyll fluorescence and membrane injury in the leaves of barley cultivars under osmotic stress. *Bioelectrochemistry*, 63, 121-124.
- Lotfeali Ayene, Gh., Lakzadeh, I., Darabi, A., Naderi, A., Andarzian, B., Mousavifazl, S.M.H., Tavoosi, M., Mosharaf, Gh., Abaduz, Gh. & Suzangar, F. (2012). *Climate, water, soil and irrigated agriculture development plans in Khuzestan province*. Khuzestan Natural Resources and Agricultural Research Center. (In Farsi). From <http://agrisis.areo.ir/ASIDC>.

15. Mahajan, S. & Tuteja, N. (2005). Cold, salinity and drought stresses: *An overview Archives of Biochemistry and Biophysics*, 444, 139-158.
16. Mahfoofi, S., Roustaii, M. & Ansari maleki, Y. (2005). Determination of low-temperature tolerance in some bread wheat, durum wheat and bariey genotypes. *Seed and Plant Improvement Journal*, 21(3), 467-483. (In Farsi)
17. Rizza, F., Crosatti, C., Stanca, A.M. & Cttivella, L. (1994). Studies for assessing the influence of hardening on cold tolerance of barley genotypes. *Euphytica*, 75, 131-138.
18. Ruzgas, V. & Liutkericus, G. (2001). Investigation of winter wheat cold tolerance in Lithuania for breeding purpose. *Buvisindi, Icel. Agric.*, 14, 29-34.
19. Saleem, M., Chowdhry, M.A., Kashif, M. & Khaliq, M. (2005). Inheritance pattern of plant height, grain yield and some leaf characteristics of spring wheat. *International Journal of Agriculture and Biology*, 7, 1015-1018.
20. Saulescu, N.N. & Brawn, H.J. (2001). Cold tolerance. *In application of physiology in wheat breeding*. Reynolds. M.P.Ortiz-Monasterio.J.I. and McNab (eds.). D.F.CIMMYT: 111-123.
21. Sayed, O.H. (2003). Chlorophyll fluorescence as a tool in cereal crop research. *Photosynthetica* 41(3): 321-330.
22. Sofalian, O., Mohammadi, S.A., Aharizad, S., Moghaddam, M. & Shakiba, M.R. (2006). Inheritance of cold tolerance in common wheat (*Triticum aestivum* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 399-405.
23. Thomashow, M.F. (2001). So what's new in the field of plant cold acclimation? *Lots. Plant Physiology*, 125, 89-93.
24. Timmermans, B.G.H., Vos, J., Nieuwburg, J.V., Stomph, T.J., Putten, P.E.L. & Molendijk, L.P.G. (2007). Field performance of *Solanum sisymbriifolium*, a trap crop for potato cyst nematodes. I. Dry matter accumulation in relation to sowing time, location, season and plant density. *Annals of Applied Biology*, 150, 89-97.
25. Warrick, B.E. & Miller, T.D. (1999). Freeze injury on wheat. Texas Agricultural Extension Service. SCS-1999-15
26. Yao, H.X., Ma, L., Ren, J., Zhang, P.P., Yang, X.M., Yao, G.C., Zhang, P. & Zhou, M.P. (2011). Genetic analysis of plant height and its components in diallel crosses of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Australian Journal of Crop Science*, 5(11), 1408-1418.