

ارزیابی تحمل خشکی در ژنوتیپ‌های پیشرفته گندم نان در شرایط مزرعه و آزمایشگاه

Evaluation of Drought Tolerance in Bread Wheat Advanced Genotypes in Field and Laboratory Conditions

مهدی گراوندی^۱، عزت‌الله فرشادفر^۲ و دانیال کهریزی^۳

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد اصلاح نباتات، استاد و استادیار، دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی، کرمانشاه

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۵/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۱۲/۲۰

چکیده

گراوندی، م.، فرشادفر، ع.، و کهریزی، د. ۱۳۸۹. ارزیابی تحمل خشکی در ژنوتیپ‌های پیشرفته گندم نان در شرایط مزرعه و آزمایشگاه. *مجله به‌نژادی نهال و بذر* ۱-۲۶: ۲۵۲-۲۳۳.

به‌منظور ارزیابی تحمل خشکی تعدادی از ارقام و لاین‌های پیشرفته گندم نان، پژوهشی در مزرعه و آزمایشگاه (مرحله جوانه‌زنی) انجام شد. در آزمایش مزرعه‌ای ۲۰ ژنوتیپ گندم نان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و در شرایط بدون تنش و تنش رطوبتی انتهای فصل ارزیابی شدند. تیمارهای مورد بررسی در ارزیابی آزمایشگاهی، ترکیبات فاکتوریل ۲۰ ژنوتیپ مورد مطالعه و چهار سطح تنش خشکی (صفر، ۰/۴، ۰/۸ و ۱/۲- مگاپاسکال) بودند. این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش تفاوت معنی‌داری داشتند. نتایج تحلیل همبستگی بین شاخص‌های مقاومت به خشکی و عملکرد دانه نشان داد که شاخص تحمل تنش (STI)، شاخص میانگین بهره‌وری (MP) و شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) برای شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی مناسب هستند. به‌طور کلی بر اساس شاخص‌های مقاومت به خشکی مبتنی بر عملکرد دانه ژنوتیپ‌های شماره ۱۸ و ۱۹ به‌عنوان ژنوتیپ‌های تحمل‌کننده تنش خشکی شناخته شدند. در بررسی آزمایشگاهی، در اثر افزایش سطوح تنش خشکی تمامی صفات اندازه‌گیری شده کاهش یافتند. سرعت جوانه‌زنی نسبت به درصد جوانه‌زنی حساسیت بیشتری به خشکی داشت. طول ساقچه‌چه نیز در مقایسه با طول ریشه‌چه از حساسیت بیشتری به خشکی برخوردار بود. بنیه جوانه‌زنی نسبت به سایر صفات بررسی شده، به‌عنوان حساس‌ترین صفت به خشکی شناخته شد. در بررسی آزمایشگاهی ژنوتیپ‌های شماره ۲ (کراس البرز)، ۶ و ۱۳ نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها از تحمل خشکی بالاتری در مرحله جوانه‌زنی برخوردار بودند. در این تحقیق بین صفات اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه با STI رابطه معنی‌داری مشاهده نشد. بر اساس این نتایج صفات جوانه‌زنی به‌عنوان معیارهای غیر مستقیم جهت انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در مراحل اولیه رشد مناسب نبودند.

واژه‌های کلیدی: گندم نان، تحمل خشکی، شاخص‌های مقاومت به خشکی، پلی اتیلن گلیکول، شاخص تنش جوانه‌زنی.

مقدمه

مزارع گندم در مناطق خشک و نیمه‌خشک در شرایط دیم عموماً با بروز تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی و سبز شدن و مراحل انتهایی فصل رشد مواجه هستند. در چنین مناطقی انتخاب ارقامی که علاوه بر تحمل به خشکی در مرحله جوانه‌زنی و سبز شدن، عملکرد بالایی نیز داشته باشند از اهمیت زیادی برخوردار است (Saeidi *et al.*, 2007).

برای تمایز ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در شرایط مزرعه چندین شاخص انتخاب بر اساس عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش خشکی پیشنهاد شده است. شاخص انتخاب مناسب، شاخصی است که ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش را از سایر ژنوتیپ‌ها متمایز کند (Fernandez, 1992). روزیل و هامبلین (Rossielle and Hamblin, 1981) شاخص تحمل (Tolerance: TOL) و شاخص میانگین بهره‌وری (Mean Productivity: MP) را پیشنهاد داده‌اند. مقادیر بالای TOL نشان دهنده حساسیت نسبی ژنوتیپ‌ها به تنش است. شاخص MP نیز به صورت متوسط جمع جبری عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط تنش و بدون تنش تعریف می‌شود. فرناندز (Fernandez, 1992) شاخص تحمل تنش (Stress Tolerance Index: STI) را به عنوان معیاری برای گزینش ارقام تحمل کننده تنش خشکی پیشنهاد کرد. مقادیر بالای این شاخص

نشان‌دهنده تحمل زیاد تنش و عملکرد بالقوه بالا است. شاخص دیگری که توسط فرناندز (Fernandez, 1992) ارائه شد، میانگین هندسی بهره‌وری (Geometric Mean Productivity: GMP) است. این شاخص در مقایسه با MP در تفکیک ژنوتیپ‌ها از قدرت بالاتری برخوردار است. یکی دیگر از شاخص‌های انتخاب، شاخص حساسیت به تنش (Stress Susceptibility Index: SSI) است، که فیشر و ماور (Fischer and Maurer, 1978) آن را پیشنهاد دادند. این محققین نشان دادند که ژنوتیپ‌هایی با SSI کمتر از واحد، به خشکی مقاوم‌تر هستند، بنابراین کاهش عملکرد آن‌ها در شرایط خشکی کمتر از کاهش عملکرد متوسط کل ژنوتیپ‌ها است. همان‌طور که توسط بوسلاما و شاپاگ (Bousslama and Schapagh, 1984) ذکر شده است، شاخص پایداری عملکرد (Yield Stability Index: YSI) عملکرد در شرایط تنش یک رقم را وابسته به عملکرد غیر تنش آن ارزیابی می‌کند و می‌تواند شاخص مناسبی برای شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی باشد، بنابراین ارقامی با YSI بالاتر انتظار می‌رود که در هر دو شرایط عملکرد بالاتری داشته باشند. در مطالعه سی‌وسه‌مرده و همکاران (Sio-Se Marde *et al.*, 2006) ارقامی با YSI بالاتر حداقل عملکرد را در شرایط غیر تنش و بالاترین عملکرد را در

نخود در مطالعه سلیم و ساکسانا (Salim and Saxena) که در سال ۱۹۹۳ انجام شد، سهم نسبی سه جزء در سه سال از ۳۷ تا ۶۹ درصد برای فرار از خشکی (فنولوژی مناسب)، ۱ تا ۴۷ درصد برای پتانسیل عملکرد و ۴ تا ۱۷ درصد برای تحمل خشکی بود (به نقل از Ouk et al., 2006). بنابراین اگر غربال برای تحمل خشکی بر اساس عملکرد دانه باشد، ممکن است ژنوتیپ‌هایی انتخاب شوند که پتانسیل عملکرد بالا و یا فنولوژی مناسب داشته باشند اما فاقد تحمل خشکی باشند. شاخص پاسخ به خشکی (Drought Response Index: DRI) عملکرد دانه را در شرایط تنش خشکی برای تنوع در تاریخ گلدهی و عملکرد در شرایط بدون تنش تصحیح می‌کند، بنابراین اطمینان می‌دهد که ژنوتیپ‌های انتخاب شده صفات تحمل خشکی را خواهند داشت (Ouk et al., 2006).

در شرایط خشک که مقدار بارندگی محدود و نامنظم است دست‌یابی به پوشش گیاهی مناسب در اوایل فصل رشد از ویژگی‌های مناسب ارقام زراعی است. در چنین مناطقی توان خروج جوانه‌ها از عمق‌های بیشتر خاک همراه با تحمل به خشکی در مرحله جوانه‌زنی از ویژگی‌های مهم مرتبط با استقرار گیاهچه است (Saeidi et al., 2007). به دلیل غیر یکنواختی محیط خاک و عدم امکان کنترل عوامل محیطی در مزرعه، تحقیقات آزمایشگاهی اهمیت ویژه‌ای برای ارزیابی تحمل گیاهان به تنش

شرایط تنش نشان دادند. شاخص عملکرد (Yield Index: YI) ارقام را فقط بر اساس عملکرد تنش رتبه‌بندی می‌کند، بنابراین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش را تشخیص نمی‌دهد (سی‌وسه‌مرده و همکاران، ۲۰۰۶). با ارزیابی یازده ژنوتیپ گندم نان گزارش کردند که در شرایط تنش ملایم شاخص‌های STI، MP و GMP برای شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط تنش و بدون تنش مناسب هستند. گل‌آبادی و همکاران (Golabadi et al., 2006) با ارزیابی ۱۵۱ خانواده F₃ و F₄ گندم دوروم در شرایط تنش بعد از گلدهی و بدون تنش خشکی گزارش کردند که شاخص‌های STI، MP و GMP با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار و شاخص‌های SSI و TOL دارای همبستگی منفی و معنی‌دار با عملکرد در شرایط تنش هستند، بنابراین می‌توان برای شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی برای مقادیر بالای شاخص‌های STI، MP و GMP و مقادیر پایین شاخص‌های SSI و TOL گزینش کرد.

عملکرد در محیط‌های خشک تحت تأثیر سه جزء پتانسیل عملکرد، مناسب بودن فنولوژی و تحمل خشکی قرار می‌گیرد. سهم نسبی تحمل خشکی در عملکرد واقعی ممکن است نسبت به پتانسیل عملکرد بالا و یا فنولوژی مطلوب بزرگ نباشد. برای مثال برای گیاه

طول ساقه‌چه، درصد جوانه‌زنی و طول ریشه‌چه، حساس‌ترین صفت به خشکی معرفی کردند. زارعی و همکاران (Zarei *et al.*, 2007) با مطالعه بیست ژنوتیپ گندم نان از نظر تحمل خشکی در شرایط مزرعه و آزمایشگاه گزارش کردند که ژنوتیپ‌های تحمل‌کننده تنش خشکی در شرایط مزرعه از تحمل به خشکی بالایی نیز در شرایط آزمایشگاه (مرحله جوانه‌زنی) برخوردار بودند و نشان دادند که STI با شاخص تنش جوانه‌زنی (Germination Stress Index: GSI) دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار می‌باشد. این نتایج توسط فرشادفر و همکاران (Farshadfar *et al.*, 2004) نیز ذکر شده است، اما سعیدی و همکاران (۲۰۰۷) و عزیزنیا و همکاران (Azizinia *et al.*, 2005) در مطالعات خود بین تحمل خشکی در شرایط مزرعه و آزمایشگاه ارتباطی مشاهده نکردند.

با توجه به مطالب ذکر شده هدف از اجرای این تحقیق بررسی تحمل خشکی در تعدادی از ارقام و لاین‌های پیشرفته گندم نان در مرحله جوانه‌زنی و مرحله انتهایی فصل رشد (دوره پر شدن دانه) و همچنین مقایسه نتایج حاصل از غربال ژنوتیپ‌ها برای تحمل خشکی در شرایط مزرعه و آزمایشگاه بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ در دو شرایط مزرعه و آزمایشگاه انجام شد. ژنوتیپ‌های گندم مورد بررسی از بخش

خشکی در مرحله جوانه‌زنی دارد (Mohammadi, 2000). برای ارزیابی تحمل خشکی در محیط کنترل شده از نمک‌هایی با جرم مولکولی بالا مانند پلی‌اتیلن گلايکول به دلیل ایجاد محلول اسمزی مشابه با شرایط طبیعی اغلب برای ایجاد پتانسیل آب در مطالعات جوانه‌زنی استفاده می‌شود (Jamshid Moghaddam and Pouredad, 2006). درصد، سرعت و بنیه جوانه‌زنی بالا از خصوصیات مناسب بذر گیاهان زراعی جهت کشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک هستند (Saeidi *et al.*, 2007).

در مطالعه سعیدی و همکاران (۲۰۰۷) بر روی ده ژنوتیپ گندم نان با افزایش سطوح تنش (۰، ۰/۴، ۰/۸، ۱/۲- و ۱/۶- مگاپاسکال) بنیه جوانه‌زنی در مقایسه با درصد و سرعت جوانه‌زنی با شیب زیادتری در ژنوتیپ‌های مختلف کاهش یافت. همچنین این محققین بیان کردند که طول ساقه‌چه نسبت به طول ریشه‌چه از حساسیت بیشتری نسبت به تنش برخوردار است. عبدالباقی و آندرسون (Abdul-Baki and Anderson, 1970) با مطالعه گیاه جو بیان کردند که سرعت جوانه‌زنی بیش از درصد جوانه‌زنی به تنش آبی حساس است و در پتانسیل‌های اسمزی بالاتر با " شدت بیشتری نسبت به درصد جوانه‌زنی کاهش می‌یابد. دهاندا و همکاران (Dhanda *et al.*, 2004) با مطالعه روی گندم صفت بنیه جوانه‌زنی را نسبت به صفاتی مانند

$$SSI = \frac{1 - (Y_s/Y_p)}{1 - (\bar{Y}_s/\bar{Y}_p)}$$

(Fischer and Maurer, 1978)

$$MP = \frac{Y_s + Y_p}{2}$$

(Rossielle and Hamblin, 1981)

$$GMP = \sqrt{Y_s \times Y_p}$$

(Fernandez, 1992)

$$STI = \frac{Y_s \times Y_p}{\bar{Y}_p^2}$$

(Fernandez, 1992)

$$TOL = Y_p - Y_s$$

(Rossielle and Hamblin, 1981)

$$YI = \frac{Y_s}{\bar{Y}_s}$$

(Gavuzzi *et al.*, 1997)

$$YSI = \frac{\bar{Y}_s}{Y_p}$$

(Bousslama and Schapaugh, 1984)

شاخص پاسخ به خشکی (DRI) برای یک ژنوتیپ خاص با استفاده از معادله تغییر یافته بیدینگر و همکاران (Bidinger *et al.*, 1987) به صورت زیر محاسبه شد:

$$DRI_i = \frac{Y_{act,i} - Y_{est,i}}{S.E. \text{ of } Y_{est}}$$

در این رابطه Y_{act} و Y_{est} به ترتیب عملکرد واقعی و عملکرد برآورد شده برای هر ژنوتیپ در شرایط تنش هستند. S. E. of Y_{est} خطای استاندارد عملکرد دانه برآورد شده برای همه ژنوتیپ‌ها است. عملکرد برآورد شده با استفاده از رگرسیون چندگانه به صورت زیر محاسبه شد:

$$Y_{est,i} = a + bY_{p,i} + cFL_i$$

در این رابطه $Y_{p,i}$ عملکرد بالقوه ژنوتیپ i در شرایط بدون تنش، FL_i روز تا گلدهی ژنوتیپ i در شرایط بدون تنش است و a ، b ، c و d پارامترهای رگرسیونی برآورد شده به روش

تحقیقات غلات معاونت موسسه تحقیقات کشاورزی دیم (سرارود) دریافت و برای سهولت کار از ۱ تا ۲۰ شماره گذاری شدند. رقم سرداری (ژنوتیپ شماره ۴) به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. آزمایش مزرعه‌ای در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و در دو شرایط آبیاری مطلوب و دیم در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی کرمانشاه انجام شد. هر کرت آزمایشی از چهار ردیف دو متری تشکیل شده بود. فاصله بین ردیف‌ها ۲۰ سانتی‌متر، فاصله بین دو کرت مجاور ۴۰ سانتی‌متر و تراکم نیز ۴۰۰ بذر در مترمربع در نظر گرفته شد. کاشت در تاریخ ۱۳۸۵/۸/۱۴ انجام شد و اولین بارندگی پس از کاشت (۱۳۸۵/۸/۱۶) به عنوان تاریخ کاشت در نظر گرفته شد. آزمایش بدون تنش از زمان گلدهی تا رسیدن فیزیولوژیکی در سه نوبت آبیاری شد. تنش خشکی در فصل بهار بعد از مرحله گلدهی شروع شد، بنابراین تحمل ژنوتیپ‌ها به خشکی آخر فصل (دوره پر شدن دانه) بررسی شد. در طول دوره اجرای طرح از هیچ نوع کودی استفاده نشد و مبارزه با علف‌های هرز به صورت دستی انجام شد. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه با رعایت اثر حاشیه‌ای دو خط یک متری از هر واحد آزمایشی برداشت شد و عملکرد دانه به صورت گرم در متر مربع ثبت شد. شاخص‌های مختلف مقاومت به خشکی با استفاده از روابط زیر محاسبه شدند.

به‌مدت دوازده روز نگهداری شدند. در پایان آزمایش درصد جوانه‌زنی برای هر تشتک پتری محاسبه شد. طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه نیز بر اساس میانگین پنج گیاه‌چه اندازه‌گیری شد. با استفاده از روابط ارائه شده توسط بوسلاما و شاپاگ (۱۹۸۴) شاخص سرعت جوانه‌زنی (PI) و شاخص استرس جوانه‌زنی (GSI) به‌صورت ذیل محاسبه شد:

$$PI = nd_2(1.0) + nd_4(0.8) + nd_6(0.6) + nd_8(0.4) + nd_{10}(0.2)$$

$$GSI = \left[\frac{PI, \text{ Under stress condition}}{PI, \text{ Under non - stress condition}} \right] \times 100$$

در این روابط nd_2 ، nd_4 ، nd_6 ، nd_8 و nd_{10} به ترتیب تعداد بذر جوانه‌زده در روزهای دوم، چهارم، ششم، هشتم و دهم هستند. با استفاده از فرمول عبدالباقی و آندرسن (۱۹۷۰) نیز بنیه جوانه‌زنی به‌صورت زیر محاسبه شد:

$$VI = \frac{\% Gr \times MSH}{100}$$

در این رابطه VI شاخص بنیه بذر، %Gr درصد جوانه‌زنی و MSH مجموع طول ساقه‌چه و ریشه‌چه می‌باشند. برای انجام تجزیه‌های آماری از نرم‌افزارهای STAT-C، STATGRAPH و SPSS استفاده شد.

نتایج و بحث

نام و پدیدگیری ژنوتیپ‌های استفاده شده در آزمایش‌ها و آمار هواشناسی محل آزمایش در

حداقل مربعات هستند (Ouk *et al.*, 2006). بیدینگر و همکاران (Bidinger *et al.*, 1987) ارزش‌های آستانه‌ای برای ۱۰ درصد بالا و پایین توزیع نرمال ($Z = +1/3$ و $Z = -1/3$) را برای شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم ($DRI > +1/3$) و حساس ($DRI < -1/3$) در نظر گرفتند.

در بررسی آزمایشگاهی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل (فاکتور اول شامل ۲۰ ژنوتیپ مورد مطالعه و فاکتور دوم شامل چهار سطح تنش خشکی) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. برای دستیابی به پتانسیل‌های مختلف اسمزی از ماده شیمیایی پلی‌اتیلن‌گلیکول ۶۰۰۰ استفاده شد. میزان پلی‌اتیلن‌گلیکول مصرفی برای ایجاد پتانسیل‌های مختلف اسمزی (-۰/۸، -۰/۴ و -۱/۲ مگاپاسکال)، با استفاده از معادله میشل و کافمن (Michel and Kaufmann, 1972) محاسبه شد. برای پتانسیل اسمزی صفر مگاپاسکال (شاهد) از آب مقطر استفاده شد. بذرها ابتدا به‌مدت ده ثانیه در الکل ۹۶ درصد و سپس به‌مدت پنجاه ثانیه در محلول هیپوکلریت ۱۵ درصد ضدعفونی شدند. تشتک‌های پتری و کاغذهای صافی و محلول‌های تهیه شده نیز استریل شدند. در داخل هر تشتک پتری یک عدد کاغذ صافی واتمن قرار داده شد و بر روی آن ۲۵ بذر قرار گرفت. سپس ۱۰ میلی‌لیتر از محلول‌های آماده شده روی آن‌ها ریخته شد و در داخل اتاقک رشد با دمای 20 ± 0.5 درجه سانتی‌گراد با فتوپریود ۸/۱۶ (روشنایی/تاریکی)

جدول‌های ۱ و ۲ نشان داده شده‌اند.

بر اساس نتایج تجزیه واریانس برای عملکرد دانه، ژنوتیپ‌های مورد بررسی در شرایط تنش در سطح احتمال ۱٪ و در شرایط بدون تنش در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری داشتند. نتایج مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای عملکرد دانه (جدول ۳) نشان داد که در شرایط تنش ژنوتیپ شماره ۱۲ بالاترین (۴۶۵/۸ گرم در متر مربع) و ژنوتیپ شماره ۱ کمترین (۲۳۴/۸ گرم در متر مربع) عملکرد را داشتند. در شرایط بدون تنش نیز ژنوتیپ شماره ۱۴ بالاترین (۷۷۹/۳ گرم در متر مربع) و ژنوتیپ شماره ۱۰ کمترین (۴۶۲/۷ گرم در متر مربع) عملکرد را داشتند.

نتایج حاصل از تحلیل همبستگی بین شاخص‌های مقاومت به خشکی با عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش (جدول ۴) نشان داد که شاخص‌های GMP، MP و STI دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار (سطح احتمال ۱٪) با عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش بودند، بنابراین شاخص‌های مذکور، بهترین شاخص‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر هستند. نتایج ذکر شده با نتایج سی‌وسه‌مرده و همکاران (۲۰۰۶) و گل‌آبادی و همکاران (۲۰۰۶) مطابقت دارد. YI همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد در شرایط تنش داشت. این شاخص ژنوتیپ‌ها را فقط بر اساس عملکرد در شرایط تنش رتبه‌بندی کرد و نتوانست ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط را

شناسایی کند. YSI نیز دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد در شرایط تنش و همبستگی منفی با عملکرد در شرایط بدون تنش بود، بنابراین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط تنش و با عملکرد ضعیف در شرایط بدون تنش را انتخاب می‌کند. این شاخص قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش نبود. این مطالب با نتایج سی‌وسه‌مرده و همکاران (۲۰۰۶) مطابقت دارد.

با توجه به مقادیر عددی شاخص‌های STI، MP و GMP (جدول ۳) و همچنین نمودار سه‌بعدی (شکل ۱) ترسیم شده بر اساس عملکرد دانه در هر دو شرایط و STI ژنوتیپ‌های شماره ۱۸، ۱۹، ۱۷، ۵ و ۱۴ به‌عنوان ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش و تحمل‌کننده تنش خشکی شناسایی شدند. با توجه به جدول ۳ مشخص است که ژنوتیپ‌های شماره ۱۸ و ۱۹ برای شاخص DRI دارای مقادیر بزرگتر از ۱/۳+ بودند، بنابراین ژنوتیپ‌های مذکور صفات تحمل خشکی را دارند و عملکرد بالای آن‌ها در شرایط تنش به علت پتانسیل عملکرد بالا و یا فنولوژی مناسب (زودرسی) نبوده است. این ژنوتیپ‌ها از نظر شاخص‌های TOL و SSI نیز از مقادیر کمتری برخوردار بودند (جدول ۳). ژنوتیپ‌های شماره ۱ (پیش‌تاز) و ۲۰ دارای کمترین مقادیر برای شاخص‌های GMP، MP و STI بودند. ژنوتیپ شماره ۱ دارای مقدار ۱/۵۴- برای

جدول ۱- شجره ژنوتیپ‌های استفاده شده در آزمایش‌ها
Table 1. Pedigree of genotypes used in the experiments

Genotype No.	Name/Pedigree
1	Pishtaz
2	Cross Alborz
3	Aazar-2
4	Sardari
5	Shi#4414/Crow"S"//Fow-1
6	Ww33G/Vee"S"/Mrn/3/Atilla/Tjn
7	Shi#4414/Crow"S"//Vee"s/Nac
8	CHAM-4DOVIN-2ICW93-0001-AP-OL-OBR-1AP-2AP-OAP
9	Ww33G/Vee"S"/Mrn/4/HD2172/Bloudan //Azd/3//san/Ald"s"//Avd
10	Zagross
11	Azd/HD2172//Kayson/Glenson/3/170-28/Ning8201
12	TEVEE S/ KARAWAN S
13	Ww33G/Vee"S"/Mrn/3/Atilla/Tjn
14	CHAM-8/MAYON"S"/CW93-0031-1AP-OL-OBR-2AP-1AP-OAP
15	Ns732.HER//Darab
16	T.AEST./SPRW"S"//CA8055/3/BACANORA88/CW92-0477-...
17	TEVEE S/ KARAWAN "S"ICW93-0073-1AP-OL-8AP-OL-...
18	URES/3//FURY//SLN/ALDAN"S"/4/NS732/HERICW93-0531-...
19	T.AEST./SPRW"S"//CA8055/3/BACANORA88ICW92-0477-...
20	AZD/HD2172//Pltoma/Cucurp88

جدول ۲- آمار هواشناسی در سال زراعی ۱۳۸۵-۸۶ در کرمانشاه
Table 2. Meteorological statistics during 2006-2007 growing season in Kermanshah

Parameter	۱۳۸۵ 2006				۱۳۸۶ 2007				
	آبان Nov.	آذر Dec.	دی Jan.	بهمن Feb.	اسفند March	فروردین April	اردیبهشت May	خرداد June	تیر July
متوسط دما Temperature(°C)	11.3	3.2	-0.1	4.2	7.1	1.5	17.0	24.7	28.5
بارندگی Rainfall (mm)	118.8	25.0	30.3	81.3	42.6	124.4	68.7	6.2	0.0

جدول ۳- شاخص‌های مقاومت به خشکی و عملکرد دانه در شرایط دیم و آبیاری

Table 3. Drought resistance indices and grain yield in rain-fed (Y_s) and irrigated (Y_p) conditions

Genotype No.	Y_s (gm ⁻²)	Y_p (gm ⁻²)	TOL (gm ⁻²)	MP (gm ⁻²)	GMP (gm ⁻²)	SSI	STI	YI	YSI	DRI
1	234.80e	607.30abcd	327.60	421.05	377.05	1.60	0.39	0.63	0.38	-1.54
2	362.20abcd	573.90bcd	175.70	450.05	441.39	0.85	0.54	0.97	0.67	-0.65
3	390.50abc	538.60bcd	148.15	464.52	458.58	0.71	0.58	1.05	0.72	-0.63
4	409.90abc	498.10cd	88.30	454.00	451.84	0.46	0.56	1.10	0.82	0.93
5	411.80abc	723.00ab	311.20	567.35	545.59	1.12	0.82	1.11	0.56	-1.08
6	401.60abc	562.30bcd	160.70	482.00	475.25	0.74	0.62	1.08	0.71	0.88
7	347.50abcde	604.30abcd	256.75	475.92	458.28	1.11	0.58	0.93	0.57	-0.73
8	343.20abcde	600.80abcd	257.65	472.02	454.10	1.12	0.57	0.92	0.57	-0.46
9	344.00abcde	604.00abcd	260.00	474.00	455.82	1.12	0.57	0.92	0.56	-0.48
10	245.90de	462.70d	216.80	354.30	337.31	1.22	0.31	0.66	0.53	-1.04
11	430.10ab	583.80abcd	158.65	509.47	503.26	0.70	0.70	1.16	0.73	0.96
12	465.80a	562.20bcd	97.10	513.65	511.35	0.45	0.72	1.25	0.82	0.61
13	371.70abcd	661.10abcd	289.45	516.42	495.73	1.14	0.68	1.00	0.56	-0.57
14	404.80abc	779.30a	374.60	592.05	561.64	1.25	0.87	1.09	0.51	-0.86
15	353.70abcde	605.70abcd	252.00	479.70	462.85	1.08	0.59	0.95	0.58	-0.09
16	310.10bcde	515.00cd	204.95	412.57	339.64	1.04	0.44	0.83	0.60	0.63
17	424.60ab	733.60ab	309.00	579.15	558.16	1.10	0.86	1.14	0.57	1.10
18	434.60ab	635.50abcd	200.90	535.05	525.53	0.82	0.76	1.17	0.68	1.57
19	427.40ab	684.00abc	256.50	555.70	540.69	0.98	0.81	1.15	0.62	1.54
20	289.50cde	480.10cd	190.90	384.95	372.92	1.03	0.38	0.78	0.60	0.00
C.V.(%)	17.86	17.38	-	-	-	-	-	-	-	-

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

شاخص‌ها بر اساس میانگین داده‌ها محاسبه شده‌اند و تجزیه واریانس روی آن‌ها انجام نشده است.

برای شجره ژنوتیپ‌ها به جدول ۱ مراجعه شود.

Means, in each column, followed by the similar letters are not significantly different at the 5% probability level using DMRT.

Indices calculated based on means.

For genotypes pedigree see Table 1.

جدول ۴- ضرایب همبستگی شاخص‌های مقاومت به خشکی با عملکرد دانه در شرایط دیم و آبیاری

Table 4. Correlation coefficients between drought resistance indices and grain yield in rain-fed (Y_s) and irrigated (Y_p) conditions

	Y_s	TOL	SSI	MP	GMP	STI	YI	YSI	DRI
Y_s	1.00	-0.30 ^{ns}	-0.63 ^{**}	0.80 ^{**}	0.88 ^{**}	0.86 ^{**}	1.00 ^{**}	0.67 ^{**}	0.61 ^{**}
Y_p	0.45 [*]	0.71 ^{**}	0.35 ^{ns}	0.89 ^{**}	0.82 ^{**}	0.83 ^{**}	0.45 [*]	-0.35 ^{ns}	0.00 ^{ns}

ns, * and **: Not significant, significant at the 5% and 1% levels of probability, respectively.

ns, * and **: Not significant, significant at the 5% and 1% levels of probability, respectively.

Y_s : Yield in stress condition

Y_p : Yield in non-stress condition

TOL: Tolerance

MP: Mean productivity

GMP: Geometric mean productivity

عملکرد در شرایط تنش

عملکرد در شرایط بدون تنش

شاخص تحمل

شاخص میانگین بهره‌وری

میانگین هندسی بهره‌وری

SSI: Stress susceptibility Index

STI: Stress tolerance index

YI: Yield index

YSI: Yield stability

DRI: Drought response index

شاخص حساسیت به تنش

شاخص تحمل به تنش

شاخص عملکرد

شاخص پایداری عملکرد

شاخص پاسخ به خشکی

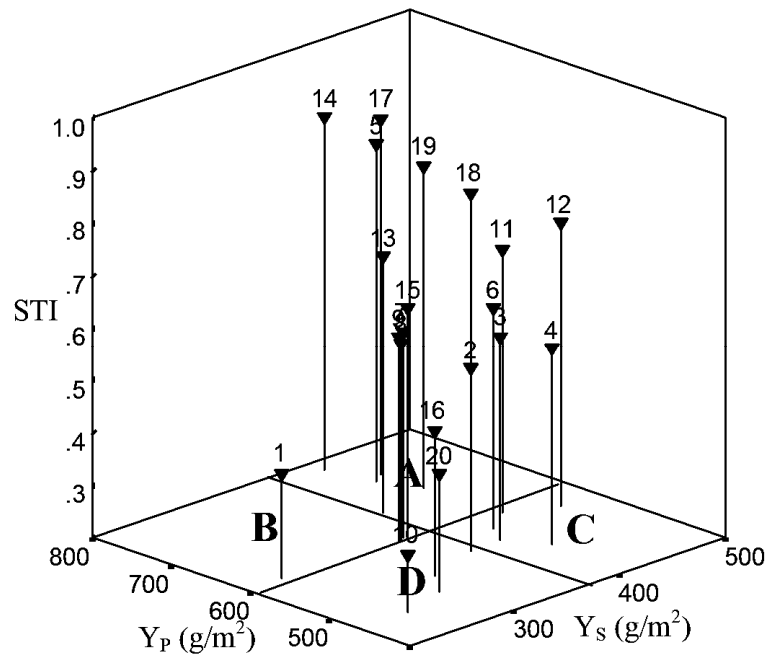
شاخص DRI بود. این ژنوتیپ بالاترین مقدار شاخص SSI را نیز داشت. به‌طور کلی با استفاده از شاخص‌های مقاومت به خشکی مبتنی بر عملکرد دانه ژنوتیپ‌های شماره ۱۸ و ۱۹ به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و ژنوتیپ شماره ۱ به‌عنوان ژنوتیپ حساس به خشکی شناسایی شدند.

تجزیه به مولفه‌های اصلی برای عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش و شاخص‌های مقاومت به خشکی انجام شد و به‌دلیل بیشتر بودن مقدار واریانس توجیه شده توسط دو مولفه اول (جمعاً ۹۹/۸۳ درصد) ترسیم بای‌پلات (شکل ۲) بر اساس این دو مولفه انجام شد. مولفه اول به‌علت داشتن ضرایب بالا و مثبت برای شاخص‌های STI، GMP، MP و عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش، پایداری عملکرد و تحمل به تنش خشکی نامیده شد. این مولفه ۶۴/۶۹ درصد از تنوع داده‌ها را توجیه کرد. در مولفه دوم با توجه به بالا و مثبت بودن ضرایب SSI، TOL و عملکرد در شرایط بدون تنش، حساسیت به تنش خشکی و پتانسیل عملکرد نامیده شد. این مولفه ۳۵/۱۴ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه کرد.

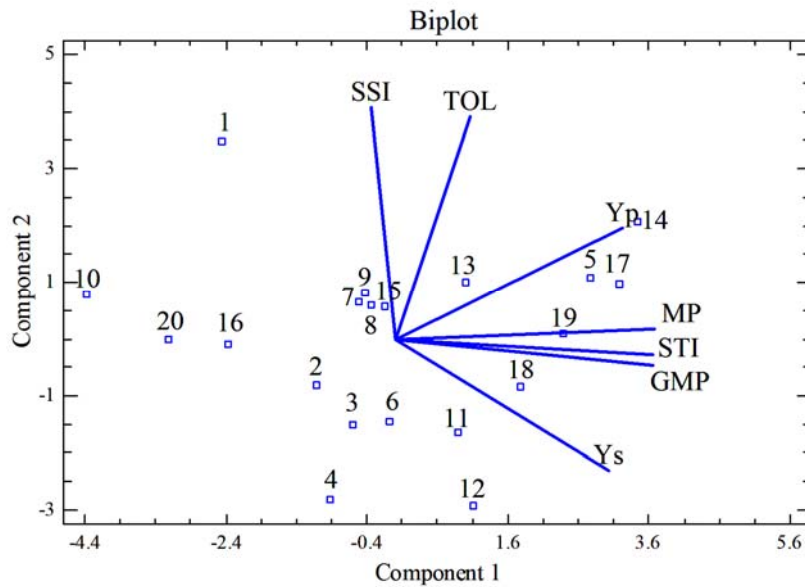
نمودار بای‌پلات نشان داد که ژنوتیپ‌های شماره ۵، ۱۴، ۱۷، ۱۸ و ۱۹ در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های مهم مقاومت به خشکی یعنی STI، MP و GMP قرار گرفتند. ژنوتیپ شماره ۱۸ تمایل بیشتری به بردار مربوط به عملکرد دانه در شرایط تنش داشت،

لذا ژنوتیپ مذکور علاوه بر تحمل به خشکی، عملکرد بالایی نیز در شرایط تنش داشته‌است. ژنوتیپ‌های شماره ۵، ۱۴ و ۱۷ به‌بردار مربوط به عملکرد در شرایط بدون تنش تمایل داشتند و این نشان می‌دهد که مقادیر بالا برای شاخص تحمل خشکی در این ژنوتیپ‌ها بیشتر به‌علت عملکرد بالای آن‌ها در شرایط بدون تنش بوده است. ژنوتیپ شماره ۱۳ نیز در بین شاخص‌های مهم تحمل تنش خشکی و حساسیت به خشکی قرار گرفت، بنابراین این ژنوتیپ نیمه‌حساس به خشکی است. با توجه به نمودار بای‌پلات ژنوتیپ شماره ۱ (پیش‌تاز) به‌عنوان ژنوتیپی با پتانسیل عملکرد بالا و حساس به خشکی شناخته شد. ژنوتیپ‌های شماره ۱۲، ۴ (سرداری)، ۱۱، ۶ و ۳ (آذر) به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی با حساسیت کم به تنش خشکی و همچنین پتانسیل کم عملکرد دانه شناسایی شدند. وجود زاویه حاده بین شاخص‌های STI، MP و GMP دلالت بر وجود همبستگی بالا بین این شاخص‌ها است. وجود همبستگی بالا بین دو شاخص TOL و SSI نیز در نمودار بای‌پلات مشهود بود.

نتایج تجزیه واریانس برای صفات اندازه‌گیری شده در بررسی آزمایشگاهی (جدول ۵) نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد بررسی برای تمامی صفات اندازه‌گیری شده در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی‌داری داشتند. بین سطوح مختلف تنش خشکی (۰، ۰/۴، ۰/۸) و ۱/۲- مگاپاسکال) برای تمامی صفات اختلاف معنی‌داری (سطح احتمال ۱٪) مشاهده شد.



شکل ۱- گزینش ژنوتیپ‌های تحمل کننده تنش خشکی با استفاده از شاخص تحمل تنش (STI)
 Fig. 1. Selection of drought tolerant genotypes using Stress Tolerance Index (STI)



شکل ۲- نمایش بای پلات شاخص‌های مقاومت به خشکی در بیست ژنوتیپ گندم براساس دو مولفه اول
 Fig. 2. Biplot for five drought resistance indices in 20 genotypes of bread wheat based on first two components
 Numbers inside the figures are genotypes (see Table 1).

جدول ۵- میانگین مربعات صفات اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه

Table 5. Mean of squares for measured traits in laboratory

S.O.V	منابع تغییرات	df.	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	طول ساقه‌چه Shoot length	طول ریشه‌چه Root length	بنیه جوانه‌زنی Germination vigor	شاخص تنش جوانه‌زنی Germination stress index
Genotype (G)	ژنوتیپ	19	0.150**	260.93**	16.55**	18.06**	4526.06**	0.100**
Stress (S)	تنش	3	5.440**	16341.16**	2347.27**	2136.53**	869629.28**	8.050**
S×G	ژنوتیپ×تنش	57	0.050**	65.96**	10.12**	11.98**	2194.32**	0.040**
Error	خطا	160	0.005	6.42	0.30	1.19	197.42	0.003
C.V.%	ضریب تغییرات	-	9.84	9.23	8.80	15.63	11.76	11.35

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

* and **: Significant at 5% and levels of probability, respectively.

برای تمامی صفات در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. این مطلب بیانگر واکنش متفاوت ژنوتیپ‌های مورد بررسی به سطوح مختلف تنش بود.

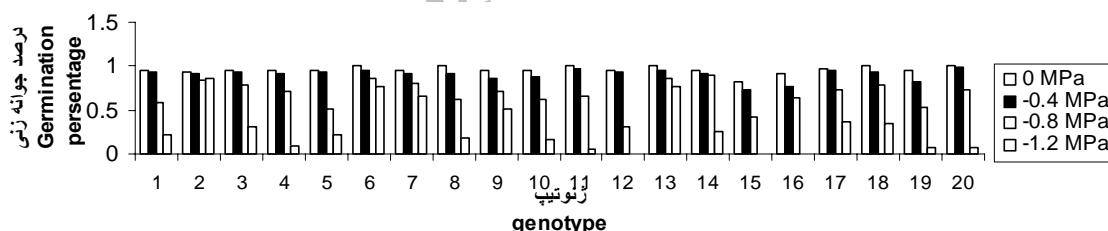
مقایسه میانگین اثر متقابل بین پتانسیل اسمزی ژنوتیپ‌ها به‌جز ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۶ و ۱۳ به‌صورت معنی‌دار کاهش یافت.

بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل پتانسیل اسمزی و ژنوتیپ برای سرعت جوانه‌زنی (شکل ۴) مشخص شد که با کاهش پتانسیل اسمزی تا سطح ۰/۴- مگاپاسکال سرعت جوانه‌زنی تمامی ژنوتیپ‌ها به‌جز ژنوتیپ‌های شماره ۱۱، ۱۳ و ۲۰ به‌صورت معنی‌دار نسبت به شاهد کاهش یافت. در حالی که برای درصد جوانه‌زنی با کاهش پتانسیل اسمزی تا این سطح به‌جز ژنوتیپ شماره ۱۶ درصد جوانه‌زنی هیچ کدام از ژنوتیپ‌ها به‌صورت معنی‌دار کاهش نیافت. سرعت جوانه‌زنی حساسیت بیشتری نسبت به درصد جوانه‌زنی به تنش

سعیدی و همکاران (۲۰۰۷) نیز برای صفات طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه بین سطوح مختلف تنش خشکی (۰، ۰/۴، ۰/۸، ۱/۲- و ۱/۶- مگاپاسکال) اختلاف معنی‌داری مشاهده کردند. اثر متقابل پتانسیل اسمزی و ژنوتیپ نیز و ژنوتیپ برای درصد جوانه‌زنی (شکل ۳) نشان داد که ژنوتیپ‌های مختلف در سطح بدون تنش و سطح ۰/۴- مگاپاسکال واکنش کم و تقریباً یکسانی در مواجهه با تنش اسمزی نشان دادند و با کاهش پتانسیل اسمزی تا سطح ۰/۴- مگاپاسکال درصد جوانه‌زنی هیچ کدام از ژنوتیپ‌ها به‌جز ژنوتیپ شماره ۱۶ به‌صورت معنی‌دار کاهش نیافت. با کاهش پتانسیل اسمزی تا سطح ۰/۸- مگاپاسکال ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۳، ۷، ۱۳ و ۱۴ کاهش معنی‌داری از نظر درصد جوانه‌زنی نشان ندادند، اما در بقیه ژنوتیپ‌ها درصد جوانه‌زنی به‌صورت معنی‌دار کاهش یافت. با کاهش پتانسیل اسمزی تا سطح ۱/۲- مگاپاسکال درصد جوانه‌زنی تمامی

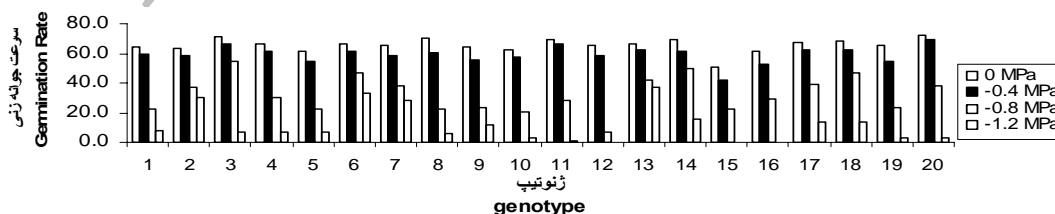
شاهد و ۰/۴- مگاپاسکال تنوع قابل ملاحظه‌های نشان دادند (شکل ۵). افزایش تنش تا سطح ۰/۴- مگاپاسکال باعث کاهش معنی دار طول ریشه‌چه برای کلیه ژنوتیپ‌ها به جز ژنوتیپ‌های شماره ۹ و ۱۷ شد. طول ریشه‌چه در ژنوتیپ‌های شماره ۱۵ و ۱۶ نیز افزایش یافت. در ادامه با کاهش پتانسیل اسمزی تا سطح ۰/۸- مگاپاسکال طول ریشه‌چه در تمامی ژنوتیپ‌ها کاهش معنی داری یافت. در سطح ۰/۸- مگاپاسکال بیشترین طول ریشه‌چه مربوط به ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۴، ۶، ۱۳ و ۱۷ و کمترین طول ریشه‌چه مربوط به ژنوتیپ‌های شماره ۹ و ۱۲ بود. در سطح ۱/۲- مگاپاسکال نیز بیشترین طول ریشه‌چه را ژنوتیپ شماره ۱۳ داشت.

خشکی داشت، به طوری که در پتانسیل‌های ۰/۴-، ۰/۸- و ۱/۲- مگاپاسکال سرعت جوانه‌زنی ۹/۷۵، ۵۰/۸۶ و ۸۲/۷۹ درصد اما درصد جوانه‌زنی ۵/۸۸، ۲۸/۹۵ و ۶۹/۱۷ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. این مطلب توسط عبدالباقی و آندرسون (۱۹۷۰) نیز گزارش شده است. افزایش تنش تا سطح ۰/۸- مگاپاسکال باعث کاهش معنی دار سرعت جوانه‌زنی برای کلیه ژنوتیپ‌ها به جز ژنوتیپ شماره ۱۴ شد. افزایش تنش تا سطح ۱/۲- مگاپاسکال باعث کاهش معنی دار سرعت جوانه‌زنی برای تمامی ژنوتیپ‌ها به جز ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۲ و ۱۳ شد. ژنوتیپ‌ها از نظر طول ریشه‌چه در سطح



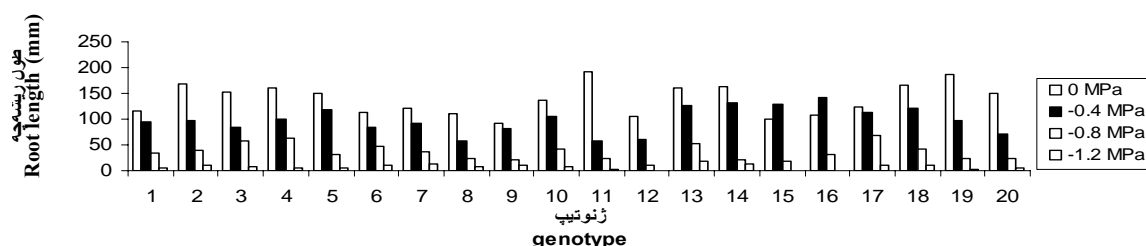
شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل بین سطوح پتانسیل اسمزی و ژنوتیپ برای درصد جوانه‌زنی (LSD 5% = ۰/۱۱)

Fig. 3. Mean comparison of interaction effects among osmotic potential levels and genotypes for germination percentage (LSD 5%= 0.11)



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل بین سطوح پتانسیل اسمزی و ژنوتیپ برای سرعت جوانه‌زنی (LSD 5% = ۴/۰۸)

Fig. 4. Mean comparison of interaction effects among osmotic potential levels and genotypes for germination rate (LSD 5%= 4.08)



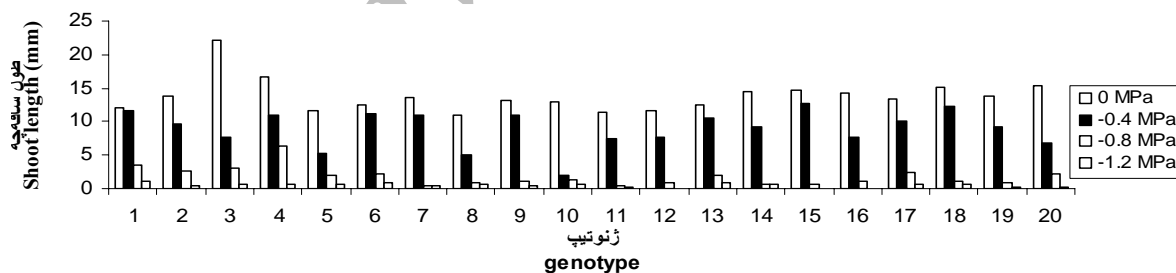
شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل بین سطوح پتانسیل اسمزی و ژنوتیپ برای طول ریشه چه

$$(LSD_{5\%} = 17/66)$$

Fig. 5. Mean comparison of interaction effects among osmotic potential levels and genotypes for root length (LSD 5%= 17.66)

مگاپاسکال طول ساقه چه برای همه ژنوتیپ‌ها به جز ژنوتیپ شماره ۱ به صورت معنی دار کاهش یافت. در این سطح ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۴، ۶، ۷، ۹، ۱۳، ۱۵ و ۱۸ بلندترین طول ساقه چه و ژنوتیپ‌های شماره ۵ و ۸ کوتاه‌ترین معنی دار طول ساقه چه برای تمام ژنوتیپ‌های مورد بررسی شد. در این سطح تنش بالاترین

مقایسه میانگین اثرات متقابل بین پتانسیل اسمزی و ژنوتیپ برای طول ساقه چه (شکل ۶) نشان داد که در سطح بدون تنش ژنوتیپ‌های شماره ۳ و ۴ بلندترین طول ساقه چه را داشتند. با کاهش پتانسیل اسمزی تا سطح -۰/۴ طول ساقه چه را به خود اختصاص دادند. افزایش تنش تا سطح -۰/۸ مگاپاسکال باعث کاهش



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل بین سطوح پتانسیل اسمزی و ژنوتیپ برای طول ساقه چه

$$(LSD_{5\%} = 8/89)$$

Fig. 6. Mean comparison of interaction effects among osmotic potential levels and genotypes for shoot length (LSD 5%= 8.89)

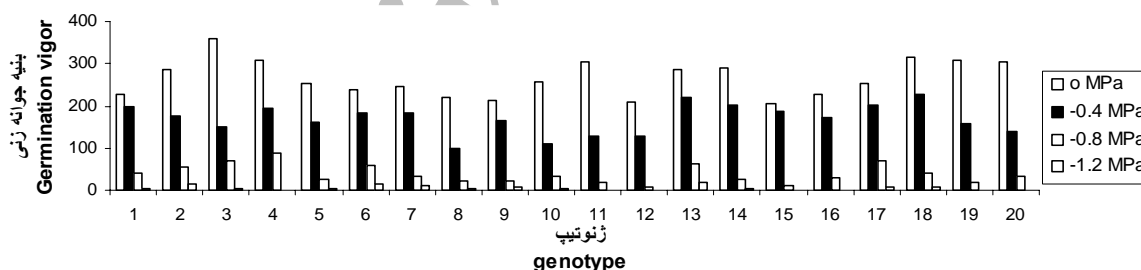
ساقه چه برای همه ژنوتیپ‌ها شد. در این سطح تنش از نظر این صفت اختلاف معنی داری بین ژنوتیپ‌ها مشاهده نشد. طول ساقه چه نسبت به

طول ساقه چه مربوط به ژنوتیپ شماره ۴ (سرداری) بود. افزایش تنش تا سطح -۱/۲ مگاپاسکال باعث کاهش معنی دار در طول

مشخص شد که ژنوتیپ‌های مختلف باهم در شرایط عدم تنش (آب مقطر) نیز تفاوت معنی داری داشته‌اند، به طوری که ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۴، ۱۱، ۱۸، ۱۹ و ۲۰ بالاترین ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۸، ۹، ۱۵ و ۱۲ پایین‌ترین بینه جوانه‌زنی را داشتند. با کاهش پتانسیل اسمزی برخلاف صفات درصد و سرعت جوانه‌زنی، بینه جوانه‌زنی با سرعت و شیب زیادتری در ژنوتیپ‌های مختلف کاهش یافت (در پتانسیل‌های -0.4 ، -0.8 و -1.2 مگاپاسکال بینه جوانه‌زنی به ترتیب $36/26$ ، $85/63$ و $98/08$ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت). سعیدی و همکاران (۲۰۰۷) نیز چنین نتایجی را گزارش کرده‌اند. دهاندا و همکاران (Dhanda *et al.*, 2004) بینه جوانه‌زنی را در

طول ریشه‌چه حساسیت بیشتری نسبت به سطوح تنش خشکی نشان داد، به طوری که در پتانسیل‌های -0.4 ، -0.8 و -1.2 مگاپاسکال طول ساقه‌چه $35/14$ ، $87/10$ و $96/37$ درصد اما طول ریشه‌چه $29/07$ ، $23/74$ و $94/87$ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. این نتایج توسط سعیدی و همکاران (۲۰۰۷) نیز گزارش شده است. ژنوتیپ‌های مختلف به منظور افزایش سطح تماس جهت جذب آب و در نهایت مقاومت بیشتر به تنش رطوبتی برای تطابق با شرایط تنش ماده خشک بیشتری را به ریشه‌ها اختصاص می‌دهند (Aguirrezabal *et al.*, 1994).

اثر متقابل بین پتانسیل اسمزی و ژنوتیپ برای بینه جوانه‌زنی معنی دار شد. با توجه به شکل ۷



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل بین سطوح پتانسیل اسمزی و ژنوتیپ برای بینه جوانه‌زنی

$$(LSD_{5\%} = 22.66)$$

Fig. 7. Mean comparison of interaction effects among osmotic potential levels and genotypes for germination vigor (LSD 5%= 22.66)

شماره ۸ کمترین بینه جوانه‌زنی را داشتند. با افزایش تنش تا سطح -0.8 مگاپاسکال بینه جوانه‌زنی تمامی ژنوتیپ‌ها به صورت معنی دار کاهش یافت. در پتانسیل اسمزی -0.8

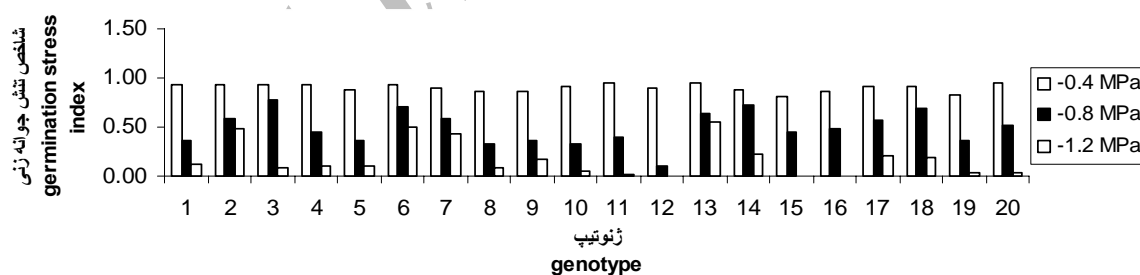
مقایسه با طول ساقه‌چه، درصد جوانه‌زنی و طول ریشه‌چه حساس‌ترین صفت به خشکی معرفی کردند. در پتانسیل اسمزی -0.4 مگاپاسکال ژنوتیپ‌های شماره ۱۳ و ۱۸ بیشترین و ژنوتیپ

به‌خود اختصاص دادند و در سطح تنش ۱/۲- مگاپاسکال ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۶، ۷ و ۱۳ بالاترین مقادیر را داشتند. به‌طور کلی بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها مشخص شد که ژنوتیپ‌های مورد بررسی در خصوص صفات اندازه‌گیری شده از تنوع قابل ملاحظه‌ای برخوردار بودند. ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۶ و ۱۳ از نظر اکثر صفات بررسی شده در سطوح مختلف خشکی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها وضعیت بهتری داشتند.

نتایج حاصل از تجزیه همبستگی صفات مورد مطالعه در بررسی آزمایشگاهی در جدول ۶ ارائه شده است. بین GSI با درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و بنیه جوانه‌زنی همبستگی مثبت و معنی‌دار مشاهده شد. در مطالعه زارعی و

مگاپاسکال ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۳، ۴، ۶، ۱۳ و ۱۷ بالاترین و ژنوتیپ‌های شماره ۱۲ و ۱۵ پایین‌ترین بنیه جوانه‌زنی را داشتند و در پتانسیل اسمزی ۱/۲- مگاپاسکال ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۶، ۷ و ۱۳ از بقیه ژنوتیپ‌ها برتر بودند.

در رابطه با شاخص تنش جوانه‌زنی (شکل ۸) در سطح اولیه تنش (۰/۴-) مگاپاسکال ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر شاخص مذکور تنوع کمی نشان دادند. با افزایش تنش تا سطح ۰/۸- مگاپاسکال مقدار شاخص مذکور به‌صورت معنی‌دار برای همه ژنوتیپ‌ها کاهش یافت. در سطح ۰/۸- مگاپاسکال ژنوتیپ‌های مورد مطالعه تنوع قابل ملاحظه‌ای داشتند. در این سطح تنش ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۶، ۱۳، ۱۴ و ۱۸ بیشترین مقدار و ژنوتیپ شماره ۱۲ کمترین مقدار را



شکل ۸. مقایسه میانگین اثر متقابل بین سطوح پتانسیل اسمزی و ژنوتیپ برای شاخص تنش جوانه‌زنی (LSD 5% = ۰/۰۸)

Fig. 8. Mean comparison of interaction effects among osmotic potential levels and genotypes for germination stress index (LSD 5%= 0.08)

بود. در این تحقیق بین صفات و شاخص‌های اندازه‌گیری شده در شرایط آزمایشگاه با STI و عملکرد دانه همبستگی مثبت و ناچیزی مشاهده

همکاران (Zarei et al., 2007) نیز بین GSI و سرعت جوانه‌زنی، تعداد ریشه‌چه، طول ریشه‌چه و طول کلئوپتیل همبستگی مثبت مشاهده شده

جدول ۶- ضرایب همبستگی ساده بین صفات اندازه گیری شده در آزمایشگاه
Table 6. Simple correlation coefficients between traits in laboratory condition

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
درصد جوانه زنی (1) Germination percentage								
سرعت جوانه زنی (2) Germination rate	0.90**							
طول ریشه چه (3) Root length	0.34 ^{ns}	0.45*						
طول ساقه چه (4) Shoot length	0.26 ^{ns}	0.38 ^{ns}	0.36 ^{ns}					
بنیه جوانه زنی (5) Germination vigor	0.56**	0.74**	0.82**	0.74**				
شاخص تنش جوانه زنی (6) Germination Stress Index	0.91**	0.91**	0.52*	0.44*	0.72**			
عملکرد دانه در شرایط تنش (7) Grain yield (Rain-fed)	0.04 ^{ns}	0.14 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.25 ^{ns}	0.09 ^{ns}		
شاخص تحمل خشکی (8) Stress Tolerance Index	0.07 ^{ns}	0.16 ^{ns}	0.30 ^{ns}	0.00 ^{ns}	0.23 ^{ns}	0.14 ^{ns}	0.86**	

ns, * and **: Not significant, significant at the 5% and 1% levels of probability, respectively.

شاخص‌های مقاومت به خشکی مبتنی بر عملکرد دانه وجود ندارد. عزیزی‌نیا و همکاران (Azizinia *et al.*, 2005) نیز نتایج مشابهی را گزارش کرده‌اند. به نظر می‌رسد که عدم همبستگی معنی‌دار بین صفات جوانه‌زنی و STI به این صورت قابل توجیه است که عملکرد در مراحل بعد از جوانه‌زنی تحت تأثیر فاکتورهای شناخته شده و شناخته نشده متعدد دیگر هم قرار می‌گیرد. در این شرایط به احتمال زیاد عواملی که در مراحل حساس شکل‌گیری عملکرد خصوصاً مرحله گلدهی روی گیاه تأثیر می‌گذارند بیشترین همبستگی معنی‌دار با عملکرد را خواهند داشت (Saeidi *et al.*, 2007).

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که در اثر افزایش تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی و

شد، بنابراین می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که با استفاده از پلی اتیلن گلایکول در غلظت‌های مختلف و اعمال تنش در آزمایشگاه و با مطالعه صفات جوانه‌زنی نمی‌توان به حساسیت و یا مقاومت ژنوتیپ‌های مورد بررسی در مرحله بعد از گرده‌افشانی پی برد و از این روش نمی‌توان برای معیار انتخاب غیر مستقیم به منظور شناسایی ژنوتیپ‌هایی که در مرحله بعد از گرده‌افشانی نیز متحمل به خشکی باشند استفاده کرد. در مطالعه زارعی و همکاران (۲۰۰۷) همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود داشت. این محققین GSI را به عنوان شاخص مناسبی برای انتخاب غیر مستقیم ژنوتیپ‌های تحمل‌کننده تنش خشکی معرفی کرده‌اند. از طرفی سعیدی و همکاران (Saeidi *et al.*, 2007) گزارش کردند که همبستگی معنی‌داری بین صفات جوانه‌زنی و

جهت انتخاب ژنوتیپ‌هایی که قادر به تحمل خشکی در شرایط مزرعه باشند مناسب نبودند. در شرایط مزرعه ژنوتیپ‌های شماره ۱۸ و ۱۹ و در بررسی آزمایشگاهی ژنوتیپ‌های شماره ۲ (کراس البرز)، ۶ و ۱۳ نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها از تحمل خشکی بالاتری برخوردار بودند.

سپاسگزاری

بدینوسیله از همکاری صندوق حمایت از پژوهشگران کشور ریاست جمهوری در تأمین امکانات مالی این طرح تحقیقاتی سپاسگزاری می‌گردد.

تمامی صفات بررسی شده کاهش یافتند. سرعت جوانه‌زنی نسبت به درصد جوانه‌زنی حساسیت بیشتری به تنش خشکی داشت. طول ساقه‌چه نیز نسبت به طول ریشه‌چه از حساسیت بیشتری به خشکی برخوردار بود. همچنین بنیه جوانه‌زنی نسبت به سایر صفات به خشکی حساس‌تر بود و با شدت بیشتری در اثر افزایش سطوح تنش کاهش یافت. در این تحقیق بین صفات اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه با تحمل به خشکی ژنوتیپ‌ها در شرایط مزرعه رابطه معنی‌داری مشاهده نشد. بر اساس این نتایج صفات جوانه‌زنی به‌عنوان معیارهای غیر مستقیم

References

- Abdul-Baki, A. A., and Anderson, J. D. 1970. Viability and leaching of sugars from germinating barley. *Crop Science* 10: 31 – 34.
- Aguirrezabal, L., Deleen, E., and Tardieu, F. 1994. Root elongation rate is accounted for intercepted PPF and source-sink relations in field and laboratory grown sunflower. *Plant Cell Environment* 7: 443-450.
- Azizinia, S., Ghannadha, M. R., Zali, A. A., Yazdi-Samadi, B., and Ahmadi, A. 2005. An evaluation of quantitative traits related to drought resistance in synthetic wheat genotypes in stress and non-stress conditions. *Iranian Journal of Agricultural Sciences* 36. 281-293 (in Farsi).
- Bidinger, F, R., Mahalakshami, V., and Rao, G. D. P. 1987. Assessment of drought resistance in pearl millet [*Pennisetum americanum* (L). Leeke]. II. Estimation of genotype response to stress. *Australian Journal of Agricultural Research* 38: 49-59.
- Bousslama, M., and Schapaugh, W. T. 1984. Stress tolerance in soybean. I: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science* 24: 933-937.

- Dhanda, S. S., Sethi, G. S., and Behl, R. K. 2004.** Indices of drought tolerance in wheat genotypes at early stages of plant growth. *Journal of Agronomy and Crop Science* 190: 6-12.
- Farshadfar, E., Mohammadi, R., Farshadfar, M., and Sutka, J. 2004.** Locating QTLs controlling field and laboratory predictors of drought tolerance in Agropyron using multiple selection index. *Cereal Research Communication* 32: 17-24.
- Fernandez, G. C. J. 1992.** Effective selection criteria for assessing stress tolerance. pp. 257-270. In: Kuo, C. G. (ed.). *Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress.* AVRDC Publication, Tainan, Taiwan.
- Fischer, R. A., and Maurer, R. 1978.** Drought resistance in spring wheat cultivars. I: grain yield response. *Australian Journal of Agricultural Research* 29: 897- 912.
- Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campaline, R. G., Ricciardi, G. L., and Borghi, B. 1997.** Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science* 77: 523- 531.
- Golabadi, M., Arzani, A., and Mirmohamadi maibody, S. A. M. 2006.** Assessment of drought tolerance in segregation population in durum wheat. *African Journal of Agricultural Research* 1: 162-171.
- Jamshid Moghaddam, M., and Pourdard, S. S. 2006.** Evaluation of safflower genotypes (*Carthamus tinctorius* L.) under moisture stress in controlled and field conditions. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 10 (2): 155-167 (in Farsi).
- Michel, E. B., and Kaufmann, M. K. 1972.** The osmotic potential of polyeyhylene glycol 6000. *Plant Physiology* 51: 914-916.
- Mohammadi, R. 2000.** Chromosomal locating of genes controlling drought resistance in rye and agropyron. MSc. Thesis. Razi University, Kermanshah, Iran (in Farsi).
- Ouk, M., Basnayake, J., Tsubo, M., Fukai, S., Fischer, K. S., Cooper. M., and Nesbitt, H. 2006.** Use of drought response index for identification of drought tolerant genotypes in rainfed lowland rice. *Field Crop Research* 99: 48-58.
- Rossielle, A., and Hamblin, A. J. 1981.** Theoretical aspects of selection for stress and non-stress environment. *Crop Science* 21: 1441- 1446.

- Saeidi, M., Ahmadi, A., Postini, K., and Jahansooz, M. R. 2007.** Evaluation of germination traits of different genotypes of wheat in osmotic stress situation and their correlations with speed of emergence and drought tolerance in Farm situation. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 11: 281-293 (in Farsi).
- Sio-Se Mardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K., and Mohammadi, V. 2006.** Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crop Research* 98: 222- 229.
- Zarei, L., Farshadfar, E., Haghparast, R., Rajabi, R., and Mohammadi Sarab Badieh, M. 2007.** Evaluation of some indirect traits and indices to identify drought tolerance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Asian Journal of Plant Science* 6: 1204-1210.