doi: 10.22124/c.2018.9213.1366

دانشگاه گیلان
دانشکده علوم کشاورزی

تحقیقات غلات

دوره هشتم/ شماره سوم/ پاییز ۱۳۹۷ (۳۳۲-۳۲۱)

شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به شوری و بررسی رابطه بین عملکرد و اجزای آن در گندم نان

امیر قلی‌زاده[۱]، حمید دهقانی[۲*]، اشکبوس امینی[۳] و امیدعلی اکبرپور[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۹/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۱۸

چکیده

یکی از تنش‌های غیرزنده مهم در نواحی خشک و نیمه‌خشک دنیا از جمله ایران، شوری خاک و آب است که باعث کاهش عملکرد گیاهان زراعی از جمله گندم می‌شود. استفاده از ارقام متحمل به شوری یکی از راه‌های دستیابی به عملکرد بالا در این نواحی است. همچنین بررسی رابطه بین عملکرد و اجزای عملکرد، راندمان برنامه‌های اصلاحی را با تعیین معیار انتخاب مناسب، بهبود می‌بخشد. در این مطالعه، ۱۱۰ ژنوتیپ گندم نان در مزرعه تحقیقاتی مرکز ملی تحقیقات شوری تحت دو شرایط بدون تنش و تنش شوری مورد ارزیابی قرار گرفتند. شوری آب آبیاری در شرایط بدون تنش و تنش شوری به‌ترتیب ۲/۷ و ۹/۵ دسی‌زیمنس بر متر بود. در این مطالعه از شاخص تحمل به تنش (STI) به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص برای ارزیابی تحمل به شوری ژنوتیپ‌های گندم نان استفاده شد. بر مبنای شاخص تحمل به تنش (STI) و عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش شوری، لاین‌های Salt18، Salt19، Salt20، Salt21، Salt22، Salt23، Salt24، Salt25، Salt26، Salt27، Salt28، Salt29، Salt30 و ارقام ارگ، بم، روشن، سرخ‌تخم، بومی یزد، کویر، مغان ۱، سرداری، شهریار و شیراز از عملکرد دانه بالایی در هر دو شرایط بدون تنش و تنش شوری برخوردار بودند و به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش شوری انتخاب شدند. بیش‌ترین عملکرد دانه (۱۷۸/۱۳ گرم) در شرایط بدون تنش از لاین Salt29 و در شرایط تنش شوری از لاین Salt24 (۱۶۴/۳۳ گرم) به‌دست آمد که نسبت به ارقام شاهد (ارگ، بم، روشن، سرخ‌تخم، بومی یزد و کراچیا) از عملکرد دانه بیش‌تری برخوردار بودند. نتایج تجزیه مسیر ترتیبی نیز نشان داد که صفات وزن دانه در خوشه و تعداد پنجه بارور تحت شرایط بدون تنش و صفات وزن خوشه، تعداد پنجه بارور، روز تا گلدهی و وزن پدانکل تحت شرایط تنش شوری به‌عنوان متغیرهای موثر بر عملکرد دانه انتخاب شدند. بنابراین به‌نظر می‌رسد که این صفات می‌توانند به‌عنوان معیارهای مناسب برای انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا تحت هر دو شرایط بدون تنش و تنش شوری مورد استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه مسیر ترتیبی، تنش شوری، شاخص تحمل به تنش، معیارهای گزینش

۱- دانشجوی دکتری، گروه ژنتیک و به‌نژادی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۲- استاد، گروه ژنتیک و به‌نژادی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۳- استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۴- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
* نویسنده مسئول: dehghanr@modares.ac.ir

مقدمه

گندم نان (*Triticum aestivum* L.) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین محصولات زراعی از لحاظ سطح زیر کشت و میزان تولید در جهان است و نقش مهمی را در تأمین نیاز غذایی جوامع بشری دارد (Royo *et al.*, 2004). گندم تأمین کننده ۲۱ درصد کالری و ۲۰ درصد پروتئین غذایی مورد نیاز بیش از ۴/۵ میلیارد نفر در ۹۴ کشور جهان است (Braun *et al.*, 2010). گیاهان همواره در معرض طیف وسیعی از تنش‌های غیرزیستی قرار دارند که این تنش‌ها آثار نامطلوبی بر بقا، رشد، کیفیت و کمیت محصولات کشاورزی دارند (Knight *et al.*, 2006). ایران در کمربند بیابانی جهان قرار دارد و به‌عنوان منطقه خشک در نظر گرفته می‌شود. متوسط بارندگی در کشور حدود ۲۵۰ میلی‌متر است که این میزان یک‌سوم بارندگی در جهان می‌باشد (Heidari-Sharifabad, 2008). در این مناطق کمبود آب به‌عنوان عامل اصلی و شوری خاک عامل بعدی و دوم کاهش رشد گیاه و عملکرد دانه به‌شمار می‌رود (Munns *et al.*, 2006). اثر مخرب تنش شوری در مراحل مختلف رشدی گندم نان، به‌دلیل کاهش پتانسیل اسمزی در محیط ریشه و تأثیر بر تعادل آبی گیاه و کاهش فشار آماس، توسط پژوهشگران زیادی گزارش شده است (Tester and Davenport, 2003; Munns *et al.*, 2006). تنش شوری، گسترش برگ، تولید پنجه، ارتفاع بوته، رشد سنبله و در نهایت عملکرد گندم نان را کاهش می‌دهد (Maas and Grieve, 1990).

از آنجا که منابع آبی با کیفیت مطلوب برای آبیاری محصولات در جهان محدود است، بنابراین استفاده از آب‌های شور برای کشاورزی اجتناب‌ناپذیر است. در چنین شرایطی، استفاده از ارقام گیاهی متحمل به شوری یکی از راهکارهای موثر در تولید و بهره‌برداری از خاک و آب شور است. ژنوتیپی را متحمل به تنش می‌نامند که در هر دو شرایط بدون تنش و تنش عملکرد بالایی داشته و به‌عبارت دیگر پایداری عملکرد داشته باشد و بتواند عملکرد بالای خود را در شرایط محیطی مختلف حفظ کند. برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل، شاخص‌های تحمل به تنش زیادی مانند شاخص تحمل (Tolerance Index, TOL)، شاخص تحمل به تنش (Stress Tolerance Index, STI)، شاخص حساسیت به تنش (Stress Susceptibility Index, SSI)، شاخص میانگین حسابی بهره‌وری (Mean Productivity, MP)، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (Geometric Mean Productivity, GMP) و غیره توسط محققین مختلف معرفی و ارایه شده است. یافته‌های محققین مختلفی نشان می‌دهد که بهترین شاخص برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل، شاخص تحمل به تنش (STI) است، زیرا قادر است ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط تنش و بدون تنش عملکرد بالایی دارند را از ژنوتیپ‌هایی که فقط در شرایط تنش یا فقط در شرایط بدون تنش عملکرد زیادی دارند، تفکیک کند (Fernandez, 1992; Sio-se Marde *et al.*, 2006; Sadeghzadeh-Ahari, 2006; Geravandi *et al.*, 2011).

علاوه بر معیارهای کمی تحمل که در انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش مفید هستند، بررسی روابط بین عملکرد و اجزای آن کارایی برنامه‌های اصلاحی را از طریق انتخاب شاخص‌های مناسب افزایش می‌دهد. از روش‌های بسیار مفید برای شناسایی این روابط، تجزیه همبستگی‌های فنوتیپی و پی بردن به آثار مستقیم و غیرمستقیم اجزای عملکرد با استفاده از تجزیه و تحلیل ضرایب مسیر است. از روش تجزیه مسیر برای تحلیل ماهیت روابط بین عملکرد و اجزای آن در اصلاح نباتات به‌طور گسترده‌ای استفاده شده است. برای اولین بار رایت (Wright, 1921) روشی را ارایه کرد که آن را تجزیه مسیر نام نهاد و ضرایب همبستگی را به آثار مستقیم و غیرمستقیم تفکیک کرد. با استفاده از این روش، میزان مشارکت واقعی هر صفت در توجیه یک صفت وابسته مانند عملکرد تخمین زده می‌شود (Dewey and Lu, 1959).

در بیش‌تر مطالعات تجزیه مسیر، صفات پیش‌بینی کننده به‌صورت صفات رتبه اول در نظر گرفته می‌شوند و اثر آن‌ها بر صفات وابسته‌ای مانند عملکرد محاسبه می‌شود. این روش ممکن است منجر به هم‌راستایی بین صفات شده و در نتیجه تفسیر سهم هر صفت با مشکل مواجه شود. مهم‌ترین فرضیه در رگرسیون چندگانه آن است که صفات پیش‌بینی کننده مستقل از یک‌دیگر باشند، ولی واقعیت آن است که صفات وابسته به عملکرد با یکدیگر مرتبط هستند. در تجزیه ضرایب مسیر ترتیبی متغیرها در رتبه‌های مختلف قرار می‌گیرند (Samonte *et al.*, 1998). استفاده از رگرسیون گام به گام که در آن صفات با تأثیر غیرمعنی‌دار حذف می‌شوند، می‌تواند میزان هم‌راستایی بین صفات باقیمانده را کاهش دهد. با اینحال، این رویه می‌تواند منجر به از دست رفتن بخشی از اطلاعات شود. راهکار بهتر می‌تواند استفاده از یک رگرسیون گام به گام ترتیبی باشد

که در آن صفاتی که از تجزیه ضرایب مسیر رتبه اول حذف می‌شوند، دوباره برای رتبه بعدی بررسی شوند که این روش اساس تجزیه ضرایب مسیر ترتیبی را تشکیل می‌دهد. در این روش، ابتدا صفات رتبه اول بر اساس داشتن بیش‌ترین اثر مستقیم و حداقل هم‌راستایی با صفت وابسته تعیین می‌شوند. سپس اثر سایر متغیرها روی صفات رتبه اول بررسی و متغیرهای اثرگذار بر این صفات (که به‌عنوان صفات رتبه دوم برای صفت وابسته اصلی هستند) مشخص می‌شوند. این روش می‌تواند در رتبه‌های بعدی نیز ادامه یابد تا زمانی که روابط بین صفات به‌طور کامل مشخص شود (Mohammadi *et al.*, 2014).

از روش تجزیه مسیر ترتیبی در ذرت (Mohammadi *et al.*, 2003)، سیب‌زمینی (Asghari-Zakaria *et al.*, 2006)، خربزه (Feyzian *et al.*, 2009)، کلزا (Sabaghnia *et al.*, 2010) و طالبی (Mohammadi *et al.*, 2014) برای تعیین روابط میان صفات استفاده شده است. هدف از این تحقیق، شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش شوری، تحلیل همبستگی بین عملکرد و اجزای آن در گندم نان و نیز تعیین برتری نسبی تحلیل مسیر ترتیبی نسبت به تجزیه ترتیبی متداول در شناسایی صفات مفید و موثر در اصلاح ژنوتیپ‌های پرمحصول گندم نان بود.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه، ۱۱۰ ژنوتیپ گندم نان شامل ۱۳ لاین پیشرفته غربال‌شده در شرایط تنش شوری که در مراحل نهایی اصلاحی بودند، ۱۶ توده خالص بومی جمع‌آوری شده از مناطق مختلف کشور به‌ویژه گرم و خشک کویر، رقم کراچیا به‌عنوان یک رقم شاهد و بین‌المللی شناخته شده برای تحمل به تنش شوری، ارقام روشن، ارگ، بم و سرخ‌تخم به‌عنوان ارقام شناخته شده متحمل در ایران، شاه‌پسند و فلات به‌عنوان ارقام حساس به تنش شوری، یک رقم محلی (بومی یزد) و ۷۳ ژنوتیپ گندم تجاری که در نقاط مختلف کشور کشت می‌شوند (جدول ۱)، مورد استفاده قرار گرفتند. بذر کلیه ژنوتیپ‌ها از موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شدند. آزمایش در مزرعه تحقیقاتی مرکز ملی شوری وابسته به مرکز ملی تحقیقات شوری واقع در استان یزد انجام گرفت. ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار تحت دو شرایط بدون تنش و تنش شوری مورد ارزیابی قرار گرفتند. ژنوتیپ‌ها به‌صورت کرتی روی خطوط، کشت و مورد ارزیابی قرار گرفتند. آبیاری تحت شرایط شور با آب ده دسی‌زیمنس بر متر و تحت شرایط بدون تنش با آب دو دسی‌زیمنس بر متر انجام شد. کاشت بذرها در کرت‌های آزمایشی با دست و با توجه به قوه نامیه و وزن هزار دانه بر اساس تراکم ۵۰۰ دانه در متر مربع در آذر ماه انجام گرفت. هر کرت آزمایشی شامل دو خط کاشت به طول یک متر و عرض ۲۰ سانتی‌متر بود. طی فصل رشد و تحت هر دو شرایط آزمایشی، نمونه‌برداری از خاک از منطقه توسعه ریشه تا عمق ۹۰ سانتی‌متری انجام گرفت تا شوری خاک تعیین شود. متوسط میزان شوری عصاره اشباع خاک در طول فصل رشد تحت دو شرایط تنش شوری و بدون تنش به‌ترتیب ۹/۵ و ۲/۷ دسی‌زیمنس بر متر بود. همچنین، کوددهی با توجه به نیاز گیاه و وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی طی فصل رشد انجام شد.

صفات ارزیابی شده در این تحقیق شامل طول پدانکل، ارتفاع بوته، طول خوشه، طول برگ پرچم، طول ریشک، وزن پدانکل در مرحله برداشت، وزن خوشه، تعداد پنجه بارور، تعداد سنبلچه در خوشه، تعداد دانه در خوشه، وزن دانه در خوشه، وزن صد دانه و محتوای کلروفیل برگ پرچم (که در مرحله گرده‌افشانی با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر دستی، SPAD-502 اندازه‌گیری شد) بودند که در پنج بوته از هر رقم به‌طور تصادفی یادداشت‌برداری و میانگین‌گیری شد. پس از رسیدگی محصول، ده بوته تصادفی از هر واحد آزمایشی برداشت و عملکرد زیست‌توده (وزن خشک کل بوته در مرحله برداشت) اندازه‌گیری شد و پس از آن بوته‌ها خرمن‌کوبی شدند و عملکرد دانه بر حسب گرم اندازه‌گیری شد. سپس شاخص برداشت در هر یک از شرایط بدون تنش و تنش شوری از نسبت عملکرد دانه به عملکرد زیست‌توده محاسبه شد. صفات تعداد روز تا گلدهی (بر حسب تعداد روز از زمان کاشت تا به خوشه رفتن ساقه اصلی ۵۰ درصد از بوته‌های هر کرت) و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک (بر حسب تعداد روز از زمان کاشت تا رسیدگی ۵۰ درصد از بوته‌های هر کرت) نیز یادداشت‌برداری شد.

تجزیه و تحلیل‌های آماری

ابتدا نرمال‌بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov) ارزیابی شد. سپس برای ارزیابی تحمل به شوری ژنوتیپ‌ها، از شاخص تحمل به تنش (Stress tolerance index) بر اساس رابطه (۱) استفاده شد (Fernandez, 1992). بر این اساس، ژنوتیپ‌هایی که

شاخص تحمل به تنش (STI) بالاتر از یک داشتند، به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به شوری شناخته شدند.

$$STI = \frac{Y_P \times Y_S}{(\overline{Y}_P)^2} \quad (۱)$$

در این رابطه، Y_P و Y_S به‌ترتیب عملکرد یک ژنوتیپ تحت شرایط بدون تنش و تنش و $\overline{Y}_P$ میانگین عملکرد همه ژنوتیپ‌ها تحت شرایط بدون تنش است.

در مرحله بعد تجزیه رگرسیون چندگانه به‌روش گام به گام برای مشخص کردن صفات پیش‌بینی کننده رتبه اول و دوم استفاده شد. این رتبه‌بندی بر اساس سهم صفات در میزان توجیه صفت وابسته عملکرد و نیز حداقل هم‌راستایی (Collinearity) صورت گرفت. میزان هم‌راستایی بین صفات در هر قسمت از مسیر با استفاده از شاخص عامل تورم واریانس (Variance Inflation Factor) و عکس آن، ضریب تحمل (Tolerance) اندازه‌گیری شد (Hair *et al.*, 1995). بر این اساس، مقادیر عامل تورم واریانس بالاتر از ۱۰ و ضریب تحمل کم‌تر از ۰/۱ نشانه هم‌راستایی بالا هستند. بر اساس مقادیر عامل تورم واریانس، ضریب تحمل و نیز بزرگی آثار مستقیم، صفات رتبه اول در توجیه صفت وابسته عملکرد انتخاب شدند. سپس این رویه به‌طور مجزا برای هر یک از صفات رتبه اول به‌عنوان صفات وابسته انجام شد تا متغیرهای توجیه‌کننده تغییرات این صفات مشخص و به‌عنوان صفات رتبه دوم عملکرد در نظر گرفته شوند. پس از شناسایی متغیرهای رتبه اول و دوم، آثار مستقیم این متغیرها بر عملکرد محاسبه شد (William *et al.*, 1990). ضریب تبیین جزیی نیز از طریق ضرایب مسیر برای تمام صفات پیش‌بینی‌کننده اندازه‌گیری شد. برای محاسبه خطای استاندارد ضرایب مسیر از روش نمونه‌گیری مجدد بوت‌استراپ (Bootstrap) استفاده شد (Efron and Tibshirani, 1993). این روش با نرم‌افزار AMOS نسخه ۱۹ (AMOS, 2010) انجام شد. پس از به‌دست آوردن خطاهای استاندارد، از آزمون t-Student برای آزمون معنی‌داری ضرایب مسیر استفاده شد. تجزیه‌های آماری این تحقیق با نرم‌افزارهای SPSS نسخه ۱۹ (SPSS, 2010) و SAS نسخه ۹ (SAS Institute, 2011) انجام شد.

نتایج و بحث

شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به شوری

بر اساس مقادیر بالای یک برای شاخص STI که نشان‌دهنده تحمل ژنوتیپ‌ها است، لاین‌های Salt18، Salt19، Salt20، Salt21، Salt22، Salt23، Salt24، Salt25، Salt26، Salt27، Salt28، Salt29، Salt30 و ارقام ارگ، بم، روشن، سرخ‌تخم، بومی یزد، کویر، مغان ۱، سرداری، شهریار، شیراز به‌ترتیب با مقادیر STI برابر با ۱/۵۸، ۲/۲۶، ۲/۰۲، ۱/۸۰، ۲/۶۱، ۱/۵۶، ۳/۰۱، ۲/۰۱، ۱/۴۸، ۲/۴۳، ۲/۱۳، ۲/۵۸، ۲/۶۵، ۲/۰۷، ۱/۶۰، ۲/۱۱، ۱/۹۶، ۱/۸۵، ۱/۷۵، ۱/۶۸، ۱/۱۲، ۱/۸۹، ۱/۴۴ به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به شوری شناخته شدند (جدول ۱). به‌نظر می‌رسد که تحمل بالای این ژنوتیپ‌ها مربوط به تجمع ژن‌های تحمل به تنش شوری در این ژنوتیپ‌ها باشد. در مجموع نتایج این تحقیق نشان داد که رقم شاه‌پسند و لاین Salt24 به‌ترتیب با مقادیر STI برابر با ۰/۰۲ و ۳/۰۱ به‌عنوان حساس‌ترین و متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش شوری بودند (جدول ۱). در مطالعه‌ای، رنجبر و روستا (Ranjbar and Rusta, 2011) شاخص STI را به‌عنوان شاخص موثر در انتخاب ژنوتیپ‌های گندم متحمل به شوری معرفی و بر اساس آن، ژنوتیپ (PF70354/BOW…) را به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ به تنش شوری معرفی کردند. ابوالحسنی و سعیدی (Abolhassani and Saeidi, 2006) نیز با بررسی شاخص‌های مختلف حساسیت و تحمل به تنش (MP، GMP، TOL، STI و SSI)، شاخص STI را به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص برای تشخیص ژنوتیپ‌های متحمل در گلرنگ معرفی و بر اساس آن، لاین E2428 را به‌عنوان متحمل‌ترین و رقم خارجی Ac-Sunset (از کشور کانادا) را به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ معرفی کردند. قلی‌زاده و همکاران (Gholizadeh *et al.*, 2014) نیز در ارزیابی تحمل به شوری ۴۱ ژنوتیپ گندم نان از شاخص STI استفاده و بر اساس این شاخص ارقام روشن و بومی یزد را به‌عنوان ارقام متحمل به شوری معرفی کردند.

تجزیه مسیر متداول و تجزیه مسیر ترتیبی تحت شرایط بدون تنش

در این مطالعه، ابتدا از یک مدل تجزیه مسیر متداول استفاده شد که در آن تمام صفات به‌عنوان توجیه‌کننده صفت وابسته عملکرد مدنظر قرار گرفتند. در این حالت، هم‌راستایی بین صفات موثر بر عملکرد مشاهده شد که نشانگر کفایت نکردن این مدل (مدل اول) در نشان دادن سهم واقعی هر یک از صفات مستقل بود.

جدول ۱- مقادیر شاخص تحمل به تنش و عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم نان تحت شرایط بدون تنش و تنش شوری

Table 1. Stress tolerance index and grain yield of wheat genotypes under non-stress and saline stress conditions

No.	Genotype	Y_P (g)[a]	Y_S (g)[a]	STI[b]	No.	Genotype	Y_P (g)[a]	Y_S (g)[a]	STI[b]
1	Salt18	131.47	116.87	1.58	43	Alvand	65.57	52.43	0.35
2	Salt19	158.00	138.90	2.26	44	Arta	66.90	54.77	0.38
3	Salt20	144.97	135.00	2.02	45	Arum	93.77	80.20	0.77
4	Salt21	142.37	122.50	1.80	46	Arvand	63.80	43.27	0.28
5	Salt22	164.85	153.67	2.61	47	Atrak	78.90	52.03	0.42
6	Salt23	129.80	116.67	1.56	48	Azadi	141.47	30.50	0.44
7	Salt24	177.80	164.33	3.01	49	Azar2	71.20	36.60	0.27
8	Salt25	158.63	123.13	2.01	50	Bahar	104.03	89.40	0.96
9	Salt26	128.00	112.23	1.48	51	Bayat	104.80	56.87	0.61
10	Salt27	162.73	145.17	2.43	52	Baz	60.60	31.53	0.20
11	Salt28	156.57	132.03	2.13	53	BC_Rushs	142.40	41.73	0.61
12	Salt29	178.13	140.83	2.58	54	BC_Rushw	116.20	68.30	0.82
13	Salt30	170.00	151.47	2.65	55	Bezostaya	81.90	50.10	0.42
14	Bumi1	127.37	53.93	0.71	56	Chamran	87.30	67.10	0.60
15	Bumi2	89.33	40.50	0.37	57	Chenab	89.90	60.20	0.56
16	Bumi3	62.27	50.60	0.32	58	Darab2	119.63	58.10	0.72
17	Bumi4	101.03	64.60	0.67	59	Darya	74.20	39.63	0.30
18	Bumi5	154.50	54.03	0.86	60	Dez	102.50	74.70	0.79
19	Bumi6	29.53	24.97	0.08	61	DN11	62.23	52.20	0.33
20	Bumi7	52.97	46.60	0.25	62	Gaskogen	92.37	69.37	0.66
21	Bumi8	85.10	48.07	0.42	63	Gaspard	66.50	41.97	0.29
22	Bumi9	82.83	58.87	0.50	64	Ghods	76.77	70.57	0.56
23	Bumi10	65.83	42.47	0.29	65	Golestan	132.43	71.37	0.97
24	Bumi12	80.90	69.00	0.57	66	Hamun	89.90	74.40	0.69
25	Bumi13	57.93	33.37	0.20	67	Hirmand	88.40	43.43	0.40
26	Bumi14	59.57	39.40	0.24	68	Inia	83.03	65.23	0.56
27	Bumi15	121.10	41.60	0.52	69	Karaj1	75.57	64.73	0.50
28	Bumi16	65.10	28.97	0.19	70	Karaj2	69.70	53.47	0.38
29	Bumi17	104.07	50.73	0.54	71	Karaj3	78.20	69.57	0.56
30	Karchia	104.10	71.23	0.76	72	Kaveh	98.57	24.43	0.25
31	Arg	166.50	120.43	2.07	73	Kavir	152.30	111.67	1.75
32	Bam	134.90	114.97	1.60	74	Khazar1	58.50	41.30	0.25
33	Rushan	157.90	129.57	2.11	75	Krasshah	123.57	56.47	0.72
34	Sorkhtokhm	170.43	111.67	1.96	76	Lain_A	72.63	42.93	0.32
35	Check variety	150.67	119.03	1.85	77	Mahdavi	109.17	75.03	0.84
36	Shahpasand	13.70	13.67	0.02	78	Marun	118.90	48.70	0.60
37	Falat	74.67	47.97	0.37	79	Marvdasht	72.30	52.17	0.39
38	Adl	97.97	54.47	0.55	80	Mihan	66.00	54.30	0.37
39	Aflak	72.53	61.83	0.46	81	Moghan1	144.70	112.47	1.68
40	Akbari	70.70	37.07	0.27	82	Moghan2	83.53	68.53	0.59
41	Alamut	92.30	68.03	0.65	83	Moghan3	69.40	57.27	0.41
42	Alborz	73.17	21.63	0.16	84	Morvarid	40.33	29.80	0.12
85	MV17	103.43	53.20	0.57	98	Shiraz	121.60	114.73	1.44
86	Navid	103.70	61.47	0.66	99	Shirudi	51.43	14.97	0.08
87	Niknejad	120.23	55.20	0.68	100	Sholeh	86.40	61.30	0.55
88	Omid	105.20	56.60	0.61	101	Sistan	75.83	46.47	0.36
89	Parsi	89.30	83.67	0.77	102	Sivand	81.83	63.37	0.53
90	Pishgam	59.40	49.33	0.30	103	Star	77.50	61.33	0.49
91	Pishtaz	101.87	73.57	0.77	104	Tabasi	75.60	36.60	0.28
92	Rasul	41.00	32.27	0.14	105	Tajan	67.80	24.93	0.17
93	Sabalan	86.30	37.87	0.34	106	Tus	60.30	45.60	0.28
94	Sardari	112.40	97.10	1.12	107	Virinak	51.40	49.53	0.26
95	Sayson	72.57	51.37	0.38	108	Zagros	76.27	44.00	0.35
96	Sepahan	119.80	77.70	0.96	109	Zare	101.70	37.90	0.40
97	Sharyar	166.10	110.37	1.89	110	Zarin	117.37	25.83	0.31

[a] YP and Y_S: Grain yield under non-stress and saline stress conditions, respectively.

[b] STI: Stress tolerance index.

تحلیل هم‌راستایی صفات و نیز تخمین آثار مستقیم از طریق تجزیه مسیر متداول به‌گونه‌ای که تمام صفات وابسته به عملکرد به‌عنوان صفات رتبه اول در نظر گرفته شدند، در جدول ۲ ارایه شده است. هم‌راستایی بالایی بین برخی از صفات مشاهده شد. برای مثال، عامل تورم واریانس برای تعداد روز تا گلدهی ۱۶/۲۴ درصد بود. دلیل این هم‌راستایی زیاد، همبستگی بالای تعداد روز تا گلدهی با تعداد روز تا رسیدگی و در نتیجه، عدم اطمینان از توجیه تنوع عملکرد به‌خاطر اختلاط آثار بود. صفات روز تا رسیدگی، طول پدانکل و ارتفاع بوته نیز به‌ترتیب با عامل تورم واریانس ۱۷/۶۰، ۱۹/۰۸ و ۱۰/۲۸ درصد هم‌راستایی بالایی را نشان دادند که دلیل آن، همبستگی بالای این صفات با سایر صفات توجیه‌کننده تغییرات عملکرد بود. با استفاده از روش تجزیه مسیر ترتیبی، میزان هم‌راستایی بین صفات در این مطالعه کاهش یافت (جدول ۲). در مقایسه با نتایج تجزیه مسیر متداول، تجزیه مسیر ترتیبی روابط بین صفات و سهم آن‌ها را در توجیه تنوع عملکرد ساده‌تر بیان کرد. مقادیر عامل تورم واریانس برای متغیرهای پیش‌بینی کننده، کاهش قابل ملاحظه این مقادیر را در مدل اول نسبت به مدل دوم نشان داد (جدول ۲). تجزیه رگرسیون گام به گام انجام شده در این مطالعه، میزان هم‌راستایی متغیرها را به حداقل رساند و با کاهش اختلاط آثار، میزان مشارکت واقعی هر متغیر در مسیرهای مختلف به‌درستی مشخص شد. مزیت تجزیه مسیر ترتیبی نسبت به تجزیه مسیر متداول، در مطالعات دیگری نیز به اثبات رسیده است (Samonte *et al*., 1998; Mohammadi *et al.*, 2003; Feyzian *et al.*, 2009; Sabaghnia *et al.*, 2010).

در این روش، صفات به دو دسته صفات رتبه اول و رتبه دوم تقسیم شدند. بر اساس مقادیر عامل تورم واریانس، ضریب تحمل و نیز بزرگی آثار مستقیم، صفات میانگین وزن دانه در خوشه و تعداد پنجه بارور به‌عنوان متغیرهای رتبه اول در توجیه صفات وابسته به عملکرد انتخاب شدند (جدول‌های ۲ و ۳). این رویه سپس به‌طور مجزا برای دو صفت وزن دانه در خوشه و تعداد پنجه بارور به‌عنوان صفات وابسته انجام شد که در نتیجه، متغیرهای رتبه دوم برای صفت عملکرد مشخص شدند. میانگین آثار مستقیم که از ۲۰۰ نمونه بوت‌استراپ به‌دست آمد، توافق نزدیکی با آثار مستقیم مشاهده شده نشان داد (جدول ۳). پایین بودن اشتباه معیار و میزان اریب آثار مستقیم همه صفات، قدرت تجزیه مسیر ترتیبی را در نشان‌دادن سهم واقعی هر یک از صفات در توجیه عملکرد نشان داد. آزمون t که با استفاده از مقادیر اشتباه معیار حاصل از تحلیل بوت‌استراپ انجام شد، حاکی از معنی‌دار بودن تمامی آثار مستقیم بود.

آثار مستقیم متغیرها در جدول ۳ ارایه شده است. وزن دانه در خوشه و تعداد پنجه بارور به‌عنوان متغیرهای رتبه اول ۷۵ درصد از تغییرات عملکرد را توجیه کردند (جدول ۳). تجزیه مسیر برای صفات رتبه دوم نشان داد که پنج صفت وزن خوشه، تعداد دانه در خوشه، وزن صد دانه، ارتفاع گیاه و طول برگ پرچم بر وزن دانه در خوشه تأثیر داشته و در مجموع ۸۰ درصد از تغییرات این صفت را توجیه کردند. اثر مستقیم وزن خوشه، تعداد دانه در خوشه، وزن صد دانه و ارتفاع گیاه مثبت، ولی اثر مستقیم برگ پرچم منفی بود (جدول ۳). تجزیه مسیر برای تعداد پنجه بارور نشان داد که ۱۴ درصد از تنوع موجود در این صفت توسط سه صفت وزن صد دانه، محتوای کلروفیل و تعداد دانه در خوشه توجیه شد. آثار مستقیم وزن صد دانه و محتوای کلروفیل مثبت، ولی اثر مستقیم تعداد دانه در خوشه منفی بود (جدول ۳).

تجزیه مسیر متداول و تجزیه مسیر ترتیبی تحت شرایط تنش شوری

تحت شرایط تنش شوری نیز ابتدا از یک مدل تجزیه مسیر متداول استفاده شد که در آن تمام صفات به‌عنوان توجیه کننده صفت وابسته عملکرد مدنظر قرار گرفتند. در این‌حالت، میزان هم‌راستایی بین صفات وابسته به عملکرد نشانگر عدم کفایت این مدل (مدل اول) در نشان دادن سهم واقعی هر یک از صفات وابسته به عملکرد بود.

تحلیل هم‌راستایی صفات و نیز تخمین آثار مستقیم از طریق تجزیه مسیر متداول به‌گونه‌ای که تمام صفات وابسته به عملکرد در رتبه اول با آن در نظر گرفته شدند، در جدول ۴ ارایه شده است. هم‌راستایی بالا بین برخی از صفات مشاهده شد. ارتفاع بوته، تعداد دانه در خوشه، وزن دانه در خوشه و وزن خوشه به‌ترتیب با مقدار عامل تورم واریانس ۱۶/۲۰، ۲۴/۳۷، ۱۳/۹۷و ۱۵/۲۴ درصد هم‌راستایی بالایی را نشان دادند.

جدول ۲- عامل تورم واریانس و ضریب تحمل برای صفات پیش‌بینی کننده عملکرد گندم تحت شرایط بدون تنش در مدل تجزیه مسیر متداول (تمام صفات به‌عنوان متغیرهای رتبه اول در نظر گرفته شدند) و مدل تجزیه مسیر ترتیبی (متغیرها به دو گروه متغیرهای رتبه اول و دوم گروه‌بندی شدند)

Table 2. Variance inflation factor (VIF) and tolerance coefficient for predictor traits of bread wheat yield under non-stress conditions in conventional path analysis (CPA, all predictor traits were considered as first-order traits) and sequential path analysis (SPA, predictor traits were grouped into first and second-order traits)

Predictor trait	Response trait	Tolerance		VIF	
		CPA	SPA	CPA	SPA
Kernel weight per spike	Grain yield	0.146	0.991	6.849	1.004
Number of fertile tiller		0.690	0.991	1.450	1.004
Spike weight	Kernel weight per spike	0.155	0.433	6.448	2.311
Number of kernel per spike		0.295	0.544	3.394	1.837
100-kernel weight		0.328	0.556	3.048	1.800
Plant height		0.097	0.872	10.288	1.146
Flag leaf length		0.583	0.891	1.716	1.122
100-kernel weight	Number of fertile tiller	0.328	0.977	3.048	1.023
Chlorophyll content		0.550	0.971	1.817	1.030
Number of kernel per spike		0.295	0.953	3.394	1.049

جدول ۳- تخمین مقادیر خطای استاندارد ضرایب مسیر در گندم از طریق تحلیل بوت‌استراپ تحت شرایط بدون تنش

Table 3. Estimation of standard errors of path coefficients in wheat using bootstrap analysis under non-stress conditions

Predictor trait	Response trait	Adjusted R^2	Direct effect	Bootstrap		
				Mean	Bias	Standard error
Kernel weight per spike	Grain yield	0.75	0.498	14.658	-0.165	1.947
Number of fertile tiller			0.291	1.711	-0.027	0.490
Spike weight	Kernel weight per spike	0.80	0.600	0.528	0.009	0.084
Number of kernel per spike			0.330	0.060	-0.002	0.018
100-kernel weight			0.178	0.450	-0.006	0.198
Plant height			0.137	0.023	-0.001	0.010
Flag leaf length			-0.134	-0.137	-0.001	0.045
100-kernel weight	Number of fertile tiller	0.14	0.238	0.399	-0.013	0.154
Chlorophyll content			0.248	3.215	0.179	1.211
Number of kernel per spike			-0.196	-0.185	0.002	0.086

با استفاده از تجزیه مسیر ترتیبی، میزان هم‌راستایی بین صفات در این مطالعه کاهش یافت (جدول ۴). در مقایسه با نتایج تجزیه مسیر متداول، تجزیه مسیر ترتیبی روابط بین صفات و سهم آن‌ها در توجیه عملکرد را ساده‌تر بیان کرد. نتایج مقادیر شاخص عامل تورم واریانس برای متغیرهای پیش‌بینی کننده، کاهش قابل ملاحظه عامل تورم واریانس در مدل اول نسبت به مدل دوم را نشان داد (جدول ۴). در این مطالعه، تجزیه رگرسیون گام به گام میزان هم‌راستایی متغیرها را به حداقل رساند و با کاهش اختلاط آثار، میزان مشارکت واقعی هر متغیر در مسیرهای مختلف را به‌درستی مشخص کرد. با استفاده از تجزیه مسیر ترتیبی صفات به دو دسته صفات رتبه اول و رتبه دوم تقسیم شدند (جدول ۵).

بر اساس مقادیر عامل تورم واریانس، ضریب تحمل و نیز بزرگی آثار مستقیم، صفات میانگین وزن خوشه، تعداد پنجه بارور، روز تا گلدهی و وزن پدانکل به‌عنوان متغیرهای رتبه اول در توجیه صفات وابسته به عملکرد در شرایط تنش شوری انتخاب شدند. این رویه سپس به‌طور مجزا برای چهار صفت وزن خوشه، تعداد پنجه بارور، روز تا گلدهی و وزن پدانکل به‌عنوان صفات وابسته انجام شد که در نتیجه، متغیرهای رتبه دوم برای صفت عملکرد مشخص شدند.

برای تعیین صفات رتبه دوم، متغیرهای رتبه اول به‌عنوان صفات وابسته در تجزیه رگرسیون گام به گام در نظر گرفته شدند. آثار مستقیم وزن خوشه، تعداد پنجه بارور و وزن پدانکل روی عملکرد دانه مثبت ولی ارتباط مستقیم روز تا گل‌دهی منفی بود. با توجه به همبستگی و اثر مستقیم منفی روز تا گلدهی با عملکرد دانه گندم در شرایط تنش شوری، می‌توان نتیجه گرفت که برای داشتن ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا باید به دنبال توسعه ژنوتیپ‌های زودرس بود. زمان گلدهی یکی از مراحل اساسی تاثیرگذار بر عملکرد دانه است. زمان شروع گلدهی می‌تواند تاثیر زیادی بر تعداد دانه در خوشه، تعداد پنجه‌های بارور، وزن دانه‌ها و در نهایت عمکرد دانه داشته باشد. به‌علت خشکی و گرمای آخر فصل در بیش‌تر نقاط ایران توسعه ژنوتیپ‌های زودرس برای اجتناب از تنش‌های آخر فصل (خشکی، گرما، بیماری و آفات) اهمیت زیادی دارد. بروز گرما و تنش خشکی آخر فصل همراه با شوری طی مراحل مختلف نموی مخصوصاً مرحله زایشی سبب کاهش طول دوره فتوسنتزی، انتقال مواد حاصل از فتوسنتز جاری به دانه، سهم انتقال مجدد مواد ذخیره شده ساقه به دانه و در نهایت کاهش عملکرد دانه می‌شود. در نتیجه صفت زودرسی را باید به‌عنوان یک شاخص انتخاب مستقل در جهت اصلاح ارقام مختلف گندم در شرایط تنش در نظر گرفت.

تجزیه مسیر برای صفات رتبه دوم نشان داد که چهار صفت وزن دانه در خوشه، تعداد دانه در خوشه، وزن صد دانه و روز تا رسیدگی روی وزن خوشه تأثیر داشتند و در مجموع ۷۷ درصد از تغییرات این صفت را توجیه کردند (جدول ۵). همچنین، تجزیه مسیر برای تعداد پنجه بارور نشان داد که ۲۷ درصد از تنوع موجود در این صفت توسط سه صفت وزن صد دانه، ارتفاع گیاه و محتوای کلروفیل توجیه شد (جدول ۵). نتایج نشان داد که ۷۷ درصد از تنوع موجود در روز تا گلدهی به‌وسیله سه صفت وزن صد دانه، روز تا رسیدگی و طول ریشک توجیه شد (جدول ۵). تجزیه مسیر برای وزن پدانکل نیز نشان داد که ۴۷ درصد از تنوع موجود در این صفت توسط چهار صفت روز تا رسیدگی، ارتفاع گیاه، تعداد سنبلچه در خوشه و طول پدانکل توجیه شد (جدول ۵).

جدول ۴- عامل تورم واریانس و ضریب تحمل برای صفات پیش‌بینی کننده عملکرد گندم تحت شرایط تنش شوری در مدل تجزیه مسیر متداول (تمام صفات به‌عنوان متغیرهای رتبه اول در نظر گرفته شدند) و مدل تجزیه مسیر ترتیبی (متغیرها به دو گروه متغیرهای رتبه اول و دوم گروه‌بندی شدند)

Table 4. Variance inflation factor (VIF) and tolerance coefficient for predictor traits of bread wheat yield under salinity stress conditions in conventional path analysis (CPA, all predictor traits were considered as first-order traits) and sequential path analysis (SPA, predictor traits were grouped into first and second-order traits)

Predictor trait	Response trait	Tolerance		VIF	
		CPA	SPA	CPA	SPA
Spike weight	Grain yield	0.065	0.805	15.248	1.242
Number of fertile tiller		0.582	0.904	1.719	1.107
Days to heading		0.208	0.843	4.819	1.186
Peduncle weight		0.414	0.662	2.414	1.512
Kernel weight per spike	Spike weight	0.071	0.417	13.973	2.398
Number of kernel per spike		0.041	0.465	24.370	2.151
100-kernel weight		0.345	0.576	2.900	1.735
Days to maturity		0.203	0.964	4.928	1.037
Plant height	Number of fertile tiller	0.061	0.799	16.205	1.252
100-kernel weight		0.345	0.860	2.900	1.163
Chlorophyll content		0.614	0.910	1.629	1.099
Days to maturity	Days to heading	0.203	0.938	4.928	1.066
100-kernel weight		0.345	0.995	2.900	1.005
Awn length		0.740	0.938	1.351	1.067
Days to maturity	Peduncle weight	0.203	0.627	4.928	1.595
Plant height		0.061	0.334	16.205	2.997
Number of spikelet per spike		0.409	0.807	2.443	1.240
Peduncle length		0.206	0.282	4.855	3.552

جدول ۵- تخمین مقادیر خطای استاندارد ضرایب مسیر در گندم از طریق تحلیل بوت‌استراپ تحت شرایط تنش شوری

Table 5. Estimation of standard errors of path coefficients in wheat using bootstrap analysis under salinity stress conditions

Predictor trait	Response trait	Adjusted R^2	Direct effect	Bootstrap		
				Mean	Bias	Standard error
Spike weight	Grain yield	0.88	0.297	8.472	-0.308	2.148
Number of fertile tillers			0.288	2.110	0.004	0.617
Days to heading			-0.272	-1.771	0.001	0.404
Peduncle weight			0.272	54.169	1.580	14.888
Kernel weight per spike	Spike weight	0.77	0.428	0.549	0.008	0.113
Number of kernels per spike			0.497	0.098	0.000	0.017
The 100-kernel weight			0.243	0.742	-0.015	0.192
Days to maturity			0.152	0.042	-0.001	0.013
Plant height	Number of fertile tillers	0.27	0.236	3.287	-0.079	1.062
The 100-kernel weight			0.267	0.159	-0.013	0.084
Chlorophyll content			0.243	0.300	0.016	0.106
Days to maturity	Days to heading	0.77	0.794	-4.146	0.021	0.743
The 100-kernel weight			-0.294	1.012	-0.005	0.093
Awn length			-0.107	-0.334	-0.009	0.206
Days to maturity	Peduncle weight	0.47	0.353	0.016	0.000	0.003
Plant height			0.675	0.019	0.000	0.003
Number of spikelets per spike			0.300	0.038	0.000	0.011

دستیابی به ارقام متحمل به شوری که دارای عملکرد بیش‌تر در شرایط تنش شوری باشند به‌عنوان یکی از راه‌حل‌های مقابله با این تنش مطرح است. از طرفی فقدان روش‌های قابل اعتماد برای غربال در شرایط مزرعه‌ای را شاید بتوان بزرگ‌ترین مشکل در بهبود تحمل به شوری گیاهان زراعی دانست. معیار تحمل به تنش در بیش‌تر گیاهان عملکرد است. از طرف دیگر، عملکرد صفت کمی پیچیده‌ای است که توسط تعداد زیادی ژن کنترل می‌شود. از آنجایی که این صفت به‌شدت تحت تأثیر محیط قرار می‌گیرد، از این‌رو از وراثت‌پذیری پایینی برخوردار است. با توجه به وراثت‌پذیری پایین عملکرد دانه در گندم می‌توان از صفاتی که رابطه بالایی با آن دارند، در انتخاب بهتر ارقام و لاین‌های متحمل به شوری بهره برد. عملکرد دانه در گندم ناشی از اثر تجمعی اجزای متشکله آن است. شناسایی این اجزا و رابطه آن‌ها با عملکرد دانه در گزینش ژنوتیپ‌های متحمل با عملکرد مناسب در شرایط تنش شوری حائز اهمیت است. از بررسی مجموع مطالعات تجزیه همبستگی، رگرسیون گام به گام و تجزیه مسیر در شرایط تنش و بدون تنش مشخص شد که در شرایط بدون تنش دو صفت وزن دانه در خوشه و تعداد پنجه بارور و در شرایط تنش شوری چهار صفت وزن خوشه، تعداد پنجه بارور، روز تا گلدهی و وزن پدانکل از مهم‌ترین صفاتی هستند که با عملکرد دانه رابطه تنگاتنگی دارند. بنابراین، این صفات به‌عنوان صفات مناسب جهت گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا در شرایط بدون تنش و تنش شوری به‌شمار می‌روند.

نتیجه‌گیری کلی

در این مطالعه از شاخص تحمل به تنش (STI) به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص برای ارزیابی تحمل به شوری ژنوتیپ‌های گندم نان استفاده شد، بنابراین در ترسیم نمودار سه‌بعدی از مقادیر این شاخص و عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش شوری استفاده شد. مطابق نمودار سه‌بعدی مشخص شد که لاین‌های Salt18، Salt19، Salt20، Salt21، Salt22، Salt23، Salt24، Salt25، Salt26، Salt27، Salt28، Salt29 و Salt30 و ارقام ارگ، بم، روشن، سرخ‌تخم، بومی یزد، کویر، مغان ۱، سرداری، شهریار و شیراز از عملکرد دانه بالایی در شرایط بدون تنش و تنش شوری برخوردار بودند و به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش شوری انتخاب شدند. بنابراین، می‌توان این ژنوتیپ‌ها را به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار و با عملکرد بالا در شرایط مزارع شور توصیه کرد. پیشنهاد می‌شود که از این ژنوتیپ‌ها جهت تلاقی و تجزیه ژنتیکی تحمل به شوری با استفاده از طرح دای‌آلل و یا تجزیه میانگین نسل‌ها و نیز برای نقشه‌یابی QTL برای انتخاب به

کمک نشانگر جهت تحمل به تنش شوری استفاده شوند. همچنین، در این تحقیق با استفاده از یک مدل تجزیه علیت ترتیبی، به‌طوری‌که هم‌راستایی بین صفات منجر به اختلال اثر صفات نشود، صفات تأثیرگذار بر روی عملکرد مشخص شدند. در مجموع با توجه به نتایج این تحقیق، صفات وزن دانه در خوشه و تعداد پنجه بارور در شرایط بدون تنش و صفات وزن خوشه، تعداد پنجه بارور، روز تا گلدهی و وزن پدانکل در شرایط تنش شوری، به‌عنوان صفات رتبه اول تاثیرگذار بر عملکرد مشخص شدند و بنابراین می‌توان از این صفات به‌عنوان شاخص‌های مطلوب در انتخاب ژنوتیپ‌های گندم نان تحت هر دو شرایط تنش و بدون تنش استفاده کرد. در تحقیق حاضر، فقط رابطه بین صفات مورفولوژیک به‌منظور بهبود عملکرد گندم ارزیابی شد، در حالی‌که در کنار صفات مورفولوژیک، صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی که در ایجاد تحمل به تنش شوری مؤثر هستند نیز می‌بایست مورد بررسی قرار گیرند. بدیهی است که تعیین ارتباط آن‌ها با تحمل به شوری می‌تواند در شناخت کامل‌تر سایر سازوکارهای مرتبط با تحمل به شوری و شناسایی معیارهای مناسب جهت گزینش ژنوتیپ‌های گندم پرمحصول و متحمل به تنش مفید باشد.

References

Abolhassani, K. H. and Saeidi, G. H. 2006. Evluation of drought tolerance of safflower lines based on tolerance and sensitivity indices to water stress. **Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources** 10: 407-418. (In Persian with English Abstract).

AMOS. 2010. AMOS 19. Users Guied. Chicago, IL, USA.

Asghari-Zakaria, R., Fathi, M. and Hasan-Panah, D. 2006. Sequential path analysis of yield components in potato. **Potato Research** 49: 273-279.

Braun, H. J., Atlin, G. and Payne, T. 2010. Multi-location testing as a tool to identify plant response to global climate change. **Climate Change and Crop Production** 25: 115-138.

Dabiri, M., Bahramnejad, M. and Baghbanzadeh, M. 2009. Ammonium salt catalyzed multicomponent transformation: Simple route to functionalized spirochromenes and spiroacridines. **Tetrahedron** 65: 9443-9447.

Dewey, D. R. and Lu, K. 1959. A correlation and path coefficient analysis of components of crested wheatgrass seed production. **Agronomy Journal** 51: 515-518.

Efron, B. and Tibshirani, R. 1993. An introduction to the bootstrap. Chapman and Hall, London.

Fernandez, G. C. J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kus, E. G. (Ed.). Adaptation of food crop temperature and water stress. Proceeding of 4th International Symposium. Asian Vegetable Research and Department Center, Shanhua, Taiwan. pp: 257-270.

Feyzian, E., Dehghani, H., Rezai, A. and Jalali, M. 2009. Correlation and sequential path model for some yield-related traits in melon (*Cucumis melo* L.). **Journal of Agricultural Science and Technology** 11: 341-353.

Geravandi, M., Farshadfar, E. and Kahrizi, D. 2011. Evaluation of some physiological traits as indicators of drought tolerance in bread wheat genotypes. **Russian Journal of Plant Physiology** 58: 69-75.

Gholizadeh, A., Dehghani, H. and Dvorak, J. 2014. Evaluating salt tolerance of bread wheat genotypes using stress tolerance indices. **Cereal Research** 4: 103-114. (In Persian with English Abstract).

Hair, J. F., Anderson, R. E., Tatham, R. L. and Black, W. C. 1995. Multivariate data analysis. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall.

Heidari Sharifabad, H. 2008. Drought mitigation strategies for the agriculture sector. The 10th Iranian Congress of Crop Science. August 18-20, 2008. SPII, Karaj, Iran. (In Persian).

Knight, C. A., Vogel, H., Kroymann, J., Shumate, A., Witsenboer, H. and Mitchell-Olds, T. 2006. Expression profiling and local adaptation of *Boechera holboellii* populations for water use efficiency across a naturally occurring water stress gradient. **Molecular Ecology** 15: 1229-1237.

Maas, E. and Grieve, C. 1990. Spike and leaf development of sal-stressed wheat. **Crop Science** 30: 1309-1313.

Mohammadi, R., Dehghani, H., Karimzadeh, G., Dane, F. and Akrami, M. 2014. Study on relationships between yield and its components in Iranian cantaloupe genotypes. **Iranian Journal of Horticaltural Sciences** 45: 1-10. (In Persian with English Abstract).

Mohammadi, S., Prasana, B. and Singh, N. 2003. Sequential path model for determining inter-relationships among grain yield and related characters in maize. **Crop Science** 43: 1690-1697.

Munns, R., James, R. A. and Läuchli, A. 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. **Journal of Experimental Botany** 57: 1025-1043.

Naderi, A., Hashemi Dezfouli, S., Majidi Heravan, E., Rezaei, A. and Nourmohammadi, Gh. 2000. Study on correlation of traits and components affecting grain weight and determination of effect of some physiological parameters on grain yield in spring wheat genotypes under optimum and drought stress conditions. **Seed and Plant Improvement Journal** 16: 374-386. (In Persian with English Abstract).

Ranjbar, G. H. and Rusta, M. J. 2011. The most effective sustainability index in selection of wheat genotypes under saline conditions. **Iranian Journal of Soil Research** 24 (3): 283-290. (In Persian with English Abstract).

Royo, C., Aparicio, N., Blanco, R. and Villegas, D. 2004. Leaf and green area development of durum wheat genotypes grown under Mediterranean conditions. **European Journal of Agronomy** 20: 419-430.

Sabaghnia, N., Dehghani, H., Alizadeh, B. and Moghaddam, M. 2010. Inter-relationships between seed yield and 20 related traits of 49 canola (*Brassica napus* L.) genotypes in non-stressed and water-stressed environments. **Spanish Journal of Agricultural Research** 8: 356-370.

Sadeghzadeh-Ahari, D. 2006. Evaluation for tolerance to drought stress in dryland promising durumwheat genotype. **Crop Science** 8: 30-45.

Samonte, S. O. P., Wilson, L. T. and McClung, A. M. 1998. Path analyses of yield and yield-related traits of fifteen diverse rice genotypes. **Crop Science** 38: 1130-1136.

SAS Institute. 2011. SAS/STAT. User's guide. (2nd Ed.). SAS institute Inc., Cary, NC.

Sio-se Marde, A., Ahmadi, A., Poustini, K. and Mohammady, V. 2006. Evalution of drought resistance indices under various environmental conditioning. **Field Crops Research** 98: 222-229.

SPSS. 2010. SPSS 19. User's guied. Chicago, IL., USA.

Tester, M. and Davenport, R. 2003. Na^+ tolerance and Na^+ transport in higher plants. **Annals of Botany** 91: 503-527.

Williams, W., Demment, M. and Jones, M. 1990. A concise table for path analysis statistics. **Agronomy Journal** 82: 1022-1024.

Wright, S. 1921. Correlation and causation. **Journal of Agricultural Research** 20: 557-585.

doi: 10.22124/c.2018.9213.1366

University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

Cereal Research
Vol. 8, No. 3, Autumn 2018 (321-332)

Identification of salinity tolerant genotypes and study on relationships between yield and its components in bread wheat

Amir Gholizadeh[1], Hamid Dehghani[2*], Ashkboos Amini[3] and Omidali Akbarpour[4]

Received: December 5, 2017 Accepted: February 7, 2018

Abstract

In arid and semi-arid regions of the world including Iran, soil salinity is one of the major abiotic stresses. One of the ways to achieve high performance in these areas is using salt tolerant varieties. Also, study on relationships between yield and its components will improve the efficiency of a breeding program with appropriate selection criteria. In this study, 110 bread wheat genotypes were evaluated in two conditions (non-stress and saline stress) at the research field of the National Salinity Research Center (NSRC). The salinity of water used in irrigation in saline and non-stress conditions was 10 and 2 $dS.m^{-1}$ respectively. In this study was used of stress tolerance index (STI) as the best indicators for evaluating of tolerant to salinity stress of bread wheat genotypes. Based on stress tolerance index (STI)and seed yield in non-stress and saline stress conditions, the linesSalt18, Salt19, Salt20, Salt21, Salt22, Salt23, Salt24, Salt25, Salt26, Salt27, Salt28, Salt29, Salt30, and varieties Arg, Bam, Rushan, Sorkhtokhm, BumiYazd, Kavir, Moghan 1, Sardari, Sharyar, Shirazhad had a high yield in the non-stress and saline stress conditions and these genotypes were selected as the most tolerant genotypes to salinity.The highest grain yield under non-stress and saline stress conditions was produced by Salt29 line (178.13 gr) and Salt24 line (164.33 gr), respectively which had more grain yield than control cultivars (Arg, Bam, Rushan, Sorkhtokhm, Bumi Yazd and Karchia). Also, based on the results of sequential path analysis, kernel weight per spike and number of fertile tillers in non-stress conditions and spike weight, number of fertile tillers, days to headingand peduncle weightin saline stress conditions were selected as first order variables.Therefore, it seems that these traits could be used as a suitable criterion in wheat breeding programs for increased seed yield in both non-stress and salinity stress conditions.

Keywords: Salinity stress, Selection criteria, Sequential path analysis, Stress tolerance index

1. Ph. D. Student, Dept. of Plant Genetics and Breeding, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
2. Prof., Dept. of Plant Genetics and Breeding, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
3. Research Assist. Prof., Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
4. Assist. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran
* Corresponding author: dehghanr@modares.ac.ir