علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۴۶، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۴ (ص ۴۳۲-۴۲۳)

بررسی ارتباط شاخص‌های تحمل به تنش شوری با چند صفت فیزیولوژیکی در گندم نان

سید ذبیح‌الله راوری[۱]، حمید دهقانی[۲*] و هرمزد نقوی[۳]
۱ و ۲. دانشجوی دکتری و دانشیار گروه اصلاح نباتات، دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس
۳. استادیار پژوهش مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمان
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱/۳۰ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۶/۴)

چکیده

افزایش میزان سدیم و کاهش میزان پتاسیم در اندام‌های گیاه و در نتیجه بهم خوردن تعادل یونی و سرانجام کاهش عملکرد گیاه از اثرگذاری‌های زیانبار شوری رشد و نمو گیاه است. این آزمایش به منظور بررسی تأثیر شوری بر ۴۱ رقم گندم نان (*Triticum aestivum* L.) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو شرایط آبیاری با آب کم شور و آب شور، به ترتیب ۰/۶۳و ۱۱/۸ دسی‌زیمنس بر متر در مرکز تحقیقات کشاورزی کرمان اجرا شد. نتایج نشان داد که بین عملکرد، میزان سدیم، پتاسیم، نسبت آنها و حجم نسبی آب در برگ پرچم ارقام گندم در دو محیط تفاوت معنی‌دار وجود داشت. شاخص‌های میانگین عملکرد، میانگین هندسی عملکرد، میانگین همساز (هارمونیک) و تحمل به تنش محاسبه‌شده بر پایهٔ عملکرد ارقام در دو محیط و با K^+ وK^+/Na^+ در محیط شور همبستگی مثبت و معنی‌دار داشتند. ارقام گزینش‌شده بر پایهٔ این شاخص‌ها دارای عملکرد بالا در هر دو محیط و کمترین میزان کاهش نسبت پتاسیم به سدیم و حجم نسبی آب برگ پرچم بودند. بنابراین بسته به مرحلهٔ رشد گیاه می‌توان از هر کدام از این شاخص‌ها، شاخص‌های تحمل به تنش محاسبه‌شده بر پایهٔ عملکرد و یا میزان سدیم، پتاسیم، نسبت آنها و حجم نسبی آب برگ پرچم، برای گزینش ارقام متحمل به شوری استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: **پتاسیم، سازوکار(های) تحمل، سدیم، شاخص‌های تحمل.**

مقدمه

تنش‌های محیطی که بر رشد و نمو گیاه تأثیر منفی داشته و باعث کاهش رشد و سرانجام کاهش عملکرد گیاهان می‌شوند، به دو گروه زنده و غیرزنده تقسیم می‌شوند. شوری از جمله تنش‌های غیرزنده است که بر تولید غلات به‌ویژه در نواحی خشک و نیمه‌خشک تأثیر منفی دارد (Parida *et al*., 2004; Degl'Innocenti *et al*., 2009). شوری پتانسیل آب خاک را کاهش می‌دهد و در نتیجه گیاه با کمبود آب روبه‌رو می‌شود (Sairam *et al*., 2002; Netondo *et al*., 2004). از سویی شوری باعث افزایش جذب یون‌های سدیم و کلر شده و میزان جذب یون‌های منیزیم، کلسیم و پتاسیم را کاهش می‌دهد و در نتیجه تعادل یونی درون بافت گیاه بهم می‌خورد (Rontein *et al*., 2002).

توانایی گیاه در اعمال تفاوت بین انتقال پتاسیم و سدیم به اندام‌های هوایی گیاه به وضعیت تحمل به شوری گیاه برمی‌گردد (Gorham, 1990). چندین صفت در ارتباط با تحمل به شوری گیاه وجود دارد که می‌توان از آنها برای ارزیابی تحمل به شوری گیاه استفاده کرد (Flowers & Yeo, 1995). صفات فیزیولوژیکی مانند رابطه‌های آبی گیاه، میزان یون‌های پتاسیم، سدیم و نسبت آنها از جملهٔ این صفات

* تلفن: ۰۹۱۲۵۱۴۴۸۲۰ ،۰۲۱-۴۸۲۹۲۰۴۰
E-mail: dehghanr@modares.ac.ir

هستند (Orcutt & Nilsen, 2000). نتایج بررسی‌ها نشان داده است که ارتباط این صفات فیزیولوژیکی با صفات زراعی و میزان تحمل به شوری گیاه بسیار قوی است (Allakhverdiev *et al*., 2000). Benderradji *et al*. (2011) گزارش کردند که پتانسیل و محتوای نسبی آب برگ پرچم در هنگام رویارویی گیاه با تنش شوری کاهش پیدا می‌کند. بنابراین افزون بر عملکرد، غلظت این یون‌ها و نسبت آنها در اندام‌های گیاه از جمله برگ، پرچم و محتوای نسبی آب برگ پرچم می‌توانند به عنوان شاخص‌های مهم در تشخیص گیاه متحمل به شوری مد نظر قرار گیرند (Stuciffe & Baker, 1981).

در گندم‌های نان (شش‌لاد یا هگزاپلوئید با ژنگان یا ژنوم ABD) صفتی وجود دارد که توسط یک مکان ژنی (Knal) روی کروموزوم 4D کنترل می‌شود و بر پایهٔ آن میزان تجمع یون سدیم در گیاه بسیار پایین و تبادل بین پتاسیم و سدیم افزایش یافته است (Dubcovksy *et al*., 1996; Colmer *et al*., 2006). گندم‌های دوروم (چهارلاد یا تتراپلوئید با ژنگان یا ژنوم AB) تجمع بیشتری از یون سدیم و تبادل کمتری بین پتاسیم و سدیم دارند (Gorham *et al*., 1987; Munns *et al*., 2006) و نسبت به گندم‌های نان، تحمل به شوری کمتری دارند. اما از جنبهٔ بررسی تحمل به تنش گروه‌بندی ارقام یا ژن‌نمون (ژنوتیپ)های مورد بررسی در دو شرایط محیطی تنش و بدون تنش را می‌توان بر پایهٔ واکنش آنها به شرایط محیطی به چهار گروه: گروه A، ژن‌نمون‌هایی که در هر دو محیط عملکرد بالایی دارند؛ گروه B، ژن‌نمون‌هایی که در محیط بدون تنش عملکرد بالایی دارند اما در محیط تنش عملکرد پایینی دارند؛ گروه C، ژن‌نمون‌هایی که در محیط تنش عملکرد بالا و در محیط بدون تنش عملکرد پایین دارند و گروه D، ژن‌نمون‌هایی که در هر دو محیط عملکرد پایینی دارند، انجام داد (Fernandez, 1992).

تاکنون شاخص‌های متفاوتی بر پایهٔ رابطه‌های ریاضی بین عملکرد گیاه در شرایط عادی یا نرمال (بدون تنش) و شرایط تنش برای بررسی واکنش ژن‌نمون‌های متفاوت به شرایط محیطی متفاوت ارائه شده است (جدول ۱). در این راستا Hosseini *et al*. (2012) شاخص‌های تحمل[1] (TOL)، میانگین هندسی تولید[2] (GMP)، شاخص تحمل تنش[3] (STI)، شاخص حساسیت به تنش[4] (SSI)، میانگین تولید[5] (MP) و میانگین همساز یا هارمونیک[6] (HM) را بر پایهٔ طول گیاهچه و وزن خشک ریشه در ۶۵ ژن‌نمون برنج محاسبه کردند و نتیجه گرفتند که سه شاخص GMP، STI و MP بهترین شاخص‌ها در بین شاخص‌های ارزیابی‌شده هستند و به کمک آنها قادر به جداسازی ژن‌نمون‌های متحمل به شوری در برنج هستند. Hefny *et al*. (2013) در آزمایش روی ارقام سورگوم نتیجه گرفتند که سه شاخص GMP، STI و MP برای تشخیص ژن‌نمون‌های گروه A مناسب هستند و در مقابل دو شاخص TOL و SSI مناسب تشخیص ژن‌نمون‌های گروه B هستند. نتایج آزمایش Talebi *et al*. (2009) نشان داد که MP، GMP و STI سه شاخص مناسب برای جداسازی ژن‌نمون‌های گروه A از دیگر گروه‌ها هستند. همچنین شاخص‌های SSI و TOL قادر به تشخیص ژن‌نمون‌های متحمل و دارای عملکرد بالا در محیط تنش (گروه C) خواهند بود.

اما برآورد عملکرد دانه در محیط شور به دلیل این‌که گیاه باید مدت طولانی در محیط کنترل‌نشده‌ای رشد کند دارای پیچیدگی‌های زیادی است (Francois *et al*., 1994; Husain *et al*., 2003). در ضمن عملکرد گیاه در یک سطح کم شوری ممکن است کاهش پیدا نکند، و در حقیقت عملکرد دانه ممکن است تا هنگامی‌که شوری به مرز آستانه نرسیده، کاهش نیابد (Maas & Hoffman, 1977; USDA-ARS, 2005) و غربالگری ژن‌نمون‌ها در یک محیط ممکن است به گزینش ژن‌نمون‌های مناسب برای محیط‌های مختلف منجر نشود. شرایط کشتزار از مکانی به مکان دیگر، نه تنها به دلیل شوری خاک، بلکه به علت شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک مانند سدیمی شدن، pH بالا و

1. Tolerance
2. Geometric Mean Productivity
3. Stress Tolerance Index
4. Stress Susceptibility Index
5. Mean Productivity
6. Harmonic Mean

عناصر سمی مانند بُر، متفاوت است (Rengasamy, 2002). افزون براین تفاوت‌های زیادی از لحاظ دما و خشکی بین فصل‌های متفاوت سال، به‌ویژه در کشاورزی در مناطق خشک، وجود دارد که به‌طور مستقیم بر روی ساختار شوری در اطراف ریشه اثر می‌گذارد. اگر این شرایط محیطی در طول دورهٔ گلدهی و پر شدن دانه حاکم باشد تفاوت در هنگام گلدهی و هنگام رسیدگی بین ژن‌نمون‌ها باعث تفاوت‌های زیادی در عملکرد خواهد شد (Munns *et al*., 2006). از سویی ژن‌نمون‌ها بسیار کم برای تحمل به شوری در محیط‌های مختلف رتبه‌بندی شده‌اند. میزان تأثیر متقابل ژن‌نمون × محیط، درحالی‌که به احتمال زیاد به میزان بالایی وجود دارد، به طور کامل ملموس نیست (Munns *et al*., 2006). همهٔ این موارد به دلیل پیچیدگی‌های زیاد در کنترل ژنتیکی عملکرد دانه و اثرپذیری بالای این صفت از محیط خواهد بود. لذا در چنین مواردی در صورت امکان بررسی تحمل به تنش شوری بر پایهٔ صفات فیزیولوژیک که ماهیت توارث ساده‌تر و اثرپذیری کمتری از محیط دارند ضروری است تا برمبنای ارتباط این صفات با عملکرد و شاخص‌های تحمل به تنش که برپایهٔ رابطه‌هایی بین Yp و Ys محاسبه شده‌اند گزینش ژن‌نمون‌های متحمل به شوری به صورت توأم بر پایهٔ صفات فیزیولوژیک و شاخص‌های تحمل به تنش انجام شود.

هدف از اجرای این آزمایش ارزیابی ژن‌نمون‌های گندم در برابر تنش شوری برمبنای برخی صفات فیزیولوژیک و با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش عملکرد دانه و ارتباط این شاخص‌ها با محتوای میزان سدیم، پتاسیم و محتوای نسبت سدیم / پتاسیم برگ پرچم در شرایط کشتزار بود.

جدول ۱. رابطه‌های مورد استفاده و شاخص‌های تحمل تنش

منبع	فرمول شاخص	منبع	فرمول شاخص
Fischer and Maure, (1978)	$SSI = \frac{1 - \frac{Y_s}{Y_p}}{SI}$	(Fernandez, 1992)	$STI = \frac{(Y_s)(Y_p)}{\overline{Y}_p^2}$
(Rosielle and Hamblin, 1981)	$MP = \frac{Y_s + Y_p}{2}$	(Fernandez, 1992)	$GMP = \sqrt{Y_s \times Y_p}$
(Rosielle and Hamblin, 1981)	$TOL = Y_p - Y_s$	(Kristin *et al*., 1997)	$HM = \frac{2(Y_s \times Y_p)}{(Y_s + Y_p)}$
(Weatherley, 1950)	$Decrease\ RWC\% = \frac{(RWCp) - (RWCs)}{(RWCp)} \times 100$	(Weatherley, 1950)	$RWC = \frac{FM - DM}{TM - DM} \times 100$

(RWCp): محتوای نسبی آب برگ پرچم در شرایط بدون تنش

(RWCs): محتوای نسبی آب برگ پرچم در شرایط تنش

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۲ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمان با ۱۷۵۶ متر ارتفاع از سطح دریا و طول و عرض جغرافیایی به ترتیب برابر با ۳۰ درجه و یک دقیقهٔ شرقی و ۵۷ درجه و ۶ دقیقهٔ شمالی انجام شد. آزمایش شامل ۴۱ رقم گندم (جدول ۳) بود که در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به صورت دو آزمایش جداگانه، آبیاری با آب کم شور و آبیاری با آب شور، کشت شد. آب شور از چاه آبی که آب آن دارای هدایت الکتریکی ۱۱/۸ دسی‌زیمنس بر متر بود و در ۲۰ کیلومتری کشتزار قرار داشت با تانکر به محل آزمایش حمل شد. هدایت الکتریکی عصارهٔ اشباع خاک کشتزار پیش از اعمال تیمار شوری ۳/۶ دسی‌زیمنس بر متر (dS/m) بود و پس از پایان آزمایش به ۱۰/۲۶ دسی‌زیمنس بر متر افزایش یافته بود.

خاک کشتزار در اواخر شهریورماه شخم، دیسک و لولر زده شد. بر پایهٔ نتایج آزمون خاک و توصیهٔ بخش آب و خاک مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان میزان ۸۰، ۳۰ و ۶۰ کیلوگرم فسفر،

پتاس و نیتروژن از منابع فسفات آمونیم، سولفات پتاسیم و اوره در هنگام آماده‌سازی زمین به صورت یکنواخت در زمین پخش شد. کودهای دارای فسفات و پتاس و یک سوم اوره همزمان با تهیهٔ زمین و دو سوم باقی‌ماندهٔ اوره در دو مرحلهٔ پنجه‌زنی و گلدهی مصرف شد. هر کرت آزمایشی شامل شش خط به طول ۲/۵ متر و فاصلهٔ خطوط ۲۰ سانتی‌متر بود. خطوط کشت با یک فاروئر دستی به عمق در حدود ۴ الی ۵ سانتی‌متر ایجاد شد و بذرها با دست و به شمار ۳۵۰ دانه در مترمربع در خطوط کشت ریخته و روی آنها پوشانده شد. به منظور سبز شدن و استقرار یکنواخت بوته‌ها در دو تیمار آبیاری، آبیاری اول و دوم هر دو آزمایش با آب کم‌شور انجام شد. از مرحلهٔ سوم آبیاری، تیمارهای آزمایش شوری با آب دارای هدایت الکتریکی ۱۱/۸ دسی‌زیمنس بر متر آبیاری شدند. در مرحلهٔ گرده‌افشانی از هر تیمار پنج بوته به صورت تصادفی گزینش و ازهر بوته دو برگ (در کل ده برگ) از محل غلاف برگ قطع شده و در درون پاکت فریزر و روی یخ بی‌درنگ به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه در آغاز تک‌تک برگ‌ها با آب مقطر شسته شده و بدون فاصله با دستمال کاغذی خشک و وزن تر (Fresh Mass; FM) آنها اندازه‌گیری شد و سپس در دمای ۲۲ درجهٔ سلسیوس به مدت ۶ ساعت در آب مقطر دو بار تقطیر شده و غوطه‌ور شدند. پس از ۶ ساعت برگ‌ها از آب خارج شده بدون فاصله با دستمال کاغذی خشک و وزن تودهٔ متورم شده یا تورژسانس (Turgid Mass; TM) برگ‌ها اندازه‌گیری شد. سپس برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۸۰ درجهٔ سلسیوس قرار گرفته و وزن خشک (Dry Mass: DM) آنها اندازه‌گیری شد. محتوای نسبی آب برگ پرچم (Relative Water Content; RWC) و درصد کاهش آن با استفاده از رابطه‌های جدول ۱ محاسبه شدند. میزان سدیم و پتاسیم برگ پرچم نیز با استفاده از همین نمونه‌های برگی و با روش اسیدکلریدریک با شعله سنجی (Flame photometry) اندازه‌گیری شد (Tandon, 1995). در هنگام برداشت از هر کرت چهار ردیف ۲ متری برداشت و عملکرد دانه اندازه‌گیری و شاخص‌های STI، YSI، MP، GMP، HM و TOL بر پایهٔ رابطه‌های جدول ۱ محاسبه شدند. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS ver. 9.2 (SAS Institute, 2011) و SPSS ver. 20 (SPSS, 2010) تجزیه و تحلیل شدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیهٔ واریانس مرکب (جدول ۲) نشان داد که اثر رقم و اثر متقابل رقم در شرایط تنش برای عملکرد دانه معنی‌دار بود که گویای وجود تنوع ژنتیکی بین این ارقام در شریط مختلف آزمایش (بدون تنش و تنش شوری) و واکنش متفاوت آنها به میزان شوری آب بود (جدول ۳). در گزارش‌های Van Ginkel *et al.* (1998) و Hosseini *et al.* (2012) نیز اشاره شده است که واکنش ژن‌نمون‌های مختلف در شرایط متفاوت بدون تنش و تنش یکسان نیست.

جدول ۲. میانگین مربعات عملکرد دانه، محتوای سدیم، پتاسیم، نسبت پتاسیم به سدیم و محتوای نسبی آب برگ پرچم ارقام گندم در تجزیهٔ مرکب

منابع تغییر	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات				
		عملکرد دانه	محتوای سدیم	محتوای پتاسیم	محتوای سدیم / پتاسیم	محتوای نسبی آب برگ پرچم
شرایط آزمایش	۱	۲۰۷۸۸۷۸۵۴**	۴۹/۱**	۴۲۶۸/۳**	۲۶۲۴۱۰**	۶/۹۹**
خطا (مکان / تکرار)	۴	۲۴۲۶۸۴/۶	۰/۰۳	۲۵/۰۸	۱۹۹	۰/۰۸
رقم	۴۰	۳۶۹۳۰۷۷**	۰/۹۳**	۴۶/۸**	۹۹۵۱**	۰/۳۲**
رقم × شرایط آزمایش	۴۰	۳۲۰۲۸۷۶**	۰/۶۷**	۱۴/۳**	۵۴۷**	۰/۳۲**
خطا	۱۶۰	۱۱۲۳۰۶	۰/۰۰۰۲	۱/۸	۶۰/۰۷	۰/۰۶
ضریب تغییرپذیری‌ها (٪)		۷/۶	۶/۲	۴/۹	۹/۱	۳/۳

**: معنی‌دار در سطح احتمال ۱درصد.

جدول ۳. میانگین شاخص‌ها و عملکرد ارقام گندم در شرایط تنش و بدون تنش

ردیف	نام رقم	عملکرد بدون تنش ($Kg.ha^{-1}$)	عملکرد تنش ($Kg.ha^{-1}$)	حساسیت به تنش	میانگین هندسی تولید	میانگین تولید	تحمل تنش	تحمل	میانگین همساز
۱	پارسی	۵۴۷۳c	۲۷۵۸/۸hij	۱/۲۹	۴۰۲۴	۴۲۱۵	۰/۵۷	۲۵۱۴	۳۸۴۰
۲	بک‌کراس روشن	۵۰۴۴cdef	۲۵۰۲ijkl	۱/۳۲	۳۶۸۹	۳۸۷۳	۰/۴۸	۲۳۴۲	۳۵۱۵
۳	بهار	۶۶۴۴/۷a	۱۷۵۶/۶m	۱/۰۸	۳۶۰۴	۴۳۰۰	۰/۴۵	۴۶۸۸	۳۰۲۱
۴	مروارید	۵۳۵۰cde	۱۶۸۳m	۱/۸۷	۳۱۷۳	۳۶۱۶	۰/۳۵	۳۴۶۷	۲۷۸۵
۵	پیشتاز	۵۰۰۲/۳cde	۴۹۹۰/۱ab	۰/۷۸	۵۰۴۹	۵۱۰۱	۰/۹۱	۱۲/۲	۵۰۹۱
۶	تجن	۳۴۴۹/۹f	۲۵۵۵ijk	۰/۵۶	۳۰۳۰	۳۱۰۲	۰/۳۳	۶۹۴	۲۹۵۹
۷	هیرمند	۶۳۲۲/۳a	۱۶۷۵/۳m	۲/۰۵	۳۴۴۲	۴۰۹۸	۰/۴۱	۴۴۴۷	۲۸۹۱
۸	سیوند	۶۲۰۱ab	۱۶۱۰/۳m	۱/۳۸	۳۳۴۹	۴۰۰۵	۰/۳۹	۴۳۹۰	۲۸۰۱
۹	هامون	۵۵۹۱bc	۱۶۴۴/۲m	۱/۲۳	۳۲۱۰	۳۷۱۷	۰/۳۶	۳۷۴۶	۲۷۷۲
۱۰	سیروان	۵۵۰۷c	۱۶۳۶/۵m	۱/۰۲	۳۱۷۹	۳۶۷۱	۱/۰۳	۳۶۷۰	۲۷۵۴
۱۱	افق	۵۵۰۱/۳bcd	۵۲۵۸abc	۰/۴۵	۵۴۸۸	۵۴۹۳	۱/۰۶	۱۶/۲	۵۴۸۳
۱۲	ارگ	۵۴۹۰c	۴۸۵۹/۸bc	۰/۲۰	۵۲۷۰	۵۲۷۵	۰/۹۷	۴۳۰	۵۲۶۵
۱۳	اکبری	۵۳۴۹cde	۴۷۹۸bcd	۰/۴۸	۵۱۷۰	۵۱۷۳	۰/۹۴	۳۵۱	۵۱۶۷
۱۴	روشن	۵۵۱۱/۷c	۴۹۰۶/۶bc	۰/۲۱	۵۳۰۴	۵۳۰۹	۰/۹۹	۴۰۵	۵۳۰۰
۱۵	چمران	۶۶۹۶/۳a	۳۲۲۱fg	۱/۴۲	۴۷۸۴	۵۰۵۸	۰/۸۰	۳۲۷	۴۵۲۵
۱۶	نیک‌نژاد	۳۳۸۶/۳gh	۴۰۰۷/۷e	۰/۶۶	۴۹۹۳	۴۸۳۷	۰/۶۶	۱۲۵۹	۴۱۵۰
۱۷	گنبد	۵۴۷۴c	۲۵۲۰ijkl	۰/۸۹	۳۸۲۶	۴۰۹۷	۰/۵۲	۱۷۵۳	۳۵۸۰
۱۸	سیستان	۵۴۴۷/۳c	۴۹۸۵abc	۰/۱۳	۵۳۱۵	۵۳۱۶	۱/۰۳	۱۲۶۱	۵۳۱۵
۱۹	آرتا	۵۲۶۹/۷	۲۲۲۳/۱jkl	۱/۱۲	۳۵۵۳	۳۳۴۶	۰/۴۳	۲۸۴۶	۳۲۸۹
۲۰	کویر	۵۳۷۸cde	۴۵۶۷cde	۰/۳۲	۵۰۶۲	۵۰۷۲	۰/۹۰	۶۱۱	۵۰۵۲
۲۱	الوند	۶۴۲۹/۷a	۴۲۴۲ghi	۱/۳۴	۳۵۶۴	۴۳۸۶	۰/۷۶	۳۰۸۶	۴۳۹۷
۲۲	سرخ‌تخم	۵۳۷۳cde	۴۸۲۳/۷bc	۰/۸۷	۵۱۹۴	۵۱۹۸	۰/۹۵	۳۴۹	۵۱۸۹
۲۳	ماهوتی	۵۳۴۳cde	۳۹۲۲ef	۰/۶۶	۴۶۷۳	۴۷۳۲	۰/۷۷	۱۲۲۱	۴۶۱۶
۲۴	مهدوی	۵۳۴۳/۳cde	۲۷۵۲/۷hij	۰/۷۶	۳۹۷۰	۴۱۴۸	۰/۵۵	۲۳۹۰	۳۸۰۰
۲۵	بیات	۵۳۱۹/۷cde	۲۷۵۲hij	۱/۰۸	۳۹۶۲	۴۱۳۶	۰/۵۵	۲۳۶۶	۳۷۹۵
۲۶	بزوستایا	۵۴۷۵c	۲۳۷۹ijkl	۱/۰۲	۳۱۱۰	۴۰۲۷	۰/۴۶	۲۸۹۵	۳۴۲۸
۲۷	اینیا	۵۴۷۲c	۳۰۷۳hi	۱/۱۶	۴۲۲۰	۴۳۷۳	۰/۶۳	۲۱۹۸	۴۰۷۵
۲۸	داراب۲	۵۳۵۶cde	۴۰۵۳/۶de	۰/۵۹	۴۹۶۷	۴۸۰۴	۰/۸۶	۱۱۰۲	۴۷۳۴
۲۹	طبسی	۵۲۵۸cde	۴۹۷۵abc	۰/۶۷	۵۲۱۳	۵۲۱۶	۰/۹۵	۸۲	۵۲۱۰
۳۰	مرودشت	۵۲۴۲cde	۲۸۸۲/۸hij	۱/۱۳	۴۰۸۵	۴۲۱۳	۰/۵۸	۲۰۵۸	۳۹۶۱
۳۱	نیشابور	۵۰۹۰/۳cde	۳۹۸۳/۱ef	۰/۸۵	۴۸۲۴	۴۶۳۶	۰/۷۷	۹۰۸	۴۵۹۱
۳۲	مغان۳	۵۰۷۷cdef	۱۸۳۵/۵m	۰/۸۹	۳۰۵۱	۳۴۵۶	۰/۳۲	۳۲۴۱	۲۶۹۴
۳۳	فلات	۶۶۵۱a	۲۹۴۸/۴hij	۱/۱۲	۴۱۵۰	۴۳۹۹	۰/۵۷	۳۵۰۲	۴۱۶۹
۳۴	قدس	۵۳۰۴/۷cde	۲۶۰۳ijk	۱/۳۴	۳۴۷۱	۴۰۵۴	۰/۵۱	۲۵۰۱	۳۳۹۲
۳۵	شیراز	۵۲۷۷cde	۲۷۵۶/۲hij	۱/۲۶	۳۹۴۸	۴۱۱۶	۰/۵۵	۲۳۲۱	۳۷۸۶
۳۶	شیرودی	۳۳۸۶/۳gh	۱۹۴۲klm	۱/۰۶	۲۶۷۵	۲۷۶۴	۰/۲۵	۱۲۴۳	۲۵۸۹
۳۷	گاسپارد	۲۷۸۱/۳h	۱۷۸۴/۸n	۱/۰۲	۲۲۲۵	۲۲۸۳	۰/۱۷	۹۹۶	۲۱۷۰
۳۸	بم	۴۷۷۱ef	۳۸۵۵/۷ef	۰/۴۳	۴۸۱۸	۴۴۱۳	۰/۶۸	۷۱۵	۲۷۶۸
۳۹	شعله	۴۷۵۶ef	۲۸۰۲hij	۱/۰۷	۳۷۸۱	۳۸۸۳	۰/۵۰	۱۷۶۳	۳۶۸۲
۴۰	بولانی	۶۳۶۶/۳a	۵۷۲۲a	۰/۲	۶۱۳۹	۶۱۴۴	۱/۳	۴۴۴	۶۱۳۵
۴۱	کارچیا	۵۵۶۷b	۴۷۸۵ab	۰/۴۹	۵۲۷۵	۵۲۷۶	۰/۹۷	۹۸۲	۵۲۲۸

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری با روش حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱درصد ندارند.

نتایج تجزیهٔ واریانس شاخص‌های تحمل به تنش نشان داد که بین ارقام مورد بررسی از لحاظ شاخص‌ها تفاوت معنی‌دار وجود دارد (جدول ۴). از بین شاخص‌های مورد بررسی چهار شاخص MP، GMP، HM و STI همبستگی مثبت و معنی‌دار با Yp و Ys داشتند (جدول ۶). این موضوع نشانگر این است که گزینش بر پایهٔ این شاخص‌ها منجر به گزینش ارقامی با عملکرد بالا در هر دو محیط (گروه A) می‌شود. نتایج تحقیقات Izaddoost *et al.* (2013) و Hosseini *et al.* (2012) نیز نشان داد که این شاخص‌ها به عنوان بهترین شاخص‌ها برای گزینش ارقام متحمل به تنش گروه A، هستند. ارقامی که بر پایهٔ این چهار شاخص گزینش شدند مانند بولانی، پیشتاز، افق، طبسی و کارچیا در هر دو محیط دارای عملکرد بالایی بودند (جدول ۳). این ارقام در گزارش Poustini *et al.* (2007) نیز در گروه ارقام متحمل به شوری گزارش شدند.

جدول ۴. میانگین مربعات شاخص‌های تحمل به شوری محاسبه شده برپایهٔ عملکرد دانه

منابع تغییر	درجهٔ آزادی	حساسیت به تنش	میانگین هندسی تولید	میانگین عملکرد	تحمل تنش	تحمل	میانگین همساز
تکرار	۲	۰/۲۹^{ns}	۲۶۶۶۳^{ns}	۳۸۳۳^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۹۵۵۴۰۴^{ns}	۶۶۲۰۵^{ns}
رقم	۴۰	۱/۵۸۹**	۲۳۴۷۴۳۷**	۱۸۴۶۵۳۸**	۰/۲۰۲**	۶۷۰۵۷۵۳**	۲۹۷۵۰۳۵**
خطا	۶۰	۰/۰۷۹	۷۸۳۳۲/۷	۶۰۷۸۵	۰/۰۰۸	۲۲۰۶۰۸۴	۱۰۰۲۸۹
ضریب تغییرپذیری‌ها (٪)		۲۹/۴	۵/۹	۵/۲	۱۱/۱	۲۵	۷/۸

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

ارقام گزینش‌شده بر پایهٔ TOL یا به شوری متحمل بوده و در هر دو محیط دارای عملکرد بالا بودند و یا حساس به شوری بوده و عملکردشان در هر دو محیط پایین بود. گزینش بر پایهٔ این شاخص احتمال گزینش ارقام حساس به شوری را در پی دارد و این شاخص توانایی تشخیص ارقام متعلق به گروه A از D را ندارد. Izaddoost *et al.* (2013) و Poustini *et al.* (2007) نیز در آزمایش‌های خود به نتایج همسانی دست یافتند.

اما نتایج آزمایش Jafari-Shabestari *et al.* (1995) که ۴۰۰ رقم گندم ایرانی را در شرایط آبیاری با آب دریا در کالیفرنیا غربال کردند و چند رقم را که در هر دو شرایط شوری بالا و شوری کم، عملکرد بالا داشتند معرفی کردند اما در نهایت هیچ رقم جدید متحمل به شوری از نتایج این غربالگری به‌دست نیامد. لذا نتایج این آزمایش نشان داد که گزینش برمبنای شاخص‌های تحمل، همیشه منجر به شناخت ژن‌نمون‌های متحمل به شوری نخواهد شد.

لذا نتایج تجزیهٔ واریانس صفات فیزیولوژیک مرتبط با تحمل به تنش شوری نشان داد که تأثیر شوری بر میزان سدیم، پتاسیم، نسبت پتاسیم به سدیم و محتوای نسبی آب برگ پرچم معنی‌دار است (جدول ۲) و اختلاف بین ژن‌نمون‌های مورد بررسی برای این صفات و تنوع برای تحمل به تنش شوری وجود دارد. از سوی دیگر بررسی غلظت یون‌های سدیم، پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم نشان می‌دهد که غلظت سدیم برگ پرچم در هنگام گرده‌افشانی در ارقامی که عملکرد بالاتری در شرایط تنش دارند، مانند روشن، کارچیا، بولانی، افق و طبسی، کمتر از ارقام با عملکرد پایین، مانند آرتا، تجن، سیروان و بیات است (جدول ۵). این نتایج گویای آن است که میزان جذب سدیم در ارقام متحمل کمتر از ارقام حساس و یا میزان دفع آن بیشتر است. Munns & James (2003) و Colmer *et al.* (2005) نیز به این نکته اشاره کردند که گیاهان شیرین‌رست (گلیکوفیت) مانندگندم با دفع یون سدیم و کلر از اثرگذاری‌های سمی آن برای گیاه می‌کاهند و گندم‌های نان در مقایسه با گندم‌های دوروم تحمل بیشتری به محیط شور دارند و این مسئله مربوط به توانایی بهتر این گندم‌ها در دفع یون سدیم است که نشان‌دهندهٔ تأثیر وجود ژن‌های ژنگان D در گندم‌های نان است که در گندم‌های دوروم وجود ندارد.

معنی‌دار شدن تأثیر متقابل رقم در شرایط تنش برای عملکرد دانه و نبود همبستگی معنی‌دار (۰/۰۷^{ns}) بین

عملکرد در دو محیط (عملکرد در شرایط بدون تنش (Yp) و عملکرد در شرایط تنش (Ys)) نشان داد که گزینش بر پایهٔ Yp منجر به افزایش عملکرد در محیط شور و مشاهدهٔ تحمل به شوری نمی‌شود (جدول ۶)، که این نتیجه با مشاهده‌های به‌دست آمده از آزمایش Jafri-Shabestari *et al.* (1995) در توافق بود.

جدول ۵. میانگین محتوای سدیم، پتاسیم، سدیم/پتاسیم و محتوای نسبی آب برگ پرچم ارقام گندم در شرایط تنش و بدون تنش

ردیف	رقم	سدیم بدون تنش	پتاسیم بدون تنش	سدیم/پتاسیم بدون تنش	سدیم تنش	پتاسیم تنش	سدیم/پتاسیم تنش	کاهش سدیم/پتاسیم ٪	کاهش محتوای نسبی آب ٪
۱	پارسی	۰/۲۱m	۲۰/۳fgh	۹۶/۸lmn	۱/۰۸ghi	۲۲/۲hijk	۲۱k	۷۸/۹cde	۳۹/۱fg
۲	بک‌کراس‌روشن	۰/۱۹no	۲۰/۶fgh	۱۰۶/۹kl	۱/۱۹gh	۲۳hij	۱۶/۵kl	۸۴/۵ab	۳۸/۳fg
۳	بهار	۰/۲۶hij	۱۹/۶ghi	۷۵/۸pqr	۱/۴۳de	۲۳hij	۱۴/۳klm	۸۱/۱bcd	۵۰/۸cde
۴	مروارید	۰/۲۶ghi	۲۱/۴efg	۸۲/۴opqr	۱/۲۸efg	۲۲hijk	۱۴/۱klm	۸۲/۸abc	۵۲/۵cde
۵	پیشتاز	۰/۱۴st	۲۶/۶b	۱۸۶/۱bc	۰/۳۹k	۳۰c	۸۵/۶ce	۴۹fgh	۲۷/۱
۶	تجن	۰/۲۵ij	۲۲/۶de	۸۸/۳nop	۱/۴۸de	۲۱/۱ijkl	۱۴/۸klm	۸۳/۲abc	۵۳/۶cde
۷	هیرمند	۰/۲۴kl	۲۱/۰fg	۸۷/۴nopq	۱/۴۱de	۱۸/۷klm	۱۶/۸kl	۸۰/۷bcd	۴۹/۲e
۸	سیوند	۰/۲۷efg	۲۰/۳fgh	۷۳/۶qrs	۱/۷۶cd	۱۹jklm	۱۱/۷lmno	۸۴/۱ab	۵۵/۶bcd
۹	هامون	۰/۲۲l	۱۹/۴ghi	۸۵/۷opqr	۱/۳۱ef	۱۷/۲lmn	۱۳klmn	۸۴/۸ab	۵۴/۸bcd
۱۰	سیروان	۰/۱۸nop	۲۳/۵cd	۱۱۱/۱jk	۱/۵۸d	۲۱/۴ijkl	۱۳klmn	۸۸/۲a	۵۹/۵ab
۱۱	افق	۰/۱۷pq	۲۳/۳de	۱۳۵/۵hi	۱/۳۱ef	۲۹/۴cd	۹۳/۳bc	۳۰/۹jklm	۳۵gh
۱۲	ارگ	۰/۱۲uv	۲۲/۷de	۱۸۱/۴bcd	۰/۳۰nop	۲۸def	۹۴/۴bc	۴۷/۹gh	۱۷/۹m
۱۳	اکبری	۰/۱۵rs	۲۳/۳cde	۱۴۹/۵fg	۰/۳۹k	۳۰/۶cd	۷۸/۲def	۴۷/۶gh	۱۷/۱mn
۱۴	روشن	۰/۱۶qr	۲۴/۷bc	۱۵۴/۴ef	۰/۳۳mn	۲۷efg	۸۲/۴cde	۴۶/۶ghi	۱۷/۲mn
۱۵	چمران	۰/۲۴jk	۲۳/۵cd	۹۶/۵lmn	۱/۲۴fg	۲۱/۶ijkl	۱۸/۱k	۸۱/۲bcd	۲۲/۱klm
۱۶	نیک‌نژاد	۰/۱۸nop	۲۳/۳cde	۱۲۹/۸hi	۰/۳۶lm	۲۵/۱fgh	۶۹/۴efgh	۴۶/۵gh	۲۷/۷ij
۱۷	گنبد	۰/۲۹de	۲۵/۲b	۸۷/۴nopq	۱/۷۸cd	۲۳/۸ghi	۱۴/۷klm	۸۳/۱abc	۵۵/۳bcd
۱۸	سیستان	۰/۱۱v	۲۸ab	۲۴۵/۹a	۰/۳۵lmn	۳۰/۰cd	۸۶/۹ce	۴۶/۶gh	۱۸/۹m
۱۹	آرتا	۰/۲۶ghi	۲۴/۳bc	۷۷/۲opqr	۱/۵۶d	۲۱/۸ijk	۱۲/۸klmn	۸۵/۳a	۵۵bcd
۲۰	کویر	۰/۱۷pq	۲۳/۰de	۱۳۲/۸hi	۰/۳۶lm	۲۶/۸efg	۷۴/۱def	۴۴/۲gh	۲۴/۵jkl
۲۱	الوند	۰/۳۲c	۲۳/۶cd	۷۳/۹qrs	۱/۱۶fg	۱۹/۳jkl	۱۷/۲kl	۷۶/۷cde	۳۶/۲fgh
۲۲	سرخ‌تخم	۰/۱۶qr	۲۳/۰de	۱۴۶/۳fg	۰/۳۱no	۲۹/۷cd	۹۸/۵ab	۳۴/۱ijkl	۱۸/۲m
۲۳	ماهوتی	۰/۱۳tu	۲۳/۲de	۱۶۷/۹de	۰/۳۷kl	۲۵/۳fgh	۶۹/۳efgh	۵۸/۷f	۳۰/۴hi
۲۴	مهدوی	۰/۲۸ef	۲۴/۱bc	۸۴/۷opqr	۱/۲۵efg	۲۱/۷ijk	۱۶/۹kl	۸۲/۱abc	۵۲cde
۲۵	بیات	۰/۲۷fgh	۲۳/۱de	۸۴/۱	۱/۸۲c	۱۹/۷jkl	۱۱/۶lmno	۸۶/۲a	۵۵/۵bcd
۲۶	بزوستایا	۰/۱۲uv	۲۸/۸ab	۱۷۹/۹cd	۰/۳۹k	۳۵/۳ab	۹۰/۱bc	۴۹/۹fg	۲۵/۸ijk
۲۷	اینیا	۰/۱۱v	۲۹/۷a	۲۰۰/۵b	۰/۳۴mn	۳۶/۰a	۱۰۳/۳a	۴۷/۹fgh	۲۶/۹
۲۸	داراب۲	۰/۲۰mn	۲۴/۳bc	۱۲۳/۷ij	۰/۵۵j	۲۸/۰def	۵۰/۴j	۵۹/۲f	۲۷/۹ij
۲۹	طبسی	۰/۱۴st	۲۴/۶bc	۱۷۲/۲d	۰/۳۲mno	۳۰/۶cd	۹۹/۶ab	۵۴/۲f	۱۸/۸m
۳۰	مرودشت	۰/۱۱v	۲۲/۰ef	۱۸۸/۸bc	۰/۳۵lmn	۲۶/۶efg	۷۶/۸def	۵۹/۳f	۲۷/۴ij
۳۱	نیشابور	۰/۱۶qr	۲۲/۶de	۱۳۸/۸gh	۰/۳۵lmn	۲۹/۰cde	۸۳/۶cde	۳۹/۷hijk	۲۵/۶ijk
۳۲	مغان۳	۰/۳۳bc	۲۵/۰bc	۷۵/۸pqr	۲/۲۰a	۲۰/۷ijkl	۱۳/۹klm	۸۱/۶bcd	۵۰/۷de
۳۳	فلات	۰/۳۴a	۲۵/۳b	۷۴/۵pqr	۲/۱۴ab	۲۴/۱ghi	۱۱/۶lmno	۸۴/۴ab	۴۰/۱f
۳۴	قدس	۰/۲۶ghi	۲۳/۶bcd	۸۹/۹mno	۱/۹۴b	۲۱/۸ijk	۱۳/۵klmn	۸۴/۹ab	۵۳/۵cde
۳۵	شیراز	۰/۲۶fg	۲۱/۰fg	۷۸/۸opqr	۱/۵۹d	۲۱/۳ijkl	۱۳/۴klmn	۸۲/۹abc	۵۶abc
۳۶	شیرودی	۰/۳۰d	۲۲/۰ef	۷۲/۵rs	۱/۳۳ef	۲۱/۰ijkl	۱۶/۸kl	۷۶/۸cde	۶۰/۸a
۳۷	گاسپارد	۰/۳۵a	۲۱/۳efg	۵۰/۳t	۱/۸۹bc	۱۹/۲jklm	۱۰/۴lmno	۸۲/۷abc	۵۹/۳ab
۳۸	بم	۰/۱۵rs	۲۳/۰de	۱۵۳/۶f	۰/۴۰k	۲۷/۵def	۶۸/۸fghi	۵۵/۲fg	۲۰/۱lm
۳۹	شعله	۰/۱۱v	۲۳/۳cde	۲۰۰/۲b	۰/۲۷p	۲۴/۳ghi	۹۰/۵bc	۵۴/۷fg	۲۶/۳ijk
۴۰	بولانی	۰/۱۹no	۲۴/۶bc	۱۲۷/۷hi	۰/۳۷kl	۲۶/۶efg	۷۱/۶efg	۴۳/۹hij	۱۸/۶m
۴۱	کارچیا	۰/۲۴kl	۲۴/۶bc	۱۰۲/۸klm	۰/۵۳j	۲۸/۰def	۶۸/۳fghi	۳۳/۵ijkl	۱۲/۱n

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری با روش حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱درصد ندارند.

همبستگی منفی و معنی‌دار میزان سدیم در شرایط تنش با عملکرد دانه در همین شرایط تنش، (۰/۴**)، گویای آن است، ارقامی که توانایی دفع بیشتر سدیم و یا جلوگیری از جذب آن را در شرایط تنش دارند و به عبارتی دارای سدیم کمتری باشند، دارای عملکرد و تحمل به شوری بالاتری نیز هستند (جدول ۶). از سویی همبستگی مثبت و معنی‌دار پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم با عملکرد دانه در شرایط تنش، به ترتیب (۰/۵۳**) و (۰/۴۸**) نشان می‌دهد که ارقام متحمل به شوری در شرایط تنش دارای توانایی جذب بیشتر پتاسیم بوده و در نتیجه درصد کاهش K^+/Na^+ در شرایط تنش در برگ پرچم آنها کمتر است. در تحقیقات Flowers & Yeo (1995) و Poustini and Sio-Semardeh. (2004) نیز به این نکته اشاره شده است که میزان پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم در اندام گیاه رشدیافته در شرایط تنش شوری می‌تواند به عنوان شاخص تحمل به شوری گیاه مد نظر قرار گیرد. کاهش حجم نسبی آب برگ پرچم نیز در ارقامی که تحمل بالاتری در شرایط تنش داشتند کمتر از ارقام با تحمل کمتر بود (جدول۵). همبستگی منفی و معنی‌دار درصد کاهش محتوای نسبی آب برگ با عملکرد در شرایط تنش (۰/۸**-) این موضوع را تأیید می‌کند. نتایج آزمایش‌های Karim *et al.* (1993)، Zheng *et al.* (2008) و Benderradji *et al.* (2011) نیز نشان داد که میزان کاهش محتوای نسبی آب برگ پرچم در ارقام متحمل کمتر از ارقام حساس به شوری بوده است.

جدول ۶. ضریب‌های همبستگی بین عملکرد در دو محیط، شاخص‌های تحمل به شوری عملکرد، میزان سدیم، پتاسیم و کاهش حجم نسبی آب برگ پرچم

صفت	عملکرد دانه بدون تنش	عملکرد دانهٔ با تنش	میانگین عملکرد	میانگین هندسی عملکرد	تحمل	پایداری عملکرد	حساسیت به تنش	میانگین همساز	سدیم تنش	پتاسیم تنش	سدیم/ پتاسیم تنش
عملکرد دانه با تنش	۰/۰۷^{ns}	-									
میانگین عملکرد	۰/۵۷**	۰/۸۵**	-								
میانگین هندسی عملکرد	۰/۴۱**	۰/۹۳**	۰/۹۷**	-							
تحمل	۰/۴۸**	-۰/۸۳**	-۰/۴**	-۰/۶**	-						
پایداری عملکرد	۰/۳۷**	۰/۹۴**	۰/۹۶**	۰/۹۹**	-۰/۶۲**	-					
حساسیت به تنش	۰/۳۷**	-۰/۸۶**	=۰/۵**	-۰/۶**	۰/۹۶**	-۰/۷**	-				
میانگین همساز	۰/۲۹**	۰/۹۶**	۰/۹۳**	۰/۹۹**	-۰/۶۸**	۰/۹۸**	-۰/۷۳**	-			
سدیم تنش	-۰/۰۲^{ns}	-۰/۴**	-۰/۴**	-۰/۴**	۰/۳۷**	۰/۴**	۰/۳۷**	۰/۴**	-		
پتاسیم تنش	-۰/۰۰۴^{ns}	۰/۵۳**	۰/۴۳**	۰/۴۹**	-۰/۴۶**	۰/۴۹**	-۰/۴۷**	۰/۵۱**	-۰/۰۵^{ns}	-	
پتاسیم/سدیم تنش	-۰/۰۵^{ns}	۰/۶۸**	۰/۵۳**	۰/۶۱**	-۰/۶۲**	۰/۶۱**	-۰/۶۱**	۰/۶۴**	-۰/۹**	۰/۳**	-
کاهش حجم نسبی آب ٪	-۰/۱۵^{ns}	-۰/۸**	-۰/۷**	-۰/۷**	۰/۶۲**	-۰/۷**	۰/۶۶**	-۰/۸**	۰/۸**	-۰/۷**	-۰/۸**

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

همبستگی مثبت و معنی‌دار شاخص‌های میانگین عملکرد، میانگین همساز، میانگین هندسی عملکرد و تحمل تنش با نسبت پتاسیم به سدیم و همبستگی منفی این شاخص‌ها با سدیم و درصد کاهش حجم نسبی آب برگ پرچم نشان‌دهندهٔ این مطلب است که میزان سدیم و پتاسیم و نسبت این دو و محتوای نسبی آب در برگ پرچم می‌توانند شاخص‌های مناسبی برای بررسی وضعیت تحمل به شوری ارقام گندم باشند (جدول ۶). Hefny *et al.* (2013) در بررسی اثرگذاری‌های شوری روی سورگوم وجود این همبستگی‌ها را تأیید کردند و کاربرد این شاخص‌ها را برای تعیین وضعیت تحمل به شوری گیاه مناسب دانستند.

نتیجه‌گیری کلی از این آزمایش نشان می‌دهد که محتوای پتاسیم، نسبت پتاسیم به سدیم و محتوای نسبی آب برگ پرچم در ارقام متحمل به شوری در زمان رویارویی گیاه با شرایط تنش شوری افزایش

یافته و به همین نسبت محتوای سدیم برگ پرچم کاهش پیدا می‌کند. لذا این صفات با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دارشان با چهار شاخص MP، GMP، HM و STI، دارای بیشترین توانایی در تشخیص ارقام متحمل به شوری بودند، معیارهای مناسبی برای گزینش ارقام متحمل به شوری هستند. از شاخص‌های تحمل بر پایهٔ عملکرد پس از رشد نهایی گیاه و برداشت دانه آن می‌توان استفاده کرد اما از میزان سدیم، پتاسیم، نسبت پتاسیم به سدیم و حجم نسبی آب برگ پرچم پیش از رشد نهایی و برداشت گیاه و حتی در مراحل گیاهچه‌ای می‌توان استفاده کرد و در نتیجه سرعت و دقت غربال‌گری و گزینش ژن‌نمون‌های متحمل به شوری بالاتر خواهد رفت. از سوی دیگر با توجه به کنترل پیچیدهٔ ژنتیکی عملکرد و وراثت پایین آن، در مقایسه با کنترل ساده‌تر ژنتیکی صفات فیزیولوژیک و وراثت بالاتر آنها، می‌توان به‌صورت تلفیقی برای گزینش ژن‌نمون‌های متحمل به شوری اقدام کرد و همچنین برای درک سازوکارهای تحمل و به احتمال تولید ارقام متحمل به روش‌های زیست‌فناورانه به کار برده شود.

REFERENCES

1. Allakhverdiev, S. I., Sakamoto, A., Nishiyama, Y., Inaba, M. & Murata, N. (2000). Ionic and osmotic effects of NaCl-induced in activation of photo systems I and II in Synechococcus sp. *Plant Physiology*, 123, 1047-56.
2. Benderradji, L., Brini, F., Ben Amar, S., Kellou, K., Azaza, J., Masmoudi, K., Bouzerzou, H., Hanin, M. (2011). Sodium transport in the seedlings of two bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes showing contrasting salt stress tolerance. *Australian Journal of Crop Science*, 5, 233-241.
3. Colmer, T. D., Munns, R. & Flowers, T. J. (2005). Improving salt tolerance of wheat and barley: future prospects. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 45, 1425-1443.
4. Colmer, T. D., Flowers, T. J. & Munns, R. (2006). Use of wild relatives to improve salt tolerance in wheat. *Journal of Experimental Botany*, 57, 1059-1078.
5. Degl'Innocenti, E., Hafsi, C., Guidi, L. & Navari-Izzo, F. (2009). The effect of salinity on photosynthetic activity in potassium-deficient barley species. *Journal of Plant Physiology*, 166, 1968-1981.
6. Dubcovksy El-Hendawy, S. E., Hu, Y. & Schmidhalter, U. (2005). Growth, ion content, gas exchange, and water relations of wheat genotypes differing in salt tolerances. *Australian Journal of Agricultural Research*, 56, 123-134.
7. Fernandez, G. C. J. (1992). Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In Proceeding of *a Symposium*, Taiwan, 13-18 Aug. pp. 257-270.
8. Fischer, R. A. & Maure, R. (1978). Drought response in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29, 897-912.
9. Flowers, T. J. & Yeo, A. R. (1995). Breeding for salinity resistance in crop plants; where next. *Australian Journal Plant Physiology*, 22, 875-884.
10. Francois, L. E., Grieve, C. M., Maas, E. V., Donovan, T. J. & Lesch, S. M. (1994). Time of salt stress affects growth and yield components of irrigated wheat. *Agronomy Journal*, 86, 100-107.
11. Gorham, J., Hardy, C., Wyn Jones, R. G. Joppa, L. R. & Law, C. N. (1987). Chromosomal location of a K/Na discrimination character in the D genome of wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 74, 584-588.
12. Gorham, J., Wyn Jones, R. G. & Bristol, A. (1990). Partial characterisation of the trait for enhanced K^+/Na^+ discrimination in the D genome of wheat. *Planta*, 180, 590-597.
13. Hefny, M. M., Rabei Metwali, E. M. & Ibrahem Mohamed, A. (2013). Assessment of genetic diversity of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) genotypes under saline irrigation water based on some selection indices. *Australian Journal of Crop Science*, 7, 1935-1954.
14. Hosseini, S. J., Tahmasebi Sarvestani, Z. & Pirdashti, H. (2012). Analysis of tolerance indices in some rice (*Oryza sativa* L.) genotypes at salt stress condition. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 3, 1-10.
15. Husain, S., Munns, R. & Condon, A.G. (2003). Effect of sodium exclusion trait on chlorophyll retention and growth of durum wheat in saline soil. *Australian Journal of Agricultural Research*, 54, 589-597.
16. Izaddoost, H., Samizadeh, H., Rabiei, B. & Abdollahi, S. (2013). Evaluation of salt tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) cultivars and lines with emphasis on stress tolerance indices. *Cereal Research*, 3, 167-180. (in Farsi)

17. Karim, M. A., Nawata, E. & Sigenaga, S. (1993). Effects of salinity and water stress on the growth, yield and physiological characteristics in hexaploid triticale. *Japanese Journal of Tropical Agricultur*e, 37, 46-52.
18. Kristin, A.A., Serna, R.R., Perez, F.I., Enriquez, B.C., Gallegos, J.A.A., Vallejo, P.R., Wassimi, N. & Kelley, J. D. (1997). Improving common bean performance under drought stress. *Crop Sci*, 37, 43-50.
19. Munns, R., Hare, R. A., James, R. A. & Rebetzke, G. J. (2000b). Genetic variation for improving the salt tolerance of durum wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*, 51, 69-74.
20. Munns, R. & James, R. A. (2003) Screening methods for salinity tolerance: a case study with tetraploid wheat. *Plant and Soil*, 253, 201-218.
21. Netondo G. W., Onyango, J. C. & Beck, E. (2004). Sorghum and salinity. I: Response of growth, water relations, and ion accumulation to NaCl salinity. *Crop Science*, 44, 797-805.
22. Orcutt, D. M. & Nilsen, E. (2000). The physiology of plants under stress. John Wiley & Sons. Inc. New York pp. 177-235.
23. Parida, A. K., Das, A. B., Sanada, Y. & Mohanty, P. (2004). Effects of salinity on biochemical components of the mangrove, (*Aegiceras corniculatum*). *Aquatic Botany*, 80, 77-87.
24. Poustini, K. & Siosemardeh, A. (2004). Ion distribution in wheat cultivars in response to salinity stress. *Field Crops Research*, 85, 125-133.
25. Poustini, K., Siosemardeh, A. & Ranjbar, M. (2007). Proline accumulation as a response to salt stress in 30 wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars differing in salt tolerance. *Genetic Resources Crop Evolution*, 54, 925-934.
26. Rengasamy, P. (2002). Transient salinity and subsoil constraints to dryland farming in Australian sodic soils: an overview. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 42, 351-361.
27. Rontein, D., Basset, G. & Hanson, A.D. (2002). Metabolic engineering of osmoprotectant accumulation in plants. *Metabolic Engineering*, 4, 49-56.
28. Rosielle, A. A. & Hamblin, J. (1981). Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science*, 21, 943-946.
29. Sairam, R. K., Rao, K. V. & Srivastava, G. C. (2002). Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Science*, 163, 1037-1046.
30. SAS Institute Inc, (2011). *SAS/STAT user's guide*, second edition. SAS institute Inc., Cary, Nc.
31. SPSS. (2010). *SPSS 20. Users Guied*. Chicago, IL, USA.
32. Stuciffe, J. & Baker, D.A. (1981). *Plants and mineral salts*. Edward Arnold Publisher, Southampton, pp: 16-18.
33. Talebi, R., Fayaz, F. & Mohammad, A. (2009) Effective selection criteria for assessing drought stress tolerance in durum wheat (*Triticum durum* Desf). *General and Applied Plant Physiology*, 35, 64-74.
34. Tandon, H. L. S. (1995). Estimation of sodium and potassium, in: *Methods of Analysis of Soils, Plants, Water and Fertilisers*, FDCO, New Delhi. 62-63. *Science*, 1, 191-193.
35. USDA-ARS. (2005). George, E. & Brown, J.r. Salinity Laboratory, Riverside, CA, USA (http://www.ars.usda.gov/Services/docs.htm? docid=8908).
36. Van Ginkel, M., Calhoun, D.S., Gebeyehu, G. & Miranda, A. (1998). Plant traits related to yield of wheat in early, late, or continuous drought conditions. *Euphytica*, 100, 109-112.
37. Weatherley, P. E. (1950). Studies in water relations of cotton plants I. the field measurement of water deficit in leaves. *New Phytologist*, 49, 81-87.
38. Zheng. Y., Wang, Z., Sunb, X., Jia, A., Jiang, G. & Li, Z. (2008). Higher salinity tolerance cultivars of winter wheat relieved senescence at reproductive stage. *Environmental and Experimental Botany*, 62, 129-138.

Iranian Journal of Filed Crop Science, Vol. 46, No. 3, Autumn 2015

Evaluation of relationship between salinity stress tolerance indices and some physiological traits in bread wheat

Seyed Zabihallah Ravari[1], Hamid Dehghani[2*] and Hormozd Naghavi[3]
1, 2. Ph. D. Stuednt and Associate Professor, Department of Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
3. Assistant Professor, Faculty member of Agricultural and Natural Resources Research Center, Kerman, Iran
(Received: Apr. 19, 2015 - Accepted: Aug. 26, 2015)

ABSTRACT

The deleterious effects of salinity on plant growth and development are associated with the imbalance ion in plant, decreased K^+ and increased Na^+, and ultimately yield loss. In order to evaluate the effects of salinity, 41 bread wheat varieties (*Trticum aestivum* L.) were planted in the randomized complete block design with three replications under two saline irrigation conditions, 0.631 and 11.8 dS/m, in Agriculture and Natural Resources Research Center, Kerman, Iran. The results of analysis of variance showed that the effect of salinity on the grain yield, the content of sodium, potassium, the ratio of this two ions and relative water content (RWC) in flag leaf of the genotypes was significant. The indices of mean productivity (MP), geometric mean productivity (GMP), harmonic mean (HM) and stress tolerance index (STI) were calculated based on grain yield evidence positive significant correlation with Yp (yield in non-stress conditions), Ys (yield in stress conditions) and Na^+ and K^+ / Na^+ in stress conditions. Varieties were selected based on these indices had high performance in both environments. These varieties had the lowest reduction in K^+ / Na^+ and RWC. Each of these indicators, tolerance indicators or the amount of Na^+, K^+, K^+/Na^+ and RWC, can be used to select tolerant varieties depending on the plant growth stage.

Keywords: potassium, sodium, tolerance indices, tolerance mechanisms.

* Corresponding author E-mail: dehghanr@modares.ac.ir Tel: +982148292040