تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد چهاردهم، شماره سوم، پائیز ۱۴۰۰
۷۹۳-۸۰۴
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.3097.1794

مقاله پژوهشی

مقایسه برخی خصوصیات فیزیولوژیک ریشه ارقام گندم دوروم و گندم نان تحت شرایط شوری

وحید اطلسی پاک[1*]، امید بهمنی[2]
۱. استادیار گروه کشاورزی دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
۲. استادیار گروه علوم و مهندسی آب. دانشکده کشاورزی. دانشگاه بوعلی سینا. همدان

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۰/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۲/۲۰

چکیده

به‌منظور رشد مطلوب گیاه در شرایط شور، رشد سریع و گسترده ریشه از اهمیت زیادی برخوردار است. به‌منظور بررسی سیستم ریشه‌ای و برخی خصوصیات فیزیولوژیک چهار رقم گندم نان ارگ و افق (متحمل به شوری)، تجن و مروارید (حساس به شوری) و دو رقم گندم دوروم (بهرنگ و شبرنگ)، آزمایشی گلخانه‌ای با دو سطح شوری (صفر و ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl) در لوله‌های پی‌وی‌سی به اجرا درآمد. نتایج نشان داد که تنش شوری موجب کاهش وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، طول ریشه‌های اصلی و مجموع طول ریشه‌ها، تعداد پنجه‌ها و پتاسیم ریشه و اندام هوایی و نسبت پتاسیم ریشه به اندام هوایی گردید و سدیم ریشه و اندام هوایی و دمای برگ را افزایش داد. شوری اثری بر رشد ریشه‌های اصلی رقم ارگ نداشت و بین این رقم و رقم شبرنگ از این نظر تحت شرایط شوری اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید. اگرچه کاهش رشد ریشه‌های اصلی در رقم ارگ (۵٪) و شبرنگ (۳۲٪) کمتر از بقیه ارقام بود اما مجموع طول ریشه‌ها در این دو رقم بیشترین کاهش را به ترتیب به مقدار ۶۴ و ۶۸ درصد داشت. نتایج نشان داد در ارقام گندم طول ریشه می‌تواند برای ارزیابی تحمل به تنش شوری مورد ارزیابی قرار گیرد.

***واژه‌های کلیدی:* انشعابات فرعی، تحمل به شوری، ریشه‌های اصلی**

مقدمه

شوری خاک یکی از عوامل مؤثر در محدودیت گیاهان زراعی بوده و با افزایش تقاضا جهت تولید محصولات کشاورزی به یکی از مهم‌ترین چالش‌های بخش کشاورزی تبدیل شده است (Munns et al., 2019a). تحمل به شوری در گیاهان زراعی به معنی توانایی رشد و نیز تولید عملکرد اقتصادی قابل‌برداشت است (Munns et al., 2019b). میزان آسیب شوری به گیاهان زراعی بستگی به گونه گیاه، مدت‌زمان اعمال تنش و مرحله نموی گیاه زراعی دارد (Munns et al., 2019a). تحمل به شوری در گندم نان (*Triricum aestivum* L.) را با توانایی آن در دفع سدیم از اندام هوایی مرتبط می‌دانند (Munns et al., 2006). نتایج نشان داده است که دلیل حساس بودن گندم دوروم (*Triticum durum* L.) به شوری، دفع ضعیف‌تر سدیم از اندام هوایی است (Cuin et al., 2009). البته در برخی تحقیقات ارتباطی بین میزان دفع سدیم و تحمل به شوری گندم گزارش نشده است (Genc et al., 2007).

نقش ریشه در تحمل تنش شوری در مراحل اولیه رشد و پاسخ آن به تنش‌های اسمزی ناشی از شوری و ارتباط آن با پاسخ‌های رشدی اندام هوایی کمتر موردتوجه قرار گرفته است. رشد ریشه تحمل بالایی به تنش‌های اسمزی داشته و در غلظت‌هایی از شوری که رشد اندام هوایی متوقف می‌گردد به رشد خود ادامه می‌دهد (Yamaguchi and Sharp,

* نگارنده پاسخگو: وحید اطلسی پاک. پست الکترونیک: v.atlassi@gmail.com

2010). استفاده از تنوع ژنتیکی خصوصیات ریشه در اصلاح نباتات می‌تواند منجر به بهبود رشد ریشه غلات در شرایط شور گشته و منجر به افزایش عملکرد گردد (Richrds, 2008). شواهدی از تنوع ژنتیکی خصوصیات ریشه برخی گونه‌های زراعی وجود دارد. این خصوصیات در گندم شامل عمق ریشه‌دهی، میزان طویل شدن ریشه‌ها، توزیع ریشه‌ها در اعماق و قطر آوندهای چوبی است (Manschadi et al., 2008). در مقایسه با ویژگی‌های اندام‌های هوایی، خصوصیات ریشه در بهبود تحمل به شوری در گونه‌های غلات کمتر موردتوجه بوده است (Richards, 2006). با توجه به موانعی که در انتخاب خصوصیات مطلوب ریشه گیاهان بالغ وجود دارد، خصوصیات معماری ریشه در مراحل اولیه رشد و تعیین رابطه آن با تحمل به شوری در مرحله رسیدگی در غلات می‌تواند ملاک انتخاب مناسبی جهت بهبود تحمل به تنش‌های اسمزی باشد (Manschadi et al., 2008).

گندم دوروم جزء حساس‌ترین غلات مناطق معتدله نسبت به شوری است که دلیل آن عدم وجود ژن مسئول دفع سدیم در اندام هوایی است (Davenport et al., 2005). غلظت‌های متوسط و بالای شوری بیشتر از طریق اثرات اسمزی باعث کاهش رشد گیاهان زراعی می‌گردند (Munns and Tester, 2008). تحقیقات نشان داده است که کاهش صفاتی مانند وزن خشک ریشه، طول ریشه (Shelden et al., 2013) و وزن خشک اندام هوایی (James et al., 2008) در ارقام حساس گیاهان زراعی دارای کاهش بیشتری بوده است. سنجش دمای برگ نیز در کشاورزی و فیزیولوژی گیاهی مورداستفاده قرار گرفته (Urrestarazu, 2013) و در بررسی وضعیت آبی گیاه تحت تنش شوری کاربرد دارد. در برخی نتایج تغییر معماری سیستم ریشه بر میزان جذب آب تحت شرایط شوری اثرگذار بوده (Chloupek et al., 2006)، به‌طوری‌که بین ظرفیت جذب آب ریشه و وزن خشک اندام هوایی همبستگی وجود داشته است (Matsuo et al, 2009).

هدف از انجام این تحقیق بررسی سیستم ریشه‌ای و برخی خصوصیات آن و ارتباط آن‌ها با برخی خصوصیات فیزیولوژیک ریشه در ارقام متحمل و حساس گندم نان در مقایسه با گندم دوروم تحت تنش شوری است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با چهار تکرار در سال ۱۳۹۷ در گلخانه تحقیقاتی گروه کشاورزی دانشگاه پیام نور مرکز همدان در شهر همدان انجام گرفت. تیمارهای آزمایش شامل چهار رقم گندم نان ارگ، افق (متحمل به شوری)، تجن و مروارید (حساس به شوری)، دو رقم گندم دوروم (بهرنگ و شبرنگ) و دو سطح شوری صفر و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم بود. بستر کاشت حاوی مخلوطی از خاک با بافت لومی شنی بود که مشخصات آن در جدول ۱ ارائه شده است.

واحدهای آزمایشی شامل گلدان‌هایی از جنس PVC و به شکل استوانه‌ای با قطر حدود ۱۰ و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر بود. گیاهچه‌ها در دمای ۲±۲۵ و ۲±۱۵ درجه سانتی‌گراد (به ترتیب روز و شب) در گلخانه نگهداری شدند. رطوبت نسبی گلخانه ۵۱ درصد بود. دو عدد بذر در هر گلدان کاشته شد و پس از سبز شدن بوته‌ها تنک شده و درنهایت در هر گلدان یک بوته باقی ماند. هر واحد آزمایشی شامل ۱۰ گلدان بود. پس از ظهور برگ دوم تیمار شوری اعمال شد. برای ایجاد غلظت یکنواخت شوری در خاک، لوله‌های پی‌وی‌سی روزانه به مدت ۱۵ دقیقه درون ظرف‌های محتوای محلول موردنظر به‌صورت شناور قرار داده شدند تا محلول به‌طور کامل از راه روزنه‌ها به درون لوله‌های پی‌وی‌سی نفوذ کند. این کار تا زمان نمونه‌برداری ادامه یافت.

سه هفته پس از اعمال شوری برخی پارامترها مثل وزن خشک اندام هوایی و ریشه، طول ریشه‌های فرعی و اصلی، مقدار سدیم و پتاسیم ریشه موردراندازه‌گیری قرار گرفت. دمای برگ ۵ روز پس از اعمال شوری مورد بررسی قرار گرفت (Sirault et al., 2009). دمای برگ توسط دماسنج مادون‌قرمز مدل KIMO-KIRAY 300 (ساخت فرانسه) اندازه‌گیری شد، به‌این‌ترتیب که از اندام هوایی هر بوته به‌طور متوسط دمای برگ از ۲۰ نقطه موردراندازه‌گیری قرار گرفت (James and Sirault, 2012). جهت اندازه‌گیری دمای برگ از دو برگ بالایی (آخرین برگی که به حداکثر سطح خود رسیده بود و برگ پایینی) استفاده گردید. مقدار کلروفیل با استفاد از روش هلدن (Holden, 1976) تعیین گردید. به‌منظور اندازه‌گیری وزن خشک ریشه و اندام هوایی بوته‌ها پس از تفکیک به اندام هوایی و ریشه با آب مقطر مورد شستشو قرار گرفت و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شدند. سپس وزن خشک آن‌ها با ترازوی دقیق با دقت ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری شد. جداسازی ریشه‌ها از خاک از طریق اشباع کردن خاک به همراه ریشه در آب و شستشوی ریشه‌ها با آب صورت گرفت. طول محور

اصلی ریشه‌ها با خط‌کش اندازه‌گیری شد. مجموع طول ریشه‌های اصلی و فرعی از طریق روش نیومن (Newman, 1966) به دست آمد. در این روش ابتدا ظرفی با ابعاد مشخص در نظر گرفته می‌شود و ریشه‌ها پس از شستشو در آن قرار می‌گیرند. ظرف مورداستفاده یک ظرف کم‌عمق، شفاف با سطح تخت بوده که به همراه یک بینوکولار جهت شمارش محل‌های تقاطع ریشه‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرد. پس از احتساب تعداد تقاطع بین ریشه‌ها و مجموع طول محورهای اصلی ریشه طبق فرمول، طول کل ریشه‌ها به دست می‌آید:

$$R=\pi NA/2H \quad [۱]$$

که در آن R: مجموع طول ریشه‌ها، N: تعداد تقاطع بین ریشه‌ها با محور اصلی، A: مساحت ظرف مورداستفاده و H: مجموع طول محورهای اصلی ریشه است. سدیم و پتاسیم ریشه توسط دستگاه نشر شعله‌ای (Jenway-PFP7) اندازه‌گیری شد (Atlassi Pak et al., 2018). محاسبات آماری توسط نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ انجام شد و میانگین‌ها با آزمون LSD مورد مقایسه قرار گرفت.

جدول ۱. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1. Physical and chemical characteristic of soil

شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	کربن آلی Organic carbon	هدایت الکتریکی عصاره اشباع EC_e	واکنش خاک pH	نسبت جذب سدیم SAR	سدیم Na^+	کلسیم+منیزیم $Ca^{2+}+Mg^{2+}$
---------- % ----------				dS/m				meq.l^{-1}
60	28	12	0.55	1.98	8.01	0.97	3.5	26.03

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که اعمال شوری بعد از ۲۱ روز وزن خشک ریشه و اندام هوایی، طول محور اصلی ریشه‌ها، مجموع طول ریشه‌های اصلی و فرعی، سدیم و پتاسیم ریشه، دمای برگ و تعداد پنجه‌ها را تحت تأثیر قرار داد. ارقام مختلف ازنظر همه صفات مورد آزمایش به‌جز سدیم ریشه دارای اختلاف معنی‌دار بودند و اثر برهمکنش رقم و شوری بر طول محور اصلی ریشه‌ها، طول ریشه‌های اصلی و فرعی، سدیم ریشه، دمای برگ و تعداد پنجه‌ها اثر معنی‌دار داشت (جدول ۲).

اثر شوری بر کاهش وزن خشک اندام هوایی معنی‌دار بود و موجب کاهش آن گردید (جدول ۳). در شرایط بدون شوری بیشترین مقدار وزن خشک اندام هوایی مربوط به ارقام بهرنگ و شبرنگ بود. در واکنش به شوری وزن خشک اندام هوایی بین ۳ تا ۳۶ درصد کاهش یافت و در بین ارقام رقم تجن توانست بیشترین مقدار وزن خشک اندام هوایی را حفظ نماید درصورتی‌که رقم شبرنگ بیشترین کاهش را از این نظر داشت. ارقام تتراپلوئید گندم به‌طور متوسط ۲۷ و ارقام گندم نان حدود ۱۷ درصد کاهش ماده خشک اندام هوایی تحت شرایط شوری داشتند (جدول ۴).

وزن خشک ریشه تحت تنش شوری در همه ارقام کاهش معنی‌داری از خود نشان داد. وزن خشک ریشه ارقام مختلف بین ۴۲ تا ۷۰ درصد تحت تأثیر شوری کاهش یافت که بیشترین کاهش مربوط به رقم بهرنگ و کمترین آن مربوط به رقم افق بود. ارقام ارگ و مروارید بعد از ارقام بهرنگ و شبرنگ کاهش قابل‌ملاحظه‌ای (حدود ۶۲ درصد) در وزن خشک ریشه تحت شرایط شوری از خود نشان دادند. وزن خشک ریشه ارقام افق و تجن در شرایط شوری کاهش کمتری نسبت به بقیه ارقام داشت و رقم ارگ، شبرنگ و بهرنگ کاهش قابل‌توجهی (به ترتیب ۶۳، ۶۴ و ۷۰) داشتند (جدول ۴).

شوری موجب کاهش طول محور اصلی ریشه در همه ارقام به جز ارگ گردید و بیشترین کاهش (۶۳ درصد) مربوط به رقم تجن بود و ارقام بهرنگ و شبرنگ به ترتیب ۲۸ و ۳۲ درصد کاهش از خود نشان دادند. ارقام افق و مروارید و تجن به‌طور متوسط ازنظر طول ریشه‌های اصلی تحت تأثیر شوری کاهش بیشتری نسبت به ارقام بهرنگ و شبرنگ داشتند. بااین‌حال طول ریشه‌های اصلی در شرایط شوری در ارقام بهرنگ، افق، مروارید و تجن تفاوت معنی‌داری نداشت و اختلاف بین ارگ و شبرنگ غیر معنی‌دار شد. برخلاف انتظار مجموع طول ریشه‌های اصلی و فرعی در رقم متحمل ارگ نسبت به دیگر ارقام گندم نان کاهش بیشتری (۶۴ درصد) از خود نشان داد و رقم افق با کاهش ۳۳ درصدی از این نظر توانایی بیشتری در حفظ مجموع طول ریشه‌های اصلی و فرعی داشت. ارقام بهرنگ و شبرنگ تحت تأثیر شوری کاهش قابل‌ملاحظه‌ای درمجموع طول ریشه‌ها (به ترتیب ۶۳ و ۶۸ درصد) از خود نشان دادند.

جدول ۲. تجزیه واریانس مقادیر صفات اندازه‌گیری شده در ارقام مختلف گندم تحت سطوح متفاوت شوری

Table 2. Mean square analysis of variance of data for measured traits in wheat cultivars under different salinity levels

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	طول ریشه‌های اصلی Seminal root length	مجموع طول ریشه Total root length
Salinity (S)	شوری	1	0.20**	0.05**	19416**	2624810**
Cultivar (C)	رقم	5	0.16**	0.002**	6483**	228253**
S × C	شوری×رقم	5	0.01ns	0.0006ns	939**	95808**
Error	خطا	36	0.008	0.0003	255	22235
CV%	ضریب تغییرات		*17*	*19.8*	*16.9*	*16.5*

Table 2. Continued **جدول ۲. ادامه**

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	سدیم ریشه Root Na^+	پتاسیم ریشه Root K^+	دمای برگ Leaf temperature	تعداد پنجه Number of tillers
Salinity (S)	شوری	1	320386**	313547**	559**	4.49**
Cultivar (C)	رقم	5	1718ns	4075**	10**	1.90**
S × C	شوری×رقم	5	4627**	1030ns	31**	0.62**
Error	خطا	36	885	665	0.87	0.03
CV%	ضریب‌تغییرات		*11.9*	*13.5*	*3.7*	*23.7*

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns: Non-significant, ** and *: significant at 1 and 5% probability level respectively

جدول ۳. مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده در ارقام مختلف گندم تحت سطوح متفاوت شوری

Table 3. Mean comparison of wheat cultivars under different salinity levels

Treatment	تیمار	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	پتاسیم ریشه Root K^+
		----------g----------		$\mu mol.g^{-1}$ DW
Salinity(mM)	**شوری**			
0	**0**	0.61a	0.12a	271a
150	**150**	0.48b	0.05b	110b
Cultivar	**رقم**			
Arg	**ارگ**	0.40d	0.11a	204a
Ofoq	**افق**	0.55bc	0.09a	210a
Tajan	**تجن**	0.41d	0.10a	213a
Morvarid	**مروارید**	0.49cd	0.09a	187ab
Behrang	**بهرنگ**	0.77a	0.07b	171bc
Shabrang	**شبرنگ**	0.63b	0.07b	158c

میانگین‌های دارای حروف مشترک برای هر ستون و هر عامل بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

Means followed by the same letters for each column and each factor are not significantly different by the LSD test at 5% probability level

جدول ۴. مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده در ارقام مختلف گندم سه هفته پس از اعمال شوری

Table 4. Means comparison for characteristic of wheat cultivars 3 weeks after exposure to salinity

رقم Cultivar	شوری Salinity	وزن خشک اندام هوایی Shoot Dry Weight	وزن خشک ریشه Root Dry Weight	طول ریشه‌های بذری Seminal Root Length	مجموع طول ریشه Total Root Length	سدیم ریشه Root Na^+	پتاسیم ریشه Root K^+
	mM	----------g----------		----------cm----------		----µmol.g^{-1} DW-----	
Arg	0	0.43^{e}	0.16^{a}	126^{b}	1601^{a}	186de	291^{a}
ارگ	150	0.38^{e}	0.06^{de}	120^{b}	580de	326^{abc}	118^{cd}
Ofoq	0	0.61^{cd}	0.12^{bc}	111^{bc}	1156^{b}	146^{ef}	290^{a}
افق	150	0.49^{de}	0.07^{d}	57^{fg}	782^{cd}	368^{a}	129^{c}
Tajan	0	0.42^{e}	0.13^{b}	105^{bcd}	1278^{b}	130^{f}	295^{a}
تجن	150	0.41^{e}	0.07^{d}	39^{g}	663^{d}	321^{bc}	132^{c}
Morvarid	0	0.59^{cd}	0.13^{b}	88de	1354^{b}	157^{ef}	276^{a}
مروارید	150	0.39^{e}	0.05^{de}	50^{fg}	610^{d}	311^{c}	99^{cd}
Behrang	0	0.85^{a}	0.10^{c}	92^{cd}	916^{c}	210^{d}	260^{a}
بهرنگ	150	0.70^{bc}	0.03^{e}	67^{ef}	343^{f}	295^{c}	82^{d}
Shabrang	0	0.77^{ab}	0.11^{bc}	162^{a}	1161^{b}	168^{def}	217^{b}
شبرنگ	150	0.50^{de}	0.04^{e}	111^{bc}	380^{ef}	356^{ab}	99^{cd}

Table 4. Continued

جدول ۴- ادامه

رقم Cultivar	شوری Salinity	نسبت پتاسیم به سدیم ریشه Root K^+/Na^+	دمای برگ Leaf Temperature	سدیم اندام هوایی Shoot Na^+	پتاسیم اندام هوایی Shoot K^+	نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی Shoot K^+/Na^+	تعداد پنجه‌ها Number of Tillers
	mM		° C	------µmol.g^{-1} DW------			
Arg	0	1.6^{cd}	18.8^{g}	101^{d}	548^{a}	5.5^{a}	1.66^{a}
ارگ	150	0.36^{e}	29^{b}	588^{ab}	323^{g}	0.55^{c}	0.75^{c}
Ofoq	0	2^{ab}	23.5^{e}	81^{d}	463^{c}	5.7^{a}	0.41^{d}
افق	150	0.35^{e}	28.7^{bc}	505^{b}	322^{g}	0.65^{c}	….
Tajan	0	2.3^{a}	25.3^{d}	89^{d}	473^{bc}	5.5^{a}	1.33^{b}
تجن	150	0.41^{e}	27.8^{bc}	357^{c}	339^{fg}	0.95^{c}	1.50^{ab}
Morvarid	0	1.7^{bc}	24.1^{de}	88^{d}	449^{c}	5.5^{a}	1.0^{c}
مروارید	150	0.31^{e}	27.8^{bc}	570^{ab}	389^{d}	0.72^{c}	0.16^{ef}
Behrang	0	1.24^{d}	20.9^{f}	121^{d}	492^{b}	4.1^{b}	0.41^{de}
بهرنگ	150	0.27^{e}	27.5^{c}	631^{a}	357^{ef}	0.59^{c}	0.16^{ef}
Shabrang	0	1.36^{d}	17.7^{g}	129^{d}	456^{c}	3.5^{b}	1.5^{ab}
شبرنگ	150	0.27^{e}	30.6^{a}	630^{a}	373de	0.59^{c}	0.08^{f}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار نیستند

Means followed by the same letters for each trait in each column are not significantly different by the LSD test at 5% probability level

نتایج نشان داد که تحت تأثیر شوری مقادیر اندازه‌گیری شده برای مجموع طول ریشه‌ها در ارقام گندم نان بیشتر از ارقام بهرنگ و شبرنگ بود و تفاوت بین ارقام گندم نان ازاین‌جهت در شرایط شوری غیر معنی‌دار بود (جدول ۴). شوری موجب افزایش سدیم ریشه همه ارقام شد و مقدار سدیم ریشه در شرایط بدون شوری در رقم بهرنگ بیشتر از بقیه ارقام بود و تحت شرایط شوری مقدار آن ۴۰ درصد افزایش یافت. بیشترین افزایش سدیم ریشه در اثر شوری در رقم افق ملاحظه گردید و مقدار آن بیشتر از بقیه ارقام بود اما در این شرایط تفاوت آن با رقم ارگ و شبرنگ غیر معنی‌دار شد. کمترین مقدار سدیم ریشه تحت شرایط شوری مربوط به رقم بهرنگ بود. رقم متحمل افق نسبت به تجن و مروارید

سدیم بیشتری را در ریشه خود تجمع داد (جدول ۴). افزایش سدیم ریشه با کاهش پتاسیم آن همراه بود (جدول ۳) و مقدار پتاسیم ریشه همه ارقام تحت شرایط شوری کاهش یافت. بیشترین درصد کاهش غلظت پتاسیم در شرایط شوری در رقم بهرنگ و به مقدار ۶۹ درصد ملاحظه گردید و کمترین مقدار غلظت آن مربوط به همین رقم بود. ارقام گندم نان تحت شرایط شوری پتاسیم بیشتری در ریشه نسبت به ارقام دوروم حفظ نمودند اگرچه رقم شبرنگ از این نظر با بقیه ارقام تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴). نسبت پتاسیم به سدیم ریشه و اندام هوایی در همه ارقام تحت شرایط شوری کاهش یافت و ارقام مختلف از این نظر اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ۴-ادامه). مقدار سدیم اندام هوایی نیز در همه ارقام تحت شوری افزایش معنی‌داری داشت و مقدار آن در ارقام دوروم بیشتر از بقیه ارقام بود هرچند که بین ارقام دوروم با ارگ و تجن اختلاف غیر معنی‌دار شد. تنش شوری مقدار پتاسیم اندام هوایی را در همه ارقام کاهش داد و این کاهش در رقم مروارید کمتر از بقیه ارقام بود، اما بااین‌حال اختلاف بین نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی در ارقام مختلف غیر معنی‌دار گردید (جدول ۴ ادامه). شوری موجب افزایش دمای برگ همه ارقام شد به‌طوری‌که این افزایش بین ۹ تا ۷۲ درصد ملاحظه گردید. بیشترین افزایش مربوط به رقم شبرنگ و کمترین آن مربوط به رقم تجن بود. رقم ارگ و شبرنگ تحت شرایط بدون شوری دارای کمترین دمای برگ بودند و شوری موجب بالاترین مقدار افزایش دمای برگ در این دو رقم به ترتیب به مقدار ۵۴ و ۷۲ درصد گردید. بیشترین افزایش دمای برگ در شرایط تنش نسبت به شاهد در رقم شبرنگ مشاهده شد و مقدار آن بالاترین مقدار در بین کلیه ارقام بوده و اختلاف آن با بقیه معنی‌دار شد (جدول ۴). مقدار افزایش دمای برگ در ارقام گندم نان تحت تنش شوری نسبت به شاهد متفاوت بود اما تفاوت معنی‌داری بین دمای برگ ارقام ملاحظه نگردید و اختلاف بین رقم بهرنگ با افق، تجن و مروارید از این نظر غیر معنی‌دار شد. شوری موجب کاهش تعداد پنجه‌ها در همه ارقام به‌جز رقم تجن شد. به‌طوری‌که شوری در رقم افق به‌طور کامل مانع از تشکیل پنجه‌ها گردید. بیشترین تعداد پنجه نیز در شرایط شوری در رقم تجن ملاحظه گردید (جدول ۴).

بحث

در واکنش به شوری وزن خشک اندام هوایی کاهش یافت؛ ضمن اینکه درصد این کاهش در ارقام مختلف متفاوت بود. تنوع ژنتیکی در واکنش‌های رشدی اندام هوایی تحت شرایط شوری در مراحل اولیه رشد گندم وجود دارد (Rahnama et al., 2010). کاهش ۳ تا ۳۶ درصدی وزن خشک اندام هوایی در ارقام مختلف تنوع در واکنش‌های اندام هوایی ارقام نسبت به شوری را در این آزمایش نشان می‌دهد. در این آزمایش شوری موجب افزایش دمای برگ همه ارقام گردید. وجود همبستگی منفی و معنی‌دار (r=-۰/۴۷**) بین وزن خشک اندام هوایی و دمای برگ به دلیل اثرات آن بر فتوسنتز و رشد گیاه است و به نظر می‌رسد یکی از عوامل مهم کاهش زیاد وزن خشک اندام هوایی در رقم شبرنگ نسبت به ارقام دیگر می‌تواند افزایش قابل‌توجه دمای برگ این رقم تحت تنش شوری باشد. مطالعات نشان داده است که در برخی ارقام گندم‌های دوروم تحمل اسمزی با ارقام گندم نان مشابه بوده و تفاوت در تحمل به شوری در ارقام گندم نان و دوروم با توانایی آن‌ها در تجمع سدیم بافت‌های هوایی مرتبط است (Munns and Tester, 2008). مقایسه کاهش وزن خشک اندام هوایی و ریشه در ارقام مختلف در این آزمایش نشان داد که در مراحل اولیه رشد تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای ازلحاظ تحمل به تنش شوری در ارقام گندم نان و دوروم وجود ندارد. برخی محققین عقیده دارند که تحمل به تنش شوری در ارقام گندم دارای تنوع ژنتیکی پایینی است (James et al., 2008). ازآنجاکه بررسی‌ها در یک مرحله مشخص رشدی صورت می‌گیرد ممکن است که در آن مرحله همه صفات در ارقام متحمل نسبت به ارقام حساس دارای برتری نباشد. در آزمایش‌ها دیده‌شده که در مراحل مشخصی از آزمایش برخی صفات ازجمله وزن خشک در ارقام حساس دارای برتری بوده است. درنتیجه تولید ماده خشک ارقام چون متأثر از عوامل مختلف و اثرات متقابل آن‌ها است در طول آزمایش می‌تواند متفاوت باشد اما در پایان مراحل رشد عمدتاً این صفات در ارقام متحمل دارای برتری می‌باشند. رشد ریشه ارقام مختلف نسبت به اندام هوایی به مقدار بیشتری تحت تأثیر شوری قرار گرفت و کاهش قابل‌ملاحظه‌ای از خود نشان داد. اثرات شوری در این آزمایش علاوه بر کاهش رشد اندام هوایی رشد ریشه را به مقدار زیادی کاهش داد. تنوع ژنتیکی در رشد ریشه غلات تحت شرایط شوری در تحقیقات گزارش شده است (Shelden et al., 2013) و شوری ۱۵۰ میلی مولار بر متر غلظت مناسبی جهت بروز تنوع ژنتیکی در خصوصیات رشد

ریشه گندم تشخیص داده شده است (Rahnama et al., 2011). کاهش وزن خشک ریشه در گندم و جو تحت شرایط شوری گزارش شده است (Grewal, 2010) و در تحقیقات متعدد وزن خشک ریشه به‌عنوان ملاک انتخاب جهت تحمل به شوری در ارقام گندم مورداستفاده قرار گرفته است (Aroca et al., 2012). در این آزمایش وزن خشک ریشه تحت تنش شوری کاهش بیشتری نسبت به وزن خشک اندام هوایی داشت. درصد بالای کاهش وزن خشک ریشه نسبت به اندام هوایی در این آزمایش نشان می‌دهد که فراهمی اسیمیلات در اندام هوایی عامل کاهش رشد ریشه‌ها نبوده است. به نظر می‌رسد که عامل کاهش رشد ریشه اثرات مستقیم شوری بر انبساط یاخته‌های نوک ریشه و جلوگیری از آغازش ریشه‌های جانبی است که توسط محققین (Shelden et al., 2013) مورد تائید قرار گرفته است. عدم همبستگی بین وزن خشک ریشه و اندام هوایی (جدول ۵) در این آزمایش تأییدی بر این موضوع است. ارقام ارگ، مروارید و شبرنگ ازنظر وزن خشک ریشه پاسخ مشابهی به شوری نشان دادند که به نظر می‌رسد تحمل به نسبت همسانی در مراحل اولیه رشد نسبت به اثرات تنش شوری از این نظر داشته باشند. با توجه به نتایج به نظر می‌رسد رقم افق و تجن نسبت به دیگر ارقام ازنظر تولید وزن خشک تحمل بالایی نسبت به تنش شوری داشته باشند. تحت شرایط شوری همه ارقام به‌جز رقم ارگ کاهش معنی‌داری ازنظر طول ریشه‌های اصلی داشتند. در ارقام مختلف بین ۵ تا ۶۳ درصد کاهش در طول ریشه‌های اصلی مشاهده شد. تنوع ژنتیکی در طول ریشه‌های اصلی گندم تحت تنش شوری ملاحظه گردیده است (Rahnama et al., 2011). ارقام ارگ، بهرنگ و شبرنگ توانایی بیشتری در حفظ طویل شدن ریشه‌های اصلی تحت شرایط شوری از خود نشان دادند. رقم حساس تجن بیشترین پاسخ را از این نظر به تنش شوری نشان داد و با توجه به عدم واکنش رقم متحمل ارگ می‌توان حفظ طول ریشه‌های اصلی را در شرایط شوری پاسخی در جهت غلبه بر تغییر شرایط شوری عنوان نمود. تحت تنش شوری در گندم (Rahnama et al., 2011) و جو (Shelden et al., 2013) کاهش کمتر طول ریشه‌های اصلی در ارقام متحمل گزارش گردیده است. تنش شوری موجب کاهش گسترش سلول‌های نوک ریشه می‌گردد که این عمل طول ریشه‌های اصلی و انشعابات فرعی را کاهش می‌دهد (Munns and Tester., 2008). کاربرد KCl و مانیتول (زمانی که اثرات اسمزی مشابهی داشته‌اند) و کلرید سدیم موجب کاهش یکسانی در طول ریشه‌ها شده است (Munoz et al., 2012). از دلایل کاهش طول ریشه‌های اصلی کاهش تعداد و رشد طولی آن‌ها است (Manschadi et al., 2006) و نتایج نشان می‌دهد که کاهش تعداد پنجه‌ها تحت تیمار شوری موجب کاهش تعداد ریشه‌های اصلی گردیده و درنتیجه آن ریشه‌های فرعی نیز کاهش می‌یابد (Munns et al., 2006) که این موضوع در نتایج این آزمایش ملاحظه می‌گردد. وزن خشک ریشه ارقام ارگ، شبرنگ و بهرنگ در این آزمایش تحت تنش شوری به مقدار قابل‌ملاحظه‌ای (به ترتیب ۶۳، ۶۴ و ۷۰ درصد) کاهش یافت درصورتی‌که طول ریشه‌های اصلی این ارقام دارای کاهش کمتری (به ترتیب ۵ و ۲۸ و ۳۲ درصد) نسبت به وزن خشک ریشه بود. به نظر می‌رسد این ارقام بیشتر از بقیه تحت تنش شوری قادر به حفظ طول ریشه‌های اصلی بوده‌اند و نتایج نشان داده است که در این شرایط به‌احتمال‌زیاد قطر ریشه‌ها کاهش می‌یابد تا به تداوم طویل شدن ریشه‌ها کمک نماید (Lemcoff et al., 2006).

ارقام دارای ریشه اصلی طویل‌تر و شمار ریشه‌های جانبی بیشتر تحمل بالاتری نسبت به تنش شوری دارند (Rahnama et al., 2011). حفظ بیشتر طول ریشه‌های اصلی در ارقام ارگ، بهرنگ و شبرنگ نسبت به ارقام دیگر تحت شرایط شوری موجب تحمل بیشتر آن‌ها نسبت به ارقام دیگر در مراحل اولیه رشد می‌گردد و این فرایند گیاه را قادر می‌سازد تا به‌طور فیزیولوژیکی خود را با تنش شوری در مراحل اولیه رشد سازگار نماید. از این نظر با توجه به کاهش بیشتر طول ریشه‌های اصلی در دیگر ارقام بخصوص در رقم تجن به نظر می‌رسد طول ریشه‌های اصلی در شرایط تنش شوری می‌تواند تحمل خود را افزایش دهد که این موضوع در مطالعات دیگر (Palta et al., 2011) مورد تائید قرار گرفته است. به‌هرحال مشخص‌شده که گیاهان دارای ریشه اصلی طویل‌تر و شمار ریشه‌های جانبی بیشتر تحمل به شوری بالاتری دارند (Shelden et al., 2013). در این آزمایش تنش شوری تأثیر قابل‌توجهی بر مجموع طول ریشه‌های اصلی و فرعی ارقام ارگ، بهرنگ و شبرنگ داشت و رقم افق توانست در این شرایط به مقدار بیشتری نسبت به بقیه ارقام انشعابات فرعی را حفظ نماید. حفظ انشعابات فرعی ریشه‌ها و گاهی القای انشعاب زنی تحت شرایط شوری می‌تواند تحمل به تنش کم‌آبی ناشی از شوری را افزایش دهد (Rahnama et al., 2011).

جدول ۵. ضرایب همبستگی صفات موردبررسی ارقام گندم در شرایط شوری

Table 5. Correlation for characteristic traits of wheat cultivars under salt stress

	صفات Traits	1	2	3	4	5	6	7
1	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	1						
2	وزن خشک ریشه Root dry weight	0.04^{ns}	1					
3	مجموع طول ریشه Total root length	0.05^{ns}	0.90**	1				
4	طول ریشه‌های اصلی Seminal root length	0.24^{ns}	0.39**	0.41**	1			
5	دمای برگ Leaf temperature	-0.47**	-0.69**	-0.73**	-0.54**	1		
6	سدیم ریشه Root Na^+	-0.31*	-0.73**	-0.77**	-0.46**	0.72**	1	
7	پتاسیم ریشه Root K^+	0.20^{ns}	0.85**	0.84**	0.42**	-0.68**	-0.8**	1

^{ns}، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns: Non-significant, ** and *: significant at 1 and 5% probability level respectively

به نظر می‌رسد در این آزمایش کاهش قابل‌توجه وزن خشک ریشه در ارقام ارگ، بهرنگ و شبرنگ به دلیل کاهش بیشتر طول ریشه‌های اصلی و فرعی در مقایسه با ارقام دیگر باشد و وزن خشک ریشه در رقم افق که توانایی بیشتری در حفظ انشعابات فرعی دارد کمترین کاهش را در بین ارقام از خود نشان داده است. به همین دلیل در تحقیقات متعدد وزن خشک ریشه ارقام گندم ملاک انتخاب جهت افزایش تحمل به شوری معرفی گردیده است (Aroca et al., 2012). هرچند رقم ارگ درمجموع طول ریشه‌های اصلی و فرعی کاهش قابل‌ملاحظه‌ای مشابه با ارقام گندم دوروم از خود نشان داد اما مقادیر اندازه‌گیری شده برای چهار رقم گندم نان بیشتر از ارقام دوروم بود. ارقام مروارید و تجن هرچند در حفظ انشعابات فرعی نسبت به ارقام بهرنگ و شبرنگ در موقعیت مطلوب‌تری قرار داشتند اما به دلیل کاهش بیشتر طول ریشه‌های اصلی در اثر تنش شوری درمجموع ازنظر حفظ طول ریشه‌های اصلی و نیز مجموع طول ریشه‌های اصلی و فرعی دارای برتری قابل‌توجهی نسبت به این دو رقم نبودند. کاهش پتانسیل آب ناشی از شوری موجب کاهش طول ریشه‌ها و آغازش ریشه‌های جانبی می‌گردد و به نظر می‌رسد دلیل اصلی آن کنترل پیام‌های هورمونی باشد (Marcinska et al., 2013). به‌هرحال تفاوت‌های قابل‌توجهی ازنظر طول ریشه در ژنوتیپ‌های مختلف گندم در مراحل اولیه رشد تحت تنش شوری ملاحظه شده است (Rahnama et al., 2011) و نتایج این آزمایش نشان داد که در ارقام حساس تجن، مروارید و رقم متحمل افق کاهش رشد ریشه‌های اصلی نسبت به ارقام دیگر مشهودتر بود درحالی‌که مجموع طول ریشه‌های اصلی و فرعی در رقم ارگ، بهرنگ و شبرنگ در مقایسه با سه رقم دیگر کاهش قابل‌توجهی از خود نشان داد و این نشان می‌دهد که رشد ریشه‌های اصلی و فرعی در مقایسه با ریشه‌های اصلی تحت شرایط شوری در ارقام مختلف متفاوت است؛ یعنی در برخی ارقام رشد ریشه‌های اصلی و در برخی دیگر رشد مجموع ریشه‌های اصلی و فرعی بیشتر تحت تأثیر شوری قرار می‌گیرد. در ارقام افق، تجن و مروارید که طول ریشه‌های اصلی تحت شرایط شوری کاهش بیشتری داشته است، رشد انشعابات فرعی بیشتر از ارقام دیگر تداوم داشته که برابر با نتایج محققین این فرایند یک سازگاری محسوب شده و بر اساس آن زمانی که رشد طولی ریشه‌های اصلی کاهش می‌یابد گیاه با حفظ انشعابات فرعی و درنهایت مجموع طول ریشه‌ها توان خود در جذب رطوبت را افزایش می‌دهد (Rahnama et al., 2011). مقایسه مقدار سدیم اندام هوایی در ارقام مختلف نشان داد که در ارقام گندم نان تجمع سدیم در رقم تجن نسبت به سه رقم دیگر پایین‌تر بوده و این سه رقم از این نظر تحت شرایط شوری اختلاف معنی‌داری نداشتند. تجمع کمتر سدیم در رقم تجن نسبت به رقم

متحمل ارگ در تحقیقات دیگری نیز نشان داده شده است. غلظت سدیم اندام هوایی در ارقام دوروم بیشتر از ارقام گندم نان بود، هرچند که اختلاف آن‌ها با رقم ارگ و مروارید در این مرحله از رشد غیر معنی‌دار شد. از دلایل مهم تحمل شوری بالاتر ارقام گندم نان نسبت به دوروم تجمع بالاتر سدیم در اندام هوایی گندم دوروم است (Munns and Tester, 2008). مشخص شده است که همیشه غلظت پایین سدیم در ارقام گندم نان نمی‌تواند موجب تحمل به شوری گردد (Atlassi Pak and Bahmani, 2017) و تحمل به شوری علاوه بر تجمع پایین سدیم در بافت‌ها نیاز به دیگر واکنش-های فیزیولوژیک که مرتبط با تحمل بافت‌هاست دارد (Munns et al., 2006). گاهی غلظت سدیم اندام هوایی در ارقام متحمل و حساس گندم نان برابر و گاهی در ارقام متحمل بیشتر است (Cuin et al., 2009). شوری موجب کاهش غلظت پتاسیم اندام هوایی همه ارقام گردید اما کمترین کاهش مربوط به رقم مروارید و شبرنگ بود. غلظت بالاتر سدیم محیط اطراف ریشه جذب پتاسیم را محدود نموده و جذب سدیم با پتاسیم رقابت کرده و کاهش جذب آن را در ریشه به دنبال دارد (Shabala and Cuin, 2007). ازآنجاکه در ارقام گندم نان رقم تجن دارای غلظت پایینی از سدیم در اندام هوایی نسبت به ارقام دیگر بود و همچنین نسبت به ارقام ارگ و افق پتاسیم بیشتری را در اندام هوایی حفظ نمود بنابراین توانست تحت شرایط شوری نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی را به‌طور مطلوب‌تری حفظ نماید، هرچند درنهایت اختلاف آن از این نظر با دیگر ارقام غیر معنی‌دار شد. مقدار پتاسیم در ارقام مروارید و شبرنگ کاهش کمتری نسبت به ارقام دیگر در اندام هوایی تحت شرایط شوری داشت ولی به علت تجمع بالای سدیم در اندام هوایی نسبت پتاسیم به سدیم آن تفاوت معنی‌داری با دیگر ارقام نداشت. نتایج این آزمایش نشان می‌دهد که برخلاف نتایج تحقیقات گذشته (Poustini and Siosemardeh., 2004) از نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی و ریشه نمی‌توان به‌عنوان معیاری به‌منظور تحمل به شوری در همه ارقام بهره‌گیری نمود (Atlassi Pak and Bahmani, 2019) و بررسی این نسبت در اندام هوایی می‌تواند گمراه‌کننده باشد (Chen et al., 2007). غلظت بالای سدیم ریشه در ارقام افق و شبرنگ و مقادیر به نسبت همسان این عنصر سمی در بقیه ارقام و همچنین مقادیر بالای سدیم اندام هوایی در ارقام دوروم و مقایسه مقدار کاهش وزن خشک اندام هوایی در ارقام دوروم و گندم نان نشان می‌دهد که زمان کافی جهت بروز اثرات ویژه یونی بر خصوصیات ریشه در این آزمایش وجود نداشته است. مقایسه غلظت پتاسیم ارقام مختلف تحت شرایط شوری بخصوص مقایسه این صفت در رقم تجن و بهرنگ در شرایط تنش، نشان می‌دهد باوجوداینکه حفظ سطوح بالای پتاسیم ریشه در شرایط شوری موجب بهبود تحمل در ارقام گندم می‌گردد (Cuin et al., 2010)، اما در رقم تجن برتری قابل‌ملاحظه‌ای ازنظر خصوصیات ریشه نسبت به دیگر ارقام ایجاد ننموده است. استفاده از دمای برگ در تعیین تحمل یا حساسیت به شوری در گیاهان موردمطالعه قرار گرفته است (James and Sirault, 2012). تفاوت در دمای برگ ارقام مختلف مرتبط با هدایت روزنه‌ای برگ‌هاست (Bayoumi et al., 2014) و سطوح بالای شوری در گندم می‌تواند موجب بروز تنوع ژنتیکی آن گردد (Esmaeili et al., 2017). افزایش دمای برگ همه ارقام تحت تنش شوری در این آزمایش مشهود بود و این افزایش باعث کاهش رشد اندام هوایی گردید. وزن خشک اندام هوایی تحت تأثیر افزایش دما در ارقام مروارید، بهرنگ و شبرنگ کاهش معنی‌داری داشت و بیشترین افزایش دما در رقم شبرنگ (۷۲ درصد) مشاهده گردید که با کاهش قابل‌توجه وزن خشک اندام هوایی همراه بود. محققین معتقدند افزایش دمای برگ که عمدتاً نتیجه کاهش هدایت روزنه‌ای برگ‌هاست سبب کاهش فتوسنتز و وزن خشک اندام هوایی می‌گردد (James and Sirault, 2012). برخی نتایج وجود تنوع ژنتیکی در رشد اندام هوایی ارقام مختلف گندم تحت تنش شوری را تائید می‌نماید (James et al., 2008). در این آزمایش کمترین افزایش دمای برگ تحت شرایط شوری مربوط به رقم تجن بود و کمترین مقدار کاهش وزن خشک اندام هوایی در این رقم مشاهده شد. عدم کاهش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی همزمان با افزایش دمای برگ در ارقام ارگ و افق نشان می-دهد که به‌منظور تداوم رشد تحت تنش شوری در ارقام گندم علاوه بر تنظیم دمای برگ عوامل دیگری در حفظ وزن خشک درگیر خواهند بود. در برخی شرایط محیطی به‌منظور غلبه بر آسیب‌های تنش، تنظیم جذب آب به‌وسیله ریشه‌ها می‌تواند مهم‌تر از تنظیم دمای برگ‌ها باشد و بهبود ظرفیت جذب آب ریشه در مقایسه با کنترل دمای برگ نقش مهم‌تری در اجتناب از کاهش رشد ایفا می‌نماید (Aroca et al., 2012). همبستگی منفی و معنی‌دار (جدول ۴) بین دمای برگ و طول ریشه‌های اصلی و مجموع ریشه‌های اصلی و فرعی می‌تواند

نشان‌دهنده اثرات همسوی تنش شوری بر دمای برگ و طول ریشه‌ها در این آزمایش باشد، هرچند که ممکن است اندام هوایی و ریشه‌ها پاسخ مشابهی به آن نداشته باشند. نتایج نشان داده است که در گندم مقدار فتوسنتز قبل از مقدار کلروفیل تحت تأثیر قرار می‌گیرد (James et al., 2011). در گندم ممکن است کاهش رشد اندام هوایی متناسب با افزایش دمای برگ نباشد، زیرا با ادامه روند تنش شوری تغییرات آناتومیکی در نمو برگ اتفاق می‌افتد که درنتیجه اندازه سلول و تراکم روزنه‌ها و در واحد سطح برگ تحت تأثیر قرار گرفته و این امر می‌تواند به تداوم رشد کمک نماید (James et al., 2008).

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این تحقیق نشان داد که حفظ طول ریشه‌های اصلی و فرعی در ارقام گندم می‌تواند موجب بهبود تحمل به شوری گشته و گسترش سیستم ریشه‌ای ارقام متحمل می‌تواند به‌طور فیزیولوژیکی موجب بهبود سازگاری در این شرایط گردد. هرچند رشد طولی ریشه‌های اصلی ارقام گندم دوروم نسبت به گندم نان می‌تواند پاسخ‌های مشابه و یا حتی مطلوب‌تری به شرایط شوری داشته باشد، اما ارقام گندم نان با داشتن شمار ریشه‌های جانبی بیشتر می‌توانند با تغییر شرایط رطوبتی محیط ریشه مقابله نمایند. در برخی ارقام گندم ریشه‌ها می‌تواند با تنظیم مطلوب‌تر جذب آب نسبت به عوامل روزنه‌ای در اجتناب از کاهش رشد نقش مهم‌تری ایفا نمایند؛ بنابراین تفاوت در خصوصیات ریشه تحت این شرایط می‌تواند تفاوت ارقام در تحمل تنش را آشکار سازد. با توجه به نقش سیستم ریشه‌ای در اجتناب از کاهش رشد ارقام گندم می‌توان از آن به‌عنوان ملاک تحمل به شوری در غربال‌گری ارقام بهره‌گیری نمود.

منابع

Aroca, R., Porcel, R., Ruiz-Lozano, J.M., 2012. Regulation of root water uptake under abiotic stress conditions. Journal of Experimental Botany. 63, 43-57 .

Atlassi Pak, v., Bahmani. O., 2017. Evaluation of ion distribution in different tissues of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars differing in salt tolerance. Journal of Crop Production and Processing. 7, 1-16. [In Persian with English Summary].

Atlassi Pak, V., 2018. Evaluation of sodium accumulation in leaves of wheat (*Triricum aestivum* L.) cultivars differing in salt tolerance. Journal of Crop Production. 41, 43-56. [In Persian with English Summary].

Atlassi Pak, v., Bahmani, O., Asadbegi, M., 2018. Evaluation N^+ concentration and K^+/Na^+ ratio as a criterion for salinity tolerance in wheat and barley. Journal of Crop Production and Processing. 8, 133-143. [In Persian with English Summary].

Atlassi Pak, V., Bahmani, O., 2019. Comparisons of chlorophyll content in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars with contrasting of shoot sodium concentration under salinity stress. Environmental Stresses in Crop Sciences 12, 579-588. [In Persian with English Summary].

Chloupek, O., Forster, B.P., Thomas, W.T.B., 2006. The effect of semi-dwarf genes on root system size in field grown barley. Theoretical and Applied Genetics. 112, 779-786.

Cuin, T. A., Tian, Y., Betts, S.A., Chalmandrier, R., Shabala, S., 2009. Ionic relation and osmotic adjustment in durum and bread wheat under saline conditions. Functional Plant Biology. 36, 1110-1119.

Cuin, T. A., Parsons, D., Shabala, S., 2010. Wheat cultivars can be screened for NaCl salinity tolerance by measuring leaf chlorophyll content and shoot sap potassium. Functional Plant Biology. 37, 656-664.

Davenport, R., James, R.A., Plogander, A.Z., Tester, M., Munns, R., 2005. Control of sodium transport in durum wheat. Plant Physiology. 137, 807-818.

Esmaeili, A., Poustini, K., Ahmadi, H., Abbasi, A., 2017. Use of IR thermography in screening wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars for salt tolerance. Archive of Agronomy and Soil Science. 63, 161-170 .

Genc, Y., Mcdonald G., Tester, M., 2007. Reassessment of tissue Na^+ concentration as a criterion for salinity tolerance in bread wheat. Plant, Cell and Environment. 30, 1486–1498 .

Grewal, H. S., 2010. Water uptake, water use efficiency, plant growth and ionic balance of wheat, barley, canola and chickpea plants on a sodic vertosol with variable subsoil NaCl salinity. Agricultural Water Management. 97, 148-156 .

Holden, M., 1976. Chlorophylls. In TW goodwin, ed. Chemistry and Biochemistry of Plant Pigments, Academic Press, New York 2, 1-37.

James, R.A., Caemmerer, S.V., Condon, A.G., Zwart, A.B., Munns, R., 2008. Genetic variation in tolerance to the osmotic stress component of salinity stress in durum wheat. Functional Plant Biology. 35, 111-123 .

James, R.A., Blake, C., Byrtand, C., Munns, R., 2011. Major genes for Na+ exclusion, Nax1 and Nax2 (Wheat HKT1;4 and HKT1;5), decrease sodium accumulation in bread wheat leaves under saline and waterlogged conditions. Journal of Experimental Botany. 62, 2939-2947 .

James, R.A., Sirault, X.R., 2012. Infrared thermography in plant phenotyping for salinity tolerance. Plant salt tolerance: Methods and Protocols. Methods in Molecular Biology. 913, 173-189.

Lemcoff, J.H., Ling, F., Neumann, P.M., 2006. Short episodes of water stress increase barley root resistance to radial shrinkage in a dehydrating environment. Physiologia Plantarum.127, 603–611.

Manschadi, A.M., Christopher, J., deVoil, P., Hammer, G.L., 2006. The role of root architectural traits in adaptation of wheat to water-limited environments. Functional Plant Biology. 33, 823-837.

Manschadi, A.M., Hammer, G.L., Christopher, J.T., deVoil, P., 2008. Genotypic variation in seedling root architectural traits and implications for drought adaptation in wheat (*Triticum aestivum* L.). Plant and Soil. 303, 115–129 .

Marcinska, I., Czyczylo-Mysza, I., Skrzypek, E., Filek, M., Grzesika, S., Grzesika, M.T., Janowika, F., Hura, T., Dziurka, M., Dziurka, K., Nowakowska, A., Quarri, S.A., 2013. Impact of osmotic stress on physiological and biochemical characteristics in drought susceptible and drought resistant wheat genotypes. Acta Physiologiae Plantarum. 35, 451-461.

Matsuo, N., Ozawa, K., Mochizuki, T., 2009. Genotypic differences in root hydraulic conductance of rice (*Oryza sativa* L.) in response to water regimes. Plant and Soil. 316, 25-34.

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

Munns, R., Tester, M., 2008. Mechanism of Salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology. 59, 651-681.

Munns, R., Day, D., Frick, W., Watt, M., Arsova, B., Barkla, B., 2019a. Energy costs of salt tolerance in crop plants. New Phytologist. Published online. http://doi.org/10.1111/ nph.15864

Munns, R., Passioura, J., Colmer, T., Byrt, C., 2019b. Osmotic adjustment and energy limitations to plant growth in saline soil. New Phytologist. Published online. http://doi.org/ 10.1111/nph.15862

Munoz, N., Robert, G., Melchiorre, M., Racca, R., Lascano, R., 2012. Saline and osmotic stress differentially affects apoplastic and intracellular reactive oxygen species production, curling and death of root hair during *Glycine max* L. Brady *rhizobium japonicum* interaction. Environmental and Experimental Botany. 78, 76–83.

Newman, E.I., 1966. A method of estimating the total length of root in a sample. Journal of Applied Ecology. 3, 139-145.

Poustini, K. Siosemardeh, A., 2004. Ion distribution in wheat cultivars in response to salinity stress. Field Crops Research. 85, 125-133.

Rahnama, A., James, R., Poustini, K., Munns. R., 2010. Stomatal conductance as a screen for osmotic stress tolerance in durum wheat growing in salin soil. Functional Plant Biology. 37, 255-263.

Rahnama, A., Munns, R., Poustini, K., Watt, M., 2011. A Screening method to identify genetic variation in root growth response to a salinity gradient. Journal of Experimental Botany. 62, 69-77.

Richards, R. A., 2006. Physiological traits used in the breeding of new cultivars for water-scarce environments. Agricultural Water Management. 80, 197–211

Richards, R.A., 2008. Genetic opportunities to improve cereal root systems for dryland agriculture. Plant Production Science. 11, 12–16.

Shabala, S., Cuin, T.A., 2007. Potassium transport and plant salt tolerance. Physiologia Plantarum. 133, 651-669.

Shelden, M., Roesnner, U., Sharp, R.E., Tester, M., Bacic, A., 2013. Genetic variation in the root growth response of barley genotypes to salinity stress. Functional Plant Biology. 40, 516-530.

Sirault, X.R., James, R.A., Furbank, R.T., 2009. A new screening method for osmotic component of salinity tolerance in cereals using infrared themography. Functional Plant Biology. 36, 970-977 .

Urrestarazu, M., 2013. Infrared rhermography used to diagnose the effect of salinity in a soilless culture. Quantitative Infrared Thermography. 10, 1-8 .

Yamaguchi, M., Sharp, R. E., 2010. Complexity and coordination of root growth at low water potentials: recent advances from transcriptomic and proteomic analyses. Plant, cell and Environment. 33, 590-603.