Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 52, No 2, Summer 2021 (229-240)
DOI: 10.22059/IJFCS.2020.299064.654697

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۵۲، شمارهٔ ، زمستان ۱۴۰۰ (ص۲۴۰-۲۲۹)

ارزیابی انتقال مجدد کربوهیدرات‌های محلول و برخی خصوصیات فیزیولوژیک ارقام مختلف گندم نان (*Triticum aestivum* L.) تحت شرایط تنش شوری و بدون تنش

رضا رئیسی[۱]، فریبا ابوئی مهریزی[۲]، کاظم پوستینی*[۳]
۱و۲و۳- به‌ترتیب کارشناسی ارشد، دکتری و استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۱۶ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۲/۲۷)

چکیده

به‌منظور بررسی اثرات تنش شوری بر خصوصیات فیزیولوژیک ارقام گندم، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه پژوهشی گروه زراعت پردیس کشاورزی دانشگاه تهران در سال ۱۳۹۵ به اجرا در آمد. تیمارهای آزمایش شامل دو تیمار شوری شاهد (۱/۲ دسی‌زیمنس بر متر) و کلرید سدیم (۱۶ دسی‌زیمنس بر متر) و هفت ژنوتیپ گندم شامل ارقام روشن، اینیاء-۶۶، مهدوی، خزر-۱، کرج-۲، قدس و شعله بود. طبق نتایج آزمایش، تنش شوری، کاهش محتوای نسبی آب، عملکرد، اجزای عملکرد و نسبت پتاسیم به سدیم را در تمام ژنوتیپ‌ها به همراه داشت، درحالی‌که غلظت سدیم و انتقال مجدد کربوهیدرات‌های محلول در آب تحت شرایط تنش افزایش یافت. بالاترین میزان محتوای نسبی آب و انتقال مجدد کربوهیدرات‌ها و همچنین تعداد دانه در شرایط شوری، در ارقام متحمل روشن و اینیاء-۶۶ مشاهده شد. همچنین، رقم متحمل روشن، بالاترین غلظت پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم تمامی اندام‌های هوایی را به خود اختصاص داد، درحالی‌که رقم قدس و شعله، به‌عنوان ارقام حساس، بیشترین وزن دانه و همچنین بالاترین تجمع غلظت سدیم را در تمام اندام‌های هوایی خود داشتند. نتایج آزمایش نشان داد که توان رقم در انتقال مجدد کربوهیدرات-های محلول، یکی از صفات تعیین کننده تحمل به تنش شوری است و این صفت می‌تواند برای ارزیابی تحمل ارقام مختلف گندم به تنش شوری در پژوهش‌های آتی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: انتقال مجدد کربوهیدرات‌ها، محتوای نسبی آب (RWC)، عملکرد، وضعیت یونی، نمک..

Evaluation of soluble carbohydrates remobilization and some physiological traits of different bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under salt stress and non-stressed conditions

Reza Reisi[1], Fariba Abooie Mehrizi[2], Kazem Poustini*[3]
1,2,3. Agronomy and Plant Breeding Department, Agriculture and National Resources Faculty, University of Tehran.
(Received: - Accepted:)

ABSTRACT

To study the effect of salinity stress on some physiological traits in wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.), a factorial experiment based on randomized complete block design with three replicates was performed at 2017 in the research greenhouse of Agronomy Department, University of Tehran. Salinity treatments at two levels; control (1.2 dS/m) and sodium chloride treatment (16 dS/m) and seven wheat cultivars, Rowshan, Inia-66, Mahdavi, Khazar-1, Karaj-2, Ghods and Shole were the experimental treatments. According to the results, relative water content, yield and its components and potassium/sodium ratio decreased in all genotypes while Na^+ content and remobilization of carbohydrates were increased. Salt resistant varieties, Roshan and Inia-66, had the highest level of relative water content, remobilization of soluble carbohydrates and number of grains per spike. In addition, Roshan cultivar showed the highest potassium concentration and K^+/Na^+ in the shoots, while Ghods and Sholeh as sensitive cultivars had the highest sodium concentration in the shoots. Findings showed that the ability of a cultivar to remobilize soluble carbohydrates is one of the traits that determine salt stress tolerance, hence, this trait is suitable for evaluating salt tolerance of wheat cultivars in the future investigations.
Keywords: Carbohydrates remobilization, ion status, relative water content (RWC), salt, yield.

مقدمه

شوری از اصلی‌ترین تنش‌های غیرزنده در گیاهان زراعی محسوب می‌شود (Yue *et al.,* 2012) و اختلال

* Corresponding author E-mail: Kpostini@ut.ac.ir*

در فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز، تنفس، سنتز پروتئین، متابولیسم لیپید، متابولیسم انرژی (Asish Kumar & Bandhu Das, 2005)، تنش اسمزی، سمیّت یونی، کمبود مواد غذایی و تنش اکسیداتیو (Yue *et al.,* 2012) را به همراه دارد. در کل گندم دارای آستانه تحمل ۶/۱ دسی زیمنس بر متر در عصاره اشباع خاک است و گیاهی نیمه متحمل به شوری محسوب می‌شود (Kafi *et al.,* 2011). شناسایی ارقام مقاوم و مطالعه مکانیسم‌های افزایش‌دهنده تحمل تنش، از راهکارهای مناسب جهت مقابله با عوارض تنش شوری در گندم است. گیاهان تیره گندمیان، تحمل به شوری را با محدود کردن ورود سدیم به اندام‌های هوایی و از طریق تنظیم اسمزی به‌دست می‌آورند. در تنظیم اسمزی، گیاهان از اسمولیت‌های آلی سازگار مختلفی مانند گلایسین- بتائین، پلی‌آمین، پرولین، کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها (Ahmad *et al.,* 2012) استفاده می‌کنند. کربوهیدرات‌ها نه‌تنها به‌عنوان یک اسمولیت در تنظیم اسمزی نقش دارند (Sharbatkhari *et al.,* 2016)، بلکه به دنبال وقوع تنش‌های مختلف و کاهش فتوسنتز جاری برگ و سنبله، در قالب فرآیند انتقال مجدد نقش مهمی در حفظ سرعت پرشدن دانه ایفا می‌کنند. این ترکیبات می‌توانند در غلات سردسیری مانند جو، گندم و یولاف در طول دوره طویل شدن ساقه تا اوایل مرحله پرشدن دانه، در ساقه و غلاف برگ تجمع پیدا کنند و در مرحله پرشدن دانه مشارکت داشته باشند (Plaut *et al.,* 2004; Ehdaie *et al.,* 2008). با توجه به شرایط رشد و نوع رقم، انتقال مجدد کربوهیدرات‌ها در شرایط غیرتنش می‌تواند حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد در عملکرد سهم داشته باشد. این درحالی است که سهم این فرآیند در پرشدن دانه تحت شرایط تنش به ۵۰ درصد هم می‌رسد (Dreccer *et al.,* 2009). برای رسیدن به عملکرد مطلوب، نه‌تنها شناخت ویژگی‌های آب و خاک امری حیاتی محسوب می‌شود، بلکه اطلاع از رفتار گیاهان و واکنش آن‌ها به شوری و در نهایت اصلاح ارقام زراعی متحمل، از ملزومات دست‌یابی به این مهم است. بنابراین بررسی جنبه‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی مکانیسم‌های تحمل شوری در گیاهان، امری ضروری است که نه‌تنها می‌تواند در شناخت و همسانه‌سازی ژن‌های دخیل در این فرآیند و پیشبرد تکنیک‌های اصلاحی مفید باشد، بلکه در کاربرد روش‌های صحیح و مناسب غربالگری جهت گزینش گیاهان متحمل به شوری و در نهایت افزایش عملکرد در این شرایط نقش مؤثری دارد. در این میان، کربوهیدرات‌ها به‌عنوان یک اسمولیت، نقش مهمی در حفاظت اسمزی، تنظیم اسمزی و مهار رادیکال‌های آزاد دارند و همچنین به‌عنوان یک منبع کربن، نقش و جایگاه مهمی در مرحله پرشدن دانه دارند (Ahmad & Sharma, 2008; Koyro *et al.,* 2012).

هدف از این مطالعه، بررسی امکان استفاده از توان انتقال مجدد کربوهیدرات‌های محلول در آب به‌عنوان یک شاخص فیزیولوژیک، به منظور ارزیابی تحمل تنش شوری ارقام مختلف گندم بود. همچنین صفاتی نظیر عملکرد و اجزای آن، نسبت سدیم به پتاسیم در بافت‌های مختلف و محتوای نسبی آب برگ در ارقام مختلف گندم نیز در شرایط تنش شوری مورد ارزیابی قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها

شرایط اجرای طرح

این آزمایش در مهرماه ۱۳۹۵در گلخانه پژوهشی گروه زراعت پردیس کشاورزی و منابع طبیعی تهران واقع در کرج، با سه تکرار و بصورت آزمایش فاکتوریل هفت در دو و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. تیمارها شامل هفت رقم گندم (روشن، اینیاء-۶۶، قدس، مهدوی، خزر-۱، شعله و کرج-۲) و دو سطح شوری (شاهد و تیمار ۱۶ دسی زیمنس بر متر) بودند. انتخاب ارقام روشن و اینیاء-۶۶ به‌عنوان متحمل نسبی و قدس و مهدوی به‌عنوان حساس نسبی صورت گرفت (Poustini & Siosemardeh, 2004). همچنین ارقام خزر-۱ و شعله، بیشترین انتقال مجدد و کرج-۲، کمترین انتقال مجدد را در تنش خشکی طبق بررسی Joodi (2010) نشان داده بودند. ارقام در داخل

گلدان‌های پلاستیکی به قطر ۲۵ سانتی‌متر کاشته شدند. خاک مورد استفاده در این آزمایش (نسبت ۲:۱ کود دامی:خاک) دارای هدایت الکتریکی ۰/۴ دسی زیمنس بر متر بود و از مزرعه پژوهشی گروه زراعت و اصلاح نباتات تهران واقع در کرج تهیه شد. تا قبل از مرحله طویل شدن ساقه، تمامی گلدان‌ها با استفاده از آب معمولی که دارای هدایت الکتریکی ۱/۲ دسی-زیمنس بر متر بود، آبیاری شدند و پس از تنک کردن، نهایت چهار بوته در هر گلدان باقی ماند. از مرحله طویل شدن ساقه تا انتهای مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، تیمار شوری در قالب آب آبیاری اعمال شد (Poustini & Siosemardeh, 2004). تیمار شوری به‌صورت تدریجی و از سطح دو شروع شد و طی ۱۰ روز، به سطح ۱۶ دسی زیمنس بر متر رسانده شد. به‌منظور اطمینان از حفظ شوری در سطح موردنظر و اطمینان از عدم تجمع نمک، هدایت الکتریکی ورودی و خروجی گلدان‌ها مرتب کنترل شد. به این منظور، تعدادی گلدان مشابه گلدان‌های آزمایش کشت شدند و هدایت الکتریکی خاک مرتب در آن‌ها سنجیده شد و در صورت تجمع نمک، عمل آب‌شویی با استفاده از آب معمولی انجام گرفت. نمونه‌برداری‌ها در دو مرحله گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک انجام شد.

تعیین اجزای عملکرد و شاخص برداشت

به منظور اندازه‌گیری عملکرد، وزن دانه و تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله برای هر رقم در شرایط شاهد و شرایط تنش ثبت شد و عملکرد دانه در هر بوته و درصد کاهش عملکرد در شرایط تنش به‌دست آمد. برای اندازه‌گیری درصد کاهش عملکرد از رابطه ۱ استفاده شد:

رابطه ۱ $$R\% = ((DM_c-DM_s)/DM_c))\times 100$$

در این رابطه، R%: درصد کاهش عملکرد دانه در بوته)، DM_c :عملکرد دانه در بوته شاهد و DM_s: عملکرد دانه در بوته تحت تیمار شوری است. همچنین شاخص برداشت بر اساس نسبت عملکرد اقتصادی به عملکرد زیستی محاسبه شد.

اندازه‌گیری سدیم و پتاسیم و محتوای نسبی آب[1]

اندازه‌گیری سدیم و پتاسیم برای چهار برگ بالایی هر بوته و همچنین اندام‌های دیگری چون دانه با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر مدل Jenway 500801 PFP7 انجام شد (Poustini & Siosemardeh, 2004) و محتوای نسبی آب برای چهار برگ بالایی بوته‌ها اندازه‌گیری شد. نمونه‌های وزن شده به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر قرار گرفتند و سپس وزن آماس آن‌ها سنجیده شد. همچنین در انتهای کار، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و وزن خشک نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده، میزان RWC برگ بر اساس رابطه ۲ محاسبه شد Turkan *et al.*, (2005):

رابطه ۲

[redacted]

تعیین کربوهیدرات های محلول در آب

به منظور تعیین و مقایسه توان انتقال مجدد کربوهیدرات‌ها در ارقام تحت تنش شوری، ساقه اصلی در دو مرحله، ۱۴روز پس از گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک، برداشت شدند و کربوهیدرات محلول ساقه به روش Ehdaei *et al*. (2008) اندازه‌گیری شد. به‌طور خلاصه، این روش بر مبنای واکنش‌های رنگ-سنجی و با استفاده از واکنشگر رزورسینول انجام شد. با توجه به واکنش‌پذیری این ماده با قندهای محلول در آب و اینکه عمده کربوهیدرات تجمع‌یافته بخصوص در ساقه گندم از نوع فروکتان است، این اندازه‌گیری منجر به برآورد کربوهیدرات‌های محلول می‌شود. همچنین به کمک نمودار استانداردی که بر اساس غلظت‌های مشخصی از اینولین (به‌عنوان فروکتان خالص) بدست آمد، کمّی‌سازی نتایج صورت گرفت. تعیین انتقال مجدد نیز از تفاوت حاصل از کربوهیدرات اندازه‌گیری شده در مرحله ۱۴روز پس از گرده افشانی و کربوهیدرات اندازه‌گیری شده در زمان رسیدگی فیزیولوژیکی انجام شد.

[1]- Relative Water Content (RWC)

تجزیه آماری

آنالیز داده‌ها از روش تجزیه واریانس و با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.2 صورت گرفت. آزمون مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد، انجام شد و برای رسم نمودارها و جدول‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

اثر تنش شوری بر عملکرد کل و اجزای عملکرد

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر رقم و شوری بر تعداد دانه و عملکرد دانه در بوته، عملکرد زیستی و شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد و اثر رقم و شوری بر وزن خشک دانه در بوته در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار است (جدول ۱). تنش شوری به‌طور معنی‌داری سبب کاهش تعداد دانه در بوته شد و میزان این کاهش در شرایط شوری نسبت به شاهد، ۳۸/۶ درصد برآورد شد (جدول-۲). در این میان ارقام، اینیاء-۶۶ و روشن، بیشترین تعداد دانه در بوته و کمترین وزن دانه و رقم شعله، کمترین تعداد دانه در بوته و بیشترین وزن دانه را دارا بودند، اما اختلاف معنی‌داری بین ارقام از نظر میزان تغییرات وزن خشک هر دانه مشاهده نشد (جدول ۲). مقایسه میانگین وزن خشک هر دانه نشان داد که ارقام از نظر این صفت، پاسخ متفاوتی به تنش شوری نشان دادند (جدول ۲).

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در ارقام گندم نان تحت تنش شوری

Table 1. Analysis of variance for features studied in bread wheat cultivars under salinity stress

Mean of Square											
CR	Leaf K^+/Na^+	Leaf Na^+	Leaf K^+	Grain dry weight	HI	Biological yield	Yield grain per spike	Grain dry weight	RWC	DF	Source of variations
0.0016**	93.49**	102.65**	115/67**	0.00014*	916/32**	1/05**	0.081**	0.00014*	76.19**	6	Cultivar
0.0098**	342.17**	511.28**	774**	0.00034*	3156.57**	12.90**	1.34**	0.00034*	3642.07**	1	Salinity
0.0006*	58.54*	23.75*	32.98*	0.00001ns	134.55**	0.32*	0.048**	0.00001ns	24.8**	6	Cultivar*Salinity
0.0002	18.08	8.56	374	0.0014	623.56	2.63	0.02	0.0014	5.42	28	Error
29.44	94.12	27.64	15.49	20.02	12.13	19.92	26.59	20.02	3.02		CV%

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌داری در سطوح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌داری. CV: ضریب تغییرات، HI: شاخص برداشت، CR: انتقال مجدد کربوهیدرات‌ها، RWC: محتوای نسبی آب

Ns, * and **: non-significant and significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.CV: Coefficient of Variation. HI: Harvest Index, CR: Carbohydrate Remobilization, RWC: Relative Water Content.

تعداد دانه در هر سنبله از جمله اجزای عملکردی است که در اثر تنش شوری کاهش می‌یابد (Chamekh *et al.,* 2015; Sharbatkhari *et al.,* 2016). تعداد دانه، توسط قابلیت دسترسی به شیره پرورده قبل از گل‌دهی تعیین می‌شود (Hay & Walker, 1989). در ارقام متحمل به شوری، احتمالاً محدودیتی در تجمع مواد فتوسنتزی قبل از مرحله گل‌دهی وجود ندارد و این ارقام، تعداد زیادی دانه تولید می‌کنند. این در حالی است که در ارقام حساس به شوری ممکن است محدودیت تجمع مواد فتوسنتزی قبل از مرحله گل‌دهی، سبب کاهش تعداد دانه در این ارقام شود (Rahnama *et al.,* 2011; Poustini & Siosemardeh, 2004). بنابراین بر اساس گزارش‌ها و نتایج این آزمایش می‌توان بیان داشت که تعداد بیشتر دانه در سنبله، به‌عنوان یک شاخص برای انتخاب ارقام در شرایط تنش قابل استفاده است (Simmen *et al.,* 1993). وزن خشک دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش شوری کاهش یافت. میزان کاهش وزن دانه در مقایسه با تیمار شاهد ۱۵/۷ درصد به‌دست آمد (جدول ۲). در خصوص اثر شوری بر وزن دانه، تحقیقات قبلی نیز نتایج مشابهی را مبنی بر کاهش وزن دانه در اثر تنش شوری گزارش کرده‌اند (Rahnama *et al.,* 2011). به عبارتی، با افزایش تعداد دانه در بوته از وزن دانه کاسته می‌شود که این امر را تحت عنوان اثر جبرانی اجزاء عملکرد می‌شناسند (Moral *et al.,* 2003).

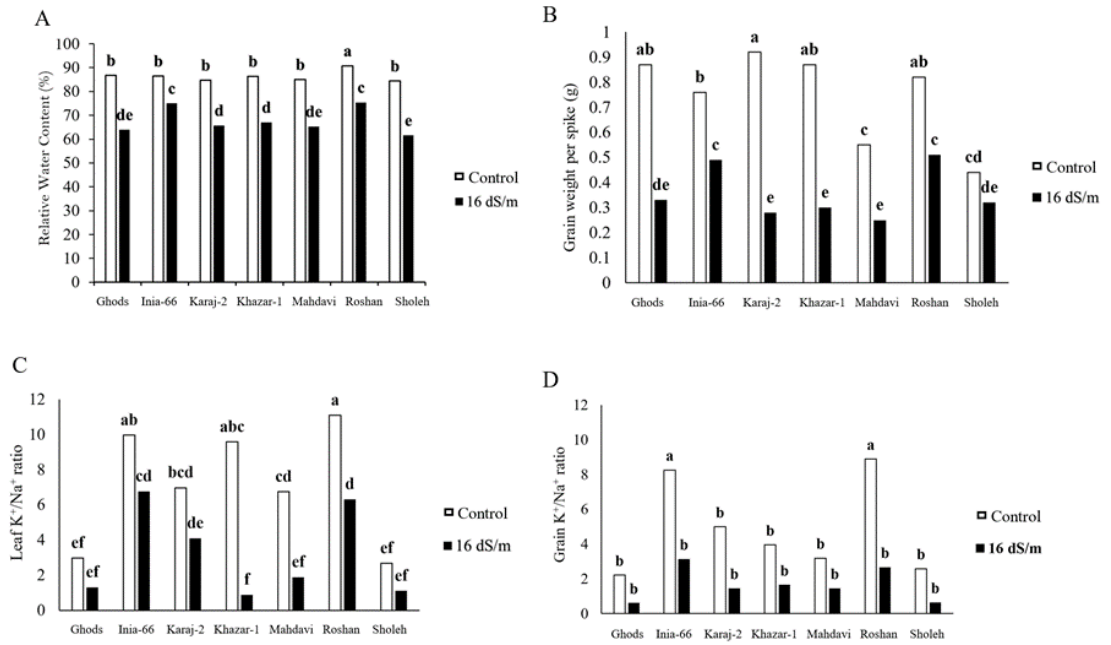
جدول ۲- درصد تغییرات برخی از صفات مورد بررسی در ارقام گندم نان تحت تنش شوری

Table 2. Percentage of the changes in traits studied in bread wheat cultuvars under salinity stress

Changes	HI (%)		Changes	Biological yield		Changes	Yield grain/spike (g)		Changes	Grain dry weight (g)		Changes	Number of grain /spike		**Cultivars**
%	16 ds/m	Control	%	16 ds/m	Control	%	16 ds/m	Control	%	16 ds/m	Control	%	16 ds/m	Control	
23.52c	27.73c	22.47b	-60.19ab	1.31a	3.33a	-36.34cd	0.51a	0.82ab	-22.52abc	0.028cd	0.037a	-17.84cd	17.96a	21.93ab	Roshan
49.09bc	31.18c	23.32b	-57.51ab	1.07ab	2.52b	-34.87cd	0.49a	0.76abc	-26.89ab	0.024d	0.034a	-10.51d	19.92a	22.27ab	Inia-66
124.06a	42.44bc	23.7b	-44.24c	1.01ab	1.86c	-71.37a	0.25b	0.61abc	-32.99a	0.029cd	0.03a	-57.27a	8.51b	19.86b	Mahdavi
31.27bc	35.59c	27.34b	-48.98bc	0.89bc	1.73c	-45.03bc	0.30b	0.55bc	-18.28abc	0.034abc	0.038a	-38.63b	8.9b	14.56c	Khazar-1
97.65a	42.72bc	25.13b	-40.03c	1.2ab	1.99bc	-69.15a	0.28b	0.92a	-19.84abc	0.032bcd	0.04a	-61.66a	8.81b	22.98a	Karaj-2
36.47bc	63.37a	46.57a	-48.45bc	0.83bc	1.61c	-61.71ab	0.33b	0.87ab	-11.88bc	0.039ab	0.044a	-56.45a	8.56b	19.73b	Ghods
63.8b	61.78ab	42.96a	-64.63a	0.56c	1.59c	-26.79d	0.32b	0.44c	-6.75c	0.04a	0.043a	-21.24c	8.02b	10.18d	Sholeh
57.39	47.55	30.21	-53.11	0.98	2.09	-50.7	0.35	0.71	-15.78	0.032	0.038	-38.63	11.53	18.79	Average

Changes	RWC (%)		Changes	Carbohydrate remobilization (mg/g dry weight)		Changes	Leaf K^+ content (mg/g dry weight)		Changes	Leaf Na^+ content (mg/g dry weight)		Changes	Leaf K^+/Na^+		**Cultivars**
%	16 ds/m	Control	%	16 ds/m	Control	%	16 ds/m	Control	%	16 ds/m	Control	%	16 ds/m	Control	
-16.85c	75.41a	90.7a	37.2a	0.088a	0.064a	-8.2d	28.38a	30.91a	567.3a	10.95c	1.93c	-84.94a	2.67a	20.16a	Roshan
-13.24c	75a	86.45ab	14.6a	0.077ab	0.068a	-6.96d	27.44a	29.45ab	306.3ac	8.96c	3.2bc	-68abc	3.12a	14.49ab	Inia-66
-23.19ab	65.29bc	85.01b	234.3ab	0.056bc	0.021b	-44.05ab	15.9bc	28.43ab	76.4bc	10.96c	8.42a	-54.98bc	1.46b	3.95c	Mahdavi
-22.34b	67.05b	86.37ab	331.6ab	0.066ab	0.02b	-30.43c	18.23b	26.18ab	37.6c	11.41c	8.25a	-48.32c	1.65b	3.19c	Khazar-1
-22.72b	65.72bc	84.71b	122.4b	0.055bc	0.027b	-43.94bc	17.58b	31.45a	89.5bc	12.85c	7ab	-70.24abc	1.46b	4.98bc	Karaj-2
-26.25ab	63.96cd	86.73ab	21.5a	0.038c	0.032b	-47.51a	11.54c	22.27b	96bc	18.94b	10.61a	-71.75abc	0.6c	2.21c	Ghods
-27.05a	61.56d	84.39b	538.8a	0.085a	0.019b	-40.43b	15.91bc	26.4ab	142.9bc	24.44a	10.26a	-75.12ac	0.63c	2.58c	Sholeh
-21.56	67.72	86.34	36.84	0.052	0.038	-30.82	19.28	27.87	37.47	23.77	17.29	-77.47	1.66	7.37	Average

علاوه بر این، شوری به‌طور معنی‌دار عملکرد دانه در سنبله اصلی را هم کاهش داد (شکل ۱ب) و میزان این کاهش در شوری نسبت به شاهد، ۵۰/۷ درصد بود (جدول ۲). ارقام نیز از نظر عملکرد دانه، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشتند. ارقام روشن، اینیاء-۶۶، کرج-۲ و قدس، بیشترین و ارقام شعله و خزر-۱، کمترین میزان عملکرد دانه را دارا بودند. بیشترین میزان تغییرات عملکرد دانه در بوته در ارقام قدس، کرج-۲ و مهدوی و کمترین میزان تغییرات در ارقام اینیاء-۶۶، روشن و شعله مشاهده شد (جدول ۲). در بررسی‌های صورت گرفته نیز نتایج مشابهی از تأثیر تنش شوری بر کاهش عملکرد دانه گزارش شده است (Chamekh *et al.,* 2015; Sharbatkhari *et al.,* 2016). به نظر می‌رسد که کاهش عملکرد دانه در ارقام متحمل به شوری، عمدتاً ناشی از کاهش وزن هزار دانه بوده است و این در حالی است که در ارقام حساس، کاهش تعداد دانه، سبب کاهش عملکرد دانه می‌شود (Rahnama *et al.,* 2011). همچنین کاهش عملکرد دانه می‌تواند ناشی از محدودیت منبع یا مخزن در شرایط تنش باشد (Poustini & Siosemardeh, 2004).



شکل ۱- A) اثر متقابل رقم و شوری بر محتوای آب نسبی، B) اثر متقابل رقم و شوری بر وزن دانه در هر بوته، C) اثر متقابل رقم و شوری بر نسبت پتاسیم به سدیم برگ وD) اثر متقابل رقم و شوری بر نسبت پتاسیم به سدیم دانه. وجود حداقل یک حرف مشترک حاکی از عدم تفاوت معنی‌دار بین ارقام گندم در سطح احتمال پنج درصد است.

Figure 1. A) Effect of wheat cultivars and salinity on relative water content (RWC). B) Effect of wheat cultivars and salinity on grain weight per spike (g). C) Effect of wheat cultivars and salinity on leaf K^+/Na^+ ratio. D) Effect of wheat cultivars and salinity on leaf K^+/Na^+ ratio. In all figures common letters on the bars indicate non-significant difference among cultivars in 0.05 probability levels.

اثر تنش شوری بر عملکرد زیستی

عملکرد زیستی به‌عنوان یکی از معیارهای ارزیابی تحمل شوری محسوب می‌شود (Schatchman *et al.,*1991). در این بررسی، عملکرد زیستی در شرایط شوری در حدود ۵۳/۱ درصد کاهش یافت (جدول ۲). رقم روشن، بیشترین و ارقام شعله و قدس، کمترین میزان عملکرد زیستی را به خود اختصاص دادند.

در خصوص چگونگی کاهش وزن خشک اندام‌های گیاهی در اثر تنش شوری، مکانیسم‌های مختلفی پیشنهاد شده است که از جمله این مکانیسم‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: ۱- در اثر تنش شوری، محتوای نسبی آب و پتانسیل فشاری گیاه

کاهش می‌یابد. به دنبال این اتفاق، تکثیر و تقسیم سلولی و انتقال عناصر غذایی کاهش می‌یابد. علاوه بر این، به دلیل کاهش پتانسیل فشاری، ورود CO_2 به درون برگ‌های گیاه در اثر بسته شدن روزنه‌ها کاهش می‌یابد و این خود در تولید ماده خشک توسط گیاه محدودیت ایجاد می‌کند. این مکانیسم می‌تواند توجیه‌کننده همبستگی مثبت و معنی‌دار مشاهده شده بین محتوای نسبی آب و عملکرد زیستی باشد؛ ۲- گیاه در مواجه با تنش شوری، از مکانیسم‌های مختلفی جهت مقابله با تنش استفاده می‌کند. از جمله این مکانیسم‌ها می‌توان به تنظیم اسمزی اشاره کرد. در تنظیم اسمزی، گیاه از ترکیبات آلی استفاده می‌کند که سنتز آن‌ها نیازمند انرژی است. تأمین انرژی متابولیک در ارتباط با تنظیم اسمزی سلول، عامل اصلی محدودکننده رشد در شرایط تنش شوری محسوب می‌شود؛ ۳- در تنش شوری، تعادل عناصر غذایی از بین می‌رود. در چنین شرایطی، فرایندهای حیاتی مؤثر در تولید ماده خشک مختل می‌شود؛ ۴- در شرایط تنش شوری، جذب عناصر غذایی مانند کلسیم، پتاسیم و دیگر عناصر غذایی کاهش پیدا می‌کند. این امر باعث اختلال در نسبت عناصر و یا مختل شدن فعالیت آنزیم‌ها توسط سمیّت ناشی از تجمع سدیم و کمبود عناصر غذایی می‌شود (Volkmar *et al.,* 1998). در گیاهان، حفظ نسبت بالایی از پتاسیم به سدیم در سیتوزول جهت کارکرد مطلوب سلول‌های گیاهی ضروری است (Chinnusamy *et al.,* 2005).

بر اساس گزارش‌های موجود، به‌دلیل فقدان همبستگی بین تحمل نسبی و مطلق در ژنوتیپ‌های گندم و دیگر غلات می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که در آینده، شناخت ژنوتیپ‌های متحمل و حساس از نظر درصد تغییرات نسبت به محیط حائز اهمیت است، چرا که در چنین شرایطی، ژنوتیپ‌هایی که کمترین افت عملکرد بوته یا دانه را داشته باشند، با وجود این که ممکن است از نظر ظرفیت عملکرد دانه جزو ژنوتیپ-های متحمل طبقه بندی نشوند، ولی به دلیل آن‌که دارای حداکثر تجمع ژن‌های متحمل به تنش بودند، می‌توان از آن‌ها در کارهای اصلاحی و ایجاد ارقام مقاوم به تنش استفاده کرد (Richards, 1993).

اثر تنش شوری بر محتوای نسبی آب

طبق نتایج مقایسه میانگین، شوری به‌طور معنی‌داری سبب کاهش محتوای نسبی آب شد که میزان این کاهش در تیمار شوری نسبت به شاهد، ۲۱/۵ درصد بود (جدول ۲). ارقام روشن و اینیاء-۶۶، بیشترین و رقم شعله، کمترین میزان محتوای نسبی آب را دارا بودند (شکل ۱الف). کاهش محتوای نسبی آب اندام‌های گیاهی در اثر تنش شوری در پژوهش‌های دیگر نیز گزارش شده است (Khakwani *et al.,* 2011; Ghodgi *et al.,* 2012; Spano & Battega, 2016). احتمالاً کاهش محتوای نسبی آب در شرایط شوری نسبت به شاهد، ناشی از تجمع یون‌های سدیم و کلر و همچنین تجمع اسمولیت‌های سازگار در سلول‌های برگ است (Munns *et al.,* 2006)، تا سبب کاهش پتانسیل اسمزی شود. در چنین شرایطی، برگ گیاه تحت شرایط شوری نسبت به شاهد، آب بیشتری جذب می‌کند و وزن آماس برگ (در زمان اندازه‌گیری در آزمایشگاه) افزایش پیدا می‌کند. وزن آماس با محتوای نسبی آب رابطه معکوس دارد، به این معنی که هر چه وزن آماس برگ (در آزمایشگاه) بیشتر باشد، نشان دهنده این است که محتوای آب برگ در مزرعه، کمتر بوده است. همچنین مشابه با نتایج این بررسی، محتوای نسبی آب بافت‌ها در ارقام متحمل به شوری به مراتب بیشتر از ارقام حساس به شوری گزارش شده است (Mandhania *et al.,* 2006). تنظیم اسمزی با تجمع مواد محلول سازگار در سلول‌های گیاهی تحت تنش، سبب تنظیم روزنه‌ای و غیر روزنه‌ای فتوسنتز می‌شود و در نتیجه، رشد و عملکرد بالاتر گیاه را به همراه دارد (Niknam *et al.,* 2003). بنابراین ارقامی که در شرایط تنش توانایی بیشتری در حفظ محتوای نسبی آب داشته باشند، قادر به تولید زیست توده بیشتری در مقایسه با سایر ارقام خواهند بود. بالا بودن عملکرد در ارقامی که محتوای نسبی آب بالاتری دارند در دیگر مطالعات نیز گزارش شده است (Merah, 2001).

اثر تنش شوری بر غلظت پتاسیم

اثر شوری و رقم بر غلظت پتاسیم برگ در سطح

احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول-۲). مقایسه میانگین سطوح شوری حاکی از آن بود که تنش شوری به‌طور معنی‌داری غلظت پتاسیم را ۳۰/۸ درصد در برگ کاهش داد (جدول-۲). در سایر مطالعات انجام شده در شرایط تنش شوری گزارش‌شده است که با افزایش غلظت شوری، غلظت پتاسیم موجود در کل گیاه و بافت‌های خاص گیاه کاهش می‌یابد (Sharbatkhari *et al.,* 2016; Spano & Battega, 2016). جذب پتاسیم همانند دیگر عناصر غذایی، تحت تأثیر شرایط محیطی و شیوه‌های مدیریتی قرار می‌گیرد. مطالعات متعددی نشان داده است که با افزایش یون سدیم در محیط، غلظت پتاسیم در بافت‌های گیاهی کاهش می‌یابد و این کاهش، ناشی از رقابت بین سدیم و پتاسیم جهت ورود به درون سلول است (Davenport, 2005). پتاسیم در ایجاد پتانسیل اسمزی، تعادل آبی گیاه (Marschner, 1995)، سنتز کربوهیدرات‌ها (Amtmann & Sanders, 1999) و همچنین انتقال مجدد کربوهیدرات‌ها نقش مهمی دارد. بنابراین وجود غلظت‌های بالای پتاسیم در بافت‌های گیاهی، به‌عنوان یکی از شاخص های تحمل برای ارزیابی ارقام متحمل به شوری قابل استفاده است.

اثر تنش شوری بر غلظت سدیم

اثر رقم و شوری در سطح احتمال یک درصد بر غلظت سدیم برگ معنی‌دار شد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که شوری به‌طور معنی‌داری غلظت سدیم را در اندام‌های مورد بررسی افزایش داد و میزان افزایش غلظت سدیم برگ، ۳۷/۴ درصد به‌دست آمد (جدول ۲). در این رابطه، ارقام قدس و شعله، بیشترین و ارقام روشن و اینیاء-۶۶، کمترین تجمع را داشتند.

طبق نتایج مشاهده شده، دفع سدیم از برگ، تنظیم اسمزی را در گیاهان تحت تنش شوری محدود نکرد و دیگر اسمولیت‌ها از قبیل کربوهیدرات‌ها، نقش مهمی را در تنظیم اسمزی به‌صورت مستقل از تجمع سدیم ایفا کردند. نتایجی مشابه با این مطالعه از مقایسه پنج ژنوتیپ گندم گزارش شده است (Sharbatkhari *et al.,* 2016). در خصوص نقش سدیم در تنظیم اسمزی، برخی معتقدند که این عنصر نقش کلیدی در تنظیم اسمزی در شرایط شوری دارد (Poustini *et al.,* 2007) و سایر نتایج نشان داده است که سدیم تأثیری بر روابط آبی و رشد گیاه ندارد و ژنوتیپی دارای بالاترین تنظیم اسمزی شناخته شده است که دارای میزان پایینی از تجمع سدیم بوده است (Rivelli *et al.,* 2002). نتایج پژوهش‌های قبلی نیز نشان دهنده آن است که با افزایش شوری، غلظت سدیم موجود در ارقام به‌خصوص ارقام حساس افزایش پیدا می‌کند (Rahnama *et al.,* 2011). اولین اثر سمیّت سدیم، به تأثیر آن بر غشاء سلولی مربوط می‌شود، به‌طوری‌که یون سدیم بجای یون کلسیم در غشا قرار می‌گیرد و قابلیت نفوذپذیری غشاء افزایش می‌یابد و در ادامه، سبب افزایش غلظت سدیم در سیتوپلاسم می‌شود که اثرات منفی بر فرایندهای متابولیکی دارد (Cramer, 2002). بنابراین، افزایش شدید مقدار سدیم در رقم قدس و شعله حاکی از آن است که این ارقام نسبت به دیگر ارقام به شرایط شوری حساس‌ترند. در واقع، دفع سدیم به‌عنوان یکی از مکانیسم‌های تحمل به شوری، سبب کاهش انباشت سدیم و حفظ فعالیت فتوسنتزی بالا برای تولید بیشتر عملکرد زیستی می‌شود. این امر در مراحل گرده‌افشانی، سبب عرضه آسمیلات‌ها از برگ‌ها به خوشه و دانه‌های در حال پر شدن می‌شود (Husain *et al.*, 2003) و در نهایت عملکرد دانه افزایش می‌یابد.

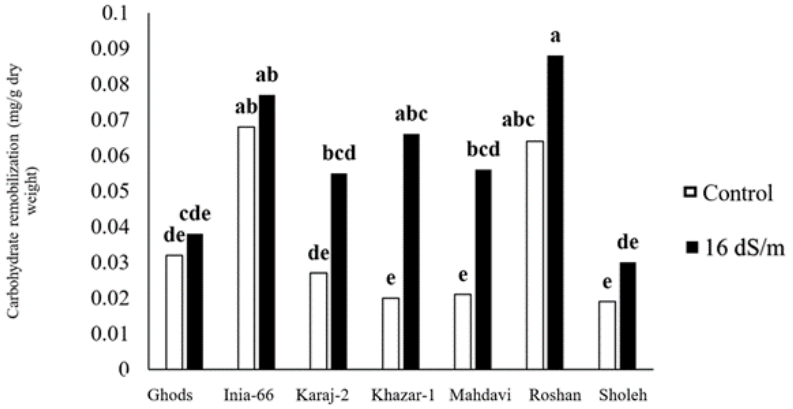
اثر تنش شوری بر نسبت پتاسیم به سدیم

اثر رقم و شوری در سطح احتمال یک درصد بر نسبت پتاسیم به سدیم پهنک، غلاف، ساقه و دانه معنی‌دار بود (در جدول ۲؛ تنها نتایج مربوط به پهنک برگ ارائه شده است). در این بررسی، رقم روشن و اینیاء-۶۶، بیشترین نسبت پتاسیم به سدیم را در پهنک (شکل ۱ج)، غلاف و دانه (شکل ۱د) نشان داشتند. در مورد بالاترین نسبت پتاسیم به سدیم در ساقه را رقم روشن به خود اختصاص داد. در سایر بررسی‌های انجام روی پانزده رقم گندم تحت شرایط شوری مشخص شده است که ارقام متحمل، دارای بالاترین نسبت پتاسیم به سدیم در اندام‌های خود بودند (Goudarzi

& Pakniat, 2008). نسبت مطلوب پتاسیم به سدیم به‌منظور تنظیم اسمزی، حفظ فشار تورژسانس، عملکرد روزنه‌ها، فعالیت آنزیم‌ها، سنتز پروتئین‌ها، متابولیسم اکسیدان‌ها و فتوسنتز مهم و ضروری است (Zheng *et al.,* 2008). بنابراین کاهش نسبت پتاسیم به سدیم در ارقام حساس می‌تواند به‌دلیل عدم توانایی این ارقام در جلوگیری از ورود یون سدیم به داخل و یا عدم توانایی این ارقام در کنترل تجمع سدیم در بافت‌های خود باشد. در مطالعات بسیاری، از نسبت پتاسیم به سدیم به‌عنوان یک شاخص کارآمد جهت شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به شوری در گیاهان استفاده شده است (Poustini & Siosemardeh. 2004; Munns *et al.,* 2005).

اثر تنش شوری بر انتقال مجدد کربوهیدرات‌ها

در این آزمایش، شوری به‌طور معنی‌داری سبب افزایش انتقال مجدد کربوهیدرات‌ها از ساقه شد (شکل ۲) و میزان این افزایش در شرایط تنش نسبت به شاهد، ۳۶/۸ درصد به‌دست آمد (جدول ۲). گزارش‌های صورت گرفته نیز افزایش انتقال مجدد کربوهیدرات‌ها را در شرایط تنش تأیید می‌کنند (Gupta *et al.,* 2011; Radi *et al.,* 2013). به‌طورکلی، افزایش انتقال مجدد کربوهیدرات‌ها در شرایط تنش می‌تواند به علت تقاضای بیشتر مخزن در شرایط محدود شدن فتوسنتز جاری باشد، زیرا تقاضای مخزن، عامل ابتدایی تعیین‌کننده انتقال مجدد ساقه محسوب می‌شود (Bonnet & Incoll, 1993). همچنین ارقام مورد مطالعه از نظر توان انتقال مجدد کربوهیدرات‌های ساقه، اختلاف معنی‌داری داشتند. در این خصوص، رقم روشن و اینیاء-۶۶، بیشترین و سایر ارقام، میزان کمتری انتقال مجدد کربوهیدرات‌ها را به خود اختصاص دادند.



شکل ۲- اثر متقابل رقم و شوری بر انتقال مجدد کربوهیدرات. وجود حداقل یک حرف مشترک حاکی از عدم تفاوت معنی دار بین ارقام گندم در سطح احتمال پنج درصد است.

Figure 2. Effect of wheat cultivars and salinity on carbohydrate remobilization. In the figure common letters on the bars indicate non-significant difference among cultivars in 0.05 probability levels.

از آن‌جا که در مرحله پر شدن دانه، عوامل تنش‌زای زنده و غیرزنده مختلفی منجر به کاهش فتوسنتز جاری می‌شوند (Bdukli *et al.,* 2007)، بنابراین می‌توان بیان داشت که پرشدن دانه، از حساس‌ترین مراحل رشدی گیاه به تنش‌های محیطی محسوب می‌شود (Zareian *et al.,* 2014). در واقع کربن مورد نیاز برای پرشدن دانه گندم از سه منبع تأمین می‌شود: فتوسنتز جاری گیاه (برگ و ساقه)، انتقال مجدد ذخایر کربن موجود در اندام‌های رویشی و فتوآسمیلات‌های تولید شده در ریشک‌های گیاه (Plaut *et al.,* 2004). در شرایط تحت تنش، تقاضا برای استفاده از ذخایر ساقه افزایش پیدا می‌کند؛ بنابراین انتقال مجدد ذخایر ساقه به‌عنوان یک فرایند پشتیبانی‌کننده مهم می‌تواند تا حدود زیادی کاهش عملکرد دانه را جبران نماید (Palta *et al.,* 1994). کربوهیدرات‌ها نه‌تنها به‌عنوان یک اسمولیت در شرایط

تنش جهت تنظیم اسمزی مورداستفاده قرار می‌گیرند، بلکه از این طریق، نقش مهمی در تعیین عملکرد و سازگاری گیاه به شرایط نامساعد محیطی دارند. گزارش‌ها حاکی از آن است که سهم کربوهیدرات‌ها در عملکرد، بسته به شرایط محیطی و رقم، شدیداً متفاوت است و می‌تواند از ۱۰ تا ۲۰ درصد در شرایط بدون تنش (Shearman *et al.,* 2005) و تا بیش از ۵۰ درصد تحت تنش شدید در پر شدن دانه سهم داشته باشد. به‌همین دلیل، توانایی ذخیره‌سازی و انتقال مجدد کربوهیدرات‌ها از ساقه به‌عنوان یک شاخص مطلوب در شناسایی ارقام متحمل به تنش استفاده می‌شود.

از سوی دیگر، ارتباط بین انتقال مجدد و محتوای نسبی آب می‌تواند تعیین کننده تحمل ارقام به تنش باشد. ژنوتیپ‌های متحمل از طریق انباشت یون‌های معدنی (سدیم، کلر و پتاسیم) و یا محلول‌های آلی مانند کربوهیدرات‌ها و اسید آمینه‌ها، تنظیم اسمزی را در سلول‌های خود انجام می‌دهند که این خود باعث تداوم جذب آب در پتانسیل‌های پایین آب خاکمی‌شود (Sharbatkhari *et al.,* 2016). تنظیم اسمزی، ارتباط بین تورژسانس و محتوای نسبی آب را تغییر می‌دهد. در شرایط تنش شوری، به‌واسطه افزایش اسمولیت‌ها به‌منظور تنظیم اسمزی، فشار تورژسانس تغییر نمی‌کند (James *et al.,* 2002)، اما از آنجا که تجمع این اسمولیت‌ها سبب جذب آب بیشتر و متعاقبا افزایش وزن آماس برگ می‌شوند، میزان محتوای نسبی آب کاهش می‌یابد (Munns *et al*., 2006). شاخص محتوای نسبی آب، به دلیل سهولت اندازه‌گیری، وراثت‌پذیری بالا و هزینه کم، آن را به‌عنوان یک شاخص مطلوب در انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل در شرایط تنش شدید پیشنهاد می‌کند (Zhou & Yu, 2010).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج پارامترهای مورد بررسی در این آزمایش حاکی از آن است که تجمع سدیم در منبع و مخزن در شرایط شوری، سبب کاهش تولید، تجمع و انتقال مواد فتوسنتزی شده است یا تأثیر تنش بر تسهیم مواد دانه، کاهش تقاضای مقصد را در پی داشته و به دنبال آن، تولید ماده خشک و عملکرد دانه در گیاه کاهش یافته است. در مقایسه ارقام تحت بررسی در این آزمایش، ارقام متحمل، بیشترین محتوای نسبی آب و عملکرد دانه و در عین حال کمترین تغییرات عملکرد دانه در بوته و همچنین بالاترین انتقال مجدد را به خود اختصاص دادند. با توجه به همبستگی بین انتقال مجدد کربوهیدرات‌های محلول با سایر صفات و به خصوص نقشی که کربوهیدرات‌ها به‌عنوان یک اسمولیت در تنظیم اسمزی دارند و همچنین نقش و اهمیت انتقال مجدد آن‌ها در پر شدن دانه، می‌توان بیان داشت که مکانیسم انتقال مجدد کربوهیدرات‌ها می‌تواند به‌عنوان یکی از مکانیسم‌های تحمل به شوری در ارزیابی ارقام مورد استفاده قرار گیرد.

REFERENCES

1. Ahmad, P., Azooz, M. M. & Prasad, M. N. V. (2012). *Ecophysiology and responses of plants under salt stress*. (3rd ed). Springer Science & Business Media.
2. Ahmad, P. & Sharma, S. (2008). Salt stress and phyto-biochemical responses of plants. *Plant Soil Environment*, 54(3), 89–99.
3. Amtmann, A. & Sanders, D. (1999). Mechanisms of Na^+ uptake by plant cells. *Journal of Advances in Botanical Research,* 29, 76-112.
4. Asish Kumar, P. & Bandhu Das, A. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Journal of Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60, 324 349.
5. Bdukli, E., Celik, N. & Turk, M. (2007). Effects of post anthesis drought stress on the stem– reserve mobilization supporting grain filling of two rowed barley cultivars at different levels of nitrogen. *Journal of biological Science,* 7, 949-953.
6. Bonnet, G. D. & Incoll, L. D. (1993). Effects on the stem of winter barley of manipulating the source and sink during grain filling. *Journal of Experimental Botany*, 44, 83-91.
7. Chamekh, Z., Karmousb, C., Ayadi, S., Sahli, A., Hammami, Z., Fraj, M. B., Benaissa, N., Trifa, Youssef. & Slim-Amara, H. (2015). Stability analysis of yield component traits in 25 durum wheat

(*Triticum durum* Desf.) genotypes under contrasting irrigation water salinity. *Journal of Agricultural Water Managemen*t, 152, 1–6.
8. Chinnusamy, V., Jagender, A. & Zhu, J. K. (2005). Understanding and improving salt tolerance in plants. *Journal of Crop Science,* 45, 437-448.
9. Cramer, G. R. (2002). *Sodium- calcium interactions under salinity stress*. (pp. 205-228.). Springer.
10. Davenport, R., James, R. A., Zakrisson-Plogander, A., Tester, M. & Munns, R. (2005). Control of sodium transport in durum wheat. *Journal of Plant Physiology*, 137, 807-818.
11. Dreccer, M., Van-Herwaarden, A. & Chapman, S. (2009). Grain number and grain weight in wheat lines contrasting for stem water soluble carbohydrate concentration. *Journal of Field Crop Research*, 112, 43–54.
12. Ehdaie, B., Alloush, G. A. & Waines, J.G. (2008). Genotypic variation in linear rate of grain growth and contribution of stem reserves to grain yield in wheat. *Journal of Field Crops Research*, 106, 34–43.
13. Goudarzi. M. & Pakniat, H. (2008). Evaluation of wheat cultivars under salinity stress based on some agronomic and physiological traits. *Journal of Agriculture and Social Science*, 4, 35–8.
14. Gupta, A. K., Kaur, K. & Kaur, N. (2011). Stem reserve mobilization and sink activity in wheat under drought conditions. *American Journal of Plant Sciences*, 2, 70-77.
15. Ghogdi, E. A., Izadi-Darbandi, A. & Borzouei, A. (2012). Effects of salinity on some physiological traits in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Indian Journal of Science and Technology*, 5, 1901-1906.
16. Hay, R. K. M. & Walker, A. J. (1989). *An Introduction to the Physiology of Crop Yield*. Longman Scientific & Technical: Harlow; 292 pp. ISBN 0582408083
17. 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.
18. James, R. A., Rivelli, A. R. Munns, R. & Caemmerer, S. (2002). Factors affecting CO_2 assimilation, leaf injury and growth in salt-stressed durum wheat. *Functional Plant Biology,* 29, 1393–1403.
19. Joodi, M. (2010). *Study of storage and carbohydrate remobilization potential in wheat cultivars*. PhD. Thesis. Faculty of science and agricultural engineering, Iran. (In Persian)
20. Kafi, M., Borzooei, A., Salehi, M., Kamandi, A., MAsoomi, A. & Nabati, J. (2011). *Physiology of abiotic stresses in plants*. Jahad University of Mashhad. 502 pp. (In Persian)
21. Khakwani, A. A., Dennett, M. D. & Munir. M. (2011). Drought tolerance screening of wheat varieties by inducing water stress conditions. *Songklanakarin Journal of Science and Technology,* 33, 135-141.
22. Koyro, H. W., Ahmad, P. & Geissler, N. (2012). *Abiotic stress responses in plants: an overview*. (pp.1–28.) Springer Science.
23. Mandhania, S., Modan, S. & Sawhney, V. (2006). Antioxidant defense mechanism under salt stress in wheat seedlings. *Journal of Biologia Plantarum*, 50(2), 227-231.
24. Marschner, H. (1995). *Mineral nutrition of higher plants*. Academic Press.
25. Merah, O. (2001). Potential importance of water status traits for durum wheat improvement under Mediterranean condition. *Journal of Agriculture Science Cambridge*. 137, 139-145.
26. Moral, G. L. F., Rharrbati, Y., Villegas, D. & Royo, C. (2003). Evaluation of grain yield and its components in durum wheat under Mediterranean conditions: An ontogenic approach. *Journal of Agronomy,* 95, 266-274.
27. Munns, R. (2005). Genes and salt tolerance: bringing them together. *J*ournal of *New Phytologist,* 167,645–663.
28. Munns, R., James, R. A & Lauchli, A. (2006). Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany*, 1-19.
29. Niknam, S. R., Ma, Q. & Turner, W. (2003). Osmotic adjustment and seed yield of *Brassica napus* and *B. juncea* genotypes in a water-limited environmental in south Western Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 43, 1127-1135.
30. Palta, J. A., Kobata, T. & Turner N. C. (1994). Remobilization of carbon and nitrogen in wheat as influenced by post-anthesis water deficits. *Journal of Crop Science*. 34, 118-124.
31. Plaut, Z., Butow, B. J., Blumenthal, C.S. & Wrigley, C. W. (2004). Transport of dry matter into developing wheat kernels and its contribution to grain yield under post-anthesis water deficit and elevated temperature. *Journal of Field Crops Research*, 86, 185–198.
32. Poustini, K. & Siosemardeh, A. (2004). Ion distribution in wheat cultivars in response to salinity stress. *Journal of Field Crops Research*, 85, 125–133.

33. 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 and Crop Evolution*, 54, 925–934.
34. Radi, A. A., Farghaly, F. A. & Hamada, A. M. (2013). Physiological and biochemical responses of salt-tolerant and salt-sensitive wheat and bean cultivars to salinity. *Journal of Biology and Earth Science*, 3(1), 72-88.
35. Rahnama, A., Poustini, K., Tavakkol-Afshari, R., Ahmadi, A. & Alizadeh, H. (2011). Growth properties and ion distribution in different tissues of bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) differing in salt tolerance. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197, 21–30.
36. Richards, R. A. (1993). Should selection for yield in saline regions be made on saline or non-saline? *Soils. Journal of Euphytica*, 32, 431-438.
37. Rivelli, A. R., James, R. A., Munns, R. & Condon, A. G. (2002). Effect of salinity on water relations and growth of wheat genotypes with contrasting sodium uptake. *Functional Plant Biology*, 29, 1065–1074.
38. Schatchman, D. P., Munns, R. & Whitecross, M. I. (1991). Variation in sodium exclusion and salt tolerance in *Triticum tauschii*. *Journal of Crop Science*, 31, 992-997.
39. Sharbatkhari, M., Shobbar, Z. S., Galeshi, S. & Nakhoda, B. (2016). Wheat stem reserves and salinity tolerance: molecular dissection of fructan biosynthesis and remobilization to grains. *Planta*, 244, 191–202.
40. Shearman, V. J., Sylvester-Bradly, R., Scott, R. K. & Fulkes, M. J. (2005). Physiological processes associated with wheat yield progress in the UK. *Journal of Crop Science*, 45, 175-185.
41. Simmen, U., Obenland, D., Boller, T. & Wiemken, A. (1993). Fructan synthesis in excised barley leaves. *Journal of Plant Physiology,* 101, 459-468.
42. Spano, C. & Bottega, S. (2016). Durum wheat seedlings in saline conditions: Salt spray versus root zone salinity. *Journal of Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 169, 173-181.
43. Turkan, I., Bor, M., Ozdemir, F. & Koca, H. (2005). Differential response of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. acutifolia* gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress. *Plant science*, 168, 223-231.
44. Volkmar, K. M., Hu, Y. & Steppuhu, H. (1998). Physiological responses of plants to salinity, a Review. *Canadian Journal of Plant Science,* 78, 19-27.
45. Yue, Y., Zhang, M., Zhang, J., Duan, L. & Li, Z. (2012). SOS1 gene over expression increased salt tolerance in transgenic tobacco by maintaining a higher K^+/Na^+ ratio. *Journal of Plant Physiology*, 169, 255– 261.
46. Zareian, A., Yari, L. & Tabatabaei, S. A. (2014). Dry matter accumulation and remobilization in grain wheat cultivars under drought stress and potassium foliar application treatments. *Electronic Journal of Biology*, 10(1), 1-6.
47. Zheng, Y., Jiac, A., Ning, T., Xud, J, Li, Z. & Jiang, G. (2008). Potassium nitrate application alleviates sodium chloride stress in winter wheat cultivars differing in salt tolerance. *Journal of Plant Physiology*, 165, 1455-1465.
48. Zhou, Q. & Yu, B. (2010). Changes in content of free conjugated and bond polyamines and osmotic adjustment in adoption of vetiver grass to water deficit. *Plant Physiology and Biochemical*, 48(6), 417-425.