doi: 10.22124/cr.2019.14592.1522

تحقیقات غلات

دوره نهم/ شماره سوم/ پاییز ۱۳۹۸ (۲۴۸-۲۳۵)

تعیین آستانه تحمل به شوری لاین‌های امیدبخش گندم تحت شرایط گلخانه و مزرعه

مهدی شیران تفتی[۱]، هادی پیراسته انوشه[۲]* و اشکبوس امینی سفیداب[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۱۹

چکیده

این پژوهش به‌منظور مقایسه تحمل به شوری لاین‌های امیدبخش گندم طی سال‌های ۹۶-۱۳۹۴ انجام شد. آزمایش گلخانه‌ای در موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج و آزمایش مزرعه‌ای در مرکز ملی تحقیقات شوری در یزد انجام شد. تیمارها در آزمایش گلخانه‌ای شامل شوری آب آبیاری در دو سطح (۲ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر) و پنج ژنوتیپ گندم (MS-89-12، MS-89-13، MS-90-13، MS-90-15 و نارین به‌عنوان شاهد) و در آزمایش مزرعه‌ای شامل شوری آب آبیاری در پنج سطح (۲، ۵، ۸، ۱۱و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر) و همان پنج ژنوتیپ گندم بودند. نتایج آزمایش گلخانه‌ای نشان داد که تنش شوری ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر موجب کاهش ارتفاع بوته، سطح برگ، وزن تر و خشک شاخساره و طول و وزن خشک ریشه در همه ژنوتیپ‌ها و افزایش شاخص کلروفیل فقط در لاین MS-89-12 شد. رقم نارین و سپس لاین‌های MS-90-15 و MS-90-13 با کم‌ترین درصد کاهش صفات در اثر تنش شوری، به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها تعیین شدند. نتایج آزمایش مزرعه‌ای نیز نشان داد که تنش شوری، بسته به شدت آن، با کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد سنبلک بارور در سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه همراه بود و از این‌رو کاهش قابل‌توجه عملکرد دانه و زیست‌توده را به‌همراه داشت. تحت تیمار شاهد (شوری دو دسی‌زیمنس بر متر)، بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد دانه به‌ترتیب از ژنوتیپ‌های MS-90-13 (۶/۹۱ تن در هکتار) و نارین (۵/۸۱ تن در هکتار) و تحت شرایط شوری ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر، بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد به‌ترتیب از ژنوتیپ‌های نارین (۳/۲۳ تن در هکتار) و MS-90-15 (۱/۵۱ تن در هکتار) به‌دست آمد. آستانه تحمل به شوری نیز برای ژنوتیپ‌های MS-89-13، MS-90-13، MS-90-15، نارین و MS-89-12 به‌ترتیب برابر با ۷/۴۱، ۶/۳۰، ۴/۹۲، ۴/۸۴ و ۴/۲۰ دسی‌زیمنس بر متر برآورد شد. نتایج نشان داد که در شوری‌های کم‌تر از هشت دسی‌زیمنس بر متر، لاین MS-89-13 دارای تحمل بالایی به شوری بود، ولی در شوری‌های بالاتر، مشابه با آزمایش گلخانه‌ای، رقم نارین و لاین MS-90-13 تحمل بیش‌تری داشتند. با توجه به یکسان بودن تقریبی نتایج گلخانه‌ای و مزرعه‌ای، لاین MS-90-13 برای شرایط شوری کم و رقم نارین و لاین MS-90-15 برای شرایط شوری بالا مناسب و با رعایت ملاحظات قابل توصیه هستند.

واژه‌های کلیدی: شوری آب آبیاری، شوری خاک، عملکرد دانه، گیاهچه

۱- محقق، مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران

۲- استادیار پژوهش، مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران

۳- استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

* نویسنده مسئول: h.pirasteh.a@gmail.com

مقدمه

امروزه گندم (*Triticum aestivum* L.) به یکی از مهم‌ترین محصولات استراتژیک دنیا تبدیل شده و همواره تقاضا برای این ماده غذایی و حیاتی به‌سبب روند رشد جمعیت، رو به افزایش است. بر اساس آخرین آمارها، سطح زیر کشت گندم در سال ۲۰۱۷ در جهان ۲۱۸/۵۴ میلیون هکتار، در ایران ۶/۷۰ میلیون هکتار (FAO, 2019) و در یزد در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ برابر با ۱۲/۱۵ هزار هکتار (Ahmadi *et al.*, 2017) بوده است. تولید گندم نیز در جهان ۷۷۱/۷۲ میلیون تن، در ایران ۱۴/۰۰ میلیون تن و در یزد ۳۹/۴۹ هزار تن گزارش شد. متوسط عملکرد گندم آبی در کشور و استان یزد نیز به‌ترتیب برابر با ۴۱۵۶ و ۳۲۵۱ کیلوگرم در هکتار است (Ahmadi *et al.*, 2017). این تفاوت را عمدتاً می‌توان به‌دلیل مشکل شوری خاک و آب در بیش‌تر مناطق استان یزد ذکر کرد.

یکی از تنش‌هایی که به‌طور قابل توجهی باعث کاهش عملکرد دانه گندم می‌شود، تنش شوری است. به‌نظر می‌رسد بین ژنوتیپ‌های یک گیاه زراعی از نظر تحمل به شوری تفاوت قابل توجه وجود داشته باشد. به‌همین دلیل انتخاب ژنوتیپ‌های برتر می‌تواند موجب افزایش عملکرد در مناطق شور شود. حدود ۱۶ تا ۲۳ میلیون هکتار از اراضی ایران شور هستند (Siadat *et al.*, 1997).

واکنش گیاهان زراعی به شوری متفاوت است. برخی از گونه‌های گیاهی به نمک بسیار حساس هستند. تعدادی به‌طور متوسط شوری را تحمل می‌کنند و تعداد کمی از آن‌ها در خاک‌های شور رشد قابل قبولی دارند (Maas, 1990). در واقع تحمل به شوری یک گیاه زراعی، قدرت یا قابلیت آن گیاه جهت دوام آوردن در نمک‌های اضافی موجود در منطقه ریشه است (Maas and Hoffman, 1977). میزان تحمل به شوری بر اساس درصد کاهش عملکرد گیاه در خاک شور در مقایسه با عملکرد آن در خاک غیر شور به‌دست می‌آید. بر این اساس، گونه‌های مختلف گیاهان زراعی از نظر تحمل به شوری به گروه‌های حساس، نیمه‌حساس، نیمه‌متحمل و متحمل گروه‌بندی می‌شوند. این نوع تقسیم‌بندی برای اولین بار توسط آزمایشگاه شوری آمریکا برای بیش‌تر گیاهان زراعی انجام و به‌صورت جدول‌هایی تنظیم شد (Maas and Hoffman, 1977). در این طبقه‌بندی برای هر گونه گیاه زراعی یک آستانه تحمل به شوری (حداکثر شوری که گیاه بدون کاهش عملکرد در آن رشد می‌کند) وجود دارد. در مقادیر بیش‌تر از این نقطه به‌ازای افزایش هر واحد شوری درصدی از عملکرد کاهش می‌یابد، تا جایی که شوری آنقدر افزایش می‌یابد که رشد متوقف و عملکرد صفر می‌شود (Maas and Hoffman, 1977).

نوع رقم نیز می‌تواند بر آستانه تحمل به شوری گیاهان موثر باشد. برای مثال آستانه تحمل به شوری گندم به میزان ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر برای ارقام کانادایی (Steppuhn and Wall, 1997)، بین ۶/۲ (ارقام پابلند) تا ۸/۶ (ارقام پاکوتاه) دسی‌زیمنس بر متر برای ارقام آمریکایی (Maas and Hoffman, 1977; Francois *et al.*, 1986) و تا ۵ دسی‌زیمنس بر متر برای ارقام ایرانی (Ranjbar and Banakar, 2010) گزارش شده است. در مورد جو نیز آناقلی و طباطبایی (Anagholi and Tabatabaei, 2010) حد آستانه تحمل به شوری ارقام جو رودشت، لاین ۴ (LB.Iran/Una8271//Glorin)، لاین ۱ (Arigashar/Macouee)، و افضل را در شرایط اقلیمی یزد به‌ترتیب ۵/۳۰، ۳/۴۸، ۳/۶۴ و ۲/۵۸ دسی‌زیمنس بر متر گزارش کردند. میزان آستانه تحمل به شوری نیز می‌تواند بسته به مرحله رشدی گیاه متفاوت باشد (Pirasteh-Anosheh *et al.*, 2016). به‌طورکلی باید در نظر داشت که علاوه بر این موارد، آستانه تحمل به شوری بسته به شرایط آب و هوایی، مدیریت آبیاری، سطح حاصل‌خیزی خاک و عملیات زراعی در طول فصل رشد می‌تواند دامنه متفاوتی داشته باشد (Maas, 1990).

باید توجه داشت که دانستن فقط آستانه تحمل به شوری نمی‌تواند ملاک معتبری در انتخاب ارقام در شرایط شور باشد. در برخی موارد مشاهده می‌شود که رقمی که دارای آستانه تحمل به شوری بالایی است در عمل عملکرد مطلق کم‌تری در شرایط شور تولید می‌کند. شاید به‌همین دلیل باشد که توصیه شده است در شرایط شور به‌جای انتخاب ارقام با آستانه تحمل به شوری بیش‌تر، ارقامی انتخاب شوند که به شرایط اکولوژیک منطقه سازگاری بالایی دارند و عملکرد مطلق بیش‌تری در شرایط شور تولید می‌کنند (Ranjbar and Pirasteh-Anosheh, 2015). با این‌حال، آستانه تحمل به شوری به‌ویژه در مقایسه گیاهان زراعی مختلف می‌تواند به‌عنوان یک شاخص مد نظر قرار گیرد. بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی عملکرد ژنوتیپ‌های مختلف گندم در شوری‌های مختلف و مقایسه آستانه تحمل به شوری آن‌ها به‌منظور تعیین رقم مناسب شرایط شور، طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش گلخانه‌ای

آزمایش گلخانه‌ای در موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در کرج در سال ۹۶-۱۳۹۵ انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل پنج ژنوتیپ گندم MS-89-13، MS-89-12، MS-90-13، MS-90-15 و نارین (معرفی شده برای شرایط شور) و دو سطح شوری آب آبیاری (۲ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر) بود و آزمایش به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. رقم نارین حاصل از دورگ‌گیری بین گندم پیشتاز به‌عنوان والد پدری و لاین بومی ۲۲-۶۶-۱ به‌عنوان والد مادری برای اراضی با آب و خاک شور در مناطق معتدل و معتدل گرم کشور معرفی شد (Amini Sefidab *et al.*, 2017). شجره ژنوتیپ‌های مطالعه شده در این تحقیق در جدول ۱ ارایه شده است.

بذرهای گندم در سینی‌های کشت به‌صورت هیدروپونیک در آبان‌ماه کشت و گیاهچه‌ها با محلول هوگلند تغذیه شدند. تنش شوری ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر به‌صورت پلکانی و با استفاده از نمک کلرید سدیم از طریق محلول رشد ریشه و از مرحله سه برگی اعمال شد. pH محلول در حد شش نگهداری شد. دمای حداقل و حداکثر گلخانه به‌ترتیب ۱۴ و ۲۸ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی بین ۵۰ تا ۷۰ درصد بود. روشنایی گلخانه توسط ترکیبی از لامپ‌های فلورسنت و تنگستن (در حدود ۱۳۳۱۶ تا ۱۵۶۱۳ لوکس) به‌مدت ۱۴ ساعت در روز تامین شد.

پیش از برداشت، شاخص محتوای کلروفیل با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر (SPAD) اندازه‌گیری شد. بوته‌های ۷-۶ برگی، برداشت شدند و پس از جداسازی شاخساره و ریشه، ارتفاع بوته، سطح برگ، وزن تر و خشک شاخساره و طول، وزن تر و خشک ریشه اندازه‌گیری شد. تجزیه آماری داده‌های جمع‌آوری شده شامل تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها (با آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد) با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد.

آزمایش مزرعه‌ای

آزمایش مزرعه‌ای این تحقیق در مزارع تحقیقاتی مرکز ملی تحقیقات شوری در استان یزد، در فاصله ۲۲ کیلومتری شمال غرب شهر یزد، با آب و هوای خشک و نیمه‌خشک در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ اجرا شد. این مزرعه تحقیقاتی دارای دو استخر بزرگ ذخیره آب شور و شیرین با کیفیت‌های ۲ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر با سیستم اختلاط آب شور و شیرین جهت تامین آب برای آبیاری با شوری‌های مختلف و شبکه آبرسانی تحت فشار به قطعات آزمایش می‌باشد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش، پنج سطح شوری آب آبیاری شامل ۲، ۵، ۸، ۱۱و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر و پنج ژنوتیپ گندم شامل چهار لاین MS-89-12، MS-89-13، MS-90-13 و MS-90-15 و رقم نارین (معرفی‌شده برای شرایط شور) بودند که به‌ترتیب در کرت‌های اصلی و فرعی قرار گرفتند. قبل از کاشت و در زمان‌های کاشت، پنجه‌دهی و اواسط ساقه‌دهی، کودهای مورد نیاز با توجه به نتایج آزمایش خاک به کرت‌ها اضافه شد.

هر لاین (ژنوتیپ) در شش خط هفت متری با فاصله خطوط کشت ۲۰ سانتی‌متر و با تراکم ۵۰۰ بوته در متر مربع در تاریخ ۱۸ آبان‌ماه کشت شد. در طول فصل رشد کلیه مراقبت‌های زراعی شامل آبیاری، تغذیه و مبارزه با علف‌های هرز انجام شد. تیمارهای آبیاری از آبیاری سوم به‌صورت یکسان و هم‌زمان در پنج سطح شوری ۲، ۵، ۸، ۱۱و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر در تمام مراحل رشد اعمال شد. آبیاری در حد ظرفیت مزرعه و با در نظر گرفتن ۲۵ درصد کسر آبشویی بود. حجم کل آبیاری در طول فصل رشد ۷۷۱۴/۳ مترمکعب در هکتار بود.

جدول ۱- شجره ژنوتیپ‌های گندم مورد بررسی در این تحقیق

Table 1. Pedigree of evaluated wheat genotypes

Line code	Pedigree†
MS-89-12	Atrak/3/Chen/Aeg.sq (Taus)//BCN CMBW98, Y5554
MS-89-13	Kauz*2/Opata//Kauz/3/Sakha 8/4/Tam 200
MS-90-13	Pishtaz//Karchia
MS-90-15	Pishtaz//Karchia
Narin	1-66-22/3/Alvd//Aldan/Ias58

†: Atrak, semi sensitive; Pishtaz, semi tolerant; Karchia, tolerant; Sakha, tolerant.

به‌منظور تعیین شوری عصاره اشباع خاک، پنج بار در طول فصل رشد با فاصله تقریباً یک‌ماهه، نمونه خاک تا عمق توسعه ریشه (صفر تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری) تهیه شد. در نهایت در مرحله رسیدگی کامل بوته‌های گندم (۳۰ خردادماه)، سه خط میانی از هر ژنوتیپ برداشت و عملکرد و اجزای عملکرد دانه اندازه‌گیری شد. صفات اندازه‌گیری‌شده در این تحقیق شامل، ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد سنبلک بارور در سنبله، تعداد سنبلک نابارور در سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد کاه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت بود. در این تحقیق، حد آستانه تحمل به شوری، شیب کاهش عملکرد و حد آستانه ۵۰ درصد کاهش عملکرد برای هر ژنوتیپ با استفاده از نرم‌افزار SAS مشخص شد. آستانه نسبی تحمل به شوری، بیشینه‌ای از شوری است که هیچ کاهش معنی‌داری در عملکرد مشاهده نشود. بر اساس مدل ماس و هافمن (Maas and Hoffman, 1977)، نمودار واکنش گیاهان زراعی به شوری خطی است و از دو قسمت مجزا تشکیل شده است. یک قسمت محدوده آستانه تحمل به شوری با شیب صفر و دیگری یک خط وابسته به غلظت است که شیب آن مقدار کاهش عملکرد به‌ازای افزایش هر واحد شوری را نشان می‌دهد. در واقع نقطه‌ای که دو خط یکدیگر را قطع می‌کنند، همان آستانه تحمل به شوری است (Ranjbar and Banakar, 2010). حد آستانه تحمل به شوری و حد آستانه کاهش ۵۰ درصدی عملکرد به‌ترتیب بر اساس روابط (۱) (Maas and Hoffman, 1977) و (۲) (Van Genuchtan and Hoffman, 1984) به‌دست آمد:

$$Y_r = 100 - b(EC_e - a) \qquad (۱)$$

$$Y_r = \frac{Y_m}{1+\left(\frac{EC_e}{EC_{50}}\right)^P} \times 100 \qquad (۲)$$

در این روابط، Y_r عملکرد نسبی در شرایط شور، b شیب خط، EC_e میانگین شوری عصاره اشباع خاک، a حد آستانه تحمل به شوری، Y_m عملکرد در شرایط غیرشور، EC_{50} میانگین شوری عصاره اشباع خاک که منجر به کاهش ۵۰ درصدی عملکرد می‌شود و P یک ضریب تجربی است. برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌های جمع‌آوری‌شده از نرم‌افزار SAS و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد استفاده شد.

نتایج

آزمایش گلخانه‌ای

نتایج تجزیه واریانس آزمایش گلخانه‌ای نشان داد که اثر شوری بر همه صفات مطالعه شده، به‌جز شاخص محتوای کلروفیل و اثر ژنوتیپ بر ارتفاع بوته، سطح برگ و وزن تر و خشک شاخساره معنی‌دار بود (جدول ۲). برهمکنش شوری و ژنوتیپ نیز تاثیر معنی‌داری بر همه صفات اندازه‌گیری شده در این تحقیق داشت (جدول ۲).

تنش شوری تاثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته گندم داشت و اثر آن در همه ژنوتیپ‌ها مشاهده شد (شکل ۱)، به‌طوری‌که بیش‌ترین ارتفاع بوته در همه ژنوتیپ‌ها تحت شرایط غیرشور و کم‌ترین آن تحت شرایط شور به‌دست آمد. تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها تحت شرایط غیرشور مشاهده نشد، ولی تحت شرایط شور، بیش‌ترین ارتفاع بوته مربوط به رقم نارین بود، اما بین سایر ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. ژنوتیپ MS-89-12 بیش‌ترین (۲۶ درصد) و رقم نارین کم‌ترین (۱۴ درصد) میزان کاهش ارتفاع بوته را در اثر تنش شوری نشان دادند (شکل ۱). نتایج نشان داد که سطح برگ همه ژنوتیپ‌های گندم به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر تنش شوری کاهش یافت (شکل ۱) به‌طوری‌که تحت شرایط غیرشور، بیش‌ترین سطح برگ در ژنوتیپ‌های MS-89-13 و MS-90-15 و تحت شرایط شور، بیش‌ترین سطح برگ در ژنوتیپ MS-90-15 و رقم نارین مشاهده شد. در این میان، ژنوتیپ MS-89-13 با ۵۳ درصد کاهش، دارای بیش‌ترین درصد کاهش سطح برگ بود، در حالی‌که رقم نارین کم‌ترین درصد کاهش سطح برگ (۳۹ درصد) را نشان داد. همچنین، نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها از نظر شاخص محتوای کلروفیل (به‌جز ژنوتیپ MS-89-12)، تحت هر دو شرایط غیرشور و شور مشاهده نشد (شکل ۱)، اما کم‌ترین محتوای کلروفیل در شرایط غیرشور مربوط به ژنوتیپ MS-89-12 بود، در حالی‌که همین رقم با افزایش قابل‌توجه و معنی‌دار شاخص محتوای کلروفیل در شرایط شور، بیش‌ترین شاخص کلروفیل را در این شرایط داشت.

تنش شوری به‌ترتیب با کاهش ۲۶ و ۳۳ درصدی طول و وزن خشک ریشه همراه بود (شکل ۲). تحت شرایط غیرشور، ژنوتیپ MS-89-12 بیش‌ترین طول ریشه و وزن خشک ریشه را داشت، در حالی‌که تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها در شرایط شور مشاهده نشد. کم‌ترین درصد

کاهش طول ریشه (۲۶ درصد) در ژنوتیپ MS-90-15 و کم‌ترین درصد کاهش وزن خشک ریشه (۹ درصد) در ژنوتیپ MS-90-13 مشاهده شد، درحالی‌که ژنوتیپ MS-89-12 دارای بیش‌ترین درصد کاهش طول و وزن خشک ریشه (به‌ترتیب ۴۱ و ۴۶ درصد) بود (شکل ۲).

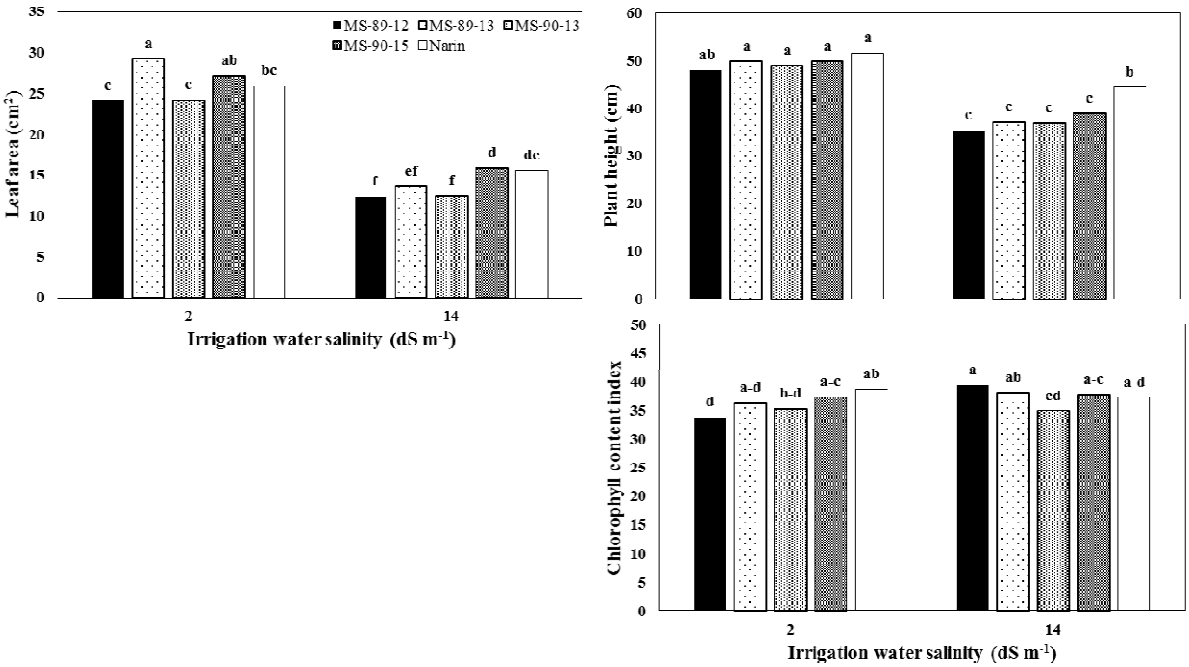
شوری با کاهش معنی‌دار وزن تر و وزن خشک شاخساره در همه ژنوتیپ‌های گندم همراه بود (شکل ۲)، به‌نحوی که به‌طور متوسط، وزن تر و وزن خشک شاخساره ژنوتیپ‌های گندم در شرایط شور به‌ترتیب حدود ۵۹ و ۴۴ درصد کم‌تر از شرایط غیرشور بود. تحت شرایط غیرشور، ژنوتیپ‌های MS-89-13 و MS-90-15 و تحت شرایط شور، ژنوتیپ MS-90-15 و رقم نارین دارای بیش‌ترین وزن تر و وزن خشک شاخساره بودند. بر اساس نتایج، بیش‌ترین درصد کاهش ناشی از تنش شوری (۶۸٪ و ۵۶٪ کاهش به‌ترتیب در وزن تر و وزن خشک شاخساره) در ژنوتیپ MS-89-13 و کم‌ترین درصد کاهش نیز در رقم نارین مشاهده شد (شکل ۲).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات ژنوتیپ‌های گندم در آزمایش گلخانه‌ای

Table 2. The results of analysis of variance for the traits of wheat genotypes in greenhouse experiment

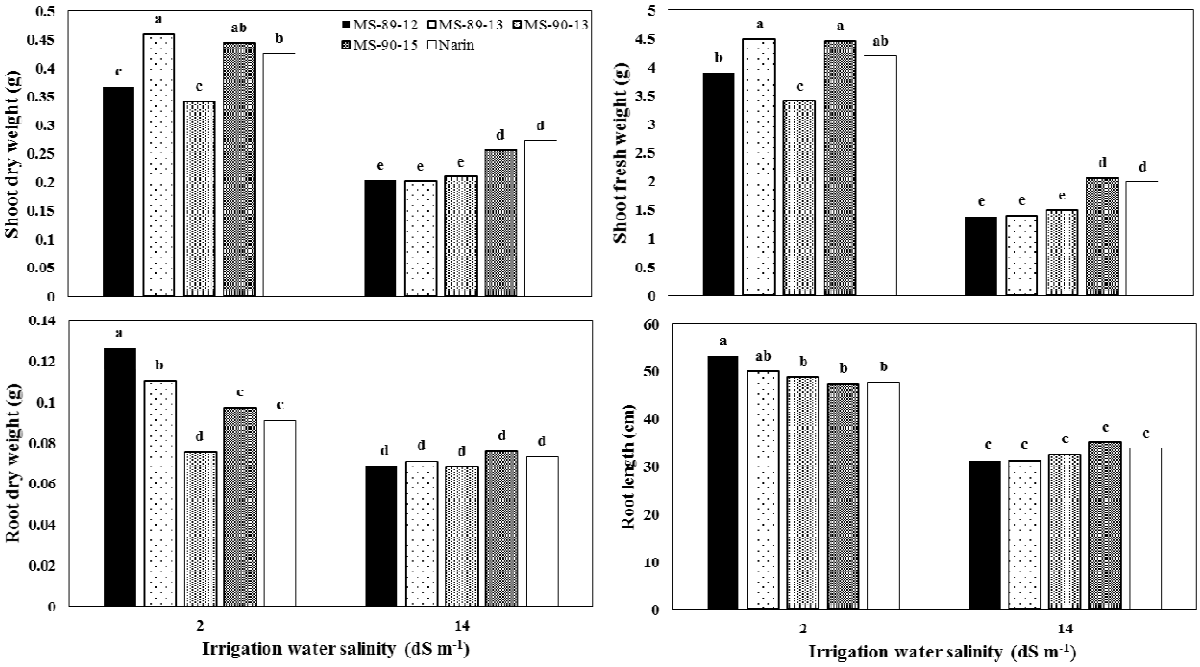
Source of variations	df	Plant height	SPAD	Leaf area	Shoot fresh weight	Shoot dry weight	Root length	Root dry weight
Block	2	3.871^{ns}	3.257^{ns}	3.19	0.065^{ns}	0.0015	41.822^{**}	0.0002
Salinity(S)	1	920.748^{**}	10.680^{ns}	1105.10^{**}	43.97^{**}	0.23^{**}	2056.75^{**}	0.0061^{**}
Genotype (G)	4	33.733^{**}	7.322^{ns}	15.88^{**}	0.645^{**}	0.0074^{*}	2.800^{ns}	0.0005^{ns}
G×S	4	18.173^{*}	11.162^{*}	6.036^{*}	0.981^{**}	0.0075^{*}	21.82^{**}	0.0098^{*}
Error	18	3.116	3.266	1.57	0.13	0.0016	4.22	0.0002
CV (%)		4.01	4.90	6.25	12.8	12.88	4.98	17.59

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.



شکل ۱- تغییرات مورفولوژی و محتوای کلروفیل در ژنوتیپ‌های گندم تحت شرایط غیرشور و تنش شوری در آزمایش گلخانه‌ای.
میانگین‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری با آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد ندارند.

Figure 1. The changes of morphology and chlorophyll content in wheat genotypes under non-stress and salinity stress conditions in greenhouse experiment. Means followed by the same letters in each trait are not significantly different by LSD test at 1% probability level.



شکل ۲- تغییرات رشد شاخساره و ریشه در ژنوتیپ‌های گندم تحت شرایط غیرشور و تنش شوری در آزمایش گلخانه‌ای. میانگین‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری با آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد ندارند.

Figure 2. Growth changes of shoot and root in wheat genotypes under non-stress and salinity stress conditions in greenhouse experiment. Means followed by the same letters in each traits are not significantly different by LSD test at 1% probability level.

آزمایش مزرعه‌ای

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش شوری و ژنوتیپ و نیز برهمکنش آن‌ها بر صفات ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد سنبلک بارور، تعداد سنبلک نابارور، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد کاه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که ژنوتیپ‌ها در شوری‌های متفاوت تفاوت معنی‌داری از نظر ارتفاع بوته داشتند (جدول ۴)، به‌طوری‌که بیش‌ترین ارتفاع بوته در شرایط غیرشور در ژنوتیپ MS-89-12، در شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر در ژنوتیپ MS-90-13، در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر در ژنوتیپ‌های MS-89-13، MS-90-13 و نارین، در شوری ۱۱ دسی‌زیمنس بر متر در ژنوتیپ MS-90-15 و در شوری ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر در ژنوتیپ نارین مشاهده شد. کم‌ترین کاهش ارتفاع بوته در اثر تنش شوری ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به ۲ دسی‌زیمنس بر متر (تیمار شاهد)، در رقم نارین با ۱۶/۹ درصد و پس از آن در ژنوتیپ MS-90-15 با ۱۸ درصد مشاهده شد (جدول ۴). ژنوتیپ MS-89-13 در شرایط غیرشور و شوری‌های ۵، ۸ و ۱۱ دسی‌زیمنس بر متر دارای طول سنبله بیش‌تری بود که در شرایط شوری ۱۱ دسی‌زیمنس بر متر تفاوت معنی‌داری با MS-89-13 نداشت (جدول ۴). این ژنوتیپ (MS-89-13)، طول سنبله بیش‌تری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها در شوری‌های ۱۱ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر داشت. در مجموع این دو ژنوتیپ (MS-89-13 و MS-90-13) دارای تحمل بالایی به شوری بودند و به‌عنوان مثال، کاهش طول سنبله در ژنوتیپ MS-90-13 در شرایط ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به شرایط غیرشور به‌میزان ۱۳/۷ درصد بود که نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها کاهش کم‌تری نشان داد.

تفاوت‌های معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های گندم در تحمل به تنش شوری از نظر تعداد سنبلک بارور، تعداد سنبلک نابارور و تعداد دانه در سنبله مشاهده شد. بیش‌ترین تعداد سنبلک بارور و تعداد دانه در سنبله در هر دو شرایط غیرشور و شور در ژنوتیپ MS-90-13 مشاهده شد، در حالی‌که کم‌ترین تعداد سنبلک نابارور در شرایط غیرشور و شور (به‌جز ۱۱ دسی‌زیمنس بر متر) مربوط به ژنوتیپ MS-90-13 بود (جدول ۵). در تمامی سطوح شوری (جز شوری ۱۱ دسی‌زیمنس بر متر)، رقم نارین و ژنوتیپ MS-90-13 (بدون اختلاف معنی‌دار) کم‌ترین تعداد

سنبلک نابارور در سنبله را داشتند. رقم نارین به‌ترتیب با کاهش ۱۲/۰ و ۴/۷ درصدی در تعداد سنبلک بارور و تعداد دانه در سنبله و افزایش ۱۳/۹ درصدی در تعداد سنبلک نابارور، کم‌ترین کاهش را در شرایط شوری ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به شرایط غیرشور داشت (جدول ۵). در شرایط غیرشور و تیمارهای شوری ۵ و۸ دسی‌زیمنس بر متر، ژنوتیپ MS-90-15 وزن هزار دانه بیش‌تری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشت، ولی در شوری‌های ۱۱ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر، رقم نارین دارای وزن هزار دانه بالاتری بود (جدول ۵). شدت کاهش وزن هزار دانه در همه ژنوتیپ‌ها با افزایش شدت شوری آب آبیاری رابطه معنی‌داری داشت، به‌طوری‌که با افزایش هدایت الکتریکی آب آبیاری وزن هزار دانه کاهش کم‌تری داشت. تحت شرایط شوری ملایم و متوسط، بیش‌ترین کاهش وزن هزار دانه مربوط به رقم نارین بود، ولی در شوری‌های شدید ژنوتیپ MS-90-15 بیش‌ترین کاهش وزن هزار دانه را تجربه کرد. ژنوتیپ MS-89-13 تحت هر دو شرایط غیرشور و شور، کم‌ترین کاهش وزن هزار دانه را از خود نشان داد و بیش‌ترین تحمل به شوری از نظر وزن هزار دانه را داشت (جدول ۵).

تحت شرایط غیرشور و شوری‌های ۵ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر، ژنوتیپ MS-90-13 عملکرد دانه بیش‌تری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشت (جدول ۶)، در حالی‌که در سطوح شوری ۱۱ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر، بیش‌ترین عملکرد دانه در رقم نارین مشاهده شد. با افزایش شوری آب آبیاری، عملکرد دانه تمامی ژنوتیپ‌ها کاهش یافت، با این تفاوت که ژنوتیپ MS-90-13 تا شوری ۱۱ دسی‌زیمنس بر متر کم‌ترین کاهش عملکرد را داشت، اما در شوری بیش‌تر از ۱۱ دسی‌زیمنس بر متر، بیش‌ترین کاهش عملکرد دانه مربوط به ژنوتیپ MS-90-15 بود، در حالی که رقم نارین در شرایط شور و غیرشور کم‌ترین کاهش عملکرد دانه را نشان داد (جدول ۶).

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مطالعه شده در ژنوتیپ‌های گندم در آزمایش مزرعه‌ای

Table 3. Analysis of variance for the studied traits in wheat genotypes in field experiment

Source of variations	df	Mean squares								
		Plant height	Ear length	Fertile spikelet	Infertile spikelet	Grain number per ear	Thousand grain weight	Grain yield	Biological yield	Harvest index
Block	2	11.3^{ns}	0.1^{ns}	0.01^{ns}	0.1*	0.5^{ns}	30.04*	0.005^{ns}	0.02^{ns}	0.997^{ns}
Salinity (S)	4	657.8**	3.6**	22.9**	8.4**	129.1**	1057.3**	35.1**	64.4**	55.53**
Error a	8	6.7	0.3	0.3	0.1	0.4	7.01	0.03	0.06	1.237
Genotype (G)	4	23.3*	3.5**	4.5**	2.3**	50.8**	65.3**	1.8**	4.8**	48.2**
G×S	16	21.4**	2.2**	0.7**	0.6**	10.3**	58.9**	0.98**	1.97**	44.4**
Error b	40	7.3	0.2	0.1	0.3	0.6	6.2	0.02	0.06	2.1
CV (%)		3.9	6.0	2.5	4.1	2.9	6.6	2.6	2.4	3.2

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۴- تاثیر سطوح تنش شوری بر مورفولوژی ژنوتیپ‌های گندم در آزمایش مزرعه‌ای

Table 4. The effect of salinity stress levels on morphology of wheat genotypes in field experiment

Wheat genotypes	Salinity levels (EC_e) ($dS.m^{-1}$)				
	2	5	8	11	14
	Plant height (cm)				
MS-89-13	74.72 a-d	76.09 ab	72.83 de	65.49 l	56.58 m
MS-90-13	76.53 ab	74.98 a-c	72.61 cd	61.58 h-j	59.72 kl
MS-89-12	77.42 a	71.54 c-e	68.06 l	64.24 m	56.53 n
MS-90-15	70.41 d-f	75.97 ab	66.62 gh	67.66 m	59.65 o
NARIN	75.47 a-c	74.32 a-d	72.86 h-j	66.78 i-k	64.57 i-k
	Ear length (cm)				
MS-89-13	8.31 f-h	8.61 de	8.41 e-g	8.32 f-h	8.24 g-i
MS-90-13	9.23 ab	9.24 a	8.81 cd	8.33 f-h	7.91 jk
MS-89-12	8.91 bc	8.43 ef	8.14 h-j	7.91 i-k	7.43 l
MS-90-15	8.62 de	8.62 de	8.43 ef	7.81 k	7.52 l
NARIN	8.81 cd	8.21 g-i	7.81 k	7.52 l	6.81 m

Means followed by the same letters in each traits are not significantly different by LSD test at 1% probability levels.

جدول ۵- تاثیر سطوح تنش شوری بر اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های گندم در آزمایش مزرعه‌ای

Table 5. The effect of salinity stress levels on yield components of wheat genotypes in field experiment

Genotypes	Salinity level (EC_e) ($dS.m^{-1}$)				
	2	5	8	11	14
	Fertile spikelet number per ear				
MS-89-13	11.57 d	12.63 bc	11.51 d	10.67 f	9.97 g-i
MS-90-13	13.73 a	13.10 b	12.43 c	11.43 d	10.43 fg
MS-89-12	12.90 bc	11.67 d	10.71 ef	9.64 h-j	9.11 j
MS-90-15	12.67 bc	12.37 c	11.40 d	9.61 ij	9.17 j
NARIN	11.63 d	12.53 c	11.23 de	10.18 f-h	10.23 fg
	Non-fertile spikelet number per ear				
MS-89-13	3.23 lm	3.53 i-l	3.97 gh	5.03 cb	4.73 cd
MS-90-13	2.69 o	2.73 no	3.33 k-m	3.93 gh	4.13 fg
MS-89-12	3.03 mn	3.41 i-k	4.07 fg	4.67 de	6.33 a
MS-90-15	3.27 k-m	3.57 i-k	4.33 f	4.81 cd	5.23 b
NARIN	3.83 g-i	3.23 lm	3.53 i-l	3.67 h-j	4.37 ef
	Grain number per ear				
MS-89-13	27.83 g-i	28.67 fg	30.17 de	25.13 l	23.43 m
MS-90-13	35.67 a	32.53 b	31.23 cd	27.10 h-j	25.63 kl
MS-89-12	31.57 bc	26.67 i-k	25.23 l	23.77 m	21.63 n
MS-90-15	30.37 c-e	29.34 ef	27.53 gh	23.33 m	20.22 o
NARIN	27.57 g-i	28.23 f-h	27.41 h-j	26.67 i-k	26.27 i-k
	Thousand grain weight (g)				
MS8913	43.91 g	43.61 h	38.61 k	31.51 q	27.23 u
MS9013	47.01 c	46.02 e	36.81 l	32.43 p	28.41 t
MS8912	46.91 c	45.51 f	34.81 m	31.42 q	26.33 v
MS9015	49.12 a	46.23 d	39.32 j	31.13 r	25.34 w
NARIN	48.21 b	43.31 i	34.51 n	33.21 o	29.22 S

Means followed by the same letters in each trait are not significantly different by LSD test at 1% probability level.

عملکرد زیستی ژنوتیپ MS-90-13 در شرایط غیرشور از سایر ژنوتیپ‌ها بیش‌تر بود (جدول ۶). این ژنوتیپ در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر دارای بیش‌ترین عملکرد زیستی بود و در شوری‌های ۵ و ۱۱ دسی‌زیمنس بر متر، با اختلاف غیرمعنی‌دار پس از ژنوتیپ MS-89-13 قرار گرفت، در حالی‌که در شوری ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر، رقم نارین دارای بالاترین عملکرد زیستی بود (جدول ۶). تحت شرایط شوری ۲، ۵ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر، ژنوتیپ MS-89-13 دارای بیش‌ترین شاخص برداشت بود، ولی در شوری ۱۱ دسی‌زیمنس بر متر رقم نارین و در شوری ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر، ژنوتیپ MS-89-13 از شاخص برداشت بیش‌تری برخوردار بود و ژنوتیپ MS-90-13 بعد از آن قرار داشت (جدول ۶).

تجزیه حد آستانه تحمل به شوری نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها در حد آستانه تحمل وجود داشت (شکل ۳). حد آستانه تحمل به شوری در ژنوتیپ‌های MS-89-13، MS-90-13، MS-90-15، نارین و MS-89-12 به‌ترتیب ۷/۴۱، ۶/۳۰، ۴/۹۲، ۴/۸۴ و ۴/۲۰ تعیین شد و از این‌رو می‌توان ژنوتیپ‌های MS-89-13 و MS-90-13 را نیمه‌متحمل و ژنوتیپ‌های MS-90-15، نارین و MS-89-12 را نیمه‌حساس در نظر گرفت. بنابراین، ژنوتیپ‌های MS-90-13 و MS-89-12 به‌ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین حد تحمل به شوری بودند، با این توضیح که شیب کاهش عملکرد در رقم نارین به‌طور قابل ملاحظه‌ای کم‌تر از سایر ژنوتیپ‌ها بود.

ویژگی‌های خاک

نتایج نشان داد که با افزایش شوری آب آبیاری، شوری عصاره اشباع خاک در عمق توسعه گیاه و در طول فصل رشد افزایش یافت (شکل ۴). بنابراین، می‌توان گفت که ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در طول فصل رشد تحت تاثیر تنش شوری قرار گرفتند، اگرچه در ابتدای فصل رشد تفاوت بین کرت‌های با شوری‌های مختلف چندان مشخص نبود، با این وجود در انتهای فصل تفاوت کاملاً مشخصی مشاهده شد. این روند در هر دو عمق، به‌ویژه در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری مشاهده شد. شوری عصاره اشباع نهایی خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر در کرت‌هایی که با سطوح شوری ۲، ۵، ۸، ۱۱ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر

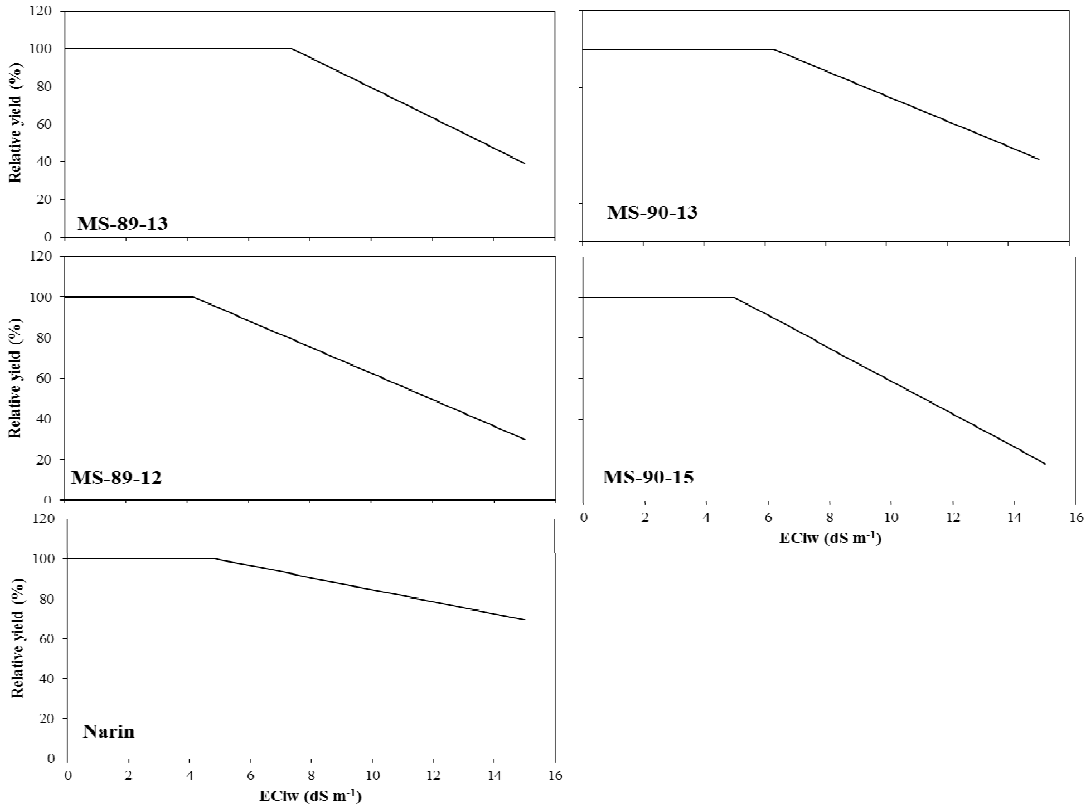
آبیاری شدند، به‌ترتیب برابر با ۲/۶، ۵/۴، ۸/۳، ۱۱/۱ و ۷/۵، ۱۲/۰ و ۱۵/۵ دسی‌زیمنس بر متر بود (شکل ۴). ۱۴/۴ و در عمق ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر برابر با ۲/۳، ۵/۲،

جدول ۶- تاثیر سطوح تنش شوری بر عملکرد ژنوتیپ‌های گندم در آزمایش مزرعه‌ای

Table 6. The effect of salinity stress levels on yield of wheat genotypes in field experiment

Genotypes	Salinity level (EC_e) ($dS.m^{-1}$)				
	2	5	8	11	14
	Grain yield ($ton.ha^{-1}$)				
MS-89-13	6.61 ab	6.62 ab	5.71 de	3.61 jk	2.42 m
MS-90-13	6.91 a	6.71 ab	5.92 d	3.96 ij	2.91 l
MS-89-12	6.62 ab	6.12 cd	4.61 h	3.61 j	1.91 n
MS-90-15	6.60 ab	6.41 bc	5.04 fg	2.81 l	1.51 n
NARIN	5.81 de	5.43 ef	4.96 g	4.23 hi	3.23 kl
	Biological yield ($ton.ha^{-1}$)				
MS-89-13	13.32 ab	13.32 ab	11.61 de	8.51 g	5.99 jk
MS-90-13	14.13 a	13.61 ab	12.23 cd	8.61 g	6.81 ij
MS-89-12	13.61 ab	12.91 bc	10.34 f	8.23 gh	5.52 k
MS-90-15	13.51 ab	12.91 bc	11.43 de	6.71 ij	3.81 l
NARIN	12.91 bc	11.82 de	11.34 e	8.52 g	7.53 hi
	Harvest index (%)				
MS-89-13	49.51 a	49.53 a	49.61 a	42.52 e-g	40.62 fg
MS-90-13	48.91 ab	49.62 a	47.91 a-d	45.81 a-e	42.71 e-g
MS-89-12	48.62 a-c	47.12 a-d	44.12 d-f	44.71 c-e	34.61 h
MS-90-15	48.98 ab	49.11 ab	44.13 d-f	42.23 e-g	39.43 g
NARIN	44.71 c-e	45.41 b-e	43.99 d-f	49.32 ab	43.01 e-g

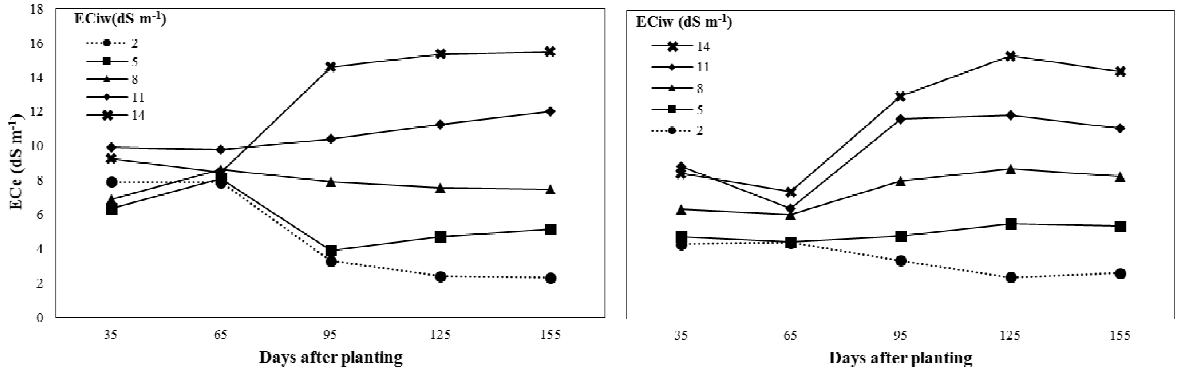
Means followed by the same letters in each trait are not significantly different by LSD test at 1% probability level.



شکل ۳- آستانه تحمل به شوری آب آبیاری (EC_{iw}) در ژنوتیپ‌های گندم مورد مطالعه در شرایط آزمایش مزرعه‌ای

Figure 3. Threshold of salinity tolerance of irrigation water (EC_{iw}) in the studied wheat genotypes under field experiment conditions

به این ترتیب، می‌توان گفت که شوری عصاره اشباع خاک در انتهای فصل در تیمارهای ۲، ۵، ۸، ۱۱ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب ۱/۲۴، ۱/۰۶، ۰/۹۹، ۱/۰۵ و ۱/۰۷ برابر شوری آب آبیاری بود. اندازه‌گیری متوسط شوری عصاره خاک مزرعه آزمایشی در طول فصل رشد نیز نشان داد که اگرچه شوری خاک در عمق‌های مختلف در ابتدای فصل رشد (۳۵ روز پس از کاشت)، متفاوت بود، با این‌حال در انتهای رشد (۱۵۵ روز پس از کاشت)، متوسط شوری خاک در دو عمق متفاوت تقریباً یکسان شد. میزان تجمع نمک در خاک برای شوری‌های آب آبیاری ۲، ۵ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک بیش‌تر بود، در حالی‌که در شوری‌های بالاتر (۱۱ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر)، عمق ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری تجمع نمک بیش‌تری داشت (شکل ۴).



شکل ۴- شوری عصاره اشباع خاک (EC_e) در عمق صفر تا ۳۰ (راست) و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری (چپ) تحت تاثیر شوری آب آبیاری (EC_{iw}) طی فصل رشد

Figure 4. Salinity of soil saturated extract (EC_e) in 0-30 cm (right) and 30-60 cm (left) as affected by salinity of irrigation water (EC_{iw}) during growing season

بحث

نتایج پژوهش‌های گلخانه‌ای و مزرعه‌ای نشان‌دهنده تاثیر منفی تنش شوری بر رشد و عملکرد ژنوتیپ‌های گندم بود. در آزمایش گلخانه‌های مشخص شد که تنش شوری ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر موجب کاهش ارتفاع بوته، سطح برگ، وزن تر و خشک شاخساره و طول و وزن خشک ریشه شد. درجات تحمل به شوری بین و داخل گونه‌ها ممکن است به‌دلیل معیارهایی که برای ارزیابی استفاده می‌شوند، متفاوت باشد. گیاهان زراعی به‌جز تعداد کمی از آن‌ها، بهترین رشد خود را در غلظت‌های پایین نمک در اطراف ریشه‌ها انجام می‌دهند. با این‌حال، برخی از گیاهان به‌خاطر استقرار در یک محل معین فقط می‌توانند از طریق تنظیم فعالیت‌های متابولیک و تغییر در ساختمان بافت‌ها و اندام‌های خود بر مشکل شوری فایق آیند. به‌عنوان مثال، گونه‌های بومی گیاهان، به مقادیر زیاد نمک سازگار شده‌اند و حتی برخی از گیاهان در اقیانوس‌ها، باتلاق‌های شور و بیابان‌های نیمه‌خشک رشد می‌کنند (Negrao *et al.*, 2017). ویژگی‌های مرتبط با رشد گیاه بایستی در کل دوره رشد مد نظر قرار گیرد، زیرا مراحل ویژهٔ حساس به شوری می‌تواند مشخص شود. به دلیل تفاوت در تحمل به شوری در مراحل مختلف رشد، بسیاری از محققین کل دورهٔ رشد گیاه را تحت شرایط تنش قرار می‌دهند (Shannon, 1999)، زیرا اگر یک سطح شوری در مراحل مختلف رشد اعمال شود، تعداد لاین‌های انتخاب شده در هر مرحله می‌تواند متفاوت باشد. برای برخی گونه‌ها، انتخاب در مراحل مختلف رشد سودمند است، زیرا در آن صورت می‌توان لاین‌های با تحمل متفاوت در مراحل مختلف رشد را با هم تلاقی داد و صفت مقاوت به شوری در تمام مراحل مختلف رشد را در یک رقم جمع کرد (Shannon, 1999). به دلیل ویژگی‌های رشدی متفاوت شاخساره و ریشه گیاهان مختلف از جمله گندم، واکنش آن‌ها نیز به تنش شوری متفاوت است. آیرز و همکاران (Ayers *et al.*, 1952) دریافتند که در گندم و جو، تولید دانه در مقایسه با وزن خشک شاخساره، کم‌تر تحت تاثیر شوری قرار می‌گیرد. این در حالی‌است که در شوری‌های کم، رشد ریشه کم‌تر تحت تاثیر قرار گرفت و حتی در برخی

مواقع، رشد ریشه در شرایط شوری در مقایسه با شاخساره تحریک نیز شد.

نتایج این مطالعه نشان داد که تنش شوری شاخص محتوای کلروفیل را فقط در ژنوتیپ MS-89-12 افزایش داد. تغییرات محتوای شاخص کلروفیل در شرایط تنش در این تحقیق با یافته‌های بریدمایر (Bredemeier, 2005)، مجیدیان و همکاران (Majidian *et al.*, 2008) و پیراسته انوشه و امام (Pirasteh-Anosheh and Emam, 2012) مطابقت داشت. بریدمایر (Bredemeier, 2005) گزارش داد که شاخص محتوای کلروفیل در شرایط تنش نسبت به شرایط مطلوب افزایش یافت و دلیل این افزایش را اثر بیش‌تر تنش بر تولید ماده خشک و توسعه برگ نسبت به اثر آن بر جذب نیتروژن دانست. بنابراین، غلظت نیتروژن در برگ‌های تحت تنش گندم بیش‌تر است و در نتیجه غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ، عدد بالاتری را نشان خواهد داد.

آزمایش مزرعه‌ای نیز نشان داد که تنش شوری در سطوح مختلف با کاهش معنی‌دار صفات مورفولوژیک مانند ارتفاع بوته و طول سنبله و اجزای عملکرد دانه شامل تعداد سنبلک بارور در سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه همراه بود که باعث کاهش قابل توجه عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده شد. شدت کاهش در رشد و عملکرد ژنوتیپ‌های گندم به‌طور قابل توجهی با شدت تنش شوری همبسته بود، به‌طوری‌که با افزایش شدت شوری از ۵ تا ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر، تاثیر منفی تنش بیش‌تر شد. تنش شوری در زمان تمایز سنبله، نمو سنبلچه‌ها را تسریع و به‌طور چشم‌گیری تعداد سنبلچه‌ها را در گندم کاهش می‌دهد (Maas and Hoffman, 1977). اما آنچه عملکرد گندم را به‌شدت متاثر می‌سازد، کاهش تعداد سنبله‌های بارور در اثر تنش شوری در منطقه ریشه است (Setter *et al.*, 2016). به‌طور کلی، در غلات بیش‌ترین تاثیر نمک در حین رشد رویشی و ابتدای مرحله زایشی، متوقف کردن تشکیل پنجه‌ها است. نتایج نشان می‌دهد که تنش شوری رشد اغلب پنجه‌های ثانویه را متوقف می‌سازد. به‌نظر می‌رسد که پنجه‌های اولیه روی اولین و دومین برگ، حساسیت کم‌تری به تنش شوری نشان می‌دهند. بنابراین، کاهش عملکرد دانه در گندم، بیش‌تر به‌دلیل کاهش در تعداد پنجه‌های تولید کننده دانه است و کم‌تر به کاهش تعداد دانه در سنبله بر می‌گردد (Maas, 1990). از طرف دیگر، گندم پس از مرحله غلاف رفتن به شوری متحمل می‌شود و به‌طور محسوسی در این مرحله حساس نیست. بیش‌تر مشکلات شوری در گیاهان در اثر ازدیاد کلرید سدیم ایجاد می‌شود. شوری زیاد ناشی از کلرید سدیم می‌تواند فشار اسمزی محلول خاک را از فشار اسمزی سلول‌های گیاهی بیش‌تر کند و در نتیجه جذب آب و عناصر کاهش یابد. همچنین برداشت و انتقال یون‌های غذایی مثل یون‌های پتاسیم و کلسیم توسط سدیم اضافی دچار اختلال می‌شود. علاوه بر آن، سطوح بالای سدیم و کلر، آثار سمی مستقیمی بر سیستم‌های غشایی و آنزیمی ایجاد می‌کند (Pirasteh-Anosheh *et al.*, 2016). گیاهان از طریق سیستم‌های ریشه خود در معرض شوری قرار دارند. حتی در شرایط شوری ملایم محیط ریشه، یون‌هایی مانند سدیم و کلر قادرند به سلول‌های ریشه وارد و باعث کاهش شیب جذب آب و عناصر شوند. بقا و موفقیت گیاهان تحت شرایط شوری، مستلزم انتقال آب از طریق ریشه، دارا بودن سیستم آوندی مناسب و سازوکارهای ترشح و انتقال عناصر غذایی به قسمت‌های هوایی گیاه و نیز تحمل به پلاسمولیز شدن است (Negrao *et al.*, 2017).

نتایج آزمایش گلخانه‌ای نشان داد که رقم نارین و پس از آن ژنوتیپ‌های MS-90-15 و MS-90-13 دارای کم‌ترین درصد کاهش صفات در اثر تنش شوری بودند و به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها در نظر گرفته شدند. نتایج آزمایش مزرعه‌ای نیز نشان داد که در شوری‌های کم‌تر از هشت دسی‌زیمنس بر متر، ژنوتیپ MS-89-13 دارای تحمل خوبی به تنش شوری بود، ولی وقتی شدت شوری افزایش یافت، رقم نارین و ژنوتیپ MS-90-13 تحمل بالاتری داشتند. این نتایج با نتایج گلخانه‌ای نیز مطابقت داشت. این واقعیت همچنان وجود دارد که پیشرفت‌های کمی در ارتباط با بهبود تحمل به شوری در گیاهان زراعی انجام شده است. تحمل به شوری یک ویژگی ژنتیکی پیچیده است که توسط تعداد زیادی ژن کنترل می‌شود، اگرچه تعدادی از این ژن‌ها شناسایی شده‌اند و می‌توانند در برنامه‌های اصلاحی و انتخاب استفاده شوند (Kingsbury and Epstein, 1984)، ولی فقدان اطلاعات در مورد اینکه چگونه عملکرد اغلب ژن‌ها توسط برخی از ژن‌های دیگر تحت تاثیر قرار می‌گیرد (و این خود می‌تواند بر مکانیزم تحمل به شوری تاثیر بگذارد)، همچنان وجود دارد. معیار مهم در انتخاب گیاهان زراعی، عملکرد متوسط و پایداری عملکرد در شرایط مختلف است.

تنوع زیادی بین ژنوتیپ‌های گندم وجود دارد و نمی‌توان یک ژنوتیپ گندم را به‌عنوان یک گیاه با تحمل کم‌تر در مقایسه با ژنوتیپ دیگر طبقه‌بندی کرد. احتمالاً تنوع وسیع‌تر داخل گونه‌ای از نظر تحمل به شوری وجود دارد که هنوز شناخته نشده است. شاید یک دلیل آن روش‌های اندازه‌گیری تحمل به شوری باشد که روش دقیقی برای تفکیک آثار تنش شوری از خشکی وجود ندارد. معمولاً کاهش اولیه در رشد گیاه بر اثر تنش شوری به‌دلیل اثر اسمزی است که شوری در محیط ریشه، باعث افزایش فشار اسمزی می‌شود. تاثیر شوری در مراحل بعدی رشد علاوه بر اثر اسمزی، به‌دلیل آثار سمی یون‌ها نیز می‌باشد. اینکه کدام رقم یا گیاه زراعی قادر باشد از رسیدن یک یون به حد سمیت آن جلوگیری کند، اساس تحمل به شوری آن‌را تشکیل می‌دهد. بنابراین، فهم ما از مکانیزم‌های فیزیولوژیک باید در جهت شناخت ویژگی‌هایی باشد که بتواند به‌عنوان روش‌های سریع و موثر در انتخاب ژنوتیپ‌ها تحت شرایط شور استفاده شود (Munns and Tester, 2008).

صرف‌نظر از بحث میزان تحمل ژنوتیپ‌ها، در شرایط شوری کم، ژنوتیپ MS-90-13 دارای عملکرد دانه و زیست‌توده بیش‌تری بود، ولی در شوری‌های بالا، رقم نارین و سپس ژنوتیپ MS-90-15 عملکرد بیش‌تری داشتند. تحمل بالا به تنش شوری در یک ژنوتیپ، الزاماً به معنی مناسب بودن آن ژنوتیپ برای کشت و کار در مناطق شور نیست، اگرچه گاهی این اتفاق در یک رقم مشاهده می‌شود. ریچاردز (Richards, 1995) نشان داد که به‌خاطر غیریکنواخت بودن خاک‌های شور بهتر است انتخاب بر اساس تولید (و نه بر اساس تحمل به شوری) انجام شود. وقتی همبستگی ژنتیکی برای عملکرد در محیط‌های مختلف منفی است و واریانس ژنتیکی در شرایط تنش کم‌تر از شرایط بدون تنش است، انتخاب بر اساس تولید، عملکردها را در هر دو محیط افزایش می‌دهد (Rosielli and Hambline, 1981). از طرف دیگر، اگر نشان داده شود که این امکان جهت انتخاب برخی لاین‌ها تحت یک تنش ویژه وجود دارد و برای مثال واریانس ژنتیکی در شرایط تنش نسبت به شرایط طبیعی خیلی زیاد است، تحمل ممکن است بدون اینکه با کاهش عملکرد در شرایط طبیعی همراه باشد، بهبود یابد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش در دو بخش آزمایش گلخانه‌ای و مزرعه‌ای نشان داد که تنش شوری با توجه به شدت تنش، با کاهش رشد و اجزای عملکرد موجب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه شد. بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نیز تفاوت معنی‌داری از نظر تحمل به شوری مشاهده شد، به‌طوری که در آزمایش گلخانه‌ای، رقم نارین و سپس ژنوتیپ‌های MS-90-15 و MS-90-13 متحمل به شوری بودند، اما در آزمایش مزرعه‌ای، در شوری‌های کم ژنوتیپ MS-89-13 و در شوری‌های بالا (مشابه آزمایش گلخانه‌ای) رقم نارین و ژنوتیپ MS-90-13 تحمل بالایی به شوری نشان دادند. حد آستانه تحمل به شوری برای ژنوتیپ‌های MS-89-13، MS-90-13، MS-90-15، نارین و MS-89-12 به‌ترتیب برابر با ۷/۴۱، ۶/۳۰، ۴/۹۲، ۴/۸۴ و ۴/۲۰ برآورد شد و شیب کاهش عملکرد در رقم نارین به‌طور قابل ملاحظه‌ای کم‌تر از سایر ژنوتیپ‌ها بود. نتایج نشان داد که الزاماً ژنوتیپ‌های متحمل دارای عملکرد بالاتری در شرایط شور نبودند، به‌طوری‌که در سطوح کم‌تر شوری، ژنوتیپ MS-90-13 و در سطوح بالاتر شوری، رقم نارین و پس از آن ژنوتیپ MS-90-15 دارای عملکرد بهتری بودند. بنابراین، هر یک از این ژنوتیپ‌ها با رعایت ملاحظات زراعی و اقلیمی مربوطه نظیر شرایط شوری و اسیدیته خاک، نیاز آبشویی، مدیریت صحیح آبیاری (زمان، مقدار و روش مناسب)، شرایط آب و هوایی منطقه و فاکتورهای زراعی قابل توصیه هستند.

References

Amini Sefidab, A., Akbari Mogadam, H., Saberi, M., Tabatabaee, S. M., Afuni, D., Ravari, Z., Mohammadi, A., Afshari, F., Zakeri, A., Atahosseini, M., Akbari, A. and Hajiakhondi Meibidi, H. 2017. Narin, a new irrigated bread wheat cultivar, high grain yield, adapted to temperate and warm climate zones with salinity of soil and water. **Research Achievements for Field and Horticulture Crops** 6 (2): 135-147. (In Persian with English Abstract).

Ahmadi, K., Gholizadeh, H., Ebadzade, H. R., Hosseinpor, R. Abdeshah, H., Kazemian, A. and Rafeiei, M. 2017. Agricultural statistics, Vol 1: Field crops. The Ministry of Agriculture, Tehran, Iran. (In Persian).

Anagholi, A. and Tabatabaei, S. A. 2010. Determination of salinity tolerance threshold of barley cultivars. Final Report of Research Project, No. 89-796. AREEO Press. (In Persian).

Ayers, A. D., Brown, J. W. and Wadleigh, L. 1952. Salt tolerance of barley and Wheat in soil plots receiving several stalinization regimes. **Agronomy Journal** 44: 307-310.

Bredemeier, C. 2005. Laser-induced chlorophyll fluorescence sensing as a tool for site-specific nitrogen fertilizer evaluation under controlled environmental and field conditions in wheat and maize. Ph. D. Dissertation, Technical University of Munich, Germany.

FAO. 2019. Statistical data. Food and Agriculture Organization. Retrieved October 1, 2019, from www.faostat.org.

Francois, L. E., Maas, E. V., Donovan, T. J. and Youngs, V. L. 1986. Effect of salinity on grain yield and quality, vegetative growth, and germination of semi-dwarf and durum wheat. **Agronomy Journal** 78: 1053-1058.

Kingsbury, R. W. and Epstein, E. 1984. Selection for salt-resistant spring wheat. **Crop Science** 24: 310-315.

Maas, E. V. 1990. Crop salt tolerance. In: Tanji, K. K. (Ed.). Agricultural salinity assessment and management. ASCE Publication. pp: 262-303.

Maas, E. V. and Hoffman, G. J. 1977. Crop salt tolerance: Current assessment. **Journal of Irrigation and Drainage Division** 103: 115-134.

Majidian, M., Ghalavand, A., Kamgar-Haghighi, A. A. and Karimian, N. 2008. Effect of drought stress, nitrogen fertilization and biofertilizer on SPAD index, grain yield and yield components of maize SC704. **Crop Science** 10: 303-330.

Munns, R. and Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review in Plant Biology** 59: 651-681.

Negrao, S., Schmöckel, S. M. and Tester, M. 2017. Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. **Annals of Botany** 119: 1-11.

Pirasteh-Anosheh, H. and Emam, Y. 2012. Manipulation of morpho-physiological traits in bread and durum wheat by using PGRs at different water regimes. **Journal of Crop Production and Processing** 5: 29-45. (In Persian with English Abstract).

Pirasteh-Anosheh, H., Ranjbar, G., Pakniyat, H. and Emam, Y. 2016. Physiological mechanisms of salt stress tolerance in plants: An overview. In: Azooz, M. M. and Ahmad, P. (Eds.). Plant-environment interaction: Responses and approaches to mitigate stress. John Wiley, London. pp: 141-160.

Ranjbar, G. and Banakar, M. H. 2010. Salt tolerance threshold of four commercial wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. **Soil Research Journal** 24: 237-242. (In Persian with English Abstract).

Ranjbar. G. and Pirasteh-Anosheh, H. 2015. A glance to the salinity research in Iran with emphasis on improvement of field crops production. **Iranian Journal of Crop Sciences** 17 (2): 165 -178. (In Persian with English Abstract).

Richards, R. A. 1995. Improving crop production on salt affected soils: By breeding or management? **Experimental Agriculture** 31: 395-408.

Rosielli, A. A. and Hambline, J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. **Crop Science** 21: 943- 946.

Setter, T. L., Waters, I., Stefanova, K., Munns, R. and Barrett-Lennard, E. G. 2016. Salt tolerance, date of flowering and rain affect the productivity of wheat and barley on rainfed saline land. **Field Crops Research** 194: 31-42.

Shannon, M. C. 1999. Adaptation of plant to salinity. USDA, USSL, Reverside, California 92507.

Siadat, H., Bybordi, M. and Malakouti, M. J. 1997. Salt-affected soils of Iran: A country report. International Symposium on Sustainable Management of Salt Affected Soils in the Arid Ecosystem. Sep. 22-26, 1997, Cairo, Egypt.

Steppuhn, H. and Wall, K. J. 1997. Grain yields from spring-sown Canadian wheats grown in saline rooting media. **Canadian Journal of Plant Science** 77: 63-68.

Van Genuchtan, M. Th. and Hoffman, G. J. 1984. Analysis of crop salt tolerance data. Soil salinity under irrigation: Process and management. **Ecological Studies** 51: 258-271.

University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

doi: 10.22124/cr.2019.14592.1522

Cereal Research
Vol. 9, No. 3, Autumn 2019 (235-248)

Determining threshold salinity tolerance of wheat promising lines under greenhouse and field conditions

Mehdi Shiran Tafti[1], Hadi Pirasteh-Anosheh[2*] and Ashkboos Amini Sefidab[3]

Received: August 31, 2019 Accepted: November 10, 2019

Abstract

This research was conducted to compare the salinity tolerance of wheat promising lines during 2015-2017. The greenhouse experiment was carried out at Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran, and the field experiment was conducted at National Salinity Research Center, Yazd, Iran. The treatments in greenhouse experiment were irrigation water salinity at two levels (2 and 14 $dS.m^{-1}$) and five wheat genotypes (MS-89-13, MS-89-12, MS-90-13, MS-90-15 and Narin as check, and in the field experiment including salinity of irrigation water at five levels (2, 5, 8, 11 and 14 $dS.m^{-1}$) and the same five wheat genotypes mentioned above. The results of greenhouse experiment showed that salinity stress of 14 $dS.m^{-1}$ significantly decreased plant height, leaf area, shoot fresh and dry weight and root length and dry weight in all genotypes and increased chlorophyll index only in MS-89-12 genotype. Narin as well as MS-90-15 and MS-90-13 genotypes with the lowest reduction percentage due to salinity stress were determined as the most tolerant genotypes. The results of field experiment also indicated that salinity stress, depending on its severity, significantly reduced plant height, ear length, fertile spikelet number in ear, grain number per spike and thousand grain weight, which led to considerable decrease in grain and biological yield. Under control conditions (2 $dS.m^{-1}$), the highest and lowest grain yield were obtained from MS-90-13 and Narin (6.91 and 5.81 $t.ha^{-1}$, respectively), and under 14 $dS.m^{-1}$ salinity conditions, Narin and MS-90-15 genotypes had the highest and lowest grain yield (3.23 and 1.51 $t.ha^{-1}$, respectively). The threshold levels of salinity tolerance for MS-89-13, MS-90-13, MS-90-15, Narin and Ms-89-12 were evaluated to be 7.41, 6.30, 4.92, 4.84 and 4.20 $dS.m^{-1}$, respectively. The results showed that MS-89-13 had the higher salinity tolerance at salinity of less than 8 $dS.m^{-1}$, but at higher salinity levels, Narin and MS-90-13 genotypes similar to greenhouse experiment were more tolerant than the other genotypes. According to the relatively similar results of greenhouse and field experiments, MS-90-13 line for lower salinity levels and Narin variety and MS-90-15 line for higher salinity levels were the more suitable genotypes, which could be recommended with due to considerations.

Keywords: Grain yield, Irrigation water salinity, Seedling, Soil salinity

1. Researcher, National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran
2. Research Assist. Prof., National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran
3. Research Assist. Prof., Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
* Corresponding author: h.pirasteh.a@gmail.com