خصوصیات ریشه، نسبت سدیم به پتاسیم و عملکرد دانه هفت ژنوتیپ گندم در شرایط تنش شوری

سپیده سادات جمالی[۱]، اعظم برزوئی[۲*] و فرزاد پاکنژاد[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۵/۱۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۸/۶)

چکیده

به منظور بررسی تأثیر شوری آب آبیاری بر ویژگی‌های ریشه و چگونگی جذب عناصر سدیم و پتاسیم در ارقام گندم، آزمایشی گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی و با سه تکرار انجام گرفت. فاکتور اول هفت رقم گندم شامل قدس، مرودشت و بهار (حساس به شوری) و ارگ، بم، سیستانی و Singh-2 (مقاوم به شوری) و فاکتور دوم سه سطح شوری آب آبیاری (۱/۳، ۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر) در نظر گرفته شدند. در این مطالعه، تأثیر تنش شوری بر تغییرات صفاتی مانند وزن خشک ریشه، نسبت ریشه به اندام هوایی، حجم و طول ریشه، نسبت Na^+/K^+ و عملکرد دانه بررسی شد. نتایج نشان داد که با افزایش شوری، نسبت $Na^+:K^+$ افزایش معنی‌داری یافت، سایر صفات مورد بررسی کاهش معنی‌داری داشتند و شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر بیشترین تأثیر منفی را ایجاد نمود. میانگین صفات اندازه‌گیری شده برتری ارقام ارگ، بم، سیستانی و رقم بین‌المللی Singh-2 را در مقایسه با سه رقم دیگر نشان داد. همچنین، در تمامی صفات بررسی شده، بیشترین درصد کاهش در شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شاهد، مربوط به رقم مرودشت بود که بیانگر حساسیت بیشتر این رقم می‌باشد. بنابراین، برتری قابل توجه برخی از خصوصیات ریشه و نسبت Na^+/K^+ در ارقام مقاوم به شوری، می‌تواند بر کاربردی بودن این صفات در ارزیابی‌های مقاومت به شوری گندم تأکید کند

واژه‌های کلیدی: طول و حجم ریشه، وزن خشک ریشه، نسبت ریشه به اندام هوایی

مقدمه

شوری زیاد خاک از جمله عوامل محدود کننده عملکرد محصولات در سرتاسر جهان به شمار می‌رود. این مسئله، بخصوص در مناطق نیمه‌خشک، به عنوان یکی از اساسی‌ترین مشکلات در بخش کشاورزی بیان شده است (۲۱). در این میان، ایران نیز با دارا بودن اقلیم گرم و خشک از این امر مستثنی نیست، به‌نحوی که بیش از نیمی از زمین‌های قابل کشت آن (در حدود ۲۷ میلیون هکتار) از خاک‌های شور و سدیمی تشکیل شده است (۱۶).

تنش شوری بر کلیه جنبه‌های رشد و نمو گیاه، به میزان مساوی اثر نمی‌گذارد؛ بلکه می‌تواند با توجه به شدت تنش، نوع تنش، میزان مقاومت گیاه، مراحل مختلف رشد، نوع بافت و اندام گیاهی (سیر تکاملی) متفاوت باشد (۴ و ۱۷). در این میان، یکی از مهمترین سازوکارهایی که بقا و موفقیت گیاهان را در شرایط تنش شوری تضمین می‌نماید، داشتن سیستم ریشه‌ای کارآمد جهت انتقال بهتر آب از طریق ریشه و سیستم آوندی مناسب با دارا بودن سازوکارهای ترشح و انتقال عناصرغذایی به قسمت‌های هوایی گیاه و همچنین تحمل به پسابیدگی (خروج آب از سلول و کاهش آماس، Desiccation) می‌باشد (۳ و ۱۰).

۱. دانشگاه آزاد اسلامی- دانشکده کشاورزی، واحد کرج

۲. پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون و هسته‌ای.

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: aborzouei@nrcam.org

ریشه، اولین و تنها اندامی از گیاه است که در تماس مستقیم با محیط شور می‌باشد. لذا، تغییرات آناتومیک و سازگاری‌های این اندام می‌تواند نقش مهمی در تعیین مقاومت به شوری بر عهده داشته باشد. ریشه می‌تواند نقش تنظیم‌کننده در ورود یون‌ها به داخل سیستم آوندی ایفا کند و به‌عنوان اولین مانع، سد راه ورود یون‌ها به داخل گیاه باشد (۲۴). یکی از اثرهای تنش شوری بر ریشه، رسوب مواد لیگنینی روی عناصر آوندی می‌باشد. چنین تأثیری با افزایش سنتز پروتئین‌های مؤثر در این مسیر، در شرایط تنش خشکی نیز دیده شده است (۲۳). گزارش شده (۱۵) که سیستم ریشه‌ای وسیع، با تحمل به شوری گیاه همبستگی مثبت دارد. نوساناتی از نظر تعداد ریشه، طول ریشه و سرعت رشد آن در گونه‌های مختلف گیاهی مشاهده شده است که این صفات باعث ایجاد تفاوت‌هایی در ویژگی‌های گیاه، از جمله تحمل به تنش‌های خشکی، غرقاب، شوری و زودرسی گیاه شده‌اند (۳).

برزوئی و همکاران (۵) با مطالعه تأثیر شوری آب آبیاری بر صفات ریشه دو رقم حساس و مقاوم به شوری گندم و ارتباط آن با عملکرد دانه در شرایط گلخانه، بیان داشتند که رقم مقاوم به شوری بم که از وزن خشک ریشه بیشتری برخوردار بود، بیشترین عملکرد دانه را نیز در شرایط تنش و عدم تنش به خود اختصاص داد. همچنین، ایشان خاطر نشان نمودند که به طور کلی، ارقام مقاوم به خشکی و شوری، نسبت به ارقام حساس، از ریشه‌های حجیم‌تر، طویل‌تر و نسبت بزرگتر ریشه به اندام هوایی (R/S) برخوردار می‌باشند. ارچنگی و همکاران (۲) نیز اظهار داشتند که شوری، رشد رویشی و زایشی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و افزایش سطح شوری باعث کاهش معنی‌دار وزن تر و خشک ریشه و ساقه، میزان کلسیم و پتاسیم و افزایش میزان سدیم در اندام هوایی و ریشه گیاه می‌گردد.

نتایج تحقیقات مختلف نشان داده که دفع سدیم و تفاوت در جذب عناصر غذایی سدیم و پتاسیم از ریشه‌ها و حبس سدیم در واکوئل از جمله سازوکارهای مهمی است که در بررسی تحمل به شوری محصولات زراعی، از جمله گندم، مطالعه شده است (۲، ۴ و ۲۵). نسبت زیاد سدیم به پتاسیم در سیتوزول جهت عملکرد طبیعی سلول در گیاهان ضروری شناخته شده است. بر این اساس، بیان شده که وجود سیستم کارآمدتری جهت جذب انتخابی پتاسیم در مقابل سدیم با افزایش تحمل به شوری در گیاهان پیوسته است (۲۶). بنابراین، با توجه به اینکه اطلاعات مربوط به واکنش ریشه‌ها در حضور تنش‌های مختلف محیطی و چگونگی تأثیر آنها بر فرایندهای رشد و نمو ریشه محدود است، لذا بررسی دقیق روابط موجود بین برخی از صفات ریشه از جمله وزن خشک ریشه، طول و حجم ریشه و میزان انباشت یون‌های سدیم و پتاسیم با عملکرد دانه لازم و ضروری به نظر می‌رسد.

مطالعه حاضر با هدف مطالعه صفات ریشه و چگونگی تغییرات آنها در تعدادی از ارقام استاندارد گندم، تحت شرایط تنش شوری، طراحی گردید تا چگونگی رفتار و روند تغییرات صفات مذکور در گزینش ارقام متحمل و حساس به شوری گندم بررسی شود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در شرایط کنترل شده و در گلخانه تحقیقاتی پژوهشکده کشاورزی، پزشکی و صنعتی کرج اجرا شد. تیمارهای مورد بررسی، هفت رقم گندم هگزاپلوئید (*Triticum aestivum* L.) شامل: قدس، مرودشت و بهار (حساس به شوری) و ارگ، بم، سیستانی و رقم بین‌المللی Singh-2 (مقاوم به شوری) و سه سطح شوری آب آبیاری [آب آبیاری با EC=۱/۳ دسی‌زیمنس بر متر (به عنوان شاهد) و سطوح شوری ۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر] در نظر گرفته شدند. ارقام بر حسب ثبات عملکرد دانه در شرایط تنش شوری و عدم تنش، به توصیه مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج انتخاب شدند. به منظور انتخاب خاک مناسب جهت کشت گلخانه‌ای، نمونه‌هایی از خاک مزرعه پژوهشکده انتخاب شد و آزمایش‌های اولیه جهت تعیین بافت خاک، EC، pH و اندازه‌گیری نیتروژن کل خاک صورت پذیرفت. از چهار نوع بافت خاک به‌دست آمده، نمونه‌ای که دارای بافت سبک‌تر بود، انتخاب شد تا از این طریق از تجمع نمک در محیط اطراف

جدول ۱. برخی ویژگی‌های خاک مورد استفاده در این مطالعه

بافت خاک	EC (dS/m)	pH	سیلت (٪)	رس (٪)	شن (٪)	فسفر قابل دسترس (mg/kg)	پتاسیم قابل دسترس (mg/kg)	نیتروژن (٪)
لوم	۱/۰۱۴	۸/۴۸	۲۹	۲۲	۴۹	۴۰	۲۶۶۴	۰/۰۴۱

ریشه جلوگیری شود و سپس جهت تجزیه NPK و همچنین تعیین میزان رطوبت در حالت ظرفیت زراعی به آزمایشگاه خاک‌شناسی مؤسسه خاک و آب منتقل گردید. نتایج تجزیه خاک در جدول ۱ ارائه شده است. کود پایه سوپرفسفات بر مبنای نتایج آزمون خاک تعیین و با توجه به میزان خاک موجود در هر گلدان، اضافه شد. کوددهی نیتروژن نیز در سه نوبت (زمان کاشت، پنجه‌زنی و ساقه رفتن) انجام گرفت. واحدهای آزمایش شامل گلدان‌هایی به قطر دهانه ۲۳ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر و گنجایش چهار کیلوگرم خاک بودند. با در نظر گرفتن نسبت مولی ۱۰ به ۱ از دو نوع نمک NaCl و $CaCl_2$ جهت تهیه محلول‌های شوری با هدایت الکتریکی (EC) ۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر استفاده شد. به‌منظور تعیین میزان نمک لازم در هر تیمار، ابتدا منحنی استاندارد هر یک از نمک‌ها (NaCl و $CaCl_2$) به‌طور جداگانه رسم گردید و سپس بر اساس معادله به‌دست آمده، میزان هر یک از نمک‌ها محاسبه شد. برای ایجاد زهکش مناسب و جلوگیری از تجمع نمک در گلدان‌ها، سه سوراخ در ته هر کدام از گلدان‌ها تعبیه شد و ته هر گلدان به ارتفاع سه سانتی‌متر سنگریزه ریخته شد.

بذرهای ارقام گندم پس از ضدعفونی با هیپوکلرید سدیم ۱۰٪ و شستشو با آب مقطر، به تعداد ۱۰ بذر از هر رقم، در گلدان‌ها کاشته شدند. گلدان‌ها تا مرحله ۴-۶ برگی، تا رسیدن به ظرفیت زراعی، با آب معمولی آبیاری شدند. سپس، اعمال تیمارهای شوری آغاز گردید، به نحوی که در نوبت اول آبیاری، کلیه گلدان‌ها، بجز سطح شاهد، با محلول ۵ دسی‌زیمنس بر متر شوری آبیاری شدند. در نوبت‌های بعدی، این مقادیر افزایش یافت و درنهایت سطح شوری مورد نظر بعد از گذشت یک هفته لحاظ گردید. در طول اجرای آزمایش، مقدار آب آبیاری برای هر گلدان ۱۵٪ بیشتر از نیاز آبی گیاه درنظر گرفته شد تا با اعمال این مقدار آبشویی، شوری عصاره اشباع خاک حتی‌الامکان به شوری آب آبیاری نزدیک‌تر شود. همچنین، جهت کنترل شوری و EC در خاک، تعداد ۱۲ عدد تانسیونیک به‌طور تصادفی در داخل گلدان‌ها قرار گرفت و EC عصاره اشباع خاک در طول فصل رشد از تانسیونیک‌ها جمع‌آوری و اندازه‌گیری شد. میانگین نتایج نشان داد که با توجه به اینکه گلدان‌ها ۱۵٪ بیشتر از ظرفیت زراعی آبیاری گردیدند، EC عصاره اشباع خاک در تیمارهای مختلف شوری و در انتهای فصل رشد تحت کنترل بود، به نحوی که EC عصاره اشباع خاک گلدان‌هایی که با تیمارهای ۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر آبیاری شده بودند، توسط تانسیومتر به ترتیب ۷/۰۴ و ۱۲/۱ قرائت گردید. اعمال تیمارهای شوری تا پایان مرحله رسیدگی با نسبت‌های ذکر شده ادامه داشت.

به‌منظور اندازه‌گیری صفات مربوط به ریشه، ۱۰ روز پس از گرده‌افشانی (۷۵ روز پس از کاشت)، اندام هوایی و ریشه‌ها تفکیک شدند. تغییرات صفاتی مانند وزن خشک ریشه، وزن خشک ساقه، نسبت ریشه به اندام هوایی وحجم و طول ریشه بررسی شد. حجم ریشه نیز از طریق تفاضل حجم اولیه آب موجود قبل و بعد از غوطه‌ور نمودن در مزور محاسبه گردید. جهت اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون و در دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک شدند. جهت اندازه‌گیری عناصر سدیم و پتاسیم، نمونه‌هایی به صورت تصادفی از ساقه و دانه هر تیمار در هر یک از سه تکرار انتخاب، آسیاب و با روش خاکسترگیری خشک استخراج شدند (۱۳). سپس، مقادیر سدیم و پتاسیم توسط دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری شد. همچنین، به منظور بررسی عملکرد دانه، سری دوم از گلدان‌هایی که در مرحله گرده‌افشانی تخریب نشدند، در مرحله برداشت جمع‌آوری و اندازه‌گیری شدند. در نهایت، داده‌ها با برنامه MSTATC تجزیه شده و مقایسات میانگین با

جدول ۲. میانگین مربعات صفات ارزیابی شده ارقام مختلف گندم تحت تیمارهای مختلف شوری

منبع تغییر	درجه آزادی	طول ریشه	حجم ریشه	وزن خشک ریشه	نسبت ریشه به ساقه	نسبت سدیم به پتاسیم	عملکرد دانه
رقم	۶	۱۵۸/۶۴**	۷/۵۲**	۰/۱۹۶**	۰/۸۶**	۰/۸۶**	۷۹/۸۳**
شوری	۲	۱۵/۳۷ ^{ns}	۴/۷۴*	۰/۰۹**	۰/۱۹*	۰/۱۹*	۴۰/۱۱*
رقم × شوری	۱۲	۲۱/۷۰ ^{ns}	۱/۶۱*	۰/۰۱*	۰/۰۹ ^{ns}	۰/۰۹ ^{ns}	۳۹/۵۹^{ns}
خطا		۱۱/۷۱	۱/۱۰۷	۰/۰۱۱	۰/۰۹	۰/۰۹	۱۴/۰۴

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح ۱٪ و ۵٪ و بدون اختلاف معنی‌دار

جدول ۳. مقایسه میانگین اثرهای اصلی تیمارهای شوری و ارقام گندم بر میانگین صفات ریشه، نسبت سدیم و پتاسیم و عملکرد

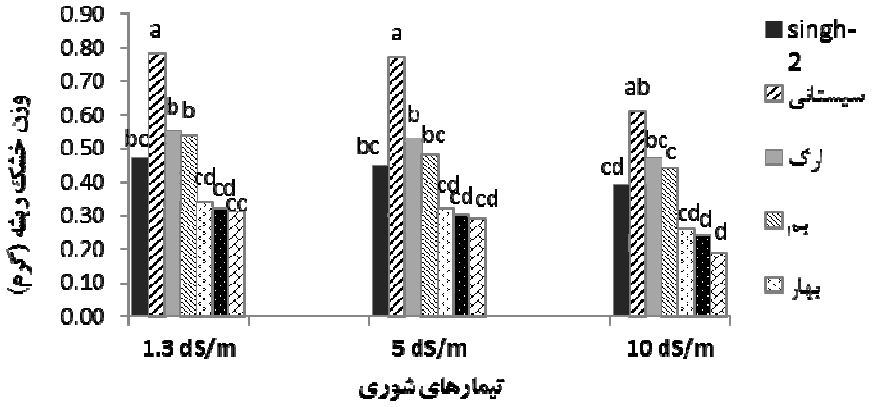
تیمار	وزن خشک ریشه (گرم)	طول ریشه (سانتی‌متر)	حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب)	نسبت ریشه به ساقه	نسبت سدیم به پتاسیم	عملکرد دانه (گرم در گلدان)
رقم						
Singh-2	۰/۵۰ b	۱۹/۰۳ b	۳/۵ab	۰/۳۲ b	۰/۲۹ c	۴۳/۹۱ c
سیستانی	۰/۶۲ a	۲۴/۳۰ a	۴/۷۵ a	۰/۴۱ a	۰/۱۸ c	۵۱/۲۸ ab
ارگ	۰/۶۱ a	۲۴/۶۴ a	۴/۳۶ ab	۰/۳۹ ab	۰/۲۲ c	۴۸/۳۳ b
بم	۰/۵۸ a	۲۳/۷۶ a	۳/۶۵ ab	۰/۳۵ b	۰/۲۳ c	۵۳/۰۱ a
قدس	۰/۳۳ c	۱۷/۰۲ bc	۳/۲۷ bc	۰/۲۹ c	۰/۸۲ b	۳۲/۵۹ d
بهار	۰/۳۲ c	۱۷/۹۳ bc	۳/۰۲ c	۰/۲۷ d	۰/۹۴ ab	۳۵/۴۹ d
مرودشت	۰/۲۷ c	۱۳/۸۷ c	۱/۹۴ d	۰/۲۵ e	۱/۲ a	۲۷/۲۵ e
سطح شوری (dS/m)						
شاهد	۰/۴۹ a	۲۰/۹۹ a	۴/۰۴ a	۰/۴۰ a	۰/۴۶ b	۴۶/۶۹ a
۵	۰/۴۱ ab	۱۹/۹۰ a	۳/۲۸ b	۰/۳۳ ab	۰/۵۲ a	۴۰/۶۵ b
۱۰	۰/۳۶ b	۱۹/۲۹ a	۳/۱۷ b	۰/۳۰ b	۰/۶۹ a	۳۷/۷۳ c

در هر ستون، میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ آزمون دانکن ندارند.

آزمون چنددامنه ای دانکن در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ انجام شد. نمودارها توسط نرم‌افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که رقم و شوری تأثیر معنی‌داری (P≤۰/۰۱) بر وزن خشک ریشه داشتند (جدول ۲)، به نحوی که با افزایش شوری آب آبیاری، وزن خشک ریشه کاهش یافت. کاهش وزن خشک ریشه در شوری ۱۰ dS/m نسبت به شاهد ۲۶/۵٪ مشاهده شد، که به لحاظ آماری معنی‌دار بود (جدول ۳). کاهش وزن خشک ریشه در شرایط تنش شوری توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (۱، ۳ و ۵). براساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها، ارقام مرودشت و سیستانی به ترتیب کمترین و بیشترین وزن خشک ریشه را به‌خود اختصاص دادند (جدول ۳). لازم به ذکر است که وزن خشک ریشه در رقم سیستانی با ارقام ارگ و بم اختلاف معنی‌دار نداشت و رقم مرودشت نیز با ارقام قدس و بهار در



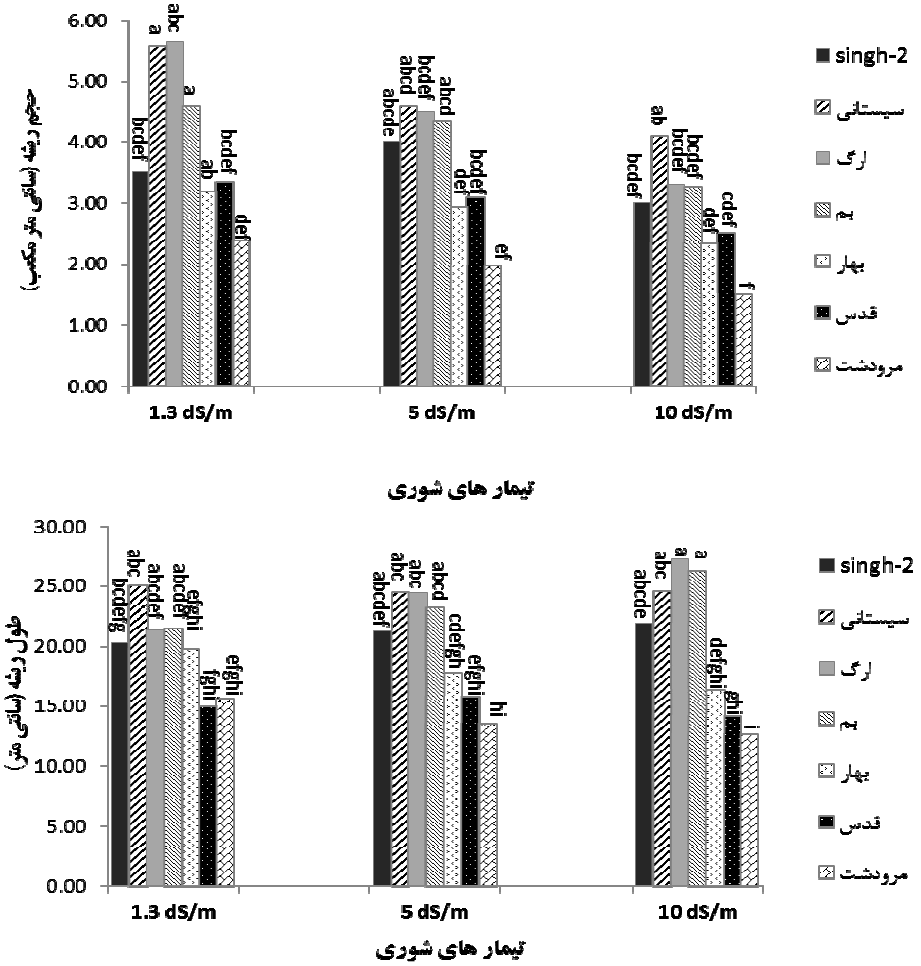
شکل ۱. تأثیر سطوح مختلف شوری بر وزن خشک ریشه در ارقام گندم

یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۳). اما میانگین وزن خشک ریشه در رقم بین‌المللی Singh-2 برابر ۰/۵ گرم بود که در گروه مابین ارقام حساس و مقاوم قرار گرفت (جدول ۳).

با بررسی اثر متقابل رقم و شوری مشخص شد که بیشترین میزان درصد کاهش وزن خشک ریشه در بیشترین سطح شوری، در مقایسه با شاهد، به‌ترتیب در ارقام مرودشت (۳۸/۷٪)، قدس (۲۵٪) و بهار (۲۳/۵٪) ملاحظه شد (شکل ۱). در رقم بین‌المللی Singh-2 نیز کاهش وزن خشک ریشه در شوری‌های ۵ و ۱۰ در مقایسه با شاهد به ترتیب ۴٪ و ۱۷٪ بود. برزوئی و همکاران (۵) با مطالعه تأثیر شوری بر ویژگی‌های ریشه دو رقم گندم، کاهش یافتن وزن خشک ریشه در شوری‌های زیاد را به اختصاص کربن تولید شده به‌سایر مسیرهای متابولیک مؤثر در تحمل به تنش مربوط دانستند. ایشان همچنین خاطر نشان کردند که در زمان شروع تنش شوری و خشکی، گسترش برگ متوقف می‌شود، در حالی که جذب کربن همچنان در حدود نزدیک به مقادیر طبیعی باقی می‌ماند و در چنین شرایطی کربن اضافی تولید شده ممکن است ذخیره شده و برای تنظیم اسمزی به کار رود، یا آنکه به رشد ریشه اختصاص یابد (۵). محمد و همکاران (۲۰) نیز گزارش نمودند که متناسب کردن توزیع و تجمع ماده خشک در بین ریشه و بخش هوایی در جهت بهبود توانایی سازگاری گیاهان به تنش خشکی و شوری مفید است.

نسبت ریشه به ساقه

با وجود اختلاف معنی‌دار بین ارقام ($P\leq$۰/۰۱) و سطوح مختلف شوری ($P\leq$۰/۰۵)، اثر متقابل رقم و شوری بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۲). بررسی نتایج حاصل از تأثیر سطوح مختلف شوری بر این نسبت نشان داد که با افزایش شوری، نسبت ریشه به ساقه کاهش یافت. کاهش این نسبت حاکی از آن است که اختصاص مواد فتوسنتزی به ریشه کمتر از اندام هوایی بوده است (۱۴). کمتر شدن وزن خشک ریشه این موضوع را تأیید می‌کند (جدول ۲). براساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها، ارقام سیستانی و ارگ، بدون اختلاف معنی‌دار، بیشترین و رقم مرودشت کمترین نسبت ریشه به ساقه را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). اکبری و همکاران (۳) گزارش نموده‌اند که نسبت بزرگ‌تر ریشه به اندام هوایی توانایی گیاه را برای افزایش تحمل به شوری و خشکی بهبود می‌بخشد. همچنین، شلدان و همکاران (۲۴) با مطالعه نسبت وزن ریشه به شاخساره در جو نشان دادند که در واریته‌هایی که نسبت به گرما و خشکی مقاومند، میزان وزن خشک ریشه به وزن شاخساره بوته بیشتر از ارقام غیر مقاوم است. احمدی و همکاران (۱) نیز با مطالعه ژنتیکی خصوصیات ریشه گندم گزارش نمودند که تفاوت بین واریته‌ها از نظر نسبت ریشه به ساقه (R/S) بسیار معنی‌دار بود و این تفاوت در مراحل ابتدا و انتهای رشد و نمو ثابت باقی مانده است. یعنی ارقامی که در مرحله پنجه زدن ریشه بیشتری ایجاد نمودند، این نسبت را در مرحله پر شدن دانه‌ها



شکل ۲. تأثیر سطوح مختلف شوری بر حجم و طول ریشه در ارقام گندم

نیز حفظ کرده‌اند. لذا، اغلب متخصصین فیزیولوژی گیاهی، این نسبت را به عنوان یک معیار مناسب برای گزینش مقاومت به تنش‌های شوری و خشکی معرفی می‌کنند (۱۵ و ۱۹).

حجم و طول ریشه

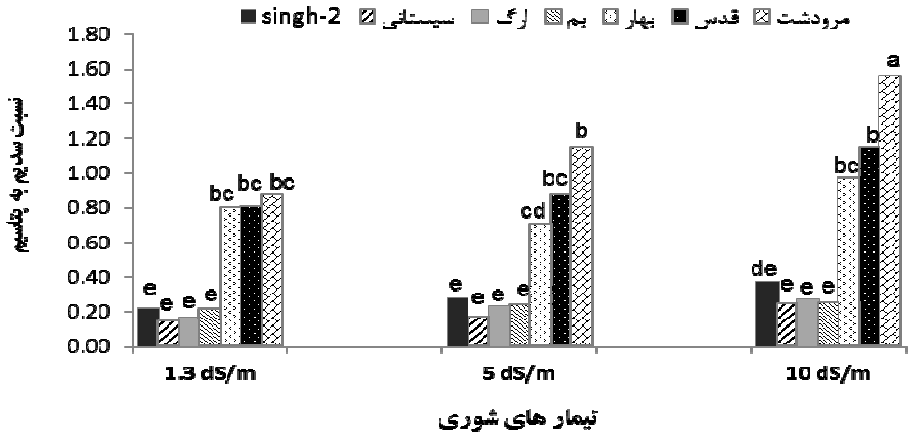
نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که بین ارقام مورد مطالعه ($P\leq۰/۰۱$) و سطوح مختلف شوری ($P\leq۰/۰۵$) از لحاظ حجم ریشه اختلاف معنی‌داری وجود داشته. اما، طول ریشه تحت تأثیر شوری قرار نگرفت (جدول ۲). شوری، حجم ریشه را کاهش داد، به‌طوری که کمترین حجم ریشه در شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر به‌دست آمد، که با تیمار شاهد اختلاف معنی‌دار داشت. همچنین، بیشترین و کمترین میانگین این صفت به ترتیب به ارقام سیستانی و مرودشت اختصاص داشت (جدول ۲). شکل ۲ روند نزولی حجم ریشه با افزایش شوری آب آبیاری را در ارقام مورد بررسی نشان می‌دهد. ارقام مقاوم سیستانی، ارگ، بم و Singh-2 در هر دو شرایط تنش و عدم تنش از حجم ریشه بیشتری برخوردار بودند. بیشترین و کمترین درصد کاهش صفت مذکور در شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، در مقایسه با شاهد، به ترتیب در ارقام مرودشت (۳۶/۷٪) و Singh-2 (۱۴/۳٪) ملاحظه شد. لازم به ذکر است که کمترین درصد کاهش وزن خشک، حجم و طول ریشه در بالاترین سطح شوری، در مقایسه با شاهد، به رقم بین‌المللی Singh-2 اختصاص داشت. این موضوع می‌تواند یکی از دلایل مقاوم بودن رقم مذکور نسبت به تنش شوری به‌حساب آید و کمتر بودن صفات ریشه را در این رقم در مقایسه با دیگر ارقام مقاوم (رقم سیستانی، ارگ و بم) در شرایط تنش و عدم تنش توجیه کند.

اکبری و همکاران (۳) با بررسی تأثیر شوری‌های مختلف بر چهار رقم گندم، تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین میانگین سطح و حجم ریشه در ارقام متحمل و حساس گزارش کرده‌اند، به‌نحوی که ارقام سیستانی و نیشابور به عنوان ارقام مقاوم به تنش شوری، بیشترین میزان صفات مذکور را به‌خود اختصاص داده و اختلاف معنی‌داری با دو رقم حساس بهار و تجن نشان داده‌اند. برزوئی و همکاران (۵) نیز در گیاه گندم همبستگی مثبت و معنی‌داری را بین صفات حجم، وزن ریشه و عملکرد دانه گندم گزارش نمودند.

همانطور که ذکر شد، شوری طول ریشه را تحت تأثیر قرار نداد. اما اثر متقابل رقم و شوری نشان داد که ضمن بیشتر بودن طول ریشه در ارقام ارگ، بم، سیستانی و Singh-2، میانگین این صفت در ارقام نامبرده و در شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر بیشتر از شاهد بود. هرچند این افزایش به لحاظ آماری معنی‌دار نبود، اما طول ریشه در همین سطح شوری در ارقام قدس، بهار و مرودشت کاهش اندکی داشت (شکل ۲). با توجه به اینکه یکی از اثرهای تنش شوری در گیاه جلوگیری از جذب آب است، لذا به نظر می‌رسد ارقام ارگ، بم، سیستانی و Singh-2 به‌عنوان نماینده ارقام متحمل به شوری با افزایش طول ریشه به‌گونه‌ای با خشکی ناشی از تنش شوری مقابله کرده و از کاهش جذب آب و مواد غذایی که به‌دنبال کاهش حجم و وزن خشک ریشه اتفاق خواهد افتاد، جلوگیری نمایند و قادر به استفاده از آب و مواد غذایی از عمق بیشتری از خاک باشند. اما به نظر می‌رسد به دلیل اینکه در شرایط تنش شوری حجم آب قابل دسترس کاهش پیدا نکرده و افزایش فشار اسمزی خاک سبب کمبود آب برای گیاه می‌شود، لذا افزایش یا کاهش طول ریشه در ارقام مورد بررسی معنی‌دار نبوده است. کولکارنی و اسواتی (۱۸) گزارش کردند که طول ریشه به عنوان شاخصی برای توانایی گیاهان جهت جذب آب از لایه‌های عمیق‌تر خاک و نفوذپذیری بهتر ریشه‌ها در خاک محسوب می‌شود. خزاعی و کافی (۹) در بررسی ارقام مقاوم و حساس گندم، نتیجه گرفتند که در شرایط تنش خشکی، ارقام مقاوم به خشکی از سطح برگ کمتر، تعداد برگ بیشتر، طول و وزن خشک ریشه بیشتر و از نسبت ریشه به بخش هوایی بزرگتری در مقایسه با ارقام حساس برخوردار هستند. شو و همکاران (۲۶) نیز خاطر نشان کردند که بسیاری از گونه‌های گیاهی، با افزایش سهم مواد فتوسنتزی اختصاص یافته، به رشد ریشه و بنابراین افزایش نسبت ریشه به اندام‌های هوایی و بهره‌گیری بیشتر از آب قابل دسترس به کمبود رطوبت پاسخ می‌دهند. با توجه به اینکه نقش خصوصیات ریشه از قبیل حجم و طول ریشه، قطر ریشه و عمق و پراکندگی ریشه در انتخاب ارقام مقاوم به تنش خشکی و شوری به اثبات رسیده است (۱۰) و در این آزمایش نیز نوسانات موجود در بین واریته‌های مورد بررسی به لحاظ صفات مختلف ریشه، تفاوت آنها را در مقاومت به تنش‌ها، ازجمله تنش شوری، آشکار می‌سازد، لذا می‌توان از این تفاوت‌ها جهت گزینش ارقام و ژنوتیپ‌ها استفاده نمود (۵ و ۹).

نسبت سدیم به پتاسیم

نتایج تجزیه واریانس برای صفت نسبت سدیم به پتاسیم تفاوت معنی‌داری را میان ارقام مختلف ($P\leq ۰/۰۱$) و سطوح مختلف شوری ($P\leq ۰/۰۵$) نشان داد (جدول ۲). مقایسه میانگین ارقام از لحاظ نسبت سدیم به پتاسیم نشان داد که ارقام سیستانی، ارگ، بم و Singh-2 به‌طور نسبی بیشترین یون پتاسیم را در مقایسه با سدیم جذب نموده‌اند (جدول ۳). همچنین، جدول ۳ نشان می‌دهد که شوری باعث افزایش این نسبت شده است، به‌طوری که بیشترین نسبت مربوط به شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر و کمترین مقدار مربوط به آبیاری با آب معمولی بود (جدول ۳). این امر می‌تواند ناشی از افزایش جذب یون سدیم و کاهش یون پتاسیم در سطوح بالاتر شوری باشد (۲۵). بررسی اثر متقابل شوری و رقم نیز نشان داد که نسبت سدیم به پتاسیم در هر یک از سطوح شوری و نیز تیمار شاهد در ارقام مرودشت، قدس و بهار بیش از چهار رقم دیگر بود و با افزایش شوری تفاوت بین ارقام از لحاظ میزان تجمع سدیم بیشتر آشکار شد (شکل ۳). بر این اساس، تجمع بیشتر سدیم در مقایسه با پتاسیم در رقم مرودشت و افزایشی معادل ۷۷/۲۷ درصد در

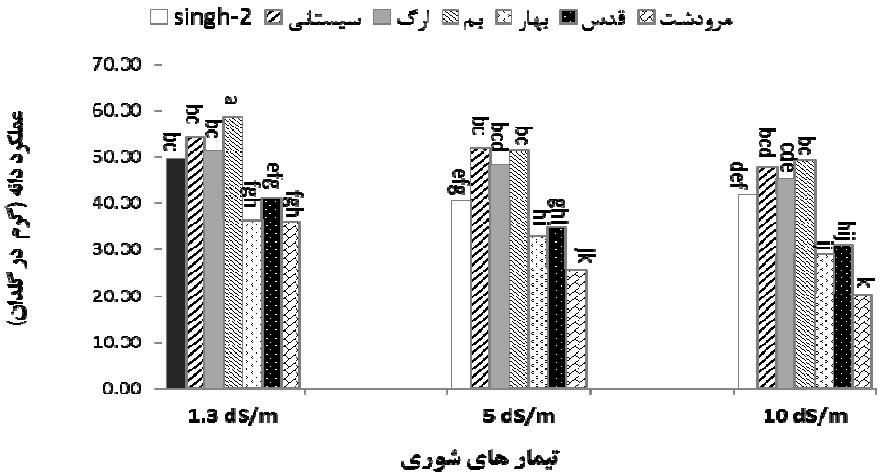


شکل ۳. تأثیر سطوح مختلف شوری بر نسبت سدیم به پتاسیم در ارقام گندم

سطح شوری ۱۰ dS/m در مقایسه با شاهد، حساسیت بیشتر این رقم را نشان می‌دهد. این در حالی بود که روند افزایش نسبت سدیم به پتاسیم در ارقام قدس و بهار در مقایسه سطوح اشاره شده (سطح شوری ۱۰ dS/m در مقایسه با شاهد) به‌ترتیب معادل ۴۱/۹۷ و ۲۱/۲۵ درصد بود و در ارقام بم، ارگ، سیستانی و Singh-2، روندِ به مراتب کندتری مشاهده شد (شکل ۳). بنده حق و همکاران (۶) با بررسی مقاومت به شوری ارقام بهاره در مراحل رویشی و زایشی اظهار داشتند که علاوه بر همبستگی مثبت K^+ با K^+/Na^+، به ازای هر واحد کاهش در میزان پتاسیم، میزان سدیم به طور قابل توجهی افزایش پیدا نمی‌کند. در واقع، افزایشی که در این نسبت (Na^+/K^+) با افزایش میزان شوری مشاهده می‌شود، به‌دلیل افزایش سرعت جذب سدیم و ممانعت این یون از جذب پتاسیم با افزایش میزان نمک می‌باشد. همچنین، احتمال افزایش تجمع پتاسیم در سلول‌ها به‌خاطر حفظ تنظیم اسمزی در مقابل مقادیر زیاد کلر تحت تنش شوری توسط رضائی و همکاران (۱۲) گزارش شده است. تالوار و همکاران (۲۵) در رابطه با بررسی نسبت سدیم به پتاسیم جهت به‌گزینی ژنوتیپ‌های متحمل به شوری در یولاف، نتیجه‌گیری کردند که در این گیاه، کوچک بودن نسبت Na^+/K^+ با تحمل بیشتر به نمک کلرید سدیم ارتباط دارد و کاهش رشد در اثر شوری با افزایش مقدار یون‌های سدیم و کلر و افزایش نسبت Na^+/K^+ همراه است. به‌طوری که نسبت K^+/Na^+ در ریشه و اندام هوایی رقم متحمل یولاف بیشتر از رقم حساس می‌باشد (۴). در تحقیق حاضر نیز نسبت کمتر Na^+/K^+ در ارقام سیستانی، ارگ، بم و رقم بین‌المللی Singh-2 را می‌توان از جمله دلایل تحمل بیشتر این ارقام به تنش عنوان نمود. در همین راستا، پوستینی (۷) نیز اظهار داشته است که مقاومت به نمک به طور منفی با غلظت Na^+ و به طور مثبت با غلظت K^+ و نسبت K^+/Na^+ در برگ همبستگی دارد و این همبستگی به اندازه‌ای است که می‌توان از آن به عنوان یک معیار انتخاب‌گر برای اصلاح ارقام مقاوم استفاده کرد. به این ترتیب، در کنار برتری ارقام ارگ، بم، سیستانی و Singh-2 برای صفاتی از جمله نسبت سدیم به پتاسیم و شاخص‌هایی مانند حجم، طول و وزن ریشه، می‌توان عملکرد بیشتر این ارقام را در شرایط تنش انتظار داشت.

عملکرد دانه

از آنجایی که عملکرد به عنوان یکی از شاخص‌های زراعی پر کاربرد جهت بررسی تحمل به شوری گیاه در شرایط تنش ذکر شده است، لذا در این آزمایش، اختلاف بین ارقام به لحاظ تحمل به شوری بر مبنای عملکرد بررسی شد. بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها، ارقام بم، سیستانی، ارگ و Singh-2 به ترتیب بیشترین و ارقام قدس، بهار و مرودشت به ترتیب کمترین عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). همچنین، نتایج حاصل از اثر متقابل رقم و شوری نیز حاکی از آن بود که عملکرد ارقام متحمل در تمام سطوح شوری بیشتر از سه رقم دیگر بود (شکل ۴).



شکل ۴. تأثیر سطوح مختلف شوری بر عملکرد دانه در ارقام گندم

در مورد محصولات زراعی، میزان کاهش عملکرد و رشد گیاه در شرایط شور نسبت به شرایط غیر شور به عنوان معیاری برای سنجش میزان تحمل به شوری به کار می‌رود (۸، ۱۱ و ۲۲). در این پژوهش، کاهش عملکرد ارقام متحمل در بالاترین سطح شوری در مقایسه با شاهد ۱۵/۶۲٪ در رقم بین‌المللی Singh-2، ۱۱/۹۶٪ در سیستانی، ۱۱/۶۹٪ در ارگ و ۱۵/۶۹٪ در رقم بم برآورد گردید که در مقایسه با ارقام بهار (۲۰/۶۲٪)، قدس(۲۴/۵۲٪) و مرودشت (۴۳/۸۵٪) کمتر بود. لذا، مشاهده می‌شود که میزان اثر سوء شوری در ارقام مقاوم، در مقایسه با ارقام حساس، کمتر بوده و عملکرد ارقام ارگ، بم ، سیستانی و Singh-2 در مقایسه با قدس، بهار و مرودشت کاهش کمتری داشته است. به لحاظ ثبات عملکرد ارقام در شرایط تنش، به ترتیب می‌توان ارقام ارگ، سیستانی، رقم بین‌المللی Singh-2، بم، بهار، قدس و مرودشت را نام برد. ارقام مقاوم به تنش شوری (ارگ، سیستانی، رقم بین‌المللیSingh-2 و بم) با استفاده از سیستم ریشه‌ای کارآمدتر و به‌کارگیری سازوکارهای جلوگیری از جذب و ممانعت از انتقال یون سدیم به اندام هوایی و در مقابل آثار مضر یون سدیم پایداری می‌کنند، که می‌توان نمود آن را در نهایت در عملکرد بیشتر این ارقام مشاهده نمود. همچنین، برتری صفات ریشه در این ارقام در مقابل ارقام بهار، قدس و مرودشت با کمترین میزان عملکرد (بخصوص در سطح شوری dS/m ۱۰) (شکل ۴) و از طرفی بیشترین میزان کاهش عملکرد و بیشترین میزان تجمع سدیم در این سطح شوری (شکل ۳) می‌توان اظهار داشت که بالا بودن مقادیر یون‌های سدیم در برگ این ارقام، سمیت یونی و آسیب بیشتری ایجاد می‌کند.

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از این آزمایش نشان داد که آبیاری با آب شور در سطوح مختلف سبب ایجاد آثار منفی بر صفات ریشه و عملکرد گیاه گندم شد. بیشترین میزان کاهش صفات در شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر دیده شد. نکته قابل ذکر دیگر در این آزمایش، تفاوت‌های ژنوتیپی بین ارقام مورد مطالعه است. بر مبنای مقایسه میانگین‌ها، در تمامی صفات بررسی شده، کمترین مقادیر به ارقام بهار، قدس و مرودشت و بیشترین آنها به ارقام ارگ، بم و سیستانی اختصاص داشت که در این میان، رقم مرودشت در رتبه‌ای پایین‌تر از تمامی ارقام قرار گرفت. این موضوع می‌تواند بیانگر حساسیت بیشتر این رقم به شرایط تنش باشد. همچنین، صفات مختلف ریشه، نسبت سدیم به پتاسیم و عملکرد در رقم بین‌المللی Singh-2 در هر دو شرایط تنش و عدم تنش، کمتر از ارقام ارگ، بم و سیستانی بود. اما با افزایش شوری آب آبیاری، کاهش معنی‌داری در صفات ذکر شده در مقایسه با شاهد مشاهده نشد که این نتایج مقاومت زیاد این رقم را در مقابل تنش شوری تأیید نمود. با توجه به گزارش‌های

اکثر محققین، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین رشد و گسترش ریشه با میزان عملکرد دانه و تحمل به تنش شوری وجود دارد. بر اساس نتایج این مطالعه، برتری قابل توجه ارقام سیستانی، ارگ، بم و Singh-2 (نماینده ارقام مقاوم به شوری) در تیمارهای مختلف شوری از لحاظ صفات وزن خشک، حجم و طول ریشه و همچنین نسبت سدیم به پتاسیم، می‌تواند بر کاربردی بودن این صفات در ارزیابی‌های مقاومت به شوری گندم تأکید کند.

منابع مورد استفاده

۱. احمدی، ج.، ع. زالی، ب. یزدی صمدی، ع. طالعی، م. ر. قنادها و م. فابریکی اورنگ. ۱۳۸۳. مطالعه ژنتیکی خصوصیت ریشه گندم در شرایط تنش خشکی. علوم زراعی ایران ٦(۴): ۴۲٦-۴۳۷.

۲. ارچنگی، آ.، م. خدامباشی و ع. محمدخانی. ۱۳۹۱. تأثیر تنش شوری بر خصوصیات مورفولوژیک و میزان عناصر سدیم، پتاسیم و کلسیم در گیاه دارویی شنبلیله (*Trigonella foenum gracum*) تحت شرایط کشت هیدروپونیک. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۳(۱۰): ۳۳-۴۰.

۳. اکبری، ا.، ع. دربندی، ا. برزوئی و ع. مجد آبادی. ۱۳۸۹. بررسی تغییرات مورفولوژیک ژنوتیپ‌های گندم در شرایط تنش شوری. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۱(۴): ۷۱-۸۲.

۴. اکبری، ا. ۱۳۸۹. شناسایی نشانگرهای مورفو- فیزیولوژیک و بیوشیمیایی جهت به‌گزینی ژنوتیپ‌های متحمل به شوری در گندم. پایان‌نامه کارشناسی ارشد اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی، دانشگاه تهران.

۵. برزوئی، ا.، م. کافی، ح. خزاعی و ا. موسوی شلمانی. ۱۳۹۰. تأثیر شوری آب آبیاری بر صفات ریشه دو رقم حساس و مقاوم به شوری گندم و ارتباط آن با عملکرد دانه در شرایط گلخانه. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۲(۸): ۹۵-۱۰٦.

٦. بنده حق، ع.، ح. کاظمی، م. ولی زاده و ع. جوانشیر. ۱۳۸۳. مقاومت ارقام گندم بهاره نسبت به تنش شوری در مراحل رویشی و زایشی. علوم کشاورزی ایران ۳۵(۱): ٦۱-۷۱.

۷. پوستینی، ک. ۱۳۷۴. واکنش‌های فیزیولوژیکی دو رقم گندم نسبت به تنش شوری. علوم کشاورزی ایران ۲٦ (۲): ۵۷-٦۴.

۸. حیدری شریف آباد، ح. ۱۳۸۰. گیاه و شوری. مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، تهران.

۹. خزاعی، ح. و م. کافی. ۱۳۸۲. تأثیر تنش خشکی بر رشد ریشه و توزیع ماده خشک بین ریشه و بخش هوایی در ارقام مقاوم و حساس گندم. پژوهش‌های زراعی ایران ۱(۱): ۳۳-۴۱.

۱۰. درگاهی، ی.، ع. اصغری، م. شکرپور و ع. رسول زاده. ۱۳۹۱. اثر تنش کم‌آبی بر خصوصیات مورفولوژیک ریشه در ارقام کنجد. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی ۵(۴): ۱۵۱-۱۷۲.

۱۱. راهنما، ا. ۱۳۸۸. بررسی برخی مکانیزم‌های فیزیولوژیکی تحمل به شوری در هفت رقم گندم. پایان‌نامه دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، پردیس کرج، دانشگاه تهران.

۱۲. رضائی، م.ع.، ر. ف. خاوری نژاد و ح. فهیمی. ۱۳۸۳. پاسخ فیزیولوژیک گیاه پنبه به شوری‌های مختلف خاک. پژوهش و سازندگی ٦۲: ۸۱-۸۹.

۱۳. زرین‌کفش، م. ۱۳۷٦. مبانی علوم خاک در ارتباط با گیاه و محیط. مرکز انتشارات علمی دانشگاه آزاد اسلامی.

۱۴. کافی، م. و ع. مهدوی دامغانی. ۱۳۷۹. مکانیسم‌های مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

۱۵. گنجعلی، ع.، ح. پرسا و س. حجت. ۱۳۸٦. تنوع ژنوتیپی صفات ریشه و اندام هوایی گیاهچه‌های نخود (*Cicer arietinum* L.)

در محیط هیدروپونیک و گلخانه. پژوهش‌های زراعی ایران ۵(۱): ۱۴۳-۱۵۵.

۱۶. وزارت کشاورزی. ۱۳۸۵. مجموعه اطلاعات کشاورزی. جلد اول، انتشارات معاونت سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.

17. Hussain, M.K. and O.U. Rehman. 1997. Evaluation of sunflower (*Helianthus annuus* L.) germplasm for salt tolerance at the shoot stage. Helia. 20: 69-78.
18. Kulkarni, M. and P. Swati. 2009. Evaluating variability of root size system and its constitutive traits in hot pepper (*Capsicum annum* L.) under water stress. Sci. Hort. 120: 159-166.
19. Lal Khajanchi, S.G., M. Setih, P.C. Sharma, A. Swarup and S.K. Gupta. 2007. Effect of NaCl concentration on growth, root morphology and photosynthetic pigment in wheat and barley under solution culture. J. Agrochim. 51: 194-206.
20. Mohammad, M., R. Shibli, M. Ajlouni and L. Nimri. 1998. Tomato root and shoot responses to salt stress under different levels of phosphorus nutrition. J. Plant Nutr. 21: 1667-1680.
21. Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant Cell Environ. 25(2): 239-250.
22. Pagter, M., C. Bragato, M. Malagoli and H. Brix. 2009. Osmotic and ionic effects of NaCl and Na_2SO_4 salinity on *Phragmites australis*. Aquat. Bot. 90: 43-51.
23. Salekdeh, G.H., J. Siopongco, L.J. Wade, B. Ghareyazie and J. Bennett. 2002. Proteomic analysis of rice leaves during drought stress and recovery. Proteomics 2: 1131-1145.
24. Shelden, M.C., U. Roessner, R.E. Sharp, M. Tester and A. Bacic. 2013. Genetic variation in the root growth response of barley genotypes to salinity stress. Funct. Plant Biol. 40(5): 516-530.
25. Talwar, H.S., A. Kumari, A. Surwenshi and N. Seetharama. 2011. Sodium: potassium ratio in foliage as an indicator of tolerance to chloride-dominant soil salinity in oat (*Avena sativa*). Indian J. Agric. Sci. 81: 481-484.
26. Xue, Q., Z. Zhu, J.T. Musick, B.A. Stewart and D.A. Dusek. 2003. Root growth and water uptake in winter wheat under deficit irrigation. Plant Soil 257: 151-161.