

## تأثیر شوری آب آبیاری بر صفات ریشه دو رقم حساس و مقاوم به شوری گندم و ارتباط آن با عملکرد دانه در شرایط گلخانه

اعظم برزویی<sup>۱\*</sup>، محمد کافی<sup>۲</sup>، حمید رضا خزاعی<sup>۳</sup> و میراحمد موسوی شلمانی<sup>۴</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۶/۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۹/۲۷)

### چکیده

به منظور مطالعه اثر شوری بر ویژگی‌های ریشه و عملکرد دو رقم گندم، آزمایشی در گلخانه تحقیقاتی پژوهشکده کشاورزی، پزشکی و صنعتی کرج به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اول شامل رقم حساس (تجن) و رقم مقاوم به شوری (بم) گندم و فاکتور دوم تنش شوری در چهار سطح (۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) بود. در هر تیمار، ۱۰ روز پس از گرده افشانی، تغییرات صفاتی مانند وزن خشک ریشه، وزن خشک ساقه، نسبت ریشه به اندام هوایی و حجم و سطح ریشه بررسی شد. نتایج نشان داد که تنش شوری تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه و حجم و سطح ریشه داشت به نحوی که با افزایش شوری آب آبیاری، میانگین صفات مذکور کاهش یافت. میزان کاهش نسبت ریشه به اندام هوایی با افزایش شوری از ۶ به ۸ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب برای ارقام تجن و بم ۳۵/۱ درصد و ۸/۲ درصد بود. نتایج نشان داد که بخش زیادی از تغییرات عملکرد دانه مربوط به تغییرات وزن خشک ریشه در هر بوته است. لذا، همانطور که رقم بم در کلیه تیمارهای شوری از وزن خشک ریشه بیشتری برخوردار بود، بیشترین عملکرد دانه نیز در همین رقم به دست آمد. هم‌چنین کمترین عملکرد دانه در رقم تجن و در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده گردید که با کمترین وزن خشک ریشه همراه بود. همبستگی نزدیکی بین سطح و حجم ریشه با وزن خشک ریشه و به دنبال آن با عملکرد دانه وجود داشت. لذا، با بررسی صفات مورد مطالعه در این آزمایش می‌توان بخش اعظمی از صفات مرتبط با حساسیت یا تحمل به تنش شوری ارقام گندم را به ویژگی‌های ریشه آنها نسبت داد.

واژه‌های کلیدی: شوری، حجم ریشه، سطح ریشه، نسبت ریشه به اندام هوایی

### مقدمه

گیاهان زراعی تأثیر می‌گذارد. گیاهان زراعی از لحاظ

تجمع نمک در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک دنیا یکی  
از تنش‌های مهم کشاورزی است که به طور گسترده‌ای بر تولید  
تحمل شوری ریشه تا حد زیادی متفاوت هستند و این تحمل  
به عواملی همچون میزان تجمع یون‌ها در بافت، ممانعت از

۱. استادیار پژوهشکده کشاورزی، پزشکی و صنعتی هسته‌ای کرج، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، کرج و دانشجوی سابق دکتری دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲. استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۴. پژوهشگر، پژوهشکده کشاورزی، پزشکی و صنعتی هسته‌ای کرج، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، کرج

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: aborzouei@gmail.com

برخوردار می‌باشند (۱۴ و ۱۷). مین و همکاران (۱۶) با انجام آزمایشی روی گندم زمستانه گزارش کردند که تنش شوری وزن تر ریشه را کاهش داد. در آزمایش دیگری، وزن خشک ریشه در بین ژنوتیپ‌های ذرت پس از اعمال تنش خشکی تفاوت معنی‌داری داشت و ژنوتیپ‌هایی که وزن خشک ریشه کمتری داشتند از تحمل کمتری نسبت به تنش برخوردار بودند. هم‌چنین در این آزمایش در اثر تنش خشکی، وزن اندام هوایی نیز کاهش یافت (۱۱). افزایش سطح ریشه، از طریق افزایش سطح جذب، در افزایش کارایی آب و مواد غذایی مهم است. بنابراین، ریشه‌های طولی‌تر و دارای سطح ریشه بیشتر می‌توانند امکان تحمل به شوری را فراهم آورند. سطح ریشه می‌تواند نشان‌دهنده سطح تماس گیاه با خاک باشد و احتمال دسترسی به آب بیشتر را مهیا سازد (۱۳). معصومی (۹) بیشترین سطح ریشه در نخود را در شرایط عدم تنش خشکی گزارش کرد. وی خاطر نشان نمود که روند تغییرات سطح ریشه با منفی‌تر شدن پتانسیل آب نزولی است. هم‌چنین بین ژنوتیپ‌های حساس و مقاوم به خشکی از نظر سطح ریشه تفاوت معنی‌دار مشاهده شد. از آنجا که تنش شوری باعث محدودیت فراهمی آب در محیط رشد ریشه می‌شود، بنابراین شناخت دقیق روابط موجود بین صفات مربوط به ریشه از جمله وزن خشک ریشه، سطح و حجم ریشه و روابط آنها با اندام هوایی لازم و ضروری به نظر می‌رسد. ضمن این که ارزیابی و مقایسه روابط مذکور در ژنوتیپ‌های حساس و مقاوم به تنش شوری در انتخاب معیارهای مناسب جهت گزینش ارقام مقاوم به شوری و خشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این راستا، مطالعه حاضر با اهداف بررسی تأثیر تنش شوری بر خصوصیات مربوط به ریشه و مطالعه نقش این پارامترها در تعیین عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم گندم و ارزیابی واکنش ارقام مورد بررسی از نظر صفات مربوط به ریشه و عملکرد در پاسخ به تنش شوری انجام شد.

### مواد و روش‌ها

این آزمایش در شرایط کنترل شده و در گلخانه تحقیقاتی

ورود برخی از یون‌ها به درون گیاه و قابلیت تولید ترکیبات سازگار کننده (تنظیم‌کننده‌های اسمزی) بستگی دارد (۳). هم‌چنان که به‌گزینی و اصلاح برای خصوصیات مربوط به اندام هوایی باعث افزایش عملکرد شده است، انجام این اقدامات در مورد ریشه نیز می‌تواند سبب افزایش عملکرد شود و در شرایط بحرانی تنش، موفقیت تولید را تضمین نماید (۷). گزارش شده که ریشه‌ها در مواجهه با تنش‌های مختلف محیطی، از جمله تنش‌های خشکی و شوری، نقش مهمی در بقا و عملکرد گیاهان زراعی ایفا می‌کنند (۵). مطالب زیادی در ارتباط با ساختار هندسی و واکنش‌های فیزیولوژیک گیاه در مواجهه با تنش‌های مختلف محیطی به رشته تحریر در آمده است. اما اطلاعات از واکنش ریشه‌ها در حضور تنش‌های مختلف محیطی و چگونگی تأثیر آنها بر فرایندهای رشد و نمو ریشه کم است (۶). ریشه‌ها اولین اندام گیاه هستند که آثار تنش شوری را تجربه می‌کنند و پس از آن اندام‌های هوایی تحت تأثیر تنش قرار می‌گیرند. گنجعلی و همکاران (۷) گزارش کردند که سیستم گسترده ریشه با تحمل شوری گیاه همبستگی مثبتی دارد. نوساناتی از نظر تعداد ریشه، طول ریشه و سرعت رشد آن در وارته‌ها و گیاهان مختلف مشاهده شده است که این صفات باعث ایجاد تفاوت‌هایی در ویژگی‌های گیاه از جمله تحمل به تنش‌های خشکی، غرقاب، شوری و زودرسی گیاه شده‌اند. سینگ و همکاران (۱۸) بیان داشتند گیاهانی که ریشه اصلی طولی‌تر و تعداد ریشه‌های جانبی بیشتری دارند نسبت به گیاهانی که این خصوصیت را کمتر دارند، تحمل بیشتری به تنش شوری دارند. یک عامل مهم در میزان تحمل به شوری ارقام گندم چگونگی توسعه سیستم ریشه‌ای آنهاست (۴). در آزمایشی که روی ۴۰ رقم گندم بهاره انجام شد، مشخص گردید ارقامی که در زمان جوانه‌زنی بیشترین ریشه جنبی را داشتند بیشترین عملکرد را نیز در شرایط تنش و عدم تنش خشکی و شوری دارا بودند (۱۲). به‌طور کلی، ارقام مقاوم به خشکی و شوری، نسبت به ارقام حساس، از ریشه‌های حجیم‌تر، طولی‌تر و نسبت بالاتر ریشه به اندام هوایی (R/S)

تأثیر شوری آب آبیاری بر صفات ریشه دو رقم حساس و مقاوم به شوری گندم و...

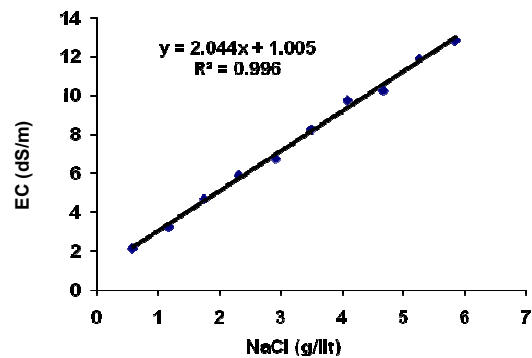
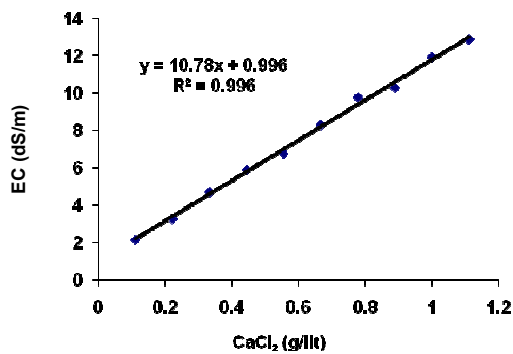
جدول ۱. نتایج آنالیز بافت خاک، ظرفیت زراعی و NPK

بافت خاک	EC (dS/m)	pH	سیلت (%)	رس (%)	شن (%)	فسفر قابل دسترس (mg/L)	پتاسیم قابل دسترس (mg/L)	نیترژن زراعی (%)	ظرفیت زراعی (%)
لوم	۱/۰۱۴	۸/۴۸	۲۸/۲	۲۲/۸	۴۹	۴۰	۲۶۶	۰/۰۴۱	۳۲

تاریخ ۱۳۸۸ / ۸ / ۹ کاشته شدند. پس از آن، با در نظر گرفتن نسبت مولی ۱ به ۱۰، از دو نوع نمک NaCl و CaCl<sub>2</sub> برای تهیه محلول‌های شوری با هدایت الکتریکی ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ دسی-زیمنس بر متر استفاده گردید. به منظور تعیین میزان نمک لازم در هر تیمار، ابتدا منحنی استاندارد هر یک از نمک‌ها (NaCl و CaCl<sub>2</sub>) به طور جداگانه رسم گردید و سپس بر اساس معادله به دست آمده میزان هر یک از نمک‌ها محاسبه گردید. شکل ۱ نشان دهنده منحنی استاندارد دو نوع نمک مورد استفاده است. گیاهان تا مرحله سبز شدن (سه برگی) با آب معمولی آبیاری شدند. سپس اعمال تیمارهای شوری شروع گردید، به نحوی که در نوبت اول آبیاری کلیه گلدان‌ها بجز سطح شاهد، با محلول ۶ دسی‌زیمنس بر متر صورت گرفت. در نوبت‌های بعدی این مقادیر افزایش یافتند و در نهایت سطح شوری مورد نظر بعد از گذشت یک هفته کامل شد. در طول اجرای آزمایش، مقدار آب آبیاری برای هر گلدان ۱۵٪ بیشتر از نیاز آبی گیاه در نظر گرفته شد تا با اعمال این مقدار نیاز آبتی، شوری عصاره اشباع خاک حتی‌الامکان به شوری آب آبیاری نزدیک شود. هم‌چنین جهت کنترل شوری و EC در خاک، تعداد ۱۲ عدد تانسینیک به طور تصادفی در داخل گلدان‌ها قرار گرفت و EC عصاره اشباع خاک در طول فصل رشد از تانسینیک‌ها جمع‌آوری و اندازه‌گیری شد. میانگین نتایج نشان داد که با توجه به این که گلدان‌ها ۳۰٪ 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 گلدان‌هایی که با تیمارهای ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر آبیاری شده بودند، به ترتیب ۷/۰۴، ۹/۵، ۱۲/۱ و ۱۴ قرائت گردید.

پژوهشکده کشاورزی، پزشکی و صنعتی کرج اجرا شد. دو رقم گندم هگزاپلوئید (*Triticum aestivum* L.) شامل رقم بم (مقاوم به شوری) و رقم تجن (حساس به شوری) در این آزمایش مورد استفاده قرار گرفتند. این ارقام بر حسب ثبات عملکرد دانه در شرایط تنش شوری و عدم تنش و به توصیه مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج انتخاب شدند. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کامل تصادفی و با سه تکرار به مرحله اجرا در آمد. فاکتور اول شامل دو رقم گندم حساس (تجن) و مقاوم به شوری (بم) و فاکتور دوم تنش شوری در چهار سطح (۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) بود. در تیمار شاهد، گیاهان در کل دوره رشد با آب معمولی (EC= ۱/۳ دسی‌زیمنس بر متر) آبیاری شدند. از آنجایی که انجام آزمایش شوری در گلخانه نیاز به بافت خاکی سبک دارد تا امکان آبتی فراهم گشته و از تجمع نمک در محیط اطراف ریشه جلوگیری به عمل آید، لذا در هفته آخر شهریور ماه با گرفتن نمونه خاک از چهار نقطه مزرعه پژوهشکده، آزمایش‌های اولیه برای تعیین بافت خاک، هدایت الکتریکی، پ-هاش و اندازه‌گیری نیترژن کل خاک صورت پذیرفت. از چهار نوع بافت خاک، یکی از آنها برای شروع کار گلخانه‌ای مناسب بود که نتیجه تجزیه این خاک در جدول ۱ آورده شده است.

هم‌چنین یک نمونه از خاک تهیه شده جهت انجام آنالیز NPK و تعیین ظرفیت زراعی به مؤسسه خاک و آب فرستاده شد. کود پایه سوپرفسفات بر مبنای نتایج آزمون خاک تعیین و با توجه به میزان خاک موجود در هر گلدان، اضافه شد. کوددهی نیترژن نیز در سه قسط (زمان کاشت، پنجه‌زنی و ساقه رفتن) انجام گردید. تعداد ۵ بذر در گلدان‌هایی با قطر دهانه ۲۳ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر و گنجایش ۴ کیلوگرم خاک در



شکل ۱. منحنی‌های استاندارد کلرید سدیم و کلرید کلسیم برای محاسبه میزان نمک لازم در تهیه محلول‌های شوری

نیز بر حجم ریشه تأثیر معنی‌داری داشت ( $P < 0.01$ ) و میانگین این صفت با افزایش شوری کاهش یافت (جدول ۳). شکل ۲ تغییرات حجم ریشه را در شوریه‌های مختلف و در دو رقم گندم مورد بررسی نشان می‌دهد. در هر دو رقم، تنها شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر سبب ایجاد اختلاف معنی‌دار در صفت مذکور نسبت به شاهد شده است. رقم بم نسبت به رقم تجن در کلیه تیمارها از حجم ریشه بالاتری برخوردار بود. دارا بودن حجم ریشه بیشتر در رقم بم و به دنبال آن جذب آب و مواد غذایی از فضای بیشتری از خاک یکی از ویژگی‌هایی است که در ایجاد تحمل به تنش شوری مؤثر است.

### ب) سطح ریشه

نتایج حاصل از آنالیز واریانس حاکی از آن است که بین دو رقم گندم مورد بررسی و تیمارهای مختلف شوری اختلاف معنی‌داری از لحاظ سطح ریشه وجود دارد (جدول ۲). سطح ریشه در رقم بم ۶۶/۲ درصد بیشتر از رقم تجن بود. هم‌چنین با افزایش شوری آب آبیاری، میانگین صفت مذکور کاهش یافت. این کاهش در شوریه‌های ۱۰ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر اختلاف معنی‌داری با شاهد نشان داد (جدول ۳). بررسی اثر متقابل شوری و رقم نیز بیان‌کننده ثابت نگه داشتن سطح ریشه در رقم بم نسبت به شاهد و کاهش معنی‌داری صفت مذکور در رقم تجن در سطح شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. با مقایسه دو نمودار مربوط به حجم و سطح ریشه (شکل‌های ۲ و ۳) مشخص

به منظور اندازه‌گیری صفات ریشه، ۱۰ روز پس از گرده افشانی، گلدان‌ها تخریب شده و گیاهان به دو قسمت اندام هوایی و ریشه‌ها تقسیم گردیدند. تغییرات صفاتی مانند وزن خشک ریشه، وزن خشک ساقه، نسبت ریشه به اندام هوایی و حجم و سطح ریشه بررسی شد. سطح ریشه با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Area meter ADC-AM 100) تعیین 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. هم‌چنین به منظور بررسی عملکرد و اجزای عملکرد، سری دوم از گلدان‌هایی که در مرحله گرده افشانی تخریب نشدند، در مرحله برداشت جمع‌آوری و اندازه‌گیری شدند. داده‌های جمع‌آوری شده از بررسی خصوصیات ریشه و عملکرد توسط نرم‌افزار MSTAT-C تجزیه شده و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪ انجام شد. نمودارهای مورد نیاز توسط نرم‌افزار Excel رسم شدند.

## نتایج و بحث

### الف) حجم ریشه

ارقام گندم از نظر حجم ریشه تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند (جدول ۲) ( $P < 0.01$ )، به نحوی که حجم ریشه در رقم بم ۶۳/۵ درصد بیشتر از رقم تجن بود (جدول ۳). تیمار شوری

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی ریشه در دو رقم گندم پس از اعمال تنش شوری

میانگین مربعات					
منبع تغییر	درجه آزادی	حجم ریشه	سطح ریشه	وزن خشک ریشه	وزن خشک اندام هوایی
نسبت ریشه به اندام هوایی					
رقم	۱	۲۴۰۰/۳۴ **	۳۸۲۶۸۶۹/۹۶ **	۶۵/۹ **	۱۱/۸۳ <sup>ns</sup>
شوری	۴	۱۳۵/۴۲ **	۶۴۸۰۰/۷۵ *	۲/۹ **	۱۰/۸۸ <sup>ns</sup>
رقم × شوری	۴	۴۷/۱۲ <sup>ns</sup>	۱۱۸۶۳۰/۱۲ **	۵/۴۵ **	۱۱/۹۵ <sup>ns</sup>
خطا	۲۰	۴۵/۲۷	۲۵۶۰۹/۴۲	۰/۴۴۵	۴/۵۳
CV (%)		۲۰/۰۲	۱۴/۷۳	۱۷/۲	۱۴/۶

\*\*، \* و ns به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و غیر معنی‌دار

جدول ۳. میانگین صفات حجم، سطح و وزن خشک ریشه در دو رقم گندم و تیمارهای مختلف شوری

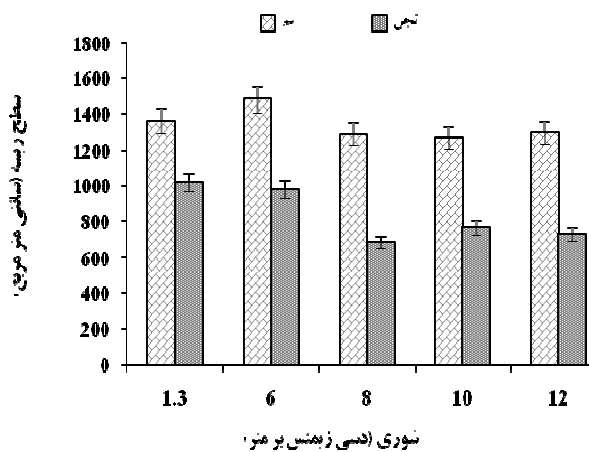
تیمار	حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب)	سطح ریشه (سانتی‌متر مربع)	وزن خشک ریشه (گرم در بوته)	وزن خشک اندام هوایی (گرم در بوته)
رقم بم	۳۲/۵a	۱۳۳۸/۷۸a	۴/۵۶a	۱۳/۷۹a
رقم تجن	۱۹/۸۵b	۸۳۳/۶۸b	۳/۱۵b	۱۴/۶۷a
شوری آب آبیاری				
صفر	۲۹/۶۲a	۱۱۶۹/۴۷a	۴/۱۴a	۱۴/۱۴a
۶ دسی‌زیمنس بر متر	۲۷/۳۸ab	۱۱۵۱/۶۹ab	۴/۳۲a	۱۴/۲۷a
۸ دسی‌زیمنس بر متر	۲۸/۰ab	۱۰۸۱/۵۰ab	۳/۸۶a	۱۵/۲۲a
۱۰ دسی‌زیمنس بر متر	۲۴/۸۷bc	۱۰۱۵/۵۲b	۳/۷۴ab	۱۴/۷۷a
۱۲ دسی‌زیمنس بر متر	۲۱/۰c	۱۰۱۲/۹۹b	۳/۲۵b	۱۴/۴۲a

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

### ج) وزن خشک ریشه

مشابه با حجم ریشه، رقم بم به عنوان رقم متحمل به تنش شوری، از وزن خشک ریشه بالاتری در مقایسه با رقم تجن برخوردار بود (جدول ۳). بررسی نتایج حاصل از تأثیر تیمارهای شوری بر وزن خشک ریشه نشان داد که با افزایش شوری، وزن خشک ریشه در هر دو رقم مورد بررسی کاهش یافت (جدول ۳). اثر متقابل رقم و شوری در شکل ۴ نشان می‌دهد که در رقم تجن وزن خشک ریشه در تیمارهای مختلف شوری کاهش معنی‌دار یافته است و افزایش شوری در محیط ریشه منجر به اختصاص بیشتر مواد فتوسنتزی به ریشه در این

می‌گردد که حجم ریشه در رقم متحمل بیشتر از سطح ریشه کاهش نشان داده است. شاید بتوان کاهش حجم و تغییرات کمتر سطح ریشه را به تولید بیشتر ریشه‌های جانبی در این گیاه مربوط دانست تا از این طریق سطح جذب آب در ریشه با افزایش شوری در خاک افزایش یابد. در رقم حساس به شوری تجن، هر دو صفت مورد بررسی با افزایش شوری به بیش از ۶ دسی‌زیمنس بر متر کاهش نشان داده است. به عبارت دیگر، رقم مذکور نه تنها قادر به افزایش ریشه‌های جانبی و متراکم نبوده است، بلکه شوری منجر به کاهش سطح ریشه نیز شده است.

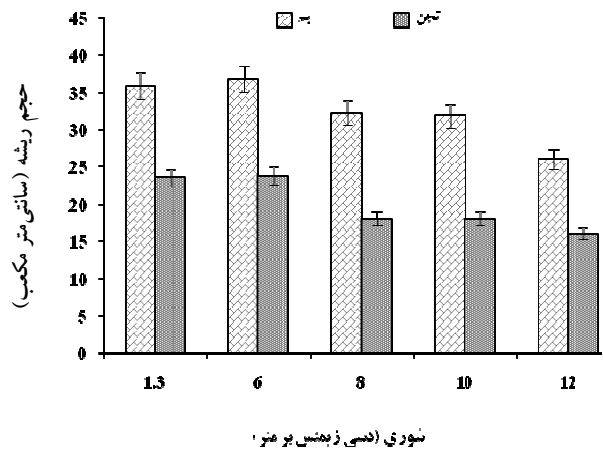


شکل ۳. تأثیر تیمارهای مختلف شوری بر سطح ریشه در بوته دو رقم گندم

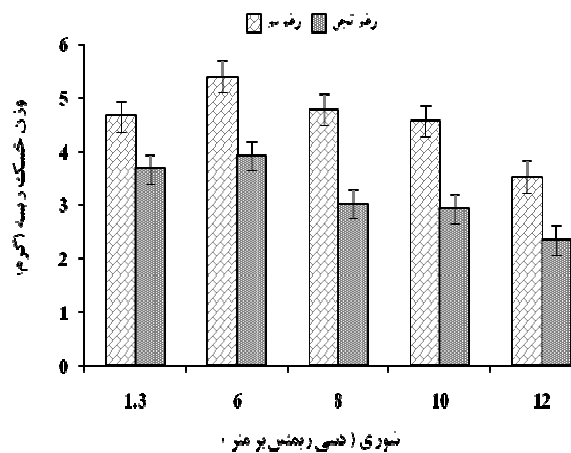
می‌شود، در حالی که جذب کربن همچنان در حدود نزدیک به مقادیر نرمال باقی می‌ماند. کربن اضافی تولید شده ممکن است ذخیره شده و برای تنظیم اسمزی به کار رود، یا آن که به رشد ریشه اختصاص یابد (۱).

#### د) نسبت ریشه به اندام هوایی (R/S)

با افزایش شوری آب آبیاری، نسبت وزن ریشه به ساقه در هر دو رقم گندم مورد بررسی کاهش یافته است (شکل ۵). افزایش شوری خاک از ۶ به ۸ دسی‌زیمنس بر متر نسبت مذکور را در رقم حساس تجن بیشتر از رقم بم کاهش داده است. به نحوی که میزان کاهش صفت مورد مطالعه با افزایش شوری از ۶ به ۸ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب برای رقم تجن ۳۵/۱ و رقم بم ۸/۲ درصد بود. کاهش این نسبت حاکی از اختصاص مواد فتوسنتزی کمتر به ریشه نسبت به اندام هوایی بوده است. اما نکته قابل ملاحظه، تفاوت واکنش دو ژنوتیپ مورد بررسی است. نسبت ریشه به ساقه در رقم بم تا شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت. اما رقم حساس تجن با افزایش شوری به ۸ دسی‌زیمنس بر متر کاهش قابل توجهی از خود نشان داد (شکل ۵). در واقع، مرور نمودارهای حجم، سطح و وزن خشک ریشه (شکل‌های ۲، ۳ و ۴) این مطلب را



شکل ۲. تأثیر تیمارهای مختلف شوری بر حجم ریشه در بوته دو رقم گندم



شکل ۴. تأثیر تیمارهای مختلف شوری بر وزن خشک ریشه (گرم) در بوته دو رقم گندم

رقم نشده است. شاید همین امر از دلایل حساس بودن رقم مذکور به تنش شوری به حساب آید. شور شدن خاک و افزایش هدایت الکتریکی آب آبیاری به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، وزن خشک ریشه در رقم بم را ۳۳/۳ درصد نسبت به شاهد کاهش داد. شاید بتوان کاهش یافتن وزن خشک ریشه را در شوری‌های بالا به اختصاص کربن تولید شده به سایر مسیرهای متابولیک مؤثر در تحمل به تنش مربوط دانست. گزارش شده که در زمان شروع تنش شوری و خشکی، گسترش برگ متوقف

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد در دو رقم گندم پس از اعمال تنش شوری

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		ارتفاع گیاه	طول سنبله	تعداد سنبلهچه	تعداد دانه در سنبله	وزن دانه
رقم	۱	۲۴۴۲/۲۵ **	۸/۱۱ **	۳۷/۵۹ **	۱۱۳۹/۶۹ **	۲/۴۱ **
شوری	۴	۱۱/۶۸ <sup>ns</sup>	۱/۳۸**	۱/۴۳ **	۹۲/۲۳ **	۰/۷۵**
رقم × شوری	۴	۴۵/۲۱ *	۰/۲۱ <sup>ns</sup>	۱/۳۲ **	۳۰/۳۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۸ *
خطا	۲۰	۱۵/۱۳	۰/۱۵	۰/۳۵	۱۵/۷۵	۰/۰۳
CV (%)		۷/۳۸	۴/۵۷	۳/۹۲	۹/۹۹	۱۱/۶۳

\*\*، \* و ns به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و غیر معنی دار

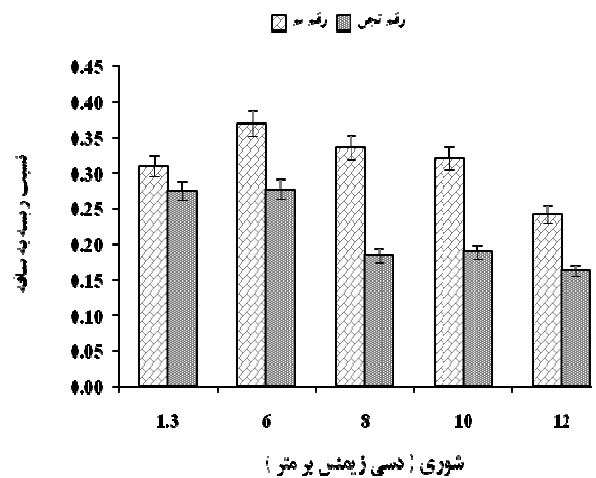
### ه) ارتفاع گیاه و طول سنبله

نتایج حاصل از اثر متقابل بین رقم و شوری نشان داد که ارتفاع گیاه در رقم تجن با افزایش شوری به بیشتر از ۸ دسی‌زیمنس بر متر کاهش معنی‌داری یافت (جدول ۵). جدول ۵ نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین ارتفاع ساقه به ترتیب به تیمار شاهد در رقم بم و تیمار شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر در رقم تجن اختصاص دارد. بنابراین اثر منفی شوری‌های بیش از ۸ دسی‌زیمنس بر متر بر ارتفاع گیاه در رقم تجن شدیدتر از رقم بم بوده است.

بین ارقام مورد بررسی، اختلاف معنی‌داری از لحاظ طول سنبله در پایان دوره رشد وجود داشت (جدول ۴). به نحوی که رقم بم از سنبله کوتاهتری در مقایسه با رقم تجن برخوردار بود. تیمار شوری نیز به نحو معنی‌داری صفت مذکور را تحت تأثیر قرار داد. به طوری که اعمال تنش شوری طول سنبله را به میزان ۱۰/۴ درصد نسبت به شاهد کاهش داد. داده‌های حاصل از اثر متقابل شوری و رقم نشان داد که شوری‌های ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ طول سنبله را در رقم بم به ترتیب ۲/۳، ۵/۸، ۷/۱ و ۱۴/۱ و در رقم تجن به ترتیب ۳/۳، ۴/۳، ۵/۵ و ۶/۵ درصد نسبت به شاهد کاهش داد (جدول ۵).

### و) تعداد سنبلهچه و دانه در سنبله

بین ارقام مختلف از نظر تعداد سنبلهچه اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۴)، به نحوی که تعداد سنبلهچه در رقم تجن بیشتر از رقم بم بود. هم‌چنین تأثیر تیمار شوری بر این



شکل ۵. تأثیر تیمارهای مختلف شوری بر نسبت ریشه به اندام هوایی دو رقم گندم

مشخص می‌سازد که در رقم تجن تا شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر پارامترهای ذکر شده دچار کاهش شده‌اند. در حالی که افزایش شوری آب آبیاری تا ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر اختلاف معنی‌داری را در صفات مربوط به ریشه و هم‌چنین نسبت R/S در رقم متحمل به شوری بم ایجاد نکرد. بنابراین نسبت بالاتر ریشه به اندام هوایی توانایی گیاه را برای افزایش تحمل به خشکی و شوری بهبود می‌بخشد. لذا اغلب متخصصین فیزیولوژی این نسبت را به عنوان یک معیار مناسب برای گزینش تحمل به تنش‌های شوری و خشکی معرفی می‌کنند (۱۲).

جدول ۵. اثر رقم، تیمارهای مختلف شوری و رقم × شوری بر ارتفاع گیاه، طول سنبله، تعداد سنبلچه، تعداد دانه، وزن دانه و عملکرد دانه ارقام گندم

تیمار	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	طول سنبله (سانتی‌متر)	تعداد سنبلچه	تعداد دانه در سنبله	وزن دانه (گرم در بوته)	عملکرد دانه (گرم در متر مربع)
رقم بم	۵۹/۰۶a	۸/۰۱a	۱۴/۳b	۴۴/۱۱a	۱/۶۵a	۴۱/۱۶a
رقم تجن	۴۶/۳۰b	۸/۷۵b	۱۵/۹a	۳۵/۳۸b	۱/۲۳b	۳۱/۱b
شوری آب آبیاری						
صفر	۵۳/۷۱a	۸/۸۲a	۱۵/۴۵a	۴۲/۱۹a	۱/۶۰a	۹۳/۹۵a
۶ دسی‌زیمنس بر متر	۵۳/۱۴a	۸/۵۶ab	۱۵/۲۱a	۴۱/۳۲a	۱/۵۷a	۳۹/۲۸a
۸ دسی‌زیمنس بر متر	۵۲/۹۲a	۸/۳۶b	۱۵/۲۷a	۴۰/۴۷a	۱/۵۶a	۳۹/۰a
۱۰ دسی‌زیمنس بر متر	۵۲/۵۷a	۸/۲۷b	۱۵/۰۲ab	۳۹/۷۰a	۱/۴۸a	۳۷/۳۴a
۱۲ دسی‌زیمنس بر متر	۵۱/۰۸a	۷/۹۰c	۱۴/۵۵b	۳۵/۰۷b	۱/۰b	۲۵/۰۷b
رقم × شوری						
صفر	۶۰/۶۲a	۸/۵b	۱۵/۱۷bc	۴۶/۷۵a	۱/۹۰a	۴۷/۵۵a
۶	۶۰/۱a	۸/۳۲bc	۱۴/۵۵cd	۴۵/۲۰ab	۱/۸b	۴۵/۳۰ab
۸	۵۹/۱۲a	۸/۰c	۱۴/۴۰d	۴۵/۲۰ab	۱/۷۰ab	۴۲/۹۵ab
۱۰	۵۷/۹۷a	۷/۹۵c	۱۳/۸۵de	۴۲/۷۵abc	۱/۶۸ab	۴۱/۹۰b
۱۲	۵۷/۵۳a	۷/۳۲d	۱۳/۶۰e	۴۰/۶۷bcd	۱/۱۲d	۲۸/۰۸d
صفر	۴۸/۳۲b	۹/۱۵a	۱۶/۲۰a	۳۹/۱۷cde	۱/۴۳c	۳۶/۱۰c
۶	۴۷/۸۷b	۸/۸۰ab	۱۶/۱۵a	۳۸/۲۰cde	۱/۳۷c	۳۴/۵۸c
۸	۴۷/۶۲b	۸/۵b	۱۵/۸۷ab	۳۵/۹۰de	۱/۲۷cd	۳۱/۷۲cd
۱۰	۴۶/۲b	۸/۷۲ab	۱۵/۷۵ab	۳۴/۲۰e	۱/۲۳cd	۳۱/۰۲cd
۱۲	۴۱/۵۵c	۸/۶b	۱۵/۵ab	۲۹/۵۰f	۰/۸۷e	۲۲/۰۵d

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌دار ندارند.

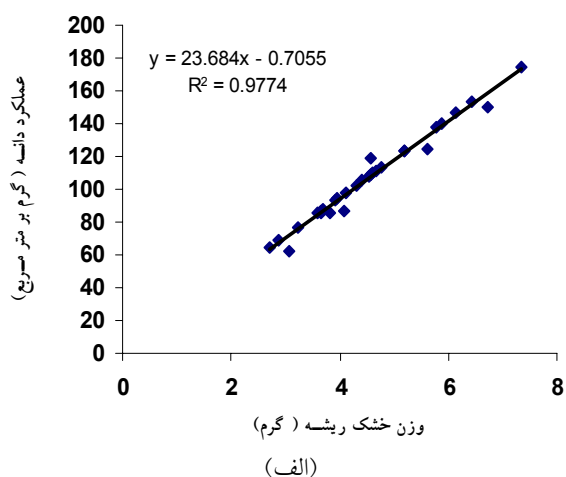
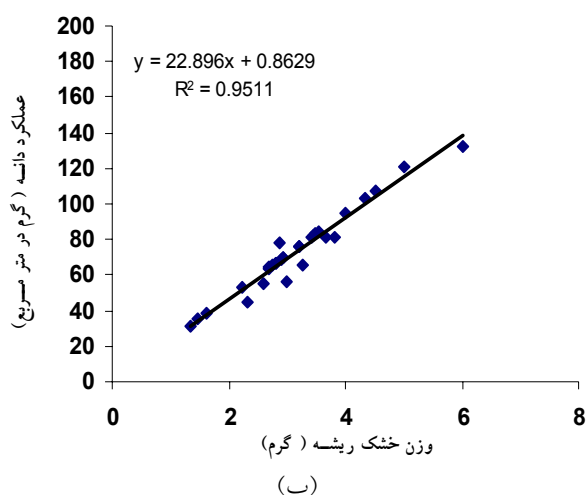
بود ( $P < 0/01$ ). به طوری که وزن دانه با افزایش شوری آب آبیاری به بیش از ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر کاهش معنی‌داری یافت (جداول ۴ و ۵). کاهش وزن دانه گیاهان بین تیمارهای ۸ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر ۲/۴ درصد بود، در حالی‌که این کاهش با افزایش شوری از ۱۰ به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به ۳۳ درصد رسید (جدول ۵). بنابراین اثر منفی شوری‌های بیش از ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر بر وزن دانه ارقام مورد مطالعه شدیدتر از شوری‌های کمتر از این تیمار بوده است. میانگین وزن دانه ارقام مختلف در تیمارهای شوری در جدول ۵ نشان داده شده

صفت معنی‌دار بود و شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به طور معنی‌داری تعداد سنبلچه در سنبله را کاهش داد. اعمال شوری سبب شدت تعداد سنبلچه‌ها در رقم بم با افزایش شوری از صفر به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به حداقل برسد. در رقم تجن، هیچ کدام از شوری‌های صفر تا ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر بر میانگین صفت مذکور تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۵).

### ز) وزن دانه

اثر تیمار شوری بر وزن دانه ارقام گندم مورد بررسی معنی‌دار





شکل ۶. رابطه رگرسیونی بین وزن خشک ریشه و عملکرد دانه گندم در دو رقم بم (الف) و تجن (ب)

سنبله و وزن هزار دانه ذکر کردند. گزارش شده که در شرایط شور، تسریع نمو سنبلچه انتهایی تعداد سنبلچه در سنبله را کاهش می‌دهد. هم‌چنین کاهش وزن دانه در شرایط شور با کاهش طول دوره پر شدن دانه قابل توجیه می‌باشد (۲). پوستینی (۲) همبستگی معنی‌دار مشاهده شده بین وزن خشک دانه و طول دوره پر شدن دانه گندم را در شرایط شور بیانگر نقش مؤثر دوام این دوره در تحمل به شوری دانست.

نتایج حاصل از رگرسیون خطی بین وزن خشک ریشه و عملکرد دانه در دو رقم مورد مطالعه بیانگر آن است که همبستگی زیادی بین عملکرد دانه و وزن خشک ریشه در هر بوته وجود دارد (شکل ۶). لذا قابل انتظار است که همانطور که رقم بم در کلیه تیمارهای شوری از وزن خشک ریشه بیشتری برخوردار بود، بیشترین عملکرد دانه نیز در همین رقم به دست آمد. این امر در رابطه با رقم تجن نیز صادق است. بدین ترتیب که در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، وزن خشک ریشه به حداقل رسید و کمترین عملکرد دانه نیز در این رقم در همین تیمار مشاهده شد. این نتایج مؤید آن است که سیستم ریشه‌ای گسترده‌تر برای جذب آب و عناصر غذایی، به ویژه در شرایط تنش شوری، تأثیر غیر قابل انکاری بر عملکرد دانه گندم دارد. کافی و همکاران (۵) بیان کرده‌اند که در گیاه گندم همبستگی مثبت و معنی‌داری بین صفات حجم، وزن خشک ریشه و

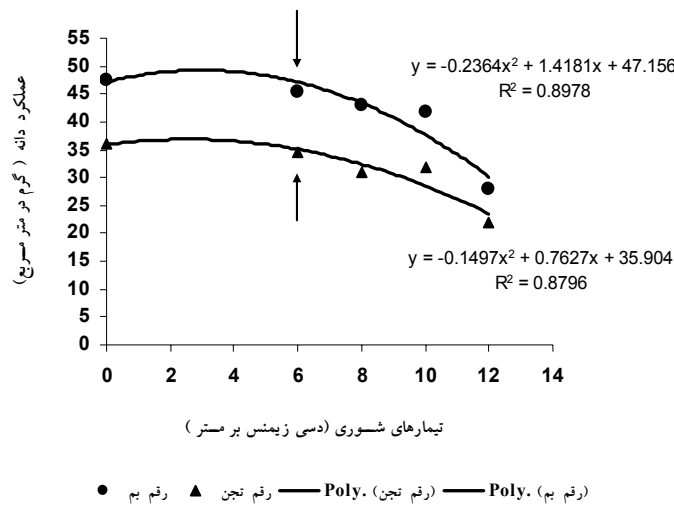
است. همانگونه که ملاحظه می‌گردد، وزن دانه رقم بم تا شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر تحت تأثیر قرار نگرفت. ولی تیمارهای شوری ۱۰ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب سبب ۱۱/۷ و ۴۱/۱ درصد کاهش وزن دانه در این رقم گردیدند. این امر در حالی است که در رقم تجن تنها شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر سبب کاهش معنی‌دار میانگین صفت مذکور گردید. اما بررسی نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که میانگین وزن دانه در رقم بم بیشتر از رقم تجن بود و در کلیه تیمارهای مورد بررسی، وزن دانه کمتر به رقم حساس تجن اختصاص داشت. همانطور که در جدول ۵ مشخص است، رقم تجن از طول سنبله و تعداد سنبلچه بیشتری نسبت به رقم بم برخوردار بود، اما تعداد دانه و وزن دانه در این رقم کمتر از رقم بم بود. به نظر می‌رسد اعمال تیمارهای مختلف شوری سبب نابرابر شدن سنبلچه‌ها و هم‌چنین کاهش انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها شده است. ماشی و همکاران (۸) بیان کرده‌اند که شوری، اجزای عملکرد را بسته به این‌که تنش در چه زمانی بر گیاه وارد شده باشد، تحت تأثیر قرار می‌دهد. مطابق گزارش پژوهشگران فوق، ارقام مختلف غلات از توانایی زیادی در تنظیم اجزای عملکرد سنبله‌ها به منظور سازگاری با محیط شور برخوردارند. محلوچی و همکاران (۱۵) کاهش عملکرد گندم را در شرایط شور به دلیل کاهش هر سه جزء تعداد سنبله، تعداد دانه در

$$Y = -0.4728 X + 1.4181$$

معادله شیب نمودار رقم بم

$$Y = -0.2994 X + 0.7627$$

معادله شیب نمودار رقم تجن



شکل ۷. رابطه رگرسیونی بین عملکرد دانه و تیمارهای مختلف شوری در دو رقم گندم

شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر در صفات حجم، سطح و وزن خشک ریشه کاهش معنی‌داری در این رقم مشاهده شد. کم شدن این صفات همراه با بیشتر شدن طول سنبله و تعداد سنبله‌چه حاکی از آن است که در رقم تجن قبل از شروع رشد زایشی اختصاص مواد فتوسنتزی به اندام هوایی بیشتر از ریشه بوده است و در نتیجه همانطور که ذکر شد کاهش نسبت ریشه به ساقه در رقم تجن از شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر بیشتر از رقم بم مشاهده گردید. همبستگی مثبت بین ارتفاع ساقه، تعداد دانه و وزن دانه با صفات مورد مطالعه ریشه حدود ۵۰٪ محاسبه گردید. پوستینی (۲) گزارش کرده است که میزان مشارکت کربوهیدرات‌های غیر ساختمانی ساقه در عملکرد دانه در شرایط تنش افزایش می‌یابد. ضمن این که این محقق خاطر نشان کرده است که تنش شوری اثر یکسانی روی تمامی فرایندهای فیزیولوژیک ندارد، و به آن میزان که فرایندهای کلی منتهی به وزن دانه در اثر شوری صدمه می‌بینند، مشارکت و انتقال مواد سایر اندام‌ها در وزن دانه تأثیر نمی‌پذیرد. بدین ترتیب، احتمالاً می‌توان همبستگی ۵۰ درصدی بین صفات ریشه با تعداد و وزن دانه را به فراهمی آب و مواد غذایی بیشتر و در نتیجه تولید مواد فتوسنتزی بیشتر در طول دوره رشد نسبت داد. هم‌چنین این

عملکرد دانه وجود دارد. در مورد نخود نیز همبستگی بین ریشه عمیق‌تر و عملکرد دانه بیشتر در شرایط تنش خشکی گزارش شده است (۱۹).

شکل ۷ رابطه رگرسیونی بین عملکرد دانه و تیمارهای شوری را نشان می‌دهد. واکنش عملکرد هر دو رقم مورد بررسی به تیمارهای شوری از معادله درجه دوم پیروی می‌کند. این امر نشان می‌دهد که سطوح مختلف تنش شوری به میزان یکسانی عملکرد را تحت تأثیر قرار نمی‌دهند. بر اساس مشتق معادلات به دست آمده از واکنش عملکرد به تنش شوری که نشان دهنده شیب نمودارها است، در ارقام بم و تجن به ترتیب از شوری‌های ۲/۹ و ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر شیب نمودارها منفی شده و عملکرد روندی نزولی پیدا می‌کند. لازم به ذکر است که کاهش عملکرد دانه تا شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر تغییر محسوسی نداشته است. اما همانطور که روی نمودارها نیز مشخص شده است، از این سطح شوری به بعد کاهش عملکرد دانه قابل ملاحظه بود. بدین لحاظ، نتیجه مطالعه حاضر با گزارش‌های سایر محققین (۱۰) مطابقت دارد.

همانطور که ذکر شد، رقم تجن تعداد سنبله‌چه و طول سنبله بالاتری نسبت به رقم تجن داشت. این امر در حالی است که از

### نتیجه گیری

در این آزمایش گلخانه‌ای، اثر تنش شوری در چهار سطح (۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) بر ویژگی‌های ریشه و عملکرد دو رقم گندم تجن و بم بررسی شد. نتایج نشان داد که با افزایش شوری آب آبیاری، میانگین وزن خشک ریشه و حجم و سطح ریشه کاهش یافت. بخش زیادی از تغییرات عملکرد دانه مربوط به تغییرات وزن خشک ریشه در هر بوته بود. رقم بم در کلیه تیمارهای شوری از وزن خشک ریشه بیشتری برخوردار بود و بیشترین عملکرد دانه را نیز داشت. کمترین عملکرد دانه در رقم تجن و در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده گردید که با کمترین وزن خشک ریشه همراه بود.

موضوع بهره برداری بیشتر از پدیده انتقال مجدد مواد فتوسنتزی را به عنوان مکانیزم جبرانی در شرایط تنش نشان می‌دهد. نکته قابل ذکر دیگر در این آزمایش تفاوت‌های ژنوتیپی بین دو رقم مورد مطالعه است. گنجعلی و همکاران (۷) گزارش کرده‌اند که تفاوت‌های ژنوتیپی ویژگی‌های ریشه و اندام هوایی اغلب در مراحل اولیه رشد آشکار می‌شود و این حقیقت را می‌توان به عنوان یک روش مناسب و آسان در گزینش ارقام یا ژنوتیپ‌ها مورد استفاده قرار داد. ضمن این که در این مطالعه نیز تفاوت دو رقم حساس و مقاوم به شوری گندم با بررسی ویژگی‌های ریشه در مرحله گرده افشانی کاملاً مشهود بود. لذا به نظر می‌رسد با بررسی صفات مورد مطالعه در این آزمایش می‌توان میزان حساسیت یا تحمل ژنوتیپ‌های مختلف را نسبت به تنش شوری مشخص نمود.

### منابع مورد استفاده

۱. امام، ی. و م. زواره. ۱۳۸۴. تحمل خشکی در گیاهان عالی (ترجمه). مرکز نشر دانشگاهی، تهران.
۲. پوستینی، ک. ۱۳۸۱. ارزیابی ۳۰ رقم گندم از نظر واکنش به تنش شوری. مجله علوم کشاورزی ایران ۳۳(۱): ۵۷-۶۴.
۳. حیدری، م. ح. ا. نادیان، ع. بخشنده، خ. عالمی سعید و ق. فتحی. ۱۳۸۶. بررسی اثرات سطوح مختلف شوری و نیتروژن بر تنظیم کننده‌های اسمزی و جذب عناصر غذایی در گندم. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۴۰: ۱۹۳-۲۱۰.
۴. خزاعی، ح. ۱۳۸۱. اثر تنش خشکی بر عملکرد و خصوصیات فیزیولوژیک ارقام مقاوم و حساس گندم و معرفی مناسب‌ترین شاخص‌های مقاومت به خشکی. پایان‌نامه دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
۵. کافی، م. ا. برزوئی، م. صالحی، ع. کمندی، ع. معصومی و ج. نباتی. ۱۳۸۸. فیزیولوژی تنش‌های محیطی در گیاهان. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
۶. گنجعلی، ع. ه. پالتا و ن. ترنر. ۱۳۸۶. الگوهای زمانی و مکانی رشد ریشه ژنوتیپ‌های نخود (*Cicer arietinum* L.) در شرایط تنش غرقابی. مجله پژوهش‌های زراعی ایران ۲: ۳۴۳-۳۵۷.
۷. گنجعلی، ع. ح. پرسا و س. حجت. ۱۳۸۶. تنوع ژنوتیپی صفات ریشه و اندام هوایی گیاهچه‌های نخود (*Cicer arietinum* L.) در محیط هیدروپونیک و گلخانه. مجله پژوهش‌های زراعی ایران ۱: ۱۴۳-۱۵۵.
۸. ماشی، ا. س. گالشی، ا. زینلی و ع. نوری‌نیا. ۱۳۸۷. اثر تنش شوری بر عملکرد و اجزای عملکرد چهار ژنوتیپ جو بدون پوشینه. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی ۱۴(۵): ۸۶-۹۸.
۹. معصومی، ع. ۱۳۸۳. اثرات مورفولوژیکی تنش خشکی بر ژنوتیپ‌های نخود در شرایط گلخانه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.
۱۰. میبیدی، س. ع. و ب. قره یاضی. ۱۳۸۱. جنبه‌های فیزیولوژیک و به‌نژادی تنش شوری گیاهان. مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان.

11. Camacho, R.G. and D.F. Caraballo. 1994. Evaluation of morphological characteristics in Venezuelan maize (*Zea mays* L.) genotypes under drought stress. *Sci. Agric.* 51(3): 453-458.
12. Gregory, P.J. 1988. Root growth of chick pea, faba bean, lentil and pea and effect of water and salt stresses. PP. 857-867. *In: Summerfield, R.J. (Ed.), World Crops: Cool-Season Food Legumes*, Kluwer Academic Publisher.
13. Kant, S. and U. Kafkafi. 2005. *Impact of Mineral Deficiency Stress*. Rehovot, Israel.
14. Wittenmayer, L. and W. Merbach. 2005. Plant responses to drought and phosphorus deficiency: Contribution of phytohormones in root-related processes. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168(4): 531-540.
15. Mahluji, M. and E.D. Fani. 2002. Assessment of potential genotypes of bread wheat under stress in Isfahan region. 7<sup>th</sup> Congress of Iran Agriculture and Plant Modification Sciences, Book of Abstracts, Institute of Modification and Production of Seedling and Seed, Karaj.
16. Main, M.A.R., E.D. Nafziger, F.L. Kolb and R.H. Teyker. 1993. Root growth of wheat genotypes in hydroponic culture and in the greenhouse under different soil moisture regimes. *Crop Sci.* 33(2): 283-286.
17. Nour, A.M., D.E. Weibel and G.W. Tood. 1978. Evaluation of root characteristics in grain sorghum. *Agron. J.* 70: 217-218.
18. Singh, D.N., A.M. Masood and D.S. Basu. 2000. Genetic variation in dry matter partitioning in shoot and root influences of chickpea to drought. 3<sup>rd</sup> International Crop Science Congress, 17-22 August, 2000, Hamburg, Germany.
19. Soltani, A.A.F., F.R. Khoorie, K. Ghasemi Golezani and F.M. Moghadam. 2000. Thresholds for chickpea leaf expansion and transpiration response to soil water deficit. *Field Crops Res.* 68(3): 205-210.