

تأثیر شوری کلرید سدیم بر الگو و سرعت توسعه ریشه گیاه ارزن پادزهری (*Panicum antidotale* Retz.)

حمید رضا عشقی‌زاده^{۱*}، محمد کافی^۲ و احمد نظامی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۱/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۲/۳)

چکیده

آگاهی از نحوه رشد و توسعه اندام‌های مختلف گیاه، به ویژه ریشه، در مدیریت بهینه تولید گیاهان شورزیست از اهمیت زیادی برخوردار است. در این پژوهش، گیاه ارزن پادزهری (*Panicum antidotale* Retz.) در یک خاک لوم شنی درون کیسه‌های پلاستیکی کاشته شده و در مرحله ۴ برگی در معرض سطوح مختلف شوری آب آبیاری شامل صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر که به ترتیب با افزودن صفر، ۵، ۱۱ و ۲۰ گرم نمک کلرید سدیم در هر لیتر آب مقطر حاصل شد، قرار گرفت. برای مطالعه الگو و سرعت توسعه اجزای مختلف ریشه، ویژگی‌های ریختی ریشه در چهار مرحله پدیداری شامل شروع پنجه‌زنی، طویل شدن ساقه، ظهور خوشه و رسیدگی دانه اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از روش رگرسیون، بهترین معادلات بیان‌کننده روند تغییرات صفات اندازه‌گیری شده نسبت به زمان انتخاب شدند. نتایج نشان داد که با افزایش سن گیاه و توسعه اجزای فتوسنتزی، سرعت افزایش وزن ریشه در شرایط غیر شور افزایش یافته و به حدود ۷۰ میلی‌گرم در بوته در روز تا مرحله طویل شدن ساقه رسید. طی این مدت، سرعت افزایش وزن ریشه در سطوح شوری ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب حدود ۳۰، ۶۰ و ۴۰ میلی‌گرم در بوته در روز بود. در فاصله زمانی بین طویل شدن ساقه و ظهور خوشه، سرعت افزایش وزن ریشه در سطوح مختلف شوری آب آبیاری کاهش یافت که این کاهش رشد در سطوح ۱۰ و ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر چشمگیرتر بود. هم‌چنین سهم محصولات فتوسنتزی اختصاص یافته به بخش ریشه از کاشت بذر تا شروع پنجه‌زنی (۱۸-۰ روز پس از کاشت) حدود ۲۵، ۲۲، ۹ و ۱۰ درصد به ترتیب در سطوح شوری صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر بود. این در حالی است که این میزان در ۳۵-۱۸ روز پس از کاشت (طویل شدن ساقه) به ترتیب به ۳۴، ۲۱، ۲۵ و ۲۶ درصد در سطوح شوری صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر تغییر یافت. افزایش تنش شوری، الگوی سیگموئیدی توسعه ریشه این گیاه را از طریق کاهش سرعت توسعه و اندازه اجزای آن تغییر داد، هر چند ویژگی‌های ریختی مختلف ریشه ارزن پادزهری حساسیت متفاوتی به شوری آب آبیاری داشتند.

واژه‌های کلیدی: ریخت‌شناسی، شورزیست، عمق نفوذ ریشه، طول تجمعی ریشه

۱. دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲. عضو هیئت علمی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: hamid.eshghizadeh@gmail.com

مقدمه

کشت گیاهان شورزیست با بهره‌گیری از آب‌های لب شور، آب زهکش و آب دریا در تولید گیاهان متحمل به شوری و یا شورپسند (هالوفیت‌ها) موجب کاهش فشار بر منابع محدود آب شیرین می‌شود (۱۵). شورپسندها گیاهانی هستند که قادرند چرخه زندگی خود را در اراضی شور کامل کنند و در صورت وجود برنامه‌های مدیریتی درست، می‌توان از آنها به نحو مطلوب بهره‌برداری کرد (۱۶). ایران یکی از غنی‌ترین کشورهای دنیا از نظر فلور گیاهی است و تا کنون بیش از ۶۲۰۰ گونه گیاهی در فلور آن شناسایی شده است. از این تعداد ۳۵۴ گونه آن را شورپسندها تشکیل داده و روز به روز نیز با تکمیل مطالعات تعداد آنها افزایش می‌یابد (۵).

گیاه ارزن پادزهری گونه بومی مناطق معتدل و گرمسیری آسیا از خاورمیانه تا هند (افغانستان، ایران، یمن، هند و پاکستان) است (۱۳). این گیاه متحمل به آب‌گرفتگی یا شرایط غرقابی زودگذر بوده و در تپه‌های شنی و بستر رودخانه‌های خشک شمال غربی پاکستان، افغانستان و ایران رشد می‌کند و در چراگاه‌های طبیعی شمال غربی هند نیز یافت می‌شود (۱۰). نتایج پیش آزمایش‌های سازگاری این گیاه در مناطق استپی سرد سبزوآر موفقیت آمیز بوده است (۱). گیاه ارزن پادزهری دارای سیستم ریشه‌ای خیلی عمیق بوده که استعداد دست‌یابی به رطوبت در بخش‌های عمقی خاک را دارد (۱۰). این گیاه هم‌چنین از تحمل بالایی به خشکی و شرایط کمبود رطوبت در مراتع مناطق بیابانی برخوردار است (۲۵) و به سرعت به تغییرات ناگهانی پیش‌آمده در طول تابستان پاسخ می‌دهد. گیاه ارزن پادزهری گیاهی علوفه‌ای و خوشخوراک به ویژه برای گاوهای شیری (۲۴) و گوسفندان است (۲۶).

برای پرورش شورزیست‌ها، این گیاهان باید برای صفات زراعی مانند تحمل به شوری، بهره‌وری از آب، عادات رشد و کیفیت علوفه مورد بررسی قرار گیرند (۲۷). در این میان ریشه به عنوان یک اندام رویشی مهم، تأمین آب و مواد معدنی لازم برای رشد و نمو گیاه را بر عهده دارد. ریشه‌ها در شرایط

عادی قابل مشاهده نبوده و این امر سبب شده است تا با وجود نقش حیاتی ریشه در بسیاری از موارد مورد توجه قرار نگیرند (۲). پژوهش پیرامون ریشه، در مقایسه با سایر اندام‌های گیاهی، تا حدودی به دلیل مشکلات متعددی که بر سر راه مطالعه ریشه وجود دارد، محدود بوده است. با این حال پیشبرد رشد گیاه از طریق ایجاد تغییر در محیط ریشه ساده‌تر از تغییر در محیط شاخ و برگ است. شرایط مختلف آب، هوا و مواد معدنی ریزوسفر (محیط ریشه) به وسیله عملیات زراعی با سهولت بیشتری قابل تغییر می‌باشند. دمای خاک به وسیله به هم زدن، شخم و مالچ، رطوبت آن به وسیله آبیاری و مواد معدنی آن به وسیله کوددهی قابل تغییر است. در حالی که تغییر محیط شاخه و برگ (اتم‌سفر) مشکل و گاهی غیر ممکن می‌باشد. بنابراین شاید بهتر آن باشد که مطالعات پیرامون ریشه بیشتر مورد توجه قرار گیرد (۳).

پایش وزن خشک ریشه ملاک مناسبی برای مطالعات ریشه و پاسخ آن به عامل‌های محیطی محسوب می‌شود. این ویژگی می‌تواند به عنوان یک شاخص اساسی در برآورد ذخیره مواد فتوسنتزی در گیاه محسوب شود (۱۷). با این حال، وزن ریشه ویژگی مناسبی برای توجیه میزان فعالیت و یا جذب توسط ریشه نیست، زیرا ریشه‌های موئین در حالی که ممکن است فعال‌ترین بخش ریشه باشند ولی از نظر وزنی، بخش ناچیزی از کل وزن ریشه را تشکیل می‌دهند. بنابراین لایه‌ای از خاک که بیشترین وزن ریشه را در خود دارد، نمی‌تواند معادل لایه خاکی باشد که بیشترین جذب آب و مواد غذایی را دارد. این موضوع به ویژه در گونه‌های با ریشه ضخیم و خشن مانند گیاهان درختی چند ساله حائز اهمیت است (۲۳). سطح ریشه به ندرت در مطالعات اکولوژیک مورد بررسی قرار می‌گیرد؛ هر چند به نظر می‌رسد این ویژگی یکی از مهمترین ویژگی‌های ریشه است که در مطالعات جذب آب و مواد غذایی ریشه می‌توان به آن پرداخت (۹ و ۱۱). طول ریشه را می‌توان پرکاربردترین ویژگی ریشه دانست زیرا بسیاری پژوهشگران معتقدند طول ریشه در واحد حجم خاک بهترین ویژگی برای محاسبه جذب



(ب)



(الف)

شکل ۱. نمایش از محل اجرای آزمایش ریشه: (الف) پیش از کاشت و (ب) پس از کاشت

مقطر به دست آمد.

برای این منظور کیسه‌های پلاستیکی با قطر دهانه ۹۰ میلی‌متر و ارتفاع ۱۲۰۰ میلی‌متر که انتهای آنها به وسیله دستگاه سوراخ‌زن متخلخل شده بود، در لوله‌هایی از جنس پلی اتیلن سیاه رنگ قرار گرفتند. این کار برای ثبات و پایداری کیسه‌ها و نیز جلوگیری از نفوذ نور به محیط ریشه انجام شد. ده سانتی‌متر انتهای هر کیسه به وسیله شن درشت و بقیه با بستر آماده شده از مخلوط خاک و ماسه شسته شده (جدول ۱) به تدریج پر شد. سپس لوله‌های پلی اتیلنی در داخل یک محفظه جای داده شدند. این مکان به صورتی طراحی شد که سطح لوله‌های پلی اتیلنی با سطح خاک برابر باشد. برای جلوگیری از گرم شدن بستر، سطح و اطراف محفظه به طور کامل پوشانده شد. هم‌چنین برای جمع‌آوری زه‌آب، در قسمت پایین هر لوله پلی اتیلنی ظرف دوجداره پلاستیکی قرار داده شد (شکل ۱).

برای یکنواخت‌تر شدن شرایط رشد ریشه، رطوبت هر لوله پلی اتیلنی پس از چند روز آبیاری تدریجی و خروج زه‌آب، به ظرفیت زراعی رسانده شد. سپس ۱۰ عدد بذر گونه شورزی ارزن پادزهری (*Panicum antidotale* Retz.) که از ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی سبزوار تهیه شده بود، پس از تعیین قوه نامیه (حدود ۹۵٪) در تاریخ پنجم تیر ماه ۱۳۸۹ در داخل بستر هر لوله و در عمق تقریبی ۱-۵ سانتی‌متری کشت شدند.

در تاریخ نهم تیر ماه ۱۳۸۹ بذرهای سبز شدند و پس از کم کردن تعداد بوته‌ها به یک عدد در مرحله چهارم برگ‌ریزی، اعمال

آب توسط گیاه است (۲۹). اندازه‌گیری مستقیم طول ریشه با استفاده از روش دستی بسیار طاقت فرسا است. به همین دلیل، فرمول‌های مختلفی برای تخمین طول ریشه توسط محققین بر اساس روابط تجربی ارائه شده است که همگی دارای خطا می‌باشند (۳۰). امروزه از روش‌های اسکن رایانه‌ای و استفاده از نرم‌افزارهایی چون وینرایزو (Winrhizo) و دلتا تی اسکن (Delta T-scan) برای ارزیابی بسیاری از ویژگی‌های ظاهری رشد ریشه استفاده می‌شود (۶).

بنابراین با توجه به اهمیت آگاهی از نحوه رشد و توسعه اندام‌های مختلف گیاه به ویژه ریشه در مدیریت بهینه گیاهان شورزیست، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر شوری بر الگو و سرعت توسعه ریشه گیاه ارزن پادزهری انجام شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش تأثیر چهار سطح شوری آب آبیاری با قابلیت هدایت الکتریکی صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر و چهار زمان برداشت (شروع پنجه‌زنی، طویل شدن ساقه، ظهور خوشه و رسیدگی فیزیولوژیک) بر ویژگی‌های ریختی ریشه گیاه ارزن پادزهری به صورت آزمایشی فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مرکز پژوهشی کشت بدون خاک دانشگاه صنعتی اصفهان و در خارج از گلخانه (شکل ۱) مورد ارزیابی قرار گرفت. تیمارهای شوری با حل کردن حدود ۵، ۱۱ و ۲۰ گرم نمک کلرید سدیم در هر لیتر آب

جدول ۱. برخی از ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی بستر آزمایش

ویژگی	واحد	اندازه
رس	درصد	۸
سیلت	درصد	۲۱
شن	درصد	۷۱
بافت خاک	-	لوم شنی
pH	-	۷/۷۵
قابلیت هدایت الکتریکی	دسی زیمنس بر متر	۳/۱۰
کربن آلی	درصد	۰/۶۲
نیتروژن کل	درصد	۰/۰۶
فسفر قابل دسترس	میلی گرم در کیلوگرم	۴۱
پتاسیم قابل دسترس	میلی گرم در کیلوگرم	۲۲۸

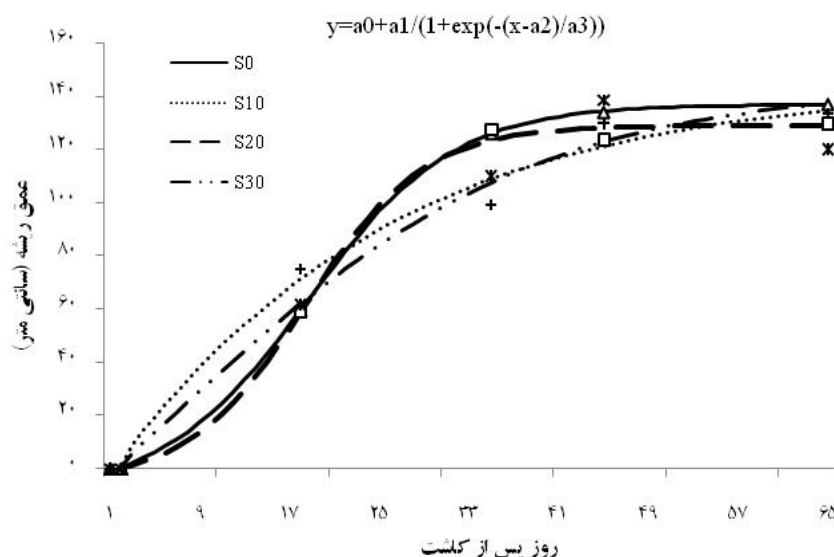
تیمارهای شوری آغاز شد. آبیاری به صورت یک روز در میان انجام شد. جهت سازگاری گیاه تیمارهای ۱۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر پس از گذشت یک هفته و به تدریج اعمال شد.

در طول دوره آزمایش، مواد غذایی مورد نیاز گیاه به صورت محلول غذایی کامل (نسبت ۲۰:۲۰:۲۰ از P_2O_5 ، N و K_2O و عناصر کم نیاز Mg ، Fe ، Zn ، Cu ، Mn و B) در آب آبیاری در سه نوبت به مقدار ۲ لیتر در هکتار مورد استفاده قرار گرفت. مراحل شروع پنجه‌زنی، طویل شدن ساقه، ظهور خوشه و رسیدگی فیزیولوژیک به ترتیب ۱۸، ۳۵، ۴۵ و ۶۵ روز پس از کاشت بذرها و در تاریخ‌های ۲۴ام تیر ماه، ۱۴ام مرداد ماه، ۲۴ام مرداد ماه و نهم شهریور ماه ظاهر شد که در هر مرحله برداشت انجام گرفت. شایان ذکر است که ظهور مراحل مختلف رشد در گیاهان تیمار غیر شور (صفر دسی‌زیمنس بر متر) به عنوان شاهد در نظر گرفته شد.

در هر مرحله از برداشت برای اندازه‌گیری ویژگی‌های ریشه، کیسه‌ها از داخل لوله‌های پلی اتیلنی خارج شده و روی یک میز درجه‌دار قرار گرفت و در اولین اقدام عمق ریشه هر گیاه ثبت شد. سپس با استفاده از اره آهن‌بر دارای دندانه‌های ریز، هر کیسه پلاستیکی به قطعات ۲۰ سانتی‌متری تفکیک و هر قطعه به داخل ظرف آب منتقل و هم‌زمان با کمک تیزبر

شیارهای کم عمقی روی هر جداره آن ایجاد و کیسه پلاستیکی از خاک و ریشه جدا شد. هر یک از نمونه‌ها به مدت تقریباً ۲۰ دقیقه در داخل ظرف آب قرار گرفت. سپس محتویات هر ظرف به داخل غربال ریخته شد. در این حالت محتوای ریشه هر بخش با استفاده از آب به خوبی جدا شده و در ظرف آب حاوی آب مقطر قرار گرفت. به دلیل زمان‌بر بودن روند شستشوی ریشه‌ها و نیز کاهش تغییرات ناشی از فعالیت ریزجانداران، نمونه‌های آماده شده پس از اندازه‌گیری حجم هر بخش با استفاده از استوانه درجه‌دار ۵۰ میلی‌لیتری، به سردخانه با دمای ۴ درجه سلسیوس منتقل شدند.

با استفاده از پوشگر تصویر رایانه‌ای با وضوح ۴۰۰ dpi و نرم‌افزار دلتا تی اسکن سطح تجمعی، طول تجمعی، قطر و تعداد کل انشعابات بخش‌های ۲۰ سانتی‌متری ریشه تعیین شد. برای این منظور ریشه‌ها را با دقت در روی سینی‌های شیشه‌ای مخصوص پهن کرده و از هم باز شدند، تا هیچگونه همپوشانی بین ریشه‌ها وجود نداشته باشد. برای رسیدن به این هدف سینی‌ها تا عمق ۴-۲ میلی‌متر از آب پر شدند. پس از آن سینی‌ها روی اسکنر منتقل شدند و تصویربرداری انجام شد. از آنجایی که در این روش بیشینه تراکم طولی ریشه نباید بیش از ۵ میلی‌متر در میلی‌متر مربع تصویر باشد، ریشه‌های متراکم تکه تکه شده و



شکل ۲. روند پیشرفت نفوذ ریشه گیاه ارزن پادزهری در خاک تحت تأثیر شوری آب آبیاری. مقادیر R^2 منحنی برازش یافته سیگموئیدی در سطوح مختلف شوری صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب حدود ۰/۹۹، ۰/۹۵، ۰/۹۹ و ۰/۹۹ بود. هم‌چنین نمادهای Δ ، $\square$ و $\times$ مقادیر مشاهده شده در شوری صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر را پس از اعمال تیمارهای شوری نشان می‌دهند.

ریشه بین مرحله طویل شدن ساقه تا ظهور خوشه کاهش چشمگیری نشان داد و به حدود ۰/۸ میلی‌متر در روز رسید و این روند تا زمان رسیدگی دانه ادامه یافت (شکل ۳). این روند با نحوه رشد و نمو گیاه ارزن پادزهری و تغییر کارکرد اندام‌های مختلف آن در طول دوره رشد همخوانی داشته و در مرحله شروع رشد زایشی، سرعت و میزان نفوذ ریشه کاهش یافته است (۱۴).

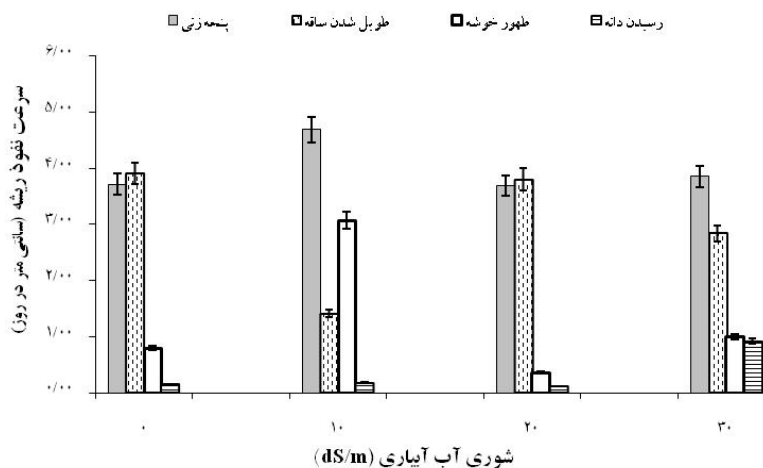
در شوری آب آبیاری ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر نیز روند نفوذ ریشه در خاک مشابه شرایط غیر شور بود. با این تفاوت که سرعت نفوذ ریشه در مراحل مختلف رشد و در نتیجه میزان نفوذ نهایی ریشه در خاک کمتر و حدود ۱۲۹/۷ سانتی‌متر بود (شکل‌های ۲ و ۳). روند نفوذ ریشه در شوری‌های ۱۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر، به ویژه در مرحله شروع پنجه‌زنی تا طویل شدن ساقه، با دو سطح دیگر شوری آب آبیاری متفاوت بود. به شکلی که سرعت نفوذ ریشه در این مرحله نسبت به مرحله ابتدایی کاهش نشان داد. در شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر این کاهش سرعت در مرحله بعدی جبران و به ۳/۰۷ سانتی‌متر در

سپس بررسی شدند (۶). هر نمونه به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در خشک‌کن قرار گرفت و وزن خشک آن با ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد. سپس بهترین معادلاتی که روند تغییرات صفات اندازه‌گیری شده را با زمان نشان می‌دادند، با استفاده از روش رگرسیون و با کمک برنامه رایانه‌ای SlideWrite2.0 انتخاب شدند. هم‌چنین نمودارها با استفاده از نرم افزار اکسل رسم شدند.

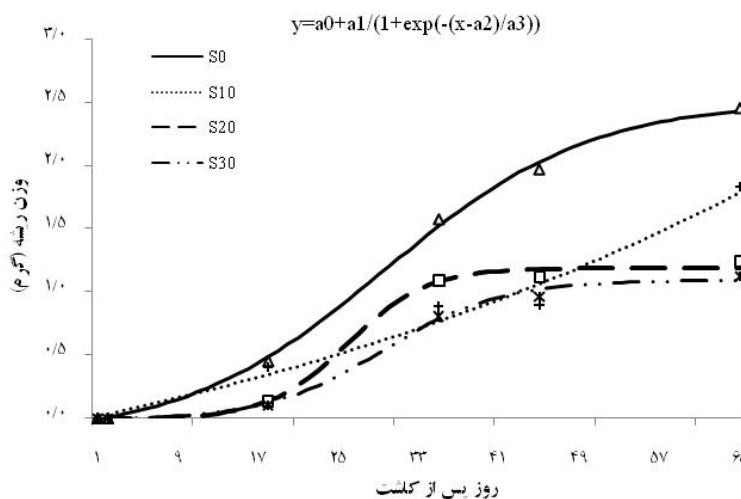
نتایج و بحث

عمق نفوذ ریشه

در شرایط غیر شور، برازش روند توسعه ریشه گیاه ارزن پادزهری در خاک به شکل سیگموئیدی بود (شکل ۲). در این شرایط از ابتدای سبز شدن و رشد گیاهچه تا شروع مرحله پنجه‌زنی به طور متوسط روزانه حدود ۳۷/۲ میلی‌متر بر عمق ریشه گیاه ارزن پادزهری افزوده شد. با ادامه رشد گیاه، سرعت نفوذ حدود ۵٪ افزایش یافت و به ۳۹/۱ میلی‌متر در روز تا مرحله طویل شدن ساقه رسید. متوسط سرعت رشد



شکل ۳. سرعت نفوذ ریشه گیاه ارزن پادزهری در خاک در مراحل مختلف رشد تحت تأثیر سطوح مختلف شوری آب آبیاری

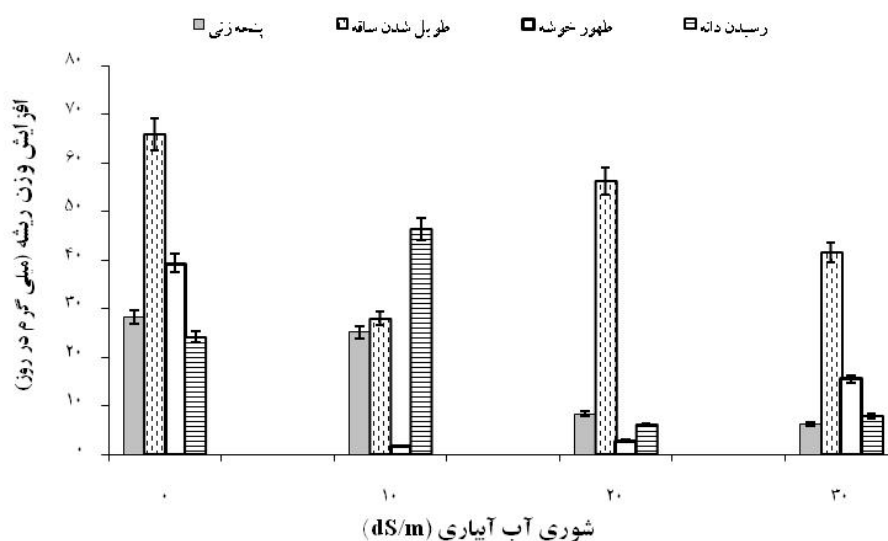


شکل ۴. روند افزایش وزن ریشه گیاه ارزن پادزهری در سطوح مختلف شوری آب آبیاری. مقادیر R^2 منحنی برازش یافته سیگموئیدی در سطوح مختلف شوری صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب حدود ۰/۹۹، ۰/۹۵، ۰/۹۹ و ۰/۹۹ بود. هم‌چنین نمادهای Δ ، $+$ ، $\square$ و $\times$ مقادیر مشاهده شده در شوری صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر را پس از اعمال تیمارهای شوری نشان می‌دهند.

وزن ریشه

روند افزایش وزن ریشه گیاه ارزن پادزهری در شرایط مختلف شوری آب آبیاری نیز شکلی سیگموئیدی داشت (شکل ۴). با این تفاوت که طول مدت شرایط رشد صعودی، خطی و نزولی در آنها متفاوت بود. در شرایط غیر شور، روزانه به طور متوسط ۳۰ میلی‌گرم بر وزن خشک ریشه تا شروع پهنه‌زنی گیاه افزوده شد که با سرعت افزایش وزن ریشه در شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر در این مرحله تا حدودی یکسان بود. این در حالی است

روز رسید. ولی در شوری ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر روند کاهشی تا زمان برداشت ادامه یافت (شکل ۳). افزایش تنش شوری باعث افزایش تنفس گیاه شده زیرا مقدار زیادی از Na^+ که از محلول خارجی وارد سلول‌های ریشه می‌شود، احتمالاً دوباره از طریق ناقل‌های غشای پلاسمایی به بیرون بازگردانده می‌شود (۲۸) و این فرایند احتمالاً انرژی زیادی مصرف می‌کند و کاهش سرعت رشد ریشه گیاه را در پی داشته است.



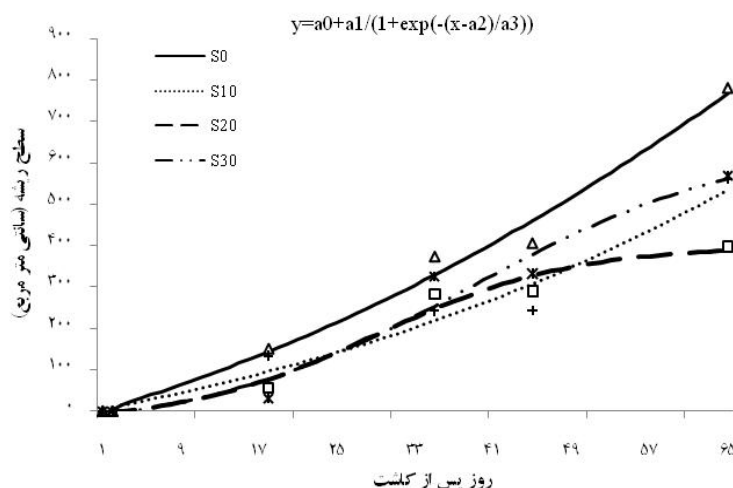
شکل ۵. سرعت افزایش وزن ریشه گیاه ارزن پادزهری در مراحل مختلف رشد تحت تأثیر سطوح مختلف شوری آب آبیاری

(Acclimation) متعادل تر کرده است (۴). به طور کلی با افزایش غلظت نمک در محیط ریشه، تنش اسمزی شروع شده و با عبور از آستانه تحمل گیاه، سرعت رشد شاخساره نیز به شکل بارزی کم می شود (۸ و ۱۹). هم چنین با قرار گرفتن گیاه در محیط شور، سرعت رشد برگ های در حال توسعه کاهش یافته، ظهور برگ های جدید آهسته تر و در صورت ادامه تنش با ایجاد سمیت ویژه یون متوقف شده، شاخه ها و شاخساره های کمتری تشکیل می شود (۱۸) و در نهایت کاهش شدت فتوسنتز گیاه منجر به کاهش وزن ریشه می شود (۲۰).

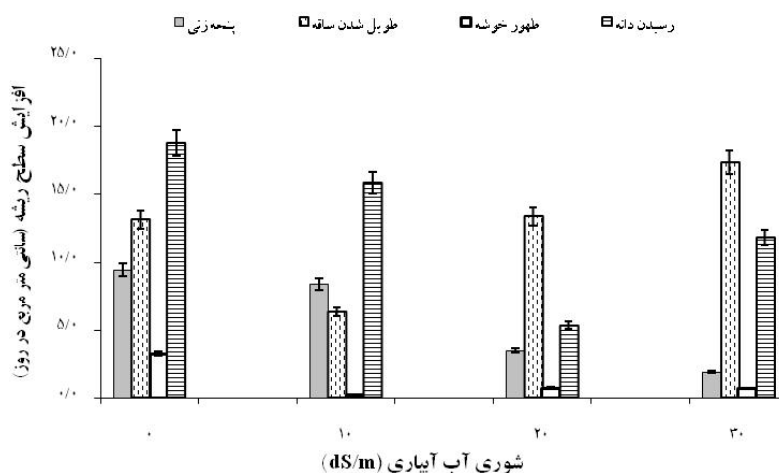
سطح ریشه

روند افزایشی سطح ریشه گیاه ارزن پادزهری در شرایط غیر شور حتی با گذشت بیش از ۲ ماه از شروع آزمایش و تا مرحله رسیدگی دانه در گیاه ادامه داشت (شکل ۶). مشابه این وضعیت در شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر مشاهده شد، هر چند مقدار افزایش سطح در این شرایط کمتر بود. این در حالی است که افزایش سطح ریشه در سطوح شوری ۲۰ و ۳۰ دسی زیمنس بر متر شکلی سیگموئیدی داشت و در مراحل پایانی رشد تقریباً متوقف شد (شکل ۶). در فاصله بین کاشت تا شروع پنجه زنی بیشترین سرعت توسعه سطح ریشه (۹۰۰ میلی متر مربع در روز)

که سرعت افزایش وزن ریشه در همین مدت در شوری های بیشتر (۲۰ و ۳۰ دسی زیمنس بر متر) حدود ۱۰ میلی گرم در روز بود (شکل ۵). با افزایش سن گیاه و توسعه ساختارهای فتوسنتزی، سرعت افزایش وزن ریشه در شرایط غیر شور افزایش یافته و به حدود ۷۰ میلی گرم در روز تا مرحله طویل شدن ساقه رسید. طی این مدت سرعت افزایش وزن ریشه در سطوح شوری ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دسی زیمنس به ترتیب حدود ۳۰، ۶۰ و ۴۰ میلی گرم در روز بود (شکل ۵). در فاصله زمانی بین طویل شدن ساقه و ظهور خوشه، سرعت افزایش وزن ریشه در سطوح مختلف شوری آب آبیاری کاهش یافت که این کاهش در سطوح ۱۰ و ۲۰ دسی زیمنس بر متر چشمگیرتر بود. به نظر می رسد در شرایط این آزمایش، آبیاری در سطوح ۱۰ و ۲۰ دسی زیمنس بر متر ابتدا شوری متوسطی را در اطراف ریشه ایجاد کرده و این امر باعث تحریک رشد و نمو گیاه شورزیست ارزن پادزهری شده است (۳۱). ولی با ادامه اعمال تیمارهای آبیاری، غلظت املاح در محیط ریشه افزوده شده و این عامل کاهش چشمگیرتر سرعت رشد ریشه را در مقایسه با شرایط غیر شور و شوری ۳۰ دسی زیمنس بر متر در بر داشته است. این در حالی است که آبیاری با آب دارای شوری ۳۰ دسی زیمنس بر متر از ابتدا گیاه را تحت تنش قرار داده و روند رشد گیاه را به دنبال تطابق با شرایط



شکل ۶. روند افزایش سطح ریشه گیاه ارزن پادزه‌ری در سطوح مختلف شوری آب آبیاری. مقادیر R^2 منحنی برازش یافته سیگموئیدی در سطوح مختلف شوری صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب حدود ۰/۹۷، ۰/۹۲، ۰/۹۱ و ۰/۹۲ بود. هم‌چنین نمادهای Δ ، $+$ ، $\square$ و $*$ مقادیر مشاهده شده در شوری صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر را پس از اعمال تیمارهای شوری نشان می‌دهند.



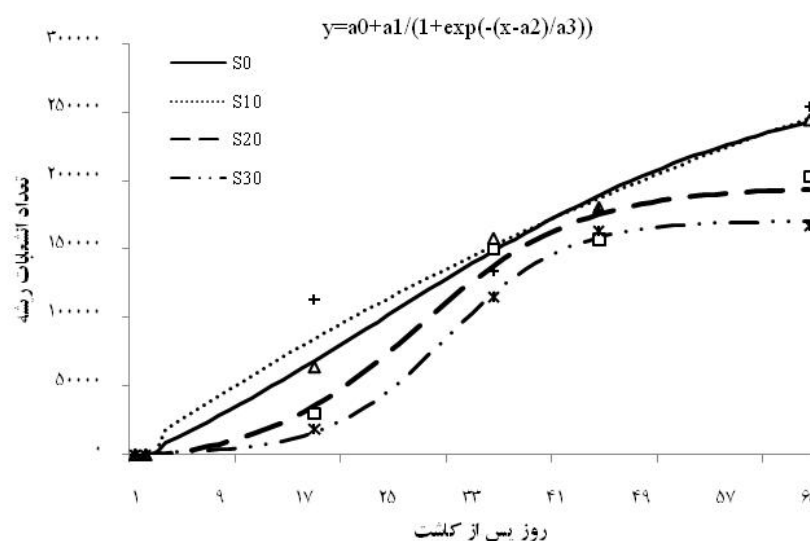
شکل ۷. سرعت افزایش سطح ریشه گیاه ارزن پادزه‌ری در مراحل مختلف رشد تحت تأثیر سطوح مختلف شوری آب آبیاری

و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر آب آبیاری و نیز سطوح ۲۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر آب آبیاری روند مشابهی دیده شد که تنها در مقدار و تعداد با یکدیگر تفاوت داشتند، به طوری که بیشینه تعداد ریشه در سطح شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر (۲۵۳۹۸۷) در مقایسه با بیشینه تعداد ریشه در شوری ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر (۱۶۶۹۳۹) تفاوت ۸۷۰۴۸ عدد (حدود ۵۲٪) را نشان داد (شکل ۸). بیشترین سرعت افزایش تعداد ریشه (۷۰۹۶ ریشه در روز) در شوری ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر و در فاصله بین کاشت

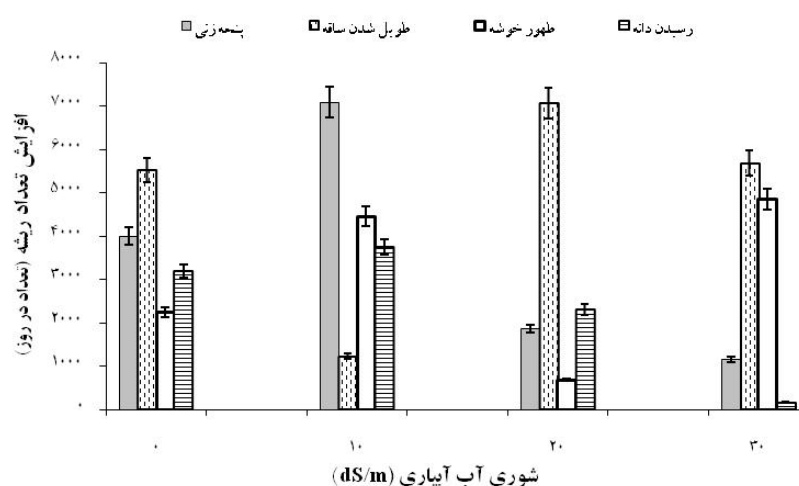
مربوط به شرایط غیر شور و کمترین آن (۲۰۰ میلی‌متر مربع در روز) مربوط به سطح شوری ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر بود (شکل ۷). به نظر می‌رسد افزایش تنش شوری سطح تجمع ریشه را نیز به دنبال کاهش سایر ویژگی‌های ریشه مانند وزن و عمق ریشه متأثر ساخته و کاهش داده است (۴).

تعداد ریشه

در ارتباط با تعداد ریشه در گیاه ارزن پادزه‌ری در سطوح صفر



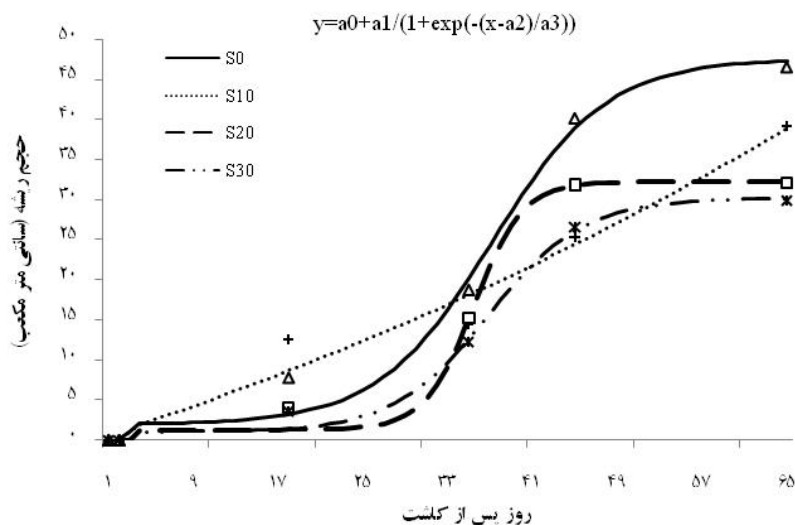
شکل ۸. روند افزایش تعداد ریشه گیاه ارزن پادزهری در سطوح مختلف شوری آب آبیاری. مقادیر R^2 منحنی برازش یافته سیگموئیدی در سطوح مختلف شوری صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب حدود ۰/۹۹، ۰/۹۳، ۰/۹۶ و ۰/۹۹ بود. هم‌چنین نمادهای Δ ، $+$ ، $\square$ و $\times$ مقادیر مشاهده شده در شوری صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر را پس از اعمال تیمارهای شوری نشان می‌دهند.



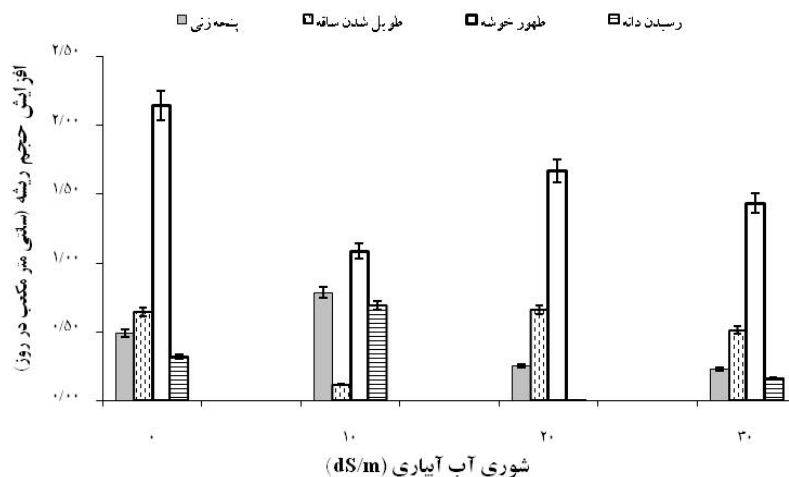
شکل ۹. سرعت افزایش تعداد ریشه گیاه ارزن پادزهری در مراحل مختلف رشد تحت تأثیر سطوح مختلف شوری آب آبیاری

در شدت تنش شوری تغییر می‌یابد. به نظر می‌رسد در شرایط این آزمایش نیز آبیاری با آب دارای شوری ۲۰ دسی‌زیمنس در متر، ابتدا شوری متوسطی را در محیط ریشه فراهم کرده که منجر به تقویت رشد و در نتیجه افزایش سطح ریشه شده است ولی به تدریج با افزایش تعداد آبیاری‌ها و تجمع بیشتر املاح در خاک تنش شوری افزایش یافته و از رشد گیاه جلوگیری نموده است.

تا پنجه‌زنی گیاه و کمترین سرعت (۱۶۷ ریشه در روز) در سطح شوری ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر و در فاصله بین ظهور خوشه تا رسیدن دانه اختصاص داشت (شکل ۹). به طور کلی شورزیست‌ها گیاهانی هستند که قادرند چرخه زندگی خود را در اراضی شور کامل کنند و برخی از شورزیست‌های حقیقی در حضور میزان متوسط نمک تولیدشان افزایش می‌یابد (۳۱) هر چند این روند در مراحل مختلف رشد گیاه با توجه به تفاوت



شکل ۱۰. روند افزایش حجم ریشه گیاه ارزن پادزه‌ری در سطوح مختلف شوری آب آبیاری. مقادیر R^2 منحنی برازش یافته سیگموئیدی در سطوح مختلف شوری صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب حدود ۰/۹۵، ۰/۹۳، ۰/۹۷ و ۰/۹۷ بود. هم‌چنین نمادهای Δ ، $+$ ، $\square$ و $\times$ مقادیر مشاهده شده در شوری صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر را پس از اعمال تیمارهای شوری نشان می‌دهند.

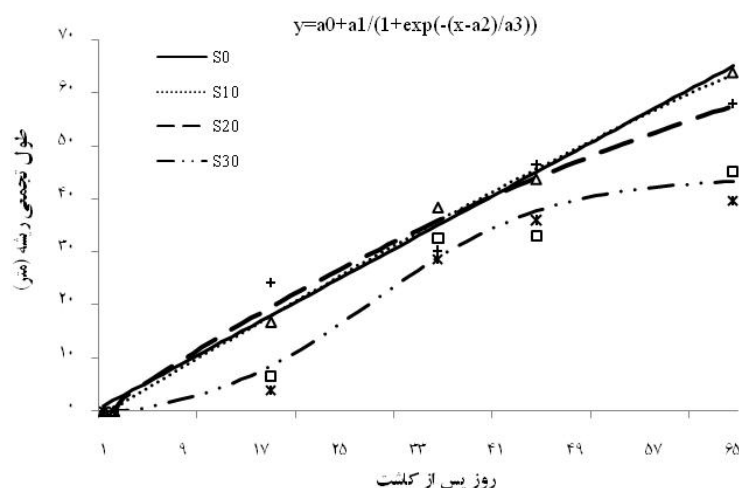


شکل ۱۱. سرعت توسعه حجم ریشه گیاه ارزن پادزه‌ری در مراحل مختلف رشد تحت تأثیر سطوح مختلف شوری آب آبیاری

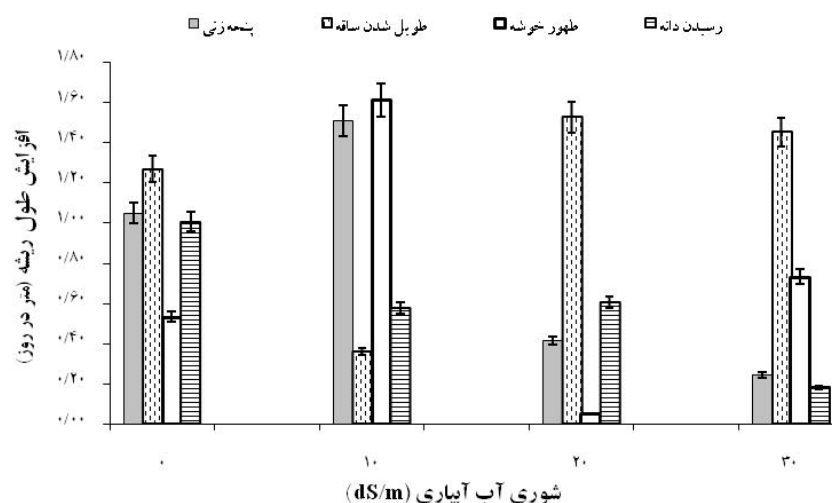
حجم ریشه

دسی‌زیمنس بر متر تا مرحله ظهور خوشه روند افزایشی داشته و پس از آن به شکل چشمگیری کاسته شد. در حالی که در تیمار ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر در فاصله آغاز پنجه زنی تا شروع طویل شدن ساقه شرایط متفاوتی مشاهده شد و سرعت افزایش حجم ریشه به حدود ۰/۱۲ سانتی‌متر مکعب در روز و سپس در مرحله بعد با افزایشی قابل توجه به حدود ۱/۰۸ سانتی‌متر مکعب در روز رسید (شکل ۱۱).

روند افزایش حجم ریشه در سطوح شوری صفر، ۲۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر شکلی سیگموئیدی داشت، ولی سرعت و مقدار آن با افزایش شوری آب آبیاری کاهش یافت. این در حالی است که در سطح شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، حجم ریشه به‌طور سیگموئیدی با شیب ملایم‌تر افزایش یافت (شکل ۱۰). سرعت افزایش حجم ریشه در سطوح شوری صفر، ۲۰ و ۳۰



شکل ۱۲. روند افزایش طول تجمعی ریشه گیاه ارزن پادزهری در سطوح مختلف شوری آب آبیاری. مقادیر R^2 منحنی برازش یافته سیگموئیدی در سطوح مختلف شوری صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب حدود ۰/۹۹، ۰/۹۵، ۰/۹۴ و ۰/۹۹ بود. همچنین نمادهای Δ ، $+$ ، $\square$ و $*$ مقادیر مشاهده شده در شوری صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر را پس از اعمال تیمارهای شوری نشان می‌دهند.

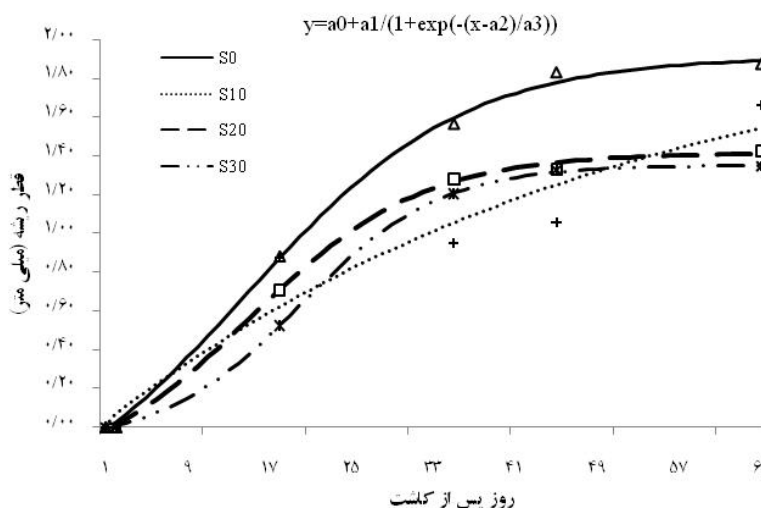


شکل ۱۳. سرعت توسعه طول ریشه گیاه ارزن پادزهری در مراحل مختلف رشد تحت تأثیر سطوح مختلف شوری آب آبیاری

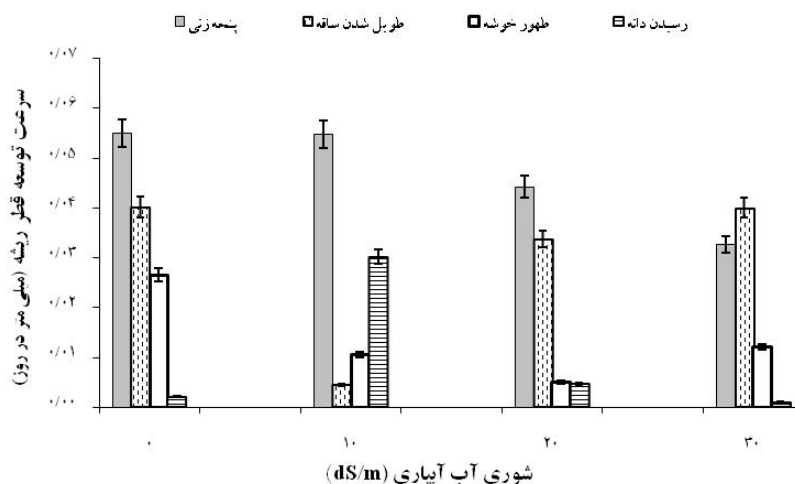
طول تجمعی ریشه

در شرایط غیر شور و تیمار ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، روند افزایش طول ریشه تا حدودی خطی بود و طول تجمعی ریشه گیاه ارزن پادزهری با گذشت ۶۵ روز از زمان کاشت به حدود ۶۴ متر در شرایط غیر شور و حدود ۵۸ متر در شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر رسید. این در حالی بود که بیشینه طول ریشه در سطوح ۲۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر بر اساس شکل سیگموئیدی به ترتیب حدود ۴۵ و ۳۹ متر بود (شکل ۱۲).

هم‌چنین به جز فاصله زمانی شروع پنجه‌زنی تا طولیل شدن ساقه (۳۵-۱۸ روز پس از کاشت)، متوسط سرعت افزایش طولی ریشه در سایر مراحل رشد در سطح ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر بیش از سایر سطوح شوری بود (شکل ۱۳). کاهش سرعت رشد برگ پس از افزایش شوری خاک در ابتدا به علت اثر اسمزی شوری در اطراف ریشه‌ها است. افزایش ناگهانی شوری خاک باعث خارج شدن آب سلول‌ها شده اما این کاهش حجم و آماس، موقتی است به طوری که ظرف چند ساعت، سلول



شکل ۱۴. روند افزایش قطر ریشه گیاه ارزن پادزهری در سطوح مختلف شوری آب آبیاری. مقادیر R^2 منحنی برازش یافته سیگموئیدی در سطوح مختلف شوری صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب حدود ۰/۹۹، ۰/۸۴، ۰/۹۹ و ۰/۹۹ بود. هم‌چنین نمادهای Δ ، $+$ ، $\square$ و $\times$ مقادیر مشاهده شده در شوری صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر را پس از اعمال تیمارهای شوری نشان می‌دهند.



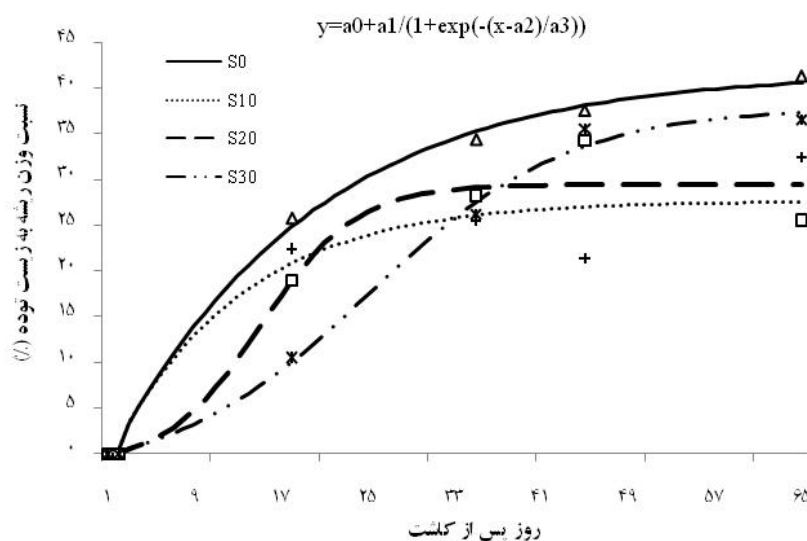
شکل ۱۵. سرعت توسعه قطر ریشه گیاه ارزن پادزهری در مراحل مختلف رشد تحت تأثیر سطوح مختلف شوری آب آبیاری

شور و برابر با ۱/۸۷ میلی‌متر بود که در سطوح شوری ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر آب آبیاری به ترتیب حدود ۱۱، ۲۳ و ۲۸ درصد کاهش یافت (شکل ۱۴). در سطوح شوری صفر و ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر تا مرحله رسیدگی دانه و برداشت گیاه به تدریج از سرعت افزایش قطر ریشه کاسته شد. در حالی که در تیمار ۱۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر، روند منظمی در کاهش قطر ریشه گیاه ارزن پادزهری مشاهده نشد (شکل ۱۵).

دوباره حجم واقعی و آماس خود را به دست آورده و تعادل اسمزی ایجاد می‌شود. با این وجود سرعت طویل شدن سلول کاهش می‌یابد (۷، ۱۲، ۲۱ و ۳۲).

قطر ریشه

روند افزایش قطر ریشه در سطوح مختلف شوری آب آبیاری نیز حالتی سیگموئیدی داشت و بیشینه قطر ریشه در شرایط غیر



شکل ۱۶. روند اختصاص محصولات فتوسنتزی به ریشه گیاه ارزن پادزهری در سطوح مختلف شوری آب آبیاری. مقادیر R^2 منحنی برازش یافته سیگموئیدی در سطوح مختلف شوری صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب حدود ۰/۹۹، ۰/۸۴، ۰/۹۱ و ۰/۹۹ بود. هم‌چنین نمادهای Δ ، $+$ ، $\square$ و $*$ مقادیر مشاهده شده در شوری صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر را پس از اعمال تیمارهای شوری نشان می‌دهند.

فتوسنتزی است (۲۱)، کاهش یافته و در نتیجه مقدار محصولات فتوسنتزی اختصاص یافته به بخش ریشه گیاه کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

به طور کلی به نظر می‌رسد که سطح ملایم شوری (۱۰ دسی‌زیمنس بر متر) باعث بهبود رشد ریشه شده و در سطوح بالاتر رشد و توسعه ریشه کاهش یافت. هم‌چنین گیاه ارزن پادزهری با توسعه سریع ریشه خود به ویژه از نظر عمقی باعث کاهش اثرهای ناشی از تنش شوری و احتمالاً تنش کمبود آب شده است. هم‌چنین الگوی توسعه ریشه گیاه ارزن پادزهری به شکل سیگموئیدی بوده که شوری آب آبیاری بر سرعت و اندازه آن اثر گذار است هر چند ویژگی‌های ریختی مختلف ریشه حساسیت متفاوتی به آن دارند.

سپاسگزاری

بدینوسیله از مدیریت و کارکنان محترم مرکز پژوهشی کشت بدون خاک و گروه باغبانی دانشگاه صنعتی اصفهان جهت همکاری در اجرای این پژوهش صمیمانه سپاسگزاری می‌نماید.

نسبت وزن ریشه به زیست‌توده کل گیاه

سهم محصولات فتوسنتزی (Assimilate) اختصاص یافته به بخش ریشه گیاه ارزن پادزهری از کاشت بذر تا شروع پنجه زنی (۱۸-۰ روز پس از کاشت) به ترتیب حدود ۲۵، ۲۲، ۱۹ و ۱۰ درصد در سطوح شوری صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر بود (شکل ۱۶). این در حالی است که سهم محصولات فتوسنتزی اختصاص یافته به ریشه در ۳۵-۱۸ روز پس از کاشت (طویل شدن ساقه) در این سطوح شوری به ترتیب به ۳۴، ۲۱، ۲۵ و ۲۶ درصد در سطوح مختلف شوری مورد مطالعه تغییر کرد. روند افزایش سهم ریشه از تولیدات فتوسنتزی گیاه با افزایش سن آن ادامه یافت به صورتی که در زمان رسیدگی بذر (۶۵-۴۵ روز پس از کاشت) سهم تخصیص یافته به بخش ریشه گیاه در سطوح شوری صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب به ۴۱، ۳۲، ۳۴ و ۳۶ درصد رسید (شکل ۱۶).

با اعمال تنش شوری، سرعت فتوسنتز از یک‌سو به علت کاهش رشد و تسریع پیری برگ (۹، ۲۲، ۲۳) و از سوی دیگر به دلیل افزایش کربوهیدرات‌های ذخیره‌ای که نشان دهنده عدم مصرف محصولات

منابع مورد استفاده

۱. احمدیان یزدی، م.ج.، ا. زرگر و ا. رهبر. ۱۳۷۵. بررسی مناسبترین روش و زمان کشت دیم پانیکوم *Panicum antidotale* در منطقه سبزوار. مجموعه مقالات دومین همایش ملی بیابان‌زایی و روش‌های مختلف بیابان‌زدایی، شهر یورماه، کرمان.
۲. اشرفی، ع. ۱۳۸۶. بررسی گسترش ریشه و سایر صفات مورفولوژیک ارقام گندم دیم در دو رژیم رطوبتی و دو نوع خاک. پایان-نامه کارشناسی ارشد زراعت، دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان.
۳. گوپتا، یو. اس. ۱۳۷۱. جنبه‌های فیزیولوژیکی زراعت دیم. ترجمه: سرمدنیا، غ. و ع. کوچکی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
۴. کافی، م.، م. صالحی و ح. ر. عشقی‌زاده. ۱۳۸۹. کشاورزی شورزیست: راه‌بردهای مدیریت گیاه، آب و خاک. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
5. Akhani, H. 2006. Biodiversity of halophytic and sabkha ecosystems in Iran. *Tasks for Veg. Sci.* 42: 71-88.
6. Bouma, T.J., K.L. Nielsen and B. Koutstaal. 2000. Sample preparation and scanning protocol for computerized analysis of root length and diameter. *Plant Soil* 218: 185-196.
7. Cramer, G.R. 2002. Response of abscisic acid mutants of *Arabidopsis* to salinity. *Funct. Plant Biol.* 29: 561-567.
8. Cramer, G.R. and D.C. Bowman. 1991. Kinetics of maize leaf elongation. I. Increased yield threshold limits short-term, steady-state elongation rates after exposure to salinity. *J. Exp. Bot.* 42: 1417-1426.
9. Dittmer, H.J. 1949. Root hair variation in plant species. *Am. J. Bot.* 36: 152-155.
10. FAO. 2002. *Panicum antidotale* Retz. Grassland Index. Available online at: <http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/AGP/AGPC/doc/GBASE/data/pf000275.htm>.
11. Fohse, D., N. Claassen and A. Jungk. 1991. Phosphorus efficiency of plants. II. Significance of root radius, root hairs and cation-anion balance for phosphorus influx in seven plant species. *Plant Soil* 132: 261-272.
12. Fricke, W. and W.S. Peters. 2002. The biophysics of leaf growth in salt-stressed barley. A study at the cell level. *Plant Physiol.* 129: 374-388.
13. GRIN. 2000. GRIN Taxonomy. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, The Germplasm Resources Information Network (GRIN). Available online at: <http://www.arsgrin.gov/npgs/tax/index.html>.
14. Halvorson, W.L. and P. Guertin. 2003. Factsheet for *Panicum antidotale* Retz. Funded by U.S. Geological Survey National Park Service, pp. 1-21.
15. Kafi, M. and M.A. Khan. 2008. Crop and Forage Production using Saline Waters. Daya Publishers, New Delhi, India.
16. Khan, M.A. and M. Qaiser. 2006. Halophytes of Pakistan: Characteristics distribution and potential economic usage. In M.A. Khan, G.S. Kust, H.J. Barth and B. Böer (Eds.), *Sabkha Ecosystems*. Vol. II, pp. 129-153.
17. Manske, G.G.B. and P.L.G. Vlek. 2002. Root architecture – wheat as a model plant. PP. 249-259. In: Waisel, Y., A. Eshel and U. Kafkafi (Eds.), *Plant Roots: The Hidden Half*, Third Edition, Marcel Dekker, New York.
18. Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* 25: 239-250.
19. Munns, R., and M. Tester. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59: 651-681.
20. Munns, R., J. Guo, J.B. Passioura, and G.R. Cramer. 2000. Leaf water status controls day-time but not daily rates of leaf expansion in salt-treated barley. *Aust. J. Plant Physiol.* 27: 949-957.
21. Passioura, J.B. and R. Munns. 2000. Rapid environmental changes that affect leaf water status induce transient surges or pauses in leaf expansion rate. *Aust. J. Plant Physiol.* 27: 941-948.
22. Platten, J.D., O. Cotsaftis, P. Berthomieu, H. Bohnert, R. Bressan, et al. 2006. Nomenclature for HKT genes, key determinants of plant salinity tolerance. *Trends Plant Sci.* 11: 372-374.
23. Russel, R.S. 1977. *Plant Root System: Their Function and Interaction with the Soil*. McGraw-Hill, London.
24. Ruyle, G.B. and D.J. Young. 1997. Arizona range grasses. Cooperative Extension, Publication AZ97105, College of Agriculture, The University of Arizona, Tucson, Arizona. Available online at: <http://ag.arizona.edu/pubs/natresources/az97105/>
25. Ryan, J., S. Miyamoto and J.L. Stroehlein. 1975. Effect of acidity on germination of some grasses and alfalfa. *J. Range Manage.* 28(2): 154-155.
26. Saini, M.L., P. Jain and U.N. Joshi. 2007. Morphological characteristics and nutritive value of some grass species in an arid ecosystem. *Grass Forage Sci.* 62: 104-108.
27. Singh, K.N. and R. Chatrath. 2001. Salinity tolerance. In: Reynolds, M.P., J.F. Ortiz-Monasterio and M. McNab (Eds.), *Application of Physiology in Wheat Breeding*, CIMMYT.

28. Tester, M. and R.J. Davenport. 2003. Na⁺ transport and Na⁺ tolerance in higher plants. *Ann. Bot.* 91: 503–527.
29. Wiersum, L.K. 1957. The relationship of the size and structural rigidity of pores to their penetration of roots. *Plant Soil* 9: 75-85.
30. Yang, G.Y., Y.P. Lua, B.G. Li and X.Y. Liu. 2006. The response of winter wheat root to the period and the after-effect of soil water stress. *Agric. Sci. China* 5: 284-290.
31. Yensen, N.P. 2006. Halophyte uses for the twenty- first century. *In: Khan, M.A. and D.J. Weber (Eds.), Ecophysiology of High Salinity Tolerance Plants*, Springer, The Netherlands.
32. Yeo, A.R., K.S. Lee, P. Izard, P.J. Boursier and T.J. Flowers. 1991. Short- and long-term effects of salinity on leaf growth in rice (*Oryza sativa* L.). *J. Exp. Bot.* 42: 881–889.