

ارزیابی جوانه‌زنی بذر، رشد و آناتومی گیاه *Salsola arbuscula* Pall تحت تنش شوری در شرایط کشت در شیشهفریبا امینی^{۱*} Ph.D.، الهام عابدینی^۲ M.Sc.

۱- دانشگاه اراک، دانشکده علوم، گروه زیست‌شناسی، کد پستی ۳۸۱۵۶-۸-۸۳۴۹

۲- دانش آموخته کارشناس ارشد فیزیولوژی گیاهی، دانشگاه اراک، اراک، ایران

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: F-Amini@araku.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۸/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۲/۵

چکیده

هدف: در این پژوهش اثر تنش شوری بر جوانه‌زنی بذر، آناتومی برگ و ساقه و پارامترهای رشد در گیاهان ده و شصت روزه گونه *Salsola arbuscula* مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: بذر گیاه *Salsola arbuscula* در دو محیط WA (حاوی ۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم کلراید) و MS (حاوی ۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم کلراید)، در شرایط در شیشه کشت و به ترتیب گیاهان ۱۰ و ۶۰ روزه به منظور بررسی جوانه‌زنی بذر و فاکتورهای رشد استفاده شدند. آناتومی برگ گیاه دو ماهه نیز بررسی شد. درصد جوانه‌زنی در محیط MS (حاوی ۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۰۰ و ۳۵۰ میلی‌مولار سدیم کلراید)، همچنین درصد جوانه‌زنی پس از احیا در محیط MS (حاوی ۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰ میلی‌مولار سدیم کلراید) نیز مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج: نتایج به دست آمده کاهش درصد جوانه‌زنی و قدرت احیا در این گیاه را نشان داد. با افزایش غلظت سدیم کلراید پارامترهای رشد و آناتومی در گیاهان ده و شصت روزه تغییرات گسترده‌ای را نشان داد.

نتیجه‌گیری: گیاه *Salsola arbuscula* هالوفیت می‌باشد که در غلظت‌های اولیه شوری نسبت به شرایط کنترل رشد بهتری را نشان می‌دهد. همچنین برخلاف گیاهان گلیکوفیت محتوای آبی خود را در طول تنش حفظ کرده و از قدرت احیا در جوانه‌زنی برخوردار می‌باشد. این ویژگی‌ها به حفظ نسل گیاه کمک می‌کند.

واژگان کلیدی: آناتومی، رشد، جوانه‌زنی، سدیم کلراید، *Salsola arbuscula*

مقدمه

غلظت‌های بالای سدیم برای اغلب گونه‌های گیاهی سمی است، به‌طوری‌که شوری خاک یکی از بزرگترین تنش‌های غیرزیستی در بخش‌های وسیعی از جهان بوده و قابلیت تولید و بازده گیاهان را تحت تاثیر قرار می‌دهد. نمک سدیم کلراید متشکل از دو یون سدیم و کلر می‌باشد که به عنوان آلوده‌کنندگان خاک شور هستند و با تاثیرات یونی و اسمزی، به عنوان یون‌های سمی و مضر برای گیاهان شناخته می‌شوند (۱). شوری خاک رشد و نمو گیاهان را به وسیله تنش اسمزی تحت تاثیر قرار می‌دهد و اثرات مضر آن با به‌هم‌خوردن تعادل عناصر غذایی به علت وجود یون‌های سدیم و کلر می‌باشد (۲). به طور معمول گیاهان در معرض تنش شوری، در ابتدا مقادیری از کاهش رشد را نشان می‌دهند و اگر این تنش بیشتر شود پاسخ در برخی از صفات قابل تشخیص و خاص آشکار می‌شود. یکی از راه‌های بررسی این صفات استفاده از روش کشت بافت است و چون برآورد میزان تنش شوری به‌وسیله این روش در محیط کنترل شده انجام می‌گیرد نیازمند فضا و زمان بسیار کم است (۳). مقاومت نسبت به تنش‌های محیطی زمانی که گیاه در معرض تنش تحمل شده است اتفاق می‌افتد که در این مقاومت گیاه از هر سازوکاری برای فرار از این وضعیت استفاده می‌کند. سازوکار گیاه جهت تحمل تنش در طول چرخه زندگی گیاه و همچنین در سطح سلولی صورت می‌گیرد. پاسخ گیاهان به تنش، وابسته به ژنوتیپ، گونه، طول و شدت تنش شوری، سن و مرحله نمو، اندام، نوع سلول و بخش‌های زیر سلولی است. مثالی از اجتناب در سطح سلولی فرایند تنظیم اسمزی است که در آن توانایی اسمزی سلول به نفع جذب آب و حفظ تورژانس کاهش می‌یابد. پارامترهای کشاورزی بکار رفته جهت تحمل شوری شامل عملکرد، بقا، ارتفاع گیاه، سطح برگ، صدمه برگ، میزان رشد نسبی و کاهش رشد نسبی می‌باشد (۴).

شوری خاک رشد گیاهان را با آشفته کردن فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی متفاوت کاهش می‌دهد. در نتیجه، گیاهانی که به‌خوبی در شوری با غلظت بالا رشد می‌کنند ساختار خاص و سازگاری فیزیولوژیکی دارند که موجب حفظ ظرفیت تولید مثلی‌شان می‌گردد. از مطالعات بسیاری مشخص می‌شود که شوری بالا بیشتر سبب تغییراتی از قبیل کاهش تعداد روزنه، ضخامت برگ، سطح بین دستجات آوندی و تعداد سلول‌های اپیدرمی می‌شود. هرچند اثرات بیشتر تنش شوری بر ضخامت

برگ، تعداد سلول‌های اپیدرمی و تعداد روزنه نیز ثبت شده است (۵).

تحمل به شوری در مرحله جوانه‌زنی برای استقرار گیاهان مهم می‌باشد، زیرا که جوانه‌زنی ضعیف و کاهش رشد گیاهچه منجر به استقرار ضعیف و گاهی نابودی محصول می‌گردد (۶). در مناطق خشک و نیمه خشک که اغلب با تنش شوری نیز مواجه هستند، جوانه‌زنی بذر با مشکل مواجه می‌شود (۷)، این تنش‌ها با محدود کردن جذب آب، کاهش تجزیه مواد ذخیره‌ای بذر و اختلال در سنتز پروتئین‌های ذخیره‌ای موجب کاهش جوانه‌زنی بذر می‌شوند (۸). علاوه بر این سمیت ناشی از یون‌های سدیم و کلر در تنش شوری نقش مهمی در کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی بذر دارند (۹). بنابراین مطالعه جوانه‌زنی گونه‌های مختلف در غلظت‌های متفاوت شوری به توسعه روش‌های ممکن برای معرفی گونه‌های متحمل به شوری برای کشت در زمین‌های بایر و شور کمک می‌کند (۱۰).

گیاه *Salsola arbuscula* متعلق به خانواده Chenopodiaceae می‌باشد. این گونه در مراحل بلوغ مقاومت بالایی نسبت به خشکی خاک، تغییرات pH و عدم ثبات شرایط آب و هوایی دارد. این ویژگی، آن‌ها را برای رشد در نواحی خشک و نیمه‌خشک مناسب کرده است (۱۱) و به همین علت می‌توانند برای بهبود زمین‌های خشک و نیمه‌خشک مورد استفاده قرار گیرد (۱۲). این گیاه در فصول بهار و پاییز از منابع علوفه حیوانی است. از جمله استفاده‌های دیگر از این نوع گیاهان تزیین نواحی شهری، در شهرهایی با آب و هوای بیابانی است (۱۳).

با توجه به اینکه در ارتباط با بررسی میزان مقاومت نسبت به تنش شوری گیاه *Salsola arbuscula* در شرایط کنترل شده کشت بافت گیاهی و همچنین مقایسه میزان مقاومت در مراحل مختلف رشدی اطلاعاتی در دست نیست این تحقیق با هدف بررسی میزان مقاومت نسبت به شوری این گیاه در مرحله جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه و گیاه و همچنین تاثیر شوری بر آناتومی برگ این گیاه طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

کشت بذر و بررسی جوانه‌زنی: بذر گیاه *Salsola arbuscula* از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه گردید. کشت بذر در محیط کشت (Murashig and MS Skoog) (۱۴)

مطالعه آناتومی برگ: اپی‌درم سطح رویی و زیرین برگ‌ها بر مبنای روش Widuri و همکاران (۱۸) و مقطع عرضی برگ بر اساس سیستم آنالیزی Motic (۱۹) با تهیه اسلایدهای نیمه‌دائمی تهیه و از آن‌ها به وسیله میکروسکوپ مونیتورینگ مدل Leica Galen III عکس مناسب تهیه شد. گشودگی روزنه (شامل طول و عرض دهانه روزنه)، طول کرک‌ها در اپی‌درم زیرین و رویی، ضخامت اپی‌درم، مزوفیل حفره‌ای و مزوفیل نرده‌ای به کمک گراتی کیول اندازه‌گیری گردید. همچنین تعداد سلول‌های اپی‌درم، تعداد کرک و تعداد روزنه در واحد سطح شمارش و ثبت شد.

آنالیزهای آماری: جهت آنالیز داده‌ها از نرم‌افزار SPSS13، مقایسه میانگین‌ها از تست دانکن و رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج

بررسی میزان جوانه‌زنی بذر و جوانه‌زنی پس از احیای *Salsola arbuscula* تحت تنش شوری

مطابق جداول ۱ و ۲ تیمار شوری بر درصد جوانه‌زنی بذر گیاه *Salsola arbuscula* تاثیر معنی‌داری ($p < 0.01$) داشت. با افزایش میزان شوری (غلظت‌های ۰، ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰ میلی‌مولار سدیم کلراید درصد جوانه‌زنی کاهش یافت. درصد جوانه‌زنی در غلظت ۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار مشابه بود و با سایر تیمارهای سدیم کلراید تفاوت معنی‌دار داشت. درصد جوانه‌زنی بین غلظت‌های ۳۰۰ و ۳۵۰ میلی‌مولار نمک نیز تفاوت معنی‌داری نداشت ولی هر دو این غلظت‌ها کاهش معنی‌داری را نسبت به شاهد نشان دادند. نتایج حاصل از بررسی درصد جوانه‌زنی پس از احیا نشان داد تنش شوری بر درصد جوانه‌زنی پس از احیا اثر معنی‌دار ($p < 0.01$) داشت و با برطرف شدن تنش شوری درصد جوانه‌زنی پس از احیا به طور معنی‌داری افزایش یافت.

انجام شد. به منظور بررسی درصد جوانه‌زنی، بذرهای پس از استریل با اتانول ۷۵ تا ۸۰ درصد به مدت ۱ دقیقه و سپس هیپوکلریت سدیم ۳ درصد به مدت ۱۵ دقیقه، حدود سه تا چهار بار با آب مقطر استریل، در شرایط استریل آبکشی شدند و سپس به محیط کشت MS دارای غلظت‌های ۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰ میلی‌مولار سدیم کلراید منتقل شدند. شیشه‌های کشت در شرایط اتاق کشت با دمای 25 ± 2 درجه سانتی‌گراد و نور $110 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ و فتوپریود ۱۲ ساعت تاریکی و ۱۲ ساعت نور قرار گرفتند و پس از ۱۰ روز درصد جوانه‌زنی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت (۱۵). به منظور بررسی درصد جوانه‌زنی پس از احیا، بذرهایی که در غلظت‌های ۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰ میلی‌مولار سدیم کلراید جوانه نزنه بودند، پس از شستشو در شرایط استریل به محیط کشت MS فاقد نمک منتقل شده و درصد جوانه‌زنی آن‌ها پس از احیا به مدت ۱۰ روز محاسبه گردید (۱۶).

بررسی شاخص‌های رشد: پس از کشت بذرهای در محیط کشت MS و نگهداری آن‌ها در شرایط ذکر شده در حالت قبل، گیاهچه‌های ۱۰ روزه و گیاهان ۶۰ روزه جهت انجام آزمایشات مختلف برداشت شدند. تیمار استفاده شده برای گیاهچه‌های ۱۰ روزه غلظت‌های ۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم کلراید و برای گیاهان ۶۰ روزه غلظت‌های ۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم کلراید بود. طول گیاه، طول ریشه و طول ساقه اندازه‌گیری شد. وزن تر و وزن خشک گیاه کامل، بخش هوایی و ریشه در گیاهان ده روزه و دو ماهه با استفاده از ترازوی دیجیتالی (مدل CE N92 (SER 14230642 AC ADAPTER DC12V 0.3A به دست آمد و میزان رشد نسبی (RGR) از رابطه زیر به دست آمد (۱۷).

$$RGR (\text{mgmg}^{-1} \text{d}^{-1}) = (\ln(W_2) - \ln(W_1)) / (t_2 - t_1)$$

در معامله فوق: W_1 : وزن خشک در آغاز، W_2 : وزن خشک در پایان دوره و $(t_2 - t_1)$: طول دوره تیمار می‌باشد.

جدول ۱: جدول آنالیز واریانس اثر غلظت‌های مختلف سدیم کلراید بر درصد جوانه‌زنی بذر گیاه *Salsola arbuscula* در تنش شوری و درصد جوانه‌زنی پس از احیاء.

منابع تغییر	در تنش شوری	پس از احیا
درصد جوانه‌زنی	۲۰۵/۰۱۶**	۲۷**

ns معنی‌دار نیست، * $p < 0.05$ ، ** $p < 0.01$

جدول ۲: میانگین درصد جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی پس از احیاء گیاه *Salsola arbuscula* در غلظت‌های مختلف سدیم کلراید

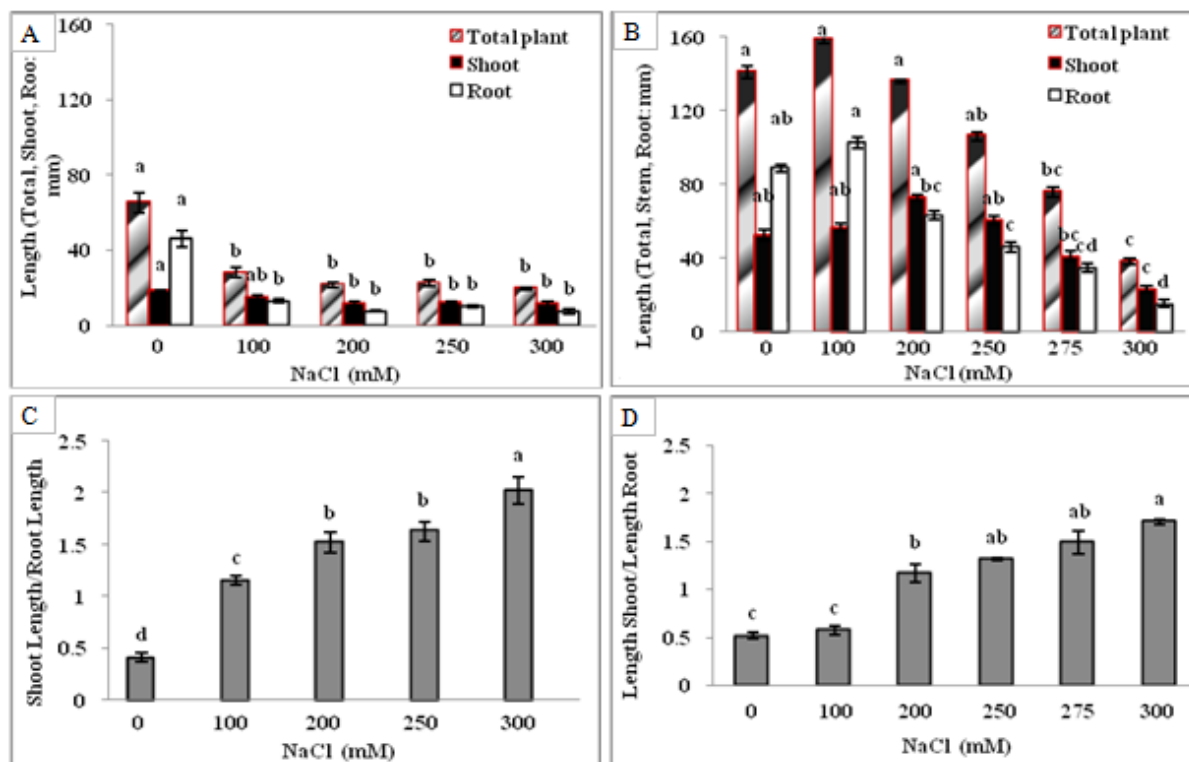
میانگین جوانه‌زنی پس از احیا (درصد)	افزایش یا کاهش جوانه‌زنی نسبت به شاهد (درصد)	میانگین درصد جوانه‌زنی	تیمار (غلظت سدیم کلراید، میلی مولار)
-	-	۹۵/۳۳±۲/۳۳ (a)	۰
-	-	۹۵/۳۳±۲/۳۳ (a)	۱۰۰
-	کاهش ۱۶/۴۳	۷۹/۶۶±۳/۷۵ (b)	۲۰۰
-	کاهش ۴۱/۹۵	۵۵/۳۳±۲/۳۳ (c)	۲۵۰
۸۶±۰/۵۷۷ ^(a)	کاهش ۶۲/۹۳	۳۵/۳۳±۲/۳۳ (d)	۳۰۰
۸۳±۰/۵۷۷ ^(b)	کاهش ۶۷/۴۸	۳۱±۲/۳۳ (d)	۳۵۰
۸۰±۰/۵۷۷ ^(c)	کاهش ۸۶/۰۱	۱۳/۳۳±۱/۷۶ (e)	۴۰۰

داده‌ها میانگین ۳ تکرار ± انحراف معیار. حروف غیر مشابه در هر ستون نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح $p < 0.05$ بر اساس آزمون دانکن می‌باشد.

جدول ۳: آنالیز واریانس تاثیر غلظت‌های مختلف سدیم کلراید بر طول کل گیاه، طول ساقه، طول ریشه و سطح برگ گیاه *Salsola arbuscula*

منابع تغییر	طول گیاه	طول ساقه	طول ریشه
گیاهچه ده روزه	۴۴/۱۳۲**	۷/۲۳۶**	۵۶/۳۷۲**
گیاه دو ماهه	۷/۳۵۲**	۴/۴۶۵*	۱۲/۰۶۲**

$p < 0.01$ **, $p < 0.05$ **, ns معنی‌دار نیست



شکل ۱: اثر غلظت‌های مختلف سدیم کلراید بر ارتفاع (طول کل گیاه، طول بخش هوایی و طول ریشه) گیاهچه ۱۰ روزه (A) و گیاهان دو ماهه (B) و نسبت طول بخش هوایی به طول ریشه گیاهچه ده روزه (C) و گیاهان دو ماهه (D) گیاه *Salsola arbuscula* خطوط خطا نشان‌دهنده خطای استاندارد (SE) و حروف غیرمشابه نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح $p < 0.01$ بر اساس تست دانکن می‌باشد.

بررسی فاکتورهای رشد در گیاهچه‌های ده روزه و گیاهان ۶۰ روزه تحت تنش شوری

نتایج حاصل از آنالیز واریانس بررسی تغییرات ارتفاع کل گیاه، طول ساقه و طول ریشه در گیاهچه‌های ده روزه و گیاهان ۶۰ روزه اختلاف معنی‌داری ($p < 0/01$) را بین شاهد و تیمارهای مختلف سدیم کلراید نشان داد (جدول ۳). در گیاهچه ده روزه کاهش ارتفاع کل گیاه، ارتفاع ساقه و طول ریشه بین شاهد و سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری داشت، اما بین تیمارهای ۱۰۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم کلراید، تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. بیشترین ارتفاع گیاهچه، ساقه و طول ریشه به ترتیب با میانگین ۶۵/۳۳، ۱۸/۳۳ و ۴۵/۸۳ میلی‌متر در شاهد بدست آمد. کمترین ارتفاع گیاهچه، ساقه و طول ریشه به ترتیب ۱۹/۵، ۱۱/۵ و ۷/۵ میلی‌متر در تیمار ۳۰۰ میلی‌مولار اندازه‌گیری شد (شکل ۱A). در گیاه ۶۰ روزه بیشترین ارتفاع گیاه کامل و طول ریشه، در غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار سدیم کلراید و به ترتیب با میانگین ۱۵۸/۶۶ و ۱۰۲/۱۶ میلی‌متر به دست آمد. کمترین ارتفاع گیاه و طول ریشه به ترتیب با میانگین ۳۸ و ۱۵ میلی‌متر در غلظت ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم کلراید مشاهده شد. کاهش ارتفاع در تیمارهای ۲۷۵ و ۳۰۰ نسبت به شاهد و سایر غلظت‌های سدیم کلراید تفاوت معنی‌دار نشان داد ($p < 0/01$). بیشترین ارتفاع ساقه در تیمار ۲۰۰ میلی‌مولار، با میانگین ۷۲/۸۳ میلی‌متر و کمترین ارتفاع در تیمار ۳۰۰ میلی‌مولار با میانگین ۲۳ میلی‌متر مشاهده شد (شکل ۱B). بررسی نسبت طول ساقه به طول ریشه نشان داد که تیمار شوری تاثیر معنی‌دار ($p < 0/01$) بر این نسبت دارد و با افزایش غلظت سدیم کلراید این نسبت افزایش یافت (شکل ۱C و ۱D).

آنالیز داده‌های مربوط به وزن تر و خشک در گیاهچه‌های ده روزه نشان داد که تیمار سدیم کلراید بر وزن تر ($p < 0/01$) و بر

وزن خشک ($p < 0/05$) گیاه تاثیر معنی‌دار دارد. تاثیر تیمار شوری بر وزن خشک بخش هوایی و ریشه معنی‌دار نبود (جدول ۴ و ۵). بیشترین وزن تر گیاهچه کامل و بخش هوایی در غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار سدیم کلراید و بیشترین وزن خشک در تیمار شاهد محاسبه شده است (شکل ۲). بررسی وزن تر گیاه کامل و بخش هوایی، اختلاف معنی‌دار ($p < 0/01$) بین تیمار ۲۰۰ میلی‌مولار با تیمارهای شاهد، ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار را نشان داد. کاهش وزن خشک گیاه کامل بین شاهد و تیمار ۳۰۰ میلی‌مولار معنی‌دار ($p < 0/01$) ولی در بخش هوایی معنی‌دار نبود. در ناحیه ریشه بیشترین و کمترین وزن تر و خشک به ترتیب در شاهد و ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم کلراید محاسبه شد. وزن تر ریشه در تیمارهای شاهد، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار تفاوت معنی‌داری نشان نداد ولی این تیمارها با تیمارهای ۲۵۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار تفاوت معنی‌دار ($p < 0/01$) داشتند. کاهش وزن خشک در ناحیه ریشه بین تیمارهای شاهد و ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم کلراید معنی‌دار بود ($p < 0/01$) (شکل ۲). بررسی و آنالیز داده‌ها در گیاه دو ماهه نشان داد، تنش شوری بر وزن تر و خشک گیاه، بخش هوایی و ریشه تاثیر معنی‌دار ($p < 0/01$) دارد (جدول ۴ و ۵). در گیاه کامل و بخش هوایی تیمار ۲۰۰ میلی‌مولار بیشترین وزن تر را داشت و با تیمارهای ۰، ۱۰۰، ۲۷۵ و ۳۰۰ میلی‌مولار تفاوت معنی‌دار ($p < 0/01$) داشت. در ریشه تیمار شاهد بالاترین وزن تر را داشت و کمترین وزن تر گیاه، بخش هوایی و ریشه در تیمار ۳۰۰ میلی‌مولار محاسبه شد. آنالیز داده‌های حاصل از وزن خشک نشان داد، بیشترین وزن خشک کل گیاه، بخش هوایی و ریشه، مربوط به تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار و کمترین وزن خشک مربوط به تیمار ۳۰۰ میلی‌مولار بود. تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار با تیمارهای ۲۷۵ و ۳۰۰ میلی‌مولار در وزن خشک تفاوت معنی‌دار ($p < 0/01$) داشت (شکل ۳).

جدول ۴: آنالیز واریانس تاثیر غلظت‌های مختلف سدیم کلراید بر وزن تر کل گیاه، وزن تر ریشه و بخش هوایی گیاه *Salsola arbuscula*

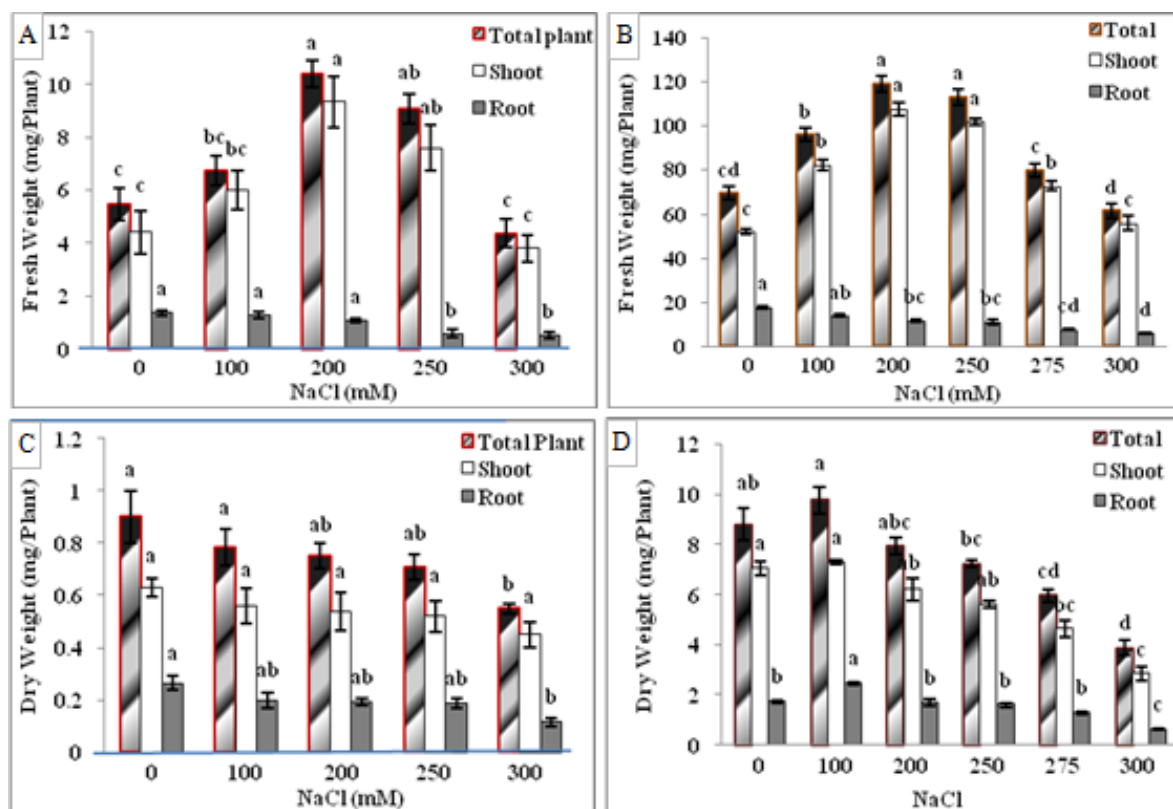
منابع تغییر	وزن تر گیاه	وزن تر بخش هوایی	وزن تر ریشه
گیاهچه ده روز	۹/۴۱۶**	۸/۳۶۱**	۱۹/۵۶۱**
گیاه دو ماهه	۲۰/۷۹۷**	۲۱/۲۴۳**	۷/۴۵۸**

$p < 0/01$ **، $p < 0/05$ *، ns معنی‌دار نیست

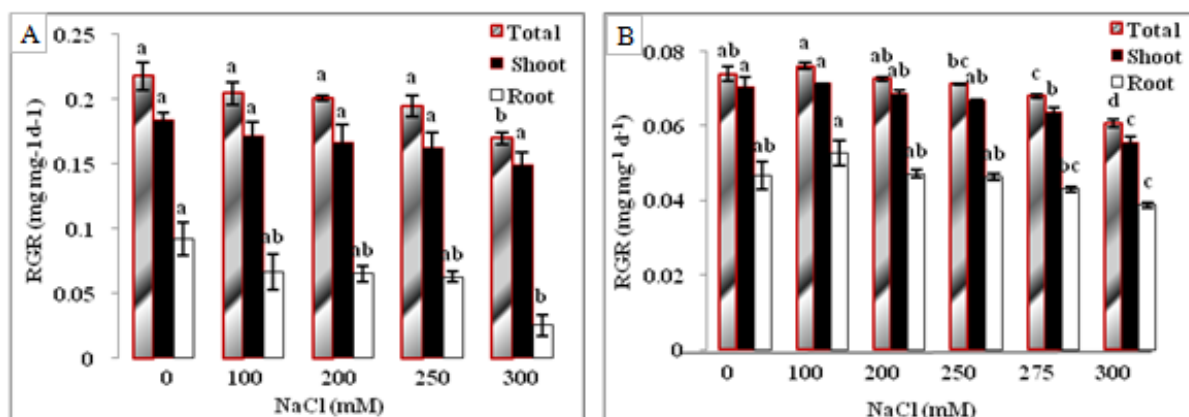
جدول ۵: آنالیز واریانس تاثیر غلظت‌های مختلف سدیم کلراید بر وزن خشک کل گیاه، وزن خشک بخش هوایی و ریشه گیاه *Salsola arbuscula*

منابع تغییر	وزن خشک گیاه	وزن خشک بخش هوایی	وزن خشک ریشه
گیاهچه ده روزه	۴/۱۱۸*	۱/۳۰۹ ^{ns}	۲/۴۳۷ ^{ns}
گیاه دو ماهه	۸/۰۶۲**	۸/۱۲۶**	۸/۴۹۰**

$p < 0/01$ **، $p < 0/05$ *، ns معنی‌دار نیست



شکل ۲: اثر غلظت‌های مختلف سدیم کلراید بر وزن تر (کل گیاه، بخش هوایی و ریشه) گیاهچه ۱۰ روزه (A)، گیاهان دو ماهه (B) و وزن خشک (کل گیاه، بخش هوایی و ریشه) گیاهچه ده روزه (C) و گیاهان دو ماهه (D) گیاه *Salsola arbuscula*. خطوط خطا نشان‌دهنده خطای استاندارد (SE) و حروف غیرمشابه نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح $p < 0.01$ بر اساس تست دانکن می‌باشد.



شکل ۳: تغییرات رشد نسبی (کل گیاه، بخش هوایی و ریشه) گیاه *Salsola arbuscula* در تیمارهای مختلف سدیم کلراید در گیاهچه ده روزه (A) و گیاه دو ماهه (B). خطوط خطا نشان‌دهنده خطای استاندارد (SE) و حروف غیرمشابه نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح $p < 0.01$ بر اساس تست دانکن است.

جدول ۶: آنالیز واریانس نتایج تاثیر غلظت‌های مختلف سدیم کلراید بر میزان رشد نسبی (RGR) کل، بخش هوایی و ریشه گیاه *Salsola arbuscula*

منابع تغییر	RGR کل	RGR بخش هوایی	RGR ریشه
گیاهچه ده روزه	۵/۰۹۸*	۱/۳۰۶ ^{ns}	۳/۲۱۹*
گیاه دو ماهه	۱۴/۸۱۱**	۱۴/۳۸۰**	۴/۵۷۳**

$p < 0.01$ **, $p < 0.05$ *, ^{ns} معنی‌دار نیست

بین تیمارهای شوری تفاوت معنی‌داری ($p < 0.01$) در تعداد سلول‌های اپی‌درم به وجود آمد. با افزایش غلظت نمک از تعداد، طول و عرض روزنه در هر دو سطح به طور معنی‌دار کاسته شد. تیمارهای ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم کلراید با تیمار شاهد از نظر تعداد، طول و عرض روزنه به طور معنی‌دار ($p < 0.01$) متفاوت بود. تعداد روزنه سطح رویی بیشتر از سطح زیرین برگ بود. کرک در هر دو سطح برگ مشاهده شد و تعداد کرک در اپی‌درم زیرین بیشتر از اپی‌درم رویی بود. با افزایش غلظت سدیم کلراید طول کرک به طور معنی‌دار در سطح زیرین ($p < 0.01$) و در سطح رویی ($p < 0.05$) برگ کاهش یافت. تعداد کرک نیز با افزایش شوری در هر دو سطح برگ به طور معنی‌دار ($p < 0.01$) کاهش یافت. طول و تعداد کرک در تیمار شاهد با تیمارهای ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار شوری تفاوت معنی‌دار ($p < 0.05$) داشت (جدول ۷).

تنش شوری بر میزان رشد نسبی یا Relative Growth Rate (RGR) گیاه و ریشه نیز ($p < 0.05$) تاثیر معنی‌دار داشت در حالیکه تاثیر بر رشد نسبی بخش هوایی معنی‌دار نبود (جدول ۶). میزان RGR کل گیاهچه، بخش هوایی و ریشه شاهد با تیمار ۳۰۰ میلی‌مولار نمک تفاوت معنی‌داری را نشان داد (شکل ۳). بررسی رشد نسبی در گیاه ۶۰ روزه نشان داد که تنش شوری تاثیر معنی‌داری ($p < 0.01$) بر رشد نسبی گیاه، بخش هوایی و ریشه دارد (جدول ۶). بیش‌ترین و کم‌ترین رشد نسبی گیاه، بخش هوایی و ریشه به ترتیب در تیمار ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم کلراید به دست آمد (شکل ۳).

تغییرات آناتومی برگ گیاهان دو ماهه تحت تنش شوری

نتایج نشان داد که با افزایش شوری تعداد سلول‌های اپی‌درم به طور معنی‌دار ($p < 0.01$) در هر دو سطح برگ کاهش یافته و

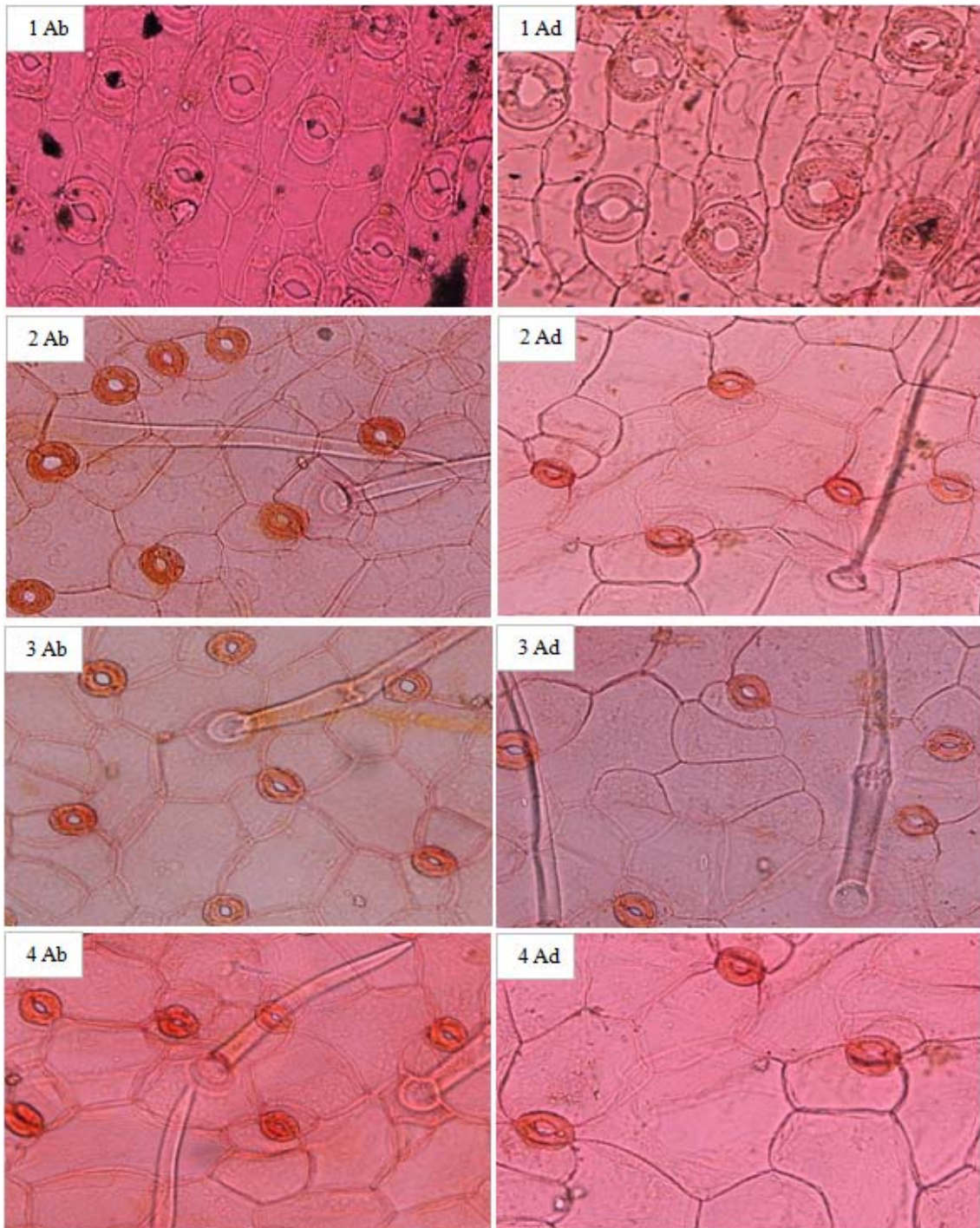
جدول ۷: تاثیر تنش شوری بر خصوصیات آناتومیکی و مورفولوژیکی برگ گیاه دو ماهه *Salsola arbuscula* داده‌ها میانگین سه تکرار \pm خطای استاندارد (انحراف معیار) و حروف غیر مشابه در هر ردیف نشان دهنده معنی‌دار بودن در سطح $p < 0.01$ بر اساس آزمون دانکن می‌باشد

	غلظت‌های سدیم کلراید (میلی مولار)				شاخص مورد نظر
	۳۰۰	۲۰۰	۱۰۰	.	
سطح رویی برگ	تعداد روزنه (mm^2)	۵۴/۰۰±۱/۰۰ ^d	۷۷/۰۰±۱/۴ ^c	۱۰۷/۶۰±۰/۸۸ ^b	۱۷۷/۰۰±۱/۱۵ ^a
	طول روزنه (μm)	۹/۱۶±۱/۲۶ ^c	۱۲/۸۳±۱/۲۰ ^{bc}	۱۵/۸۳±۱/۳۰ ^b	۲۱/۵۰±۱/۸۰ ^a
	عرض روزنه (μm)	۴/۸۳±۰/۶۰ ^c	۷/۵۰±۱/۰۴ ^{bc}	۱۰/۱۶±۰/۴۴ ^{ab}	۱۲/۱۶±۱/۶۹ ^a
	تعداد کرک (mm^2)	۱۰/۲۳±۰/۳۳ ^b	۱۸/۰۰±۰/۳۳ ^b	۳۳/۳۰±۰/۳۳ ^a	۳۸/۴۵±۱/۰۰ ^a
	طول کرک (μm)	۲۷۵/۰۰±۰/۷۳ ^b	۳۲۵/۰۰±۱/۳۰ ^b	۴۰۸/۳۳±۱/۰۸ ^{ab}	۷۰۸/۳۳±۱/۰۴ ^a
	تعداد سلول‌های اپیدرم (mm^2)	۲۹۰/۷۰±۱/۸۷ ^d	۴۰۷/۷۰±۱/۴۲ ^c	۶۰۲/۵۰±۱/۶۶ ^b	۷۶۴/۰۷±۱/۷۶ ^a
سطح زیرین برگ	تعداد روزنه (mm^2)	۳۸/۴۵±۰/۳۳ ^d	۵۳/۸۰±۰/۸۸ ^c	۸۴/۶۰±۱/۰۰ ^b	۱۳۳/۳۰±۱/۴۵ ^a
	طول روزنه (μm)	۷/۵۰±۰/۵۷ ^d	۱۰/۸۳±۰/۳۳ ^c	۱۵/۱۶±۰/۵۷ ^b	۱۹/۸۳±۱/۳۰ ^a
	عرض روزنه (μm)	۳/۶۶±۰/۶۶ ^c	۵/۵±۱/۱۶ ^b	۶/۱۶±۱/۳۰ ^b	۱۱/۶۶±۰/۷۲ ^a
	تعداد کرک (mm^2)	۱۲/۷۵±۰/۵۷ ^c	۲۳/۰۷±۰/۰۱ ^{bc}	۳۸/۴۵±۰/۵۷ ^{ab}	۴۸/۷۰±۱/۲۰ ^a
	طول کرک (μm)	۳۱۶/۶۶±۱/۳۳ ^b	۴۰۸/۶۶±۰/۹۱ ^b	۵۰۰/۰۰±۱/۷۳ ^b	۸۰۸/۳۳±۱/۴۰ ^a
	تعداد سلول‌های اپیدرم (mm^2)	۳۴۶/۱۵±۰/۵۷ ^d	۶۲۸/۱۵±۰/۸۸ ^c	۷۰۷/۷۰±۱/۱۵ ^b	۱۳۴۶/۱۵±۱/۸۸ ^a
مقطع عرضی برگ	ضخامت اپیدرم (μm)	۱۰۰/۸۳±۱/۴ ^a	۷۵/۰۰±۱/۸۷ ^b	۵۰/۰۰±۱/۵ ^c	۳۸/۷۵±۱/۵ ^c
	ضخامت مزوفیل نرده‌ای (μm)	۱۶۲/۵۰±۱/۲۵ ^a	۱۱۸/۷۵±۱/۸۰ ^b	۷۲/۹۱±۲/۵۱ ^c	۴۴/۱۶±۲/۲۰ ^d
	ضخامت مزوفیل حفره‌ای (μm)	۳۲۵±۱/۵۰ ^a	۲۴۵/۸۳±۱/۰۳ ^b	۱۴۵/۸۳±۱/۰۳ ^c	۸۸/۳۳±۱/۴۰ ^d
	طول سلول مزوفیل حفره‌ای (μm)	۲۰۲±۱/۰۳ ^a	۱۳۵/۴۱±۱/۵۹ ^b	۱۱۰/۴۱±۱/۵۱ ^{bc}	۸۱/۲۵±۱/۶۰ ^c
	عرض سلول مزوفیل حفره‌ای (μm)	۱۶۲/۵۰±۱/۲۵ ^a	۱۱۸/۷۵±۱/۸۲ ^b	۷۲/۹۱±۱/۲۰ ^c	۴۴/۱۶±۱/۶۰ ^d

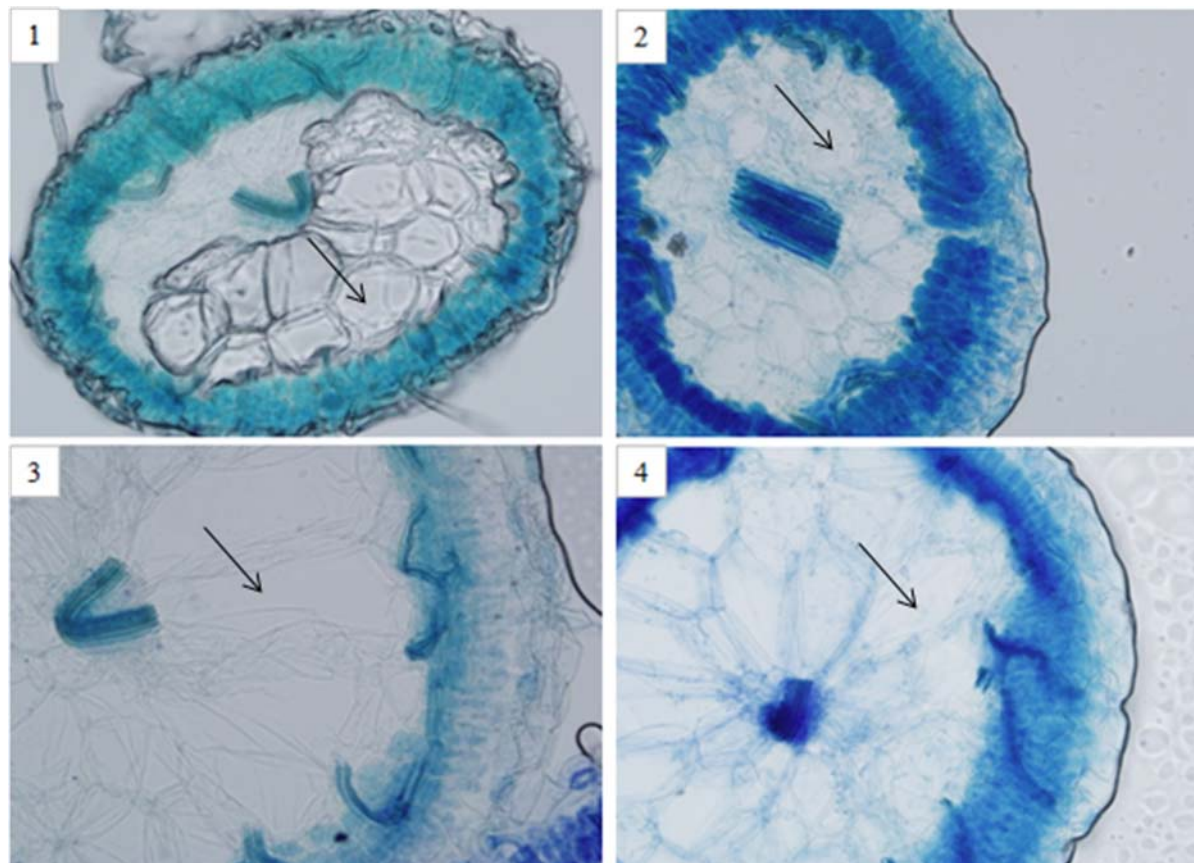
$p < 0.01$ ***, $p < 0.05$ **, ns معنی‌دار نیست

همچنین نتایج نشان داد که ضخامت اپی‌درم، مزوفیل حفره‌ای و مزوفیل نردبانی به طور معنی‌دار ($p < 0.01$) تحت تنش شوری قرار گرفت و همراه با افزایش سطح شوری، ضخامت لایه‌های فوق افزایش معنی‌داری ($p < 0.05$) نموده است. (جدول ۷، شکل ۵ و ۶).

بررسی سطح مقطع عرضی برگ نشان داد که مزوفیل برگ متشکل از دو لایه شامل مزوفیل نردبانی در زیر اپی‌درم و مزوفیل حفره‌ای بود. با افزایش غلظت شوری بر اندازه سلول‌های مزوفیل به طور معنی‌دار ($p < 0.01$) افزوده و در مقابل از تعداد آن‌ها کاسته شد، به طوری که بین شاهد و تیمارهای ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم کلراید تفاوت معنی‌دار ($p < 0.01$) بود.



شکل ۵: تغییرات تعداد روزنه در اثر تنش شوری در گیاه دو ماهه *Salsola arbuscula*: ۱: اپی‌درم برگ گیاه شاهد، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب اپی‌درم برگ گیاهان تحت تاثیر تیمارهای ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم کلراید. Ad مخفف (سطح رویی) و Ab مخفف (سطح زیرین) برگ می‌باشد.



شکل ۶: تغییرات طول، عرض و تعداد سلول‌های پارانشیم حفره‌ای گیاه دو ماهه *Salsola arbuscula* تحت تاثیر غلظت‌های مختلف سدیم کلراید افزایش طول و عرض سلول‌های پارانشیم حفره‌ای و کاهش تعداد سلول‌های فوق همراه با افزایش غلظت سدیم کلراید مشاهده می‌شود. ۱: شاهد، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب مقطع عرضی برگ گیاهان دو ماهه در غلظت‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار نمک. فلش سلول‌های پارانشیم حفره‌ای را نشان می‌دهد.

داشت. بررسی درصد جوانه‌زنی در هالوفیت *Salsola affinis* که توسط Wei و همکاران (۲۱) انجام شد، نتایج مشابهی را نشان داد. همچنین نتایج مشابهی در مورد کاهش جوانه‌زنی بذر و توانایی احیا در مورد *Salsola iberica* به دست آمد (۱۵). تاثیر منفی شوری بر درصد جوانه‌زنی در *Salsola vermiculata* L. و قدرت احیا پس از قرارگیری در شرایط کنترل به اثبات رسیده است (۲۲). علاوه بر جنس *Salsola* جوانه‌زنی هالوفیت‌های دیگر نیز به واسطه شوری کاهش می‌یابد و درصد این کاهش بین هالوفیت‌های مختلف متفاوت است. در گیاه هالوفیت *Cakile maritima* درصد جوانه‌زنی در شوری بالاتر از ۲۰۰ میلی‌مولار به طور قابل توجهی نسبت به شاهد کاهش می‌یابد. بذرهایی که در معرض شوری بوده‌اند پس از انتقال به شرایط کنترل احیا می‌شوند. این نشان می‌دهد جنین زنده است و آنچه مانع از جوانه‌زنی شده است تنش اسمزی بوده است (۲۳). علاوه بر اینکه شوری درصد جوانه‌زنی نهایی را کاهش می‌دهد منجر به تاخیر جوانه‌زنی نیز می‌شود. تاخیر جوانه‌زنی به واسطه شوری

بحث

میزان جوانه‌زنی و جوانه‌زنی پس از احیا در تیمار NaCl

اغلب دو مرحله حساس در چرخه زندگی هالوفیت‌ها در نظر گرفته می‌شود که شامل جوانه‌زنی و پس از آن پایداری در محیطی با شوری بالا است. مهم‌ترین فاکتورهایی که جوانه‌زنی هالوفیت‌ها را کنترل می‌کند نور و شوری است (۱۵). همان‌گونه در نتایج اشاره شد با افزایش غلظت شوری درصد جوانه‌زنی در *Salsola arbuscula* از ۹۵/۳۳ درصد در شاهد به ۱۳/۳۳ درصد در تیمار ۴۰۰ میلی‌مولار سدیم کلراید کاهش یافت. احتمالاً تنش اسمزی ناشی از شوری عامل اصلی کاهش جوانه‌زنی بذر بسیاری از گیاهان هالوفیت می‌باشد (۲۰). نتایج اخیر نشان داد که بذر *Salsola arbuscula* از توانایی احیا برخوردار است، این نشان می‌دهد که کاهش درصد جوانه‌زنی در این بذر به دلیل تنش اسمزی بوده است. علاوه بر این درصد جوانه‌زنی پس از احیا در سه تیمار ۲۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰ میلی‌مولار تفاوت معنی‌دار

بالا ممکن است به دلیل کاهش فعالیت آنزیم‌های هیدرولیتیک و کند ساختن سرعت حرکت متابولیت‌ها باشد (۲۴).

فاکتورهای رشد و میزان رشد نسبی (RGR) در گیاهچه‌های ده روزه و گیاهان دو ماهه

مشخص شده است که رشد تحت شرایط اسمزی شاید بطور عمده به علت کاهش حجم سیتوپلاسم و کاهش تورگور سلول به دلیل خروج اسمزی آب داخل سلولی کاهش یابد (۲۵). کاهش رشد گیاه و مقدار آب حاصل از شوری در چندین گونه گیاهی از قبیل گندم (۲۶) و نیشکر (۲۷) گزارش شده است. یکی از استراتژی‌های موجود در گیاهان تحت تنش شوری میزان رشد آهسته آن‌ها است که در تعدادی از کشت‌های درون شیشه هالوفیت‌ها و غیر هالوفیت‌ها مشاهده می‌شود (۲۸، ۲۹ و ۳۰). کاهش رشد نه تنها به گیاه برای حفظ انرژی کمک می‌کند بلکه همچنین خطر تخریب ژنتیکی را نیز محدود می‌کند. کاهش سطح پتاسیم مشاهده شده در گیاه تحت شرایط تنش شوری شاید فشار اسمزی حاصل از تجمع پتاسیم در سلول را کاهش دهد. بنابراین گسترش سلولی، جایگیری کربن تثبیت شده و فشار تورگور تحت تاثیر قرار می‌گیرد (۳۱). این شاید یکی از دلایل کاهش رشد گیاه *Salsola* تحت شرایط تنش شوری باشد.

نتایج مشابهی در مورد هالوفیت *Halochnemum strobilaceum* به دست آمده است به طوری که در غلظت ۰/۱ الی ۰/۳ مولار سدیم کلراید افزایش معنی‌داری در طول ایجاد شده است، در حالی که در غلظت‌های ۰/۷۵ الی ۳ مولار سدیم کلراید طول شدن گیاه به طور معنی‌داری ممانعت شده است (۳۲). در طول تنش شوری سطح برگ در تیمار ۲۰۰ میلی‌مولار افزایش یافت. همچنین وزن تر در گیاهچه ده روزه و گیاه دو ماهه تا غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار سدیم کلراید افزایش و پس از آن کاهش پیدا کرد. یکی از ویژگی‌های قابل توجه هالوفیت‌ها جذب بالای یون‌های قلیایی و حفظ آب گیاه است و حفظ آب به آن‌ها کمک می‌کند تا سمیت یونی را خنثی کنند. دو فرضیه در مورد پرآبی گیاهان هالوفیت وجود دارد و ممکن است پرآبی یک پاسخ باشد و یا به عنوان یک سازش در شرایط شوری در هالوفیت‌ها مطرح شود و هدفمند باشد. گیاهان پرآب برگ‌های بزرگ‌تر و ضخیم‌تری دارند. افزایش ضخامت و سطح برگ بیشتر به علت افزایش در اندازه سلول‌های مزوفیل و فضاهای بین سلولی کوچکتری است. هالوفیت‌ها در غلظت‌های مختلف سدیم کلراید از لحاظ محتوای آبی متفاوت‌اند. این موضوع را می‌توان دلیل

تفاوت در وزن تر گیاه در غلظت‌های مختلف نمک دانست (۳۳). بررسی‌ها نشان داده است که در گیاه *Atriplex portulacoides* از تیمار شاهد تا تیمار ۲۰۰ mol m⁻² سطح برگ افزایش یافت و پس از آن تا تیمار ۷۰۰ mol m⁻² سطح برگ کاهش می‌یابد (۳۴). در گیاه *Cakile maritima* سطح برگ از شاهد تا غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار افزایش می‌یابد و پس از آن تا تیمار ۵۰۰ میلی‌مولار سطح برگ به طور معنی‌دار کاهش یافته است (۲۳). بررسی وزن تر گیاه *Bruguiera parviflora* پس از ۴۵ روز در تنش شوری با غلظت‌های ۰ الی ۴۰۰ میلی‌مولار سدیم کلراید نشان داد که از شاهد تا تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار وزن تر افزایش یافت و پس از آن وزن تر کاهش یافت (۳۵).

در این تحقیق بالاترین وزن خشک در گیاهچه (کل، بخش هوایی و ریشه) مربوط به تیمار شاهد و بالاترین وزن خشک در گیاه دو ماهه (کل، بخش هوایی و ریشه) در تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار سدیم کلراید به دست آمد. در گیاه *Cakile maritima* نتایج مشابهی به دست آمده است. در این گیاه از شاهد تا تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار وزن خشک در گیاه و بخش هوایی و ریشه افزایش یافته است و پس از آن تا تیمار ۵۰۰ میلی‌مولار سدیم کلراید وزن خشک کاهش یافته است. تولید بیوماس تا تیمار ۵۰ الی ۱۰۰ میلی‌مولار افزایش یافته است و در سطوح بالاتر شوری ممانعت شده است (۳۵). بررسی‌هایی که توسط چائوم و همکاران بر روی گیاه نخل روغنی انجام شد نشان داد، وزن خشک گیاه زمانیکه تحت تاثیر تنش شوری قرار می‌گیرد کاهش می‌یابد. در این بررسی مشخص شد رابطه مستقیمی بین فعالیت PSII و بازده خاص فتوسنتز و وزن خشک گیاه وجود دارد (۳۶).

در گونه‌های هالوفیت *Atriplex* رشد در غلظت‌های پایین سدیم کلراید تحریک شده است در حالی که همین غلظت‌های شوری رشد را در گونه‌های غیرهالوفیت ممانعت کرده است. در آزمایشی که بر روی سه گونه سالسولا شامل *S. orientalis* و *S. dendroides* و *S. richteri* انجام شد ثابت کرد که هر سه گونه در نخستین سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار رشد مثبتی در بخش هوایی داشته‌اند ولی در سطوح بالاتر سدیم کلراید (۲۰۰ الی ۴۰۰ میلی‌مولار) رشد در بخش هوایی به طور معنی‌داری کاهش یافته است (۱۱). بر اساس نتایج به دست آمده در این تحقیق درصد کاهش رشد در بخش ریشه در گیاهچه ده روزه و گیاه دو ماهه بیش از بخش هوایی بوده است. نتایج مشابهی توسط

تغییرات آناتومی برگ در تیمارهای مشخص NaCl در گیاه دو ماهه

ویژگی‌های آناتومی اندام‌های گیاهی به ویژه ساختار آناتومی برگ در اثر تنش شوری تغییر می‌کند. افزایش حجم سلول‌ها به ویژه سلول‌های پارانشیم حفره‌ای و به دنبال آن افزایش ضخامت برگ از جمله این تغییرات است. همچنین در این شرایط از تعداد روزنه‌ها و سلول‌های اپی‌درمی کاسته می‌شود (۱۹). این نتایج در بررسی‌های فوق نیز به دست آمد. بسته شدن روزنه‌ها از دست دادن آب را کم کرده و منجر به کاهش تنفس می‌شود و در نتیجه تجمع یون‌های سمی را در بخش هوایی به حداقل می‌رساند.

همان‌گونه که ذکر شد ضخامت اپی‌درم، مزوفیل حفره‌ای و مزوفیل نرده‌ای به طور معنی‌دار ($p < 0.01$) تحت تنش شوری افزایش یافت. در دو گونه هالوفیت *Nitraria retusa* و *Atriplex halimus* نیز افزایش ضخامت اپی‌درم و مزوفیل همراه با افزایش غلظت سدیم کلراید تا ۳۰۰ میلی‌مولار گزارش شده است (۵). به‌علاوه، اطلاعات موجود با اطلاعات گزارش شده در *Suaeda maritima* و *Salicornia europaea* موافق است (۴۲). بررسی‌ها نشان داد در گونه‌های *Suaeda* به دنبال تجمع نمک در محیط اندازه سلول‌های اپی‌درمی افزایش و تعداد آن‌ها کاهش یافت (۱۹). تمامی این تغییرات آناتومیکی وابسته به سازگاری‌های گیاه هالوفیت نسبت به غلظت بالای سدیم کلراید در محیط رشد است.

نتیجه‌گیری

بر طبق نتایج بدست آمده از این تحقیق می‌توان بیان نمود که گیاه *Salsola arbuscula* گیاه هالوفیتی است که با وجود اینکه در مرحله جوانه زنی بذر حساسیت بیشتری نسبت به تنش شوری در مقایسه با گیاه کامل دارد ولی با دارا بودن قدرت جوانه زنی پس از احیا، مشخص می‌گردد که سمیت یونی ایجاد شده در بذر دائمی نبوده و ممکن است تنش اسمزی عامل عدم جوانه زنی بذر تحت تنش باشد. همچنین با افزایش تنش شوری رشد گیاهچه و گیاه کاهش یافت که علت کاهش احتمالا تغییر مسیر انرژی از سمت رشد به سمت تعادل است ولی در برخی غلظت‌ها افزایش رشد گیاه مشاهده گردید که نیاز به رژیم تغذیه ای مناسب برای سدیم توسط این گیاه هالوفیت را نشان می‌دهد. تغییر آناتومی مشاهده شده در برگ در تیمار شوری نیز پاسخی

گورابی و همکاران (۳۷) گزارش شده است. *Reaumuria vermiculata* گیاه هالوفیتی است که اثر غلظت‌های ۰ الی ۶۰۰ میلی‌مولار سدیم کلراید بر رشد آن بررسی شده است. رشد گیاه در غلظت‌های بالای NaCl به طور معنی‌داری کاهش یافته است. با وجود اینکه با افزایش غلظت سدیم کلراید، تولید توده‌زیستی و به دنبال آن وزن خشک در هر دو بخش هوایی و ریشه کاهش یافته، رشد ریشه حساسیت بیشتری در مقایسه با رشد بخش هوایی داشته است. تنش شوری منجر به تنش اسمزی و به دنبال آن کاهش پتانسیل آب می‌شود. در شرایط کنترل، پتانسیل آبی در سلول‌های ریشه نسبت به محیط خارج پایین‌تر است و ورود آب به ریشه از طریق پروتئین‌های کانال آبی رخ می‌دهد (۳۸). در محیط شور، تفاوت در پتانسیل آب خاک و سلول‌های ریشه کاسته شده و یا حتی معکوس می‌شود که منجر به کاهش جذب آب و یا از دست رفتن آب می‌شود. وجود پتانسیل آب برای رشد ریشه لازم است، بنابراین ممانعت رشد و آسیب‌های بافتی در این شرایط اتفاق می‌افتد (۳۹). میزان محتوای آبی در ریشه نسبت به برگ کمتر است، این کاهش باعث کم شدن فشار تورژسانس شده و در نتیجه روند رشد و توسعه سلول را با محدودیت روبرو می‌کند (۴۰). به این ترتیب ممانعت رشد با کاهش محتوای آبی پیوسته است (۴۱). در این تحقیق کاهش رشد ریشه بیش از کاهش رشد در برگ بوده است. بررسی RGR روشن کرد که در گیاهچه ده روزه بالاترین میزان RGR در شاهد بوده و پس از آن با افزایش غلظت شوری میزان RGR کاهش یافت. در گیاه دو ماهه بالاترین میزان RGR در تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار سدیم کلراید به دست آمد و پس از آن با افزایش غلظت سدیم کلراید میزان RGR کاهش یافت. بررسی تغییرات رشد در سه گونه هالوفیت *Nitraria retusa*, *Atriplex halimus*, *Medicago arborea* در غلظت‌های ۰ الی ۸۰۰ میلی‌مولار سدیم کلراید نشان داد که در غلظت‌های اولیه، RGR افزایش یافته و زمانی که سطح شوری تا غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار افزایش می‌یابد. میزان RGR در *N. retusa* and *A. halimus* به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد، در نتیجه سطوح اولیه شوری در مقایسه با کنترل برای رشد این دو گونه هالوفیت مناسب و بهینه است. میزان RGR در این دو گونه در غلظت ۸۰۰ میلی‌مولار کاهش قابل توجهی می‌یابد. در گونه هالوفیت *A. halimus* بالاترین میزان رشد در شرایط کنترل به دست آمده است و RGR به طور معنی‌داری با افزایش غلظت شوری کاهش می‌یابد (۵).

occidentale) seedling establishment under NaCl salinity. J. Plant Physiol. 2009; 166: 80-89.

9. Hanslin HM, Eggen T. Salinity tolerance during germination of seashore halophytes and salt-tolerant grass cultivars. Seed Sci. Res. 2005; 15: 43-50.

10. Joshi AJ, Mali BS, Hinglajia H. Salt tolerance at germination and early growth of two forage grasses growing in marshy habitats. Environ. and experimental botany. 2004; 154: 160-3.

11. Heidari-Sharifabady H, Mirzaie-Nodoushan b H. Salinity-induced growth and some metabolic changes in three *Salsola* species. J Arid Environ. 2006; 67: 715-720.

12. Stefaniak B, Wozny A, Li V. Plant micropropagation and callus induction of some annual *Salsola* species. Biologia plantarum. 2003; 46(2): 305-308.

13. J.Ryan F, L.Mosyakin S, J.Pitcairn M. Molecular comparisons of *Salsola tragus* from California and Ukraine. Canada J. Botany. 2007; 85(2): 224-229.

14. Murashige T, Skoog FA. revised medium for rapid growth and bioassay with tobacco tissue cultures, Plant Physiol. 1962; 15: 473-479.

15. Ajmal Khan M, Gul B, Weber DJ. Seed germination in the Great Basin halophyte *Salsola iberica*. Canada. J. Botany. 2002; 80: 650-655.

16. Khan MA, Ungar IA. Seed polymorphism and germination responses to salinity stress in *Atriplex triangularis* Willd. Botanical Gazette. 1984; 145: 487-494.

17. Hunt R. Basic growth analysis. Plant growth analysis for beginners. Illustrated. London. Unwin Hyman. 1990.

18. Widuri R, Welzen PV. A revision of the genus *Cephalomappa* (Euphorbiaceae) in Malesia. Reinwardtia. 1993; 11 (3): 153-184.

19. Polic D, Lukovic J, Zoric L, Boza P, et al. Morpho-anatomical differentiation of *Suaeda maritime* (L.) Dumort. 1827. (Chenopodiaceae) populations from inland and maritime saline area. Central European Journal of Biology. 2009; 4(1): 117-129.

20. Hakim MA, Juraimi AS, Begum M, Hanafi MM, et al. Effect of salt stress on germination and early seedling growth of rice (*Oryza sativa* L.). African J. Biotech. 2010; 9(13): 1911-1918.

21. Wei Y, Dong M, Huang ZY, Tan DY. Factors influencing seed germination of *Salsola affinis* (chenopodiaceae) a dominant annual halophyte inhabiting the deserts of xinjiang china. Science Direct Flora. 2008; 203: 734-740.

است که منجر به سازگاری گیاه نسبت به غلظت های بالای سدیم کلراید می گردد. بنابراین گیاه با مکانیسم‌های متفاوت قادر است قدرت جوانه زنی خود را در محیط شور و پس از مساعد شدن شرایط استرس حفظ نموده و در مراحل مختلف رشد و نمو نیز با تغییرات رشدی و آناتومیکی در شوری مقاومت نماید. بررسی مکانیسم‌های مقاومت در این گیاه نیازمند تحقیقات گسترده‌تری می باشد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از حوزه معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه اراک و قطب تنش‌های گیاهی دانشگاه اصفهان که حمایت مالی و اجرایی این تحقیق را به عهده داشتند صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

1. EL-Bassiouny HMS, Bekheta MA. Effect of Salt Stress on Relative Water Content, Lipid Peroxidation, Polyamines, Amino Acids and Ethylene of Two Wheat Cultivars. Agriculture and Biobiological. 2007; 7(3): 363-368.
2. Sairam RK, Tyagi A. Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. Curr. Sci. 2004; 86(3): 407-421.
- 3- Koutoua AY, Rochdi A, Laurent KK, Hilaire KT. NaCl stress-induced growth, water and ions contents changes on *in vitro* selection of salt tolerant and salt sensitive callus of wheat (*Triticum durum* Desf.). IJb. 2011; 1(4): 12-25.
4. Parvaiz A, Satyawati S. Salt stress and phyto-biochemical responses of plants – a review. Plant Soil and Environment. 2008; 54(3): 89-99.
5. Boughalleb F, Denden M, Ben Tiba B. Anatomical changes induced by increasing NaCl salinity in three fodder shrubs, *Nitraria retusa*, *Atriplex halimus* and *Medicago arborea*, Acta Plant Physiology. 2009; 31(5): 947-960.
6. Soltani A, Gholipoor M, Zeinali E. Seed reserve utilization and seedling growth of wheat as affected by drought and salinity. Environ. Exp. Bot. 2006; 55, 195-200.
7. Ashraf M, Foolad MR. Pre-sowing seed treatment shotgun approach to improve germination, plant growth, and crop yield under saline and non-saline conditions. Advan. Agron. 2005; 88, 223-271.
8. Voigt EL, Almeida TD, Chagas RM, Ponte LFA, et al. Source-sink regulation of cotyledonary reserve mobilization during cashew (*Anacardium*

22. Guma IR, Padron-Mederos MA, Santos-Guerra A, Reyes-Betancort JA. Effect of temperatre and salinity on germination of *Salsola Vermiculata* (Chenopodiaceae) from canary Island. *Arid Environ.* 2010; 708-711.
23. Debez A, Hamed KB, Grignon C, Abdelly C. Salinity effects on germination, growth, and seed production of the halophyte *Cakile maritime*. *Plant and Soil.* 2004; 262: 179-189.
24. Ashraf M, Afaf YR, Qureshi MS, Sarwar G, et al. Salinity induced changes in α -amylase and protease activities and associated metabolism in cotton varieties during germination and early seedling growth stages. *Acta Physiologia Plantarum.* 2002; 24: 37-44.
25. Summart J, Thanonkeo P, Panichajakul S, Prathepha P, et al. Effect of salt stress on growth, inorganic ion and proline accumulation in Thai aromatic rice, Khao Dawk Mali 105, callus culture. *African J. Biotech.* 2010; 9 (2): 145-152.
26. Lutts S, Almansouri M, Kinet JM. Salinity and water stress have contrasting effects on the relationship between growth and cell viability during and after stress exposure in durum wheat callus. *Plant Sci.* 2004; 167:9-18.
27. Errabii T, Gandonou CB, Essalmain H, Abrini J, et al. Growth, proline and ion accumulation in sugarcane callus cultures under drought-induced osmotic stress and its subsequent relief. *African J. Biotech.* 2006; 5: 1488-1493.
28. Zhang F, Yang YL, He WL, Zhao X, et al. Effects of salinity on growth and compatible solutes of callus induced from *Populus euphratica*. *In vitro Cellular and Developmental Biology-Plant.* 2004; 40:491-494.
29. Zhao X, Tan HJ, Liu YB, Li XR, et al. Effect of salt stress on growth and osmotic regulation in *Thellungiella* and *Arabisopsis* callus. *Plant Cell Tiss. Organ Cult.* 2009; 98(1):97-103.
30. Patade VY, Suprasanna P, Bapat VA. Effects of salt stress in relation to osmotic adjustment on sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) callus cultures. *Plant Growth Regulation.* 2008; 55:169-173.
31. Lokhande VH, Nikam TD, Penna S. Biochemical, physiological and growth changes in response to salinity in callus cultures of *Sesuvium portulacastrum* L. *Plant Cell Tiss. Organ Cult.* 2010; 102: 17-25.
32. Qu XX, Huang ZY, M.Baskin J, C.Bashkin C. Effect of Temperature, Light and Salinity on Seed Germination and Radicle Growth of the Geographically Widespread Halophyte Shrub *Halocnemum strobilaceum*. *Annals of Botany.* 2008; 101: 293-299.
33. Jennifer S. Mechanisms of salt tolerance in halophytes: can crop plants resistance to salinity be improved. *APS 402 Dissertation.* 2004; 6-9.
34. Redondo-Gomez S, Mateos-Naranjo E, Davy AJ, Francisco Fernandez-Munoz F, et al. Growth and Photosynthetic Responses to Salinity of the Salt-marsh Shrub *Atriplex portulacoides*. *Annals of Botany.* 2007; 100: 555-563.
35. Parida AK, Das AB, Mittra B. Effects of salt on growth, ion accumulation photosynthesis and leaf anatomy of the mangrove, *Bruguiera parviflora*. *Trees-Structure. Functional.* 2004a; 18: 167-174.
36. Cha-Um S, Takabe T, Kirdmanee C. Ion Contents, Relative Electrolyte Leakage, Proline Accumulation, Photosynthetic Abilities And Growth Characters Of Oil Palm Seedlings In Response To Salt Stress. *Pak. J. Botany.* 2010; 42(3): 2191-2020.
37. Gorai M, Neffati M. Osmotic adjustment, water relations and growth attributes of the xero-halophyte *Reaumuria vermiculata* L. (Tamaricaceae) in response to salt stress. *Acta Physiologiae Planta.* 2010; 33(4): 1425-1433.
38. Katsuhara MT, Hanba Y, Shiratake K, Maeshima M. Expanding roles of plant aquaporins in plasma membranes and cell organelles. *Funct. Plant Biologia.* 2008; 35(1): 1-14.
39. Hauser F, Horie T. A conserved primary salt tolerance mechanism mediated by HKT transporters: a mechanism for sodium exclusion and maintenance of high K^+/Na^+ ratio in leaves during salinity stress. *Plant, Cell and Environ.* 2010; 33: 552-565.
40. Katerji N, van Hoorn JW, Hamdy A, Mastrorilli M. et al. Osmotic adjustment of sugar beets in response to soil salinity and its influence on stomatal conductance, growth and yield. *Agricul. Water Manage.* 1997; 34: 57-69.
41. Cherki Ghoulam CH, Foursy A, Fares KH. Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. *Environ. Experi. Bot.* 2002; 47: 39-50.
42. Moghaieb REA, Saneoka H, Fujita K. Effect of salinity on osmotic adjustment, glycinebetaine accumulation and the betaine aldehyde dehydrogenase gene expression in two halophytic plants, *Salicornia europaea* and *Suaeda maritime*. *Plant Sci.* 2004; 166: 1345-1349.

Evaluation of Seed Germination, Growth and Plant Anatomy of *Salsola arbuscula* Pall. in Salt Stress in *In Vitro*

Amini F. Ph.D.^{1*}, Abediny E. M.Sc.²

1. Department of Biology, Faculty of Sciences, Arak University, Arak 38156-8-8349, Iran.

2. M.Sc. Graduated Student in Plant Physiology, Arak University, Arak, Iran.

* Email corresponding author: F-Amini@araku.ac.ir

Received: 24 Apr. 2012

Accepted: 20 Nov. 2012

Abstract

Aim: In this study, the effects of NaCl on seed germination leaf and stem anatomy and growth parameters were investigated in 10 and 60 days-old of *Salsola arbuscula* species.

Material and Methods: The species seeds were cultivated in WA (0, 100, 200, 250, 300 mM NaCl), and MS (0, 100, 200, 250, 300, 350 mM NaCl) *in vitro* media. Then 10 and 60 days-old plants were used for studying seed germination and growth parameters. In addition to leaf anatomy of 60 days-old plants in MS (0, 100, 200, 250, 300, 350 mM NaCl) and after recovery in MS (300, 350, 400 mM NaCl), germination percentages were also investigated.

Results: Results showed decline in germination percentage and ability of recovery in germination percentage. Also growth and anatomical parameters showed wide varieties in 10 and 60 days-old plants with increasing NaCl concentration.

Conclusion: *S. arbuscula* is a halophytic plant that shows a better growth in low concentration of NaCl than control. Also the species protects its water content along the stress condition on the contrary glocophytes and has germinating ability. These characters help to survival of the species.

Key words: Anatomy, Germination, Growth, NaCl, *Salsola arbuscula*