نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد سیزدهم، شماره ۲(۵۰)، تابستان ۱۳۹۸، صفحه ۲۸۶-۲۶۹

تاثیر غلظت‌های نمک طعام بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک سه گونه سالیکورنیا (*Salicornia spp.*) در شرایط کشت بدون خاک

بهروز طیبی[1*]، و احمد قنبری[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۲۸ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۱/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱/۲۱

چکیده

به‌منظور مقایسه پاسخ‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک سه گونه سالیکورنیا به غلظت‌های کلرید سدیم، آزمایشی به‌صورت گلخانه‌ای انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل پنج غلظت نمک کلرید سدیم (۵، ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ میلی‌مول بر لیتر) و سه گونه سالیکورنیا (*Salicornia persica*، *S. perspolitana* و *S. bigelovii*) بودند. نتایج نشان داد که اثرات ساده شوری و گونه بر صفات پرولین، گلیسین‌بتائین، کربوهیدرات‌ها، کلروفیل a وb، محتوای نسبی آب، پتانسیل اسمزی در شاخسار، وزن خشک و وزن تر معنی‌دار بودند. همچنین، برهمکنش شوری و گونه بر صفات پرولین، گلیسین‌بتائین، کربوهیدرات‌ها، کلروفیل a وb، پتانسیل اسمزی شاخسار، وزن‌خشک و وزن‌تر معنی‌دار شد. غلظت کربوهیدرات‌ها تا ۴۰۰ میلی‌مول ۷۰ تا ۸۰ درصد افزایش و در ۶۰۰ میلی‌مول بین ۵ ٪ تا ۱۳٪ کاهش یافت. افزایش غلظت نمک تا ۶۰۰ میلی‌مول باعث افزایش غلظت پرولین و گلیسین‌بتائین شد. پتانسیل اسمزی نیز با افزایش سطوح شوری از ۳ تا ۴ برابر منفی‌تر شد. محتوای کلروفیل‌های a و b تا ۶۰۰ میلی‌مول کاهش یافتند. همچنین، در غلظت ۲۰۰ میلی‌مول نمک در هر ۳ گونه، وزن‌تر و وزن‌خشک به‌طور معنی‌دار، ۲ تا ۳ برابر نسبت به شاهد افزایش و در ۶۰۰ میلی‌مول نمک وزن‌تر و وزن‌خشک حدود ۶۰٪ تا ۶۵٪ کاهش پیدا کردند. در مجموع، نتایج نشان داد که با افزایش غلظت نمک در محیط ریشه، هر سه گونه با تجمع پرولین و گلیسین‌بتائین و از طریق کاهش پتانسیل اسمزی، در غلظت‌های بالای نمک زنده ماندند. گونه *S. bigelovii* در ۶۰۰ میلی‌مول نمک بیشترین تجمع سدیم و کمترین تجمع عناصر پتاسیم، کلسیم و منیزیم را داشت. از طرف دیگر گونه *S. perspolitana* در ۶۰۰ میلی‌مول نمک بیشترین تجمع عناصر پتاسیم، کلسیم و منیزیم را داشته و از نظر تجمع اسمولیت‌ها در سطوح شوری نسبت به سایر گونه‌ها برتری نشان داد.

واژگان کلیدی: پتانسیل اسمزی، پرولین، کربوهیدرات‌ها، کلروفیل، محتوی نسبی آب.

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

۲- استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

نگارنده‌ی مسئول behroozme@gmail.com

مقدمه

توانایی گیاهان برای زنده ماندن و ادامه رشد در شرایط شوری، به‌عنوان مقاومت به شوری شناخته می‌شود، که یک ویژگی متغیر و وابسته به عوامل بسیاری از جمله گونه گیاهی است. طیف وسیعی از تحمل گیاهان به شرایط شور از گیاهان حساس به نمک، تا شورزی‌ها که در غلظت‌های بسیار زیاد نمک زنده می‌مانند وجود دارند (Flowers *et al.*, 2010). توانایی گیاهان برای زنده ماندن در غلظت‌های بالای نمک، پراکنش اکولوژیکی گونه‌های گیاهی در مناطق نیمه خشک، خشک و مناطق شور را تعیین کرده و اهمیت این موضوع زمانی دو چندان می‌شود که بدانیم سه چهارم کره زمین را آب فرا گرفته است که ۹۸ درصد آن در دریاها و اقیانوس‌ها با میانگین شوری ۳۵ قسمت در هزار (۴۸۰ میلی‌مول بر لیتر) و کمتر از یک درصد آن به صورت آب‌های سطحی و زیرزمینی قابلیت کشاورزی دارند. هر چند تنها حدود ۱۷ درصد از کل اراضی زراعی در دنیا فاریاب هستند، با این‌حال این اراضی در معرض شور شدن قرار دارند و شوری با رشد سالیانه یک درصد در حال افزایش می‌باشد (Dubois, 2011). ۷٪ از زمین‌های دنیا، حدود ۹۳۰ میلیون هکتار، تحت تاثیر شوری قرار دارد و روز به‌روز این مناطق شور در حال گسترش می‌باشد. در سطح جهانی ایران پس از چین، هند و پاکستان بیشترین درصد اراضی شور را به خود اختصاص داده است (Kafi and Khan, 2008). در ایران زمین‌های شور داخلی که قابلیت آبیاری با آب لب‌شور را دارند، ۵۴۲۵۰ کیلومتر مربع برآورد شده است که عبارتند از دشت کویر به مساحت ۳۱۲۵۰ کیلومتر مربع، دشت لوت به مساحت ۱۰۵۰۰ کیلومتر مربع و دشت سیستان به مساحت ۱۲۵۰۰ کیلومتر مربع (Glenn and Watson, 1993).

تنش شوری در گیاهان اغلب در نتیجه نمک‌های سدیم، به‌ویژه کلرید سدیم است. گیاهانی که در حضور غلظت‌های بالای نمک‌های سدیم رشد می‌کنند، شورزی نامیده می‌شوند (Grigore *et al.*, 2014). گیاهان قادر هستند از طریق تجمع و خروج انتخابی یون‌ها، کنترل جذب یون‌ها از ریشه و انتقال آن به شاخسار، جایگزینی ویژه‌ی یون‌ها در سلول و در کل گیاه، سنتز مواد سازگار، تغییر در مسیر فتوسنتزی و ... نسبت به افزایش غلظت نمک در محیط واکنش نشان دهند (Taiz *et al.*, 2015)، اما گیاهان هالوفیت توانایی آن را دارند که آب را با حفظ پتانسیل اسمزی بالا از طریق انباشت یون‌های معدنی، جذب کنند (Flowers *et al.*, 2014) و این تنظیم اسمزی به گیاه توان مقاومت در مقابل تنش شدید اسمزی ناشی از حضور یون‌ها را می‌دهد و یک پدیده مهم برای تداوم رشد و نمو این گیاهان در محیط‌های شور است (Taiz *et al.*, 2015).

شورزی‌های جنس سالیکورنیا چند سالی است توجه محققین دنیا را به خود جلب نموده‌اند. سالیکورنیا شامل ۱۱ جنس و حدود ۱۰۰ گونه از هالوفیت‌های واقعی (Euhalophytes) و از تیره اسفناجیان (Chenopodiaceae) هستند. این گیاه یک‌ساله و در ظاهر بدون برگ است که ساقه‌های مفصلی و شاداب (گوشتی) دارد (Davy *et al.*, 2001). قابلیت‌های ویژه این جنس در تحمل شوری‌های بسیار بالای آب و خاک، امکان تولید با آب دریا، تولید علوفه، امکان کشت در اراضی فاقد کیفیت لازم برای کشاورزی، تولید محصولات غذایی برای مصرف انسان، به‌عنوان گیاه روغنی و پروتئینی، تولید انرژی زیستی (Biofuel)، تولید

فرآورده‌های دارویی و صنعتی برای آینده کشاورزی در ایران می‌تواند مفید باشد. معمولاً سطوح گلیسین بتائین، پرولین و سایر تنظیم کننده‌های اسمزی در طول دوره قرار گرفتن در معرض تنش‌ها مانند شوری، کم آبی و و دمای نامناسب افزایش می‌یابد وعلاوه بر نقش واسطه در تنظیم اسمزی تاثیر مثبت بر بیوسنتز آنزیم‌ها و یکپارچگی غشا دارد (Ashraf and Foolad, 2007). پرولین و سایر تنظیم‌کننده‌های اسمزی (Osmoregulators) تا حد زیادی منحصر به سیتوپلاسم هستند (Szabados and Savoure, 2010). شورزی‌ها به دلیل توانایی خود برای تطابق و زنده ماندن درمحیط‌های با محلول نمکی شناخته می‌شوند و این گیاهان با تغییر در متابولیسم انرژی خود، با شوری تطابق پیدا می‌کنند (Cheng *et al.*, 2015). از این گیاهان می‌توان به‌عنوان مدل برای مطالعه مکانیزم‌هایی که برای کنترل غلظت‌های بالای نمک استفاده می‌کنند بهره برد (Katschnig *et al.*, 2013).

مکانیزم‌های هالوفیت‌ها برای مقابله با افزایش غلظت نمک در سلول‌های گیاه با همدیگر متفاوت است. برای مثال مطالعات انجام شده روی گونه شورزی *Kochia prostrata* نشان داد که بهترین رشد در شوری ۱۵۰ میلی مول نمک اتفاق افتاد و این به خاطر مکانیسم تحمل شوری این گیاه از طریق ذخیره نمک در واکوئل‌ها و تنظیم فشار اسمزی بود و ذخیره اسمولیت‌ها در سیتوپلاسم باعث تنظیم فتوسنتز شد (Karimi *et al.*, 2005). فیشر (Pfisher, 2002) رشد و فیزیولوژی *S. bigelovii* Torr. را در چند سطح غلظت نمک مورد مطالعه قرار دادند و متوجه تحمل این گونه به غلظت‌های بالای نمک تا ۶۰۰ مول بر متر مکعب و امکان کشت آن در آب دریا شدند، اما دلیل این موضوع در تحقیقات آنها مشخص نشد. نتایج تحقیق دیگری نیز نشان داد که *S. persica* نسبت به غلظت‌های بالای نمک بسیار مقاوم است و این مقاومت را حاصل مدیریت رشد توسط اسمولیت‌ها در داخل سلول‌های گیاه دانست (Ahmad *et al.*, 2013). آکین و یالکین (Akcin and Yalcin, 2016) تحمل دو گونه هالوفیت *Salicornia prostrata* Pall. و *Suaeda prostrata* Pall. را نسبت به شوری در محیط طبیعی از نظر سطوح کلروفیل، کاروتنوئید و پرولین مقایسه و مشاهده کردند که با وجود کاهش سطح کلروفیل a، b و کل و کاروتنوئید، سطح پرولین افزایش یافت و آن را به‌عنوان یک مکانیزم برای تحمل به شوری در هالوفیت‌های واقعی در نظر گرفتند. مقیب و همکاران (Moghaieb *et al.*, 2004) و سلما و همکاران (Slama *et al.*, 2007) نیز نتایج مشابهی به دست آوردند. بنزراتی و همکاران (Benzarti *et al.*, 2014) تاثیر غلظت‌های بالای نمک را روی هالوفیت *Atriplex portulacoides* بررسی و نتیجه گرفتند که با افزایش غلظت نمک تا ۱۰۰۰ میلی مول، اسمولیت‌های پرولین و گلیسین بتائین افزایش یافتند و تاثیر آن در فیزیولوژی گیاه به شکل افزایش ذخیره‌سازی نمک در واکوئل‌ها بود.

این تحقیق به‌منظور مشخص کردن مکانیزم‌های مقاومت به شوری بین ۳ گونه شورزی *Salicornia persica*، *S. perspolitana* و *S. bigelovii* با هدف تعیین گونه مقاوم‌تر انجام گردید. نتایج جهت درک مقاومت به شوری در گیاهان شورزی و انتخاب گونه مناسب بومی برای کشت در محیط‌هایی با شوری بالا از طریق بررسی میزان عناصر Na^+، K^+، Ca^{2+} و Mg^{2+}، اسمولیت‌های پرولین، گلیسین بتائین و هیدرات‌های کربن و

غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی و ارتباط آنها با یکدیگر در هر سه گونه ارزیابی خواهد شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور مقایسه پاسخ‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک سه گونه سالیکورنیا به غلظت‌های کلرید سدیم، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی در سال ۱۳۹۶ در گلخانه تحقیقاتی جهاد کشاورزی زاهدان با موقعیت جغرافیایی ۲۹ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی و ۶۰ درجه و ۵۰ دقیقه و ۳۸ ثانیه شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۱۴۲۰ متر انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل پنج غلظت نمک کلرید سدیم (۵، ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ میلی‌مول بر لیتر) و سه گونه سالیکورنیا (*Salicornia persica*، *S. perspolitana* و *S. bigelovii*) بود. دامنه دماهای شبانه از ۱۸ تا ۲۶ درجه سلسیوس و دماهای روزانه از ۲۵ تا ۳۷ درجه سلسیوس ثبت شد. رطوبت نسبی از ۲۵ تا ۵۰ درصد در طول روز و از ۷۰ تا ۸۵ درصد در طول شب متغیر بود.

با توجه به این‌که غلظت نمک در آب‌های غیرشور کمتر از ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد (Rhoades *et al.*, 1992)، که این مقدار از نظر هم‌ارزی تقریباً با ۵ میلی‌مول بر لیتر نمک برابر است و به همین دلیل به‌عنوان غلظت مبنا انتخاب شد. در برخی از مطالعات انجام شده بر روی گیاه سالیکورنیا توسط فیشر (Pfisher, 2002) نیز حداقل غلظت نمک ۵ میلی‌مول بر لیتر انتخاب شده بود.

بذرهای دو گونه شورزی بومی از جنس سالیکورنیا *Salicornia persica* AKHANI. و *Salicornia perspolitana* AKHANI. از رویشگاه‌های طبیعی گیاه در نواحی مرکزی ایران جمع‌آوری و بذرهای گونه غیربومی *Salicornia bigelovii* Torr. از طریق شرکت Bo Da Yi investment and development Co. در کشور چین تهیه شد.

بذرها در محلول هیپوکلریت سدیم پنج درصد به مدت ۵ دقیقه ضدعفونی و سپس با آب مقطر شسته شدند. بذرهای ضدعفونی شده در سینی‌های نشا در مخلوطی از خاک پیت، کوکوپیت و پرلیت در اواخر فروردین ماه کشت شد. بعد از ۴۰ تا ۵۰ روز نشاها که از حدود سه تا پنج سانتی‌متر ارتفاع داشتند، به ۴۵ گلدان یک لیتری (برای هر گونه ۱۵ و برای هر تیمار ۳ گلدان تعیین شده بود) که با مخلوطی از کوکوپیت و پرلیت پر شده بود در سه تکرار منتقل شد. برای استقرار نشاها، تا دو هفته آبیاری با آب معمولی انجام و پس از آن آبیاری با تیمارهای تعیین شده به مدت ۶۰ روز ادامه پیدا کرد.

پنج غلظت نمک کلرید سدیم (NaCl)، شامل ۵، ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰ و۶۰۰ میلی‌مول بر لیتر تهیه و برای جلوگیری از شوک به‌صورت روزانه ۵۰ میلی‌مول بر لیتر تا رسیدن به غلظت نهایی اضافه شد. آبیاری گلدان‌ها هر دو روز با غلظت تعیین شده انجام شد. محلول غذایی هوگلند به‌صورت هفتگی و با محلول نمک به گلدان‌ها اضافه شد (Hoagland and Arnon, 1950).

وزن تر و وزن خشک در پایان روز شصتم، اندازه‌گیری شد. سه تا پنج گیاه برداشت و پس از توزین با ترازوی دقیق، به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک شدند.

برای اندازه‌گیری عناصر سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم ابتدا با استفاده از روش خاکسترگیری مرطوب، نمونه‌ها آماده‌سازی شدند (Horwitz *et al.*, 1970). برای این منظور ۲ گرم

از ماده خشک شاخساره را با ۲۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۰/۱ نرمال در اسید استیک ۱۰ درصد به مدت ۲۴ ساعت اضافه و با استفاده از کاغذ واتمن فیلتر شد. سپس، مقدار سدیم و پتاسیم در نمونه‌ها با استفاده از دستگاه فلایم فتومتر (Biotech, Germany) و کلسیم و منیزیم به وسیله دستگاه جذب اتمی (Konik, Germany) اندازه‌گیری شد.

محتوای نسبی آب گیاه با استفاده از معادله زیر اندازه‌گیری شد (Hemantaranjan, 2016).

معادله ۱: $RWC\ [\%] = [fresh\ mass - dry\ mass) / (saturated\ mass - dry\ mass)] \times 100$

در این معادله fresh mass و dry mass عبارتست از وزن تر و وزن خشک و saturated mass عبارت از وزن اشباع است.

برای اندازه‌گیری وزن اشباع، گیاه تازه به مدت ۲۴ ساعت در آب قرار داده شد و برای اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند و سپس توزین گردید.

پتانسیل اسمزی با استفاده از معادله وانت هوف محاسبه شد (Taiz *et al.*, 2015).

معادله ۲: $\Psi_s = -RTCs$

در این معادله، R ثابت گازها، T دمای مطلق و Cs غلظت مواد حل شده است. آماده‌سازی نمونه‌ها به روش مارتینز و همکاران (Martìnez *et al.*, 2004) انجام شد. برای این‌کار بافت تر گیاه به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر در دمای ۴ درجه سلسیوس قرار داده شد. پس از خرد کردن در هاون چینی با مقداری نیتروژن مایع، عصاره حاصل شده با دستگاه اسمومتر (Vescor, USA) قرائت شد و با استفاده از رابطه فوق نتایج به‌دست آمده که براساس $mM.Kg^{-1}$ بود به مگاپاسکال (MPa) تبدیل شد.

اندازه‌گیری غلظت گلیسین‌بتائین با روش سایرام و سریواستاوا (Sairam *et al.*, 2002) انجام شد، به این ترتیب که ۱ گرم ماده خشک شاخساره با ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل و پس از عبور از کاغذ صافی به نسبت ۱:۱ با اسید سولفوریک ۲N رقیق شد. یک میلی‌لیتر از آن به ۰/۴ میلی‌لیتر معرف یدید پتاسیم سرد اضافه شد و پس از سانتریفوژ در دمای صفر درجه سلسیوس یک میلی‌لیتر از فاز بالایی با میکروپیپت جدا و با ۹ میلی‌لیتر ۱و۲ دی کلرو اتان مخلوط و جذب آن در طول موج ۳۶۵ نانومتر خوانده شد. برای تعیین محتوای پرولین آزاد ۰/۰۵ گرم بافت سبز گیاه در ۵ میلی‌لیتر محلول اسید سولفو سالیسیلیک (۳٪) ساییده شد و با ۲ میلی‌لیتر اسید نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک مخلوط شد و ۳۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. پس از انتقال لوله‌های آزمایش به حمام یخ، ۶ میلی‌لیتر تولوئن به لوله‌های آزمایش اضافه شد. از لایه فوقانی حاوی تولوئن و پرولین، برای اندازه‌گیری محتوای پرولین در طول موج ۵۲۰ نانومتر استفاده شد (Bates *et al.*, 1973). اندازه‌گیری کربوهیدرات‌ها با روش کرپسی و همکاران (Kerepesi *et al.*, 1996) انجام شد. ۰/۲ گرم بافت سبز با ۱۰ سی‌سی اتانول ۹۵ درصد به‌مدت یک ساعت در حمام بن‌ماری ۸۰ درجه سلسیوس حرارت داده شد. به ۱ سی‌سی از نمونه‌های سرد شده، ۱ سی‌سی فنل ۰/۵ درصد و ۵ سی‌سی اسید سولفوریک ۹۸ درصد اضافه شد. میزان نور جذبی در ۴۸۳ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر (Unic, USA) قرائت شد. سنجش کلروفیل a ,b با روش آرنون (Arnon, 1967)

انجام گرفت، بدین منظور ۰/۱ گرم از ماده تر گیاهی با ۱۰ میلی‌لیتر استن ۸۰٪ به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شد. از قسمت فوقانی عصاره، برای اندازه‌گیری کلروفیل a در طول موج ۶۶۳ نانومتر و برای کلروفیل b در ۶۴۵ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر استفاده شد.

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۲) و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح (۰/۰۵) محاسبه شد. همچنین، برای رسم شکل‌ها از نرم-افزار EXCEL استفاده شد.

نتایج و بحث

وزن تر و وزن خشک اندام‌های هوایی: اثر ساده و متقابل شوری و گونه بر وزن تر و وزن خشک اندام‌های هوایی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسات میانگین مربوط به اثر متقابل غلظت نمک در گونه نشان داد که بیشترین وزن تر در تیمار ۲۰۰ میلی‌مول بر لیتر با میانگین ۳۰ گرم بر گیاه در اندام‌های هوایی گونه *S. persica* مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد از افزایش حدود سه برابری برخوردار بود و *S. perspolitana* از این بابت تفـــاوت معنی‌داری با آن نداشت. با افزایش غلظت نمک فراتر از ۲۰۰ میلی‌مول میانگین‌ها کاهش نشان داد به طوری که در تیمار ۶۰۰ میلی‌مول بر لیتر نسبت به تیمار شاهد به‌طور میانگین ۱۲٪ کاهش نشان داد و اختلاف معنی‌داری بین سه گونه مشاهده نشد. وزن خشک اندام‌های هوایی نیز در غلظت ۲۰۰ میلی‌مول بر لیتر با میانگین ۳/۷ گرم بر گیاه در *S. persica* مشاهده شد که سه برابر شاهد بود اما بین *S. bigelovii* و *S. perspolitana* تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. افزایش غلظت نمک بیشتر از ۲۰۰ میلی‌مول میانگین‌ها را کاهش داد به‌طوری‌که در ۶۰۰ میلی‌مول میانگین‌ها در *S.persica* و *S.perspolitana* به‌طور متوسط ۱۲٪ نسبت به شاهد کاهش و در *S. bigelovii* با افزایش ۸ درصدی همراه بود از نظر وزن تر و وزن خشک گونه *S. persica* نسبت به دو گونه دیگر برتری نسبی داشت (شکل ۱).

کویرو و همکاران (Koyro *et al.*, 2013) با تحقیق روی ارزن شن‌دوست *Panicum turgidum* دریافتند که مقدار رشد تا غلظت نمک ۱۲۵ میلی‌مول افزایش یافته بود و پس از آن کاهش یافت. دلیل این افزایش رشد و سپس کاهش در غلظت‌های بالاتر، تغییر در پارامترهای تبادل گاز CO_2/H_2O و افزایش نرخ فتوسنتز خالص بود. ردوندو گمز و همکاران (Redondo-Gómez *et al.*, 2007) نیز با تحقیق بر روی *Atriplex portulacoides* وضعیت مشابهی را در غلظت ۲۰۰ میلی‌مول نمک مشاهده نمودند، که دلیل این موضوع را تغییر در روند کربوکسیلاسیون بر اثر تغییر در نرخ تبادلات گازی فتوسنتزی و کاهش رشد در غلظت‌های بالای نمک را به‌دلیل تاثیر نمک بر فتوسیستم II و کاهش ظرفیت کربوکسیلاسیون اعلام نمودند.

محتوای نسبی آب شاخسار: تاثیر شوری بر محتوای نسبی آب شاخسار معنی‌دار بود اما اثر گونه و همچنین برهمکنش شوری و گونه بر محتوای نسبی آب معنی‌دار نشد (جدول ۱). بیشترین مقدار محتوای نسبی آب برگ با ۹۱/۹ درصد در تیمار شاهد مشاهده شد و با افزایش غلظت نمک تا ۶۰۰ میلی‌مول مقدار آن ۱۸٪ کاهش نشان داد (جدول ۲).

پتانسیل اسمزی شاخسار: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده و متقابل شوری و

گونه بر پتانسیل اسمزی شاخسار در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۱). در گونه *S. persica* با افزایش غلظت نمک، مقدار پتانسیل اسمزی از ۱/۸- تا ۷/۳-، در *S. perspolitana* از ۲/۱- تا ۶/۵- و در *S. bigelovii* از ۱/۹- تا ۶/۶- مگاپاسکال کاهش نشان دادند (شکل ۲).

پتانسیل اسمزی هر سه گونه با افزایش تنش اسمزی، منفی‌تر شد که نشان داد گیاه *Salicornia* در پاسخ به افزایش تنش شوری پتانسیل اسمزی درون سلول‌های خود را کاهش می‌دهد. در گیاهان شورزی، پتانسیل اسمزی معمولاً بسیار پایین است. این گیاهان، پتانسیل آب در سلول را آنقدر کاهش می‌دهند که گیاه بتواند از محلول خاک حاوی آب شور نیز آب جذب نماید، بدون این‌که مقادیر اضافی نمک به شکل هم‌زمان وارد سلول شوند (Taiz *et al.*, 2015).

کاهش پتانسیل اسمزی و محتوای نسبی آب تحت تنش شوری، در *S. europea* و *Suaeda maritima* توسط مقیب و همکاران (Moghaieb *et al.*, 2004) گزارش شده است. همچنین، آمور و همکاران (Amor *et al.*, 2005) با مطالعه روی *Crithmum maritimum* و خان و همکاران (Khan *et al.*, 2000a and 2000c) با مطالعه روی *Atriplex griffithii* و *Suaeda fruticosa* نتایج مشابهی را به دست آوردند.

تجمع یون‌ها: اثر ساده و متقابل شوری و گونه بر غلظت یون‌های سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در سطح آماری یک‌درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسات میانگین مربوط به غلظت‌های نمک نشان داد که میزان سدیم در اندام‌های هوایی با افزایش غلظت نمک در هر سه گونه روند افزایشی داشت. به‌طوری‌که، در گونه *S. persica* افزایش یون سدیم نسبت به تیمار شاهد به حدود ۲/۱۹ برابر و در گونه *S. perspolitana* و *S. bigelovii* به ۲/۱۶ و ۲/۶۱ برابر رسید. این در حالی بود که مقدار یون‌های پتاسیم، منیزیم و کلسیم در اندام‌های هوایی با افزایش غلظت نمک کاهش نشان داد. مقدار کاهش یافته یون پتاسیم نسبت به شاهد در سه گونه *S.persica*، *S. perspolitana* و *S. bigelovii* به‌ترتیب برابر بود با ۲۷، ۲۵ و ۴۰ درصد و این کاهش در یون کلسیم به‌ترتیب حدود ۲۰، ۱۹ و ۲۵ درصد و در یون منیزیم نیز ۲۹، ۳۰ و ۳۴ درصد مشاهده شد (جدول ۴).

غلظت‌های بالای Na^+ در بافت‌های گیاهی باعث تاثیر بر آنزیم‌ها می‌شود و آنزیم‌های شورزیست‌ها تحمل زیادی به غلظت‌های بالای Na^+ در مقایسه با شیرین‌رست‌ها ندارند. سدیم در غلظت بالاتر از ۱۰۰ Mm به شدت از فعالیت آنزیم ممانعت می‌کند و بیشتر از ۵۰ آنزیم به K^+ به‌عنوان کوفاکتور نیاز دارند و این آنزیم‌ها به مقادیر بالای Na^+ و نسبت Na^+/K^+ حساسیت ویژه‌ای دارند (Kafi *et al.*, 2010). بالا بودن نسبت پتاسیم به سدیم در گیاه در محیط با غلظت نمک بالا به‌عنوان یکی از معیارهای مقاومت به تنش شوری در گیاهان به‌شمار می‌رود (Ashraf and Orooj, 2006). حفظ نسبت بالای پتاسیم به سدیم در سیتوسول، به دلیل حساسیت زیاد آنزیم‌های موجود در سیتوپلاسم به نمک، یک نیاز اساسی برای رشد گیاه در شرایط شوری زیاد است (Apse and Blumwald, 2002).

شورزیست‌ها برای تحمل شوری حداقل نمک را به داخل گیاه راه می‌دهند و همچنین با انتقال سدیم به داخل واکوئل‌ها تنظیم یونی انجام می‌شود (Kafi *et al.*, 2010). برای مقابله با

افزایش غلظت سدیم، گیاه تلاش می‌کند مقدار زیادی از پتاسیم و مقدار کمی از سدیم را در سیتوسول خود نگهداری کند. این مهم به‌واسطه تنظیم بیان و فعالیت انتقال‌دهنده‌های یون سدیم و پتاسیم و پمپ‌های یون هیدروژن که نیروی لازم برای انتقال را تامین می‌کند انجام می‌گیرد (Zhu, 2003).

بر اساس نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، افزایش غلظت نمک، باعث افزایش یون سدیم، کاهش یون‌های پتاسیم، منیزیم و کلسیم و کاهش نسبت K^+/Na^+ در هر سه گونه تحت آزمایش شد. افزایش زیاد سدیم منجر به القای تنش و تغییر در فیزیولوژی گیاه برای ایجاد پاسخ مناسب شد که در نتیجه آن سطح اسمولیت‌های پرولین، گلیسین بتائین و هیدرات‌های کربن افزایش یافت در حالی که تاثیر سدیم، کاهش سطح کلروفیل a و b را در پی داشت.

نتایج به‌دست آمده با مطالعاتی که روی برخی دیگر از شورزی‌ها انجام شده مورد تایید قرار گرفت (Khan *et al.*, 2000a; 2000b; 2000c). نتایج یک آزمایش بر روی برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک سالیکورنیا *S. bigelovii* نشان داد که تغییر در غلظت یون‌ها با تفاوت در رشد به‌وجود آمده همبستگی داشت. در گیاهان رشد یافته در غلظت نمک ۲۰۰ میلی‌مول، سطح پتاسیم، منیزیم و کلسیم کاهش پیدا کرده بود، ولی مقدار سدیم تقریباً سه برابر بیشتر از شاهد بود (Pfisher, 2002). در بین سه گونه از نظر مقدار یون پتاسیم و همچنین نسبت پتاسیم به سدیم در اندام‌های هوایی، گونه *S. persica* در رده بالاتری قرار گرفت (جدول ۴).

غلظت پرولین، گلیسین‌بتائین و کربوهیدرات‌ها: اثر ساده و متقابل شوری و گونه بر غلظت پرولین، گلیسین‌بتائین و کربوهیدرات‌ها در سطح احتمال یک‌درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش غلظت نمک تا ۶۰۰ میلی مول، غلظت گلیسین بتائین در هر سه گونه افزایش نشان داد که مقدار افزایش نسبت به شاهد در *S. persica* ۴/۵ برابر، در *S. perspolitana* ۳/۱ برابر و در *S. bigelovii* ۳/۵ برابر مشاهده شد. غلظت پرولین نیز در هر سه گونه به‌ترتیب ۳/۶، ۳/۸ و ۲/۹ برابر نسبت به شاهد افزایش یافت (شکل ۳). تجمع گلیسین بتائین در اندام‌های هوایی گونه‌های *S. persica* و *S. bigelovii* در غلظت‌های نمک ۵، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌مول بر لیتر از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با هم نداشت. بیشترین غلظت کربوهیدرات‌ها مربوط به غلظت نمک ۴۰۰ میلی‌مول بر لیتر و کمترین در غلظت پنج میلی‌مول بر لیتر (شاهد) مشاهده شد. مقدار کربوهیدرات‌ها نسبت به شاهد در ۴۰۰ میلی‌مول بر لیتر در گونه *S. persica* ۸۰٪، در *S. perspolitana* ۷۰٪ و در *S. bigelovii* ۷۰٪ افزایش مشاهده شد. با افزایش غلظت نمک تا ۶۰۰ میلی‌مول بر لیتر مجدداً کربوهیدرات‌ها به ترتیب ۱۳، ۵ و ۱۱ درصد کاهش نشان دادند. تجمع اسمولیت‌های پرولین، گلیسین بتائین و غلظت کربوهیدرات‌ها در شاخسار گونه *S. perspolitana* نسبت به *S. persica* و *S. bigelovii* برتری داشت (شکل ۳).

تطابق شورزی‌ها با شوری، با تنظیمات متابولیک که منجر به تجمع چندین حلال آلی مانند قندها، بتائین و پرولین آزاد می‌شود مرتبط است (Slama *et al.*, 2007). انباشت پرولین در هنگام تنش‌های محیطی از قبیل خشکی، شوری بالا، تنش اکسیداتیو و غیره در منابع مختلف گزارش شده است (Szabados and Savoure,

2010). با افزایش غلظت نمک در گیاهان شورپسند، میزان پرولین زیاد می‌شود که شاید به سبب افزایش میزان اسید آبسیزیک باشد. این هورمون انباشتگی پرولین را افزایش می‌دهد و سازش با شوری را بهبود می‌بخشد (Flowers and Colmer, 2008). کریمی و همکاران (Karimi *et al.*, 2005) اثر پنج سطح غلظت نمک را روی گیاه *Kochia prostrata* مورد بررسی قرار دادند. طبق نتایج به‌دست آمده از این تحقیق میزان پرولین، گلیسین‌بتائین و کربوهیدرات‌ها با افزایش غلظت نمک به طور معنی‌دار افزایش یافتند. در تحقیق دیگری که روی *Salicornia prostrata* و *Suaeda prostrata* انجام شد، با افزایش شوری تا ۲۶ دسی‌زیمنس بر متر، مقدار پرولین به دو تا سه برابر مقدار اولیه افزایش یافت (Akcin and Yalcin, 2016). نتایج تحقیق بنجامین (Benjamin, 2017) روی *Atriplex lentiformis* نیز نشان داد که با افزایش غلظت نمک از ۵۰ به ۳۰۰ میلی‌مول، مقدار پرولین به حدود شش برابر و غلظت کربوهیدرات‌ها به حدود دو برابر شاهد افزایش یافت. افزایش اسمولیت‌های پرولین و گلیسین‌بتائین در کنار افزایش هیدرات‌های کربن از پاسخ‌های مهم فیزیولوژیک گیاهان تحت آزمایش به افزایش غلظت نمک بود. نکته‌ای که در این میان وجود داشت این بود که در گونه *S. perspolitana* با وجود اختلاف معنی‌دار غلظت اسمولیت‌ها، نسبت به دو گونه *S. persica* و *S. bigelovii* و بالاتر بودن آنها، مقدار رشد از نظر وزن تر و وزن خشک کمتر بود که این موضوع احتمالاً به‌دلیل تحمل بالاتر این گونه در تنش‌های بالاتر نمک می‌تواند باشد و انرژی‌بر بودن این پروسه از نظر تولید اسمولیت‌ها منجر به کاهش رشد شده بود.

رنگیزه های فتوسنتزی: اثر ساده و متقابل شوری و گونه بر غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها مربوط به اثر متقابل شوری در رنگیزه‌های فتوسنتزی نشان داد که با افزایش غلظت نمک، مقدار کلروفیل a و b در هر سه گونه کاهش یافت به‌طوری که غلظت کلروفیل a در سه گونه *S. persica* ،*S. perspolitana* و *S. bigelovii* در غلظت ۶۰۰ میلی‌مول به‌ترتیب ۳۰، ۳۶ و ۲۹ درصد نسبت به شاهد کاهش نشان داد و در مورد کلروفیل b این کاهش به‌ترتیب ۴۶، ۴۵ و ۵۱ درصد بود (شکل ۴). از بین سه گونه مورد آزمایش، غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی در اندام‌های هوایی گونه *S. perspolitana* بیشتر از دو گونه دیگر بود (جدول ۳).

غلظت نمک بر فرآیند فتوسنتز اثر منفی داشته و سبب کاهش تثبیت دی‌اکسیدکربن در چرخه کالوین می‌شود (Wang *et al.*,2013). کاهش فعالیت این چرخه افت نسبت $NADP^+/NADPH^+$ و افزایش تولید انواع اکسیژن فعال را در کلروپلاست درپی دارد. گیاهان جهت مقابله با عوارض منفی کاهش فعالیت چرخه کالوین از یک‌سری سازوکارهای دفاعی جایگزین از جمله واکنش مهلر (Mehler reaction) استفاده می‌کنند (Cavalcanti *et al.*, 2007). در این چرخه آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز نقش بسیار مهمی دارد. با بررسی نتایج آزمایش می‌توان چنین استنتاج کرد که کاهش غلظت سبزینه‌ها ناشی از فعالیت سازوکارهای جایگزین در گونه‌های مورد آزمایش برای مقابله با افزایش غلظت نمک بود. تایبی و همکاران (Taibi *et al.*, 2016) اثر تنش شوری را روی لوبیا *Phaseolus vulgaris* با سه غلظت نمک تا ۲۰۰ میلی‌مول بررسی و

مشاهده کرد مقدار سبزینه a و b با افزایش شوری کاهش یافت. در مطالعه دیگری که روی گیاه شورزی *Atriplex lentiformis* توسط بنجامین (Benjamin, 2017) انجام شد، افزایش غلظت نمک تا ۳۰۰ میلی‌مول باعث کاهش محتوای سبزینه‌ها در همه دوره‌های زمانی مورد آزمایش شد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که با وجود استفاده از غلظت‌های نسبتاً بالای نمک، هر سه گونه زنده ماندند و اثری از سمیت، نظیر نکروز، مشاهده نشد. بر اساس تحقیقات انجام شده، غلظت‌های کم نمک، رشد بعضی از گونه‌های شورزی را تحریک می‌کنند. نتایج این تحقیق با تایید این مطلب نشان داد که هر سه گونه *S.persica*، *S.perspolitana* و *S.bigelovii* به‌طور معنی‌دار در غلظت ۲۰۰ میلی‌مول بر لیتر افزایش رشد داشتند و وزن تر و وزن خشک افزایش پیدا کرد. از نظر مقایسه می‌توان به این موضوع اشاره کرد که مقدار نمک موجود در آب دریاهای آزاد حدود ۴۸۰ میلی‌مول بر لیتر است و غلظت در نظر گرفته شده در این تحقیق (۶۰۰ میلی‌مول) ۱۲۰ میلی‌مول بیشتر از آب دریا بود که باعث توقف رشد نشد. توانایی این گیاهان برای تحمل شوری تا سطح بیش از شوری آب دریا با توجه به کاهش روزافزون منابع آب‌های شیرین می‌تواند در استان‌های ساحلی و بیابان‌های داخلی کشور برای تولید محصولات زراعی برای تغذیه دام و انسان مورد استفاده قرار گیرد.

از نظر ویژگی‌های مورفولوژیک و از بین شاخص‌های مورد بررسی، گونه *S. persica* برتری نسبی نشان داد اما از نظر غلظت اسمولیت‌ها و رنگیزه‌های فتوسنتزی، برتری با گونه *S. perspolitana* بود.

جدول ۱- میانگین مربعات و درجات آزادی برای تاثیر شوری بر برخی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک ۳ گونه سالیکورنیا

Table 1- Mean squares and degrees of freedom for Nacl concentrations effects on some morphological and physiological traits of three *Salicornia* species

منابع تغییرات source of variance	درجه آزادی d.f.	میانگین مربعات Mean squares								
		وزن تر Fresh weight	وزن خشک Dry weight	پتانسیل اسمزی Osmotic Potential	محتوای نسبی آب Relative Water Content	کلروفیل a Chl. a	کلروفیل b Chl. b	کربوهیدرات‌ها Carbo hydrates	پرولین Proline	گلیسین بتائین Glycine betaine
شوری Salinity	4	503**	6.94**	36.8**	480.58**	0.554**	0.258**	0.835**	0.048**	0.004**
گونه Species	2	4.2**	0.17**	0.88*	.07ns	0.303**	0.033**	0.221**	0.006**	0.002**
گونه×شوری Salinity× Species	8	4.4**	0.13**	0.42**	.18ns	0.016**	0.002**	0.008**	0.00089**	**0.00008
خطا Error	20	1	0.3	0.01	2.24	0.002	0.0006	0.00003	0.00002	0.00004
ضریب تغییرات C.V. (%)		6.4	6.5	5.3	1.8	2.78	4.12	0.375	3.05	13.47

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک‌درصد را نشان می‌دهد.

* and ** significant at the 5% and 1% levels of probability, respectively. ns: not significant

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف شوری بر محتوای نسبی آب

Table 2- Mean comparisons effects of NaCl concentrations on RWC

NaCl ($Mm\ L^{-1}$)	5	100	200	400	600
RWC (%)	91.9a	89.9b	86.8c	79d	74.8e

جدول ۳- تجزیه واریانس تاثیر سطوح مختلف غلظت نمک بر یون‌ها در سه گونه سالیکورنیا

Table 4- Analysis of variance in different levels of NaCl concentrations on ions in three species of *Salicornia*

منابع تغییرات source of variance	درجه آزادی d.f.	Mean squares میانگین مربعات			
		Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
Salinity شوری	4	245431**	23972**	490.2**	311**
Species گونه	2	1701**	10851**	457.8**	89.4**
Salinity×Species گونه×شوری	8	4935**	403**	13.9**	3.3**
Error خطا	20	16.1	16	0.51	0.11
C.V. (%) ضریب تغییرات		0.7	1.1	0.95	0.85

ns،*و** به ترتیب غیرمعنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک‌درصد را نشان می‌دهد.

*and * significant at the 5% and 1% levels of probability, respectively. Ns: not significant.

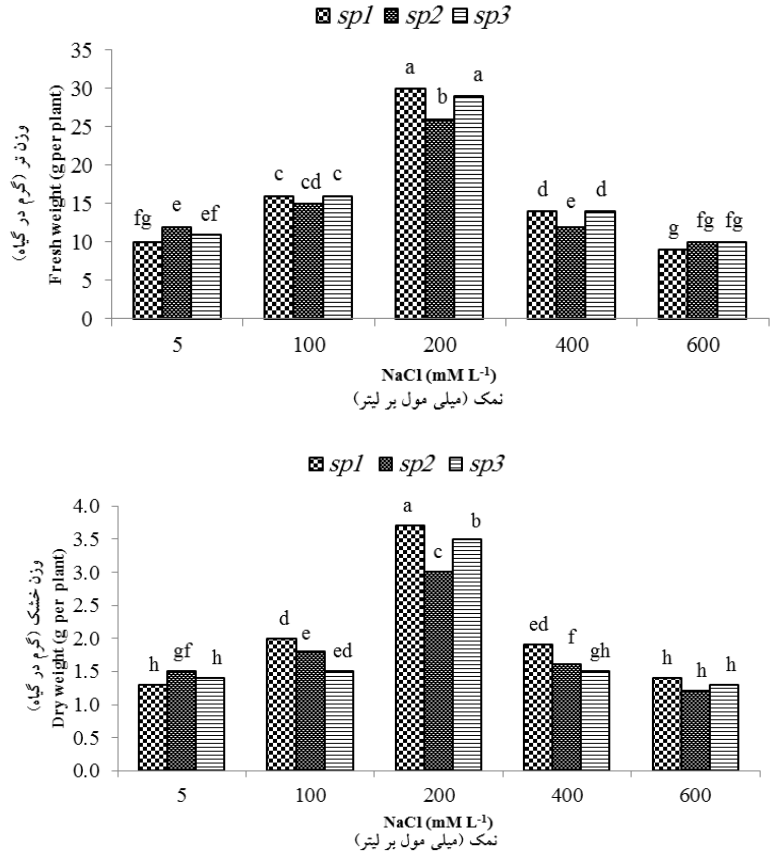
جدول ۴- اثر متقابل شوری و گونه بر تجمع یون‌های Na^+، K^+ ، Mg^{2+} و Ca^{2+} درشاخسارهای *S.persica* (sp1), *S.perspolitana* (sp2) and *S. bigelovii* (sp3)

Table 5- Interaction of salinity and species effects on the accumulation of Na^+, K^+, Mg^{2+} and Ca^{2+} in *S.persica*, *S. perspolitana and S. bigelovii*

NaCl	Species	Na^+ (mmol g^{-1} D.W)	K^+ (µmol g^{-1} D.W)	Ca^{2+} (µmol g^{-1} D.W)	Mg^{2+} (µmol g^{-1} D.W)	K/Na
5	*Sp1*	333±3.6m	443±.21a	86±1.5b	47±1.7b	1.32±.59
	Sp2	356±1.2l	435±.59b	92±2.7a	50±2.3a	1.22±.68
	Sp3	322±2.3n	420±.65c	83±1.8c	46±1.1c	1.3±.73
100	*Sp1*	600±4.1l	386±.49d	79±2.1d	42±1.8d	0.64±.42
	Sp2	587±3.7j	378±.51e	77±1.7e	41±1.5e	0.65±.06
	Sp3	511±5.1k	332±.49hg	67±.35j	36±1.7g	0.64±.09
200	*Sp1*	680±.69e	356±.22f	78±2.6ed	37±1.1f	0.52±.21
	Sp2	690±1.8d	354±.87f	79±3.1d	38±2.4f	0.51±.57
	Sp3	632±3.2g	310±.93j	66±1.6k	35±1.9h	0.49±.76
400	*Sp1*	620±1.7h	337±.38g	71±1.7h	36±2.3g	0.54±.95
	Sp2	650±2.9f	330±.30hgi	74±1.6f	38±2.1f	0.5±.07
	Sp3	650±2.6f	290±.46k	65±2.2k	32±2.5i	0.44±.32
600	*Sp1*	730±2.2c	324±.41i	69±1.9i	33±1.6i	0.44±.65
	Sp2	770±3.7b	325±.30hi	73±.59g	35±1.9h	0.42±.05
	Sp3	843±2.9a	250±.37l	62±1.9l	30±1.1j	0.29±.93

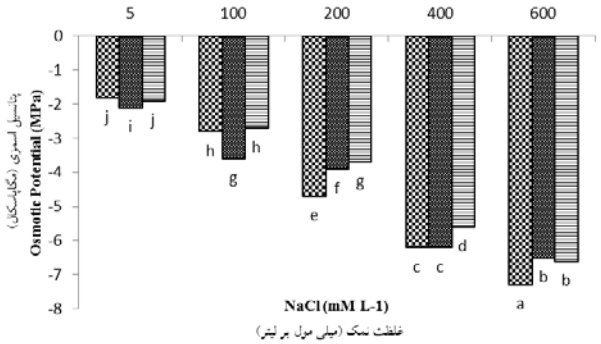
*means± Standard errors

*مقادیر نشاندهنده میانگین‌ها ± خطاهای استاندارد



شکل ۱- اثر غلظت نمک بر وزن تر و وزن خشک در *Salicornia persica* (sp1)، *Salicornia perspolitana* (sp2) و *Salicornia bigelovii* (sp3)

Figure 1- Effect of Nacl concentrations on fresh weight and dry weight in *Salicornia persica* (sp1), *Salicornia perspolitana* (sp2) and *Salicornia bigelovii* (sp3)

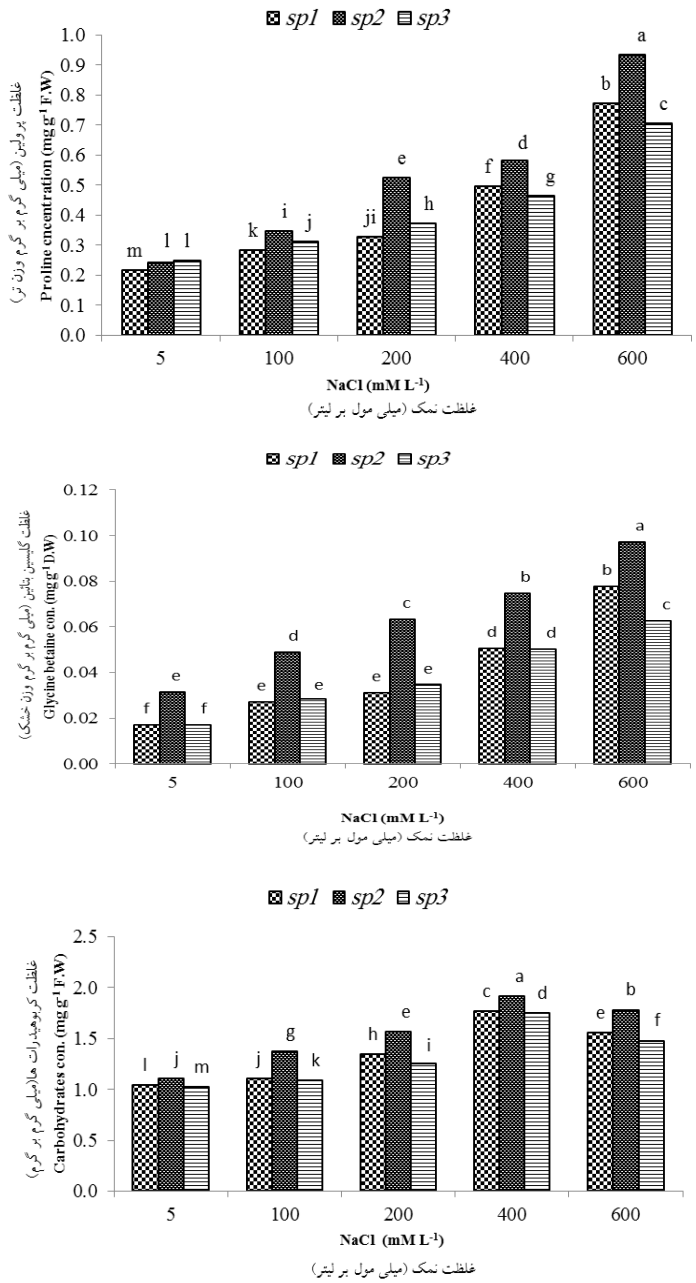


شکل ۲- اثر غلظت نمک بر پتانسیل اسمزی در *S.persica* (*sp1*)، *S.perspolitana* (*sp2*) و *S.bigelovii* (*sp3*)

Figure 2- Effect of Nacl concentrations on osmotic potential in *S.persica* (*sp1*), *S.perspolitana* (*sp2*) and *S.bigelovii* (*sp3*).

حروف مشابه نمایان‌گر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون دانکن است.

Similar letters indicate no significant difference at the probability level of 5% of Duncan test.

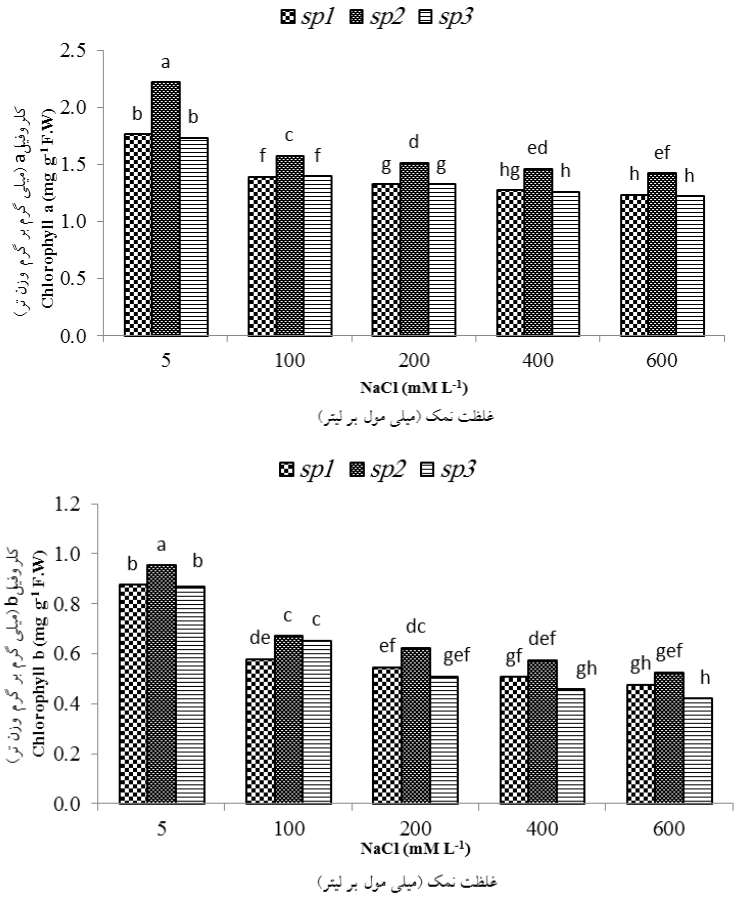


شکل ۳- اثر غلظت نمک بر میزان پرولین، گلیسین بتائین و کربوهیدراتها (sp1) *S.persica*، (sp2) *S.perspolitana* و (sp3) *S.bigelovii*

Figure 3- Effect of Nacl concentrations on proline, glycinebetaine and carbohydrates in *S.persica* (sp1), *S.perspolitana* (sp2) and *S.bigelovii* (sp3)

حروف مشابه نمایان‌گر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون دانکن است.

Similar letters indicate no significant difference at the probability level of 5% of Duncan test.



شکل ۴- اثر غلظت نمک بر میزان کلروفیل a و کلروفیل b در *S.persica* (sp1)، *S.perspolitana* (sp2) و *S.bigelovii* (sp3)

Figure 4- Effect of Nacl concentrations on chlorophyll a and chlorophyll b content in *S.persica* (sp1), *S.perspolitana* (sp2) and *S.bigelovii* (sp3)

حروف مشابه نمایان‌گر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون دانکن است.

Similar letters indicate no significant difference at the probability level of 5% of Duncan test.

References منابع مورد استفاده

- Ahmad, S.T., N.A.K.K. Sima, and H.H. Mirzaei. 2013. Effects of sodium chloride on physiological aspects of *Salicornia persica* growth. *Journal of Plant Nutrition.* 36(3): 401–414.
- Akcin, A., and E. Yalcin. 2016. Effect of salinity stress on chlorophyll, carotenoid content, and proline in *Salicornia prostrata* Pall. and *Suaeda prostrata* Pall. subsp. *prostrata* (Amaranthaceae). *Brazilian Journal of Botany.* 39(1): 101–106.
- Amor, N., K. Ben Hamed, A. Ben Debez, C. Grignon, and C. Abdelly. 2005. Physiological and antioxidant responses of the perennial halophyte *Crithmum maritimum* to salinity. *Plant Science.* 168(4): 889–899.
- Apse, M.P., and E. Blumwald. 2002. Engineering salt tolerance in plants. *Current Opinion in Biotechnology.* 13(2): 146–150.
- Arnon, A.N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal.* 23*:* 112–121.
- Ashraf, M., and M.R. Foolad. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany.* 59(2): 206–216.
- Ashraf, M., and A. Orooj. 2006. Salt stress effects on growth, ion accumulation and seed oil concentration in an arid zone traditional medicinal plant ajwain (*Trachyspermum ammi* [L.] Sprague). *Journal of Arid Environments.* 64(2): 209–220.
- Bates, L.S., R.P. Waldren, and I.D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil.* 39(1): 205–207.
- Benjamin, S. 2017. Growth and physiological responses of *Atriplex lentiformis* to variable levels of salinity. *International Journal of Botany Studies.* 2(5): 56–62.
- Benzarti, M., K. Rejeb, D. Ben Messedi, A. Mna, K. Ben Hessini, M. Ksontini, and A. Debez. 2014. Effect of high salinity on *Atriplex portulacoides*: Growth, leaf water relations and solute accumulation in relation with osmotic adjustment. *South African Journal of Botany.* 95: 70–77.
- Cavalcanti, F.R., J.P.M.S. Lima, S.L. Ferreira-Silva, R.A. Viégas, and J.A.G. Silveira. 2007. Roots and leaves display contrasting oxidative response during salt stress and recovery in cowpea. *Journal of Plant Physiology.* 164(5): 591–600.
- Cheng, T., J. Chen, J. Zhang, S. Shi, Y. Zhou, and L. Lu. 2015. Physiological and proteomic analyses of leaves from the halophyte *Tangut nitraria* reveals diverse response pathways critical for high salinity tolerance. *Frontiers in Plant Science.* 6*:* 30-35.
- Davy, A.J., G.F. Bishop, and C.S.B. Costa. 2001. *Salicornia* L. (*Salicornia pusilla* J. Woods, *S. ramosissima* J. Woods, *S. europaea* L., *S. obscura* P.W. Ball and Tutin, *S. nitens* P.W. Ball and Tutin, *S. fragilis* P.W. Ball and Tutin and *S. dolichostachya* Moss). *Journal of Ecology*. 89(4): 681-707.
- Dubois, O. 2011. The state of the world's land and water resources for food and agriculture: managing systems at risk. Earthscan.

- Flowers, T.J., and T.D. Colmer. 2008. Salinity tolerance in halophytes. *New Phytologist.* 179(4): 945–963.
- Flowers, T.J., H.K. Galal, and L. Bromham. 2010. Evolution of halophytes: multiple origins of salt tolerance in land plants. *Functional Plant Biology.* 37(7): 604–612.
- Flowers, T.J., R. Munns, and T.D. Colmer. 2014. Sodium chloride toxicity and the cellular basis of salt tolerance in halophytes. *Annals of Botany.* 115(3): 419–431.
- Glenn, E.P., and M.C. Watson. 1993. Halophyte crops for direct salt water irrigation. Towards the rational use of high salinity tolerant plants (379-385). Springer.
- Grigore, M.N., L. Ivanescu, and C. Toma. 2014. Halophytes: an integrative anatomical study. Springer.
- Hemantaranjan, A. 2016. Environmental physiology. Scientific Publishers.
- Hoagland, D.R., and D.I. Arnon. 1950. The water-culture method for growing plants without soil. Circular. California Agricultural Experiment Station. 347 (2nd edit).
- Horwitz, W., P. Chichilo, and H. Reynolds. 1970. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists.
- Kafi, M., A. Borzooei, M. Salehi, A. Kamandi, A. Masoumi, and J. Nabati. 2010. Physiology of environmental stresses in plants. Jihad Daneshghahi of Mashhad Press. (In Persian).
- Kafi, M., and M.A. Khan. 2008. Crop and forage production using saline waters. Daya Publishing House.
- Karimi, G., M. Ghorbanli, H. Heidari, R.A.K. Nejad, and M.H. Assareh. 2005. The effects of NaCl on growth, water relations, osmolytes and ion content in *Kochia prostrata*. *Biologia Plantarum.* 49(2): 301–304.
- Katschnig, D., R. Broekman, and J. Rozema. 2013. Salt tolerance in the halophyte *Salicornia dolichostachya* Moss: growth, morphology and physiology. *Environmental and Experimental Botany.* 92: 32–42.
- Kerepesi, I., M. Toth, and L. Boross. 1996. Water-soluble carbohydrates in dried plant. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 44(10): 3235–3239.
- Khan, M.A., I.A. Ungar, and A.M. Showalter. 2000a. Effects of salinity on growth, water relations and ion accumulation of the subtropical perennial halophyte, *Atriplex griffithii* var. stocksii. *Annals of Botany.* 85(2): 225–232.
- Khan, M.A., I.A. Ungar, and A.M. Showalter. 2000b. Effects of sodium chloride treatments on growth and ion accumulation of the halophyte *Haloxylon recurvum*. *Communications in Soil Science and Plant Analysis.* 31(17–18): 2763–2774.
- Khan, M.A., I.A. Ungar, and A.M. Showalter. 2000c. The effect of salinity on the growth, water status, and ion content of a leaf succulent perennial halophyte, *Suaeda fruticosa* (L.) Forssk. *Journal of Arid Environments.* 45(1): 73–84.
- Koyro, H.W., T. Hussain, B. Huchzermeyer, and M.A. Khan. 2013. Photosynthetic and growth responses of a perennial halophytic grass *Panicum turgidum* to increasing NaCl concentrations. *Environmental and Experimental Botany.* 91: 22–29.
- Martìnez, J.P., S. Lutts, A. Schanck, M. Bajji, and J.M. Kinet. 2004. Is osmotic adjustment required for water stress resistance in the Mediterranean shrub *Atriplex*

halimus L? *Journal of Plant Physiology.* 161(9): 1041–1051.

- Moghaieb, R.E.A., H. Saneoka, and K. Fujita. 2004. Effect of salinity on osmotic adjustment, glycinebetaine accumulation and the betaine aldehyde dehydrogenase gene expression in two halophytic plants, *Salicornia europaea* and *Suaeda maritima*. *Plant science.* 166(5): 1345–1349.
- Pfisher, R. 2002. Limits to growth of *salicornia bigelovii Torr* at suboptimal salinity. PhD dissertation, University of Arizona, Tucson.
- Redondo-Gómez, S., E. Mateos-Naranjo, A.J. Davy, F. Fernández-Muñoz, E.M. Castellanos, T. Luque, and M.E. Figueroa. 2007. Growth and photosynthetic responses to salinity of the salt-marsh shrub *Atriplex portulacoides*. *Annals of Botany.* 100(3): 555–563.
- Rhoades, J.D., A. Kandiah, and A.M. Mashali. 1992. The use of saline waters for crop production. FAO.
- Sairam, R.K., K.V. Rao, and G.C. Srivastava. 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Science.* 163(5): 1037–1046.
- Slama, I., T. Ghnaya, K. Hessini, D. Messedi, A. Savouré, and C. Abdelly. 2007. Comparative study of the effects of mannitol and PEG osmotic stress on growth and solute accumulation in *Sesuvium portulacastrum*. *Environmental and Experimental Botany.* 61(1): 10–17.
- Szabados, L., and A. Savoure. 2010. Proline: a multifunctional amino acid. *Trends in Plant Science.* 15(2): 89–97.
- Taibi, K., F. Taibi, L.A. Abderrahim, A. Ennajah, M. Belkhodja, and J.M. Mulet. 2016. Effect of salt stress on growth, chlorophyll content, lipid peroxidation and antioxidant defence systems in *Phaseolus vulgaris* L. *South African Journal of Botany.* 105: 306–312.
- Taiz, L., E. Zeiger, I.M. Møller, and A. Murphy. 2015. Plant physiology and development. Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- Wang, L., W. Liang, J. Xing, F. Tan, Y. Chen, L. Huang, and W. Chen. 2013. Dynamics of chloroplast proteome in salt-stressed mangrove *Kandelia candel* (L.) Druce. *Journal of Proteome Research.* 12(11): 5124–5136.
- Zhu, J.K. 2003. Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Current Opinion in Plant Biology.* 6(5): 441–445.

Effect of NaCl Concentrations on some Morphological and Physiological Characteristics of Three Salicornia Species under Hydroponic Condition

Behrooz Tayebi[1]*, and Ahmad Ghanbari[2]

Received: February 2019 , Revised: 30 March 2019, Accepted: 10 April 2019

Abstract

To compare morphological and physiological responses of three *salicornia species* to NaCl concentrations, a greenhouse experiment was carried out. The factors consisted of five levels of NaCl concentrations (5, 100, 200, 400 and 600 mML^{-1}) and three *Salicornia species* (*Salicornia persica* ، *Salicornia perspolitana* and *Salicornia bigelovii*). The results showed that, simple effects of salinity and species on proline, glycinebethein, carbohydrates, chlorophyll a, chlorophyll b, relative water content, osmotic potential in shoots, dry and fresh weights were significant. Interaction effects between salinity and species on proline, glycine betaine, carbohydrates, chlorophyll a, chlorophyll b, osmotic potential in shoots, dry and fresh weight were also significant. Carbohydrates concentration increased by 70-80% at 400 mM and then decreased from 5% to 13% at 600 mM concentration. Increasing salt concentration up to 600 mM, increased proline and glycine betaine contents. Osmotic potential was also increased by 3 to 4 times with increasing salinity levels. The chlorophyll a and chlorophyll b contents decreased at 600 mM. At 200 mM NaCl concentration, wet and dry weights were significantly increased 2 to 3 times as compared control in all of three species while at 600 mM, it was decreased by 60% to 65%. It can be concluded that with increasing salt concentration all three species tolerated higher salt concentrations throught proline and glycine-betaine accumulation and reduction of osmotic potential. *S.bigelovii* had the highest Na^+ accumulation at 600 mM of NaCl and least accumulation of K^+, Ca^{2+} and Mg^{2+}. On the other hand, *S.perspolitana* at 600 mM NaCl concentration, had the highest accumulation of potassium, calcium and magnesium, and was superior to other species in terms of dry weight yield under salinity.

Key words: Carbohydrates, Chlorophyll, Osmotic potential, Proline, Relative Water Content.

1- Ph.D. Student of Agronomy, Faculty of Agriculture, Zabol University, Zabol, Iran.
2- Professor, Faculty of Agriculture, Zabol University, Zabol, Iran.
**Corresponding Author: behroozme@gmail.com*