تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد چهاردهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۰
۱۰۶۹-۱۰۷۹
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.3670.1889

*مقاله پژوهشی*

# تأثیر سطوح مختلف شوری آب بر محتوی خاکستر، غلظت عناصر و زیست توده سالیکورنیا (*Salicornia bigelovii* Torr.)

**غلامحسن رنجبر[1*]، هادی پیراسته انوشه[1]، مهدی شیران تفتی[2]، مجید نیکخواه[2]**

۱. استادیار، مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران

۲. محقق، مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران

**تاریخ دریافت: ۹۸/۱۱/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۱/۲۱**

**چکیده**

**سالیکورنیا (*Salicornia bigelovii* Torr.) به‌دلیل تحمل زیاد به آب‌های بسیارشور و داشتن ارزش اقتصادی در تولید علوفه، دانه روغنی و مصرف تازه خوری به‌عنوان یک گیاه امیدبخش مطرح بوده است. به منظور مطالعه واکنش این گونه به تیمارهای مختلف شوری آب، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی و با ۴ تکرار در مرکز ملی تحقیقات شوری انجام شد. تیمارهای آب شور شامل ۲، ۵، ۸، ۱۱، ۱۴ و ۱۷ دسی‌زیمنس برمتر بود، که با استفاده از رقیق نمودن آب دریای خلیج‌فارس تهیه شد. نتایج نشان داد که شوری تا ۸ دسی‌زیمنس برمتر مقادیر وزن‌تر و خشک را افزایش داد، ولی افزایش شوری با کاهش وزن‌تر و خشک همراه بود. میزان کاهش وزن‌تر در تیمارهای ۲، ۵، ۱۱، ۱۴ و ۱۷ دسی‌زیمنس برمتر در مقایسه با تیمار ۸ دسی‌زیمنس برمتر به‌ترتیب ۲۶/۹، ۹/۵، ۱۲/۰، ۲۰/۰ و ۳۵/۸ درصد بود. این میزان کاهش در مورد وزن خشک به‌ترتیب ۲۳/۴، ۲۰/۷، ۲۷/۴، ۳۸/۹و ۴۱/۷ درصد بود. با افزایش میزان شوری آب، محتوی خاکستر شاخساره گیاه روند صعودی و معنی‌داری داشت. کمترین و بیش‌ترین میزان خاکستر شاخساره به‌ترتیب در شوری ۲ و ۱۷ دسی‌زیمنس برمتر و به مقدار ۲۴/۸ و ۴۱/۳ درصد بود. با افزایش میزان شوری آب، غلظت کلر و سدیم در شاخساره گیاه افزایش و غلظت عناصر کلسیم و پتاسیم کاهش یافت. بر اساس نتایج این آزمایش، تحمل به شوری در سالیکورنیا با تجمع نمک در بافت گیاه و از طریق تنظیم اسمزی انجام می‌شود. قابلیت تجمع عناصر، ضمن اینکه توان گیاه‌پالایی سالیکورنیا را تقویت می‌نماید، ولی افزایش درصد خاکستر بر ارزش علوفه‌ای گیاه تأثیر منفی داشته و لذا تعیین ارزش تغذیه‌ای سالیکورنیا و آنالیز خوراک آن در حضور دام نیاز به بررسی بیشتر دارد.**

***واژه‌های کلیدی*: آب دریا، تنظیم اسمزی، شورزیست، علوفه، گیاه‌پالایی**

**مقدمه**

کمبود منابع آب باکیفیت و حساسیت به شوری گیاهان زراعی، استفاده از منابع آب‌های شور زیرزمینی، زه‌آب‌ها و آب دریاها در تولید محصولات کشاورزی با استفاده از گیاهان شورزیست را اجتناب‌ناپذیر نموده است (Ranjbar and Anagholi, 2018; Ranjbar et al., 2016). سالیکورنیا (*Salicornia spp.*) یکی از گیاهان شورزیست است که از یک‌طرف به‌دلیل تحمل زیاد به آب‌های بسیارشور و از طرف‌دیگر ارزش اقتصادی مانند تولید علوفه، دانه روغنی و مصرف تازه‌خوری به‌صورت سبزی، به‌عنوان یک گیاه امیدبخش در این زمینه مطرح بوده است (Glenn et al., 1998). اگرچه به‌صورت طبیعی این گیاه در مرداب‌های نمکی، سواحل دریا و آبراه‌ها (خورها) رشد می‌کند (Ayala and O'Leary, 1995)، با این‌حال کاشت این گیاه با اهداف اقتصادی در برخی مناطق دنیا مانند اریتره، مکزیک، امارات متحده عربی، عربستان سعودی و هند با استفاده از منابع آب

* نگارنده پاسخگو: غلامحسن رنجبر. پست الکترونیک: Ranjbar71@gmail.com

دریا در سال‌های گذشته انجام‌شده است (Hodges et al., 1993).

بررسی منابع مختلف در ارتباط با کاشت سالیکورنیا در نقاط مختلف دنیا نشان می‌دهد که این گیاه بسته به شرایط اقلیمی، شوری آب و حتی کیفیت بافت و ساختمان خاک میزان بیوماس متفاوتی تولید می‌کند. نتایج یک دوره پنج‌ساله توسعه تجاری سالیکورنیا در برخی مناطق مکزیک نشان داد که تحت شرایط استفاده از آب دریا با غلظت ۳۸ تا ۴۲ گرم در لیتر، گیاه قادر است بین ۱۳ تا ۲۵ تن بیوماس خشک تولید نماید (Glenn et al., 1991). مطالعه عبدال (Abdal, 2009) بر روی اکوتیپ‌های مختلف سالیکورنیا در کویت، ازنظر میزان بیوماس تولیدی و استفاده از علوفه گیاه در جیره دام نشان داد که این گیاه در شرایط استفاده از آب شور چاه با غلظت ۳۴۰۰۰تا ۳۶۰۰۰میلی‌گرم در لیتر، می‌تواند عملکرد ماده خشکی در حدود ۲۷ تن در هکتار تولید نماید.

تحقیقات نشان داد که در بخش غربی ایالات‌متحده، با کاشت گونه *S. bigelovii* در یک خاک با بافت لوم رسی و ساختمان مطلوب خاک به‌دلیل غلظت پایین سدیم، و آبیاری با آب زهکش دارای شوری۲۹ دسی‌زیمنس برمتر، می‌توان عملکردی در حدود ۱۵ تن در هکتار وزن خشک برداشت نمود (Benes et al., 2005). رنجبر و پیراسته انوشه (Ranjbar and Pirasteh-Anosheh, 2020) گزارش کردند که اگرچه اکوتیپ بوشهر سالیکورنیا در شرایط آبیاری با آب خلیج‌فارس با شوری ۶۲ دسی‌زیمنس برمتر، پتانسیل تولید ۱۰-۱۲ تن در هکتار وزن خشک را دارد، ولی درصورتی‌که این گیاه با آب شور ۱۷ دسی‌زیمنس برمتر آبیاری شود، می‌تواند تا ۳۰ تن عملکرد وزن خشک در هکتار تولید نماید.

از بین گونه‌های سالیکورنیا، گونه *S. bigelovii* Torr. به‌دلیل داشتن برخی ویژگی‌های مفید ازجمله درصد زیاد روغن، وارد برنامه‌های اصلاحی شد و دو هیبرید SOS-7 و SOS-10 از این گونه نیز معرفی شد. این هیبریدها بیش‌ترین میزان روغن و عملکرد را در مکزیک و عربستان سعودی تولید نمودند. به‌طورکلی این گونه در یک دوره ۲۰۰ روزه قادر به تولید ۲ تن دانه می‌باشد (Glenn et al., 1999). به‌طور متوسط ۳۰ درصد از این مقدار، یعنی ۰/۶ تن روغن و ۷۰ درصد آن کنجاله بوده (Hodges et al., 1993) و کنجاله این گونه دارای۴۳٪ پروتئین، که می‌تواند در تغذیه دام مورداستفاده قرار گیرد (Attia et al., 1997؛ Glenn et al., 1991).

آنچه مسلم است شوری سبب کاهش زیست توده به‌دلیل کاهش پتانسیل آب برگ، سمیت ویژه یونی یا عدم توازن یونی می‌شود (Flowers and Colmer, 2008). با این‌حال گیاهان در مقابل تنش شوری سازوکارهای مختلفی بکار می‌برند. برخی گونه‌ها با کاهش میزان جذب سدیم و یا ممانعت از انتقال آن به شاخساره، خود را در مقابل سمیت کلریدسدیم محافظت کرده و گروهی دیگر سازوکار تنظیم اسمزی را بکار برده که با جذب یون‌ها و تجمع آن در واکوئل، سنتز ترکیبات اسموتیکی و یا به هر دو روش انجام شود (Ranjbar and Anagholi, 2018).

تنظیم اسمزی در بسیاری از گیاهان شورزیست انجام می‌شود، چراکه آن‌ها به‌خاطر کاهش دادن پتانسیل آب خود مجبور هستند در یک سازوکار فیزیولوژیک مشخص، مقادیر زیادی یون‌هایی مانند کلر و سدیم در بافت خود تجمع نمایند تا بتوانند با حفظ وضعیت آماس و تنظیم اسمزی در آن شرایط جذب آب داشته باشند (Meng et al., 2018). تجمع زیاد نمک در شاخساره به‌دلیل افزایش میزان شوری، درنهایت به افزایش محتوی خاکستر شاخساره منجر می‌شود (Grattan et al., 2008)، که می‌تواند استفاده مستقیم از علوفه این گونه‌ها را در جیره دام با مشکل مواجه نماید (Abdal, 2009). هدف از این آزمایش علاوه بر مقایسه زیست توده تولیدی گیاه تحت شرایط آبیاری با شوری‌های مختلف، بررسی میزان تجمع عناصر پتاسیم، سدیم، کلر و کلسیم و همچنین محتوی خاکستر شاخساره گیاه تحت این شرایط بود.

## مواد و روش‌ها

به منظور مطالعه واکنش گونه *S. bigelovii* Torr. به تیمارهای مختلف شوری آب، این آزمایش در گلخانه مرکز ملی تحقیقات شوری در سال ۱۳۹۷ انجام شد. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی و با ۴ تکرار انجام شد. متوسط دمای روزانه و شبانه به‌ترتیب ۲۶ و ۱۸ درجه سانتی‌گراد با تغییرات دمایی ۳± سانتی‌گراد بود. تیمارهای آب شور شامل ۲، ۵، ۸، ۱۱، ۱۴ و ۱۷ دسی‌زیمنس برمتر بود که با استفاده از رقیق نمودن آب خلیج‌فارس تهیه شد.

کاشت بذر (ژنوتیپ LVYUAN no.1 تهیه‌شده از کشور چین) در تاریخ ۲۲ آذرماه۱۳۹۷ انجام شد. ازآنجاکه

سالیکورنیا در مرحله سبزشدن به شوری حساس می‌باشد (Ranjbar et al., 2019; Ranjbar and Pirasteh-Anosheh, 2018) به منظور ایجاد بوته‌های همگن با تاریخ سبزشدن مشابه، تا سبزشدن بوته‌ها و استقرار اولیه آن‌ها آبیاری با آب غیرشور انجام شد. آزمایش در گلدان‌های ۳ کیلوگرمی و با خاک با بافت لوم شنی(درصد رس، سیلت و شن به‌ترتیب ۱/۸۲، ۴۹/۸۲ و ۴۸/۳۶) انجام و در هر گلدان ۳ بوته نگهداری شد. خاک مورداستفاده از ایستگاه تحقیقات شوری واقع در ساحل بندر دلوار استان بوشهر با مختصات "N ۰۳/۲۰ '۴۲ °۲۸ و "E ۲۸/۳۵ '۰۴ °۵۱ تهیه گردید. ویژگی‌های شیمیایی خاک و آب مورداستفاده در جدول ۱ آورده شده است. برای اندازه‌گیری ویژگی‌های شیمیایی خاک، پس از خشک شدن نمونه، از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شد. بافت خاک به روش هیدرومتری تعیین گردید. میزان کاتیون‌ها، آنیون‌ها، شوری عصاره اشباع خاک ($EC_e$) و اسیدیته (pH) پس از تهیه گل اشباع و عصاره گیری از آن (Richards, 1954) اندازه‌گیری شد. میزان بی‌کربنات ($HCO_3^-$)، کلسیم ($Ca^{2+}$)، کلر ($Cl^-$) و منیزیم ($Mg^{2+}$) به روش تتراسیون و میزان سدیم ($Na^+$) با استفاده از دستگاه شعله سنج[1] اندازه‌گیری شد. میزان سولفات ($SO4^{2-}$) با تفریق جمع کاتیون‌ها و جمع آنیون‌ها به‌دست آمد و میزان نسبت جذب سدیم (SAR) بر اساس فرمول زیر محاسبه گردید (Richards, 1954).

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{(Ca^{2+} + Mg^{2+})}{2}}} \quad [۱]$$

در فرمول بالا، غلظت یون‌های $Na^+$، $Ca^{2+}$ و $Mg^{2+}$ به‌ترتیب غلظت سدیم، کلسیم و منیزیم در عصاره اشباع خاک[2] و بر حسب میلی‌اکی والان در لیتر هستند.

تیمارهای آب شور در۵ دی‌ماه اعمال و به مدت ۱۰ هفته ادامه یافت. باتوجه به نیاز آبی بالا و واکنش مناسب گیاه به نیتروژن (Ranjbar et. al., 2017; Glenn et al., 1998)، آبیاری هر سه روز یک‌بار و به میزان مساوی برای تیمارها انجام شد. در هر بار آبیاری برای هر گلدان ۷۵۰ میلی‌لیتر آب مصرف گردید. به‌طورکلی گلدان‌ها در طول دوره آزمایش ۲۶ نوبت آبیاری شدند. همچنین در طول دوره آزمایش گیاهان دو بار با محلول دو در هزار نیتروژن با استفاده از اوره (۴۶٪ نیتروژن) آبیاری شدند. تهیه این محلول، بر اساس حل کردن۴/۳ گرم از کود مذکور در یک لیتر انجام گرفت. مقدار ۱۰۰ میلی‌لیتر از این محلول همراه با آب آبیاری ، ۲۵ و ۵۰ روز پس از کاشت استفاده شد. به‌طورکلی در دو نوبت از آبیاری‌ها، مقدار ۰/۸۶ گرم نیتروژن خالص برای هر گلدان مصرف شد.سپس گیاهان از سطح خاک برداشت و بلافاصله وزن‌تر اندازه‌گیری شد. گیاهان سپس برای اندازه‌گیری وزن خشک، به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون نگهداری شد. از نسبت وزن خشک به وزن تر نمونه‌ها درصد ماده خشک به‌دست آمد.

**جدول ۱. ویژگی‌های شیمیایی خاک (عصاره اشباع) و آب مورداستفاده در آزمایش**

**Table 1. Soil (Saturated extract) and water chemical properties used in the experiment**

| | | هدایت الکتریکی EC ($dS\ m^{-1}$) | اسیدیته pH | سدیم $Na^+$ | منیزیوم $Mg^{2+}$ | کلسیم $Ca^{2+}$ | کلر $Cl^-$ | بی‌کربنات $HCO_3^-$ | سولفات $SO_4^{2-}$ | نسبت جذب سدیم SAR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | میلی اکی‌والان در لیتر ($meq\ l^{-1}$) | | | | | | |
| **Soil** | **خاک** | 31.3 | 7.01 | 246.18 | 33.16 | 60.24 | 276.68 | 1.49 | 61.41 | 36.02 |
| **Water** | **آب** | 60.20 | 8.19 | 526.33 | 127.17 | 24.39 | 617.45 | 1.80 | - | 60.46 |

EC, Electrical conductivity; SAR, Sodium adsorption ratio

برای اندازه‌گیری محتوی خاکستر شاخساره، پس از آسیاب نمونه خشک گیاه، مقدار ۲ گرم از آن از تیمارهای مختلف داخل بوته چینی کروزه قرار داده و به مدت ۸ ساعت در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. محتوی خاکستر با توزین وزن خاکستر باقی‌مانده در بوته‌های چینی و تفریق آن از وزن اولیه به‌دست آمد. برای تهیه عصاره به منظور اندازه‌گیری عناصر موردنظر در شاخساره، خاکستر هر تیمار را با ۱۰ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک ۲ نرمال مخلوط و بر

[1]. Flame Photometere

[2]. Saturated soil extract

روی هیتر قرار داده شد. پس از خارج شدن بخارات اسید، محلول داخل یک ارلن ۱۰۰ میلی‌لیتر صاف شد. درنهایت با اضافه کردن آب مقطر و رساندن محلول به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر، عصاره موردنظر تهیه شد. غلظت سدیم و پتاسیم به‌وسیله دستگاه شعله سنج قرائت و میزان کلراید به‌صورت تتراسیون و بر اساس روش ولینگ و همکاران (Waling et al., 1989) اندازه‌گیری و غلظت کلسیم برگ به‌وسیله دستگاه جذب اتمی[3] مدل Perkin Elmer AAnalyst 400 قرائت شد.

پس از برداشت گیاهان، به منظور اطلاع از میزان شوری خاک، ۵۰۰ گرم از خاک هر گلدان برداشت و پس از خشک کردن از الک ۲ میلی‌متر عبور داده و سپس به روش استاندارد با آب مقطر، خاک را اشباع و به مدت یک شبانه‌روز نگهداری شد. با استفاده از پمپ خلأ عصاره آن استخراج و قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع[4] به‌دست‌آمده با استفاده از دستگاه هدایت سنج قرائت شد (Richards, 1954). متوسط شوری خاک تیمارهای آب شور ۲، ۵، ۸، ۱۱، ۱۴ و ۱۷ دسی‌زیمنس برمتر به‌ترتیب ۴/۷۸، ۱۲/۶۱، ۱۴/۹۶، ۱۹/۷۸، ۲۴/۶۰ و ۲۸/۶۰ دسی‌زیمنس برمتر بود.

داده‌ها پس از آزمون تست یکنواختی واریانس‌ها، مورد تجزیه واریانس قرار گرفتند و میانگین‌ها بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند. تجزیه واریانس، مقایسه میانگین، برآورد ضرایب پیرسون و رگرسیون گام‌به‌گام با استفاده از نرم‌افزارهای آماری SAS ver. 9.2 و Minitab ver. 19.1 انجام شدند. برای تعیین حدآستانه شوری کاهش وزن‌تر پس از رسیدن به بیشینه مقدار وزن‌تر و وزن خشک، از منحنی پاسخ به‌صورت مشتق‌گیری از معادله خط رگرسیونی استفاده شد.

## نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که علی‌رغم اینکه سالیکورنیا یک گیاه شورزیست اجباری است، با این‌حال تأثیر شوری، بر وزن‌تر و خشک گیاه معنی‌دار و تأثیر تیمار آب شور بر درصد ماده خشک معنی‌دار نبود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین میزان وزن تر و خشک تولیدشده مربوط به تیمار آب شور ۸ دسی‌زیمنس برمتر بود (شکل ۱). در شوری‌های بیشتر و یا کمتر از شوری آب ۸ دسی‌زیمنس برمتر، عملکرد وزن‌تر و خشک به میزان معنی‌داری کاهش یافت. میزان کاهش عملکرد وزن‌تر در تیمارهای ۲، ۵، ۱۱، ۱۴ و ۱۷ دسی‌زیمنس برمتر در مقایسه با تیمار ۸ دسی‌زیمنس برمتر به‌ترتیب ۲۶/۹، ۹/۵، ۱۲/۰، ۲۰/۰ و ۳۵/۸ درصد بود. این میزان کاهش در مورد وزن خشک به‌ترتیب ۲۳/۴، ۲۰/۷، ۲۷/۴، ۳۸/۹و ۴۱/۷ درصد بود (شکل ۱).

هرچند که بسته به شرایط حاکم بر محیط رشد، حد بهینه رشد بیشتر هالوفیت‌ها بین ۵۰ تا ۲۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم است (به‌ترتیب معادل ۴/۵ تا ۲۳/۰ دسی‌زیمنس برمتر)، اما در برخی گونه‌ها، این مقدار بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم نیز گزارش‌شده است (Floers and Colmer, 2008). خان و همکاران (Khan et al., 2001) در آزمایش بر روی گونه *S. rubra* با ارائه نتایج مشابهی با آزمایش حاضر گزارش کردند که با افزایش میزان غلظت نمک تا ۲۰۰ میلی‌مولار، وزن‌تر و خشک شاخساره افزایش یافت و غلظت نمک بیشتر از ۲۰۰ میلی‌مولار به کاهش وزن تر و خشک گیاه منجر شد. در تحقیق دیگری،با ارزیابی ۱۳ جمعیت مختلف سالیکورنیا (*S. europaea*) تحت شرایط تیمارهای مختلف غلظت نمک کلریدسدیم از ۱۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌مولار، به‌طور متوسط بیش‌ترین میزان عملکرد علوفه در غلظت ۳۰۰ میلی‌مولار از این نمک به‌دست آمد( Reiahisamani et al., 2018).

آنچه مسلم است گونه‌های سالیکورنیا قابلیت تولید و بقا در دامنه وسیعی از شوری‌های متوسط تا شوری آب دریا دارند (Ranjbar et al., 2017). با این‌حال برای هر گونه سالیکورنیا یک رشد بهینه وجود دارد که بسته به شرایط اقلیمی، بافت و ساختمان خاک در یک میزان شوری مشخص اتفاق می‌افتد (Ranjbar and Pirasteh-Anosheh, 2020). باتوجه به اینکه سالیکورنیا جزء گونه‌های شورزیست اجباری طبقه‌بندی می‌شوند، این میزان شوری خاک الزاماً بیشتر از شرایط غیرشور می‌باشد (Flowers and Colmer, 2008).

به‌نظر می‌رسد که پاسخ رشدی در شوری‌های متوسط، ممکن است به‌دلیل نیاز به تجمع املاح برای تنظیم سلولی و درنتیجه گسترش سلول باشد و در شوری‌های زیادتر، کاهش رشد ممکن است به‌دلیل کاهش توانایی گیاه در تنظیم اسمزی باشد. سازوکاری که درنتیجه اشباع سیستم جذب املاح (Munns et al., 1983) یا تقاضای بیش از حد به انرژی

3. Atomic Absorption Spectrometer

4. $EC_e$

موردنیاز چنین سیستم‌هایی ایجاد می‌شود و در شوری‌های زیادتر عوامل دیگری مانند کاهش جذب مواد غذایی لازم و درنتیجه کمبود آن ممکن است نقش داشته باشد (Ranjbar et al., 2014).

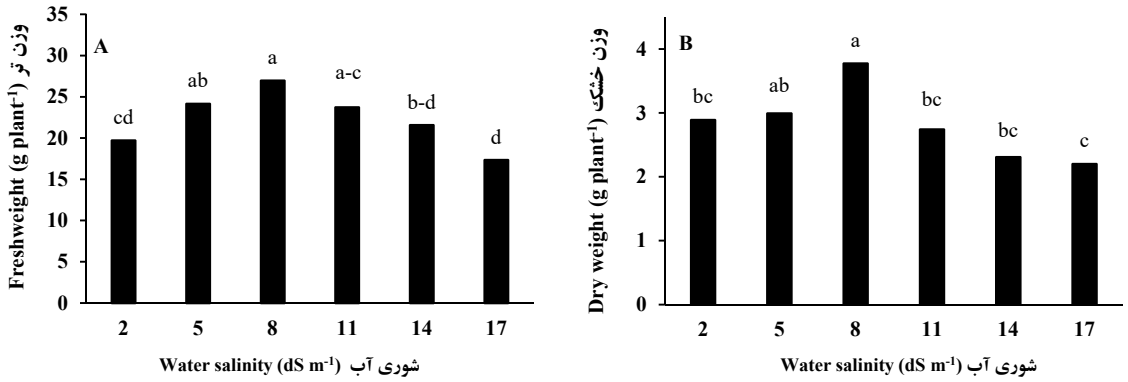
**جدول ۲. میانگین مربعات تأثیر شوری بر وزن‌تر، وزن خشک، درصد ماده خشک، محتوی خاکستر، کلسیم، کلر، سدیم و پتاسیم شاخساره سالیکورنیا (*Salicornia bigelovii*)**

**Table 2. Mean of squres for the effect of salinity on fresh weight (FW), dry weight (DW), dry matter percentage (DMp), ash content, calcium (Ca), chloride (Cl), sodium (Na) and potasium (K)of pickleweed (*Salicornia bigelovii*) shoot**

| Source of variation | منبع تغییر | درجه آزادی Df | وزن‌تر FW | وزن خشک DW | درصد ماده خشک DMp | خاکستر Ash | کلسیم $Ca^{2+}$ | کلر $Cl^-$ | سدیم $Na^+$ | پتاسیم $K^+$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ---------- (g) ---------- | | ---------- (%)---------- | | | | | |
| Salinity | شوری | 5 | 47.318** | 1.277** | 9.870ns | 133.026** | 0.041** | 29.472** | 21.008** | 0.113ns |
| Error | خطا | 18 | 8.436 | 0.279 | 3.656 | 3.150 | 0.005 | 1.589 | 0.721 | 0.085 |
| C.V. (%) | ضریب تغییرات | | *13.065* | *18.779* | *15.051* | *5.087* | *18.772* | *9.164* | *10.696* | *21.314* |

ns: غیرمعنی‌دار؛ ** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

ns: non-significant; ** significant at 1% probability level.

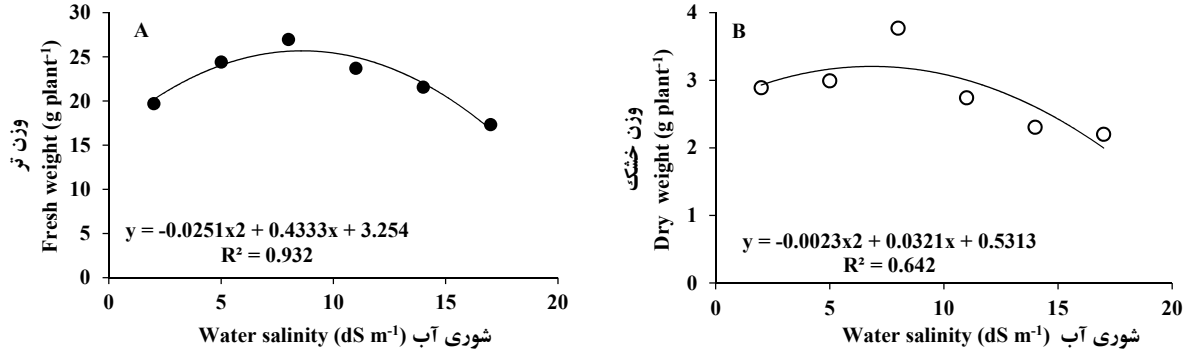



**شکل ۱. مقایسه میانگین وزن‌تر (الف) و وزن خشک (ب) سالیکورنیا (Salicornia bigelovii)در تیمارهای مختلف شوری آب. ستون‌های با حروف مشترک بر اساس آزمون LSDدر سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.**

**Fig. 1. Comparison of mean fresh weight (A) and dry weight (B) of pickleweed (Salicornia bigelovii) under different saline water treatments. The column with similar letter had no significant difference based on LSD 0.05.**

منحنی پاسخ برای وزن‌تر و خشک (شکل ۲) نشان داد که با افزایش میزان شوری تا ۸ دسی‌زیمنس برمتر متوسط وزن‌تر و خشک افزایش یافت و پس‌ازآن، بالا رفتن شوری سبب کاهش این ویژگی‌ها گردید. سطح شوری برای دستیابی به بیشینه وزن‌تر و وزن خشک به‌ترتیب در شوری آب ۸/۶۵ و ۷/۰۱ دسی‌زیمنس برمتر به‌دست آمد. بر اساس این معادله پیش‌بینی می‌شود که وزن‌تر در شوری ۱۸/۶۶ دسی‌زیمنس برمتر به کاهش ۵۰ درصدی برسد. روند مشابهی در مورد پاسخ وزن خشک به افزایش شوری در گونه‌های *Suaeda maritima* (Yeo & Flowers, 1980)، *Disphyme australa* (Neales & Sharkey, 1981) و *S. rubra* (Khan et al., 2001) گزارش‌شده است. در مطالعه‌ای حدآستانه تحمل به شوری اکوتیپ‌های خورِ مُزین (بوشهر)، ایلخچی (ارومیه)، مرکزی و گونه‌های *S. europaea* و *S. bigelovii* در مرحله جوانه‌زنی به‌ترتیب ۱۴/۳۶، ۵/۰۱، ۱۴/۴۶، ۱۱/۹۱ و ۷/۵۴ دسی‌زیمنس برمتر به‌دست آمد

(Ranjbar and Pirasteh-Anosheh, 2018). در پژوهشی دیگر مشخص شد که آستانه تحمل به شوری *S. Bigelovii* در مرحله جوانه‌زنی را می‌توان با پیش‌تیمار بذر با غلظت‌های ۰/۵ و ۱ گرم جیبرلیک اسید در لیتر در مقایسه با شرایط بدون پیش‌تیمار به‌ترتیب به میزان ۱/۲ و ۰/۶ برابر افزایش داد (Ranjbar et al., 2019).




**شکل ۲. منحنی پاسخ برای روند تغییرات وزن‌تر (الف) و وزن خشک (ب) سالیکورنیا (*Salicornia bigelovii*) در سطوح مختلف شوری آب.**

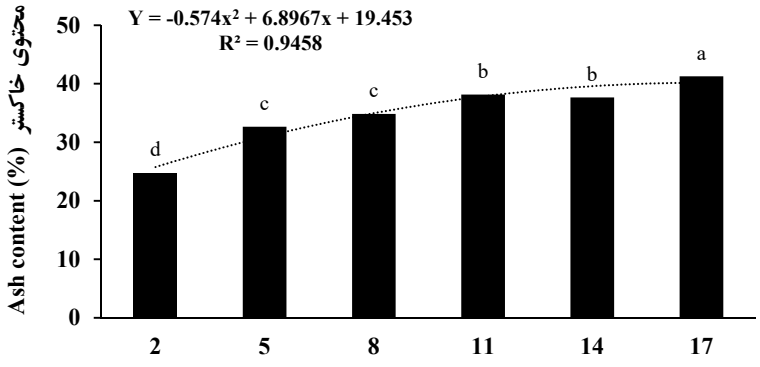
**Fig. 2. Response cure for trend of changes in fresh weight (A) and dry weight (B) of pickleweed (*Salicornia bigelovii*) in different saline water levels**

نتایج همچنین نشان داد که تأثیر شوری آب بر محتوی خاکستر شاخساره گیاه معنی‌داری گردید(جدول۲). کمترین میزان خاکستر شاخساره مربوط به شوری آب ۲ دسی‌زیمنس برمتر و به مقدار ۲۴/۸ درصد بود. بیش‌ترین میزان خاکستر نیز در بالاترین سطح شوری آب و به میزان ۴۱/۳ درصد به‌دست آمد (شکل ۳). به‌طورکلی میزان خاکستر شاخساره در شوری‌های آب ۵، ۸، ۱۱، ۱۴ و ۱۷ دسی‌زیمنس برمتر در مقایسه با تیمار آب شور ۲ دسی‌زیمنس برمتر به‌ترتیب به میزان ۳۱/۹، ۴۰/۷، ۵۴/۰، ۵۲/۰ و ۶۶/۶ درصد افزایش یافت (شکل ۳). یکی از راهکارهای مقابله با تنش شوری در گیاهان شورزیست تجمع املاح در واکوئل باهدف تنظیم اسمزی، حفظ آماس و درنتیجه کمک به جذب آب توسط گیاه می‌باشد (Flowers and Colmer, 2008). برای مثال در گیاه سالیکورنیا سدیم و کلر از عناصر غالبی هستند که گیاه با افزایش شوری محیط، تجمع آن‌ها را در واکوئل خود با همین هدف افزایش می‌دهد (Grattan et al., 2008). ازآنجاکه تجمع املاح در گیاه به‌صورت خاکستر نمایان می‌گردد (Le Houerou, 1992)، افزایش شوری محیط رشد گیاه و به‌تبع آن افزایش تجمع املاح در بافت گیاه به افزایش خاکستر نهایی منجر می‌گردد.

نتایج مطالعات مختلف نشان می‌دهد که علاوه بر اینکه درصد زیادی از وزن خشک سالیکورنیا از خاکستر تشکیل‌شده است، تنوع قابل‌توجهی نیز از این منظر بین گونه‌های مختلف وجود دارد. برای مثال در آزمایش گراتان و همکاران (Grattan et al., 2008) میزان خاکستر زیست توده گونه *S. Bigelovii* آبیاری شده باکیفیت‌های مختلف آب بین ۳۷ تا ۴۵ درصد متفاوت بود. در تحقیق دیگری رنجبر و دهقانی (Ranjbar and Dehghani, 2018) گزارش کردند که تحت شرایط آبیاری با آب دریا (خلیج‌فارس)، میزان خاکستر گونه‌های *S. bigelovii* و *S. sinus persica* به‌ترتیب در حدود ۴۵/۰ و ۴۹/۶ درصد بود. میزان خاکستر گونه *S. europaea* آبیاری شده با آب دریا نیز ۴۱/۳ درصد گزارش‌شده است (O'Leary et al., 1985).

تأثیر شوری آب بر درصد عناصر $Ca^{2+}$، $Cl^{-}$، $Na^{+}$شاخساره معنی‌دار و بر میزان $K^{+}$ معنی‌دار نبود (جدول ۲). با افزایش میزان شوری آب، درصد عناصر کلر و سدیم در شاخساره گیاه افزایش و درصد عناصر کلسیم و پتاسیم کاهش یافت (شکل ۴). معمولاً تجمع نمک در خاک ضمن اینکه مانع از جذب آب توسط گیاه می‌شود، سبب ورود یون‌های مضر به گیاه شده که می‌تواند به اختلال در سطح سلولی و کل گیاهان منجر گردد. با این‌حال شورزیست‌ها، با راندن این یون‌ها به

درون واکوئل‌ها و خارج از محدوده فعالیت سلول، می‌توانند با اثرات مضر ناشی از آن‌ها مقابله نمایند (Flowers and Colmer, 2008). این سازوکار نه‌تنها باهدف دور نگه‌داشتن نمک از سطح سلول انجام می‌شود، بلکه این گیاهان با تجمع عناصر در واکوئل خود، به‌عنوان اسمولیتی در دسترس برای حفظ پتانسیل کم آب تحت تنش نمک استفاده می‌کنند (Hayatsu et al., 2014). سازوکاری که به‌طور مشخص در گیاه سالیکورنیا با تجمع نمک در بافت و با ایجاد ساقه‌های آبدار، به حفظ آماس و درنتیجه جذب آب در شرایط بسیارشور کمک می‌نماید (Khan et al., 2001). سدیم و کلر به‌عنوان دو کاتیون و آنیون غالب خاک‌های شور محسوب شده و گیاه سالیکورنیا باهدف تنظیم اسمزی بافت خود در مقابل کاهش پتانسیل اسمزی خاک، در شاخساره تجمع می‌کند (Grattan et al., 2008). از طرف‌دیگر هم در گیاهان شورزیست و هم در گیاهان غیر شورزیست، افزایش سدیم معمولاً با کاهش یون‌های $Ca^{+2}$ و $K^{+}$ در گیاه همراه است (Grattan and Grieve, 1999).



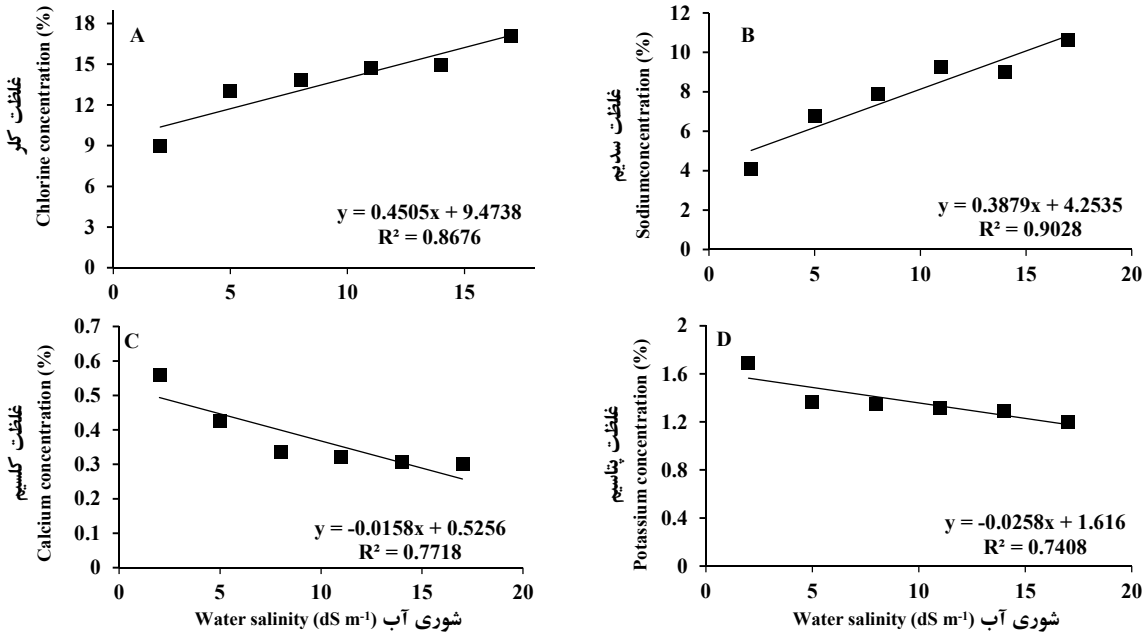

**شکل ۳. مقایسه درصد خاکستر سالیکورنیا (Salicornia bigelovii) در تیمارهای مختلف شوری آب. ستون‌های با حروف مشترک بر اساس آزمون LSDدر سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.**

**Fig. 3. Comparison of ash percent of pickleweed (Salicornia bigelovii) under different saline water treatments. The column with similar letter had no significant difference based on LSD 0.05.**

بر اساس نتایج تجزیه همبستگی (جدول ۳)، وزن‌تر با غلظت کلسیم (+۰/۵۶۳*) و وزن خشک با غلظت کلسیم (+۰/۶۰۲*) و غلظت پتاسیم (+۰/۶۲۱*) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشتند. همچنین نتایج تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام نشان داد که غلظت کلسیم و پتاسیم به‌عنوان مؤثرترین صفات بر وزن‌تر و خشک (جدول ۴) سالیکورنیا شناخته شدند. معمولاً یون‌های $Ca^{2+}$ و $K^{+}$ با یکدیگر رابطه هم‌افزایی دارند، بدین‌صورت‌که یون $Ca^{2+}$، جذب یون $K^{+}$ را سرعت می‌بخشد (Grattan and Grieve, 1999).با این‌حال در شرایط شور، غلظت زیاد یون $Na^{+}$ سبب اخلال در جذب یون‌های $Ca^{2+}$ و $K^{+}$ می‌شود (Gorgi et al., 2010). بنابراین یکی از راهکارهای مدیریتی افزایش زیست توده تولیدی گیاه در شرایط شور، پایین نگه‌داشتن غلظت یون $Na^{+}$ و افزایش غلظت یون‌های $Ca^{2+}$ و $K^{+}$ می‌باشد.

آنچه مسلم است سازوکار تحمل به شوری در سالیکورنیا با تجمع یون‌های $Na^{+}$ و $Cl^{-}$ در بافت گیاه باهدف تنظیم اسمزی برای تحمل و بقا در شرایط بسیارشور می‌باشد (Ranjbar and Pirasteh-Anosheh, 2019; Grattan et al., 2008). این استدلال در این آزمایش نیز تأیید شد چراکه رابطه مستقیمی بین افزایش شوری و تجمع این یون‌ها در شاخساره گیاه مشاهده شد. همچنین در این آزمایش مشخص شد که در همه سطوح شوری، حتی شرایط غیرشور، گیاه درصد بالایی از عناصر موجود در خاک را در بافت خود (در قالب خاکستر) تجمع نمود. این نتیجه ویژگی گیاه‌پالایی را تقویت می‌نماید. از طرف‌دیگر ویژگی قابلیت زیاد جذب و تجمع عناصر، می‌تواند ارزش علوفه‌ای گیاه را به‌شدت تحت تأثیر قرار دهد، چراکه رابطه مستقیمی بین تجمع عناصر و افزایش درصد خاکستر وجود دارد (Ranjbar and

Pirasteh-Anosheh, 2019) که می‌تواند به‌عنوان یک عامل ضدتغذیه‌ای برای دام محسوب شود. باتوجه به اینکه در حالت معمول بیش از ۵۰ درصد از خاکستر موجود در شاخساره این گیاه، نمک کلریدسدیم می‌باشد (Le Houerou, 1992)، در استفاده مستقیم از علوفه این گیاه با میزان خاکستر در دامنه‌ای از ۲۵تا ۴۱ درصد در این آزمایش و از ۳۴ تا ۵۰ درصد در گزارش‌های مختلف (Ranjbar and Dehghani, 2018; Grattan et al., 2008) لازم است محافظه‌کارانه عمل نمود. آنچه مسلم است بدن دام‌ها اصولاً ظرفیت بسیار کمی برای ذخیره الکترولیت‌های اضافی یا دفع آن‌ها از طریق ادرار یا مدفوع دارد. فلور میکروبی سیستم گوارش نشخوارکنندگان به‌دلیل زیادبودن مقدار نمک با مشکل مواجه شده که می‌تواند تأثیر سوئی بر رشد و نمو دام داشته باشد (Le Houerou, 1992).




**شکل ۴. پاسخ غلظت یون‌های کلر (A)، سدیم (B)، کلسیم (C) و پتاسیم (D) در شاخساره سالیکورنیا (*Salicornia bigelovii*)به سطوح مختلف شوری آب**

**Fig. 4. The response of concentration of $Cl^-$ (A), $Na^+$(B), $Ca^{2+}$(C) and $K^+$(D) ions in pickleweed (*Salicornia bigelovii*) shoot to different saline water levels**

**جدول۳. نتایج ضرایب همبستگی صفات با یکدیگر در سالیکورنیا (*Salicornia bigelovii*)**

**Table 3. The results of correlation of the traits with fresh and dry weight of pickleweed (*Salicornia bigelovii*)**

| | | درصد ماده | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | وزن‌تر FW | وزن خشک DW | خشک DMp | خاکستر Ash | کلسیم $Ca^{2+}$ | کلر $Cl^-$ | سدیم $Na^+$ |
| DW | وزن خشک | 0.836** | | | | | | |
| DMp | ماده خشک | -0.101ns | 0.786** | | | | | |
| Ash | خاکستر | 0.010ns | -0.194ns | -0.374ns | | | | |
| $Ca^{2+}$ | کلسیم | 0.563* | 0.602* | 0.741** | -0.716** | | | |
| $Cl^-$ | کلر | 0.060ns | -0.085ns | -0.285ns | 0.961** | -0.702** | | |
| $Na^+$ | سدیم | -0.019ns | -0.18ns | -0.330ns | 0.978** | -0.685** | 0.961** | |
| $K^+$ | پتاسیم | -0.074ns | 0.621* | 0.237ns | -0.359ns | 0.082ns | -0.418* | -0.470* |

ns: غیرمعنی‌دار؛ * معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

ns: non-significant; * significant at 5% probability level.
FW: Fresh weight, DW: dry weight, DMp: dry matter percentage.

**جدول ۴. نتایج تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام برای تعیین مؤثرترین صفات بر وزن‌تر و وزن خشک سالیکورنیا (*Salicornia bigelovii*)**

**Table 4. The results of stepwise regression analysis for determining the most effective traits on fresh weigh and dry weight of pickleweed (*Salicornia bigelovii*)**

| | | گام Step | صفت Trait | | Partial $R^{2§}$ ضریب جزئی§ | Model $R^{2}$ § ضریب مدل§ | P Value |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Fresh weight | وزن تر | 1 | $Ca^{2+}$ concentration | غلظت کلسیم | 0.9801 | 0.9801 | 0.003** |
| | | 2 | $K^{+}$ concentration | غلظت پتاسیم | 0.0080 | 0.9881 | 0.043* |
| Dry weight | وزن خشک | 1 | $Ca^{2+}$ concentration | غلظت کلسیم | 0.9702 | 0.9752 | 0.001** |
| | | 2 | $K^{+}$ concentration | غلظت پتاسیم | 0.0153 | 0.9855 | 0.027* |

* و ** معنی‌دار به‌ترتیب در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

§ضریب جزئی مربوط به صفت موردنظر در هر گام و ضریب مدل مربوط به همه صفات تا آن گام هستند.

* and ** significant at 5% and 1% probability levels, respectively

§ The partial $R^2$ relates to the trait in each step and the model $R^2$ relates to all traits until that step.

## نتیجه‌گیری

به‌طورکلی نتایج نشان داد که سالیکورنیا دامنه وسیعی از شوری را تحمل کرده و با اینکه رشد آن در شوری‌های متوسط درنتیجه نیاز به تجمع املاح برای گسترش سلول، بیشتر شده ولی در شوری‌های زیاد به‌دلیل تاثیر منفی شوری و کاهش جذب مواد غذایی، کاهش می‌یابد. باتوجه به رابطه مستقیم افزایش شوری با تجمع عناصر سدیم و کلر، به‌نظر می‌رسد که مهم‌ترین سازوکار تحمل به شوری در سالیکورنیا تجمع این یون‌ها در بافت گیاه باهدف تنظیم اسمزی باشد. یافته‌های این مطالعه نشان داد که سالیکورنیا، حتی تحت شرایط آبیاری با آب باکیفیت مناسب، نیز قادر است درصد قابل‌توجهی از عناصر موجود در خاک مانند کلر و سدیم را در قالب خاکستر در بافت خود تجمع نماید و می‌تواند به‌عنوان یک گیاه با پتانسیل زیاد گیاه‌پالایی در اراضی شور درنظر گرفته شود. در استفاده مستقیم از علوفه آن، توسط دام به‌دلیل خاکستر زیاد آن و تأثیر سوء بر رشد دام بایستی محافظه‌کارانه عمل نمود. قبل از استفاده علوفه سالیکورنیا در جیره دام، بررسی آنالیز خوراک و تعیین ارزش تغذیه‌ای علوفه و همچنین مقدار و نحوه مصرف آن در جیره‌غذایی با حضور دام نیاز به بررسی بیشتر و دقیق‌تر دارد.

## منابع


Abdal, M.S., 2009. Salicornia production in Kuwait. World Applied Science Journal. 6(8), 1033-1038.

Attia, F.M., Alsobayel, A.A., Kraidees, M.S., Al-Saiady, M.Y., Bayoumi, M.S., 1997. Nutrient composition and feeding value of *Salicornia bigelovii* Torr. Meal in broiler diets. Animal Feed Science and Technology.65, 257-263.

Ayala, F., O'Leary, J.W., 1995. Growth and physiology of *Salicornia bigelovii* Torr. at suboptimal salinity. International Journal of Plant Sciences. 156, 197-205.

Benes, S.E., Grattan, S.R., Robinson, P.H., 2005. Cultivation of halophytes to reduce drainage volumes on the Westside San Joaquin Valley of California. Final report to the California State University Agricultural Research Initiative (ARI). Project #00-1-003. 18 Oct. 2005.

Flowers, T.J., Colmer, T.D., 2008. Salinity tolerance in halophytes. New Phytologist. 179, 945–963.

Glenn, E.P., Oleary, J.W., Watson, M.C., Thompson, T.L., Kuehl, R.O., 1991. S*alicornia bigelovii* Torr. an oilseed halophyte for seawater irrigation. Science. 251, 1065–1067.

Glenn, E.P., Brown, J., O'Leary, J.W., 1998. Irrigating crops with seawater. Scientific American. 279, 56-61.

Glenn, E.P., Brown, J.J., Blumwald, E., 1999. Salt tolerance and crop potential of halophytes. Critical Reviews in Plant Sciences.18, 227-255.

Gorgi, M., Zahedi, M., Khoshgoftarmanesh, A.H., 2010. The effects of potassium and calcium on the response of safflower to salinity in hydroponic nutrient solution. Journal of Water and Soil Science. 53, 1-7.

Grattan, S.R., Benes, S.E., Peters, D.W., Diaz, F., 2008. Feasibility of irrigating pickleweed (*Salicornia bigelovii* Torr) with hyper-saline drainage water. Journal of Environmental Quality. 37, 149-156.

Grattan, S.R., Grieve, C.M., 1999. Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in saline environments. In: Pessarakli, M. (ed.), Handbook of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker, New York, USA, pp. 203–229.

Hayatsu, M., Suzuki, S., Hasegawa A., Tsuchiya S., Sasamoto, H., 2014. Effect of NaCl on ionic content and distribution in suspension-cultured cells of the halophyte *Sonneratia alba* versus the glycophyte *Oryza sativa*. J. Plant Physiology. 171, 1385-1391.

Hodges, C.N., Thompson, T.L., Riley, J.J., Glenn, E.P., 1993. Reversing the flow: water and nutrients from the sea to the land. Ambio. 22,483-490.

Khan, M.A., Gul, B., Weber, D.J., 2001. Effect of salinity on the growth and ion content of *Salicornia rubra*. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 32, 2965-2977.

Le Houerou, H.N., 1992. The role of saltbushes (*Atriplex* spp.) in arid land rehabilitation in the Mediterranean Basin: a review. Agroforestry Systems. 18, 107-148.

Meng, X., Zhou, J., Sui, N., 2018. Mechanisms of salt tolerance in halophytes: current understanding and recent advances. Open life sciences. 13, 149-154.

Munns, R., Greenway, H., Kirst, G.O., 1983. Halotolerant eukaryotes. In: Lang, O.L., Nobel, P.S., Osmond, C.B., Ziegler, H. (eds.), Encyclopedia of Plant Physiology. Springer-Verlag, Berlin, pp. 59–83.

Neales, T.F., Sharkey, P.J., 1981. Effect of salinity on growth and on mineral and organic constituents of the halophyte *Disphyma australis* (Soland.) J.M. Black. Australian Journal of Plant Physiology. 8, 165–179.

O'Leary, J.W., Glenn, E.P., Watson, M.C., 1985. Agricultural production of halophytes irrigated with seawater. Plant and soil. 89, 311-321.

Ranjbar, G.H., Ghadiri, H., Sepaskhah, A.R., 2014. Effects of *Kochia indica* density and irrigation water salinity on sorghum and *K. indica* dry matter and chemical composition. Journal of Biological and Environmental Sciences. 8, 115-123.

Ranjbar, G.H., Pirasteh-Anosheh, H., Banakr, M.H., Miri, H.R., 2016. A review on halophytes researches in Iran: explanation of challenges and solutions. Journal of Plant Ecophysiology. 32, 117-129.

Ranjbar, G.H., Dehghany, F., Pirasteh-Anosheh, H., Pourmoghadam M., 2017. Salicornia, a tolerant plant to seawater. Publication of Agricultural Research Education and Extension, Tehran. [In Persian].

Ranjbar, G.H., Anagholi, A., 2018. Salt Stress Concepts and Plant Response. Agricultural Education and Extension Press, Tehran. [In Persian].

Ranjbar G.H., Dehghany, F., 2018. Comparison of shoot ash content and oilseed percent of two *salicornia* species irrigated with seawater. Proceedings of the 15th National Iranian Crop Science Congress, 4-6. Sep. 2018. Karaj, Iran. [In Persian with English Summary].

Ranjbar, G.H., Pirasteh-Anosheh, H., 2018. Determination the threshold of salinity tolerance in *Salicornia* species using Persian Gulf water. Arid Biome. 8, 103-112. [In Persian with English Summary].

Ranjbar, G.H., Dehghany, F., Pirasteh-Anosheh, H., Banakar, M.H., 2019. Improving salt tolerance threshold of *Salicornia bigelovii* at germination stage using gibberellic acid pretreatment at different levels of seawater salinity. Iranian Journal of Range and Desert Research. 26, 62-72. [In Persian with English Summary].

Ranjbar, G.H., Pirasteh-Anosheh, H., 2019. Comparison of the accumulation of elements, ash content and biomass of some halophytes species under irrigating with Seawater. Desert Management. 14, 63-74. [In Persian with English Summary].

Ranjbar, G.H., Pirasteh-Anosheh, H., 2020. Investigating the production of salicornia forage in different parts of the world and the factors affecting it. p. 1095-1102. In: Pirasteh-Anosheh, H. (ed), Proceedings of the 2nd International Conference on Haloculture, July 15, 2020, Yazd, Iran.

Reiahisamani, N., Esmaeili, M., Sima, N. A. K., Zaefarian, F., Zeinalabedini, M., 2018.

Assessment of the oil content of the seed produced by *Salicornia* L., along with its ability to produce forage in saline soils. Genetic Resources and Crop Evolution. 65(7), 1879-1891.

Richards, L.A., 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agriculture handbook, USDA, No. 60.

Waling, I., Van Vark, W., Houba, V.J.G., Vander Lee, J.J., 1989. Soil and plant analysis, a series of syllabia. Part 7: plant analysis procedures. Wageningen Agriculture University.

Yeo, A.R., Flowers, T.J., 1980. Salt tolerance in the halophyte *Suaeda maritima* (L.) Dum.: evaluation of the effect of salinity upon growth. Journal of Experimental Botany. 31, 1171–1183.