تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد پانزدهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۱

http://dx.doi.org/ 10.22077/escs.2020.3569.1880

مقاله پژوهشی

بررسی جوانه‌زنی و رشد گیاهچه سه گونه گیاه سالیکورنیا در پاسخ به سطوح شوری ناشی از کلرید سدیم با استفاده از تابع گامپرتز

یزدان ایزدی[۱]، مجید نبی‌پور[۲*]، غلام‌حسن رنجبر[۳]

۱. دانشجوی دکتری زراعت، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز
۲. استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز
۳. استادیار مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
تابع سیگموئیدی
درصد آب بافتی گیاهچه
فلاونوئید
فنول کل
گیاه هالوفیت

تاریخ دریافت:
۱۳۹۹/۰۵/۱۴

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۹/۰۷/۰۲

تاریخ انتشار:
بهار ۱۴۰۱
۱۵(۱): ۲۳۱-۲۴۶

چکیده

به‌منظور بررسی اثر سطوح شوری ناشی از کلرید سدیم بر جوانه‌زنی (در محیط کشت پتری‌دیش) و رشد گیاهچه (کشت گلدانی) گیاه سالیکورنیا دو آزمایش مجزا هریک به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در سال ۱۳۹۸ در آزمایشگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا شد. تیمارهای آزمایشی در دو آزمایش شامل شش سطح شوری (شاهد با استفاده از آب مقطر، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ دسی‌زیمنس بر متر) و سه گونه گیاه سالیکورنیا (*S. persica Gorgan ecotype*، *S. biglovii* و *S. europaea*) بودند. نتایج نشان‌دهنده اثر معنی‌دار برهمکنش شوری و گونه بر صفات موردمطالعه در هر دو آزمایش بود. در هر سه گونه به‌جز در صفات ضریب یکنواختی جوانه‌زنی، درصد آب بافتی گیاهچه و فنول کل، بیشترین مقدار تمام صفات در تیمار شاهد و کمترین مقدار آن در سطح ۵۰ دسی‌زیمنس بر متر اعمال شوری مشاهده شد. به‌نحوی‌که بیشترین درصد آب بافتی گیاهچه (با میانگین ۸۹/۴۴ درصد) در تیمار شوری ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر و گونه *S. europaea* به دست آمد. همچنین بیشترین مقدار فنول کل و فلاونوئید نیز در تیمار شوری ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر و گونه *S. persica* به ترتیب با میانگین‌های ۰/۱۵۶ و ۰/۰۳۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر مشاهده شد. بر اساس نتایج تابع سیگموئیدی (گامپرتز) نیز ($R^2adj \geq 0.95$ و $RMSE \leq 3.25$) با افزایش سطوح شوری از سطح شاهد به ۵۰ دسی‌زیمنس بر متر، زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی به ترتیب از ۵/۷۳ به ۱۶/۲۰ روز در گونه *S. persica*، ۴/۴۲ به ۱۷/۰۷ روز در گونه *S. biglovii* و ۵/۷۵ به ۱۱/۹۵ روز در گونه *S. europaea* افزایش یافت. حال با آگاهی از رفتار متفاوت گونه‌ها در سطوح بالاتر از ۱۰ دسی-زیمنس بر متر اعمال شوری، بررسی دقیق‌تر عکس‌العمل‌های گیاهی به سطوح شوری بین شاهد (آب مقطر) و تیمار ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر در برنامه‌های به‌نژادی این‌گونه‌ها قابل توصیه است.

مقدمه

سالیکورنیا گونه علفی یک‌ساله و متعلق به تیره اسفناجیان (Chenopodiaceae) یکی از مهم‌ترین گیاهان هالوفیت و از منابع ژنتیکی مهم متحمل به تنش‌های محیطی به‌ویژه شوری است (Davy et al., 2001; Eganathan et al., 2006). امروزه این گیاه در اکثر مناطق جهان جهت تولید سبزی تازه، درصدی از جیره روزانه دام، مصارف دارویی، آرایشی و بهداشتی و استحصال روغن باکیفیت از دانه آن موردتوجه واقع شده است (Ranjbar and Pirasteh-Anosheh, 2018; Al-Yamani et al., 2013; Salehi et al., 2017). یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار بر روی جوانه‌زنی و سبز شدن این گیاه شوری است که می‌تواند بسیاری از فرآیندهای اساسی مرتبط با این مرحله از رشد همچون جذب آب و آماس سلولی را تحت تأثیر قرار دهد (Khan et al., 2000; Calone et al., 2020). همچنین با توجه به اینکه استقرار این گیاه حساس‌ترین مرحله نسبت به شوری است، بنابراین درصد و سرعت بالای جوانه‌زنی و متعاقب آن رشد بهتر ریشه

* نگارنده پاسخگو: مجید نبی‌پور. پست الکترونیک: m.nabipour@scu.ac.ir

و ساقه در اوایل فصل رشد، موجب استفاده بهینه از تابش خورشید و یکنواختی سایه‌انداز گیاهی و درنهایت رسیدن به پتانسیل عملکرد در این گیاه خواهد شد (Gunning, 2016)؛ بنابراین بررسی رفتار جوانه‌زنی در شرایط تنش شوری می‌تواند به‌عنوان یک معیار ارزشمند برای طبقه‌بندی میزان مقاومت گونه‌های این گیاه به این نوع استرس محیطی استفاده شود. گزارش شده است که افزایش شدت شوری با استفاده از آب دریا موجب کاهش شدید جوانه‌زنی در گونه‌های گیاه سالیکورنیا شامل دو گونه *Salicornia europaea* و *S. bigelovii* به همراه سه توده بومی خورِ مُزین، ایلخچی و مرکزی می‌شود (Ranjbar and Pirasteh-Anosheh, 2018). در پژوهشی دیگر نیز محققان گزارش کردند که تیمارهای شوری ۱۲/۵، ۲۵، ۳۷/۵ و ۵۰ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب باعث کاهش ۱۱/۸، ۴۰/۳، ۶۳/۳ و ۸۱/۴ درصدی جوانه‌زنی و کاهش ۲۱/۳، ۴۰/۰، ۶۲/۳ و ۷۰/۱ درصدی سرعت جوانه‌زنی در گونه *S.* bigelovii شد (Ranjbar et al., 2019). البته باید توجه داشت که منحنی‌های رشد گیاهان هالوفیت اجباری ازجمله برخی از گونه‌های گیاه سالیکورنیا نشان می‌دهد که رشد بهینه این گیاهان در شرایط عدم شوری نبوده، بلکه برای رسیدن به رشد بهینه درصدی از شوری موردنیاز گیاه است و در سطوح بالاتر از آن است که تنش مشاهده می‌گردد. در این راستا محققان در بررسی واکنش دو نوع از گونه *S. europaea* به سطوح ۰، ۰/۵، ۱، ۲، ۳، ۵ و ۷ درصد از نمک‌های NaCl، Na_2SO_4، KCl و MgSO در مرحله جوانه‌زنی گزارش کردند که در نوع اول این‌گونه درصد و سرعت جوانه‌زنی در سطوح بالاتر از ۰/۵ درصد نمک NaCl کاهش‌یافته، درحالی‌که که افزایش سطح شوری تا ۱ درصد با استفاده از نمک NaCl موجب افزایش درصد جوانه‌زنی در نوع دوم گونه *S. europaea* گردید و کاهش این صفت در سطوح شوری بالاتر از این غلظت اتفاق افتاد (Orlovsky et al., 2016) که این مطلب در یافته‌های کلانکی و همکاران نیز تائید شده است (Kalanaki et al., 2018).

استفاده از مدل‌های رگرسیون غیرخطی همچون توابع سیگموئیدی به‌منظور شبیه‌سازی رشد و نمو گیاهان در طیف وسیعی از شرایط محیطی امروزه بسیار موردتوجه قرار می‌گیرد. بررسی واکنش جوانه‌زنی و سبز شدن بذرها نسبت به تنش‌های غیرزنده ازجمله تنش شوری در جهت ایجاد مدل‌های پیش‌بینی جوانه‌زنی و سبز شدن، موجب گزینش بهتر گونه‌های با تحمل به شوری‌های بالا و تعیین نواحی جغرافیایی مناسب برای کشت آن‌ها شود (Jame and Cutforth, 2004). در بسیاری از گیاهان، مدل‌های سیگموئیدی سه پارامتره (همچون سیگموئید، گامپرتز، لجستیک و هیل) جهت کمی‌سازی پاسخ جوانه‌زنی به عوامل مختلف محیطی استفاده شده است (Zhang et al., 2012; Steppunn et al., 1998; Tjørve and Tjørve., 2017; El-Kassaby., 2008; Parmoon et al., 2019). در این رابطه پورعلی و همکاران (Porali et al., 2018) جهت تعیین زمان تا ۵۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی با استفاده از مدل‌های گامپرتز، لجستیک، هیل (چهار پارامتره)، ریچارد و ویبول در گیاه پنبه، جوسن و همکاران (Joosen et al., 2010) با استفاده از مدل چهار پارامتره هیل در توصیف درصد جوانه‌زنی تجمعی در مقابل زمان در بذرهای آرابیدوبسیس، حاج سیدهادی و گونزالز-آنجر (Haj SeyedHadi and Gonzalez-Andujar, 2009) با استفاده از مدل‌های لجستیک و گامپرتز در پیش‌بینی سبز شدن چندین گونه علف هرز و ایزدی و همکاران (Izadi et al., 2014) با استفاده از مدل سه پارامتره سیگموئید در ارزیابی ویژگی‌های جوانه‌زنی و رشد نهال سه رقم کنجد اعلام کردند که مدل‌های سیگموئیدی به‌خوبی توانسته‌اند برخی صفات مرتبط با جوانه‌زنی و رشد گیاهان را در پاسخ به تنش‌های محیطی همچون سطوح شوری و خشکی توصیف نمایند.

با توجه به اینکه استفاده از گیاهان شورزی، یک راهکار مناسب و مؤثر برای تولید در شرایط نامطلوب محیطی به‌ویژه شوری آب‌وخاک است، هدف از تحقیق حاضر، مطالعه پاسخ سه گونه مهم گیاه سالیکورنیا (*S. Gorgan ecotype*، *S. persica*، *S. biglovii* و *S. europaea*) در مرحله جوانه‌زنی، رشد گیاهچه و بررسی برخی خصوصیات بیوشیمیایی گیاهچه همچون محتوی فنول کل و فلاونوئید در پاسخ به سطوح تنش شوری ناشی از کلرید سدیم بود. همچنین کمی‌سازی پاسخ جوانه‌زنی گونه‌های موردمطالعه نسبت به زمان در مقابل سطوح مختلف شوری با استفاده از مدل گامپرتز از اهداف دیگر این پژوهش بود. درنهایت معرفی گونه‌ی متحمل‌تر به شوری از بین گونه‌های موردمطالعه با استفاده از شاخص‌های مقاومت به تنش، می‌تواند در انتخاب گونه‌های متحمل گیاه سالیکورنیا جهت تولید در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور که گیاهان دیگر قادر به کشت نیستند مفید باشد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر طی دو آزمایش مجزا هر یک به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی شامل شوری در شش سطح: شاهد با استفاده از آب مقطر و غلظت‌های مختلف نمک کلرید سدیم (تهیه‌شده از شرکت Merck) که هدایت الکتریکی (EC) معادل ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ دسی‌زیمنس بر متر ایجاد می‌کند به‌عنوان فاکتور اول و سه گونه گیاه سالیکورنیا (*S. persica* Gorgan ecotype، *S. biglovii* و *S. europaea* تهیه‌شده از مرکز ملی تحقیقات شوری ایران) به‌عنوان فاکتور دوم در چهار تکرار در آزمایشگاه تکنولوژی بذر گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز به اجرا درآمد.

آزمایش اول: محیط کشت پتری‌دیش (آزمایش بذری)

به‌منظور بررسی میزان تحمل سه گونه گیاه سالیکورنیا نسبت به تنش شوری در مرحله جوانه‌زنی، در ابتدا ضدعفونی بذرها با استفاده از محلول ۱۰ درصد هیپوکلرید سدیم به مدت سه دقیقه انجام پذیرفت و سپس نمونه‌های موردنظر با آب مقطر (۳ بار) شستشو شدند. بعدازآن نمونه‌های بذری (۵۰ عدد در هر تکرار) به‌منظور خشک شدن به ژرمیناتور با دمای ۳۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت منتقل شدند (Copeland and McDonald, 2001). قبل از شروع آزمایش، پتری‌دیش‌ها و بستر (کاغذ صافی واتمن) در اتو کلاو در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت استریل شدند. همچنین به‌منظور اعمال تنش شوری از غلظت‌های مختلف نمک کلرید سدیم شامل شش سطح: شاهد با استفاده از آب مقطر و غلظت‌های مختلف نمک کلرید سدیم که هدایت الکتریکی (EC) معادل ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ دسی-زیمنس بر متر ایجاد می‌کنند، استفاده گردید. در ابتدا مقدار نمک (کلرید سدیم) موردنیاز برای دستیابی به سطوح شوری موردنظر محاسبه‌شده که برای سطوح ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب معادل ۶/۴، ۱۲/۸، ۱۹/۲، ۲۵/۶ و ۳۲/۰ گرم کلرید سدیم بر لیتر بود (Rhoades et al., 1992). سپس هر یک از سطوح شوری در هر تیمار با استفاده از هدایت الکتریکی سنج (EC متر) تهیه شد، به‌این‌ترتیب که نمک کلرید سدیم به آب مقطر تا رسیدن به سطح شوری موردنظر اضافه شد (Bavarsadi et al., 2017; Fakhari and Sadeghi, 2016). همچنین هدایت الکتریکی تیمار شاهد (آب مقطر) در این مطالعه $\mu S \cdot cm^{-1}$ ۱۱۷۸ و اسیدیته آن ۶/۴ بود. سپس بذور روی بستر (کاغذ واتمن شماره یک) در پتری‌دیش‌ها قرار داده شدند و مقدار پنج میلی‌لیتر از محلول با سطوح مختلف شوری به آن‌ها اضافه شد (Camberato and Mccarty, 1999). دوره دمایی در ژرمیناتور در هنگام جوانه‌زنی به میزان ۲۵ درجه سانتی‌گراد در روز و ۱۵ درجه سانتی‌گراد در شب و دوره نوردهی ۸ ساعت نور طی روز و ۱۶ ساعت تاریکی تنظیم شد (Gunning, 2016). شمارش بذرهای جوانه‌زده به‌صورت روزانه و از ۲۴ ساعت پس از کشـــت آغاز گردید و مدت‌زمان مطالعه و بررسی در مرحله جوانه‌زنی برای هر گونه و در هر سطح تیمار شوری در جدول ۱ نشان داده شده است. ملاک جوانـه‌زنی، خروج ریشه‌چه و ساقه‌چه سالم بوده و بذور جوانه-زده از محیط آزمایش حذف شدند (ISTA, 2012).

جدول ۱. مدت‌زمان آزمون جوانه‌زنی برای هر گونه و در هر سطح شوری.

Table 1. Germination time course of each species and each salinity level

گونه (Species)	هدایت الکتریکی EC (dS/m)					
	Control	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
***S. persica* Gorgan ecotype**	12	12	14	20	20	20
S. biglovii	11	12	19	20	20	20
S. europaea	14	16	20	19	20	16

به‌منظور ارزیابی صفات جوانه‌زنی برای هر تکرار در هر تیمار از ۴ پتری به‌عنوان نمونه تخریبی و درمجموع از ۲۸۸ پتری (۲۸۸=۴×۴×۶×۳) استفاده شد و از هر تکرار، ۱۵ گیاهچه به‌طور تصادفی انتخاب‌شده و صفات طول ریشه‌چه و ساقه‌چه آن‌ها اندازه‌گیری و میانگین این تعداد به‌عنوان طول ریشه‌چه و ساقه‌چه آن تکرار ذکر گردید (ISTA, 2012).

سرعت جوانه‌زنی (GR) نیز با استفاده از رابطه ۱ تعیین گردید (Ghasemi Golazani et al., 2007).

$$GR=\frac{1}{\Sigma(nd)/\Sigma n} \qquad [1]$$

که در این رابطه: n: تعداد بذرهای جوانه‌زده طی روز،d: تعداد روزها از ابتدای جوانه‌زنی و ∑n: تعداد کل بذرهای جوانه‌زده

است. همچنین ضریب سرعت جوانه‌زنی (CVG) که مشخصه سرعت و شتاب جوانه‌زنی بذر است، از رابطه ۲ محاسبه شد (Maigure, 1962).

$$CVG = \frac{G1+G2+G3+\ldots\ldots+Gn}{(1\times G1)+(2\times G2)+(3\times G3)+\ldots..+(n\times Gn)} \quad [۲]$$

که در آن Gn – G1: تعداد بذرهای جوانه‌زده از روز اول تا روز آخر را نشان می‌دهد.

درصد جوانه‌زنی نهایی (رابطه ۳) از مجموع نسبت تعداد کل بذرهای جوانه‌زده به تعداد روزهای پس از کاشت به دست آمد که در آن N_i برابر است با تعداد کل بذرهای جوانه‌زده تا روز Nام و T_i شماره روزهای اندازه‌گیری است (Egli and Tekrony, 1997). همچنین شاخص بنیه بذر نیز بر اساس رابطه ۴ محاسبه شد (Abdul-baki and Anderson, 1975).

$$FGP=\sum G\ .I\ .=\frac{Ni}{Ti} \quad [۳]$$

$$SVI=\frac{FGP\times MSH}{100} \quad [۴]$$

که در رابطه فوق SVI شاخص بنیه بذر، FGP درصد جوانه‌زنی نهایی و MSH میانگین طول گیاهچه (حاصل جمع طول ریشه‌چه و ساقه‌چه) است.

سپس داده‌های جمع‌آوری‌شده از میانگین‌های درصد جوانه‌زنی طی زمان (تا زمانی که جوانه‌زنی ثابت گردد بر اساس جدول ۱) در هر سطح شوری برای پیش‌بینی رفتار جوانه‌زنی سه گونه سالیکورنیا، به‌منظور ساخت و ارزیابی مدل‌های غیرخطی تجربی (سیگموئید، لجستیک و گامپرتز) مورداستفاده قرار گرفت (Izadi et al., 2020). انتخاب بهترین تابع با کمک معیارهای سنجش مدل نظیر ضریب دقت اندازه‌گیری (R^2adj)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و شاخص آیکائیک تصحیح‌شده (AICc) انجام شد و پس‌ازآن دو مدل دیگر از آزمایش کنار گذاشته شدند (Dehghan et al., 2013). تابع معروف گامپرتز (رابطه ۵) به‌عنوان بهترین تابع برای بررسی رفتار جوانه‌زنی گیاه سالیکورنیا طی زمان در هر سطح شوری مورداستفاده قرار گرفت که این تابع از جنس مدل‌های سیگموئیدی (S شکل) بوده که بسته به شرایط، در توصیف روند جوانه‌زنی، نقاط قوت یا ضعف به خود را داراست.

$$y = a\ exp^{(-exp(-b(x-x0))} \quad [۵]$$

که در این مدل y نشان‌دهنده درصد جوانه‌زنی در هر گونه گیاه سالیکورنیا، x نشان‌گر زمان برحسب روز، a بیانگر مجانب بالای منحنی یا همان حداکثر مقدار جوانه‌زنی، b شیب منحنی یا آهنگ تغییر صفت موردبررسی به ازای زمان در هر سطح شوری و درنهایت x_0 بیانگر حالتی است در آن شیب منحنی در هر سطح شوری خطی می‌شود. همچنین از شاخص میانگین مربعات ریشه خطا (RMSE) و ضریب دقت اندازه‌گیری (R^2adj) (روابط ۶ و ۷) به‌منظور ارزیابی در دقت برازش مدل استفاده گردید.

$$RMSE=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Pt-Ot)^2}{n}} \quad [۶]$$

$$R^2_{adj}=1-\frac{\sum(Ot-Pt)^2}{(Ot-\bar{O}t)^2} \quad [۷]$$

که در این دو معادله O_t و P_t به ترتیب مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی‌شده و $\bar{O}_t$ میانگین مشاهدات است. RMSE کمتر به معنی برازش مناسب‌تر مدل بوده و R^2_{adj} توصیفی از قابلیت پیش‌بینی مدل را ارائه می‌کند که عدد نزدیک‌تر به یک نیز نشان‌گر برازش بهتر مدل به داده‌ها است (Dehghan et al., 2013).

آزمایش دوم: محیط کشت گلدانی (آزمایش رشد اولیه گیاهچه)

آزمایش دوم با هدف بررسی میزان تحمل سه گونه گیاه سالیکورنیا نسبت به سطوح تنش شوری در محیط کشت گلدانی در شرایط کنترل‌شده (دما ۲۵ درجه سانتی‌گراد طی روز و ۱۵ درجه سانتی‌گراد طی شب، رطوبت نسبی ۶۰ درصد، ۸ ساعت روشنایی طی روز و ۱۶ ساعت تاریکی و میزان روشنایی ۳۰۰۰۰ لوکس) صورت گرفت. هر واحد آزمایش از یک گلدان (۹ سانتی‌متر ارتفاع و ۱۱ سانتی‌متر قطر) تشکیل شد که با کوکوپیت، پرلیت و ورمی‌کمپوست با نسبت ۶۵، ۱۵ و ۲۰ درصد در لایه بالا، خاک زراعی (تهیه‌شده از مزرعه شماره ۲ دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز) در لایه میانی و ماسه شسته شده در لایه پایین با نسبت ۱:۱:۱ پر شده بود. با کاربرد بستری مناسب در لایه بالایی (Salehi et al., 2017) این گونه‌ها به‌راحتی جوانه‌زده و در ادامه برای شبیه‌سازی محیط طبیعی ریشه آن در بستر خاک در لایه دوم قرار خواهد گرفت. استفاده از لایه زیرین ماسه شسته شده نیز به‌منظور تهویه مناسب و خروج زه‌آب اضافی از پایین گلدان و جلوگیری از افزایش شوری در بستر ریشه بیش از تیمار موردبررسی بود. ضمناً در طول پژوهش EC محیط ریشه سه‌بار با فاصله ۱۵ روز (روز ۷ام، ۲۲ام و ۳۷ام) با تهیه

عصاره اشباع از بستر گلدان کنترل گردید (Mass and Hoffman,1997) و تنها در نمونه‌برداری سوم (روز ۳۷ام)، با مشاهده افزایش شوری در تیمارهای ۴۰ و ۵۰ دسی‌زیمنس بر متر، یک‌مرتبه آبشویی با یک سطح شوری پایین‌تر از تیمار موردبررسی، انجام شد. ظرفیت زراعی بستر مورد آزمایش ۲۵ درصد، رطوبت اشباع خاک ۵۰ درصد، کربن آلی ۲/۲۱۳ درصد، هدایت الکتریکی $\mu S \cdot cm^{-1}$ ۸۴۳۶، اسیدیته بستر ۶/۹، رس ۳۱/۳ درصد، سیلت ۴۵/۰ درصد و شن ۲۳/۷ درصد بود. پس‌ازآن ۲۰ عدد بذر در عمق ۰/۵ سانتی‌متری کشت گردید. اعمال تیمار شوری در گلدان‌ها بلافاصله پس از کاشت صورت گرفت و تا ۴۵ روز پس از کاشت (انتهای مرحله استقرار گیاهچه و شروع تشکیل گره‌های رویشی) ادامه یافت تا گیاهان به‌اندازه کافی رشد کنند (Beer et al., 2010; Ventura et al., 2011). تیمارهای موردمطالعه در این مرحله از آزمایش نیز شامل: شاهد با استفاده از آب مقطر و غلظت‌های مختلف نمک کلرید سدیم که هدایت الکتریکی (EC) معادل ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ دسی‌زیمنس بر متر ایجاد می‌کند و سه گونه سالیکورنیا (*S. Gorgan ecotype*، *S. persica*، *S. biglovii* و *S. europaea*) بودند که در چهار تکرار موردبررسی قرار گرفتند. سطوح شوری در هر تیمار همانند آزمون جوانه‌زنی تهیه و به‌وسیله هدایت الکتریکی سنج (EC متر) کنترل شد (Bavarsadi et al., 2017; Fakhari and Sadeghi, 2016; Rhoades et al., 1992). پس‌ازآن به‌صورت تصادفی سه گیاهچه از هر گلدان انتخاب و ویژگی‌های مورفولوژیکی شامل: وزن تر و خشک گیاهچه، درصد آب بافتی گیاهچه (با استفاده از رابطه ۸) و ارتفاع گیاهچه (با استفاده از خط کش مندرج) مورد ارزیابی و اندازه‌گیری قرار گرفتند (Javadi et al., 2014).

درصد آب بافتی گیاهچه =

(وزن تر گیاهچه/(وزن خشک گیاهچه-وزن تر گیاهچه)) × ۱۰۰ [۸]

تعیین وزن خشک گیاهچه نیز در پایان آزمایش پس از قرار گرفتن در آون الکتریکی با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت و توزین توسط ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم انجام شد.

همچنین با استفاده از داده‌های حاصل از اندازه‌گیری وزن خشک گیاهچه در سطوح مختلف شوری (میانگین تمام سطوح تنش از ۱۰ تا ۵۰ دسی‌زیمنس بر متر به‌عنوان وزن خشک گیاهچه در محیط تنش در محاسبات استفاده گردید)، شاخص‌های مختلف مقاومت نسبت به تنش (جدول ۲) همچون شاخص تحمل تنش، شاخص بهره‌وری متوسط، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری و شاخص میانگین هارمونیک محاسبه و بر این اساس گونه‌های متحمل طبقه‌بندی شدند.

جدول ۲. شاخص‌های مقاومت به تنش در آزمون رشد گیاهچه

Table 2. Indicators of stress tolerance in the seedling growth test.

شاخص‌های مقاومت به تنش Indicators of stress tolerance	روابط ریاضی Mathematical relations	منبع References
[رابطه ۹] شاخص تحمل تنش Stress tolerance (Tol)	Tol = Yp - Ys	(Rosielle and Hamblin, 1981)
[رابطه ۱۰] شاخص بهره‌وری متوسط Medium productivity (MP)	MP = (Yp + Ys) / 2	(Rosielle and Hamblin, 1981)
[رابطه ۱۱] شاخص میانگین هندسی بهره‌وری Geometric medium productivity (GMP)	$GMP = \sqrt{(Ys)(Yp)}$	(Fernandez, 1992)
[رابطه ۱۲] شاخص میانگین هارمونیک Harmonic (Harm)	Harm = [2(Yp × Ys) / (Yp + Ys)]	(Fisher and Maurer, 1978)

Yp: عملکرد بالقوه (وزن خشک گیاهچه) هر گونه در محیط بدون تنش و Ys: عملکرد بالقوه (وزن خشک گیاهچه) هر گونه در محیط تنش می‌باشند.
Yp: potential yield (seedling dry weight) in each species under a non-stress and Ys: potential yield (seedling dry weight) in each species under a salinity stress condition.

همچنین به‌منظور سنجش محتوی فنل کل از روش سینگلتون و همکاران (Singleton et al., 1999) و به‌منظور اندازه‌گیری فلاونوئید از روش پیکال و پرزینسکا (Pękal and Pyrzynska, 2014) استفاده شد.

قبل از انجام محاسبات آماری آزمون نرمال بودن باقی‌مانده داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک انجام گرفت که نشان داد کلیه‌ی داده‌ها ازلحاظ آماری نرمال می‌باشند (Santana et al., 2018). تجزیه واریانس داده‌ها

به‌وسیله‌ی نرم‌افزار SAS (9.3) (SAS Institute, 2012) و به‌صورت مدل آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند. همچنین برازش منحنی‌ها و رسم شکل‌ها با کمک نرم‌افزار SigmaPlot v14 Systat انجام شد. ضمناً با توجه به معنی‌دار بودن اثر متقابل فاکتورهای موردبررسی برش‌دهی اثرات متقابل در سطح هر گونه با استفاده از نرم‌افزار SAS v9.3 صورت گرفت و مقایسه میانگین سطوح شوری و رتبه‌بندی آن‌ها در سطح هر گونه به‌طور مجزا انجام شد (Soltani, 2007).

نتایج و بحث

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که اختلاف بین گونه‌ها و سطوح شوری و همچنین برهمکنش آن‌ها در هر دو آزمایش جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه برای تمام صفات معنی‌دار ($P<0.01$) بود (جدول ۳). اثرمتقابل برای صفات موردمطالعه معنی‌دار بود و مقایسه اثر متقابل به‌صورت جدول و شکل موردبررسی قرار گرفت (شکل ۱ و جدول ۴).

بررسی مقایسه میانگین‌های اثر متقابل شوری در گونه در آزمایش جوانه‌زنی نشان داد که با افزایش سطوح شوری صفات طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، درصد جوانه‌زنی نهایی و سرعت جوانه‌زنی روند کاهشی داشتند. به‌نحوی‌که بیشترین میزان صفات طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، درصد و سرعت جوانه-زنی در گونه *S. biglovii* (به ترتیب با میانگین‌های ۳۲/۶ میلی‌متر، ۱۰/۸ میلی‌متر، ۹۴/۵ درصد و ۰/۰۰۸۴ بذر در روز) در تیمار شاهد و کمترین مقادیر این صفات در گونه *S. europaea* (به ترتیب با میانگین ۷/۳ میلی‌متر، ۱/۶ میلی-متر، ۲/۰ درصد و ۰/۰۰۱۷ بذر در روز) در سطح ۵۰ دسی-زیمنس بر متر اعمال شوری مشاهده شد (شکل ۱ و جدول ۴).

جدول ۳. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر شوری بر برخی صفات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه سه گونه گیاه سالیکورنیا

Table 3. Analysis of variance (mean squares) for the effects of Salinity on some germination and seedling traits in Salicornia species (S. biglovii, S. europaea and S. persica Golestan ecotype).

						آزمون جوانه‌زنی (Germination test)		
منابع تغییر S.O.V		درجه آزادی df	طول ریشه‌چه RL	طول ساقه‌چه HL	درصد جوانه‌زنی نهایی FGP	سرعت جوانه‌زنی GR	ضریب یکنواختی جوانه‌زنی CVG	شاخص بنیه بذر SVI
شوری Salinity (S)		5	499.22**	83.58**	13957.46**	0.00003607**	32631.22**	1787.42**
گونه Species (Sp)		2	294.10**	45.72**	935.16**	0.00001316**	8914.81**	424.81**
شوری× گونه S × Sp		10	59.76**	3.74**	228.43**	0.00000118**	7751.32**	88.96**
خطا Error		54	13.40	1.06	19.54	0.00000032	395.78	7.83
CV (%)			*22.22*	*18.32*	*8.08*	*10.78*	*12.62*	*19.07*
						آزمون گیاهچه‌ای (Seedling test)		
منابع تغییر S.O.V		درجه آزادی df	وزن خشک گیاهچه SDW	وزن تر گیاهچه SFW	ارتفاع گیاهچه SH	درصد آب بافتی گیاهچه WC	فنول کل TP	فلاونوئید Fl
شوری Salinity (S)		5	0.13137**	4.5046**	89.53**	6741.96**	0.00695**	0.0006385**
گونه Species (Sp)		2	0.01850**	2.2272**	12.09**	1798.05**	0.044925**	0.0006528**
شوری× گونه S × Sp		10	0.01454**	0.8040**	2.03**	1536.18**	0.002391**	0.0000512**
خطا Error		54	0.00041	0.0182	0.31	8.96	0.0000098	0.0000097
CV (%)			*13.90*	*14.45*	*13.84*	*3.92*	*7.10*	*20.56*

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد ** Significant at the 0.01 probability level

RL: Radical length; HL: Hypocotyl length; FGP: Final germination percentage; GR: Germination rate; CVG: Coefficient of Uniformity of Germination; SVI: Seed vigor index; SDW: Seedling dry weight; SFW: Seedling fresh weight; WC: Water content; SH: Seedling height; TP: Total phenols; Fl: Flavonoid

جدول ۴. اثر متقابل گونه× شوری بر برخی صفات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه گیاه سالیکورنیا (برش‌دهی اثرمتقابل شوری در هر گونه).

Table 4. Species × salinity levels interaction on some germination and seedling traits in Salicornia seed (sliced by the each species levels)

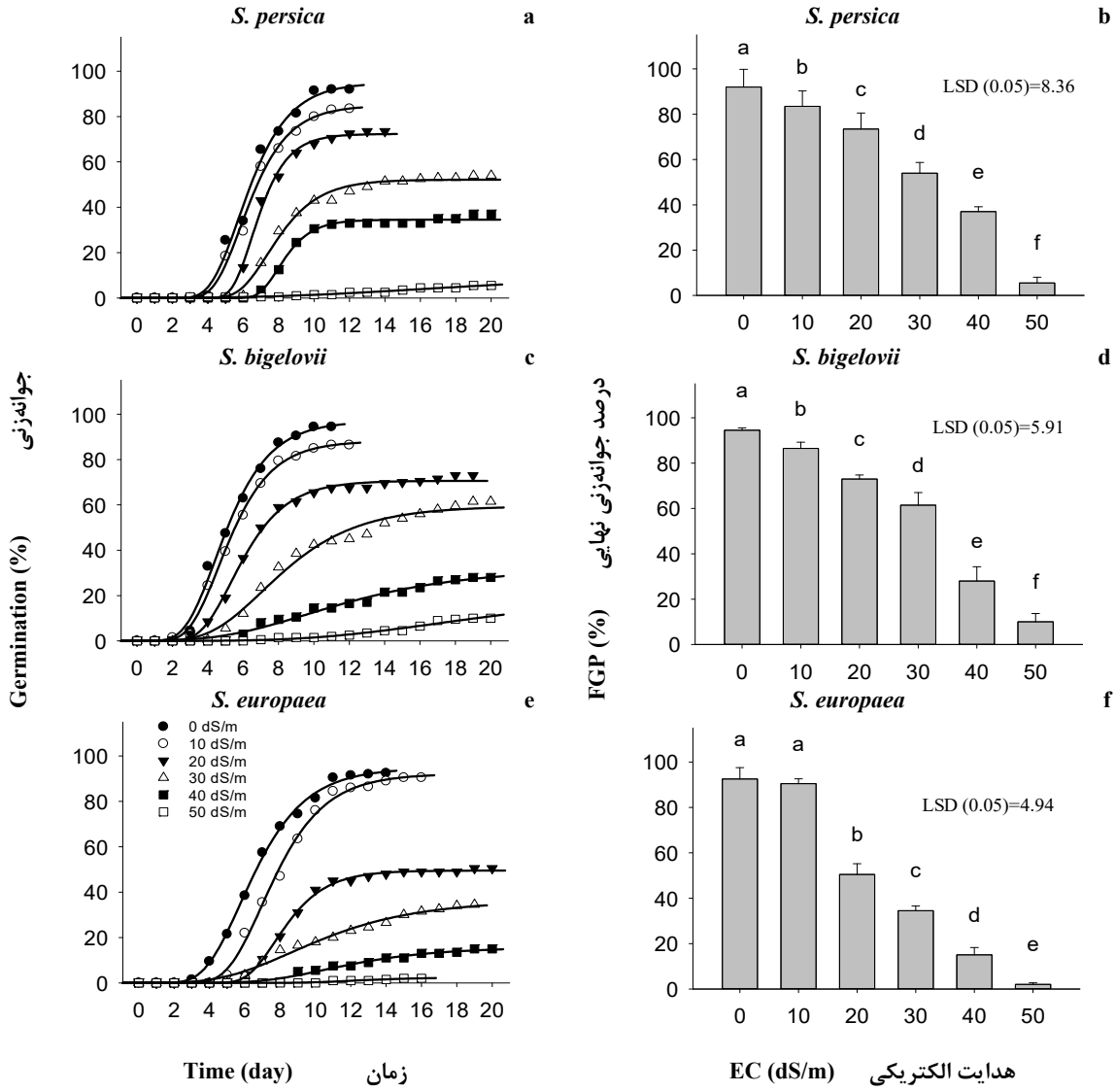
		آزمون جوانه‌زنی (Germination test)				
تیمارها Treatments		طول ریشه‌چه RL (mm)	طول ساقه‌چه HL (mm)	سرعت جوانه‌زنی GR (no of seeds per day)	ضریب یکنواختی جوانه‌زنی CVG (%)	شاخص بنیه بذر SVI
Species	Salinity	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD
S. persica Gorgan ecotype	Control	16.3^{a}±1.39	5.9^{a}±0.56	0.0065^{a}±0.0004	115.1^{c}±9.5	20.5^{a}±2.56
	10	16.1^{a}±3.51	5.4^{a}±0.66	0.0065^{a}±0.0002	115.3^{c}±8.5	17.9^{a}±3.39
	20	12.6^{b}±1.66	5.1^{a}±0.67	0.006^{ab}±0.0001	95.8^{c}±13.5	13.0^{b}±1.83
	30	11.6^{b}±1.73	3.4^{b}±0.35	0.0053^{b}±0.0005	157.5^{b}±49.1	8.0^{c}±0.76
	40	10.3^{b}±1.18	2.9^{b}±0.09	0.0039^{c}±0.0002	219.8^{a}±14.9	4.9^{d}±0.15
	50	10.1^{b}±1.48	1.6^{c}±0.79	0.0033^{c}±0.0014	154.8^{b}±30.3	0.6^{e}±0.34
LSD (0.05)		*2.94*	*0.85*	*0.0009*	*37.8*	*2.8*
S. bigelovii	Control	32.6^{a}±5.73	10.8^{a}±2.91	0.008^{a}±0.00004	110.5^{c}±4.2	41.0^{a}±3.54
	10	26.5^{b}±4.46	8.6^{b}±0.41	0.008^{ab}±0.0002	109.6^{c}±13.7	30.4^{b}±4.58
	20	24.3^{bc}±5.24	8.1^{b}±1.47	0.0070^{b}±0.00004	165.4^{b}±2.5	23.7^{c}±3.76
	30	18.3^{c}±3.68	5.6^{c}±0.12	0.0053^{c}±0.0004	253.9^{a}±8.8	14.6^{d}±1.93
	40	11.6^{d}±1.41	4.9^{c}±0.24	0.0040^{d}±0.0001	251.4^{a}±3.8	4.6^{e}±0.8
	50	5.6^{d}±2.05	2.1^{d}±0.09	0.0028^{e}±0.0015	186.0^{b}±41.5	0.7^{e}±0.19
LSD (0.05)		*6.06*	*1.99*	*0.0010*	*27.3*	*4.4*
S. europaea	Control	24.7^{a}±4.95	9.5^{a}±2.45	0.0065^{a}±0.0001	148.5^{b}±3.1	31.6^{a}±3.02
	10	24.3^{a}±7.68	9.4^{a}±0.06	0.0054^{b}±0.0001	126.0^{c}±1.7	30.5^{a}±7.33
	20	17.5^{b}±0.63	7.1^{b}±0.09	0.0050^{b}±0.0002	137.9^{bc}±9.3	12.4^{b}±1.45
	30	14.6^{b}±3.58	5.7^{b}±0.21	0.0045^{c}±0.0004	239.7^{a}±9.3	7.0^{c}±1.12
	40	12.1^{bc}±4.43	3.3^{c}±0.41	0.0035^{d}±0.0006	223.7^{a}±13.3	2.3^{cd}±0.87
	50	7.3^{c}±1.14	1.6^{d}±0.12	0.0017^{e}±0.0002	26.1^{d}±29.1	0.2^{d}±0.05
LSD (0.05)		*6.58*	*1.51*	*0.0005*	*36.1*	*4.96*

		آزمون گیاهچه‌ای (Seedling test)					
تیمارها Treatments		وزن خشک گیاهچه SDW (g per pot)	وزن تر گیاهچه SFW (g per pot)	ارتفاع گیاهچه SH (cm)	درصد آب بافتی گیاهچه WC (%)	فنول کل TP (mg/g fresh weight)	فلاونوئید Fl (mg/g fresh weight)
Species	Salinity	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD
S. persica Gorgan ecotype	Control	0.21^{a}±0.002	1.4^{a}±0.069	8.53^{a}±0.50	85.4^{bc}±0.51	0.123^{b}±0.0034	0.027^{a}±0.0034
	10	0.13^{b}±0.019	1.2^{b}±0.051	6.65^{b}±0.30	89.07^{a}±0.66	0.113^{c}±0.0072	0.028^{a}±0.0081
	20	0.15^{b}±0.016	1.3^{ab}±0.06	5.38^{c}±0.38	88.8^{ab}±0.29	0.156^{a}±0.0034	0.031^{a}±0.0012
	30	0.10^{c}±0.007	0.75^{c}±0.20	3.83^{d}±0.25	85.8^{a-c}±5.05	0.105^{d}±0.0046	0.019^{b}±0.0022
	40	0.09^{c}±0.010	0.6^{d}±0.089	3.58^{d}±0.34	84.69^{c}±2.21	0.052^{e}±0.0009	0.014^{b}±0.0016
	50	0.05^{d}±0.003	0.3^{e}±0.007	0.70^{e}±0.16	83.72^{c}±0.48	0.014^{f}±0.0023	0.004^{c}±0.0018
LSD(0.05)		*0.016*	*0.15*	*0.50*	*3.40*	*3.40*	*0.0057*
S. bigelovii	Control	0.22^{b}±0.001	1.8^{a}±0.184	6.55^{b}±0.44	87.66^{a}±0.98	0.027^{b}±0.0017	0.022^{a}±0.0018
	10	0.33^{a}±0.012	1.9^{a}±0.788	7.73^{a}±0.53	82.9^{ab}±0.95	0.031^{a}±0.002	0.02^{ab}±0.0012
	20	0.14^{c}±0.001	0.78^{b}±0.08	3.90^{c}±0.38	81.50^{b}±4.82	0.022^{c}±0.0049	0.014^{c}±0.0063
	30	0.08^{d}±0.008	0.65^{b}±0.21	3.50^{c}±0.32	85.9^{ab}±7.61	0.017^{d}±0.0011	0.016^{bc}±0.001
	40	0.04^{e}±0.016	0.3^{bc}±0.05	2.05^{d}±0.57	85.9^{ab}±3.68	0.011^{e}±0.0008	0.014^{bc}±0.001
	50	0.0001^{f}±0.0	0.0001^{d}±0.0	0.0001^{e}±0.0	0.0001^{c}±0.0	0.0001^{f}±0.0012	0.0001^{d}±0.0008
LSD(0.05)		*0.013*	*0.51*	*0.62*	*5.95*	*5.95*	*0.0042*
S. europaea	Control	0.318^{b}±0.03	2.11^{b}±0.16	5.85^{b}±0.83	84.89^{b}±1.62	0.031^{a}±0.0032	0.014^{ab}±0.002
	10	0.372^{a}±0.04	2.42^{a}±0.29	7.18^{a}±1.48	84.50^{b}±1.99	0.030^{a}±0.0003	0.015^{a}±0.0003
	20	0.18^{c}±0.008	1.43^{c}±0.04	4.05^{c}±0.84	87.34^{ab}±3.60	0.024^{b}±0.0014	0.012^{ab}±0.002
	30	0.14^{c}±0.027	1.03^{d}±0.16	2.08^{d}±0.39	85.51^{b}±2.32	0.020^{b}±0.0039	0.01^{ab}±0.0044
	40	0.045^{d}±0.051	0.43^{e}±0.18	1.03^{de}±0.38	89.44^{a}±2.90	0.015^{c}±0.0037	0.011^{b}±0.0025
	50	0.0001^{d}±0.0	0.0001^{f}±0.	0.0001^{e}±0.0	0.0001^{c}±0.0	0.0001^{d}±0.0016	0.0001^{c}±0.001
LSD(0.05		*0.047*	*0.25*	*1.19*	*3.50*	*3.50*	*0.0037*

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون و در هر گونه بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد با هم ندارند

Means within each column and each species followed by the same letter are not significantly different ($P \leq 0.05$)

RL: Radical length; HL: Hypocotyl length; GR: Germination rate; CVG: Coefficient of uniformity of germination; SVI: Seed vigor index; SDW: Seedling dry weight; SFW: Seedling fresh weight; WC: Water content; SH: Seedling height; TP: Total phenols; Fl: Flavonoid



شکل ۱. درصد جوانه‌زنی نهایی (b، d و f) و جوانه‌زنی در پاسخ به هر سطح شوری طی زمان (a، c و e) در سه گونه گیاه سالیکورنیا. محورهای افقی زمان برحسب روز، محورهای عمودی درصد جوانه‌زنی و نقاط با علائم متفاوت درصد جوانه‌زنی در هر سطح تنش شوری می‌باشند که با مدل سیگموئیدی سه پارامتر (گامپرتز) برازش داده‌شده‌اند.

Fig. 1. Final germination percentage (b, d and f) and germination time course (a, c and e) of three Salicornia species. Cumulative germination data is represented using symbols and germination time course is represented using lines fitted through a three-parameter sigmoidal function (Gompertz).

ریشه به دلیل ارتباط مستقیم با شوری بیشتر از سایر اندام‌ها در معرض آن بوده و به‌عنوان یک فیلتر عبور یون‌ها را کنترل می‌کند؛ بنابراین سمیت یون‌ها به‌ویژه یون سدیم دلیل اصلی کاهش رشد ریشه در شرایط اعمال شوری است. در این رابطه گزارش شده است که افزایش غلظت سدیم و کلر بر جذب رقابتی بسیاری از عناصر ضروری و انتخاب‌پذیری یونی غشا در گیاه سالیکورنیا اثر کرده و منجر به کاهش طول و وزن خشک ریشه و سایر اندام‌های گیاه می‌گردد (Lee et al., 2016).

همچنین کاهش طول ساقه‌چه نیز در نتیجه کاهش درصد مواد ذخیره‌ای بذر در پاسخ به افزایش سطوح شوری بوده که این یافته با نتایج سایر محققان در همین راستا مطابقت دارد (Soltani et al., 2006; Ansari et al., 2012). نتایج امیری و همکاران (Amiri et al., 2012) نشان داده است که در شرایط عدم کاربرد کلرید سدیم بیشترین میزان درصد و سرعت جوانه‌زنی در گیاه سالیکورنیا (*S. herbacea*) به دست آمد و با افزایش غلظت کلرید سدیم به‌تدریج از میزان این صفات کاسته شد، به‌نحوی‌که در غلظت‌های ۳۰۰ تا ۵۰۰

میلی‌مولار اختلاف معنی‌داری در صفات اندازه‌گیری شده مشاهده نگردید. به‌عبارتی‌دیگر آن‌ها غلظت ۳۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم را محدودکننده جوانه‌زنی در این‌گونه سالیکورنیا معرفی کردند. این نتایج با یافته‌های کیـــو و همکـــاران (Qu et al., 2008) در مـــورد گیـــاه هالوفیت *Halocnemum strobilaceum* و جامی‌الاحمدی و کافی (Jami Al- Ahmadi and Kafi, 2006) در مورد گیاه کوشیا همخوانی داشت؛ اما دیگر محققان (Kategi et al., 1994) در مورد گیاه هالوفیت *Aleuropus lagopoides* اعلام کردند که تا شوری ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر نیز این گیاه حدود ۱۰۰ درصد جوانه‌زنی خود را حفظ می‌نماید. لذا رفتار جوانه‌زنی در بین گیاهان هالوفیت نیز با هم متفاوت است. در آزمایش حاضر نیز مشخص گردید که در گونه *S. persica* بین سطوح شاهد و سطح ۱۰ دسی‌زیمنس اعمال شوری ازنظر صفات طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و سرعت جوانه‌زنی، در گونه *S. biglovii* تنها ازنظر صفت سرعت جوانه‌زنی و در گونه *S. europaea* ازنظر صفات طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و درصد جوانه‌زنی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد که این نتایج حاکی از مقاومت گونه *S. europaea* تا سطح ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر اعمال شوری است (شکل ۱ و جدول ۴). همچنین این نتایج به‌روشنی این مطلب را تائید می‌کنند که گونه‌های گیاه سالیکورنیا ازنظر تحمل نسبت به افزایش سطوح شوری در مرحله جوانه‌زنی متفاوت‌اند. در همین راستا محققان در مطالعه خود به‌منظور تعیین آستانه تحمل به شوری گونه‌های سالیکورنیا با استفاده از آب خلیج‌فارس گزارش دادند که بین گونه‌های گیاه سالیکورنیا ازنظر حد آستانه تحمل به شوری (اولین کاهش معنی‌دار صفات در اثر شوری) تفاوت وجود دارد؛ به‌گونه‌ای که حد آستانه تحمل به شوری در توده‌های خور مزین، ایلخچی، مرکزی، گونه‌های بیگلووی و اروپایی به ترتیب ۱۴/۳۶، ۵/۰۱، ۱۴/۴۶، ۱۱/۹۱ و ۷/۵۴ دسی‌زیمنس بر متر بود (Ranjbar and Pirasteh-Anosheh, 2018).

این در حالی است که بیشترین میزان ضریب یکنواختی جوانه‌زنی به ترتیب در گونه *S. persica* (با میانگین ۲۱۹/۸ درصد) در سطح ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر و در گونه‌های *S. biglovii* (با میانگین ۲۵۳/۹ درصد) و *S. Europaea* (با میانگین ۲۳۹/۷ درصد) در سطح ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر به دست آمد. کمترین مقادیر این صفت نیز (ضریب یکنواختی جوانه‌زنی) به ترتیب در گونه *S. persica* در سطح ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر (با میانگین ۹۵/۹۸ درصد)، در گونه *S. biglovii* در سطح ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر (با میانگین ۱۰۹/۶ درصد) و در گونه *S. europaea* در سطح ۵۰ دسی‌زیمنس بر متر (با میانگین ۲۶/۱ درصد) مشاهده گردید (جدول ۴). اختلاف‌های ژنتیکی ناشی از اعمال شوری در بین بذور در داخل گونه‌های یک گیاه و حتی توده‌هایی از جمعیت یک گونه و همچنین کند شدن جذب اولیه آب و تأثیر منفی سطوح شوری و سمیت یون‌ها بر فرآیندهای بیوشیمیایی مراحل کاتابولیک (هیدرولیز آنزیمی مواد ذخیره‌ای بذر) و آنابولیک (ساخت بافت‌های جدید با استفاده از مواد هیدرولیز شده در مرحله قبل) منجر به عدم یکنواختی در جوانه‌زنی بذور می‌گردد (Zeinali et al., 2002).

در مورد شاخص بنیه بذر نیز نتایج حاکی از آن بود که بیشترین مقدار این صفت در هر سه گونه موردمطالعه در سطح شاهد (به ترتیب با میانگین ۲۰/۵ در گونه *S. persica*، ۴۱/۰ در گونه *S. biglovii* و ۳۱/۶ در گونه *S. europaea*) و کمترین مقدار آن در هر سه گونه در سطح ۵۰ دسی‌زیمنس بر متر اعمال شوری (به ترتیب با میانگین ۰/۶ در گونه *S. persica*، ۰/۷ در گونه *S. biglovii* و ۰/۲ در گونه *S. europaea*) به دست آمد (جدول ۴).

بنا بر مطالعات مختلف تنش‌های محیطی می‌توانند از طریق کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی بر بنیه بذر و سبز شدن گیاهچه تأثیر منفی بگذارند، در این رابطه بذور با قدرت جوانه‌زنی بالاتر می‌توانند کارکرد بهتری در سبز شدن تحت تأثیر تنش‌های محیطی همچون شوری داشته باشند (Poori et al., 2012; Panahi et al., 2012). جاکوب و همکاران (Jacob et al., 2020) در بررسی سطوح شوری بر شاخص‌های جوانه‌زنی گیاه سالیکورنیا گونه *Salicornia brachiata* اظهار داشتند که درنتیجه افزایش سطوح شوری سیستم‌های دفاع آنتی‌اکسیدانی در بذر تشدید شده و این سیستم با کاهش تجمع ROS به خسارت ناشی از این تنش کمک کرده و موجب حفظ بنیه بذر تا سطح ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم گردید.

نتایج آماره‌های حاصل از برازش مدل گامپرتز نشان داد که این مدل در هر سه گونه به‌خوبی توانسته روند جوانه‌زنی را در برابر زمان در هر سطح شوری بر صفت درصد جوانه‌زنی نشان دهد ($R^2adj \geq 0.95$) و ($MSE \leq 3.25$) (جدول ۵). بنا

بر نتایج مدل مشخص گردید که تأثیرپذیری شاخص جوانه‌زنی در سطوح مختلف شوری یکسان نبوده و در سطوح بالاتر، هم درصد جوانه‌زنی کمتر و هم‌زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی کندتر بود، به‌طوری‌که با افزایش سطح شوری از صفر به ۵۰ دسی‌زیمنس بر متر زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی به ترتیب از ۵/۷۳ به ۱۶/۲۰ روز در گونه *S. persica* (شکل a1)، ۴/۴۲ به ۱۷/۰۷ در گونه *S. biglovii* (شکل c1) و ۵/۷۵ به ۱۱/۹۵ روز در گونه *S. europaea* (شکل e1) افزایش یافت. همچنین نتایج حاصل از جدول (۵) نشان داد که اگرچه روند کاهش جوانه‌زنی از سطح ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر آغاز گردید، اما در سطوح پایین‌تر اعمال تنش شوری شیب افزایش درصد جوانه‌زنی به ازای زمان شدیدتر بود که حاکی از جوانه‌زنی بیشتر و سریع‌تر گونه‌های گیاه سالیکورنیا در سطوح کمتر از ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر در این مطالعه داشت.

جدول ۵. پارامترهای حاصل از برازش مدل سیگموئیدی (گامپرتز) بر درصد جوانه‌زنی بذر سه گونه گیاه سالیکورنیا تحت سطوح شوری طی زمان.

Table 5. Model parameter from fitted sigmoid model (Gompertz) on seed germination of three Salicornia species under salinity levels at time

Treatment		Gompertz 3P				
Species	**Salinity**	**a (%CV)**	**b (%CV)**	**X_0 (%CV)**	**R^2_{Adj}**	**RMSE**
***S. persica* Gorgan ecotype**	**Control**	95.03(3.25)	1.58(11.75)	5.73(2.11)	0.991	3.249
	10	84.90(2.55)	1.49((9.57)	5.84(1.60)	0.994	2.355
	20	72.35(1.28)	1.11(7.16)	6.48(0.89)	0.997	1.625
	30	52.20(1.31)	1.59(8.01)	7.37(1.31)	0.994	1.690
	40	34.53(1.12)	1.05(8.64)	7.95(0.91)	0.995	1.048
	50	10.88(27.42)	8.67(22.47)	16.20(15.51)	0.978	0.263
S. biglovii	**Control**	96.95(2.55)	1.70(9.02)	4.42(2.25)	0.995	2.562
	10	88.14(1.44)	1.66(5.71)	4.60(1.37)	0.997	1.601
	20	70.65(0.75)	1.71(4.58)	5.32(1.11)	0.997	1.350
	30	59.44(2.47)	2.96(9.40)	7.08(2.59)	0.988	2.435
	40	31.70(6.14)	4.91(12.07)	9.60(4.41)	0.985	1.196
	50	21.17(30.95)	7.27(24.98)	17.07(13.86)	0.978	0.505
S. europaea	**Control**	94.73(1.21)	2.03(4.40)	5.75(1.01)	0.998	1.410
	10	92.13(1.40)	1.97(5.65)	6.96(1.07)	0.997	1.883
	20	49.53(0.66)	1.58(3.99)	7.72(0.62)	0.998	0.794
	30	36.26(4.60)	3.91(11.12)	8.61(3.31)	0.987	1.389
	40	15.63(5.30)	3.49(13.16)	10.51(2.84)	0.984	0.689
	50	2.47(21.38)	2.54(34.83)	11.95(5.93)	0.951	0.151

به نظر می‌رسد که میزان جوانه‌زنی کمتر و روند کندتر آن در سطوح بالاتر از ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر حاکی از آسیب جدی بذور هر سه گونه از طریق برهم زدن مکانیسم‌های مرتبط با جوانه‌زنی و کاهش فعالیت آنزیم‌های دخیل در این فرآیند بوده که موجب کاهش استقرار گیاه در مزرعه خواهد شد. کاهش تراکم گیاه در واحد سطح درنهایت منجر به کاهش عملکرد خواهد شد چراکه تراکم بوته مطلوب در واحد سطح یکی از اجزای اصلی عملکرد در گیاهان است (Poori et al., 2012). با توجه به اهمیت شاخص جوانه‌زنی در استقرار گیاهچه، تأثیرپذیری آن از طریق مدل‌های سیگموئیدی سه پارامتره توسط دیگر محققان نیز تائید شده است (Panahi et al., 2012; Chauhan et al., 2006).

در آزمون رشد گیاهچه نیز نتایج حاکی از آن بود که بیشترین مقادیر صفات وزن خشک و تر گیاهچه در گونه *S. Europaea* (به ترتیب با میانگین‌های ۰/۳۷۲ و ۲/۴۲ گرم) در سطح شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر و صفت ارتفاع گیاهچه در گونه *S. persica* (با میانگین ۸/۵۳ سانتی‌متر) در تیمار شاهد حاصل گردید. کمترین میزان این صفات نیز در هر سه گونه در بالاترین سطح شوری (۵۰ دسی‌زیمنس بر متر) به دست آمد (جدول ۴). همچنین مشخص گردید که در آزمون رشد گیاهچه مقاومت گونه *S. persica* تا سطح ۵۰ دسی‌زیمنس بر متر ادامه یافت، این در حالی بود که در گونه‌های *S. biglovii* و *S. europaea* میزان رشد گیاهچه در سطح شوری ۵۰ دسی‌زیمنس بر متر متوقف گردید و عملاً

در این گونه‌ها میزان وزن‌تر، خشک و ارتفاع گیاهچه در این سطح از شوری به صفر رسید. پاسخ مثبت وزن و طول گیاهچه گیاه سالیکورنیا به سطوح کم تا متوسط شوری در گونه¬های *S. herbacea* (Amiri et al., 2012)، *S. virginica* (Robert and Ustin, 2004) و *S. europeae* (Todd and Ungar, 2004) و کاهش این صفات درنتیجه اعمال سطوح بالای شوری توسط رنجبر و پیراسته انوشه (Ranjbar and Pirasteh-Anosheh, 2018) تائید شده است.

در مورد صفت درصد آب بافتی گیاهچه نیز نتایج حاکی از رفتار متفاوت گونه‌ها در پاسخ به سطوح شوری بود. با توجه به نتایج بیشترین میزان این صفت در گونه *S. persica* در سطح ۱۰ دسی‌زیمنس (با میانگین ۸۹/۰۷ درصد)، در گونه *S. biglovii* در تیمار شاهد (با میانگین ۸۷/۶۶ درصد) و در گونه *S. europaea* در سطح ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر (با میانگین ۸۹/۴۴ درصد) اعمال شوری به دست آمد. کمترین مقدار این صفت نیز در هر سه گونه در سطح ۵۰ دسی‌زیمنس بر متر اعمال شوری (به ترتیب با میانگین‌های ۸۳/۷۲ در گونه *S. persica*، ۰/۰۰۰۱ در گونه *S. biglovii* و ۰/۰۰۰۱ در گونه *S. europaea* مشاهده شد (جدول ۴). اعتقاد بر این است که گیاه سالیکورنیا به‌وسیله تجمع محلول‌های آلی در سلول‌ها تنش شوری را تحمل می‌کند (Ayala and O'Leary, 1995) و در مراحل بعد از جوانه‌زنی سطوح شوری پایین‌تر از ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر نه‌تنها تأثیر منفی بر رشد این گیاه نداشته، بلکه موجب تحریک رشد و افزایش وزن تر و خشک گیاهچه شده (Todd and Ungar, 2004; Robert and Ustin, 2004) و از این طریق موجب افزایش درصد آب بافتی گیاهچه می‌گردد؛ اما کاهش درصد آب بافتی گیاهچه در سطوح بالای تنش تنها در نتیجه سمیت یون‌هایی همچون سدیم و کلر خواهد بود (Amiri et al., 2012).

ازنظر محتوی فنل کل نیز نتایج نشان داد که بیشترین میزان این صفت در گونه *S. persica* در سطح ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر (با میانگین ۰/۱۵۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، در گونه *S. biglovii* تحت تیمار ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر (با میانگین ۰/۰۳۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و در گونه *S. europaea* در تیمار عدم اعمال تنش (با میانگین ۰/۰۳۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کمترین مقادیر آن در هر سه گونه در شرایط ۵۰ دسی‌زیمنس اعمال تنش شوری (به ترتیب در گونه‌های *S. persica*، *S. biglovii* و *S. europaea* با میانگین‌های ۰/۰۱۴، ۰/۰۰۰۱ و ۰/۰۰۰۱ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) حاصل شد. بیشترین مقدار فلاونوئید نیز در گونه‌های *S. persica* و *S. europaea* در سطح ۱۰ دسی‌زیمنس اعمال تنش شوری (به ترتیب با میانگین‌های ۰/۰۲۸ و ۰/۰۱۵ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) به دست آمد که البته اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت، در گونه *S. biglovii* نیز بالاترین مقدار این صفت در تیمار شاهد (با میانگین ۰/۰۲۲ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) حاصل شد. کمترین مقدار این صفت در هر سه گونه نیز در شرایط ۵۰ دسی‌زیمنس بر متر اعمال تنش شوری (به ترتیب در گونه‌های *S. persica*، *S. biglovii* و *S. europaea* با میانگین‌های ۰/۰۰۰۴، ۰/۰۰۰۱ و ۰/۰۰۰۱ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) مشاهده گردید (جدول ۴). با توجه به کاهش محتوی فلاونوئید و همچنین کاهش رشد مورفولوژیکی گیاه در پاسخ به افزایش سطوح شوری، به نظر می‌رسد که گیاه در مواجه با این تنش رشد رویشی خود را کاسته و به‌منظور مقابله با اثرات گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن و سازگار شدن با شرایط جدید، تولید متابولیت-های ثانویه از قبیل ترکیبات فنلی را در خود افزایش می‌دهد که البته این مکانیسم مقاومت در بین گونه-های موردمطالعه به شکلی متفاوت بروز می‌کند. جاکوب و همکاران (Jacob et al., 2020) در بررسی تأثیر سطوح شوری بر جوانه‌زنی گیاه سالیکورنیا گزارش کردند که محتوی فنول کل تا سطح ۲۰۰ میلی‌مولار شوری افزایش‌یافته و پس‌ازآن با افزایش سطح شوری به ۴۰۰ میلی‌مولار کاهش یافت، این در حالی بود که در مورد محتوی فلاونوئید نتایج حاکی از کاهش این صفت با افزایش سطوح شوری بود.

کاهش کیفیت بذر در نتیجه تنش منجر به برخی تغییرات در ساختار مولکولی اسیدهای نوکلئیک، کاهش فعالیت برخی آنزیم‌های کلیدی در جوانه‌زنی و رشد، افزایش فعالیت برخی از آنزیم‌های هیدرولیز کننده، افزایش نشت غشاء و کاهش تنفس می‌شود که در نتیجه این تغییرات، صفات مرتبط با جوانه‌زنی و رشد گیاهچه کاهش‌یافته و یا متوقف می‌گردد که نتیجه این امر کاهش توانایی جوانه‌زنی بذرها تحت شرایط تنش، افزایش احتمال توسعه گیاهچه‌های غیرطبیعی، کاهش درصد استقرار بوته در مزرعه و درنهایت کاهش عملکرد خواهد بود (Tahmasbi et al., 2015). نتایج نشان داد که در هر سه گونه، میزان صفات درصد جوانه‌زنی نهایی، سرعت جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، وزن خشک، تر و ارتفاع گیاهچه در سطوح شوری بالاتر از ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر کاهش معنی‌دار و در شوری‌های بالاتر از ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر به

بیش از نصف مقدار شاهد (عدم اعمال شوری) کاهش می‌یابد که با نتایج آب‌شناس و همکاران در بررسی تأثیر گلایسین بتائین بر افزایش تحمل به شوری گیاه سالیکورنیا (*S. persica*) در مرحله جوانه‌زنی و رشد گیاهچه هم‌خوانی دارد (Abshenas et al., 2019).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های شاخص‌های تحمل به تنش شوری نشان داد که در بین گونه‌های موردبررسی، گونه *S. europaea* بیشترین میزان شاخص تحمل تنش (با میانگین ۰/۱۶۹۸)، شاخص بهره‌وری متوسط (با میانگین ۰/۲۵۳۵)، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (با میانگین ۰/۱۸۶۰) و شاخص میانگین هارمونیک (با میانگین ۰/۱۶۷۵) را دارا بود (جدول ۶). با توجه به اینکه شاخص‌های ارزیابی-کننده تحمل به تنش، گونه‌های با وزن خشک بالاتر را در هر دو شرایط مطلوب و تنش معرفی می‌نماید، بنابراین گونه *S. europaea* با میانگین وزن خشک گیاهچه بالاتر در هر دو شرایط مطلوب (۰/۳۱۸ گرم) و تنش (۰/۱۴۸۲ گرم) نسبت به دیگر گونه‌های موردمطالعه در این آزمایش متحمل‌تر معرفی می‌گردد. همچنین بنا بر نتایج گونه‌های *S. persica* و *S. biglovii* نیز پس از گونه *S. europaea* (با توجه به عدم معنی‌داری اختلاف بین دو گونه ازنظر صفات موردبررسی) در طبقه هم‌تراز ازنظر تحمل شرایط تنش شوری قرار گرفتند (جدول ۶).

جدول ۶. میانگین شاخص‌های تحمل به تنش شوری در گونه‌های گیاه سالیکورنیا

Table 6. Mean comparison of the various indicators of salinity tolerance in Salicornia species

گونه Species	میانگین وزن خشک گیاهچه در شرایط بدون تنش Yp	میانگین وزن خشک گیاهچه در شرایط تنش Ys	شاخص تحمل تنش Tol	شاخص بهره‌وری متوسط MP	شاخص میانگین هندسی بهره‌وری GMP	شاخص میانگین هارمونیک Harm
	----------g----------					
***S.persica* Gorgan ecotype**	0.214b	0.1046c	0.1094b	0.1600c	0.1472b	0.1368b
S.bigelovii	0.226b	0.1196b	0.1064b	0.1747b	0.1378b	0.1265b
S. europaea	0.318a	0.1482a	0.1698a	0.2535a	0.1860a	0.1675a
LSD (0.05)	0.032	0.0139	0.0201	0.0082	0.0112	0.0150

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد با هم ندارند.

Means within each column followed by the same letter are not significantly different ($P \leq 0.05$).

نتیجه‌گیری نهایی

با توجه به وسعت منابع آب‌وخاک شور در ایران یکی از راهکارهای ضروری در مدیریت این منابع استفاده از گونه‌های متحمل مانند گونه‌های بومی و غیربومی گیاهان شورزیست همچون سالیکورنیا بوده که مطالعه در این خصوص را ارجح قرار می‌دهد. به‌طورکلی نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد بین گونه‌های گیاه سالیکورنیا ازنظر پاسخ به سطوح تنش شوری ناشی از کلرید سدیم در مرحله جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه تفاوت‌های قابل‌ملاحظه‌ای وجود دارد. میانگین درصد جوانه‌زنی نهایی با افزایش سطوح شوری در هر سه گونه کاهش یافت. اگرچه درصد جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه تا شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر کاهش معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد نداشت. نتایج حاصل از برازش مدل غیرخطی گامپرتز بر صفت درصد جوانه‌زنی طی زمان نیز نشان داد که مدل گامپرتز در تمام سطوح شوری برازش مناسبی در توصیف جوانه‌زنی گونه‌های گیاه سالیکورنیا داشت. در بررسی شاخص‌های مقاومت به تنش در مرحله رشد گیاهچه‌ای نیز گونه *S.* europaea، گونه متحمل‌تر نسبت به دیگر گونه‌های موردمطالعه معرفی گردید. از طرفی با توجه به رفتار متفاوت گونه‌های موردمطالعه در سطوح بالاتر از ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر اعمال شوری، پیشنهاد می‌گردد که در پژوهشی دیگر اثرات سطوح بین شاهد و این تیمار نیز موردبررسی قرار گیرد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز به خاطر تقبل هزینه‌های این تحقیق، تشکر و قدردانی می‌شود (شماره گرنت: SCU.AA98.336).

منابع

Abdul-baki, A.A., Anderson, J.D., 1975. Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. Crop Science. 13, 630-633.

Abshenas, M., Esmaeili, M., Heidarzade, A., 2019. The effect of glycine betaine to increase resistance of Salicornia plant (*Salicornia persica*) to salinity. Journal of Plant Process and Function (Iranin Society of Plant Physiology). 8, 176-194. [In Persian with English Summary].

Al-Yamani, W., Kennedy, S., Sgouridis, S., Yousef, L.F., 2013. A land suitability study for the sustainable cultivation of the halophyte *Salicornia bigelovii*: the case of Abu Dhabi, UAE. Arid Land Research and Management, 27, 349-360.

Amiri, B., Rasouli, B., Assareh, M.H., Jafari, M., Jafari, A.A., 2012. Effect of NaCl and Na2SO4 on germination and seedling growth of *Salicornia herbacea* and *Alhagi persarum*. Iranian Journal of Range and Desert Reseach, 19, 233-243. [In Persian with English Summary].

Ansari, O., Chogazardi, H., Sharifzadeh, F., Nazarli, H., 2012. Seed reserve utilization and seedling growth of treated seeds of mountain rye (*Secale montanum*) as affected by drought stress. Cercetari Agronomice in Moldova. 45, 43-48.

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.

Bavarsadi, M., Modhej, A., Majdam, M., 2017. Investigation the effect of salinity tension on germination, seedling growth and ionic content of alfalfa genotypes (*Medicago sativa* L.). Crop Physiology Journal, 9, 121-136. [In Persian with English Summary].

Beer, S.S., Beer, A.S., Sokoloff, D.D., 2010. Flower and inflorescence development in Salicornia (Chenopodiaceae). Feddes Repertorium. 121, 229-247.

Calone, R., Sanoubar, R., Noli, E., Barbanti, L., 2020. Assessing *Salicornia europaea* Tolerance to Salinity at Seed Germination Stage. Agriculture. 10, 29. doi:10.3390/agriculture10020029

Camberato, J., Mccarty, B., 1999. Irrigation water quality: part I. Salinity. South Carolina Turfgrass Foundation New. 6, 6-8.

Chauhan, B.S., Gill, G., Preston, C., 2006. Influence of environmental factors on seed germination and seedling emergence of Oriental mustard (*Sisymbrium orientale*). Weed Science. 54, 1025-1031.

Copeland, L.O., McDonald, M.B., 2001. Principles of Seed Science and Technology. Dordrecht. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 18-25 Pp.

Davy, A.J., Bishop, G.F., Costa, C.S.B., 2001. Salicornia L. (*Salicornia pusilla* J. woods, *S. ramosissima* J. woods, *S. europaea* L., S. *obscura* PW ball & tutin, *S. nitens* PW ball & tutin, *S. fragilis* PW ball and tutin and *S. dolichostachya* moss). Journal of Ecology. 89, 681-707.

Dehghan, A., Bannayan Awal, M., Khajehossaini, M., Izadi, E., Mijani, S., 2013. Simulation of emergence pattern of weeds species in corn (*Zea mays* L.) field based on sigmoidal models. Journal of Plant Protection. 26, 457-466. [In Persian with English Summary].

Eganathan, P., Subramanian, H.S., Latha, R., Rao, C.S., 2006. Oil analysis in seeds of *Salicornia brachiata*. Industrial Crops and Products. 23, 177-179.

Egli, D.B., TeKrony, D.M., 1997. Species differences in seed water status during seed maturation and germination. Seed Science Research. 7, 3-12.

El-Kassaby, Y.A., Moss, I., Kolotelo, D., Stoehr, M., 2008. Seed germination: mathematical representation and parameters extraction. Forest Science. 54, 220-227.

Fakhari, F., Sadeghi, H., 2016. The Effect of seed pod removal on salinity tolerance of annual Medic (*Medicago scutellata* L.) at the germination stage. Iranian Journal of Seed Research. 3, 148-158. [In Persian with English Summary].

Fernandez, G.C., 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In Proceeding of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress, Aug. 13-16, Shanhua, Taiwan, 257-270 Pp.

Fischer, R.A., Maurer, R., 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Australian Journal of Agricultural Research. 29, 897-912.

Ghasemi Golazani, K., Mazloumi-Oskoe, R., Rahimzadeh-Khoeh, F., Alizadeh, B., 2007. Changes in seed vigor of *Phaseolus vulgaris* at different stages of maturity under limited irrigation conditions. Agricultural Science. 17, 91-99. [In Persian with English Summary].

Gunning, D., 2016. Cultivating Salicornia europaea (*Marsh Samphire*), Lucy Watso. ed. Daithi O'Murchu Marine Research Station and University College Cork, Dublin, Ireland. 1-95.

Haj SeyedHadi, M.R., Gonzalez-Andujar, J.L., 2009. Comparison of fitting weed seedling emergence models with nonlinear regression and genetic algorithm. Computers and Electronics in Agriculture,.65, 19-25.

ISTA., 2012. International rules for seed testing, edition 2012. International seed testing association (ISTA)., Bassersdorf, Switzerland.

Izadi, E., Zargan, H., Mohamadian, M., Yanegh, A., 2014. Evaluation of germination and seedling growth characteristics of three sesame (*Sesamum indicum*) cultivars in salt and drought stress condition. Applied Field Crops Research. 27, 92-100. [In Persian with English Summary].

Izadi, Y., Nabipour, M., Ranjbar, Gh., 2020. Evaluation of the production potential in Salicornia species using some physiological traits, establishment mechanism and appropriate time for growing. Ph. D. dissertation, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. In Press. [In Persian].

Jacob, P.T., Siddiqui, S.A., Rathore, M.S., 2020. Seed germination, seedling growth and seedling development associated physiochemical changes in Salicornia brachiata (Roxb.) under salinity and osmotic stress. Aquatic Botany. 166, 1-12.

Jame, Y.W., Cutforth, H.W., 2004. Simulating the effects of temperature and seeding depth on germination and emergence of spring wheat. Agricultural and Forest Meteorology. 124, 207-218.

Jami Al-Ahmadi, M., Kafi, M., 2006. Salinity effects on germination properties of Kochia scoparia. Asian Journal of Plant Sciences. 5, 71- 75.

Javadi, H., Seghatol Eslami, M.J., Moosavi, S.Gh., 2014. The effect of salinity on seed germination and seedling growth of four medicinal plant species. Iranian Journal of Field Crops Research. 12, 53-64. [In Persian with English Summary].

Joosen, R.V.L., Kodde, J., Willems, L.A.J., Ligterink, W., Van der Plas, H.W., Hilhorst, H.W.M., 2010. Germinator: a software package for high-throughput scoring and curve fitting of Arabidopsis seed germination. The Plant Journal. 62, 148-159.

Katerji, N., Van Hoorn, J.W., Hamdy, A., Karam, F., Mastrorilli, M., 1994. Effect of salinity on emergence and on water stress and early seedling growth of sunflower and maize. Agricultural Water Management. 26, 81-91.

Khan, M.A., Gul, B., Weber, D.J., 2000. Germination responses of *Salicornia rubra* to temperature and salinity. Journal of Arid Environments. 45, 207-214.

Kalanaki, M., Bamshad, R., Shafighi Ghazagh, F., 2018. The effect of different unconventional water quality of Sistan region on germination vigor and seedling growth of a strategic halophyte plant. The 1st National Conference on Management strategies of Water Resources & Challenges. University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 30 April 2018. Sari. Iran. 420p. [In Persian with English Summary].

Lee, S.J., Jeon, H.J., Jeong, J.H., Chung, N.J., 2016. Germination is enhanced by removal of the funiculus in the halophyte glasswort (*Salicornia herbacea*). Horticulture, Environment, and Biotechnology. 57, 323-329.

Maguire, J.D., 1962. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. Crop Science. 2, 176-177.

Mass, E.V., Hoffman, G.J. 1997. Crop salt tolerance current assessment Journal of Irrigation and Drainage Division, 103, 115-134.

Orlovsky, N., Japakova, U., Zhang, H., Volis, S., 2016. Effect of salinity on seed germination, growth and ion content in dimorphic seeds of *Salicornia europaea* L. (Chenopodiaceae). Plant Diversity. 38, 183-189.

Panahi, M., Akbari, G.A., Roustakhiz, J., Golbashi, M., 2012. Response of safflower genotypes (*Carthamus tinctorius* L.) to salinity stress via germination and early seedling growth. Iranian Journal of Seed Science and Technology. 1, 211-222. [In Persian with English Summary].

Parmoon, G., Moosavi, S.A., Siadat, S.A., 2019. Descriptions of okra seed longevity loss behavior using nonlinear regression models. Advances in Horticultural Science. 33, 301-312.

Pękal, A., Pyrzynska, K., 2014. Evaluation of aluminium complexation reaction for flavonoid content assay. Food Analytical Methods, 7, 1776-1782.

Poori, K., Akbari, F., Ghaderi-Far, F., 2012. Response of deteriorated cotton seed to salinity stress at germination and seedling growth stages. Journal of Plant Production. 19, 53-68. [In Persian with English Summary].

Porali, F., Ghaderi-Far, F., Soltani, E., Pahlevani, M.H., 2019. Comparison of different models for determining time up to 50% maximum germination: A case study of cottonseeds (*Gossypium hirsutum*). Iranian Journal of Seed Research., 5, 1-13. [In Persian with English Summary].

Qu, X.X., Huang, Z.Y., Baskin, J.M., Baskin, C.C., 2008. Effect of temperature, light and salinity on seed germination and radicle growth of the geographically widespread halophyte shrub *Halocnemum strobilaceum*. Annals of Botany. 101, 293-299.

Ranjbar, Gh., Dehghani, 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 Rangeland and Desert Research. 26, 62-72. [In Persian with English Summary].

Ranjbar, Gh., Pirasteh-Anosheh, H., 2018. Determination the threshold of salinity tolerance in Salicornia species using Persian Gulf water. Arid Biome Scientific and Research Journal. 8, 103-111. [In Persian with English Summary].

Rhoades, J.D., Kandiah, A., Mashali, A.M. 1992. The use of saline waters for crop production. Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO). Irrigation and drainage paper 48. FAO, Rome, Italy. 133.

Robert W.P., Ustin, S.L., 2004. Effects of salinity on growth and photosynthesis of three Californiatidal marsh species. Cell Biology International. 17, 839-845.

Rosielle, A.A., Hamblin, J., 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment 1. Crop science. 21, 943-946.

Salehi, M., Dehghany, E., Ebrahimi, N.Gh., 2017. Successful Salicornia Seed Production using Saline Water. Journal of Water and Sustainable Development. 4, 37-46. [In Persian with English Summary].

Santana, D.G.D., Carvalho, F.J., Toorop, P., 2018. How to analyze germination of species with empty seeds using contemporary statistical methods? Acta Botanica Brasilica. 32, 271-278.

SAS Institute., 2012. SAS/OR 9.3 User's Guide: Mathematical Programming Examples. SAS institute.

Singleton, V.L., Orthofer, R., Lamuela-Raventos, R.M., 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. Methods in Enzymology. 299, 152- 178.

Soltani, A., 2007. Application of SAS in statistical analysis. Jehad-e-Daneshgahi Mashhad Press (2nd ed.) 182p. [In Persian].

Soltani, A., Gholipoor, M., Zeinali, E., 2006. Seed reserve utilization and seedling growth of wheat as affected by drought and salinity. Environmental and Experimental Botany. 55, 195-200.

Steppunn, H., Wang, H., Gan, Y., 1998. Evaluating Russian wild ryegrass emergence from saline seedbeds using the Gompertz function. Canadian Agriculture Engineering. 40, 241-248.

Tahmasbi, B., Ghaderi-Far, F., Sadeghipour, H.R., Galeshi, S., 2015. Enhanced accumulation of fatty acids and lipid hydroperoxides during ageing of sunflower seeds. Journal of Plant Process and Function. 4, 73-83. [In Persian with English Summary].

Tjorve, K.M., Tjørve, E., 2017. A proposed family of unified models for sigmoidal growth. Ecological Modelling. 359, 117-127.

Todd P.E., Ungar, I.A., 2004. Competition between Salicornia europaea and A*triplex prostrate* (Chenopodiaceae) along an experimental salinity gradient. Wetlands Ecology and Management. 9, 457-461.

Ventura, Y., Wuddineh, W.A., Shpigel, M., Samocha, T.M., Klim, B.C., Cohen, S., Shemer, Z., Santos, R., Sagi, M., 2011. Effects of day length on flowering and yield production

of Salicornia and Sarcocornia species. Scientia Horticulturae. 130, 510-516.

Zeinali, E., Soltani, A., Galeshi, S., 2002. Response of germination components to salinity stress in Oilseed rape (*Brasica napus* L.). Iranian Journal Agriculture Science. 33, 137-145. [In Persian with English Summary].

Zhang, H., Irving, L.J., Tian, Y., Zhou, D., 2012. Influence of salinity and temperature on seed germination rate and the hydrotime model parameters for the halophyte, *Chloris virgata*, and the glycophyte, *Digitaria sanguinalis*. South African Journal of Botany. 78, 203-210.