

## The Effect of Prolonged Exposure to Different NaCl Concentrations on the Physiological and Biochemical Characteristics of Scented Geranium (*Pelargonium graveolens* L.)

Pages  
89-103

A. Sohrabnezhad\*

Expert of Landscape and Greenspace Organization of Shiraz Municipality, Shiraz, Iran.

\*Corresponding author : [asadollah.sohrabnezhad@gmail.com](mailto:asadollah.sohrabnezhad@gmail.com)

Received date: 2025.04.29

Accepted date: 2025.08.11

### Abstract

Salinity stress is a major limiting factor for plant growth. This study investigated the physiological and biochemical responses of geranium (*Pelargonium*) grown in a peat-based substrate to salinity stress induced by sodium chloride (NaCl). Results showed that with increasing substrate salinity (from 0.62 to 3.72 millimhos per centimeter), the concentration of sodium ( $\text{Na}^+$ ) and chloride ( $\text{Cl}^-$ ) in leaves significantly increased by 4- to 16-fold and 4- to 6-fold, respectively. In contrast, potassium ( $\text{K}^+$ ) concentration decreased by 20% to 27% at higher salinity levels (2.42 to 3.72 millimhos per centimeter), while no change was observed at lower levels. Increasing salinity from 2.42 to 3.72 millimhos per centimeter also reduced plant fresh weight (25% to 65%), plant height (10% to 37%), and leaf area (15% to 55%). However, relative water content remained unchanged, and no visible damage symptoms, such as brown necrotic spots, were observed at any salinity level. Regarding pigments, chlorophyll content decreased proportionally with salt concentration, whereas carotenoid content was unaffected. Conversely, anthocyanin levels increased significantly, especially at higher salt concentrations, reaching approximately 2.5-fold higher than the control at the highest salinity (3.72 millimhos per centimeter). Overall, the findings suggest that anthocyanin accumulation in geranium leaves may play a key role in mitigating the adverse effects of salinity stress. The studied geranium exhibited moderate tolerance to salinity and can be cultivated in peat substrates or salt-affected soils containing sodium chloride below 1.75 millimhos per centimeter.

**Keywords:** Anthocyanins, Ions, Osmotic stress, Pigments, Salinity stress.



## تأثیر تنش طولانی مدت غلظت‌های مختلف کلرید سدیم بر برخی از ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی شمعدانی معطر

شماره صفحات

۸۹-۱۰۳

اسداله سهراب نژاد

کارشناس فضای سبز سازمان سیما، منظر و فضای سبز شهرداری شیراز، شیراز، ایران.

\* نویسنده مسئول: [asadollah.sohrabnezhad@gmail.com](mailto:asadollah.sohrabnezhad@gmail.com)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۰۹

### چکیده

تنش شوری از عوامل مهم محدودکننده رشد گیاهان است و این پژوهش به بررسی برخی از پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه شمعدانی معطر در بستر پیت تحت تنش شوری ناشی از کلرید سدیم پرداخت. نتایج نشان داد که با افزایش شوری بستر (از ۰/۶۲ تا ۳/۷۲ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر)، غلظت سدیم (۴ تا ۱۶ برابر) و کلر (۴ تا ۶ برابر) در برگ‌ها به طور معنی‌داری افزایش یافت. در حالی که غلظت پتاسیم در سطوح شوری بالاتر (۲/۴۲ تا ۳/۷۲ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر) ۲۰ تا ۲۷ درصد کاهش نشان داد (تغییری در سطوح پایین‌تر مشاهده نشد). افزایش شوری از ۲/۴۲ تا ۳/۷۲ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر همچنین باعث کاهش وزن تر گیاه (۲۵ تا ۶۵ درصد)، ارتفاع گیاه (۱۰ تا ۳۷ درصد) و سطح برگ (۱۵ تا ۵۵ درصد) شد. با این وجود، محتوای نسبی آب برگ‌ها تغییری نکرد و هیچ نشانه‌ای از آسیب ظاهری مانند لکه‌های قهوه‌ای در هیچ سطح شوری دیده نشد. از نظر رنگیزه‌ها، محتوای کلروفیل‌ها متناسب با غلظت نمک کاهش یافت، اما محتوای کاروتنوئیدها تحت تأثیر قرار نگرفت. در مقابل، سطوح آنتوسیانین‌ها به ویژه در غلظت‌های بالای نمک به طور معنی‌داری افزایش یافت و در بالاترین شوری (۳/۷۲ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر) حدود ۲/۵ برابر نسبت به شاهد بیشتر بود. به طور کلی، یافته‌ها حاکی از آن است که انباشت آنتوسیانین‌ها در برگ‌های شمعدانی ممکن است نقشی کلیدی در کاهش اثرات نامطلوب تنش شوری داشته باشد و این گیاه تحمل نسبی به شوری نشان می‌دهد، به طوری که می‌توان آن را در بسترها یا خاک‌های آلوده به کلرید سدیم با سطوح کمتر از ۱/۷۵ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر کشت نمود.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین، تنش اسمزی، رنگیزه، شوری و یون.

## مقدمه

واژه تنش شوری به غلظت‌های بالای نمک در خاک یا آب اشاره دارد. شوری یک عامل اصلی تنش‌زای محیطی است که رشد و نمو گیاه را محدود می‌کند و به یک مشکل جدی برای زمین‌های زراعی و فضای سبز شهری تبدیل شده است (Türkan and Demiral, 2009). در مناطق شهری، علت اصلی شوری خاک، استفاده از آب کم کیفیت است که بر رشد و نمو بسیاری از گونه‌های گیاهان زینتی در فضای سبز تأثیر منفی می‌گذارد (Cunningham *et al.*, 2008). علاوه بر این، مقادیر زیاد نمک اغلب در کمپوست ساخته شده از پسماندهای زیستی که در تولید بستر گلدانی استفاده می‌شود، وجود دارد (Weinhold and Scharpf, 1997). بنابراین، شوری یک مشکل در تولید و کشت گیاهان زینتی مورد استفاده در فضای سبز است. نژادگان گیاهان زینتی مورد استفاده در فضای سبز از نظر حساسیت به تنش شوری بسیار متفاوت هستند (Cassaniti *et al.*, 2012). برخی پژوهشگران شمعدانی را بسیار حساس به شوری می‌دانند (Kotuby-Amacher *et al.*, 2000)، اما دیگران این گونه را با حساسیت متوسط به شوری طبقه‌بندی می‌کنند (Miyamoto, 2008). غلظت بالای نمک در خاک باعث کاهش پتانسیل آب خاک و تنش اسمزی می‌شود که جذب آب توسط گیاهان را مختل می‌کند (Cassaniti *et al.*, 2012; Roy *et al.*, 2014). نتیجه این اختلالات در مدیریت آب، از دست دادن تورژسانس، مهار طویل‌شدن سلول، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش شدت فتوسنتز است (Munns and Tester, 2008; Cassaniti *et al.*, 2012). علاوه بر این، شوری باعث تنش یونی می‌شود که به دلیل جذب و انباشت یون‌های سدیم و کلر در بافت گیاهی رخ می‌دهد و تأثیر نامطلوبی بر متابولیسم، فعالیت آنزیم‌ها و DNA سلول دارد (Mahajan and Tuteja, 2005). مقادیر زیاد یون‌هایی که می‌توانند در کلروپلاست‌ها انباشت یابند، ممکن است بر تخریب رنگیزه‌های کلروپلاست تأثیر گذاشته و باعث ناپایداری کمپلکس‌های پروتئینی و کاهش نرخ فتوسنتز شوند (Tavakkoli *et al.*, 2010). اختلال در فتوسنتز منجر به افزایش تولید گونه‌های اکسیژن فعال می‌شود که باعث استرس اکسیداتیو و آسیب سلولی می‌گردد (Munns and Tester, 2008; Carillo *et al.*, 2011). اثر ثانویه تنش شوری ممکن است اختلال در جذب مواد غذایی معدنی باشد که منجر به کمبود مواد غذایی می‌شود (Munns and Tester, 2008; Carillo *et al.*, 2011). همه این اختلالات منجر به کاهش نرخ رشد و محدودیت توسعه گیاه می‌شود (Munns and Tester, 2008; Dkhil and Denden, 2012). گیاهان از راهبردهای مختلفی برای غلبه بر اثرات نامطلوب تنش‌های اسمزی و یونی ناشی از شوری استفاده می‌کنند. انباشت ترکیبات سازگار محافظتی مانند پرولین در مقاومت گیاه به شوری اهمیت زیادی دارد (Ashraf and Harris, 2004; Ashraf and Foolad, 2007; Türkan and Demiral, 2009; Surekha *et al.*, 2014). همچنین شواهدی وجود دارد که تنش شوری باعث انباشت آنتوسیانین‌ها می‌شود (Eryilmaz, 2006; Dkhil and Denden, 2012). این گروه بزرگ از رنگیزه‌های محلول در آب ممکن است از طریق به حداقل رساندن آسیب‌های اکسیداتیو، نقش مهمی در حفاظت در برابر تنش ایفا کنند (Wahid and Ghazanfar, 2006). علاوه بر این، انباشت این ترکیبات در واکوئل‌ها ممکن است پتانسیل آب برگ

را کاهش دهد که از کاهش تورژسانس جلوگیری می‌کند (Hughes et al., 2010). پژوهش‌های پیشین شامل حجم گسترده‌ای از داده‌ها در مورد پاسخ گیاهان به غلظت بالای کلریدسیدیم در محیط ریشه است. بسیاری از آزمایش‌های گذشته اغلب روی دانه‌های کشت شده در آب یا محیط‌های شنی متمرکز بودند. علاوه بر این، غلظت نمک مورد استفاده در آزمایش‌ها معمولاً به‌طور قابل توجهی با واقعیت متفاوت است. مطالعات کمتری در مورد اثرات شوری بر گیاهان زینتی رشد یافته در خاک یا بستر شور، در شرایط مزرعه یا گلخانه‌ای که بسیار نزدیک به شرایط فرآیند تولید است، انجام شده است. با توجه به موارد فوق، آزمایش‌های گلخانه‌ای به منظور ارزیابی اثر افزایش غلظت کلریدسیدیم در بستر پیت بر پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی شمعدانی انجام شد. اثر تنش طولانی‌مدت کلریدسیدیم بر محتوای آب، غلظت یون‌های کلر، سدیم و پتاسیم در برگ‌ها و همچنین پارامترهای رشد، غلظت رنگیزه‌های کلروپلاستی ارزیابی شد. انباشت آنتوسیانین‌ها در برگ‌ها به عنوان ترکیباتی که نقش مهمی در کاهش تنش شوری ایفا می‌کنند، نیز مورد بررسی قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

### تهیه گیاهان و اعمال تیمار

این آزمایش از اسفندماه ۱۴۰۱ تا تیرماه ۱۴۰۲ در گلخانه‌ای تجاری واقع در شهرستان شیراز انجام شد. بستر پیت با pH تنظیم شده روی ۶ برای کشت گیاه استفاده شد. پس از آهک‌دهی، عناصر ماکرو و میکرو به بستر اضافه شد و براساس پیشنهاد گلخانه‌دار تجاری، سطوح نهایی عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز، روی، مس، بر و مولیبدن به ترتیب و بر حسب میلی‌گرم بر دسی‌متر مکعب ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۰۰، ۷۵، ۳۵، ۳۰، ۱۰، ۲ و ۱ برای بستر تأمین گردید. از آنجا که محتوای کلسیم (۱۲۴۵ میلی‌گرم بر دسی‌متر مکعب) و منیزیم (۱۶۰ میلی‌گرم بر دسی‌متر مکعب) کافی تشخیص داده شد، این اجزا اضافه نشدند. سه قلمه ریشه‌دار شمعدانی معطر در گلدان‌های حاوی ۷ دسی‌متر مکعب بستر پیت که غلظت‌های مختلف کلرید به آن‌ها اضافه شده بود، کشت شدند. شش غلظت کلریدسیدیم شامل ۴۵۲، ۹۶۰، ۱۴۶۸، ۱۹۷۶، ۲۴۸۴ و ۲۹۹۲ میلی‌گرم بر دسی‌متر مکعب بستر استفاده شد. گلدان حاوی بستر بدون نمک که حاوی سدیم طبیعی (۲۲ میلی‌گرم بر دسی‌متر مکعب) و کلرید (۱۳ میلی‌گرم بر دسی‌متر مکعب) بود، به عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شد. پس از افزودن کلریدسیدیم، هدایت الکتریکی اولیه بسترهای مخلوط شده به شرح: ۰/۱۱ (شاهد)، ۰/۶۲، ۱/۲۸، ۱/۷۵، ۲/۴۲، ۲/۸۲ و ۳/۷۲ میلی‌زیمنس بر سانتیمتر بود. هر تیمار شامل ۱۰ گلدان با ۳ گیاه بود. در طول کشت گیاه، کوددهی تکمیلی با نیتروژن (۱۵۰ میلی‌گرم بر دسی‌متر مکعب)، فسفر (۸۰ میلی‌گرم بر دسی‌متر مکعب) و پتاسیم (۱۰۰ میلی‌گرم بر دسی‌متر مکعب) در اواسط اردیبهشت برای حفظ شرایط بهینه رشد گیاهان اعمال شد. میزان آب بستر در طول آزمایش‌ها در سطح حدود ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای نگهداری شد. آب خالص‌سازی شده توسط اسمز معکوس برای آبیاری گیاهان استفاده شد. بنابراین، محتوای سدیم و کلرید در آب بر روند آزمایش تأثیری نداشت.

### اندازه‌گیری ویژگی‌های رشدی

نمونه‌گیری از گیاهان شاهد و تیمار شده در مرحله گلدهی کامل (تیرماه) انجام شد. ۲۰ گیاه به‌طور تصادفی از هر تیمار برای اندازه‌گیری ارتفاع گیاه، وزن تر بخش هوایی و سطح پهنک برگ استفاده شد. سطح برگ با استفاده از اسکنر و نرم‌افزار فتوشاپ تعیین شد. برای این منظور، اولین برگ بالای گل‌آذین از ۲۰ گیاه جمع‌آوری شد. نتایج میانگین تمام اندازه‌گیری‌ها هستند.

### اندازه‌گیری یون‌های سدیم، کلر و پتاسیم

محتوای معدنی در برگ‌های خشک شده تعیین شد. برگ‌های کاملاً بالغ حاصل از ۹ گیاه تصادفی انتخاب شده به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک شده و سپس آسیاب شدند. غلظت سدیم و پتاسیم با دستگاه فیلم‌فوتومتر با مخلوط اسیدسولفوریک و آب اکسیژنه تعیین شد. برای تعیین کلر، مواد گیاهی در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد خاکستر شدند. سپس باقیمانده در آب دیونیزه داغ حل شد و پس از ته‌نشینی، محتوای کلر در محلول شفاف با روش نفلومتری تعیین شد (Karlen, 1998). نتایج اندازه‌گیری‌ها به صورت درصد ماده خشک بیان شد.

### اندازه‌گیری پارامترهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی

برگ‌های کاملاً بالغ (در مرحله رشدی مشابه) به‌صورت تصادفی از پنج گیاه گرفته شده و برای برآورد محتوای آب، رنگیزه‌های کلروپلاست و محتوای آنتوسیانین استفاده شد. محتوای آب بافت بلافاصله برآورد شد. مواد گیاهی برای برآورد سایر پارامترها در نیتروژن مایع منجمد و تا زمان تجزیه در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

### محتوای آب

محتوای آب در برگ‌ها با اندازه‌گیری محتوای نسبی آب (RWC) بر اساس روش استاندارد توسعه یافته توسط (Weatherly, 1950) برآورد شد و با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید:

$$\text{رابطه ۱} = \frac{\text{وزن خشک} - \text{وزن تر}}{\text{وزن خشک} - \text{وزن تر در تورژسانس کامل}} = \text{محتوای نسبی آب}$$

### رنگیزه‌های کلروپلاست

محتوای کل کلروفیل و کاروتنوئیدها در این آزمایش اندازه‌گیری شد (Hiscox and Israelstam, 1979). ۱۰۰ میلی‌گرم نمونه‌های برگ به قطعات کوچک بریده شدند و رنگیزه‌ها در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد با استفاده از ۵ میلی‌لیتر دی‌متیل سولفوکسید استخراج شدند. چگالی نوری عصاره در ۴۸۰، ۴۴۹ و ۶۶۳ نانومتر اندازه‌گیری شد. محتوای کل کلروفیل و کاروتنوئیدها با استفاده از معادلات اصلاح‌شده آرنون (Wellburn, 1994) محاسبه و بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر بیان شد.

## رنگیزه‌های آنتوسیانین

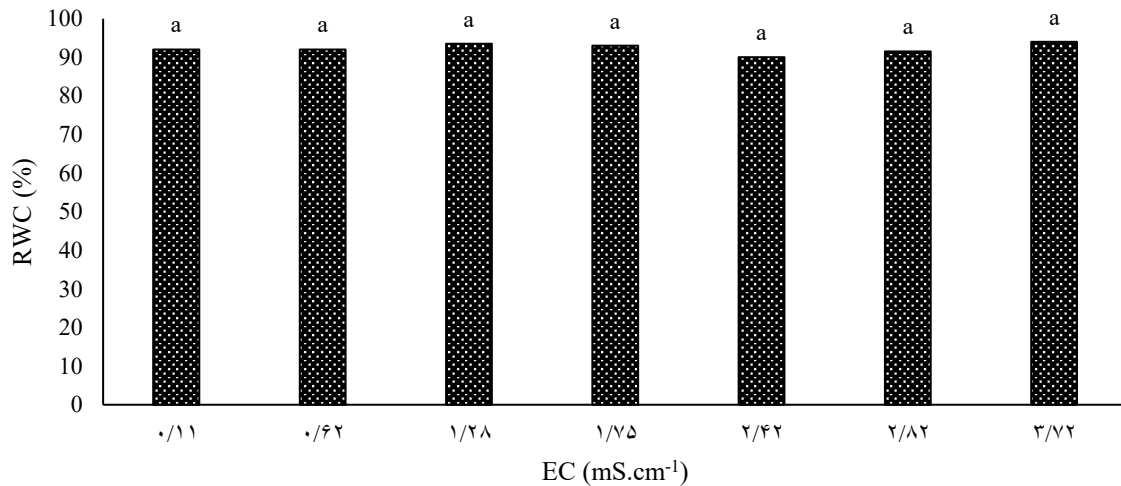
محتوای آنتوسیانین‌ها به صورت کلریمتری تعیین شد (Wang *et al.*, 2000). مواد گیاهی (۵۰۰ میلی‌گرم) با ۳ میلی‌لیتر اسید هیدروکلریک ۰/۵ نرمال همگن شده و به مدت ۱۰ دقیقه در ۶۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. جذب محلول در ۵۳۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. محتوای آنتوسیانین در بافت برگ با استفاده از منحنی کالیبراسیون کلریدسیانین محاسبه و بر حسب میکروگرم بر گرم وزن تر بیان شد.

## تجزیه آماری

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار STATISTICA 10 (StatSoft, Tulsa, OK, USA) تجزیه شدند. آزمون دانکن در سطح ۵ درصد برای تعیین تفاوت‌های معنی‌دار بین میانگین‌ها استفاده شد.

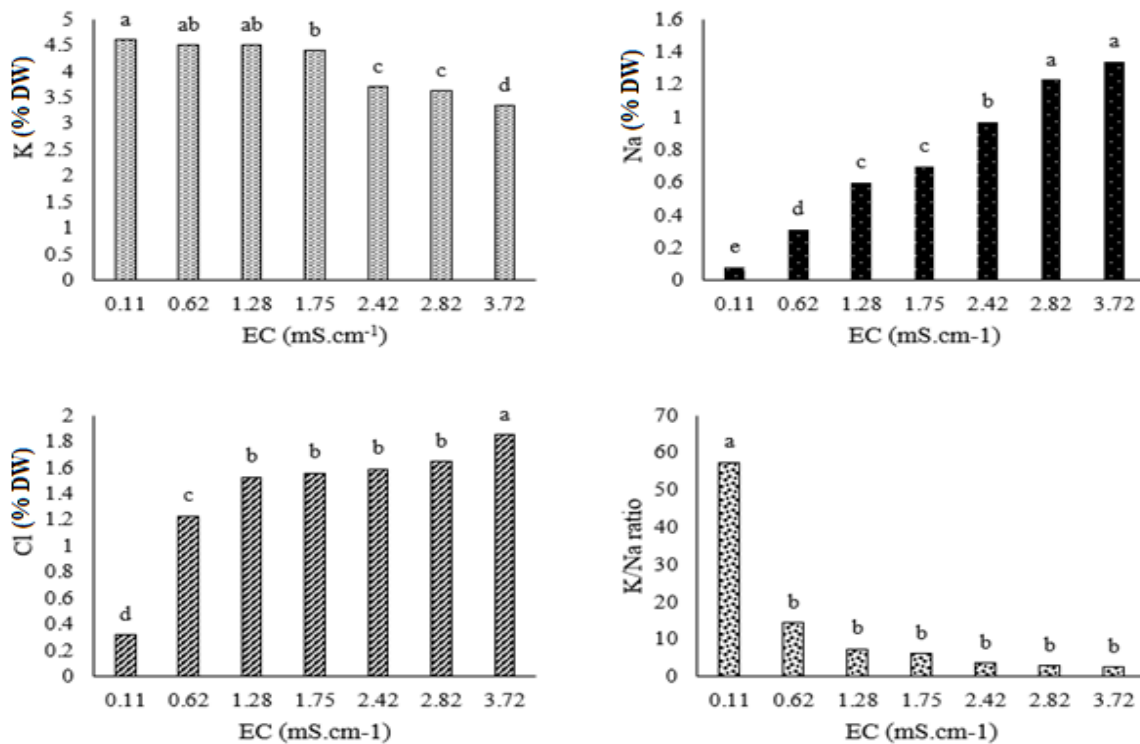
## نتایج و بحث

نتایج نشان داد که تنش کلریدسیدیم اعمال شده باعث تغییر در وضعیت آب برگ‌های شمعدانی نشد که نشان می‌دهد گیاهان از تنش کم‌آبی رنج نمی‌برند (شکل ۱). در مقابل، غلظت یون‌های پتاسیم، سدیم و کلر در برگ‌ها با افزایش غلظت کلریدسیدیم در بستر پیت به طور معنی‌داری و با الگوهای متفاوت تغییر کرد (شکل ۲). تنش شوری باعث کاهش معنی‌دار غلظت یون‌های پتاسیم در برگ‌های شمعدانی رشد یافته در بستر حاوی سه غلظت بالاتر کلریدسیدیم (۲/۴۲، ۲/۸۲ و ۳/۷۲ میلی‌زیمنس بر سانتیمتر) شد. غلظت یون‌های پتاسیم در برگ‌های گیاهان رشد یافته در بستر حاوی ۲/۴۲ و ۲/۸۲ میلی‌زیمنس بر سانتیمتر و ۳/۷۲ میلی‌زیمنس بر سانتیمتر به ترتیب حدود ۲۰ و ۲۷ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت. برعکس، غلظت یون‌های سدیم و کلر در برگ‌های شمعدانی با افزایش شوری در محیط رشد افزایش یافت (شکل ۲). غلظت سدیم در برگ‌های گیاهان شاهد در سطح ۰/۰۸ درصد بود و کمتر از غلظت کلر (۰/۳۲ درصد) بود. غلظت هر دو یون در برگ‌های شمعدانی رشد یافته در بستر پیت حاوی کمترین غلظت کلریدسیدیم (۰/۱۱ میلی‌زیمنس بر سانتیمتر) حدود ۳/۸ برابر افزایش یافت. افزایش تدریجی غلظت کلریدسیدیم در بستر پیت منجر به افزایش بیشتر تدریجی غلظت هر دو یون در برگ‌های شمعدانی شد. با این حال، غلظت یون‌های سدیم به میزان بیشتری نسبت به یون‌های کلر افزایش یافت. در برگ‌های شمعدانی رشد یافته در بستر حاوی بالاترین غلظت کلریدسیدیم (۳/۷۲ میلی‌زیمنس بر سانتیمتر)، غلظت سدیم حدود ۱۶ برابر افزایش یافت، اما کلر تنها حدود ۶ برابر افزایش یافت. همچنین شایان ذکر است که علی‌رغم انباشت معنی‌دار این یون‌های سمی، هیچ نشانه‌ای از آسیب به صورت لکه‌های قهوه‌ای برای هیچ یک از غلظت‌های نمک مورد استفاده مشاهده نشد. در نتیجه کاهش غلظت یون‌های پتاسیم و افزایش غلظت یون‌های سدیم در برگ‌ها، کاهش نسبت یون سدیم به پتاسیم با افزایش شوری بستر مشاهده شد (شکل ۲). نتایج نشان داد که افزایش غلظت کلریدسیدیم در بستر پیت تأثیر منفی بر پارامترهای رشد داشت (شکل ۳). پس از گذشت ۳ هفته از رشد گیاهان در بستر شور، به وضوح از نظر اندازه در مقایسه با گیاهان شاهد متفاوت بودند.



شکل ۱- محتوای آب نسبی در برگ شمعدانی رشد کرده در بستر پیت حاوی غلظت‌های مختلف کلرید سدیم. حروف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت‌های معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح ۵ درصد آزمون دانکن هستند.

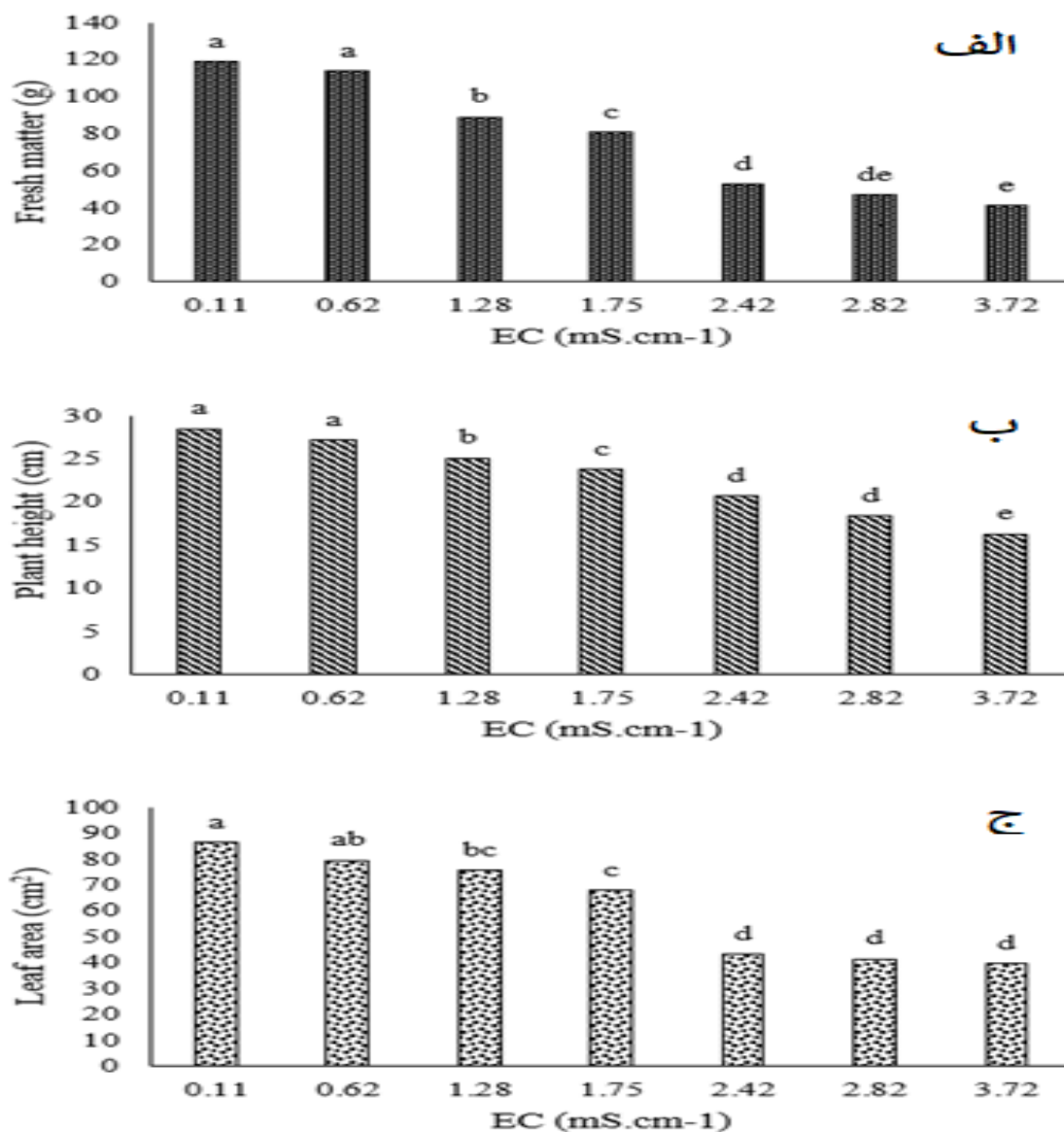
Figure 1. Relative Water Content (RWC) in the leaves of geranium grown in a peat substrate containing varying concentrations of NaCl. Same letters indicate non-significant differences between means at the 5% level based on Duncan's test.



شکل ۲- غلظت یون‌های پتاسیم (بالا-چپ)، سدیم (بالا-راست) و کلر (پایین-چپ) برحسب درصد ماده خشک و نسبت پتاسیم به سدیم (پایین-راست) در برگ شمعدانی رشد کرده در بستر پیت حاوی غلظت‌های مختلف کلرید سدیم. در هر نمودار، حروف مختلف نشان‌دهنده تفاوت‌های معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح ۵ درصد آزمون دانکن هستند.

Figure 2. Concentrations of potassium (top-left), sodium (top-right), and chloride (bottom-left) ions expressed as a percentage of dry matter, and the potassium/sodium ratio (bottom-right) in the leaves of geranium grown in a peat substrate containing varying concentrations of NaCl. In each graph, different letters indicate significant differences between means at the 5% level based on Duncan's test.

در پایان آزمایش، کاهش قابل توجهی در وزن تر، ارتفاع گیاهان و سطح برگ در شمعدانی رشد یافته در بستر تیمار شده با غلظت‌های کلرید سدیم از ۱/۲۸ تا ۳/۷۲ میلی‌زیمنس بر سانتیمتر مشاهده شد. این غلظت‌های فزاینده کلرید سدیم باعث کاهش پیش‌رونده همه پارامترهای رشد شدند: کاهش وزن تر گیاه بین ۲۵ تا ۶۵ درصد، ارتفاع گیاهان ۱۰ تا ۳۷ درصد و سطح برگ ۱۵ تا ۵۶ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت (شکل ۳).



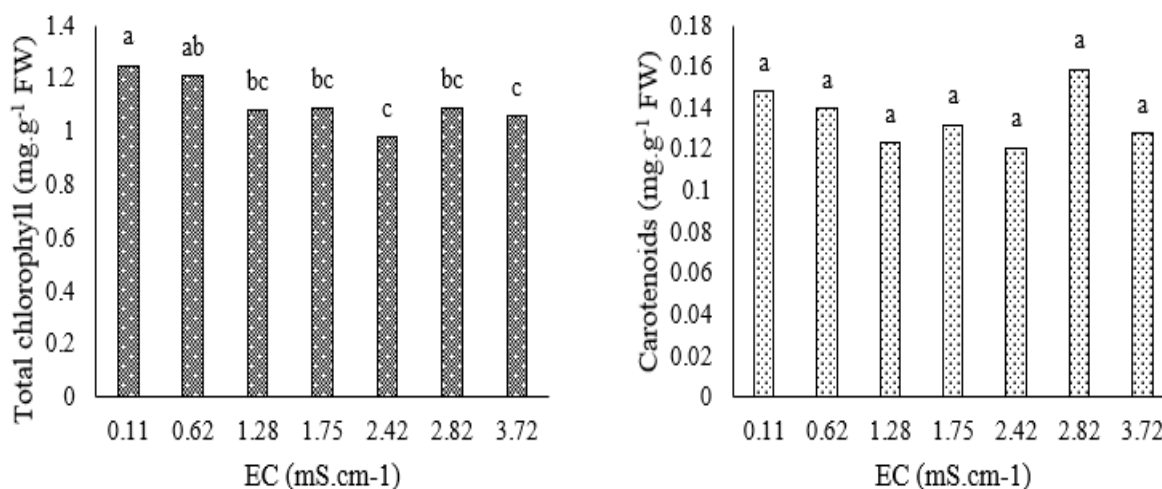
شکل ۳- ویژگی‌های رشدی وزن تر (الف)، ارتفاع گیاه (ب)، سطح برگ (ج) شمعدانی رشد کرده در بستر پیت حاوی غلظت‌های مختلف کلرید سدیم. در هر نمودار، حروف مختلف نشان‌دهنده تفاوت‌های معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح ۵ درصد آزمون دانکن هستند.

**Figure 3.** Growth characteristics including fresh matter (top), plant height (middle), and leaf area (bottom) of geranium grown in a peat substrate containing varying concentrations of NaCl. In each graph, different letters indicate significant differences between means at the 5% level based on Duncan's test.

تنش شوری به طور متفاوتی بر محتوای رنگیزه‌های کلروپلاست در برگ‌های شمعدانی تأثیر گذاشت (شکل ۴). کاهش

معنی‌دار در محتوای کلروفیل کل در برگ‌های گیاهان رشد یافته در بستر پیت حاوی غلظت‌های کلرید سدیم از ۱/۲۸ تا ۳/۷۲

میلی‌زیمنس بر سانتیمتر مشاهده شد. سطح رنگیزه‌های کلروفیل در برگ‌های این گیاهان ۱۵ تا ۲۲ درصد کمتر از شاهد بود. از سوی دیگر، غلظت‌های اعمال شده کلرید سدیم باعث تغییر در محتوای کاروتنوئیدها در برگ‌های شمعدانی نشد.

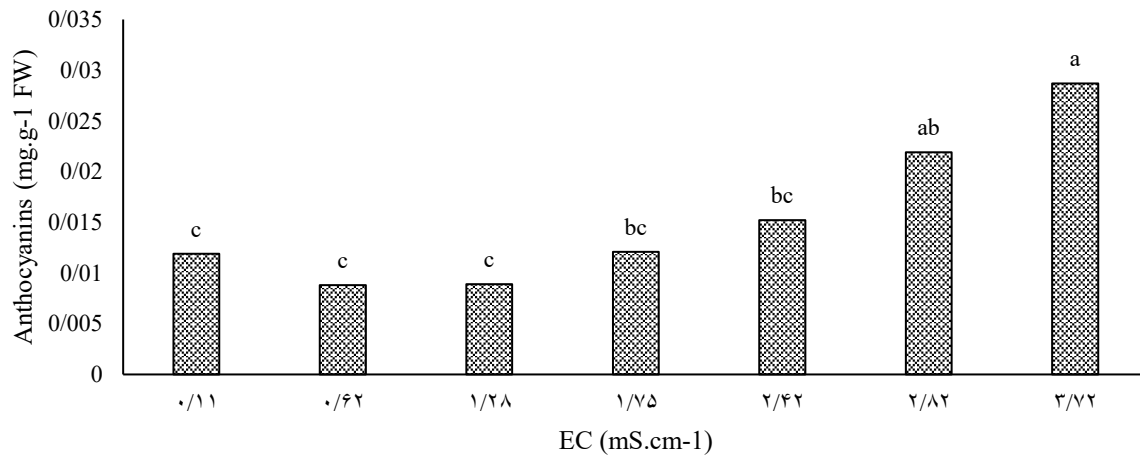


شکل ۴- محتوای رنگدانه‌های کلروفیل کل (چپ) و کاروتنوئیدها (راست) در برگ‌های شمعدانی رشد کرده در بستر پیت حاوی غلظت‌های مختلف کلرید سدیم. در هر نمودار، حروف مختلف نشان‌دهنده تفاوت‌های معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح ۵ درصد آزمون دانکن هستند.

**Figure 4. Total chlorophyll (left) and carotenoid (right) pigment contents in the leaves of geranium grown in a peat substrate containing varying concentrations of NaCl. In each graph, different letters indicate significant differences between means at the 5% level based on Duncan's test.**

تغییرات در محتوای آنتوسیانین‌ها در برگ‌های شمعدانی رشد یافته در بستر پیت حاوی غلظت‌های فزاینده کلرید سدیم در شکل ۵ ارائه شده است. محتوای آنتوسیانین‌ها به طور معنی‌داری در برگ‌های گیاهان رشد یافته در بستر پیت با افزودن دو غلظت بالاتر کلرید سدیم (۲/۸۲ و ۳/۷۲ میلی‌زیمنس بر سانتیمتر) افزایش یافت. افزایش این متابولیت‌ها در هر دو غلظت کلرید سدیم مشابه نسبت به تیمار شاهد بود. با این حال، شایان ذکر است که محتوای آنتوسیانین‌ها حدود ۲/۵ برابر نسبت به شاهد افزایش یافت. نتایج به‌دست آمده تأثیر قابل توجه شوری بر رشد شمعدانی را تأیید می‌کند که با کاهش تدریجی انباشت وزن تر بخش‌های هوایی و کاهش سطح برگ با افزایش غلظت یون‌های سدیم و کلر در بستر پیت آشکار شد. این عامل تنش‌زا حداقل در کاهش ارتفاع گیاه نقش داشت. بازداری رشد برگ تحت تنش شوری توسط اثر اسمزی نمک در خاک ایجاد می‌شود که بر کاهش تأمین آب به سلول‌های برگ و کاهش فشار تورژسانس تأثیر می‌گذارد (Munns and Tester, 2008). در مطالعه حاضر، کاهش در RWC برگ تحت تأثیر هیچ یک از غلظت‌های داده شده کلرید سدیم پیدا نشد که نشان‌دهنده عدم تأثیر منفی تنش شوری بر آبرسانی سلول‌ها است. عدم تفاوت در RWC بین گیاهان آبیاری شده یک بار در هفته با محلول حاوی ۰ تا ۲۹۵۰ میلی‌گرم بر دسی‌متر مکعب کلرید سدیم نیز در زنبق مشاهده شد (Veatch-Blohm *et al.*, 2012). توانایی حفظ تورژسانس در آن گیاه احتمالاً ناشی از انباشت یون‌های سدیم و همچنین کلسیم و منیزیم در برگ‌ها بود. در گیاهان رشد یافته

در غلظت بالای کلرید سدیم، به دلیل شباهت بین این یون‌ها، کانال‌های وابسته به ولتاژ یون پتاسیم، به نظر می‌رسد یکی از مسیرهای ورود یون‌های سدیم به ریشه باشند (Xiong and Zhu, 2002; Tavakkoli *et al.*, 2010). انتقال یون‌های سدیم و کلر از ریشه به بخش‌های هوایی گیاهان و انباشت در واکوئل‌ها می‌تواند به عنوان وسیله‌ای برای کاهش پتانسیل آب سلول‌ها و حفظ تعادل اسمزی بین سلول‌های گیاهی و پتانسیل اسمزی خارج سلولی پایین ناشی از نمک عمل کند که ممکن است مسئول حفظ تورژسانس باشد (Xiong and Zhu, 2002; Verslues *et al.*, 2006).



شکل ۵- محتوای آنتوسیانین‌ها در برگ‌های شمعدانی رشد کرده در بستر پیت حاوی غلظت‌های مختلف کلرید سدیم. حروف مختلف نشان‌دهنده تفاوت‌های معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح ۵ درصد آزمون دانکن هستند.

**Figure 5. Anthocyanin content in the leaves of geranium grown in a peat substrate containing varying concentrations of NaCl. Different letters indicate significant differences between means at the 5% level based on Duncan's test.**

علاوه بر این، جداسازی این یون‌ها در واکوئل به عنوان یک مکانیسم مهم تحمل شوری در نظر گرفته می‌شود (Roy *et al.*, 2014). نتایج ارائه شده در اینجا افزایش چند برابری غلظت یون‌های سدیم و کلر در برگ‌های شمعدانی رشد یافته در بستر شور را نشان داد. با توجه به اینکه کاهش در غلظت یون‌های پتاسیم بسیار کمتر بود، می‌توان فرض کرد که حفظ تورژسانس در برگ‌های شمعدانی تحت تنش شوری ممکن است ناشی از انباشت یون‌های سدیم و کلر باشد. نتایج ارائه شده نشان می‌دهد که کاهش قابل مشاهده سطح برگ در شمعدانی ناشی از کاهش RWC نبود. به طور مشابه، بازداری رشد و عدم تغییر در پتانسیل تورژسانس نیز در برگ‌های ذرت تحت تنش شوری طولانی‌مدت مشاهده شد (Cramer and Bowman, 1991). برخی پژوهشگران نشان داده‌اند که محدودیت رشد در برگ‌ها و ریشه‌های گیاهان در معرض تنش‌های شوری و خشکی متوسط طولانی‌مدت و کوتاه‌مدت، ناشی از کاهش قابلیت گسترش دیواره سلولی بود (Neumann, 1993; Chazen and Neumann, 1994; Schultz and Matthews, 1993). بنابراین، عدم وجود رابطه بین کاهش ناشی از تنش شوری در سطح برگ و RWC که در مطالعه حاضر آشکار شد، نشان می‌دهد که بازداری رشد می‌تواند با کاهش قابلیت گسترش دیواره سلولی مرتبط باشد. چنین تغییراتی در ویژگی‌های دیواره سلولی ممکن است دلیل اصلی محدودیت رشد در شمعدانی در معرض غلظت‌های

کلرید سدیم باشد. این ممکن است به طور غیرمستقیم نشان دهد که یون‌های سدیم و کلر عمدتاً در واکنش انباشت می‌یابند. با این حال، از همبستگی غلظت یون‌های سدیم و کلر در برگ‌ها با سطح برگ و انباشت وزن تر، تأثیر منفی این یون‌ها بر رشد گیاه آشکار شد. بنابراین، انباشت یون‌های سدیم و کلر می‌تواند در سیتوپلاسم نیز اتفاق بیفتد و بر متابولیسم سلول تأثیر نامطلوب بگذارد. کاهش رشد می‌توانست ناشی از اثر سمی یون‌های سدیم و کلر باشد که شامل اختلال در تنظیم روزنه‌ای، تخریب کلروفیل، کاهش نرخ فتوسنتز و سایر فرآیندهای مسئول رشد است (Ashraf and Harris, 2004; Mahajan and Tuteja, 2005; Munns and Tester, 2008; Tavakkoli *et al.*, 2010; Cassaniti *et al.*, 2012). کاهش رشد در زنبق‌های آبیاری شده با آب شور ناشی از بازداری فتوسنتز از طریق کاهش محتوای رنگیزه‌های کلروپلاست و هدایت روزنه‌ای بود (Veatch-Blohm *et al.*, 2012). کاهش تدریجی در محتوای کل کلروفیل در برگ‌های گوجه‌فرنگی، کلم قرمز، سیب‌زمینی، خیار، پنبه و جو در معرض غلظت‌های بالای نمک مشاهده شد (Stepien and Klobus, 2006; Eryilmaz, 2006; Jamil *et al.*, 2007; Meloni *et al.*, 2003; Tavakkoli *et al.*, 2011). کاهش معنی‌دار سطح کلروفیل در برگ‌های شمعدانی در گیاهان رشد یافته در بستر حاوی سه غلظت بالاتر کلرید سدیم که بیشترین تأثیر منفی را بر رشد داشتند، ثبت شد. کاهش محتوای کلروفیل ممکن است منجر به تخریب ساختار کلروپلاست، ایجاد ناپایداری در کمپلکس‌های پروتئین-رنگیزه و آسیب به سیستم آنتن PSII شود (Stepien and Klobus, 2006). در طول این شوری، برخی سازگاری‌های گیاهان شمعدانی با شرایط نامطلوب تنش ممکن است اتفاق افتاده باشد. تأثیر مثبت بر حفاظت از دستگاه فتوسنتزی، به ویژه در سطوح شوری بالاتر، می‌تواند ناشی از انباشت آنتوسیانین‌ها باشد که منجر به تنظیم اسمزی می‌شود (Carillo *et al.*, 2011; Hayat *et al.*, 2012). علاوه بر این، آنتوسیانین‌ها ممکن است سلول‌های گیاهی را از آسیب اکسیداتیو ناشی از تنش شوری محافظت کنند (Verslues and Sharma, 2010; Hayat *et al.*, 2012). علاوه بر کاهش آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از تنش شوری، آنتوسیانین‌ها می‌توانند به یون‌های سمی متصل شده و از ساختارهای سیتوپلاسمی و کلروپلاست‌ها در برابر اثرات نامطلوب آنها بر فتوسنتز محافظت کنند (Wahid and Ghazanfar, 2006). افزایش سطح آنتوسیانین‌ها در برگ‌های مینای چندساله و همچنین در لپه‌ها و هیپوکوتیل دانه‌های گوجه‌فرنگی و کلم قرمز تیمار شده با غلظت‌های مختلف کلرید سدیم مشاهده شد (Eryilmaz, 2006; Khavari-Nejad *et al.*, 2008). یک رقم متحمل نیشکر با سطح آنتوسیانین سه برابر بالاتر از رقم حساس مشخص شد (Wahid and Ghazanfar, 2006).

### نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد که آنتوسیانین‌ها ممکن است نقش مفیدی در تحمل شمعدانی مورد بررسی به تنش شوری ایفا کنند. این ترکیبات ممکن است به عنوان تنظیم‌کننده‌های اسمزی و همچنین پاک‌کننده‌های رادیکال‌های اکسیژن عمل کرده و از ساختارهای سیتوپلاسمی و کلروپلاست‌ها در برابر اثرات نامطلوب یون‌های سمی محافظت کنند. علیرغم کاهش پارامترهای

رشد، هیچ کاهشی در محتوای آب برگ، یا نشانه‌هایی از آسیب مانند قهوه‌ای شدن برگ و نکروز مشاهده نشد. غلظت نمکی که در آن کاهش ۵۰ درصدی وزن تر مشاهده شد، به عنوان سطح آستانه شوری برای یک گیاه خاص در نظر گرفته می‌شود (Wallender and Tanji, 2012). بر اساس پاسخ رشد به شوری، داده‌های ما نشان می‌دهد که شمعدانی می‌تواند به عنوان گیاهی با تحمل متوسط به شوری در نظر گرفته شود. سه سطح بالاتر شوری، باعث کاهش وزن تر از ۵۰ تا ۶۵ درصد شدند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که رقم شمعدانی مورد بررسی می‌تواند برای کشت در بستر و خاک آلوده به غلظت‌های متوسط کلرید سدیم (کمتر از ۱۹۷۶ میلی‌گرم کلرید سدیم بر دسی‌متر مکعب) پیشنهاد می‌شود.

## منابع

- Ashraf, M., & Foolad, M. R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59(2), 206–216.
- Ashraf, M., & Harris, P. J. C. (2004). Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science*, 166(1), 1–3.
- Carillo, P., Annunziata, M. G., Pontecorvo, G., Fuggi, A., & Woodrow, P. (2011). Salinity stress and salt tolerance. In A. K. Shanker & B. Venkateswarlu (Eds.), *Abiotic stress in plants—mechanisms and adaptations* (pp. 21–38). InTech.
- Cassaniti, C., Romano, D., & Flowers, T. J. (2012). The response of ornamental plants to saline irrigation water. In I. García-Garizábal (Ed.), *Irrigation-water management, pollution and alternative strategies* (pp. 131–139). InTech.
- Chazen, O., & Neumann, P. M. (1994). Hydraulic signals from the roots and rapid cell wall hardening in growing maize leaves, are primary responses to PEG induced water deficit. *Plant Physiology*, 104(4), 1385–1392.
- Cramer, G. R., & Bowman, D. C. (1991). Kinetics of maize leaf elongation 1. Indirect yield threshold limit short term steady state elongation rates after exposure to salinity. *Journal of Experimental Botany*, 42(11), 1417–1426.
- Cunningham, M. A., Snyder, E., Yonkin, D., Ross, M., & Elsen, T. (2008). Accumulation of deicing salts in soils in urban environment. *Urban Ecosystems*, 11(1), 17–31.
- Dkhil, B. B., & Denden, M. (2012). Effect of salt stress on growth, anthocyanins, membrane permeability and chlorophyll fluorescence of okra (*Abelmoschus esculentus* L.) seedlings. *American Journal of Plant Physiology*, 7(4), 174–183.
- Eryilmaz, F. (2006). The relationships between salt stress and anthocyanin content in higher plants. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 20(1), 47–52.
- Hayat, S., Hayat, Q., Alyemeni, M. N., Wani, A. S., Pichtel, J., & Ahmed, A. (2012). Role of proline under changing environments. *Plant Signaling & Behavior*, 7(11), 1–11.
- Hiscox, J. D., & Israelstam, G. F. (1979). A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Canadian Journal of Botany*, 57(11), 1332–1334.
- Hughes, N. M., Reinhardt, K., Field, T. S., Gerardi, A. R., & Smith, W. K. (2010). Association between winter anthocyanin production and drought stress in angiosperm evergreen species. *Journal of Experimental Botany*, 61(6), 1699–1709.
- Jamil, M., Rehman, S., Lee, K. J., Kim, J. M., Kim, H. S., & Rha, E. S. (2007). Salinity reduced growth PS2 photochemistry and chlorophyll content in radish. *Scientia Agricola*, 64(2), 111–118.
- Karlen, D. L. (Ed.). (1998). Handbook of reference methods for plant analysis. CRC Press, Taylor & Francis Group.

- Khavari-Nejad, R. A., Bujar, M., & Attaran, E. (2008).** Evaluation of anthocyanin contents under salinity (NaCl) stress in *Bellis perennis* L. In M. A. Khan & D. J. Weber (Eds.), *Ecophysiology of high salinity tolerant plants* (pp. 124–134). Springer.
- Kotuby-Amacher, J., Koenig, R., & Kitchen, B. (2000).** Salinity and plant tolerance (AGSO-03). Utah State University Extension.
- Lu, C., Qiu, N., Lu, Q., Wang, B., & Kuang, T. (2002).** Does salt stress lead to increased susceptibility of photosystem II to photoinhibition and changes in photosynthetic pigment composition in halophyte *Suaeda salsa* grown outdoors? *Plant Science*, 163(5), 1063–1068.
- Mahajan, S., & Tuteja, N. (2005).** Cold, salinity and drought stresses: an overview. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 444(2), 139–158.
- Meloni, D. A., Oliva, M. A., Martinez, C. A., & Cambra, J. (2003).** Photosynthesis and activity of superoxide dismutase, peroxidase and glutathione reductase in cotton under salt stress. *Environmental and Experimental Botany*, 49(1), 69–76.
- Miyamoto, S. (2008).** Salt tolerance of landscape plants common to the southwest (Report TR-316). Texas A&M University System.
- Munns, R., & Tester, M. (2008).** Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651–681.
- Neumann, P. M. (1993).** Rapid and reversible modification of extension capacity of cell walls in elongating maize leaf tissue responding to root addition and removal of NaCl. *Plant, Cell & Environment*, 16(9), 1107–1114.
- Roy, S. J., Negrão, S., & Tester, M. (2014).** Salt resistant crop plants. *Current Opinion in Biotechnology*, 26, 115–124.
- Schultz, H. R., & Matthews, M. A. (1993).** Growth, osmotic adjustment, and cell wall mechanics of expanding grape leaves during water deficits. *Crop Science*, 33(2), 287–294.
- Tavakkoli, E., Rengasamy, P., & McDonald, G. K. (2010).** High concentration of Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> ions in soil solution have simultaneous detrimental effects on growth of faba bean under salinity stress. *Journal of Experimental Botany*, 61(15), 4449–4459.
- Tavakkoli, E., Fatehi, F., Coventry, S., Rengasamy, P., & McDonald, G. K. (2011).** Additive effects of Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> ions on barley growth under salinity stress. *Journal of Experimental Botany*, 62(6), 2189–2203.
- Türkan, I., & Demiral, T. (2009).** Recent developments in understanding salinity tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 67(1), 2–9.
- Veatch-Blohm, M. E., Malinowski, M., & Keefer, D. (2012).** Leaf water status, osmotic adjustment and carbon assimilation in colored calla lilies in response to saline irrigation. *Scientia Horticulturae*, 144, 65–73.
- Verslues, P. E., & Sharma, S. (2010).** Proline metabolism and its implications for plant-environment interaction. *The Arabidopsis Book*, 8, e0140. doi:10.1199/tab.0140
- Verslues, P. E., Agarwal, M., Katiyar-Agarwal, S., Zhu, J., & Zhu, J. K. (2006).** Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. *The Plant Journal*, 45(4), 523–539.
- Wahid, A., & Ghazanfar, A. (2006).** Possible involvement of some secondary metabolites in salt tolerance of sugarcane. *Journal of Plant Physiology*, 163(7), 723–730.
- Wallender, W. W., & Tanji, K. K. (Eds.). (2012).** *Agricultural salinity assessment and management* (2nd ed.). American Society of Civil Engineers.
- Wang, H., Arakawa, O., & Motomura, Y. (2000).** Influence of maturity and bagging on relationship between anthocyanin accumulation and phenylalanine ammonia-lyase (PAL) activity in 'Jonathan' apples. *Postharvest Biology and Technology*, 19(2), 123–128.

**Weatherly, P. E. (1950).** Studies in water relation of cotton plants. The measurement of water deficits in leaves. *New Phytologist*, 49(1), 81–97.

**Weinhold, F., & Scharpf, H. C. (1997).** Tolerance of ornamental plants to salt, sodium and chloride in potting substrates containing compost made of separately collected organic residues. *Acta Horticulturae*, 450, 221–228.

**Wellburn, A. R. (1994).** The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology*, 144(3), 307–313.

**Xiong, L., & Zhu, J. K. (2002).** Salt tolerance. *The Arabidopsis Book*, 1, e0048. doi:10.1199/tab.0048