

اثر محلول پاشی اسیدآبسیزیک و ملاتونین بر خصوصیات مرفولوژیک و اجزای عملکرد گیاه سالیکورنیا (*Salicornia europaea* L.) تحت شرایط تنش شوری

مهرنسا قره‌خانی^۱، حسن سلطانیلو^{۲*}، حسن مختارپور^۳، سیده ساناز رمضانپور^۴، سارا خراسانی‌نژاد^۵، مسعود مشهدی اکبربوجار^۶، الهه توکل^۶

۱- به ترتیب دانشجو و دانشیار، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده تولید گیاهی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،
۲- استادیار مرکز تحقیقات علوم کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، ۳- استادیار، گروه باغبانی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم
کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۴- استادیار، گروه سلولی و مولکولی، دانشکده علوم زیستی دانشگاه خوارزمی تهران،
۵- دانشیار گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱/۱۶ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۳/۱۸

چکیده

گیاه سالیکورنیا از این نظر حائز اهمیت است که به عنوان یک گیاه شورزیست، قابلیت کشت در نواحی شور و آبیاری با آب‌های نامتعارف و خیلی شور را دارا می‌باشد. به منظور بررسی اثر کاربرد فیتوهورمون‌ها برای تعدیل شوری بر صفات رویشی و فیزیولوژیکی گیاه سالیکورنیا (*Salicornia europaea* L.)، آزمایشی در سال ۱۳۹۸ در گلخانه‌ای واقع در شهرستان گرگان انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اول، سطوح مختلف شوری (صفر، ۴۰۰ و ۶۰۰ میلی‌مولار) و عامل دوم تیمار هورمون (عدم مصرف هورمون، اسیدآبسیزیک ۵۰ میکرومولار، ملاتونین ۵۰ میکرومولار و اثر توأم هردو هورمون) به صورت محلول پاشی روی اندام هوایی بود. نتایج نشان داد که اثر متقابل تنش شوری و هورمون بر صفات ارتفاع اندام هوایی، تعداد شاخه فرعی، وزن تر ساقه و ریشه، وزن دانه و وزن خشک سنبله و کل اندام هوایی گیاه سالیکورنیا در سطح یک درصد ($P < 0.01$) و ارتفاع و نشت یونی (LE) اندام هوایی در سطح پنج درصد ($P < 0.05$) معنی دار شد. بیشترین مقدار خصوصیات عملکردی وزن دانه و وزن خشک سنبله و کل اندام هوایی، به ترتیب با ۱۱۰ (۱/۱ برابر)، ۱۹۵ (۱۹/۵ برابر) و ۲۴۵ (۲۴/۵ برابر) درصد افزایش نسبت به شاهد، در تیمار شوری ۴۰۰ میلی‌مولار و محلول پاشی توأم اسیدآبسیزیک و ملاتونین بدست آمد. در بررسی ضرایب همبستگی، صفت وزن تر ساقه با صفات وزن خشک کل اندام هوایی و وزن تر ریشه در سطح یک درصد ($P < 0.01$) و صفات تعداد شاخه فرعی، وزن خشک سنبله و وزن دانه در سطح پنج درصد ($P < 0.05$) و صفت وزن تر ریشه با صفات تعداد شاخه فرعی، وزن خشک سنبله، وزن دانه و وزن خشک کل اندام هوایی در سطح پنج درصد ($P < 0.05$) همبستگی مثبت و معنی دار داشتند. محلول پاشی توأم اسیدآبسیزیک و ملاتونین می‌تواند به گیاه در تحمل بیشتر تنش شوری و افزایش خصوصیات عملکردی (به خصوص ملاتونین در اجزای عملکرد گیاه) کمک شایانی کند.

واژه‌های کلیدی: محلول پاشی، معنی داری، نشت یونی، همبستگی.

Effects foliar spraying of abscisic acid and melatonin on *Salicornia europaea* L. morphological characteristics and yield components under salinity stress

Mehrnesa Qarehkhan¹, Hassan Soltanloo^{2*}, Hassan Mokhtarpour³, Seideh Sanaz Ramezani², Sarah Khorasaninejad⁴, Maseod Mashhadi Akbar Boojari⁵, Elahe Tavakkol⁶

1,2. Plant Breeding and Biotechnology Dept, Gorgan University of Agriculture Sciences and Natural Resources, Iran.
3. Agriculture and Natural Resources Research Center of Gorgan, Iran. 4. Horticultural Sciences, Plant Production Faculty, Gorgan University of Agriculture Sciences and Natural Resources, Iran. 5. Cellular and Molecular Department, Tehran University of Kharazmi, Iran. 6. Plant Breeding and Biotechnology Dept, Shiraz University of Agriculture, Shiraz, Iran.

(Received: April 4, 2020 - Accepted: June 7, 2020)

ABSTRACT

Importance of *Salicornia* as a halophyte plant is the ability to grow in saline and irrigated areas with unusual and highly saline water. In order to investigate the effect of phytohormones for salinity adjustment on vegetative and physiological traits of *Salicornia europaea* L., an experiment was conducted in a greenhouse located in Gorgan, Iran. The experiment was conducted as a factorial experiment in a completely randomized design with three replications. The first factor was different salinity levels (0, 400 and 600 mM) and the second factor was hormone treatment (without hormone, 50 mM abscisic acid, 50 mM melatonin, and the combination of both hormones) that applied as a foliar spraying. Interaction of salinity and hormones on shoot height, branch number, shoot and root wet weight, seed weight, spike and total shoot dry weights of *Salicornia* at 1% ($P < 0.01$) and shoot height and ion leakage (LE) at the 5% ($P < 0.05$) 400 mM salinity and combination of abscisic acid and melatonin

* Corresponding author E-mail: Soltanloo@gmail.com

increased the maximum yield, grain weight and spike and total shoot dry weights 110% (1.1 fold), 195% (19.5 fold) and 245% (24.5 fold), respectively. The highest of the most of the studied traits were obtained at 400 mM salinity and combination of abscisic acid and melatonin. Correlation coefficient between shoot fresh weight and root fresh and total shoot dry weights at 1% and between numbers of branches, spike dry weight and grain weight at 5% were significant. Foliar application of abscisic acid and melatonin can help the plant to tolerate salinity and increase its functional properties (especially melatonin in yield components).

Keywords: Correlation, ion leakage (LE), significant, spraying.

مقدمه

می‌تواند به‌عنوان معیار مناسبی برای انتخاب گیاهان مقاوم به شوری به کار رود (Flowers, 1997).

با توجه به این‌که بیشتر گیاهان زراعی، گلیکوفیت‌های حساس به نمک هستند، تلاش‌های اولیه برای کشت گلیکوفیت‌ها در زمین‌های شور با استفاده از روش‌های سنتی زراعی چندان امیدوار کننده نبوده است (Flowers *et al.*, 2010). راهبرد جدید جهت استفاده مجدد از زمین‌های شور، بهره‌گرفتن از یک محصول با ارزش اقتصادی و متحمل به نمک یا همان هالوفیت است (Kong & Zheng, 2014). هالوفیت‌ها از لحاظ دامنه تحمل به شوری، روند رشد و تولید در شرایط شور، دارای تنوع زیادی هستند که همین موضوع، آن‌ها را نیازمند بررسی و تحقیق فراوان نموده است. به گفته محققین، هالوفیت‌ها حتی زمانی که با آب شور دریا آبیاری می‌شوند می‌توانند عملکردی به اندازه گیاهان زراعی متعارف داشته باشند (Glenn *et al.*, 1999; Ma *et al.*, 2013).

در بین ۱۵۶۰ گونه هالوفیت، گونه‌های متفاوت سالیکورنیا به‌عنوان یکی از گونه‌های متحمل به شوری شناخته شده‌اند و ثابت شده است که حتی در غلظت نمک خاک بیش از ۱/۳ مولار، معادل دو برابر شوری آب دریا، رشد سالیکورنیا دچار اختلال نمی‌شود (Glenn *et al.*, 1999; Kim, 2001). از دیدگاه تجاری، سالیکورنیا در بازار محصولات تازه آمریکا و اروپا، به‌عنوان یک سبزی محبوب و جایگزین نمک معرفی شده است و شاخه‌های تازه آن به‌عنوان رازیانه آبی یا مارچوبه دریایی به فروش می‌رسد. سالیکورنیا در عین داشتن ارزش غذایی بالا، دارای طعم شور کافی جهت پخت و پز می‌باشد (Kim & Kim, 2010; Jaradat & Ventura & Sagi, 2013). علاوه بر تولید دانه‌های روغنی دارای محتوی پروتئینی بالا، اندام هوایی آن به‌عنوان علوفه دام نیز حائز اهمیت

همراه با زوال زیست‌محیطی و نفوذ انسان، شوری خاک به‌عنوان یک استرس غیرزنده بر گیاه افزایش یافته است و باعث کاهش محصولات کشاورزی در سراسر جهان شده است. به علت تقاضای کشاورزی در آینده، تلاش بسیاری برای افزایش تحمل به شوری در گیاهان اقتصادی مهم شده است (Vinocur, 2005). به‌دلیل بالا بودن مقدار تیخیر و تعرق و پایین بودن میزان نزولات جوی، ایران جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک طبقه‌بندی می‌شود. همراه با خشکی، یکی از مشکلات اصلی این مناطق، شوری و سدیمی بودن خاک‌ها است. بر طبق آمار موجود، سطح کل خاک‌های شور در ایران حدود ۴۴ میلیون هکتار تخمین زده می‌شود که حدود ۳۰ درصد مساحت دشت‌ها و بیش از ۵۰ درصد اراضی تحت کشت آبی کشور است (khatbaei *et al.*, 2004). تنش شوری بر تعادل جذب عناصر غذایی در بافت‌های گیاهی اثر می‌گذارد (Iqbal khan, 2019). افزایش تنش شوری سبب افزایش محتوای سدیم و کلر در گیاه می‌شود و مسمومیت در گیاه را در پی دارد. اولین تاثیر شوری بر گیاهان، تنش اسمزی است؛ شوری بالا سبب جایگزینی یون سدیم با عناصر ضروری جهت رشد گیاه، همچون کلسیم و پتاسیم می‌شود و در نتیجه کاهش نسبت پتاسیم به سدیم در گیاه به دنبال دارد (Rahnama *et al.*, 2015). بر این اساس، یکی از مکانیسم‌های مقاومت گیاه به شوری، بالا بردن نسبت پتاسیم به سدیم در شرایط تنش می‌باشد که از طریق توانایی گیاه در جذب فعال پتاسیم و جلوگیری از ورود سدیم به ریشه حاصل می‌شود (Iqbal khan, 2019). نتایج مطالعات متعدد نشان داده است که نسبت پتاسیم به سدیم در ارقام مقاوم به شوری در مقایسه با ارقام حساس بالاتر است. بنابراین وجود مقادیر بالای یون پتاسیم در گیاهان در غلظت‌های بالای نمک

برون‌زا در بسیاری از موارد در کاهش اثرات تنش‌های محیطی موثر بوده است (Anbarasi *et al.*, 2015). امروزه استفاده از ترکیباتی که بتوانند اثرات تنش‌های محیطی را کاهش دهند، از لحاظ تئوری و کاربردی، اهمیت فراوانی دارند. اثر محرک‌های زیستی در گیاه، حاصل تاثیر آن‌ها بر متابولیت‌های گیاه است که سبب تحریک بیوسنتز فیتوهورمون‌ها، تسهیل جذب عناصر غذایی، تحریک رشد ریشه و افزایش کیفیت و کمیت محصول می‌شوند (Wei *et al.*, 2015). در گیاهان، ملاتونین و اسیدآبسیزیک به‌عنوان محرک زیستی شناخته شده‌اند که موجب افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های زنده و غیرزنده و بهبود رشد و توسعه گیاه می‌شوند (Sauter *et al.*, 2001; Tan *et al.*, 2012). اسیدآبسیزیک یکی از چهار مولکول سیگنالی مهم است، به‌عنوان فیتوهورمون کاهش‌دهنده اثرات نامطلوب تنش‌ها در گیاهان عمل می‌کند. گیاهان همواره سطح پایینی از این اسید را در خود حفظ می‌کنند و در هنگام تنش‌های زنده و غیرزنده، میزان آن افزایش می‌یابد. اسیدآبسیزیک به‌ویژه برای تنظیم تعادل آب در استرس اسمزی به خوبی شناخته شده است. اسیدآبسیزیک این کار را از طریق تنظیم غلظت Ca^{2+} داخل سلولی که منجر به تنظیم فشار تورگور سلول‌های نگهبان می‌شود، انجام می‌دهد (Iqbal khan, 2019). ملاتونین (N-acetyl-5-methoxy-tryptamine) یک ترکیب ایندولی است که به‌طور طبیعی در گیاهان سنتز می‌شود. در گیاهان، ملاتونین از سلول‌های بنیادی ترشح می‌شود؛ با این حال، بیوسنتز ملاتونین در گیاهان مختلف متفاوت است. ملاتونین در اندام‌های مختلف گیاه از جمله ریشه، ساقه و برگ تولید می‌شود و میزان بیوسنتز آن تحت عوامل متعددی همچون نور، خشکی، شوری و دمای پایین متفاوت است (Jibiao *et al.*, 2018). استفاده برون‌زا از اسیدآبسیزیک در گیاه هالوفیت سودا (*Suaeda maritima*) در حین تنش شوری، سبب افزایش فعالیت آن‌تی‌اکسیدان شده است (Anbarasi *et al.*, 2015). در بذره‌های پیش‌تیمار شده

است. سالیکورنیا گیاهی علفی یک‌ساله، بدون‌کرک، دارای گل‌های سبزرنگ، میوه ارغوانی رنگ و قد بلند ۱۰۰-۶۰ سانتی‌متر، از خانواده تاج-خروسیان (Amaranthaceae) است. تعداد کروموزوم پایه آن $X=9$ است که ممکن است دیپلوئید ($2n=18$) یا تتراپلوئید ($2n=4X=36$) باشد (Aghaleh *et al.*, 2010). این گیاه به‌طور گسترده‌ای در باتلاق‌ها و سواحل نمکی جهان پراکنده است (Jaradat & Shahid, 2012; Gunning, 2016). به‌دلیل وجود خاک‌های شور و آب و هوای متنوع در ایران و وجود زیستگاه‌های گسترده شور در بیابان‌های گرم و معتدل، شرایط برای رشد این گونه مطلوب است، به‌طوری‌که گونه‌های متنوعی از آن در بخش‌های مرکزی، جنوب، شمال و شمال غربی ایران شامل استان‌های گلستان، اصفهان، کرج، خوزستان، هرمزگان، بوشهر و ارومیه یافت شده‌اند. اثر تنش‌های متفاوت بر پایداری کشت گونه‌های متفاوتی از سالیکورنیا توسط پژوهشگران متعددی انجام شده است (Akhami, 2007). Mohammadipourfard *et al.* (2017) با مقایسه میانگین تیمارهای شوری، بیشترین رشد و ماده خشک تولید شده را در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار و کمترین مقدار وزن خشک را در بیشترین تیمار شوری یعنی ۶۰۰ میلی‌مولار به‌دست آوردند. گرچه نمک در اکثر گیاهان سبب کاهش رشد و عملکرد می‌شود، اما در بسیاری از هالوفیت‌ها به‌عنوان یک ماده مغذی معدنی استفاده می‌شوند (Kotagiri & Kolluru, 2017)؛ بنابراین مطالعه در مورد سازوکارهای سلولی و مولکولی گیاهان هالوفیت در مقابله با شوری مانند امکان رقیق کردن یون‌های سمی، مهار ورود نمک به گیاه، تراکم نمک در سلول‌هایی با حساسیت کمتر، دفع نمک از بافت‌های مختلف، تولید تنظیم‌کننده‌های اسمزی و در عین حال حفظ رشد، می‌تواند منبع غنی از روش‌های مقاومت به شوری در گیاهان جهت انتقال به گیاهان زراعی را فراهم آورد (Kachout *et al.*, 2012; Rezaeimashaei *et al.*, 2016). استفاده از ترکیبات یا تنظیم‌کننده‌های رشد به‌صورت

مواد و روش‌ها

این پژوهش در شهر گرگان با مختصات جغرافیایی شمالی $36^{\circ} 53' 11''$ و شرقی $54^{\circ} 24' 56''$ و در شرایط گلخانه صورت گرفت. کشت در گلدان و به صورت آزمایش فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. در این آزمایش، تاثیر چهار تیمار محلول‌پاشی اندام‌های هوایی (اسیدآبسیزیک ۵۰ میکرومولار، ملاتونین ۵۰ میکرومولار و اثر توام هر دو هورمون و تیمار شاهد بدون محلول‌پاشی) و سه سطح شوری (شاهد، ۴۰۰ و ۶۰۰ میلی‌مولار) بر روی رشد رویشی گیاه سالیکورنیا (*Salicornia europaea*) مورد مطالعه قرار گرفت. خاک مورد استفاده برای پرکردن گلدان‌ها دارای شوری اولیه ۶/۶ دسی‌زمینس بر متر بود (جدول ۱).

خيار با محلول ملاتونین یک میکرومولار در حين تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار سدیم کلرید، افزایش جوانه‌زنی در مقایسه با بذریهائی با تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار بدون تیمار ملاتونین دیده شد. همچنین ملاتونین از طریق تنظیم ژن‌های کاتابولیسم اسیدآبسیزیک و جیبرلین، میزان بیان این دو هورمون در گیاه خيار (*Cucumis sativus* L.) تحت تنش شوری را افزایش داد (Zhang et al., 2013).

مطالعه جامعی در رابطه با رشد گیاه سالیکورنیا و اثر محلول‌پاشی ترکیبات مختلف در واکنش آن به تنش شوری صورت نگرفته است و اطلاعات قابل دسترسی وجود ندارد؛ بنابراین این تحقیق با هدف بررسی اثر محلول‌پاشی اسیدآبسیزیک، ملاتونین و اثر توام هر دو هورمون در شرایط تنش شوری، بر خصوصیات رشدی و محتوای یونی سالیکورنیا اروپایی (*Salicornia europaea* L.) انجام شد.

جدول ۱- مشخصات شیمیایی خاک تیمارهای آزمایشی

Table 1- Chemical properties of experimental soil site

| Sample | Ec (Ds.m ⁻¹) | Ca+mg (Meq/L) | Na (Meq/L) | SAR |
|---------|--------------------------|---------------|------------|-------|
| Witness | 6.6 | 15.6 | 60.5 | 21.7 |
| 400Mm | 44 | 33.6 | 341.25 | 83.2 |
| 600mM | 58 | 42.4 | 466.25 | 101.3 |

۱۳۹۸، چهار نشا به هر گلدان انتقال داده شد. گیاهان در دمای ۲۸-۳۳ درجه سانتی‌گراد شب و روز و رطوبت ۶۵-۷۵ درصد نگهداری شدند و آبیاری به صورت دور متداول آبیاری گیاه (دو تا سه روز) با آب غیرشور به مدت یک ماه انجام شد. محلول غذایی به میزان ۳۰ میلی‌گرم در یک لیتر آب، دو بار در هفته و کود ازت به میزان دو تا سه گرم در هر گلدان هر دو هفته یک‌بار داده شد. سپس تیمار شوری (NaCl) در سه سطح شاهد، ۴۰۰ و ۶۰۰ میلی‌مولار اعمال شد. آبیاری با آب شور تیمارها به شکل معمول، هر دو تا سه روز یک مرتبه انجام شد. محلول‌پاشی ملاتونین ۵۰ میکرومولار، اسیدآبسیزیک ۵۰ میکرومولار و محلول‌پاشی همزمان هر دو هورمون، هر هفت روز یک مرتبه (در کل چهار نوبت) به مدت یک ماه انجام شد

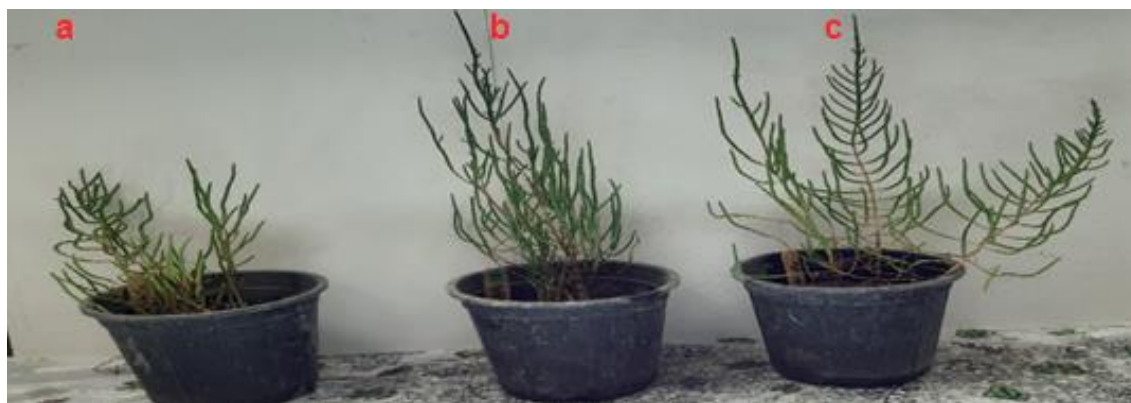
جهت انجام این آزمایش، از سالیکورنیا اروپایی (*Salicornia europaea*) اکوتیپ گرگان استفاده شد. بذرها از ساحل دریای شهرستان بندرترکمن جمع‌آوری شدند و پس از ضدعفونی با استفاده از هیپوکلرید سدیم (V/V) پنج درصد، با آب مقطر استریل شسته شدند و سپس در گلدان‌هایی با شعاع ۱۲ سانتی‌متری کاشته شدند. ابتدا جهت زهکشی مناسب، در ته گلدان‌ها سنگریزه ریخته شد. سپس هر یک از گلدان‌ها با ۳۰ درصد خاک، ۲۰ درصد کوکوپیت، ۳۰ درصد شن و ماسه و ۲۰ درصد خاکبرگ پوسیده پر شدند (Gunning, 2016).

بذرهای این گیاه در نیمه اول اسفندماه ۱۳۹۷ در سینی‌های نشا در گلخانه کشت شدند و پس از رسیدن به مرحله استقرار این نشاءها در فروردین

پودر شدند. به نمونه‌های پودر شده شاخه و ریشه، اسید کلریدریک 2M اضافه و در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. میزان سدیم، کلسیم و پتاسیم در نمونه‌های آماده شده با کمک فلیم فوتومتر اندازه‌گیری شد (Jalili, 2018). در انتهای کار و پس از رسیدگی بذر (دوره نه ماهه)، برداشت سالیکورنیا به صورت دستی انجام شد و وزن بذر و وزن خشک سنبله و اندام هوایی اندازه‌گیری شد.

(Beyrami et al., 2019).

نمونه‌برداری از ساقه و ریشه، سی روز بعد از اعمال تیمار به صورت دستی انجام شد و ارتفاع گیاه، تعداد شاخه فرعی و طول و وزن ریشه اندازه‌گیری شد و اثر سطوح مختلف شوری و هورمون بر روی این پارامترها اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری محتوای سدیم، کلسیم و پتاسیم ساقه و ریشه، ابتدا نمونه‌ها دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک و سپس



شکل ۱- اثر متقابل محلول پاشی ملاتونین و تیمار شوری در سه سطح: (a) صفر، (b) ۴۰۰ میلی‌مولار و (c) ۶۰۰ میلی‌مولار
Figure 1. Interaction effects of Melatonin and salinity treatments; a) 0, b) 400 mM and c) 600 mM.

نشت الکترولیت با اندازه‌گیری قابلیت هدایت الکتریکی که به عنوان معیار اندازه‌گیری پایداری غشای سلول می‌باشد، ارزیابی شد. برای این منظور، در مرحله رویشی و یک ماه پس از انتقال به گلدان‌ها، قطعات برگ‌ی یک تا دو سانتی‌متری جدا شد و به منظور شست و شو، چند دقیقه به پتری‌دیش حاوی آب مقطر انتقال داده شدند. سپس قطعات به فالكون‌های حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر منتقل شدند و پس از ۳۰ ثانیه ورتکس نمونه‌ها، EC_0 هر نمونه اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق بر روی شیکر نگهداری شدند و سپس EC_1 اندازه‌گیری شد. پس از آن نمونه‌ها ۱۵ دقیقه در اتوکلاو قرار داده شدند و بعد از خنک شدن در دمای اتاق، EC_2 برای سومین بار اندازه‌گیری شد و سپس درصد نشت الکترولیت از رابطه (۱) محاسبه شد (Zhao, 1992):

$$RWC(\%) = \frac{W_f - W_d}{W_t - W_d} \times 100 \quad \text{رابطه (۲)}$$

جهت کنترل شوری، زه‌آب خروجی از ناحیه ریشه در هر نوبت آبیاری جمع‌آوری شد و هدایت آن در هر نوبت اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری نسبت جذب سدیمی خاک، نمونه خاک اشباع از خاک اطراف ریشه

نشت الکترولیت با اندازه‌گیری قابلیت هدایت الکتریکی که به عنوان معیار اندازه‌گیری پایداری غشای سلول می‌باشد، ارزیابی شد. برای این منظور، در مرحله رویشی و یک ماه پس از انتقال به گلدان‌ها، قطعات برگ‌ی یک تا دو سانتی‌متری جدا شد و به منظور شست و شو، چند دقیقه به پتری‌دیش حاوی آب مقطر انتقال داده شدند. سپس قطعات به فالكون‌های حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر منتقل شدند و پس از ۳۰ ثانیه ورتکس نمونه‌ها، EC_0 هر نمونه اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق بر روی شیکر نگهداری شدند و سپس EC_1 اندازه‌گیری شد. پس از آن نمونه‌ها ۱۵ دقیقه در اتوکلاو قرار داده شدند و بعد از خنک شدن در دمای اتاق، EC_2 برای سومین بار اندازه‌گیری شد و سپس درصد نشت الکترولیت از رابطه (۱) محاسبه شد (Zhao, 1992):

$$\text{رابطه (۱)} = \frac{EC_1 - EC_0}{EC_2 - EC_0} \times 100 = \text{نشت الکترولیت}(\%)$$

به منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ

سطح شوری ۶۰۰ میلی‌مولار با محلول پاشی توام هورمون‌های ملاتونین و اسیدآبسیزیک به دست آمد (۸۹/۳۷ درصد) که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با سطح شوری ۶۰۰ میلی‌مولار و محلول پاشی اسیدآبسیزیک نداشت (۸۴/۳ درصد) (شکل ۲). در بررسی Oloumi *et al.* (2018) روی گیاه شاهی (*Lepidium sativum*)، استفاده از محلول پنج میکرومولار ملاتونین برون‌زا، سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ شد، اما در غلظت‌های بالاتر، مصرف ملاتونین (۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار) کاهش را در پی داشت. در نتایج مطالعات، محتوای نسبی آب برگ (*RWC*) در گیاه سالیکورنیا پرسیکا (*Salicornia persica*) در شوری ۶۰۰ میلی‌مولار بیشتر از ۲۰۰ میلی‌مولار بود و در ۲۰۰ میلی‌مولار، کاهش بسیار کم است (Darvishi, 2013). در گیاه سالیکورنیا سالسولا (*S. salsa*)، میزان پتانسیل آب برگ با افزایش غلظت کلرید سدیم، کاهش یافت، ولی محتوای نسبی آب تغییر پیدا نکرد. پتانسیل اسمزی آب برگ با توجه به پتانسیل اسمزی محیط اطراف ریشه، کاهش پیدا کرد. کاهش بیشتر در پتانسیل اسمزی در مقایسه با پتانسیل آب کل، منجر به حفظ آماس در گیاهان تحت تنش طولانی مدت کلرید سدیم می‌شود (Flowers *et al.*, 1997).

محتوای نشت یونی (LE)

در سه سطح شوری ۴۰۰، ۶۰۰ میلی‌مولار و شاهد محلول پاشی (اسید آبسیزیک، ملاتونین و اثر توام هر دو هورمون)، سبب کاهش نشت یونی ساقه گیاه سالیکورنیا نسبت به تیمارهای شوری بدون محلول-پاشی (به جز محلول پاشی اسید آبسیزیک در شوری ۴۰۰ میلی‌مولار) شد. کمترین میزان نشت یونی در تیمارهای شاهد (۲۹/۶۷ درصد) و شوری ۴۰۰ میلی-مولار (۳۲/۱۷ درصد) با محلول پاشی ملاتونین و در شوری ۶۰۰ میلی‌مولار (۲۵/۲۷ درصد) با محلول پاشی اسیدآبسیزیک ثبت شد که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند (شکل ۳).

تهیه و میزان هدایت الکتریکی، سدیم، کلسیم و منیزیم خاک از نمونه شاهد و تیمارهای شوری با جای‌گذاری در رابطه (۳) اندازه‌گیری شد (Jalili, 2018):

$$\text{رابطه (۳)} \quad SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{1/2(Ca^{2+} + Mg^{2+})}}$$

محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه نه و مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت و رسم نمودارها با کمک نرم‌افزار اکسل انجام شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، محتوای نسبی آب برگ در اثر ساده شوری در سطح پنج درصد و در صفت نشت یونی (LE)، اثر ساده هورمون در سطح یک درصد و اثر متقابل شوری و هورمون در سطح پنج درصد معنی‌دار شدند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده تنش شوری و هورمون بر ارتفاع گیاه سالیکورنیا معنی‌دار نبود؛ با این وجود اثر متقابل شوری و هورمون در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. هیچ یک از اثرات ساده و متقابل بر طول ریشه معنی‌دار نشد. در صفت تعداد شاخه فرعی، اثر ساده شوری و اثر متقابل شوری و هورمون در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن بود که اثرات ساده و متقابل شوری و هورمون‌ها بر وزن تر ساقه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر ساده شوری و اثر متقابل شوری و هورمون بر وزن تر ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. تمامی اثرات ساده و متقابل بر خصوصیات عملکردی گیاه سالیکورنیا اعم از وزن خشک سنبله، دانه و وزن خشک کل اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند (جدول ۲).

محتوای نسبی آب برگ (RWC)

بیشترین میزان محتوای نسبی آب برگ (توجه شود که سالیکورنیا ساقه و برگ فشرده با هم دارد)، در

جدول ۲- تجزیه واریانس خصوصیات مورفولوژیک و اجزای عملکرد گیاه سالیکورنیا یورپنا

Table 2. Variance analysis of the morphological characteristics and yield components of *Salicornia europaea*

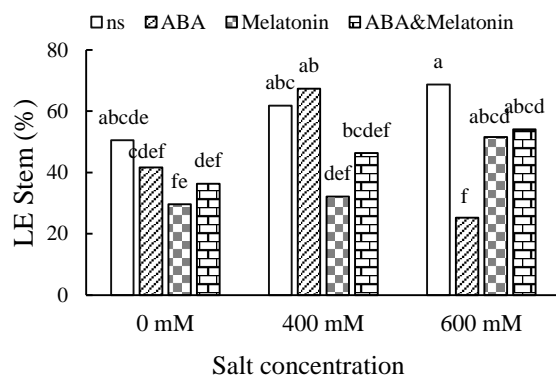
* و **: به ترتیب معنی داری در سطح احتمال پنج و یک درصد.

* and **: significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.

| References Change | Degree the freedom | average of squares | | | | | | | | | |
|-------------------|--------------------|--------------------|----------|--------------|-------------|--------------------|--------------|-------------------|-------------------------|--------------|------------------|
| | | RWC Straw | LE | Straw Height | Root Height | Number of branches | Straw weight | Root fresh weight | Spike Dry weight weight | Grain weight | Straw Dry weight |
| Salt | 2 | 1793.79* | 529.48 | 12.17 | 2.05 | 226.75** | 143.67** | 0.507** | 14.35** | 0.57** | 114.52** |
| Hormone | 3 | 847.1 | 809.77** | 8.26 | 6.8 | 12.17 | 4.32** | 0.18 | 2.54** | 0.2** | 9.01** |
| Salt×Hormone | 6 | 399.37 | 581.9* | 26.71* | 3.54 | 60.41** | 21.15** | 0.92** | 1.89** | 0.06** | 7.3** |
| Error | 24 | 326.42 | 169.85 | 10.01 | 3.55 | 6.86 | 0.64 | 0.07 | 0.08 | 0.007 | 0.55 |
| cv | - | 26.67 | 27.64 | 13.95 | 20.06 | 14.41 | 10.04 | 16.72 | 11.43 | 12.48 | 12.48 |

رشدشان با مخاطره روبرو می‌باشد، اما هالوفیت‌ها گیاهانی هستند که پتانسیل آب بافتی خود را نسبت به آب بافتی خاکی که در آن رشد می‌کنند منفی‌تر می‌سازند (Darvishi, 2013).

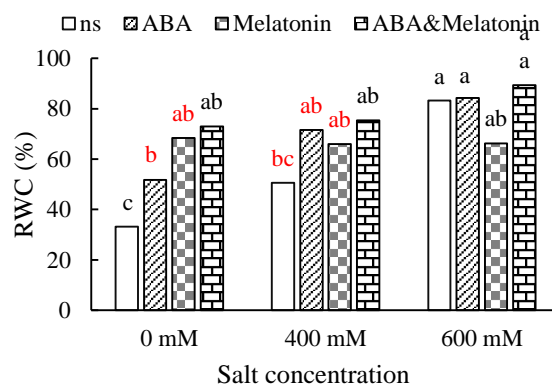
بقا و رشد هالوفیت‌ها به سطوح بالایی از انباشتگی یون در بافت‌های خود برای حفظ آماس و تنظیم اسمزی وابسته است. گیاهان حساس به شوری به علت کاهش پتانسیل آبی در شوری‌های ۱۰۰ میلی‌مولار و کمتر و بهم خوردن تعادل یونی و نهایتاً سمیت یونی،



شکل ۳- اثر متقابل تنش شوری و کاربرد هورمون بر میزان نشت یونی گیاه سالیکورنیا

Figure 3. Interaction effects of salinity stress and hormone on LE stem in *Salicornia europaea*

بررسی و شاهد نداشت، در صورتی که کمترین ارتفاع به تیمار بدون شوری و هورمون ABA (۱۸/۶۳) تعلق داشت که اختلاف معنی داری با شاهد داشت (شکل ۴). ملاتونین از طریق تاثیر بر افزایش ترشح هورمون-های محرک رشد مانند ایندول استیک‌اسید،



شکل ۲- اثر متقابل تنش شوری و کاربرد هورمون بر محتوای نسبی آب برگ گیاه سالیکورنیا

Figure 2. Interaction effects of salinity stress and hormone on RWC in *Salicornia europaea*

ارتفاع اندام هوایی و طول ریشه

بیشترین ارتفاع گیاه سالیکورنیا (۲۷/۵۸) در تیمار مصرف همزمان هر دو هورمون اسیدآبسیزیک و ملاتونین در شوری صفر بود؛ با این حال از لحاظ آماری اختلاف معنی داری با اکثر تیمارهای مورد

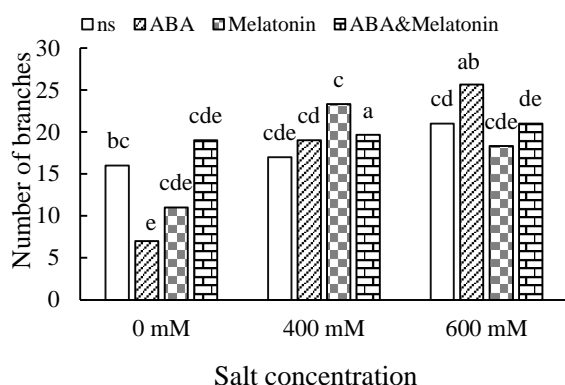
ملاتونین توسط آن رشد ریشه و اندام هوایی را در گیاهان افزایش می‌دهد، به خوبی شناخته نشده است، اما احتمال دارد که ملاتونین تعادل هورمونی را در گیاه تغییر دهد و تحت شرایط تنش، سبب افزایش اکسین و سیتوکنین شود (Chen et al., 2009).

تعداد شاخه فرعی

با توجه به این که سالیکورنیا گیاهی هالوفیت است، با افزایش شوری، تعداد شاخه فرعی در گیاه افزایش یافت و محلول پاشی توام با شوری، سبب تشدید این صفت شد. استفاده از اسیدآبسیزیک برون‌زا، تعداد شاخه فرعی را در شوری ۴۰۰ و ۶۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۱۷۱ (۱/۷ برابر) و ۲۶۶ درصد (۲۶/۶ برابر) نسبت به اسیدآبسیزیک در شوری صفر افزایش داد. کاربرد ملاتونین برون‌زا، تعداد شاخه فرعی را در شوری ۴۰۰ و ۶۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۱۱۲ درصد (۱۱/۲ برابر) و ۶۶ درصد نسبت به نمونه کنترل ملاتونین برون‌زا افزایش داد. بیشترین تعداد شاخه فرعی (۲۶) در شوری ۶۰۰ میلی‌مولار و محلول-پاشی اسیدآبسیزیک به دست آمد که از لحاظ آماری با تیمار محلول پاشی ملاتونین در سطح شوری ۴۰۰ میلی‌مولار (۲۳) اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۵). گیاهان همیشه سطح پایینی از اسیدآبسیزیک را در خود نگه می‌دارند و میزان این اسید در برخورد با تنش‌های محیطی افزایش می‌یابد. نقش اسیدآبسیزیک درونی و برون‌زا در افزایش خصوصیات مورفولوژیکی توسط بسیاری از مطالعات به اثبات رسیده است. Anbarasi et al (2015) نشان دادند کاربرد اسیدآبسیزیک برون‌زا با غلظت ۵۰ میکرو مولار، سبب افزایش طول ساقه گیاه هالوفیت سودا (*Suaeda maritima*) و همچنین سایر خصوصیات مورفولوژیک می‌شود و می‌تواند توجه اقتصادی در کاربرد این هورمون جهت افزایش عملکرد گیاهان زراعی تحت تنش داشته باشد. Beyrami et al (2019) گزارش کردند که اثر متقابل گونه و شوری روی تعداد شاخه فرعی، باعث اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد شد و بیشترین تعداد شاخه فرعی در گونه پرسیکا به دست آمد.

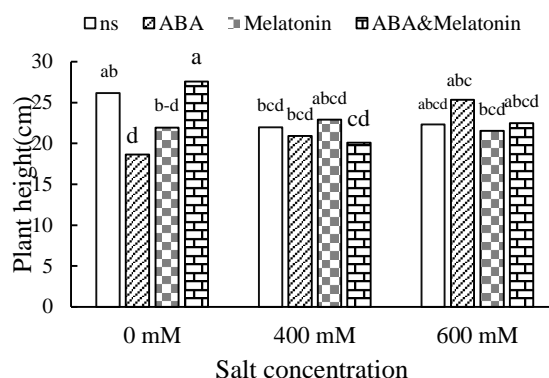
سیتوکنین، جیبرلین، اکسین، ترکیبات آنتی‌اکسیدانت و کارتنوئیدها و کاهش بیوسنتز بازدارنده‌های رشد از جمله اتیلن، میزان تقسیم سلولی در بافت‌های مریستمی را افزایش می‌دهد (Jibiao et al., 2018). در همین راستا در مطالعه دو گونه از سالیکورنیا (*S. persica* and *S. europaea*) مشخص شد که طول اندام هوایی در ابتدا با افزایش شوری، افزایش یافت، اما بعد با تشدید شوری (۱۷۰ میلی‌مولار)، کاهش پیدا کرد (Aghale et al., 2010). در پژوهشی نشان داده شد که استفاده برون‌زا از ملاتونین، سبب افزایش معنی‌دار طول ریشه و ساقه در گیاه شاهی (*Lepidium sativum* L.) می‌شود (Oloumi et al., 2018).

کاهش رشد ریشه تحت تنش شوری می‌تواند به علت بسته شدن روزنه و کاهش آسیمیلایون کربن باشد که خود باعث کاهش رشد می‌شود. کاهش میزان کلروفیل و فتوسنتز در حین تنش شوری، دلیلی بر کاهش رشد ریشه و اندام هوایی است. در مطالعه‌ای در خصوص رشد ریشه و اندام هوایی نشان داده شد که تنش شوری در هر دو سطح ۲۰۰ و ۶۰۰ میلی‌مولار در هر دو نوع تنش خشکی و شوری، سبب کاهش معنی‌دار طول ریشه و اندام هوایی شد و در تمامی موارد، اسیدآبسیزیک باعث افزایش معنی‌دار رشد ریشه شد (Darvishi, 2013). Chen et al. (2009) نشان دادند که محلول پاشی ملاتونین ۱۰۰ میکرومولار بر روی گیاه آرابیدوپسیس، سبب افزایش رشد ریشه و اندام هوایی شد، اما در غلظت‌های بالاتر، اثر بازدارندگی داشت. در شرایط تنش، مقدار پروتئین‌های دیواره سلولی کاهش می‌یابد و در نتیجه موجب کاهش طول ریشه‌چه و اندام هوایی می‌شود (Zhang et al., 2015). ملاتونین از لحاظ ساختاری شبیه به اکسین است و اثراتی مشابه آن دارد که موجب تشکیل ریشه و طویل شدن کلنوپتیل می‌شود (Chen et al., 2009). حساسیت اندام هوایی در شرایط تنش کم آبی، بیشتر از رشد ریشه‌چه است؛ شاید دلیل آن این باشد که ریشه، اولین اندامی است که از بذر خارج می‌شود و در نتیجه، رشد آن سریعتر از اندام هوایی است (Kaya and Day, 2008). مکانیسمی که



شکل ۵- اثر متقابل تنش شوری و کاربرد هورمون بر تعداد شاخه فرعی گیاه سالیکورنیای اروپایی

Figure 5. Interaction effects of salinity stress and hormone on number of branches in *Salicornia europaea*



شکل ۴- اثر متقابل تنش شوری و کاربرد هورمون بر ارتفاع اندام هوایی گیاه سالیکورنیای اروپایی

Figure 4. Interaction effects of salinity stress and hormone on plant height in *Salicornia europaea*

۱۰۰ و ۵۰ در غلظت‌های (*Lepidium sativum* L.) میکرو مولار شد. به نظر می‌رسد که افزایش وزن اندام هوایی به دلیل تاثیر ملاتونین برون‌زا بر تحرک مواد غذایی باشد (Oloumi *et al.*, 2018).

در زمان تنش شوری، کاربرد ملاتونین برون‌زا بر روی گیاه سویا (*Soy bean*)، محتوای H_2O_2 را به میزان قابل توجهی کاهش و فعالیت آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز و پلی فنل اکسیداز را افزایش داد (Wei *et al.*, 2014). با توجه به این‌که نقش اسیدجیبرلیک و اسیدآبسزیک در افزایش تحمل به شوری در گیاهان مشهود است، در گیاه خیار تیمار شده با ملاتونین، بیان ژن‌هایی که مربوط به بیوسنتز اسیدجیبرلیک و اسیدآبسزیک است افزایش یافته است و در نتیجه تحمل تنش شوری توسط خیار (*Cucumis sativus* L.) بیشتر شده است (Zhang *et al.*, 2014).

بررسی خصوصیات عملکردی گیاه سالیکورنیا

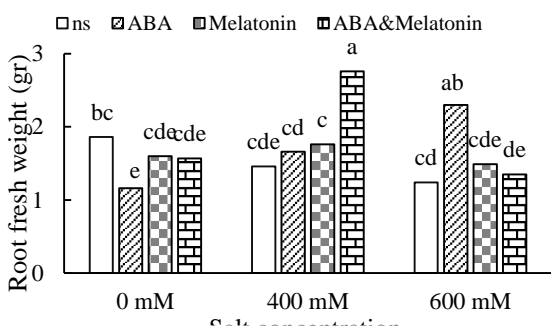
بیشترین افزایش وزن دانه از تیمار محلول‌پاشی همزمان اسیدآبسزیک و ملاتونین در سطح شوری ۴۰۰ میلی‌مولار، ۱۱۰ درصد (۱/۱ برابر) و سپس در شوری ۴۰۰ میلی‌مولار با محلول‌پاشی ملاتونین ۱۰۵ درصدی (۱/۰۵ برابر) نسبت به دست‌آمد (شکل ۸a) و همچنین بیشترین افزایش وزن خشک سنبله و کل اندام هوایی در سطح شوری ۴۰۰ میلی‌مولار با

وزن تر اندام هوایی و ریشه

در بررسی اثرات متقابل شوری و هورمون‌ها، افزایش شوری تا ۴۰۰ میلی‌مولار به همراه محلول‌پاشی، سبب افزایش وزن تر اندام هوایی گشت، درحالی‌که با افزایش شوری به ۶۰۰ میلی‌مولار، وزن تر اندام هوایی کاهش یافت. بیشترین وزن ساقه (۱۳/۸۳ گرم)، در تیمار اثر توام ملاتونین و ABA برون‌زا در شوری ۴۰۰ میلی‌مولار به دست آمد که اختلاف معنی‌داری با شاهد داشت (۱۰/۰۶ گرم)؛ کمترین میزان (۳/۰۷ گرم) در شوری ۶۰۰ میلی‌مولار با اثر هورمون ملاتونین ثبت شد (شکل ۶). بیشترین وزن ریشه (۲/۷۶ میلی‌گرم) در تیمار شوری ۴۰۰ میلی‌مولار با اثر توام هورمون اسیدآبسزیک و ملاتونین به دست آمد که از لحاظ آماری با وزن ریشه (۲/۳ میلی‌گرم) در تیمار ۶۰۰ میلی‌مولار و محلول‌پاشی اسیدآبسزیک اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۷). گرچه گیاه هالوفیت است، اما حضور ترکیبات سمی زیاد و شوری شدید برای گیاه تنش محسوب می‌شود و در نتیجه، رشد کاهش یافت. به نظر می‌رسد که تحریک رشد این گونه‌ها در شوری‌های ملایم در ارتباط با جذب یون‌ها باشد که در حفظ آماس و توسعه سلول‌ها نقش دارد (Darvishi, 2013). استفاده برون‌زا از ملاتونین، سبب افزایش وزن ریشه و اندام هوایی گیاه شاهی

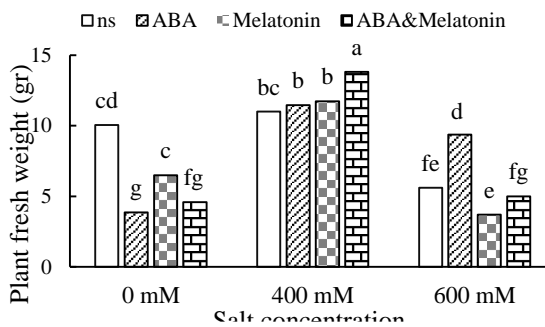
عملکردی سالیکورنیا شد. به نظر می‌رسد که این افزایش عملکرد به علت افزایش تعداد سنبله در بوته می‌باشد که با وجود کاهش سایر اجزا، موجب افزایش عملکرد دانه و وزن خشک کل گیاه شده است.

محلول‌پاشی توام اسیدآبسیزیک و ملاتونین به ترتیب ۱۹۵ درصد (۱/۹۵ برابر) و ۲۴۵ درصد (۲/۴۵ برابر) نسبت به شاهد مشاهده شد (شکل ۸a و ۸c). همان‌گونه که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، افزایش شوری، موجب افزایش معنی‌داری در خصوصیات



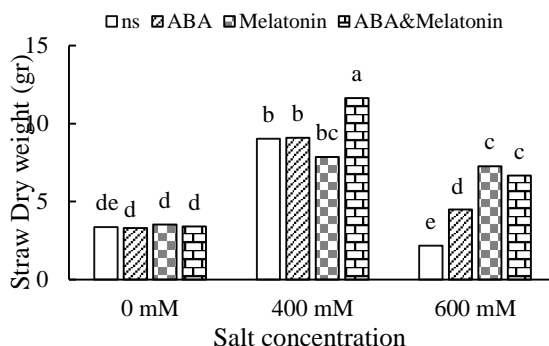
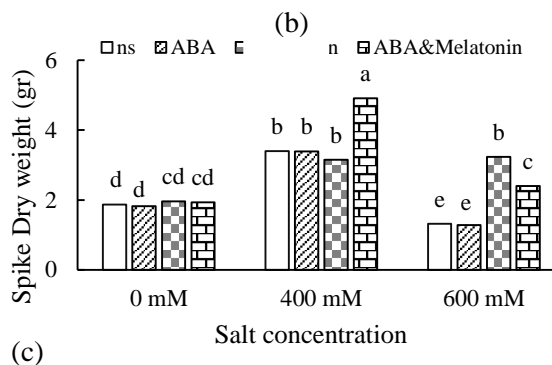
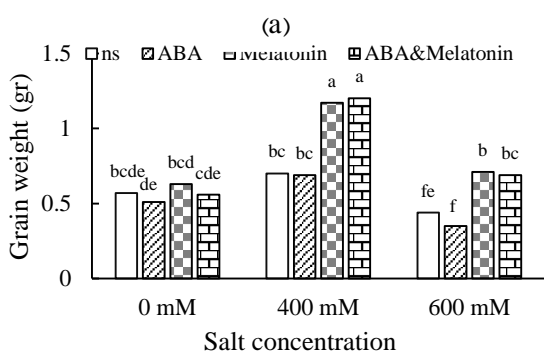
شکل ۷- اثر متقابل تنش شوری و کاربرد هورمون بر وزن تر ریشه گیاه سالیکورنیا

Figure 7. Interaction effects of salinity stress and hormone on root fresh weight of *Salicornia europaea*



شکل ۶- اثر متقابل تنش شوری و کاربرد هورمون بر وزن تر ساقه گیاه سالیکورنیا

Figure 6. Interaction effects of salinity stress and hormone on plant fresh weight of *Salicornia europaea*



شکل ۸- اثرات متقابل تنش شوری و کاربرد هورمون بر: (a) وزن دانه، (b) وزن خشک سنبله و (c) وزن خشک کل اندام هوایی در گیاه سالیکورنیا یوروپئا.

Figure 8. Interaction effects of salinity stress and hormone on a) grain weight, b) spike dry weight and c) straw dry weight of *Salicornia europaea*.

اندام هوایی و همچنین وزن دانه، رابطه مثبت و معنی داری در سطح یک درصد نشان داد. افزایش تعداد شاخه فرعی، سبب افزایش میزان فتوسنتز و در نتیجه افزایش رشد ریشه شده است (Fazeli *et al.*, 2015). تعداد شاخه فرعی با محتوای نسبی آب برگ، رابطه مثبت و معنی داری در سطح پنج درصد داشت و همبستگی وزن خشک سنبله با وزن دانه و وزن خشک کل اندام هوایی و همچنین وزن دانه با صفت وزن خشک کل اندام هوایی در سطح یک درصد مثبت و معنی داری بود. از همبستگی‌های منفی می‌توان به محتوای نسبی آب برگ با وزن دانه و نشت یونی اشاره کرد (جدول ۳). بر طبق آنچه که در نتایج فوق انتظار می‌رفت، نتایج همبستگی نیز ثابت کرد که به دلیل عدم اختلاف معنی دار، صفات ارتفاع گیاه و طول ریشه، افزایش یافت و معنی داری وزن تر ریشه و ساقه به دلیل همبستگی این دو صفت با صفت تعداد شاخه فرعی در تیمارهای مورد آزمایش بود.

یافته‌های این تحقیق در مورد خصوصیات عملکردی (وزن دانه، وزن خشک سنبله و کل اندام هوایی) مشابه دیگر محققان بود (Mahdavi *et al.*, 2006; Salamkhan *et al.*, 2009; Qarekhani, 2015).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که با توجه به این که گیاه سالیکورنیا هالوفیت اجباری است، با افزایش شوری از صفر به ۴۰۰ میلی‌مولار، خصوصیات عملکردی (وزن دانه و وزن خشک کل اندام هوایی) افزایش یافت، اما با افزایش شوری به ۶۰۰ میلی‌مولار، این خصوصیات کاهش یافتند، اما این کاهش در موارد محلول پاشی نسبت به شاهد کمتر بود (به جز استفاده از ملاتونین برون‌زا که سبب افزایش اجزای عملکرد شد) و این نشان از اثر مثبت محلول پاشی هورمون‌های اسیدآبسیزیک، ملاتونین و اثر توام هردو بر عملکرد گیاه دارد. تحقیق حاضر نشان داد که استفاده توام هر دو هورمون ملاتونین و اسیدآبسیزیک، سبب افزایش اکثر خصوصیات مورفولوژیک گیاه سالیکورنیا شد، درحالی‌که استفاده برون‌زا از هورمون ملاتونین، افزایش بیشتری در اجزای عملکرد گیاه در شوری‌های

این نتایج کاملاً با یافته‌های Beyrami *et al.* (2019) مطابقت دارد. اما در ادامه و با افزایش شوری به ۶۰۰ میلی‌مولار، خصوصیت عملکردی وزن دانه، چهار درصد کاهش یافت، اما وزن خشک کل اندام هوایی ۵۱ درصد افزایش یافت (شکل ۸a و ۸c). کاهش عملکرد سالیکورنیا در شوری ۶۰۰ میلی‌مولار نیز توسط Mohammadipourfard *et al.* (2017) گزارش شده است. Rozema & Schat (2013) در تحقیقات خود بیان نمودند که عملکرد گونه‌های متفاوت سالیکورنیا در شوری‌های متوسط، رشد حداکثری نسبت به شرایط کنترل یا بدون شوری دارد. سه صفت مورد بررسی (وزن دانه، وزن خشک سنبله و وزن خشک کل اندام هوایی) در سطح شوری ۶۰۰ میلی‌مولار با محلول پاشی ملاتونین نسبت به سایر محلول‌پاشی‌ها در این سطح شوری، بالاتر بود که نشان‌دهنده تاثیر مثبت این هورمون بر اجزای عملکرد سالیکورنیا در شوری‌های بالا بود. محلول پاشی برون‌زا ملاتونین، سبب افزایش زیست‌توده و وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاه شاهی (*Lepidium sativum*) شد (Oloumi *et al.*, 2018). مطالعات نشان داده است که وزن خشک کل اندام هوایی با اثر ملاتونین برون‌زا، موجب افزایش وزن خشک گیاهچه شیرین‌بیان (*Glycyrrhiza glabra*) شده است (Afreen *et al.*, 2006). وزن خشک کل اندام هوای از آن‌جا اهمیت دارد که یکی از موارد مصرفی سالیکورنیا، استفاده به‌عنوان علوفه دام‌هاست (Glenn *et al.*, 1999).

بررسی ضرایب همبستگی

ضرایب همبستگی بین صفات مختلف ارزیابی شده نشان داد که صفت وزن تر ساقه با صفات وزن تر ریشه و وزن کل اندام هوایی، همبستگی مثبت و معنی داری در سطح یک درصد و با صفات تعداد شاخه فرعی، وزن خشک سنبله و وزن دانه، رابطه مثبت و معنی داری در سطح پنج درصد داشت و به این ترتیب انتظار می‌رود که با افزایش تعداد شاخه فرعی و در نهایت وزن تر ساقه، عملکرد گیاه افزایش یابد. وزن تر ریشه با صفت تعداد شاخه فرعی و خصوصیات عملکردی شامل وزن خشک سنبله و وزن خشک کل

بین تیمارهای مورد آزمایش شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که از آنجا که اسیدآبسیزیک جهت بالا بردن تحمل گیاه در شرایط تنش از طریق تنظیم فشار تورگر سلول‌های روزنه سبب کاهش تبخیر و تعرق می‌شود و البته این امر سبب کاهش جذب کربن و کاهش فتوسنتز و در نتیجه کاهش رشد و عملکرد در گیاه می‌شود، کاربرد همزمان ملاتونین برون‌زا که با ایجاد تعادل هورمونی سبب بالا بردن تحمل گیاه نسبت به تنش می‌شود و سبب تحریک فعالیت هورمون‌های رشد می‌شود، کاهش رشد ناشی از کاهش فتوسنتز را جبران نماید، در نتیجه محلول‌پاشی توام اسیدآبسیزیک و ملاتونین می‌تواند به گیاه در تحمل شوری و افزایش خصوصیات عملکردی (به خصوص ملاتونین در اجزای عملکرد گیاه) کمک شایانی کند و از نظر اقتصادی سود بخش خواهد باشد.

بالا (۴۰۰ و ۶۰۰ میلی‌مولار) نسبت به استفاده توام ملاتونین و اسیدآبسیزیک سبب شد و همچنین با توجه به این‌که با تشدید شوری، سایر خصوصیات مورفولوژیکی گیاه کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد که افزایش عملکرد به علت افزایش تعداد سنبله در بوته می‌باشد که با وجود کاهش دیگر اجزاء، موجب افزایش عملکرد دانه و وزن خشک گیاه شد. این درحالی‌ست که بررسی ضرایب همبستگی نشان داد که صفات وزن ساقه و ریشه و محتوای نسبی آب برگ با صفت تعداد ساقه فرعی همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح پنج درصد داشتند؛ بنابراین اختلاف و معنی‌داری صفات وزن تر ساقه و ریشه و محتوای نسبی آب برگ، نه به دلیل اثر صفات ارتفاع ساقه و طول ریشه، بلکه به دلیل اختلاف و معنی‌داری تعداد ساقه فرعی در گیاهان بوده است و می‌توان نتیجه گرفت که محلول-پاشی سبب اختلاف معنی‌دار در تعداد شاخه فرعی

جدول ۳- ضرایب همبستگی خصوصیات مورفولوژیکی و اجزای عملکرد گیاه سالیکورنیا

Table 3. Correlation coefficients of morphological characteristics and yield components of *Salicornia europaea*

* و **: به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد.

| | RWC Straw | LE Straw | Straw Height | Root Height | Number of branches | Straw fresh weight | Root fresh weight | Grain weight | Spike Dry weight | Straw Dry weight |
|--------------------|-----------|----------|--------------|-------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------|------------------|------------------|
| RWC Straw | 1 | | | | | | | | | |
| LE | -0.0317 | 1 | | | | | | | | |
| Straw Height | 0.1088 | -0.137 | 1 | | | | | | | |
| Root Height | -0.0067 | 0.2487 | 0.2408 | 1 | | | | | | |
| Number of branches | 0.4772* | -0.0182 | 0.3346 | 0.2607 | 1 | | | | | |
| Straw fresh weigh | -0.1142 | 0.0135 | 0.01 | 0.2097 | 0.3432* | 1 | | | | |
| Root fresh weight | 0.0333 | -0.2808 | 0.0617 | 0.0218 | 0.3527* | 0.6561** | 1 | | | |
| Grain weight | -0.0178 | -0.0301 | -0.2101 | 0.0138 | 0.1412 | 0.5373* | 0.348* | 1 | | |
| Spike Dry weight | 0.0401 | 0.2107 | -0.2432 | 0.2037 | 0.112 | 0.5539* | 0.3602* | 0.8039** | 1 | |
| Straw Dry weight | 0.115 | 0.207 | -0.2296 | 0.1936 | 0.2579 | 0.617** | 0.3891* | 0.7151** | 0.9396** | 1 |

* and **: significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.

REFERENCES

- Adler, P. R., Summerfelt, S. T., Glenn, D. M. & Takeda, F. (2003). Mechanistic approach to phytoremediation of water. *Journal of Ecology and Energy*, 20, 251-264.
- Afreen, F., Zobayed, S. & Kozai, T. (2006). Melatonin in spectral quality of light and UV-B radiation. *Journal of Pineal Research*, 41(2), 108-115.

3. Aghaleh, M., Niknam, V., Ebrahimzadeh, H. & Razavi, K. (2010). Effect of salt stress on physiological and antioxidative responses in two species of *Salicornia* (*S. persica* and *S. europaea*). *Acta Physiologiae Plantarum*, 33, 1261–1270.
4. Akhiani, H. (2007). Diversity, biogeography, and photosynthetic pathways of *Argusia* and *Heliotropium* (Boraginaceae) in South West Asia with an analysis of phytogeographical units. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 155(3), 25-40.
5. Anbarasi, G., Bhagavathi, G., Vignesh R., Srinivasan, M. & Somasundaram, S. T. (2015). Effect of exogenous Abscisic acid on growth and biochemical changes in the halophyte *Suaeda maritima*. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 4(5), 442-449.
6. Asadikapourchal, S. & Homae, M. (2017). Using desalinization models for scheduling crop rotation of saline-sodic soils: A case study in Ramhormoz, Iran. *Journal of Protection of Soil and Water Resources*, 6(4), 92-97. (In Persian)
7. Beyrami, H., Rahimian, M. H., Dehghani, F., Ranjbar, G. & Hasheminejad, Y. (2019). Effect of irrigation salinity on the yield of two *Salicornia* species (*Salicornia bigelovii* and *S. persica*). *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, 29(3), 113-122.
8. Chen, Q., Qi, W. B., Reiter, W., Wei, W. & Wang, B. M. (2009). Exogenously applied melatonin stimulates root growth and raises endogenous indoleacetic acid in roots of etiolated seedlings of *Brassica juncea*. *Journal of Plant Physiology*, 166, 324-328.
9. Darvishi, E. (2013). Investigation of physiological effects of abscisic acid treatment under salinity and drought stress in *Salicornia persica* A. Ph.D. Thesis. Biology (Plant physiology) Malayer University, Iran.
10. Fazeli, F., Najafizarini, H., Arefrad, M. & Zamanmirabadi, A. (2015). Assessment of relation of morphological traits with seed yield and their diversity in M₄ generation of soybean mutant lines through factor analysis. *Journal of Crop Breeding*, 7(15), 47-56. (In Persian)
11. Flowers, T. J., Troke, P. F. & Yeo, A. R. (1997). The mechanisms of salt tolerance in halophytes. *Annual Review of Plant Physiology*, 28, 89-121.
12. Flowers, T. J., Galal, H. K. & Bromham L. (2010). Evolution of halophytes: Multiple origins of salt tolerance in and plants. *Journal of Functional Plant Biology*, 37, 604–612.
13. Glenn, E. P., Brown, J. J. & Blumwald, E. (1999). Salt tolerance and crop potential of halophytes. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 18, 227–255.
14. Gunning, D. (2016). Cultivating *Salicornia europaea* (Marsh Samphire) (9th ed). BIM.
15. Iqbal khan, M. R., Reddy, P. S., Ferrante, A. & AKhan, N. (2019). Plant signaling molecules role and regulation under stressful environments. (pp. 53-54.) Elsevier Inc.
16. Jalili, F. (2018). Effect of salinity and sodium adsorption ratio (SAR) of irrigation water on yield and ionic ratios of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 8(1), 175-182.
17. Jaradat, A. & Shahid, M. (2012). The dwarf saltwort (*Salicornia bigelovii* Torr.): Evaluation of breeding populations. *ISRN Agronomy*. Retrieved May 15, 2019, from <http://dx.doi.org/10.5402/2012/151537>. ID: 151537. 10 page.
18. Jibiao, F., Yan, X., Zaichao, Z. & Liang, C. (2018). Melatonin: A multifunctional factor in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 1528 (19), 2-14.
19. Kachout, S. S., Ben Mansoura, A., Mechergui, R., Leclerc, J. C & Rejeb, M. N. (2012). Accumulation of Cu, Pb, Ni and Zn in the halophyte plant *Atriplex* grown on polluted soil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92, 336–342.
20. Kaya, M. D. & Day, S. (2008). Relationship between seed size and NaCl on germination seed vigor and early seedling growth of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *African journal of Agricultural Research*, 3,787-791.
21. Khatbaei, M., Emami, H., Astaraei, A. & Fotovvat, A. (2004). Influence of organic matter and gypsum on some maize traits in saline and sodium. *Journal of Agriculture Research*, 12(4), 664-658. (In Persian)
22. Kim, W. D. (2001). Vegetable salt preparation method and vegetable salt. Patent Application Publication, 5 pages.
23. Kim, D. H. & Kim, T. H. (2010). *Salicornia* spp.-derived salt and its production process. Patent Application Publication, 6 p.
24. Kong, Y. & Zheng, Y. (2014). Potential of Producing *Salicornia bigelovi* hydroponically as a vegetable at moderate NaCl salinity. *Journal of Hort Science*, 49(9), 1154–1157.
25. Kotagiri, D. & Kolluru, V. C. (2017). Effect of salinity stress on the morphology & physiology of five different *Coleus* species. *Journal of Biomedical & Pharmacology*, 10(4), 1639-1649.

26. Ma, J., Zhang, M., Xio, X., You, J., Wang, J., Wang, T., Yao, Y. & Tian, C. (2013). Global transcriptome profiling of *Salicornia europaea* L. shoots under NaCl treatment. *Journal of Plos One*, 8(6), 1-10.
27. Mahdavi, F., Esmaeili, M. A., Fallah, A. & Pirdashti, H. A. (2006). Study of morphological characteristics, physiological indices and grain yield components in native and modified rice cultivars. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 7(4), 297-280. (In Persian)
28. Mohammadipourfard, A., Nouri, M. Z. & Dehestani, A. (2017). Explanation of the molecular mechanism of stress tolerance in the saline plant *Aeluropus littoralis* by ALSOS gene. *Journal of Biotechnology of Crops*. 7(15),15-24.
29. Oloumi, H., Nasibi, H. & Mozaffari, H. (2018). Investigation of the growth rate and secondary metabolites content of *Lepidium sativum* under exogenous melatonin treatment. *Journal of Nova Biologica Reperta*, 5(2), 144-154.
30. Qarekhani, M. N. (2014). Efficiency of microsatellite marker for QTL controlling chlorophyll content in Iranian rice genotypes. M.Sc thesis. Gorgan University of Agriculture Sciences and Natural Resources, Iran.
31. Querghi, Z., Zid, E. & Ayadi, A. (1991). Sensitivity to NaCl and exclusion of Na⁺ in sunflower. *Journal of Agriculture in Mediterranean*, 121, 110-114.
32. Rahnama, A., Munns, R. & Richard, J. (2015). Osmotic stress and ion-toxicity effects of salt stress using immediate photosynthetic responses of durum wheat. *Journal of Iranian Crop Sciences*, 46(3), 519-527. (In Persian)
33. Rezaeimashaei, M., Nematzadeh, Q. A., Asgari, H. & Shokri, A. (2016). Physiological record of care of salinity of *Aeluropus littoralis*. *Iranian Journal of Rangeland and Desert*, 21(1), 154-164. (In Persian)
34. Ritchie, S. W. & Nguyen, H. T. (1990). Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, 30, 105-111.
35. Rozema, J. & Schat, H. (2013). Salt tolerance of halophytes, research questions reviewed in the perspective of saline agriculture. *Journal of Environmental and Experimental Botany*, 92, 83-95.
36. Safikhani, S., Khoshbakht, K., Chaichi, M. R., Amini, A. & Motesharezadeh, B. (2019). Effect of zeolite application on growth and physiologic characteristics in milk thistle (*Silybum marianum*) under salinity stress. *Journal of Iranian Crop Sciences, Tehran University*, 50(3), 63-77. (In Persian)
37. Salamkhan, A., Imaran, M. & Ashfaq, M. (2009). Estimation of genetic variability and correlation for grain yield components in rice (*Oryza sativa* L.). *urasian Journal Agriculture and Envirmnt Science*, 6(5), 585-590.
38. Sauter, A., Davies, W. J. & Hartung, W. (2001). The long-distance abscisic acid signal in the drought plant: the fate of the hormone on its way from root to shoot. *Journal of Experimental Botany*, 363(52), 1991-1997.
39. Tan, D. X., Hardeland, R., Manchester, L. C., Korkmaz, A., Shuran, M., Rosales-Corral, S. & Reiter, R.J. (2012). Functional roles of melatonin in plants, and perspectives in nutritional and agricultural science. *Journal of Expression and Boithechnology*, 63, 577-597.
40. Ventura, Y. and Sagi, M. (2013). Halophyte crop cultivation: The case for *Salicornia* and *Sarcocornia* Environ. *Journal of Expression and Boithechnology*, 94,144-153.
41. Vinocur, B. & Altman, A. (2005). Recent advances in engineering plant tolerance to abiotic stress: achievements and limitations. *Journal of Current Opinion in Biotechnology*, 16, 123-132.
42. Wei, W., Li, Q. T., Chu, Y. N., Reiter, R. J., Yu, X. M., Zhu, D. H., Zhang, W. K., Ma, B., Lin, Q. & Zhang, J. S. (2015). Melatonin enhances plant growth and abiotic stress tolerance in soybean plants. *Journal of Expression and Biotechnology*, 66, 695-707.
43. Zhang, N., Zhang, H. J., Zhao, B., Sun, Q. Q., Cao, Y. Y., Li, R., Wu, X. X., Weeda, S., Li, L., Ren, S., Reiter, R. J. & Guo, Y. D. (2013). The RNA-seq approach to discriminate gene expression profiles in response to melatonin on cucumber lateral root formation. *Journal of Pineal Research*, 56(1), 39-50.
44. Zhang, N., Zhao, B., Zhang, H. J., Weeda, S., Yang, C., Yang, Z. C., Ren, S. & Guo, Y. D. (2014). Melatonin promotes water - stress tolerance, lateral root orrmation, and seed germination in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Journal of Pineal Research*, 57(3), 269-279.
45. Zhao, Y., Aspinall, D. & Paleg, L. G. (1992). Protection of memberane integrity in *Medicago saliva* L. by glycinebetaine against the effects of freezing. *Journal of Plant Physiology*, 140, 541-543.