



پاسخ فیزیولوژیک سالیکورنیای اروپایی (*Salicornia europaea* L.) به نانو ذرات پتاسیم در شرایط زمین‌های خیلی شور اطراف دریاچه ارومیه

علیرضا پیرزاد^{۱*}، و مهدی جبارزاده^۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۱۹

تاریخ بازنگری: ۱۳۹۴/۱۱/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۹/۳۰

چکیده

برای بررسی اثر محلول‌پاشی ذرات نانوپتاسیم بر تنظیم‌کننده‌های اسمزی، رنگیزه‌های فتوسنتزی، مجموع کارتنوئیدها و عناصر غذایی بخش هوایی سالیکورنیای اروپایی، یک آزمایش فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سال ۱۳۹۱ در زمین‌های اطراف دریاچه ارومیه در سه تکرار انجام شد. عوامل آزمایش شامل غلظت‌های محلول‌پاشی در ۵ سطح (صفر، ۱، ۲، ۳ و ۴ در هزار نانوذرات پتاسیم) و تعداد دفعات محلول‌پاشی در ۳ سطح (یک، دو و سه بار محلول‌پاشی) اعمال شدند. اثرمتقابل بین تعداد دفعات محلول‌پاشی و غلظت نانوذرات پتاسیم بر پرولین، قند محلول، کلروفیل کل، کلروفیل a و b، مجموع کارتنوئیدها (گزانتوفیل و کاروتن) و عناصر غذایی (نیترژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و سدیم) بخش هوایی معنی‌دار شد. بیشترین مقادیر پرولین (۱/۸۴ میلی‌گرم در گرم ماده خشک) در یک نوبت محلول‌پاشی ۴ در هزار، قند محلول (۶۶/۹ میلی‌گرم در گرم ماده خشک) در سه بار محلول‌پاشی با غلظت ۲ در هزار، کلروفیل کل (۲۶/۲۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کلروفیل b (۲۲/۸۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در دو بار محلول‌پاشی، و کلروفیل a (۹/۹۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در سه بار محلول‌پاشی ۴ در هزار نانوذرات پتاسیم به‌دست آمدند. بیشترین مقدار نیترژن (۰/۹۵ درصد) و فسفر بخش هوایی (۲/۹۹ گرم در کیلوگرم ماده خشک) مربوط به سه نوبت محلول‌پاشی بود. در حالی‌که بالاترین مقادیر پتاسیم (۶۵/۰۸ گرم در کیلوگرم ماده خشک) و سدیم (۴۰۳ گرم در کیلوگرم ماده خشک) در دو نوبت، و بالاترین انباشت کلسیم (۲۹/۲۳ گرم در کیلوگرم ماده خشک) در سه نوبت محلول‌پاشی با غلظت چهار در هزار پتاسیم مشاهده شدند. با وجود تجمع زیاد اسمولیت‌ها در محلول‌پاشی پتاسیم، از نظر عناصر غذایی سطوح مختلف محلول‌پاشی دارای برتری معنی‌داری نسبت به هم نبودند.

واژگان کلیدی: اسمولیت، سالیکورنیای اروپایی، عناصر غذایی، کارتنوئید، کلروفیل، نانوپتاسیم.

مقدمه

تولید دانه‌های روغنی مطرح می‌سازد. همچنین، شاخ و برگ سالیکورنیا دارای پروتئین زیادی (۳۸ درصد) است که از نظر ارزش علوفه‌ای قابل توجه می‌باشد (Eghbalinejad *et al.*, 2012). در یک مطالعه، برداشت نمونه‌های گیاه *S.europaea* در چهار نوبت از سواحل دریاچه ارومیه نشان داد که نوسان آب و تنش شوری در ماه‌های سال از اردیبهشت تا آذر موجب تغییراتی در مقدار آب، خاکستر، پروتئین کل و اسیدهای آمینه در گیاه می‌شود. در اندام هوایی سالیکورنیا با گذشت زمان از مقدار آب کاسته می‌شود اما در ریشه به هنگام آبان ماه مقدار آب دوباره بالا می‌رود (Gorbanli *et al.*, 1996). حدود ۲۰ درصد زمین‌های زراعی کل دنیا (Aslam *et al.*, 2011)، و ۶ درصد کل زمین‌های کره زمین (Munns and Tester, 2008) متأثر از شوری است. پاسخ‌های رشد گیاهان به شوری پیچیده و متنوع است که وابسته به شدت تنش، رقم و گونه مورد بررسی، مرحله تکوین گیاه و طول مدت تنش می‌باشد (Tester and Devenport, 2003). چون طبیعتاً هالوفیت‌ها در مناطق خیلی شور می‌رویند، بنابراین مکانیسم‌های فیزیولوژیکی متعددی در این گیاهان برای زنده‌مانی و حفظ تولید بالا در این شرایط وجود دارد (Glenn and Brown, 1999). مهم‌ترین ممانعت کننده رشد و عملکرد گیاه در مناطق شور شامل: (۱) اثر اسمزی که بلافاصله توسعه سلول‌ها در نوک ریشه و برگ‌های جوان را کاهش می‌دهد و باعث بسته شدن روزنه‌ها می‌گردد، (۲) سمیت یون و (۳) عدم تعادل تغذیه‌ای که منجر به کاهش کارایی فتوسنتز و دیگر اختلالات فیزیولوژیک می‌شود، است (Ibrahim, 2004). با این حال، برخی گزارش‌ها نشان می‌دهند که گونه‌های گیاه سالیکورنیا (*Salicornia* sp.) فوق‌العاده متحمل به شرایط شور هستند، و افزایش شوری تا ۲۰۰ میلی‌مولار تأثیر

گیاهان براساس پتانسیل رشد در سطوح بالاتر نمک به دو گروه گلیکوفیت‌ها (glycophytes) و هالوفیت‌ها (halophytes) تقسیم می‌شوند. اکثر گیاهان گلیکوفیت هستند و تنش شوری را تحمل نمی‌کنند (Flowers *et al.*, 1977). ولی رشد هالوفیت‌ها در غلظت‌های بالای کلرید سدیم تحریک می‌شود، جایی که رشد گروه قبلی ممانعت می‌شود (Khan *et al.*, 2000). بیشتر هالوفیت‌ها، یون‌ها را در بافت‌های خود تجمع داده و پتانسیل اسمزی را افزایش می‌دهند که اجازه ورود آب را از خاک به داخل این بافت‌ها می‌دهند (Song *et al.*, 2006; Munns *et al.*, 2002). تحمل شوری خصوصیتی پیچیده است و مکانیسم‌های مختلف دخیل در آن در برگیرنده شبکه‌ای از ژن‌ها می‌باشد که به طور هماهنگ بیان می‌شوند. برخلاف گیاهان زراعی، هالوفیت‌ها، و از جمله سالیکورنیای اروپایی (*Salicornia europaea* L.) با خصوصیات پیشرفته‌ای تکامل یافته‌اند که بتوانند با محیط‌های شور تطابق پیدا کنند. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که هالوفیت‌ها می‌توانند منابع ژنتیکی با ارزشی برای اصلاح گیاهان زراعی باشند (Fan *et al.*, 2013; Inan *et al.*, 2004). از دیر باز گیاه سالیکورنیای اروپایی به صورت خودرو کنار دریاچه ارومیه رشد می‌کرده است. این گیاه یک جنس از گیاهان یک‌ساله تیره چغندر (Chenopodiaceae) است که به صورت گیاه علفی با ساقه‌های آبدار و گوشتی ظاهر شده، و به طور طبیعی در سواحل دریا و حاشیه مانداب‌های شور رشد و تکامل یافته است (Allahgholi and Asri, 2014; Eghbalinejad *et al.*, 2012). سالیکورنیا توانایی بالایی در تولید دانه‌های سرشار از روغن دارد. عملکرد دانه سالیکورنیا مناسب بوده و حاوی ۲۸٪ روغن می‌باشد که این گیاه را به‌عنوان گزینه مناسبی برای

(Marschner, 2012). دخالت در ساختار دیواره سلولی، تأثیر غیرمستقیم در تولید اکسین، ازدیاد تولید مواد نشاسته‌ای، عامل مقاومت گیاه به بیماری‌ها و رطوبت زیاد، سرما، گرما، خشکی، تسریع عمل نیتریفیکاسیون، قابل جذب نمودن سایر املاح، خوش طعم نمودن میوه و درخشان نمودن رنگ آن، انتقال مواد غذایی به غده‌ها (در سیب‌زمینی) از دیگر تأثیرات پتاسیم در گیاهان است. این عنصر در فعال‌سازی تعداد زیادی از آنزیم‌های فتوسنتزی، ساخت پروتئین، متابولیسم اکسیداتیو و تعادل بار الکتریکی غشاهای یاخته اهمیت دارد (Shabala, 2003). گیاهانی که در محیطی با پتاسیم کافی رشد می‌کنند نسبت به گیاهان تحت تنش کمبود پتاسیم بافت‌های آبدار بهتری دارند (Mengel and Kirkby, 2001). بررسی مکانیسم‌های فنولوژیک، مورفولوژیک و فیزیولوژیک سالیکورنیا اروپایی در پاسخ به یون‌های مختلف نشان می‌دهد که سدیم مؤثرتر از پتاسیم و کلراید بر روی گوشتی بودن ساقه، توسعه سبب و باز و بسته شدن روزنه‌ها می‌باشد. گیاهان تیمار شده با سدیم (شامل کلرید و نیترات سدیم) رشد بهتر گیاه، افزایش فتوسنتز و خسارت کمتر غشای سلولی را در مقایسه با گیاهان شاهد و یا تیمار شده با پتاسیم نشان می‌دهند (Sulian et al., 2011).

با توجه به این که پتاسیم از عناصر ضروری برای گیاهان بوده و اهمیت آن در محیط‌های شور (با سدیم بالا) دو چندان می‌باشد، بررسی اثر محلول‌پاشی پتاسیم در غلظت‌ها و دفعات مختلف روی تغییرات تنظیم کننده‌های اسمزی، رنگیزه‌های فتوسنتزی و عناصر غذایی، به عنوان عوامل اصلی در رشد گیاه سالیکورنیا در محیط بسیار شور اطراف دریاچه ارومیه (سواحل دریاچه) از اهداف اصلی این پژوهش می‌باشد.

مثبت در رشد و عملکرد بیوماس گیاه دارد. این تأثیر مثبت کلرید سدیم با میزان نیتروژن خاصیت هم‌افزایی دارد، طوری که جذب و تجمع نیترات رشد گیاه را بهبود می‌بخشد (Nie et al., 2015). گیاهان تحت آزمایش در شوری تا سطح ۶۰۰ میلی‌مولار با وجود کاهش رشد زنده مانده و مقاومت خوبی نشان می‌دهند (Aghaleh, 2008). در دو گونه از سالیکورنیا (*Salicornia europaea* و *S. persica*)، وزن تر و خشک دانه‌رست‌ها تا ۱۰۰ میلی‌مولار، محتوای نسبی آب تا ۳۰۰ میلی‌مولار و محتوای مالون‌دی‌آلدئید تا ۲۰۰ میلی‌مولار شوری حاصل از کلرید سدیم تغییر نمی‌کند. ولی محتوای کلروفیل (کلروفیل a، b و کلروفیل کل) و کارتنوئیدها با افزایش شوری کاهش می‌یابد (Aghaleh, 2008). در مطالعه طالع احمد و همکاران (Tale Ahmad et al., 2013) روی گونه *Salicornia persica*، افزایش کلرید سدیم تا ۲۰۰ میلی‌مول وزن تر و خشک ریشه و بخش‌هوایی را افزایش داد. علی‌رغم کاهش غلظت یون‌های کلسیم، منیزیم و پتاسیم، تجمع سدیم در بافت‌های گیاهی با افزایش شوری زیادتر شد. برای اعمال تنظیم اسمزی، میزان پرولین و گلاسیسین بتائین در شرایط شور افزایش نشان داد. این تغییرات همراه با افزایش شوری، باعث افزایش محتوای نسبی آب و کاهش پتانسیل آب در سلول‌ها می‌شود که منجر به حفظ آب سلول در شرایط تنش خواهد شد (Tale Ahmad et al., 2013). پتاسیم به عنوان یکی از عناصر ضروری برای رشد گیاه، عامل تسهیل در انتقال مواد غذایی و آهن، از یک قسمت به قسمت دیگر گیاه می‌باشد. به علاوه پتاسیم به عنوان تنظیم‌کننده اسمزی (اسمولیت) معدنی عمده، در تنظیم اسمزی و ایجاد فشار تورژانس محسوب می‌شود، در نتیجه این عنصر در بزرگ شدن سلول‌ها، رشد گیاه، باز و بسته شدن روزنه‌ها، حرکات برگ و تروپیس‌ها نقش دارد

مواد و روش‌ها

آزمایش در زمین‌های اطراف دریاچه ارومیه به مختصات جغرافیایی (۳۶ درجه و ۵۴ دقیقه شمالی، و ۴۵ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۲۷۳ متر از سطح دریا) به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار در سال ۱۳۹۱ انجام شد. مشخصات خاک محل آزمایش با بافت لوم رسی (۲۱٪ شن، ۴۸٪ سیلت و ۳۱٪ رس) در جدول ۱ ارائه شده است. عوامل آزمایش شامل غلظت‌های محلول پاشی در پنج سطح (صفر، ۱، ۲، ۳ و ۴ در هزار نانوذرات پتاسیم به صورت نانو کود کلات پتاسیم ۲۷٪ خضراء، تهیه شده از شرکت صدور احراز شرق) و دفعات محلول پاشی در ۳ سطح (۱، ۲ و ۳ مرتبه محلول پاشی) اعمال شدند. سطح صفر (شاهد) به صورت آب پاشی در نوبت‌های تعریف شده همزمان با محلول پاشی پتاسیم اعمال گردید. هر واحد آزمایشی به طول ۶ متر و عرض ۳ متر (۱۸ مترمربع) در نظر گرفته شد. بذرها سالیکورنیای اروپایی جمع‌آوری شده از مختصات مورد اشاره در بالا، در زمین‌های اطراف دریاچه ارومیه که تحت تاثیر آب دریاچه قرار داشتند، بدون هیچ‌گونه عملیات تهیه زمین با پخش بذر در سطح خاک کاشته شدند. تراکم نهایی به صورت ۱۳۵ بوته در مترمربع برای اعمال تیمارهای محلول پاشی فراهم گردید. آبیاری با آب دریاچه (با غلظت کل نمک ۴۰۰ میلی‌مولار) در طول دوره رشد طوری انجام گرفت که گیاهان تحت تنش کم‌آبی قرار نگیرند (در تخلیه ۵۰ درصد آب قابل دسترس). در مرحله شروع بذردهی، نمونه‌برداری از بخش‌های هوایی فتوسنتز کننده برای اندازه‌گیری پرولین و قند محلول انجام گرفت. برای اندازه‌گیری میزان پرولین، ۰/۵ گرم از بافت تازه برگ‌های توسعه یافته‌ی انتهایی در زمان ۸۰ درصد گل‌دهی) به همراه ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵٪ در داخل هاون

چینی کوبیده و له شد. قسمت بالایی محلول حاصله جدا گشته و رسوبات آن دوبار با ۵ میلی‌لیتر اتانول ۷۰٪ شستشو شده و فاز بالایی آن به قسمت رویی قبلی اضافه گردید. محلول به دست آمده به مدت ۱۰ دقیقه با ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ گردید و فاز مایع رویی برداشته شده و عصاره‌ی الکلی به دست آمده تا زمان اندازه‌گیری پرولین و قندهای محلول در داخل یخچال (۴ درجه‌ی سلسیوس) نگهداری شد (Irrigoyen et al., 1992). برای تعیین غلظت پرولین، ۱ میلی‌لیتر از عصاره‌ی الکلی تهیه شده را با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر رقیق نموده و ۵ میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین ۱ به آن اضافه شد (روش تهیه‌ی معرف نین‌هیدرین به ازای هر نمونه: ۰/۱۲۵ گرم نین‌هیدرین + ۲ میلی‌لیتر اسید فسفریک ۶ مولار + ۳ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال). پس از افزودن معرف نین‌هیدرین، ۵ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال به آن افزوده شده و مخلوط حاصله پس از به هم زدن، به مدت ۴۵ دقیقه در حمام آب جوش (۱۰۰ درجه‌ی سلسیوس) قرار داده شد. پس از درآوردن نمونه‌ها از حمام آب جوش و خنک شدن آنها، ۱۰ میلی‌لیتر بنزن به هر کدام از نمونه‌ها افزوده شده و به شدت تکان داده شد تا پرولین وارد فاز بنزن گردد. نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه به حال سکون رها شدند. استانداردهایی از پرولین از غلظت صفر تا ۰/۱ میلی‌مول بر میلی‌لیتر تهیه گردید و در نهایت میزان جذب محلول‌های استاندارد و نمونه‌ها در طول موج ۵۱۵ نانومتر با اسپکتروفوتومتر اندازه‌گیری شدند (Paquin and Lechasseur, 1979).

برای اندازه‌گیری میزان قندهای محلول، ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره‌ی الکلی نگهداری شده در یخچال به کمک میکروپیپت به داخل لوله‌ی آزمایش ریخته شده و ۳ میلی‌لیتر آنترون ۲ تازه تهیه شده (۱۵۰ میلی‌گرم آنترون + ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک

در این روابط محتوای کلروفیل ها و کاروتنوئید بر گرم درلیتر محاسبه شدند.

در مرحله شروع بذردهی (همزمان با نمونه برداری برای اندازه گیری تنظیم کننده های اسمزی و رنگیزه های فتوسنتزی) نمونه برداری از بخش های هوایی فتوسنتز کننده برای اندازه گیری عناصر معدنی انجام گرفت. نمونه های گیاهی پس از شستشو و خشک کردن در آون (۷۰ درجه ی سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت)، به وسیله آسیاب پودر شده و برای اندازه گیری عناصر غذایی نگهداری گردیدند. مقدار نیتروژن موجود در عصاره ی تهیه شده با استفاده از دستگاه کج لیدال تک اتوآنالیزر تعیین گردید (Miller and Houghton, 1945). برای اندازه گیری عناصر کلسیم، فسفر، پتاسیم و سدیم عصاره ی نمونه ها توسط هضم به روش سوزاندن خشک و ترکیب با HCl تهیه گردید. میزان فسفر با استفاده از روش رنگ سنجی (رنگ زرد مولیبدات وانادات) و با کمک دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر اندازه گیری شد (Waling et al., 1989). اندازه گیری مقدار کلسیم، پتاسیم و سدیم موجود در عصاره ی تهیه شده به روش نشر شعله ای و با کمک دستگاه فلیم فتومتر انجام گرفت (Waling et al., 1989).

تجزیه واریانس داده های حاصل با استفاده از نرم افزارهای آماری SAS9.1 و MSTATC، و مقایسه میانگین ها با آزمون SNK در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر متقابل بین تعداد دفعات محلول پاشی و غلظت ذرات نانوپتاسیم بر غلظت تنظیم کننده های اسمزی (پرولین و قند محلول کل)، رنگیزه های فتوسنتزی (کلروفیل a و b) و مجموع کاروتنوئیدهای برگ

۰.۷۲ (W/W) به آن افزوده شد. لوله های آزمایش به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار داده شدند تا ماده ی رنگی تشکیل گردد. پس از خنک شدن نمونه ها، میزان جذب آنها در طول موج ۶۲۵ نانومتر با اسپکتروفتومتر اندازه گیری شد. برای تهیه ی استاندارد قند، محلول هایی از گلوکز با غلظت های صفر تا ۱۲۰ ppm تهیه و کلیه ی مراحل آزمایش روی آنها انجام گردید و میزان جذب آنها در طول موج ۶۲۵ نانومتر قرائت گردید (Irrigoyen et al., 1992).

برای اندازه گیری میزان کلروفیل، ۰/۲۵ گرم برگ تازه (برگ های کاملاً توسعه یافته در زمان ۸۰ درصد گل دهی) را خرد کرده و در یک هاون چینی با ۵ میلی لیتر آب مقطر، در محیط خنک و نور کم، ساییده تا به صورت توده ی یکنواختی درآید. مخلوط حاصل را در یک بالن ژوژه ی ۲۵ میلی لیتری ریخته و به حجم رسانیده شد. ۰/۵ میلی لیتر از مخلوط به دست آمده را برداشته و با ۴/۵ میلی لیتر استون ۸۰٪ مخلوط کرده و ۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ گردید. پس از سانتریفوژ کردن، مخلوط رویی را برداشته و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر، میزان جذب آن در طول موج های ۶۴۶/۸ و ۶۶۳/۲ نانومتر قرائت گردید. غلظت کلروفیل های a، b و کل با استفاده از روابط زیر محاسبه گردیدند (Lichtenthaler, 1987):

$$\begin{aligned} \text{کلروفیل کل} &= (0.00802 \times OD_{663.2}) + (0.0202 \times OD_{646.8}) \\ \text{کلروفیل a} &= (0.00269 \times OD_{663.2}) - (0.0127 \times OD_{646.8}) \\ \text{کلروفیل b} &= (0.00468 \times OD_{663.2}) - (0.0229 \times OD_{646.8}) \end{aligned}$$

در روابط بالا OD_{۶۴۶/۸} و OD_{۶۶۳/۲} به ترتیب میزان جذب در طول موج های ۶۴۶/۸ و ۶۶۳/۲ نانومتر می باشند.

غلظت کاروتنوئید برگی هم از رابطه زیر به دست آمد (Lichtenthaler, 1987):

$$\text{کاروتنوئید} = \{1198 \text{chl b} - 85.02 \text{chl a} - 1000(OD_{470})\}$$

(جدول ۲)، میزان تجمع عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و سدیم بخش هوایی، و همچنین نسبت سدیم به پتاسیم (جدول ۳) در سطح احتمال ۱ درصد، و بر روی کلروفیل کل (جدول ۲) در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد.

بیشترین غلظت پرولین در اندام‌های هوایی (۱/۸۴ میلی‌گرم در گرم ماده خشک) در سه نوبت محلول‌پاشی چهار در هزار به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با دو و سه نوبت آب‌پاشی نداشت. کمترین غلظت پرولین (۰/۸ میلی‌گرم در گرم ماده خشک) در یک نوبت محلول‌پاشی سه در هزار پتاسیم مشاهده شد. در تیمارهای آب‌پاشی و محلول‌پاشی یک در هزار پتاسیم با افزایش دفعات کاربرد پتاسیم، غلظت پرولین افزایش داشت، ولی این افزایش در غلظت‌های دو و سه در هزار تا دو نوبت محلول‌پاشی افزایش یافت، ولی در غلظت‌های بالاتر از آن ثابت ماند (شکل ۱). همچنین، بیشترین انباشت کربوهیدرات‌های محلول (قند محلول) (۶۶/۹ میلی‌گرم در گرم ماده خشک) در سه نوبت محلول‌پاشی با غلظت دو در هزار نانو ذرات پتاسیم، و کمترین انباشت آن (۳۳/۱ میلی‌گرم در گرم ماده خشک) در تیمار محلول‌پاشی با غلظت چهار در هزار پتاسیم به‌دست آمدند. کلیه سطوح یک نوبت محلول‌پاشی پتاسیم تفاوت معنی‌داری با مقدار قند محلول حاصل از یک نوبت آب‌پاشی نداشتند. ولی دفعات محلول‌پاشی باعث افزایش سطح قند محلول گیاه شده است، طوری‌که، این مقادیر در سه نوبت محلول‌پاشی ۲ در هزار به حداکثر رسید (شکل ۲).

بالاترین غلظت کلروفیل کل (۲۶/۲۳ میلی‌گرم برگرم وزن تر) در تیمار شاهد (آب‌پاشی) در دو نوبت به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با غلظت کلروفیل کل (۲۶/۲۲ میلی‌گرم برگرم وزن تر) در سه نوبت آب‌پاشی نداشت. ولی در یک نوبت آب‌پاشی، غلظت

کلروفیل کل کاهش معنی‌دار داشت. پایین‌ترین غلظت کلروفیل کل (۲/۸۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در سه نوبت محلول‌پاشی سه در هزار پتاسیم به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با غلظت کلروفیل کل (۴/۰۳ میلی‌گرم برگرم وزن تر) در دو نوبت محلول‌پاشی دو در هزار پتاسیم نداشت. با وجود کاهش معنی‌دار کلروفیل کل در محلول‌پاشی پتاسیم نسبت به آب‌پاشی، کلیه تیمارهای محلول‌پاشی در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۳).

بالاترین غلظت کلروفیل a (۹/۹۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در سه نوبت محلول‌پاشی چهار در هزار پتاسیم مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با کلروفیل a حاصل از دو نوبت و یک نوبت محلول‌پاشی چهار در هزار نداشت. پایین‌ترین غلظت کلروفیل a (۰/۶۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در یک نوبت محلول‌پاشی دو در هزار پتاسیم به‌دست آمد. همپوشانی در میانگین مقادیر کلروفیل a نشان می‌دهد که محلول‌پاشی نانوذرات پتاسیم در کمتر از غلظت ۴ در هزار از نظر این رنگیزه اصلی فتوسنتزی تفاوت معنی‌داری با شاهد در کلیه دفعات محلول‌پاشی نداشت (شکل ۴).

بیشترین غلظت کلروفیل b (۲۲/۸۵ میلی‌گرم برگرم وزن تر) در دو نوبت آب‌پاشی به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با غلظت کلروفیل b (۲۰/۵۴ میلی‌گرم برگرم وزن تر) در سه نوبت آب‌پاشی نداشت. ولی در یک نوبت آب‌پاشی، غلظت کلروفیل b کاهش یافت. کمترین غلظت کلروفیل b (۱/۸۲ میلی‌گرم برگرم وزن تر) در سه نوبت محلول‌پاشی سه در هزار پتاسیم مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با غلظت کلروفیل b (۲/۲۷ میلی‌گرم برگرم وزن تر) حاصل از دو نوبت محلول‌پاشی دو در هزار پتاسیم نداشت. با وجود کاهش معنی‌دار غلظت کلروفیل b در محلول‌پاشی پتاسیم نسبت به آب‌پاشی، کلیه

یک، دو و سه نوبت محلول‌پاشی با غلظت‌های یک و دو در هزار نداشت. با افزایش غلظت محلول‌پاشی نانوذرات پتاسیم، میزان فسفر بخش هوایی افزایش یافته است، و این افزایش در یک و دو نوبت محلول-پاشی بیش از آب‌پاشی بود. هرچند در بخش‌هوائی گیاه میزان فسفر بالاتری در سه نوبت آب‌پاشی داشت (شکل ۸). بیشترین میزان پتاسیم (۶۵/۰۸ گرم در کیلوگرم ماده خشک) در دو نوبت محلول‌پاشی با غلظت چهار در هزار پتاسیم مشاهده شد. ولی کمترین میزان پتاسیم (۲۳/۷۸ گرم در کیلوگرم ماده خشک) در یک نوبت آب‌پاشی (شاهد) به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با یک بار محلول‌پاشی چهار در هزار نداشت. در سه نوبت محلول‌پاشی، غلظت‌های صفر تا چهار در هزار پتاسیم از نظر میزان تجمع پتاسیم در بخش‌هوائی گیاه سالیکورنیا تفاوتی با هم نداشتند. در دو نوبت محلول‌پاشی، کاربرد چهار در هزار پتاسیم باعث تجمع بیشترین مقدار پتاسیم در بخش هوایی شد. ولی در یک نوبت محلول‌پاشی، غلظت سه در هزار بیشترین میزان پتاسیم را تجمع داد (شکل ۹). مقایسه میانگین‌های میزان کلسیم در بخش هوایی سالیکورنیا نشان داد که بالاترین میزان انباشت آن (۲۹/۲۳ گرم در کیلوگرم ماده خشک) در سه نوبت محلول‌پاشی چهار در هزار نانوذرات پتاسیم مشاهده شد. پایین‌ترین میزان کلسیم (۶/۱۹ گرم در کیلوگرم ماده خشک) مربوط به ۲ نوبت محلول‌پاشی ۱ در هزار پتاسیم بود که تفاوت معنی‌داری با غلظت‌های صفر، یک و سه در هزار در هر سه نوبت محلول‌پاشی نداشت. حتی محلول‌پاشی پتاسیم با غلظت چهار در هزار هم در دو نوبت نتوانست میزان کلسیم بافت بخش‌های هوایی سالیکورنیا را نسبت به این مقدار حداقل افزایش دهد (شکل ۱۰). بیشترین میزان سدیم بخش هوایی سالیکورنیا (۴۰۳ گرم در کیلوگرم ماده خشک) در دو

تیمارهای محلول‌پاشی با نانوذرات پتاسیم در تعداد دفعات یک تا سه نوبت در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۵). کمترین غلظت کاروتنوئیدهای کل (مجموع زانتوفیل و کاروتن) برگ سالیکورنیا در هر سه نوبت تیمار گیاه مربوط به آب‌پاشی (بدون پتاسیم) بود. با این حال غلظت‌های بالاتری از نانوذرات پتاسیم منجر به سنتز بیشتر کاروتن گردید. به‌طوری‌که، بیشترین غلظت کاروتنوئید برای یک مرتبه محلول‌پاشی، غلظت ۴ در هزار پتاسیم، و برای ۲ و ۳ نوبت محلول‌پاشی به‌ترتیب ۲ و ۳ در هزار نانو پتاسیم بود. به نظر می‌رسد، افزایش تعداد دفعات محلول‌پاشی بتواند نیاز به غلظت‌های بالاتر پتاسیم را برطرف نماید، و یا برعکس در صورت کاربرد غلظت پایین از نانوذرات پتاسیم نیاز به تکرار محلول‌پاشی برای تولید و تجمع یکسان کاروتنوئید لازم است (شکل ۶). در بررسی مقایسه میانگین تیمارها بالاترین درصد نیتروژن (۰/۹۵ درصد) در تیمار سه نوبت آب‌پاشی، و کمترین درصد نیتروژن (۰/۶۳ درصد) در تیمار سه نوبت محلول‌پاشی نانوذرات پتاسیم با غلظت چهار در هزار به‌دست آمدند. روند تغییرات درصد نیتروژن نشان می‌دهد که درصد نیتروژن در کلیه تیمارهای محلول‌پاشی نسبت به شاهد (آب‌پاشی) کاهش نشان می‌دهد. با این حال غلظت دو در هزار و سه در هزار در کلیه دفعات محلول‌پاشی باعث افزایش آن در بافت گیاه شده است. با این حال، غلظت‌های بالاتر از سه درصد باعث کاهش نیتروژن بافت بخش هوایی سالیکورنیا شده است (شکل ۷). بیشترین مقدار فسفر بخش‌هوائی (۲/۹۹ گرم در کیلوگرم ماده خشک) مربوط به سه نوبت آب‌پاشی بود. پایین‌ترین میزان فسفر (۱/۵۷ گرم در کیلوگرم ماده خشک) در یک نوبت محلول‌پاشی دو در هزار پتاسیم به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با مقدار فسفر حاصل از تیمارهای

صفر و دو در هزار پتاسیم مشاهده شد. نصیری (Nasiri, 2013) اثر سطوح مختلف آبیاری و کود نیتروژن بر رشد و عملکرد سالیکورنیا را بررسی نمود و برای بررسی تأثیر نیتروژن و سطوح مختلف آبیاری روی رشد و عملکرد سالیکورنیا، یک آزمایش در همین منطقه آزمایش انجام گرفت. اثر متقابل معنی‌دار بین آبیاری و نیتروژن روی کاروتنوئید، سدیم، کلسیم و فسفر برگ (بخش‌هوایی)، ارتفاع و قطر ساقه، درصد پروتئین، فیبرخام، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد روغن، درصد روغن و شاخص برداشت دانه و روغن نشان‌دهنده پاسخ متفاوت گیاه از نظر صفات فیزیولوژیکی و زراعی می‌باشد. در نتایج حاصل از این پژوهش، به نظر می‌رسد در شرایط بسیار شور و بدون اعمال محلول‌پاشی پتاسیم، تنش شدید باعث افزایش تولید کلروفیل b شده است. در حالی که کاهش در کلروفیل a به کمتر از افزایش کلروفیل b بوده، بنابراین کلروفیل کل در تیمار شاهد افزایش زیادی نسبت به تیمارهای محلول‌پاشی داشته است. نتایج بررسی پیرزاد و مسافر (Pirzad and Mosafer, 2013a) در تأثیر نانوذرات پتاسیم [مقادیر محلول‌پاشی (صفر، ۱، ۲، ۳ و ۴ در هزار نانوذرات پتاسیم) و چهار مرحله برداشت (برداشت بلافاصله پس از شکل‌گیری بذر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ روز پس از آن)] بر سالیکورنیا در زمین‌های اطراف دریاچه ارومیه (همین منطقه آزمایش)، نشان داد که بالاترین غلظت کلروفیل کل و کلروفیل b در تیمار شاهد (آب‌پاشی) و بالاترین غلظت کلروفیل a و کاروتنوئید در محلول‌پاشی چهار در هزار نانوذرات پتاسیم به‌دست آمدند. در بررسی تجمع اسمولیت‌ها در بخش‌هوایی، بیشترین و کمترین مقدار پرولین به ترتیب در مقادیر دو و سه در هزار پتاسیم مشاهده شد. بالاترین و پایین‌ترین مقادیر کل کربوهیدرات‌های محلول به ترتیب در مقادیر یک و

نوبت محلول‌پاشی چهار در هزار، و پایین‌ترین میزان سدیم (۲۳۴ گرم در کیلوگرم ماده خشک) در سه نوبت محلول‌پاشی یک در هزار پتاسیم به‌دست آمد. فقط غلظت‌های بسیار بالاتر (چهار در هزار) نانوذرات پتاسیم در دفعات بیش از دو نوبت، میزان سدیم بافت‌های بخش‌هوایی سالیکورنیا را افزایش داد. در حالی که سایر تیمارهای محلول‌پاشی باعث تجمع سدیم در حد تیمار شاهد (آب‌پاشی) شده است. حتی در یک نوبت محلول‌پاشی با غلظت چهار در هزار میزان تجمع سدیم بافتی به کمتر از این حد هم رسید (شکل ۱۱). بررسی مقایسات نسبت سدیم به پتاسیم به عنوان شاخصی از مقاومت به شوری، نشان داد که در با افزایش تعداد آب‌پاشی میزان این نسبت کاهش یافت. یعنی تجمع سدیم کاهش نشان می‌دهد. ولی در محلول‌پاشی پتاسیم غلظت ۳ در هزار با سه و چهار نوبت، و غلظت ۴ در هزار با چهار نوبت محلول‌پاشی میزان تجمع سدیم را افزایش داده است. ولی در سایر سطوح نانو پتاسیم، انباشت سدیم در بافت‌های بخش‌هوایی سالیکورنیا در کمترین مقدار خود قرار داشت (شکل ۱۲). با این حال اثر متقابل معنی‌دار بین غلظت و تعداد دفعات محلول‌پاشی پتاسیم بر نسبت سدیم به پتاسیم بافت‌های بخش‌هوایی این گیاه نشان‌دهنده پاسخ متفاوت آن به غلظت‌های مختلف تامین ذرات نانو پتاسیم می‌باشد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌های عناصر معدنی بخش‌هوایی سالیکورنیا نشان داد که بالاترین میزان تجمع پتاسیم و سدیم، در دو نوبت و بیشترین تجمع کلسیم در سه نوبت محلول‌پاشی با غلظت چهار در هزار نانوذرات پتاسیم مشاهده شد. در حالی که بیشترین تجمع نیتروژن و فسفر در تیمار شاهد (آب‌پاشی) در سه نوبت به‌دست آمد. ولی در بررسی تجمع اسمولیت‌ها در بخش‌هوایی، بیشترین مقدار پرولین و کربوهیدرات‌های محلول به ترتیب در مقادیر

مورد بررسی نشان می‌دهد که پاسخ گیاه به محلول پاشی پتاسیم در غلظت‌های مختلف، متفاوت می‌باشد. ولی کاهش سنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی و کاروتنوئید، همزمان با افزایش در تولید کربوهیدرات‌های (قندهای) محلول و افزایش هر چند اندک و نامحسوس پرولین حاکی از این است که در شرایط خیلی شور که این گیاه رشد کرده است (آبیاری با ۴۰۰ میلی‌مولار غلظت کل نمک)، آب پاشی به نوعی تعدیل در شوری را باعث شده است. هر چند این تعدیل شرایط شوری کوتاه مدت باشد. کاهش جذب و تجمع نیتروژن و فسفر هم در تیمارهای محلول پاشی مؤید این نکته می‌باشد. ولی با محلول پاشی نانوذرات پتاسیم میزان تجمع سدیم، پتاسیم و کلسیم نسبت به تیمارهای آب پاشی بهبود یافته است.

چهار در هزار نانوذرات پتاسیم به دست آمدند (Pirzad and Mosafer, 2013c). در مطالعه پیرزاد و مسافر (Pirzad and Mosafer, 2013b) بالاترین مقدار فسفر، پتاسیم و سدیم بخش هوایی سالیکورنیا در محلول پاشی سه در هزار پتاسیم، و بیشترین غلظت کلسیم در تیمار محلول پاشی با غلظت ۲ در هزار نانو ذرات پتاسیم مشاهده شدند. مسافر (Mosafer, 2013) برای تولید بیوماس (علوفه)، دانه (مصرف آجیلی و بذر) و همچنین روغن دانه (مصارف خوراکی و صنعتی) سالیکورنیا در سواحل دریاچه ارومیه محلول پاشی ۴ در هزار ذرات نانوپتاسیم را توصیه می‌کند.

نتیجه‌گیری کلی

اثرات متقابل معنی‌دار روی صفات فیزیولوژیک

جدول ۱- خصوصیات فیزیوشیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Physicochemical characteristics of soil of experimental site

عمق خاک	مواد آلی	هدایت الکتریکی	اسیدیته خاک	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	وزن مخصوص ظاهری
Soil depth	Organic matter	EC	pH	N	P	K	Bulk density
cm	%	dS.m ⁻¹		%	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	g.cm ⁻³
30	0.013	33.8	8.81	0.01	3.7	602	1.78

جدول ۲- میانگین مربعات تنظیم کننده‌های اسمزی، رنگیزه‌های فتوسنتزی و کاروتنوئید تحت تاثیر دفعات محلول پاشی نانوذرات پتاسیم در غلظت‌های مختلف بر روی سالیکورنیا اروپایی

Table 2- Means of squares osmolytes, photosynthetic pigments and carotenoid in Common glasswort affected by frequency of spraying K nano-particles in various concentrations

منابع تغییر	درجه آزادی	پرولین	قند محلول	کلروفیل کل	کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئید کل
Source of variation	df	Proline	Soluble carbohydrates	Total chlorophyll	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Carotenoid
بلوک	2	0.0691 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	8.121 ^{ns}	1.265 ^{ns}	13.964 ^{ns}	0.028 ^{ns}
غلظت پتاسیم (A)	4	0.396 ^{**}	0.0067 ^{**}	431.644 ^{**}	32.716 ^{**}	321.335 ^{**}	0.112 ^{**}
دفعات محلول پاشی (B)	2	1.0575 ^{**}	0.1324 ^{**}	27.822 ^{ns}	18.746 ^{ns}	32.225 [*]	0.269 ^{**}
A×B	8	0.93 ^{**}	0.0115 ^{**}	37.451 [*]	13.815 ^{**}	33.808 ^{**}	0.928 ^{**}
خطای آزمایشی	28	0.0281	0.0004	13.482	3.076	9.693	0.009
ضریب تغییرات	%	26.15	40.30	43.77	31.31	4.24	12.33
Coefficient of variation							

ns غیرمعنی‌دار، * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns: non-significant; * and ** significant at 5 and 1 % probability level, respectively

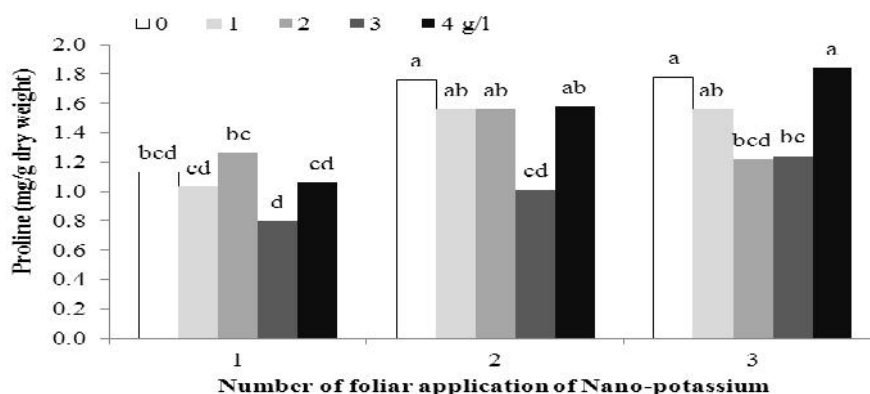
جدول ۳- میانگین مربعات عناصر معدنی بخش هوایی سالیکورنیا ای اروپایی تحت تاثیر دفعات محلول‌پاشی نانوذرات پتاسیم در غلظت‌های مختلف

Table 3- Means of squares nutrients of aerial parts in Common glasswort affected by frequency of spraying K nano-particles in various concentrations

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	نیتروژن Nitrogen	فسفر Phosphorus	پتاسیم Potassium	کلسیم Calcium	سدیم Sodium	سدیم / پتاسیم Sodium/Potassium
بلوک Block	2	0.20 ^{ns}	0.0071 ^{ns}	2.081 ^{ns}	10.045 ^{ns}	1100.95 ^{ns}	1.29 ^{ns}
غلظت پتاسیم (A) K concentration(A)	4	2.56 ^{**}	0.923 ^{**}	207.13 ^{**}	109.92 ^{**}	20732.34 ^{**}	15.09 ^{**}
دفعات محلول‌پاشی (B) Spraying frequency(B)	2	0.14 ^{ns}	0.159 ^{**}	148.35 ^{**}	115.11 ^{**}	3132.83 ^{**}	10.84 ^{**}
A×B	8	0.40 ^{**}	0.236 ^{**}	404.64 ^{**}	47.64 ^{**}	21247.91 ^{**}	37.74 ^{**}
خطای آزمایشی Error	28	0.09	0.012	9.92	5.24	495.46	1.88
ضریب تغییرات Coefficient of variation		6.25	5.49	8.15	19.59	4.64	10.52

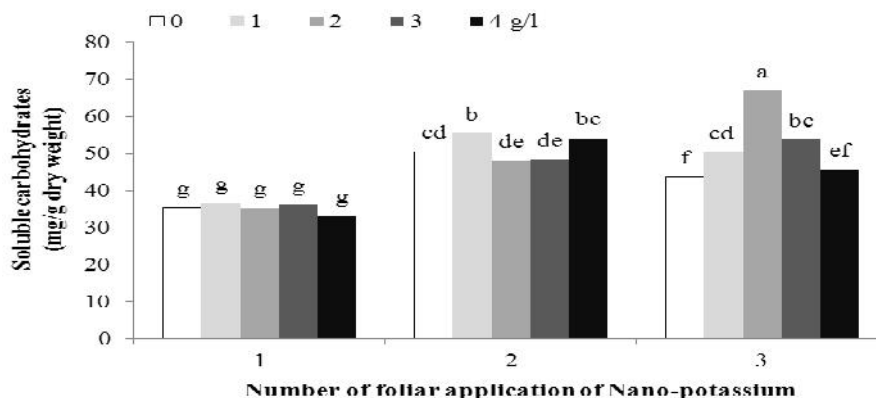
ns غیر معنی‌دار، * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns: non-significant; * and ** significant at 5 and 1 % probability level, respectively



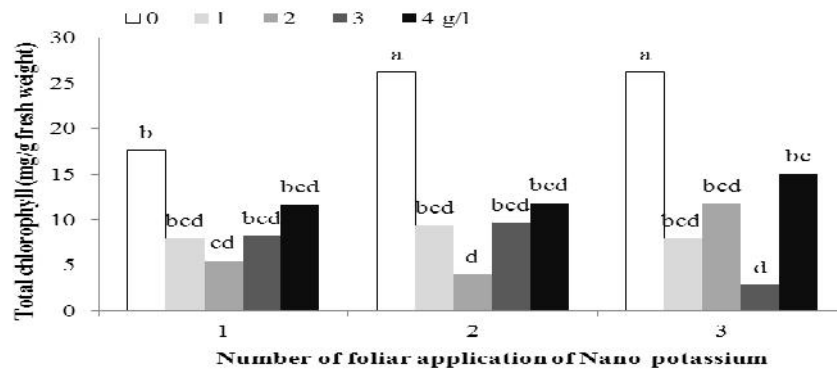
شکل ۱- میانگین‌های میزان پرولین سالیکورنیا ای اروپایی تحت تاثیر غلظت و دفعات محلول‌پاشی نانوپتاسیم

Figure 1 – Means of proline in Common glasswort affected by concentration and times of nano-potassium spraying



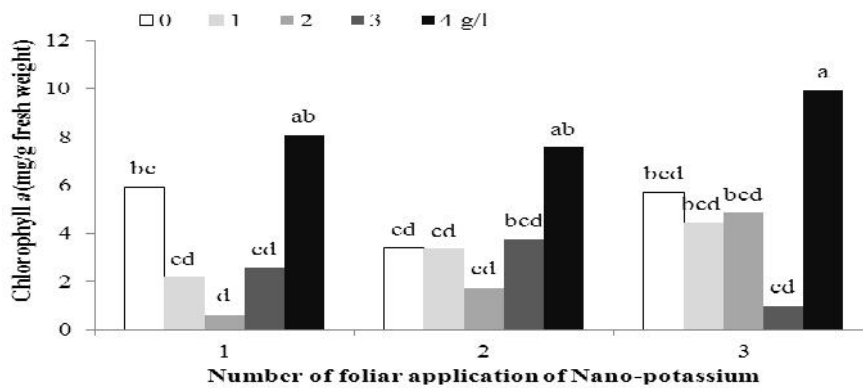
شکل ۲- میانگین‌های میزان قند محلول سالیکورنیا ای اروپایی تحت تاثیر غلظت و دفعات محلول‌پاشی نانوپتاسیم

Figure 2 – Means of soluble carbohydrates in Common glasswort affected by concentration and times of nano-potassium spraying



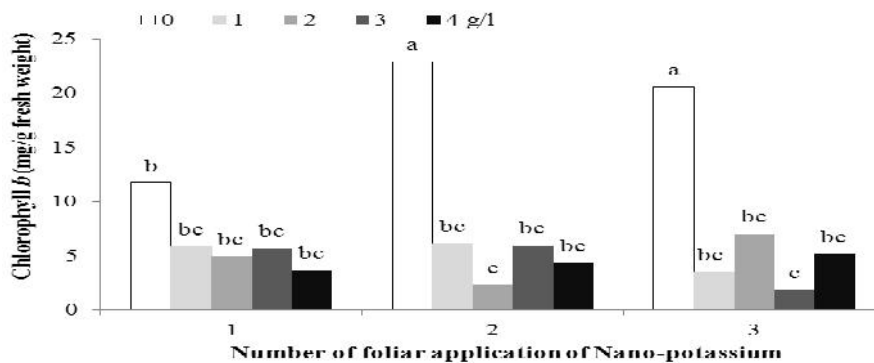
شکل ۳- میانگین‌های کلروفیل کل سالیکورنیای اروپایی تحت تاثیر غلظت و دفعات محلول پاشی نانوپتاسیم

Figure 3 – Means of total chlorophyll in Common glasswort affected by concentration and times of nano-potassium spraying



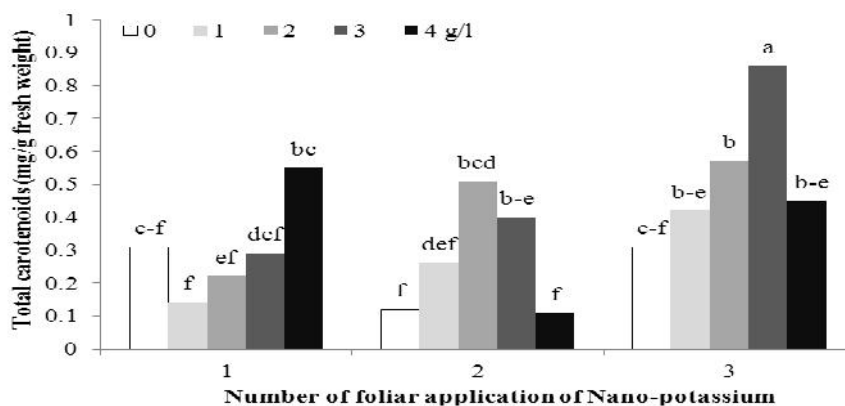
شکل ۴- میانگین‌های کلروفیل a سالیکورنیای اروپایی تحت تاثیر غلظت و دفعات محلول پاشی نانوپتاسیم

Figure 4 – Means of chlorophyll a in Common glasswort affected by concentration and times of nano-potassium spraying



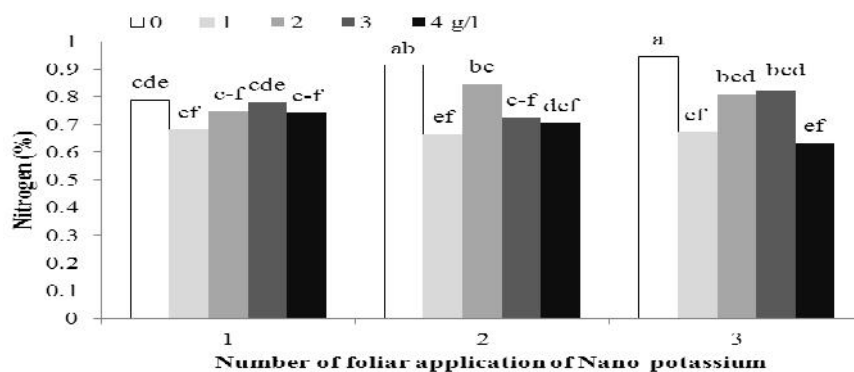
شکل ۵- میانگین‌های کلروفیل b سالیکورنیای اروپایی تحت تاثیر غلظت و دفعات محلول پاشی نانوپتاسیم

Figure 5 – Means of chlorophyll b in Common glasswort affected by concentration and times of nano-potassium spraying



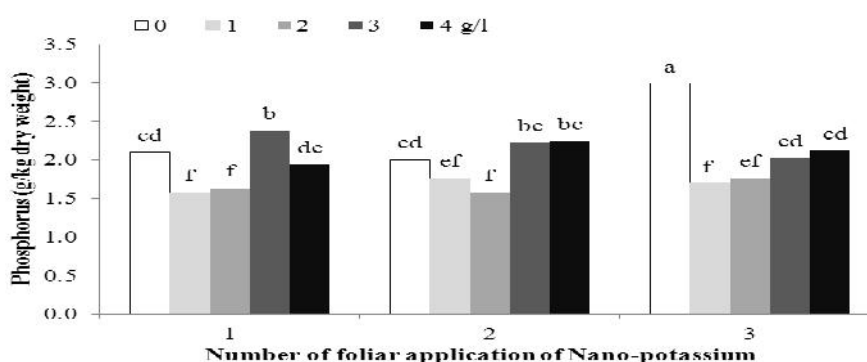
شکل ۶- میانگین‌های کاروتن کل سالیکورنیای اروپایی تحت تاثیر غلظت و دفعات محلول پاشی نانوپتاسیم

Figure 6 – Means of total carotenoids in Common glasswort affected by concentration and times of



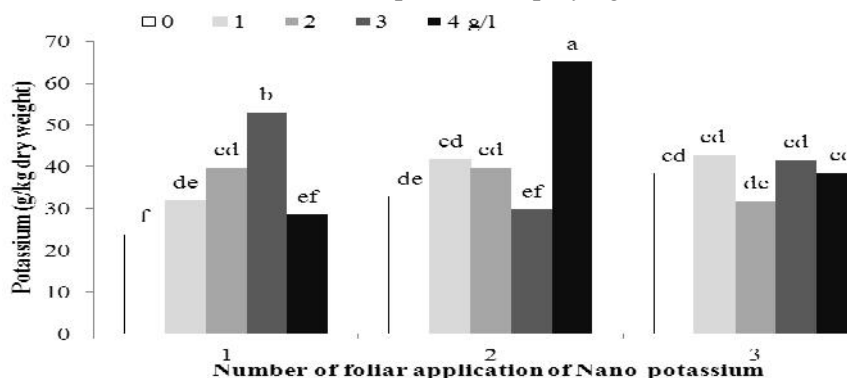
شکل ۷- میانگین‌های نیتروژن سالیکورنیای اروپایی تحت تاثیر غلظت و دفعات محلول پاشی نانوپتاسیم

Figure 7 – Means of nitrogen amount in Common glasswort aerial parts affected by concentration and times of nano-potassium spraying



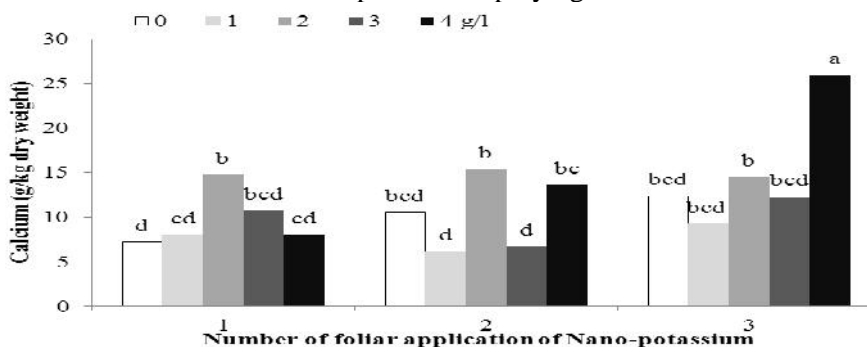
شکل ۸- میانگین‌های فسفر سالیکورنیای اروپایی تحت تاثیر غلظت و دفعات محلول پاشی نانوپتاسیم

Figure 8 – Means of phosphorus in Common glasswort aerial parts affected by concentration and times of nano-potassium spraying



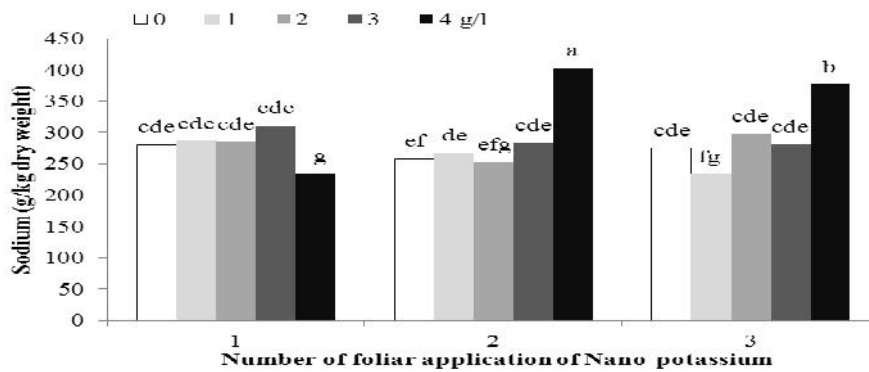
شکل ۹- میانگین‌های میزان پتاسیم سالیکورنیای اروپایی تحت تاثیر غلظت و دفعات محلول پاشی نانوپتاسیم

Figure 9 – Means of potassium in Common glasswort aerial parts affected by concentration and times of nano-potassium spraying



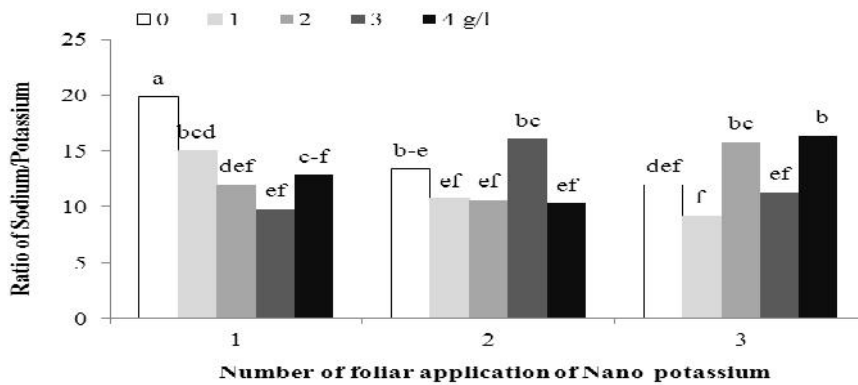
شکل ۱۰- میانگین‌های میزان کلسیم سالیکورنیای اروپایی تحت تاثیر غلظت و دفعات محلول پاشی نانوپتاسیم

Figure 10 – Means of calcium in Common glasswort aerial parts affected by concentration and times of nano-potassium spraying



شکل ۱۱- میانگین‌های میزان سدیم سالیکورنیای اروپایی تحت تاثیر غلظت و دفعات محلول پاشی نانوپتاسیم

Figure 11 – Means of sodium in Common glasswort aerial parts affected by concentration and times of nano-potassium spraying



شکل ۱۲- میانگین‌های نسبت سدیم به پتاسیم سالیکورنیای اروپایی تحت تاثیر غلظت و دفعات محلول پاشی نانوپتاسیم

Figure 12 – Means of sodium to potassium ratio in Common glasswort aerial parts affected by concentration and times of nano-potassium spraying

References

منابع مورد استفاده

- Aghaleh, M. 2008. The effect of salinity stress on some physiological and molecular parameters of *Salicornia persica* and *Salicornia europaea* in vitro. PhD thesis, University of Tehran, Tehran, Iran (in Persian).
- Allahgholi, A., and Y. Asri. 2014. Changes in plant communities within the south east salt marshes of Orumieh Lake, I.R. Iran. *Journal of Plant Ecophysiology*. 15: 74-87 (In Persian).
- Aslam, R., N. Bostan, M. Nabgha-e-Amen Maria, and W. Safdar. 2011. A critical review on halophytes: Salt tolerant plants. *Journal of Medicinal Plants Research*. 5: 7108-7118.
- Eghbalinejad, M., H. Irannejad, N.A. Khosh Kholgh Sima, and R. Mehdipour Afra. 2012. Respons of *Salicornia* to oil pollution as a bioaccumulation. 1st National Conference on Phytoremediation, Kerman, Iran. February 16, pp. 1-4 (In Persian).

- Fan, P., L. Nie, P. Jiang, J. Feng, S. Lv, X. Chen, H. Bao, J. Guo, F. Tai, J. Wang, W. Jia, and Y. Li. 2013. Transcriptome analysis of *Salicornia europaea* under saline conditions revealed the adaptive primary metabolic pathways as early events to facilitate salt adaptation. *Plos One*. 8(11): 1-18.
- Flowers, T.J., P.F. Troke, and A.R. Yeo. 1977. The mechanism of salt tolerance in halophytes. *Annual Review of Plant Physiology*. 28: 89–121.
- Glenn, E.P., and J.J. Brown. 1999. Salt tolerance and crop potential of halophytes. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 18(2): 227–255.
- Gorbanli, M., R. Heidari, and J. Khara. 1996. Ecophysiological study of *Salicornia europaea* and *Halimione verruciferum*, two coastal halophytes of Urmia Lake. *Pajouhesh & Sazandegi*. 30: 86-89 (In Persian).
- Ibrahim, A.H. 2004. Efficacy of exogenous glycine betaine application on *Sorghum* plants grown under salinity stress. *Acta Botanica Hungarica*. 46(3-4): 307–318.
- Inan, G., Q. Zhang, P. Li, Z. Wang, Z. Cao, H. Zhang, C. Zhang, T.M. Quist, S.M. Goodwin, J. Zhu, H. Shi, B. Damsz, T. Charbaji, Q. Gong, S. Ma, M. Fredricksen, D.W. Galbraith, M.A. Jenks, D. Rhodes, P.M. Hasegawa, H.J. Bohnert, R.J. Joly, R.A. Bressan, and J.K. Zhu. 2004. Salt cress. A halophyte and cryophyte arabidopsis relative model system and its applicability to molecular genetic analyses of growth and development of extremophiles. *Plant Physiology*. 135:1718-1737.
- Irrigoyen, J.J., D.W. Emerich, and M. Sanchez-Diaz. 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiologia Plantarum*. 84(1): 55-60.
- Khan, M.A., I.A. Ungar, and A.M. Showalter. 2000. Effects of sodium chloride treatments on growth and ion accumulation of the halophyte *Haloxylon recurvum*. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 31: 2744–2763.
- Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*. 148: 350-382.
- Marschner, P. 2012. Marschner's mineral nutrition of higher plants (Third Edition). Elsevier Ltd.
- Mengel, K., and E.A. Kirkby. 2001. Principles of plant nutrition. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher.
- Miller, L., and J.A. Houghton. 1945. The micro-kjeldahl determination of the nitrogen content of amino acids and proteins. *Journal of Biological Chemistry*. 159: 373-383.
- Mosafer, N. 2013. Effect of potassium nano-particles and harvest stage on the quantitative and qualitative yield of *Salicornia*. MSc thesis, Islamic Azad University, Islamshahr branch, Iran (In Persian).
- Munns, R., and M. Tester. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*. 59: 651–681.

- Munns, R., S. Husain, R.A. Rivelli, A.R. James, A.G. Condon (Tony), P.M. Lindsay, S. E. Lagudah, P.D. Schachtman, and A.R. Hare. 2002. Avenues for increasing salt tolerance crops and the role of physiology based selection traits. *Plant and Soil*. 247: 93-105.
- Nasiri, T. 2013. Effect of irrigation levels and nitrogen fertilizer on the growth and yield of *Salicornia europaea*. MSc thesis, Urmia University, Urmia, Iran (In Persian).
- Nie, L., J. Feng, P. Fan, X. Chen, J. Guo, S. Lv, H. Bao, W. Jia, F. Tai, P. Jiang, J. Wang, and Y. Li. 2015. Comparative proteomics of root plasma membrane proteins reveals the involvement of calcium signaling in NaCl-facilitated nitrate uptake in *Salicornia europaea*. *Journal of Experimental Botany*. 66(15): 4497-4510.
- Paquin, R., and P. Lechasseur. 1979. Observations sur une methode de dosage de la proline libre dans les extraits de plantes. *Canadian Journal of Botany*. 57: 1851-1854.
- Pirzad, A., and N. Mosafer. 2013a. Effect of Potassium Nano-particles and harvest stages on photosynthetic pigments and carotenoids of *Salicornia europaea*. Second National Conference on Climate Change and the Impact on Agriculture and the Environment, Urmia, Iran. August 14, pp. 2520-2526 (In Persian).
- Pirzad, A., and N. Mosafer. 2013b. Effect of potassium nano-particles and harvest stages on the mineral nutrients of *Salicornia europaea*. Second National Conference on Climate Change and the Impact on Agriculture and the Environment, Urmia, Iran. August 14, pp. 2562-2567 (In Persian).
- Pirzad, A., and N. Mosafer. 2013c. Effect of potassium Nano-particles and harvest stages on osmolytes of *Salicornia europaea*. Second National Conference on Climate Change and the Impact on Agriculture and the Environment, Urmia, Iran. August 14, pp. 2568-2574 (In Persian).
- Shabala, S. 2003. Regulation of potassium transport in leaves: From molecular to tissue level. *Annals of Botany*. 92: 627-634.
- Song, J., G. Feng, C.Y. Tian, and F. Zhang. 2006. Osmotic adjustment traits of *Suaeda physophora*, *Haloxylon ammodendron* and *Haloxylon persicum* in field or controlled condition. *Plant Science*. 170: 113-119.
- Sulian, L., N. Lingling, F. Pengxiang, W. Xuchu, J. Dan, C. Xianyang, and L. Yinxin. 2011. Sodium plays a more important role than potassium and chloride in growth of *Salicornia europaea*. *Acta Physiologiae Plantarum*. 34(2): 503-513.
- Tale Ahmad, S., N.A. Khosh Kholgh Sima, and H.H. Mirzaei. 2013. Effects of sodium chloride on physiological aspects of *Salicornia persica* growth. *Journal of Plant Nutrition*. 36: 401-414.
- Tester, M., and R. Devenport. 2003. Na⁺ tolerance Na⁺ transport in higher plants. *Annals of Botany*. 91: 503-527.
- Waling, I., W. Van Vark, V.J.G. Houba, and J.J. Van der Lee. 1989. Soil and plant analysis, a series of syllabi, Part 7, Plant Analysis Procedures, Wageningen Agriculture University, Wageningen, The Netherlands.

Physiological Response of Common Glasswort (*Salicornia europaea* L.) to Potassium Nano-Particles Grown in Saline Soils around the Lake Urmia

Alireza Pirzad^{1*}, and Mehdi Jabbarzadeh²

Received: December 2015, Revised: 9 February 2016, Accepted: 9 March 2016

Abstract

To evaluate the effects of spraying potassium nano-particles on the osmolytes, photosynthetic pigments, total carotenoids and nutrients of aerial parts of common glasswort (*Salicornia europaea* L.), a factorial experiment based on randomized complete block design with three replications was conducted at the marginal lands of Lake Urmia in 2012. The treatments consisted of application of potassium nano-particle concentrations at five levels (0, 1, 2, 3 and 4 g/l of K nano-particles) applied, once, twice and three times. Results of analysis of variance (ANOVA) showed that there were significant interaction between the levels and concentrations of potassium nano-particles sprayings on aerial parts with respect to their contents proline, total soluble carbohydrates, total chlorophyll, chlorophyll a and b, total carotenoids (xanthophyll and carotene) and nutrients (nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and sodium). The highest levels of proline (1.84 mg/g dry weight) at one time spraying 4 g/l of K, total soluble carbohydrates (66.9 mg/g dry weight) at three times spraying 4 g/l, total chlorophyll (26.23 mg/g fresh weight) and chlorophyll b (22.85 mg/g fresh weight) at two times of water spraying, and chlorophyll a (9.93 mg/g fresh weight) at three times of 4g/l of potassium nano-particles sprayings were obtained. The highest nitrogen (0.95 % of aerial parts) and phosphorus (2.99 g/kg dry weight of aerial parts) contents were obtained from three times water spraying. However, the highest amounts of aerial plant part of potassium (65.08 g/kg dry weight) and sodium (403 g/kg dry weight) belonged to the two times, and calcium (29.23 g/kg dry weight) to the three times spraying of 4 g/l nano-potassium. Despite of the high concentration of osmolytes by potassium spraying, the nutrient accumulations levels were not significantly different from each other.

Key words: Cartenoids, Chlorophyll, Mineral nutrients, Nano-potassium. Osmolytes, *Salicornia europaea*.

1- Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.

2- M.sc. Graduated, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.

* Corresponding Author: a.pirzad@urmia.ac.ir