گل و گیاهان زینتی (۱۴۰۳)، ۹(۱): ۴۷-۶۸
مقاله پژوهشی

اثر محلول‌پاشی نانوذره های نقره بر ویژگی های رشدی و مورفو-فیزیولوژیک جعفری فرانسوی (*Tagetes patula* L.) در شرایط تنش شوری

خاتون بهزاد[۱]، عبداله احتشام نیا[*۱]، محمدرضا راجی[۱]، حسن مومیوند[۱]، مجید علیخانی[۲]

۱. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، خرم آباد، لرستان
۲. گروه تولیدات گیاهی، مجتمع آموزشی سراوان، سیستان و بلوچستان
Ehteshamnia.ab@lu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۶، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۰/۱۱، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۱

چکیده

شوری یکی از اصلی‌ترین تنش‌های محیطی است که استقرار گیاهچه و عملکرد گیاهان فضای سبز را تحت تاثیر قرار می‌دهد. کاربرد نانوذرات نقره در تنش‌های نازیوا (غیرزیستی) و به روش‌های گوناگون، تحمل گیاهان را در برابر تنش‌ها بهبود می‌بخشد. به همین منظور، برای بررسی اثر نانو ذرات نقره بر صفات رشدی، مورفو-فیزیولوژیک و تحمل به شوری جعفری فرانسوی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با چهار تکرار انجام شد. فاکتور اول شامل تیمار شوری در چهار سطح (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار) و فاکتور دوم کاربرد برگی نانوذرات نقره در چهار سطح (صفر، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بودند. در این بررسی تیمار نانوذرات نقره ۵۰ میلی‌گرم در لیتر در شرایط بدون شوری (صفر میلی‌مولار)، بیش‌ترین ارتفاع گیاه (۲۰ سانتی‌متر)، قطر ساقه (۳/۹۸ میلی‌متر)، قطر گل (۵/۶۵ میلی‌متر)، تعداد گل در بوته (۱۱ عدد)، تعداد شاخه جانبی (۸ عدد)، محتوای نسبی آب (۸۶/۴۰٪) و کم‌ترین نشت یونی (۳۰/۳۶٪) را به خود اختصاص داد. افزایش سطح شوری از ۰ تا ۱۰۰ میلی‌مولار، منجر به کوچک‌تر شدن گیاهان با محتوای رنگدانه کم‌تر و کاهش صفات رشدی شد. کاربرد هفتگی نانونقره نه تنها به طور قابل توجهی تمام صفات ارزیابی شده را بهبود بخشید، بلکه تا حدی اثرهای مخرب در شرایط شوری (۵۰ و ۱۰۰ میلی مولار) را کاهش داد. این اثر تدریجی نانونقره زمانی که در غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر اعمال می‌شد، برجسته‌تر بود، به‌طوری‌که، کاربرد برگی نانونقره سبب افزایش ویژگی‌های زینتی جعفری از جمله تعداد شاخه جانبی (به میزان ۲۵/۸۱٪)، تعداد گل (به میزان ۲۷/۲۷٪)، قطر گل (به میزان ۱۰/۲۷٪) و وزن تر و خشک گل (به ترتیب به میزان ۱۰/۲۹ و ۲۸/۶۸٪) در شرایط تنش شوری گردید. همچنین، نتایج حاضر نشان داد جعفری، نسبت به شوری شدید (۱۰۰ میلی‌مولار) حساس و قادر به تولید گل‌های درشت در شرایط شوری شدید نیست. به‌طور کلی، استفاده از نانوذرات نقره در بهبود تحمل به شوری در گیاه جعفری فرانسوی مفید بود و کاربرد آن ممکن است مکانیسم‌های دفاعی گیاهان را در برابر سمیت نمک تحریک کند.

واژه‌های کلیدی: تنش شوری، گیاه جعفری، محتوای نسبی آب، تعدیل کننده.

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.1.47]

مقدمه

شـــوری خاک و آب آبیاری، یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی محدودکننده تولید محصـــولات کشـــاورزی به‌دلیل افزایش نیاز آبیاری در مناطق خشـک و نیمه‌خشـک اسـت (De Pascale *et al.*, 2011). تغییرات اقلیم و افزایش دما، منجر به افزایش تبخیر-تعرق و نیز افزایش خشکی و شوری خاک می‌شود (Mahalingam, 2015). تنش شوری از جمله تنش‌های نازیوای مهم است که اثرات زیان‌باری بر عملکرد گیاه و کیفیت محصول، رشد، جذب عناصر معدنی، متابولیسم و فتوسنتز به‌خصوص در شرایط آب و هوایی خشک و نیمه خشک دارد (Cabot *et al.*, 2014). صدمات و آسیب ناشی از تنش شوری مربوط به سمیت یونی و نیز اثر اســـمزی آن اســـت. گیاهان با برقراری ایزوســـتازی یونی (تعادل یونی) به مقابله با اثرات ســـمیت یون‌ها می‌پردازند (Numan *et al.*, 2018) و در مقابله با اثرات اسمزی نمک‌ها از مکانیسم تنظیم اسمزی استفاده می‌کنند و این عمل را با ساخت محلول‌های سـازگار یا اسـمولیت‌هایی مانند پرولین، گلیسـین بتائین، کربوهیدرات‌های محلول، پروتئین‌ها و غیره انجام می‌دهند. با این حال، پاسخ اسمزی گیاهان متناسب با نوع نمونه و رقم گیاهی، مدت زمان تنش، شدت تنش، سن و مرحله تکوینی گیاه و نوع اندام متفاوت اسـت (de Oliveira *et al.*, 2016). در تنش‌های نازیوا، از جمله تنش شـوری، تعادل در تولید رادیکال‌های آزاد و تولید آنتی‌اکسـیدان‌ها (مکانیسـم دفاعی) به هم خورده و با افزایش بیش از حد تولید گونه‌های بازفعال اکسـیژن[۱]، تنش ثانویه اکســـیداتیو رخ می‌دهد و منجر به تغییرات یاخته‌ای و انواع آســـیب‌های بحرانی نیز می‌گردد (Numan *et al.*, 2018). گیاهان برای مقابله با تنش اکسیداتیو به تولید ترکیبات آنتی‌اکسـیدان شـامل، آسـکوربات، کارتنوئیدها، گلوتاتیون، توکوفرول و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی متعدد از جمله سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز، گلوتاتیون پراکسیداز و پراکسیداز می‌پردازند (Saiema *et al.*, 2013). بنابراین، نیاز مستمر به توسعه رویکردهای جدید برای کاهش اثرات مضر تنش‌های غیر زیستی بر گیاهان وجود دارد. در سال‌های اخیر، فناوری نانو مورد توجه محققان در زمینه‌های مختلف قرار گرفته است.

جعفری فرانسوی[۲] یک گیاه زینتی مهم در فضای سبز شهری است و همانند سایر گیاهان زینتی برای رشد و گل‌دهی نیازمند شدت نور مناسب می‌باشد. جعفری، گیاه زینتی متعلق به تیره میناسانان[۳] بوده و پراکنش آن بیش‌تر در مناطق معتدله و حاره‌ای می‌باشـد (Funk *et al.*, 2007). جعفری فرانسـوی، به‌عنوان جعفری پاکوتاه با ارتفاع ۲۰ تا ۳۰ سـانتی‌متر شـناخته شـده اسـت (Romagnoli *et al.*, 2005). با توجه به اهمیت جعفری در فضای سبز شهری، همچنین تنوع رنگ گل و داشتن ارقام پاکوتاه و پابلند ، بررسی واکنش این گیاه در شرایط تنش‌های محیطی از جمله خشکی و شوری از اهمیت بالایی برخوردار است.

نانوذرات اندازه بسیار کوچکی دارند و به همین دلیل دارای ویژگی‌های خاصی هستند که آن‌ها را از همتایان عمده خود متمایز می‌کند. نانوذرات در مقایســـه با مواد حجیم، حلالیت، ســـطح و واکنش‌پذیری بیش‌تری دارند. بنابراین، آن‌ها موقعیت امیدوارکننده‌ای را برای بهبود اثرهای مخرب تنش نازیوا و زیوا برای دسـتیابی به هدف کشـاورزی پایدار در سـطح جهانی به دسـت آورده‌اند. به دلیل تأثیر آن‌ها بر تحمل تنش و کیفیت غذایی محصـولات، تحقیقات مربوط به کاربرد نانوذرات در حال افزایش اسـت (Nejatzadeh, 2021). انواع مختلف نانوذرات برای نقش بالقوه آن‌ها در حفاظت از تنش‌های زیوا و نازیوا مورد بررسـی قرار گرفته‌اند. گزارش شـده اسـت که نانوذرات نقره با غلبه بر کمبودهای تغذیه‌ای، افزایش فعالیت آنزیمی و کمک به

۱- Reactive Oxygen Species ۲- *Tagetes patula* L. ۳- Asteraceae

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.1.47]

چسبندگی باکتری‌های محرک رشد گیاه به ریشه‌های گیاه تحت تنش‌های نازیوا و به روش‌های متنوع، تحمل گیاهان را در برابر تنش‌ها بهبود می‌بخشند (Iqbal *et al.*, 2020). در میان نانوذرات مختلف، نقره نانوذرات بیش‌تر به‌دلیل خواص فیزیکی و شیمیایی از جمله کاتالیزوری، مغناطیسی، پلاریزاسیون نوری و رسانایی الکتریکی استفاده می‌شوند (Oldenburg, 2016). علاوه بر این، نانوذرات نقره در افزایش سطح برگ و وزن خشک اندام‌های گیاهی نقش موثری ایفا می‌کنند (Ngo *et al.*, 2014). نانوذرات نقره دارای ویژگی‌های متمایز و طیف وسیعی از کاربردها، به ویژه در کشاورزی هستند. خاصیت زیستی ذرات نقره به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها به‌ویژه ابعاد آن‌ها بستگی دارد، به نحوی که با تبدیل ذرات به ابعاد کوچک در حد نانومتر، خاصیت ضدمیکروبی آن‌ها به شدت افزایش می‌یابد. چندین فرضیه برای مکانیسم عمل نانوذرات نقره وجود دارد که عبارتند از: ۱- اتصال نانوذرات نقره به غشا، که منجر به کاهش مولکول‌های لیپوپلی ساکارید و ایجاد حفره در سطح سلول شده که در نتیجه آن موجب افزایش نفوذپذیری غشا می‌شوند. ۲- انحلال نانوذرات نقره و آزاد شدن یون نقره که خصوصیت ضدمیکروبی دارد. ۳- نانوذرات نقره به داخل سلول رفته و موجب آسیب به DNA می‌شوند (Iqbal *et al.*, 2017). نانومواد بیش‌تر مورد توجه دانشمندان سراسر جهان قرار گرفته است. از این رو مطالعات گسترده‌ای در رابطه با این نانومواد و کاربردهای آن‌ها در زمینه‌های مختلف از جمله کشاورزی، دارویی و صنعتی منتشر شده است. کاربردهای کشاورزی شامل نانوپالایی خاک و آب، نانو تغذیه گیاهی، نانوحفاظت گیاهی و غیره است. علاوه بر این، نانوتکنولوژی کشاورزی دارای چالش‌های زیست‌محیطی و کشاورزی بسیاری از جمله پایداری کشاورزی، مدیریت بیماری‌های گیاهی و حفاظت از محصولات، اصلاح آلودگی‌های زیست‌محیطی، مدیریت آب، به حداقل رساندن اتلاف عناصر غذایی و بهینه‌سازی آن‌ها و همچنین بهبود تنش‌های نازیوای گیاهی است (Elsakhawy *et al.*, 2018). در مطالعه‌ای به بررسی استفاده از نانوذرات نقره کلوئیدی پیش از کاشت، بر عملکرد و صفات مورفو-فیزیولوژیکی گیاه سوسن[1] در شرایط تنش شوری پرداختند. بررسی‌ها نشان داد که در مقایسه با شاهد، تیمار سوسن با نانوذرات نقره باعث افزایش عملکرد پیاز شد. تیمار شوری، وزن تر و قطر پیاز را کاهش داد و نانوذرات نقره اعمال شده پیش از آبیاری با شوری، وزن تر پیاز و قطر پیاز را بهبود بخشید. نتایج آن‌ها نشان داد که نانوذرات نقره کلوئیدی تحمل گیاهان سوسن را به شوری افزایش می‌دهد (Zawadzińska *et al.*, 2021).

در پژوهشی، اثر تنش شوری بر ویژگی‌های رشدی، فیزیولوژیکی و عمرانبارمانی جعفری فرانسوی تیمار شده با اتانول مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج پژوهش نشان داد که تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار نمک باعث کاهش زیست توده گیاه و اندازه گیاه (یعنی ارتفاع) شد و اثر منفی بر فرآیندهای فیزیولوژیک مانند بسته شدن روزنه و محتوای کلروفیل داشت. شوری باعث افزایش پلی‌فنل کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و کاروتنوئیدها و کاهش آنتوسیانین شد و اثرات منفی بیش‌تر در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار پیدا شد (Chrysargyris *et al.*, 2018). در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر محرک گیاهی کوماموناس و نانوذرات نقره بر گیاه کتان[2] تحت تنش شوری بررسی شد. بررسی‌ها نشان داد ترکیب نانوذرات نقره و کوماموناس باعث افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی شدند. همچنین، آن‌ها منجر به افزایش قندهای محلول، پرولین و پروتئین‌های محلول شدند. پراکسیدهیدروژن و مالون‌دی‌آلدئید کاهش یافت در حالی که آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیر آنزیمی در پاسخ به نانوذرات و کوماموناس و ترکیب آن‌ها افزایش یافت.

۱- *Lilium* spp

۲- *Linum usitatissimum*

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.1.47]

بنابراین، کاربرد نانوذرات نقره و *Comamonas testosteroni* ممکن است به‌عنوان کودهای زیوا برای بهبود بهره‌وری محصول بذر کتان تحت تنش شوری استفاده شود (Khalofah *et al.*, 2021). در مطالعه‌ای به بررسی تاثیر نانوذرات نقره بر تحمل شوری در گیاه مرزه[۱] در طول آزمایش‌های جوانه‌زنی درون شیشه‌ای پرداختند. بررسی‌ها نشان داد که استفاده از نانوذرات نقره در بهبود تحمل به شوری در گیاهچه مرزه مفید بود و کاربرد آن ممکن است مکانیسم‌های دفاعی گیاهان را در برابر سمیت نمک تحریک کند (Nejatzadeh, 2021). در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر نانوذرات نقره بر تنژگی بذر و رشد گیاهچه آویشن دنای[۲] و آویشن باغی[۳] تحت تنش شوری پرداخته شد. نتایج این بررسی نشان داد که نانوذرات نقره در غلظت ۱۰ میلی‌مولار، درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و طول ریشه را در سطح تنش ۲۰۰ میلی‌مولار افزایش دادند، همچنین در سطح تنش ۱۰۰ میلی‌مولار، شاخص بنیه بذر و طول ساقه‌چه‌ها در غلظت ۲۰ و ۳۰ میلی‌مولار نانونقره مؤثر بود (Ghavam *et al.*, 2018). در مطالعه‌ای به بررسی اثر شوری و نانوذرات نقره بر پارامترهای رشد و ویژگی‌های بیوشیمیایی پداژه زعفران تیمار شده در شرایط غوطه‌ور پرداختند. نتایج نشان داد که نانوذرات نقره مقاومت گیاه به شوری را افزایش می‌دهد (Karimi *et al.*, 2016). بر اساس مطالعات و بررسی‌های انجام شده احتمالا تاکنون اثر نانوذرات نقره به عنوان تعدیل کننده اثر تنش شوری روی گیاه جعفری گزارش نشده است. بنابراین این پژوهش در راستای پژوهش‌های پیشین و با هدف بررسی اثر تعدیل کننده‌های نانو ذرات نقره بر صفات رشدی، مورفولوژیک و فیزیولوژیک جعفری فرانسوی تحت شرایط تنش شوری انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در اردیبهشت سال ۱۴۰۰ در گلخانه گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی واقع در شهرستان خرم آباد، استان لرستان انجام شد. بذرهای جعفری فرانسوی رقم Red Brocade از شرکت پاکان بذر اصفهان خریداری شد و بذرها در گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانه ۱۶ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۶ سانتی‌متر دارای ۶۰۰ گرم مخلوط خاکی شامل خاک (لومی رسی)، کود دامی پوسیده و ماسه با نسبت وزنی ۲:۱:۱ کشت شد. پیش از کشت، بستر کاشت با اضافه کردن ۵۰ سی‌سی از محلول قارچ کش تیوفانات متیل در یک لیتر آب ضدعفونی شد و سپس کاشت بذور مورد نظر انجام شد. کاشت بذور به‌صورت کپه‌ای صورت گرفت، به این صورت که در هر گلدان ۳ عدد بذر کاشته شد و پس از استقرار بوته‌ها با حذف بوته‌های اضافی تعداد آن‌ها به یک بوته در هر گلدان کاهش یافت. اولین آبیاری بی درنگ پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی تا زمان استقرار کامل گیاه هر دو روز یک‌بار به‌صورت دستی صورت گرفت. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با چهار تکرار (در هر تکرار پنج گلدان) انجام گرفت. فاکتور اول شامل تیمار شوری در چهار سطح (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار سدیم کلرید، به ترتیب معادل ۰/۰۶۷، ۲/۴۵۰، ۵/۴۴۰ و ۹/۵۲۰ دسی‌زیمنس بر متر) و فاکتور دوم کاربرد برگی تعدیل کننده نانونقره در چهار سطح (صفر، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بود.

روش کاربرد تیمارها

تیمار شوری پس از استقرار گیاهان در گلدان به‌بصورت تدریجی با کاربرد غلظت کم نمک شروع شد. برای اعمال تیمار شوری، غلظت‌های مورد نظر تهیه و به‌صورت تدریجی در اختیار گیاه قرار گرفت. محلول‌پاشی نانونقره به‌صورت هفتگی به

۱- *Satureja hortensis* ۲- *Thymus daenensis* ۳- *Thymus vulgaris* L.

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.1.47]

مدت ۵ مرتبه تا مرحله گلدهی اعمال شد. پس از ۳ مرحله کاربرد آب شور، یک بار آبشویی انجام گرفت و بلافاصله تیمار شوری مربوطه نیز اعمال گردید. محلول‌پاشی برگی با نانوذرات نقره در ۳ مرحله، چهار برگی، رشد کامل و گلدهی انجام گردید. پیش از کاربرد نانوذرات نقره برای همگنی و پراکندگی بهتر ذرات نانو، اولتراسونیک (Hielscher UP400s, Teltow, Germany) به مدت ۳۰ دقیقه برای هر غلظت انجام گردید.

اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک

صفات اندازه‌گیری شده ارتفاع گیاه، قطر ساقه، تعداد شاخه‌های جانبی، طول ریشه، وزن تر و خشک گل، قطر گل، تعداد گل، عمر گل و زمان ظهور غنچه بود. ارتفاع گیاه، طول ریشه، تعداد شاخه‌های جانبی با استفاده از خط کش و شمارش اندازه‌گیری شد. قطر ساقه، قطر گل با استفاده از کولیس دیجیتال اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن تر و خشک، از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ استفاده شد و سپس برای اندازه‌گیری وزن خشک، تمامی بخش‌ها در آون به مدت ۴۸ ساعت با دمای ۸۰ درجه سلسیوس خشک گردید.

اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک

نشت الکترولیت: برای تعیین میزان نشت الکترولیت، ابتدا برگ‌های گیاه را با آب مقطر شسته، سپس دیسک‌هایی با اندازه مساوی (دو سانتی‌مترمربع) از برگ‌ها جدا شد. دیسک‌های تهیه شده را در لوله‌های حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر قرار داده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار گرفتند. پس از گذشت ۲۴ ساعت، هدایت الکتریکی محلول توسط دستگاه سنجش هدایت الکتریکی تعیین شد (EC_1). پس از آن لوله‌های حاوی محلول، به مدت ۲۰ دقیقه در دستگاه اتوکلاو در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس قرار گرفت و پس از سرد شدن، هدایت الکتریکی آن (EC_2) طبق رابطه ۱ تعیین شد (Lutts *et al.*, 1996):

$$\frac{EC1}{EC2} \times 100$$ رابطه ۱)

محتوای نسبی آب: برای لندازه گیری محتوای نسبی برگ طبق روش Ritchie و همکاران (۱۹۹۰) از برگ‌های جوان و توسعه یافته، نمونه‌ای انتخاب و پس از اندازه‌گیری وزن تر (FW)، نمونه به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر غوطه‌ور شد. سپس وزن تورژسانس (TW)، آن اندازه‌گیری و برای اندازه‌گیری وزن خشک (DW)، نمونه به مدت ۴۸ ساعت در آون و در دمای ۸۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. در نهایت محتوای نسبی آب برگ از طریق رابطه‌ی ۲ محاسبه گردید.

RWC (%) = (FW- DW /TW -DW) رابطه ۲)

کلروفیل کل: به‌منظور اندازه‌گیری کلروفیل ۰/۱ گرم برگ تازه در هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر استون خالص، مخلوط گردید و پس از سانتریفیوژ، با استفاده از اسپکتروفتومتری (UV-3200, MAPADA, Shanghai-China)، جذب محلول در طول موج‌های ۶۴۵، ۶۶۲ و ۴۷۰ اندازه‌گیری شد. میزان کلروفیل کل برحسب میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ، به‌دست آمد (Lichtenthaler, 1987).

واکاوی آماری

برای تجزیه آماری از نرم افزارهای SAS Version 9.4 و Excel استفاده شد. مقایسه میانگین صفات با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام گردید.

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.1.47]

نتایج و بحث

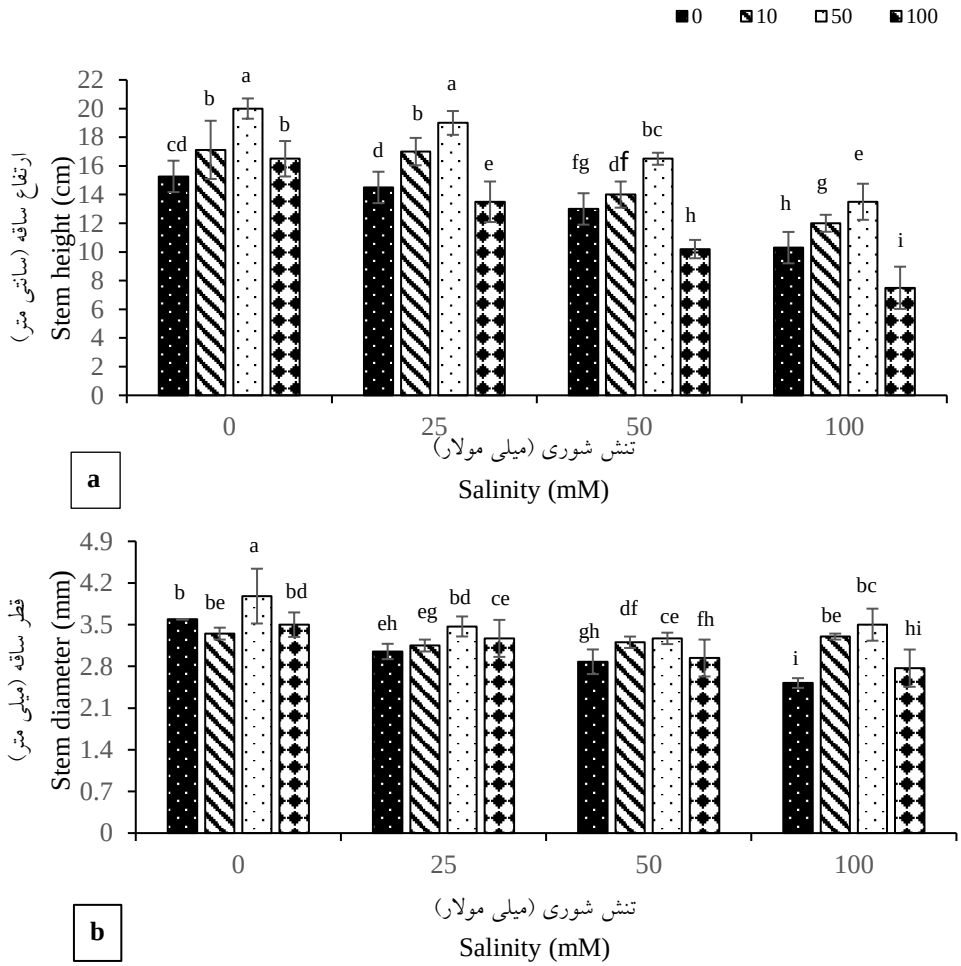
ارتفاع و قطر ساقه

نتایج تجزیه واریانس اثر شوری و تعدیل کننده برای ارتفاع و قطر ساقه نشان داد که اثرات اصلی و برهمکنش این دو تیمار در سطح یک درصد ($P\leq ۰/۰۱$) معنی‌دار شد (جدول۱). مقایسات میانگین برهمکنش داده‌ها نشان داد که سطوح شوری ۰ میلی‌مولار و محلول‌پاشی با غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به سایر غلظت‌ها سبب افزایش ارتفاع ساقه (۲۰ سانتی‌متر) شد. کم‌ترین ارتفاع ساقه (۷/۵ سانتی‌متر) مربوط به شدیدترین سطح تنش سدیم‌کلرید و کاربرد نانوذرات نقره در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌دست آمد. تنش شوری باعث اختلال و نهایتا کاهش جذب مواد غذایی از خاک توسط ریشه می‌گردد که موجب می‌شود تا گیاه با کمبود این مواد مواجه شده و کاهش رشد و ارتفاع در آن ظاهر شود (Gupta & Huang, 2014). به نظر می‌رسد، گیاه اکثر نانو ذرات نقره جذب شده را روی سطح برگ قرار می‌دهد و بدین وسیله تعرق کوتیکولی را کاهش می‌دهد و کاهش تعرق تاثیر زیادی را روی مرحله طویل شدن گیاه می‌گذارد. یکی دیگر از دلایل کاهش ارتفاع بوته در شرایط شور می‌تواند به‌دلیل سمیت کلر باشد که از جذب نیترات جلوگیری می‌کند. زیرا هر دو یون به وسیله یک نوع حمل کننده از عرض غشا پلاسمایی انتقال می‌یابند و نیترات هم در رشد رویشی گیاهان نقش مهمی دارد (Mohamadi & Shirghani, 2015). در مطالعه (Nejatian, 2021)، بیش‌ترین طول ساقه در گیاهان تیمار شده با غلظت ۸۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات نقره و در شرایط بدون تنش شوری و کم‌ترین طول ساقه در عدم محلول‌پاشی مشاهده شد. در پژوهشی Ekhtiare و Maraghabi (2012) با بررسی اثرات نانوذرات نقره بر تحمل شوری زیره سبز[۱] در شرایط آزمایشگاهی نشان دادند، که به دلیل نفوذ نانوذرات نقره به بذر در غلظت ۴۰ میلی‌گرم در لیتر، بیش‌ترین ارتفاع ساقه نسبت به سایر تیمارها به دست آمد.

در پژوهشی، Javadi و همکاران (2014) اظهار داشتند که کاهش طول ساقه در محلول کلرید سدیم احتمالاً به دلیل سمیت یون‌ها و تأثیر منفی آن بر غشای یاخته‌ای است. همچنین Ghasemi و همکاران (2021) کاهش طول ساقه را در میخک تحت تنش شوری مشاهده کردند که با نتایج این تحقیق همخوانی داشت. نتایج تجزیه واریانس برهمکنش سدیم کلرید و نانوذرات نقره بر قطر ساقه معنی‌دار شد (شکل b-۱). بیش‌ترین قطر ساقه در غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر در شرایط عدم تنش سدیم کلرید مشاهده شد. کم‌ترین قطر ساقه (۲/۵۲ میلی‌متر) در ۱۰۰ میلی‌مولار سدیم کلرید و در بالاترین سطح نانوذرات نقره به‌دست آمد. نتایج این تحقیق با مطالعه حسنوند و همکاران (Hassanvand *et al.*, 2019) در گیاه شمعدانی عطری[۲] همسویی داشت. آن‌ها گزارش کردند که افزایش غلظت کلرید سدیم باعث کاهش قطر ساقه شد.

۱- *Cuminum cyminum* ۲- *Pelargonium graveolens*

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.1.47]



شکل ۱- مقایسه میانگین ارتفاع (a) و قطر ساقه (b) جعفری در شوری NaCl و محلول‌پاشی نانو ذرات نقره (حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ با آزمون دانکن می‌باشد، خطوط روی ستون نمودارها انحرافات استاندارد را نشان می‌دهند).

Figure 1- Mean Comparison of height (a) and stem diameter (b) of *Tagetes patula* L. plants under NaCl salinity and silver nanoparticles spraying (Non-identical letters indicate a significant difference at 5% level using DMRT test, The lines on the columns of the graphs show the standard deviations).

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.1.47]

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات رشدی و مورفولوژیک جعفری در تیمار شوری NaCl و نانو ذرات نقره.

Table 1- Variance analysis of growth and morphological traits of *Tagetes patula* L. under NaCl salinity and silver nanoparticles treatment.

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی Df.	ارتفاع ساقه Stem height	قطر ساقه Stem diameter	تعداد شاخه جانبی Number of side branches	طول ریشه Root length	تعداد گل Number of flowers	قطر گل Flower diameter
شوری Salinity	3	129.66**	1.077**	17.416**	77.61**	68.333**	3.811**
نانونقره Silver nano	3	84.712**	0.918**	8.791**	165.29**	19.667**	1.732**
شوری*نانونقره Salinity*Silver nano	9	3.174**	0.185**	0.430*	11.87*	2.556*	0.047ns
خطا Error	48	1.076	0.047	0.239	7.931	1.167	0.121
ضریب تغییرات CV.	-	7.22	6.71	9.31	5.78	15.17	7.43

*، ** و ns: وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱٪ و نبود اختلاف معنی‌دار.

*, ** and ns: Significant at 5% and 1% levels of probability and non-significant, respectively.

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک جعفری در تیمار شوری NaCl و نانو ذرات نقره.

Table 2- Variance analysis of physiological traits of *Tagetes patula* L. under NaCl salinity and silver nanoparticles treatment.

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی Df.	وزن تر گل Fresh weight of flower	وزن خشک گل Dry weight of flower	عمر گل Flower	ظهور غنچه Blossom emergence	محتوای نسبی RWC	نشت یونی EL	کلروفیل کل Total chlorophyll
شوری Salinity	3	17.00**	0.561**	77.18**	390.60**	1015.30**	1417.41**	415.36**
نانونقره Silver nano	3	6.68**	0.016ns	2.80**	16.27**	172.99*	227.04**	14.66**
شوری*نانونقره Salinity*Silver nano	9	0.494ns	0.001ns	4.57**	26.86**	12.76ns	11.05**	8.62*
خطا (Error)	48	0.536	0.0011	0.307	0.594	44.53	59.34	3.94
ضریب تغییرات (CV)	-	5.7	7.08	7.66	5.12	8.83	16.55	11.01

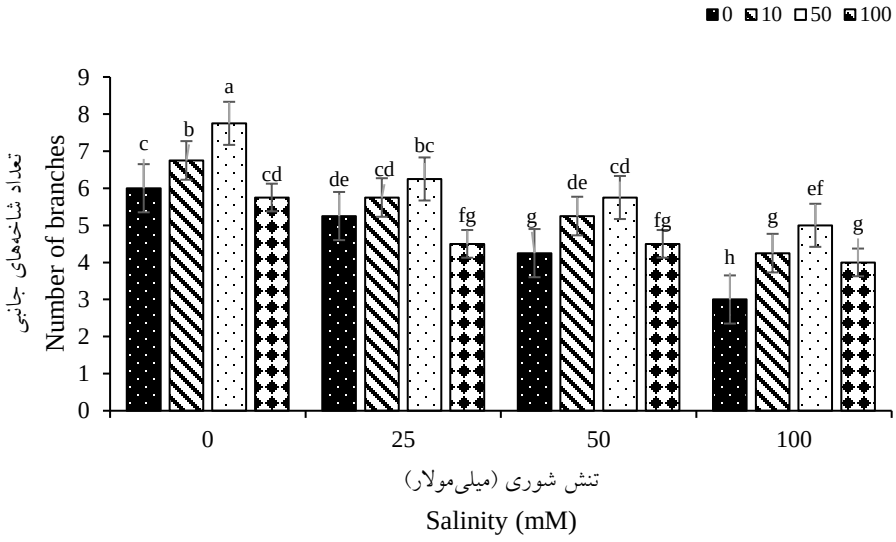
*، ** و ns: وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱٪ و نبود اختلاف معنی‌دار.

*, ** and ns: Significant at 5% and 1% levels of probability and non-significant, respectively.

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.1.47]

تعداد شاخه‌های جانبی

نتایج تجزیه واریانس برهمکنش شوری و تعدیل کننده برای تعداد شاخه جانبی در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). با توجه به شکل (۲)، بیش‌ترین تعداد شاخه‌های جانبی (۷/۷۵ عدد در بوته) گیاه مربوط به سطح عدم تنش شوری و کاربرد نانو ذرات ۵۰ میلی‌مولار بود. همچنین کم‌ترین (۳ عدد در بوته) تعداد شاخه‌های جانبی گیاه در سطح ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و کاربرد نانو ذرات صفر میلی‌مولار مشاهده شد. کاربرد تعدیل‌کننده‌ها سبب افزایش تعداد شاخه‌های جانبی گردید (Munns & Tester, 2008). با مرور مکانیزم‌های تحمل به شوری در گیاهان گزارش شده است که اعمال تنش ملایم شوری در طی چند هفته، ممانعت از توسعه شاخه‌های جانبی را موجب می‌شود که این تغییرات مرتبط با اثر اسمزی تنش شوری است. هنگامی‌که غلظت نمک در ریشه زیاد می‌شود، سرعت ظهور برگ‌ها کاهش یافته یا متوقف می‌شود و شاخه‌های جانبی کم‌تری شکل می‌گیرند (Salehi *et al.*, 2013). در مطالعه Ghasemi و همکاران (2021) کاربرد نانو سیلیس ۲ میلی‌مولار در شرایط شوری، تعداد شاخه‌های جانبی را در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری به مقدار ۳۷/۳۷٪ افزایش داد، در حالیکه با سایر سطوح تعدیل‌کننده تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.



شکل ۲- مقایسه میانگین تعداد شاخه جانبی جعفری در شوری NaCl و محلول‌پاشی نانو ذرات نقره (حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ با آزمون دانکن می‌باشد، خطوط روی ستون نمودارها انحرافات استاندارد را نشان می‌دهند).

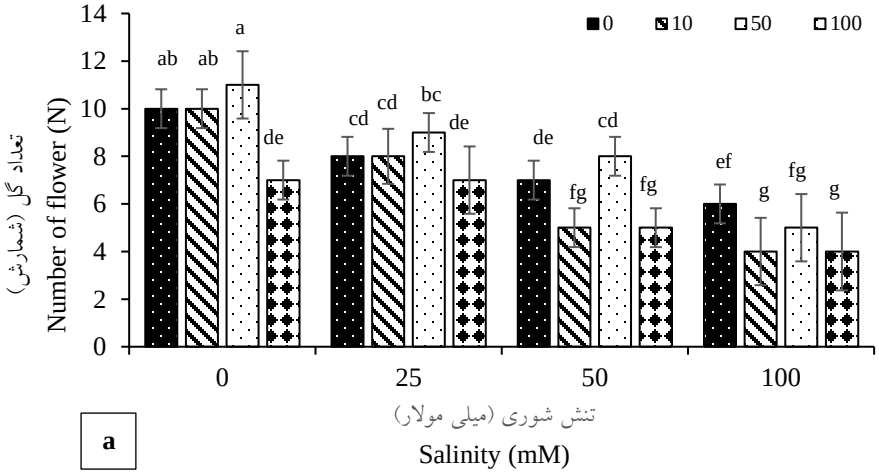
Figure 2- Mean comparison of lateral branches number of *Tagetes patula* L. plants under NaCl salinity and silver nanoparticles spraying (Non-identical letters indicate a significant difference at 5% level using DMRT test, The lines on the columns of the graphs show the standard deviations).

تعداد و قطرگل

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۱)، اثرات اصلی تنش شوری و تعدیل‌کننده بر تعداد گل در سطح یک درصد و برهمکنش آن‌ها در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. با توجه به شکل ۳-a، بیش‌ترین میزان تعداد گل مربوط به سطح عدم تنش

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.1.47]

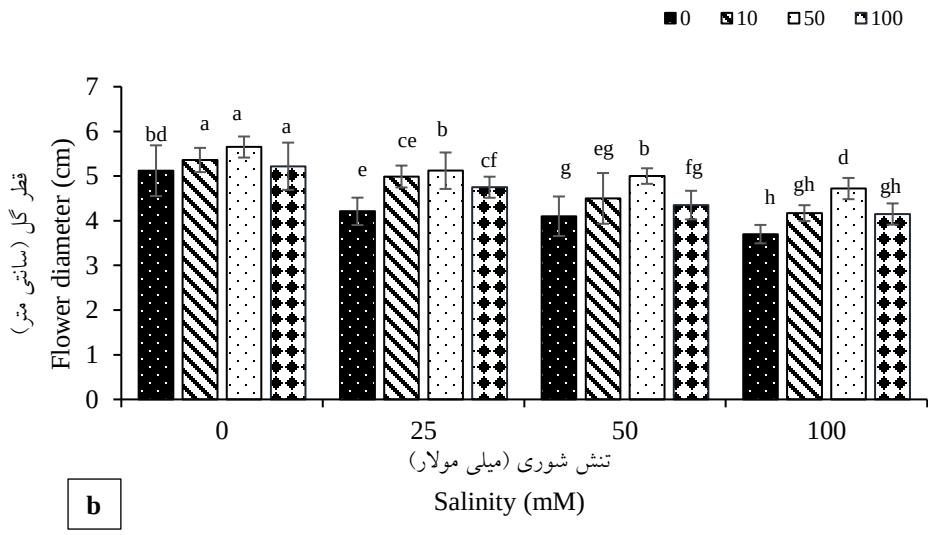
شوری و کاربرد نانونقره ۵۰ میلی‌مولار (۱۱عدد در بوته) بود. همچنین کم‌ترین تعداد گل در سطح ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و محلول‌پاشی ۱۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر نانو ذرات نقره(چهار عدد در بوته) مشاهده شد. نتایج نشان داد که کاربرد نانوذرات نقره در غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر در سطوح ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار تنش کلرید سدیم از کاهش تعداد گل نسبت به سایر سطوح جلوگیری نمود. نتایج تجزیه واریانس اثر شوری و تعدیل کننده برای قطر گل در سطح یک٪ ($P\leq0/01$) معنی‌دار شد اما برهمکنش این عوامل بر قطر گل معنی‌دار نشد (جدول ۱). با توجه به شکل ۳، بالاترین میزان قطر گل گیاه مربوط به سطح عدم تنش شوری و کاربرد نانو ذرات۵۰ میلی‌گرم در لیتر بود. همچنین کم‌ترین میزان قطر گل گیاه در سطح ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و کاربرد نانو ذرات صفر میلی گرم در لیتر مشاهده شد. مقایسه میانگین اثرات اصلی (شکل ۳-b) نشان داد که بیش‌ترین قطر گل مربوط به تیمار شاهد (۵/۶۵ میلی‌متر) با ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات نقره بود. در شرایط تنش شوری ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار، محلول‌پاشی نانونقره در غلظت ۵۰ میلی‌گرم برلیتر سبب افزایش تعداد و قطر گل شد. ، Bayat و همکاران (2012) گزارش کردند که تنش شوری سبب کاهش شمار گل و قطر گل همیشه بهار شد که نتیجه پژوهش حاضر با آن‌ها هم‌سو می‌باشد. در مطالعه ای (Ghasemi *et al.*, 2021) گزارش گردید که بالاترین میزان قطر گل گیاه مربوط به سطح عدم تنش شوری و کاربرد نانوسیلیس ۲ میلی‌مولار بود. که با سطح عدم تنش و کاربرد نانوسیلیس ۱ میلی‌مولار اختلاف معنی‌داری نداشت. همچنین تنش شوری باعث کاهش قطر گل در قرنفل شد (Ghasemi *et al.*, 2023). تنش شوری باعث کاهش تقسیم و طویل شدن سلول‌ها می‌گردد که با کاهش کیفیت و عملکرد همراه است. همچنین قطر و تعداد گل در گل حنا[1] (Roozbahani *et al.*, 2020) و مریم گلی[2] (Heidari *et al.*, 2018) با تیمار نانونقره افزایش یافت که با این نتایج همسویی دارد.



۱- *Impatiens walleriana*

۲- *Salvia officinalis*

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.1.47]



شکل ۳- مقایسه میانگین تعداد (a) و قطر گل (b) جعفری در شوری NaCl و محلول‌پاشی نانو ذرات نقره (حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ با آزمون دانکن می‌باشد، خطوط روی ستون نمودارها انحرافات استاندارد را نشان می‌دهند).

Figure 3- Mean comparison of number (a) and diameter of flower (b) of *Tagetes patula* L. plants under NaCl salinity and silver nanoparticles spraying (Non-identical letters indicate a significant difference at 5% level using DMRT test, The lines on the columns of the graphs show the standard deviations).

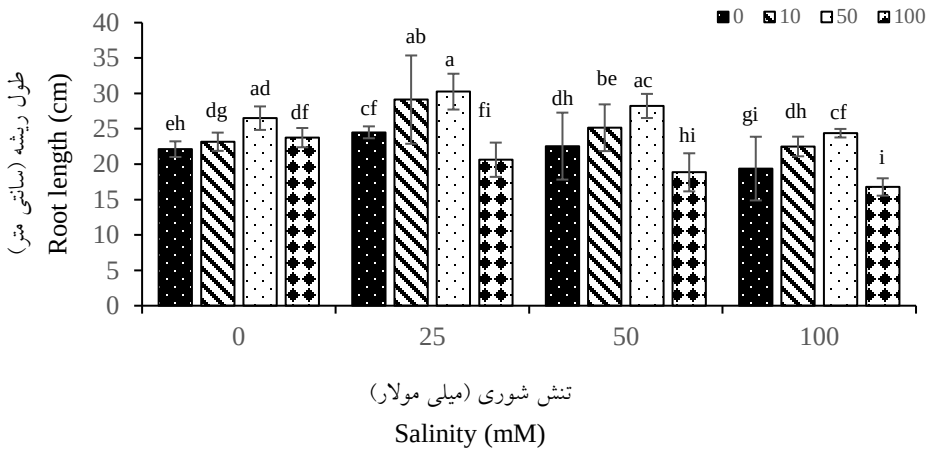
طول ریشه

نتایج تجزیه واریانس طول ریشه (جدول ۱) نشان داد تاثیر تنش شوری و برهمکنش عوامل تنش شوری با نانوذرات نقره در سطح آماری ۰/۰۱ و تاثیر تعدیل کننده در سطح آماری ۰/۰۵ بر این صفات تفاوت معنی‌داری داشت. نتایج مقایسه میانگین برهمکنش نشان داد که با افزایش سطح تنش سدیم کلرید، طول ریشه کاهش یافت. بیش‌ترین طول ریشه مربوط به سطح سدیم کلرید ۲۵ میلی‌مولار و کاربرد ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات نقره (۳۰/۲۵ سانتی‌متر) بود (شکل ۴). کم‌ترین طول ریشه (۱۶/۷۷ سانتی‌متر) در تنش شدید ۱۰۰ میلی‌مولار و نانوذرات نقره (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) به دست آمد. به نظر می‌رسد در سطوح شوری ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار گیاه در جهت فرار از تنش سدیم کلرید، طول ریشه خود را افزایش داده است. با افزایش تنش شوری میزان توسعه عمق مؤثر ریشه کاهش می‌یابد. در شرایط شوری کلرید سدیم، ریشه‌ها قادر به جذب آب نیستند و ریشه گیاه یون‌های سمی بیش‌تری را جذب می‌کند که منجر به کاهش توسعه طولی ریشه می‌گردد و سمیت ناشی از یون‌ها منجر به کاهش رشد طولی ریشه می‌شود. رابطه مثبتی بین افزایش تحمل به شوری و نمو ریشه وجود دارد (Fahad & bano, 2012). کاهش طول ریشه در شرایط تنش شوری در گیاه فیسالیس[۱] (Siahmansour *et al.*, 2020) و در قرنفل[۲] (Ghasemi *et al.*, 2023) گزارش شده است.

۱- *Physalis pruviana*

۲- *Dianthus barbatus*

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.1.47]



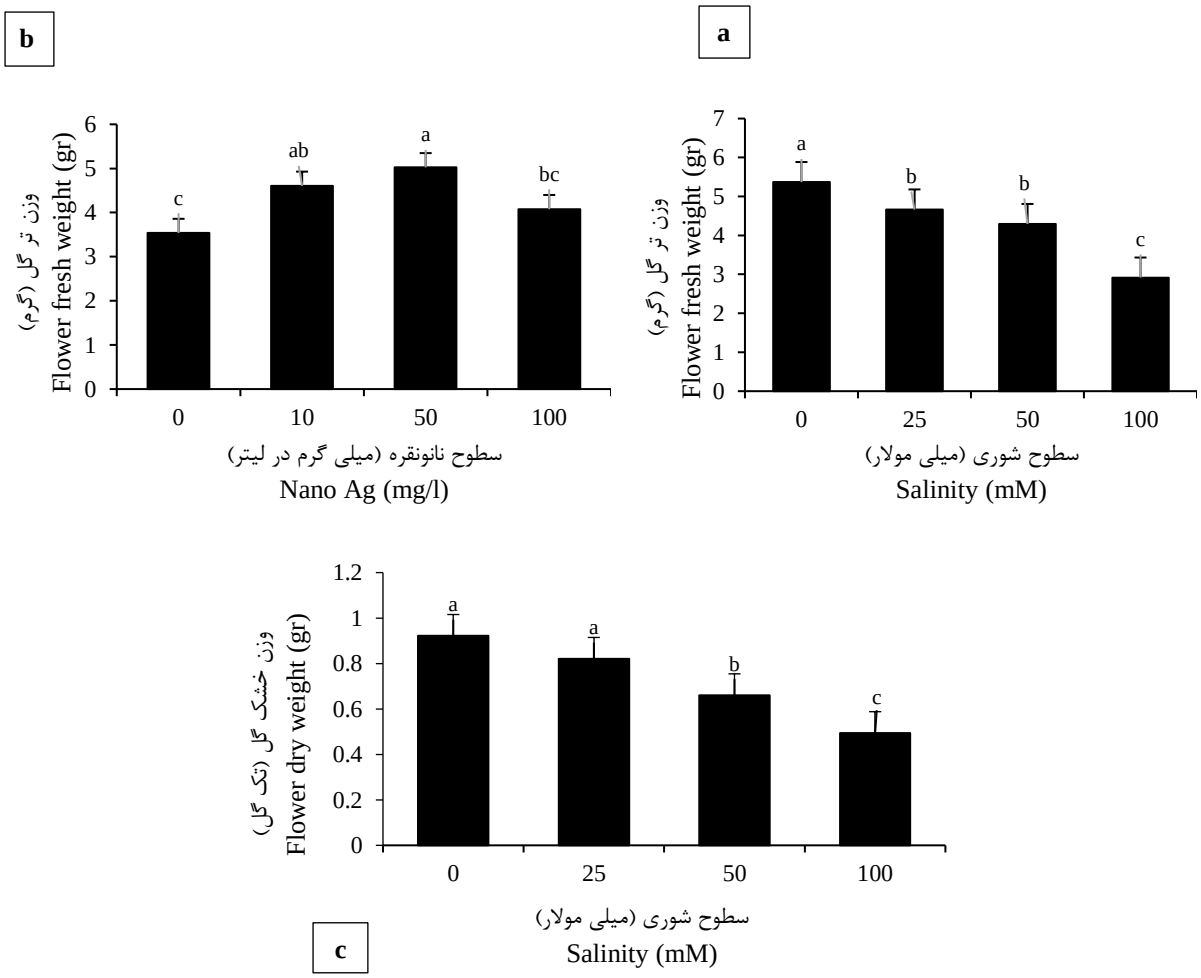
شکل ۴- مقایسه میانگین طول ریشه جعفری در شوری NaCl و محلول‌پاشی نانو ذرات نقره (حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ با آزمون دانکن می‌باشد، خطوط روی ستون نمودارها انحرافات استاندارد را نشان می‌دهند).

Figure 4- Mean comparison of root length of *Tagetes patula* L. plants under NaCl salinity and silver nanoparticles spraying (Non-identical letters indicate a significant difference at 5% level using DMRT test, The lines on the columns of the graphs show the standard deviations).

وزن تر و خشک گل

بررسی تجزیه واریانس وزن تر و خشک گل نشان داد که تنها اثرات اصلی تنش و تعدیل کننده بر وزن تر گل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید و برهمکنش دو تیمار معنی‌دار نشد (جدول ۲)، همچنین برای وزن خشک گل، تنها اثر اصلی تنش شوری در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی تنش شوری (شکل ۵) بر وزن تر گل نشان داد که کلرید سدیم سبب کاهش معنی‌دار این ویژگی شد، به‌طوری که در غلظت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۱۳/۲۱، ۱۹/۹۶ و ۴۵/۷۰٪ نسبت به سطح شاهد کاهش یافت. نتایج نشان داد که (شکل ۵) کاربرد نانوذرات نقره سبب افزایش وزن تر گل شد. به‌طوری که در سطوح ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به سطح شاهد به ترتیب ۳۰/۳۱، ۴۲/۲۰ و ۱۵/۴۶٪ افزایش یافت. همان‌طور که مشاهده گردید بین سطح شاهد و تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و همچنین بین سطوح ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات نقره تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. همان‌طور که نتایج نشان داد تنها تنش شوری اثر معنی‌داری بر وزن خشک داشت و سبب کاهش معنی‌دار آن شد. به‌طوری که در سطوح ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به سطح شاهد به ترتیب ۱۰/۹۴، ۲۸/۳۳ و ۴۶/۳۷٪ کاهش یافت (شکل ۵). نانوذرات نقره موجب افزایش وزن تر و خشک گیاه در گل رز (Cai *et al.*, 2014) شد که با نتایج به دست آمده از این پژوهش همسو است.

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.1.47]



شکل ۵- مقایسه میانگین وزن تر (a و b) و خشک گل (c) جعفری در شوری NaCl و محلول‌پاشی نانو ذرات نقره (حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ با آزمون دانکن می‌باشد، خطوط روی ستون نمودارها انحرافات استاندارد را نشان می‌دهند).

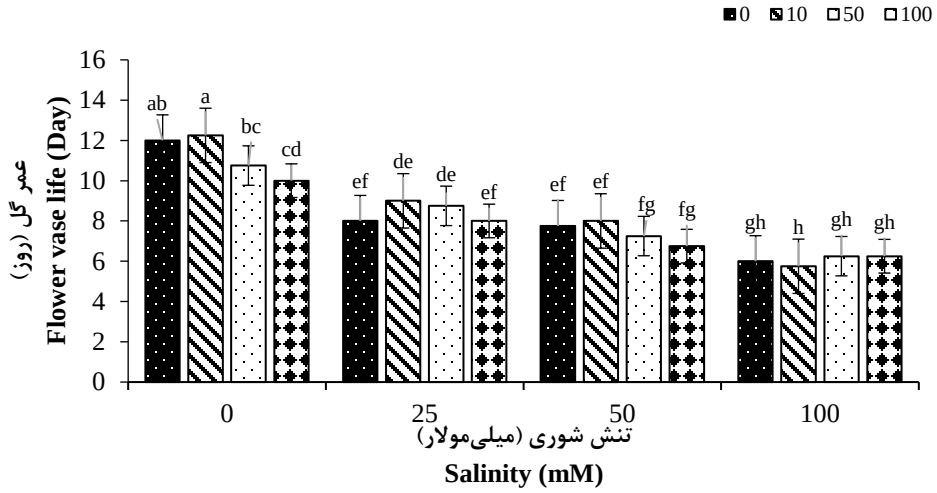
Figure 5- Mean comparison of fresh (a, b) and dry (c) weight of flower (b) of *Tagetes patula* L. plants under NaCl salinity and silver nanoparticles spraying (Non-identical letters indicate a significant difference at 5% level using DMRT test, The lines on the columns of the graphs show the standard deviations).

عمر گل

اثرات اصلی و برهمکنش تنش و تعدیل کننده نانونقره بر عمر گل در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تنش شوری و تعدیل‌کننده نانوذرات نقره بر عمر گل (شکل ۶) نشان داد که با افزایش سطوح شوری عمر کاهش معنی‌داری داشت درحالی‌که تعدیل‌کننده نانو نقره هم در سطح شاهد (بدون تنش) و هم سطوح شوری، سبب افزایش عمر گل شد، به‌طوری که بیش‌ترین عمر گل در تیمار تحت محلول‌پاشی ۱۰ میلی‌گرم در لیتر تعدیل‌کننده در سطح بدون تنش شوری (شاهد) مشاهده گردید که با تیمار شاهد (عدم تنش شوری و تعدیل‌کننده) تفاوت معنی‌داری نداشت. نتایج همچنین نشان داد که کم‌ترین

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.1.47]

عمر گل در بالاترین سطح تنش شوری (۱۰۰ میلی‌مولار) و تیمار تحت محلول‌پاشی ۱۰ میلی‌گرم در لیتر تعدیل‌کننده مشاهده شد هرچند با هیچکدام از تیمارهای این سطح (۱۰۰ میلی‌مولار) تفاوت معنی‌داری نداشت.



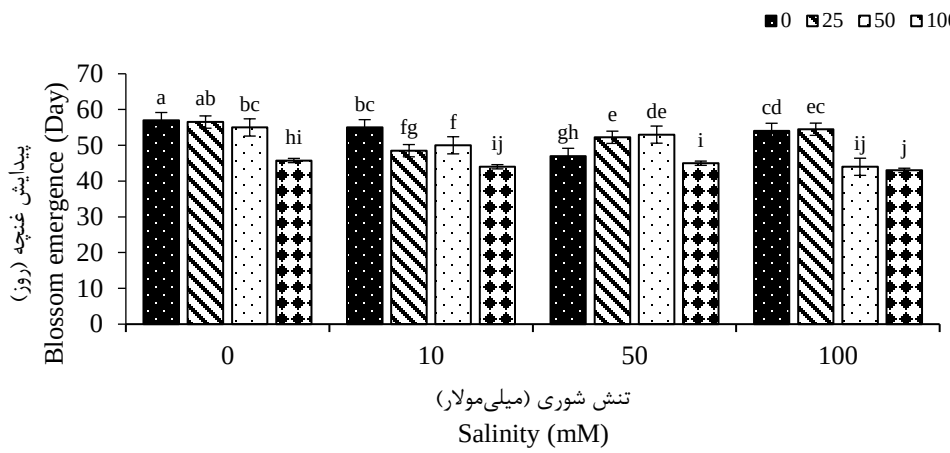
شکل ۶- مقایسه میانگین عمر جعفری در شوری NaCl و محلول‌پاشی نانو ذرات نقره (حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ با آزمون دانکن می‌باشد، خطوط روی ستون نمودارها انحرافات استاندارد را نشان می‌دهند).

Figure 6- Mean comparison of flower vase life of flower (b) of *Tagetes patula* L. plants under NaCl salinity and silver nanoparticles spraying (Non-identical letters indicate a significant difference at 5% level using DMRT test, The lines on the columns of the graphs show the standard deviations).

زمان غنچه‌دهی

زمان ظهور غنچه در جعفری تحت تاثیر معنی‌دار اثرات اصلی و برهمکنش تنش شوری و تیمار نانونقره در سطح آماری یک درصد قرار گرفت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تنش شوری و تعدیل‌کننده نانوذرات نقره بر زمان غنچه‌دهی جعفری زینتی نشان داد (شکل ۷) که با افزایش سطوح شوری زمان ظهور غنچه کاهش معنی‌داری داشت درحالی‌که تعدیل‌کننده نانونقره هم در سطح شاهد (بدون تنش) و هم سطوح شوری، سبب افزایش این ویژگی شد، به‌طوری که بیش‌ترین زمان برای غنچه‌دهی در تیمار شاهد (عدم تنش شوری و تعدیل‌کننده) مشاهده گردید که با تیمار تحت محلول‌پاشی ۱۰ میلی‌گرم در لیتر تعدیل‌کننده در همین سطح (بدون تنش شوری) تفاوت معنی‌داری نداشت. نتایج همچنین نشان داد که کم‌ترین زمان برای غنچه‌دهی در بالاترین سطح تنش شوری (۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و تیمار تحت محلول‌پاشی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر تعدیل‌کننده مشاهده شد هرچند با تیمارهای تحت محلول‌پاشی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر این سطح (۱۰۰ میلی‌مولار) و تیمار تحت محلول‌پاشی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر تعدیل‌کننده در سطح تنش شوری ۲۵ میلی‌مولار تفاوت معنی‌داری نداشت.

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.1.47]



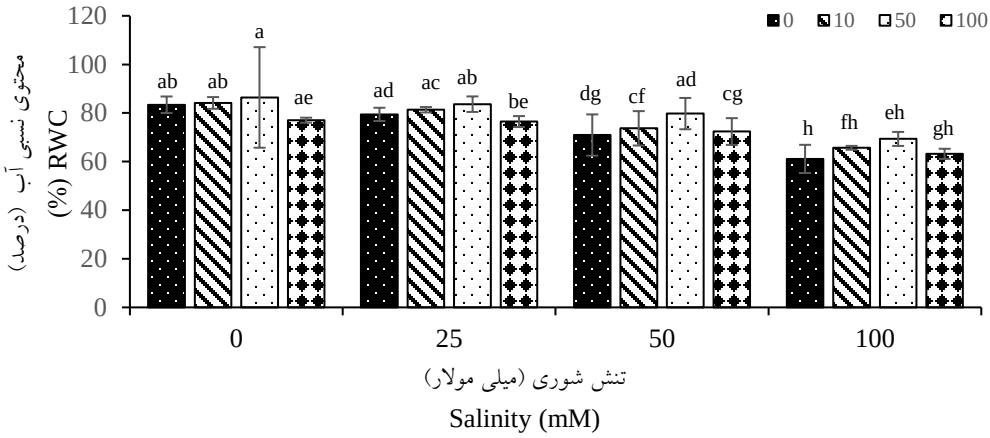
شکل ۷- مقایسه میانگین زمان غنچه دهی جعفری در شوری NaCl و محلول‌پاشی نانو ذرات نقره (حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ با آزمون دانکن می‌باشد، خطوط روی ستون نمودارها انحرافات استاندارد را نشان می‌دهند).

Figure 7- Mean comparison of bud emergence of flower (b) of *Tagetes patula* L. plants in NaCl salinity and silver nanoparticles spraying (Non-identical letters indicate a significant difference at 5% level using DMRT test, The lines on the columns of the graphs show the standard deviations).

محتوای نسبی آب

نتایج تجزیه واریانس اثر شوری و نانوذرات نقره برای محتوای نسبی آب برگ به‌ترتیب در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد معنی‌دار شد اما برهمکنش این عوامل بر محتوای نسبی آب برگ معنی‌دار نشد (جدول ۲). تنش شوری، محتوای نسبی آب برگ را کاهش داد. مقایسه میانگین اثرات اصلی (شکل ۸) نشان داد که بیش‌ترین محتوای نسبی آب برگ مربوط به تیمار شاهد (۸۶/۴۰٪) (بدون شوری) با غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نانونقره بود. در سطوح تنش شوری ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار محلول‌پاشی با غلظت‌های ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نانونقره محتوای نسبی آب برگ افزایش یافت. حفظ آماس سلول یک سازوکار سازشی بسیار مهم برای اجتناب از کمبود آب در برگ‌ها محسوب می‌گردد (Meng *et al.*, 2000). کاهش محتوای رطوبت نسبی در نتیجه کاهش دسترسی به آب در اثر افزایش پتانسیل اسمزی ناشی از وجود نمک است. نانوذرات به واسطه خاصیت آبدوستی که دارند، با آزاد کردن تدریجی ذرات آب به گیاه کمک می‌کنند تا در شرایط تنش به خوبی عمل کند (Sabertanha*et al.*, 2017). در پژوهشی (Nejatzadeh *et al.*, 2021) گزارش کردند که کاربرد نانوذرات نقره در غلظت ۶۰ میلی‌گرم در لیتر تاثیر قابل توجهی در کنترل تنش شوری در گیاه مرزه دارد.

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.1.47]



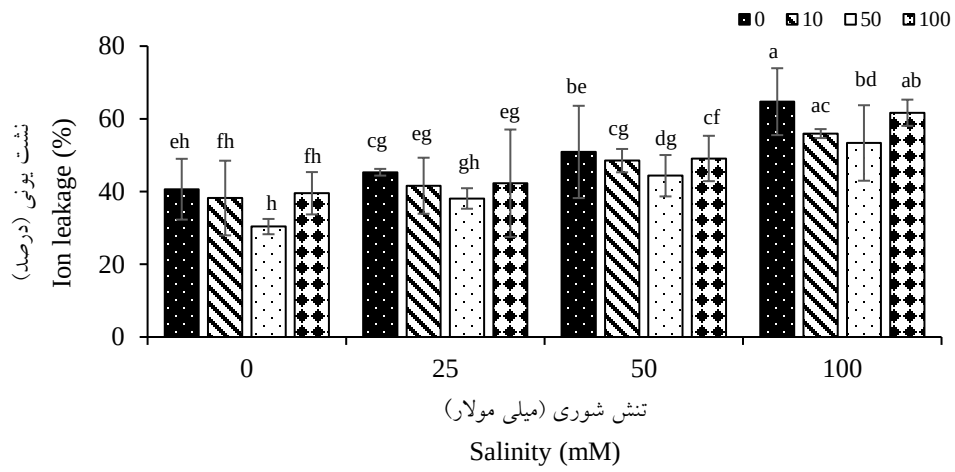
شکل ۸- مقایسه میانگین محتوای نسبی آب جعفری در شوری NaCl و محلول‌پاشی نانو ذرات نقره (حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ با آزمون دانکن می‌باشد، خطوط روی ستون نمودارها انحرافات استاندارد را نشان می‌دهند).

Figure 8- Mean comparison of RWC of *Tagetes patula* L. plants under NaCl salinity and silver nanoparticles spraying (Non-identical letters indicate a significant difference at 5% level using DMRT test, The lines on the columns of the graphs show the standard deviations).

نشت یونی

با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثرات اصلی و برهمکنش تنش شوری و تعدیل‌کننده‌ها بر نشت یونی در سطح یک درصد معنی‌دار گردید. بیش‌ترین مقدار نشت یونی مربوط به بالاترین سطح تنش شوری (۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و عدم کاربرد تعدیل‌کننده به مقدار ۶۴/۷۱٪ بود. همچنین کم‌ترین مقدار نشت یونی در تیمار شاهد (عدم تنش شوری) و کاربرد نانوذرات نقره ۵۰ میلی‌گرم در لیتر به مقدار ۳۰/۳۶٪ مشاهده گردیدکه تفاوت قابل ملاحظه‌ای با سایر تیمارها داشت (شکل ۹). نرخ نشت یونی، معیار مناسبی برای ارزیابی میزان تخریب سلول گیاهی در طی تنش‌های محیطی است (Campos *et al.*, 2012). پژوهش‌های گذشته نشان داده است که نانوذرات نقره قادر است از نشت الکترولیت جلوگیری کند (Shen *et al.*, 2015). در تنش شوری، میزان رادیکال‌های آزاد و پراکسید هیدروژن افزایش می‌یابد، که در نتیجه پراکسیده شدن چربی‌های غشا افزایش یافته و موجب کاهش پایداری غشا و در نهایت افزایش نشت یونی می‌شود. مقادیر بالای نشت یونی نشان‌دهنده عدم توانایی غشا در حفظ ترکیبات درون‌سلولی، خروج بیش‌تر الکترولیت‌ها از غشا و خسارت به غشای سلولی می‌باشد. بنابراین می‌توان بیان نمود که با افزایش سطح شوری پایداری غشا کاهش پیدا می‌کند (Zahedi *et al.*, 2019). به نظر می‌رسد نانوذرات نقره می‌تواند به‌عنوان یک مولکول پیام‌رسان با افزایش توان دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاه خسارات ناشی ازگونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن را کاهش دهد و بدین ترتیب پایداری غشا افزایش و نشت یونی کاهش یابد. در مطالعه‌ای (Langroudi *et al.*, 2019) در گل آلسترومریا نشان دادند، تیمار با نانوذرات نقره و اسانس‌های گیاهی که به‌عنوان عوامل ضد میکروبی عمل می‌کنند، روابط آبی را بهبود می‌بخشد به‌طوری که نشت الکترولیت برگ از این طریق افزایش نمی‌یابد و منجر به تاخیر در پیری گل می‌شود.

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.1.47]



شکل ۹- مقایسه میانگین نشت یونی جعفری در شوری NaCl و محلول‌پاشی نانو ذرات نقره (حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ با آزمون دانکن می‌باشد، خطوط روی ستون نمودارها انحرافات استاندارد را نشان می‌دهند).

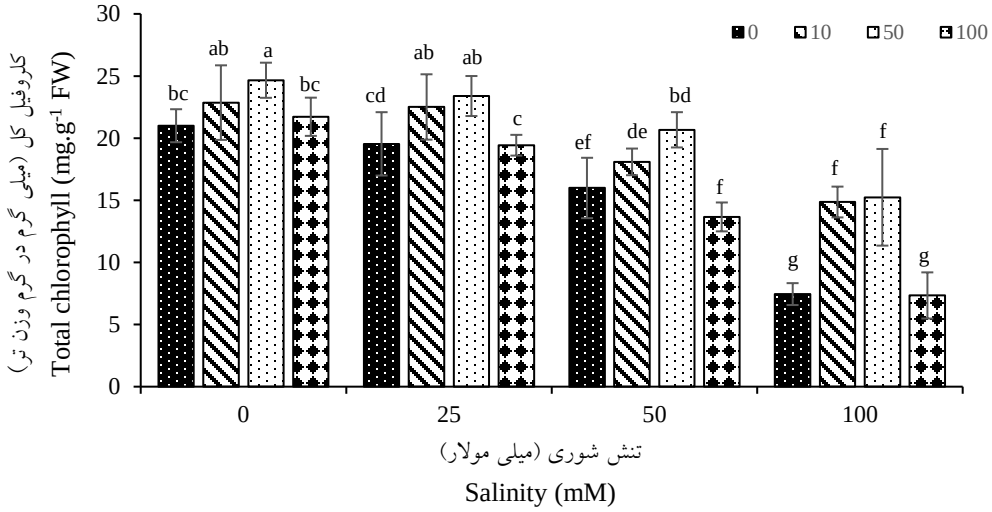
Figure 9- Mean comparison of ion leakage of *Tagetes patula* L. plants under NaCl salinity and silver nanoparticles spraying (Non-identical letters indicate a significant difference at 5% level using DMRT test, The lines on the columns of the graphs show the standard deviations).

کلروفیل کل

نتایج تجزیه واریانس اثر تنش شوری و تعدیل‌کننده نانوذرات نقره بر میزان کلروفیل کل نشان داد که برهمکنش و اصلی تیمارها بر میزان کلروفیل کل به‌ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسات میانگین برای کلروفیل کل نشان داد که تنش شوری، میزان کلروفیل کل را کاهش داد (شکل ۱۰) و استفاده از مواد تعدیل کننده اثرات منفی تنش شوری را کاهش داد و موجب افزایش کلروفیل کل در تیمار کنترل و سطوح تنش شد. بیش‌ترین میزان کلروفیل کل در تیمارهای شرایط عدم تنش و کاربرد ۵۰ میلی‌گرم در لیتر (۲۴/۶۶ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) مشاهده شد. در تمام سطوح تنش، محلول‌پاشی سطوح مختلف نانوذرات نقره موجب افزایش کلروفیل کل شد. در تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، کم‌ترین میزان کلروفیل در شرایط بدون کاربرد نانوذرات نقره و بالاترین سطح (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) نانوذرات نقره مشاهده شد. افزایش تنش شوری موجب کاهش کلروفیل می‌شود که علت آن سنتز آنزیم‌هایی از جمله کلروفیلاز است و خسارت به دستگاه فتوسنتزی است. یکی دیگر از دلایل کاهش کلروفیل در شرایط تنش شوری، تخریب کمپلکس‌های پروتئینی رنگیزه‌های گیاهی و تداخل نمک در سنتز پروتئین‌ها و اجزای سازنده کلروفیل می‌باشد (Jaleel *et al.*, 2008). تجمع یون‌های سمی در کلروپلاست، طی تنش شوری با ایجاد تنش اکسیداتیو موجب تخریب کلروفیل می‌شود. هم‌چنین استفاده بیش از حد نیتروژن برای تولید پرولین از جمله عوامل کاهش کلروفیل است. گلوتامات ترکیب اولیه برای تولید کلروفیل و پرولین است؛ تنش شوری با تحریک آنزیم لیگاز گلوتامات، موجب تبدیل بیش‌تر گلوتامات به پرولین شده و در نتیجه تولید کلروفیل کاهش می‌یابد (Rahdari *et al.*, 2013). در پژوهش‌های انجام شده توسط سایر محققان نیز تنش شوری موجب کاهش میزان کلروفیل در جعفری فرانسوی شد که با نتایج حاضر سازگار است (Chrysargyris *et*

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.1.47]

al., 2018). کاربرد نانوذرات نقره موجب افزایش کلروفیل کل در بنفشه سه رنگ (Hassanvand *et al.*, 2019) و مرزه خوزستانی (Nejatzadeh, 2021) شد که با نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر مطابقت دارد.



شکل ۱۰- مقایسه میانگین کلروفیل کل جعفری در شوری NaCl و محلول‌پاشی نانو ذرات نقره (حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ با آزمون دانکن می‌باشد، خطوط روی ستون نمودارها انحرافات استاندارد را نشان می‌دهند).

Figure 10- Mean comparison of total chlorophyll of *Tagetes patula* L. plants under NaCl salinity and silver nanoparticles spraying (Non-identical letters indicate a significant difference at 5% level using DMRT test, The lines on the columns of the graphs show the standard deviations).

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه مشخص نمود که گیاه جعفری فرانسوی نسبت به شوری شدید (۱۰۰ میلی‌مولار) حساس و قادر به تولید گل‌های درشت و زیبا (گل‌های مورد پسند و جذاب در فضای سبز) در شرایط شوری شدید نیست و عملکرد و ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه و همچنین ساختار فیزیولوژیک گیاه با برهم خوردن ساختار سلولی و روابط آبی درون گیاه دچار اختلال می‌شود و در همین راستا، مشاهده گردید که با افزایش غلظت سدیم کلرید در تیمار تنش ۱۰۰ میلی‌مولار، ارتفاع گیاه، قطر ساقه، وزن تر و خشک گل، تعداد گل، قطر گل، عمر گل، زمان ظهور غنچه، میزان کلروفیل کل، و محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت. در سطوح تنش شوری ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار، کاربرد نانونقره موجب کاهش اثرات منفی تنش گردید، بطوریکه در این سطوح تنش شوری، نانوذرات نقره به‌عنوان تعدیل کننده عمل کرد و افزایش ویژگی‌های مورد بررسی نسبت به شرایط عدم کاربرد آن مشاهده گردید، به طوری‌که غلظت ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات نقره توانست بیش‌ترین اثر تعدیل‌کننده را بر صفات مورد بررسی داشته باشد.

منابع

Bayat, H., Aminifard, M.H. (2017). Salicylic acid treatment extends the vase life of five commercial cut flowers. *Electronic Journal of Biology*, *13*(1), 67-72.

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.1.47]

Cabot, C., Sibole, J.V., Barceló, J., Poschenrieder, C. (2014). Lessons from crop plants struggling with salinity. *Plant Science*, *226*, 2-13.

Cai, X., Niu, G., Starman, T., Hall, C. (2014). Response of six garden roses (*Rosa× hybrida* L.) to salt stress. *Scientia Horticulturae*, *168*, 27-32.

Campos, M.L.D.O., Hsie, B.S.D., Granja, J.A.D.A., Correia, R.M., Almeida-Cortez, J.S.D., Pompelli, M.F. (2012). Photosynthesis and antioxidant activity in *Jatropha curcas* L. under salt stress. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, *24*, 55-67.

Chrysargyris, A., Tzionis, A., Xylia, P., Tzortzakis, N. (2018). Effects of Salinity on Tagetes Growth, Physiology, and Shelf Life of Edible Flowers Stored in Passive Modified Atmosphere Packaging or Treated With Ethanol. *Crop and Product Physiology, a section of the journal Frontiers in Plant Science*, *9*,1765. doi: 10.3389/fpls.2018.01765.

de Oliveira, A.B., Gomes-Filho, E. (2016). How are germination performance and seedling establishment under abiotic stress improved by seed priming? A review. *Australian Journal of Crop Science*, *10*(7), 1047-1051.

de Oliveira, V.P., Marques, E.C., de Lacerda, C.F., Prisco, J.T., Gomes Filho, E. (2013). Physiological and biochemical characteristics of Sorghum bicolor and Sorghum sudanense subjected to salt stress in two stages of development. *African Journal of Agricultural Research*, *8*(8), 660-670.

De Pascale, S., Dalla Costa, L., Vallone, S., Barbieri, G., Maggio, A. (2011). Increasing water use efficiency in vegetable crop production: from plant to irrigation systems efficiency. *Horticultural Technology*, *21*(3), 301-308.

Ekhtiari, R., Mohebi, H., Mansouri, M. (2012). Investigating the effects of nano silver particles on salinity tolerance of fennel (*Foeiniculum vulgare* Mill.) in primary growth in laboratory conditions.

Elsakhawy, T., Omara, A.E.D., Alshaal, T., El-Ramady, H. (2018). Nanomaterials and plant abiotic stress in agroecosystems. *Environment, Biodiversity and Soil Security*, *2*, 73-94.

Fahad, S., Bano, A. (2012). Effect of salicylic acid on physiological and biochemical characterization of maize grown in saline area. *Pakistan Journal of Botany*, *44*(4), 1433-1438.

Funk, V.A., Chan, R., Holland, A. (2007). Cymbonotus (Compositae: Arctotideae, Arctotidinae): an endemic Australian genus embedded in a southern African clade. *Botanical Journal of the Linnean Society*, *153*(1), 1-8.

Ghasemi, N., Omidi, H., Bostani, A. (2021). Morphological properties of Catharanthus roseus L. seedlings affected by priming techniques under natural salinity stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, *40*, 550-557.

Ghasemi, V., Ehtsham Nia, A., Rezainejad, A., Momiwand, H. (2023). Investigating the effect of different levels of salinity stress and variety on biochemical, physiological characteristics and concentration of nutrients of carnation plant (*Dianthus barbatus*). *Plant Production Research*, *30*(1), 1-19.

Ghavam, M. (2018). Effect of silver nanoparticles on seed germination and seedling growth in Thymus vulgaris L. and Thymus daenensis Celak under salinity stress. *Journal of Rangeland Science*, *8*(1), 93-100.

Gupta, B., Gupta, K., Huang, B. (2014). 19 Role of Polyamines in Plant Abiotic Stress Responses. *Handbook of Plant and Crop Physiology*, 369.

Hassanvand, F., Rezainejad, A. (2018). Effect of potassium silicate on growth, physiology and biochemical characteristics of Pelargonium graveolens under salinity stress conditions. *Horticultural Sciences of Iran*, *48*(4), 743-752.

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.1.47]

Heidary, Z., Asadi gharneh, H.A., Razmjoo, J. (2018). Effect of different levels of salinity on morpho-physiological characteristics of wood Sage (*Salvia nemorosa* L.). *Environmental stresses in crop sciences[internet],13*(3), 983-993. Available from: https://sid.ir/paper/388813/en

Iqbal, M., RaJa, N.I., Hussain, M., EJaz, M., Yasmeen, F. (2017). Effect of Silver Nanoparticles on Growth of Wheat Under Heat Stress. Iranian Journal of Science and Technology. *Transactions Science Journal*, *1*, 1-9.

Iqbal, S., Waheed, Z., Naseem, A. (2020). Nanotechnology and abiotic stresses. In: Mammals & Birds as Bioindicators of Trace Element Contaminations in Terrestrial Environ, pp. 655–691.

Jaleel, C.A., Gopi, R., Kishorekumar, A., Manivannan, P., Sankar, B., Panneerselvam, R. (2008). Interactive effects of triadimefon and salt stress on antioxidative status and ajmalicine accumulation in Catharanthus roseus. *Acta Physiologiae Plantarum*, *30*, 287-292.

Javadi, H., Thagha Al-Islami, M.J., Mousavi, S.G. (2014). Investigating the effect of salinity on germination and early seedling growth of four species of medicinal plants. *Iranian Agricultural Research Journal, 12* (1), 53-64.

Karimi, M., Ahmadi, A., Hashemi, J., Abbasi, A., Angelini, L. G. (2014). Effect of two plant growth retardants on steviol glycosides content and antioxidant capacity in Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni). *Acta Physiologiae Plantarum*, *36*, 1211-1219.

Karimi.jafari, A., Hossein zadeh namil, M. (2016). The effect of salinity and nano silver on growth and biochemistry of saffron corms in soaking conditions. *Applied Biology*, *29*(1), 159-174. doi: 10.22051/jab.2016.2474

Khalofah, A., Kilany, M., Migdadi, H. (2021). Phytostimulatory influence of comamonas testosteroni and silver nanoparticles on *Linum usitatissimum* L. under salinity stress. *Plants*, *10*(4), 790.

Langroudi, M.E., Hashemabadi, D., KalateJari, S., Asadpour, L. (2020). Effects of silver nanoparticles, chemical treatments and herbal essential oils on the vase life of cut alstroemeria (*Alstroemeria 'Summer* Sky') flowers. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, *95*(2), 175-182.

Lichtenthaler, H.K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In *Methods in enzymology*, *Academic Press*, *148*, 350-382.

Lutts, S., Kinet, J.M., Bouharmont, J. (1996). NaCl-induced senescence inleaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinitary resistance. *Annals of Botany*, *78* (3), 389-398.

Mahalingam, R. (2015). Consideration of combined stress: a crucial paradigm for improving multiple stress tolerance in plants. *Combined stresses in plants: Physiological, Molecular, and Biochemical Aspects*, 1-25.

Meng, H.E., Yuanwen, Z.O.U., Jinchuan, L.I., Xuejin, H.U.A.N. G., Gang, H.E. (2015). Design and Implementation of Electrical Stimulator for Cells. *Experiment Science and Technology*, *13*(3), 214-216.

Munns, R., Tester, M. (2008), Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology 59*, 651–681. DOI: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911.

Nair, R., Mohamed, M.S., Gao, W., Melawi, T., Yoshida, Y., Ajayan, P.M., Kumar, D.S. (2012). Effect of carbon nanomaterials on the germination and growth of rice plants. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, *12*(3), 2212-2220.

Nejatzadeh, F. (2021). Effect of silver nanoparticles on salt tolerance of *Satureja hortensis* L. during in vitro and in vivo germination tests. *Heliyon*, *7*(2), e05981.

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.1.47]

Ngo, Q. B., Dao, T. H., Nguyen, H. C., Tran, X. T., Van Nguyen, T., Khuu, T. D., & Huynh, T. H. (2014). Effects of nanocrystalline powders (Fe, Co and Cu) on the germination, growth, crop yield and product quality of soybean (Vietnamese species DT-51). *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, *5*(1), 015016.

Numan, M., Bashir, S., Khan, Y., Mumtaz, R., Shinwari, Z.K., Khan, A.L., Ahmed, A.H. (2018). Plant growth promoting bacteria as an alternative strategy for salt tolerance in plants: A Review. *Microbiological Research*, *209*, 21-32.

Oldenburg, S.J. (2016) Silver nanoparticles: properties and applications. http://www.sigmaaldrich.com/technical-documents/articles/mate rials-science/nanomaterials/silver-nanoparticles.html

Parvaneh, R., Shahrokh, T., Meysam, H.S. (2012). Studying of salinity stress effect on germination, proline, sugar, protein, lipid and chlorophyll content in purslane (*Portulaca oleracea* L.) leaves. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, *8*(1), 182-193.

Rahdari, P., Hoseini, S.M. (2013). Roll of polyamines (spermidine and putrescine) on protein, chlorophyll and phenolic compounds in wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. *Journal of Science Research Report*, *1*, 19-24.

Ritchie, S.W., Nguyen, H.T., Holaday, A.S. (1990). Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, *30*(1), 105-111.

Romagnoli, C., Mares, D., Fasulo, M.P., Bruni, A. (1994). Antifungal effects of α-terthienyl from Tagetes patula on five dermatophytes. *Phytotherapy Research*, *8*(6), 332-336.

Roozbahani, F., Mousavi-Fard, S., Nejad, A.R. (2020). Effect of proline on some physiological and biochemical characteristics of two cultivars of Impatiens walleriana under salt stress. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *51*(3).

Sabertanha, B., Fakheri, B., Mahdinezhad, N., Alizade, Z. (2017). Effects of silver nanoparticles elicitor and drought stress on the expression of beta-carotene hydroxylase (bch) gene on the yield of saffron carotenoid (*Crocus sativus* L.). *Crop Biotechnology*, *17*, 1–13.

Sairam, R.K., Srivastava, G.C. (2001). Water stress tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.): variations in hydrogen peroxide accumulation and antioxidant activity in tolerant and susceptible genotypes. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *186*(1), 63-70.

Salehi, M., Arzani, A. (2013). Grain quality traits in triticale influenced by field salinity stress. *Australian Journal of Crop Science*, *7*(5), 580-587.

Shen, Y., Shen, L., Shen, Z., Jing, W., Ge, H., Zhao, J., Zhang, W. (2015). The potassium transporter O s HAK 21 functions in the maintenance of ion homeostasis and tolerance to salt stress in rice. *Plant, Cell & Environment*, *38*(12), 2766-2779.

Shin, Y.K., Bhandari, S.R., Cho, M.C., Lee, J.G. (2020). Evaluation of chlorophyll fluorescence parameters and proline content in tomato seedlings grown under different salt stress conditions. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, *61*, 433-443.

Siahmansour, S., Ehtesham-Nia, A., Rezaeinejad, A. (2020). Effect of salicylic acid foliar application on Morpho-physiological and biochemical traits of Goldenberry (*Physalis peruviana* L.) under salinity stress condition. *Journal of Plant Production Research*, *27*(1), 165-178. (In Persian)

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.1.47]

Zahedi, S.M., Abdelrahman, M., Hosseini, M.S., Hoveizeh, N.F., Tran, L.S.P. (2019). Alleviation of the effect of salinity on growth and yield of strawberry by foliar spray of selenium-nanoparticles. *Environmental Pollution, 253*, 246-258.

Zawadzińska, A., Salachna, P., Byczyńska, A., Piechocki, R., Pietrak, A. (2021). Pre-planting application of colloidal silver nanoparticles enhances bulb yield of Lilium grown under NaCl stress. In *Presented at the 1st International Electronic Conference on Agronomy,* (*Vol. 3*, p. 17). https://doi.org/10.3390/IECAG2021-09722

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.1.47]

Flower and Ornamental Plants (2024), 9(1): 47-68
Research article

Effect of foliar spraying of silver nanoparticles on growth and morpho-physiological traits of French Marigold (*Tagetes patula* L.) under salinity stress conditions

Khatun Behzad[1], Abdullah Ehtsham Nia*[1], Mohammad Reza Raji[1], Hassan Momiwand[1], Majid Alikhani[2]

1.Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Khorram Abad, Lorestan
2. Department of Plant Production, Saravan Educational Complex, Sistan and Baluchistan
Ehteshamnia.ab@lu.ac.ir
Received: 2023/01/06, Revised: 2014/01/01, Accepted: 2024/01/01

Abstract

Salinity is one of the main environmental stresses that affect the establishment of seedlings and the performance of landscape plants. The application of silver nanoparticles in abiotic stresses in several ways improves the tolerance of plants against stresses. For this purpose, to investigate the effect of silver nanoparticles on the growth, and morpho-physiological traits of French Marigold under salinity stress, a factorial experiment was conducted under a completely randomized design with 4 replications. The first factor included salinity treatment at 4 levels (0, 25, 50 and 100 mM) and the second factor was the foliar application of silver nanoparticles at four levels (0, 10, 50, and 100 mg L^{-1}). In this study, the treatment of silver nanoparticles at 50 mg/L without salinity (0 mM) resulted in the maximum height of the plant (20 cm), the diameter of the stem (3.98 mm), the diameter of the flower (65 5.5 mm), the number of flowers per plant (11), the number of side branches (8), the relative water content (86.40%) and the lowest ion leakage (30.36%). Increasing the salinity level from 0 to 100 mM led to smaller plants with less pigment content and reduced growth traits. Weekly application of nanosilver not only significantly improved all evaluated parameters but also partially reduced the destructive effects under salinity conditions (50 and 100 mM). This gradual effect of nanosilver was more prominent when it was applied at a concentration of 50 mg L^{-1}, so that the foliar application of nanosilver increased the ornamental characteristics of Marigold, including the number of lateral branches (by 25.81%), the number of flowers (by 27.27%), flower diameter (by 10.27%) and fresh and dry weight of flowers (by 10.29 and 28.68%, respectively) under salinity stress conditions. Also, the present results showed that Marigold is sensitive to high salinity (100 mM) and is not able to produce large flowers under high salinity conditions. In general, the use of silver nanoparticles was useful in improving salinity tolerance in French Marigold and its application may stimulate the defense mechanisms of plants against salt toxicity.

Keywords: Marigold plant, Relative Water Content, Silver nanoparticles, Salinity stress.

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.1.47]