

اثر محلول پاشی نانوذره های نقره بر ویژگی های رشدی و مورفو-فیزیولوژیک جعفری فرانسوی

(*Tagetes patula* L.) در شرایط تنش شوری

خاتون بهزاد^۱، عبدالله 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 اصلی ترین تنش های محیطی است که استقرار گیاهچه و عملکرد گیاهان فضای سبز را تحت تاثیر قرار می دهد. کاربرد نانوذرات نقره در تنش های نازیوا (غیرزیستی) و به روش های گوناگون، تحمل گیاهان را در برابر تنش ها بهبود می بخشد. به همین منظور، برای بررسی اثر نانو ذرات نقره بر صفات رشدی، مورفو-فیزیولوژیک و تحمل به شوری جعفری فرانسوی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. فاکتور اول شامل تیمار شوری در چهار سطح (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی مولار) و فاکتور دوم کاربرد برگ گیاهان نانوذرات نقره در چهار سطح (صفر، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر) بودند. در این بررسی تیمار نانوذرات نقره ۵۰ میلی گرم در لیتر در شرایط بدون شوری (صفر میلی مولار)، بیش ترین ارتفاع گیاه (۲۰ سانتی متر)، قطر ساقه (۳/۹۸ میلی متر)، قطر گل (۵/۶۵ میلی متر)، تعداد گل در بوته (۱۱ عدد)، تعداد شاخه جانبی (۸ عدد)، محتوای نسبی آب (۸۶/۴۰٪) و کم ترین نشت یونی (۳۰/۳۶٪) را به خود اختصاص داد. افزایش سطح شوری از ۰ تا ۱۰۰ میلی مولار، منجر به کوچک تر شدن گیاهان با محتوای رنگدانه کم تر 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 میلی گرم در لیتر اعمال می شد، برجسته تر بود، به طوری که، کاربرد برگ گیاهان نانونقره سبب افزایش ویژگی های 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 میلی مولار) حساس و قادر به تولید گل های درشت در شرایط شوری شدید نیست. به طور کلی، استفاده از نانوذرات نقره در بهبود تحمل به شوری در گیاه جعفری فرانسوی مفید بود و کاربرد آن ممکن است مکانیسم های دفاعی گیاهان را در برابر سمیت نمک تحریک کند.

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

مقدمه

شوری خاک و آب آبیاری، یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی محدودکننده تولید محصولات کشاورزی به دلیل افزایش نیاز آبیاری در مناطق خشک و نیمه‌خشک است (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 نازیوا می‌باشد 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 اسمزی آن است. گیاهان با برقراری ایزوستازی یونی (تعادل یونی) به مقابله با اثرات سمیت 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 سازگار یا اسمولیت‌هایی مانند پرولین، گلیسین 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 است (de Oliveira *et al.*, 2016). در تنش‌های نازیوا، از جمله تنش شوری، تعادل در تولید رادیکال‌های آزاد و تولید آنتی‌اکسیدان‌ها (مکانیسم دفاعی) به هم خورده و با افزایش بیش از حد تولید گونه‌های بازفعال اکسیژن^۱، تنش ثانویه اکسیداتیو رخ می‌دهد و منجر به تغییرات یاخته‌ای و انواع آسیب‌های بحرانی نیز می‌گردد (Numan *et al.*, 2018). گیاهان برای مقابله با تنش اکسیداتیو به تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدان شامل، آسکوربات، کارتنوئیدها، گلوتاتیون، توکوفرول و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی متعدد از جمله سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، گلوتاتیون پراکسیداز و پراکسیداز می‌پردازند (Saieima *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 می‌باشد (Funk *et al.*, 2007). جعفری فرانسوی، به‌عنوان جعفری پاکوتاه با ارتفاع ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر شناخته شده است (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 مقایسه با مواد حجیم، حلالیت، سطح و واکنش‌پذیری بیش‌تری دارند. بنابراین، آن‌ها موقعیت امیدوارکننده‌ای را برای بهبود اثرهای مخرب تنش نازیوا و زیوا برای دستیابی به هدف کشاورزی پایدار در سطح جهانی به دست آورده‌اند. به دلیل تأثیر آن‌ها بر تحمل تنش و کیفیت غذایی محصولات، تحقیقات مربوط به کاربرد نانوذرات در حال افزایش است (Nejatzadeh, 2021). انواع مختلف نانوذرات برای نقش بالقوه آن‌ها در حفاظت از تنش‌های زیوا و نازیوا مورد بررسی قرار گرفته‌اند. گزارش شده است که نانوذرات نقره با غلبه بر کمبودهای تغذیه‌ای، افزایش فعالیت آنزیمی و کمک به



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 به دلیل 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 به ویژه ابعاد آن‌ها بستگی دارد، به نحوی که با تبدیل ذرات به ابعاد کوچک در حد نانومتر، خاصیت ضد میکروبی 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 لیپولی 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 ضد میکروبی 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 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 کلونیدی پیش از کاشت، بر عملکرد و صفات مورفوفیزیولوژیکی گیاه سوسن^۱ 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 کلونیدی 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 فرایندهای 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^۲ 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. پراکسید هیدروژن و مالون‌دی‌آلدئید کاهش یافت در حالی که آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیر آنزیمی در پاسخ به نانوذرات و کوماموناس و ترکیب آن‌ها افزایش یافت.



بنابراین، کاربرد نانوذرات نقره و *Comamonas testosteroni* ممکن است به عنوان 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 تاثیر نانوذرات نقره بر تنژگی بذر و رشد گیاهچه آویشن دنا^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 پدازه 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 احتمالاً 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 بذرهای 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 ۱:۱:۲ 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 به صورت 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 به صورت دستی صورت گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً 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 برگری 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 به صورت تدریجی با کاربرد غلظت کم نمک شروع شد. برای اعمال تیمار شوری، غلظت‌های مورد نظر تهیه و به صورت تدریجی در اختیار گیاه قرار گرفت. محلول‌پاشی نانونقره به صورت هفتگی به



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. محلول پاشی برگ با نانوذرات نقره در ۳ مرحله، چهار برگ، 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 سانتی‌متر مربع) 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):

$$\frac{EC_1}{EC_2} \times 100 \quad \text{رابطه ۱}$$

محتوای نسبی آب: برای اندازه‌گیری 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 رابطه ۲ محاسبه گردید.

$$RWC (\%) = (FW - DW) / (TW - DW) \quad \text{رابطه ۲}$$

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 اسپکتروفتومتر (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.

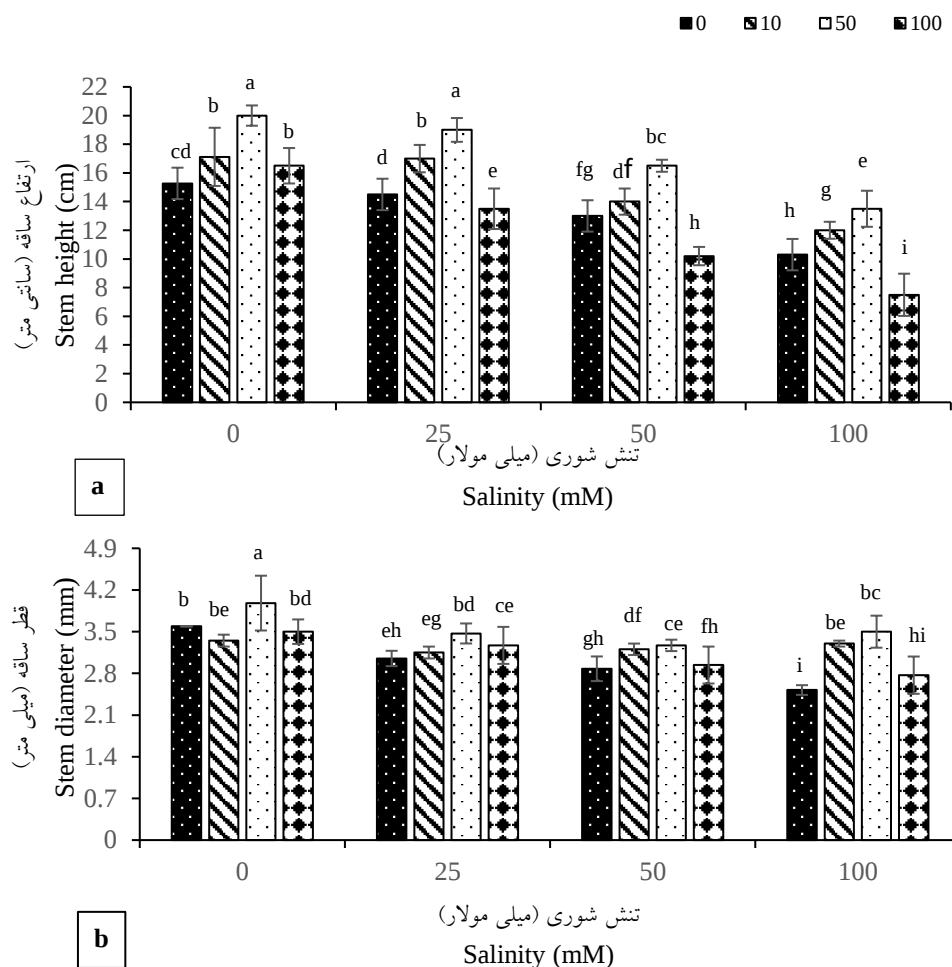


نتایج و بحث

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 ($P \leq 0.01$) معنی دار شد (جدول ۱). 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 سدیم کلرید و کاربرد نانوذرات نقره در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌دست آمد. تنش شوری باعث اختلال و نهایتاً 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 تأثیر زیادی را روی مرحله طویل شدن گیاه می‌گذارد. یکی دیگر از دلایل کاهش ارتفاع بوته در شرایط شور می‌تواند به دلیل 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 Maraghabadi و Ekhtiari (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 معنی دار شد (شکل ۱-b). 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.





شکل ۱- مقایسه میانگین ارتفاع (a) و قطر ساقه (b) جعفری در شوری NaCl و محلول پاشی نانو ذرات نقره (حروف غیرمشابه نشان دهنده وجود تفاوت معنی دار در سطح ۵٪ با آزمون دانکن می باشد، خطوط روی ستون نمودارها انحرافات استاندارد را نشان می دهند).

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).

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

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

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

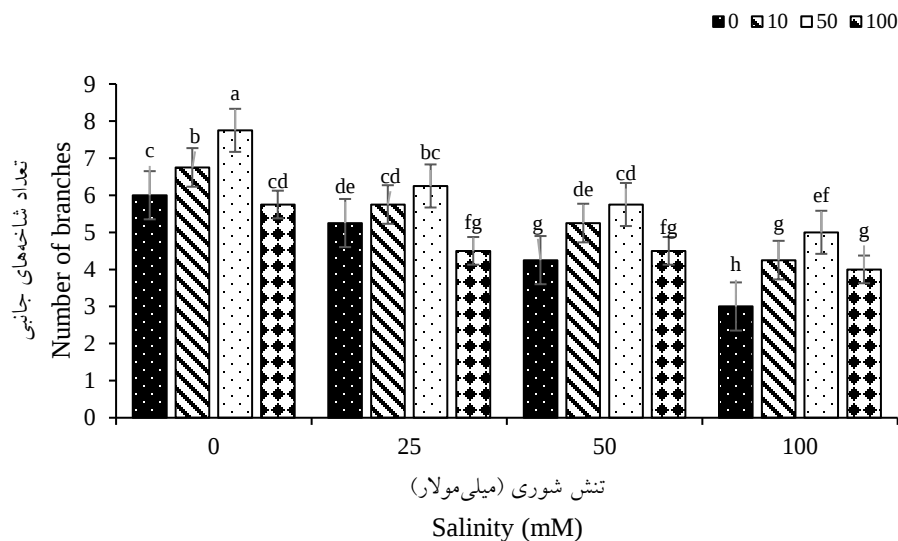
*, **, و ns: وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ و نبود اختلاف معنی دار.

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



تعداد شاخه‌های جانبی

نتایج تجزیه واریانس برهمکنش شوری و تعدیل کننده برای تعداد شاخه جانبی در سطح پنج درصد معنی دار 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 میلی مولار بود. همچنین کمترین (۳ عدد در بوته) تعداد شاخه‌های جانبی گیاه در سطح ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم و کاربرد نانو ذرات صفر میلی مولار مشاهده شد. کاربرد تعدیل کننده‌ها 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. هنگامی که 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 میلی مولار در شرایط شوری، تعداد شاخه‌های جانبی را در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور معنی داری به مقدار ۳۷/۳۷٪ افزایش داد، در حالیکه با سایر سطوح تعدیل کننده تفاوت معنی داری مشاهده نشد.



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

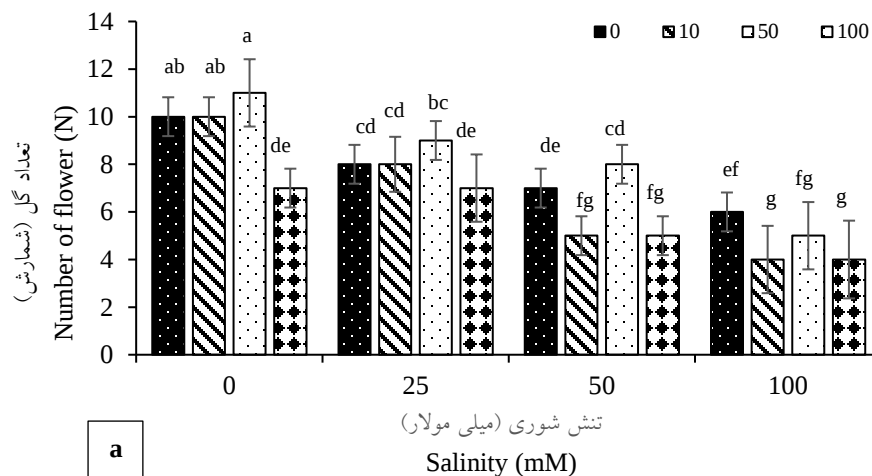
Figure 2- Mean comparison of lateral branches number of *Tagetes patula* L. plants under NaCl salinity and silver nanoparticles spraying (Non-identical letters indicate a significant difference at 5% level using DMRT test, The lines on the columns of the graphs show the standard deviations).

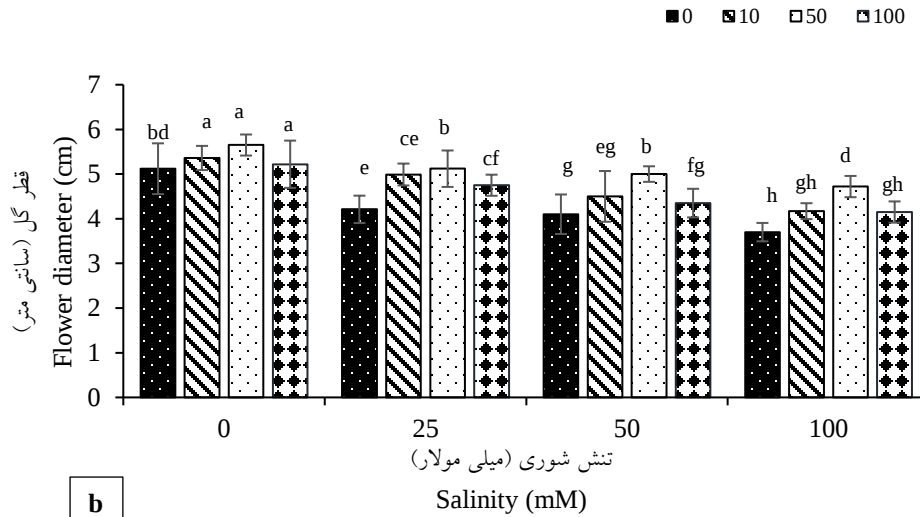
تعداد و قطر گل

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



شوری و کاربرد نانونقره ۵۰ میلی مولار (۱۱ عدد در بوته) بود. همچنین کمترین تعداد گل در سطح ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم و محلول پاشی 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 میلی گرم در لیتر در سطوح ۲۵ و ۵۰ میلی مولار 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/ (۰/۰۱) $P \leq$ معنی دار شد اما برهمکنش این عوامل بر قطر گل معنی دار نشد (جدول ۱). با توجه به شکل ۳، بالاترین میزان قطر گل گیاه مربوط به سطح عدم تنش شوری و کاربرد نانو ذرات ۵۰ میلی گرم در لیتر بود. همچنین کمترین میزان قطر گل گیاه در سطح ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم و کاربرد نانو ذرات صفر میلی گرم در لیتر مشاهده شد. مقایسه میانگین اثرات اصلی (شکل ۳-ب) نشان داد که بیشترین قطر گل مربوط به تیمار شاهد (۵/۶۵ میلی متر) با ۵۰ میلی گرم در لیتر نانوذرات نقره بود. در شرایط تنش شوری ۲۵ و ۵۰ میلی مولار، محلول پاشی نانونقره در غلظت ۵۰ میلی گرم بر لیتر 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 میلی مولار بود. که با سطح عدم تنش و کاربرد نانوسیلیس ۱ میلی مولار اختلاف معنی داری 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^۱ (Roozbahani et al., 2020) و مریم گلی^۲ (Heidari et al., 2018) با تیمار نانونقره افزایش یافت که با این نتایج همسویی دارد.





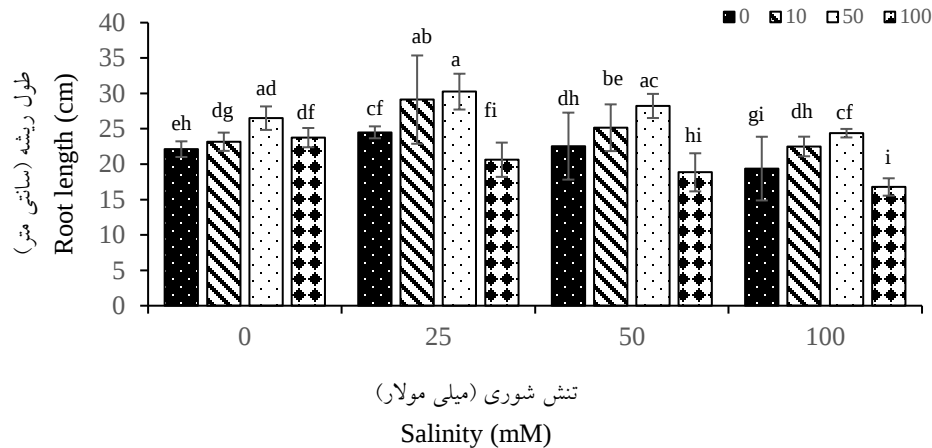
شکل ۳- مقایسه میانگین تعداد (a) و قطر گل (b) جعفری در شوری NaCl و محلول پاشی نانو ذرات نقره (حروف غیرمشابه نشان دهنده وجود تفاوت معنی دار در سطح ۵٪ با آزمون دانکن می باشد، خطوط روی ستون نمودارها انحرافات استاندارد را نشان می دهند).

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 معنی داری 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 میلی مولار و کاربرد ۵۰ میلی گرم در لیتر نانوذرات نقره (۳۰/۲۵ سانتی متر) بود (شکل ۴). کمترین طول ریشه (۱۶/۷۷ سانتی متر) در تنش شدید ۱۰۰ میلی مولار و نانوذرات نقره (۱۰۰ میلی گرم در لیتر) به دست آمد. به نظر می رسد در سطوح شوری ۲۵ و ۵۰ میلی مولار 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 می یابد. در شرایط شوری کلرید سدیم، ریشه ها قادر به جذب آب نیستند و ریشه گیاه یون های سمی بیشتری را جذب می کند که منجر به کاهش توسعه طولی ریشه می گردد و سمیت ناشی از یون ها منجر به کاهش رشد طولی ریشه می شود. 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 (Siahmansour et al., 2020) و در قرنفل (Ghasemi et al., 2023) گزارش شده است.



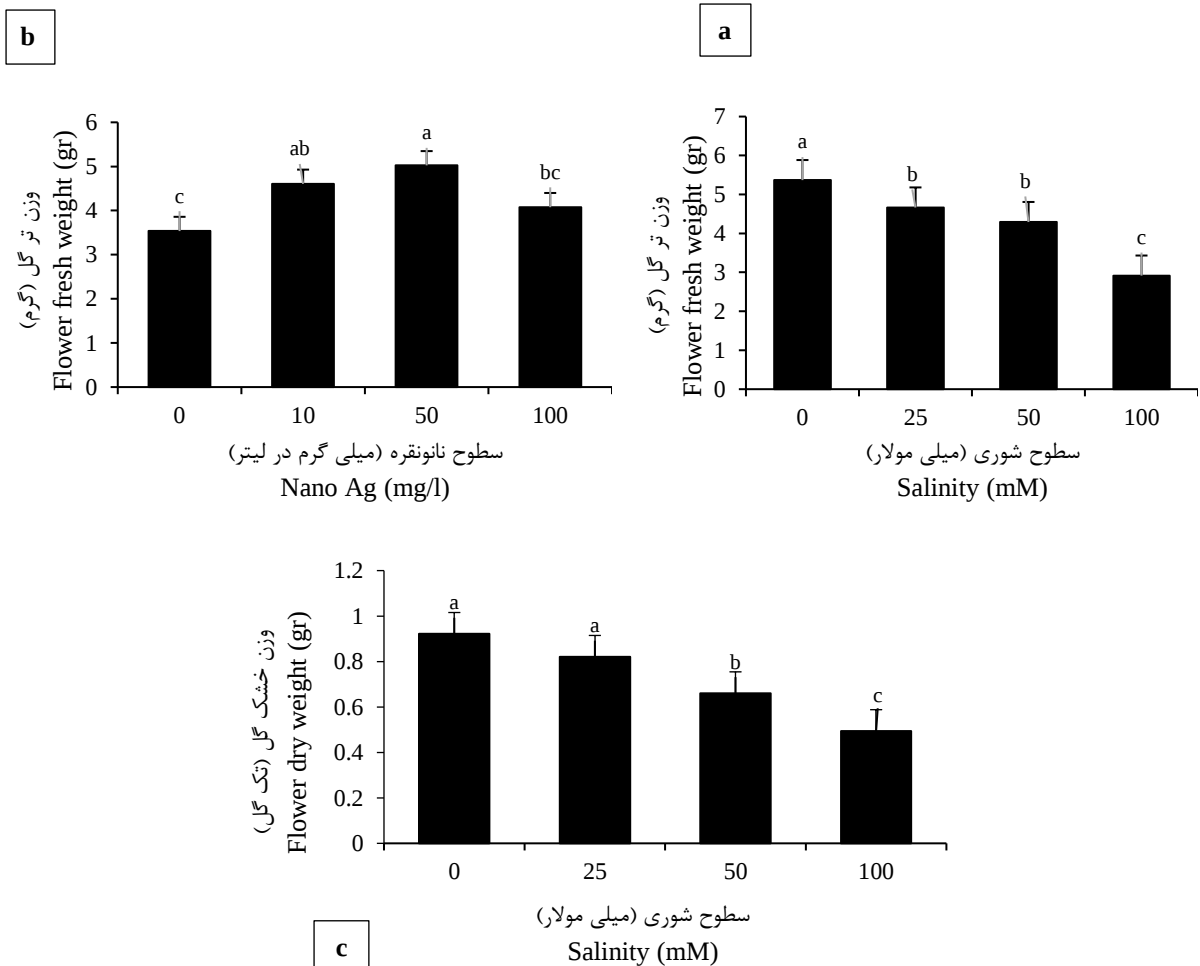


شکل ۴- مقایسه میانگین طول ریشه جعفری در شوری NaCl و محلول پاشی نانو ذرات نقره (حروف غیرمشابه نشان دهنده وجود تفاوت معنی دار در سطح ۵٪ با آزمون دانکن می باشد، خطوط روی ستون نمودارها انحرافات استاندارد را نشان می دهند).

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 معنی دار گردید و برهمکنش دو تیمار معنی دار نشد (جدول ۲)، همچنین برای وزن خشک گل، تنها اثر اصلی تنش شوری در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی تنش شوری (شکل ۵) بر وزن تر گل نشان داد که کلرید سدیم سبب کاهش معنی دار این ویژگی شد، به طوری که در غلظت های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی مولار 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. به طوری که در سطوح ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر نسبت به سطح شاهد به ترتیب ۳۰/۳۱، ۴۲/۲۰ و ۱۵/۴۶٪ افزایش یافت. همان طور که مشاهده گردید بین سطح شاهد و تیمار ۱۰۰ میلی گرم در لیتر و همچنین بین سطوح ۱۰ و ۵۰ میلی گرم در لیتر نانوذرات نقره تفاوت معنی داری مشاهده نشد. همان طور که نتایج نشان داد تنها تنش شوری اثر معنی داری بر وزن خشک داشت و سبب کاهش معنی دار آن شد. به طوری که در سطوح ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم 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.



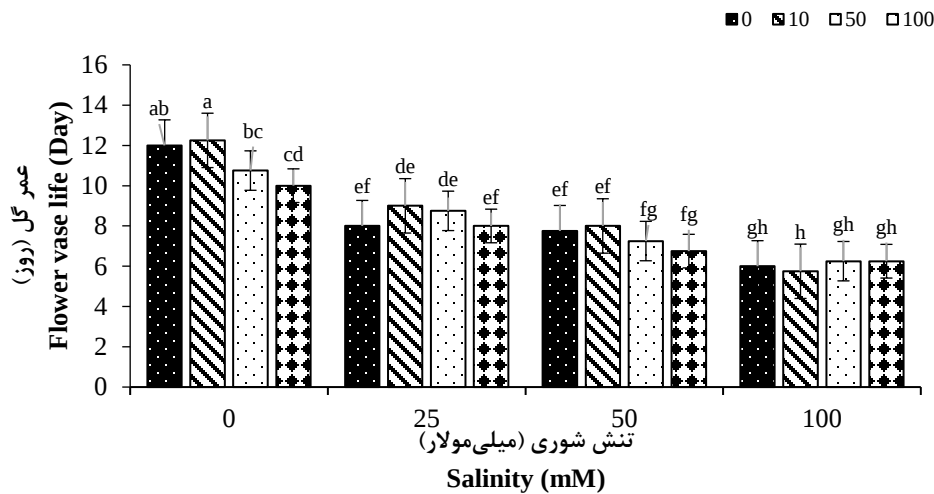
شکل ۵- مقایسه میانگین وزن تر (a و b) و خشک گل (c) جعفری در شوری NaCl و محلول پاشی نانو ذرات نقره (حروف غیر مشابه نشان دهنده وجود تفاوت معنی دار در سطح ۵٪ با آزمون دانکن می باشد، خطوط روی ستون نمودارها انحرافات استاندارد را نشان می دهند).

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 معنی دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تنش شوری و تعدیل کننده نانوذرات نقره بر عمر گل (شکل ۶) نشان داد که با افزایش سطوح شوری عمر کاهش معنی داری داشت درحالی که تعدیل کننده نانو نقره هم در سطح شاهد (بدون تنش) و هم سطوح شوری، سبب افزایش عمر گل شد، به طوری که بیشترین عمر گل در تیمار تحت محلول پاشی ۱۰ میلی گرم در لیتر تعدیل کننده در سطح بدون تنش شوری (شاهد) مشاهده گردید که با تیمار شاهد (عدم تنش شوری و تعدیل کننده) تفاوت معنی داری نداشت. نتایج همچنین نشان داد که کمترین

عمر گل در بالاترین سطح تنش شوری (۱۰۰ میلی مولار) و تیمار تحت محلول پاشی ۱۰ میلی گرم در لیتر تعدیل کننده مشاهده شد هرچند با هیچکدام از تیمارهای این سطح (۱۰۰ میلی مولار) تفاوت معنی داری نداشت.

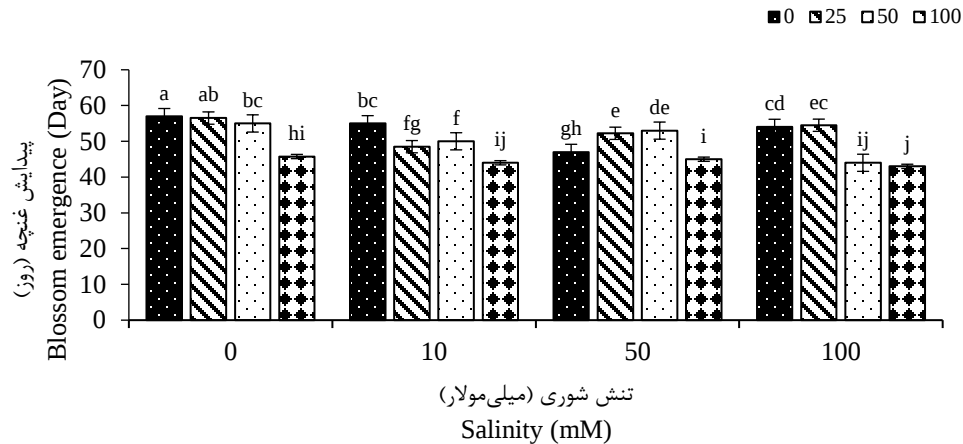


شکل ۶- مقایسه میانگین عمر جعفری در شوری NaCl و محلول پاشی نانو ذرات نقره (حروف غیرمشابه نشان دهنده وجود تفاوت معنی دار در سطح ۵٪ با آزمون دانکن می باشد، خطوط روی ستون نمودارها انحرافات استاندارد را نشان می دهند).

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 غنچه دهی

زمان ظهور غنچه در جعفری تحت تاثیر معنی دار 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 تعدیل کننده نانوذرات نقره بر زمان غنچه دهی جعفری زینتی نشان داد (شکل ۷) که با افزایش سطوح شوری زمان ظهور غنچه کاهش معنی داری داشت درحالی که تعدیل کننده نانونقره هم در سطح شاهد (بدون تنش) و هم سطوح شوری، سبب افزایش این ویژگی شد، به طوری که بیشترین زمان برای غنچه دهی در تیمار شاهد (عدم تنش شوری و تعدیل کننده) مشاهده گردید که با تیمار تحت محلول پاشی ۱۰ میلی گرم در لیتر تعدیل کننده در همین سطح (بدون تنش شوری) تفاوت معنی داری نداشت. نتایج همچنین نشان داد که کمترین زمان برای غنچه دهی در بالاترین سطح تنش شوری (۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم) و تیمار تحت محلول پاشی ۱۰۰ میلی گرم در لیتر تعدیل کننده مشاهده شد هرچند با تیمارهای تحت محلول پاشی ۵۰ میلی گرم در لیتر این سطح (۱۰۰ میلی مولار) و تیمار تحت محلول پاشی ۱۰۰ میلی گرم در لیتر تعدیل کننده در سطح تنش شوری ۲۵ میلی مولار تفاوت معنی داری نداشت.

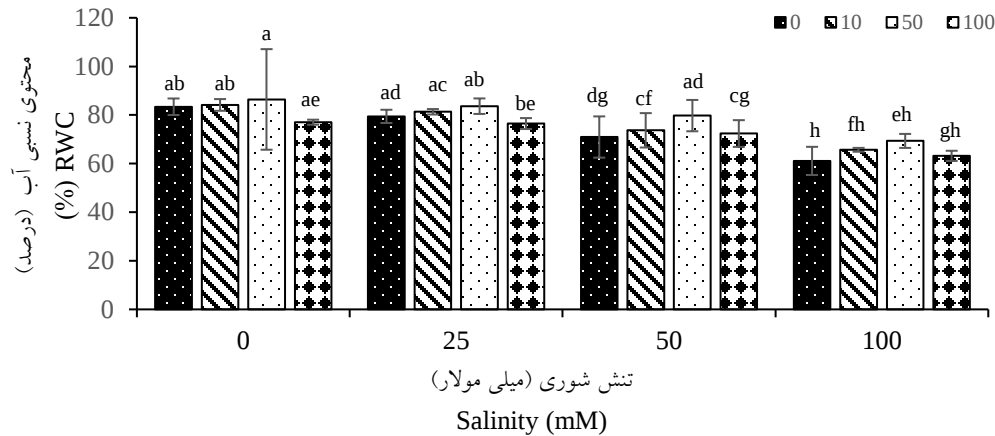


شکل ۷- مقایسه میانگین زمان غنچه دهی جعفری در شوری NaCl و محلول پاشی نانو ذرات نقره (حروف غیرمشابه نشان دهنده وجود تفاوت معنی دار در سطح ۵٪ با آزمون دانکن می باشد، خطوط روی ستون نمودارها انحرافات استاندارد را نشان می دهند).

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 به ترتیب در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد معنی دار شد اما برهمکنش این عوامل بر محتوای نسبی آب برگ معنی دار 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 میلی گرم بر لیتر نانونقره بود. در سطوح تنش شوری ۲۵ و ۵۰ میلی مولار محلول پاشی با غلظت های ۱۰ و ۵۰ میلی گرم بر لیتر نانونقره محتوای نسبی آب برگ افزایش یافت. حفظ آماس سلول یک سازوکار سازشی بسیار مهم برای اجتناب از کمبود آب در برگ ها محسوب می گردد (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 می کنند 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 میلی گرم در لیتر تاثیر قابل توجهی در کنترل تنش شوری در گیاه مرزه دارد.

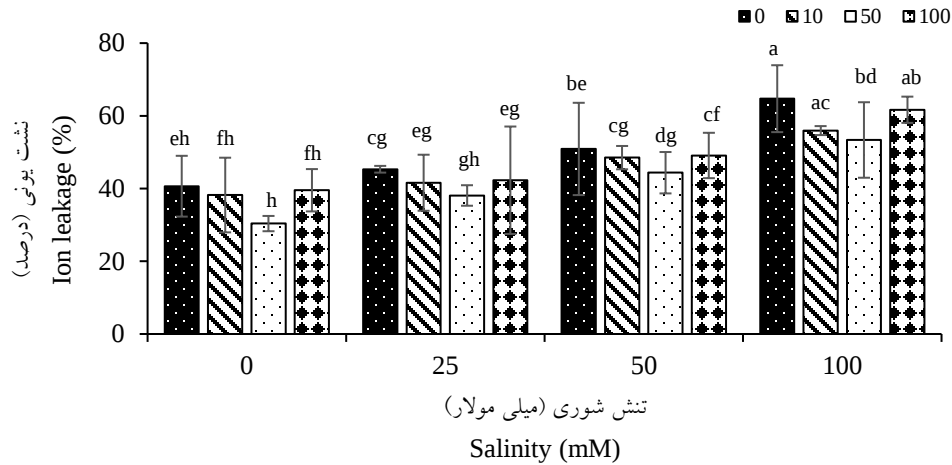


شکل ۸- مقایسه میانگین محتوای نسبی آب جعفری در شوری NaCl و محلول پاشی نانو ذرات نقره (حروف غیرمشابه نشان دهنده وجود تفاوت معنی دار در سطح ۵٪ با آزمون دانکن می باشد، خطوط روی ستون نمودارها انحرافات استاندارد را نشان می دهند).

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 تعدیل کننده ها بر نشت یونی در سطح یک درصد معنی دار گردید. بیشترین مقدار نشت یونی مربوط به بالاترین سطح تنش شوری (۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم) و عدم کاربرد تعدیل کننده به مقدار ۶۴/۷۱٪ بود. همچنین کمترین مقدار نشت یونی در تیمار شاهد (عدم تنش شوری) و کاربرد نانوذرات نقره ۵۰ میلی گرم در لیتر به مقدار ۳۰/۳۶٪ مشاهده گردید که تفاوت قابل ملاحظه ای با سایر تیمارها داشت (شکل ۹). نرخ نشت یونی، معیار مناسبی برای ارزیابی میزان تخریب سلول گیاهی در طی تنش های محیطی است (Campos et al., 2012). پژوهش های گذشته نشان داده است که نانوذرات نقره قادر است از نشت الکترولیت جلوگیری کند (Shen et al., 2015). در تنش شوری، میزان رادیکال های آزاد و پراکسید هیدروژن افزایش می یابد، که در نتیجه پراکسیده شدن چربی های غشا افزایش یافته و موجب کاهش پایداری غشا و در نهایت افزایش نشت یونی می شود. مقادیر بالای نشت یونی نشان دهنده عدم توانایی غشا در حفظ ترکیبات درون سلولی، خروج بیش تر الکترولیت ها از غشا و خسارت به غشای سلولی می باشد. بنابراین می توان بیان نمود که با افزایش سطح شوری پایداری غشا کاهش پیدا می کند (Zahedi et al., 2019). به نظر می رسد نانوذرات نقره می تواند به عنوان یک مولکول پیام رسان با افزایش توان دفاع آنتی اکسیدانی گیاه خسارات ناشی از گونه های واکنش پذیر اکسیژن را کاهش دهد و بدین ترتیب پایداری غشا افزایش و نشت یونی کاهش یابد. در مطالعه ای (Langroudi et al., 2019) در گل آلسترومریا نشان دادند، تیمار با نانوذرات نقره و اسانس های گیاهی که به عنوان عوامل ضد میکروبی عمل می کنند، روابط آبی را بهبود می بخشد به طوری که نشت الکترولیت برگ از این طریق افزایش نمی یابد و منجر به تاخیر در پیری گل می شود.



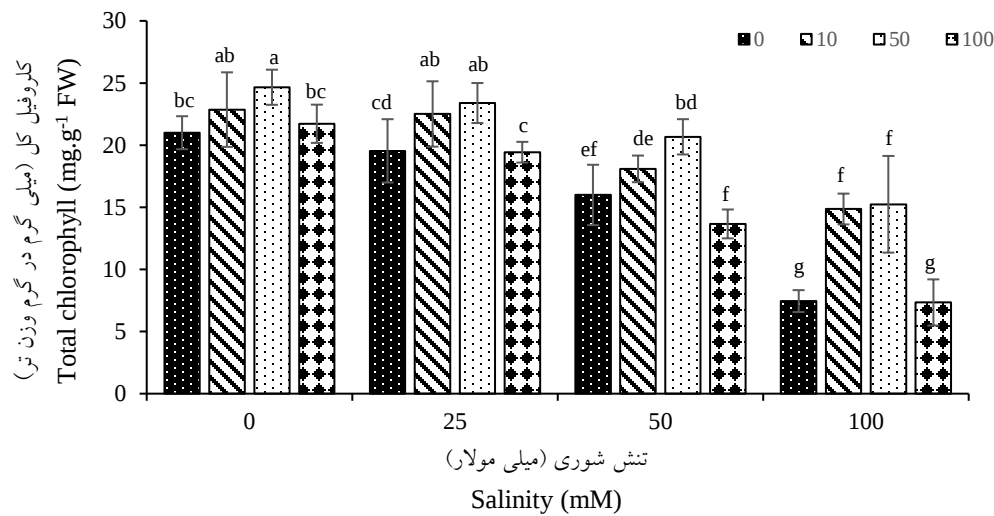
شکل ۹- مقایسه میانگین نشت یونی جعفری در شوری NaCl و محلول پاشی نانو ذرات نقره (حروف غیرمشابه نشان دهنده وجود تفاوت معنی دار در سطح ۵٪ با آزمون دانکن می باشد، خطوط روی ستون نمودارها انحرافات استاندارد را نشان می دهند).

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 تعدیل کننده نانوذرات نقره بر میزان کلروفیل کل نشان داد که برهمکنش و اصلی تیمارها بر میزان کلروفیل کل به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی دار 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 میلی گرم در لیتر (۲۴/۶۶ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) مشاهده شد. در تمام سطوح تنش، محلول پاشی سطوح مختلف نانوذرات نقره موجب افزایش کلروفیل کل شد. در تنش شوری ۱۰۰ میلی مولار، کمترین میزان کلروفیل در شرایط بدون کاربرد نانوذرات نقره و بالاترین سطح (۱۰۰ میلی گرم در لیتر) نانوذرات نقره مشاهده شد. افزایش تنش شوری موجب کاهش کلروفیل می شود که علت آن سنتز آنزیم هایی از جمله کلروفیلاز است و خسارت به دستگاه فتوسنتزی است. یکی دیگر از دلایل کاهش کلروفیل در شرایط تنش شوری، تخریب کمپلکس های پروتئینی رنگیزه های گیاهی و تداخل نمک در سنتز پروتئین ها و اجزای سازنده کلروفیل می باشد (Jaleel et al., 2008). تجمع یون های سمی در کلروپلاست، طی تنش شوری با ایجاد تنش اکسیداتیو موجب تخریب کلروفیل می شود. 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 بیش تر گلوتامات به پرولین شده و در نتیجه تولید کلروفیل کاهش می یابد (Rahdari et al., 2013). در پژوهش های انجام شده توسط سایر محققان نیز تنش شوری موجب کاهش میزان کلروفیل در جعفری فرانسوی شد که با نتایج حاضر سازگار است (Chrysargyris et

(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 محلول پاشی نانو ذرات نقره (حروف غیر مشابه نشان دهنده وجود تفاوت معنی دار در سطح ۵٪ با آزمون دانکن می باشد، خطوط روی ستون نمودارها انحرافات استاندارد را نشان می دهند).

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).

نتیجه گیری

نتایج این مطالعه مشخص نمود که گیاه جعفری فرانسوی نسبت به شوری شدید (۱۰۰ میلی مولار) حساس و قادر به تولید گل های درشت و زیبا (گل های مورد پسند و جذاب در فضای سبز) در شرایط شوری شدید نیست و عملکرد و ویژگی های کمی و کیفی گیاه و همچنین ساختار فیزیولوژیک گیاه با برهم خوردن ساختار سلولی و روابط آبی درون گیاه دچار اختلال می شود و در همین راستا، مشاهده گردید که با افزایش غلظت سدیم کلرید در تیمار تنش ۱۰۰ میلی مولار، 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 میلی مولار، کاربرد نانوذرات نقره موجب کاهش اثرات منفی تنش گردید، بطوریکه در این سطوح تنش شوری، نانوذرات نقره به عنوان تعدیل کننده عمل کرد و افزایش ویژگی های مورد بررسی نسبت به شرایط عدم کاربرد آن مشاهده گردید، به طوری که غلظت ۱۰ و ۵۰ میلی گرم در لیتر نانوذرات نقره توانست بیشترین اثر تعدیل کننده 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.

- 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., Tzisionis, A., Xylia, P., Tzortzakakis, 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 (*Foeniculum 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., Omid, 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.



- 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 salinity 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.



- 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/materials-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 Os 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)



- 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>





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

Khatun Behzad¹, Abdullah Ehtsham Nia^{*1}, Mohammad Reza Raji¹, Hassan Momiwand¹, Majid Alikhani²

1. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Khorram Abad, Lorestan

2. Department of Plant Production, Saravan Educational Complex, Sistan and Baluchistan

✉ Ehteshamniania.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 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.