

Paper Type: Original Article



Evaluation of Salinity Stress and Foliar Application of Nano ZnO, Fe and Se on Growth and Some Physiological Traits of *Gazania splendens* L.

Aylar Sardarlou¹, Lamia Vojodi Mehrabani*¹ , Kambiz Azizpour¹

¹Department of Agronomy and Plant Breeding, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran;
*(Associate Professor: Corresponding author: vojodilamia@gmail.com).

Citation:

Sardarlou, A., Vojodi Mehrabani, L. & Azizpour, K. (2025). Evaluation of salinity stress and foliar application of nano ZnO, Fe and Se on growth and some physiological traits of *Gazania splendens* L. *The quarterly scientific journal of applied biology*, Volume 38 (Issue No. 1), PP. 46-60.

Received: 2024.03.10

Accepted: 2024.10.05

Abstract

Introduction: Ornamental plants growing in urban areas often face salinity stress.

Methods: To evaluate the effects of foliar application of nano ZnO, Fe, and Se (zero and 2 g L⁻¹) and NaCl salinity stress (0, 100, 200 mM) on *Gazania splendens* L.; a factorial experiment was conducted based on completely randomized designs in Research Greenhouse of Azarbaijan Shahid Madani University, Iran.

Results: The results revealed that highest aerial parts dry weight was recorded at no salinity and 100 mM NaCl × nano Fe and ZnO foliar spray. The number of flowers (4) increased under no salinity + ZnO and Fe foliar spraying and 100 mM salinity stress + iron nanoparticle foliar application. The Na content, ion leakage, H₂O₂ content and malondialdehyde content were the highest at NaCl_{200 mM} × no-foliar spray. Catalase activity was increased in NaCl_{100 mM} × nano Se and ZnO foliar application.

Conclusion: The results showed that salinity had adverse effects on the studied traits of *Gazania splendens* L. However, foliar spraying with ZnO and iron nanoparticles had a positive effect on the enzymatic and non-enzymatic antioxidants activity, and aerial parts dry weight specially under 100 mM salinity stress. Overall, *Gazania* plant was able to withstand the salinity stress of 100 mM.

Keywords: Chlorophyll, *Gazania Splendens*, H₂O₂, Ion Leakage, Phenol



تاثیر تنش شوری و محلول‌پاشی با نانوذرات اکسید روی، آهن و سلنیوم بر رشد و برخی

صفات فیزیولوژیک *Gazania splendens* L.

آیلار سردارلو^۱، لمیا وجودی مهربانی^{۲*}، کامبیز عزیزپور^۳

^۱فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران.

^۲دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران.

^۳آستادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران.

(*نویسنده مسئول: vojodilamia@gmail.com)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲۰

چکیده

مقدمه: گیاهان زینتی رشد کرده در مناطق شهری اغلب در مواجهه با تنش شوری قرار می‌گیرند.

روش‌ها: به‌منظور بررسی تاثیر محلول‌پاشی نانوذره‌های اکسید روی، آهن و سلنیوم (صفر و ۲ گرم در لیتر) و تنش شوری کلرید سدیم (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار) بر گیاه گزانیا، آزمایشی بصورت فاکتوریل بر مبنای طرح کاملا تصادفی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان اجرا شد.

یافته‌ها: بیشترین وزن خشک بخش هوایی در تیمارهای بدون تنش شوری و تنش ۱۰۰ میلی‌مولار با محلول‌پاشی نانوذره‌های روی و آهن مشاهده شد. تعداد گل (۴ عدد) در تیمارهای بدون تنش شوری با محلول‌پاشی اکسیدروی و آهن، و شوری ۱۰۰ میلی‌مولار با محلول‌پاشی نانوذره آهن افزایش یافت. محتوای سدیم، نشت یونی، پراکسید هیدروژن، و مالون دی‌آلدئید در تیمار شوری ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم در شرایط بدون محلول‌پاشی افزایش یافت. فعالیت کاتالاز در تیمار تنش ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم با محلول‌پاشی نانوذره سلنیوم و اکسیدروی افزایش یافت.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد، شوری تاثیر منفی بر صفات مورد مطالعه گزانیا داشت. محلول‌پاشی با نانوذره‌های اکسیدروی و آهن تاثیر مثبت در افزایش ترکیبات آنتی‌اکسیدانی آنزیمی، غیر آنزیمی و وزن خشک بخش هوایی گیاه در تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم را داشت و مشخص شد که گیاه گزانیا قادر به تحمل شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم همراه با محلول‌پاشی است.

کلیدواژه‌ها: پراکسید هیدروژن، فنل، کلروفیل، گزانیا، نشت یونی

مقدمه

فضای سبز یکی از ارکان اساسی کالبد شهری است که علاوه بر آراستن شهر، نقش مهمی در برآورده ساختن نیازهای زیستی جوامع و ارتقاء کیفی سطح زندگی شهروندان دارد [1]. آلودگی هوا، ترافیک، آلودگی صوتی و انبوه ساختمان‌های بلند که بن‌بست بصری ایجاد کرده‌اند، در ایجاد مشکلات روحی و عاطفی در افراد نقش دارند. وجود عناصری زنده و آرام بخش (گیاهان) در چنین فضاهایی موجب ایجاد آرامش روحی و روانی در افراد می‌شود [2]. در شهرها مجموعه گیاهان سبز در قالب فضای سبز (پارک و بوستان، حاشیه خیابان‌ها، بزرگراه‌ها) زیبایی خاصی به فضا می‌بخشد. زیباسازی از طریق پوشاندن مناظر زشت و ناپسند، تصاعد بوهای خوشایند توسط گل‌ها، تعدیل دما، نور، رطوبت، افزایش رفاه، کاهش فشارهای روحی از نتایج کاربرد گیاهان زینتی در طراحی فضای سبز شهری است. امروزه افزایش فضای سبز شهری یکی از شاخص‌های توسعه‌یافتگی جوامع به حساب می‌آید [3]. گازانیا (*Gazania splendens* L.)، گیاهی علفی، یک یا چندساله از خانواده *آستر/سه* است که اغلب در فضای سبز شهری کاشته می‌شود. این گیاه در بهار و تابستان گل می‌دهد. گل‌ها، درخشان و به رنگ‌های زرد، نارنجی، کرم و قرمز برنزی دیده می‌شود. گلبرگ‌ها اغلب در قاعده خود دارای هاله‌ی به رنگ تیره یا روشن (سفید، آبی، قهوه‌ای و سیاه) هستند [4]. گازانیا دارای گل‌های با رنگ‌های متنوع بوده و دوام گل آن بالاست، به همین دلیل یکی از گیاهان پرتطرفدار در فضای سبز شهری است.

شوری یکی از مشکلات اساسی دنیای امروز در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. کاهش بارندگی و تداوم خشکسالی در مناطق خشک و نیمه خشک موجب آبیاری بی‌رویه گیاهان فضای سبز شهری با آب‌های شور، یا آب‌هایی با کیفیت نامناسب شده که تداوم این امر موجب تجمع نمک و شور و سدیمی شدن خاک می‌شود. سدیمی شدن خاک، فرآیندی مخرب برای خاک در مناطق متأثر از پدیده خشکسالی است [2]، [5]. تنش شوری تاثیر مخرب بر واکنش‌های متابولیکی و فیزیولوژیکی (تنفس، فتوسنتز، رشد و نمو، توزیع عناصر) گیاه دارد. شوری از طریق ایجاد تنش آبی، سمیت یونی، عدم توازن یونی و تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن موجب اختلال در رشد، عملکرد و فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه می‌شود. افزایش سدیم و کاهش محتوای پتاسیم سلول در شرایط تنش شوری در گیاهان حساس به تنش مشاهده شده که موجب آسیب و مرگ گیاه می‌شود. تحت شرایط تنش شوری با افزایش محتوای یون‌های سدیم و کلر در محیط ریشه، جذب عناصر غذایی کاهش یافته و یا مختل شده و موجب ایجاد عدم تعادل در جذب کاتیون و آنیون در گیاه می‌شود [6]. تنظیم اسمزی تحت شرایط تنش شوری یکی از مهم‌ترین سازوکارهای اجتناب از اثرات منفی تنش اسمزی در گیاه است [7].

استفاده طولانی مدت از کودهای شیمیایی موجب آلودگی‌های زیست‌محیطی و آسیب به اکوسیستم شده است، لذا لازم است تا تدابیری در این خصوص اندیشیده شده و با بکارگیری روش‌های پایدار جایگزین میزان آسیب وارده را کاهش داد. در سال‌های اخیر نانو تکنولوژی کاربرد زیادی در صنایع مختلف، پیدا نموده است. فناوری نانو یک رویکرد جدید برای افزایش عملکرد برخی محصولات تحت شرایط تنش است [8]. اندازه کوچک (۱ تا ۱۰ نانومتر) و سطح ویژه زیاد نانوکودها موجب افزایش کارایی آن‌ها در کشاورزی مدرن (کاهش مصرف سموم و کودهای شیمیایی) شده است. آزادسازی تدریجی نانوذرات و استفاده از آن‌ها به‌عنوان نانوسوراها برای ثبت تنش‌های محیطی، موجب ایجاد مقاومت در گیاه در مقابل تنش‌های زیستی و غیرزیستی شده است [9]. روی و آهن یکی از عناصر غذایی ضروری مورد نیاز گیاه است. آهن نقش مهمی در فعالیت آنزیم‌های سیتوکرومی، تنفس، فتوسنتز، زنجیره انتقال الکترون، آنزیم کلروفیل سینتاز و حفظ ساختار کلروپلاست و بیوسنتز DNA و RNA را دارد [10]. تاثیر سلنیوم در غلظت کم در بهبود رشد و نمو گیاه، افزایش فتوسنتز، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کمک به جذب عناصر غذایی به اثبات رسیده است [10]. روی نقش مهمی در فرایند فتوسنتز، حفظ تمامیت غشای سلول و نفوذ پذیری آن، پایداری پروتئین‌های متصل به DNA، فعالیت ژن، کاهش فتواکسیداسیون و کاهش فعالیت NADPH اکسیداز متصل به غشا را دارد [11]، [12]. کاربرد اکسید روی، در شرایط تنش شوری نقش مهمی در کاهش اثرات منفی یون‌های سمی سدیم و کلر بر گیاه را دارد. در تحقیقی در باقلا مشخص شده که تحت تنش شوری کاربرد نانوذره روی موجب افزایش محتوای آمینواسیدها، پرولین و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاه شد [13]. گیاه زینان محلول‌پاشی با نانوذره آهن نقش موثری در افزایش تحمل گیاه در برابر تنش شوری را داشت [14]. در حال حاضر، شوری منابع آبی و خاکی به یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی در اغلب مناطق جهان، مخصوصاً ایران تبدیل شده است. لذا هدف

از بررسی حاضر ارزیابی تاثیر محلول پاشی با نانوذره های روی، آهن و سلنیوم تحت تنش شوری بر صفات رشدی فیزیولوژیک و تولید گل در گازانیا است.

مواد و روش ها

به منظور بررسی تاثیر تنش شوری کلرید سدیم (بدون تنش، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی مولار) و محلول پاشی با نانوذره های اکسید روی، آهن و سلنیوم از شرکت US NANO (آمریکا) (بدون محلول پاشی و ۲ گرم در لیتر) بر رشد رویشی، زایشی و برخی صفات فیزیولوژیک گازانیای رقم سانبرست آزمایش فاکتوریل بر مبنای طرح کاملا تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان در طی سال های ۱۴۰۱ انجام شد. برای تجزیه داده ها از برنامه های آماری MSTATC ver 2.1 و SPSS var 2.3 استفاده شد. میانگین داده ها با استفاده از آزمون LSD (سطح احتمال ۵ درصد) انجام شد.

بذر گیاهان در آذرماه در سینی کشت در بستر ماسه و کوکوپیت (۱:۱) کاشته شد. نشاها در مرحله ۴ برگچه ای به گلدان های ۵ لیتری حاوی پرلایت دانه متوسط منتقل شدند. برای سازگاری گیاه به شرایط گلخانه، گیاهان به مدت دو هفته با محلول هوگلند نیترات کلسیم (یک میلی مولار)، فسفات دی هیدروژن پتاسیم (یک دهم میلی مولار)، سولفات پتاسیم (نیم میلی مولار)، سولفات منیزیم (نیم میلی مولار)، سولفات منگنز (بیست میکرومولار)، سولفات روی (نیم میکرومولار)، اسید بوریک (ده میکرومولار)، مولیبدات (یک دهم میکرومولار)، سولفات مس (یک میکرومولار)، و سولفات آهن (صد میکرومولار) تغذیه شدند. pH محلول روی ۵/۵ با استفاده از pH متر دستی (PT-370, Boeco, Germany) تنظیم شد. در مرحله ۵-۴ برگی تیمارهای آزمایشی روی گیاهان اعمال شد. برای جلوگیری از وارد شدن شوک به گیاه، اعمال تنش ابتدا با غلظت ۵۰ میلی مولار نمک آغاز شد و هر سه روز یکبار بر غلظت نمک افزوده شد تا در نهایت به غلظت نمک، مورد نظر رسید. بعد از رسیدن سطح شوری به غلظت مورد نظر، تیمار تا ۱۵ هفته اعمال شد. به منظور جلوگیری از تجمع نمک در گلدان ها، گیاهان هر هفته یکبار با آب خالص شستشو داده شدند. محلول پاشی گیاهان در سه نوبت انجام شد مرحله اول همزمان با اعمال تنش شوری (مرحله ۴-۵ برگی)، مرحله دوم ۱۵ روز بعد و مرحله سوم در شروع گلدهی اعمال شد. از آب مقطر برای محلول پاشی گیاهان شاهد استفاده شد. کل طول دوره رشد و گلدهی گیاه ۱۰۵ روز بود. در زمان تمام گل (شکل ۱)، نمونه های برگی گیاهان برای ارزیابی صفات مرفولوژیک و فیزیولوژیک برداشت شدند. گیاهان در طی دوره رشد به مدت ۱۶ ساعت در روشنایی و ۸ ساعت در تاریکی قرار گرفتند. تناوب دمایی شبانه روزی گلخانه ۳۰ و ۲۵ درجه سانتی گراد بود. رطوبت نسبی گلخانه در طی دوره رشد گیاه ۶۵ درصد بود.



شکل ۱- گیاه گازانیا ی پرورش یافته در بررسی حاضر

Figure 1- Cultivated *Gazania splendens* L. plants in present study

وزن تر و خشک بخش هوایی گیاه با استفاده از ترازوی دیجیتالی (BBI41, Boeco, Germany) و ارتفاع و قطر گل با استفاده از کولیس دیجیتالی اندازه گیری شد. از دستگاه کلروفیل سنج دستی برای تعیین شاخص کلروفیل برگ استفاده شد.

اندازه گیری نشت یونی

روی ۰/۲ گرم از بافت برگ شسته شده، ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه و دو ساعت در حمام آب گرم ۳۲ درجه قرار گرفت سپس هدایت الکتریکی نمونه (EC1) اندازه‌گیری شد. در مرحله بعد، نمونه در دمای ۱۲۱ درجه سانتیگراد به مدت ۲۰ دقیقه اتوکلاو شد و بعد از خنک شدن تا دمای ۲۵ درجه‌سانتی‌گراد، هدایت الکتریکی آن اندازه‌گیری شد (EC2). سپس درصد نشت یونی از رابطه $(EC1/EC2) \times 100$ محاسبه شد [15].

اندازه‌گیری محتوای پراکسید هیدروژن

۰/۲ گرم از برگ تازه گیاه در نیتروژن مایع سائیده شد و روی نمونه‌ی سائیده شده، ۵ میلی‌لیتر تری کلرواستیک اسید یک درصد حجمی (حجمی / وزنی) اضافه شد. محلول حاصل به مدت ۱۵ دقیقه در $12000 \times g$ سانتریفیوژ شد. پس از سانتریفیوژ، ۰/۵ میلی‌لیتر از فاز رویی، با ۰/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات ۱۰ میلی‌مولار (pH ۷/۵) و یک میلی‌لیتر یدید پتاسیم (یک مولار) مخلوط شد. جذب نمونه‌ها در ۳۹۰ نانومتر به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد [16].

اندازه‌گیری محتوای مالون دی‌آلدئید

برای اندازه‌گیری محتوای مالون دی‌آلدئید روی ۰/۲ گرم از برگ گازانیا، ۵ میلی‌لیتر تری کلرو استیک اسید ۱ درصد حجمی اضافه، و در $12000 \times g$ به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. یک میلی‌لیتر از محلول رویی با ۴ میلی‌لیتر از مخلوط ۰/۵ درصد تیوباربیوریک اسید به همراه ۲۰ درصد تری کلرو استیک اسید مخلوط و به مدت ۳۰ دقیقه گرم شد. از یخ برای متوقف کردن فعالیت آنزیم استفاده شد. محلول حاصل به مدت ۵ دقیقه در $10000 \times g$ سانتریفیوژ (T80⁺, China) گردید. جذب محلول رویی توسط اسپکتروفتومتر (T80⁺, China) در ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر قرائت شد [18].

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، ابتدا ۵۰ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار با ۷۵ میکرومولار نیتروبلوتترازولیوم، ۱۳ میکرومولار متیونین، ۰/۱ میلی‌مولار EDTA، و ۴ میکرو مولار ریوفلاوین مخلوط شد. روی ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره، ۳ میکرولیتر از مخلوط فوق اضافه و واکنش آن‌ها زیر نور لامپ ۴۰ وات آغاز شد. جذب نمونه‌ها در ۵۶۰ نانومتر در مدت زمان ۸ دقیقه قرائت گردید [19]. از مهار احیاء نوری نیتروبلوتترازولیوم برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز استفاده شد. اختلاف جذب نمونه‌ها و شاهد روشنائی نشان‌دهنده مهار احیاء نوری نیتروبلوتترازولیوم در حضور آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در نمونه بود [20].

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز، ۰/۱ مولار بافر فسفات پتاسیم سرد و ۰/۵ میلی‌مولار EDTA، با ۰/۵ گرم از نمونه‌ی برگ گازانیا مخلوط شد. عصاره حاصل به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه‌سانتی‌گراد با $15000 \times g$ سانتریفیوژ شد. سپس فاز رویی جدا شد. روی ۰/۰۵ میلی‌لیتر از محلول، ۱/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات ۰/۱ میلی‌مولار و ۱/۴۵ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر و ۰/۵ میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن ۷۵ میلی‌مولار اضافه شد. بعد از آغاز واکنش، جذب نمونه‌ها در ۲۴۰ نانومتر اندازه‌گیری شد [21].

اندازه‌گیری محتوای پرولین

برای اندازه‌گیری محتوای پرولین روی ۰/۲ گرم برگ سائیده شده در نیتروژن مایع، ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوسالسیلیک ۳ درصد اضافه، و در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه (به مدت ۷ دقیقه) سانتریفیوژ شد. ۱ میلی‌لیتر از محلول رویی، با ۱ میلی‌لیتر اسید نین‌هیدرین و ۱ میلی‌لیتر اسید گلاسیال مخلوط، و به مدت یک ساعت در حمام آب گرم ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. بعد از خروج از حمام، نمونه‌ها به مدت ۵ دقیقه به حمام یخ منتقل شد. روی محلول‌های استاندارد و نمونه‌ها، ۲ میلی‌لیتر

تولون، اضافه، و به مدت ۳۰ ثانیه تکان داده شد. برای تشکیل فاز قرمز رنگ، نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه به حالت سکون قرار گرفت. از محلول استاندارد پرولین برای اندازه‌گیری محتوای پرولین نمونه‌ها استفاده گردید [22].

اندازه‌گیری ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی

برای اندازه‌گیری ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی روی ۰/۵ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد، روی ۵۰ میلی‌گرم از برگ تازه گزانیا، اضافه شد. از عصاره حاصل برای اندازه‌گیری فنل [23] و فلاونوئید [24] استفاده شد. روی ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره، ۰/۳ میلی‌لیتر کلراید آلومینیوم ۱۰ درصد اضافه شد و محلول حاصل به مدت ۶ دقیقه در دمای اتاق قرار گرفت. جذب نمونه در ۵۱۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر (T80, china) اندازه‌گیری شد. از روتین‌هیدرات به عنوان استاندارد استفاده شد. از معرف فولین سیکالتو (Folin Ciocalteu) برای اندازه‌گیری محتوای فنل کل استفاده شد. روی ۱ میلی‌لیتر از عصاره، ۰/۲ میلی‌لیتر از معرف فولین سیکالتو و ۱ میلی‌لیتر کربنات سدیم اضافه شد. مخلوط حاصل به مدت ۵ دقیقه در ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. بعد از ۳۰ دقیقه، جذب محلول رویی، در طول موج ۷۵۰ نانومتر به وسیله دستگاه اسپکتروفوتومتر (T80, China) اندازه‌گیری شد. محتوای فنل کل بر مبنای استاندارد اسید گالیک بیان شد.

اندازه‌گیری عناصر

برای اندازه‌گیری عناصر سدیم و پتاسیم برگ گزانیا، از روش فلاپم فتومتر (Corning, 410, England) استفاده شد. از دستگاه جذب اتمی (Corning, 410, England) برای اندازه‌گیری غلظت آهن، روی و فسفر استفاده شد. محتوای ازت برگ، به روش کج‌دال، تعیین استفاده شد [17]. ابتدا یک گرم از پودر نمونه خشک شده برگ، به مدت ۳ ساعت در کوره الکتریکی در دمای ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت تا به خاکستر تبدیل شود. روی هر نمونه، ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک + اسید کلریدریک یک نرمال اضافه، و مخلوط حاصل به حمام آب گرم در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد منتقل شد. بعد از تبخیر اسید، روی نمونه هضم شده ۱۰۰ میلی‌لیتر آب تقطیر شده اضافه شد و بعد از صاف کردن مخلوط محتوای عناصر تعیین گردید.

نتایج و بحث

وزن خشک گیاه

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که وزن خشک گیاه و ریشه تحت تأثیر اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی قرار گرفت (جدول ۱). بیشترین وزن خشک ریشه در تیمار بدون تنش شوری با محلول پاشی آهن و کمترین وزن خشک ریشه در تیمار شاهد به میزان ۰/۲۱ گرم مشاهده شد (جدول ۲). بیشترین وزن خشک بخش هوایی گیاه در تیمارهای بدون تنش شوری و تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم با محلول پاشی نانو ذره‌های اکسیدروی و آهن مشاهده شد (جدول ۲). کمترین وزن خشک بخش هوایی گیاه در تیمار تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار در شرایط بدون محلول پاشی به میزان ۰/۵ گرم مشاهده شد. تنش شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که موجب کاهش عملکرد محصول و رشد گیاه می‌شود. شوری ناشی از کلرید سدیم به دلیل ایجاد تنش آبی، اسمزی، یونی و تغذیه‌ای موجب ایجاد تغییرات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی در گیاه می‌شود [25]. محلول پاشی با روی تحت تنش شوری موجب افزایش عملکرد رزماری [26]، بابونه [27] و محلول پاشی با سلنیوم موجب افزایش رشد در گیاه همیشه‌بهار [28] شد. محلول پاشی با نانوذره آهن به افزایش عملکرد در زنیان تحت تنش شوری کمک کرد [14]. آهن از عناصر ضروری مورد نیاز در سلول‌های فتوسنتزی بوده و نقش مهمی در بیوسنتز سیتوکروم‌ها و سایر مولکول‌های دارای هم را دارد و به این طریق به افزایش عملکرد گیاه کمک می‌کند [10]. روی یکی از عناصر غذایی ضروری برای گیاه است و نقش مهمی در کاهش اثرات منفی تنش بر گیاه از طریق بیوسنتز اکسین، حفظ تمامیت غشای سلول، تجمع فسفولیپیدها و پروتئین و کاهش رادیکال‌های آزاد اکسیژن را دارد. روی در انتقال مواد غذایی به سلول‌های جوان در حال رشد تاثیر داشته و با کاهش تجمع یون‌های سدیم و کلر تحت شرایط تنش

به رشد گیاه کمک می‌کند [29]. در بررسی حاضر کاربرد نانوذرات روی و آهن نقش مثبت در کاهش اثرات تنش در گیاه را داشته و به این طریق موجب رشد بخش هوایی گیاه در تنش ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم شد.

جدول ۱- تجزیه واریانس تاثیر تنش شوری و محلول‌پاشی بر رشد، پارامترهای گل و شاخص کلروفیل در گیاه گازانیا
Table 1- The analysis of variance for the impact of salinity and foliar sprays on growth, flower and chlorophyll parameters in *Gazania splendens* L.

Source of Variation	df	Root dry weight	Arial parts dry weight	Flower number	Flowering stem length	Flower fresh weight	Flower diameter	Chlorophyll index
Salinity (A)	2	0.008*	0.9ns	3.3*	47*	0.54*	0.71ns	147*
Foliar spray (B)	3	0.019**	1.7*	0.95*	28*	0.65*	11*	234*
A × B	6	0.0011*	1.1**	0.87*	1.8*	0.47*	1.5ns	48.8*
Error	24	0.0001	0.09	0.19	0.26	0.12	0.18	1.6
C.V. (%)	11	9	8	10	11	6.2	9.5	

ns, * and ** indicate no significant difference and significant differences at 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش شوری و محلول‌پاشی بر رشد و برخی پارامترهای فیزیولوژیکی گازانیا
Table 2- Mean comparison for the interaction effects of salinity and foliar spray on growth and some physiological parameters of *Gazania splendens* L.

NaCl (mM)	Foliar spray	Root dry weight (g pot ⁻¹)	Arial parts dry weight (g pot ⁻¹)	Flower number	Flowering stem length	Flower fresh weight (g)	Chlorophyll index (SPAD)
0	0	0.21±0.01c	0.7±0.02c	2.0±0.08c	8.5±0.01c	2.1±0.05b	15.2±0.01c
0	Se	0.19±0.00d	0.98±0.02b	3.0±0.08b	8.4±0.02c	2.4±0.10b	16.3±0.21c
0	ZnO	0.29±0.00b	1.2±0.01ab	4.0±0.08a	11.2±0.01b	3.7±0.11a	20.9±0.27a
0	Fe	0.38±0.02a	1.6±0.02a	4.0±0.08a	14.2±0.00a	3.8±0.01a	23.2±0.34a
100	0	0.17±0.01d	0.6±0.01d	2.0±0.08c	8.0±0.18c	1.9±0.21c	13.1±0.02d
100	Se	0.21±0.03c	1.0±0.05b	2.0±0.08c	9.2±0.20c	2.1±0.11b	18.9±0.05b
100	ZnO	0.28±0.07b	1.2±0.06ab	3.0±0.08b	10.8±0.11b	2.8±0.03b	19.2±0.78b
100	Fe	0.27±0.09b	1.5±0.02a	4.0±0.08a	14.0±0.31a	2.9±0.02b	21.6±0.12a
200	0	0.12±0.00e	0.5±0.08d	1.5±0.08d	5.7±0.18d	1.4±0.00d	9.7±0.12e
200	Se	0.17±0.04d	0.7±0.01d	2.0±0.08c	9.5±0.48c	1.5±0.01d	11.6±0.28d
200	ZnO	0.20±0.01c	0.9±0.02b	2.5±0.08bc	10.8±0.28b	1.6±0.02c	10.9±0.124d
200	Fe	0.24±0.01bc	1.1±0.01b	3.0±0.08b	11.1±0.18b	1.5±0.00d	14.9±1.00c

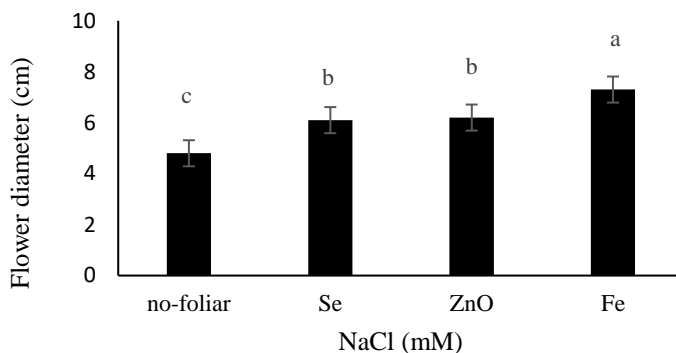
حروف مختلف در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار آماری براساس آزمون LSD ($P \leq 7\delta$) است.

Different letters with in each column indicate significant differences based on the LSD test ($p < 0.05$).

صفات مرتبط با گل

اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی تعداد گل، طول ساقه گل‌دهنده و وزن تر گل را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۱). نتایج حاصل نشان داد که تیمار بدون تنش شوری با محلول‌پاشی نانوذره‌های روی و آهن و تیمار تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار با محلول‌پاشی آهن موجب افزایش تعداد گل در گیاه شد. تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار در شرایط بدون محلول‌پاشی موجب کاهش تعداد گل به ۱/۵ عدد شد. طول ساقه گل‌دهنده در تیمارهای محلول‌پاشی با نانوذره آهن در شرایط بدون تنش شوری و تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار افزایش یافت. بیشترین وزن گل در تیمار بدون تنش شوری با محلول‌پاشی نانوذره‌های روی و آهن مشاهده شد. کمترین وزن تر گل در تیمار بدون تنش و تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار در شرایط بدون محلول‌پاشی مشاهده شد (جدول ۲). قطر گل تحت تأثیر اثر مستقل تیمار محلول‌پاشی قرار گرفت (جدول ۱). تیمار محلول‌پاشی با نانوذره آهن موجب افزایش قطر گل به ۷/۳ سانتی‌متر شد. کمترین قطر گل در شاهد (۴/۸ سانتی‌متر) مشاهده شد. از نظر قطر گل تفاوتی بین محلول‌پاشی با نانوذره‌های سلنیوم و روی مشاهده نشد (شکل ۲). محلول‌پاشی با نانوذره سلنیوم تحت تنش شوری به بهبود رشد و عملکرد گیاه به‌لیمو کمک کرد [30]. توان رشد رویشی و زایشی گیاه در اثر تنش شوری موجود در خاک کاهش می‌یابد که دلیل آن کاهش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ، ایجاد تغییر در سطح انرژی گیاه، و صرف انرژی برای حذف یون‌های کلر و سدیم از گیاه و تنظیم اسمزی در گیاه است [31].

نانوذره روی نقش اساسی در تشکیل ترکیبات آلی (اکسین و جیبرلین) که موجب افزایش رشد در گیاه می‌شوند را دارد. همچنین نانوذره روی با کمک به پایداری غشا، تولید پروتئین موجب بهبود عملکرد غشا شده و به افزایش تحمل سلول در برابر تنش‌های اکولوژیکی کمک می‌کند [32].



شکل ۲- مقایسه میانگین تاثیر محلول پاشی بر قطر گل در گیاه گازانیا

Figure 2- Mean comparison for the effects of salinity on flower diameter of *Gazania splendens* L.

شاخص کلروفیل

شاخص کلروفیل تحت تاثیر اثر متقابل محلول پاشی و تنش شوری قرار گرفت (جدول ۱). براساس نتایج حاصل بیشترین شاخص کلروفیل در تیمار بدون تنش شوری با محلول پاشی نانوذره‌های روی (۲۰/۹ اسپاد) و آهن (۲۳/۲ اسپاد)، و تیمار تنش شوری ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم با محلول پاشی آهن (۲۱/۶ اسپاد) گزارش شد. کمترین شاخص کلروفیل در تیمار تنش شوری ۲۰۰ میلی مولار در شرایط بدون محلول پاشی گزارش شد (جدول ۲). تحت تنش شوری محلول پاشی با سلنیوم موجب بهبود وزن خشک، تعداد گل در همیشه بهار شد [28]. سلنیوم نقش مهمی در کاهش اثرات تنش شوری به وسیله تنظیم مکانیسم آنتی‌اکسیدانی در کلروپلاست را دارد و با افزایش کارایی فتوسیستم دو، به بهبود فتوسنتز در گیاه کمک می‌کند [33]. آهن از عناصر ضروری مورد نیاز در سلول‌های فتوسنتزی بوده و نقش مهمی در بیوسنتز سیتوکروم‌ها و سایر مولکول‌های دارای هم را دارد و به این طریق به افزایش عملکرد گیاه کمک می‌کند [10]. تنش شوری موجب کاهش شاخص کلروفیل بادرشی شد اما محلول پاشی با نانوذره روی موجب افزایش شاخص کلروفیل گیاه شد [34]. نانوذره روی، بعنوان کوفاکتور برای بسیاری از آنزیم‌ها عمل کرده و نقش مهمی در تشکیل رنگیزه‌های فتوسنتزی، تحرک آنزیم‌ها، تشکیل ترکیبات زیستی و تجمع آن‌ها دارد. نانوذره روی یکی از مهم‌ترین نانوذرات مورد استفاده در بخش کشاورزی به دلیل نقش آن در تشکیل متابولیت‌های ثانویه (پروتئین، قندها) و تحرک عناصر غذایی و از بین برنده رادیکال‌های آزاد تولید شده در گیاه است که دلیل آن اندازه کوچک نانوذرات مورد استفاده، سطح ویژه بالا، تحرک پذیری و دینامیک فعال تر آن‌ها است که با شرکت در فعالیت‌های متابولیکی مختلف، موجب بهبود رشد و فعالیت‌های متابولیکی گیاه می‌شود [35]. نتایج حاصل از بررسی حاضر نیز همسو با نتایج تحقیقات انجام شده فوق در خصوص تاثیر مثبت نانوذرات مورد استفاده در افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی تحت تنش شوری است.

نشت یونی، محتوای پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدئید

اثرات مستقل و متقابل تیمارهای آزمایشی نشت یونی، محتوای مالون دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن در گیاه را تحت تاثیر قرار داد (جدول ۳). براساس نتایج حاصل بیشترین نشت یونی، محتوای پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدئید در شرایط بدون محلول پاشی با تنش شوری ۲۰۰ میلی مولار حاصل شد. بررسی نتایج حاصل از جدول فوق نشان می‌دهد که تیمارهای مورد استفاده در محلول پاشی در کاهش میزان هر سه صفت مذکور نسبت به شاهد، و همچنین نسبت به تیمارهای تنش شوری ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی مولار، نقش مؤثری داشت (جدول ۴). تحت تنش شوری تجمع رادیکال‌های آزاد در گیاه اتفاق افتاده و موجب تنش‌های اسمزی،

یونی و غذایی در گیاه می‌شود. از مهم‌ترین رادیکال‌های آزاد، می‌توان به آنیون‌های سوپراکسید، اکسیژن منفرد، پراکسید هیدروژن و رادیکال‌های هیدروکسیل اشاره نمود که اکثراً در کلروپلاست، میتوکندری، پراکسی‌زوم و آپوپلاست تولید می‌شوند. تجمع رادیکال‌های آزاد در غلظت بالا موجب آسیب به سلول شده در نتیجه سلول قادر به ایجاد مولکول‌های سیگنال دهنده نخواهد بود [25]. اختلال در هموستازی سلولی در اثر مواجهه با تنش شوری اتفاق افتاده در نتیجه موجب افزایش تولید رادیکال آزاد می‌شود. در اثر تولید رادیکال‌های آزاد گیاه، در معرض اکسیداسیون و تجزیه پروتئین‌ها و چربی، اسیدهای هسته‌ای قرار گرفته و سلول به سمت مرگ برنامه‌ریزی شده حرکت می‌کند [13]. تنش شوری موجب از بین رفتن تمامیت غشای سلول و افزایش نشت یونی در بادرشبی شد [34]. کاهش معنی‌دار در محتوای آب نسبی برگ، آسیب به اندامک‌ها، تشکیل رادیکال‌های آزاد اکسیژن، کاهش فتوسنتز، ناپایدار کمپلکس پروتئین-رنگیزه و افزایش فعالیت کلروفیل‌از اثرات تنش بر گیاه است [36]. تنش شوری موجب افزایش محتوی پراکسید هیدروژن در شمعدانی عطری شد و محلول‌پاشی با نانوذره‌های آهن مغناطیسی و سلنیوم موجب کاهش پراکسید هیدروژن در گیاه شد [37]. کاربرد سلنیوم در گیاه به‌لیمو موجب کاهش محتوای پراکسید هیدروژن در به‌لیمو شد [30]. کاربرد سلنیوم از طریق افزایش سطوح transcript و OSNHX1 و افزایش نسبت پتاسیم به سدیم در برنج موجب محافظت از سلول در مقابل تنش شوری از طریق کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن شد [38]. سمیت یونی به‌دلیل تولید سریع رادیکال‌های آزاد در سلول در اثر حضور یون‌های سدیم و کلر اتفاق می‌افتد و رشد گیاه و فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه را از طریق تولید پراکسید هیدروژن و مالون‌دی‌آلدئید تحت تاثیر قرار می‌دهد. آسیب به تمامیت غشای سلول، از اثرات تنش در گیاه است. نانوذره روی نقش مهمی در حفظ تمامیت غشای سلول و جلوگیری از نشت یونی را دارد. تیمار روی با کاهش فعالیت نکوتین‌آمید آدنین دی‌نوکلئوتید فسفات اکسیداز متصل به غشا که موجب ایجاد رادیکال آزاد در گیاه می‌شود به پایداری سلول کمک می‌کند [39].

جدول ۳- تجزیه واریانس تاثیر تنش شوری و محلول‌پاشی بر برخی صفات فیزیولوژیک گازانیا

Table 3- The analysis of variance for the impact of salinity and foliar sprays on some physiological characteristics of *Gazania splendens* L.

Source of Variation	df	Electrolytes Leakage	Malondialdehyde content	H ₂ O ₂ content
Salinity (A)	2	2124*	1123*	245.1*
Foliar spray (B)	3	547*	246*	1574*
A × B	6	21*	47*	248*
Error	24	6.2	2.1	35
C.V. (%)	8		6.7	10.3

ns, * و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار، و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

ns, * and ** indicate no significant difference and significant differences at 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش شوری و محلول‌پاشی بر رشد و برخی صفات فیزیولوژیک گازانیا

Table 4- Mean comparison for the interaction effects of salinity and foliar spray on growth and some physiological parameters of *Gazania splendens* L.

NaCl (mM)	Foliar spray	Electrolyte Leakage (%)	H ₂ O ₂ (nmol mg ⁻¹ FW)	Malondialdehyde content (nmol mg ⁻¹ FW)
0	0	17±0.01e	97±1.48c	8.1±0.22e
0	Se	12±0.05f	67±1.22c	5.3±0.04e
0	Zn	15±0.02e	89±0.98c	6.2±0.06e
0	Fe	17±0.21e	90±0.22c	5.7±0.11e
100	0	32±0.04c	154±0.48b	17.2±0.07c
100	Se	21±0.09d	132±0.32b	11.3±0.38d
100	Zn	25±0.17d	141±1.21b	12.9±0.25d
100	Fe	24±0.01d	149±2.00b	12.5±0.17d
200	0	49±1.21a	198±0.88a	29±0.07a
200	Se	31±1.15c	137±0.49b	18.5±0.09c
200	Zn	39±0.98b	144±0.58b	21.2±0.10b
200	Fe	41±0.41b	152±1.42b	23.1±0.21b

حروف مختلف در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار آماری براساس آزمون LSD (P≤7/5) است.

Different letters within each column indicate significant differences based on the LSD test (p < 0.05).

اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی فعالیت کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۵). براساس نتایج حاصل تیمار ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی مولار کلرید سدیم با محلول پاشی نانوذره سلنیوم موجب افزایش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز نسبت به تیمار بدون محلول پاشی در شرایط بدون تنش شوری شد. فعالیت کاتالاز نیز تحت تأثیر تیمار تنش شوری ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم با محلول پاشی نانوذره های سلنیوم و روی افزایش یافت. هر دو نانوذره، مورد استفاده موجب افزایش فعالیت کاتالاز نسبت به شاهد شد (جدول ۶). در شرایط تنش شوری کاربرد عنصر روی با افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی موجب کاهش اثرات منفی تنش بر گیاه شد [40]. نانوذره روی به دلیل سطح ویژه زیاد، واکنش پذیری بالا، سبب تولید اسید ایندول استیک، افزایش قدرت ریشه زایی و جذب عناصر غذایی توسط گیاه می شود [41]. افزایش در فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی در اثر محلول پاشی با نانوذره آهن در گیاه زینان [14] و محلول پاشی با سلنیوم در انگور [42] و به لیمو [30] تحت تنش شوری گزارش شد. در تحقیقی در باقلا مشخص شد که محلول پاشی با نانوذره روی تحت تنش شوری فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی را افزایش داد [13]. نانوذره روی موجب افزایش جذب یون های آهن و روی در گیاه شده که هر دو عنصر از کوفاکتورهای لازم برای بیوسنتز ژن و فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی است که با کاهش تجمع رادیکال های آزاد به بقای گیاه کمک می کند [39]، [43].

جدول ۵- تجزیه واریانس تاثیر تنش شوری و محلول پاشی بر فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی، محتوای پرولین، فنل و فلاونوئید در گیاه گازانیا

Table 5- The analysis of variance for the impact of salinity and foliar sprays on the antioxidant enzymes activity and proline, phenolics and flavonoids content of *Gazania splendens* L.

Source of Variation	df	Catalase activity	Superoxide Dismutase Activity	Proline content	Total phenolics content	Flavonoids content
Salinity (A)	2	96*	11458*	1.9*	31*	2.8*
Foliar spray (B)	3	42*	1047*	2.85*	16.9*	3.2*
A × B	6	5.4*	987*	0.365*	3.9*	2.1*
Error	24	1.2	42*	0.011	0.21	0.87
C.V. (%)		7.2	9.1	11.8	5.9	6.7

ns, * and ** indicate no significant difference and significant differences at 5 and 1% probability levels, respectively.

ns, * and ** indicate no significant difference and significant differences at 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش شوری و محلول پاشی بر فعالیت آنزیم و محتوای پرولین در گیاه گازانیا

Table 6- Mean comparisons for the interaction effects of salinity and foliar sprays on enzyme activity and proline content of *Gazania splendens* L.

NaCl (mM)	Foliar application	Chlorophyll index (SPAD)	Superoxide Dismutase Activity (units mg ⁻¹ protein min ⁻¹)	Catalase activity (μmol H ₂ O ₂ mg ⁻¹ protein Min ⁻¹)	Proline content (μmol g ⁻¹ FW)	Total phenolics content (μmol g ⁻¹ FW)	Flavonoid content (μmol g ⁻¹ FW)
0	0	15.2±0.01c	8.6±0.03e	9.3±0.13e	0.18±0.017e	6.9±0.04f	1.2±0.000c
0	Se	16.3±0.12c	10.2±0.09d	12.9±0.09d	0.29±0.021dc	8.7±0.01c	2.9±0.011b
0	ZnO	20.9±0.04a	8.4±0.10e	13.9±0.02cd	0.24±0.011d	9.3±0.02c	2.4±0.017b
0	Fe	23.2±0.09a	9.7±0.07d	11.8±0.17d	0.31±0.04c	11.4±0.05c	3.5±0.001a
100	0	13.1±0.18d	19.9±0.02c	15.3±0.14c	0.57±0.021b	8.5±0.01c	1.9±0.07c
100	Se	18.9±0.21b	28.7±0.06a	19.5±0.03a	0.64±0.09b	12.8±0.17c	2.9±0.01b
100	ZnO	19.2±0.28b	18.2±0.03c	20.3±0.01a	0.59±0.013b	13.2±0.18b	2.4±0.06b
100	Fe	21.6±0.14a	21.3±0.09b	17.8±0.07b	0.63±0.011b	14.8±0.03a	2.3±0.001b
200	0	9.7±0.08e	21.2±0.11b	14.6±0.05c	0.89±0.000a	10.3±0.04c	0.9±0.000d
200	Se	11.6±0.09d	29.5±0.34a	15.9±0.01c	0.92±0.0618a	13.8±0.01b	1.5±0.006c
200	ZnO	10.9±0.04d	21.9±0.02b	18.4±0.04b	0.88±0.028a	12.7±0.03c	1.2±0.008c
200	Fe	14.9±0.19c	23.4±0.16b	17.9±0.10b	0.94±0.21a	13.2±0.01b	1.0±0.09c

حروف مختلف در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی دار آماری براساس آزمون LSD (P ≤ 0.05) است.

Different letters with in each column indicate significant differences based on the LSD test (p < 0.05).

ترکیبات آنتی اکسیدان غیر آنزیمی (محتوای پرولین، فنل کل و فلاونوئید)

محتوای ترکیبات آنتی اکسیدان غیر آنزیمی پرولین، فنل کل و فلاونوئید تحت تأثیر اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی قرار گرفت (جدول ۵). نتایج نشان داد که با افزایش تنش شوری به ۲۰۰ میلی مولار بر محتوای پرولین گیاه افزوده شد. همچنین در تنش مذکور تیمارهای مورد استفاده در محلول پاشی نیز تأثیر مثبت بر محتوای پرولین گیاه داشتند. کمترین محتوای پرولین در شاهد مشاهده شد (جدول ۶). بیشترین محتوای فنل کل در تیمار ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم با محلول پاشی نانوذره آهن گزارش شد. در شرایط بدون تنش شوری ترکیبات مورد استفاده در محلول پاشی تأثیر یکسانی بر محتوای فنل کل گیاه داشتند (جدول ۶). محتوای فلاونوئید در تیمار محلول پاشی با نانوذره آهن در شرایط بدون تنش شوری افزایش یافت. در شرایط بدون تنش شوری محلول پاشی با نانوذره سلنیوم و روی تأثیر یکسانی بر محتوای فلاونوئید گیاه از نظر آماری داشتند. با افزایش تنش شوری به ۱۰۰

میلی مولار بر محتوای فلاونوئید گیاه افزوده شد. تیمارهای مورد استفاده در محلول‌پاشی در تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار موجب افزایش محتوای فلاونوئید گیاه نسبت به شرایط بدون محلول‌پاشی شد. کمترین محتوای فلاونوئید در تیمار تنش شوری ۲۰۰ میلی-مولار در شرایط بدون محلول‌پاشی مشاهده شد، اما در تیمار مذکور، محلول‌پاشی با هر ۳ نانوذره موجب افزایش محتوای فلاونوئید گیاه نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی شد (جدول ۶). تنش شوری ۸۰ میلی‌مولار موجب تجمع آنتوسیانین و پرولین در حسن‌یوسف شد. استفاده از سلنیوم مقاومت گیاه در مقابل تنش شوری را افزایش داد، اما تاثیری در افزایش آنتوسیانین و پرولین گیاه نداشت [2]. ضرورت حفظ توازن اسمزی و یونی در سلول‌ها موجب بیوسنتز اسمولیت‌های مختلف تحت شرایط تنش می‌شود که نقش مهمی در افزایش مقاومت گیاه را دارد. پرولین نقش مهمی در تعدیل پتانسیل اسمزی سلول، جلوگیری از جذب یون‌های سدیم، کلرید و حفاظت از فسفولیپیدهای غشای سلول، از طریق از بین بردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن و کاهش اسیدی شدن سلول را دارد [40]. تغذیه مناسب گیاه نقش زیادی در بیوسنتز ترکیبات فنلی در شرایط تنش در گیاه را دارد. محتوای ترکیبات فنلی و پرولین در گیاه شعمدانی عطری در اثر محلول‌پاشی با نانوذره‌های آهن و سلنیوم [37] و به‌لیمو [30]. افزایش یافت. تنش شوری و محلول‌پاشی با نانوذره روی محتوای آنتوسیانین مادرشی را افزایش داد [34]. ترکیبات فنلی نقش مهمی در محافظت از گیاه در برابر تنش‌های اکسیداتیو را داشته و به خاطر نقش آنتی‌اکسیدانی و تبادل الکترون موجب کاهش آسیب رادیکال‌های آزاد بر گیاه را می‌شوند [44]. محلول‌پاشی با نانوذره روی در شرایط تنش شوری محتوای ترکیبات فنلی در کلزا را افزایش داد که نقش مهمی در از بین بردن رادیکال‌های آزاد را داشت [45]. نانوذره روی با افزایش فتوسنتز، محتوای آب نسبی برگ، موجب ایجاد ترکیبات آنتی‌اکسیدانی در پاسخ به تنش را می‌شود [46]. چنین به نظر می‌رسد که تجمع متابولیت‌های ثانویه در گیاه بخشی از پاسخ‌های سازگاری گیاه به تنش شوری باشد. افزایش تجمع این ترکیبات در اثر تنش شوری و محلول‌پاشی با نانوذرات نشان‌دهنده کارایی نانوذرات مورد استفاده در بررسی حاضر در کاهش اثرات منفی تنش بر گیاه است. افزایش در فعالیت فنیل آلانین آمونیا لیاز در اثر کاربرد سلنیوم در گیاه مشاهده شد که نقش مهمی در کاهش اثرات منفی تنش بر گیاه را دارد [47].

محتوای عناصر برگ

اثرات مستقل و متقابل تیمارهای آزمایشی محتوای ازت، فسفر، پتاسیم، روی، آهن و سدیم گیاه را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۷). براساس نتایج حاصل بیشترین محتوای ازت در تیمار بدون تنش شوری با محلول‌پاشی نانوذره‌های سلنیوم، روی و آهن و تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم با محلول‌پاشی نانوذره‌های روی و آهن مشاهده شد. با افزایش تنش شوری به ۲۰۰ میلی‌مولار از محتوای نیتروژن گیاه کاسته شد. در تنش مذکور محلول‌پاشی با هر سه نانوذره موجب افزایش محتوای نیتروژن گیاه نسبت به شرایط بدون محلول‌پاشی شد (جدول ۸). بالاترین محتوای فسفر و پتاسیم در تیمار بدون تنش شوری با محلول‌پاشی سلنیوم مشاهده شد. تنش شوری موجب کاهش محتوای فسفر و پتاسیم در گیاه شد. هرچند از نظر محتوای فسفر بین تیمار تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار در شرایط محلول‌پاشی و بدون محلول‌پاشی با شاهد تفاوتی مشاهده نشد، اما در تیمار تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار و شرایط بدون محلول‌پاشی کمترین محتوای فسفر مشاهده شد. نتایج حاصل از بررسی نشان داد که شرایط بدون تنش شوری با محلول‌پاشی نانوذره روی موجب افزایش محتوای روی و محلول‌پاشی با نانوذره آهن در شرایط بدون تنش شوری موجب افزایش محتوای آهن گیاه شد (جدول ۸). در هر دو سطح تنش شوری، در شرایط بدون محلول‌پاشی محتوای سدیم گیاه افزایش یافت، اما بیشترین محتوای سدیم در تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار در شرایط بدون محلول‌پاشی مشاهده شد (جدول ۸). نسبت پتاسیم به سدیم تحت تأثیر اثر مستقل تنش شوری قرار گرفت (جدول ۷). با افزایش تنش شوری به ۲۰۰ میلی‌مولار از نسبت پتاسیم به سدیم به میزان ۶۵ درصد نسبت به تیمار شاهد کاسته شد (شکل ۳). افزایش در محتوای سدیم و کلر در گیاهان پرورش یافته در محیط شور گزارش شد. افزایش در محتوای یون‌های مذکور تأثیر منفی بر فعالیت‌های مولکولی، مرفولوژیکی، فیزیولوژیکی، متابولیکی و بیوشیمیایی گیاه دارد. کاهش پتانسیل اسمزی موجب ایجاد تنش خشکی و سمیت یونی در گیاه می‌شود. عدم توازن یونی و اسمزی از اثرات تجمع سدیم در گیاه است که با تخریب و تغییر در ساختار غشای سلول موجب ایجاد رادیکال‌های آزاد اکسیژن در گیاه می‌شود که در صورت ادامه موجب مرگ برنامه‌ریزی شده گیاه می‌شود [25]. تنش شوری محتوای پتاسیم در گیاه مادرشی را کاهش داد [34]. به دلیل تغییر پتانسیل اسمزی تحت تنش شوری، رطوبت در دسترس گیاه کاهش می‌یابد، در نتیجه تحرک عناصر غذایی و مخصوصاً روی در محلول خاک کاهش می‌یابد. محدودیت در دسترسی ریشه به روی در شرایط تنش، در رشد ریشه تأثیر منفی دارد و با کاهش در رشد ریشه، موجب کاهش جذب مواد غذایی در گیاه می‌شود. محلول‌پاشی گیاه در شرایط تنش با روی

موجب کاهش اثرات منفی تنش بر گیاه [40]، نفوذپذیری انتخابی سلول (کاهش جذب سدیم و کلر)، تجمع فسفولیپیدها و مهار رادیکال‌های آزاد اکسیژن [48] در گوجه‌فرنگی [49] و مریم‌گلی [11] شد. افزایش جذب نیتروژن، فسفر، منیزیم و آهن در گیاه کتان در اثر کاربرد نانوذره روی گزارش شد [29]. کاهش جذب سدیم و افزایش محتوای روی در اثر محلول پاشی برنج با نانوذره روی گزارش شد که دلیل آن افزایش انتقال یون پتاسیم در گیاه بود [50]. نانوذره روی با کمک به افزایش جذب مس و آهن به افزایش فتوسنتز و تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدانی در گیاه کمک می‌کند [39]. نانوذرات با تحریک دریافت‌کننده‌های فعال فلزی، موجب افزایش جذب فلزات توسط گیاه می‌شوند. تاثیر نانوذرات در گیاهان بستگی به سن گیاه، گونه و غلظت نانوذره دارد [13]. سلنیوم نقش مهمی در حذف رادیکال‌های آزاد و افزایش خاصیت آنتی‌اکسیدانی گیاه را دارد. بهبود فتوسنتز، هموستازی یونی و تنظیم پایین دست سیگنال‌دهی برای مقابله با تنش از اثرات کاربرد سلنیوم در گیاه است [51]. کاربرد سلنیوم تأثیر مثبت در کاهش تنش‌های زیستی و افزایش جذب پتاسیم [52] و کاهش جذب سدیم [30] را داشت. سلنیوم نقش مهمی در جلوگیری از جذب کلر و سدیم در شرایط تنش در گیاه را داشته و به این طریق مانع آسیب وارده به گیاه می‌شود [14]. افزایش در محتوای پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم در گیاهان رشد کرده تحت شرایط تنش شوری یکی از فاکتورهای مقاومت گیاه در مقابل تنش است. پتاسیم نقش مهمی در تنظیم حرکات روزنه‌ای و توازن آبی گیاه، تنظیم پتانسیل اسمزی سلول‌های ریشه و انتقال مواد محلول در آوند چوبی را دارد [10]. تحت تنش شوری به دلیل افزایش پتانسیل اسمزی ریشه قادر به جذب زیاد مواد غذایی نیست. با افزایش غلظت سدیم و کلر جذب کلسیم، پتاسیم، فسفر، روی و آهن در گیاه کاهش می‌یابد که تاثیر مخرب بر تمامیت غشای سلول دارد [39]. تحت شرایط تنش محلول پاشی با نانوذرات برای گیاه بسیار سودمند است زیرا این ذرات به دلیل اندازه کوچک در غلظت کم به سرعت وارد گیاه شده و مورد استفاده گیاه قرار می‌گیرد. شاید یکی از دلایل افزایش محتوای عناصر غذایی در اثر محلول پاشی با نانوذرات در بررسی حاضر مربوط به سطح ویژه نانوذرات باشد که موجب افزایش تاثیر آن‌ها شده است.

جدول ۷- تجزیه واریانس تاثیر تنش شوری و محلول پاشی بر محتوای عناصر گیاه گازانیا

Table 7- The analysis of variance for the impact of salinity and foliar spray on the elemental content of *Gazania splendens* L.

Source of Variation	df	N content	P content	K content	Zn content	Fe content	Na content	K/Na
Salinity (A)	2	0.9ns	8.6*	34*	2.1*	0.17*	127*	45*
Foliar spray (B)	3	5.7*	0.51ns	514*	0.98*	0.42*	59*	1.1ns
A × B	6	2.6*	0.88*	112**	0.56*	0.059*	29*	0.24ns
Error	24	0.18	0.0.14	9.3	0.19	0.005	2.8	2.9
C.V. (%)		5.2	8	3.1	2.8	6.1	7.9	5.8

ns, * and ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار، و معنی‌دار در سطح احتمال 5 و 1 درصد است.

ns, * and ** indicate no significant difference and significant differences at 5 and 1% probability levels, respectively.

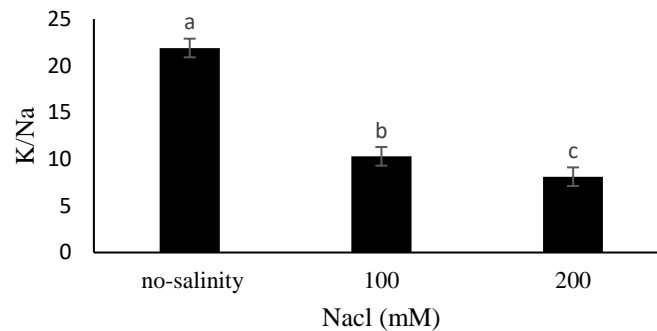
جدول ۸- مقایسه میانگین اثرات متقابل شوری و محلول پاشی بر محتوای عناصر در گیاه گازانیا

Table 8- Mean comparison for the interaction effects of salinity and foliar spray on elemental content of *Gazania splendens* L.

NaCl (mM)	Foliar spray (g L ⁻¹)	N content (g kg ⁻¹ DW)	P content (g kg ⁻¹ DW)	K content (g kg ⁻¹ DW)	Zn content (mg kg ⁻¹ DW)	Fe content (mg kg ⁻¹ DW)	Na content (mg kg ⁻¹ DW)
0	0	2.9 ± 0.01b	4.3±0.08b	28±0.11c	3.1±0.00c	19.2±0.10c	3.1±0.00d
0	Se	3.1 ± 0.02ab	5.4±0.00a	39±0.02a	3.9±0.00b	25.9±0.09b	2.0±0.06d
0	Zn	3.6± 0.04a	4.1±0.02bc	31±0.00b	5.1±0.00a	23.7±0.02b	2.1±0.21d
0	Fe	4.1± 0.05a	4.6±0.06b	33±0.00b	3.4±0.02b	39.8±0.35a	2.5±0.07d
100	0	2.3± 0.01bc	4.0±0.00	21±0.11d	2.3±0.01d	14.2±0.24d	15.6±0.00c
100	Se	2.7± 0.01b	4.9±0.03b	31±0.02b	2.9±0.11c	23.9±0.01b	12.1±0.05c
100	Zn	3.4± 0.00a	4.6±0.01b	21±0.04d	3.9±0.04b	18.4±0.05c	13.2±0.13c
100	Fe	3.9± 0.03a	4.3±0.00b	26±0.01c	3.1±0.02b	28.9±0.15b	13.4±0.05c
200	0	1.7± 0.00c	2.1±0.00c	14±0.01f	1.9±0.00e	11.3±0.00e	35.1±0.08a
200	Se	2.5± 0.02bc	3.7±0.07bc	19.5±0.12e	2.5±0.00d	18.7±0.17c	21.6±0.09b
200	Zn	2.9± 0.07b	2.9±0.08c	14.3±0.03f	3.4±0.05b	14.2±0.1d	24.9±0.15b
200	Fe	2.4± 0.00bc	2.4±0.05c	18±0.18e	2.9±0.00c	21.3±0.11b	27.3±0.21b

حروف مختلف در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار آماری براساس آزمون LSD (P ≤ 7.5) است.

Different letters with in each column indicate significant differences based on the LSD test (p < 0.05).



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر تنش شوری بر نسبت پتاسیم به سدیم در گیاه گازانیا

Figure 3- Mean comparison for the effects of salinity stress on K/Na ratio of *Gazania splendens* L.

نتیجه‌گیری

تنش شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی تحت تأثیر قراردهنده رشد و عملکرد گیاه است. نتایج حاصل از بررسی حاضر نشان داد که تنش شوری تأثیر منفی بر برخی صفات رشدی و فیزیولوژیکی گیاه داشت. افزایش در محتوای سدیم، درصد نشت یونی، محتوای پراکسید هیدروژن، مالون دی‌آلدئید و کاهش جذب عناصر غذایی تحت تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم در شرایط بدون محلول پاشی، نشان‌دهنده تأثیر منفی تنش بر گیاه بود. تیمارهای مورد استفاده در محلول پاشی، مخصوصاً با نانوذره‌های روی و آهن در شرایط بدون تنش شوری و تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار موجب افزایش وزن خشک بخش هوایی گیاه، تعداد گل و طول ساقه گل‌دهنده در گیاه شد. افزایش در فعالیت ترکیبات آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی در تیمار تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم (فنل، کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز) و ۲۰۰ میلی‌مولار (محتوای پرولین) با محلول پاشی نانوذرات مشاهده شد. محلول پاشی گیاهان با هر سه نانوذره تحت شرایط تنش موجب افزایش محتوای عناصر نسبت به شرایط بدون محلول پاشی شد. در کل چنین می‌توان عنوان نمود که گیاه گازانیا قادر به تحمل تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار همراه با محلول پاشی با نانوذرات بود.

اعلام تعارض منافع

بدین وسیله اعلام می‌شود که مقاله حاضر حاصل کار تحقیقی اعضای دخیل در مقاله بوده است و نویسندگان هیچ گونه تعارض منافی ندارند.

سپاسگزاری

بدین وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان به خاطر تأمین هزینه تحقیق حاضر تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

- [1] El-Naggar, A., El-Kiey, M., Koreish, E., & Zaid, N.M. (2020). Physiological response of gazania plants to growing media and organic compost. *Scientific Journal of Flowers and Ornamental Plant*, 7 (1), 11-26. <https://doi.org/10.21608/sjofop.2020.91393>
- [2] Hawrylak -Nowak, B., Rubinowska, K., & Jolonta, M. (2019). Selenium-induced improvements in the ornamental value and salt stress resistance of *Plectranthus scutellarioides* (L.) R. Br. *Folia Horticulturae*, 3 (1). <https://doi.org/10.2478/forthort-2019-0016>
- [3] Hitter, T., Paula, O., Buta, E., & Cantor, M. (2022). Ornamental plants used in landscape architecture design a biblical garden. *Current Trends in Natural Sciences*, 9 (17), 249-256. <https://doi.org/10.47068/ctns.2020.v9i17.031>
- [4] Zeng, J., Wang, D., Wu, Y., Guo, X., Zhang, Y., & Lu, X. (2016). Karyotype analysis of *Gazania rigens* varieties. *Horticultural Plant Journal*, 2 (5), 279-283. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2016.07.004>
- [5] Negacz, K., Malek, Z., de Vos, A., & Vellinga, P. (2022). Saline soils worldwide: Identifying the most promising areas for saline agriculture. *Journal of Arid Environments*, 203. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2022.104775>
- [6] Hassanpouraghdam, M.B., Vojodi Mehrabani, L., Badali, R., Aazami, Ma., Rasouli, F., Kakaei, K., & Szczepanek, M. (2022). Cerium Oxide salicylic acid nanoparticles (CeO₂: Sa-NPs) foliar application and in- soil animal manure use influence the growth and physiological responses of *Aloe vera* L. *Agronomy*, 12, 731. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030731>

- [7] Boudsocq, M., & Sheen, J. (2013). CDPKs in immune and stress signaling. *Trends Plant Science*, 18, 30–40. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.08.008>
- [8] Badshah, I., Mustafa, N., Khan, R., Mashwani, Z. R., Raja, N. I., Almutairi, M. H., Aleya, L., Sayed, A.A., Zaman, S., Sawati, L., & Sohail, K. (2023). Biogenic titanium dioxide nanoparticles ameliorate the effects of salinity stress in wheat crop. *Agronomy*, 13 (2), 352. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020352>
- [9] El-Saadony, M.T., Almoshadak, A.S., Shafi, M.E., Albaqami, N.M., Saad, A.M., El-Tahan, A.M., & Helmy, A.M. (2021). Vital roles of sustainable nano-fertilizers in improving plant quality and quantity-an updated review. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 12 (9), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.08.032>
- [10] Marschner, H. (1995). Mineral nutrient of higher plants. 2nd Edition. London: Academic Press Limited., Harcourt Brace and Company Publisher. pp. 31. 060180. 001323
- [11] Hendawy, S.F., & Khalid, K.A. (2005). Response of sage (*Salvia officinalis* L.) plants to zinc application under different salinity levels. *Journal of Applied Sciences Research*, 1 (2), 147-155.
- [12] Aslam, M., Saeed, M.S., Sattar, S., Sajad, S., Sajjad, M., Adnan, M., Iqbal, M., & Sharif, M.T. (2017). Specific role of proline against heavy metals toxicity in plants. *Indian Journal of Pure & Applied Biosciences*, 5, 27–34. <http://dx.doi.org/10.18782/2320-7051.6032>
- [13] Mogazy, A.M., & Hanafy, R.S. (2022). Foliar spray of biosynthesized zinc oxide nanoparticles alleviate salinity stress effect on Vicia faba Plants. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22, 2647–2662. <https://doi.org/10.1007/s42729-022-00833-9>
- [14] Abdoli, A., & Ghassemi-Golezani, K. (2025). Foliar treatments of salicylic acid and iron nanoparticles enhanced antioxidant potential and essential oil production of ajowan under salt stress. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing With All Aspects of Plant Biology*, 5, 1-11. <https://doi.org/10.1080/11263504.2024.2446790>
- [15] Hamed, K.B., Castagna, A., Salem, E., Ranieri, A., & Abdelly, C. (2007). Sea fennel (*Crithmum maritimum* L.) under salinity conditions: a comparison of leaf and root antioxidant responses. *Plant Growth Regulation*, 53 (3), 185-194. <https://doi.org/10.1007/s10725-007-9217-8>
- [16] Amaranathareddy, V., Lokesh, U., Venkatesh, B., & Sudhakar, C. (2015). Pb-stress induced oxidative stress caused alterations in antioxidant efficacy in two groundnut (*Arachis hypogaea* L.) cultivars. *Agricultural Sciences*, 6, 1283-1297. <https://doi.org/10.4236/as.2015.610123>
- [17] AOAC. (1990). Official methods of analysis. Association of Official Agricultural Chemists., Washington., DC. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(68\)90654-1](https://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1)
- [18] Heath, R.L., & Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125 (1), 189-198. <https://doi.org/10.1104/pp.59.2.315>
- [19] Giannopolitis, C.N., & Ries, S.K. (1977). Superoxide dismutases: II. Purification and quantitative relationship with water-soluble protein in seedlings. *Plant Physiology*, 59 (2), 315-318. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(19\)52451-6](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(19)52451-6)
- [20] Lowry, O. H., Rosenbrough, N.J., Farr, A.L., & Randall, R.J. (1951). Protein measurement with the phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*, 193, 265- 75. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(19\)52451-6](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(19)52451-6)
- [21] Luhova, L., Lebeda, A., Hedererová, D., & Pec. P. (2003). Activities of amine oxidase., peroxidase and catalase in seedlings of *Pisum sativum* L. under different light conditions. *Plant Soil and Environment*, 49, 151-157. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.02.006>
- [22] Fedina, I., Georgieva, K., Velitchkova, M., & Grigorova, I. (2006). Effect of pretreatment of barley seedlings with different salts on the level of UV-B induced and UV-B absorbing compounds. *Environmental and Experimental Botany*, 56, 225-230. <https://doi.org/10.1007/s10811-006-9048>
- [23] Zhang, Q., Zhang, J., Shen, J., Silva, A., Dennis, D., & Barrow, C. (2006). A simple 96 well microplate method for estimation of total polyphenol content in seaweeds. *Journal of Applied Phycology*, 18, 445-450. <https://doi.org/10.38212/2224-6614.2748>
- [24] Chang, C.C., Yang, M.H., Wen, H. M., & Chern, J.C. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, 10 (3), 178-182. <https://doi.org/10.1016/j.envres>
- [25] Singh, A., Rajput, DV., Sharma, R., Ghazaryan, K., & Minkina, T. (2023). Salinity stress and nanoparticles: Insights into antioxidative enzymatic resistance, signaling, and defense mechanisms. *Environmental Research*, 35. <https://doi.org/10.24326/asphc.2018.6.7>
- [26] Vojodi Mehrabani, L.V., Hassanpouraghdam, M.B., & Shamsi-Khotab, T. (2018). The effects of common and nano-zinc foliar application on the alleviation of salinity stress in *Rosmarinus officinalis* L. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 17 (6), 65-73. <https://doi.org/10.5897/JMPR10.083>
- [27] Nasiri Y., Zehtab-Salmasi S., Nasrullahzadeh S., Najafi N., & Ghassemi-Golezani K. (2010). Effects of foliar application of micronutrients (Fe and Zn) on flower yield and essential oil of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Journal of Medicinal Plants Research*, 4 (17), 1733-1737. <https://doi.org/10.5897/JMPR10.083>
- [28] Shahraki, B., Bayat, H., Aminifard, M.H. & Azami Atajan, F. (2022). effects of foliar application of selenium and nano-selenium on growth, flowering, and antioxidant activity of pot marigold (*Calendula officinalis* L.) under salinity stress conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 53 (20), 2749-2765. <https://doi.org/10.1098/sos.171809>
- [29] Hussein, M.M., & Abou-Baker, N.H. (2018). The contribution of nano-zinc to alleviate salinity stress on cotton plants. *Royal Society open Science*, 5, 171809. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-32436-4>
- [30] Ghanbari, F., Bag-Nazari, M., & Azizi, A. (2023). Exogenous application of selenium and nano-selenium alleviates salt stress and improves secondary metabolites in Lemon verbena under salinity stress. *Scientific Report*, 13, 5352. <https://doi.org/10.3390/ijms21010148le-1-1222-en.html>

- [31] Kamran, M., Parveen, A., Ahmar, S., Malik, Z., Hussain, S., Chattha, M.S., Saleem, M.H., Adil, M., Heidari, P., & Chen, J.T. (2020). An overview of hazardous impacts of soil salinity in crops, tolerance mechanisms, and amelioration through selenium supplementation. *International Journal of Molecular Sciences*, 21, 148. <https://doi.org/10.3390/ijms21010148le-1-1222-en.html>
- [32] Kahlel, A., Ghidan, A., Al-Antary, T.A., Alshomali, I., & Asouf, H. (2020). Effects of nanotechnology liquid fertilizers on certain vegetative growth of broad bean (*Vicia faba* L.). *Fresenius Environmental Bulletin*, 29, 4763- 4768. <https://doi.org/10.1007/s00344-014-9416-2>
- [33] Diao, M., Ma, L., Wang, J., Cui, J., Fu, A., & Liu, H. (2014). Selenium promotes the growth and photosynthesis of tomato seedlings under salt stress by enhancing chloroplast antioxidant defence system. *Journal of Plant Growth Regulation*, 33, 671-682. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-84198-2>
- [34] Ghaffari Yaichi, Z., Hassanpouraghdam, M.B., Rasouli, F. Aazami, M.A, Vojodi Mehrabani, L., Fathpour Jabbari, S., Asadi, M., Esfandiari, E. & Jimenez-Becker, S. (2025). Zinc oxide nanoparticles foliar use and arbuscular mycorrhiza inoculation retrieved salinity tolerance in *Dracocephalum moldavica* L. by modulating growth responses and essential oil constituents. *Scientific Reports*, 15, 492. <https://doi.org/10.1186/s11671-021-03605-z>
- [35] Ali, M., Ijaz, M., Ikram, M., Ul-Hamid, A., Avais, M. , & Anjum, A.A. (2021). Biogenic synthesis, characterization and antibacterial potential evaluation of copper oxide nanoparticles against *Escherichia coli*. *Nanoscale Research Letters*, 16, 148. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00124>
- [36] Hussain, S., Bai, Z., Huang, J., Cao, X., Zhu, L., Zhu, C., Khaskheli, MA., Zhong, C., Jin, Q., & Zhang, J. (2019). 1-methylcyclopropene modulates physiological, biochemical, and antioxidant responses of rice to different salt stress levels. *Frontiers in Plant Science*, 10,124. <https://doi.org/10.22067/jhs.2021.69767.1041>
- [37] Vojodi Mehrabani L., Anvari Gheshlagh Y., & Motallebi Azar A. (2022). Foliar application of nano Fe and Se affected the growth and yield of *Pelargonium graveolens* under salinity stress. *Journal of Horticultural Science*, 36 (1), 213-228. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00116>
- [38] Subramanyam, K., Du Laing, G., & Van Damme, E.J.M. (2019). Sodium selenate treatment using a combination of seed priming and foliar spray alleviates salinity Stress in rice. *Frontiers in Plant Science*, 10. <https://doi.org/10.1080/01904167.2014.920386>
- [39] Weisany, W., Sohrabi, Y., Heidari, G., Siosemardeh, A., & Badakhshan, H. (2014). Effects of zinc application on growth, absorption and distribution of mineral nutrients under salinity stress in soybean (*Glycine Max* L.). *Journal of Plant Nutrition*, 37, 2255–2269. <https://doi.org/10.1080/01904167.2014.920386>
- [40] Munns, R., & Tesster, M. (2008). Mechanism of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651-658. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- [41] Pessaraki, M. (2016). Handbook of Photosynthesis. 3rd edn. CRC press. <https://doi.org/10.1201/978131>
- [42] Mozafari, A.A., Ghdakchi asl, A., & Chaderi, N. (2018). Grape response to salinity stress and role of iron nanoparticle and potassium silicate to mitigate salt induced damage under in vitro conditions. *Physiology and molecular Biology of Plants*, 24 (1), 25-35. <https://doi.org/10.1007/s12298-017-0488-x>
- [43] Mishra, L.K., & Abidi, A.B. (2010). Phosphorus-zinc interaction: effects on yield components., biochemical composition and bread making qualities of wheat. *World Applied Science*, 10, 568–573. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2020.100241>
- [44] Gupta, S., & Pandey, S. (2020). Enhanced salinity tolerance in the common bean (*Phaseolus vulgaris*) plants using twin ACC deaminase producing rhizobacterial inoculation. *Rhizosphere*, 16, 100241. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2020.100241>
- [45] Hezaveh, T.A., Pourakbar, L., Rahmani, F., & Alipour, H. (2020). Effects of ZnO NPs on phenolic compounds of rapeseed seeds under salinity stress. *Journal of Plant Process and Function*, 8, 11–18.
- [46] Hassan, U., Aamer, M.M., Chattha, M.U., Haiying, T., Shahzad, B., Barbanti, L., Nawaz, M., Rasheed, A., Afzal, A., Liu, Y., & Guoqin, H. (2020). The critical role of zinc in plants facing the drought stress. *Agriculture*, 10, 396. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.11.009>
- [47] Handa, N., Kohli, S.K., Sharma, A., Thukral, A.K., Bhardwajo, R., Abd-allah, E.F., Alqarawi, A.A., & Ahmad, P. (2019). Selenium modulates dynamics of antioxidative defence expression, photosynthetic attributes and secondary metabolites to mitigate chromium toxicity in Brassica juncea L. plants. *Environmental and Experimental Botany*, 161, 180-192. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2008.11.005>
- [48] Qu, Y.N., Zhou, Q., & Yu, B.J. (2009). Effects of Zn²⁺ and niflumic acid on photosynthesis in *Glycine soja* and *Glycine max* seedlings under NaCl stress. *Environmental and Experimental Botany*, 65, 304-309. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2008.11.005>
- [49] Alpaslan, M., Inal, A., Gunes, A., Cikili, Y., & Oscan, H. (1999). Effect of zinc treatment on the alleviation of sodium and chloride injury in tomato (*Lycopersicon esculentum* (L.) Mill. cv. Lale) grown under salinity. *Turkish Journal of Botany*, 23 (1), 1-6. <https://doi.org/10.1007/s11051-015-2885-9>
- [50] Zhang, M., Gao, B., Chen, J., & Li, YC. (2015). Effects of graphene on seed germination and seedling growth. *Journal of Nanoparticle Research*, 17 (2), 78. . <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.12.029>
- [51] Rasool, A., Shah, W.H., Mushtaq, N.U., Saleem, S., Hakeem, K.H., & ul Rehman, R. (2022). Amelioration of salinity induced damage in plants by selenium application: A review. *South African Journal of Botany*, 174, 98-105. <https://doi.org/10.1023/A:1013369804867>
- [52] Xue, T.L., Hartikainen H., & Piironen, V. (2001). Antioxidative and growth-promoting effects of selenium on senescing lettuce. *Plant and Soil*, 237, 55-61. <https://doi.org/10.1023/A:1013369804867>