Journal of Horticultural Plants Nutrition
Vol.4, No.2, Autumn & Winter 2021-22
Research Paper

DOI: 10.22070/HPN.2022.14499.1139

Influence of titanium dioxide nanoparticles on growth characteristic and nutrient uptake of marigold under NaCl stress

Maryam Lashkary [1] ***, Mohammad Moghaddam*** [2*] ***, Ahmad Asgharzade*** [3] ***, Maryam Tatari*** [4]

1- PhD student, Department of Horticultural Science, Shirvan Azad University, Iran.
lashgarym@yahoo.com
2- Corresponding Author and Associate Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
m.moghadam@um.ac.ir
3- Assistant Professor, Department of Horticultural Science, Shirvan Azad University, Iran.
asg.ahmad@yahoo.com
4- Assistant Professor, Department of Horticultural Science, Shirvan Azad University, Iran.
maryamtatari@yahoo.com

Received Date: 2021/04/25 Accepted Date: 2021/11/15

Abstract

Introduction: Titanium dioxide nanoparticles (TiO_2NPs) generally have positive impacts on the growth, biochemical, and physiological characteristics of plants. Salinity is one of the major environmental factors that limited the growth and production of most crops due to the different plant species and growth stages. Under salinity, ions, mostly Na^+ and Cl^-, accumulate in the tissues of plants and cause significant physiological disorders and reduction in plant growth and development. Therefore, using different methods for reducing the harmful effects of salinity is very important. Various ameliorating agents such as nanoparticles (NPs) have been used for combating various abiotic stresses like salinity. *Calendula officinalis* L. (marigold) is an annual ornamental and medicinal plant from Asteraceae family that widely cultivated for different purposes like producing industrial products in culinary, pharmaceutical, and cosmetics industries.

Material and methods: This study aimed to evaluate the effects of TiO_2NPs on biochemical and physiological parameters of marigold (*Calendula officinalis* L.) under NaCl stress. Treatments included TiO_2NPs applied as foliar spraying in three levels (50, 100, and 200 mg/L), no foliar application as control, and different NaCl levels (0, 30, 60, and 90 mM) by adding NaCl into irrigation water. The studied traits were included height, number of brunches, Number of flowering branch Number of flowers, Flower diameter, Total flower fresh weight, Total flower dry weight, Flower yield, Leaf area , Plant fresh and dry weight, Root fresh and dry weight, Root length and volume and element content (N, P, K, Fe, Mn,Mg,Ca, Zn, Na, Ti). Statistical analysis was performed using JAMP 13software. The mean comparison was done by LSD test at the 5% probability level.

Results and discussion: According to the results, with increasing salinity, the growth characteristics of the plant decreased and the application of TiO_2NPs, especially in 200 mg/L level, improved these traits. In addition salinity affected the nutrient uptake of the plant. Application of TiO_2NPs improved the nutrient uptake of marigold under NaCl stress. Also, TiO_2NPs mitigated the detrimental effects of salinity on the studied traits which were decreased under different NaCl concentrations. Among different applied TiO_2NPs levels, 200 mg/L is more effective than the other concentrations.

Conclusions: The stimulatory effect of foliar application of TiO_2NPs under NaCl stress on enhancing growth characteristics and nutrient uptake of marigold were observed in this study. At the higher NaCl levels, the negative effects of NaCl on plant growth were observed. The application of TiO_2NPs had different effects on the studied traits. In most cases, 200 mg/L $TiO_2$was the most effective concentration to mitigate the negative effects of salinity. In addition, TiO_2 helped the plants to resist NaCl stress and mitigate the harmful effects of salinity. On the other hand, proper osmoprotectants and antioxidants may induce the synthesis and accumulation of bioactive naturally compounds. Based on the findings of this study, it is concluded that foliar application of TiO_2NPs under NaCl stress can alleviate the deleterious effects of salinity and also improved the growth of marigold by increasing the nutrient element content such as Fe, Mg and N that effective in chlorophyll synthesis.

Keywords: Flower yield, Macro nutrient, Micro nutrient, Morphological traits, Salinity stress.

نشریه علمی تغذیه گیاهان باغی
دوره ۴، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۰، (ص ۱۲۸- ۱۱۳)
مقاله پژوهشی

DOI:10.22070/HPN.2022.14499.1139

تأثیر نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بر خصوصیات رشدی و جذب عناصر غذایی همیشه‌بهار تحت تنش کلرید سدیم

مریم لشکری [۱]، محمد مقدم [۲*]، احمد اصغرزاده [۳]، مریم تاتاری [۴]

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم باغبانی، دانشگاه آزاد واحد شیروان، شیروان، ایران.
lashgarym@yahoo.com
۲- نویسنده مسئول و دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
m.moghadam@um.ac.ir
۳- استادیار گروه علوم باغبانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیروان، شیروان، ایران.
asg.ahmad@yahoo.com
۴- استادیار گروه علوم باغبانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیروان، شیروان، ایران.
maryamtatari@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۰۶ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۰۴**

چکیده

به‌منظور بررسی اثر نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم بر خصوصیات مورفولوژیکی و میزان جذب برخی عناصر غذایی گیاه همیشه‌بهار تحت تنش شوری ناشی از کلرید سدیم، آزمایش گلدانی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با ۲ فاکتور و در ۳ تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۸ انجام شد. فاکتور اول تنش شوری به‌صورت آب آبیاری در چهار سطح (۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و فاکتور دوم برگپاشی به‌صورت عدم کاربرد و کاربرد نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم در سه سطح (۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) بود. صفات مورد مطالعه شامل خصوصیات مورفولوژیکی و غلظت عناصر غذایی شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم، منگنز، کلسیم، روی، آهن، سدیم و تیتانیوم بودند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات متقابل شوری و دی اکسید تیتانیوم بر صفات مورفولوژیکی و غلظت عناصر برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. با افزایش شوری، خصوصیات مورفولوژیکی کاهش یافت و کاربرد نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم سبب بهبود این صفات شدند. برگپاشی با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر دی اکسید تیتانیوم در بالاترین سطح شوری (۹۰ میلی‌مولار) به‌ترتیب سبب افزایش ۱/۶، ۲/۱، ۲/۲، ۲/۲ و ۴/۴ برابری تعداد شاخه‌فرعی، وزن تر بوته، وزن خشک و تر گل و تعداد شاخه گل‌دهنده نسبت به عدم کاربرد دی اکسید تیتانیوم در این سطح شوری گردید. کاربرد سطوح مختلف دی اکسید تیتانیوم سبب تغییر خصوصیات مورفولوژیکی و غلظت عناصر غذایی مورد مطالعه تحت سطوح مختلف شوری گردید که این امر به‌علت افزایش میزان جذب نور، میزان کلروفیل و سرعت فتوسنتز و تحریک جذب برخی عناصر به کمک تیتانیوم می‌باشد. نتایج این آزمایش نشان داد که برگپاشی تیتانیوم به‌ویژه در بالاترین غلظت (۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) از طریق تغییر در جذب عناصر سبب تغییر در رشد و غلظت عناصر غذایی گیاه همیشه‌بهار تحت تنش شوری می‌شود.

کلمات کلیدی: تنش شوری، خصوصیات مورفولوژیکی، عملکرد گل، عناصر پرمصرف، جذب عناصر غذایی.

مقدمه

تنش‌های محیطی به‌ویژه تنش شوری از عوامل مهم در کاهش قابل توجه عملکرد گیاهان زراعی در سراسر جهان است. تنش شوری از مهمترین تنش‌های غیرزیستی به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک و به‌عنوان نخستین تنش شیمیایی که موجودات زنده در طول تکامل خود با آن مواجه شده‌اند، به‌شمار می‌آید (Sabet Teimouri et al., 2010). با توجه به موقعیت جغرافیایی کشور ایران، مساحت وسیعی از کشور در مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع شده است و حجم چشمگیری از خاک‌ها و کل منابع آبی موجود به درجات مختلف شوری مبتلا هستند و در نتیجه هر نوع عملیات کشت و کار در آن نیازمند مدیریت تخصصی و آگاهانه است. شوری خاک به‌دلیل عواملی از جمله کمبود بارندگی، درجه حرارت بالا، سرعت تبخیر و تعرق بالا و تجمع املاح در سطح خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک، شدت یافته و روند افزایشی را طی می‌کند (Moaveni, 2010). همچنین در بسیاری از موارد منشأ شوری از آب آبیاری بوده که علت آن کاهش سفره‌های آب زیرزمینی به‌دلیل استفاده بی‌رویه از منابع زیرزمینی است که موجب افزایش شوری آب بسیاری از چاه‌ها شده است؛ افزایش غلظت نمک موجود در آب، رشد گیاهان را کند و در شوری‌های زیاد رشد را متوقف می‌کند. بطورکلی خاک‌ها و آب‌های شور محیط نامناسبی برای رشد و تولید گیاهان بوده و می‌توانند بر ویژگی‌های مختلف کمی و کیفی رشد و نمو گیاه تأثیرگذار باشند و در گیاهان دارویی باعث تغییر میزان مواد مؤثره و خاصیت دارویی آن‌ها شوند (Valdiani et al., 2005).

شوری فاکتوری محیطی است که تمام مراحل رشد و نمو گیاه را کم و بیش تحت تأثیر قرار می‌دهد. گیاهان در مقابله با شوری، تغییرات مورفولوژیکی بسیاری مانند کاهش ارتفاع گیاه و وزن خشک از خود نشان می‌دهند (Kafi and Damghani, 2000; Munns and Tester, 2008). کاهش رشد یک نوع سازگاری برای زنده ماندن گیاه در شرایط تنش است. مطابق با نتایج حاصل از این پژوهش یافته‌های مطالعات قبلی نشان دادند که تنش شوری سبب کاهش عملکرد گیاهان و خصوصیات مورفولوژیکی آنها می‌گردد. به‌عنوان مثال سطوح مختلف شوری بر خصوصیات مورفولوژیکی و عملکرد ۵ جمعیت مرزه تابستانه اثر معنی‌داری داشت (Razghandi, 2014). کاهش رشد به‌دلیل افت انرژی ذخیره‌ای گیاه می‌باشد که به‌علت اختلال در فعالیت‌های زیستی و متابولیسمی گیاه به‌وجود می‌آید. شوری سبب بسته شدن روزنه‌ها و در نتیجه کاهش جذب CO_2 و فتوسنتز در گیاه می‌شود و این کاهش موجب تأمین ناکافی کربن برای رشد می‌گردد. تنش شوری با افزایش بازدارنده‌های رشد مانند اسید آبسیزیک و کاهش تشکیل تحریک‌کننده‌های رشد از جمله سایتوکینین و ایجاد سمیت یونی در گیاهان سبب کاهش رشد گیاهان می‌شود (Gupta and Huang, 2014; Javadipour et al., 2015). به‌طورکلی آبیاری با آب شور سبب کاهش صفات مورفولوژیکی گیاه می‌شود، زیرا با افزایش غلظت املاح، فشار اسمزی محلول خاک زیاد شده و در نتیجه مقدار انرژی که گیاه باید صرف جذب آب از خاک کند افزایش می‌یابد (Molavi et al., 2011). تنش شوری علاوه بر تنش اسمزی و سمیت یونی می‌تواند موجب انباشت گونه‌های فعال اکسیژن و القای تنش اکسیداتیو شود که باعث پراکسیداسیون تدریجی لیپیدها، اکسیداسیون پروتئین‌ها و غیرفعال‌سازی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت می‌شود و بر تمام جنبه‌های متابولیسم گیاهی اثر گذاشته و موجب تغییراتی در آناتومی و مورفولوژی گیاه می‌شود. شوری با ایجاد تغییرات مخرب در تعادل یون‌ها، وضعیت آب، عناصر غذایی، عملکرد روزنه و کارایی فتوسنتز منجر به کاهش فرآیندهای رشد و نموی گیاه از جمله جوانه‌زنی، رشد گیاهچه و در نهایت کاهش میزان تولید محصول در گیاه می‌شود (Parihar et al., 2015).

بهره‌گیری از فناوری‌های پیشرفته، راهکارهای جدید و مؤثری جهت رفع اثرات مخرب تنش شوری در گیاهان، در

بخش کشاورزی فراهم نموده است؛ از جمله فناوری‌های پیشرفته استفاده از نانو ذرات است. نانو ذرات مجموعه‌ای اتمی یا ملکولی با دامنه ابعاد بین یک تا ۱۰۰۰ نانومتر است که خواص فیزیکوشیمیایی متفاوتی در مقایسه با توده مواد خود دارند (Ruffini and Cremonini, 2009). نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم (TiO_2) یکی از نانو بلورهای نیمه هادی اکسید فلزی است که به سه شکل بلوری آناتاز[1]، روتایل[2] و بروکیت[3] وجود دارد؛ نانو ذره آناتاز دارای اندازه ذرات بسیار کوچک بوده و از این رو دارای سطح تماس و کارایی آن بیشتر از نانو ذرات روتایل و بروکیت است (Sawhney and Condon, 2008). دی اکسید تیتانیوم به‌عنوان کاهش دهنده اثرات تنش شناخته می‌شود که دارای خاصیت فتوکاتالیستی، فعالیت اکسایش و کاهش و تولیدکننده و غیرفعال کننده رادیکال‌های آزاد مشتق شده از اکسیژن در سطح خود می‌باشد (Khan et al., 2017; Sharma et al., 2019). خاصیت فتوکاتالیستی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم، ارتباط نزدیکی با سیستم فتوسنتزی گیاهان دارد که باعث بهبود جذب نوری، تبدیل انرژی نوری به انرژی الکتریکی و شیمیایی و علاوه بر آن باعث افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو و در نتیجه بهبود رشد در گیاهان می‌شود (Latef et al., 2018). نقش تیتانیوم در رشد و متابولیسم گیاه بیشتر از ۹۰ سال است که مورد مطالعه قرار گرفته است و محققان متعددی نشان داده‌اند که کاربرد تیتانیوم برای گیاهان می‌تواند بازدهی محصولات را بین ۵ تا ۵۰ درصد افزایش دهد (Latef et al., 2018). محققان مختلفی اثرات نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم را بر بهبود رشد و عملکرد گیاهان مورد مطالعه قرار داده‌اند. به‌عنوان مثال نانو ذرات فلزی باعث افزایش نسبت اندام هوایی به ریشه در کاهو شدند (Shah and Belozerova, 2009). اثر مثبت نانو دی اکسید تیتانیوم بر رشد گیاهچه گندم نسبت به تیمار شاهد نیز گزارش شده است (Feizi et al., 2011). در مطالعه‌ای اثر مثبت نانو دی اکسید تیتانیوم روی خصوصیات رشدی و فیزیولوژی گیاه اطلسی ایرانی (*Petunia x hybrid*) تحت تنش شوری گزارش شده است (Kamali et al., 2018). علاوه‌براین تأثیر مثبت نانو دی اکسید تیتانیوم بر خصوصیات جوانه‌زنی جو تحت تنش شوری مطالعه شده است (Karami and Sepehri, 2018). در بررسی اثر نانو دی اکسید تیتانیوم بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ تحت شرایط آبیاری معمولی و تنش کم آبیاری، مشاهده شد که تیمار نانو دی اکسید تیتانیوم در غلظت ۰/۵ درصد قبل از گلدهی، قطر طبق، شاخص برداشت و عملکرد دانه گلرنگ را افزایش داد و همچنین اثر سوء تنش خشکی را بر قطر طبق به‌طور معنی‌داری کاهش داد (Aminian et al., 2017). کاربرد تیتانیوم در محلول غذایی و یا برگپاشی گیاه باعث افزایش زیست توده و رشد گونه‌های مختلف گیاهی شده است. اثرات مثبت برگپاشی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم روی خصوصیات رشدی و فیزیولوژیکی ذرت گزارش شده است (Morteza et al., 2013). در مطالعه‌ای دیگر نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم موجب افزایش وزن خشک، بیوسنتز کلروفیل، فعالیت آنزیم روبیسکو، سرعت فتوسنتز و میزان نیتروژن در تربچه شد (Tighe-Neira et al., 2020).

همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) متعلق به خانواده کاسنی (Asteraceae)، گیاهی علفی، یکساله تا چندساله و یکی از معروفترین و پرکاربردترین گیاهان دارویی است. عصاره گیاه همیشه‌بهار دارای اثرات دارویی مختلف مانند ضد التهاب، مداوای بیماری‌های معده‌ای و روده‌ای، محافظ کبدی و ضد اسپاسم، التیام زخم، ضد باکتری و ویروسی، تحریک ایمنی، ضد توموری و ضد ایدز می‌باشد که در گیاه درمانی استفاده می‌شود (Omidbeigi, 2012). در حال حاضر، یکی از مهم‌ترین استفاده‌های این گیاه در درمان بیماری‌های پوستی و التهابی می‌باشد. این گیاه حاوی فلاونوئیدها با خاصیت آنتی‌اکسیدانی است که از بدن در مقابل رادیکال‌های آزادی

1 . Anatase
2 . Rutile
3 . Brookite

که سلول‌ها را تخریب می‌کنند، محافظت می‌نماید (Zargari, 2012).

تنش شوری در کشت گیاه همیشه‌بهار، عملکرد کمی و کیفی این محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد. استفاده از محرک‌های غیرزیستی می‌تواند به‌عنوان یک راهکاری در بهبود اثرات مضر این تنش به‌کار گرفته شود. در نتیجه این پژوهش برای نخستین‌بار به‌منظور بررسی اثر برگپاشی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم بر خصوصیات مورفولوژیکی و میزان جذب عناصر گیاه همیشه‌بهار در راستای افزایش تحمل گیاه به تنش شوری، صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش گلدانی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور و در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۸ انجام شد. فاکتور اول تنش شوری به‌صورت آب آبیاری در چهار سطح (۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و فاکتور دوم برگپاشی به‌صورت عدم کاربرد و کاربرد نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم در سه سطح (۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) مورد بررسی قرار گرفت (Rasouli et al., 2016). در این پژوهش نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم به شکل آناتاز با اندازه ۱۰ تا ۲۵ نانومتر، سطح ویژه ۲۴۰-۲۰۰ مترمربع بر گرم و خلوص ۹۹ درصد از شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان تهیه شد و اندازه ذرات با استفاده از میکروسکوپ الکترونی عبوری (آنالیز TEM) بررسی شد. به‌منظور انجام آزمایش ابتدا بذور گل همیشه‌بهار نارنجی پرپر در سینی‌های کشت حاوی نسبت مساوی کوکوپیت و پرلیت کشت شدند و سپس در مرحله چهار برگی به گلدان‌های پلاستیکی حاوی ترکیب یکسان خاک زراعی، ماسه و خاک برگ منتقل شدند و ۴ گیاه در هر گلدان قرار گرفت. نمونه خاک مورد استفاده جهت کشت، در آزمایشگاه خاک مورد آنالیز قرار گرفت. نتایج آنالیز خاک مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول۱. نتایج آزمون خاک مورد استفاده در این تحقیق
Table 1. The results of used soil analysis in this research

بافت خاک	رس (٪)	سیلت (٪)	شن (٪)	EC (dS/m)	pH	N	P (P_2O_5) (mg/kg)	K (K_2O) (mg/kg)
لومی- رسی	۴۱	۳۰	۲۹	۱/۲	۷/۹	۰/۵۷	۵۵/۷	۲۲۴

اعمال سطوح مختلف تنش شوری، پس از استقرار کامل گیاهان در مرحله چهار تا شش برگی به‌صورت آبیاری با آب‌شور تهیه شده از ترکیب کلرید سدیم و آب آبیاری انجام شد. به‌منظور تعیین ظرفیت زراعی به مقداری از خاک خشک شده با وزن معلوم آب اضافه شد تا به حد اشباع برسد. خاک اشباع حاصل، ۲۴ ساعت به حالت خود رها شد تا آب کاملاً جذب دانه‌های خاک شود و آب ثقلی آن خارج شود. سپس ۵۰ گرم از نمونه خاک اشباع به داخل ظرف فلزی با وزن معلوم ریخته و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شد. پس از ۲۴ ساعت نمونه از آون بیرون آورده و توزین شد و میزان رطوبت در ظرفیت زراعی کامل خاک (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) مشخص شد (Alizadeh, 1387). آنگاه میزان رطوبت خاک با استفاده از دستگاه رطوبت سنج (مدل EXTECH MO75, USA) در ظرفیت‌های مختلف زراعی خاک (۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) تعیین و نمودار خطی آن رسم گردید. هر روز با استفاده از دستگاه رطوبت سنج درصد رطوبت خاک تعیین و مقدار مورد نیاز آب برای رسیدن به ظرفیت زراعی محاسبه و برای اعمال تیمارها به میزان محاسبه شده، آب برای آبیاری استفاده شد. بدین صورت که میزان رطوبت خاک با استفاده از دستگاه رطوبت سنج سنجیده و سپس ظرفیت

زراعی خاک مشخص می‌شد و در صورت نیاز بـه آبیـاری مقدار آب آبیاری با تناسب گرفتن محاسبه و اعمال می‌شد. آبیاری زمانی انجام می‌گرفـت کـه ظرفیـت زراعـی خـاک کمتر از ۷۰ درصد ظرفیـت زراعـی خـاک بـود. بـه‌منظـور جلوگیری از تجمع نمک، آبشویی گلـدان‌هـا هـر دو هفتـه یک‌بار با آب شـهری (EC:۰/۵dS/m؛ pH:۸/۲؛ ۲۷ meq/L Na: و ۱ meq/L Cl:) انجام گرفت به حدی که آب به‌طـور کامل از زیرگلدان‌ها خارج شد. سپس تیمار بـا نـانو ذرات دی اکسید تیتانیوم به‌صورت برگپاشـی یـک هفتـه بعـد از اعمال تنش طی شش مرحله هر ۱۵ روز یکبار انجام شـد. نمونه‌بـرداری و انـدازه‌گیـری صـفات در مرحلـه گلـدهی صورت گرفت.

ارزیابی صفات مورد بررسی

به‌منظور تعیین ارتفاع بوته، تعداد گل، قطر گـل، تعـداد سرشاخه‌های گل‌دار، تعداد شاخه‌فرعی، تعداد برگ، طول و عرض برگ، سطح برگ، وزن خشک و تر اندام‌های هوایی و ریشه، طول و حجم ریشه چهار بوته در هر تکرار انتخاب شـد و انـدازه‌گیـری صـفات مـوردنظر صـورت گرفـت و میانگین ۴ بوته برای هر تکرار ثبت شد. برای تعیین طول و عرض برگ با انتخاب تصادفی چهار برگ میانی از بوته‌های هر گلدان این صفات توسط کولیس برحسب میلی‌متر اندازه گیری شد و میانگین آن‌ها به‌عنوان طول و عرض برگ تیمار مربوطه یادداشت شـد. بـرای انـدازه‌گیـری سـطح بـرگ از دستگاه سطح برگ سنج (مدل PR2020) استفاده شـد. بـه این منظور تعداد مشخصی برگ از گره سوم گیـاه انتخـاب شد. برای تعیین وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه، هـر یک از اندام‌ها به‌طور جداگانـه در داخـل آون بـه‌مـدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گـراد تـا رسـیدن بـه وزن خشک ثابت قرار داده شد و سپس با تـرازوی دیجیتـال بـا دقت ۰/۰۰۱ گـرم تـوزین شـد (Farsaraei et al., 2020). برای اندازه‌گیری طول ریشه از دستگاه روت آنالیز اسـتفاده شد (Newman, 1966). حجم ریشـه، پـس از شستشـوی ریشه‌ها توسط اسـتوانه مـدرج و براسـاس میـزان افـزایش حجم آب نسبت به حالت اولیه بر حسب سانتی‌مترمکعـب اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری غلظت عناصر غذایی با دستگاه ICP (ICP-OES) انجـام شـد. عصـاره گیـاهی بـا روش خاکستر خشک (dry ash) و هضم با اسـید کلریـدریک ۳ نرمال بدست آمد.

تجزیه آماری

داده‌های به‌دست‌آمده بـا اسـتفاده از نـرم‌افـزار JMP13 مورد تجزیه آماری قرار گرفتنـد. مقایسـه میـانگین‌هـا نیـز براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

صفات مورفولوژیکی

نتایج حاصل از تجزیه واریـانس داده‌هـا نشـان داد کـه اثـرات متقابـل شـوری و دی اکسـید تیتـانیوم بـر صـفات مورفولوژیکی مـورد مطالعـه در سـطح احتمـال ۵ درصـد معنی‌دار شـد (جـدول ۲). نتـایج مقایسـه میـانگین اثـرات متقابل شوری و دی اکسید تیتـانیوم نشـان داد کـه کـاربرد بالاترین سطح دی اکسید تیتانیوم (۲۰۰ میلی‌گرم بـر لیتـر) در تیمارهای مختلف شوری سبب بهبـود صـفات رویشـی گردید به طـوری کـه در تیمـار شـوری ۳۰ میلـی‌مـولار و بالاترین سطح دی اکسید تیتـانیوم بیشـترین ارتفـاع بوتـه (۲۴/۵ سـانتی‌متـر) مشـاهده شـد (جـدول ۳). همچنـین بیشترین تعداد شاخه گـل‌دهنـده (۱۳/۳ عـدد در گلـدان)، تعـداد شـاخه‌فرعـی (۶/۳ عـدد) در تیمـار شـوری ۹۰ میلی‌مولار و بالاترین سطح دی اکسید تیتانیوم حاصل شـد (جدول ۳). درحالی‌که بیشترین عملکرد گـل (۴/ ۴۳ گـرم وزن تر در بوته) و تعداد گل (۲۲ عـدد) در تیمـار شـوری ۶۰ میلی‌مولار و بالاترین سطح دی اکسید تیتانیوم مشـاهده شد (جدول ۳). از سـوی دیگـر بیشـترین قطـر گـل (۶/۴ سانتی‌متر) در تیمار بدون شوری و کاربرد ۵۰ میلی‌گرم بـر لیتر دی اکسید تیتانیوم حاصل شد (جدول ۳).

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر برهمکنش تنش شوری و دی اکسید تیتانیوم بر صفات مورفولوژیکی گیاه همیشه‌بهار

2. Analysis of variance (Mean of squares) the interaction effect of salinity stress and titanium dioxide on morphophysiological characteristics of *Calendula officinalis* L. **Table**

S.O.V	DF	Mean Squared														
		Height	Number of branches	Number of flowering branch	Number of flowers	Flower diameter	Total flower fresh weight	Total flower dry weight	Flower yield	Leaf area	Plant fresh weight	Plant dry weight	Root fresh weight	Root dry weight	Root length	Root volume
Salinity	3	33.26**	2.39**	12.41**	4.52**	0.15**	0.70**	0.00**	36.24**	28401**	687.11**	4.78**	137.6**	5.48**	65.95**	95.5**
Titanium dioxide	3	41.49**	4.83**	124.58**	42.91**	11.15**	0.74**	0.01**	466.08**	202631**	987.67**	15.85**	1618.88**	23.65**	880.85**	1471.06**
Salinity× Titanium dioxide	9	3.82**	1.56**	11.58**	7.74**	0.09**	0.71**	0.01**	31.67**	59211**	146.78**	1.63**	167.24**	1.18**	91.93**	97.41**
Error	32	0.37	0.5	1.21	1	0.03	0.02	0.00	0.37	227	0.14	0.01	0.5	0.06	7.67	1.27

**,* به‌ترتیب معنی‌دار در سطح یک درصد، ۵ درصد و عدم تفاوت معنی‌دار

**, * Significant at the 1% and 5% probability levels, respectively

جدول ۳. مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش شوری و دی اکسید تیتانیوم بر خصوصیات مورفولوژیکی همیشه‌بهار

Table 3. Mean comparison of interaction between salinity and titanium dioxide on morphological traits of marigold

Salinity (mM)	Titanium dioxide (mg/L)	Plant height (cm)	Number of branches	Number of flowering branch	Number of flowers	Flower diameter (cm)	Total flower fresh weight (g/plant)	Total flower dry weight (g/plant)	Flower yield (g W/plant)	Leaf area (mm^2)	Plant fresh weight (g/plant)	Plant dry weight (g/plant)
	0	18.83 e-g*	4.33 a-d	5.00 c-e	8.00 fg	4.40 c	3.34 e	0.75 c	9.06 gh	885.42 b	32.10 f	3.25 fg
0	50	21.17 b-d	3.67 cd	2.67 e	13. 00 de	6.40 a	4.44 cd	0.80b	19.87 ef	546.57 gh	32.20 f	3.66 e
	100	21.67 b-d	3.00 d	4.33 de	17.67 a-d	6.00 ab	6.45 a	0.94 a	25.45 de	742.85 e	32.80 f	4.55 cd
	200	20.00 c-f	5.33 a-d	10.00 ab	15.33 b-e	5.97 ab	6.83 a	0.98 a	22.81 de	956.86 a	59.55 a	6.59 a
	0	17.67 gh	4.00 b-d	3.00 e	6.33 g	3.20 c	3.28 e	0.59 d	4.86 h	537.29 gh	27.83 g	3.05 g
30	50	20.50 c-e	4.00 b-d	5.33 a-d	13.67 c-e	6.10 ab	3.77 e	0.60 cd	20.89 e	743.90 e	39.95d	3.45 f
	100	22.67 ab	5.00 a-d	10.33 ab	22.00 a	6.00 ab	4.05 d	0.75 c	34.61 bc	949.51 a	43.59 c	3.55 ef
	200	24.50 a	4.33 a-d	11.00 ab	19.33 ab	6.07 ab	4.20 d	0.87 b	34.04 bc	756.56 de	57.60b	6.11 b
	0	16.17 hi	4.0 b-d	5.33 c-e	3.67 g	4.07 c	2.98 f	0.42 e	3.81 h	529.68 h	26.87 g	2.76 h
60	50	18.50 fg	5.67 a-c	7.67 b-d	16.67 b-e	5.87 ab	3.17 e	0.55de	24.61 de	577.84 g	27.85 g	2.93 gh
	100	19.07 e-g	4.33 a-d	8.33 bc	16.33 b-e	5.73 b	5.52 b	0.67cd	28.35 cd	721.05 ef	29.85 g	3.22 fg
	200	21.17 b-d	6.00 ab	10.00 ab	20.00 ab	6.03 ab	6.70 a	0.90 a	43.44 a	917.12 ab	37.86 e	4.24 d
	0	15.17 i	4.00 b-d	3.00 e	5.00 g	4.00 c	2.58 f	0.35 f	4.99 h	424.88 i	22.17 h	2.37 i
90	50	17.77 gh	4.67 a-d	3.00 e	13.33 c-e	5.90 ab	4.52 c	0.59 cd	13.54 fg	679.83 f	27.38 g	3.47 f
	100	18.17 fg	4.67 a-d	8.00 bc	12.67 ef	5.83 ab	4.84 c	0.66 d	22.52 de	832.42 c	36.68 e	4.62 c
	200	19.40 d-g	6.33 a	13.33 a	18.00 ac	6.30 ab	5.49 b	0.72 c	38.90 ab	802.74 cd	40.79 cd	4.68c

*: در هر ستون اعداد با حداقل یک حرف مشابه تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

In each column, numbers with at least one letter do not differ significantly.

ادامه جدول ۳. مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش شوری و دی اکسید تیتانیوم بر خصوصیات مورفولوژیکی همیشه‌بهار

Table 3.(Continued). Mean comparison of interaction between salinity and titanium dioxide on morphological traits of marigold

Salinity (mM)	Titanium dioxide (mg/L)	Root fresh weight (g/plant)	Root dry weight (g/plant)	Root length (cm)	Root volume (cm^3)
	0	31.69 f	2.92 c-f	22.83 c-f	26.33 e
0	50	29.97f g	3.12 c-e	18.33 e-g	26.00 e
	100	28.12 gh	3.46 c	26.67 b-e	27.67 de
	200	38.02 de	4.51 b	31.50 bc	35.33 c
	0	20.67 i	2.03 g	14.17 fg	19.67 f
30	50	39.86 cd	4.32 b	19.00 d-g	35.00 c
	100	41.05 c	4.39 b	33.00 ab	36.00 c
	200	47.72 b	5.70 a	27.33 b-d	45.67 b
	0	10.62 j	0.86 h	13.17 g	13.00 g
60	50	36.93 e	3.26 cd	27.33 b-d	30.00 c
	100	26.89 h	2.19 fg	33.17 ab	28.00 de
	200	51.73 a	4.86 b	40.67 a	51.00 a
	0	8.17 k	0.54 h	12.00 g	9.67 g
90	50	30.57 f	2.43 e-g	25.33 b-e	27.00 de
	100	31.79 f	2.62 d-g	41.33 a	28.67 de
	200	46.88b	5.02 ab	30.33 bc	45.00 b

* : در هر ستون اعداد با حداقل یک حرف مشابه تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

In each column, numbers with at least one letter do not differ significantly.

همچنین بیشترین سطح برگ (۹۵۶/۹ میلی‌متر مربع)، وزن تر گل (۶/۸ گرم در بوته)، وزن خشک گل (۰/۹ گرم در بوته)، وزن تر بوته (۵۹/۵ گرم در بوته) و خشک بوته (۶/۶ گرم در بوته) در تیمار بدون شوری و کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر دی اکسید تیتانیوم مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با تیمار شوری ۳۰ میلی‌مولار و کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر دی اکسید تیتانیوم و همچنین تیمار شوری ۶۰ میلی‌مولار و کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر دی اکسید تیتانیوم نداشت (جدول ۳). بیشترین وزن تر ریشه (۵۱/۷ گرم در بوته)، حجم ریشه (۵۱ سانتی‌متر مکعب) و طول ریشه (۴۰/۷ سانتی‌متر) در تیمار شوری ۶۰ میلی‌مولار و برگپاشی ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر دی اکسید تیتانیوم مشاهده شدند، درحالی‌که بیشترین وزن خشک ریشه (۵/۷ گرم در بوته) در تیمار شوری ۳۰ میلی‌مولار و برگپاشی با کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر دی اکسید تیتانیوم بدست آمد (جدول ۳). نتایج این مطالعه نشان داد که برگپاشی گیاهان با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر دی اکسید تیتانیوم در بالاترین سطح شوری (۹۰ میلی‌مولار) به‌ترتیب سبب افزایش ۴/۴، ۱/۶، ۲/۱، ۲/۲، ۲/۲ برابری تعداد شاخه گل‌دهنده، تعداد شاخه‌فرعی، وزن تر بوته، وزن خشک گل و وزن تر گل نسبت به عدم کاربرد دی اکسید تیتانیوم در این سطح شوری گردید (جدول ۲). همچنین در سطح شوری ۶۰ میلی‌مولار برگپاشی با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر دی اکسید تیتانیوم به‌ترتیب سبب افزایش ۷/۶۷، ۷/۴۴، ۲/۱۶،

۴/۸۷، ۳/۹۲ و ۳/۰۸ برابری تعداد گل، عملکرد گل، وزن خشک بوته، وزن تر ریشه، حجم ریشه و طول ریشه گردید (جدول ۳). از سوی دیگر برگپاشی با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر دی اکسید تیتانیوم در شرایط تنش شوری ۳۰ میلی‌مولار به‌ترتیب سبب افزایش ۲/۸۱ و ۱/۳۸ برابری وزن خشک ریشه و ارتفاع بوته گردید (جدول ۳).

مطابق با نتایج حاصل از این تحقیق، افزایش شوری باعث کاهش ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های جانبی و وزن خشک برگ آویشن (Babaie et al., 2010)، کاهش ارتفاع بوته، وزن خشک و تر برگ و ساقه ریحان (Bernstein et al., 2010) و کاهش وزن خشک برگ شوید (Noorani Azad and Haji Bagheri, 2008)، کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی ریحان (Farsaraei et al., 2018)، کاهش بیوماس تر و خشک همیشه‌بهار (Kalhor et al., 2018) و کاهش خصوصیات رشدی در مرزه (Mehdizadeh et al., 2019) گردید. علاوه‌براین، نتایج حاصل از یک پژوهش بر روی گیاه مرزه نشان داد که آبیاری با آب شور سبب کاهش برخی صفات مورفولوژیکی گیاه مانند وزن خشک برگ و ساقه، قطر ساقه، تعداد انشعابات فرعی و ارتفاع نسبت به شاهد شد (Sodaeizadeh et al., 2016) که مطابق با نتایج حاصل از این تحقیق می‌باشد. کاهش رشد و عملکرد بستگی به غلظت نمک دارد. هرچه غلظت نمک افزایش یابد کاهش رشد چشمگیرتر است که در یافته‌های حاصل از این آزمایش نیز مشاهده گردید. همچنین در هنگام بروز تنش شوری جذب آب از خاک محدود شده و گیاه با تنش رطوبتی مواجه می‌شود (Gupta and Huang, 2014) و بروز علائم خشکی در این شرایط سبب ترشح هورمون آبسزیک اسید از ریشه و انتقال آن به اندام هوایی و همچنین بسته شدن روزنه‌ها می‌شود و به این طریق از هدر رفت آب جلوگیری می‌کند.

در شرایط تنش شوری غلظت یون سدیم در گیاه افزایش می‌یابد و به‌منظور به حداقل رساندن خسارت ناشی از سدیم به سلول‌های گیاهی، گیاه تمام انرژی خود را صرف بیرون راندن این یون می‌نماید و با مصرف انرژی، رشد گیاه کاهش خواهد یافت (Ahmad and Prasad, 2010) که با یافته‌های حاصل از این تحقیق مطابقت دارد. همچنین به‌نظر می‌رسد تنش شوری از طریق اختلال و محدودیت در جذب عناصر غذایی از خاک توسط ریشه، کمبود آب قابل استفاده گیاه و سمیت عناصر غذایی، سبب کاهش رشد سلول می‌شود. علاوه‌براین، موارد مذکور سبب کاهش کربوهیدرات تولیدی و در نتیجه کاهش رشد اجزای مختلف گیاه شده که در نهایت سبب کاهش وزن خشک می‌شود (Sodaeizadeh et al., 2016؛ Teimouri and Jafari, 2010).

با توجه به کاهش رشد گیاه در شرایط تنش شوری باید از روش‌های مختلفی به‌منظور کاهش اثرات منفی ناشی از این تنش استفاده نمود. تیتانیوم به‌عنوان یک عنصر سودمند سبب افزایش و تحریک رشد می‌شود. مطابق با نتایج حاصل از این تحقیق، در تحقیقات گذشته گزارشات مختلفی در مورد اثرات مثبت، منفی و حساسیت گیاهان به نانو ذره دی اکسید تیتانیوم ارائه شده است (Klancnik et al., 2011). گیاهان رایج‌ترین موارد استفاده برای تعیین اثر نانو ذرات هستند. نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم سبب بهبود رشد تربچه و افزایش فتوسنتز (Tighe-Neira et al., 2020) شد که نتایج مطالعات مذکور با یافته‌های حاصل از این تحقیق مطابقت دارد. به واسطه کوچکی نانو ذرات تیتانیوم، سطح تماس آنها با برگ گیاه افزایش یافته و کارایی و اثربخشی بیشتری دارد. تحقیقات انجام شده روی اثرات نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم نشان داد که نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم موجب افزایش رشد گیاه از طریق افزایش میزان کلروفیل و سرعت فتوسنتز، افزایش میزان جذب نور، تسریع انتقال الکترون و افزایش کارایی از تغییر حالت انرژی نورانی شدند (Latef et al., 2018; Gohari et al., 2020; Saberi et al., 2012) که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. همچنین تیتانیوم با افزایش جذب نیتروژن منجر به افزایش فتوسنتز می‌شود (Kamali et al., 2018).

خاصیت فتوکاتالیستی نانوذره دی اکسید تیتانیوم ارتباط نزدیکی با سیستم فتوسنتزی دارد. این مواد نه تنها باعث بهبود جذب نوری، تبدیل انرژی نوری به انرژی الکتریکی و شیمیایی می‌شوند بلکه باعث افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو در گیاه می‌شوند. افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو کربوکسیلاز و افزایش میزان فتوسنتز باعث بهبود رشد گیاه می‌شود (Latef et al., 2018; Gohari et al., 2020). بررسی‌ها نشان داده که نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم به‌طور قابل ملاحظه‌ای می‌توانند موجب بهبود چرخه انتقال الکترون، فعالیت احیای نوری فتوسیستم II، تبدیل O_2 و فعالیت فتوفسفوریلاسیون در کلروفیل تحت نور مرئی شوند، بلکه توسط انرژی حاصل از الکترون نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم وارد شده در کلروفیل، تحت نور فرابنفش و انتقال آن به زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی، احیای NADP به NADPH و فسفوریلاسیون نوری، موجب برانگیخته شدن انرژی الکترون به ATP می‌شود (Zheng et al., 2007). علاوه‌براین، نانو دی اکسید تیتانیوم با افزایش جذب و آسیمیلاسیون نیتروژن، سنتز کلروفیل را افزایش داده و متعاقب آن فتوسنتز نیز افزایش می‌یابد که به دنبال آن وزن گیاه و صفات رشدی نیز افزایش خواهد داشت (Saberi et al., 2012).

عناصر غذایی برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات متقابل شوری و دی اکسید تیتانیوم بر غلظت عناصرغذایی برگ همیشه‌بهار در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و کاربرد دی اکسید تیتانیوم نشان داد که بیشترین میزان نیتروژن (۳/۲۵ درصد) در تیمار بدون شوری و کاربرد ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر دی اکسید تیتانیوم مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد ۵/۲٪ افزایش یافت (جدول ۵). کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر دی اکسید تیتانیوم در تیمار شوری ۶۰ میلی‌مولار سبب جذب بیشترین میزان فسفر (۴/۵ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ)، در تیمار شوری ۳۰ میلی‌مولار بیشترین میزان پتاسیم (۲۰/۴ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ)، و در تیمار بدون شوری بیشترین میزان منیزیم (۱۱/۶ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ) گردید که به‌ترتیب موجب افزایش ۲۸/۶٪، ۱۶۴/۹٪ و ۵۴/۷٪ نسبت به عدم کاربرد دی اکسید تیتانیوم گردید (جدول ۵). بیشترین میزان آهن (۵۹۶/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک برگ) و روی (۱۰۲/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک برگ) در تیمار شوری ۶۰ میلی‌مولار و عدم کاربرد دی اکسید تیتانیوم مشاهده شد (جدول ۵). کاربرد ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر دی اکسید تیتانیوم سبب شد بیشترین میزان منگنز (۹۰/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک برگ) در تیمار شوری ۳۰ میلی‌مولار و بیشترین میزان کلسیم (۳۱/۹ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ) در تیمار شوری ۹۰ میلی‌مولار حاصل شود که به‌ترتیب موجب افزایش ۱۶/۴٪ و ۲۵/۶٪ نسبت به عدم کاربرد دی اکسید تیتانیوم در سطوح شوری مذکور گردید (جدول ۵). بیشترین میزان سدیم (۷۴/۹ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ) در تیمار شوری ۹۰ میلی‌مولار و عدم کاربرد دی اکسید تیتانیوم مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد ۲/۴ برابر افزایش یافت (جدول ۵). بیشترین میزان تیتانیوم (۲۳۳/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک برگ) در تیمار بدون شوری و کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر دی اکسید تیتانیوم مشاهده شد که نسبت به عدم کاربرد دی اکسید تیتانیوم (شاهد) ۵۰/۸ برابر شد. بنابراین نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از دی اکسید تیتانیوم در سطوح مختلف شوری در مورد میزان جذب عناصر غذایی گیاه همیشه‌بهار نتایج متفاوتی داشت. به‌عنوان مثال کاربرد کلیه سطوح دی اکسید تیتانیوم باعث کاهش میزان جذب نیتروژن، آهن و منگنز شد. درحالی‌که در مورد سایر عناصر غذایی استفاده از دی اکسید تیتانیوم در بیشتر موارد سبب بهبود میزان جذب عناصر غذایی گیاه همیشه‌بهار تحت تنش شوری گردید. علاوه‌براین مطابق با نتایج این تحقیق، تنش شوری اثرات متضادی بر میزان جذب عناصر غذایی

داشت. به‌طوری‌که شوری سبب افزایش میزان جذب برخی عناصر مانند پتاسیم، منگنز، آهن و روی در همیشه‌بهار شد. در حالیکه موجب اختلال در جذب سایر عناصر غذایی گردید و به‌طور معنی‌داری جذب آنها را کاهش داد. مطالعات قبلی نشان داد که تنش شوری موجب کاهش میزان جذب عناصر غذایی در ریحان (Scagel et al., 2019)، کاهش جذب نیتروژن و پتاسیم در گیاه آفتابگردان (Hurtado et al., 2020) و نعناع کانادایی (Yu et al., 2015) شد که با نتایج حاصل از این تحقیق مطابقت دارد. کاهش جذب عناصر غذایی می‌تواند به‌دلیل افزایش غلظت یون سدیم در خاک در شرایط تنش کلرید سدیم باشد. همچنین به‌دلیل شباهت در شعاع یون هیدراته سدیم و پتاسیم، پروتئین‌های ناقل قادر به تمایز یون‌های سدیم و پتاسیم از هم نیستند و در نتیجه موجب افزایش جذب سدیم توسط ریشه گیاه می‌شود و سمیت سدیم در گیاه اتفاق می‌افتد. این سمیت باعث ایجاد اختلال در متابولیسم گیاه می‌گردد و جذب عناصر غذایی را تحت تاثیر قرار می‌دهد و در نهایت سبب کاهش جذب عناصر ضروری گیاه می‌گردد (Rojas-Tapias et al., 2012) که با نتایج بدست آمده از این تحقیق مطابقت داشت.

در مطالعه حاضر با افزایش غلظت کلرید سدیم، میزان پتاسیم کاهش یافت که با نتیجه تحقیقی که روی گیاه مرزه انجام شده بود مطابقت داشت (Jabalbarezi et al., 2015). در شرایط تنش کلرید سدیم غلظت یون سدیم در خاک به‌شدت افزایش می‌یابد و به‌علت شباهت‌های فیزیکی-شیمیایی یون پتاسیم با سدیم پروتئین‌های ناقل قادر به تمایز این دو یون از یکدیگر نیستند و تغذیه پتاسیمی گیاه با اشکال مواجه می‌شود و در نتیجه میزان پتاسیم گیاه کاهش می‌یابد (Ahmad and Prasad, 2010). علاوه‌براین تنش شوری موجب کاهش جذب نیتروژن در گیاه می‌شود. تنش کلرید سدیم سبب افزایش غلظت یون کلر می‌شود و افزایش میزان این یون سبب کمبود نیترات در گیاه می‌شود. همچنین کلرید سدیم سطح فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز و گلوتامین سنتتاز که آنزیم تبدیل کننده آمونیوم به فرم آلی نیتروژن است را کاهش می‌دهد و در نتیجه کاهش در فعالیت این آنزیم‌ها سبب کاهش میزان جذب نیتروژن در گیاهان از جمله گیاه مورد مطالعه در این تحقیق شد. کاهش جذب عناصر غذایی در شرایط تنش شوری ممکن است به سبب غلظت بالای یون سدیم، کاهش آب در دسترس گیاه به‌علت افزایش غلظت نمک و ایجاد علائم تنش خشکی باشد (Tavallali et al., 2010). همچنین تنش شوری موجب کاهش جذب فسفر در گیاه دارویی مرزه (Mehdizadeh et al., 2020) شد که با نتیجه حاصل از این تحقیق مطابقت دارد. کاهش جذب فسفر با افزایش غلظت

جدول ۴. تجزیه واریانس اثر برهمکنش تنش شوری و دی اکسید تیتانیوم بر میزان جذب عناصر گیاه همیشه‌بهار

Table 4. Analysis of variance (Mean of squares) of the interaction effect of salinity stress and titanium dioxide on nutrient uptake of *Calendula officinalis* L.

S.O.V	DF	Mean Squared									
		N	P	K	Fe	Mn	Mg	Ca	Zn	Na	Ti
Salinity	3	106339062**	3206872**	133506460**	107307**	1211.35**	36499581**	24495122**	1368.04**	3015156019**	6581.7**
Titanium dioxide	3	119580871**	2036559**	137700113**	131413**	368.75**	3630556**	13683633**	883.36**	89841546**	26859.2**
Salinity× Titanium dioxide	9	106064178**	1802173**	41432601**	49715**	858.85**	5185496**	68087029**	888.05**	167550481**	7241.2**
Error	32	161913	1610	23103	6	0.33	5251	99196	0.49	279805	2.2

**معنی‌دار در سطح یک درصد

**, * Significant at the 1% probability levels

که سبب کاهش قدرت ریشه برای جذب عنصر فسفر می‌شود و گیاه با کاهش فسفر در اندام خود مواجه می‌شود. شوری ممکن است به‌علت کاهش رشد گیاه و ریشه باشد علاوه‌براین در شرایط شوری بالای خاک یون فسفر به‌سرعت رسوب کرده و از دسترس گیاه خارج می‌شود و در نتیجه جذب فسفر کاهش می‌یابد (Jabalbarezi et al., 2015). به‌طورکلی در شرایط تنش کلرید سدیم، میزان یون‌های منیزیم، پتاسیم و کلسیم به‌علت اثر آنتاگونیستی بین سدیم جذب شده توسط گیاه و منیزیم، پتاسیم و کلسیم کاهش می‌یابند (Scagel et al., 2019).

جدول۵. مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش شوری و دی اکسید تیتانیوم بر غلظت عناصر همیشه‌بهار

Table 5. Mean comparison of interaction effects between salinity and titanium dioxide on nutrient uptake of marigold

Salinity (mM)	Titanium dioxide (mg/L)	N (%)	P (mg/g)	K (mg/g)	Fe (mg/Kg)	Mn (mg/Kg)	Mg (mg/g)	Ca (mg/g)	Zn (mg/Kg)	Na (mg/g)	Ti (mg/Kg)
	0	3.09 b*	3.7 c	18.3 c	207.7 f	64.0 e	7.5 cd	25.4 d	83.8 b	30.9 i	4.6 i
0	50	3.25 a	2.7 h	16.9 d	216.9 e	44.8 j	7.6 c	25.2 d	43.4 h	24.9 k	13.8 gh
	100	1.52. h	4.4 a	18.3 c	158.5 h	63.7 e	11.6 a	31.6 a	83.4 b	32.3 hi	114.1 b
	200	1.79 g	3.9 b	19.5 b	154.6 h	53.8 g	8.8 b	19.1 h	56.9 e	33.2 h	233.8 a
	0	2.3 3 e	2.9 fg	9.3 h	456.9 b	77.5 d	6.6 e	26.5 c	64.1 d	46.1 f	11.9 h
30	50	2.59 cd	2.9 f	9.3 h	183.3 g	90.2 a	7.4 cd	27.7 b	76.5 c	52.4 d	97.7 d
	100	2.35 e	3.4 d	20.4 a	451.7 b	87.5 b	7.3 d	27.4 bc	78.4 c	52.1 d	65.2 f
	200	2.23 e	3.1 e	13.9 f	83.2 j	45.2 j	6.3 fg	23.7 e	51.8 f	41.3 g	98.4 d
	0	2.71 c	3.5 d	7.7 j	596.7 a	85.4 c	5.2 i	22.4 f	102.3 a	50.1 e	14.3 gh
60	50	1.7 3 g	2.3 i	5.5 k	372.3 c	43.9 j	3.8 j	19.1 h	62.1 d	28.9 j	98.4 d
	100	2.99 b	4.5 a	17.3 d	83.2 j	48.7 i	6.2 g	25.4 d	62.4 d	44.6 d	115.5 b
	200	2.61 cd	3.5 d	16.3 e	294.1 d	77.1 d	5.8 h	27.6 b	52.7 f	50.8 de	70.8 e
	0	2.57 d	2.0 j	7.8 ij	287.5 d	49.3 i	5.3 i	21.2 g	46.5 g	74.9 a	6.9 i
90	50	2.08 f	2.7 gh	7.8 ij	119.9 i	45.4 j	5.3 i	31.9 a	55.2 e	71.1 b	18.3 g
	100	1.21 i	1.4 k	9.9 g	55.8 l	51.6 h	3.6 j	19.9 h	31.1 i	35.6 c	11.7 i
	200	1.45 h	3.8 c	17.1 d	66.7 k	61.8 f	6.5 ef	28.3 b	55.2 e	70.7 b	195.6 c

* : در هر ستون اعداد با حداقل یک حرف مشابه تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

In each column, numbers with at least one letter do not differ significantly.

نانو ذرات در تحریک رشد رویشی و تسهیل در جذب عناصر میکرو به ریشه گیاه نقش دارند. بدین ترتیب منجر به افزایش رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌شوند. طی سال‌های اخیر استفاده از نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم روند رو به افزایشی را نشان داده است. نانو ذرات باعث افزایش سطح جذب مواد غذایی و تحریک رشد و نمو در گیاه می‌شوند. تیتانیوم یکی از عناصر سودمند برای گیاه بوده و می‌تواند جذب برخی عناصر مانند نیتروژن، فسفر، کلسیم، آهن، منگنز و روی را تحریک نماید، که این امر به برخی عوامل بیولوژیک، ویژگیهای خاک مانند pH، رطوبت و وضعیت عناصر غذایی خاک، و خصوصیات گیاه مانند گونه و رقم بستگی دارد (Khan et al., 2017). کاربرد نانو

ذرات دی اکسید تیتانیوم توانایی گیاه را در مصرف مواد مغذی افزایش می‌دهد. به‌طوری‌که با کاربرد نانو ذره دی اکسید تیتانیوم روی گوجه فرنگی در شرایط گلخانه‌ای میزان جذب کلسیم، نیتروژن، فسفر، منیزیم و آهن افزایش یافت (Kleiber and Markiewicz, 2013) که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. اثر مثبت تیتانیوم بر متابولیسم بهتر نیتروژن در اسفناج نیز گزارش شده است (Yang et al., 2006). اما همچنان اطلاعات کافی در خصوص اثر و تغییرات فیزیولوژی ناشی از این عنصر مفید بر گیاهان مختلف محدود است. میزان اثر بخشی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم بر محصولات گیاهی به غلظت نانو ذرات، اندازه، ساختار شیمیایی، پوشش سطحی، نحوه کاربرد، روش‌های ترکیبی و گونه‌های گیاهی بستگی دارد. تاثیر تیتانیوم به‌طور قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر وضعیت نیتروژن موجود در گیاهان قرار دارد (Latef et al., 2018). تیتانیوم می‌تواند از کمبود نیتروژن در گیاهان جلوگیری کرده و آن را جبران نموده و به‌عنوان عنصری با ارزش، جذب عناصر کم مصرف را در گوجه فرنگی بهبود دهد (Haghighi et al., 2012). تیتانیوم می‌تواند فعالیت‌های برخی عناصر غذایی درگیر در فرایندهای فتوسنتزی را کاتالیز نماید و به‌عنوان یک عنصر سودمند باعث افزایش و تحریک رشد گیاه می‌شود و می‌تواند جذب برخی از عناصر مانند فسفر، کلسیم، منیزیم، آهن، منگنز و روی را افزایش دهد. تیتانیوم با افزایش میزان کلروفیل و فتوسنتز، به‌خصوص از طریق افزایش فعالیت نوری فتوسنتز و همچنین جذب عناصر مؤثر در تولید کلروفیل و فتوسنتز مانند آهن، منیزیم و نیتروژن، باعث افزایش رشد می‌شود. همچنین تیتانیوم از طریق کاهش اثرات سمی عناصر دیگر باعث افزایش رشد می‌شود (Kamali et al., 2018).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که با افزایش شوری خصوصیات مورفولوژیکی شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد شاخه گل دهنده، تعداد گل، قطرگل، وزن تر و خشک گل، عملکرد گل، سطح برگ، وزن تر و خشک بوته کاهش یافت. همچنین با افزایش شوری میزان جذب عناصر تغییر یافت. با افزایش شوری میزان نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منگنز، منیزیم، کلسیم و روی کاهش و آهن، سدیم و تیتانیوم افزایش نشان داد. کاربرد سطوح مختلف دی اکسید تیتانیوم تحت سطوح مختلف شوری سبب تغییر صفات مورد مطالعه گردید. در این پژوهش مشخص شد که گیاه همیشه‌بهار توانست تا حدودی تنش شوری را تحمل کند و استفاده از نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم تحت تنش شوری سبب کاهش اثرات مضر ناشی از شوری و افزایش رشد گیاه گردید. نتایج این آزمایش نشان داد که نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم به‌ویژه در بالاترین غلظت (۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) از طریق تغییر در جذب عناصر سبب تغییر در رشد و غلظت عناصر غذایی گیاه همیشه‌بهار تحت تنش شوری می‌شود. بنابراین کاربرد نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم باعث جذب بهتر عناصر غذایی در سطوح مختلف شوری گردید و از جذب سدیم در تیمارهای شوری تا حدودی کاسته شد که این خود باعث بهبود اکثر صفات رویشی در سطوح مختلف شوری گردید.

سپاسگزاری

از خانم‌ها سپیده مجرب و لیلا مهدی‌زاده از دانشگاه فردوسی مشهد که در انجام این پژوهش همکاری و کمک نمودند تشکر و قدردانی می شود.

منابع

Ahmad, P., and M.N.V. Prasad. 2010. Abiotic Stress Responses in Plants: Metabolism, Productivity and Sustainability: Springer Science & Business Media.

Alizadeh, A. 2008. Water, soil, plant. Astane Ghodse Razavi, 8th edition. p.472.

Aminian, R., Paknejad, M., and S. M. Hoseini. 2017. Effect of nano titanium dioxide on yield and yield components of safflower under normal and low irrigation. Environmental Stresses in Crop Science. 10(3): 377-390.

Babaie, K., Amini Dehaghi, M., Modares Sanavi, A., and Jabbari, R. 2010. Effect of saline stress on morphological, physiologic and chemical characteristics of Thyme (*Thymus vulgaris* L.). Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi). 86: 71-79.

Bernstein, N., Kravchik, M., and N. Dudai. 2010. Salinity-induced changes in essential oil, pigments and salts accumulation in sweet basil (*Ocimum basilicum*) in relation to alterations of morphological development. Annals of Applied Biology. 156(2): 167-177.

Scagel, C.F., Lee, J., and J.N. Mitchell. 2019. Salinity from NaCl changes the nutrient and polyphenolic composition of basil leaves. Industrial Crops and Products. 127 :119-128.

Farsaraei, S., Mehdizadeh, L., Moghaddam, M., and H. Ebrahimi. 2018. Effect of foliar application of putrescine on biomass, water relative content and mineral elements of sweet basil (*Ocimum basilicum* L. cv. Genove) under salinity stress. Journal of Plant Process and Function. 8(33): 399-411.

Feizi, H., Rezvani Moghadam, P., Fotovat, A., and N. Shah Tahmasbi. 2011. Reaction of wheat seed to different concentrations of titanium dioxide nanoparticles in comparison with nonnano-particles. Processing of 2th congress on science and technology seed. Nov. 4-5, Mashhad, Iran. pp. 565-569.

Gao, F., Liu, C., Qu, C., Zheng, L., Yang, F., Su, M., and F. Hong. 2008. Was improvement of spinach growth by nano-TiO_2 treatment related to the changes of Rubisco activate? .Biometals. 21(2): 211-7.

Gohari, G., Mohammadi, A., Akbari, A., Panahirad, S., Dadpour, M.R., Fotopoulos, J., and V.S. Kimura, 2020. Titanium dioxide nanoparticles (Ti_2ONPs) promote growth and ameliorate salinity stress effects on essential oil profile and biochemical attributes of *Dracocephalum moldavica*. Science Report. 10(1): 1-14.

Gupta, B, and B. Huang. 2014. Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical, and molecular characterization. International Journal Genomics. 2014: 1-18.

Haghighi, M., Heidarian, S., and J.A. Teixeira Dasilva. 2012. The effect of titanium amendment in N-withholding nutrient solution on physiological and photosynthesis attributes and micronutrient uptake of Tomato. Biological Trace Element Research. 150: 381-390.

Hurtado, A.C., Chiconato, D.A., de Mello Prado, R., da Silveira Sousa Junior, D., Olivera Viciedo, D., and M. de Cássia Piccolo. 2020. Silicon application induces changes C:N:P stoichiometry and enhances stoichiometric homeostasis of sorghum and sunflower plants under salt stress. Saudi Journal of Biological Sciences. 27(12): 3711-3719.

Jabalbarezi, B., Zareie, M., Karimian, N. and M.J. Saharkhiz. 2015. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on nutrient uptake, some growth indices and essential oil content of *Satureja hortensis* under salinity stress conditions. Journal of Water and Soil Science. 25(4/2): 285-299.

Javadipour, Z., Movahedi Dehnavi, M., and H.R. Baluchi. 2015. Evaluation of photosynthetic parameters, content and chlorophyll fluorescence of leaf safflower cultivars under salinity stress. Electronic Journal of Crop Production. 6(2): 35-56.

Kafi, M., and A. Damghani. 2000. Tolerance mechanisms of plants to environmental stresses. Ferdowsi University of Mashhad.

Kalhor, M., Dehestani-Ardakani, M., Shirmardi, M., and J. Gholamnejad. 2018. Response of pot marigold (*Calendula officinalis* L.) to interaction effects of salt stress and organic soil amendments. Environmental Stresses Crop Sciences. 11(4): 1005-1021.

Kamali1, M., Shoor, M., and H. Feizi. 2018. Impacts of nanosized and bulk titanium dioxide on flowering and morphophysiological traits of Petunia (*Petunia hybrida*) under salinity stress. Journal of Horticultural Science. 32(2): 199-212.

Karami, A., and A. Sepehri. 2018. Effect of nano titanium dioxide and sodium nitroprusside on seed germination, vigor index and antioxidant enzymes of Afzal barley seedling under salinity stress. Iranian Journal of Seed Science and Research. 5(3): 47-61.

Khan, M.N., Mobin, M., Abbas, Z.K., ALMutairi, K.A., and Z.H. Siddiqui. 2017. Role of nanomaterials in plants under challenging environments. Plant Physiology and Biochemistry. 110: 194-209.

Klancnik, K., Drobne, D., Valant, J., and Dolenc Koce, J. 2011. Use of a modified Allium test with nanoTio_2. Ecotoxicology and Environmental Safety. 74:85-92.

Kleiber, T., and B. Markiewicz. 2013. Application of "Tytanit" in greenhouse tomato growing. Acta Scientiarum Polonorum Horticulture. 12:117-126.

Latef, A.A.H.A., Srivastava, A.K., Abd El-sadek, M.S., Kordrostami, M., and L.S.P. Tran. 2018. Titanium dioxide nanoparticles improve growth and enhance tolerance of broad bean plants under saline soil conditions. Land Degradation and Development. 29: 1065-1073.

Mehdizadeh, L., Moghaddam, M., and A. Lakzian. 2019. Alleviating negative effects of salinity stress in summer savory (*Satureja hortensis* L.) by biochar application. Acta Physiologiae Plantarum. 41(6): 98-111.

Moaveni, P. 2010. Foundation of plant physiology in dry and salty conditions. Islamic Azad University of Ghods city branch.

Mehdizadeh, L., Moghaddam, M., and A. Lakzian, 2020. Amelioration of soil properties, growth and leaf mineral elements of summer savory under salt stress and biochar application in alkaline soil. Scientia Horticulturae. 267: 109319-109330.

Molavi, H., Mohammadi, M., and A. Liaghat. 2011. Effect of salinity water management during growth period on yield and yield contents of maize in soil salinity profile. Journal of Irrigation Science and Engineering. 35(3): 11-18.

Morteza, E., Moaveni, P., Farahani, H.A., and M. Kiyani. 2013. Study of photosynthetic pigments changes of maize (*Zea mays* L.) under nano TiO_2 spraying at various growth stages. Springer Plus. 2: 247-260.

Munns, R., and M. Tester. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review Plant Physiology. 59: 651-681.

Newman, E.I. 1966. A method of estimating the total length of root in a sample. Journal of Applied Ecology. 3(1): 139-145.

Noorani Azad, H., and M.R. Haji Bagheri. 2008. Effect of salinity stress on some physiological characteristics of *Anthum graveolens* L. Agroecology Journal. 4(12): 93-100.

Omidbeigi, R. 2012. Production and Processing of Medicinal Plants. Vol. 2, Astan Quds Publication, Tehran.

Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V.P., and S.M. Prasad. 2015. Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. Environmental Science and Pollution Research. 22(6): 4056-4075.

Rasouli, F., Abedini, F., and S.M. Zahedi. 2016. The effect of Titanium nano dioxide on physiological particular and chlorophyll fluorescence parameters in Eggplant (*Solanum melongena* L.) under water deficit stress. Journal of Vegetables Sciences. 2(4): 37- 51.

Razghandi, J. 2014. Investigation the effect of salinity stress on morphological and physiological characteristics of 5 population of summer savory. Master of Arts thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

Rojas-Tapias, D., Moreno-Galvan, A., Pardo-Diaz, S., Obando, M., Rivera, D., and R. Bonilla. 2012. Effect of inoculation with plant growth-promoting bacteria (PGPB) on amelioration of saline stress in maize (*Zea mays*). Applied Soil Ecology. 61: 264-272.

Ruffini, C.M., and R. Cremonini. 2009. Nanoparticles and higher plants. Caryologia. 62(2): 161-165.

Saberi, S., Ghasimi Hagh, Z., and Sh. Mostafavi. 2012. Impact and mechanisms of Nano Titanium Dioxide on physiological processes spinach. Second National Conference on Sustainable Agricultural Development healthy environment. 16 Page

Zhu, J.K. 2001. Plant salt tolerance. Trends in Plant Science. 6(2): 66-71.

Sabet Teimouri, M., Khazaie, H.R., Nassiri Mahallati, M., and A. Nezami. 2010. Effect of salinity on seed yield and yield components of individual plants, morphological characteristics and leaf chlorophyll content of sesame (*Sesamum indicum* L.). Environmental Stresses in Crop Science. 2(2): 119-130.

Sawhney, A.P.S., and B. Condon 2008. Modern Applications of Nanotechnology in Textiles. Textile Research Journal. 78: 731-739.

Shah, V., and I. Belozerova. 2009 Influence of metal nanoparticles on the soil microbial xommunity andgermination of Lettuce seeds. Water, Air, and Soil Pollution. 197(1): 143-148.

Sharma, S., and K.N. Uttam. 2019. Non-invasive monitoring of biochemical response of wheat seedlings toward titanium dioxide nanoparticles treatment using attenuated total reflectance fourier transform infrared and laser induced fluorescence spectroscopy. Analytical Letters. 52(10): 1629-1652.

Sodaeizadeh, H., Tajamolian, M., and M. Rafiei Hoseini. 2016. Effect of composing of sweet and salty water on some morphological index of *Satureja hortensis.* Crop and Environmental Stress. 1(1): 55-65.

Tavallali, V., Rahemi, M., Eshghi, S., Kholdbarin, B., and A. Ramezanian. 2010. Zinc alleviates salt stress and increases antioxidant enzyme activity in the leaves of pistachio (*Pistacia vera* L. Badami) seedlings. Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 34: 349-359.

Tighe-Neira, R., Reyes-Díaz, M., Nunes-Nesi, A., Recio, G., Carmona, E., Corgne, A., Rengel, Z., and C. Inostroza-Blancheteau. 2020. Titanium dioxide nanoparticles provoke transient increase in photosynthetic performance and differential response in antioxidant system in *Raphanus sativus* L. Scientia Horticulturae. 269: 109418.-109430.

Teimouri, A., and M. Jafari. 2010. The effects of salinity stress on some of anatomical and morphological characteristics in three *Salsola* species: *S. rigida, S. dendroides, S. richteri*. Iranian Journal of Range and Desert Research. 17(1): 21-34.

Valdiani, A., Hassan Zadeh, A., and M. Tajbakhsh. 2005. Study on the effects of salt stress in germination and embryo growth stages of the four prolific and new cultivars of winter rapeseed (*Brassica napus* L.). Pajouhesh-

va-Sazandegi. 18 (66): 23-32.

Yang, F., Hong, F., You, W., Liu, C., Gao, F., Wu, C., and P. Yang. 2006. Influences of nano-anatase TiO_2 on the nitrogen metabolism of growing spinach. Journal of Trace Elements Research. 110(2): 179-190.

Yu, X., Liang, C., Chen, J., Qi, X., Liu, Y., and Y. Li. 2015. The effects of salinity stress on morphological characteristics, mineral nutrient accumulation and essential oil yield and composition in *Mentha canadensis* L. Scientia Horticulturae. 197(4): 579-583.

Zargari, A. 2012. Medicinal plants. Volume 4. Tehran University Publishing.

Zheng L., Mingyu S., Xiao W., Chao L., Chunxiang Q., Liang C., Hao H., Xiaoqing L., and H. Fashui. 2007. Effects of nano-anatase on spectral characteristics and distribution of LHCII on the thylakoid membranes of Spinach. Biological Trace Element Research Journal. 120: 273-283.