

ORIGINAL RESEARCH PAPER

The Impact of Nano Copper on the Biochemical and Growth Characteristics of Moringa (*Moringa Oleifera* L.) Under Salinity Stress

Ameri¹, M., Shamili^{2*}, M., Roshan Sarvestani³, V. and Ghasemi⁴, M.

1 and 2. Former PhD Student and Associate Professor, Respectively, Department of Horticultural Sciences, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

3. Associate Professor, Department of Natural Resources, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shiraz, Iran

4. Assistant professor, Horticulture Crops Research Department, Qazvin Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Qazvin, Iran

*: Corresponding Author Email: shamili@ut.ac.ir

Received: 2024/08/01

Accepted: 2024/10/14

Introduction

Moringa oleifera is a fast-growing tree that grows mainly in tropical or subtropical regions and in less fertile soils. Moringa owns anti-cancer and antioxidant properties. Moringa seedlings undergone saline water treatment (up to 8 dS/m) with a slight decrease in yield, chlorophyll, protein and antioxidant activity. But salt levels up to 12 dS/m associated with a significant decrease in yield, chlorophyll, peroxidase, superoxide dismutase activity, calcium, potassium, magnesium content, and an increase in catalase activity and phenol content. Since salinity is one of the destructive stresses on the growth of moringa, providing a suitable method to reduce its detrimental impacts can be effective. Nanomaterials, particles with dimensions between 1 and 100 nanometers, are of interest in agriculture mainly as nanofertilizers. Due to their small size, nanoparticles pass through biological barriers, enter the plant and are easily transferred to various tissues. Copper, as a micro element, presents in the structure of important plant enzymes and plays a role in electrons transfer. While in saline soils, the solubility of copper element is limited, solutions are of interest to supply this element to plants. There is no report on improved salinity tolerance through treatment with nano-Cu in Moringa. Therefore, the aim of this research is to survey the effects of salinity and Cu nano-fertilizer on biochemical and growth traits of Moringa plant.

Material and Methods

Six-month-old Moringa seedlings were cultivated in plastic pots. Sodium chloride (0, 3.9, 7.8 and 11.7 dS/m of salt) was considered as salinity treatment (through irrigation water, three times a week). Foliar treatment with nano- Cu (0, 10 and 20 ppm) was applied twice (three and five weeks after the initiation of salinity). Eight weeks after the end of salinity, leaf total chlorophyll and carotenoid content, relative water content, proline, protein, superoxide dismutase enzyme activity, shoot dry and fresh weight, leaf number, leaf area, stem diameter and chlorophyll fluorescence were measured. The experiment was carried out as a factorial in completely random design in three repetitions (each repetition includes 3 pots). The factors were included irrigation with saline water (0, 3.9, 7.8 and 11.7 dS/m) and nano copper (0, 10 and 20 ml/L). Duncan's test was performed to compare the means.

Result and Discussion

The lowest total chlorophyll was belonged to 11.7 dS/m salinity and 10 ppm nano-Cu. Foliar spraying of nano-Cu enhanced chlorophyll. 20 ppm of nano-Cu increased total chlorophyll compared to no nano-Cu treatment. 11.7 dS/m of salinity caused an 11% reduction of carotenoids compared to no-salt treatment. 20 ppm nano-Cu caused a 10% boost in carotenoid compared to no nano-Cu treatment. 11.7 dS/m caused a 30% decline in leaf relative water content compared to no-salt condition. Treatment with nano-Cu had no significant impact on leaf relative water content. Enhanced salt levels and foliar spray with nano-Cu, both caused an improvement in proline content. The highest proline content was assigned to the salinity of 11.7 decisi/m and 20 ppm nano copper, and the lowest amount was assigned to no-salt treatment and no nano- Cu foliar application. According to findings, enhanced salt levels was accompanied by declined protein, but the usage of nano-Cu improved this trait. The results of SOD activity also indicated that boosted salt levels and the amount of nano-Cu foliar application, both increased SOD activity. In the absence of salt, foliar spraying with nano-Cu elevated shoot fresh weight by 9.4% compared to no nano-Cu treatment. Under 11.7 dS/m of salinity, the application of nano-Cu solution enhanced shoot fresh weight by 22%. Moreover, the treatment of plants with 20 ppm of nano-Cu caused a 26% increment in leaf area compared to no nano-Cu treatment. The highest Fv/Fm was also obtained

Ameri *et al.*, The Impact of Nano Copper on the Biochemical...

in plants under the absence of salt and sprayed with 20 ppm nano-Cu. The lowest value of this ratio was also observed in of 11.7 dS/m salt and no nano-Cu foliar application.

Conclusion

Salinity led to declined shoot dry weight, leaf total chlorophyll content, relative water content, protein and increased proline content and SOD activity. Among the nano-Cu treatments, under 11.7 dS/m salinity conditions, 20 mg/L nano-Cu had the most significant positive effect on the studied traits. Therefore, Nano-Cu foliar spraying (up to 20 mg/L) can play a fruitful role in reducing the adverse impacts of salinity stress in moringa plant.

Keywords: Chlorophyll, Proline, Relative leaf water content, superoxide dismutase

Citations: Ameri, M., Shamili, M., Roshan Sarvestani, V. and Ghasemi, M.(2025). The Impact of Nano Copper on the Biochemical and Growth Characteristics of Moringa (*Moringa Oleifera* L.) Under Salinity Stress. *Plant Production Technology*, 24(2), 1-20. <https://doi.org/10.22084/ppt.2024.29698.2132>

© 2022 The Author(s). Bu- Ali Sina University Publication. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Online ISSN: 2476-5651

Print ISSN: 2476-6321

تأثیر نانومس بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و رشدی مورینگا (*Moringa oleifera* L.) تحت تنش شوری

The Impact of Nano Copper on the Biochemical and Growth Characteristics of *Moringa (Moringa Oleifera L.) Under Salinity Stress*

مهسا عامری^۱، منصوره شمیلی^{۲*}، وحید روشن سروسنانی^۳ و مصطفی قاسمی^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۳

(مقاله پژوهشی)

چکیده

مورینگا اولیفر، گیاهی چندساله و دارویی است که در مناطق گرمسیر رشد می‌کند و می‌تواند طیف گسترده‌ای از شرایط بارندگی را تحمل کند. شوری یکی از تنش‌های غیرزیستی محدودکننده عملکرد در گیاهان است. با توجه به نقش ساختاری مس، استفاده از آن می‌تواند آسیب‌های ناشی از تنش شوری را کاهش دهد. این پژوهش با هدف مطالعه تأثیر نانوذره مس (۰، ۵، ۱۰ و ۲۰ پی‌پی‌ام) بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و رشدی گیاه مورینگا تحت شوری کلرید سدیم (۰، ۳/۹، ۷/۸ و ۱۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر) انجام شد. نتایج حاکی از آن بود که تأثیر سطوح نمک و نانومس بر صفات موردارزیابی معنی‌دار است. شوری موجب کاهش در وزن خشک شاخساره، محتوای کلروفیل کل، محتوای نسبی آب برگ، پروتئین و افزایش در فعالیت سوپراکسید دیسموتاز شد. تحت شوری ۱۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر، محلول‌پاشی نانومس وزن تر شاخساره (۲۲ درصد)، کاروتنوئید (۱۱ درصد)، پرولین (هشت درصد)، پروتئین (۱۶ درصد) و فعالیت سوپراکسید دیسموتاز (۱۰ درصد) شد را افزایش داد. کم‌ترین فلورسانس کلروفیل در گیاهانی که شوری ۱۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر را دریافت کرده بودند، مشاهده شد. هم‌چنین شوری ۱۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر باعث کاهش سطح برگ (۴۹ درصد) شد. تیمار گیاهان با ۲۰ پی‌پی‌ام نانومس، افزایش ۲۶ درصدی سطح برگ را باعث شد. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که محلول‌پاشی نانوذرات مس (تا ۲۰ پی‌پی‌ام) می‌تواند نقش موثری در کاهش اثرات سوء تنش شوری در گیاه مورینگا داشته و سبب بهبود ویژگی‌های بیوشیمیایی، آنتی‌اکسیدانی و رشدی این گیاه در شرایط شوری شود.

واژه‌های کلیدی: کلروفیل، پرولین، محتوای نسبی آب برگ، سوپراکسید دیسموتاز

ارجاع به مقاله: عامری، م.، شمیلی، م.، روشن سروسنانی، و. و قاسمی، مصطفی (۱۴۰۳). تأثیر نانومس بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و رشدی مورینگا

(*Moringa oleifera* L.) تحت تنش شوری، مجله فناوری تولیدات گیاهی، ۲۴(۲)، ۱-۲۰.

<https://doi.org/10.22084/ppt.2024.29698.2132>

حق نشر متعلق به نویسنده (گان) است و نویسنده تحت مجوز Commons Creative License

Attribution (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>) به مجله اجازه می‌دهد مقاله‌ی چاپ شده را در



سامانه به اشتراک بگذارد، منوط بر اینکه حقوق مؤلف اثر حفظ و به انتشار اولیه مقاله در این مجله اشاره شود.

شاپا چاپی: ۶۳۲۱-۲۴۷۶

شاپا الکترونیکی: ۵۶۵۱-۲۴۷۶

- ۱ و ۲. به ترتیب دانشجوی سابق دکتری و دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران
۳. دانشیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، شیراز، ایران.
۴. استادیار، بخش زراعی باغی. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان قزوین، قزوین، ایران.

Emai: shamili@ut.ac.ir

* نویسنده مسئول

۱. مقدمه

عوامل غیرزیستی مختلف از جمله خشکی، دمای بالا، سمیت ترکیبات شیمیایی و شوری از عوامل محدودکننده عملکرد گیاهان هستند (Abbaspour, 2012). شوری به شدت بر رشد و بهره‌وری محصول تأثیر گذارده و در نهایت باعث کاهش محتوای ترکیبات آلی و فعالیت‌های متابولیکی در گیاهان می‌گردد (Hayat et al., 2020). سمیت یونی ناشی از شوری، فرآیند فتوسنتز را با تخریب رنگدانه‌های فتوسنتزی یا تحت تأثیر قرار دادن بیوستن آن‌ها مسدود می‌کند (Ma et al., 2022). گیاهان از آسیب‌های تنش شوری، با استفاده از مکانیسم حذف یون‌های سمی نمک، بخش‌بندی یون‌ها در واکوئل یا سنتز املاح سازگار اجتناب می‌کنند (Mostofa et al., 2021).

نانومواد، ذراتی به ابعاد بین یک تا صد نانومتر (Schaller and Klimov, 2004) در کشاورزی عمدتاً با کاربری نانوکود مورد توجه هستند (Peyvandi and Mirza, 2011). نانوذرات به دلیل اندازه کوچک‌شان از سدهای زیستی یا منافذ روزنه‌ای برگ عبور کرده، وارد گیاه شده و به سهولت به سایر بافت‌ها منتقل می‌شوند (Khan et al., 2019). مس عنصری کم‌مصرف است که در ساختمان آنزیم‌های مهم گیاهی از جمله سیتوکروم اکسیداز، پلی‌فنیل اکسیداز و دی‌آمین اکسیداز حضور داشته و در نقل و انتقال الکترون‌ها ایفای نقش می‌کند. درحالی‌که در خاک‌های شور و آهکی، حلالیت این عنصر محدود است (El-Fouly et al., 2011). کمبود عنصر مس سبب کاهش فتوسنتز، وزن اندام‌های رویشی و باروری گیاه شده و کاهش عملکرد را در پی دارد (Fageria, 2011).

در پژوهشی مشخص شد که محلول‌پاشی نانوذرات مس (۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر) بر گیاهان گوجه‌فرنگی تحت تنش شوری، تجمع و تخریب ترکیبات فعال زیستی و همچنین فعالیت آنتی‌اکسیدانی بهبود می‌بخشد (Hernández-Fuentes et al., 2017). هم‌چنین کاربرد مس در گیاه ذرت بر روابط آبی، فتوسنتز و تغذیه از طریق تنظیم آنتی‌اکسیدانی و افزایش سنتز ترکیبات محافظت‌کننده اسمزی تأثیرگذار بوده است (Iqbal et al., 2018).

مورینگا اولیفر (Moringa oleifera L. 2n=14)، از تیره مورینگاسه (Moringaceae)، از گیاهانی است که تقریباً در

تمام مناطق گرمسیر و نیمه‌گرمسیر رشد می‌کند، هر چند بومی هند، افغانستان، بنگلادش و پاکستان است (Kou et al., 2018). این گیاه می‌تواند طیف گسترده‌ای از شرایط بارندگی سالانه (از ۲۵۰ میلی‌متر تا بیش از ۳۰۰۰ میلی‌متر) و pH (پنج تا نه) را تحمل کند (Tiloke et al., 2016). مورینگا درختی سریع‌الرشد و چندساله است. این درخت با ساقه کوتاه و مستقیم رشد می‌کند، ساقه به‌طور معمول صاف است که ارتفاع آن قبل از شروع شاخه‌زایی به یک و نیم تا دو متر می‌رسد (Gandji et al., 2018). این گیاه به‌عنوان یک عامل ضد التهاب، ضد فشار خون، ضدباکتری و ضد دیابت مورد استفاده قرار می‌گیرد و هم‌چنین دارای خواص محافظت‌کننده کبد و قلب است (Fantoukh et al., 2019). هم‌چنین مورینگا به‌واسطه داشتن گلوکوزینولات‌ها بالاخص گلوکومورینگین و گلوکوتروپائولین دارای خواص ضدسرطان و آنتی‌اکسیدان است (Gandji et al., 2018; Pareek et al., 2023). نهال مورینگا، تیمار آب شور (تا هشت دسی‌زیمنس برمتر) را با کاهش جزئی در عملکرد، کلروفیل، پروتئین و فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها پشت سر گذاشته است. اما سطوح نمک تا ۱۲ دسی‌زیمنس برمتر، با کاهش قابل توجه عملکرد، کلروفیل، فعالیت پراکسیداز و سوپراکسیددیسموتاز (SOD)، محتوای کلسیم، پتاسیم، منیزیم و افزایش در فعالیت کاتالاز و محتوای فنل همراه بود (Nouman et al., 2012). از آنجا که شوری از تنش‌های مخرب بر رشد مورینگا است، ارائه روش مناسب به‌منظور کاهش اثرات مضر آن می‌تواند موثر باشد. هم‌چنین گزارشی در مورد بهبود تحمل به تنش شوری از طریق تیمار با نانو مس در مورینگا وجود ندارد. بنابراین، هدف از این تحقیق، مطالعه آثار شوری و نانو کود مس بر ویژگی‌های بیوشیمیایی (محتوای کلروفیل کل و کاروتنوئید، فلورسانس کلروفیل، محتوای نسبی آب برگ، محتوای پرولین، محتوای پرتئین، فعالیت سوپراکسید دیسموتاز) و رشدی (وزن تر و خشک شاخساره، سطح برگ، قطر ساقه و تعداد برگ) در گیاه مورینگا است.

1. Superoxide Dismutase (SOD)

۲. مواد و روش‌ها

۱-۲. آماده‌سازی مواد گیاهی و اعمال تیمارها

تحقیق حاضر طی سال‌های ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در گلخانه‌ای واقع در روستای کوشک هزار در شهرستان بیضا استان فارس (۴۰ کیلومتری شمال غربی شیراز، ۵۲ درجه و ۲۱ دقیقه طول شرقی، ۳۰ درجه و یک دقیقه عرض شمالی، ارتفاع ۱۶۶۵ متر از سطح دریا) به صورت گلدانی به اجرا درآمد. بذر گیاه مورینگا رقم هندی از شرکت طلایه داران هرمزگان تهیه و پس از جوانه‌زنی و رشد کافی، دانه‌های شش ماهه، سالم و عاری از بیماری (ارتفاع حدود ۴۰ سانتی‌متر) جهت اعمال تیمارها مورد استفاده قرار گرفتند. نهال‌ها در گلدان‌های پلاستیکی (ارتفاع و قطر دهانه به ترتیب ۵۵ و ۴۵ سانتی‌متر) دارای زهکش، کشت شدند. بستر مورد استفاده برای کاشت نهال‌ها، ترکیب خاک باغچه، خاک برگ و ماسه (۱:۱:۱) بود. گیاهان در دمای متوسط روزانه 23 ± 2 و شبانه 19 ± 2 درجه سانتی‌گراد با رطوبت نسبی ۶۰ درصد نگهداری شدند. تیمار شوری، شش ماه پس از استقرار نهال‌ها (گیاهان دارای ۱۵ برگ) در گلدان آغاز شد.

نمک مورد استفاده (کلرید سدیم، مرک^۱ - آلمان) در آب مقطر حل و مقادیر ۰، ۳/۹، ۷/۸ و ۱۱/۷ دسی‌زیمنس برمتر نمک به عنوان تیمار شوری (از طریق آب آبیاری و هفته‌ای سه بار)، در نظر گرفته شد. تیمار با آب مقطر به عنوان تیمار صفر دسی‌زیمنس بر متر در نظر گرفته شد. به منظور جلوگیری از تجمع بیش از حد نمک در گلدان‌ها، هر دو هفته یکبار آب‌شویی با آب مقطر انجام شد. تیمار شوری، هشت هفته به طول انجامید و پس از آن به منظور بازیابی گیاهان، گلدان‌ها تا یک هفته با آب مقطر آبیاری شدند (Pashangah et al., 2020). در هر نوبت آبیاری، رطوبت گلدان‌ها به حد ظرفیت مزرعه رسانده شد. طی مدت اعمال تیمار، همه گیاهان با محلول غذایی هوگلدن تغذیه شدند. آنالیز آب مورد استفاده در جدول ۱ آمده است.

نانودره مس مورد استفاده در این آزمایش از شرکت نانو سانی (مشهد، ایران)، خریداری شد. میانگین اندازه ذرات نانومس ۴۰ نانومتر، چگالی ظاهری ۰/۲۱ گرم بر سانتی‌متر

مکعب، چگالی واقعی ۸/۹ گرم در سانتی‌متر مکعب و شکل تقریباً کروی بود. تیمار محلول‌پاشی شاخه و برگ با نانو مس (صفر، ۱۰ و ۲۰ پی‌پی‌ام) دو بار (سه و پنج هفته بعد از شروع تیمار شوری) اعمال شد (Tabatabaee et al., 2021). گیاهان تیمار شده با نمک صفر دسی‌زیمنس برمتر (آب مقطر) و محلول‌پاشی شده با تیمار صفر نانو مس (آب مقطر) به عنوان شاهد در نظر گرفته شدند. هشت هفته پس از اتمام تنش شوری در محله رشد رویشی، صفات زیر در آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز اندازه‌گیری شد.

۲-۲. محتوای کلروفیل کل و کاروتنوئید برگ

به ۱۰۰ میلی‌گرم از برگ فاقد رگبرگ، هفت میلی‌لیتر از دی‌متیل سولفوکساید افزوده، پس از انکوبه کردن (۳۰ دقیقه، دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد)، صاف کردن، افزودن مجدد دی‌متیل سولفوکساید، حجم عصاره به ۱۰ میلی‌لیتر رسانده و در نهایت جذب عصاره با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (اپوچ ۳، ساخت شرکت بیوتک آمریکا) در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر قرائت شد. محتوای کلروفیل کل و کاروتنوئید بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن تازه گزارش شد (Hiscox and Israelstam, 1979).

$$\text{Chlorophyll a (mg/g F.W.)} = ((12.7 (A_{663}) - 2.69(A_{645})) \times \text{Volume}) / (\text{Wt. of the sample})$$

$$\text{Chlorophyll b (mg/g F.W.)} = (22.9(A_{645}) - 4.68(A_{663}) \times \text{Volume made}) / (\text{Wt. of the sample})$$

$$\text{Total chlorophyll (mg/g F.W.)} = ((20.2(A_{645}) + 8.02(A_{663})) \times \text{Volume}) / (\text{Wt. of the sample})$$

$$\text{Carotenoids (mg/g F.W.)} = (1000 A_{470} - 3.27 [\text{Chlorophyll a}] - 104 [\text{Chlorophyll b}]) / 227$$

Volume حجم نمونه بر حسب لیتر، Wt. of the sample وزن نمونه بر حسب گرم و A_{645} ، A_{663} و A_{470} جذب در طول موج ۶۴۵، ۶۶۳ و ۴۷۰ نانومتر.

۲-۳. محتوای نسبی آب برگ

برای این منظور یک برگ بالغ توزین (FW)، به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی در ظرف حاوی آب مقطر قرارداده و مجدداً

1. Merk
2. Germany

عامری و همکاران: تأثیر نانومس بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و رشدی...

توزین (TW) شد. در نهایت برگ‌ها در آون (دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد، ۴۸ ساعت) خشک و مجدداً توزین شدند (DW). محتوای نسبی آب برگ بر حسب درصد گزارش شد (Smart and Bingham, 1974).

$$\%RWC = \frac{(FW - DW)}{(TW - DW)} \times 100$$

Table 1: Analysis of the water used in the greenhouse

SO ₄ meq/lit	Cl meq/lit	HCO ₃ meq/lit	CO ₃ meq/lit	Ca+Mg meq/lit	Na meq/lit	pH	EC (us)
0	2	5	0	6.26	0.74	6.77	744

آمریکا) قرائت شد. پروتئین آلبومین سرم گاوی (۰، ۵، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ پی‌پی‌ام) به‌عنوان استاندارد مورد استفاده قرار گرفت. میزان پروتئین بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن تازه گزارش شد (Bradford, 1976).

۶-۲. فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز برگ

جهت تهیه عصاره آنزیمی، ۰/۵ گرم برگ با دو میلی‌لیتر بافر استخراج فسفات پتاسیم ۰/۱ مولار (pH=۷) در هاون چینی ساییده و سپس نمونه‌ها سانتریفیوژ (۱۳۰۰۰ دور در دقیقه، ۱۵ دقیقه، چهار درجه سانتی‌گراد) شدند. پس از سانتریفیوژ مجدد قسمت روئی (۱۰ دقیقه، ۱۴۰۰۰ دور در دقیقه، چهار درجه سانتی‌گراد)، روشناور به‌عنوان عصاره سنجش فعالیت آنزیم استفاده شد (Ozden et al., 2009). سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به کمک سنجش مهار احیای نوری نیتروبلوتترازولیموم در طول موج ۵۶۰ نانومتر، انجام گرفت. برای این منظور، محلول واکنش (بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار با EDTA، ۷/۵ pH، ۰/۱ میلی‌مولار، نیتروبلوتترازولیموم ۷۵ میکرومولار، متیونین ۱۳ میلی‌مولار و ریوفلاوین چهار میکرومولار) به ۱۰۰ میکرولیتر از هر نمونه افزوده و پس از انکوبه کردن در تاریکی، میزان جذب توسط اسپکتروفتومتر قرائت شد. فعالیت آنزیم بر حسب واحد در گرم پروتئین محاسبه شد (Lowry et al., 1951).

۷-۲. سنجش صفات رشدی

وزن تر و خشک شاخساره با توزین (ترازوی دیجیتالی ۰/۰۰۱ گرم) نمونه‌ها، خشک کردن نمونه‌ها در آون (۷۰ درجه سانتی‌گراد، ۷۲ ساعت) و توزین مجدد محاسبه شد. برای تعیین سطح برگ، تعداد سه برگ از شاخه‌ها جدا کرده و با استفاده از

۴-۲. پرولین برگ

برای این منظور، ۰/۵ گرم برگ در ۱۰ میلی‌لیتر محلول سه درصد اسید سولفوسالیسیلیک در هاون ساییده و از کاغذ صافی گذرانیده شد. سپس به دو میلی‌لیتر از عصاره، دو میلی‌لیتر معرف اسید نین‌هیدرین (۱/۲۵ گرم نین‌هیدرین در ۳۰ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال) و دو میلی‌لیتر اسیداستیک گلاسیال اضافه و انکوبه (یک ساعت، بن‌ماری، ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد) گردید. پس از نگهداری در حمام یخ (۳۰ دقیقه)، چهار میلی‌لیتر تولوئن افزوده و ورتکس (۳۰ ثانیه) شدند. پس از انکوبه کردن لوله‌های حاوی عصاره در شرایط آزمایشگاه، جذب نوری لایه رنگی فوقانی در طول موج ۵۲۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت و مقدار پرولین با استفاده از منحنی استاندارد تولوئن محاسبه و بر حسب میکرومول در گرم وزن تازه گزارش شد (Bates et al., 1973).

۵-۲. پروتئین برگ

به‌منظور استخراج پروتئین، به ۵۰ میلی‌گرم از مواد گیاهی خردشده توسط ازت مایع، ۴۹۵ میکرولیتر بافر استخراج (۴۰ میلی‌مولار بافر تریس و ۶۰ میلی‌مولار دی‌تیوتریتول)، ۵۰ میلی‌گرم پلی‌وینیل‌پیرولیدون و پنج میکرولیتر فنیل‌متان‌سولفونیل‌فلوراید ۲۰۰ میلی‌مولار افزوده و پس از چند ثانیه ورتکس، نمونه‌ها سانتریفیوژ (۸۰۰۰ دور در دقیقه، ۱۵ دقیقه) شد. آنگاه ۳۰۰ میکرولیتر از فاز رویی با ۹۰۰ میکرولیتر استون سرد (حاوی ۱۰٪ تری‌کلرواستیک اسید) و ۰/۰۷ درصد دی‌تیوتریتول مخلوط و به مدت یک شب در دمای منفی ۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از خشک شدن رسوب، ۸۰ میکرولیتر محلول برادفورد به هر فالكون اضافه شد. میزان جذب نوری عصاره در طول موج ۵۹۵ نانومتر با استفاده از دستگاه میکروپلیت ریدر (مدل Epoch ساخت شرکت بیوتک

۳-۱. کلروفیل کل و کاروتنوئید

شوری روندی کاهش یافته در محتوای کلروفیل کل نشان داد. بیشترین کلروفیل کل در تیمار بدون شوری و ۲۰ پی پی ام نانو مس (۱/۷۸۶ میلی گرم در گرم وزن تازه) به دست آمد و کمترین مقدار آن به شوری ۱۱/۷ دسی زیمنس بر متر و ۱۰ پی پی ام نانو مس (۱/۴۱۷ میلی گرم در گرم وزن تازه) تعلق داشت. محلول پاشی نانو مس باعث افزایش کلروفیل گردید. تیمار ۲۰ پی پی ام نانو مس باعث افزایش پنج درصدی کلروفیل کل نسبت به تیمار بدون محلول پاشی نانو مس شد (شکل ۱). شوری ۱۱/۷ دسی زیمنس بر متر هم چنین باعث کاهش ۱۱ درصدی کاروتنوئید (۳/۲۶ میلی گرم در گرم وزن تازه) نسبت به تیمار بدون شوری (۳/۶۸ میلی گرم در گرم وزن تازه) شد. هم چنین استفاده از نانو مس باعث افزایش کاروتنوئید نسبت به تیمار بدون محلول پاشی نانو مس شد. تیمار نانو مس ۲۰ پی پی ام باعث افزایش ۱۰ درصدی کاروتنوئید (۳/۶۹ میلی گرم در گرم وزن تازه) نسبت به تیمار بدون محلول پاشی نانو مس (۳/۳۱ میلی گرم در گرم وزن تازه) شد (شکل ۲).

۳-۲. محتوای نسبی آب برگ

شوری باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ شد، به طوری که شوری ۱۱/۷ دسی زیمنس بر متر (۵۷/۶۱ درصد) باعث کاهش ۳۰ درصدی محتوای نسبی آب برگ نسبت به تیمار بدون شوری (۸۲/۸۵ درصد) شد. تیمار با نانو مس تاثیر معنی داری بر محتوای نسبی آب برگ نداشت (شکل ۳).

۳-۳. پرولین

افزایش سطح نمک و محلول پاشی با نانو مس، هر دو، روندی افزایشی در محتوای پرولین را باعث شدند. بیشترین پرولین به شوری ۱۱/۷ دسی زیمنس بر متر و ۲۰ پی پی ام نانو مس (۱۴/۰۹ میکرومول در گرم وزن تازه) و کمترین میزان آن به تیمار فاقد شوری و عدم محلول پاشی نانو مس (۵/۱۴ میکرومول در گرم وزن تازه) اختصاص داشت. محلول پاشی با نانو مس ۲۰ پی پی ام، میزان پرولین را ۴۶ درصد نسبت به تیمار شاهد نانو مس افزایش داد. در شوری ۱۱/۷ دسی زیمنس بر متر، اما، نانو مس (۲۰ پی پی ام) پرولین را هشت درصد افزایش داد. در همین سطح نمک (۱۱/۷ دسی زیمنس بر متر)، عدم

دستگاه سطح برگ سنج^۱ شاخص سطح برگ محاسبه و بر حسب میلی متر مربع گزارش شد. قطر ساقه با استفاده از کولیس دیجیتالی سنجش و بر حسب میلی متر گزارش شد. هم چنین تعداد برگ موجود در ۵۰ سانتی متر انتهایی شاخه در هر بوته شمارش گردید (Karnosky et al., 1996, Zarei et al., 2016).

۲-۸. فلورسانس کلروفیل

برای اندازه گیری فلورسانس کلروفیل از دستگاه کلروفیل فلوریمتر^۲ (مدل A Pocket LTD Hansatech) استفاده شد. برگ های گیاه جهت سازگاری به تاریکی به وسیله گیره های مخصوص از تابش نور محافظت شدند. بعد از گذشت ۱۵ دقیقه سنسور دستگاه داخل گیره ها قرار داده و میزان Fv/Fm ثبت شد. این نسبت نشان دهنده میزان بازدهی فتوسنتزی فتوسیستم دو (نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس حداکثر) می باشد (Baker, 2008).

۲-۹. واکاوی آماری داده ها

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار (هر تکرار شامل سه گلدان) اجرا شد. فاکتورها شامل آبیاری با آب شور (صفر، ۳/۹، ۷/۸ و ۱۱/۷ دسی زیمنس بر متر) و نانو مس (صفر، ۱۰ و ۲۰ میلی لیتر در لیتر) بود. نرمال بودن داده ها با روش شاپیرو ویلک^۳ صورت گرفت. آزمون دانکن برای مقایسه میانگین (P < 0.01, 0.05) انجام شد. آنالیز آماری داده ها با نرم افزار SAS Ver.9.4 انجام شد. هم چنین تصاویر با کمک برنامه EXCEL 2016 ترسیم شدند.

۳. نتایج

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش شوری و نانو مس بر کلروفیل کل، پرولین، پروتئین و فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در سطح احتمال یک درصد معنی دار می باشد و اثر اصلی شوری و نانو مس بر کاروتنوئید در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۲).

1. Leaf Area Meter
2. Fluorimeter Chlorophyll
3. Shapiro-Wilk

محلول‌پاشی نانومس و محلول‌پاشی با نانومس ۲۰ پی‌پی‌ام، پرولین را به ترتیب ۶۰ و ۳۳ درصد افزایش دادند (شکل ۴).

Table 2: The analysis of variance of salinity and copper nanoparticle on biochemical characteristics of moringa plant

SOV	df	MS				
		Total chlorophyll	Carotenoid	Proline	Protein	Superoxidase activity
Salinity	3	0.2309**	0.376**	96.09**	0.33383**	4275.32**
Nano Cu	3	0.0127**	0.314**	10.07**	0.05921**	27.01**
Salinity × Nano Cu	9	0.0028**	0.015 ^{ns}	1.73**	0.00904**	11.50**
Error	32	0.0002	0.038	0.10	0.00002	1.31
% CV		0.81	5.62	3.27	1.44	2.77

** , * and ns respectively indicate significance at 5%, 1% level and non-significance with Duncan's test

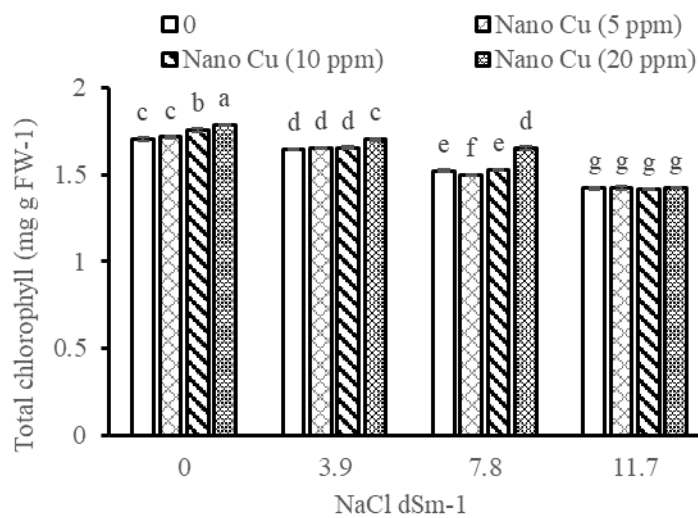


Fig. 1: The interaction of salinity and copper nanoparticle on total chlorophyll of Moringa leaf. Values are the average of three repetitions and the same letters indicate no significant difference with Duncan test ($p < 0.01$)

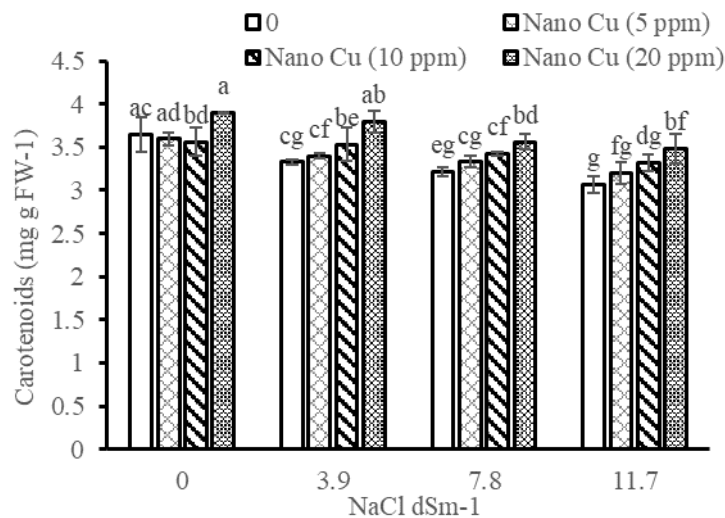


Fig. 2: The interaction of salinity and copper nanoparticle on carotenoid of Moringa. Values are the average of three repetitions and the same letters indicate no significant difference with Duncan test ($p < 0.01$)

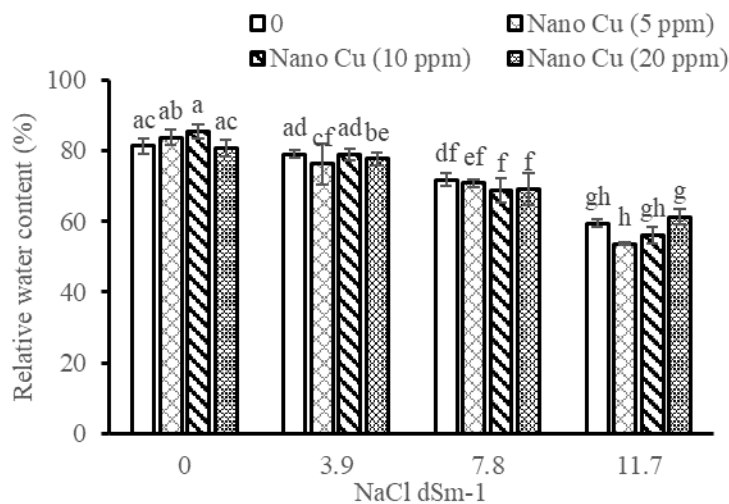


Fig. 3: The interaction of salinity and copper nanoparticle on relative water content of Moringa. Values are the average of three repetitions and the same letters indicate no significant difference with Duncan test ($p < 0.01$)

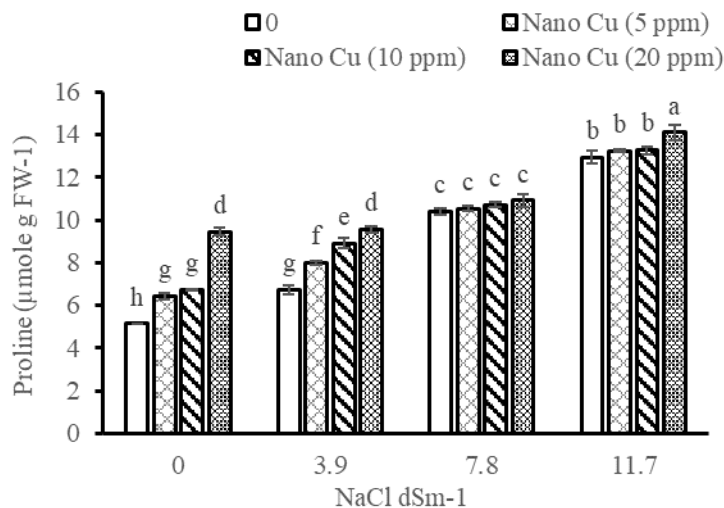


Fig. 4: The interaction of salinity and copper nanoparticle on proline content of Moringa. Values are the average of three repetitions and the same letters indicate no significant difference with Duncan test ($p < 0.01$)

افزایش سطح نمک و میزان محلول پاشی با نانو مس، هر دو، باعث افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز می شود. بیشترین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در شوری ۱۱/۷ دسی زیمنس بر متر و محلول پاشی ۲۰ پی پی ام از نانو مس (۶۶/۸ واحد در گرم وزن تازه) به دست آمد و کمترین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در غیاب نمک با محلول پاشی ۲۰ پی پی ام نانو مس (۱۸/۸ واحد در گرم وزن تازه) مشاهده شد. نمک ۱۱/۷ دسی زیمنس بر متر همراه با ۲۰ پی پی ام از نانو مس نیز، فعالیت سوپراکسید دیسموتاز را ۱۰ درصد افزایش داد (شکل ۶).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس بر ویژگی های مورفولوژیک گیاه مورینگا نشان داد که برهمکنش شوری و نانو مس بر وزن تازه و فلورسانس کلروفیل در سطح احتمال یک درصد معنی دار

۳-۴. محتوای پروتئین و فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز باتوجه به یافته های تحقیق حاضر، افزایش نمک باعث کاهش پروتئین شد، ولی استفاده از نانو مس باعث افزایش پروتئین گردید. بیشترین (۰/۶۸۴ میلی گرم در گرم وزن تازه) و کمترین (۰/۱۰۵ میلی گرم در گرم وزن تازه) میزان پروتئین در حضور ۲۰ پی پی ام نانو مس و سپس در شوری ۱۱/۷ دسی زیمنس بر متر و محلول پاشی با پنج پی پی ام نانو مس مشاهده شد. در غیاب نمک، محلول پاشی با ۲۰ پی پی ام نانو مس، میزان پروتئین را ۴۰ درصد افزایش داد. ترکیب تیماری نمک ۱۱/۷ دسی زیمنس بر متر به همراه محلول پاشی ۲۰ پی پی ام نانو مس، پروتئین را تا ۱۶ درصد افزایش داد (شکل ۵). نتایج مربوط به فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز نشان داد که

می‌باشد و اثر ساده شوری و نانومس بر وزن خشک و سطح برگ در سطح احتمال یک‌درصد معنی‌دار می‌باشد و فقط اثر ساده شوری بر محتوای نسبی آب برگ در سطح احتمال یک‌درصد معنی‌دار شد (جدول ۳).

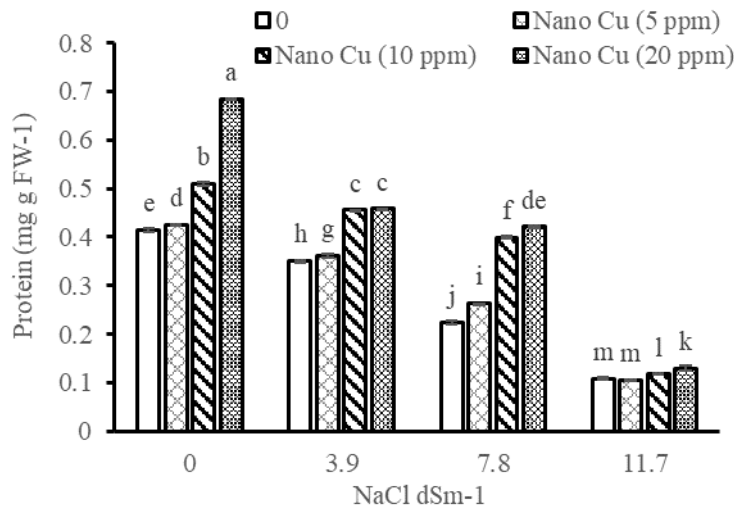


Fig. 5: The interaction of salinity and copper nanoparticle on protein of Moringa. Values are the average of three repetitions and the same letters indicate no significant difference with Duncan test ($p < 0.01$).

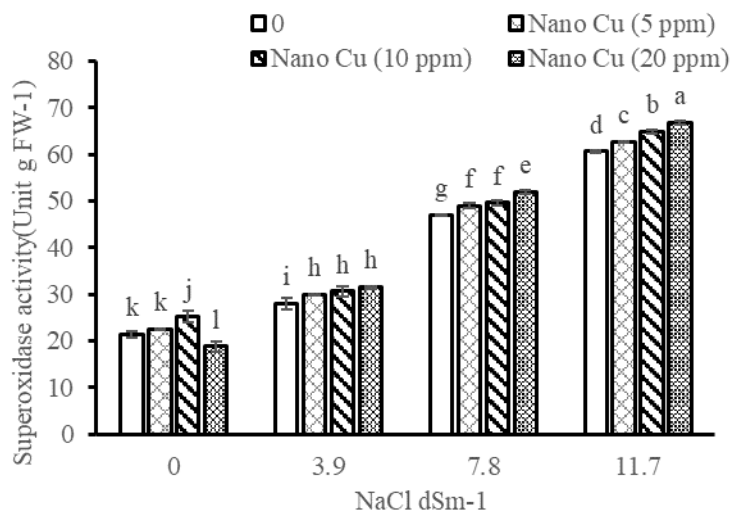


Fig. 6: The interaction of salinity and copper nanoparticle on SOD activity of Moringa. Values are the average of three repetitions and the same letters indicate no significant difference with Duncan test ($p < 0.01$).

Table 3: The analysis of variance of salinity and copper nanoparticle on morphological characteristics of moringa plant

SOV	df	MS						
		Leaf area	Stem diameter	Leaf number	Fv/Fm	Relative water content	Dry weight	Fresh weight
Salinity	3	66625.57**	35.68**	72.22**	0.0699**	1455.08**	0.0099**	0.0972**
Nano Cu	3	7872.76**	9.53**	0.83 ns	0.0022**	6.77 ns	0.0052**	0.0080**
Salinity × Nano Cu	9	694.16 ns	1.89**	2.57 ns	0.0004**	17.65 ns	0.0002 ns	0.0006**
Error	32	364.37	0.62	3.10	0.0001	20.14	0.0002	0.0001
% CV		7.09	6.34	10.02	1.30	6.22	9.18	2.61

** , * and ns respectively indicate significance at 5%, 1% level and non-significance with Duncan's test

نانومس، وزن تر شاخساره را ۹/۴ درصد نسبت به تیمار فاقد نانومس افزایش داد. در شوری ۱۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر نیز محلول‌پاشی نانومس، وزن تر شاخساره را تا ۲۲ درصد افزایش داد. تیمار نانو مس ۱۰ پی‌پی‌ام باعث افزایش ۲۷ درصدی وزن خشک شاخساره (۰/۱۶ کیلوگرم) نسبت به عدم محلول‌پاشی نانومس (۰/۱۱ کیلوگرم) شد (شکل ۷ و ۸).

۳-۵. وزن تر و خشک شاخساره

باتوجه به نتایج، کم‌ترین وزن تر و خشک شاخساره به گیاهان تیمار شده با ۱۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر کلرید سدیم و عدم محلول‌پاشی با نانو مس (به ترتیب ۰/۳۱ و ۰/۰۸ کیلوگرم) اختصاص داشت. محلول‌پاشی با نانو مس باعث افزایش وزن تر و خشک شاخساره گردید. در غیاب نمک، محلول‌پاشی با

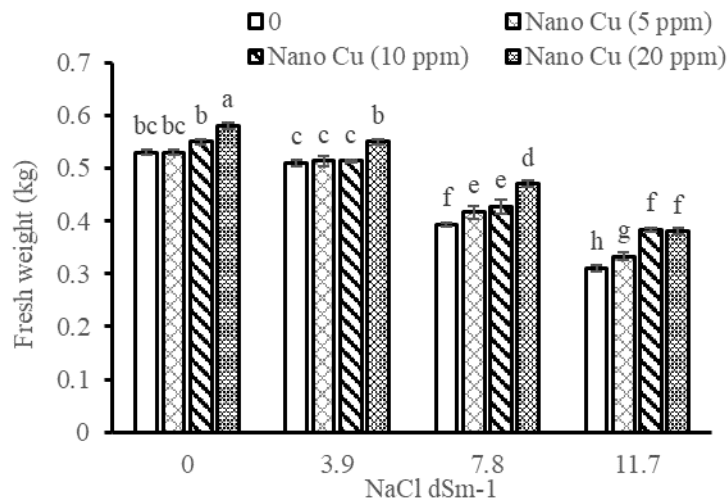


Fig. 7: The interaction of salinity and copper nanoparticle on fresh weight of Moringa. Values are the average of three repetitions and the same letters indicate no significant difference with Duncan test ($p < 0.01$).

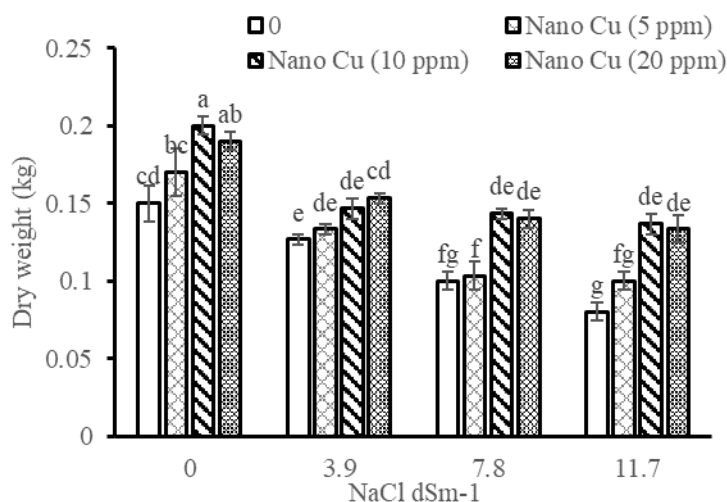


Fig. 8: The interaction of salinity and copper nanoparticle on dry weight of Moringa. Values are the average of three repetitions and the same letters indicate no significant difference with Duncan test ($p < 0.01$).

در شرایط فاقد نمک به ۱۷۵/۶۴ میلی‌متر مربع در بیش‌ترین سطح نمک رسید. استفاده از نانومس باعث افزایش سطح برگ گردید به طوری که تیمار گیاهان با ۲۰ پی‌پی‌ام از نانومس، افزایش ۲۶ درصدی سطح برگ نسبت به عدم تیمار نانو مس (از ۲۳۷/۳ به ۲۹۹/۸ میلی‌متر مربع) را باعث شد (شکل ۹).

۳-۶. سطح برگ

یافته‌های ما، حاکی از تاثیر معنی‌دار شوری و سطوح نانومس بر سطح برگ گیاه مورینگا بود. شوری باعث کاهش سطح برگ (کاهش ۴۹ درصدی در شوری ۱۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر) گردید. به طوری که سطح برگ گیاهان از ۳۴۶/۷۷ میلی‌متر مربع

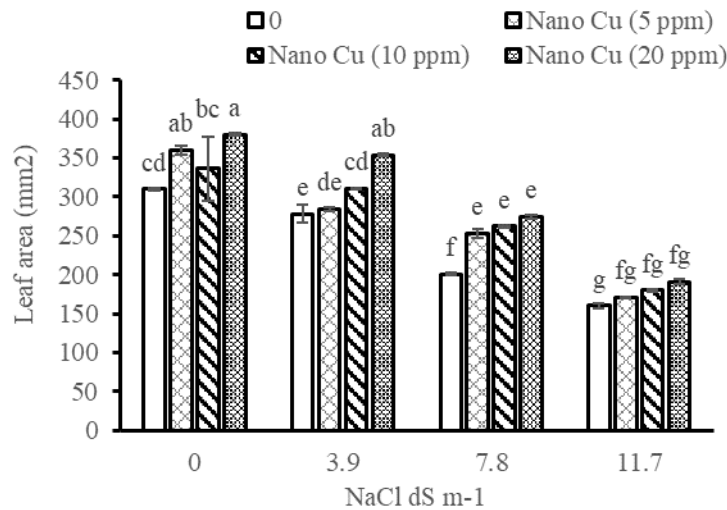


Fig. 9: The interaction of salinity and copper nanoparticle on leaf area of Moringa. Values are the average of three repetitions and the same letters indicate no significant difference with Duncan test ($p < 0.01$).

دسی‌زیمنس بر متر و عدم محلول پاشی نانومس (۹/۲۷ میلی‌متر) به‌دست‌آمد. در شوری ۱۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر، محلول پاشی با نانومس قطر شاخساره را ۱۴ درصد افزایش داد (شکل ۱۰).

۳-۷. قطر شاخساره

باتوجه به نتایج، با افزایش نمک در آب آبیاری قطر شاخساره کاهش یافت. بیش‌ترین قطر شاخساره در شوری ۳/۹ دسی‌زیمنس بر متر و تیمار نانو مس ۲۰ میلی‌گرم در لیتر (۱۶/۱۳ میلی‌متر) و کم‌ترین قطر شاخساره در شوری ۱۱/۷

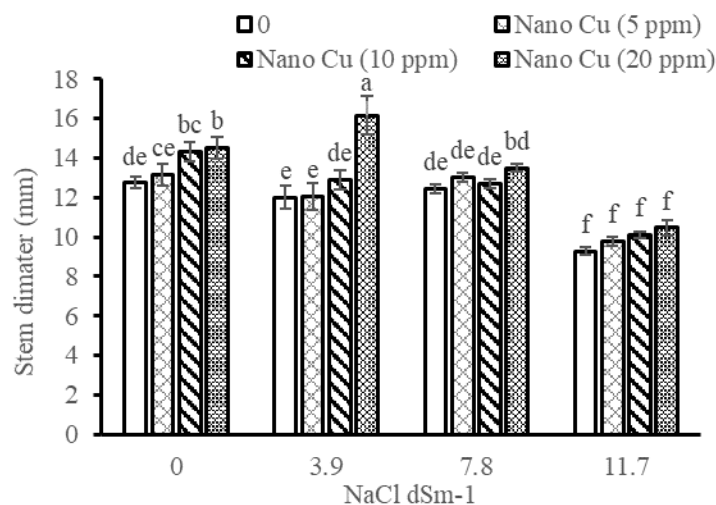


Fig. 10: The interaction of salinity and copper nanoparticle on stem diameter of Moringa. Values are the average of three repetitions and the same letters indicate no significant difference with Duncan test ($p < 0.01$).

در سطوح شوری ۳/۹، ۷/۸ و ۱۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده‌شد که از نظر آماری این سه تیمار اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (شکل ۱۱).

۳-۸. تعداد برگ

بر اساس یافته‌های این تحقیق، شوری با کاهش (تا ۲۲ درصد) و تیمار با نانو مس با افزایش تعداد برگ همراه بود. بیش‌ترین تعداد برگ در تیمار فاقد نمک (۲۱/۲۵ عدد) و کم‌ترین میزان

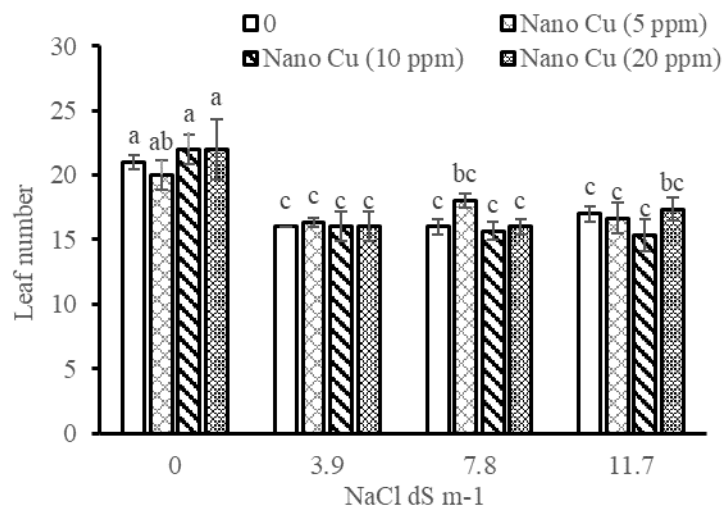


Fig. 11: The interaction of salinity and copper nanoparticle on leaf number of Moringa. Values are the average of three repetitions and the same letters indicate no significant difference with Duncan test ($p < 0.01$).

متر و عدم محلول‌پاشی با نانو مس (۰/۶۲) مشاهده شد. محلول‌پاشی با نانو مس در شرایط فاقد نمک و نمک ۱۱/۷ دسی‌زیمنس برتر به ترتیب افزایش یک و ۵/۴ درصدی در نسبت مذکور را باعث گردید. در گیاهان آبیاری شده با نمک ۱۱/۷ دسی‌زیمنس برتر، محلول‌پاشی و عدم محلول‌پاشی با نانو مس مقدار Fv/Fm را به ترتیب ۱۹ و ۲۳ درصد کاهش داد (شکل ۱۲).

۳-۹. فلورسانس کلروفیل (Fv/Fm)

نتایج مطالعه برهمکنش نمک و نانو مس بر شاخص Fv/Fm نشان داد، افزایش سطح نمک با کاهش در این نسبت همراه است و محلول‌پاشی نانو مس باعث افزایش نسبت مذکور می‌گردد. بیش‌ترین Fv/Fm (۰/۸۱) در شرایط غیاب نمک، در گیاهان محلول‌پاشی شده با ۲۰ پی‌پی‌ام نانو مس به دست آمد. کم‌ترین مقدار این نسبت نیز در شوری ۱۱/۷ دسی‌زیمنس بر

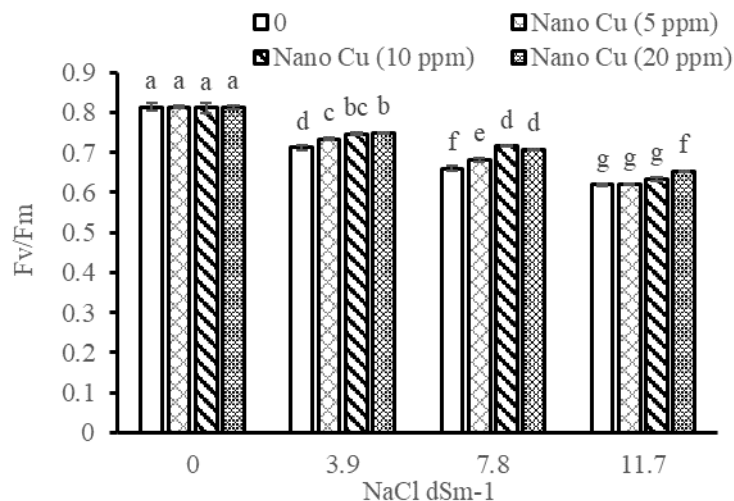


Fig. 12: The interaction of salinity and copper nanoparticle on Fv/Fm of Moringa. Values are the average of three repetitions and the same letters indicate no significant difference with Duncan test ($p < 0.01$).

که ترکیبات نانو مس سبب بهبود اثرات تنش شوری بر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی گردید. یکی از تغییراتی که در اغلب تنش‌های زیستی و غیرزیستی رخ می‌دهد، تولید گونه‌های واکنشگر اکسیژن است که سبب تخریب کلروفیل و

۴. بحث

در پژوهش حاضر، شوری موجب کاهش معنی‌دار در میزان کلروفیل و کارتنوئید برگ گیاه مورینگا شد؛ این درحالی بود

نانواکسید آهن و روی منجر به افزایش ۱۱ درصدی این صفت شده است (Fathi et al., 2017).

در این تحقیق شوری باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ شد؛ اما تیمار با نانومس تأثیر معنی‌داری بر محتوای نسبی آب برگ نداشت. محتوای نسبی آب، تعادل بین میزان عرضه آب نسبی برگ و میزان تعرق را نشان می‌دهد. کاهش محتوای نسبی آب می‌تواند در نتیجه کاهش دسترسی به آب در اثر افزایش پتانسیل اسمزی ناشی از وجود نمک (Kaya et al., 2006) و در نتیجه به هم خوردن تعادل بین دو فرآیند جذب آب و تعرق باشد (Farkhonded et al., 2012). تیمار با نانوذرات مس، اثر مثبتی بر شاخص پایداری کلروفیل و محتوای پتاسیم برگ گیاهان داشته و به طور مطلوبی هدایت روزنه‌ای را افزایش داده است (Ahmed et al., 2021). احتمالاً اثر نانوذرات مس مرتبط با نقش عنصر مس در تشکیل کلروفیل، متابولیسم کربوهیدرات و نیتروژن، فعال کردن آنزیم‌های گیاهی و در نهایت بهبود محتوای نسبی آب برگ بوده است (Adrees et al., 2015).

باتوجه به نتایج، با افزایش سطح تنش شوری میزان پرولین در گیاه مورینگا افزایش یافت. همسو با تحقیقات ما، افزایش در میزان پرولین در گیاه مورینگا پرگرینا^۱ (Soliman et al., 2015)، انگور^۲ (Bybordi, 2012) و چغندر قند^۳ (Mirza Masoumzadeh et al., 2012) در واکنش به شوری گزارش شده است. در گیاه چای نیز محلول‌پاشی با ترکیب مس با افزایش پرولین همراه بوده است (Ghanbari et al., 2022). تجمع پرولین به دلیل افزایش در فعالیت آنزیم‌های اورنیتین آمینوترانسفراز و پرولین ۵- کربوکسیلاتریداکتاز (آنزیم‌های درگیر در بیوسنتز پرولین) و کاهش در فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز پرولین و دی‌هیدروژناز پرولین تحت شرایط تنش شوری اتفاق می‌افتد (Farkhonded et al., 2012; Ozturk et al., 2012). پرولین از آنزیم‌ها در برابر غلظت بالای یون‌های فلزی سمی در سلول محافظت می‌کند. از دیگر نقش‌های پرولین، سم زدایی از گونه‌های فعال اکسیژن و حفظ پایداری غشای سلولی است (Filippou et al., 2014). در این تحقیق،

ماکرومولکول‌ها در گیاه می‌گردد (Couee et al., 2006). به عبارتی فتوسنتز به عنوان یک مسیر متابولیک مهم در گیاهان عالی و رنگیزه‌های مرتبط به آن، از اهداف مورد تهدید طی تنش شوری محسوب می‌شود (Jamil and Rha, 2013). در غلظت بالای املاح، به علت اثری که شوری بر پروتئین‌ها دارند، اتصال بین کلروفیل و پروتئین‌های کلروپلاستی سست شده و کلروفیل‌ها تخریب می‌گردند (Yang et al., 2019). کاروتنوئیدها می‌توانند سیستم دریافت کننده نور دستگاه فتوسنتزی را از گزند مولکول‌های اکسیژن رادیکالی حفاظت نمایند. از طرفی کاروتنوئیدها از طریق مکانیسمی که چرخه گزانتوفیل نامیده می‌شود، باعث مصرف اکسیژن و حفاظت از کلروفیل در مقابل فتواکسیداسیون می‌شوند (Koyro, 2006). نانوذرات می‌توانند به کلروپلاست گیاه نفوذ کرده و به مرکز واکنش فتوسیستم II برسند و انتقال الکترون‌ها و جذب نور را در کلروپلاست‌های تحت تنش افزایش دهند و در نتیجه کارایی فتوسنتزی و رشد گیاه را بهبود بخشند (Maity et al., 2018; Rasheed et al., 2022). مهمترین و بیش‌ترین پروتئین مبتنی بر مس، پلاستوسیانین در کلروپلاست است که به انتقال الکترون در لومن تیلاکوئید کمک می‌کند که واسطه فتوسنتز در گیاهان است (Iqbal et al., 2018). علاوه بر این، باتوجه به نقش ساختاری مس در آنزیم‌های گیاهی، این عنصر بر متابولیسم گیاه تأثیرگذار است (Broadley et al., 2012; Lwalaba et al., 2020). نانوذرات فلزی هم‌چنین می‌توانند کارایی سیستم‌های فتوسنتزی را بهبود بخشند، زیرا کلروفیل در مرکز واکنش با نانوذرات فلزی ترکیب می‌شود و سیستمی ترکیبی را تشکیل می‌دهد که الکترون‌های برانگیخته بیشتری تولید می‌کند (Govorov and Carmeli, 2007; Essa et al., 2021). شوری با کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی در مورینگا پرگرینا همراه بوده است؛ در حالی که گیاهان تیمار شده با نانواکسید روی و آهن، افزایش در رنگدانه‌های فتوسنتزی را نشان دادند (Soliman et al., 2015). تیمار با نانو کودهای مس در شرایط کمبود آب آبیاری در گیاه چای، با افزایش معنی‌دار در کلروفیل کل همراه بوده است (Ghanbari et al., 2022). هم‌چنین نانو مس (۵۰ میلی‌گرم در لیتر) باعث افزایش محتوای کاروتنوئید در گیاه پنیرک شده است (Nasiri et al., 2022). در ذرت نیز شوری سبب کاهش ۳۶ درصدی کلروفیل کل و محلول‌پاشی با

1. *Moringa peregrina*
2. *Vitis venifera*
3. *Beta vulgaris*

مس، تولید آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز، برای کاهش تنش اکسیداتیو ناشی از رادیکال‌های آزاد، افزایش می‌یابد (Shaw et al., 2014). در بررسی تأثیر نانوذرات مس بر گیاه گوجه‌فرنگی تحت تنش شوری نیز، تفاوت بین تیمارها تنها در فعالیت سوپراکسید دیسموتاز بود (Hernández-Hernández et al., 2018). به‌طور مشابه، گزارش کردند که نانوذرات مس باعث افزایش ۲۰ درصدی فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در برگ‌های ذرت نسبت به شاهد شد (Choudhary et al., 2017). در گونه مورینگا پرگرینا نیز شوری با کاهش محتوای پروتئین و افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان همراه بود. گیاهان تیمار شده با نانوآکسید روی و آهن افزایش در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نشان دادند (Soliman et al., 2015).

مطالعه حاضر نشان می‌دهد که شوری بر پارامترهای رشدی مورینگا در مقایسه با گیاهان شاهد تأثیر نامطلوبی داشته و سبب کاهش وزن تر و خشک شاخساره شد؛ از طرفی کاربرد نانو مس باعث بهبود صفات مذکور گردید. به گزارش Soliman et al., 2015 گیاهان مورینگا پرگرینا (*Moringa peregrina*) تحت شوری، کاهش ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد برگ، تعداد شاخه، وزن تر و خشک اندام هوایی را نشان دادند که با یافته‌های ما مطابقت دارد. کاهش پارامترهای مورفولوژیکی تحت تنش شوری ممکن است به‌صورت مستقیم یا غیر مستقیم، تقسیم و بزرگ شدن سلولی را مهار کند (Riaihinia and Danaeipour, 2022). در واقع، شوری با افزایش یون سدیم، در بخش‌های هوایی و بخصوص در ریشه، کاهش پتانسیل اسمزی را بر گیاه تحمیل می‌کند که سبب کاهش جذب آب و آسیب به ریشه‌ها و در نتیجه کاهش رشد و عملکرد می‌شود و احتمالاً همین موضوع باعث کاهش وزن تر و خشک گیاه می‌گردد (Yang and Guo, 2018, Moradbeygi et al., 2020). مس از جمله عناصری است که برای رشد و نمو طبیعی گیاهان ضروری است. این نقش مس به حضور آن در مسیرهای سیگنال‌دهی هورمونی نسبت داده شده است (Singh et al., 2017). محلول‌پاشی با نانوذرات مس در گیاهان مواجه شده با نمک در گوجه‌فرنگی منجر به افزایش قطر ساقه (هشت درصد)، وزن تر اندام هوایی (۲۲ درصد) و وزن خشک اندام هوایی (۲۴ درصد) نسبت به شاهد

تیمار با نانو مس با افزایش میزان پرولین همراه بود که همسو با تحقیق Saljoui and Ranjbar (2019) در گیاه ریحان است. این افزایش احتمالاً ناشی از تحریک سنتز پرولین از گلوتامیک اسید، کاهش جابجایی آن در آوند آبکش، جلوگیری از اکسیداسیون آن در طی تنش و اختلال در سنتز برخی پروتئین‌ها می‌باشد (Llamas et al., 2000).

باتوجه به نتایج، با افزایش شوری میزان پروتئین کاهش یافت؛ ولی استفاده از محلول‌پاشی نانو مس باعث افزایش میزان پروتئین گردید. شوری بیان ژن و الگوی پروتئین را در مراحل رشد گیاه تغییر می‌دهد و محتوای پروتئین محلول، شاخص مهمی در ارزیابی وضعیت فیزیولوژیکی گیاهان است (Noohpishheh et al., 2021). کاهش محتوای پروتئین تحت تنش شوری، احتمالاً به دلیل افزایش فعالیت پروتئاز و تخریب پروتئین تحت تأثیر رادیکال‌های آزاد است (Pasandi pour et al., 2014). نانوذرات با کاهش میزان رادیکال‌های آزاد و حفاظت از مولکول‌های مرتبط با پروتئین، شرایط را برای افزایش پروتئین آماده می‌کنند (Azad et al., 2018). افزایش پارامترهای رشد در گیاهان در نتیجه استفاده از مس، به دلیل نقش این عنصر در تشکیل پروتئین‌های تنظیم‌کننده و سیگنال دهی هورمونی نیز نسبت داده شده است (Singh et al., 2017).

نتایج ما نشان داد که افزایش شوری باعث افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز می‌شود. تنش‌های اکسیداتیو مانند شوری عامل اصلی تولید گونه‌های اکسیژن فعال هستند. سنتز ترکیبات آنتی‌اکسیدانی در گیاهان یکی از سازوکارهای دفاعی برای مهار سنتز رادیکال‌های آزاد است (Ahmad et al., 2017; Rastogi et al., 2017). سوپراکسید دیسموتاز، مؤثرترین متالوآنزیم درون سلولی است که نقش اساسی در سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی و تغییر موازات آنیون‌های سوپراکسید به دی اکسیژن^۱ و پراکسید هیدروژن^۲ را کاتالیز می‌کند (Ma et al., 2016). در این میان، مس نیز، به‌عنوان بخشی از ایزوفرم سوپراکسید دیسموتاز، ایفای نقش می‌کند (Lwalaba et al., 2020). نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر نشان داد تیمار نانومس در طی تنش شوری باعث افزایش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز شد؛ احتمالاً، از طریق کاربرد نانوذرات

1. O₂
2. H₂O₂

گردید (Pérez-Labrada *et al.*, 2019). در گیاه ذرت در شرایط مشابه افزایش در طول ریشه (۴۳/۵۲ درصد)، طول ساقه (۴۴/۰۶ درصد)، وزن تر ساقه (۶۶/۰۵ درصد) و وزن خشک ساقه (۴۷/۶۹ درصد) مشاهده شد (Noman *et al.*, 2019). تنش شوری از طریق کاهش جذب عناصر غذایی، باعث کند شدن آهنگ رشد برگ و در نهایت مرگ برگ می‌گردد. در چنین شرایطی سطح برگ کاهش می‌یابد (Sadeghi Lotfabad *et al.*, 2010). مطالعه حاضر نشان داد که شوری سبب کاهش سطح برگ مورینگا شد که با تأثیر منفی شوری بر مشخصه‌های رشدی در گیاهان ختمی^۱ (Hashemi and Shahani, 2019)، آویشن باغی^۲ (Hosseini *et al.*, 2017) و مرزه^۳ (Saeidinia *et al.*, 2023) مطابقت دارد. حضور مس در برنامه کودی گیاهان با افزایش تقسیم سلولی، افزایش طول اندام‌ها و در نتیجه افزایش سطح برگ همراه است (Soliman *et al.*, 2015). اثر تحریکی نانوذرات مس می‌تواند ناشی از انتقال آن‌ها به نقاط مرستمی باشد که با تعدیل ژن‌های مرتبط با فعالیت اکسین، نقش مهمی در تقسیم و طویل شدن سلول در نقاط رشدی ایفا می‌کنند (Da Costa and Sharma, 2016). در تحقیق ما، کاربرد نانو مس باعث بهبود سطح برگ گردید. در گیاه ذرت نیز، کاربرد نانوذره مس در خاک شور، افزایش طول ریشه، طول ساقه و وزن تر برگ را به همراه داشته است (Noman *et al.*, 2021).

عامری و همکاران: تأثیر نانومس بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و رشدی...

سنجش کلروفیل فلورسانس برای اندازه‌گیری آسیب شوری مورد استفاده قرار می‌گیرد (Toscano *et al.*, 2019). در پژوهش حاضر تنش شوری سبب کاهش فلورسانس کلروفیل شد. تنش شوری راندمان فتوسنتزی گیاه را از طریق محدود کردن روزنه‌ها، از دست دادن کلروفیل، مهار فعالیت آنزیم روبیسکو و تخریب پروتئین‌های غشایی دستگاه فتوسنتزی تحت تأثیر قرار می‌دهد (Prasad *et al.*, 2013). نقش مهم مس به‌عنوان عنصر غذایی به‌دلیل شرکت آن در ساختار آنزیم‌ها و مشارکت در نقل و انتقال الکترون‌ها در واکنش‌های اکسیداسیون- احیا در دستگاه فتوسنتزی می‌باشد (Kabata-Pendias and

۱. *Hibiscus sabdariffa*
۲. *Thymus vulgaris* CV Varico 3
۳. *Satureja hortensis*

۵. نتیجه‌گیری کلی

تنش شوری سبب کاهش پارامترهای بیوشیمیایی و آنتی‌اکسیدانی در گیاه مورینگا شد. محلول‌پاشی نانومس در شرایط تنش شوری بر صفات اندازه‌گیری شده در گیاه مورینگا تأثیرگذار بود. شوری، کاهش در وزن خشک شاخساره، محتوای کلروفیل کل، محتوای نسبی آب برگ، پروتئین و افزایش در محتوای پرولین و فعالیت سوپراکسیددیسموتاز را به همراه داشت. از بین تیمارهای نانومس، در شرایط شوری ۱۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر، تیمار ۲۰ میلی‌گرم در لیتر نانومس بیش‌ترین تأثیر مثبت معنی‌دار را بر صفات مورد بررسی داشت. در مجموع می‌توان نتیجه‌گرفت که در این پژوهش محلول‌پاشی نانوذرات مس در بالاترین سطح به‌کاررفته (۲۰ میلی‌گرم در لیتر) توانست نقش موثری در کاهش اثرات سوء تنش شوری در گیاه مورینگا داشته و سبب بهبود ویژگی‌های بیوشیمیایی، آنتی‌اکسیدانی و رشدی این گیاه در شرایط شوری شود.

- Abbaspour, H. (2012). Effect of salt stress on lipid peroxidation, antioxidative enzymes, and proline accumulation in pistachio plants. *Journal of Medicinal Plants Research*, 6(3), 526-529. <http://dx.doi.org/10.5897/JMPR11.1449>
- Adrees, M., Ali, S., Rizwan, M., Ibrahim, M., Abbas, F., Farid, M., Ziaur-Rehman, M., Irshad, M. K. and harwana, S. A. (2015). The effect of excess copper on growth and physiology of important food crops: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 8148–8162. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4496-5>
- Ahmed, F., Javed, B., Razzaq, A. and Mashwan, Z. R. (2021). Applications of copper and silver nanoparticles on wheat plants to induce drought tolerance and increase yield. *The Institution of Engineering and Technology Nanobiotechnology*, 15, 68 -78. <https://doi.org/10.1049/nbt2.12002>
- Ahmad, P., Ahanger, M. A., Alyemeni, M. N., Wijaya, L., Egamberdieva, D., Bhardwaj, R. and Ashraf, M. (2017). Zinc application mitigates the adverse effects of NaCl stress on mustard [*Brassica juncea* (L.) Czern and Coss] through modulating compatible organic solutes, antioxidant enzymes, and flavonoid content. *Journal of Plant Interactions*, 12, 429-437. <https://doi.org/10.1080/17429145.2017.1385867>
- Azad, H., Fakheri Barat, A., Mehdinezhad, N. and Parmoon, G. (2018). The study the efficacy of drought stress and foliar application of nano iron chelated on antioxidant enzymes activity and yield flower in plant in chamomile genotypes (*Matricaria Chamomilla* L.). *Journal of Plant Process and Function*, 7(26), 223-237. <https://sid.ir/paper/397123/en> (In Persian)
- Baker, N. R. (2008). Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 89-113. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092759>
- Bates, L. S., Waldren, R. P. and Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39(1), 205-207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72, 248-254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- Broadley, M., Brown, P., Cakmak, I., Rengel, Z. and Zhao, F. (2012). Function of nutrients: micronutrients. In *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (pp. 191-248). Academic Press, London. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00007-8>
- Bybordi, A. (2012). Study effect of salinity on some physiologic and morphologic properties of two grape cultivars. *Life Science Journal*, 9(4), 1092-1101. <http://www.dx.doi.org/10.7537/marslsj090412.166>
- Choudhary, R. C., Kumaraswamy, R. V., Kumari, S., Sharma, S. S., Pal, A., Raliya, R., Biswas, P. and Saharan, V. (2017). Cu-chitosan nanoparticle boost defense responses and plant growth in maize (*Zea mays* L.). *Scientific Reports*, 7(1), 9754. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-08571-0>
- Couee, I., Sulmon, C., Gouesbet, G. and Amrani, A. (2006). Involvement of soluble sugars in reactive oxygen species balance and responses to oxidative stress in plants. *Journal of Experimental Botany*, 57(3), 449-459. <https://doi.org/10.1093/jxb/erj027>
- Da Costa, M. V. J. and Sharma, P. K. (2016). Effect of copper oxide nanoparticles on growth, morphology, photosynthesis, and antioxidant response in *Oryza sativa*. *Photosynthetica*, 54, 110-119. <https://doi.org/10.1007/s11099-015-0167-5>
- El-Fouly, M. M., Mobarak, Z. M. and Salama, Z. A. (2011). Micronutrients (Fe, Mn, Zn) foliar spray for increasing salinity tolerance in wheat *Triticum aestivum* L. *African Journal of Plant Science*, 5, 314-322. <https://academicjournals.org/journal/AJPS/article-full-text-pdf/2A523909639>
- Essa, H. L., Abdelfattah, M. S., Marzouk, A. S., Shedeed, Z., Guirguis, H. A. and El-Sayed, M. M. (2021). Biogenic copper nanoparticles from *Avicennia marina* leaves: Impact on seed germination, detoxification enzymes, chlorophyll content and uptake by wheat seedlings. *PLoS One*, 16(4), e0249764. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249764>
- Fantoukh, O. I., Albadry, M. A., Parveen, A., Hawwal, M. F., Majrashi, T., Ali, Z., Khan, S.I., Chittiboyina, A.G. and Khan, I. A. (2019). Isolation, synthesis, and drug interaction potential of secondary metabolites derived from the leaves of miracle tree (*Moringa oleifera*) against CYP3A4 and CYP2D6 isozymes. *Phytomedicine*, 60, 153010. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2019.153010>
- Farkhondeh, R., Nabizadeh, E. and Jalilnezhad, N. (2012). Effect of salinity stress on proline content, membrane stability and water relation in two sugar beet cultivars. *International Journal of Agricultural Science*, 2(5), 385-392. <http://www.inacj.com/attachments/sect>
- Fathi, A., Zahedi, M., Torabian, S. and Khoshgoftar, A. (2017). Response of wheat genotypes to foliar spray of ZnO and Fe₂O₃ nanoparticles under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, 40(10), 1376-1385. <https://doi.org/10.1080/01904167.2016.1262418>
- Fageria, N. K. (2011). *The use of nutrients in crop plants*. Jahad Daneshgahi Mashhad, Iran. (In Persian)
- Filippou, P., Bouchagier, P., Skotti, E. and Fotopoulos, V. (2014). Proline and reactive oxygen/nitrogen species metabolism is involved in the tolerant response of the invasive plant species *Ailanthus altissima* to drought and salinity. *Environmental and Experimental Botany*, 97, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.09.010>
- Gandji, K., Chadare, F. J., Idohou, R., Salako, V. K., Assogbadjo, A. E. and Glèlè, R. L. K. (2018). Status and utilisation of *Moringa oleifera* Lam: A review. *African Crop Science Journal*, 26, 137–156. <https://doi.org/10.4314/acsj.v26i1.10>
- Ghanbari, M., Mokhtassi-Bidgoli, A., Saran, P. T. S. and Mahaleh, R. M. L. (2022). Evaluation of leaf yield, physiological and biochemical characteristics of green tea (*Camellia sinensis* L.) in response to different irrigation regimes and foliar application of Cu and Zn nano-chelate. *Journal of Horticultural Plants Nutrition*, 5(1), 28-43. <https://doi.org/10.22070/hpn.2022.14601.1140>

- Govorov, A. O. and Carmeli, I. (2007). Hybrid structures composed of photosynthetic system and metal nanoparticles: plasmon enhancement effect. *Nano Letters*, 7(3), 620-625. <https://doi.org/10.1021/nl062528t>
- Hashemi, A. and Shahani, A. (2019). Effects of salt stress on the morphological characteristics, total phenol and total anthocyanin contents of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Plant Physiology Reports*, 24, 210-214. <https://doi.org/10.1007/s40502-019-00446-y>
- Hayat, K., Bundschuh, J., Jan, F., Menhas, S., Hayat, S., Haq, F., Shah, M. A., Chaudhary, H. J., Ullah, A., Zhang, D., Zhou, P. (2020). Combating soil salinity with combining saline agriculture and phytomanagement with salt-accumulating plants. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 50(11), 1085-1115. <https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1646087>
- Hernández-Fuentes, A. D., López-Vargas, E. R., Pinedo-Espinoza, J. M., Campos-Montiel, R. G., Valdés-Reyna, J. and Juárez-Maldonado, A. (2017). Postharvest behavior of bioactive compounds in tomato fruits treated with Cu nanoparticles and NaCl stress. *Applied Sciences*, 7(10), 980. <https://doi.org/10.3390/app7100980>
- Hernández-Hernández, H., González-Morales, S., Benavides-Mendoza, A., Ortega-Ortiz, H., Cadenas-Pliego, G. and Juárez-Maldonado, A. (2018). Effects of chitosan-PVA and Cu nanoparticles on the growth and antioxidant capacity of tomato under saline stress. *Molecules*, 23(1), 178. <https://doi.org/10.3390/molecules23010178>
- Hiscox, J. D. and Israelstam, G. F. (1979). A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Canadian Journal of Botany*, 57(12), 1332-1334. <https://doi.org/10.1139/b79-163>
- Hosseini, H., Mousavi-Fard, S., Fatehi, F. and Qaderi, A. (2017). Changes in phytochemical and morpho-physiological traits of thyme (*Thymus vulgaris* CV Varico 3) under different salinity levels. *Journal of Medicinal plants*, 16(61), 22-33(In Persian). <http://jmp.ir/article-1-1419-en.html>
- Iqbal, M. N., Rasheed, R., Ashraf, M. Y., Ashraf, M. A. and Hussain, I. (2018). Exogenously applied zinc and copper mitigate salinity effect in maize (*Zea mays* L.) by improving key physiological and biochemical attributes. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 23883-23896. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2383-6>
- Jamil, M. and Rha, E. S. (2013). NaCl stress-induced reduction in growth, photosynthesis and protein in Mustard. *Journal of Agricultural Science*, 5(9), 114-127. <http://dx.doi.org/10.5539/jas.v5n9p114>
- Kabata-Pendias, A. and Pendias, H. (1992). *Trace elements in soils and plants*. CRC Press, Boca Raton, USA. <https://doi.org/10.1201/9781420039900>
- Karnosky, D. F., Gagnon, Z. E., Dickson, R. E., Coleman, M. D., Lee, E. and Lsebrands, J. (1996) Changes in growth, leaf abscission, and biomass associated with seasonal tropospheric ozone exposures of *Populus tremuloides* clones and seedlings. *Canadian Journal of Forest Research*, 26, 23-37. <https://doi.org/10.1139/x26-003>
- Kaya, M. D., Okçu, G., Atak, M., Cıkılı, Y. and Kolsarıcı, Ö. (2006). Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *European Journal of Agronomy*, 24, 291-295. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.08.001>
- Khan, I., Saeed, Kh. and Idrees Khan, I. (2019). Nanoparticles: Properties, applications and toxicities. *Arabian Journal of Chemistry*, 7, 908-931. <https://doi.org/10.1016/j.arabj.2017.05.011>
- Kou, X., Li, B., Olayanju, J. B., Drake, J. M. and Chen, N. (2018). Nutraceutical or pharmacological potential of *Moringa oleifera* Lam. *Nutrients*, 10(3), 343. <https://doi.org/10.3390/nu10030343>
- Koyro, H. W. (2006). Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of the potential cash crop halophyte *Plantago coronopus* (L.). *Environmental and Experimental Botany*, 56, 136-146. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.02.001>
- Llamas, A., Ullrich, C. I. and Sanz, A. (2000). Cadmium effects on transmembrane electrical potential difference, respiration and membrane permeability of rice (*Oryza sativa*) roots. *Plant and Soil*, 219, 21-28. <https://doi.org/10.1023/A:1004753521646>
- Lowry, O. H., Rosebrough, N. J. and Rand, R. J. (1951). Protein measurement with the folinphenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*, 193, 265-275. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(19\)52451-6](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(19)52451-6)
- Lwalaba, J. L. W., Louis, L. T., Zvobgo, G., Richmond, M. E. A., Fu, L., Naz, S., Mwamba, M., Mundende, R. P. M. and Zhang, G. (2020). Physiological and molecular mechanisms of cobalt and copper interaction in causing phyto-toxicity to two barley genotypes differing in Co tolerance. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 187, 109866. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109866>
- Ma, J., Saleem, M. H., Yasin, G., Mumtaz, S., Qureshi, F. F., Ali, B., Ercisli, S., Alhag, S.K., Ahmed, A. E., Vodnar, D. C. and Chen, F. (2022). Individual and combinatorial effects of SNP and NaHS on morpho-physio-biochemical attributes and phytoextraction of chromium through Cr-stressed spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Frontiers in Plant Science*, 13, 973740. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.973740>
- Ma, X., Zhang, J. and Huang, B. (2016). Cytokinin-mitigation of salt-induced leaf senescence in perennial ryegrass involving the activation of antioxidant systems and ionic balance. *Environmental and Experimental Botany*, 125, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2016.01.002>
- Maity, A., Natarajan, N., Vijay, D., Srinivasan, R., Pastor, M. and Malaviya, D. R. (2018). Influence of metal nanoparticles (NPs) on germination and yield of oat (*Avena sativa*) and berseem (*Trifolium alexandrinum*). *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 88, 595-607. <https://doi.org/10.1007/s40011-016-0796-x>
- Mirza Masoumzadeh, B., Imani, A. A. and Khayamaim, S. (2012). Salinity stress effect on proline and chlorophyll rate in four beet cultivars. *Annals of Biological Research*, 3(12), 5453-5456. <http://scholarsresearchlibrary.com/AB>

- Moradbeygi, H., Jamei, R., Heidari, R. and Darvishzadeh, R. (2020). Investigating the enzymatic and non-enzymatic antioxidant defense by applying iron oxide nanoparticles in *Dracocephalum moldavica* L. plant under salinity stress. *Scientia Horticulturae*, 272, 109537. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109537>
- Mostofa, M. G., Rahman, M. M., Ansary, M. M. U., Keya, S. S., Abdelrahman, M., Miah, M. G. and Phan Tran, L. S. (2021). Silicon in mitigation of abiotic stress-induced oxidative damage in plants. *Critical Reviews in Biotechnology*, 41(6), 918-934. <https://doi.org/10.1080/07388551.2021.1892582>
- Mykhaylenko, N. F. and Zolotareva, E. K. (2017). The effect of copper and selenium nanocarboxylates on biomass accumulation and photosynthetic energy transduction efficiency of the green algae *Chlorella vulgaris*. *Nanoscale Research Letters*, 12, 1-8. <https://doi.org/10.1186/s11671-017-1914-2>
- Nasiri, M., Safari, H. and Pourhadian, H. (2022). An investigation the effect of copper nanoparticles on morphological, physiological, biochemical properties and yield of Mallow under drought stress conditions. *Plant Process and Function*, 11(48), 35-47. <http://jisspp.iut.ac.ir/article-1-1593-en.html> (In Persian)
- Noman, M., Ahmed, T., Shahid, M., Niazi, M. B. K., Qasim, M., Kouadri, F., Abdulmajeed, A. M., Alghanem, S. M., Ahmad, N., Zafar, M. and Ali, S. (2021). Biogenic copper nanoparticles produced by using the *Klebsiella pneumoniae* strain NST2 curtailed salt stress effects in maize by modulating the cellular oxidative repair mechanisms. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 217, 112264. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112264>
- Noohpisheh, Z., Amiri, H., Mohammadi, A. and Farhadi, S. (2021). Effect of the foliar application of zinc oxide nanoparticles on some biochemical and physiological parameters of *Trigonella foenum-graecum* under salinity stress. *Plant Biosystems-an International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 155(2), 267-280. <https://doi.org/10.1080/11263504.2020.1739160>
- Nouman, W., Siddiqui, M. T., Basra, S. M. A., Khan, R. A., Gull, T., Olson, M. E. and Hassan, M. (2012). Response of *Moringa oleifera* to saline conditions. *International Journal of Agriculture and Biology*, 14(5), 757-762. http://www.fspublishers.org/ijab/past-issues/IJABVOL_14_NO_5/12.pdf
- Ozden, M., Demirel, U. and Kahraman, A. (2009). Effects of proline on antioxidant system in leaves of grapevine (*Vitis vinifera* L.) exposed to oxidative stress by H₂O₂. *Scientia Horticulturae*, 119(2), 163-168. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.07.031>
- Ozturk, L., Demir, Y., Unlukara, A., Karatas, I., Kurunc, A. and Duzdemir, O. (2012). Effects of long-term salt stress on antioxidant system, chlorophyll and proline contents in pea leaves. *Romanian Biotechnological Letters*, 17(3), 7227-7236. <https://rombio.unibuc.ro/wp-content/uploads/2022/05/17-3-2.pdf>
- Pareek, A., Pant, M., Gupta, M. M., Kashania, P., Ratan, Y., Jain, V., Pareek, A. and Chaturgoon, A. A. (2023). *Moringa oleifera*: An updated comprehensive review of its pharmacological activities, ethnomedicinal, phytopharmaceutical formulation, clinical, phytochemical, and toxicological aspects. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(3), 2098. <https://doi.org/10.3390/ijms24032098>
- Pasandi Pour, A., Farahbakhsh, H. and Saffari, M. (2014). Response of fenugreek to short-term salinity stress in relation to lipid peroxidation, antioxidant activity and protein content. *Ethno-Pharmaceutical Products*, 1(1), 45-52. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23833017.2014.1.1.7.6>
- Pashangah, Z., Shamili, M., Abdolahi, F. and Ghasemi, M. (2020). The interaction of salinity and gibberellin on leaf abscission, dry matter, antioxidant enzymes activity and ion content in guava (*Psidium guajava* L). *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 33(4), 809-826. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23832592.1399.33.4.15.1>
- Pérez-Labrada, F., López-Vargas, E. R., Ortega-Ortiz, H., Cadenas-Pliego, G., Benavides-Mendoza, A. and Juárez-Maldonado, A. (2019). Responses of tomato plants under saline stress to foliar application of copper nanoparticles. *Plants*, 8(6), 151. <https://doi.org/10.3390/plants8060151>
- Peyvandi, M. and Mirza, M. (2011). Comparison of the effect of iron nanoclay on growth parameters and activity of basaltic antioxidant enzymes (*Ocimum basilicum*). *Journal of Cellular Biotechnology –Molecular*, 1, 98-89. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.22285458.1390.1.4.3.7>
- Prasad, K. S., Patel, H., Patel, T., Patel, K. and Selvaraj, K. (2013). Biosynthesis of Se nanoparticles and its effect on UV-induced DNA damage. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 103, 261-266. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2012.10.029>
- Rasheed, A., Li, H., Tahir, M. M., Mahmood, A., Nawaz, M., Shah, A. N., Aslam, M.T., Negm, S., Moustafa, M., Hassan, M.U. and Wu, Z. (2022). The role of nanoparticles in plant biochemical, physiological, and molecular responses under drought stress: A review. *Frontiers in Plant Science*, 13, 976179. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.976179>
- Rastogi, A., Zivcak, M., Sytar, O., Kalaji, H. M., He, X., Mbarki, S. and Brestic, M. (2017). Impact of metal and metal oxide nanoparticles on plant: a critical review. *Frontiers in Chemistry*, 5, 78. <https://doi.org/10.3389/fchem.2017.00078>
- Riahiinia, S. and Danaeipour, Z. (2022). Evaluation of the effect of nano and chelated iron fertilizer in *Salicornia* under salinity stress. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 35(1), 174-188. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23832592.1401.35.1.11.5>
- Rossi, L., Zhang, W. and Ma, X. (2017). Cerium oxide nanoparticles alter the salt stress tolerance of *Brassica napus* L. by modifying the formation of root apoplastic barriers. *Environmental Pollution*, 229, 132-138. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.05.083>
- Sadeghi Lotfabadi S., Kafi, M. and Khazai, H.R. (2010). Effects of calcium, potassium and method of application on Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) morphological and physiological traits in the presence of salinity. *Journal of Water and Soil*, 24(2), 385-393. <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.3255>

- Saeidinia, M., beiranvand, F., Mumivand, H. and Mousavi, S. H. (2023). The effect of the salinity stress on the yield, morphological characteristics, essential oil and RWC of *Satureja hortensis* (case study: Khoramabad, Iran). *Journal of Drought and Climate Change Research*, 1(1), 97-108. <https://doi.org/10.22077/JDCR.2023.6152.1017> (In Persian)
- Saljoug, S. and ranjbar, M. (2019). An investigating of the interaction of zinc and copper on the accumulation of elements, antioxidant enzymes, photosynthetic pigments and malon dialdehyde in basil (*Ocimum basilicum*). *Plant Process and Function*, 8(33), 339-358. <http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1002-fa.html>. (In Persian)
- Schaller, R. D. and Klimov, V. I. (2004). High efficiency carrier multiplication in PbSe nanocrystals: implications for solar energy conversion. *Physical Review Letters*, 92(18), 186601-186604. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.92.186601>
- Shaw, A. K., Ghosh, S., Kalaji, H.M., Bosa, K., Brestic, M., Zivcak, M. and Hossain, Z. (2014). Nano-CuO stress induced modulation of antioxidative defense and photosynthetic performance of Syrian barley (*Hordeum vulgare* L.). *Environmental and Experimental Botany*, 102, 37-47. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.02.016>.
- Singh, A., Singh, N. B., Hussain, I. and Singh, H. (2017). Effect of biologically synthesized copper oxide nanoparticles on metabolism and antioxidant activity to the crop plants *Solanum lycopersicum* and *Brassica oleracea* var. botrytis. *Journal of Biotechnology*, 262, 11-27. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2017.09.016>.
- Smart, R. E. and Bingham, G. E. (1974). Rapid estimates of relative water content. *Plant Physiology*, 53, 258-260. <https://doi.org/10.1104/pp.53.2.258>
- Soliman, A. S., El-feky, S. A. and Darwish, E. (2015). Alleviation of salt stress on *Moringa peregrina* using foliar application of nanofertilizers. *Journal of Horticulture and Forestry*, 7(2), 36-47. <https://doi.org/10.5897/JHF2014.0379>
- Tabatabaee, Sh., Iranbakhsh, A., Shamili, M., Oraghi Ardebili, Z. (2021). Copper nanoparticles mediated physiological changes and transcriptional variations in microRNA159 (miR159) and mevalonate kinase (MVK) in pepper; potential benefits and phytotoxicity assessment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(9), 106151. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106151>
- Tiloke, C., Phulkdaree, A. and Chuturgoon, A. A. (2016). The antiproliferative effect of *Moringa oleifera* crude aqueous leaf extract on human esophageal cancer cells. *Journal of Medicinal Food*, 19(4), 398-403. <https://doi.org/10.1089/jmf.2015.0113>
- Toscano, S., Ferrante, A. and Romano, D. (2019). Response of Mediterranean ornamental plants to drought stress. *Horticulturae*, 5(1), 6. <https://doi.org/10.3390/horticulturae5010006>
- Tuna, A. L., Kaya, C., Dikilitas, M. and Higgs, D. (2008). The combined effects of gibberellic acid and salinity on some antioxidant enzyme activities, plant growth parameters and nutritional status in maize plants. *Environmental and Experimental Botany*, 62, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.06.007>.
- Yang, L., Wang, X., Chang, N., Nan, W., Wang, S., Ruan, M., Sun, L., Li, S. and Bi, Y. (2019). Cytosolic glucose-6-phosphate dehydrogenase is involved in seed germination and root growth under salinity in Arabidopsis. *Frontiers in Plant Science*, 10, 182. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00182>
- Yang, Y. and Guo, Y. (2018). Elucidating the molecular mechanisms mediating plant salt stress responses. *New Phytologist*, 217(2), 523-539. <https://doi.org/10.1111/nph.14920>
- Zarei, M., Azizi, M., Rahemi, M. and Tehranifar, A. (2016) Evaluation of NaCl salinity tolerance of four fig genotypes based on vegetative growth and ion content in leaves, shoots, and roots. *HortScience*, 51, 1427-1434. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI11009-16>