مجله علوم و فنون باغبانی ایران جلد ۲۶ شماره ۱ صفحه‌های ۱ تا ۱۶ (۱۴۰۴)
مقاله پژوهشی

مطالعه اثر تعدیل‌کنندگی نانو مس بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و محتوای عناصر مورینگا (*Moringa oleifera* L.) تحت تنش شوری

Studying the Modulating Effect of Nano Copper on the Morphological Characteristics and Elements Content of Moringa (*Moringa oleifera* L.) Under Salt Stress

مهسا عامری[۱]، منصوره شمیلی[۱*]، وحید روشن سروستانی[۲]، مصطفی قاسمی[۳]

۱- گروه علوم باغبانی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

۲- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، شیراز، ایران.

۳- بخش زراعی باغی. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان قزوین، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، قزوین، ایران.

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: (shamili@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۴/۲۱، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۹

چکیده

از آن‌جا که شوری از تنش‌های مخرب بر رشد مورینگا است، ارائه روش مناسب به‌منظور کاهش اثرات مضر آن می‌تواند موثر باشد. این پژوهش به‌منظور بررسی تاثیر نانوذره مس (صفر، پنج، ۱۰ و ۲۰ پی‌پی‌ام) بر خصوصیات مورفولوژیکی و محتوای عناصر گیاه مورینگا تحت شوری کلرید سدیم (۰، ۳/۹، ۷/۸ و ۱۱/۷ دسی‌زیمنس‌برمتر) به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی انجام شد. نتایج حاکی از تاثیر معنی‌دار سطوح نمک و نانو مس بر صفات مورد بررسی بود. شوری کاهش در وزن خشک شاخساره، محتوای کلروفیل کل (a و b)، کلسیم و افزایش در نشت یونی، کربوهیدرات، کلر، سدیم و پتاسیم ایجاد کرد. کمترین قطر شاخساره و تعداد برگ در گیاهانی که شوری ۱۱/۷ دسی‌زیمنس‌برمتر را دریافت کرده بودند، مشاهده شد. تحت شوری ۱۱/۷ دسی‌زیمنس‌برمتر، محلول‌پاشی نانومس با افزایش وزن تر شاخساره (۲۲ ٪)، کربوهیدارت (۴۵ ٪) و پتاسیم (۲۲ ٪) و کاهش محتوای کلر، سدیم و کلسیم (به‌ترتیب ۱۶، ۲۹ و ۴۲ ٪) همراه بود. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که محلول‌پاشی نانوذرات مس (تا ۲۰ پی‌پی‌ام نانومس) می‌تواند نقش موثری در کاهش اثرات سوء تنش شوری در گیاه مورینگا و افزایش رشد و عملکرد این گیاه داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: نانومس، محلول‌پاشی، عناصر معدنی، شوری، مورینگا.

مقدمه

عوامل غیرزیستی مختلف از جمله خشکی، دمای بالا، سمیت ترکیبات شیمیایی و شوری از عوامل محدودکننده عملکرد در گیاهان هستند (Abbaspour, 2012). شوری بر رشد و بهره‌وری محصول تأثیر می‌گذارد و در نهایت باعث کاهش محتوای ترکیبات آلی و فعالیت‌های متابولیکی می‌گردد. سمیت یونی ناشی از شوری، به‌دلیل تجمع بیش از حد یون‌های سدیم و کلر، منجر به خروج سیتوزولی پتاسیم و کلسیم و عدم تعادل آن‌ها می‌شود. اختلال در هموستازی یونی، فرآیند فتوسنتز را با تخریب رنگدانه‌های فتوسنتزی یا تأثیر بر بیوسنتز آن‌ها، مخدوش می‌کند. علاوه بر این، کاهش فتوسنتز می‌تواند به‌دلیل کاهش پتانسیل بیوشیمیایی برای تثبیت CO_2، ناشی از نمک و همچنین افزایش تنفس باشد. گیاهان از آسیب‌های تنش شوری، با استفاده از مکانیسم حذف یون‌های سمی نمک، بخش‌بندی یون‌ها در واکوئل یا سنتز املاح سازگار اجتناب می‌کنند (Farooq *et al.*, 2022).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

مورینگا اولیفرا[1]، متعلق به تیره مورینگاسه[2] درختی سریع رشد است که عمدتاً در مناطق گرمسیر و نیمه‌گرمسیر، خاک‌های خشک و کمتر حاصلخیز رشد می‌کند. مورینگا به‌واسطه ترکیبات زیست فعال نظیر اسید اولئیک، گلوکوزینولات‌ها و کاروتنوئیدِ لوتئین، دارای خواص ضد سرطان، ضد دیابت و ضد التهاب است (Pareek *et al.,* 2023). نهال مورینگا، تیمار آب شور (تا هشت دسی‌زیمنس‌برمتر) را با کاهش جزئی در زیست توده، کلروفیل a، پروتئین، محتوی عناصر و فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها پشت سر گذاشته است. اما سطوح بالاتر نمک (۱۲ دسی‌زیمنس‌برمتر) با کاهش قابل توجه زیست توده، محتوی کلسیم، پتاسیم، منیزیم، افزایش در فعالیت کاتالاز، محتوای فنل، سدیم و فسفر همراه بود (Nouman *et al.,* 2012).

نانو مواد، ذراتی به ابعاد بین یک تا صد نانومتر هستند که در کشاورزی عمدتا با کاربری نانوکود مورد توجه هستند. نانوذرات به دلیل اندازه کوچک‌شان به راحتی از سدهای زیستی عبور کرده و وارد سلول می‌شوند. نانو ذرات در سطح برگ نیز از طریق منافذ روزنه‌ای و یا پایه‌ای کرک‌ها، وارد گیاه شده و سپس به سهولت به بافت‌های مختلف منتقل می‌گردند (Khan *et al.,* 2019).

مس عنصری کم‌مصرف است که در ساختمان آنزیم‌های مهم گیاهی حضور داشته و در نقل و انتقال الکترون‌ها، در واکنش‌های اکسیداسیون- احیا، ایفای نقش می‌کند. در خاک‌های شور و آهکی، حلالیت عناصر ریزمغذی نظیر مس کم است. این در حالی است که مصرف عناصر ریزمغذی از طریق کاهش اثرات منفی یون‌های سمی، تحمل گیاهان به تنش شوری را افزایش می‌دهد. گزارش شده است که کاربرد مس در ذرت اثرات مضر شوری را با تاثیری که بر روابط آبی، فتوسنتز و تغذیه از طریق تنظیم حذف آنتی‌اکسیدانی و افزایش سطوح محافظت کننده اسمزی و اسیدهای آمینه دارد، کاهش می‌دهد (Iqbal *et al.,* 2018). در پژوهشی بر گیاهان گوجه‌فرنگی تحت تنش شوری،محلول‌پاشی نانوذرات مس (۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر)، عملکرد را افزایش داد، نسبت Na / K را بهبود بخشید و آسیب تنش شوری را کاهش داد (Pérez-Labrada *et al.,* 2019).

از آنجا که شوری از تنش‌های مخرب بر رشد مورینگا است، ارائه روش مناسب به‌منظور کاهش اثرات مضر آن می‌تواند موثر باشد. گزارشی در مورد بهبود تحمل به تنش شوری از طریق تیمار با نانومس در مورینگا وجود ندارد. بنابراین، هدف از این پژوهش، مطالعه آثار شوری و نانو کود مس بر خصوصیات ریخت‌شناسی و جذب عناصر در گیاه مورینگا است.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی مواد گیاهی و اعمال تیمارها

پژوهش حاضر طی سال‌های ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در گلخانه‌ای واقع در روستای کوشک هزار در شهرستان بیضا استان فارس (۴۰ کیلومتری شمال غربی شیراز) به‌صورت گلدانی به اجرا درآمد. بذر گیاه مورینگا رقم هندی از شرکت طلایه داران هرمزگان تهیه و پس از جوانه‌زنی و رشد کافی، دانهال‌های 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 به‌ترتیب ۵۵ و ۴۵ سانتی‌متر) دارای زهکش، کشت شدند. بستر مورد استفاده برای کاشت نهال‌ها، ترکیب خاک باغچه، خاک‌برگ و ماسه (یک: یک: یک) بود. گیاهان در دمای متوسط روزانه ۲±۲۳ و شبانه ۲±۱۹ درجه سلسیوس با رطوبت نسبی ۶۰ ٪ نگهداری شدند. تیمار شوری، شش ماه پس از استقرار نهال‌ها در گلدان آغاز شد.

نمک مورد استفاده (کلرید سدیم، مرک[3]) در آب مقطر حل و مقادیر ۰، ۳/۹، ۷/۸ و ۱۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر نمک به‌عنوان تیمار شوری (از طریق آب آبیاری و هفته‌ای سه بار)، در نظر گرفته شد. تیمار با آب مقطر به‌عنوان تیمار صفر دسی‌زیمنس بر متر در نظر گرفته شد. به‌منظور جلوگیری از تجمع بیش‌ازحد نمک در گلدان‌ها، هر دو هفته یک‌بار آب‌شویی انجام شد. تیمار شوری، هشت هفته به‌طول انجامید و پس از آن 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 محلول‌غذایی هوگلند تغذیه شدند.

نانوذره مس مورد استفاده در این آزمایش از شرکت نانو سانی (مشهد، ایران)، خریداری شد. میانگین اندازه ذرات نانومس ۴۰ نانومتر، چگالی ظاهری ۰/۲۱ گرم‌برسانتی‌مترمکعب، چگالی واقعی ۸/۹ گرم‌درسانتی‌مترمکعب، شکل تقریبا کروی بود.

۱- *Moringa oleifera* L.
۲- Moringaceae
۳- Merck, Germany

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

تیمار محلول‌پاشی شاخ و برگ با نانو مس (صفر، پنج، ۱۰ و ۲۰ پی‌پی‌ام) دو بار (سه و پنج هفته بعد از شروع تیمار شوری) اعمال شد. گیاهان تیمار شده با نمک صفر دسی‌زیمنس‌برمتر (آب مقطر) و محلول‌پاشی شده با تیمار صفر نانو مس (آب مقطر) به‌عنوان شاهد درنظر گرفته شدند. هشت هفته پس از اتمام تنش شوری، صفات زیر در آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز اندازه‌گیری شد.

وزن‌تر و خشک شاخساره

با توزین (ترازوی دیجیتالی ۰/۰۰۱ گرم) نمونه‌ها، خشک کردن نمونه‌ها در آون (۷۰ درجه سلسیوس، ۷۲ ساعت) و توزین مجدد محاسبه شد (Karnosky *et al*., 1996).

قطر ساقه

قطر ساقه با استفاده از کولیس دیجیتال سنجش و بر حسب میلی‌متر گزارش شد (Karnosky *et al*., 1996).

تعداد برگ

تعداد برگ موجود در ۵۰ سانتی‌متر انتهای شاخه در هر بوته شمارش گردید (Zarei *et al*., 2016).

محتوی کلروفیل برگ

به ۱۰۰میلی‌گرم از برگ فاقد رگبرگ، هفت میلی‌لیتر از دی‌متیل سولفوکساید افزوده، پس از انکوبه کردن (۳۰ دقیقه، دمای ۶۵ درجه سلسیوس)، صاف کردن، افزودن مجدد دی‌متیل سولفوکساید، حجم عصاره به ۱۰ میلی‌لیتر رسانده و در نهایت جذب عصاره با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Epoch ساخت شرکت بیوتک آمریکا) در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۶ نانومتر قرائت شد. محتوی کلروفیل کل، a و b بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن تازه گزارش شد (Israelstam & Hiscox, 1979).

نشت یونی

از هر بوته چند برگ در موقعیت یکسان جدا و سپس قطعات دایره‌ای توسط سوراخ کن جدا کرده و در داخل لوله‌های درب‌دار حاوی ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر قرار داده و به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری کرده و سپس هدایت الکتریکی اولیه محلول در تماس با نمونه‌ها (EC_1) اندازه‌گیری شد. نشت ثانویه از طریق اندازه‌گیری هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC_2) پس از حرارت دادن آن‌ها به‌مدت یک ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس اندازه‌گیری و در نهایت نشت یونی (٪) از رابطه زیر محاسبه شد (Shiferaw & Baker, 1996).

نشت یونی (٪) = $EC_1/EC_2 \times 100$

کربوهیدرات محلول برگ

نمونه برگ (۰/۱ گرم) با پنج میلی‌لیتر استون خالص شسته، سپس نمونه‌ها در پنج میلی‌لیتر اتانول ۸۰٪ قرار داده و پس از ۳۰ دقیقه انکوبه کردن (حمام آب گرم ۸۰ درجه سلسیوس) سانتریفیوژ (۶۵۰۰ دور در دقیقه، ۲۰ دقیقه) شدند. سپس به ۱۰۰ میکرولیتر از لایه رویی، سه میلی‌لیتر معرف آنترون (۱۵۰ میلی‌گرم آنترون در ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۷۲٪) افزوده و مجددا انکوباسیون (۱۰ دقیقه، حمام آب گرم ۱۰۰ درجه سلسیوس) تکرار شد. پس از خنک شدن نمونه‌ها، جذب آن‌ها در طول موج ۶۲۵ نانومتر خوانده شد. محلول‌های استاندارد دی-گلوکز (صفر، ۶۲/۵، ۱۲۵، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر حاوی سه میلی‌لیتر معرف آنترون) برای رسم منحنی استاندارد مورد استفاده قرار گرفت و میزان کربوهیدرات بر حسب میلی‌گرم‌در گرم وزن تازه گزارش شد (Zhang *et al.,* 2018).

کلر برگ

بدین منظور، یک گرم از برگ خشک شده در آون ۷۰ درجه سلسیوس، با افزودن اکسید پتاسیم و آب مقطر به حالت خمیر درآورده شد. پس از خاکستر شدن و صاف کردن نمونه‌ها، به آن‌ها معرف فنل فتالئین افزوده و در نهایت پس از اضافه کردن کرومات پتاسیم و نیترات نقره و تشکیل رسوب قرمز آجری رنگ، کلر (٪) موجود در نمونه محاسبه شد (Chapman & Pratt, 1961).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

سدیم، پتاسیم و کلسیم برگ

بدین منظور، ۰/۵گرم از برگ خشک شده در آون ۷۰ درجه سلسیوس، آسیاب شد. سپس جهت خاکستر شدن، به مدت هفت ساعت در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس قرار گرفت. به هر ظرف محتوی نمونه خاکستر شده، پنج میلی‌لیتر هیدروکلریک اسید دو نرمال افزوده و از کاغذ صافی شماره دو عبور داده و در نهایت با آب مقطر جوش به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد (Pratt & chapman 1961). میزان سدیم و پتاسیم به روش نشرشعله‌ای و با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر (مدل PFP7 ساخت شرکت JENWAY انگلستان) سنجش و بر اساس میلی‌گرم در گرم وزن خشک محاسبه گردید (Chapman & Pratt, 1961). جهت سنجش کلسیم، به پنج میلی‌لیتر از عصاره، پودر مورکسید و دو میلی‌لیتر هیدروکسید سدیم (نرمالیته ۲/۵) افزوده و با محلول ورسین (EDTA) ۰/۰۲ نرمال تا تغییر رنگ، تیتر گردید. حجم محلول EDTA مصرفی یادداشت گردید (V1). در نهایت مقدار کلسیم از رابطه زیر محاسبه و بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن خشک گزارش شد (Ghobadpour, 2009).

$$\text{مقدار Ca} = V_1 \times 0/4 \times \frac{\text{حجم اولیه نمونه}}{\text{وزن نمونه گیاهی} \times \text{حجم محلول مورد آزمایش}}$$

که در آن V_1: حجم ورسین مصرفی، حجم اولیه نمونه: ۵۰ میلی‌لیتر، حجم محلول مورد آزمایش: پنج میلی‌لیتر، وزن نمونه گیاهی: یک گرم می‌باشد.

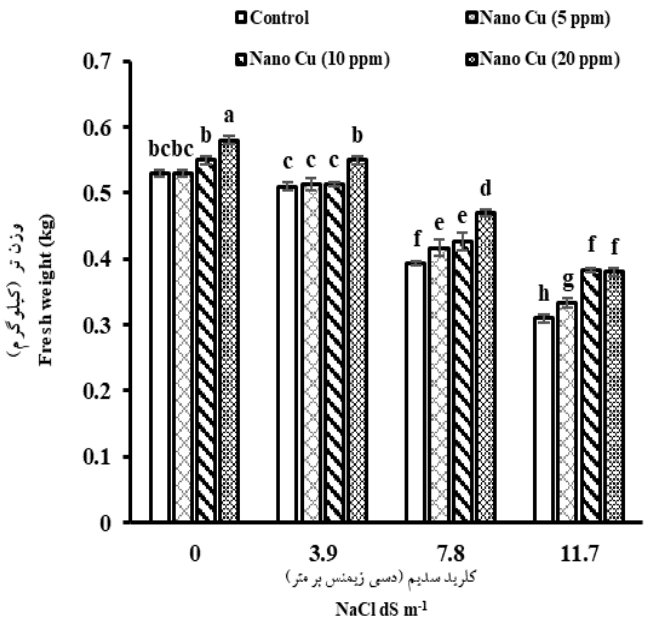
واکاوی آماری داده‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا 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 دسی‌زیمنس بر متر) و نانو مس (صفر، ۱۰ و ۲۰ میلی‌لیتردرلیتر) بود. نرمال بودن داده‌ها با روش Shapiro-Wilk صورت گرفت. آزمون چند دامنه ای دانکن برای مقایسه میانگین ($P < 0.01, 0.05$) انجام شد. آنالیز آماری داده‌ها با نرم افزار SAS Ver.9.4 انجام شد. همچنین تصاویر با کمک برنامه EXCEL 2016 ترسیم شدند.

نتایج

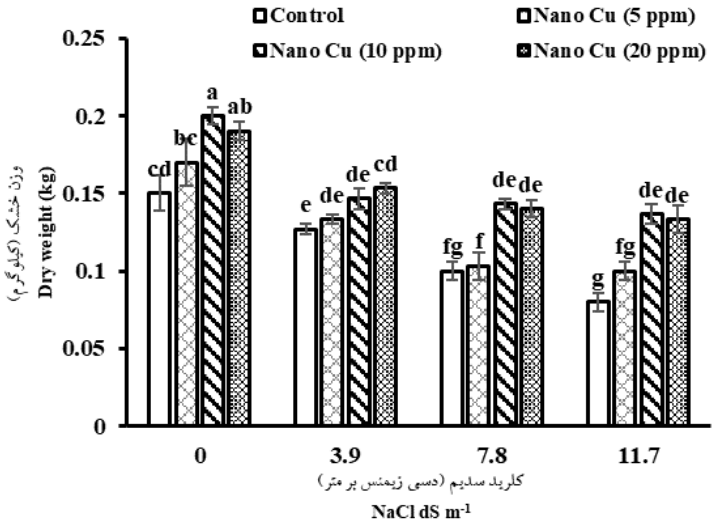
وزن تر و خشک شاخساره: با توجه به نتایج، شوری ۱۱/۷ دسی‌زیمنس‌برمتر باعث کاهش ۳۶ ٪ وزن خشک شاخساره نسبت به تیمار بدون شوری شد. کمترین وزن تر و خشک شاخساره به گیاهان تیمار شده با ۱۱/۷ دسی‌زیمنس‌برمتر کلرید سدیم و عدم محلول‌پاشی با نانو مس (به ترتیب ۰/۳۱ و ۰/۰۸کیلوگرم) اختصاص داشت. محلول‌پاشی با نانو مس باعث افزایش وزن تر و خشک شاخساره گردید. در غیاب نمک، محلول‌پاشی با نانومس وزن تر شاخساره را ۹/۴ ٪ نسبت به تیمار فاقد نانومس افزایش داد. در شوری ۱۱/۷ دسی‌زیمنس‌برمتر نیز محلول‌پاشی نانومس وزن تر شاخساره را تا ۲۲ ٪ افزایش داد. تیمار نانو مس ۱۰ پی‌پی‌ام (۰/۱۶ کیلوگرم) باعث افزایش ۲۷ ٪ وزن خشک شاخساره نسبت به عدم محلول‌پاشی نانومس (۰/۱۱ کیلوگرم) شد (شکل ۱ و ۲).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]



شکل ۱- برهمکنش شوری و نانو مس بر وزن تر مورینگا. مقادیر، میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون چند دامنه ای دانکن (P< 0.01) است.

Fig. 1. The interaction effect of salinity and Nano Cu on fresh weight of Moringa. Values are the average of three repetitions and the same letters indicate no significant difference with duncan's multiple range test (P< 0.01).



شکل ۲- برهمکنش شوری و نانو مس بر وزن خشک شاخساره مورینگا. مقادیر، میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون چند دامنه ای دانکن (P< 0.01) است.

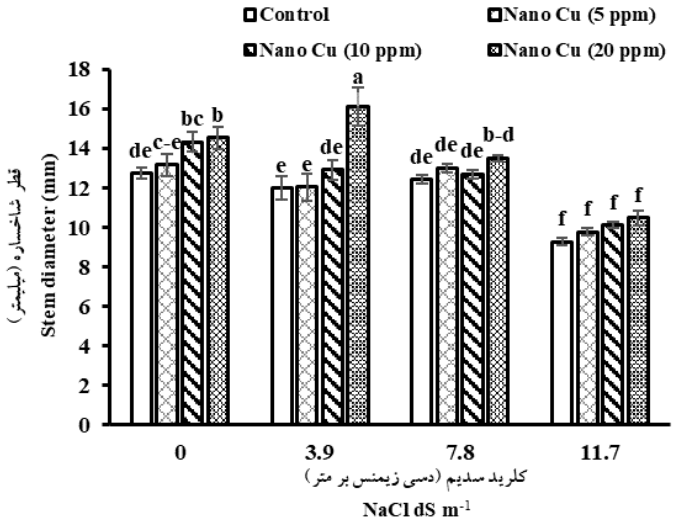
Fig. 2. The interaction effect of salinity and Nano Cu on dry weight of Moringa. Values are the average of three repetitions and the same letters indicate no significant difference with duncan's multiple range test (P< 0.01).

قطر شاخساره

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

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

و عدم محلول‌پاشی نانومس (۹/۲۷ میلی‌متر) به دست آمد. در شوری ۱۱/۷ دسی‌زیمنس‌برمتر، محلول‌پاشی با نانومس قطر شاخساره را ۱۴ ٪ افزایش داد (شکل ۳).

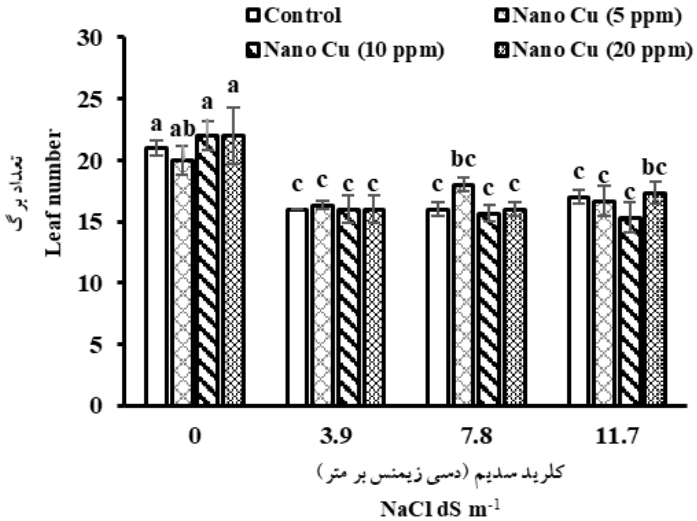


شکل ۳- برهمکنش شوری و نانو مس بر قطر شاخساره مورینگا. مقادیر، میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون چند دامنه ای دانکن ($P< 0.01$) است.

Fig. 3. The interaction effect of salinity and Nano Cu on stem diameter of Moringa. Values are the average of three repetitions and the same letters indicate no significant difference with duncan's multiple range test ($P< 0.01$).

تعداد برگ

بر اساس یافته‌های این پژوهش، شوری با کاهش (تا ۲۲ ٪) و تیمار با نانو مس با افزایش تعداد برگ همراه بود. بیشترین تعداد برگ در تیمار فاقد نمک (۲۱/۲۵ عدد) و کمترین میزان در سطوح شوری ۳/۹، ۷/۸ و ۱۱/۷ دسی‌زیمنس‌برمتر مشاهده شد، که از نظر آماری این سه تیمار اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (شکل ۴).



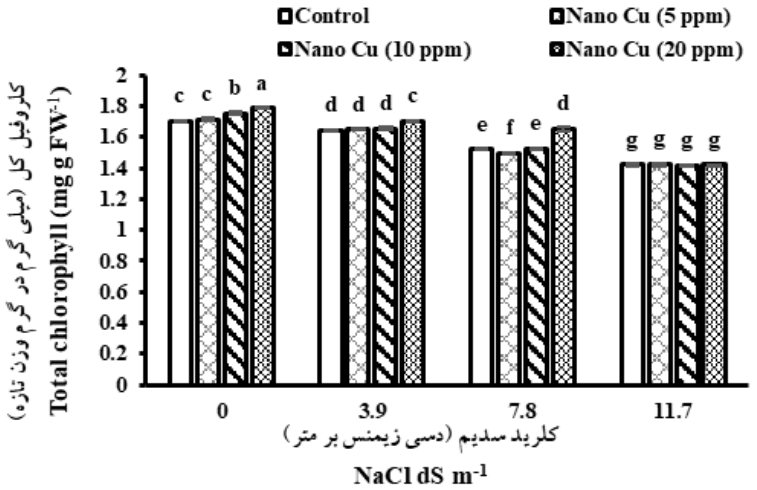
شکل ۴- برهمکنش شوری و نانو مس بر تعداد برگ مورینگا. مقادیر، میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون چند دامنه ای دانکن ($P< 0.01$) است.

Fig. 4. The interaction effect of salinity and Nano Cu on leaf number of Moringa. Values are the average of three repetitions and the same letters indicate no significant difference with duncan's multiple range test ($P< 0.01$).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

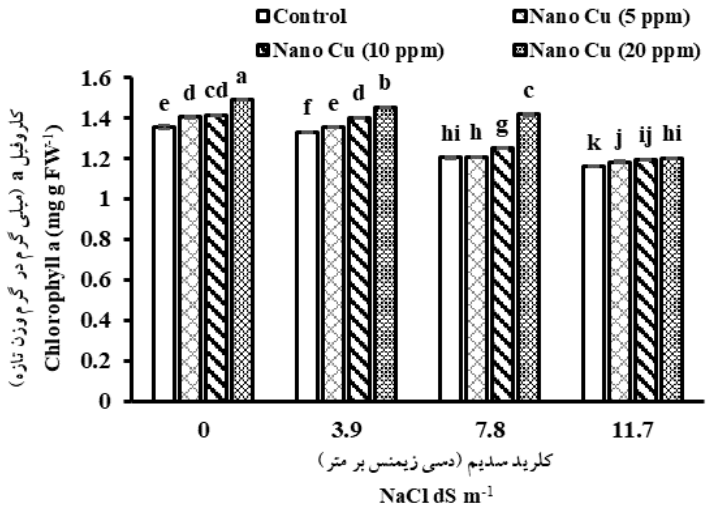
کلروفیل کل، a و b

شوری روندی کاهشی در محتوی کلروفیل کل، a و b نشان داد. بیشترین کلروفیل کل در تیمار بدون شوری و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر نانو مس (۱/۷۸ میلی‌گرم در گرم وزن تازه) به‌دست آمد و کمترین کلروفیل کل در شوری ۱۱/۷ دسی‌زیمنس‌برمتر و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر نانو مس (۱/۴۱ میلی‌گرم در گرم وزن تازه) مشاهده شد (شکل ۵). بیشترین کلروفیل a در تیمار بدون شوری و ۲۰ پی‌پی‌ام نانو مس (۱/۴۹ میلی‌گرم‌درگرم وزن تازه) و کمترین مقدار آن در شوری ۱۱/۷ دسی‌زیمنس‌برمتر و عدم محلول‌پاشی نانو مس (۱/۱۶ میلی‌گرم‌درگرم وزن تازه) مشاهده شد (شکل ۶). بیشترین کلروفیل b در تیمار بدون شوری و بدون محلول‌پاشی نانو مس (۰/۳۴ میلی‌گرم‌درگرم وزن تازه) به دست آمد (شکل ۷). محلول‌پاشی نانو مس باعث افزایش کلروفیل کل، a و b گردید. تیمار ۲۰ پی‌پی‌ام نانومس باعث افزایش پنج، نه و ۱۴ ٪ کلروفیل کل، a و b نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی نانومس شد (شکل‌های ۵، ۶ و ۷).



شکل ۵- برهمکنش شوری و نانو مس بر کلروفیل کل مورینگا. مقادیر، میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون چند دامنه ای دانکن ($P< 0.01$) است.

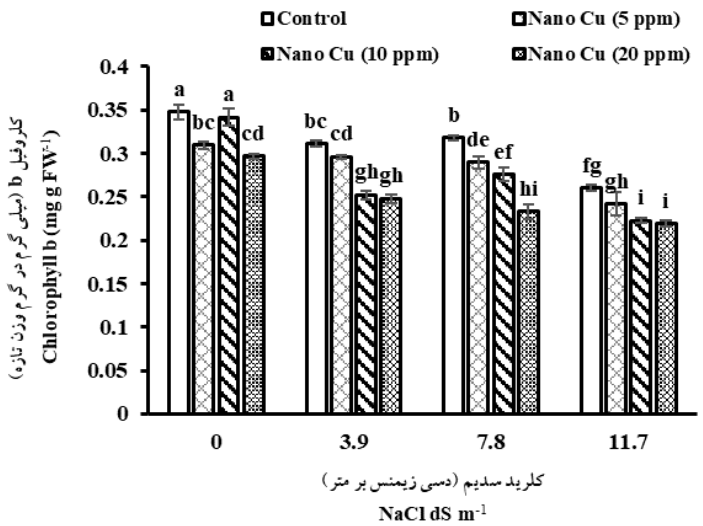
Fig. 5. The interaction effect of salinity and Nano Cu on total chlorophyll of Moringa. Values are the average of three repetitions and the same letters indicate no significant difference with duncan's multiple range test ($P< 0.01$).



شکل ۶- برهمکنش شوری و نانو مس بر کلروفیل a مورینگا. مقادیر، میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون چند دامنه ای دانکن ($P< 0.01$) است.

Fig. 6. The interaction effect of salinity and Nano Cu on chlorophyll a of Moringa. Values are the average of three repetitions and the same letters indicate no significant difference with duncan's multiple range test ($P< 0.01$).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

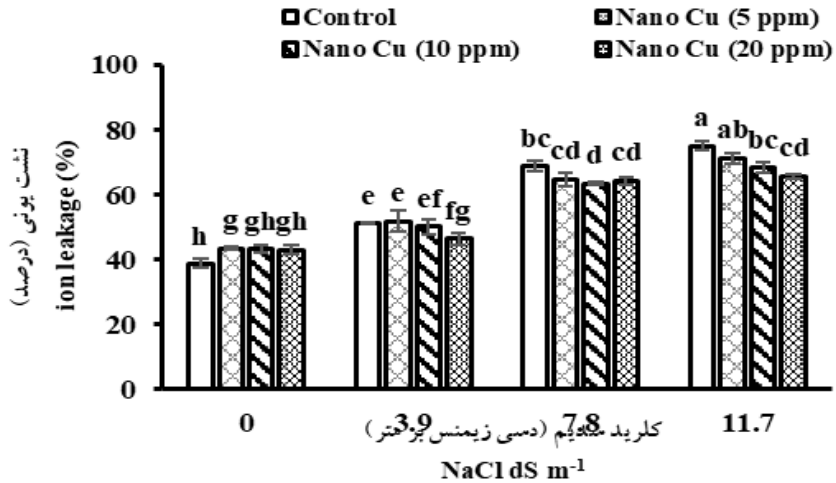


شکل ۷- برهمکنش شوری و نانو مس بر کلروفیل b مورینگا. مقادیر، میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون چند دامنه ای دانکن ($P< 0.01$) است.

Fig. 7. The interaction effect of salinity and Nano Cu on chlorophyll b of Moringa. Values are the average of three repetitions and the same letters indicate no significant difference with duncan's multiple range test ($P< 0.01$).

نشت یونی

بیشترین نشت یونی در تیمار شوری ۱۱/۷ دسی‌زیمنس‌برمتر و بدون تیمار نانومس نانو مس (۷۵/۰۱ ٪) و کمترین نشت یونی در تیمار بدون شوری و بدون محلول‌پاشی نانو مس (۳۸/۶۲ ٪) مشاهده شد. در شوری ۱۱/۷ دسی‌زیمنس‌برمتر و تیمار بدون محلول‌پاشی نانومس و محلول‌پاشی ۲۰ میلی‌گرم در لیتر نانومس نشت یونی به ترتیب افزایش ۴۹ و ۳۴ ٪ نسبت به تیمار بدون شوری را نشان دادند (شکل ۸).



شکل ۸- برهمکنش شوری و نانو مس بر نشت یونی مورینگا. مقادیر، میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون چند دامنه ای دانکن ($P< 0.01$) است.

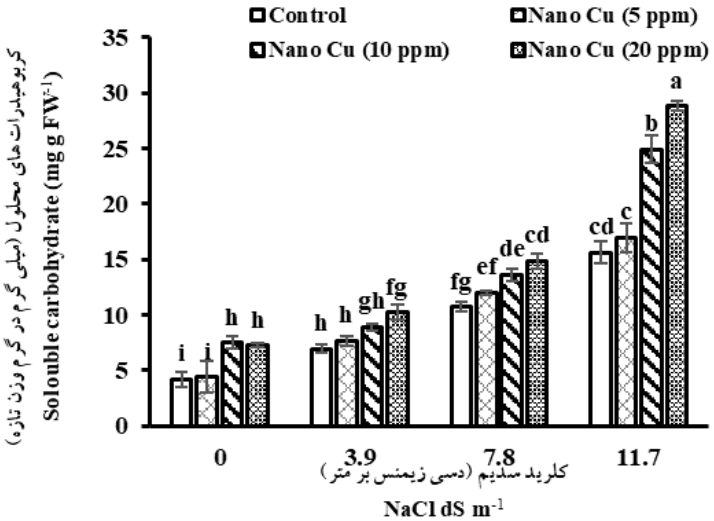
Fig. 8. The interaction effect of salinity and Nano Cu on ion leakage of Moringa. Values are the average of three repetitions and the same letters indicate no significant difference with duncan's multiple range test ($P< 0.01$).

کربوهیدرات محلول

نتایج نشان داد که تیمار با آب شور و نانو کود مس، هر دو، باعث افزایش در میزان کربوهیدرات محلول برگ مورینگا شده

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

است. بیشترین میزان کربوهیدارت (۲۸/۸۱ میلی‌گرم‌درگرم وزن تازه) محلول در ترکیب آب شور ۱۱/۷ دسی‌زیمنس‌برمتر و ۲۰ پی‌پی‌ام از نانو مس به دست آمد. در حالی که کمترین میزان آن (۴/۲۱ میلی‌گرم‌درگرم وزن تازه) در گیاهان شاهد (عدم نمک و محلول‌پاشی نانومس) مشاهده شد. در غیاب نمک، محلول‌پاشی گیاهان با ۲۰ پی‌پی‌ام از نانو مس، محتوای کربوهیدارت محلول را تا ۴۱ ٪ افزایش داد. در شوری ۱۱/۷ دسی‌زیمنس‌برمتر، همین سطح از نانو مس، افزایش ۴۵ ٪ را در صفت یاد شده باعث گردید (شکل ۹).



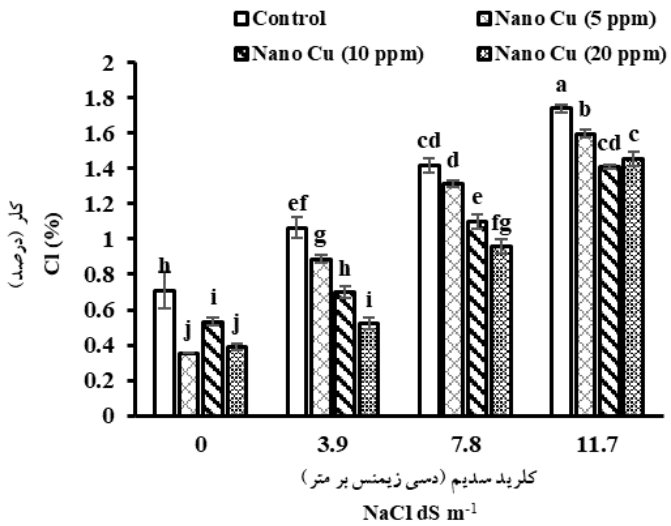
شکل ۹- برهمکنش شوری و نانو مس بر محتوای کربوهیدرات مورینگا. مقادیر، میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون چند دامنه ای دانکن ($P< 0.01$) است.

Fig. 9. The interaction effect of salinity and Nano Cu on carbohydrate content of Moringa. Values are the average of three repetitions and the same letters indicate no significant difference with duncan's multiple range test ($P< 0.01$).

کلر و سدیم برگ

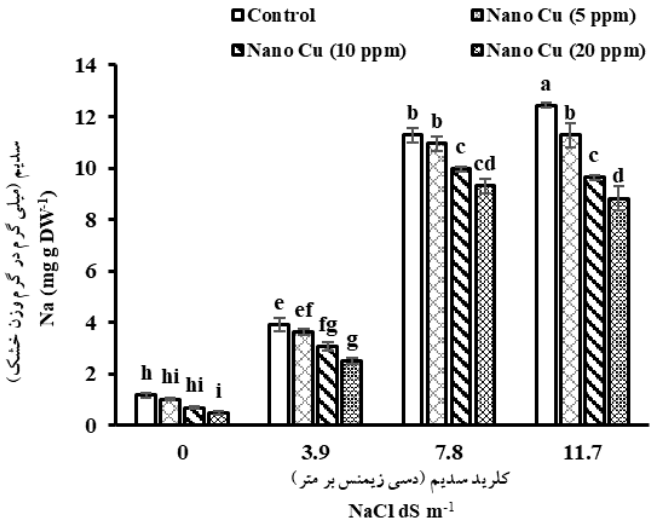
با توجه به نتایج، افزایش سطح نمک با افزایش محتوی کلر و سدیم برگ مورینگا همراه بود. بیشترین محتوی کلر و سدیم در شوری ۱۱/۷ دسی‌زیمنس‌برمتر و عدم محلول‌پاشی نانومس (به ترتیب ۱/۷۴ ٪ و ۱۲/۴۳ میلی‌گرم در گرم وزن خشک) به دست آمد. کمترین میزان کلر (۰/۳۵ ٪) در نبود نمک و محلول‌پاشی پنج میلی‌گرم‌درلیتر نانو مس و کمترین محتوای سدیم در غیاب نمک و محلول‌پاشی ۲۰ پی‌پی‌ام نانومس (۰/۴۸ میلی‌گرم در گرم وزن خشک) حاصل شد. در نبود نمک، محلول‌پاشی ۲۰ پی‌پی‌ام نانومس محتوی کلر و سدیم را به ترتیب ۴۵ و ۶۰ ٪ نسبت به شاهد نانومس کاهش داد. در تیمار با آب شور ۱۱/۷ دسی‌زیمنس‌برمتر، محلول‌پاشی با ۲۰ پی‌پی‌ام نانومس، محتوی کلر و سدیم به ترتیب ۱۶ و ۲۹ ٪ کاهش یافت (شکل‌های ۱۰ و ۱۱).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]



شکل ۱۰- برهمکنش شوری و نانو مس بر کلر برگ مورینگا. مقادیر، میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون چند دامنه ای دانکن ($P< 0.01$) است.

Fig. 10. The interaction effect of salinity and Nano Cu on leaf Cl of Moringa Values are the average of three repetitions and the same letters indicate no significant difference with duncan's multiple range test ($P< 0.01$).



شکل ۱۱- برهمکنش شوری و نانو مس بر سدیم برگ مورینگا. مقادیر، میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون چند دامنه ای دانکن ($P< 0.01$) است.

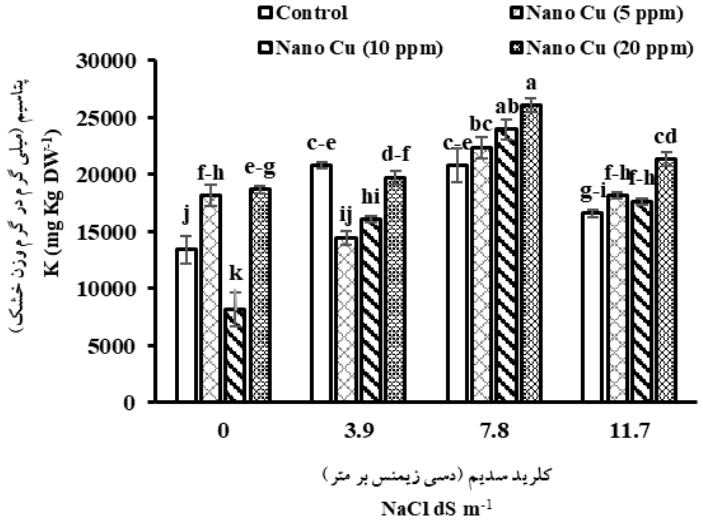
Fig. 11. The interaction effect of salinity and Nano Cu on leaf Na of Moringa. Values are the average of three repetitions and the same letters indicate no significant difference with duncan's multiple range test ($P< 0.01$).

پتاسیم و کلسیم برگ

با توجه به نتایج، تیمار با آب شور منجر به افزایش محتوای پتاسیم و کاهش محتوی کلسیم شد. بیشترین پتاسیم در شوری ۷/۸ دسی‌زیمنس‌برمتر و محلول‌پاشی ۲۰ پی‌پی‌ام نانو مس (۲۶۰۶۴ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) ثبت شد. کمترین محتوای این صفت در تیمار فاقد نمک و عدم محلول‌پاشی نانومس (۱۳۴۳۳ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) مشاهده گردید (شکل ۱۲). همچنین بیشترین محتوای کلسیم در غیاب تیمار نمکی و محلول‌پاشی ۱۰ میلی‌گرم‌درلیتر نانومس (۲۹۲۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) به دست آمد. کمترین محتوی کلسیم نیز در بالاترین سطح نمک آبیاری تحت تیمار پنج پی‌پی‌ام نانومس (۱۴۱۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) مشاهده شد (شکل ۱۳). در غیاب نمک محلول‌پاشی نانومس

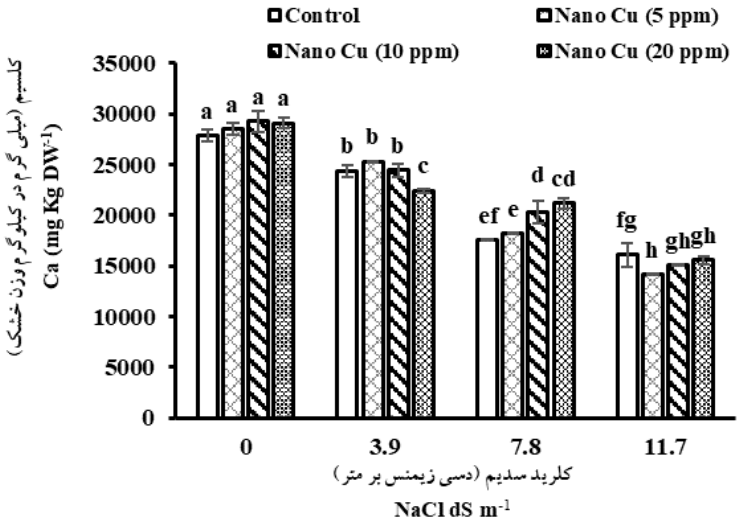
[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

محتـوای پتاسـیم و کلسـیم را بـه ترتیـب ۲۸ و چهـار ٪ نسـبت بـه عـدم تیمـار نـانومس افـزایش داد. در شـوری ۱۱/۷ دسی‌زیمنس‌برمتر نیز، محلول‌پاشی نانومس، محتوای پتاسیم را ۲۲ ٪ نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشـی نـانومس افـزایش ولـی ۴۲٪ از محتوای کلسیم کاست (شکل ۱۲ و ۱۳).



شکل ۱۲- برهمکنش شوری و نانو مس بر پتاسیم برگ مورینگا. مقادیر، میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون چند دامنه ای دانکن ($P< 0.01$) است.

Fig. 12. The interaction effect of salinity and Nano Cu on leaf K of Moringa. Values are the average of three repetitions and the same letters indicate no significant difference with duncan's multiple range test ($P< 0.01$).



شکل ۱۳- برهمکنش شوری و نانو مس بر کلسیم برگ مورینگا. مقادیر، میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون چند دامنه ای دانکن ($P< 0.01$) است.

Fig. 13. The interaction effect of salinity and Nano Cu on leaf Ca of Moringa. Values are the average of three repetitions and the same letters indicate no significant difference with duncan's multiple range test ($P< 0.01$).

بحث

مطالعه حاضر نشان می‌دهد که شوری بر پارامترهای رشدی مورینگا در مقایسه با گیاهان شاهد تاثیر نامطلوبی داشته و سبب کاهش وزن تر و خشک شاخساره، قطر شاخساره و تعداد برگ مورینگا شد؛ از طرفی کاربرد نانو مس باعث بهبود صفات

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

مذکور گردید. به گزارش Soliman و همکاران (۲۰۱۵)، گیاهان مورینگا پرگرینا[1] تحت شوری، کاهش ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد برگ، تعداد شاخه، وزن تر وخشک اندام هوایی را نشان دادند که با یافته‌های ما مطابقت دارد. کاهش پارامترهای مورفولوژیکی تحت تنش شوری ممکن است به صورت مستقیم یا غیر مستقیم تقسیم و بزرگ شدن سلولی را مهار کند. 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 احتمالا همین موضوع باعث کاهش وزن تر و خشک گیاه می‌شود (Moradbeygi *et al.,* 2020).

محلول‌پاشی با نانوذرات مس در گیاهان مواجه شده با نمک در گوجه‌فرنگی منجر به افزایش قطر ساقه (هشت ٪)، وزن تر اندام هوایی (۲۲ ٪) و وزن خشک اندام هوایی (۲۴ ٪) نسبت به شاهد گردیده است (Pérez-Labrada *et al.,* 2019). در گیاه ذرت نیز در شرایط مشابه افزایش در طول ریشه (۴۳/۵۲ ٪)، طول ساقه (۴۴/۰۶ ٪)، وزن تر ساقه (۴۶/۰۵ ٪) و وزن خشک ساقه (۴۷/۶۹ ٪) مشاهده شد (Noman *et al.,* 2021). در پژوهش ما، کاربرد نانو مس باعث بهبود صفات رشدی گردید. 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. حضور مس در برنامه کودی گیاهان با افزایش تقسیم سلولی، افزایش طول اندام‌ها و در نتیجه افزایش زیست توده همراه است (Soliman *et al.,* 2015). اثر تحریکی نانوذرات مس می‌تواند ناشی از انتقال آن‌ها به نقاط مریستمی باشد که با تعدیل ژن‌های مرتبط با فعالیت اکسین، نقش مهمی در تقسیم و طویل شدن سلول در نقاط رشدی ایفا می‌کنند (Sharma & Da Costa, 2016a).

یکی از تغییراتی که در اغلب تنش‌های زیستی و غیر زیستی رخ می‌دهد تولید گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن است که سبب تخریب کلروفیل و ماکرومولکول‌ها در گیاه می‌گردد. به عبارتی، فتوسنتز به عنوان یک مسیر متابولیک مهم در گیاهان عالی و رنگریزه‌های مرتبط به آن، از اهداف مورد تهدید طی تنش شوری محسوب می‌شود (Jamil & Rha, 2013). غلظت کلروفیل برگ به متابولیسم گیاه، فعالیت آنزیم رابیسکو، میزان نیتروژن برگ و شرایط محیطی بستگی دارد و همچنین ممکن است در غلظت بالای املاح، به علت اثری که شوری بر پروتئین‌ها دارند، اتصال بین کلروفیل و پروتئین‌های کلروپلاستی سست شده و کلروفیل‌ها تخریب گردند. کاهش محتوای کلروفیل همچنین ممکن است نتیجه تشکیل آنزیم‌های پروتئولیتیک نظیر کلروفیلاز باشد که باعث تجزیه کلروفیل می‌گردد و به سیستم فتوسنتزی آسیب می‌رساند. نانوذرات می‌توانند به کلروپلاست گیاه نفوذ کرده، به مرکز واکنش فتوسیستم II برسند و انتقال الکترون‌ها و جذب نور را در کلروپلاست‌های تحت تنش افزایش و در نتیجه کارایی فتوسنتزی و رشد گیاه را بهبود بخشند. مهمترین و بیشترین پروتئین مبتنی بر مس، پلاستوسیانین موجود در کلروپلاست است که به انتقال الکترون در لومن تیلاکوئید، که واسطه فتوسنتز در گیاهان است، کمک می‌کند (Iqbal *et al.,* 2018). علاوه بر این، مس به طور غیر مستقیم، بر متابولیسم گیاه تأثیر می‌گذارد؛ زیرا مس به‌عنوان یک جزء ضروری از آنزیم‌های واکنش‌های ردوکس است. همچنین نانوذرات فلزات می‌توانند کارایی سیستم‌های فتوسنتزی و تولید انرژی شیمیایی آن‌ها را بیش‌تر تحریک کنند، زیرا کلروفیل در مرکز واکنش با نانوذرات فلزی ترکیب می‌شود و سیستمی ترکیبی و منحصر به فرد را تشکیل می‌دهد که الکترون‌های برانگیخته بیشتری تولید می‌کند (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 کود مس در شرایط کمبود آب آبیاری در گیاه چای، با افزایش معنی‌دار در کلروفیل همراه بوده است (Ghanbari *et al.,* 2022). در ذرت نیز شوری سبب کاهش کلروفیل a (۳۹ ٪) و کلروفیل b (۳۰ ٪) نسبت به شاهد شد. البته محلول‌پاشی نانواکسید فلزی در این گیاه منجر به افزایش کلروفیل a (۲۳ ٪) و کلروفیل b (۹۹ ٪) شد. در پژوهش حاضر نیز شوری موجب کاهش معنی‌دار در میزان کلروفیل کل، a و b برگ گیاه مورینگا شد؛ این در حالی بود که ترکیبات نانومس سبب بهبود اثرات منفی تنش شوری بر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی گردید. البته سطوح بالای مس باعث کاهش میزان کلروفیل b شد که احتمالا ناشی از تاثیر آن بر غشای تیلاکوئید و کلروفیل باشد (Essa *et al.,* 2021).

۱- *Moringa peregrina*

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

غشای‌سلولی از نقاط هدف در تنش‌های محیطی، ازجمله شوری، بـه شـمار مـی‌رود. انـواع رادیکـال‌هـای تولیدشـده در شـرایط تـنش می‌توانند بـه ترکیبـات سـلول ماننـد لیپیـدهای غشـا، پروتئین‌ها و نوکلئیک‌اسیدها حمله کنند. ایـن فرآینـد ویژگی‌هایی چون سیالیت غشاء و سنتز پروتئین‌ها را کاهش داده و باعث مرگ سلولی می‌شوند. تخریب غشاهای سـلولی تحـت تأثیر تنش شوری و افزایش نشت‌یونی در گیاه کلزا[1]، همسو با یافته‌های این پژوهش در خصوص افزایش نشت یونی در گیاهـان مورینگا تیمار شده با نمک است. نانوذرات با افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها، کاهش تجمع پراکسیدهیدروژن و مالون‌دی‌آلدئیـد از نشت‌یونی در گیاهان مواجه شده با تنش می‌کاهند (Ahmed *et al.,* 2021). تیمار گیاهـان ذرت *Zea mays* (Noman *et al.,* 2021) با نانوذرات مس در خاک شور نیز با کاهش نشت یونی همراه بوده است.

بنا به نتایج ما، تیمار با آب شور و نانو کود مس، هر دو، باعث افزایش در میزان کربوهیدرات محلول بـرگ مورینگـا شـد. تـنش شوری با کاهش کربوهیدرات محلول، و تیمار با نانواکسید روی و آهن با افزایش این مشخصه در گیـاه مورینگـا پرگرینـا همـراه بوده است (Soliman *et al.,* 2015). تنش شوری می‌تواند سطح کربوهیدرات‌های محلول مانند ساکارز، فروکتـوز و گلـوکز را در گیاهان افزایش دهد. زیرا این کربوهیدرات‌ها نقش مهمی به عنوان اسمولیت در حفظ تعادل اسمزی تحت شرایط تنش شـوری دارند (Ahmad *et al.,* 2017). تنظیم، تقسیم و تخصیص کربوهیدرات می‌تواند به طور قابل تـوجهی بـر رشـد گیـاه در شـرایط تنش شوری تأثیر بگذارد. کاربرد مس ممکن است به متابولیسم کربوهیدرات در گیاهان مواجه شده با تنش شوری کمک کنـد. کاربرد مس به کاهش اثرات منفی استرس نمک بر فتوسنتز و جذب کربن کمـک کـرده و در نتیجـه بـر محتـوی کربوهیـدرات تأثیرگذار است (Chen *et al.,* 2022).

در این پژوهش افزایش سطح نمک با افزایش محتوی کلر، سدیم و پتاسیم و کاهش در کلسیم برگ مورینگا همراه بود. محلول‌پاشی با نانومس نیز محتوی کلر و سدیم را کاهش و پتاسیم را افزایش داد. به گزارشی، آب شور باعث افزایش سدیم، کلر و کاهش در پتاسیم، منیزیم و فسفر برگ مورینگا پرگرینا شد. گیاهان تیمار شده با نانواکسید روی و آهن، کاهش در سدیم و افزایش نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم، آهن و روی را نشان دادند (Soliman *et al.,* 2015).

یون پتاسیم در فعالیت برخی آنزیم‌ها ی دخیل در سنتز پروتئین‌ها و فتوسنتز ایفای نقش می‌نماید و به عنوان تنظیم کننده اسمزی در طی توسعه سلولی و فعالیت‌های روزنه‌ای و میانجی‌گری می‌کند. کلسیم نقش اساسی در تکمیل ساختمان غشا سلولی، پایداری دیواره سلولی، تنظیم انتقال یون و جذب انتخابی غشا دارد. تنش شوری موجب اختلال در جذب مواد غذایی مورد نیاز رشد می‌شود. گیاهان در یک محیط شور، مقدار زیادی یون سدیم را به جای یون‌هایی مثل کلسیم جذب می‌کنند. جایگزینی سدیم به جای کلسیم در غشای سلول، سبب کاهش خاصیت نیمه تراوایی غشاء و متعاقبا خروج پتاسیم می‌گردد (Chen *et al.,* 2005). کاهش پتاسیم تحت این شرایط، همچنین می‌تواند به دلیل رقابت سدیم بر سر مکان‌های اتصال پتاسیم به ناقل‌ها در غشاء پلاسمایی و یا نشت پتاسیم به دلیل عدم ثبات غشاء باشد. به گزارشی، تحت تنش شوری، کاربرد نانوذرات مس محتوی سدیم را تا ۵۲ ٪ کاهش داده است. نانو ذره مس، سطوح یون‌های سدیم و کلر را در سیستم گیاهی از طریق برقراری برهمکنش‌های الکترواستاتیکی با یون‌های نمک در محیط بیرونی کاهش می‌دهند و از این رو، گیاهان را از اثرات نامطلوب تنش شوری محافظت می‌کنند (Noman *et al.,* 2021). در پژوهشی بر اثرات ترکیبی و منفرد تنش شوری و مس بر گیاهان نعناع، کاربرد مس باعث افزایش سطح کلسیم و منیزیم در برگ‌ها شد (Chrysargyris et al., 2019). همچنین در مطالعه‌ای بر ذرت، کاربرد مس اثرات نامطلوب تنش شوری را با حفظ سطح پتاسیم، کاهش داد (Iqbal *et al.,* 2018). این نشان می‌دهد که مس ممکن است در تعدیل هموستازی کلسیم و سایر مواد معدنی تحت شرایط تنش شوری نقش داشته باشد (Chrysargyris *et al.,* 2019; Iqbal *et al.,* 2018).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی تنش شوری سبب کاهش وزن تر و خشک شاخساره، قطر شاخساره، تعداد برگ و محتوی کلسیم در گیاه مورینگا شد. محلول‌پاشی شاخ و برگ با نانو مس در شرایط تنش شوری بر صفات اندازه‌گیری شده در گیاه مورینگا تاثیر گذار بود. از بین تیمارهای نانومس، در شرایط شوری ۱۱/۷ دسی‌زیمنس‌برمتر، تیمار ۲۰ پی‌پی‌ام نانومس بیشترین تاثیر مثبت معنی‌دار را

۱- *Brassica napus*

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

بر صفات مورد بررسی داشت. این نتایج نشان می‌دهد مصرف نانو کودها در شرایط شور می‌تواند باعث افزایش تحمل گیاه به شرایط تنش شود.

References منابع

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://www.academicjournals.org/JMPR

Ahmad, P., Ahanger, M. A., Alyemeni, M. N., Wijaya, L., Egamberdieva, D., Bhardwaj, R., & 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

Ahmed, T., Noman, M., Manzoor, N., Shahid, M., Abdullah, M., Ali, L., Wang, G., Hashem, A., Al-Arjani, A.B.F., Alqarawi, A.A. Abd_Allah, E.F., & Li, B. (2021). Nanoparticle-based amelioration of drought stress and cadmium toxicity in rice via triggering the stress responsive genetic mechanisms and nutrient acquisition. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *209*, 111829. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111829

Chapman, H. D., & Pratt, P. F. (1961). *Methods of analysis for soils, plants and water*. University California, Berkeley, CA, USA.

Chen, G., Li, J., Han, H., Du, R., & Wang, X. (2022). Physiological and molecular mechanisms of plant responses to copper stress. *International Journal of Molecular Sciences*, *23*(21), 12950. https://doi.org/10.3390/ijms232112950

Chen, Z., Newman, I., Zhuo, M., Mendham, N., Zhang, G. & Shabala, S. (2005). Screening plants for salt tolerance by measuring K+ flux: a case study for barely. *Plant*, *Cell and Environment, 28*(10), 1230-1246. https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2005.01364.x.

Chrysargyris, A., Papakyriakou, E., Petropoulos, S. A., & Tzortzakis, N. (2019). The combined and single effect of salinity and copper stress on growth and quality of Mentha spicata plants. *Journal of Hazardous Materials, 368,* 584-593. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.01.058

Da Costa, M. V. J., & 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.

Essa, H. L., Abdelfattah, M. S., Marzouk, A. S., Shedeed, Z., Guirguis, H. A., & 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.

Farooq, T. H., Rafy, M., Basit, H., Shakoor, A., Shabbir, R., Riaz, M. U., Ali, B., Kumar, U., Qureshi, K.A., & Jaremko, M. (2022). Morpho-Physiological Growth Performance and Phytoremediation Capabilities of Selected Xerophyte Grass Species Towards Cr and Pb Stress. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 997120. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.997120

Ghanbari, M., Mokhtassi-Bidgoli, A., Talebi-Siah Saran, P., & and Moradi-Lat Mahaleh, R. (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

Ghobadpour, R. (2009). Effects of soil salinity on the accumulation of solutes (sodium, chlorine, potassium, calcium, magnesium), amino acid proline and soluble sugar in the leaves of Atriplex, Lact, and Gazder in Chah Afzal Ardakan region .M.S. thesis of Natural Resources Engineering, Faculty of Natural Resources and Desertology, Yazd, Iran. (In Persian)

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

Hiscox, J. D., & 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

Iqbal, M. N., Rasheed, R., Ashraf, M. Y., Ashraf, M. A., & 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., & 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

Karnosky, D. F., Gagnon, Z. E., Dickson, R. E., Coleman, M. D., Lee, E., & 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

Khan, I., Saeed, Kh. & Idrees Khan, I. (2019) Nanoparticles: Properties, applications and toxicities. *Arabian Journal of Chemistry, 7,* 908-931. https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2017.05.011

Ma, Z. F., Ahmad, J., Zhang, H., Khan, I., & and Muhammad, S. (2020). Evaluation of phytochemical and medicinal properties of Moringa (*Moringa oleifera*) as a potential functional food. *South African Journal of Botany*, *129*, 40-46. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.12.002

Moradbeygi, H., Jamei, R., Heidari, R., & 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.

Noman, M., Ahmed, T., Shahid, M., Niazi, M. B. K., Qasim, M., Kouadri, F., Abdulmajeed, A.M., Alghanem, S.M., Ahmad, N., Zafar, M., & 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

Nouman, W., Siddiqui, M. T., Basra, S. M. A., Khan, R. A., Gull, T., Olson, M. E., & 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

Pareek, A., Pant, M., Gupta, M. M., Kashania, P., Ratan, Y., Jain, V., Pareek, A., & Chuturgoon, 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

Pashangah, Z., Shamili, M., Abdolahi, F., & 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.

Pratt, P. F., & Chapman, H. D. (1961). Gains and losses of mineral elements in an irrigated soil during a 20-year lysimeter investigation. *Hilgardia, 30*(16), 445-467. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19610701864

Soliman, A. S., El-feky, S. A., & 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

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

Zarei, M., Azizi, M., Rahemi, M., & 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

Zhang, H., Ma, Z. F., Luo, X., & and Li, X. (2018). Effects of mulberry fruit (*Morus alba* L.) consumption on health outcomes: A mini-review. *Antioxidants*, *7*(5), 69. https://doi.org/10.3390/antiox7050069

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 26 (1):1-16 (2025)
Research article

Studying the Modulating Effect of Nano Copper on the Morphological Characteristics and Elements Content of Moringa (*Moringa oleifera* L.) Under Salt Stress

Mahsa Ameri[1], Mansoore Shamili[1], Vahid Roshan Sarvestani[2], Mostafa Ghasemi[3]
1. Department of Horticultural sciences, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran
2. Department of Natural Resources, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, PO Box 71555-617, Shiraz, Iran
3. Horticulture Crops Research Department, Qazvin Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Qazvin, Iran
*Corresponding Author, E-mail: (shamili@ut.ac.ir)

Since salinity is one of the destructive stresses on moringa growth, applying proper method can be efective to diminish its harmful impacts. This research was done in 2022-2023 in Kushk Hazar in Beyza city of Fars province.This factorial research was done as a completely random design to investigate the impact of copper nanoparticles (0, 5, 10 and 20 ppm) on the morphological and elements content of moringa under sodium chloride salinity (0, 3.9, 7.8 and 11.7 dSm^{-1}). The results indicated the significant effect of salt and nano copper levels on the assessed traits. Salinity made decreases in shoot dry weight, chlorophyll content (total, a and b), calcium and increases in ion leakage, carbohydrate, chlorine, sodium and potassium. The lowest shoot diameter and leaf number observed in plants received 11.7 dS m^{-1} salinity. Under 7.11 dSm^{-1} salinity, nano copper spraying improved shoot fresh weight (22%), carbohydrate (45%) and potassium (22%) and lessened chlorine, sodium and calcium content (16, 29 and 42% respectively). In general, it can be concluded that foliar spraying of copper nanoparticles (up to 20 ppm) can play an effective role in reducing the adverse effects of salinity in moringa plant and increasing plant growth and yield.
Keywords: Moinga, Nano Cu, Minerals, Sparaying, Salinity.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]