نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی
جلد بیست و هشتم، شماره سوم، ۱۴۰۰
۱۰۳-۱۱۶
http://jopp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/JOPP.2021.18308.2707

مقاله کامل علمی-پژوهشی

تأثیر محلول‌پاشی نانوکودها و تنش شوری بر غلظت عناصر غذایی برگ و بذر و صفات فیزیولوژیکی کینوا (*Chenopodium quinoa*)

فائزه حیدری[۱]، جلال جلیلیان[۲] و اسماعیل قلی‌نژاد[*۳]

[۱]گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران،
[۲]دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران،
[۳]دانشیار گروه علمی علوم کشاورزی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۰۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۲۴

چکیده

سابقه و هدف: گیاه کینوا به تازگی از طرف وزارت جهاد کشاورزی برای کشت در مناطق شور و با محدودیت تأمین آب کافی توصیه شده است، اما مطالعات زیادی در مورد ویژگی‌های رشد و نموی و نیاز تغذیه‌ای (کودی) این گیاه در کشور در دسترس نیست. فناوری نانو امکان استفاده از عناصر غذایی و کاهش هزینه‌های حفاظت از محیط زیست را فراهم کرده است. تنش شوری یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های رشد گیاهان در مناطق خشک و نیمه خشک است. با توجه به اهمیت تنش شوری و گیاه کینوا و نانوکود، این آزمایش با هدف بررسی تأثیر محلول‌پاشی نانوکودها بر غلظت عناصر غذایی برگ و بذر و برخی صفات فیزیولوژیک در شرایط تنش شوری روی گیاه کینوا انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: این آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ارومیه به صورت گلدانی اجرا شد. عامل اول تنش شوری با آب دریاچه ارومیه در سه سطح (۰، ۱۶ و ۳۲ دسی‌زیمنس بر متر) و عامل دوم نانوکود در پنج سطح (کلسیم، سیلیس، روی، پتاسیم و شاهد (عدم محلول‌پاشی) بود. برای تعیین میزان پتاسیم و سدیم ابتدا محلول‌های استاندارد هر کدام از این عناصر تهیه شده و غلظت عناصر توسط دستگاه فیلم فوتومتر (مدل Clinical pfp7) به روش نشر شعله‌ای ابتدا استانداردها و سپس نمونه‌ها اصلی قرائت شدند. اندازه‌گیری کلسیم و روی نیز توسط دستگاه جذب اتمی (مدل AA-6300) قرائت گردید. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS Ver. 9.1 و MATATC انجام و مقایسه میانگین‌ها نیز توسط آزمون LSD در سطح پنج درصد انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که تنش شوری ۳۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شاهد به ترتیب کلسیم برگ (۵۶ و ۵۳ درصد)، کلسیم بذر (۵۲ و ۴۸ درصد)، کلروفیل a (۳۲ و ۱۴ درصد) و کلروفیل b (۲۸ و ۱۲ درصد) را کاهش داد، ولی به ترتیب مقدار روی بذر (۴۵ و ۳۶ درصد)، کاروتنوئید (۳۰ و ۱۸ درصد)، پرولین (۳۳ و ۱۵ درصد) و قندهای محلول (۲۴ و ۸ درصد) را افزایش داد. محلول‌پاشی با نانوکودها در مقایسه با شاهد، مقدار کلسیم بذر، روی بذر، محتوای کلروفیل a و b و پرولین را افزایش داد. بیش‌ترین مقدار روی برگ (۶۷/۶۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، وزن خشک کل (۳۳/۳۱ گرم) و عملکرد دانه (۱۱/۶۴

[*] مسئول مکاتبه: gholinezhad1358@yahoo.com

گرم) از تیمار بدون تنش شوری و محلول‌پاشی با نانوکود روی حاصل شد. هم‌چنین بیش‌ترین مقدار پتاسیم بذر (۱/۹۵ درصد) و برگ (۳/۸۶ درصد) به ترتیب از محلول‌پاشی کلسیم و پتاسیم در شرایط تنش شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری: یافته‌های این مطالعه نشان داد، سطوح مختلف تنش شوری باعث ایجاد آثار منفی بر همه صفات مؤثر بر رشد کینوا شد. بیش‌ترین میزان کاهش صفات در تنش شوری ۳۲ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد. محلول‌پاشی با نانوکودها با افزایش محتوای کلروفیل، پرولین، کلسیم و روی بذر سبب افزایش وزن خشک کل و عملکرد دانه کینوا گردید. بنابراین جهت بهبود عملکرد گیاه کینوا به‌ویژه در شرایط تنش شوری، محلول‌پاشی نانوکودها پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: تنش شوری، روی، عملکرد، کلروفیل، کلسیم، کینوا، نانوکود

مقدمه

تنش شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که رشد و عملکرد گیاه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. وجود مقدار بالای نمک در محیط رشد باعث تنش اکسایشی، اسمزی و یونی در گیاهان می‌شود (۸). تنش شوری غلظت عناصر غذایی را در گیاهان تغییر می‌دهد که به گونه گیاهی و سطح شوری بستگی دارد (۴۰). تجمع نمک‌ها غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی مانند کلروفیل و کاروتنوئید را کاهش می‌دهد (۱۱). در پژوهشی گزارش شد، افزایش شوری از صفر به ۱۵ درصد اختلاط آب دریا به‌ترتیب وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، عملکرد و وزن هزاردانه کینوا را به‌میزان ۹/۸، ۹/۹، ۲/۱ و ۲۳/۴ درصد کاهش داد (۱۶). خلیلی و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند، بیش‌ترین غلظت فسفر گیاه کینوا در سطح ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفر و شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد که در مقایسه با شاهد ۸۰/۹۲ درصد افزایش یافت هم‌چنین در پژوهش نامبردگان بیش‌ترین سدیم گیاه در غلظت شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد (۱۸). در آزمایشی گزارش شد که تنش شوری ۳۰۰۰ و ۶۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر عملکرد دانه، محتوای کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید و قندهای محلول را در گیاه کینوا کاهش داد (۲۵). به‌منظور مقابله با اثرات نامطلوب تنش شوری در گیاهان، پژوهش‌های مختلفی آغاز شده و در گیاهان مختلف در حال انجام است. بهبود تنش‌های مختلفی مانند، شوری (۲۳) با تغذیه سیلیسیم گزارش شده است. کلسیم اثرات فراوانی در صفات ریخت‌شناسی و زیست-شیمیایی گیاه دارد و اثرات شوری را بهبود می‌بخشد (۵، ۶). پتاسیم نقش مهمی در میزان تحمل گیاهان به تنش شوری دارد (۲۷). محلول‌پاشی عناصر کلسیم، پتاسیم و منگنز در برنج سبب کاهش اثرات منفی شوری شد (۵، ۳۱).

کینوا از گیاهانی است که به شوری مقاوم بوده و در شرایطی که اراضی دارای حاصل‌خیزی کم و یا دارای محدودیت هستند نیز به خوبی قابل کشت می‌باشد و محصول مناسبی تولید می‌کند (۱۵). این گیاه مقاومت قابل‌ملاحظه‌ای در برابر طیف‌های وسیعی از تنش‌های غیر زنده مانند سرما، شوری و کم‌آبی از خود نشان می‌دهد (۱۴).

یکی از مهم‌ترین کاربردهای فناوری نانو در زمینه‌ها و گرایش‌های مختلف کشاورزی در بخش آب و خاک، استفاده از نانو کودها برای تغذیه گیاهان است (۳۴، ۳۸). به دلیل این‌که دیواره سلول گیاهی به‌عنوان یک مانع برای ورود آسان هر عامل خارجی به داخل سلول‌های گیاهی عمل می‌کند، نانو ذرات که قطر منفذ کم‌تری نسبت به قطر منفذ دیواره سلولی

دارند به راحتی می‌توانند از منافذ روی دیوار عبور کنند (۳۰). در پژوهشی گزارش شد بیش‌ترین عملکرد دانه، محتوای کلروفیل، کاروتنوئید، Ca، Mg، P، K، N، Mn، Zn و Fe برگ با محلول‌پاشی نانوذرات اکسید روی و اکسید آهن در گیاه *Moringa peregrine* به‌دست آمد (٤٢). در مطالعه‌ای روی کتان (*Linum uitatissimum*) گزارش شد که محلول‌پاشی با نانوکود اکسید روی سبب افزایش وزن خشک کل، محتوای کلروفیل و کاروتنوئید در مقایسه با شاهد گردید (۳۹). این پژوهش با هدف بررسی تأثیر محلول‌پاشی نانوکودها بر غلظت عناصر غذایی برگ و بذر و برخی صفات فیزیولوژیک گیاه کینوا در شرایط تنش شوری انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال ۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ارومیه بر پایه طرح کاملاً تصادفی به صورت کشت گلدانی با ۱۵ تیمار و ۳ تکرار اجرا گردید. تیمار تنش شوری با آب دریاچه ارومیه در سه سطح (صفر، ١٦، ۳۲ دسی‌زیمنس بر متر) بود. تیمار محلول‌پاشی در ۵ سطح {۱- نانوکود پتاسیم (۲ در هزار)، ۲- نانوکود روی (۱/۵ در هزار)، ۳- نانوکود کلسیم (۲ در هزار)، ٤- نانوکود سیلیس (۱/۵ در هزار) و شاهد (عدم محلول‌پاشی)} می‌باشد که زمان اعمال تیمارها بعد از استقرار ۳ گیاهچه در هر گلدان و رسیدن به مرحله ٤ برگی انجام شد. به طوری که تیمارهای شوری در هنگام آبیاری بعد از مرحله چهار برگی، یکبار در هفته اعمال شدند و تیمار محلول‌پاشی هر ۱۲ روز یکبار و در مجموع در ۵ مرحله اعمال گردید. تیمار محلول پاشی کودهای نانو برای پتاسیم و کلسیم به صورت ۲ در هزار و برای روی و سیلیس به صورت ۱/۵ در هزار، تهیه شدند و طی ۵ مرحله در هر گلدان اعمال شدند. برای هر گلدان در ۲ مرحله اولیه محلول پاشی در مجموع میزان یک گرم نانو کود پتاسیم و یک گرم نانو کود کلسیم به صورت جداگانه در ۵۰۰ سی‌سی آب مقطر و برای نانو روی و سیلیس میزان ۷۵۰ میلی‌گرم در ۵۰۰ سی‌سی آب مقطر حل گردید و محلول‌پاشی انجام شد امادر ۳ مرحله بعدی به علت حجیم شدن گیاهان در هر گلدان مقادیر بیش‌تری محلول جهت خبس شدن کامل گیاه نیاز بود. بنابراین در مجموع مقدار ۲۲۵۰ میلی‌گرم نانو کود پتاسیم و نانو کود کلسیم به صورت جداگانه در ۱۱۲۵ سی‌سی آب مقطر حل گردید و برای نانو روی و سیلیس میزان ١٦٩٠ میلی‌گرم در ۱۱۳۰ سی‌سی آب مقطر حل گردید و محلول‌پاشی انجام شد. برای آماده‌سازی خاک گلدان‌ها، خاک، کود دامی و ماسه بادی به‌ترتیب با نسبت‌های ۳، ۱، ۱ مخلوط شدند و به گلدان‌ها اضافه شدند و در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ارومیه قرار گرفتند. به‌دلیل یکسان بودن شرایط آزمایش برای پر کردن خاک در گلدان‌ها هر کدام را وزن کرده و به مقدار مساوی با خاک پر شدند. وزن هر گلدان برابر با ۷ کیلوگرم و دارای قطر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متری بودند. سپس ظرفیت زراعی هر گلدان را به دست آورده و به هر گلدان به مقدار ۱ گرم کود اوره و کود سوپرفسفات تریپل اضافه گردید. شروع کشت بذر کینوا رقم *Titicaca* در تاریخ ۹ تیر سال ۱۳۹۷ بعد از تهیه نقشه طرح و انتخاب تصادفی تیمارها در واحد آزمایش، صورت گرفت و هر کدام از بذرها در عمق ۲ سانتی‌متری از خاک گلدان‌ها قرار گرفتند. آبیاری در همان روز برای هر گلدان به مقدار یک لیتر و ۲۰۰ سی‌سی صورت گرفت. عملیات داشت نیز شامل کنترل علف هرز به صورت دستی و تنک کاری بود و عملیات برداشت نیز در تاریخ ۱۸ مهر بعد از رسیدگی کامل فیزیولوژیکی نمونه‌های گیاهی را کف بر کرده و برای انجام آزمایش‌ها به آزمایشگاه دانشگاه ارومیه انتقال گردیدند. نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی-شیمیایی خاک محل آزمایش.

Table 1. Selected physical and chemical characteristics of the soil testing site.

منگنز Mn	آهن Fe	روی Zn	مس Cu	آهک Lime	پتاسیم قابل‌جذب K	فسفر قابل‌جذب P	کلسیم Ca	ازت کل N	کربن الی Organic carbon	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	هدایت الکتریکی EC	واکنش گل اشباع pH
ppm							meq/100 g	dS/m	%					
0.7	1.56	0.78	1.66	17.5	514	11.2	76.8	0.25	1.40	38	1.5	60.5	2.98	8.12

ارزیابی صفات فیزیولوژیکی

پرولین و قندهای محلول در برگ: برای اندازه‌گیری پرولین و قندهای محلول، بعد از اعمال تیمارهای تنش شوری و محلول‌پاشی از برگ‌های توسعه یافته و جوان بوته‌های هر گلدان نمونه برداری شد و در فویل آلومینیومی در تانک نیتروژن مایع قرار داده شده و سپس در فریزر نگهداری شدند.

مقدار پرولین برگ: نیم گرم برگ از هر تیمار را با ترازوی دقیق وزن کرده و در ۱۰ میلی‌لیتر محلول ۳ درصد اسید سولفوسالسیلیک سائیده تا مخلوط همگنی به‌دست آید. مخلوط حاصل را با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره ۲ صاف کرده و از هر کدام به مقدار ۲ میلی‌لیتر به لوله آزمایش انتقال داده شدند. سپس به هر کدام از عصاره گیاهی ۲ میلی‌لیتر معرف ناین هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال اضافه گردید. در مرحله بعدی همه لوله‌ها را بن ماری کرده و در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده و بعد از یک ساعت لوله‌ها را بیرون آورده و جهت قطع واکنش در لوله‌ها در حمام آب یخ قرار داده و به هر یک ٤ میلی‌لیتر تولوئن افزوده گردید. لایه سرخ رنگ تشکیل می‌شود که حاوی تولوئن و پرولین می‌باشد و جهت اندازه‌گیری پرولین استفاده می‌گردد. مقدار معینی از لایه بالایی برداشته و در دستگاه اسپکتوفتومتر قرار داده و در طول موج ۵۲۰ نانومتر جذب قرائت شد (۷).

قندهای محلول: در ابتدا نمونه برگی خشک شده در آون را از الک با مش ۸ عبور داده و مقدار ۰/۱ گرم را وزن کرده و درون فالکون ریخته شد. مقدار ۱۵ میلی‌لیتر از اتانول ۸۰ درصد را که قبلاً گرم شده بود به ارلن اضافه کرده و به مدت ۲۰ ثانیه ورتکس شد. فالکون‌های حاوی عصاره به مدت ٢٤ ساعت در آون با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند تا اتانول آن‌ها تبخیر شود. پس از تبخیر اتانول فقط جرم زرد رنگ یا سفید رنگی در کف پتری‌دیش باقی‌ماند که با ٤۰ میلی‌لیتر آب مقطر شستشو داده و به درون فالکون ۵۰ میلی‌لیتر ریخته شد. فالکون‌ها به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. مقدار ۲ میلی‌لیتر از عصاره فاز مایع بعد از سانتریفیوژ به فالکون ۱۵ میلی‌لیتر منتقل شد. به وسیله پاپیتور مقدار ۵ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک ۹۸ درصد به داخل هر یک از نمونه‌ها اضافه شد. پس از آماده‌سازی محلول‌ها ٤۵ دقیقه صبر نموده تا رنگ محلول تثبیت گردد. سپس نمونه‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر با طول موج ٤۸۵ نانومتر قرائت شدند (۱۲).

رنگیزه‌های فتوسنتزی: میزان کلروفیل a، کلروفیل b و میزان کاروتنوئید بر اساس روش Arnon (۳) اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری عناصر برگ و بذر: مقدار یک گرم از بذر و برگ خشک شده در داخل بوته چینی ریخته شده و در کوره الکتریکی در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس قرار گرفت، تا به‌طور کامل خاکستر شود. بعد از این مدت

به هر نمونه ۱۰ میلی‌لیتر از اسید کلریدریک ۲ نرمال اضافه کرده و تا نقطه جوش حرارت داده شد. سپس نمونه داخل بالن ۱۰۰ میلی‌لیتر صاف و با آب مقطر به حجم رسانده شد. برای تعیین میزان پتاسیم و سدیم ابتدا محلول‌های استاندارد هرکدام از این عناصر تهیه شده و غلظت عناصر توسط دستگاه فیلم فوتومتر (مدل Clinical pfp7) به روش نشر شعله‌ای ابتدا استانداردها و سپس نمونه‌ها اصلی قرائت شدند (٤٦). اندازه‌گیری کلسیم و روی نیز توسط دستگاه جذب اتمی (مدل AA-6300) قرائت گردید.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS Ver. 9.1 و MATATC انجام و مقایسه میانگین‌ها نیز توسط آزمون LSD در سطح پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

غلظت عناصر: نتایج تجزیه واریانس اثرات ساده و برهمکنش تنش شوری و محلول‌پاشی بر عناصر غذایی برگ و بذر در جدول ۲ ارائه شده است.

کلسیم برگ و بذر: بیش‌ترین مقدار کلسیم برگ (۲/۵۱ درصد) و کلسیم بذر (۲/٤۸ درصد) از تیمار بدون تنش شوری به‌دست آمد. نتایج نشان داد که تنش شوری ۳۲ و ۱٦ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شاهد به ترتیب صفات کلسیم برگ (٥٦ و ٥۳ درصد) و کلسیم بذر (٥۲، ٤۸) را کاهش داد (جدول ٤). در این آزمایش یون سدیم به‌دلیل اثر رقابتی که با یون کلسیم داشته سبب کاهش این یون شده است. اثر سمیت سدیم ممکن است به‌دلیل اثرات مستقیم این یون نباشد بلکه به علت کاهش مقدار عناصر مغذی ضروری پتاسیم و کلسیم در گیاه باشد. تنش شوری سبب اختلال در جذب عناصر غذایی برای رشد گیاه شده است. گیاهان در محیط شور یون سدیم را به‌جای یون‌های مورد نیاز دیگر مانند کلسیم جذب می‌کنند (۹).

محلول‌پاشی با نانوکودها در مقایسه با شاهد، مقدار کلسیم بذر را افزایش داد (جدول ٤). کاربرد برخی عناصر به صورت محلول‌پاشی سبب کاهش اثرات تنش شوری می‌گردد که یکی از آن عناصر کلسیم می‌باشد که موجب بهبود در صفات ریخت‌شناسی و زیست-شیمیایی گیاهان تحت تنش می‌شود (۲۸). در شرایط تنش شوری افزایش کلسیم در سلول گیاه سبب حفظ خاصیت نیمه تراوایی می‌شود به‌همین دلیل از خروج مواد درون سلول نیز جلوگیری می‌کند (۲). محتوای بالای کلسیم می‌تواند قابلیت غشای پلاسمایی سلول گیاهی برای یون سدیم را کم کرده و موجب افزایش جذب کلسیم گردد (۹).

روی برگ و بذر: افزایش ٤٥ و ۳٦ درصدی مقدار روی بذر به ترتیب در تنش شوری ۳۲ و ۱٦ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به شاهد در این مطالعه مشاهده شد. هم‌چنین محلول‌پاشی با نانوکود روی در مقایسه با شاهد (عدم محلول‌پاشی)، مقدار روی بذر را افزایش داد (جدول ٤). بیش‌ترین مقدار روی برگ (٦۷/٦٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، از تیمار بدون تنش شوری و محلول‌پاشی با نانوکود روی حاصل شد (جدول ٥). هم‌چنین مطالعات نشان داده فلزات سنگینی چون کادمیوم و روی به دلیل حفظ استحکام ساختاری و عملکردی غشاء سلولی ریشه برای مقاومت گیاه در برابر سمیت کلرید سدیم لازم است (٤٥). در شرایط تنش شوری غلظت سدیم معمولاً بیش از غلظت سایر عناصر کم‌مصرف و پر مصرف بوده و این امر موجب اختلال در تغذیه گیاه تحت تنش می‌شود (۲٤).

سدیم برگ و بذر: در شرایط بدون تنش شوری، بیش‌ترین مقدار سدیم برگ (۰/۱۷ درصد) از تیمار شاهد (بدون تنش شوری و عدم محلول‌پاشی) به‌دست آمد. در شرایط تنش شوری ۱۶ دسی زیمنس بر متر، بیش‌ترین مقدار سدیم برگ (۰/۲۰ درصد) از تیمار محلول‌پاشی با نانوکود پتاسیم حاصل شد. در شرایط تنش شوری ۳۲ دسی‌زیمنس بر متر، بیش‌ترین مقدار سدیم برگ (۰/۲۱ درصد) در تیمار محلول‌پاشی با نانوکود پتاسیم و نانوکود کلسیم مشاهده شد. هم‌چنین در شرایط بدون تنش شوری، تنش شوری ۱۶ و ۳۲ دسی‌زیمنس بر متر بیش‌ترین مقدار سدیم بذر به‌ترتیب از تیمار محلول‌پاشی با نانوکود پتاسیم، نانوکود کلسیم و نانوکود سیلیس حاصل شد. نتایج پژوهشگران دیگر نشان می‌دهد در شرایط شوری نمک سدیم به‌طور آزادانه وارد گیاه شده و موجب افزایش یون سدیم می‌شود (۲). هم‌چنین تنش شوری موجب اختلال در جذب مواد غذایی و جذب بیش‌تر یون سدیم در محیط تنش می‌شود (۲۶). عنصر پتاسیم یک عنصر سیتوپلاسمی است که در تنظیم اسمزی نقش مهمی داراست بنابراین به‌دلیل اثر رقابتی با عنصر سدیم در شرایط تنش نقش مهمی برعهده دارد (۲۷، ۴۷).

پتاسیم برگ و بذر: بررسی برش‌دهی اثرات برهمکنش تنش شوری و محلول‌پاشی نشان داد که در شرایط بدون تنش شوری، بیش‌ترین مقدار پتاسیم برگ (۴/۱۲ درصد) از تیمار محلول‌پاشی با نانوکود پتاسیم به‌دست آمد. در شرایط تنش شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر، بیش‌ترین مقدار پتاسیم برگ (۳/۸۶ درصد) از تیمار محلول‌پاشی با نانوکود پتاسیم حاصل شد. در شرایط تنش شوری ۳۲ دسی‌زیمنس بر متر، بیش‌ترین مقدار پتاسیم برگ (۳/۶۳ درصد) در تیمار محلول‌پاشی با نانوکود روی مشاهده شد. همراستا با نتایج این پژوهش، در مطالعات دیگر نیز افزایش غلظت سدیم و کاهش غلظت پتاسیم در اثر تنش شوری گزارش شده است (۳۶). افزایش غلظت سدیم و کاهش غلظت پتاسیم در محیط‌های شور مربوط به رقابت این دو یون در جایگاه‌های جذب در ریشه گیاهان است. افزایش نسبت غلظت پتاسیم به سدیم نقش مؤثری در حفظ نرخ فتوسنتزی و عملکرد روزنه‌ها ایفا می‌کند و پائین بودن نسبت پتاسیم به سدیم موجب اختلال در فعالیت‌های آنزیمی سیتوپلاسم می‌شود (۳۷).

صفات فیزیولوژیکی

کلروفیل a و b: نتایج تجزیه واریانس اثرات ساده و برهمکنش تنش شوری و محلول‌پاشی بر صفات فیزیولوژیک در جدول ۳ ارائه شده است.

یافته‌های ما در این مطالعه نشان داد تنش شوری ۳۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شاهد به‌ترتیب کلروفیل a (۳۲ و ۱۴ درصد) و کلروفیل b (۲۸ و ۱۲ درصد) را کاهش داد (جدول ۴). اما تردیدی نیست که افزایش غلظت یون‌های سمی مانند سدیم در برگ‌ها در اثر تنش شوری موجب تخریب کلروفیل می‌گردد. دیگر عاملی که بر غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ یا در واحد وزن آن، سطح برگ است که خود تابع تنش شوری محیط است در سطوح متوسط تنش شوری موجب کاهش اندک سطح برگ می‌شود (۴ و ۳۲).

محلول‌پاشی با نانوکودها در مقایسه با شاهد، محتوای کلروفیل a و b را افزایش داد (جدول ۴). بین محلول‌پاشی با نانوکودهای مختلف از نظر تاثیر بر محتوای کلروفیل a تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد

ولی بیش‌ترین مقدار کلروفیل b (۱/٤۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) از محلول‌پاشی با نانوکود کلسیم حاصل شد (جدول ٤). محلول‌پاشی با نانوکود روی نسبت به عدم محلول‌پاشی موجب افزایش ۱۰ درصدی کلروفیل a در کینوا شد. هم‌چنین محلول‌پاشی با نانوکود کلسیم در مقایسه با عدم محلول‌پاشی سبب افزایش ١٤ درصدی کلروفیل b در کینوا گردید. محلول‌پاشی روی و آهن موجب افزایش کلروفیل شده و این امر به‌دلیل نقش مهم این عناصر در متابولیسم نیتروژن و ساخت کلروفیل می‌باشد (۱).

کاروتنوئیدها: بررسی نتایج مقایسه میانگین نشان داد تنش شوری ۳۲ و ١٦ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شاهد محتوای کاروتنوئید (۳۰ و ۱۸ درصد) را افزایش داد (جدول ٤). شریعتی و مددکار حقجو در مطالعه‌ای (۱۳۷۹) به این نتیجه رسیدند که افزایش تنش شوری موجب کاهش رشد سلول‌ها و افزایش بتاکاروتن سلول‌ها در محیط کشت می‌شود. با مطالعه روی میزان کاروتنوئید تولید شده از میکروجلبک *D. salina* این نتیجه مشاهده شد که استفاده از تنش‌هایی مانند شوری بالا، دمای بالا، کمبود نیتروژن موجب افزایش کاروتنوئید و کاهش میزان کلروفیل می‌گردد (۳۵). تیمار محلول‌پاشی تأثیر معنی‌داری بر میزان کاروتنوئید کینوا نداشت.

پرولین: افزایش ۳۳ و ۱۵ درصدی محتوای پرولین به‌ترتیب در شرایط تنش شوری ۳۲ و ١٦ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به شاهد مشاهده شد (جدول ٤). محلول‌پاشی با نانوکودها به ویژه نانوکود سیلیس (افزایش ۱۱ درصدی) در مقایسه با شاهد، محتوای پرولین را افزایش داد. بر اساس نتایج به‌دست آمده از کاربرد پتاسیم روی گیاه ارزن مروارید (*Pennisetum glaucum*) نشان داد که محتوای پرولین توسط شوری افزایش یافت؛ اما کاربرد پتاسیم اثری بر این افزایش در سطح شوری بالا نداشت (۱۳). در بسیاری از گیاهان تنش شوری منجر به افزایش پرولین در گیاه می‌شود. تغییر میزان پرولین یکی از پدیده‌های غالب طی تنش شوری گزارش شده است؛ اما نقش دقیق آن هنوز یک موضوع بحث‌برانگیز است (۲۲). تجمع زیاد پرولین گیاه را قادر می‌سازد تعادل اسمزی بافت‌های خود را در شرایط تنش حفظ کرده وقتی گیاه در شرایط تنش رشد کند پرولین به عنوان ذخیره‌ای برای انرژی و نیتروژن در شرایط تنش استفاده می‌شود (٤۳).

قندهای محلول: بررسی جدول ٤ نشان داد که تنش شوری ۳۲ و ١٦ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شاهد به ترتیب قندهای محلول (٢٤ و ۸ درصد) را افزایش داد (جدول ٤). بنا به گزارش برخی از پژوهشگران قندهای تجمع یافته در اندام‌های رویشی گیاهی مانند گندم در شرایط تنش کاهش می‌یابد (۱۰) که با نتایج پژوهش حاضر تناقض دارد، اما نتایج به‌دست آمده دیگر بیانگر این است که افزایش میزان تنش شوری در گیاهان میزان فعالیت آنزیم ساکارز سنتتاز افزایش می‌یابد (۳۳) و برای مقاومت در برابر تنش شوری قندهای ساده و مرکب به عنوان تنظیم‌کننده‌های اسمزی و محلول‌های سازگار تولید می‌کنند (٤۱). اثر تیمار محلول‌پاشی بر کربوهیدرات محلول در کینوا معنی‌دار نبود.

وزن خشک کل: در سطوح مختلف تنش شوری اثرات محلول‌پاشی با نانوکودهای مختلف روی وزن خشک کل متفاوت بود، به‌طوری‌که در شرایط بدون تنش شوری، تنش شوری ١٦ و ۳۲ دسی‌زیمنس بر متر بیش‌ترین وزن خشک کل به ترتیب از محلول‌پاشی با نانوکودهای روی (۳۳/۳۱ گرم)، کلسیم (١٦/٢٨ گرم) و روی (١١/٦٧ گرم) حاصل شد (جدول ۵). محلول‌پاشی با نانوکود روی در شرایط بدون تنش شوری و شوری ۳۲ دسی‌زیمنس بر متر،

وزن خشک کل را در مقایسه با عدم محلول‌پاشی به‌ترتیب به میزان ٤٩ و ١٨ درصد افزایش داد (جدول ٥). در شرایط تنش شوری ١٦ دسی‌زیمنس بر متر، محلول‌پاشی با نانوکود کلسیم، وزن خشک کل را در مقایسه با عدم محلول‌پاشی در این سطح شوری به‌میزان ٣٠ درصد افزایش داد (جدول ٥). محلول‌پاشی با نانوکودهای مختلف در تیمار تنش شوری ٣٢ دسی‌زیمنس و تیمار تنش شوری ١٦ دسی‌زیمنس از نظر تأثیر روی وزن خشک کل اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. با قرار گرفتن گیاه در تنش شوری سرعت رشد برگ‌های در حال توسعه کم شده و ظهور برگ جدید کاهش یافته هم‌چنین در صورت ادامه تنش تعرق و فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای نیز در برگ‌ها کاسته شده و پنجه و شاخه فرعی کمی تشکیل می‌شود. کاهش عملکرد زیستی در اثر تنش شوری در ارقام‌های مختلف متفاوت می‌باشد و ارقام مقاوم نسبت به ارقام حساس از کاهش وزن کم‌تری برخوردار می‌باشند (١٧).

عملکرد دانه: در شرایط بدون تنش شوری، تنش شوری ١٦ و ٣٢ دسی‌زیمنس بر متر بیش‌ترین عملکرد دانه به ترتیب از محلول‌پاشی با نانوکودهای روی (١١/٦٤ گرم)، بدون محلول‌پاشی (٦/٧٨ گرم) و سیلیس (٤/١٥ گرم) حاصل شد (جدول ٥).

جدول ٢- نتایج تجزیه واریانس اثرات تنش شوری و محلول‌پاشی بر عناصر غذایی برگ و بذر کینوا.

Table 2. Analysis of variance results of salinity stress and spraying effects on nutrient elements concentration in Quinoa leaf and seed.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square							
		کلسیم برگ Leaf Ca	کلسیم بذر Seed Ca	روی برگ Leaf Zn	روی بذر Seed Zn	سدیم برگ Leaf Na	سدیم بذر Seed Na	پتاسیم برگ Leaf K	پتاسیم بذر Seed K
تنش شوری Salinity stress	2	9.45**	7.71**	273.0**	2480.94**	0.03**	0.009**	2.99**	0.18^{ns}
محلول‌پاشی Spraying	4	0.59^{ns}	0.99**	1069.21**	697.57**	0.0008**	0.005**	1.96**	2.16**
شوری × محلول‌پاشی Salinity × spraying	8	0.19^{ns}	0.33^{ns}	109.54**	176.48^{ns}	0.003**	0.006**	2.61**	1.05**
خطای آزمایش Experimental error	30	0.26	0.22	25.18	2552.56	0.0005	0.0004	0.37	0.34
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	32.42	28.62	10.80	20.51	15.14	10.45	12.88	18.03

^{ns}، ** و * به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

^{ns}, ** and * represent non significant, significant at 1 and 5% level of probability, respectively

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثرات تنش شوری و محلول‌پاشی بر برخی صفات فیزیولوژیک و عملکرد کینوا.

Table 3. Analysis of variance results of salinity stress and spraying effects on some physiological traits and yield in Quinoa.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square						
		کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کاروتنوئید Carotenoid	پرولین Proline	قندهای محلول Soluble carbohydrates	وزن خشک کل Totall dry matter	عملکرد دانه Seed yield
تنش شوری Salinity stress	2	4.80**	0.62**	0.74**	1.52**	192.40**	476.36**	72.96**
محلول‌پاشی Spraying	4	0.16*	0.08**	0.08^{ns}	0.07*	0.74^{ns}	46.67**	0.384^{ns}
شوری × محلول‌پاشی Salinity × spraying	8	0.07^{ns}	0.03^{ns}	0.14^{ns}	0.02^{ns}	1.24^{ns}	54.80**	14.15**
خطای آزمایش Experimental error	30	0.04	0.47	0.93	0.02	81.65	4.11	0.341
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	7.22	10.02	23.69	9.71	6.50	13.49	11.50

^{ns}، ** و * به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

^{ns}, ** and * represent non significant, significant at 1 and 5% level of probability, respectively

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات ساده تنش شوری و محلول‌پاشی بر صفات مورد مطالعه در کینوا.

Table 4. Means comparison of simple effects of salinity stress and spraying on studied traits in quinoa.

تیمار Treatment	کلسیم برگ Leaf Ca (%)	کلسیم بذر Seed Ca (%)	روی بذر Seed Zn (mg/kg)	کلروفیل a Chlorophyll a (mg/g FW)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg/g FW)	کاروتنوئید Carotenoid (mg/g FW)	پرولین Proline (µmol/mol)	قندهای محلول Soluble carbohydrates (µmol/mol)
تنش شوری Salinity stress								
0	2.51 ^{a}	2.48 ^{a}	30.86 ^{c}	3.56 ^{a}	1.45 ^{a}	1.06 ^{b}	1.30 ^{c}	22.40 ^{c}
16	1.18 ^{b}	1.28 ^{b}	47.95 ^{b}	3.07 ^{b}	1.28 ^{b}	1.29 ^{ab}	1.53 ^{b}	24.36 ^{b}
32	1.10 ^{b}	1.20 ^{b}	56.06 ^{a}	2.43 ^{c}	1.04 ^{c}	1.51 ^{a}	1.93 ^{a}	29.34 ^{a}
محلول‌پاشی Spraying								
کلسیم Calcium	-	2.10 ^{a}	37.26 ^{b}	3.07 ^{a}	1.40 ^{a}	-	1.53 ^{bc}	-
سیلیس Silica	-	1.70 ^{a}	45.57 ^{b}	3.03 ^{a}	1.29 ^{ab}	-	1.69 ^{a}	-
پتاسیم Potassium	-	1.67 ^{a}	38.78 ^{b}	3.11 ^{a}	1.19 ^{b}	-	1.55 ^{abc}	-
روی Zinc	-	1.62 ^{ab}	59.47 ^{a}	3.12 ^{a}	1.17 ^{b}	-	1.67 ^{ab}	-
شاهد no foliar application	-	1.16 ^{b}	43.68 ^{b}	2.79 ^{b}	1.21 ^{b}	-	1.49 ^{c}	-

میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد می‌باشند.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability levels using LSD test.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات برهمکنش تنش شوری و محلول‌پاشی بر صفات مورد مطالعه در کینوا.

Table 5. Means comparison of interaction effects of salinity stress and spraying on studied traits in quinoa.

عملکرد دانه Seed yield (g/plant)	وزن خشک کل (گرم) Totall dry matter (g)	پتاسیم بذر Seed K (%)	پتاسیم برگ Leaf K (%)	سدیم بذر Seed Na (%)	سدیم برگ Leaf Na (%)	روی برگ Leaf Zn (mg/kg)	تیمار Treatment	
							محلول‌پاشی Spraying	تنش شوری Salinity stress
6.15 bc	16.83 c	0.98 a	1.82 b	0.10 c	0.17 a	37.40 c	شاهد no foliar application	بدون تنش × Non- stress
6.06 c	17.49 bc	1.05 a	3.75 a	0.16 b	0.07 b	50.10 b	کلسیم Calcium	
5.28 c	19.09 bc	1.20 a	3.37 a	0.20 a	0.09 b	46.93 b	سیلیس Silica	
7.04 b	20.29 b	1.88 a	4.12 a	0.21 a	0.10 b	54.23 b	پتاسیم Potassium	
11.64 a	33.31 a	1.08 a	3.32 a	0.20 a	0.10 b	67.66 a	روی Zinc	
6.78 a	11.46 b	1.81 a	3.53 ab	0.22 b	0.11 c	43.66 b	شاهد no foliar application	× 16
5.49 b	16.28 a	1.95 a	3.21 ab	0.30 a	0.19 ab	37.00 b	کلسیم Calcium	
5.26 b	13.94 ab	1.23 a	3.46 ab	0.18 c	0.17 ab	35.53 b	سیلیس Silica	
5.50 b	11.64 b	1.55 a	3.86 a	0.14 d	0.20 a	36.80 b	پتاسیم Potassium	
2.75 c	11.40 b	1.20 a	2.68 b	0.24 b	0.16 b	62.66 a	روی Zinc	
2.36 bc	9.56 a	1.34 a	2.20 c	0.20 b	0.19 ab	37.00 c	شاهد no foliar application	× 32
2.94 b	9.37 a	0.97 a	2.59 bc	0.24 a	0.21 a	33.43 c	کلسیم Calcium	
4.15 a	11.46 a	1.76 a	3.62 a	0.24 a	0.17 b	36.50 c	سیلیس Silica	
3.15 b	11.55 a	1.49 a	3.60 ab	0.21 ab	0.21 a	53.90 b	پتاسیم Potassium	
1.53 c	11.67 a	1.17 a	3.63 a	0.20 b	0.20 ab	64.00 a	روی Zinc	

میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد می‌باشند.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability levels using LSD test.

در شرایط بدون تنش شوری، محلول‌پاشی با نانوکود روی در مقایسه با عدم محلول‌پاشی، عملکرد دانه را به میزان ٤٧ درصد افزایش داد (جدول ٥). در شرایط تنش شوری ٣٢ دسی‌زیمنس بر متر، محلول‌پاشی با نانوکود سیلیس، عملکرد دانه را در مقایسه با عدم محلول‌پاشی در همین سطح شوری به‌میزان ٤٣ درصد بهبود داد (جدول ٥). در پژوهشی محلول‌پاشی با سولفات روی در شرایط تنش شوری موجب بهبود عملکرد گل جعفری افریقایی (*Tagetes erecta* L.) گردیده است (٤٤). سایر پژوهشگران نیز کاهش وزن کل بذر در اثر تنش شوری را گزارش و بیان کردند که علت این کاهش، تلفیق آثار تنش اسمزی با اثر سمیت یونی و تغییر غلظت عناصر غذایی ناشی از نمک موجود در محلول خاک است. در سطوح شوری بیش‌تر به احتمال زیاد جذب غیرمتعارف یون، روندهای طبیعی متابولیسمی را مختل نموده، گیاه‌بخشی از انرژی مواد آلی را به جای تخصیص به رشد به تولید محلول‌های سازگار، به تعدیل اسمزی و حفظ سلول اختصاص می‌دهد (٢٩). بررسی‌ها نشان می‌دهد که با کم شدن مقادیر سیلیس، جذب دی‌اکسید کربن توسط گیاه نیز کم شده و روزنه‌ها بسته شده و فتوسنتز متوقف می‌شود (١٩). گزارش شده است که در صورت کمبود سیلیس، مقدار کلروفیل کم شده و در نتیجه آن فتوسنتز در گیاه کاهش می‌یابد کاهش فتوسنتز باعث کاهش وزن کل بذر تولیدی می‌شود. این محقق دلیل این امر را به نقش سیلیس در زنجیره فتوسنتزی و ممانعت از تخریب زنجیره کلروفیلی توسط سیلیس مرتبط می‌داند. هم‌چنین سیلیس می‌تواند به‌طور مثبت بر فعالیت‌های تعدادی از آنزیم‌های درگیر در فتوسنتز تأثیرگذار باشد (٢١).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد تنش شوری ٣٢ و ١٦ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شاهد کلسیم برگ، کلسیم بذر، کلروفیل a، کلروفیل b، وزن خشک کل و عملکرد دانه را کاهش داد ولی باعث افزایش مقدار روی بذر، کاروتنوئید، پرولین، قندهای محلول، سدیم بذر و سدیم برگ شد. در شرایط بدون تنش شوری، بیش‌ترین میزان وزن خشک کل و عملکرد دانه از تیمار محلول‌پاشی با نانوکود روی به‌دست آمد. در شرایط تنش شوری ١٦ دسی‌زیمنس بر متر، بیش‌ترین میزان وزن خشک کل و عملکرد دانه به‌ترتیب از تیمار محلول‌پاشی با نانوکود کلسیم و شاهد (عدم محلول‌پاشی) حاصل شد. در شرایط تنش شوری ٣٢ دسی‌زیمنس بر متر، بیش‌ترین میزان وزن خشک کل و عملکرد دانه به ترتیب در تیمار محلول‌پاشی با نانوکود روی و نانوکود سیلیس مشاهده شد. محلول‌پاشی با نانوکودها در مقایسه با شاهد، مقدار کلسیم بذر، روی بذر، محتوای کلروفیل a و b و پرولین را افزایش داد. مشخص شد که کینوا از مکانیسم تجمع ترکیباتی مانند پرولین و قندهای محلول برای غلبه با تنش شوری استفاده می‌کند. محلول‌پاشی با نانوکودها با افزایش محتوای کلروفیل و عناصر غذایی سبب افزایش عملکرد دانه کینوا گردید. بنابراین به‌نظر می‌رسد در راستای حرکت به‌سمت کشاورزی پایدار و کاهش مصرف کودهای شیمیایی، بهبود صفات فیزیولوژیک، جذب عناصر غذایی و کاهش اثرات تنش شوری و افزایش عملکرد گیاه کینوا به‌ویژه در شرایط تنش شوری، محلول‌پاشی نانوکودها به عنوان اقدام منطقی و مناسب پیشنهاد می‌گردد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از مساعدت شرکت صدور احرار شرق در تامین نانوکودهای مورد استفاده در این پژوهش صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

1. Abbasi, N., Cheraghi, J. and Hajinia, S. 2019. Effect of iron and zinc micronutrient foliar application as nano and chemical on physiological traits and grain yield of two bread wheat cultivars. Sci. J. Crop Physiol. 11: 43. 85-104.
2. Achorro, P., Ortiz, A. and Cerda, A. 1994. Implications of calcium nutrition on the response of *Phaseolus vulgaris* L. to salinity. Plant Soil. 159: 205-212.
3. Arnon, D.I. 1975. Copper enzymes increased isolated chloroplast polyphenoxidase increased *Beta vulgaris* L. Plant Physiol. 45: 1-15.
4. Asch, F., Dingkuhn, M. and Droffling, K. 2000. Salinity increases CO_2 assimilation but reduces growth in field growth irrigated rice. Plant Soil. 218: 1-10.
5. Attarzadeh, M., Rahimi, A. and Torabi, B. 2016. Response of chlorophyll, relative water content and protein percentage of safflower leaves to salinity and foliar calcium, potassium and magnesium applications. J. Crop Ecophysiol. 10: 1. 269-282. (In Persian)
6. Attarzadeh, M., Rahimi, A., Torabi, B. and Dashti, D. 2013. Effect of $Ca(NO_3)_2$, KH_2PO_4, and $MnSO_4$ foliar application on ion accumulation and physiological traits of safflower under salt stress. Agron. J. (Pajouhesh & Sazandegi). 107: 133-142. (In Persian)
7. Bates, L., Waldren, R.P. and Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant Soil. 39: 205-207.
8. Boling, L., Soundararajan, P. and Manivannan, A. 2019. Mechanisms of silicon-mediated amelioration of salt stress in plants. 8: 307. 1-13. *doi:10.3390/plants8090307*
9. Chen, Z., Newman, I., Zhuo, M., Mendham, N., Zhang, G. and Shabala, S. 2005. Screening plants for salt tolerance by measuring K+ flux: a case study for barely. Plant, Cell Environ. 28: 1230-1246.
10. Ehdaie, B. and Shakiba, M.R. 1996. Relationship of internode-specific weight and water soluble carbohydrates in wheat. Cereal Res. Commun. 24: 1. 61-67.
11. Fing, D.H., Wang, G.Z., Si, W.T., Zhou, Y., Liu, Z. and Jia, J. 2018. Effects of salt stress on photosynthetic pigments and activity of ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase in Kalidium foliatum. Russ. J. Plant Physiol. 65: 98-103.
12. Hasebi, B. 2007. Physical study of the effect of cold stress on seedling stage of different rice genotypes. Ph.D thesis, Shahid Chamran University of Ahvaz, 145p.
13. Heidari, M. and Jamshidi, P. 2011. Effects of salinity and potassium application on antioxidant enzyme activities and physiological parameters in pearl millet. Agr. Sci. China. 10: 228-237.
14. Jacobsen, S.E., Liu, F. and Jensen, C.R. 2009. Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Sci. Hort. 122: 2. 281-287.
15. Jacobsen, S.E., Mujica, A. and Jensen, C.R. 2003. The resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) to adverse abiotic factors. Food Rev. Int. 19: 1-2. 99-109.
16. Jamali, S. and Sharifan, H. 2018. Investigation the effect of different salinity levels on yield and yield components of quinoa (cv. *Titicaca*). J. Water Soil Cons. 25: 2. 251-266.
17. Kafi, M., Salehi, M. and Eshghizadeh, H.R. 2011. Biosaline Agriculture- plant, water and soil management Approaches. Iranian academic center for education culture and research of Mashhad. (In Persian)
18. Khalili, S., Bastani, A. and Bagheri, M. 2019. Effect of different levels of irrigation water salinity and phosphorus on some properties of soil and quinoa plant. Iranian J. Soil Res. 33: 2. 155-166.
19. Khodary, S.E.A. 2004. Effect of salicylic acid on growth, photosynthesis and carbohydrate metabolism in saltstressed maize plants. J. Agric. Biol. 6: 1. 5-8.

20.Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic bio membranes. Methods Enzymol. 148: 350-382.
21.Lobato, A.K.S., Luz, L.M., Costa Santos, R.C.L., Filho, B.G., Meirelles, A.C.S., Oliveira Neto, C.F., Laughinghouse, H.D., Neto, M.A.M., Alves, G.A.R., Lopes, M.J.S. and Neves, H.K.B. 2009. Si exercises influence on nitrogen components in pepper subjected to water deficit? Rese. J. Biol. Sci. 4: 1048-1055.
22.Lutts, S., Majerus, V. and Kinet, J.M. 1999. NaCl effect on proline metabolism in rice seedlings. Plant Physiol. 105: 450-458.
23.Manivannan, A., Soundararajan, P., Muneer, S., KO, C.H. and Jeong, B.R. 2016. Silicon mitigates salinity stress by regulating the physiology, antioxidant enzyme activities, and protein expression in *Capsicum annuum* 'Bugwang'. Bio.Med. Res. Int. 3076357.
24.Marschner, P. 2012. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. 3rd edition, Academic Press, London.
25.Mohamed-Shater Abdallah, M., El Sebai, T.N., Abd El-Mohsen Ramadan, A. and Safwat El-Bassiouny, H.M. 2020. Physiological and biochemical role of proline, trehalose, and compost on enhancing salinity tolerance of quinoa plant. Bull. Natl. Res. Cent. 44: 96.
26.Muhammad, S., Akbar, M. and Neue, H.U. 1987. Effect of NaCl and Na/K relation in saline culture solution in the growth and mineral nutrition of rice (*Oryza sativa* L.). Plant Soil. 104: 57-62.
27.Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant Cell Environ. 25: 239-250.
28.Munns, R. and Schachtam, D.P. 1993. Plant responses to salinity: significance in relation to time. Int. crop Sci. 1: 741-745.
29.Munns, R. and Termaat, A. 1986. Whole-plant responses to salinity. Funct. Plant Biol. 13: 1. 143-160.
30.Nair, R., Varghese, S.H., Nair, B.G., Maekawa, T., Yoshida, Y. and Kumar, D.S. 2010. Nanoparticulate material delivery to plants. Plant Sci. 179: 154-163.
31.Omidbeighi, R. 2009. Production and Processing of Medicinal Plants. First volume. Fifth Edition. Razavi Province Publications. Mashhad, 397p. (In Persian)
32.Pandey, V.K. and Saxena, H.K. 1987. Effects of soil salinity on chlorophyll, photosynthesis, respiration and ionic composition at various growth stages in paddy. Indian J. Agric. Chem. 20: 2. 40-155.
33.Papakosta, D.K. and Gagianas, A.A. 1991. Nitrogen and dry matter accumulation remobilization and losses for and dry matter accumulation remobilization and losses for Mediterranean's wheat during grain filling. Agron. J. 83: 864-870.
34.Peyvandi, M. and Mirza, M. 2011. Comparison of the effect of iron nanoclay on growth parameters and activity of basaltic antioxidant enzymes (*Ocimum basilicum*). J. Cell. Biotech. Mol. 1: 98-89.
35.Pisals, D.S. and Lelc, S.S. 2005. Carotenoid production from microalga, *Dunaliella alina*. Indian J. Biotech. 4: 476-483.
36.Rajabi Dehnavi, A. and Zahedi, M. 2020. Effects of foliar application of different ascorbic acid concentrations on the response of sorghum to salinity. Plant Proc. Funct. 9: 35. 223-241.
37.Redouane, E. and Mohamed, N. 2015. Adaptive response to salt stress in sorghum (*Sorghum bicolor*). Am. Eurasian J. Agric. Environ. Sci. 15: 1351-1360.
38.Rezaei, R.A., Hosseini, S.M., Shaaban, Ali Fami, H. and Safa, L. 2009. Identification and analysis of the barriers of nanotechnology development in the Iranian agricultural sector from the viewpoint of the researchers. J. Sci. Technol. Policy. 2: 1. 17-26. (In Persian)
39.Sadak, M.S. and Bakry, A. 2020. Zinc-oxide and nano ZnO oxide effects on growth, some biochemical aspects, yield quantity, and quality of flax (*Linum uitatissimum* L.) in absence and presence of compost under sandy soil. Bull. Natl. Res. Cent. 44: 98.

40.Sharpley, A.N., Meisinger, J.J., Power, J.F. and Suarez, D.L. 1992. Root extraction of nutrients associated with long-term soil management. Adv. Soil Sci. 19: 151-217.
41.Singh, L. and Pal, B. 2000. Effect for water salinity and fertility levels on yield attributing characters of blonde psyllium. Res. Crop. 1: 85-90.
42.Soliman, A.S., El-Feky, S.A. and Darvish, E. 2015. Alleviation of salt stress on Morigna peregrine using foliar application of nono-fertilizers. J. Hort. For. 7: 2. 36-47.
43.Sudhakar, C., Reddy, P.S. and Veerajaneyula, K. 1993. Effect of salt stress on the enzymes of proline synthesis and oxidation in green gram seedling. J. Plant Physiol. 141: 621-623.
44.Vojodi Mehrabani, L., Hassanpouraghdam, M.B. and Valizadeh Kamran, R. 2018. Effect of NaCl salinity and $ZnSo_4$ foliar application on yield and some physiological traits of *Tagetes erecta* L. Water Soil Sci. 28: 3. 105-115.
45.Weisany, W., Sohrabi, Y., Heidari, G., Siosemardeh, A. and Golzani, K.G. 2011. Physiological responses of soybean (*Glycine max* L.) to zinc application under salinity stress. Aust. J. Crop Sci. 5: 11. 1441-1447.
46.William, H. 2000. Official methods of analysis of AOAC international. 17nd ed. USA: Association Official Analytical Chemists. 100p.
47.Zheng, Z., Jia, A., Ning, T., Xu, J., Li, Z. and Jian, G. 2008. Potassium nitrate application alleviates sodium chloride stress in winter wheat cultivars differing in salt tolerance. J. Plant Physiol. 165: 1455-1465.