

پاسخ گیاه لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) تحت شرایط تنش شوری به کاربرد نانو ذرات پتاسیم

فاطمه نقوی^۱، سید محمدرضا خوشرو (نویسنده مسئول)^{۲*}، مریم کاظمی پور^۳ و مهرناز محمودی زرنندی^۴

۱- دانشجوی دکتری، گروه زیست شناسی، واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران، naghavifm@yahoo.com

۲- استادیار، گروه زیست شناسی، واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران، smr.khoshroo@iau.ac.ir

۳- استاد، گروه شیمی، واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران، M.kazempour@iauk.ac.ir

۴- استادیار، گروه زیست شناسی، واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران، mehrnazmahmoudi@iauk.ac.ir

تاریخ دریافت: دی ۱۴۰۳ تاریخ پذیرش: فروردین ۱۴۰۴

The response of pinto beans (*Phaseolus vulgaris* L.) under salinity stress conditions to the application of potassium nanoparticles

Fatemeh Naghavi¹, Seyyed Mohammadreza Khoshroo (Corresponding Author)^{2*}, Maryam Kazempour³ and Mehrnaz Mahmoudi Zarandi⁴

1- Ph.D Student, Department of Biology, Kerman Branch, Islamic Azad University, Kerman, Iran, naghavifm@yahoo.com

2*- Assistant Profesor., Department of Biology, Kerman Branch, Islamic Azad University, Kerman, Iran, smr.khoshroo@iau.ac.ir

3- Professor, Department of chemistry, Kerman Branch, Islamic Azad University, Kerman, Iran, M.kazempour@iauk.ac.ir

4- Assistant Profesor., Department of Biology, Kerman Branch, Islamic Azad University, Kerman, Iran, mehrnazmahmoudi@iauk.ac.ir

Received: January 2025

Accepted: April 2025

Abstract

Salinity is one of the most significant abiotic stresses limiting seed germination, seedling establishment, and growth worldwide, leading to substantial reductions in agricultural productivity. In recent years, engineered nanoparticles have emerged as a promising alternative for mitigating the adverse effects of abiotic stresses such as salinity. This study aimed to investigate the response of common bean plants to potassium nanoparticles under salinity stress. Potassium nanoparticles were biosynthesized using Aloe vera plant extract and an aqueous solution of K₂SO₄.5H₂O. A factorial experiment in a completely randomized design was conducted to evaluate the effects of potassium nanoparticles on germination, growth parameters, and photosynthetic pigments of common bean under four salinity levels (0, 40, 80, and 120 mM NaCl) and four potassium nanoparticle concentrations (0, 20, 60, and 150 mg/L). Various analyses, including UV-visible, DLS, and SEM, were performed to characterize the synthesized nanoparticles. Analysis of variance revealed that increasing salinity stress decreased germination percentage and vegetative growth factors, as well as photosynthetic pigments. The interaction between salinity stress and potassium nanoparticles resulted in increased germination percentage, growth parameters (fresh and dry weight of root and shoot at 150 mg/L), and photosynthetic pigments (chlorophyll b, total chlorophyll, and carotenoids at 20 mg/L), while decreasing chlorophyll a content.

Keywords: Common bean, Green nanoparticles, Photosynthetic pigments, Salinity stress

چکیده

در جهان، شوری یکی از مهمترین عوامل غیرزیستی و محدود کننده جوانه زنی بذر و همچنین استقرار و رشد اولیه گیاهچه‌ها است که سبب کاهش قابل توجهی در بهره‌وری محصولات کشاورزی می‌شود. در سال‌های اخیر، نانوذرات مهندسی شده به عنوان یک جایگزین امیدوار کننده در مبارزه با عوامل تنش غیرزیستی مانند شوری مطرح شده‌اند. هدف از این پژوهش، بررسی پاسخ گیاه لوبیا چیتی تحت شرایط تنش شوری به کاربرد نانو ذرات پتاسیم است. سنتز زیستی نانوذرات پتاسیم بوسیله عصاره گیاه آلوه ورا با استفاده از محلول آبی K₂SO₄.5H₂O صورت گرفت. آزمایشات به صورت فاکتوریل در قالب طرح تصادفی در جهت بررسی اثر نانوذرات پتاسیم بر پارامترهای رشد و رنگریزه‌های فتوسنتزی گیاه لوبیا چیتی در چهار سطح شوری معادل (صفر، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ میلی مولار) کلرید سدیم و نانو ذرات پتاسیم در چهار سطح (صفر، ۲۰، ۶۰، ۱۵۰ میلی گرم بر لیتر) صورت گرفت. تجزیه و تحلیل‌های مختلف شامل UV-Visible، DLS و SEM برای مشخصه‌یابی نانوذرات سنتز شده انجام شد. نتایج تجزیه و تحلیل واریانس نشان داد که با افزایش تنش شوری پارامترهای رشد، رنگریزه‌های فتوسنتزی کاهش یافت. برهمکنش تنش شوری و نانوذرات پتاسیم موجب افزایش پارامترهای رشد (وزن تر و خشک ریشه و ساقه در غلظت ۱۵۰ میلی گرم بر لیتر)، رنگریزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل b و کل و کاروتنوئید در غلظت ۲۰ میلی گرم بر لیتر) و کاهش محتوای کلروفیل a شد.

کلمات کلیدی: تنش شوری، رنگریزه‌های فتوسنتزی، لوبیا چیتی، نانوذرات سبز

فصلنامه گیاه و زیست فناوری ایران

زمستان ۱۴۰۳، دوره ۱۹، شماره ۴، صص ۷۱-۶۱

فاکتورهای محیطی متعدد بر رشد و نمو و در نهایت تولید محصول در گیاهان تأثیر می‌گذارند. تنش شوری از جمله مهم‌ترین عواملی می‌باشد که تولید محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد. شوری از تنش‌های غیرزیستی مهمی است که فیزیولوژی گیاهان را تحت تأثیر قرار داده و رشد و عملکرد گیاهان زراعی را کاهش می‌دهد. شوری تجمع بیش از حد املاح در خاک به نحوی است که در اثر آن گیاه در جذب آب با مشکل مواجه می‌شود (Hao et al., 2021). شوری یک مشکل رو به رشد است که بر خاک و کشاورزی در بسیاری از نقاط جهان تأثیر می‌گذارد. وجود نمک در سلول‌های گیاهی بسیاری از فرآیندهای متابولیک (Metabolic) اساسی را مختل می‌کند و به اثرات منفی شدید بر رشد و نمو گیاه کمک می‌کند. شوری بر کلروپلاست‌ها، از جمله ساختار و عملکرد این اندامک‌ها تأثیر می‌گذارد. کلروپلاست‌ها واکنش‌های مختلف بیوشیمیایی مهمی از جمله فتوسنتز را در خود جای می‌دهند که اکثر آن‌ها برای بقای گیاه ضروری هستند. شوری می‌تواند به روش‌های مختلفی بر این واکنش‌ها تأثیر بگذارد، به عنوان مثال، با تغییر اندازه کلروپلاست، تجمع لیپید و نشاسته و تداخل در انتقالات غشایی متقابل. تحقیقات نشان داده است که حفظ فیزیولوژی طبیعی کلروپلاست برای بقای کل گیاه ضروری است. بسیاری از گونه‌های گیاهی مکانیسم‌های مختلفی را برای مقاومت در برابر اثرات مضر سمیت ناشی از نمک بر روی کلروپلاست‌های خود ایجاد کرده‌اند. این تفاوت‌ها به گونه گیاهی و مرحله رشد بستگی دارد و می‌تواند بین گیاهان حساس به نمک (Glycophyte)

و گیاهان مقاوم به نمک (Halophyte) کاملاً متفاوت باشد (Hameed et al., 2021). نانوتکنولوژی به عنوان انقلابی در شرف و قوع، آینده اقتصادی کشورها و جایگاه آن‌ها در جهان را تحت تأثیر جدی قرار داده است و اثرات معجزه آسایی در زمینه‌های مختلف از خود نشان داده است. در دهه‌های گذشته، بازارهای جهانی فناوری نانو در بخش‌های مختلف از جمله بخش کشاورزی، به میزان قابل توجهی رشد یافته است. بخش وسیعی از مردم جهان به دلیل اثرات زیست محیطی با کمبود مواد غذایی روزانه یا کاهش کیفیت فراورده‌های غذایی مواجه هستند. فناوری نانو، رویکرد علمی نوینی است که قادر به رفع این موانع بوده و انتظار می‌رود که در سال‌های آینده موجب افزایش تولید و بهبود کارایی گیاهان زراعی شده و پاسخگوی چالش‌های فراوری بخش کشاورزی گردد. در این راستا استفاده از نانوذرات در کشاورزی می‌تواند در بهبود وضعیت غذایی گیاه و انجام اقدامات اصلاحی مورد نیاز جهت رسیدگی به اختلالاتی که سبب کاهش عملکرد گیاه می‌شوند، سودمند و موثر باشد (Usman et al., 2020). لوبیا یکی از مهم‌ترین محصولات حبوبات است. حاوی مقادیر قابل توجهی پروتئین، فیبر، کربوهیدرات، ویتامین‌ها و مواد معدنی است و تقریباً نیمی از حبوبات غلات مصرفی در سراسر جهان را تشکیل می‌دهد. وجود مواد شیمیایی گیاهی مانند ترکیبات پلی‌فنولی از اختلالات مختلف مانند بیماری‌های قلبی عروقی، قند خون، چاقی و سرطان روده بزرگ جلوگیری می‌کند. به علاوه فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالایی را نشان می‌دهند. لوبیا در کشاورزی نیز حیاتی

فرآیند پژوهش

بیست و پنج گرم برگ آلوئه ورا کاملاً شسته، و ریز خرد شد. سپس برگ های خرد شده در ارلن ۲۵۰ میلی لیتری با ۱۰۰ میلی لیتر آب یونیزه نشده به مدت ۵ دقیقه در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد حرارت داده شد. سپس محلول از طریق یک باند استریل فیلتر شد تا ذرات جامد حذف شود. در نهایت، فیلتر تو سطح یک کاغذ صافی واتمن با اندازه منافذ ۰/۳ میکرومتر برای خالص سازی بیشتر عبور داده شد. عصاره برگ آلوئه ورا به دست آمده در دمای ۴ درجه سانتی گراد، برای استفاده بعدی در سنتز نانوذرات پتا سیم نگهداری شد (Nayak and Begur, 2023).

سنتز سبز نانوذرات پتا سیم با استفاده از گیاه آلوئه ورا: ۵۰ میلی لیتر از محلول ۰/۵ مولار سولفات پتاسیم به ۵۰ میلی لیتر از عصاره گیاهی در یک ارلن اضافه و روی هیتز قرار گرفت و دمای بر روی ۵۰ درجه سانتی گراد تنظیم شد. رنگ محلول از قهوه ای تیره به قهوه ای روشن تغییر کرد که مشخصه بيو سنتز نانوذرات پتاسیم است. مخلوط به مدت ۲۴ ساعت انکوبه شد و سپس به مدت ۲۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. رسوب حاصل بعد از دو بار شستشو، برای تجزیه و تحلیل های بعدی آماده شد (Sheoran et al., 2021). طرح آزمایشی کاملاً تصادفی با دو فاکتور شوری و نانو ذرات پتا سیم (چهار غلظت نمک کلرید سدیم و چهار غلظت نانوذرات پتاسیم) و سه تکرار برای هر تیمار بود.

تهیه محلول های کلرید سدیم و نانوذرات پتا سیم سبز: محلول اولیه ۱۰۰۰ میلی مولار کلرید سدیم تهیه شد. براساس روش سریال رقت سازی، محلول های

است زیرا با باکتری های تثبیت کننده نیترژن، گره های ریشه را از طریق انجمن های همزیستی تشکیل می دهد (Torche et al., 2018). پتا سیم (K) یک درشت مغذی حیاتی است و نقش مهمی در گیاهان مانند تنظیم اسمزی، تنظیم پتانسیل غشایی، سازگاری با تنش و رشد دارد. نقش های تنظیمی را در فرآیندهای بیوشیمیایی متنوع مربوط به سنتز پروتئین، متابولیسم کربوهیدرات و فعال سازی آنزیم ایفا می کند. فرآیندهای فیزیولوژیکی متعددی مانند فتوسنتز و کنترل روزنه بر پایه K^+ هستند. همچنین کاهش تنش های غیرزیستی را فراهم می کند و در شرایط شوری، K^+ هموستاز یونی را حفظ می کند و تعادل اسمزی را کنترل می کند. این باز شدن روزنه ها را در شرایط خشکی کنترل می کند و به گیاهان کمک می کند تا تحت شرایط تنش آبی سازگار شوند. شرایط تنش غیرزیستی مانند نمک، خشکسالی، دمای بالا و پایین و سرما باعث تولید گونه های اکسیژن فعال (ROS) می شود. نشانه های رو به رشد تو صبه می کنند که افزایش وضعیت تغذیه ای K گیاه می تواند به طور قابل توجهی با تحمل تنش غیرزیستی با کاهش سطح ROS گیاهان مطابقت داشته باشد (Johnson et al., 2022). با توجه به اهمیت تغذیه ای لوبیا چیتی، حساسیت به تنش شوری و اینکه بسیاری از زمین های کشاورزی در کشورها مشکل شوری و کم آبی دارند در این پژوهش تاثیر محلول پاشی نانوذرات پتاسیم بر پارامترهای رشد و رنگرزه های فتو سنتزی گیاه لوبیا در شرایط تنش مورد بررسی قرار گرفته است.

ترازوی دیجیتالی (آنالیتیک) اندازه‌گیری شد. وزن خشک قسمت‌های ریشه، ساقه، برگ در آن در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک و با ترازو اندازه‌گیری شد (Vashisth and Nagarajan, 2010).

رنگریزه های فتو سنتزی: نمونه‌های برگ تازه از برگ‌های کاملاً باز شده گیاهان لوبیا پایان دوره تیمار جمع‌آوری شد. تقریباً ۰/۵ گرم از بافت برگ تازه وزن شده و با استفاده از نیتروژن مایع به پودر ریز تبدیل شد. بافت برگ آسیاب شده در نیتروژن مایع در ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ در صد هم گن شد. محتویات هموژن با دور ۵۰۰۰ به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد تا مایع روپی جدا شود. مایع روپی از طریق کاغذ فیلتر واتمن شماره ۱ فیلتر شد تا ذرات جامد باقیمانده حذف شود. میزان جذب عصاره کلروفیل در طول موج‌های ۶۴۵، ۶۶۳ و ۴۷۰ نانومتر اندازه‌گیری شد تا حاوی کاروتنوئیدها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مرئی UV (مدل ۲۰-DB) باشد. مقادیر جذب برای محاسبه کلروفیل a، b و کل و کاروتنوئیدها با استفاده از معادلات زیر استفاده شد:

$$\text{Chl } a = ((13,95 \times A_{665}) - (1,88 \times A_{645})) \times (V/1000) \times W$$

$$\text{Chl } b = ((24,96 \times A_{645}) - (7,32 \times A_{665})) \times (V/1000) \times W$$

$$A_{470} \times V \times DF \times 0,1 - (0,114 \times \text{Chl } a) - ((\text{Car} = x \text{ Chl } b) / 245) \times (V/1000) \times W$$

A جذب در یک طول موج خاص، V حجم حلال استخراج، DF ضریب رقت، ۰.۱ ضریب تبدیل کاروتنوئیدها، و W وزن برگ استفاده شده بر حسب گرم است (Shahraki et al., 2024).

کلرید سدیم با غلظت‌های صفر، ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار از محلول اولیه تهیه شد و pH محلول‌ها با استفاده از محلول ۰/۰۱ مولار HCl و NaOH روی ۷ تنظیم شد. محلول‌های نانوذرات پتاسیم سنتز شده سبز با غلظت‌های صفر، ۲۰، ۶۰ و ۱۵۰ میلی گرم در لیتر تهیه شد. از آب مقطر به عنوان شاهد با غلظت صفر استفاده شد.

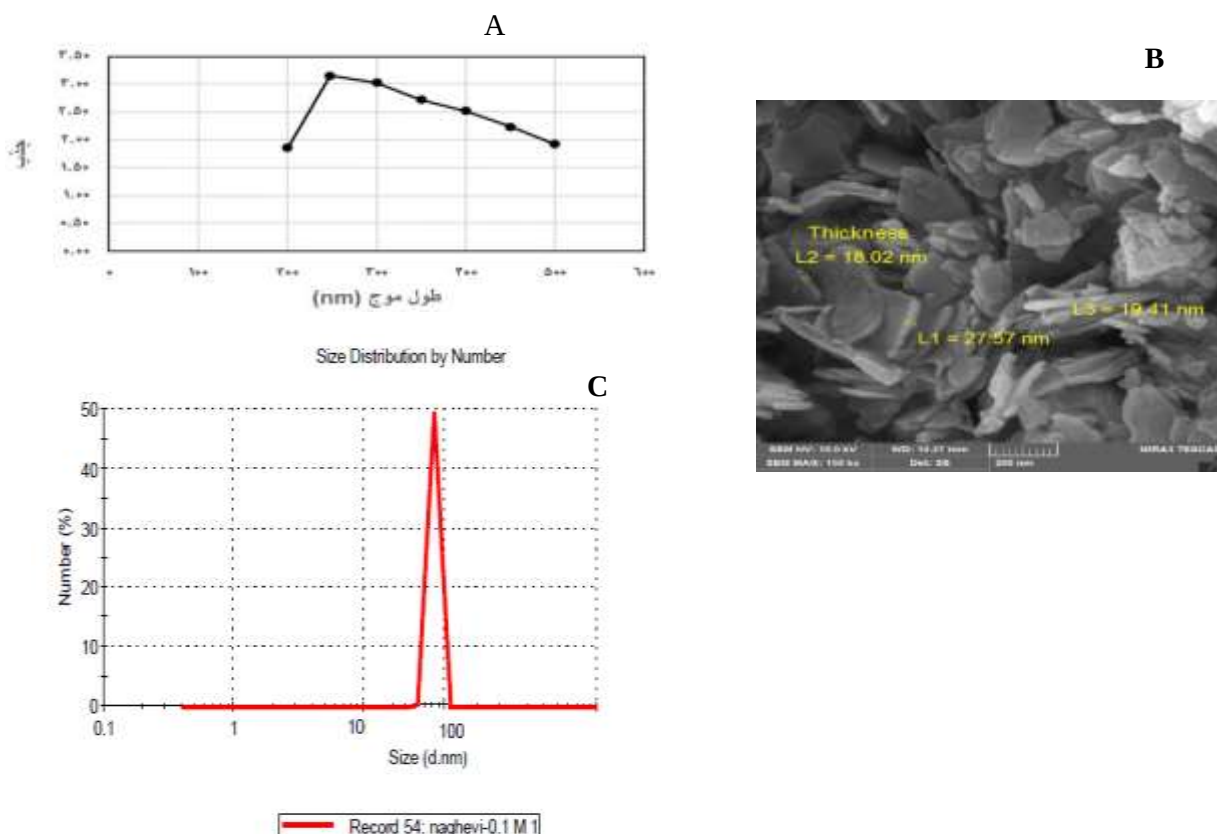
تیمار نانوذرات سبز پتاسیم بذر لوبیا چیتی تحت تنش شوری: پانزده بذر وزن شده هم وزن به مدت ۴ ساعت در هر غلظت به صورت جداگانه در محلول‌های نانوذرات سبز پتاسیم قرار داده شدند. بذرهای پیش تیمار شده با نانوذرات، در دمای آزمایشگاه در زیر هود لامینار تدریجاً خشک و میزان رطوبت آن‌ها به مقدار اولیه (با کنترل وزن بذر) رسانده شد. سپس ده بذر از هر پیش تیمار نانوذرات در پتری‌دیش (قطر ۱۵ سانتی‌متر) سه پتری‌دیش برای هر تیمار شوری و کنترل (بر روی سه لایه کاغذ صافی قرار داده و با یک لایه کاغذ صافی پوشانده شدند. پتری‌ها هر روز با ۵ میلی‌لیتر از محلول‌های NaCl به تدریج تا حجم نهایی ۲۰ میلی‌لیتر (برای جلوگیری از شوک شوری) از هر غلظت مورد نظر نمک آبیاری و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۵۰ درصد، و تاریکی در یک اتاق رشد انکوبه شدند. شمارش تعداد بذرهای جوانه زده (براساس خروج ۲ میلی‌متر ریشه‌چه) به طور روزانه و مرتب تا روز پانزدهم از شروع آزمایش ادامه یافت. وزن تر و خشک ساقه و ریشه: ساقه و ریشه با دقت از یکدیگر جدا شدند. ریشه از ذرات خاک کاملاً پاک شد و وزن تر ریشه و ساقه با استفاده از

حدود ۲۷-۱۸ نانومتر است و پراکندگی نسبتاً یکنواخت و هم‌گن از نانوذرات در تصویر دیده می‌شود (شکل B ۱). تجزیه و تحلیل DLS نمونه نانوذرات پتاسیم در شکل C ۱ نشان داده شده است. در این جاتوزیع اندازه ذرات در محلول ۰/۴۹۰ می‌باشد که نشان‌دهنده ایجاد ذرات با توزیع یکنواخت و اندازه کوچک در محلول می‌باشد. قطر هیدرودینامیکی نانوذرات اندازه‌گیری شده در این تحقیق برابر با ۱۰ تا ۱۰۰ نانومتر می‌باشد.

تجزیه و تحلیل آماری: تجزیه داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SPSS v.26 و تجزیه و تحلیل واریانس یک‌طرفه و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ($P \leq 0.05$) انجام شد.

نتایج و بحث

طیف سنجی UV-Vis نشان‌داد بلندی قله در ۲۴۸ نانومتر و جذب آن تقریباً در ۳/۲۰ نانومتر است که نشان از تشکیل نانوذرات پتاسیم است (شکل A ۱). تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی از نانوذرات پتاسیم در بزرگنمایی ۷۵ هزار برابر و ولتاژ ۱۰ هزار ولت و میانگین اندازه ذرات پتاسیم



شکل ۱- (A) طیف UV-Vis، (B) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی، (C) DLS پتاسیم سبز سنتز شده
Fig 1- A) UV-Vis spectrum, B) SEM image, C) DLS of synthesized green potassium

طبق نتایج مشخص شد که تاثیر تیمارشوری بر وزن تر و خشک ریشه و ساقه، وزن خشک برگ، کلروفیل a، b، کلروفیل کل، کاروتنوئید در سطح ۵ درصد ($p < 0.05$) تفاوت معنی دار دارد. با افزایش شوری، وزن تر و خشک ریشه، وزن تر و خشک ساقه کاهش یافت. بیشترین مربوط به گیاه شاهد و کمترین آن مربوط به تیمار شوری در غلظت ۱۲۰ میلی مولار بود. تیمار شوری منجر به کاهش رنگیزه های فتو سنتزی (کلروفیل a، b و کل، کاروتنوئید) شد. بیشترین میزان در گیاهان تیمار شده با غلظت ۴۰ میلی مولار و کمترین آن مربوط به تیمار شوری در غلظت ۱۲۰ میلی مولار بود. غلظت شوری ۸۰ میلی مولار، تیمار شوری با نانوذرات پتاسیم در غلظت ۱۵۰ میلی گرم بر لیتر و غلظت شوری ۱۲۰ میلی مولار، تیمار شوری با نانوذرات پتاسیم در غلظت ۱۵۰ میلی گرم بر لیتر و غلظت شوری ۶۰، ۱۵۰ میلی گرم بر لیتر موجب افزایش وزن تر ریشه نسبت به نمونه شاهد شد (شکل ۲A). غلظت شوری ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ میلی مولار، تیمار شوری با نانوذرات پتاسیم در غلظت ۱۵۰، ۲۰ میلی گرم بر لیتر موجب افزایش میزان کلروفیل b نسبت به نمونه شاهد شد (شکل ۲B). غلظت شوری ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ میلی مولار، تیمار شوری با نانوذرات پتاسیم در غلظت ۱۵۰، ۲۰ میلی گرم بر لیتر موجب افزایش کل نسبت به نمونه شاهد شد (شکل ۲C). غلظت شوری ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ میلی مولار، تیمار شوری با نانوذرات پتاسیم در غلظت ۱۵۰، ۲۰ میلی گرم بر لیتر موجب افزایش وزن خشک ریشه نسبت به نمونه شاهد شد (شکل ۲D). غلظت شوری ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ میلی مولار، تیمار شوری با نانوذرات پتاسیم در غلظت ۱۵۰، ۲۰ میلی گرم بر لیتر موجب افزایش وزن تر و خشک ریشه نسبت به نمونه شاهد شد (شکل ۲E). غلظت شوری ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ میلی مولار، تیمار شوری با نانوذرات پتاسیم در غلظت ۱۵۰، ۲۰ میلی گرم بر لیتر موجب افزایش وزن تر و خشک ساقه نسبت به نمونه شاهد شد (شکل ۲F). غلظت شوری ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ میلی مولار، تیمار شوری با نانوذرات پتاسیم در غلظت ۱۵۰، ۲۰ میلی گرم بر لیتر موجب افزایش وزن تر و خشک برگ نسبت به نمونه شاهد شد (شکل ۲G). غلظت شوری ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ میلی مولار، تیمار شوری با نانوذرات پتاسیم در غلظت ۱۵۰، ۲۰ میلی گرم بر لیتر موجب افزایش کلروفیل a، b و کل نسبت به نمونه شاهد شد (شکل ۲H). غلظت شوری ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ میلی مولار، تیمار شوری با نانوذرات پتاسیم در غلظت ۱۵۰، ۲۰ میلی گرم بر لیتر موجب افزایش کاروتنوئید نسبت به نمونه شاهد شد (شکل ۲I).

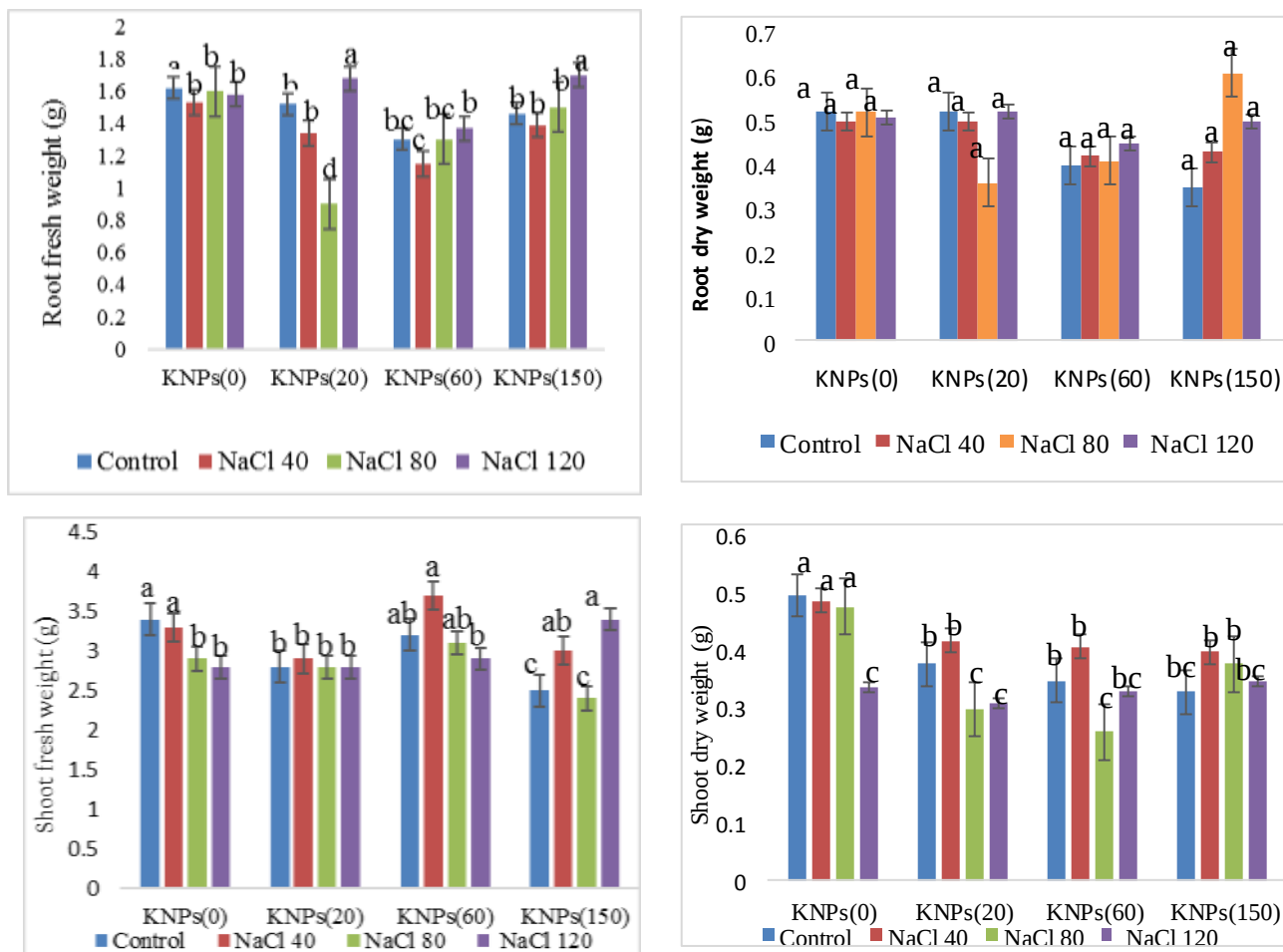
شوری ۴۰ میلی مولار، تیمار شوری با نانوذرات پتاسیم در غلظت ۱۵۰، ۲۰، ۶۰ میلی گرم بر لیتر و غلظت شوری ۸۰ میلی مولار، تیمار شوری با نانوذرات پتاسیم در غلظت ۱۵۰ میلی گرم بر لیتر و غلظت شوری ۱۲۰ میلی مولار، تیمار شوری با نانوذرات پتاسیم در غلظت ۱۵۰ میلی گرم بر لیتر موجب افزایش وزن خشک ساقه نسبت به نمونه شاهد شد (شکل ۳D). غلظت ۱۲۰ میلی مولار، تیمار شوری با نانوذرات پتاسیم در غلظت ۱۵۰ میلی گرم بر لیتر موجب کاهش میزان کلروفیل a شد (شکل ۳A). غلظت شوری ۴۰ میلی مولار، تیمار شوری با نانوذرات پتاسیم در غلظت ۱۵۰، ۲۰ میلی گرم بر لیتر و غلظت شوری ۸۰ میلی مولار، تیمار شوری با نانوذرات پتاسیم در غلظت ۱۵۰، ۲۰ میلی گرم بر لیتر موجب افزایش میزان کلروفیل b نسبت به نمونه شاهد شد (شکل ۳B). غلظت شوری ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ میلی مولار، تیمار شوری با نانوذرات پتاسیم در غلظت ۱۵۰، ۲۰ میلی گرم بر لیتر موجب افزایش کل نسبت به نمونه شاهد شد (شکل ۳C). غلظت شوری ۴۰ میلی مولار، تیمار شوری با نانوذرات پتاسیم در غلظت ۱۵۰، ۲۰ میلی گرم بر لیتر و غلظت شوری ۸۰، ۱۲۰ میلی مولار، تیمار شوری با نانوذرات پتاسیم در غلظت ۱۵۰، ۲۰ میلی گرم بر لیتر موجب افزایش وزن تر و خشک ریشه نسبت به نمونه شاهد شد (شکل ۳D). غلظت شوری ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ میلی مولار، تیمار شوری با نانوذرات پتاسیم در غلظت ۱۵۰، ۲۰ میلی گرم بر لیتر موجب افزایش وزن تر و خشک ساقه نسبت به نمونه شاهد شد (شکل ۳E). غلظت شوری ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ میلی مولار، تیمار شوری با نانوذرات پتاسیم در غلظت ۱۵۰، ۲۰ میلی گرم بر لیتر موجب افزایش وزن تر و خشک برگ نسبت به نمونه شاهد شد (شکل ۳F). غلظت شوری ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ میلی مولار، تیمار شوری با نانوذرات پتاسیم در غلظت ۱۵۰، ۲۰ میلی گرم بر لیتر موجب افزایش کلروفیل a، b و کل نسبت به نمونه شاهد شد (شکل ۳G). غلظت شوری ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ میلی مولار، تیمار شوری با نانوذرات پتاسیم در غلظت ۱۵۰، ۲۰ میلی گرم بر لیتر موجب افزایش کاروتنوئید نسبت به نمونه شاهد شد (شکل ۳H).

جدول ۱- تجزیه واریانس میانگین مربعات اثرات شوری، نانوذرات پتاسیم بر پارامترهای رشد و رنگرزه‌های فتوسنتزی لوبیا

Table 1- Analysis of variance (ANOVA) of the effects of salinity and potassium nanoparticles on growth parameters and photosynthetic pigments of bean plants

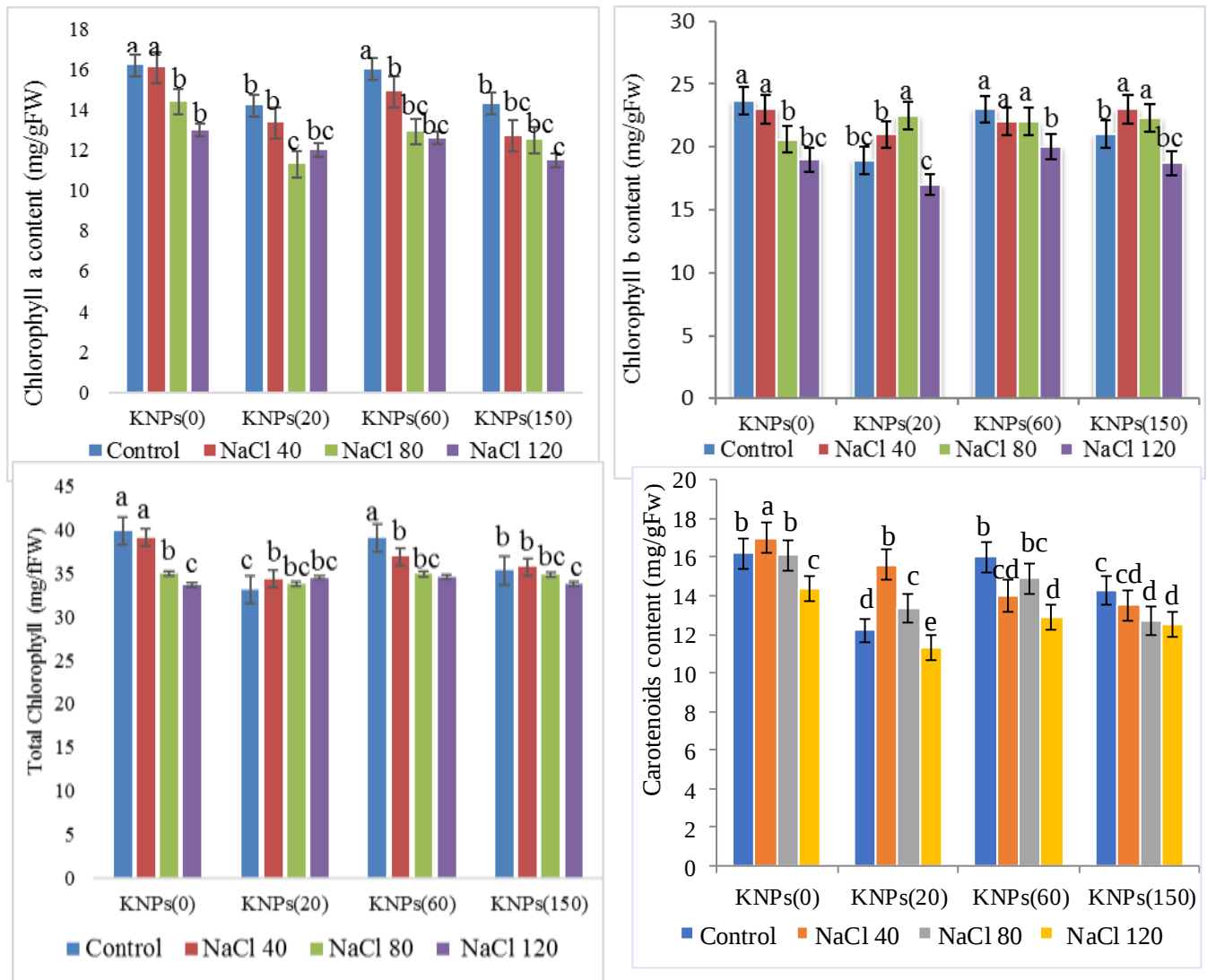
منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن تر ساقه	وزن تر ریشه	وزن خشک ساقه	وزن خشک ریشه	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید
شوری	۳	۲/۱۳*	۰/۹۱*	۰/۱۴*	۰/۲۶*	۴۲/۶۹*	۱۱۴/۳۵*	۲۸۶/۵۹	۰/۸۷*
نانوذره پتاسیم	۳	۱/۱۰*	۱/۳۵*	۰/۰۳۴	۰/۱۷*	۸/۵۰*	۱۲/۵۰*	۲۲۵/۹۷*	۰/۷۴*
شوری × نانوذره پتاسیم	۹	۰/۶۹*	۰/۵۸*	۰/۰۲۷	۰/۱۵*	۱۰/۷۱*	۱۸/۸۹*	۴۹/۹۰*	۰/۳۳*
خطا	۱۱۰	۰/۲۷	۰/۱۲	۰/۰۲۲	۰/۰۲۹	۰/۱۱	۳/۱۸*	۲/۴۶	۰/۲۳

معنی‌داری در سطح ۰/۰۵



شکل ۲- تاثیر تنش شوری و نانوذره پتاسیم بر پارامترهای رشد گیاه لوبیا (Mean±SE)

Fig 2- The effect of salinity stress and potassium nanoparticles on the growth parameters of bean plants (Mean ± SE)



شکل ۳- تاثیر تنش شوری و نانوذره پتاسیم بر رنگریزه‌های فتوسنتزی گیاه لوبیا (Mean±SE)

Fig 3- Effect of salinity stress and potassium nanoparticles on photosynthetic pigments of bean plants (Mean ± SE)

در نهایت منجر به کاهش رشد گیاه می شود (Etesami *et al.*, 2021). شوری سبب کاهش وزن تر و خشک ساقه، ریشه در گیاهان لوبیا شده است (Arif *et al.*, 2020; Hao *et al.*, 2021). از مهم ترین اثرات تنش شوری بر گیاهان تاثیر بر فتوسنتز است. تنش شوری باعث بسته شدن روزنه ها و کاهش غلظت

تیمارهای شوری باعث کاهش قابل توجه وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه دانه رست می شوند (Balal *et al.*, 2016). غلظت بالای شوری در محلول خاک منجر به افزایش تنش اسمزی می شود که جذب آب توسط گیاه را محدود می کند و بر فتوسنتز (کاهش غلظت کلروفیل) تاثیر می گذارد و

پاشی برگ، میزان کلروفیل برگ‌ها به‌طور قابل توجهی افزایش یافت. دلیل افزایش محتوای کلروفیل ممکن است به نقش پتاسیم در فعالیت بسیاری از آنزیم‌های مهم و همچنین افزایش توانایی گیاه در انجام فتوسنتز مرتبط باشد که منجر به افزایش محتوای کلروفیل برگ‌ها شده است (Noaema et al., 2020) که با نتایج این پژوهش همسو بود.

نتیجه‌گیری کلی

گیاه لوبیا به شوری حساس است و با توجه به اینکه بخش وسیعی از زمین‌های کشور به دلیل شرایط خاص آب و هوایی، طبیعت مواد مادری و کیفیت نامناسب آب آبیاری شور بوده یا روند آنها به سمت شور شدن هر چه بیشتر می‌باشد، طبیعتی است که کشت گیاهان در این شرایط با مشکل مواجه بوده و لازم است تا حد امکان تدابیر لازم به منظور جلوگیری از کاهش عملکرد گیاهان به عمل آید. در این راستا یکی از موادی که می‌تواند با بهبود وضعیت آب گیاه، اثرات شوری را تعدیل نماید نانوذرات سبز است. بنا به نتایج این پژوهش، غلظت بهینه برای پارامترهای رشد (وزن تر و خشک ریشه و ساقه در غلظت ۱۵۰ میلی گرم بر لیتر)، رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل b و کل، کاروتنوئید در غلظت ۲۰ میلی گرم بر لیتر) بود. استفاده از نانو ذرات پتاسیم می‌تواند به عنوان یک جایگزین عالی برای بهبود بهره‌وری گیاه لوبیا، به ویژه برای تولید محصولات با کیفیت بالاتر استفاده شود. اگرچه، تحقیقات بیشتری برای توجه به تأثیرات نانوذرات پتاسیم بر گیاهان زراعی مورد نیاز است.

دی اکسید کربن درون سلولی می‌شود (Rahneshan et al., 2018). شوری بر تبادلات گازی مانند هدایت روزنه‌ای و سرعت فتو سنتز تأثیر نامطلوب دارد و موجب کاهش فتو سنتز می‌گردد. کاهش مقادیر کلروفیل a و b در شرایط تنش ناشی از فعالیت آنزیم‌های تخریب کننده کلروفیل (کلروفیلاز) و یا تخریب کلروپلاست و ناپایداری ترکیبات پروتئینی رنگدانه‌ها می‌باشد (Wang et al., 2024; Nanehkaran et al., 2024). که با نتایج این پژوهش همسو بود. افزودن نانو ذراتی مانند نانوذرات پتاسیم به محلول غذایی گیاه به عنوان کود، به دلیل داشتن اثرهایی مانند نفوذ سریع‌تر و راحت‌تر به درون غشای سلولی، افزایش مقاومت بذر گیاهان در مقابل تنش‌های محیطی، افزایش فتوسنتز و عملکرد گیاهان نیز توجه زیادی را در بین تولیدکنندگان به خود اختصاص داده است (Kumari et al., 2021). به‌وجود رشد گیاه و افزایش بیومس در دو ژنوتیپ یوزجه در تنش شوری بر نانوذرات سولفات پتاسیم گزارش شده است (Ditta. and Arshad, 2016). با توجه به اهمیت پتاسیم در تنظیم باز و بسته شدن روزنه‌ها و محدود کردن تجزیه کلروفیل (He et al., 2023)، استفاده از نانوذرات پتاسیم، شاخص‌های فتوسنتزی و تبادل گاز را افزایش می‌دهد (Nanehkaran et al., 2024). با استفاده از تیمار نانوذره پتاسیم، محتوای نسبی کلروفیل‌ها، بهره‌وری فتوشیمیایی فتوسیستم II، هدایت روزنه‌ای، کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها به ویژه در غلظت ۱۵۰ میلی مول تحر یک شد (Nanehkaran et al., 2024). همچنین مطالعات نشان داد که با افزایش نانوذرات پتاسیم در محلول

spectrometry. *Spectrochim Acta Part B Spectrosc*, 209: 106781

- 8) Johnson, R., Vishwakarma, K., Hossen, M.S., Kumar, V., Shackira, A., Puthur, J.T., Abdi, G., Sarraf, M. and M, Hasanuzzaman. 2022. Potassium in plants: Growth regulation, signaling, and environmental stress tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry*, 172: 56-69 .
- 9) Kumari, S., Chhillar, H., Chopra, P., Khanna, R.R. and M.I.R, Khan. 2021. Potassium: A track to develop salinity tolerant plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 167: 1011-1023.
- 10) Nanekharan, F.M., Razavi, S.M., Ghasemian, A., Ghorbani, A. and M, Zargar. 2024. Foliar applied potassium nanoparticles (K-NPs) and potassium sulfate on growth, physiological, and phytochemical parameters in *Melissa officinalis* L. under salt stress. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(21): 31108-31122.
- 11) Nayak, P.R. and D.N, Begur. 2023. Eco-friendly Biosynthesis of Silver Nanoparticles from *Aloe vera* Leaves Based on Various Parameters. *International Multidisciplinary Research Journal*, 5(5): 1-8.
- 12) Noaema, A.H. and A.R, Alhasany. 2020. Effect of spraying nano fertilizers of potassium and boron on growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). In IOP Conference Series: *Materials Science and Engineering*, 871(1): 012012. IOP Publishing.
- 13) Rahnesan, Z., Fatemeh, N. and A, Ali. 2018. Effects of salinity stress on some growth, physiological, biochemical parameters and nutrients in two pistachio (*Pistacia vera* L.) rootstocks. *Journal of Plant Interactions*, 13(1): 73-82.
- 14) Shahraki, S.H., Ahmadi, T., Jamali, B. and M, Rahimi. 2024. The biochemical and growth-associated traits of basil (*Ocimum basilicum* L.) affected by silver nanoparticles and silver. *BMC Plant Biology*, 24(1): 92.

سپاسگزاری: از دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهید

حاج قاسم سلیمانی (کرمان) بخاطر فراهم کردن شرایط آزمایشگاهی، دستگاهی و تجهیزات تشکر می‌شود.

منابع

- 1) Arif, Y., Singh, P., Siddiqui, H., Bajguz, A. and S, Hayat. 2020. Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry*, 156: 64-77.
- 2) Balal, R.M., Shahid, M.A., Javaid, M.M., Iqbal, Z., Liu, G.D., Zotarelli, L. and N, Khan. 2016. Chitosan alleviates phytotoxicity caused by boron through augmented polyamine metabolism and antioxidant activities and reduced boron concentration in *Cucumis sativus* L. *Acta physiologiae plantarum*, 39.
- 3) Ditta, A. and M, Arshad. 2016. Applications and perspectives of using nanomaterials for sustainable plant nutrition. *Nanotechnology reviews*, 5.
- 4) Etesami, H., Fatemi, H. and M, Rizwan. 2021. Interactions of nanoparticles and salinity stress at physiological, biochemical and molecular levels in plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 225: 112769.
- 5) Hameed, A., Ahmed, M.Z., Hussain, T., Aziz, I., Ahmad, N., Gul, B. and B.L, Nielsen. 2021. Effects of salinity stress on chloroplast structure and function. *Cells*, 10: 2023.
- 6) Hao, S., Wang, Y., Yan, Y., Liu, Y., Wang, J., & Chen, S. 2021. A Review on Plant Responses to Salt Stress and Their Mechanisms of Salt Resistance. *Horticulturae*, 7(6): 132.
- 7) He, M., Ren, T.X., Jin, Z.D., Deng, L., Liu, H.J., Cheng, Y.Y., Li, Z.Y., Liu, X.X., Yang, Y. and H, Chang. 2023. Precise analysis of potassium isotopic composition in plant materials by multi- collector inductively coupled plasma mass

- 15) Sheoran, P.S., Goel, R., Boora, S., Kumari, S. and S, Yashveer. 2021. Biogenic synthesis of potassium nanoparticles and their evaluation as a growth promoter in wheat. *Plant Gene*, 27: 100310.
- 16) Torche, Y., Blair, M. and C, Said. 2018. Biochemical, physiological and phenological genetic analysis in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under salt stress. *Annals of Agricultural Sciences*, 63(2): 153-161.
- 17) Usman, M., Farooq, M., Wakeel, A., Nawaz, A., Cheema, S.A. and R, Hu. 2020. Nanotechnology in agriculture: Current status, challenges and future opportunities. *Science of The Total Environment*, 721: 137778.
- 18) Vashisth, A., Nagarajan, S. 2010. Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field. *Journal of Plant Physiology*, 167: 149–156.
- 19) Wang, X., Chen, Z. and N, Sui. 2024. Sensitivity and responses of chloroplasts to salt stress in plants. *Frontiers in Plant Science*, 167(2): 149-56.