



Effect of Nano Silicon, Putrescine and Nitrogen Starter Application on Yield and Some Physiological and Biochemical Traits of Rainfed Chickpea

Raouf Seyed Sharifi¹ | Reza Seyed Sharifi²

1. Corresponding Author, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: raouf_ssharifi@uma.ac.ir
2. Department of Animal Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: sharifi_r@uma.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: January 31, 2022

Received in revised form:

September 05, 2022

Accepted: September 14, 2022

Published online: April 16, 2023

Keywords:

Antioxidant enzymes,
chlorophyll content,
proline,
putrescine,
quantum yield.

ABSTRACT

In order to study the effects of nitrogen starter, putrescine, and nano silicon on yield and some physiological and biochemical traits of rainfed chickpea (*Cicer arietinum* L.), an experiment was carried out as factorial based on randomized complete block design with three replications in a farm near Ardabil in 2021. The experiment factors include nitrogen starter (no-nitrogen starter, application of 20 and 40 kg.ha⁻¹ by urea), putrescine foliar application (foliar application with water, application of 0.5 and 1 mM putrescine), and nano silicon (foliar application with water, application of 25 and 50 mg.L⁻¹). Means comparison show that the highest level of nano silicon, putrescine, and nitrogen starter have increased chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, and proline content (139%, 137%, 138%, and 80%, respectively), compared to no application of nano silicon, putrescine, and starter nitrogen. The highest level nano silicon and putrescine has increased the activity of catalase, peroxidase enzymes and grain yield (40%, 16.3%, and 16.6%, respectively), compared to no application of nano silicon and putrescine. Maximum quantum yield of photosystem II (7.4%, 8%, and 15.5%, respectively) and the activity of polyphenol oxidase enzyme (17%, 9%, and 21%, respectively) are obtained at the highest level starter nitrogen, putrescine, and nano silicon. It seems that the application of nano silicon, putrescine, and starter nitrogen can increase grain yield of chickpea under rainfed condition as it improves physiological and biochemical traits.

Cite this article: Seyed Sharifi, R., & Seyed Sharifi, R. (2022). Effect of Nano Silicon, Putrescine and Nitrogen Starter Application on Yield and Some Physiological and Biochemical Traits of Rainfed Chickpea. *Journal of Crops Improvement*, 25 (1), 143-158. DOI: <http://doi.org/10.22059/jci.2022.338319.2670>





تأثیر نیتروژن استارتر، پوترسین و نانوسیلیکون بر عملکرد و برخی صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیک نخود دیم

رئوف سید شریفی^۱ | رضا سید شریفی^۲

۱. نویسنده مسئول، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: raouf_ssharifi@uma.ac.ir
۲. گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: sharifi_r@uma.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۱/۲۷

کلیدواژه‌ها:

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان،

پرولین،

پوترسین،

عملکرد کوانتومی،

محتوای کلروفیل.

به‌منظور بررسی اثر کاربرد نیتروژن استارتر، پوترسین و نانوسیلیکون بر عملکرد و برخی صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیک نخود دیم، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ای نزدیک شهر اردبیل در سال ۱۴۰۰ اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی نیتروژن استارتر (عدم کاربرد، کاربرد ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره)، محلول‌پاشی پوترسین (محلول‌پاشی با آب، کاربرد ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار پوترسین) و نانوسیلیکون (محلول‌پاشی با آب، کاربرد ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر) را شامل می‌شدند. مقایسه میانگین‌ها نشان داد بالاترین سطح از کاربرد نیتروژن، پوترسین و نانوسیلیکون باعث افزایش محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل و پرولین به‌ترتیب ۱۳۹، ۱۳۷، ۱۳۸ و ۸۰ درصد نسبت به عدم کاربرد شد. بالاترین سطح پوترسین و نانوسیلیکون، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز و عملکرد دانه را به‌ترتیب ۴۰ و ۱۶/۳ و ۱۶/۶ درصد در مقایسه با عدم کاربرد پوترسین و نانوسیلیکون افزایش داد. حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو (به‌ترتیب ۱۷/۴، ۸ و ۱۵/۵ درصد) و فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز (به‌ترتیب ۱۷، ۹ و ۲۱ درصد) در بالاترین سطح از مصرف نیتروژن، پوترسین و نانوسیلیکون به‌دست آمد. به‌نظر می‌رسد کاربرد نیتروژن، پوترسین و نانوسیلیکون می‌تواند به‌دلیل بهبود صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی، عملکرد نخود دیم را افزایش دهد.

استناد: سید شریفی، ر. و سید شریفی، ر (۱۴۰۲). تأثیر نیتروژن استارتر، پوترسین و نانوسیلیکون بر عملکرد و برخی صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیک نخود دیم. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۵ (۱)، ۱۴۳-۱۵۸. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2022.338319.2670>



۱. مقدمه

نخود (*Cicer arietinum* L.) به دلیل برخورداری از مقادیر بالای پروتئین، توانایی تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، امکان قرارگیری در تناوب زراعی با سایر گیاهان، کشت به صورت دیم حتی در اراضی کم بازده، غنی بودن از آنتی اکسیدانها و عناصر غذایی معدنی نظیر فسفر و کلسیم، قابلیت نگهداری و انبارداری بالای بذر، از اهمیت خاصی در بین حبوبات برخوردار است. ایران از نظر سطح زیرکشت نخود، چهارمین رتبه را بعد از هند، پاکستان و ترکیه به خود اختصاص داده است (Sabaghpour *et al.*, 2006). اما عملکرد این گیاه در مناطق خشک و نیمه خشک به دلایل مختلفی از جمله کشت دیم در اراضی فقیر و کم بازده، کمبود مواد آلی خاک و محدودیت آبی در طول دوره رشدی، پایین است.

تثبیت بیولوژیک نیتروژن به وسیله لگومها، گرچه به عنوان یک صفت مهم در تأمین بخشی از نیاز نیتروژنی گیاه تلقی می شود، اما کاربرد نیتروژن استارتر به ویژه در خاکهای با ماده آلی و نیتروژن کم تر، از عوامل مؤثر در بهبود عملکرد لگومها، فرایند توسعه ریشه، تشکیل گره و فعالیت بالای باکتری های جنس ریزوبیوم در گیاه میزبان است (Sepetoglu, 2002). Walley *et al.* (2005) در بررسی تأثیر مقادیر نیتروژن (صفر، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم در هکتار) در نخود، اظهار داشتند که نیتروژن در مقادیر کم (۱۵ تا ۳۰ کیلوگرم در هکتار) به عنوان استارتر، تأثیر مثبتی بر تثبیت بیولوژیکی دارد، اما در مقادیر بالاتر (۳۰ تا ۴۵ کیلوگرم در هکتار) اثر بازدارندگی دارد. Noori *et al.* (2005) با بررسی چهار سطح نیتروژن (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) در باقلا دریافتند که با افزایش میزان نیتروژن تا ۵۰ کیلوگرم در هکتار، صفاتی مانند عملکرد دانه، تعداد نیام در بوته و درصد پروتئین دانه افزایش یافت.

در شرایط محدودیت آبی بیش تر گیاهان برای تنظیم پتانسیل اسمزی درون سلول، مواد محلول با وزن مولکولی کم و سازگار را تولید و تجمع می دهند که در بین آنها پرولین، مهم ترین اسمولیتی است که تجمع آن با سازگاری به خشکی در بسیاری از گیاهان مرتبط است (Hadi *et al.*, 2016). هم چنین محدودیت آبی با کاهش محتوای نسبی آب و عملکرد کواتومی (Baili *et al.*, 2006)، موجب می شود انتقال الکترون در فتوسیستم II مختل شده و الکترون اضافی ناشی از فتولیز آب، با تولید اکسیژن فعال و خسارت به غشای سلولی از طریق پراکسیدشدن چربی ها و پروتئین ها، به کاهش محتوای کلروفیلی گیاه منجر شود (Miller *et al.*, 2010).

کاربرد پلی آمین ها و سیلیکون یکی از راه کارهای اساسی برای تعدیل یا کاهش اثر محدودیت آبی در گیاهان زراعی است (Hadi *et al.*, 2016). پلی آمین ها دسته ای از ترکیبات طبیعی با وزن مولکولی کم و دارای گروه های نیتروژن دار خطی هستند که در طیف وسیعی از فرایندهای فیزیولوژیکی در گیاهان نقش ایفا می کنند (Groppa & Benavides, 2008). مهم ترین پلی آمین ها شامل اسپرمیدین (تری آمین)، اسپرمین (تترا آمین) و پیش ساز آن ها پوترسین (دی آمین) است (Groppa & Benavides, 2008) که از طریق جذب رادیکال های آزاد، ثبات و پایداری پروتئین ها، جلوگیری از پراکسیداسیون لیپیدی غشاها (Anjum, 2010) و کاهش تخریب کلروفیل (Shu *et al.*, 2012) می توانند در بهبود عملکرد گیاهان در شرایط محدودیت آبی مؤثر باشند. نتایج یک بررسی نشان داد که کاربرد پوترسین در شرایط تنش آبی در گندم، تعداد خوشه، وزن خوشه و عملکرد را افزایش داد (Gupta *et al.*, 2012). بررسی های Nayyar *et al.* (2005) نشان داد کاربرد پوترسین و اسپرمیدین اثر سوء ناشی از محدودیت آبی را در سویا و نخود کاهش و صفاتی مثل طول ریشه و ساقه را در شرایط تنش، افزایش داد.

محلول پاشی سیلیکون نیز یکی دیگر از راه کارهایی است که می تواند با تجمع پرولین (Xie *et al.*, 2012)، افزایش محتوای کلروفیل (Merwad *et al.*, 2018) و فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی (Liang *et al.*, 2006) و بهبود کارایی فتوسنتزی، اثر مخرب محدودیت آبی در گیاهان را تا حد زیادی تعدیل کرده و بهره وری گیاهان تحت شرایط تنش را

بهبود بخشند (Tripathi et al., 2016). به همین دلیل است که مؤسسه بین‌المللی تغذیه گیاه^۱ سیلیکون را به فهرست عناصر غذایی مفید اضافه کرده است (Ouellette et al., 2017). در مطالعه‌ای محلول‌پاشی برگی نانوسیلیکون در شرایط محدودیت آبی در سویا، خسارت وارده به گیاه را از طریق تعدیل فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز و اثرگذاری بر تقلیل سطح پراکسید هیدروژن، کاهش داد. Sajed Gollojeh et al. (2020) بیان کردند که محلول‌پاشی نانوسیلیکون تحت شرایط محدودیت آبی با بهبود محتوای کلروفیل و عملکرد کوانتومی، موجب افزایش عملکرد دانه کلزا شد.

کمبود مواد آلی خاک در بیش‌تر مناطق خشک و نیمه‌خشک در زراعت نخود دیم وجود دارد در این راستا به دلیل نقش نیتروژن، سیلیکون و پوترسین (Hadi et al., 2016) در جبران بخشی از این کمبود و تعدیل شرایط نامساعد محیطی ناشی از زراعت دیم، و بررسی‌های محدود انجام‌شده در خصوص برهم‌کنش توام این عوامل، از جمله مواردی بودند که موجب شد تا اثر این عوامل بر عملکرد و برخی صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیک نخود دیم مورد بررسی قرار گیرد.

۲. مواد و روش‌ها

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه‌ای در نزدیک اردبیل با مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی با ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریا در سال ۱۴۰۰ اجرا شد. اقلیم محل اجرای آزمایش از نوع نیمه‌خشک سرد می‌باشد. متوسط بارش سالیانه آن براساس آمار ۳۰ ساله هواشناسی بین ۲۸۰-۳۰۰ میلی‌متر متغیر است. نتایج حاصل از تجزیه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در جدول (۱) و مشخصات جوی در طول دوره رشدی نخود در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۱. تجزیه برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق خاک نمونه برداری صفر تا ۴۰ (cm)	کربنات کلسیم (%)	pH	درصد اشباع	رس (%)	لوم	شن	بافت رسی لومی	کربن آلی (%)	نیتروژن کل (%)	فسفر (mg/kg)	پتاسیم
۱۱/۲	۱۱/۲	۷/۳	۴۴	۲۸	۲۹	۲۳	رسی لومی	۰/۵۵	۰/۰۶۳	۹/۰۲	۱۹۲

جدول ۲. مشخصات جوی در طول دوره رشدی نخود در سال زراعی ۱۴۰۰

پارامترهای اقلیمی	ماه‌های سال	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
بارندگی (mm)		۵/۵	۱۶/۸	۶/۳	۳/۵	۱۱/۸	۰/۶
میانگین دما (°C)		۱۰/۶	۱۵	۱۹/۲	۲۱/۳	۲۰/۸	۱۸/۳
مجموع روزهای یخبندان		۹	صفر	صفر	صفر	صفر	صفر
متوسط رطوبت نسبی (%)		۶۳	۷۲	۶۳	۵۸	۵۹	۶۷

فاکتورهای مورد بررسی محلول‌پاشی پوتریسین در سه سطح (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، کاربرد ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار پوتریسین)، سه سطح نیتروژن استارتر (عدم استفاده به‌عنوان شاهد، کاربرد ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره) و نانوسیلیکون در سه سطح (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، کاربرد ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون) بود. از آنجایی که آزمایش در یک قطعه زمینی انجام شد که سال‌های قبل، به کشت گندم و جو اختصاص داده شده بود از

این رو سویه خالص باکتری ریزوبیوم لگومینوزاروم از مؤسسه خاک و آب تهیه، و برای تلقیح بذرها استفاده شد. در بهار به محض مساعد شدن شرایط اقلیمی در تاریخ ۱۸ اردیبهشت ماه، کاشت با دست در عمق ۴ تا ۵ سانتی متری انجام شد. هر واحد آزمایشی شامل پنج ردیف دو و نیم متری با فاصله بین ردیفی ۵۰ سانتی متر بود. بین هر واحد آزمایشی حداقل ۱/۵ متر فاصله نکاشت به منظور جلوگیری از اثر محلول پاشی و نشت کودی به کرت های مجاور قرار داده شد. رقم مورد استفاده "عادل" بود. این رقم از تحمل مناسبی نسبت به سرمای ابتدای فصل برخوردار است. در مرحله چهار تا پنج برگی به منظور اعمال تراکم مناسب بوته ها (۳۵ بوته در مترمربع) گیاهچه ها تنک شدند.

کود نیتروژن در دو مرحله از رشد، نصف کود هم زمان با کاشت و نصف دیگر در مرحله چهار تا پنج برگی و بعد از تنک کردن (به منظور اعمال تراکم مناسب بوته ها) به صورت سطحی در مزرعه پخش شد. بعد از کوددهی، مزرعه آبیاری نشد. یکی از دلایل استفاده از کود نیتروژن در این مراحل از دوره رشدی نخود به استناد آمار هواشناسی چندساله موجود در منطقه بود، چرا که وجود رطوبت کافی ناشی از بارندگی های زمستانه سال قبل به همراه بارندگی های ماه های فروردین و اردیبهشت در این مرحله از مراحل رشدی در سال اجرای آزمایش (جدول ۲) گواه این مدعاست و نشان می دهد که امکان تصعید کود مصرفی در این مراحل رشدی حداقل بود. به غیر از نیتروژن، کود خاصی در طول اجرای آزمایش استفاده نشد. محلول پاشی با نانوسیلیکون و پوترسین در دو مرحله از رشد گیاه در طول دوره رشد رویشی (مرحله شروع طویل شدن ساقه و مرحله قبل از گلدهی به ترتیب برابر با کد ۳۰ و ۳۹ از مقیاس BBCH) انجام شد. البته زمان محلول پاشی نانوسیلیکون و پوترسین هم زمان نبوده و با فاصله زمانی چهار روزه از هم محلول پاشی شدند. نانوسیلیکون (Nano-SiO₂) با اندازه ذرات ۱۰ تا ۲۰ نانومتر و خلوص بالای ۹۹ درصد، محصول شرکت آمریکایی US Research Nanomaterial، از شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان تهیه شد. در زمان گلدهی در خطوط اصلی هر واحد آزمایشی از بالاترین برگ های توسعه یافته در هر بوته برای اندازه گیری رنگدانه های فتوسنتزی (کلروفیل a، b و کل) از روش Arnon (1967) استفاده شد. میزان پرولین با استفاده از روش Bates (1973) و برای سنجش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان (کاتالاز، پراکسیداز و پلی فنولاز) از روش Sudhakar *et al.* (2001) استفاده شد. عملکرد کوانتومی در هر واحد آزمایشی توسط دستگاه فلورسانس کلروفیل (OS-30p) و با کلیپس های مخصوص اندازه گیری شد. محتوای قندهای محلول به روش فنول سولفوریک (Dubois, 1956) تعیین شد. محتوای نیتروژن دانه به روش کجلدال تعیین و با ضرب در ۶/۲۵ درصد پروتئین دانه تعیین شد. عملکرد دانه در تاریخ ۱۴ شهریورماه با برداشت از خطوط اصلی هر کرت بعد از حذف اثر حاشیه ای از سطحی معادل نیم مترمربع برآورد شد. برای تجزیه داده ها و رسم نمودارها از نرم افزارهای SAS (نسخه ۹٫۱) و Excel (2003) استفاده شد و میانگین ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

۳. نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که فعالیت آنزیم های پلی فنل اکسیداز و عملکرد کوانتومی تحت تأثیر اثرات اصلی نیتروژن استارتر، پوترسین و نانوسیلیکون در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۳). اثر ترکیب تیماری نیتروژن استارتر در پوترسین بر محتوای قندهای محلول و پروتئین دانه در سطح احتمال یک درصد و اثر ترکیب تیماری پوترسین و سیلیکون بر فعالیت آنزیم های پراکسیداز، کاتالاز، قندهای محلول و عملکرد دانه در احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۳). اثر سه جانبه نیتروژن استارتر، پوترسین و نانوسیلیکون بر محتوای کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و محتوای پرولین در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۳).

جدول ۳. نتایج جدول تجزیه واریانس تأثیر نیتروژن استارتر نانوسیلیکون و پوترسین بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نخود تحت شرایط دیم

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	محتوای پروکلین
تکرار	۲	۵/۹۶**	۱/۱۷**	۱۲/۴۳**	۱۹/۲۱**
نیتروژن استارتر (N)	۲	۵/۱۴**	۱/۰۰۸**	۱۰/۷**	۳۸/۴۳**
پوترسین (P)	۲	۷/۹۳**	۱/۵۵**	۱۶/۵۳**	۱۳/۱۴**
سیلیکون (S)	۲	۱/۰۲**	۰/۱۹۸**	۲/۱۴**	۶/۰۷**
N×P	۴	۰/۱۹**	۰/۰۳۷**	۰/۳۹۸**	۲/۰۲**
N×S	۴	۰/۰۱۹	۰/۰۰۳۶	۰/۰۴۰	۰/۱۵۰**
P×S	۴	۰/۱۰۶**	۰/۰۲۰۵**	۰/۲۱۸**	۰/۰۶۲*
N×P×S	۸	۰/۱۳۷**	۰/۰۲۶۵**	۰/۲۸۶**	۰/۰۸۶**
خطای آزمایشی	۵۲	۰/۰۱۰۵	۰/۰۰۲۰۷	۰/۰۲۲	۰/۰۲۳۴
ضریب تغییرات (%)	-	۳/۶۹	۴/۷	۳/۵	۱۲/۹
۸/۳۵	-	-	-	-	۱۲/۹

** و *: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ادامه جدول ۳. نتایج جدول تجزیه واریانس تأثیر نیتروژن استارتر نانوسیلیکون و پوترسین بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نخود تحت شرایط دیم

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		پراکسیداز	پلی فنل اکسیداز	کاتالاز	عملکرد کوانتومی
تکرار	۲	۷۲۵۳/۶۵**	۴۳۳۶/۴۸**	۲۰۵/۵۷**	۰/۰۱۲۰**
نیتروژن استارتر (N)	۲	۴۰۰۹/۰۳**	۴۰۳۲/۱۳**	۱۷۵۹/۳۸**	۰/۱۸۴**
پوترسین (P)	۲	۲۲۸/۹۵**	۴۴۳/۵۴**	۳۹۹/۴۶**	۰/۰۲۳۳**
سیلیکون (S)	۲	۳۷۴/۵**	۳۱۴/۶۴**	۴۷۶/۸۶**	۰/۰۲۵۵**
N×P	۴	۲۶/۱	۳۷/۸۴	۶/۰۷	۰/۰۱۳۹
N×S	۴	۹/۰۹	۱۶/۹۱	۵/۸۷	۰/۰۰۱۰۲
P×S	۴	۴۷/۹*	۲۹/۶۱	۴۳/۸۹*	۰/۰۰۳۵
N×P×S	۸	۷/۰۸	۵/۷۵	۶/۰۱	۰/۰۰۰۸۷
خطای آزمایشی	۵۲	۲۰/۸۶	۲۲/۷	۲۱/۲۱	۰/۰۰۲۲
ضریب تغییرات (%)	-	۶/۳۸	۹/۱۴	۱۰/۰۷	۶/۶۵
۶/۱۳	-	-	-	-	۶/۹۳

** و *: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

۳.۱. محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی

مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیش‌ترین محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل در بالاترین سطح از کاربرد نیتروژن استارتر، پوترسین و نانوسیلیکون به‌دست آمد (جدول ۴) که نسبت به عدم کاربرد این فاکتورها از افزایش به‌ترتیب ۱۳۹، ۱۳۷ و ۱۳۸ درصدی برخوردار بودند (جدول ۴). همان‌طوری که ملاحظه می‌شود با کاربرد نیتروژن، محتوای تمامی رنگدانه‌های فتوسنتزی افزایش یافت. اگرچه خود به‌دلیل همزیستی با باکتری‌های تثبیت‌کننده می‌تواند نیتروژن هوا را تثبیت و در اختیار گیاه قرار دهد که بخشی از این نیتروژن، می‌تواند در ساختار کلروفیل مورد استفاده قرار گیرد، اما در این بررسی به‌نظر می‌رسد وجود نیتروژن کم در خاک تحت کشت (جدول ۱) موجب شد که گیاه به کاربرد کود نیتروژن واکنش مثبت نشان دهد. هم‌چنین بخشی از کاهش محتوای کلروفیل می‌تواند ناشی از محدودیت آبی در طول دوره رشدی نخود باشد (جدول ۲) که ضمن کاهش عملکرد کوانتومی (شکل ۱) به کاهش فتوسنتز و متابولیسم نیتروژن منجر می‌شود (Saneoka et al., 2004). (Pimratch et al., 2008) در بررسی اثر تنش رطوبتی بر صفات مرتبط با تثبیت

نیتروژن در ژنوتیپ‌های بادام‌زمینی گزارش نمودند که تنش رطوبتی به دلیل کاهش میزان تثبیت نیتروژن موجب می‌شود دیگر بخش‌های گیاه به نیتروژن کافی دسترسی نداشته باشند و همین امر می‌تواند یکی از دلایل کاهش محتوای کلروفیل برگ‌ها باشد، زیرا این عنصر جز اساسی ساختار کلروفیل به حساب می‌آید. برخی پژوهش‌گران معتقدند در شرایط کمبود نیتروژن، به دلیل کاهش فتوسنتز، ترکیبات کربوهیدراتی کم‌تری به ریشه ارسال شده و انرژی مورد نیاز برای تثبیت نیتروژن تأمین نمی‌شود (Sepetoglu, 2002)، در چنین شرایطی کاربرد نیتروژن می‌تواند از راه کارهای مؤثر در افزایش محتوای کلروفیلی برگ‌ها و ارتقای توان فتوسنتزی گیاه به حساب آید. بخشی از کاهش محتوای کلروفیل می‌تواند از محدودیت آبی در طول دوره رشدی نخود ناشی شود (جدول ۲)، زیرا در چنین شرایطی به نظر میرسد انتقال الکترون در فتوسیستم II مختل شده و الکترون اضافی ناشی از فتولیز آب، موجب تولید گونه‌های فعال اکسیژن و متعاقب آن پراکسیداسیون لیپیدها، پروتئین‌ها و کاهش محتوای کلروفیل می‌شود (Jiao *et al.*, 2010). برخی پژوهش‌گران کاهش محتوای کلروفیل در شرایط محدودیت آبی را، به کاهش کارایی استفاده از کربن و افزایش تولید اتانول و لاکتات و برخی دیگر به سنتز آهسته کلروفیل یا تخریب کلروپلاست‌ها طی بروز تنش اکسیداتیو نسبت داده‌اند (Miller *et al.*, 2010). Jiao *et al.* (2010) اظهار داشتند که خشکی می‌تواند با افزایش آنزیم کلروفیلاز و تشدید سرعت تجزیه آن، مانع از بیوسنتز کلروفیل شده و محتوای کلروفیل را به میزان چشم‌گیری کاهش دهد. کاربرد پوترسین و نانوسیلیکون با وجود شرایط تنش رطوبتی ناشی از کشت دیم، موجب شد محتوای کلروفیل به نحو قابل‌توجهی افزایش یابد (جدول ۴).

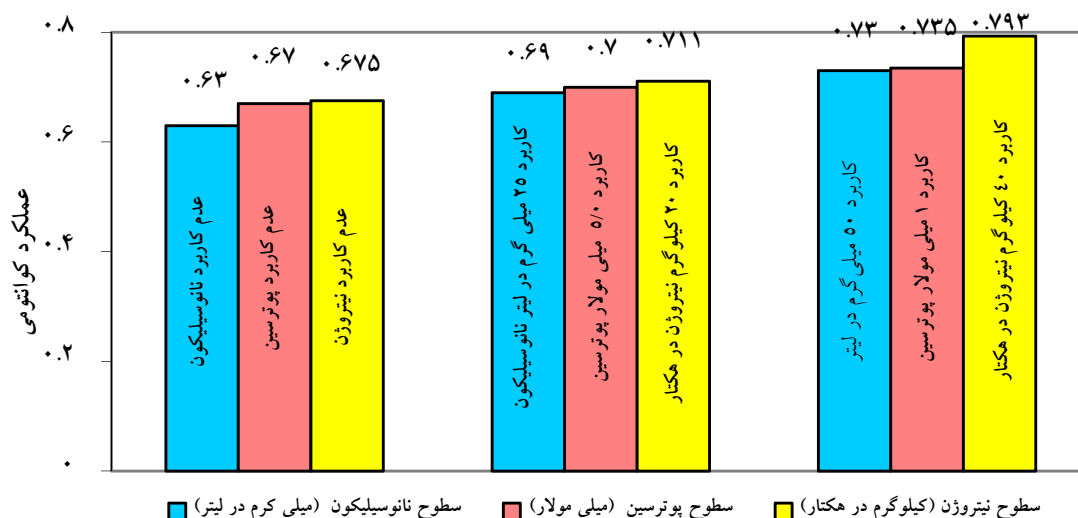
جدول ۴. مقایسه میانگین اثر نیتروژن استارتر، پوترسین و نانوسیلیکون بر محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل و پرولین نخود دیم

محتوای پرولین ($\mu\text{g.g}^{-1}\text{FW}$)	کلروفیل کل ($\text{mg.g}^{-1}\text{FW}$)	کلروفیل b ($\text{mg.g}^{-1}\text{FW}$)	کلروفیل a ($\text{mg.g}^{-1}\text{FW}$)	ترکیب تیماری
0.78 ± 0.46	0.624 ± 0.08	0.191 ± 0.016	0.432 ± 0.264	۴۰ کیلو نیتروژن در هکتار × عدم کاربرد پوترسین و سیلیکون
0.86 ± 0.115	0.633 ± 0.184	0.195 ± 0.0176	0.438 ± 0.266	۴۰ کیلو نیتروژن در هکتار × عدم کاربرد پوترسین ۲۵ × میلی گرم در لیتر سیلیکون
0.916 ± 0.076	0.639 ± 0.187	0.19 ± 0.0186	0.443 ± 0.268	۴۰ کیلو نیتروژن در هکتار × عدم کاربرد پوترسین ۵۰ × میلی گرم در لیتر سیلیکون
0.986 ± 0.114	0.741 ± 0.499	0.226 ± 0.038	0.51 ± 0.311	۴۰ کیلو نیتروژن در هکتار × ۰/۵ میلی مولار پوترسین × عدم کاربرد سیلیکون
1.02 ± 0.44	0.752 ± 0.56	0.23 ± 0.046	0.523 ± 0.318	۴۰ کیلو نیتروژن در هکتار × ۰/۵ میلی مولار پوترسین ۲۵ × میلی گرم در لیتر سیلیکون
1.07 ± 0.84	0.762 ± 0.63	0.233 ± 0.042	0.525 ± 0.321	۴۰ کیلو نیتروژن در هکتار × ۰/۵ میلی مولار پوترسین ۵۰ × میلی گرم در لیتر سیلیکون
1.046 ± 0.86	0.774 ± 0.73	0.237 ± 0.045	0.542 ± 0.328	۴۰ کیلو نیتروژن در هکتار × یک میلی مولار پوترسین × عدم کاربرد سیلیکون
1.08 ± 0.94	1.005 ± 0.11	0.309 ± 0.0187	0.696 ± 0.424	۴۰ کیلو نیتروژن در هکتار × یک میلی مولار پوترسین ۲۵ × میلی گرم در لیتر سیلیکون
1.08 ± 0.91	1.047 ± 0.35	0.330 ± 0.044	0.722 ± 0.44	۴۰ کیلو نیتروژن در هکتار × یک میلی مولار پوترسین ۵۰ × میلی گرم در لیتر سیلیکون
0.72 ± 0.96	0.515 ± 0.12	0.159 ± 0.0956	0.356 ± 0.216	۲۰ کیلو نیتروژن در هکتار × عدم کاربرد پوترسین و سیلیکون
0.755 ± 0.25	0.592 ± 0.62	0.18 ± 0.011	0.413 ± 0.251	۲۰ کیلو نیتروژن در هکتار × عدم کاربرد پوترسین ۲۵ × میلی گرم در لیتر سیلیکون
0.82 ± 0.82	0.618 ± 0.76	0.191 ± 0.015	0.427 ± 0.261	۲۰ کیلو نیتروژن در هکتار × عدم کاربرد پوترسین ۵۰ × میلی گرم در لیتر سیلیکون
0.745 ± 0.15	0.639 ± 0.89	0.195 ± 0.0196	0.442 ± 0.27	۲۰ کیلو نیتروژن در هکتار × ۰/۵ میلی مولار پوترسین × عدم کاربرد سیلیکون
0.795 ± 0.55	0.664 ± 0.2	0.201 ± 0.0233	0.459 ± 0.279	۲۰ کیلو نیتروژن در هکتار × ۰/۵ میلی مولار پوترسین ۲۵ × میلی گرم در لیتر سیلیکون
0.86 ± 0.115	0.684 ± 0.16	0.212 ± 0.0276	0.474 ± 0.288	۲۰ کیلو نیتروژن در هکتار × ۰/۵ میلی مولار پوترسین ۵۰ × میلی گرم در لیتر سیلیکون
0.936 ± 0.75	0.798 ± 0.85	0.242 ± 0.049	0.561 ± 0.336	۲۰ کیلو نیتروژن در هکتار × یک میلی مولار پوترسین × عدم کاربرد سیلیکون
0.961 ± 0.94	0.815 ± 0.97	0.248 ± 0.052	0.567 ± 0.345	۲۰ کیلو نیتروژن در هکتار × یک میلی مولار پوترسین ۲۵ × میلی گرم در لیتر سیلیکون
1.05 ± 0.87	0.887 ± 0.39	0.273 ± 0.065	0.614 ± 0.374	۲۰ کیلو نیتروژن در هکتار × یک میلی مولار پوترسین ۵۰ × میلی گرم در لیتر سیلیکون
0.649 ± 0.96	0.438 ± 0.66	0.133 ± 0.0116	0.299 ± 0.184	عدم کاربرد نیتروژن × عدم کاربرد پوترسین × عدم کاربرد سیلیکون
0.645 ± 0.36	0.463 ± 0.18	0.144 ± 0.016	0.318 ± 0.194	عدم کاربرد نیتروژن × عدم کاربرد پوترسین ۲۵ × میلی گرم در لیتر سیلیکون
0.72 ± 0.96	0.492 ± 0.99	0.149 ± 0.016	0.339 ± 0.207	عدم کاربرد نیتروژن × عدم کاربرد پوترسین ۵۰ × میلی گرم در لیتر سیلیکون
0.649 ± 0.96	0.51 ± 0.1	0.155 ± 0.0953	0.355 ± 0.215	عدم کاربرد نیتروژن × ۰/۵ میلی مولار پوترسین × عدم کاربرد سیلیکون
0.72 ± 0.96	0.587 ± 0.57	0.176 ± 0.0196	0.406 ± 0.248	عدم کاربرد نیتروژن × ۰/۵ میلی مولار پوترسین ۲۵ × میلی گرم در لیتر سیلیکون
0.78 ± 0.47	0.648 ± 0.96	0.201 ± 0.021	0.452 ± 0.274	عدم کاربرد نیتروژن × ۰/۵ میلی مولار پوترسین ۵۰ × میلی گرم در لیتر سیلیکون

برخی پژوهش‌گران معتقدند کاربرد پوترسین موجب تأخیر در پیری و کاهش از دست دادن کلروفیل می‌شود (Couée *et al.*, 2004) و برخی دیگر اظهار می‌دارند که محلول‌پاشی پوترسین با القای داخلی سیتوکنین، موجب تحریک بیوسنتز کلروفیل می‌شود (El-Bassioouny *et al.*, 2008; Xie *et al.*, 2004). محلول‌پاشی سیلیکون نیز منجر به افزایش محتوای کلروفیل شد (جدول ۴). سیلیکون با قرارگرفتن در آپوپلاست دیواره‌های خارجی سلول‌های اپیدرمی، علاوه بر استحکام و تأخیر در پیری برگ، منجر به افزایش محتوای کلروفیل می‌شود (Gong *et al.*, 2005). Sajed *et al.* (2020) افزایش محتوای کلروفیل برگ‌های کلزا در تیمار با سیلیکون را، به اثر این ماده در افزایش کارایی فتوسنتز II تحت شرایط تنش نسبت دادند. در این راستا بررسی مقادیر عملکرد کوانتومی که به‌عنوان معیاری برای ارزیابی کارایی فتوسنتز II تلقی می‌شود، نشان می‌دهد که با افزایش اثر هر سه فاکتور مورد بررسی، عملکرد کوانتومی نیز افزایش یافته است (شکل ۱).

۲.۳. عملکرد کوانتومی

معنی‌دار شدن این صفت تحت تأثیر اثرات اصلی هر یک از فاکتورهای موردبررسی در سطح احتمال یک درصد (جدول ۳) و مقایسه میانگین اثرات اصلی نشان داد که با افزایش سطح هر کدام از فاکتورهای آزمایشی (نیتروژن استارتر، پوترسین و نانوسیلیکون)، عملکرد کوانتومی نیز افزایش یافت (شکل ۱). طوری‌که بالاترین سطح از مصرف نیتروژن در مقایسه با عدم کاربرد نیتروژن، به افزایش ۱۷/۴ درصدی عملکرد کوانتومی منجر شد (شکل ۱). به‌نظر می‌رسد یکی از دلایل واکنش مثبت و معنی‌دار عملکرد کوانتومی با افزایش سطح مصرف نیتروژن، ناشی از مقادیر پایین نیتروژن خاک باشد (جدول ۱). نتایج بررسی دیگر پژوهش‌گران نیز نشان داده است که با کاربرد نیتروژن عملکرد کوانتومی افزایش یافت (Seyed Sharifi *et al.*, 2017) و علت را به اثر این عنصر در افزایش فتوسنتز خالص نسبت دادند.



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر نیتروژن استارتر، پوترسین و نانوسیلیکون بر عملکرد کوانتومی

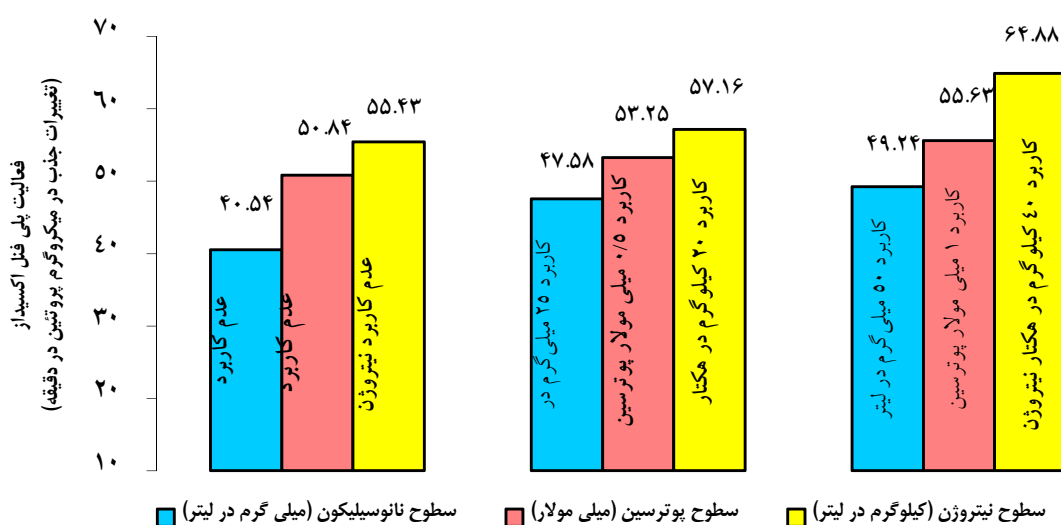
بالاترین سطح از کاربرد پوترسین و نانوسیلیکون به‌ترتیب از افزایش ۸ و ۱۵/۸ درصدی عملکرد کوانتومی در مقایسه با عدم کاربرد این فاکتورها برخوردار بود (شکل ۱). بخشی از روند تغییرات عملکرد کوانتومی تحت تأثیر عوامل آزمایشی

بیشتر ناشی از اثر این عوامل در تغییر محتوای کلروفیل (جدول ۴) است، زیرا فلورسانس کلروفیل به طور مستقیم به فعالیت و محتوای کلروفیل در مرکز واکنش فتوسیستم‌ها ارتباط داشته و می‌توان از آن به طور غیرمستقیم امکان ارزیابی کارکرد کوانتومی فتوسیستم II در گیاهان تحت شرایط مختلف محیطی را فراهم کرد (Li *et al.*, 2006). محلول پاشی پوترسین نیز منجر به بهبود عملکرد کوانتومی شد و در این زمینه برخی پژوهش‌گران علت را به اثر این ماده در نابودی رادیکال‌های فعال اکسیژن و جلوگیری از تخریب پروتئین‌ها به وسیله رادیکال‌های آزاد اکسیژن نسبت دادند (Amraee, 2016). (Tabar *et al.*, 2016). Yosefi Kordlar *et al.* (2015) گزارش کردند که در گیاه یونجه با افزایش سطوح کم‌آبی، حداکثر فلورسانس و عملکرد کوانتومی کاهش یافت در حالی که با مصرف پوترسین کاهش عملکرد کوانتوم و فلورسانس حداکثر جبران شد.

۳.۳. فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در بالاترین سطح از کاربرد پوترسین و نانوسیلیکون به دست آمد که از افزایش به ترتیب ۴۰ و ۱۶/۳ درصدی در مقایسه با سطح شاهد (یا عدم محلول پاشی با پوترسین و نانوسیلیکون) برخوردار بود (جدول ۴). فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز نیز تحت اثرات اصلی هر یک از فاکتورهای مورد بررسی قرار گرفته و با افزایش سطح هر کدام از فاکتورهای آزمایشی (نیتروژن استارتر، پوترسین و نانوسیلیکون) فعالیت این آنزیم نیز افزایش یافت (شکل ۲). طوری که بالاترین سطح از کاربرد نیتروژن استارتر، پوترسین و نانوسیلیکون از افزایش به ترتیب ۱۷، ۹ و ۲۱ درصدی فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز نسبت به عدم کاربرد این عوامل برخوردار بودند (شکل ۲). از دلایل افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در این بررسی می‌توان به اثرات ناشی از محدودیت آبی در طول دوره رشدی نخود (جدول ۲) اشاره نمود، چرا که گیاهان وقتی در شرایط تنش‌های مختلف محیطی از جمله تنش رطوبتی قرار می‌گیرند گونه‌های فعال اکسیژنی موجب تخریب چربی‌ها، ساختار پروتئین‌ها و آسیب به نوکلئیک اسیدها می‌شوند در چنین شرایطی پاسخ آنتی‌اکسیدانی، فرایندی مهم برای حفاظت گیاهان در برابر آسیب‌های اکسیداتیوی است که در اثر طیف وسیعی از تنش‌های محیطی مانند خشکی ایجاد می‌شوند (Mittler *et al.*, 2004). کاربرد نیتروژن منجر به افزایش فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز شد. طوری که بالاترین سطح از مصرف نیتروژن استارتر به افزایش ۱۷ درصدی فعالیت این آنزیم در مقایسه با عدم کاربرد نیتروژن منجر گردید (شکل ۲). در این راستا برخی پژوهش‌گران معتقدند نیتروژن تأثیر زیادی بر فعالیت آنزیم‌های درگیر در فتوسنتز همانند ریبولوز بی‌فسفات کربوکسیلاز دارد. در صورت نبود نیتروژن کافی، از فعالیت ریبولوز بی‌فسفات کربوکسیلاز کاسته و بر میزان انتقال الکترون در مسیر احیای نوری اکسیژن از طریق واکنش مهلر در درون کلروپلاست افزوده می‌شود. این امر در نهایت تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROSها) را بالا می‌برد و در چنین شرایطی انتظار می‌رود بر فعالیت ترکیبات آنزیمی و غیرآنزیمی آنتی‌اکسیدانی در برگ‌های گیاهان افزوده شود (Logan *et al.*, 1999). نتایج مشابهی نیز مبنی بر این که افزایش مصرف نیتروژن، موجب بالا رفتن میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز در گیاه *Populus yunnanensis* شد گزارش شده است (Lin *et al.*, 2012).

Shen *et al.* (2010) افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاهان تیمار شده با سیلیکون را، به اثر این ماده در جلوگیری از تخریب سلول در برابر حمله گونه‌های فعال اکسیژن و کاهش محتوای پراکسید هیدروژن و رادیکال‌های آزاد نسبت دادند. Shekari *et al.* (2017) گزارش کردند کاربرد سیلیکون با افزایش سنتز آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌تواند اثر منفی حاصل از تنش خشکی را به شدت کاهش دهد.



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر نیتروژن استارت، پوتاسیم و نانوسیلیکون بر فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز

۴.۳. محتوای پرولین و قندهای محلول

نتایج نشان داد بالاترین سطح از کاربرد نیتروژن استارت، پوتاسیم و نانوسیلیکون از افزایش ۸۰ درصدی محتوای پرولین در مقایسه با عدم کاربرد این فاکتورها برخوردار بودند (جدول ۴). معنی‌دار شدن محتوای قندهای محلول تحت تأثیر ترکیب تیماری نیتروژن در پوتاسیم، پوتاسیم در نانوسیلیکون در سطح احتمال پنج درصد (جدول ۳) و مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بالاترین سطح از کاربرد پوتاسیم در نانوسیلیکون از افزایش ۲۳ درصدی قندهای محلول در مقایسه با عدم کاربرد پوتاسیم در نانوسیلیکون برخوردار بود (جدول ۵). همچنین بالاترین سطح از کاربرد نیتروژن در پوتاسیم از افزایش ۵۸ درصدی قندهای محلول در مقایسه با عدم کاربرد نیتروژن و پوتاسیم برخوردار بود (جدول ۶). جویاتی مانند نخود برای تأمین نیتروژن مورد نیاز خود بیش‌تر به فرایند تثبیت زیستی نیتروژن متکی هستند، اما به‌نظر می‌رسد حساس بودن فرایند تثبیت زیستی به شرایط تنش رطوبتی از یک طرف و محدودیت آبی در طول دوره رشدی نخود (جدول ۲) از طرفی دیگر، موجب شد که نیاز گیاه به نیتروژن معدنی در شرایط ناشی از محدودیت آبی افزایش یابد. ضمن آن‌که در چنین شرایطی گیاه برای تجمع پرولین و سایر اسیدهای آمینه جهت تنظیم اسمزی، نیاز به نیتروژن بیش‌تری دارد (Bahavar et al., 2009). از این‌رو در این بررسی نیز با کاربرد نیتروژن، محتوای پرولین افزایش یافت. به‌نظر می‌رسد افزایش محتوای پرولین در کاربرد سیلیکون با افزایش فعالیت آنزیم‌های دخیل در مسیر بیوسنتز پرولین (Liang et al., 2006) و یا با افزایش محتوای کلروفیل کل (جدول ۴) مرتبط باشد که موجب افزایش میزان تثبیت دی‌اکسیدکربن و در نهایت افزایش تولید قندهای محلول و تجمع بیش‌تر آن‌ها در گیاه می‌شود (Silva et al., 2012). دلایل مختلفی برای تجمع پرولین در گیاه طی شرایط محدودیت آبی ارائه شده‌اند که برخی علت را به اثر تنظیمی هورمون آبسزیک‌اسید بر فرایندهای نوری در متابولیسم پرولین (Schutz & Fangmeir, 2001)، افزایش بیان آنزیم‌های سنتزکننده پرولین و کاهش فعالیت آنزیم‌های تخریب پرولین (Serraj & Sinclair, 2002) و برخی دیگر به وجود ترکیبات پراتری حاصل از فتوسنتز نسبت می‌دهند که در نهایت منجر به تحریک سنتز پرولین می‌شود (Zhang & Qu, 2004).

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر پوترسین در محتوای قندهای محلول، فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز، عملکرد و پروتئین دانه نخود دیم

ترکیب تیماری	قند محلول (mg g ⁻¹ FW)	پراکسیداز (OD μg protein min ⁻¹)	کاتالاز (OD μg protein min ⁻¹)	عملکرد دانه (kg ha ⁻¹)	پروتئین دانه (%)
عدم کاربرد پوترسین و سیلیکون	۱۴/۷۸ ± ۷۲/۱۸	۱۶/۹۷ ± ۶۵/۸۷	۷ ± ۳۹/۶۸	۷۴/۵ ± ۴۴۵/۴۵	۲/۱۶ ± ۱۸/۹۷
عدم کاربرد پوترسین × ۲۵ میلی گرم در لیتر سیلیکون	۱۳/۵۴ ± ۷۹/۹۷	۱۷/۹۱ ± ۶۸/۵	۷/۵۲ ± ۴۱/۴۶	۶۳/۰۴ ± ۴۶۹/۲۳	۲/۲۱ ± ۱۹/۱۳
عدم کاربرد پوترسین × ۵۰ میلی گرم در لیتر سیلیکون	۱۵/۳۳ ± ۸۰/۸۸	۱۷/۳۴ ± ۷۰/۲۴	۷/۰۷ ± ۴۴/۷۹	۶۲/۸۹ ± ۴۷۶/۹۸	۲/۲۳ ± ۱۹/۲۵
۰/۵ میلی مولار پوترسین × عدم کاربرد سیلیکون	۱۴/۷۲ ± ۷۴/۵۵	۱۶/۴۲ ± ۷۰/۱۴	۸/۵۳ ± ۴۳/۵۷	۵۴/۰۳ ± ۴۶۷/۶۱	۲/۱۶ ± ۱۸/۶۶
۰/۵ میلی مولار پوترسین × ۲۵ میلی گرم در لیتر سیلیکون	۱۵/۳۲ ± ۷۷/۴۲	۱۶/۸۴ ± ۷۲/۶۴	۸/۲۸ ± ۴۶/۵۷	۵۶/۵۴ ± ۴۷۵/۶۴	۲/۱۳ ± ۱۸/۸۴
۰/۵ میلی مولار پوترسین × ۵۰ میلی گرم در لیتر سیلیکون	۱۵/۸۹ ± ۷۹/۷۳	۱۸/۰۱ ± ۷۵/۳۸	۷/۹۵ ± ۵۰/۲۱	۵۷/۰۱ ± ۴۸۰/۱۹	۲/۱۱ ± ۱۹/۱
۱ میلی مولار پوترسین × عدم کاربرد سیلیکون	۱۲/۴۹ ± ۷۵/۹۷	۲۲/۸ ± ۶۶/۹۵	۱۰/۲۳ ± ۴۲/۴۴	۶۲/۵۵ ± ۴۶۴/۰۲۵	۱/۹۸ ± ۱۸/۰۲
۱ میلی مولار پوترسین × ۲۵ میلی گرم در لیتر سیلیکون	۱۴/۰۶ ± ۷۹/۹۴	۱۸/۰۵ ± ۷۴/۳۷	۹/۶۵ ± ۴۷/۰۴	۷۱/۷۵ ± ۴۷۰/۰۴	۲/۲۳ ± ۱۸/۹۵
۱ میلی مولار پوترسین × ۵۰ میلی گرم در لیتر سیلیکون	۱۱/۲۳ ± ۸۸/۸۸	۱۸/۴۹ ± ۷۶/۶۲	۹/۰۹ ± ۵۵/۶۵	۶۹/۴ ± ۵۱۹/۶	۲/۴۴ ± ۲۰/۶۲
LSD	۷/۱۸	۱۰/۸۳	۷/۷۱	۴۵/۳	۱/۵۸

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر نیتروژن در نانوسیلیکون بر محتوای قندهای محلول و پروتئین دانه نخود دیم

ترکیب تیماری	قندهای محلول (mg g ⁻¹ FW)	پروتئین دانه (%)
۴۰ کیلو نیتروژن در هکتار × عدم کاربرد پوترسین	۹/۶ ± ۸۷/۴۸	۱۹/۸۹ ± ۲/۱۲
۴۰ کیلو نیتروژن در هکتار × ۲۵ میلی گرم در لیتر پوترسین	۹/۱/۱۶ ± ۸/۲۳	۱/۶۹ ± ۲۰/۶۵
۴۰ کیلو نیتروژن در هکتار × ۵۰ میلی گرم در لیتر پوترسین	۹/۴/۳۸ ± ۹/۱۲	۲۰/۷۸ ± ۱/۷۱
۲۰ کیلو نیتروژن در هکتار × عدم کاربرد پوترسین	۵/۷۲ ± ۷۵/۷۲	۱۸/۶۸ ± ۱/۵۵
۲۰ کیلو نیتروژن در هکتار × ۲۵ میلی گرم در لیتر پوترسین	۷/۹/۰۷ ± ۶	۱۸/۹ ± ۱/۶۲
۲۰ کیلو نیتروژن در هکتار × ۵۰ میلی گرم در لیتر پوترسین	۸/۵/۸۸ ± ۷/۱۲	۱۹/۵۶ ± ۲/۱۵
عدم کاربرد نیتروژن × عدم کاربرد پوترسین	۵/۹/۵ ± ۵/۵۳	۱۷/۰۹ ± ۱/۵۶
عدم کاربرد نیتروژن × ۲۵ میلی گرم در لیتر پوترسین	۶/۲/۱ ± ۵/۷۷	۱۷/۳۷ ± ۱/۷
عدم کاربرد نیتروژن × ۵۰ میلی گرم در لیتر پوترسین	۱۲/۹۴ ± ۶۹/۲۳	۱۸/۶۲ ± ۲/۶
LSD	۷/۱۸	۱/۵۸

برخی پژوهش‌گران گزارش کرده‌اند کاربرد سیلیکون تحمل گیاه در برابر محدودیت آبی را از طریق اصلاح اسمولیت‌هایی همچون پرولین و قندهای محلول در گونه‌های مختلف گیاهی بهبود می‌بخشد. طوری که محتوی پرولین در بوته‌های کلزای رشد یافته در شرایط محدودیت ملایم و شدید آبی، با کاربرد سیلیکون افزایش نشان داد (Hasanuzzaman *et al.*, 2018). Verma & Dubeym (2001) اظهار داشتند کاربرد سیلیکون با تأثیر بر متابولیسم قندها، موجب افزایش قندهای محلول می‌شود. بخشی از افزایش پرولین در کاربرد پوترسین را می‌توان به اثر این تیمار در افزایش قندهای محلول برگ نسبت داد. چرا که یکی از مسیرهای تولید پرولین گلوتامات می‌باشد از این رو، با افزایش تولید قندهای محلول، میزان تولید گلوتامات افزایش و سنتز پرولین نیز تشدید می‌شود. همچنین افزایش پرولین در شرایط تنش می‌تواند به دلیل نقش حمایت‌کننده پلی‌آمین‌ها از پروتئین‌ها و آنزیم‌های دخیل در سنتز پرولین، حفظ فتوسنتز و تعدیل عناصر غذایی باشد...

محلول‌پاشی پوترسین موجب بیوستت و افزایش میزان پرولین و در نهایت افزایش سطح کربوهیدرات‌های محلول در گیاه شد. پلی‌آمین‌ها در سنتز قندها در گیاه مانند تنظیم‌کننده‌های رشدی عمل کرده و در برخی فرایندهای بیولوژیک مرتبط با بیوستت کربوهیدرات‌ها، دخالت دارند (Mahgoub *et al.*, 2011). از طرفی محلول‌پاشی پوترسین در شرایط تنش، با افزایش فعالیت آنزیم ATPase غشای یاخته‌ای، سهولت ورود و افزایش بارگیری ساکارز در آوند آبکشی موجب

می‌شود میزان قند ساخته‌شده در برگ را در جهت رویارویی با تنش، افزایش داده (Marschner, 1995) و همین امر می‌تواند یکی از علل افزایش قندهای محلول تحت چنین شرایطی باشد. دلیل دیگر افزایش قندهای محلول تحت تنش، آن است که قندهای نامحلول نشاسته تجزیه شده و قندهای محلول را ایجاد می‌کند تا پتانسیل اسمزی را حفظ کرده و خطر دهیدراتاسیون را کاهش دهند (Parvaiz & Satyawati, 2008).

۳.۵. عملکرد دانه

عملکرد دانه تحت اثرات اصلی هر سه عامل مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد و اثر ترکیب تیماری پوترسین در نانوسیلیکون در سطح احتمال پنج درصد معنی دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری پوترسین در نانوسیلیکون بر عملکرد دانه نشان داد که بالاترین سطح از کاربرد پوترسین در نانوسیلیکون در مقایسه با عدم کاربرد آنها، از افزایش ۱۶/۶ درصدی برخوردار بود (جدول ۴). بخشی از بالابودن عملکرد دانه در چنین ترکیبات تیماری می‌تواند ناشی از بالابودن فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی هم‌چون پراکسیداز و کاتالاز (جدول ۵) و افزایش محتوای قندهای محلول بوده باشد (جدول ۴). در این رابطه برخی پژوهش‌گران اظهار داشتند که سیلیکون از طریق کاهش تخریب رنگدانه‌ها (Hadi *et al.*, 2016) و بهبود محتوای کلروفیل و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، به بهبود عملکرد دانه کمک می‌کند. Kalteh *et al.* (2014) بیان داشتند محلول‌پاشی نانوسیلیکون با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و افزایش عملکرد کوانتومی، رشد و عملکرد گیاهان را بهبود می‌بخشد. بخشی از افزایش عملکرد دانه در کاربرد پوترسین احتمالاً ناشی از تأثیر این ماده در تولید اسمولیت‌هایی مانند پرولین و قندهای محلول باشد که به افزایش قدرت جذب آب در شرایط نامساعد محیطی کمک می‌کند. نتایج مشابهی نیز مبنی بر افزایش عملکرد حبوبات با کاربرد پوترسین توسط دیگر پژوهش‌گران گزارش شده است (Nassar *et al.*, 2003).

۳.۶. درصد پروتئین

مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری پوترسین در نانوسیلیکون بر محتوای پروتئین دانه نشان داد که بالاترین سطح از کاربرد هر دو عامل از افزایش ۸/۵ درصدی محتوای پروتئین دانه در مقایسه با عدم کاربرد این عوامل برخوردار بوده است (جدول ۵). در ترکیب تیماری نیتروژن استارتر در پوترسین نیز بالاترین سطح از کاربرد پوترسین در نیتروژن استارتر از افزایش ۲۱/۵ درصدی محتوای پروتئین دانه در مقایسه با عدم کاربرد پوترسین و نیتروژن برخوردار بوده است (جدول ۶). به‌نظر می‌رسد محتوای بالای پروتئین در کاربرد اثر متقابل پوترسین در نیتروژن، می‌تواند ناشی از مقادیر بالای نیتروژن در این ترکیب تیماری در مقایسه با کاربرد پوترسین در نانوسیلیکون باشد. در این راستا Pritsa & Demetios (2005) اظهار داشتند که پوترسین در ساختار خود دارای نیتروژن بوده که با محلول‌پاشی این ماده، نیتروژن موجود در ساختمان آن در اختیار گیاه قرار گرفته و رشد گیاه را بهبود می‌بخشد و بیش‌ترین نقش پوترسین در ذخیره نیتروژن در گیاه را در طول مرحله گلدهی گزارش کردند. برخی پژوهش‌گران اظهار داشتند محلول‌پاشی پوترسین با نابودی رادیکال‌های فعال اکسیژن، از تخریب پروتئین‌ها به‌وسیله رادیکال‌های آزاد اکسیژن جلوگیری کرده و موجب افزایش سنتز پروتئین‌ها در گیاه می‌شود (Amraee Tabar *et al.*, 2016).

۴. نتیجه‌گیری

از دلایل اصلی کاهش عملکرد نخود دیم در کشور، اختصاص سطح بیش‌تری از زراعت این گیاه به مناطق برخوردار از

حاصلخیزی کمتر با مقدار و توزیع نامناسب نزولات سالیانه است. در چنین شرایطی کاربرد نیتروژن استارتر و عوامل تعدیل کننده تنش هم چون پوترسین و نانوسیلیکون، موجب می شود از یک طرف افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی به کاهش انباشت رادیکال های آزاد اکسیژن کمک نموده و تنش اکسیداتیو القاشده توسط محدودیت آبی کاهش یابد و از طرفی دیگر با افزایش تولید اسمولیت هایی مانند پرولین و قندهای محلول موجب شود تا حد زیادی به افزایش قدرت جذب آب کمک کرده و اثرات ناشی از شرایط نامساعد محیطی در کاهش عملکرد دانه را به نحو قابل توجهی تعدیل نماید. طوری که بالاترین سطوح از کاربرد پوترسین در نانوسیلیکون در مقایسه با عدم کاربرد آن ها از افزایش ۱۶/۶ درصدی عملکرد دانه برخوردار بود.

۵. تشکر و قدردانی

این پژوهش براساس طرح پژوهشی مصوب دانشگاه محقق اردبیلی اجرا شد که بدینوسیله از همکاران ارجمند در دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، معاونت و مدیریت محترم پژوهشی و دیگر همکاران ارجمند در دانشگاه محقق اردبیلی، تشکر و قدردانی می گردد.

۶. تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع

- Amany, A.B. (2007). Effect of plant density and urea foliar application on yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Research Journal of Agriculture and Biological Science*, 3 (4), 220-223.
- Amraee Tabar, S., Ershadi, A., & Robati, T. (2016). The effect of putrescine and spermine on drought tolerance of almond and peach. *Journal of Crops Improvement*, 18 (1), 203-218. (In Persian).
- Anjum, M.A. (2010). Response of Cleopatra mandarin seedlings to a polyamine-biosynthesis inhibitor under salt stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 32, 951-959.
- Arnon, A.N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23, 112-121.
- Bahavar, N., Ebadi, A., Tobeh, A., & Jamaati-e-Somarin, Sh. (2009). Effects of nitrogen application on growth of irrigated chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress in hydroponics condition. *Research Journal of Environmental Science*, 3, 448-45.
- Baili, P., Sui Fang, G., Geti, D., Sunzhao, H., Lu, Y., & Zhou Guang, S. (2006). Effect of soil drought stress on leaf water status, membrane permeability and enzymatic antioxidant system of maize, *Pedosphere*, 16(3), 326-332.
- Bates, L, Waldren, S.R.P., & Teare, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies, *Plant and Soil*, 39, 205-207.
- Couée, I., Hummel, I., Sulman, C., Gouesbet, G., & El-Amrani, A. (2004). Involvement of polyamines in root development. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 76, 1-10.
- Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, I.K., Rcbars, P.A., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28, 350-356.
- El-Bassiouny, H. M., Mostafa, H. A., El-Khawas, S.A., Hassanein, R.A., Khalil, S.I., & Abd El-Monem, A.A. (2008). Physiological responses of wheat plant to foliar treatments with arginine or putrescine. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 2, 1390-1403.
- Gong, H. Z., Chen K., Wans S., & Zhang, C. (2005). Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. *Plant Science*, 169, 313-321.

- Groppa, M. D., & Benavides, M. P. (2008) Polyamines and abiotic stress: recent advances. *Amino Acids*, 34, 35-45.
- Gupta, S., Agarwal, V., & Gupta, N. K. (2012). Efficacy of putrescine and benzyladenine on photosynthesis and productivity in relation to drought tolerance in wheat. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 18, 331-336.
- Hadi, H., Seyed Sharifi, R., & Namvar, A. (2015). *Phytoprotectants and Abiotic Stress*. Urmia University. Urmia, Iran. 452 pp. (In Persian).
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Anee, T., Khan, R., & Fujita, M. (2018). Silicon-mediated regulation of antioxidant defense and glyoxalase systems confers drought stress tolerance in *Brassica napus* L.. *African Journal of Botany*, 115, 50-57.
- Jiao, J., Chen, K., & Yi, C. (2010). Effects of soil moisture content on growth, physiological and biochemical characteristics of *Jatropha curcas* L. *Acta Ecologica Sinica*, 30, 4460-4466
- Kalteh, M., Alipour, Z.T., Ashraf, S., Aliabadi, M.M., & Nosratabadi, A.F., (2014). Effect of silica nanoparticles on basil (*Ocimum basilicum*) under salinity stress. *Journal Chemistry Health Risks*, 4, 49-55.
- Li, R. H., Guo, P. G., Michael, B., Stefania, G., & Salvatore, C. (2006) Evaluation of chlorophyll content and fluorescence parameters as indicators of drought tolerance in barley. *Agricultural Sciences in China*, 5, 751-757.
- Liang, Y., Zhu, Y., & Christie, P. (2006). Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: A Review. *Environmental Pollution*, 147(2), 422-428.
- Lin, T., Zhu, X., & Zhang, F. (2012). The Interaction effect of cadmium and nitrogen on *Populus yunnanensis*. *Journal of Agricultural Science*, 4(2), 125-134.
- Logan, B.A., Demmig-Adams, B., Rosenstiel, T.N., & Adams, W.W. (1999). Effect of nitrogen limitation on foliar antioxidants in relationship to other metabolic characteristics. *Planta*, 299, 213-220.
- Mahgoub, M.H., Abd El Aziz, N.G., & Mazhar, M.A. (2011). Response of *Dahlia pinnata* L. plant to foliar spray with putrescine and thiamine on growth, flowering and photosynthetic pigments. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, 10, 769-775.
- Marschner, H., & Dell, B. (1994). Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil*, 159, 89-102.
- Merwad, A.R.M.A., Desoky, E.S.M., & Rady, M.M. (2018). Response of water deficit-stressed *Vigna unguiculata* performances to silicon, proline or methionine foliar application. *Scientia Horticulturae*, 228, 132-144.
- Miller, G., Suzuki, N., Ciftci-Yilmaz, S., & Mittler, R. (2010). Reactive oxygen species homeostasis and signaling during drought and salinity stresses. *Plant Cell and Environment*, 33(4), 453-467.
- Namvar, A., Seyed Sharifi, R., Sedghi, M., Khandan, T. & Eskandarpour, B. (2011). Study on the effects of organic and inorganic nitrogen fertilizer on yield, yield components, and nodulation state of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42(9), 1097-1109
- Nassar, A.H., Khaled, A.E., & Krishnapillai, S. (2003). Growth promotion of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by a polyamine-producing isolate of *Streptomyces griseoluteus*. *Plant Growth Regulation*, 40, 97-106.
- Nayyar, H., Satwinder, K., Kumar, S., Singh, K.J., & Dhir, K. (2005). Involvement of polyamines in the contrasting sensitivity of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and soybean (*Glycine max* (L.) Merrill.) to water deficit stress. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 46, 333-338
- Noori, S.H., Kashani, A., Nabipour, M., & Mamghani, R. (2005). Effect of nitrogen fertilizer application on yield and yield components of faba bean cultivars in Ahvaz climatic conditions. Proceeding of the 1st Iranian Pulses Symposium. Nov. 20-21, 2005. Ferdowsi University of Mashhad. p. 419-422. (In Persian)

- Ouellette, S., Goyette, M.H., Labbé, C., Laur, J., Gaudreau, L., Gosselin, A., Dorais, M., Deshmukh, R.K., & Bélanger, R. (2017). Silicon transporters and effects of silicon amendments in strawberry under high tunnel and field conditions *Front. Plant Science*, 8, 949-953.
- Parvaiz, A., & Satyawati, S. (2008). Salt stress and phyto-biochemical responses of plants-a review. *Plant, Soil and Environment*, 54,89-99.
- Pimratch, S., Jogloy, S., Vorasoot, N., Toomsan, B., Patanothai A., & Holbrook, C.C. (2008). Relationship between biomass production and nitrogen fixation under drought stress conditions in peanut genotypes with different levels of drought resistance. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 194,15-25.
- Pritsa, T.S., & Voyiatzis, D.G. (2005). Correlation of ovary and leaf spermidine and spermine content with the alternate bearing habit of olive. *Journal of Plant Physiology*, 162,1284-1291.
- Sabaghpour, H., Mahmoudi, A.A., Saeed, A., Kamel, M., & Malthora, R. S. (2006). Study on chickpea drought tolerance lines under dryland condition of Iran. *Indian Journal of Crop Science*, 1, 70-73.
- Sajed Gollojeh, K., Khomari, S., Shekhzadeh, P., Sabaghnia, N., & Mohebodini, M. (2020). The effect of foliar spray of nano silicone and salicylic acid on physiological traits and seed yield of spring rapeseed at water limitation conditions. *Electronic Journal of Crop Production*, 12, 137-156. (In Persian)
- Saneoka, H., Moghaieb, R.E., Premachandra, G.S., & Fujita, K. (2004). Nitrogen nutrition and water stress effects on cell membrane stability and leaf water relation in *Agrostis palustris* Huds. *Environmental of Experimental of Botany*, 52, 131-138.
- Schutz, H., & Fangmier, E. (2001). Growth and yield responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Minaret) to elevated CO₂ and water limitation. *Environmental Pollution*, 114, 187-194.
- Sepeotoglu, H. (2002). Grain Legumes. Department of Field Crops, Faculty of Agric, Univ of Ege Pupil. 24/4, Izmir, Turkey.
- Serraj, R., & Sinclair, T.R. (2002). Osmolyte accumulation: Can it really help increase crop yield under drought conditions? *Plant, Cell and Environment*, 25(2), 333-341.
- Seyed Sharifi, R., Khalilzadeh, R., & Vatandoost, M. (2017). Study of nitrogen fertilizer and cycocel on Fv/Fm and dry matter mobilization to grain yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Cercetări Agronomice în Moldova*, 1 (169) , 5-17.
- Shekari, F., Abbasi, A., & Mustafavi, S.H. (2017). Effect of silicon and selenium on enzymatic changes and productivity of dill in saline condition. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(4), 367-374.
- Shen, X., Zhou, Y., Duan, L., Li, Z., & Li, J. (2010). Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. *Journal of Plant Physiology*, 167, 1248-1252.
- Shu, S., Guo, S.R., & Yuan, L.Y. (2012). A review: Polyamines and photosynthesis. PP. 439-464. In: Najafpour, M. (Ed.), *Advances in Photosynthesis Fundamental Aspects*. DOI: 10.5772/26875
- Silva, O.N., Lobato A.K., Avila, F.W., Costa, L., Oliveira, F., Santos, B.G., Martins, A.P., Lemos, R., Pinho, J., Medeiros, M.B., Cardoso, M., & Andrade, I.P. (2012). Silicon-induced increase in chlorophyll is modulated by the leaf water potential in two water-deficient tomato cultivars. *Plant Soil and Environment*, 58, 481-486.
- Sudhakar, C., Lakshmi, A., & Giridara Kumar, S. (2001). Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity. *Plant Science*, 167, 613-619.
- Tripathi, D.K., Singh, S., Singh, V.P., Prasad, S.M., Chauhan, D.K., & Dubey, N.K. (2016b). Silicon nanoparticles more efficiently alleviate arsenate toxicity than silicon in maize cultivar and hybrid differing in arsenate tolerance. *Frontiers in Environmental Science*, 40, 46.
- Verma, S., & Dubey, R.S. (2001). Effect of cadmium on soluble sugars and enzymes of their metabolism in rice. *Biologia Plantarum*, 1, 117-123.

- Walley, F.L., Boahen, S.G., Hnatowich, K., & Stevenson, C. (2005). Nitrogen and phosphorus fertility management for desi and kabuli chickpea. *Canadian Journal of Plant Science*, 85, 73-79.
- Xie, Z., Jiag, D., Dai, T., Jing, Q., & Cao, W. (2004). Effects of exogenous ABA and cytokinin on leaf photosynthesis and grain protein accumulation in wheat ears cultured in vitro. *Plant Growth Regulation*, 44, 25-32.
- Yang, S., Wang, Y., Liu, R., Li, Q., & Yang, Z. (2018). Effects of straw application on nitrate leaching in fields in the Yellow River irrigation zone of Ningxia, China. *Scientific Reports*, 8(1), 954.
- Yosefi Kordlar, A, Ebadi, A., Sedghi, M., & Tavakoli, H. (2015). Effects of putrescine on quantum yield and chlorophyll fluresannce of alfafa (*Medicago sativa* L.) under water limitation stress. *The First National Congress of Biology and Natural Sciences of Iran*, December 11, 2015, Tehran, Iran.
- Zhang, Z.L., & Qu, W. (2004). *Experimental Guidance of Plant Physiology*. High Education Press, Beijing.