

Effect of different levels of foliar application of potassium nanoparticles on some physiological traits of fennel seed (*Foeniculum vulgare* Miller) in Bam town

Maryam Gholamshahi¹, Ahmad Mehraban^{2*}, Hamidreza Mobasser³,
Hamidreza Ganjali⁴

¹ Ph.D. in Agriculture, Department of Agriculture, Zahedan Branch, Islamic Azad University, Zahedan, Iran,
Email: ma.arad1395@gmail.com

² Associate Professor, Department of Agriculture, Zahedan Branch, Islamic Azad University, Zahedan, Iran,
Email: ahmad.mehraban@iau.ac.ir

³ Assistant Professor, Department of Agriculture, Zahedan Branch, Islamic Azad University, Zahedan, Iran,
Email: mobasser@iau.ac.ir

⁴ Assistant Professor, Department of Agriculture, Zahedan Branch, Islamic Azad University, Zahedan, Iran,
Email: hamidrezaganjali@iau.ac.ir

Article type:	Abstract
Research article	To assess the impact of different levels of potassium nanoparticle foliar application on various physiological traits of fennel (<i>Foeniculum vulgare</i> Miller) in Bam County, this study was conducted during the years 1399–1400 (2020–2021). The experiment was designed as a factorial experiment within a randomized complete block design, with three replications. The study considered different stages of foliar application as the first factor, which included three stages: stem elongation, flowering, and fruiting. The second factor comprised various concentrations of potassium nanoparticle foliar applications, tested at five levels: a control group with no foliar application, and 2, 3, 4, and 5 per thousand concentrations of potassium nanoparticles. The results revealed that the highest seed carbohydrate content (12.3 mg/g) and nitrogen content (2.48%) were observed with a foliar application of 3 per thousand potassium nanoparticles. The maximum seed phosphorus content (1.65%) and potassium content (3.65%) were achieved with a 4 per thousand concentration during the stem elongation stage in the second year of the experiment, compared to the control group. Additionally, the highest percentage of essential oil in the seeds (4.37%) was recorded at a 5 per thousand concentration of potassium nanoparticles, while the highest essential oil yield (69.5 kg/ha) was attained with a concentration of 4 per thousand during the fruiting stage in the second year. Overall, the findings of this study indicated that foliar application of potassium nanoparticles at appropriate concentrations and during specific growth stages can positively enhance physiological compounds, as well as the percentage and yield of fennel seed essential oil. This can contribute to improving both the quality and quantity of this medicinal plant.
Article history	
Received: 31.07.2024	
Revised: 21.10.2024	
Accepted: 16.11.2024	
Published: 21.12.2024	
Keywords	
Carbohydrates	
Essential oil	
Fennel	
Nanoparticles	
Potassium	

Cite this article as: Gholamshahi, M., Mehraban, A., Mobasser, H., Ganjali, H. (2025). Effect of different levels of foliar application of potassium nanoparticles on some physiological traits of fennel seed (*Foeniculum vulgare* Miller) in Bam town. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 19(4): 95-112.



©The author(s)

Publisher: Islamic Azad University, Gorgan branch

Doi: <https://doi.org/10.71890/iper.2024.984068>

تأثیر سطوح مختلف محلول پاشی نانوذرات پتاسیم بر برخی صفات فیزیولوژیکی دانه رازیانه (*Foeniculum vulgare* Miller) در شهرستان بم

مریم غلامشاهی^۱، احمد مهربان^{۲*}، حمیدرضا مبصر^۳، حمیدرضا گنجعلی^۴

^۱ دانشجوی دکتری زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد زاهدان، گروه کشاورزی، زاهدان، ایران، رایانامه: ma.arad1395@gmail.com

^۲ دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران، رایانامه: ahmad.mehraban@iaau.ac.ir

^۳ استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران، رایانامه: mobasser@iaau.ac.ir

^۴ استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران، رایانامه: hamidrezaganjali@iaau.ac.ir

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

چکیده

به منظور ارزیابی تأثیر سطوح مختلف محلول پاشی نانوذرات پتاسیم بر برخی صفات فیزیولوژیکی رازیانه (*Foeniculum vulgare* Miller) در شهرستان بم، این پژوهش در سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۰ به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. در این آزمایش مراحل مختلف محلول پاشی به عنوان عامل اول در سه مرحله ساقه‌دهی، گل‌دهی و میوه‌دهی؛ و غلظت‌های مختلف محلول پاشی نانوذرات پتاسیم به عنوان عامل دوم در پنج غلظت شامل عدم محلول پاشی (شاهد)، ۲، ۳، ۴ و ۵ در هزار نانوذرات پتاسیم بودند. بر پایه نتایج به دست آمده مشاهده شد که بیشترین کربوهیدرات بذر (۳/۱۲ میلی گرم بر گرم)، نیتروژن بذر (۲/۴۸ درصد) همراه با محلول پاشی در غلظت ۳ در هزار نانوذره پتاسیم؛ و بیشترین میزان فسفر بذر برابر با ۱/۶۵ درصد و بیشترین میزان پتاسیم بذر برابر با ۳/۶۵ درصد همراه با محلول پاشی در غلظت ۴ در هزار نانوذره پتاسیم در مرحله ساقه‌دهی در سال دوم آزمایش در مقایسه با تیمار شاهد حاصل شد. همچنین بیشترین درصد اسانس بذر (۴/۳۷ درصد) همراه با محلول پاشی در غلظت ۵ در هزار نانوذره پتاسیم، و بیشترین عملکرد اسانس بذر (۶۹/۵ کیلوگرم در هکتار) همراه با محلول پاشی در غلظت ۴ در هزار نانوذره پتاسیم در مرحله میوه‌دهی در سال دوم آزمایش به دست آمد. به طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که محلول پاشی نانوذرات پتاسیم در غلظت‌های مناسب و در مراحل رشدی مختلف می‌تواند تأثیر مثبتی بر افزایش ترکیبات فیزیولوژیکی، درصد و عملکرد اسانس بذر رازیانه داشته باشد، که می‌تواند در بهبود کیفیت و کمیت محصول این گیاه دارویی مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی:

کربوهیدرات
اسانس
پتاسیم
رازیانه
نانوذرات

استاد: غلامشاهی، مریم؛ مهربان، احمد؛ مبصر، حمیدرضا؛ گنجعلی، حمیدرضا. (۱۴۰۲). تأثیر سطوح مختلف محلول پاشی نانوذرات پتاسیم بر برخی صفات فیزیولوژیکی دانه رازیانه (*Foeniculum vulgare* Miller) در شهرستان بم. فیزیولوژی محیطی گیاهی، ۱۹ (۴)، ۹۵-۱۱۲.

Doi: <https://doi.org/10.71890/iper.2024.984068>

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان

© نویسندگان



مقدمه

رشد جمعیت، توسعه و تنوع مواد غذایی و مصرف بالای آن در کشورهای در حال توسعه، باعث شده است که تقاضای مواد غذایی به میزان بی سابقه‌ای افزایش یابد. محدودیت سطح زیر کشت محصولات زراعی منجر به بروز مشکلاتی در تهیه و تأمین غذا شده است. در چند دهه اخیر، تولید مواد غذایی جنبه استراتژیک به خود گرفته است و در حال حاضر برنامه‌های اقتصادی کشورهای مختلف در جهت دستیابی به منابع غذایی جدید، به افزایش عملکرد گیاهان زراعی و بهره‌برداری مناسب از پتانسیل‌های موجود در زمینه کشاورزی هدایت می‌شوند (He et al., 2021).

یکی از عوامل تهدید کننده سلامت محصولات زراعی استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی است. این مشکل علاوه بر این که حالت ناپایداری در کیفیت خاک و در تولید محصولات کشاورزی به وجود می‌آورد، موجب افزایش ترکیبات مضر و خطرناک برای سلامت افراد جامعه می‌شود (Nadarajan and Sukumaran, 2021). مدیریت کوددهی یکی از بخش‌های مهم مدیریت محصولات زراعی است. در بین عناصر غذایی ضروری گیاهان، پتاسیم علاوه بر افزایش تولید و بهبود کیفیت محصول، سبب افزایش مقاومت گیاهان به شوری، کم‌آبی، انواع تنش‌ها، آفات و بیماری‌ها گردیده و کارایی آب و کود را افزایش می‌دهد (Adhikari et al., 2020). این عنصر جهت تشکیل و انتقال کربوهیدرات‌ها، انجام فتوسنتز و ساخت پروتئین در گیاه ضروری است. ایجاد استحکام ساقه و افزایش مقاومت در برابر خوابیدگی از دیگر مزایای این عنصر به شمار می‌آید. گیاهانی که مقادیر زیادی نشاسته سنتز و ذخیره می‌کنند، به میزان زیادی پتاسیم نیاز دارند. این عنصر سهم زیادی در

پتانسیل اسمزی سلول و فشار تورگر آن‌ها دارد (Adnan, 2020).

پتاسیم مناسب‌ترین کاتیون یک ظرفیتی برای فعال کردن آنزیم‌های گیاهی است، زیرا علاوه بر این که غلظت آن در سلول و مقدار آن در طبیعت زیاد است، تحرک فوق العاده‌ای در داخل گیاه دارد (Torabian et al., 2021). پتاسیم نقش حیاتی در فتوسنتز دارد چون باعث افزایش مستقیم رشد و شاخص سطح برگ و لذا جذب CO_2 و افزایش انتقال مواد فتوسنتزی به خارج برگ می‌شود. فعالیت اخیر نتیجه تشکیل ATP بیشتر است که برای تجمع مواد فتوسنتزی در آوند آبکش لازم است (Weng et al., 2020).

کشاورزی پایدار که ریشه در سامانه‌های کشاورزی سنتی و کم‌نهاد و پای بر شانه فناوری‌ها و عملیات نوین بوم‌سازگار دارد، به دنبال تولید عملکرد مطلوب و در عین حال، حفظ ساختار محیط و کمینه‌سازی پیامدهای منفی فعالیت‌های کشاورزی است (Zulfiqar et al., 2019). امروزه نانو کودها، فناوری نوینی هستند که با کوچک کردن اندازه ذرات در مقیاس نانو، امکان جذب بسیار بیشتری را فراهم می‌آورند. قابلیت جذب و مصرف بالا هم از طریق خاک (به صورت سرک^۱ همراه آب آبیاری، سیستم-های آبیاری قطره‌ای و بارانی) و هم از طریق برگ (محلول‌پاشی) از ویژگی‌های این نوع کودها به شمار می‌روند. خاصیت آهسته‌رهش^۲ بودن نانو کود به استفاده بهینه از آن کمک شایانی می‌نماید. از سوی دیگر نانو کمپلکس‌ها در بازه pH وسیعی قابل استفاده هستند (Mahapatra et al., 2022). فناوری نانو به عنوان علم پیش‌تاز در رفع مشکلات و مسائل کشاورزی به خوبی جایگاه خود را در علوم کشاورزی و صنایع وابسته به اثبات رسانده است. در

¹ Top-dressing

² Slow-release

افزایش نقطه اشباع (غلظتی از ماده در فاز محلول که با فاز جامد آن در تعادل است) افزایش می‌دهند (Chahal et al., 2012). در نتیجه، انتظار می‌رود تولید نهاده‌های کودی با اندازه نانو اثری مفید بر کارایی کودها داشته باشد (Mastronardi et al., 2015).

اهمیت، جایگاه و نقش ویژه و رو به افزایش گیاهان دارویی و صنعتی در مدیریت پایدار به ویژه در ابعاد کلان توسعه اقتصادی، زیست محیطی، بهداشتی، اشتغال، امنیت غذایی و ذخایر ژنتیکی در عرصه ملی و جهانی به حدی است که می‌توان امروزه روند احیاء و نقش آنها را به ویژه در تأمین دارو به عنوان یکی از شاخص‌های توسعه در کشور مورد توجه قرار داد (Li et al., 2020).

رازیانه از مهم‌ترین و قدیمی‌ترین گیاهان دارویی و ادویه ای است که در تمام دارونامه‌های معتبر از آن به عنوان نوعی گیاه دارویی پراهمیت یاد شده است (Lee et al., 2021). رازیانه^۱ از خانواده چتریان^۲ و از قدیمی‌ترین گیاهان دارویی و ادویه‌ای ایران و جهان است که امروزه از آن در صنایع غذایی، دارویی، آرایشی و بهداشتی استفاده فراوانی می‌شود (Afifi et al., 2021).

یکی از دلایل عمده محدودیت توسعه سطح زیر کشت رازیانه در ایران، کمبود تحقیقات به زراعی و به‌نژادی، بالا بودن هزینه و پایین بودن بازده تولید است (Akhbari et al., 2019). بنابراین این مطالعه با هدف بررسی تأثیر سطوح مختلف محلول‌پاشی نانوذرات پتاسیم بر برخی صفات فیزیولوژیکی رازیانه (*Foeniculum vulgare* Miller) در شهرستان بزم انجام شد.

مورد استفاده از کودها در امر بهبود تولیدات کشاورزی نیز، این تکنولوژی به کمک می‌آید. نانو کودها به صورت کامل جذب گیاه شده و به خوبی نیازها و کمبودهای غذایی را رفع می‌کند. از مزایای استفاده از نانو کودها می‌توان به مواردی چون قیمت کم، تأثیر بالا، قابلیت حل‌پذیری زیاد در آب و کنترل‌پذیری بیشتر اشاره نمود (Usman et al., 2020). با بکارگیری کودهای نانو بعنوان جایگزین کودهای مرسوم، عناصر غذایی کود به تدریج و به صورت کنترل شده در خاک آزاد می‌شوند. استفاده از نانوکودها منجر به افزایش کارایی مصرف مواد غذایی، کاهش سمیت خاک، به حداقل رسیدن اثرات منفی ناشی از مصرف بیش از حد کود و کاهش تعداد دفعات کاربرد کود می‌شود (Butt and Naseer, 2020). De Rosa و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی نانو تکنولوژی در کود نشان دادند که استفاده از نانو لایه‌های کنشی در طراحی و ساخت کودهای شیمیایی جدید، منجر به افزایش قابل ملاحظه کارایی مصرف عناصر غذایی و متعاقباً عملکرد محصول خواهد شد. پلاسمودسماتها کانال‌هایی نانو-مقیاس هستند که قطر متوسط آنها ۵۰ تا ۶۰ نانومتر است که در دیواره سلولی گیاهان وجود دارد و موجب انتقال و ارتباط بین دو سلول می‌شوند. نانوکودها به علت اندازه کوچک شاید بتوانند عناصر غذایی را به طور مؤثرتری به گیاهان عرضه کنند چون ممکن است دسترسی آنها به سطوح گیاهی و کانال‌های حمل و نقل بیشتر باشد (Mastronardi et al., 2015). نانوکودها همچنین می‌توانند حلالیت بیشتری نسبت به دیگر کودها داشته باشند که این ویژگی در نانوذرات بی‌شکل در انحلال ترکیبات کم محلول مشاهده شده است. این نانوذرات بی‌شکل سینتیک انحلال سریعتری نسبت به ذرات در ابعاد معمولی نشان می‌دهند و زیست فراهمی را بر اثر

¹ *Foeniculum vulgare* Mill

² *Apiaceae*

مواد و روش‌ها

زمان و مشخصات جغرافیایی و اقلیمی محل اجرای آزمایش: به منظور ارزیابی کشت رازیانه تحت تاثیر مدیریت زمان و سطوح مختلف محلول پاشی نانوذرات پتاسیم در شهرستان بم، این پژوهش در طی سال‌های زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ انجام شد. شهرستان بم، با مختصات جغرافیایی ۵۸ درجه و ۲۱ دقیقه طول

شرقی و ۲۹ درجه و ۶ دقیقه عرض شمالی و با ارتفاع ۱۰۵۰ متر از سطح دریا با آب و هوایی خشک و میانگین بارندگی سالانه ۶۴ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت ۲۳/۸ درجه سانتی‌گراد، در فاصله ۱۹۵ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان کرمان قرار دارد. نتایج تجزیه خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک

Zn	Fe	Mn	Cu	K	P	N	O.C	pH	EC	Clay	Silt	Sand	بافت
(mg/g)				(ppm)		(%)			(Ds/m)		(%)		
۰/۵	۶/۸	۷/۸	۱/۷	۱۲۹/۵۳	۸	۰/۰۱	۰/۷۹	۷/۹۷	۱/۹۲	۱۲	۲۴	۶۴	لومی شنی

مشخصات طرح آزمایشی و تیمارها: این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. در این آزمایش مراحل مختلف محلول پاشی به عنوان عامل اول در سه مرحله ساقه‌دهی، گل‌دهی و میوه‌دهی؛ و غلظت‌های مختلف محلول پاشی نانوذرات پتاسیم به عنوان عامل دوم در پنج غلظت شامل عدم محلول پاشی (شاهد)، ۲، ۳، ۴ و ۵ در هزار نانوذرات پتاسیم بودند. بذره‌ای انتخابی مورد نیاز در گروه‌های ۱۰۰ تایی جهت کشت از توده محلی رازیانه؛ بعد از اطمینان از قوه نامیه مناسب، تهیه شد. به منظور تعیین قوه نامیه، بذرها در هیپوکلرید سدیم ۱٪، به مدت ۲۰ دقیقه ضدعفونی شدند و بعد از سه مرتبه شستشو با آب مقطر آماده کشت و سپس در پتری دیش‌های حاوی کاغذ صافی کشت شدند. برای بررسی جوانه زنی داخل ژرمیناتورهایی با دمای ۲۵-۱۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۷۰ درصد قرار گرفتند و درصد جوانه زنی ثبت شد (Prasad et al., 2012).

عملیات زراعی و مراحل اجرای کار: به منظور اجرای عملیات زراعی در سال اول آزمایش در تاریخ ۲۴ بهمن ماه ۱۳۹۸ و در سال دوم در تاریخ ۲۵ بهمن

ماه ۱۳۹۹ زمانی که دمای خاک حدود ۲۰ درجه سانتی‌گراد بود، زمین زراعی با یک شخم و دو دیسک سبک عمود بر هم، آماده و با لولر تسطیح شد. در این آزمایش هر کرت با طول ۴ متر و عرض ۳ متر، فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها روی ردیف ۲۵ سانتی‌متر، فاصله بین کرت‌ها ۰/۵ متر، و فاصله بین بلوک‌ها ۳ متر در نظر گرفته شد. اولین آبیاری قبل از کشت به صورت ثقلی و نشتی بود. پس از گاوورو شدن زمین عملیات کاشت رازیانه به ترتیب در سال‌های اول و دوم آزمایش در تاریخ یکم اسفند ماه ۱۳۹۸ و دوم اسفند ماه ۱۳۹۹ به صورت دست‌پاش در چاله‌هایی به عمق ۲ تا ۳ سانتی‌متر و در هر چاله ۳ تا ۴ بذر در کرت‌های مذکور صورت گرفت و بلافاصله عملیات آبیاری انجام شد. بذرها با استفاده از رطوبت خاک جوانه زده و طی یک هفته سبز شدند. در این زمان خاک خشک شده و آبیاری دوم انجام شد. دور آبیاری هر ۴ تا ۵ روز یکبار بود، مگر اینکه شرایط خاصی نظیر دمای بالا به مدت طولانی سبب تغییر دور آبیاری گردید. به طور کلی مسئله آبیاری در انجام بازدیدهای مزرعه‌ای کنترل و برنامه‌ریزی شد.

جهت دستیابی به تراکم مطلوب، عمل تنک کردن در دو مرحله شش و هشت برگی صورت گرفت. مبارزه با علف‌های هرز در ۲ مرحله در تاریخ ۲۸ فروردین ماه و در تاریخ ۱ خرداد ماه ۱۳۹۹ به روش مکانیکی (وجین دستی) و با نیروی کارگری انجام شد. مقدار و نوع کود مصرفی با توجه به آزمایش خاک، شامل ۱۰۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار در مرحله خاکورزی و کود اوره در سه مرحله هنگام کاشت، ساقه‌دهی و قبل از گلدهی به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار همراه با آب آبیاری مورد استفاده قرار گرفت. همچنین محلول‌پاشی کود نانو کلات پتاسیم بر اساس تیمارهای مورد مطالعه با نسبت ۲ در هزار روی گیاه اعمال شد. محلول‌پاشی در ساعات پایانی روز و هنگام غروب آفتاب با سمپاش پستی تلمبه‌ای و با فشار یکسان روی بوته‌ها انجام شد. فاصله نازل سم‌پاش تا بالای بوته‌ها ۵۰ سانتی‌متر بود. اسپری کردن تا زمان جاری شدن قطرات محلول از روی بوته‌ها ادامه یافت. میزان محلول برای کل تیمارها یکسان بود.

بذرهای رازیانه به طور همزمان نمی‌رسند و پس از رسیدن از گیاه جدا و به اطراف پراکنده می‌شوند. از این رو قبل از ریزش باید محصول را برداشت نمود. عملیات برداشت در سال‌های اول و دوم آزمایش به ترتیب در تاریخ ۹ مرداد ماه ۱۳۹۹ و ۱۱ مرداد ماه ۱۴۰۰ پس از حذف ردیف‌های کناری و نیم متر ابتدا و انتهای هر کرت در زمان رسیدگی فیزیولوژیک (زرد شدن ۷۰ درصد برگ‌ها و چترها) با نمونه‌برداری از ۱۰ بوته به طور تصادفی آغاز گردید.

درصد اسانس و عملکرد اسانس بذر: به منظور استخراج اسانس، دانه‌های گیاه در آون با دمای ۹۶ درجه سانتی‌گراد خشک شده و پس از آن از روش تقطیر با آب برای استخراج اسانس استفاده شد (Mirabdollahi, 2011). پس از تعیین درصد اسانس،

عملکرد اسانس از حاصل ضرب عملکرد دانه و درصد اسانس محاسبه شد (Tavan et al., 2014).

اندازه‌گیری پرولین: برای اندازه‌گیری میزان پرولین آزاد بافت برگ در مرحله گند برگی، ابتدا ۰/۵ گرم از بافت برگ وزن شده و در هاون چینی در ۱۰ میلی‌لیتر محلول آبی اسید سولفوسالسیلیک ۳٪ سائیده شد و مخلوط هموژنیزه به مدت ۵ دقیقه با دور ۶۰۰۰ سانتریفیوژ شد. سپس ۲ میلی‌لیتر از محلول روشن‌آور به لوله‌های درب‌دار منتقل شد، به تمام لوله‌ها ۲ میلی‌لیتر معرف ناین هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال اضافه گردید. پس از آن، نمونه‌ها را به مدت یک ساعت در حمام آب ۱۰۰ درجه سلسیوس انتقال داده و بلافاصله پس از خارج کردن از حمام آب به مدت چند دقیقه در حمام یخ قرار گرفتند. سپس، به هر لوله آزمایش ۴ میلی‌لیتر تولوئن اضافه شده و نمونه‌ها تکان داده شدند تا کاملاً یکنواخت شوند. سپس، در داخل لوله آزمایش دو فاز روایی و زیرین کاملاً از هم قابل تشخیص شده و فاز روایی را که به رنگ قرمز و حاوی پرولین محلول در تولوئن بود، برداشته و در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد (Bates et al., 1973). غلظت پرولین برحسب میلی‌گرم بر گرم بافت تازه برگ بیان شد.

اندازه‌گیری کربوهیدرات (قندهای محلول): برای اندازه‌گیری کربوهیدرات‌های محلول کل بذر از دستگاه اسپکتروفتومتر استفاده شد (Irigoyen et al., 1992). بدین صورت که ۰/۱ گرم از بافت بذر توزین شده و با نیتروژن مایع در هاون چینی پودر کرده و با ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵٪ به خوبی ساییده شد و سپس عصاره روایی را در فالتکون ریخته و ته مانده دوباره با ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۷۰٪ ساییده و به فالتکون اضافه گردید. سپس، در دستگاه سانتریفیوژ با ۳۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس، ۱

یونیکو^۱ کشور آمریکا)، و پتاسیم به روش شعله‌سنجی با استفاده از دستگاه نورسنج شعله‌ای (فلیم‌فوتومتر مدل PFP7، شرکت جن‌وی^۲ ساخت کشور انگلستان) در آزمایشگاه اندازه‌گیری و تعیین شد.

روش تجزیه و تحلیل داده‌ها: پس از جمع‌آوری داده‌ها تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۴) و ترسیم جداول با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام گرفت. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

نتایج

درصد اسانس بذر: بر پایه نتایج حاصل از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها، درصد اسانس بذر رازیانه بین دو سال آزمایش به طور معنی‌داری تحت تأثیر مراحل و سطوح مختلف محلول‌پاشی نانوذرات پتاسیم با احتمال خطای پنج درصد قرار گرفت. بر پایه نتایج حاصل از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها، میزان کارتنوئید رازیانه بین دو سال آزمایش به طور معنی‌داری تحت تأثیر مراحل مختلف محلول‌پاشی، همچنین تحت اثر ساده غلظت‌های مختلف محلول‌پاشی نانوذرات پتاسیم با احتمال خطای یک درصد قرار گرفت (جدول ۲).

با توجه به جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) می‌توان مشاهده نمود که بیشترین درصد اسانس بذر برابر با ۴/۳۷ درصد در سال دوم آزمایش در مرحله میوه‌دهی همراه با محلول‌پاشی در غلظت ۵ در هزار نانوذره پتاسیم بدست آمد. بین این تیمار با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده شد به‌طوری‌که نسبت به تیمار شاهد محلول‌پاشی نانوذره پتاسیم در

میلی‌لیتر از عصاره الکلی را برداشته و در لوله فالکن ریخته و ۳ میلی‌لیتر آنترون تازه تهیه شده (۱۵۰ میلی‌گرم آنترون + ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۷۲٪) به آن افزوده شد. جهت ایجاد فاز رنگی، لوله‌های فالکون به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب گرم ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند و بعد از سرد شدن ۱/۵ میلی‌لیتر از فاز رویی با ۱/۵ میلی‌لیتر محلول واسنجی (۱ میلی‌لیتر اتانول ۷۰٪ + ۳ میلی‌لیتر آنترون) را در کووت ریخته و میزان جذب در طول موج ۶۲۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید. غلظت کربوهیدرات‌های محلول کل بر حسب میلی‌گرم بر گرم بافت بذر بیان شد. از غلظت‌های مختلف گلوکز جهت رسم نمودار استاندارد و محاسبه نهایی میزان کربوهیدرات‌های محلول استفاده شد.

اندازه‌گیری کارتنوئیدها: به منظور اندازه‌گیری کارتنوئیدها، مقدار ۰/۲ گرم بافت تازه گیاهی در هاون چینی ساییده شد و پس از افزودن ۲۰ میلی‌متر استون ۸۰ درصد به آن، به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه، سانتریفیوژ گردید و جذب محلول بالایی در طول موج ۴۷۰ نانومتر برای کارتنوئیدها توسط اسپکتروفتومتر معین شد. سپس با استفاده از فرمول ارائه شده توسط مطالعات قبلی بدست آمد (Arnon, 1965).

تعیین میزان عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم: جهت تعیین میزان عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم بذر رازیانه، نمونه‌های فراهم شده در آون دیجیتال (مدل PTN 55، ساخت شرکت پارس طب نوین کشور ایران) با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند و خاکستر خشک آنها تهیه شد. اندازه‌گیری عنصر نیتروژن با استفاده از روش کلدال (Kjeldahl, 1833)، فسفر با استفاده از روش مطالعات دیگران (Olsen et al., 1954) با استفاده از دستگاه طیف‌سنج (اسپکتروفتومتر مدل UV-2100S، ساخت شرکت

^۱ Unico

^۲ Jenway

مرحله ساقه‌دهی در سال اول آزمایش ۲/۵۶ واحد افزایش نشان داد.

جدول ۲: تجزیه واریانس صفات کیفی بذر رازیانه (*Foeniculum vulgare* Miller) تحت تاثیر مراحل و سطوح محلول‌پاشی نانوذرات پتاسیم

منابع تغییرات	درجه آزادی	درصد اسانس	عملکرد اسانس	کربوهیدرات	پرولین	کارتونئید
سال	۱	۴/۳۴۹**	۶۰۳۷/۰۱**	۰/۲۹۶**	۶۰۳۷/۰۱**	۷/۱۸۷**
مراحل محلول‌پاشی	۲	۰/۳۱۹ ^{ns}	۷۰/۸۶ ^{ns}	۰/۰۹۲۳*	۷۰/۸۶**	۳/۳۶۶**
سال * مراحل محلول‌پاشی	۲	۱/۰۶*	۴۲/۹۳ ^{ns}	۰/۰۴۲۸ ^{ns}	۴۲/۹۳**	۲/۵۹۸**
غلظت محلول‌پاشی	۴	۶/۵۱۷**	۱۰۵۱/۰۲**	۰/۵۹۵۶**	۱۰۵۱/۰۳ ^{ns}	۲/۹۰۳**
سال * غلظت محلول‌پاشی	۴	۰/۴۶۸ ^{ns}	۳۱۰/۶۱*	۰/۰۸۹۷**	۳۱۰/۶۱ ^{ns}	۰/۴۴۷ ^{ns}
مراحل * غلظت محلول‌پاشی	۸	۰/۶۸۳**	۲۹۸/۱۸**	۰/۱۳۳۶**	۲۹۸/۱۸ ^{ns}	۰/۳۲۴ ^{ns}
سال * مراحل * غلظت محلول‌پاشی	۸	۰/۵۱۹*	۲۱۳/۳۸*	۰/۱۱۵۱**	۲۳۸/۱۸ ^{ns}	۰/۳۳۷ ^{ns}
خطای آزمایش	۶۰	۰/۲۲۹۷	۹۰/۰۷۱	۰/۰۲۰۷	۰/۰۰۷۷	۰/۲۲۵
ضریب تغییرات (%)	-	۱۶/۵۳	۲۶/۰۶	۵/۵۷	۶/۴۶	۱۴/۸۲

ns: غیر معنی‌دار، * و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

با توجه به جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) می‌توان مشاهده نمود که بیشترین درصد اسانس بذر برابر با ۴/۳۷ درصد در سال دوم آزمایش در مرحله میوه‌دهی همراه با محلول‌پاشی در غلظت ۵ در هزار نانوذره پتاسیم بدست آمد. بین این تیمار با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده شد به‌طوری که نسبت به تیمار شاهد محلول‌پاشی نانوذره پتاسیم در مرحله ساقه‌دهی در سال اول آزمایش ۲/۵۶ واحد افزایش نشان داد.

جدول ۳: مقایسه میانگین‌های صفات کیفی بذر رازیانه (*Foeniculum vulgare* Miller) تحت تاثیر مراحل و سطوح محلول-پاشی نانوذرات پتاسیم

تیمارهای آزمایشی		درصد اسانس بذر		عملکرد اسانس بذر		کربوهیدرات	
سال	مراحل محلول‌پاشی	غلظت محلول‌پاشی	j	۱/۸۱	j	۱۳/۳۱	efghi
ساقه‌دهی	۲ در هزار	شاهد	ij	۱/۹۱	ij	۲۱/۲۵	defgh
	۳ در هزار	۲ در هزار	fghij	۲/۳۸	hij	۲۲/۳۱	abc
	۴ در هزار	۳ در هزار	efghij	۲/۴۰	fghij	۲۹/۰۱	efghi
	۵ در هزار	۴ در هزار	bcdef	۳/۲۸	fghij	۲۸/۴۳	efghi
	شاهد	۵ در هزار	ghij	۲/۲۳	ij	۲۰/۱۶	ijk
گل‌دهی	۲ در هزار	شاهد	ghij	۲/۳۳	hij	۲۳/۶۸	defghi
	۳ در هزار	۲ در هزار	defghi	۲/۸۴	hij	۲۵/۶۷	bcd
	۴ در هزار	۳ در هزار	bcdefg	۳/۰۹	cdefghi	۳۵/۹۱	cdefg
	۵ در هزار	۴ در هزار	abcd	۳/۵۱	efghij	۲۹/۲۳	defgh
	شاهد	۵ در هزار	ghij	۲/۲۵	ghij	۲۷/۲۱	k
	۲ در هزار	شاهد	ghij	۲/۲۴	hij	۲۶/۵۰	ijk

تیمارهای آزمایشی		درصد اسانس بذر		عملکرد اسانس بذر		کربوهیدرات	

بر پایه نتایج حاصل از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها، میزان پرولین بذر رازیانه بین دو سال آزمایش به طور معنی‌داری تحت تاثیر مراحل محلول‌پاشی نانوذرات پتاسیم با احتمال خطای پنج درصد قرار گرفت (جدول ۲). با توجه به جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) می‌توان مشاهده نمود که بیشترین میزان پرولین بذر برابر با ۱/۴۴ میلی‌گرم در گرم در سال اول آزمایش در تیمار محلول‌پاشی مرحله میوه‌دهی بدست آمد. بین این تیمار با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده شد به طوری که نسبت به مرحله ساقه‌دهی در سال دوم آزمایش ۰/۱۹۴ واحد افزایش نشان داد. با توجه به جدول مقایسه میانگین‌ها می‌توان مشاهده نمود که بیشترین میزان کارتنوئید در سال دوم آزمایش در مرحله ساقه‌دهی به دست آمد.

بر پایه نتایج حاصل از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها، میزان نیتروژن بذر رازیانه بین دو سال آزمایش به طور معنی‌داری تحت تاثیر مراحل و سطوح مختلف محلول‌پاشی نانوذرات پتاسیم با احتمال خطای یک درصد قرار گرفت (جدول ۵). با توجه به جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۶) می‌توان مشاهده نمود که بیشترین میزان نیتروژن بذر برابر با ۲/۴۸ درصد در سال دوم آزمایش در مرحله ساقه‌دهی همراه با محلول‌پاشی در غلظت ۳ در هزار نانوذره پتاسیم بدست آمد. بین این تیمار با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده شد به طوری که نسبت به تیمار شاهد محلول‌پاشی نانوذره پتاسیم در مرحله میوه‌دهی در سال اول آزمایش ۱/۱۷ واحد افزایش نشان داد.

جدول ۴: مقایسه میانگین‌های پرولین بذر و کارتنوئید رازیانه (*Foeniculum vulgare* Miller) تحت تاثیر مراحل محلول‌پاشی نانوذرات پتاسیم

تیمارهای آزمایشی		پرولین (میلی‌گرم در گرم)		کارتنوئید (میلی‌گرم بر گرم)	
سال	مراحل محلول‌پاشی	ab	۱/۴۱	c	۲/۷۶۵
۱۳۹۹-۱۴۰۰	ساقه‌دهی	ab	۱/۴۱	c	۲/۷۶۵
	گل‌دهی	a	۱/۴۳	c	۳/۰۰۳
	میوه‌دهی	a	۱/۴۴	a	۳/۸۱۰
۱۴۰۰-۱۴۰۱	ساقه‌دهی	c	۱/۲۴	b	۳/۳۷۳
	گل‌دهی	c	۱/۲۵	bc	۳/۰۸۰
	میوه‌دهی	b	۱/۳۶	c	۲/۷۶۵

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

بر پایه نتایج حاصل از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها، میزان فسفر بذر رازیانه بین دو سال آزمایش به طور معنی‌داری تحت تاثیر مراحل و سطوح مختلف محلول‌پاشی نانوذرات پتاسیم با احتمال خطای یک درصد قرار گرفت (جدول ۵). با توجه به جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۶) می‌توان مشاهده نمود که بیشترین میزان فسفر بذر برابر با ۱/۶۵ درصد در سال دوم آزمایش در مرحله ساقه‌دهی همراه با محلول‌پاشی در غلظت ۴ در هزار نانوذره پتاسیم بدست آمد. بین این تیمار با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده شد به طوری که نسبت به تیمار شاهد محلول‌پاشی نانوذره پتاسیم در مرحله میوه‌دهی در سال اول آزمایش ۱/۵۲ واحد افزایش نشان داد.

جدول ۵: تجزیه واریانس عناصر غذایی بذر رازیانه (*Foeniculum vulgare* Miller) تحت تاثیر مراحل و سطوح محلول پاشی نانوذرات پتاسیم

منابع تغییرات	درجه آزادی	نیترژن	فسفر	پتاسیم
سال	۱	۰/۷۰۵**	۰/۰۰۹ ^{ns}	۰/۸۹۸**
مراحل محلول پاشی	۲	۱/۱۲۵**	۰/۰۱۰ ^{ns}	۰/۱۲۴ ^{ns}
سال * مراحل محلول پاشی	۲	۰/۶۶۴**	۰/۰۱۵ ^{ns}	۰/۰۹۵ ^{ns}
غلظت محلول پاشی	۴	۰/۶۵۹**	۰/۶۲۸**	۰/۲۸۱۱**
سال * غلظت محلول پاشی	۴	۰/۱۸۴*	۰/۰۳۴**	۰/۰۵۷ ^{ns}
مراحل * غلظت محلول پاشی	۸	۰/۱۶۶*	۰/۰۶۱**	۰/۵۶۱۸**
سال * مراحل * غلظت محلول پاشی	۸	۰/۳۳۰**	۰/۰۱۴*	۰/۵۳۰۹**
خطای آزمایش	۶۰	۰/۶۱۱	۰/۰۰۷	۰/۰۵۳۷
ضریب تغییرات (%)	-	۹/۲۲	۶/۹۳	۱۴/۸۹

^{ns}: غیر معنی دار، * و **: به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۶: مقایسه میانگین های نیترژن، فسفر و پتاسیم بذر رازیانه (*Foeniculum vulgare* Miller) تحت تاثیر مراحل و سطوح محلول پاشی نانوذرات پتاسیم

تیمارهای آزمایشی		نیترژن (درصد)		فسفر (درصد)		پتاسیم (درصد)	
سال	مراحل محلول پاشی	غلظت محلول پاشی					
سال اول	ساقه دهی	شاهد	gh	۱/۱۵۹	g-j	۱/۰۳۱	jkl
		۲ در هزار	fgh	۱/۲۱۰	c-h	۱/۱۵۷	ghijkl
		۳ در هزار	cde	۱/۷۱۳	ab	۱/۶۲۲	cdefghi
		۴ در هزار	cdef	۱/۶۴۲	cd	۱/۲۴۰	bcdef
		۵ در هزار	cdefg	۱/۶۲۲	c-i	۱/۱۳۱	efghijkl
	گل دهی	شاهد	h	۱/۱۳۵	j	۰/۹۴۹	kl
		۲ در هزار	cdefgh	۱/۳۵۰	d-j	۱/۰۸۶	ijkl
		۳ در هزار	cdefgh	۱/۳۸۷	ab	۱/۵۲۱	cdefghi
		۴ در هزار	cdefgh	۱/۵۵۰	c-i	۱/۱۴۰	cdefg
		۵ در هزار	cdefgh	۱/۳۶۹	g-j	۱/۰۴۲	cdefghi
	میوه دهی	شاهد	h	۱/۱۳۱	j	۰/۹۲۹	L
		۲ در هزار	cdefgh	۱/۳۸۸	ij	۰/۹۹۱	jkl
		۳ در هزار	cdefg	۱/۶۱۰	cde	۱/۲۲۴	efghijkl
		۴ در هزار	cdefgh	۱/۵۷۶	c-g	۱/۱۹۲	bcdef
		۵ در هزار	cdefgh	۱/۵۰۳	c-g	۱/۱۹۸	defghijk
سال دوم	ساقه دهی	شاهد	defgh	۱/۳۳۷	cd	۱/۲۴۴	bcdef
		۲ در هزار	cdefgh	۱/۳۸۸	c-h	۱/۱۶۷	bcde
		۳ در هزار	a	۲/۴۸۱	cd	۱/۲۵۱	bc
		۴ در هزار	a	۲/۳۹۶	a	۱/۶۵۳	a
		۵ در هزار	cde	۱/۶۹۳	e-j	۱/۰۶۱	bcd
		شاهد	efgh	۱/۲۹۷	f-j	۱/۰۴۶	efghijkl

تیمارهای آزمایشی		نیترژن (درصد)		فسفر (درصد)		پتاسیم (درصد)		سال	مراحل محلول پاشی	غلظت محلول پاشی
۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹			
۲/۶۵۰	۲/۸۱۳	۳/۳۲۰	۲/۷۸۳	۲/۳۳۷	۲/۴۹۷	۲/۲۹۰	۲/۹۳۳	۲/۳۳۳	گل دهی	۲ در هزار
defghij	cdefgh	ab	cdefgh	hijkl	fghijkl	ijkl	bcdef	hijkl		
۱/۲۳۶	۱/۶۴۲	۱/۲۶۹	۱/۱۸۰	۱/۰۲۰	۱/۲۱۳	۱/۴۹۳	۱/۲۳۹	۱/۲۰۷		
cd	ab	c	c-h	hij	cde	b	cd	c-f		
۱/۳۰۶	۲/۲۷۹	۱/۸۰۰	۱/۲۷۳	۱/۲۹۱	۱/۵۷۸	۲/۱۷۵	۱/۷۶۶	۱/۳۲۵	میوه دهی	۳ در هزار
defgh	a	bc	efgh	efgh	cdefgh	ab	cd	defgh		
۲ در هزار	۳ در هزار	۴ در هزار	۵ در هزار	شاهد	۲ در هزار	۳ در هزار	۴ در هزار	۵ در هزار		

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

بر پایه نتایج حاصل از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها، میزان پتاسیم بذر رازیانه بین دو سال آزمایش به طور معنی‌داری تحت تاثیر مراحل و سطوح مختلف محلول پاشی نانوذرات پتاسیم با احتمال خطای یک درصد قرار گرفت (جدول ۵). با توجه به جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۶) می‌توان مشاهده نمود که بیشترین میزان پتاسیم بذر برابر با ۳/۶۵ درصد در سال دوم آزمایش در مرحله ساقه‌دهی همراه با محلول پاشی در غلظت ۴ در هزار نانوذره پتاسیم بدست آمد. بین این تیمار با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده شد به طوری که نسبت به تیمار شاهد محلول پاشی نانوذره پتاسیم در مرحله میوه‌دهی در سال اول آزمایش ۱/۵۲ واحد افزایش نشان داد.

بحث

نتایج این مطالعه نشان داد که بیشترین درصد اسانس بذر برابر با ۴/۳۷ درصد در سال دوم آزمایش در مرحله میوه‌دهی همراه با محلول پاشی در غلظت ۵ در هزار نانوذره پتاسیم بدست آمد. همان‌گونه که نتایج نشان داد محلول پاشی پتاسیم باعث افزایش میزان نیترژن گردید. تأمین نیترژن در مراحل

مختلف به خصوص بعد از گل‌دهی تاثیر به سزایی در تداوم فعالیت سطح برگ دارد. از طرفی پتاسیم در توسعه و تقسیم سلول‌های جدید شرکت کرده و از طریق افزایش تعداد و سطح برگ و فراهم نمودن زمینه مناسب برای دریافت انرژی نورانی خورشید و نیز حضور در ساختار کلروفیل و آنزیم‌های درگیر در متابولیسم کربن فتوسنتزی، موجب افزایش بازده فتوسنتزی شده و نقش کلیدی در افزایش میزان اسانس دارد (Briat et al., 2015). Hassanpour aghdam و همکاران (۲۰۰۸) اثر سطوح مختلف پتاسیم و نیترژن را بر افزایش میزان اسانس در گیاه تاناسوم (*Tanacetum balsamita*) بررسی کردند و بالاترین میزان اسانس در بالاترین میزان کود کاربردی به دست آمد. کاربرد همزمان این دو کود، در افزایش اسانس اثر معنی‌دار داشت. این محققان اعلام کردند که تغذیه مناسب گیاهان در قالب کودهای مختلف، سبب تقویت مسیرهای درگیر در تولید متابولیت‌های ثانویه می‌شود. به نظر می‌رسد که پتاسیم در ساختمان آنزیم‌هایی که در مسیرهای بیوشیمیایی درگیر در سنتز مواد مؤثره گیاهی دخیل هستند، مؤثر است. آنها همچنین اظهار داشتند که همانطور کمبود مواد غذایی سبب کاهش عملکرد و به دنبال آن کاهش میزان مواد

مؤثره است، عدم توازن در کاربرد کودها نیز اثری مشابه داشته و سبب کاهش میزان اسانس تولیدی خواهد شد. در محلول پاشی کود نانو پتاسیم بر اندام های هوایی دو رقم گندم نیز، نتایج نشان داد که کاربرد غلظت های مختلف کود نانو پتاسیم، باعث افزایش ترکیب های فنلی اندام هوایی شده است (Tavan et al., 2014). کودهای مختلف با تأثیری که بر افزایش عملکرد گیاه می گذارند سبب افزایش میزان اسانس و عملکرد آن می گردند که در این آزمایش نیز محلول پاشی نانو پتاسیم تا حد زیادی سبب افزایش عملکرد خشک گیاه و به تبع اسانس آن شد. Khater (۲۰۱۵) اثر محلول پاشی نانوذرات مگنتیت بر رشد و ترکیب اسانس نعنای را مطالعه کرد. نتایج نشان داد که کاربرد نانوذرات مگنتیت رشد گیاه و اسانس گیاهان نعنای را به طور قابل توجهی افزایش داد که در غلظت ۱۵ میلی گرم در لیتر بیشترین بود.

بیشترین میزان کربوهیدرات بذر در سال دوم آزمایش در مرحله ساقه دهی همراه با محلول پاشی در غلظت ۳ در هزار نانوذره پتاسیم بدست آمد. تغییرات کربوهیدرات های محلول بر اثر رابطه مستقیم آنها با مسیرهای فیزیولوژیک مثل فتوسنتز، تنفس و انتقال اهمیت خاصی دارد. توزیع مواد هیدروکربنی به طور غیرمستقیم تحت تأثیر هورمون های گیاهی قرار می گیرد. تجمع ترکیبات آلی مانند کربوهیدرات ها و آمینواسیدها در سیتوپلاسم نقش مهمی در تنظیم فشار اسمزی گیاهان دارند. بین عناصر غذایی ضروری گیاهان، پتاسیم علاوه بر افزایش تولید و بهبود کیفیت محصول، سبب افزایش مقاومت گیاهان به شوری، کم آبی، انواع تش های، آفات و بیماری ها گردیده و کارایی آب و کود را افزایش می دهد. این عنصر جهت تشکیل و انتقال کربوهیدرات ها در گیاه ضروری است. ایجاد استحکام ساقه و افزایش مقاومت در برابر خوابیدگی از دیگر مزایای این عنصر به شمار

می آید. گیاهانی که مقادیر زیادی نشاسته ستنز و ذخیره می کنند به میزان زیادی پتاسیم نیاز دارند. افزایش رشد و عملکرد گیاهان تحت تأثیر نانو کلات پتاسیم در ریحان (Ghahremani et al., 2014; Zahedifar and Najafian, 2016) نیز گزارش گردیده است. نانو کلات پتاسیم با فراهم کردن مداوم عنصر ضروری برای فتوسنتز و بیوسنتز پروتئین ها و نشاسته می تواند سبب افزایش رشد گیاه گردد (Amtmann et al., 2008).

افزایش غلظت پرولین در گیاهانی که تحت تنش قرار گرفته اند، نوعی سازگاری برای غلبه بر تنش می باشد (Manivannan et al., 2007). پرولین تحت شرایط تنش می تواند عملکردهای متفاوتی مانند ایجاد تعامل اسمزی، حفاظت از ساختار پروتئینی و غشاء سلول، تثبیت ساختارهای درون سلولی و حذف رادیکال های آزاد را داشته باشد (Molinari et al., 2004). از آنجایی که پتاسیم یک فلز فعال برای راه اندازی فعالیت بسیاری از آنزیم ها می باشد به احتمال زیاد در راه اندازی آنزیم تولیدکننده پرولین نیز بسیار فعال می باشد چرا که استعمال برگی پتاسیم به طور معنی داری محتوای پرولین گیاه ماش را افزایش داد (Thalooth et al., 2006). تیمارهای نانو موجب افزایش رنگدانه ها، مقدار پروتئین و قند و فعالیت های نیترات ردوکتاز و دیگر آنزیم های آنتی اکسیدانت شد (Singh et al., 2013). بیشترین میزان کارتنوئید در سال دوم آزمایش در مرحله ساقه دهی در شرایط محلول پاشی نانوذره پتاسیم به دست آمد. این نتایج با نتایج بررسی انجام شده روی ریحان (*Ocimum basilicum*) که نشان داد تأثیر تیمارهای مختلف نانو کود فسفر بر محتوای کلروفیل برگ معنی دار بود، مطابقت داشت (Nikzad et al., 2014) و نتایج Heidari and Khahlil (2014) که بیان کردند تیمار کودی فسفر تأثیر معنی داری بر رنگدانه های فتوسنتزی

جذب و انتقال آنها از طریق برگ نیز به سهولت انجام می‌گیرد (Subramanian et al., 2015).

بیشترین میزان فسفر بذر در سال دوم آزمایش در مرحله ساقه‌دهی همراه با محلول‌پاشی در غلظت ۴ در هزار نانوذره پتاسیم بدست آمد. همچنین این نتایج با نتایج بررسی انجام شده روی ریحان (*Ocimum basilicum*) که نشان داد تأثیر تیمارهای مختلف نانو کود فسفر بر محتوای کلروفیل برگ معنی‌دار بود، مطابقت داشت (Nikzad et al., 2014). Heidari and Khahlil (2014) که بیان کردند تیمار کودی فسفر تأثیر معنی‌داری بر رنگدانه‌های فتوسنتزی و کاروتنوئید در برگ گیاه چای ترش داشت. نانوکودها حامل‌های عناصر غذایی در ابعاد ۳۰ تا ۴۰ نانومتر (۹-۱۰ متر) هستند و توانایی حمل مناسب یون‌های عناصر غذایی را به علت سطح ویژه زیاد دارند (Subramanian et al., 2015).

بیشترین میزان پتاسیم بذر در سال دوم آزمایش در مرحله ساقه‌دهی همراه با محلول‌پاشی در غلظت ۴ در هزار نانوذره پتاسیم بدست آمد. پتاسیم نقش حیاتی در فتوسنتز دارد چون باعث افزایش مستقیم رشد و شاخص سطح برگ و لذا جذب CO_2 و افزایش انتقال مواد فتوسنتزی به خارج برگ می‌شود. فعالیت اخیر نتیجه تشکیل ATP بیشتر است که برای تجمع مواد فتوسنتزی در آوند آبکش لازم است (Gardner et al., 2011). طبق نتایج به دست آمده در این پژوهش، با مصرف نانوذرات پتاسیم میزان پتاسیم در گیاه افزایش یافت که این افزایش ممکن است ناشی از اسیدی شدن محیط اطراف ریشه و کاهش تثبیت عنصر پتاسیم و بهبود جذب این عنصر باشد. Ghahremani و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند محلول‌پاشی غلظت ۲ در هزار نانو کلسیم باعث افزایش درصد پتاسیم و بهبود جذب عناصر غذایی توسط گیاه ریحان شد؛ که با توجه به افزایش میزان کلروفیل و

و کاروتنوئید در برگ گیاه چای ترش داشت. نتایج حاصل از پژوهش دیگری نشان داد که نانو کود کلات روی و نانو کود بیولوژیک توانست شاخص‌های رشد و فیزیولوژیک سیب زمینی (*Solanum tuberosum*) را افزایش دهد (Vafi and Afshari, 2014). همچنین در همین ارتباط کود نانو باعث افزایش شاخص‌های رشد گیاه بادام زمینی شده است (Prasad et al., 2012).

بیشترین میزان نیتروژن بذر در سال دوم آزمایش در مرحله ساقه‌دهی همراه با محلول‌پاشی در غلظت ۳ در هزار نانوذره پتاسیم بدست آمد. تامین نیتروژن در مراحل مختلف به خصوص بعد از گل‌دهی تأثیر به سزایی در تداوم فعالیت سطح برگ دارد. از طرفی نیتروژن در توسعه و تقسیم سلول‌های جدید شرکت کرده و از طریق افزایش تعداد و سطح برگ و فراهم نمودن زمینه مناسب برای دریافت انرژی نورانی خورشید و نیز حضور در ساختار کلروفیل و آنزیم‌های درگیر در متابولیسم کربن فتوسنتزی، موجب افزایش بازده فتوسنتزی شده و نقش کلیدی در افزایش میزان اسانس دارد (Briat et al., 2015). به طور کلی افزایش کاربرد نیتروژن به دلیل افزایش سطح سبز فتوسنتز کننده موجب افزایش جذب و انتقال مواد فتوسنتزی و هورمون‌های تحریک کننده رشد به مریستم‌های انتهایی و مریستم جانبی می‌شود و در نتیجه مجموع این عوامل سبب افزایش تحریک مریستم انتهایی و مریستم جانبی و افزایش تولید شاخه‌های جانبی در سطح بالای نیتروژن می‌گردد (Parhizkar Khajani et al., 2012). استفاده از نانوکودها که همه خصوصیات لازم مانند غلظت موثر، قابلیت حل‌پذیری مناسب، ثبات و تأثیرگذاری بالا و رهایش کنترل شده را دارند، سبب افزایش کارایی عناصر غذایی می‌شوند، به طوری که علاوه بر رهاسازی مداوم عناصر غذایی،

در هزار نانوذره پتاسیم در مرحله ساقه‌دهی در سال دوم آزمایش بدست آمد. همچنین بیشترین درصد اسانس بذر همراه با محلول پاشی در غلظت ۵ در هزار نانوذره پتاسیم، و بیشترین عملکرد اسانس بذر همراه با محلول پاشی در غلظت ۴ در هزار نانوذره پتاسیم در مرحله میوه‌دهی در سال دوم آزمایش حاصل شد. با توجه به نتایج بدست آمده، اعمال تیمارهای مراحل و سطوح محلول پاشی نانوذرات پتاسیم در سطوح دیگر برای تعیین سطحی که بیشترین تاثیر را بر بهبود این پارامترها در گیاه دارد، پیشنهاد می‌شود. همچنین پیشنهاد می‌شود که این آزمایش در زمین های زراعی دیگر که خاک آنها از نظر فیزیکوشیمیایی با هم اختلاف دارند، اجرا شود.

جذب عناصر غذایی تحت تأثیر نانو کلسیم، بهبود فتوسنتز و افزایش رشد رویشی و زایشی در گیاه امکان پذیر می‌باشد. کود آلی حاوی مقادیری از عناصر از جمله پتاسیم بوده که در سطح خود دارای بار منفی می‌باشد و باعث آزاد شدن پتاسیم تثبیت شده در خاک شده و ظرفیت نگهداری آن را افزایش می‌دهد و در نتیجه باعث افزایش جذب پتاسیم توسط گیاه می‌شود.

نتیجه گیری نهایی

با توجه به نتایج این پژوهش بیشترین میزان کربوهیدرات و نیتروژن بذر همراه با محلول پاشی در غلظت ۳ در هزار نانوذره پتاسیم؛ و بیشترین میزان فسفر و پتاسیم بذر همراه با محلول پاشی در غلظت ۴

References

- Adhikari, B., Dhungana, S. K., Kim, I. D. and Shin, D. H. (2020). Effect of foliar application of potassium fertilizers on soybean plants under salinity stress. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 19(4): 261-269.
- Adnan, M. (2020). Role of potassium in maize production: A review. Open Access Journal of Biological Sciences Research. 3(5): 1-4.
- Afifi, S. M., El-Mahis, A., Heiss, A. G. and Farag, M. A. (2021). Gas chromatography–mass spectrometry-based classification of 12 fennel (*Foeniculum vulgare* Miller) varieties based on their aroma profiles and estragole levels as analyzed using chemometric tools. ACS omega. 6(8): 5775-5785.
- Akhbari, M., Kord, R., Jafari Nodooshan, S. and Hamed, S. (2019). Analysis and evaluation of the antimicrobial and anticancer activities of the essential oil isolated from *Foeniculum vulgare* from Hamedan, Iran. Natural product research. 33(11): 1629-1632.
- Amtmann, A., Troufflard, S. and Armengaud, P. (2008). The effect of potassium nutrition on pest and disease resistance in plants. Physiology Plant. 133:682-691.
- Arnon, D.I. (1965). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenol-oxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology. 24: 1–15.
- Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. Journal of Plant Soil. 39: 205-207.
- Briat, J.F., Dubos, C. and Gaymard, F. (2015). Iron nutrition, biomass production, and plant product quality. Trends Plant Science. 20: 33-40.
- Butt, B. Z. and Naseer, I. (2020). Nanofertilizers. Nanoagronomy. 10: 125-152.
- Chahal, A.S., Madgulkar, A.R., Kshirsagar, S.J., Bhalekar, M.R., Dikpati, A. and Gawli, P. (2012). Amorphous nanoparticles for solubility enhancement. Journal of Advanced Pharmaceutical Science. 2: 167-178.
- DeRosa, M.C., Monreal, C., Schnitzer, M., Walsh, R. and Sultan, Y. (2010). Nanotechnology in fertilizers. Nature Nanotechnology. 5: 91-105.

- Gardner, F.P., Piers, R. and Michelle, L. (2011). Physiology of crop plants. Translation: Koocheki A, and Sarmadnia Gh. 16th ed. Mashhad SID Press, 400 pp.
- Ghahremani, A., Akbari, K., Yousefpour, M. and Ardalani, H. (2014). Effects of nano-potassium and nano-calcium chelated fertilizers on qualitative and quantitative characteristics of *Ocimum basilicum*. International Journal of Pharm Research School. 3:235-241.
- Hassanpour aghdam, M. B., Tabatabaie, S. J., Nazemiyeh, H. and Aflatuni, A., (2008.) N and nutrition levels affect growth and essential oil content of costmary (*Tanacetum balsamita* L.). Food, Agriculture and Environment. 6(2): PP: 150-154.
- He, G., Geng, C., Zhai, J., Zhao, Y., Wang, Q., Jiang, S. and Wang, L. (2021). Impact of food consumption patterns change on agricultural water requirements: An urban-rural comparison in China. Agricultural Water Management. 243: 106504.
- Heidari, M. and Kahlil, S., (2014). Effect of humic acid and phosphorus fertilizer on seed and flower yield, photosynthetic pigments and mineral elements concentration in sour tea (*Hisbiscus sabdariffa* L.). Iranian Journal of Field Crop Science. 45(2): 191-199.
- Irigoyen, J.J., Einerich, D.W. and Sanchez-Diaz, M. (1992). Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. Physiology Plant. 84: 55-60.
- Khater, M.S. (2015). Magnetite-Nanoparticles effects on growth and essential oil of peppermint. Current Science International. 4(2): 2077-4435.
- Kjeldahl, J. (1883). Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern (New method for the determination of nitrogen in organic substances). Zeitschrift für analytische Chemie. 22(1): 366-383.
- Lee, H. W., Ang, L., Kim, E. and Lee, M. S. (2021). Fennel (*Foeniculum vulgare* Miller) for the management of menopausal women's health: A systematic review and meta-analysis. Complementary Therapies in Clinical Practice. 43: 101360.
- Li, Y., Kong, D., Fu, Y., Sussman, M. R. and Wu, H. (2020). The effect of developmental and environmental factors on secondary metabolites in medicinal plants. Plant Physiology and Biochemistry. 148: 80-89.
- Mahapatra, D. M., Satapathy, K. C. and Panda, B. (2022). Biofertilizers and nanofertilizers for sustainable agriculture: Phycoprosects and challenges. Science of the Total Environment. 803: 149990.
- Manivannan, P., Jaleel, C.A., Somasundaram, R. and Panneerselvam, R. (2007). Osmoregulation and antioxidant metabolism in drought-stressed *Helianthus annuus* under triadimefon drenching. Comptes Rendus Biologies. 331(6): 418-425.
- Mastronardi, E., Tsae, P., Zhang, X., Monreal, C. and DeRosa, M. C. (2015). Strategic role of nanotechnology in fertilizers: potential and limitations. Nanotechnologies in Food and Agriculture. 4: 25-67.
- Mirabdollahi, S.M. (2011). Variation in the essential oil content and composition of fennel under limited irrigation condition. M.Sc. dissertation. University of Zanjan. (In Persian).
- Molinari, H. B. C., Marur, C. J., Filho, J. C. B., Kobayashi, A. K. Pileggi, M., Junior, R. P. L., Pereira, L. F. P. and Viiera, L. G. E. (2004). Osmotic adjustment in transgenic citrus rootstock Carrizo citrange (*Citrus sinensis* Osb. × *Poncirus trifoliata* L., Raf.) overproducing proline. Plant Science. 167: 1375-1381.

- Nadarajan, S. and Sukumaran, S. (2021). Chemistry and toxicology behind chemical fertilizers. In Controlled Release fertilizers for sustainable agriculture (pp. 195-229). Academic Press.
- Nikzad, T., Mahdian, S.A. and Aakbarpoor, V. (2014). Nanotech impact assessment vegetative traits basil and mushrooms phosphorus fertilizer *Piriformospora indica*. Second National Conference on Medicinal Plants and Sustainable Agriculture, Shahid Mofateh University, Hamedan, 23 August.
- Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S. and Dean, L. A. (1954). Estimation of Available Phosphorous in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate. U.S. Department of Agriculture, Washington DC: USDA Circ, 939p.
- Parhizkar Khajani, F., Irannezhad, H., Majidian, M. and Oraki, H. (2012). Influence of different levels of nitrogen, phosphorus and potassium on yield and yield components of flax seed oil (*Linum usitatissimum* L.) variety Lirina. Journal of Medicinal Plants Research. 6(6): 1050-1054.
- Prasad, T. N. V. K. V., Sudhakar, P., Sreenivasulu, Y., Latha, P., Munaswamy, V., Reddy, K. R. and Pradeep, T. (2012). Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. Journal of Plant Nutrition. 35(6): 905-927.
- Singh, N. B., Amist, N., Yadav, K., Singh, D., Pandey, J. K. and Singh, S. C. (2013). Zinc oxide nanoparticles as fertilizer for the germination, growth and metabolism of vegetable crops. Journal of Nanoengineering and Nanomanufacturing. 3(4): 353-364.
- Subramanian, K. S., Manikandan, A., Thirunavukkarasu, M. and Rahale, C. S. (2015). Nano-fertilizers for balanced crop nutrition. Nanotechnologies in Food and Agriculture. 10: 69-80.
- Tavan, T., Neyakan, M. and Noreyneya, A.A. (2014). Effect of nano-potassium fertilizer on growth factors, photosynthetic system and protein content in wheat (*Triticum aestivum* L. CV. N8019). Journal of Plant Environmental Physiology. 9(3): 61-71.
- Thalooth, A. T., Badr, N. M. and Mohamed, M. H. 2005. Effect of foliar spraying with Zn and different levels of phlsphatic fertilizer on growth and yield of sunflower plants grown under saline conditions. Egyptian Journal of Agronomy. 27: 11-220.
- Torabian, S., Farhangi-Abri, S., Qin, R., Noulas, C., Sathuvalli, V., Charlton, B. and Loka, D. A. (2021). Potassium: A vital macronutrient in potato production—A review. Agronomy. 11(3): 543.
- Usman, M., Farooq, M., Wakeel, A., Nawaz, A., Cheema, S. A., ur Rehman, H. and Sanaullah, M. (2020). Nanotechnology in agriculture: Current status, challenges and future opportunities. Science of the Total Environment. 721: 137778.
- Vafi, N. and Afshari, H. (2014). Effects of nanochelated zinc and nanobiological fertilizer on morphological characteristics of potato. National e-Conference on Advance in Engineering and Basic Science, Iran. (In Persian)
- Weng, L., Zhang, M., Wang, K., Chen, G., Ding, M., Yuan, W. and Xu, F. (2020). Potassium alleviates ammonium toxicity in rice by reducing its uptake through activation of plasma membrane H⁺-ATPase to enhance proton extrusion. Plant Physiology and Biochemistry. 151: 429-437.
- Zahedifar, M. and Najafian, S. (2016). *Ocimum basilicum* L. growth and nutrient status as influenced by biochar and potassium-nano-chelate fertilizers. Archives of Agronomy and Soil Science. 10: 42-61.

- Zulfiqar, F., Navarro, M., Ashraf, M., Akram, N. A. and Munné-Bosch, S. (2019). Nanofertilizer use for sustainable agriculture: Advantages and limitations. *Plant Science*. 289: 110270.

