Journal of Vegetables Sciences, Autumn & Winter 2023, Vol 6, No 12 (2), Pages 135-146

doi: 10.22034/iuvs.2022.546896.1196 Article Type: Research Online ISSN: 2676-4822

Effects of Kitoplus and Chitosan Coated Iron Nano-Oxide on Morpho-physiological Properties of Peppermint under Drought Stress

Mousa Torabi Giglou[1*], Rasoul Heydarnajad Giglou[2], Rasoul Azarmi[1], Ghobad Salimi[3], Hassan Maleki Lajaye[4], Amir Mohammad Mokhtari[5] and Mohsen Bagherian[2]

1- Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
2- Ph. D. Student, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
3- Assistant Professor, Department of Agriculture, Faculty of Agriculture, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran.
4- Associate Professor, Department of Plant and Medicinal Plants, Meshkinshahr Faculty of Agriculture, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran.
5- M.Sc. Student.Department of Horticultural Seed Science, Faculty of Agriculture, Horticulture and Bioengineering, University of Life Science, Poznan 60-637, Poland.

[*]**Corresponding author:** mtorabi@uma.ac.ir

(**Received:** 24 February 2022 **Reviseed:** 30 April 2022 **Accepted:** 30 April 2022)

Extended Abstract

1.Introduction: Drought stress can limit the growth and yield of plants like peppermint. One way to increase yield and product quality is by using growth stimulants that can increase resistance to stress and accelerate plant development. The role of growth stimulants is to increase resistance to stress and accelerate plant development and growth, especially of roots and leaves. Kitoplus is a growth stimulant that contains chitosan and has been used to reduce the effects of drought stress. Iron also reduces the effects of drought stress by improving gas exchange, stomatal conductance, water use efficiency, and reducing transpiration. The use of nano-fertilizers for plant nutrition is a new application of nanotechnology in agriculture. Iron oxide nanoparticles with chitosan coating can provide the necessary elements for plants. This study examined the effect of chitosan-coated iron oxide nanoparticles on mitigating drought stress in peppermint.

2.Materials and Methods: To assess the impact of Kitoplus growth stimulant and chitosan-coated iron oxide nanoparticles on peppermint yield, morphology, and essential oil under drought stress, a factorial split-plot experiment was conducted. The experiment had three replications and treatments included three levels of water stress (irrigation in soil moisture depletion of 30, 60, and 90% of field capacity moisture), three concentrations of Kitoplus growth stimulant (0, 0.5, and 1%), and three concentrations of chitosan-coated iron oxide nanoparticles (0, 5 and 10 µM)). Peppermint rhizomes planted in small pots and keeping them in a greenhouse for 20 days before planting in the experimental field. Drought stress and foliar spraying began 20 days after transferring the plants to the field. Soil moisture was measured using hygrometer sensors and irrigation was done when the desired level of soil moisture was reached (90, 60 and 30% soil FC moisture) with an equal volume (400 liters) for each plot separately. Foliar application was performed three times with a 15-day interval. One week after the last spraying, characteristics such as stem diameter, number of nodes, inter-node distance, flower cluster weight, fresh and dry weight of aerial parts, and essential oil percentage were evaluated.

3.Results and Discussion: The study found that foliar spraying with Kitoplus growth stimulant and chitosan-coated iron oxide nanoparticles had a positive impact on peppermint yield and quality, especially under drought stress. Drought stress significantly affected the fresh and dry weight and morphology of peppermint. Increasing irrigation, Kitoplus growth stimulant concentration, and chitosan-coated iron oxide nanoparticle concentration improved these attributes. However, high concentrations of Kitoplus growth stimulant and chitosan-coated iron oxide nanoparticles caused a sharp decrease. The ratio of dry to fresh weight was higher in treated plants than in untreated plants under irrigation conditions. The highest ratio of dry to fresh weight (36.08%) was observed in plants treated with 1% Kitoplus growth stimulant and 5 µM chitosan-coated iron oxide nanoparticles under 30% field capacity irrigation conditions. The highest essential oil yield was observed in plants under 90% field capacity irrigation conditions combined with 1% Kitoplus growth stimulant foliar application (1.056 ml per 30 gr of dry tissue).

4.Conclusion: The study concluded that combined foliar application of 0.5% Kitoplus growth stimulant and 10 µM chitosan-coated iron oxide nanoparticles had a greater impact on peppermint yield and quality, especially under drought stress. This treatment compensated for the negative effects of drought stress. In general, agricultural techniques can increase peppermint yield and essential oil percentage.

Keywords: Essential oil, Water stress, Growth index, Intermediate, Nanoparticles.

Citation: Torabi Giglou, M., Heydarnajad Giglou, R., Azarmi, R., Salimi, G., Maleki Lajayer, H., Mokhtari, A. M. & Bagherian, M. (2023). Effects of kitoplus and chitosan coated Iron nano-oxide on morpho-physiological properties of peppermint under drought stress. *Journal of Vegetables Sciences*, 6 (2), 135-146. doi: 10.22034/iuvs.2022.546896.1196.

Copyrights:
Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Journal of Vegetables Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/ by/4.0).

دوفصلنامه علمی علوم‌سبزی‌ها، سال ۶، دوره ۱۲، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۱، صفحات ۱۴۶-۱۳۵

شاپا الکترونیکی: ۴۸۲۲-۲۶۷۶ نوع مقاله: پژوهشی doi: 10.22034/iuvs.2022.546896.1196

بررسی اثرات کیتوپلاس و نانواکسیدآهن با پوشش کیتوزان بر خصوصیات مورفو-فیزیولوژیکی نعناع‌فلفلی در شرایط تنش خشکی

موسی ترابی گیگلو[1*]، رسول حیدرنژادگیگلو[2]، رسول آذرمی[1]، قباد سلیمی[3]، حسن ملکی‌لجایر[4]، امیرمحمد مختاری[5] و محسن باقریان[2]

۱- دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۲- دانشجوی دکتری، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۳- استادیار گروه کشاورزی، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران.

۴- استادیار گروه علوم گیاهی و گیاهان دارویی، دانشکده کشاورزی مشکین‌شهر، دانشگاه محقق اردبیلی، مشگین شهر، ایران.

۵- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه باغبانی و علوم بذر، دانشکده کشاورزی، علوم باغبانی و مهندسی زیستی، دانشگاه علوم زیستی، پوزنان ۶۰-۶۳۷، لهستان.

*نویسنده مسئول: mtorabi@uma.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۰۵ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۱۰)

چکیده

تنش خشکی مهم‌ترین عامل محدود کننده رشد و عملکرد گیاهان دارویی مانند نعناع است. استفاده از نانوذرات پوشش داده شده برای کنترل دقیق رهاسازی مواد مغذی می‌تواند گامی مؤثر در جهت دستیابی به کشاورزی پایدار و سازگار با محیط زیست باشد. به‌منظور ارزیابی تأثیر محرک رشد کیتوپلاس و نانواکسیدآهن (Fe_2O_3) با پوشش کیتوزان تحت شرایط تنش آبی، بر عملکرد، خصوصیات مورفولوژیکی و اجزای اسانس گیاه دارویی نعناع‌فلفلی آزمایشی به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و در شهرستان پارس‌آباد اجرا شد. تیمارهای مورد آزمایش شامل ۳ سطح تنش رطوبتی (آبیاری در تخلیه رطوبتی خاک به مقادیر۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای)، محرک رشدی کیتوپلاس در سه غلظت (۰، ۰/۵ و ۱ درصد) و نانواکسیدآهن با پوشش کیتوزان در سه غلظت (۰، ۵ و ۱۰ میکرومولار) بود. در طول اجرای آزمایش، محلول‌پاشی در سه مرحله با فاصله زمانی ۱۵ روز یک‌بار انجام شد و یک هفته بعد از آخرین محلول‌پاشی صفاتی مانند وزن تر و خشک کل بوته، قطر ساقه، تعداد گره و فاصله میان‌گره، ارتفاع، عرض و وزن خوشه گل، درصد اسانس و عملکرد اسانس مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر میزان وزن تر و خشک و خصوصیات موفولوژیکی گیاه نعناع‌فلفلی داشته است؛ به‌طوری‌که با افزایش تنش خشکی، طول خوشه گل و وزن خشک بوته در گیاهان به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. این درحالی بود که میزان ارتفاع سنبله در تنش‌های شدید خشکی تا ۲۷ درصد کاهش یافت. بیشترین میزان عملکرد اسانس در گیاهان تحت شرایط آبیاری در رطوبت ۹۰ درصد ظرفیت زراعی توأم با محلول‌پاشی محرک رشد طبیعی کیتوپلاس در غلظت ۱ درصد (۱/۰۵۶ میلی‌لیتر در ۳۰ گرم بافت خشک) مشاهده شد. نتایج حاصل نشان داد که محلول‌پاشی توأم محرک رشدی کیتوپلاس (در غلظت ۰/۵ درصد) و نانواکسیدآهن با پوشش کیتوزان (در غلظت ۱۰ میکرومولار) تأثیر بیشتری بر عملکرد کمی و کیفی نعناع‌فلفلی به‌ویژه در شرایط تنش خشکی داشته و تا حدی اثرات منفی تنش خشکی را جبران کرده است.

واژه‌های کلیدی: اسانس، تنش آبی، شاخص رشد، میان‌گره، نانوذرات.

استناد: ترابی گیگلو، م.، حیدرنژاد، ر.، آذرمی، ر.، سلیمی، ق.، ملکی، ح.، مختاری، ا. و باقریان، م. (۱۴۰۱). بررسی اثرات کیتوپلاس و نانواکسیدآهن با پوشش کیتوزان بر خصوصیات مورفو-فیزیولوژیکی نعناع فلفلی در شرایط تنش خشکی. *علوم سبزی ها*، ۶ (۲)، ۱۴۶-۱۳۵.

حق چاپ:

حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این مجله به‌صورت آزاد در وب سایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

انواع متنوع تنش‌های غیرزیستی شامل خشکسالی، شوری، غرقابی و سمیت یا کمبود مواد معدنی و فلزات است که رشد محصول و بهره‌وری را به حداقل می‌رساند. کاهش عملکرد محصول عمدتاً در اثر شوری، خشکسالی و فشارهای فلزات سنگین ایجاد می‌شود (Nahar *et al*., 2016; Singh *et al*., 2017). گیاهان در طول چرخه زندگی خود، برای مقابله با تنش‌ها از طریق مسیرهای مختلف فیزیولوژیکی ناگزیرند با انواع مختلفی از تنش‌های غیرزیستی روبرو شده و با تغییر در بیان ژن، فشارهای مختلف را کاهش و یا با آن‌ها سازگار گردند. آزمایشات نشان داده است که استفاده از نانوذرات با بهبود روند رشد و نمو گیاهان، به غلبه بر تنش‌های غیرزیستی کمک می کنند (Mishra & Singh, 2016; Ashkavand *et al*., 2015; Mishra *et al*., 2017).

درچند دهه اخیر مصرف نهاده‌های شیمیایی در زمین‌های زراعی موجب معضلات زیست محیطی عدیده‌ای از جمله آلودگی منابع آب، افت کیفیت محصولات کشاورزی و کاهش میزان حاصلخیزی خاک‌ها گردیده است. در همین راستا و باتوجه به اینکه کشاورزی پایدار بر پایه مصرف کودهای زیستی با هدف حذف یا تقلیل چشمگیر در مصرف نهاده‌های شیمیایی، یک راه‌حل مناسب برای تولید در سیستم‌های کشاورزی پایدار محسوب می‌شود و به‌نظر می‌رسد که در چنین شرایطی حداکثر رشد و عملکرد از آن‌ها حاصل می‌گردد (Gupta *et al*., 2005) و همچنین تولید مواد مؤثره در گیاهان دارویی تحت تأثیر ژنوتیپ و عوامل محیطی است. فناوری نانو به‌ویژه استفاده از نانوذرات اکسیدآهن باعث تحول در کشاورزی و تولید محصولات زراعی شده است. تقویت بهره‌وری در مصرف آب، کودهای کارآمد، علف کش‌ها و سموم دفع آفات، برخی از ابزارهای هوشمند نانوذرات‌اکسیدآهن در بخش کشاورزی هستند (Scott & Chen, 2012) که باعث رشد زیاد ریشه ها و شاخساره ها و اصلاح متابولیسم، از جمله فرایند فتوسنتزی گیاهان می‌شوند و در نتیجه باعث افزایش عملکرد نهایی در گیاه می‌شود.

کیتوپلاس حاوی ترکیبات کیتبنی می‌باشد که کیتین و کیتوزان ترکیب اصلی دیواره‌های سلولی برخی جانوران ازجمله خانواده خرچنگ مانند میگو، خرچنگ خاردار، حشرات، برخی پاتوژن‌های گیاهی و میکروارگانیسم‌ها را تشکیل می‌دهد و کاربردهای متعدد صنعتی، دارویی و کشاورزی برای آن گزارش شده است (Babel & Kurniawan, 2003). استفاده از کیتوزان به‌عنوان محرک زیستی کارآمد در افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه گیاهان زیادی گزارش شده است (Cheng *et al*., 2006). در مطالعه‌ای اثر پلیمرهای کیتوزان بر گیاه بادنجان بررسی شد که نتایج این تحقیق نشان داد محرک کیتوزان قادر است فعالیت آنزیم‌های گیاهی chitosanase و peroxidase را افزایش دهد (Mandal, 2010). در پژوهشی دیگر Torabi و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که تیمار با کیتوپلاس در غلظت $ml.l^{-1}$ ۱۰ تحت شرایط آبیاری در هر ۱۴ روز یکبار سبب افزایش میزان شاخص کلروفیل، وزن تر و خشک، تعداد گره و میان‌گره در گیاه نعناع شد.

نانوذرات فیزیولوژی گیاهان زراعی را با ایجاد تغییراتی در گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) و متابولیسم آنتی‌اکسیدان تنظیم و فتوسنتز گیاه را با تأثیر بر رنگدانه-ها، فتوسیستم‌ها و محتوای پروتئین برگ تغییر می‌دهند و بر روند فیزیولوژیکی گیاهان تأثیر می‌گذارند (Laware & Raskar, 2014; Tayyab *et al*., 2016). نانوذرات‌اکسیدآهن (Fe_2O_3) دارای سطح واکنش‌پذیری بالایی هستند. علاوه بر این، در مقایسه با بسیاری از فلزات دیگر نانو ذرات نانوذرات‌اکسیدآهن، ارزان‌تر و دارای سمیت کمتری هستند (Vasconcelos & Grusak, 2014). کاربرد نانو ذرات آهن سبب افزایش جوانه‌زنی بذرها، رشد و پارامترهای فیزیولوژیکی هندوانه شد (Li *et al*., 2013).

تنش خشکی نتیجه تغییرات آب و هوایی است که مانع از تولید محصول و توزیع یکنواخت آن در جهان می‌شود. از بین تکنیک‌های مختلفی که برای مقابله با آسیب‌های ناشی از خشکسالی در گیاهان به کار گرفته شده است، استفاده از نانوذرات امیدوارکننده است (Aghdam *et al*., 2016). آهن یک عنصر اساسی آنزیم‌های مختلف است و کمبود آن منجر به کلروز می‌شود (Bameri *et al*., 2013). همچنین فعالیت CAT، SOD و POD در

مقایسه با تیمارهای گیاهان شاهد افزایش یافت و در پارامترهای مختلف فیزیولوژیکی غلظت ۲۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات بهترین اثر را داشته و به کاهش تنش‌های غیرزیستی مختلف هندوانه کمک کرده است (Li *et al.*, 2013).

نعناع‌فلفلی (*Mentha piperita* L.) یکی از مهمترین گیاهان دارویی متعلق به خانواده Lamiaceae است که بومی مناطق معتدله به‌ویژه اروپا، امریکای شمالی و شمال آفریقا می‌باشد و امروزه در سراسر دنیا کشت می‌شود (Singh *et al.*, 2011). میزان اسانس سرشاخه این گیاه بین ۰/۱ تا ۲/۵ درصد، (باتوجه به شرایط متفاوت اقلیمی) و شامل ۴۲-۲۸ درصد منتول، ۲۸-۱۸ درصد منتون، ۶/۸ درصد منتوفوران و ۱۰-۳ درصد متیل‌استات است. منتول و منتون اصلی‌ترین جزء اسانس بوده و خواص ضدمیکروبی دارند که مقدار منتول معیار اصلی در تعیین کیفیت اسانس نعناع‌فلفلی محسوب می‌شود (Kumar *et al.*, 2004).

تا به حال کاربردهای متعددی از فناوری نانو در کشاورزی، صنایع غذایی و علوم دامی مطرح شده است. استفاده از نانواکسیدآهن با پوشش کیتوزان به‌عنوان ترکیب جدیدی از عناصر ریزمغذی آهن، شیوه جدیدی از تأمین عناصر مورد نیاز گیاه می‌باشد. مطالعات اندکی در مورد کاربرد نانواکسیدآهن با پوشش کیتوزان در کشاورزی انجام شده است که انجام تحقیقات در این زمینه را ضروری می‌کند. بنابراین با توجه به اهمیت اقتصادی و تقاضای روزافزون نعناع و کاربرد فراوان آن و مطالعات اندک در زمینه تأثیر کاربرد نانو بر این گیاه دارویی، در این پژوهش اثر نانو مواد (نانواکسیدآهن با پوشش کیتوزان) و محرک‌های رشد گیاهی صفات رنگیزه‌ای و عناصر معدنی برگ بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی اثرات نانواکسیدآهن با پوشش کیتوزان و محرک رشد طبیعی با نام تجاری کیتوپلاس، بر فیزیولوژی و عملکرد گیاه دارویی نعناع‌فلفلی تحت تنش آبی، آزمایشی در دانشگاه محقق اردبیلی و شهرستان پارس‌آباد مغان با طول و عرض جغرافیایی منطقه به ترتیب ۴۷ درجه و ۱۰ دقیقه عرض شرقی و ۳۹ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. تیمارهای آبیاری با سه سطح ۹۰، ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی به‌عنوان فاکتور اصلی و فاکتور فرعی به صورت فاکتوریل (فاکتور اول (A) نانواکسیدآهن با پوشش کیتوزان ۳ سطح (۰، ۵ و ۱۰ میکرومولار) و فاکتور دوم (B) محرک رشدی کیتوپلاس (ساخت شرکت کیمیا سبزوار، ایران) ۳ سطح (۰، ۰/۵ و ۱ درصد) انجام شد. محلول‌پاشی‌ها ۳ بار با فاصله ۱۵ روز تکرار شد. برای اعمال تنش خشکی ریزوم نعناع در گلدان‌های کوچک کاشته شد و به‌مدت ۲۰ روز در گلخانه نگهداری و سپس در مزرعه آزمایشی کاشته شد. تنش خشکی و محلول‌پاشی ۲۰ روز پس از انتقال بوته‌های نعناع‌فلفلی به مزرعه آغاز شد. برای اعمال تنش خشکی، رطوبت خاک در چند عمق با استفاده سنسورهای رطوبت سنج اندازه‌گیری شد. آبیاری در هر بلوک پس از رسیدن به حد مطلوب رطوبت خاک (۹۰، ۶۰ و ۳۰ درصد رطوبت خاک) با حجم مساوی (۴۰۰ لیتر) برای هر کرت به صورت جداگانه انجام شد و یک هفته بعد از آخرین محلول‌پاشی صفات قطر ساقه، تعداد گره، فاصله میان‌گره و بعد از برداشت کامل محصول نیز صفاتی مانند وزن خوشه گل، وزن تر و خشک کل بخش هوایی و درصد اسانس برای هر نمونه مورد ارزیابی قرار گرفت.

وزن تر و خشک کل بوته

پس از برداشت بوته‌های هر کرت، وزن تر هرکدام با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری شد. سپس بوته‌های هر کرت درون پاکت‌هایی به‌طور جداگانه در داخل آون در دمای ۷۸ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ تا ۴۸ ساعت خشک شد. توزین قسمت‌های خشک شده نیز با ترازویی با دقت ۰/۰۰۱ انجام گرفت.

ارتفاع، عرض و وزن خوشه گل

برای اندازه‌گیری ارتفاع و عرض خوشه گل در گیاهان نعناع‌فلفلی از کولیس دیجیتالی استفاده شد، وزن خوشه

گل نیز با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری گردید.

استخراج اسانس

برای اندازه‌گیری میزان اسانس، نمونه‌های تازه نعناع فلفلی را در شرایط سایه خشک به‌مدت دو هفته خشک نموده و در زمان اسانس‌گیری، مقدار ۳۰ گرم از هر نمونه خشک جدا و عمل استخراج اسانس به روش تقطیر با آب و با استفاده از دستگاه کلونجر به مدت ۳ ساعت و در شرایط کاملاً یکسان انجام گردید.

تجزیه آماری

در پایان تجزیه و تحلیل آماری داده‌های حاصل از این آزمایش با نرم‌افزار آماری SAS 9.1 و SPSS 21 و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

صفات رویشی

نتایج حاصل از مقایسه میانگین صفات نشان داد که با افزایش غلظت محلول‌پاشی محرک رشد کیتوپلاس و همچنین نانواکسیدآهن با پوشش کیتوزان، میزان قطر ساقه نیز افزایش یافت، به‌طوری‌که بیشترین میزان قطر ساقه (۴/۸۸ میلی‌متر) در گیاهان تحت تأثیر محرک رشدی کیتوپلاس در سطح ۱ درصد توأم با نانواکسیدآهن با پوشش کیتوزان در غلظت ۵ میکرومولار مشاهده شد (جدول ۱). با کاهش میزان آبیاری قطر و ارتفاع سنبله در گیاه دارویی نعناع‌فلفلی کاهش یافت. به‌طوری‌که کمترین و بیشترین میزان قطر و ارتفاع سنبله به ترتیب در گیاهان تحت تنش آبیاری در ۳۰ درصد و ۹۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد (جدول ۱). وزن سنبله با افزایش غلظت مواد محرک رشد طبیعی کیتوپلاس و نانواکسیدآهن با پوشش کیتوزان طی افزایش میزان آبیاری با افزایش همراه بود، به‌طوری‌که بیشترین میزان وزن سنبله گل (۳/۰۹ گرم) در گیاهان تحت تیمار توأم محلول‌پاشی محرک رشدی کیتوپلاس در غلظت ۱ درصد با نانواکسیدآهن در غلظت ۵ میکرومولار در شرایط آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با گیاهان تحت تیمار توأم محلول‌پاشی محرک رشدی کیتوپلاس در غلظت ۱ درصد با نانواکسیدآهن در غلظت ۱۰ میکرومولار در شرایط آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی نداشت (جدول ۲).

جدول ۱- اثر کیتوپلاس و نانواکسیدآهن با پوشش کیتوزان بر صفات رشدی گیاه نعناع‌فلفلی تحت شرایط تنش خشکی

Table 1- Effect of kitoplus and iron nanoxide with chitosan coating on growth traits of peppermint plant under drought stress

تیمارها Treatmens			قطر ساقه اصلی (میلی‌متر)	ارتفاع سنبله (میلی‌متر)	قطر سنبله (میلی‌متر)	وزن تر (گرم)	وزن خشک (گرم)
سطوح آبیاری Irrigation levels	کیتوپلاس(٪) Kitoplus (%)	نانو اکسید آهن (میکرومولار) Fe_2O_3 (µM)	Stem diameter (mm)	Spikelets height (mm)	Spikelets diameter (mm)	Fresh weight (gr)	Dry matter (gr)
90	-	-	-	61.13^{a}	12.91^{a}	-	-
60	-	-	-	49.67^{b}	10.56^{b}	-	-
30	-	-	-	45.57^{b}	9.62^{bc}	-	-
–	0	0	4.41^{e}	-	-	577.44^{d}± 257.21	161.77^{c}±68.5
–		5	4.38^{f}	-	-	524.31^{de}±319.4	146.55^{d}±78.37
–		10	4.11^{h}	-	-	747.66^{c}±136.7	214.77^{b}±45.24
–	0.5	0	4.45^{d}	-	-	882.22^{ab}±287.31	218.66^{b}±64.24
–		5	4.3^{g}	-	-	913.22^{a}±298.5	224.66^{ab}±69.17
–		10	4.66^{b}	-	-	850.66^{b}±207.75	230.88^{a}±43.76
–	1	0	4.52^{c}	-	-	757.88^{c}±253.02	201.01^{bc}±71.13
–		5	4.88^{a}	-	-	429.44^{e}±174.91	127.44^{e}±47.36
–		10	4.088^{i}	-	-	542.44^{de}±314.64	153.88^{de}±73.26

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

Same letters in each column indicate no significant difference between treatments based on Duncan's multiple range test at 5% level.

جدول ۲- تأثیر کیتوپلاس و نانواکسیدآهن با پوشش کیتوزان بر نسبت وزن خشک به تر و وزن سنبله در گیاه نعناع‌فلفلی تحت تنش خشکی

Table 2- The effect of kitoplus and iron nanoxide with chitosan coating on dry matter/fresh weight and spikelets weight in peppermint under drought stress

تیمارها Treatmens			وزن سنبله (گرم) Spikelets weight (gr)	نسبت وزن خشک به تر (٪) Dry matter/Fresh weight (%)
سطوح آبیاری Irrigation levels	کیتوپلاس (٪) Kitoplus (%)	نانو اکسید آهن (میکرومولار) Fe_2O_3 (µM)		
90	0	0	2.91^{bc} ±0.11	26.29^{gh}±2.32
		5	2.92^{bc}±0.198	27.13^{gh}±3.01
		10	2.68^{cd}±0.267	28.71^{ef}±1.19
	0.5	0	3.037^{ab}±0.076	26.87^{gh}±0.8
		5	2.89^{bc}±0.14	26.90^{gh}±0.98
		10	2.88^{bc}±0.177	28.15^{fg}±0.68
	1	0	2.95^{bc}±0.101	26.80^{gh}±0.94
		5	3.091^{a}±0.096	27.55^{gh}±2.52
		10	3.009^{ab}±0.12	27.18^{gh}±1.9
60	0	0	2.59^{cd}±0.13	24.08^{gh}±2.59
		5	2.71^{cd}±0.063	23.11^{h}±1.21
		10	2.57^{cd}±0.088	24.94^{gh}±0.47
	0.5	0	2.78^{bc}±0.24	25.72^{gh}±4.99
		5	2.61^{cd}±0.259	30.68^{de}±4.36
		10	2.92^{bc}±0.16	29.44^{ef}±1.68
	1	0	2.91^{bc}±0.257	25.31^{gh}±3.92
		5	2.79^{bc}±0.36	28.80^{ef}±2
		10	2.66^{cd}±0.37	26.13^{gh}±1.64
30	0	0	2.78^{bc}±0.23	25.41^{gh}±4.52
		5	2.59^{cd}±0.14	24.11^{gh}±0.59
		10	2.67^{cd}±0.045	28.78^{ef}±1.37
	0.5	0	2.63^{cd}±0.026	33.12^{bc}±3.89
		5	2.84^{bc}±0.10	31.35^{cd}±3.06
		10	2.98^{bc}±0.246	28.26^{fg}±0.52
	1	0	2.81^{bc}±0.161	26.98^{gh}±0.93
		5	2.32^{de}±0.532	33.8^{ab}±3.81
		10	2.01^{e}±0.45	36.08^{a}±2.58

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

Same letters in each column indicate no significant difference between treatments based on Duncan's multiple range test at 5% level.

وزن تر، خشک و نسبت وزن خشک به وزن تر

با افزایش غلظت محلول‌پاشی محرک رشدی کیتوپلاس همراه با تیمار نانو ذره آهن با پوشش کیتوزان، میزان وزن تر و خشک در گیاهان نعناع‌فلفلی تحت تنش کم آبی با افزایش همراه بود، به‌طوری که بیشترین میزان وزن‌تر (۹۱۳/۲۲ گرم) در گیاهان محلول‌پاشی شده با محرک رشدی در سطح ۱ درصد همراه با نانواکسیدآهن با پوشش کیتوزان در غلظت ۵ میکرومولار و بیشترین میزان وزن خشک کل بوته (۲۳۰/۸۸ گرم) در گیاهان تحت تیمار ۰/۵ درصد محرک رشدی همراه با غلظت ۱۰ میکرومولار نانواکسیدآهن با پوشش کیتوزان مشاهده شد (جدول ۱).

بررسی اثرات متقابل تیمارهای مورد استفاده بر نسبت وزن خشک به تر در گیاهان نعناع‌فلفلی نشان داد که با افزایش میزان آبیاری، افزایش غلظت محرک رشدی کیتوپلاس و به دنبال آن تا حدودی افزایش میزان غلظت نانواکسیدآهن با پوشش کیتوزان سبب تغییر و افزایش میزان این صفت می‌شود، این درحالی است که غلظت‌های بالای محلول‌پاشی محرک رشد و نانواکسیدآهن از کاهش شدید نسبت وزن خشک به تر در گیاهان تحت تیمار نسبت به گیاهان نعناع‌فلفلی فاقد

تیمار در شرایط آبیاری در ظرفیت رطوبت زراعی پایین‌تر شده است. با این توضیحات بیشترین میزان نسبت وزن خشک به تر (۳۶/۰۸ درصد) در گیاهان تیمار شده با محرک رشدی کیتوپلاس در غلظت ۱ درصد همراه با محلول‌پاشی نانواکسیدآهن در غلظت ۵میکرومولار تحت شرایط آبیاری در ۳۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد (جدول ۲).

بیشترین تعداد گره در گیاهان تحت تیمار ۱۰ میکرومولار در لیتر نانواکسیدآهن همراه با محلول‌پاشی کیتوپلاس در غلظت ۰/۵ درصد مشاهده شد (جدول ۳). در بررسی اثرات تیمارهای مورد استفاده بر میزان فاصله میان‌گره مشاهده شد که با افزایش میزان آبیاری و محلول‌پاشی محرک رشد طبیعی کیتوپلاس فاصله میان‌گره‌ها نیز در گیاهان نعناع‌فلفلی افزایش یافت به‌طوری‌که بیشترین میزان فاصله میان‌گره (۶۷/۶۵ میلی‌متر) در گیاهان تحت شرایط آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی همراه با محلول‌پاشی با کیتوپلاس در غلظت ۰/۵ درصد مشاهده شد (جدول ۳). همچنین با کاهش میزان آبیاری و افزایش محلول‌پاشی گیاهان نعناع‌فلفلی با نانواکسیدآهن با پوشش کیتوزان، میزان فاصله میان‌گره‌ها نیز با کاهش همراه بود به‌طوری‌که بیشترین فاصله میان‌گره (۶۲/۷۲ میلی‌متر) در گیاهان بدون محلول‌پاشی نانواکسیدآهن با پوشش کیتوزان تحت شرایط آبیاری در رطوبت ۹۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد (جدول۳).

جدول ۳- تأثیر کیتوپلاس و نانواکسیدآهن با پوشش کیتوزان بر برخی خصوصیات رشدی گیاه نعناع‌فلفلی تحت تنش خشکی
Table 3- The effect of kitoplus and iron nano-oxide on chitosan coating in peppermint under drought stress

تیمارها Treatmens			تعداد گره Number of nodes	فاصله میان‌گره (میلی‌متر) Distance of internodes (mm)
سطوح آبیاری Irrigation levels	کیتوپلاس (٪) Kitoplus (%)	نانو اکسید آهن (میکرومولار) Fe_2O_3 (µM)		
	0	–	–	$60.52^{c}\pm7.55$
90	0.5	–	–	$67.65^{a}\pm8.73$
	1	–	–	$62.37^{b}\pm6.73$
	0	–	–	$52.94^{d}\pm5.13$
60	0.5	–	–	$48.98^{f}\pm6.10$
	1	–	–	$50.034^{e}\pm7.68$
	0	–	–	$44.04^{h}\pm4.62$
30	0.5	–	–	$45.47^{g}\pm4.36$
	1	–	–	$39.45^{i}\pm4.23$
	–	0	–	$62.72^{a}\pm6.38$
90	–	5	–	$60.23^{c}\pm5.82$
	–	10	–	$6.44^{b}\pm6.30$
	–	0	–	$47.6^{f}\pm5.64$
60	–	5	–	$52.74^{d}\pm4.35$
	–	10	–	$48.66^{e}\pm4.68$
	–	0	–	$45.25^{h}\pm5.78$
30	–	5	–	$45.21^{g}\pm7.16$
	–	10	–	$46.25^{i}\pm9.43$
–		0	$10.72^{b}\pm1.063$	–
–	0	5	$10.75^{b}\pm0.75$	–
–		10	$10.22^{c}\pm3.30$	–
–		0	$10.23^{c}\pm0.99$	–
–	0.5	5	$10.77^{b}\pm1.04$	–
–		10	$11.05^{a}\pm0.87$	–
–		0	$10.66^{b}\pm1.11$	–
–	1	5	$9.99^{d}\pm1.15$	–
–		10	$10.53^{bc}\pm0.89$	–

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.
Same letters in each column indicate no significant difference between treatments based on Duncan's multiple range test at 5% level.

عملکرد و درصد اسانس

با کاهش میزان تنش‌آبیاری و همچنین افزایش غلظت محلول‌پاشی نانواکسیدآهن با پوشش کیتوزان، عملکرد اسانس افزایش یافت. همچنین افزایش در غلظت محلول‌پاشی نانوذره آهن از کاهش شدید میزان عملکرد اسانس در گیاهان نعناع‌فلفلی جلوگیری کرد؛ درحالی که کمترین میزان عملکرد اسانس در گیاهان فاقد تیمار نانواکسیدآهن با پوشش کیتوزان تحت شرایط آبیاری در ۳۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی مشاهده شد. همچنین بیشترین میزان عملکرد اسانس در گیاهان تیمار شده در غلظت ۵ میکرومولار نانواکسیدآهن تحت شرایط آبیاری در ۹۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی مشاهده شد (جدول ۴).

بررسی تأثیر محرک رشد طبیعی بر میزان عملکرد اسانس نشان داد که با افزایش میزان غلظت محرک رشد طبیعی و همچنین کاهش میزان تنش آبیاری میزان عملکرد اسانس با افزایش همراه بود. این درحالی بود که بیشترین میزان عملکرد اسانس به ترتیب در گیاهان تحت شرایط آبیاری در رطوبت ۹۰ درصد ظرفیت زراعی توأم با محلول‌پاشی محرک رشد طبیعی کیتوپلاس در غلظت ۱ درصد (۱/۰۵۶ میلی‌لیتر در ۳۰ گرم بافت خشک) و کمترین میزان آن در گیاهان فاقد تیمار محلول‌پاشی تیمار محرک رشد طبیعی کیتوپلاس تحت تنش آبیاری در ۳۰ درصد ظرفیت رطوبت زراعی مشاهده شد (جدول ۴).

نتایج مقایسه میانگین صفات نشان می‌دهد که در گیاهان نعناع‌فلفلی با افزایش غلظت محرک رشد طبیعی تحت شرایط رژیم‌های مختلف آبیاری درصد اسانس با افزایش همراه بود. همچنین محرک رشد طبیعی کیتوپلاس از کاهش شدید درصد اسانس در گیاهان نعناع‌فلفلی تحت تنش رژیم‌های مختلف آبیاری جلوگیری کرد. این درحالی بود بیشترین درصد اسانس در گیاهان تحت شرایط محلول‌پاشی محرک رشد طبیعی در غلظت ۱ درصد در شرایط ۹۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی مشاهده شد؛ این درحالی بود که این میزان در گیاهان تحت تیمار با کیتوپلاس ۰/۵ و ۱ درصد به ترتیب در شرایط آبیاری در ۳۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی، تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴).

بحث

رشد گیاهی توسط چند عامل مهم کنترل می‌شود که در این میان آب نقش حیاتی دارد. تنش خشکی یکی از شایع‌ترین و مخرب‌ترین تنش‌های غیرزنده می‌باشد که رشد گیاهان را در سراسر جهان و به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک محدود می‌کند و منجر به کاهش زیادی در عملکرد گیاهان می‌گردد (Garcia *et al.*, 2007). گیاهان همواره در معرض ترکیبی از تنش‌های محیطی شامل تنش خشکی، بارندگی زیاد، تغییرات دما و کمبود ماده غذایی قرار دارند. در شرایط تنش برخی از ترکیب‌های داخلی گیاه به میزان قابل توجهی کاهش یا افزایش پیدا می‌کند (Wang et al., 2011).

مطابق نتایج حاصل از پژوهش فوق روند کاهش تعداد گره و فاصله میان‌گره با روند کاهش ارتفاع ساقه و عملکرد در اثر تشدید کمبود آب هم‌سو می‌باشد. یکی از اولین نشانه‌های کمبود آب، کاهش تورژسانس و در نتیجه رشد و توسعه سلول خصوصاً در ساقه و برگ‌ها است؛ بنابراین بین کاهش اندازه سلول و میزان کاهش آب رابطه معنی‌داری در بافت‌های گیاهی وجود دارد. نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که با کاهش فشار تورژسانس در اثر کمبود آب و به دنبال آن کاهش فشار درون سلولی، رشد و نمو سلولی کاهش می‌یابد. از طرفی دیگر با کاهش رشد سلول اندازه اندام نیز محدود می‌شود و به همین دلیل است که اولین اثر محسوس کم آبی بر روی گیاهان را می‌توان از روی اندازه فاصله کمتر میان‌گره‌ها یا ارتفاع گیاهان تشخیص داد (Wang *et al.*, 2011). این تغییرات در رشد می‌تواند به‌عنوان سازگاری مورفولوژیکی گیاه به آب و تنش‌های محیطی برای کاهش تعرق و ایجاد مصرف کمتر آب مورد توجه قرار گیرد (Banon *et al.*, 2006).

جدول ۴- تأثیر کیتوپلاس و نانواکسیدآهن با پوشش کیتوزان در گیاه نعناع‌فلفلی تحت تنش خشکی
Table 4- The effect of kitoplus and iron nanoxide on chitosan coating on Essential Oils in peppermint under drought stress

تیمارها Treatmens			اسانس Essential oils (%)	عملکرد اسانس در ۳۰ گرم وزن خشک (گرم) Essential oil yield (gr)
سطوح آبیاری Irrigation levels	کیتوپلاس (٪) Kitoplus (%)	نانو اکسید آهن (میکرومولار) Fe_2O_3 (µM)		
	0	–	$3.311^{b}\pm0.416$	$0.963^{f}\pm0.147$
90	0.5	–	$3.28^{b}\pm0.411$	$0.986^{e}\pm0.125$
	1	–	$3.52^{a}\pm0.520$	$1.05^{a}\pm0.156$
	0	–	$3.388^{ab}\pm0.52$	$1.006^{b}\pm0.154$
60	0.5	–	$2.92^{cd}\pm0.61$	$0.876^{g}\pm0.184$
	1	–	$3.43^{a}\pm0.855$	$1.02^{d}\pm0.256$
	0	–	$2.28^{d}\pm0.901$	$0.685^{h}\pm0.270$
30	0.5	–	$3.50^{a}\pm 0.73$	$1.045^{b}\pm0.219$
	1	–	$3.07^{c}\pm0.24$	$0.876^{g}\pm0.122$
	–	0	–	$0.961^{cd}\pm0.09$
90	–	5	–	$1.08^{a}\pm0.15$
	–	10	–	$0.95^{cd}\pm0.145$
	–	0	–	$0.972^{c}\pm0.26$
60	–	5	–	$0.99^{bc}\pm0.131$
	–	10	–	$1.002^{b}\pm0.246$
	–	0	–	$0.808^{e}\pm0.244$
30	–	5	–	$0.903^{d}\pm0.265$
	–	10	–	$0.901^{fd}\pm0.274$

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.
Same letters in each column indicate no significant difference between treatments based on Duncan's multiple range test at 5% level.

به‌طورکلی، داده‌های نشان داده شده توسط پارامترهای رویشی، کاهش رشد رویشی شدید گیاهان به دلیل تنش کمبود آب را نشان می‌دهد. از سوی دیگر، استفاده از کود زیستی کیتوپلاس به صورت محلول‌پاشی، به‌ویژه در غلظت ۱ درصد در بیشتر موارد باعث افزایش قابل توجهی در عملکرد شد. گزارش شده است که معیارهای رشد رویشی از قبیل ارتفاع بوته، تعداد میان‌گره، فاصله میان‌گره در گیاه، وزن تر و خشک کل بوته، قطر ساقه و اندازه گل، با افزایش تنش خشکی کاهش یافته است. با توجه به این‌که تعداد شاخه‌ها در بوته به طور معنی‌داری تحت کمبود آب کاهش یافت، وزن خشک تازه و خشک گیاهان به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر تغییرات در رطوبت خاک قرار گرفت. وزن تر و خشک در تحت شرایط کم آبی کاهش می‌یابد. این امر می‌تواند منجر به کاهش محتوای کلروفیل و همچنین بازده فتوسنتز شود (Cavatte *et al.*, 2012)، همچنین ممکن است این کاهش به علت بسته‌شدن روزنه‌ها و مهار آنزیم روبیکسو باشد (Lawlor & Cornic, 2002).

Zong و همکاران (۲۰۱۷) نشان داده‌اند که گیاهان گندم تیمار شده با کیتوزان می‌توانند جذب نیتروژن را افزایش دهند. علاوه بر این، محرک رشدی کیتوپلاس به‌دلیل اینکه حاوی کیتوزان است ممکن است با تنظیم فشار اسمزی سلولی، دسترسی، جذب و انتقال مواد مغذی ضروری را افزایش دهد، در نتیجه با بهبود رشد و نمو گیاه، تعداد برگ‌ها، اندام‌های هوایی و سطح برگ را بهبود می‌بخشد که در بهبود رشد و نمو گیاه مؤثر است. (Farouk & Ramadan, 2012). همسو با نتایج حاصل از این پژوهش، Rahman و همکاران (۲۰۱۸)، نشان داده‌اند که تیمار کیتوزان به‌طور مثبت و قابل توجهی بر تولید زیست‌توده تازه و خشک در گیاهان توت فرنگی تأثیر گذاشته است.

با این حال، شرایط تنش کمبود آب سبب اختلال در کارایی فتوسنتزی گیاه شده است. کیتوپلاس ممکن است برخی ترکیبات آمینو اسید مورد نیاز برای رشد گیاهان را فراهم کند که منجر به افزایش کل نیتروژن در برگ‌ها و یا توانایی بالای گیاهان برای جذب نیتروژن

از خاک می‌شود، زیرا کیتوپلاس به‌دلیل دارا بودن کیتوزان ممکن است آنزیم‌های کلیدی را افزایش دهد و فعالیت متابولیسم نیتروژن و افزایش حمل و نقل و انتقال نیتروژن در برگ و ساقه شود (El-Tanahy *et al*., 2012). نتایج یک بررسی نشان داد که محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی مخلوطی از سولفات روی و نانواکسیدآهن منجر به تولید بیشتر ماده خشک نعناع در مقایسه با عدم محلول‌پاشی شد و درصد روغن اسانس برگ نعناع حدود ۰/۷۸ درصد در محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی افزایش نشان داد. به‌طوری‌که اسانس نعناع از ۱۳/۶۹ به ۲۱/۴ لیتر در هکتار افزایش یافت (Zehtab-Salmasi *et al*., 2008).

مطالعه نانوذرات مغناطیسی آهن با پوشش کربن توسط Gonzalez-Melendi و همکاران (۲۰۰۸)، پتانسیل قابل توجهی از نانوذرات، به‌ویژه برای مقابله با تنش‌ها را نشان داده است. استفاده از نانوذرات در کشاورزی یا سایر مواد پوشش داده شده با مواد قابل تجزیه مانند کیتوزان می‌توانند آسیب به سایر بافت‌های گیاهی و میزان مواد شیمیایی منتشر شده در محیط را کاهش دهند. Harsini و همکاران (۲۰۱۴) نشان داده‌اند که محلول‌پاشی کلات‌های نانوذرات‌آهن در گندم اثرات معنی‌داری بر شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه داشته است.

با توجه به اینکه با افزایش تنش خشکی عملکرد اسانس کاهش یافت و به کمترین مقدار خود رسید، طوری‌که کمترین مقدار عملکرد اسانس در بوته های گیاهان تحت تنش آبیاری در ۳۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی حاصل شد، این مسأله ناشی از این است که تنش خشکی یکی از مهم‌ترین علل از دست دادن محصول در سرتاسر جهان است و می‌تواند موجب کاهش عملکرد اسانس حتی تا ۵۰ درصد عملکرد گردد (Wang *et al*., 2011). کاهش عملکرد اسانس در نتیجه کاهش رطوبت خاک می‌تواند ناشی از اثر زیان‌بار تنش آبی بر رشد و توسعه پیکره رویشی گیاه باشد. از آن‌جا که عملکرد اسانس تابع درصد اسانس و عملکرد سرشاخه‌های گلدار گیاه می‌باشد و مهم‌ترین جزء عملکرد اسانس عملکرد پیکره رویشی گیاه بود، بنابراین، اگر چه در شرایط کم آبی درصد اسانس افزایش یافته است، ولی به دلیل کاهش محسوس عملکرد سرشاخه-های گلدار، عملکرد اسانس کاهش یافت (Turkan *et al*., 2005). افزایش عملکرد کمی و کیفی اسانس در گیاهان نعناع‌فلفلی تحت شرایط تنش آبیاری در روش تغذیه تلفیقی احتمالاً به علت اصلاح خواص فیزیکی و شیمیایی خاک و قابلیت دسترسی بیشتر عناصر کم‌مصرف و افزایش جذب آن‌ها توسط گیاه می‌باشد (Sharifi Rad *et al*., 2017). در نتیجه استفاده از ترکیب مناسب کودهای محرک رشد طبیعی کیتوپلاس و نانواکسیدآهن با پوشش کیتوزان و تغذیه مناسب گیا ، حجم اندام هوایی و در نهایت سطح برگ گیاه نیز افزایش نشان می‌دهد که بر اثر ازدیاد فتوسنتز و میزان عملکرد بیولوژیک از وضعیت مطلوبی برخوردار می‌گردد.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق می‌توان دریافت که محلول‌پاشی توأم محرک رشدی کیتوپلاس و نانواکسیدآهن با پوشش کیتوزان تأثیری مثبت بر عملکرد کمی و کیفی نعناع‌فلفلی بویژه در شرایط تنش خشکی داشته و تا حدی اثرات منفی تنش خشکی را جبران کرده است. به‌طورکلی می‌توان گفت افزایش عملکرد و درصد اسانس در گیاه نعناع‌فلفلی با دست‌ورزی تکنیک‌های زراعی امکان‌پذیر می‌باشد. کود زیستی کیتوپلاس به همراه نانواکسیدآهن با پوشش کیتوزان با کاهش تنش آبیاری در تخلیه رطوبتی ۶۰٪ خاک موجب افزایش درصد اسانس محتوای کلروفیل، قطر ساقه، فاصله میان‌گره نسبت به گیاهان شاهد و فاقد تیمار شد. کیتوپلاس با غلظت ۰/۵ درصد توانست تنش خشکی را بهتر تعدیل نماید و موجب بهبود رشد، عملکرد و درصد اسانس در گیاه نعناع‌فلفلی شود. همچنین در بررسی فلورسانس کلروفیل در گیاهان نعناع‌فلفلی تحت تنش در گیاهان تیمارشده با محرک رشد طبیعی کیتوپلاس همراه با نانواکسیدآهن با پوشش کیتوزان افزایش بیشتری نسبت به گیاهان شاهد داشت.

بنابراین، به‌نظر می‌رسد که در راستای نیل به اهداف کشاورزی پایدار استفاده از محرک رشدی کیتوپلاس (در غلظت ۰/۵ درصد) و همچنین نانواکسیدآهن با پوشش کیتوزان (در غلظت ۱۰ میکرومولار) به‌جای کودهای شیمیایی برای افزایش عملکرد اقتصادی و درصد اسانس در گیاهان دارویی قابل توصیه باشد

References.

- Aghdam, M.T.B., Mohammadi, H. & Ghorbanpour, M. (2016). Effects of nanoparticulate anatase titanium dioxide on physiological and biochemical performance of *Linum usitatissimum* (Linaceae) under well-watered and drought stress conditions. Braz. J. Bot. 39 (1), 139–146. In persian
- Babel, S. & Kurniawan, T.A. (2003). Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water: a review. *Journal of Hazardous Materials*. 97, 219-243.
- Bameri, M., Abdolshahi, R., Mohammadi-Nejad, G., Yousefi, K. & Tabatabaie, S.M. (2013). Effect of different microelement treatment on wheat (*Triticum aestivum*) growth and yield. Int. Res. J. Appl. *Basic Sci*. 3 (1), 219–223.
- Banon S. J., Ochoa J., Franco J. A., Alarcon J. J. & Sanchez-Blanco M. J. (2006). Hardening of coleander seedlings by deficit irrigation and low air humidity. Environ. Exp. Bot. 56, 36-43.
- Cavatte P. C, Rodiguez-L Opez N. F, Martins S. C, Mattos M. S, Sanglard L. M. & DaMatta F. M. (2012). Functional analysis of the relative growth rate, chemical composition, construction and maintenance costs and the payback time of *Coffea Arabica* L. leaves in response to light and water availability. J. Exp. Bot. 63, 3071-82.
- Cheng, X., Zhou, U. & Cui, X. (2006). Improvement of phenylethanoid glycosides biosynthesis in Cistanchede serticolacell suspension cultures by chitosan elicitor. *Biotechnology*. 121, 253- 260.
- El-Tanahy A. M. M., Mahmoud A. R, Abde-Mouty M. M. & Ali A. H. (2012). Effect of chitosan doses and nitrogen sources on the growth, yield and seed quality of cowpea. Aus. J. Basic. *Appl. Sci*. 6 (4), 115-121.
- Farouk S. & Ramadan A. (2012). Improving growth and yield of cowpea by foliar application of chitosan under water stress. *Egypt. J. Biology*. 14, 14- 26.
- Garcia A. C., Santos L. A., Izquierdo F. G., Rumjanek V. M., Castro dos Santos F. S., de Souza L. G. A., Germ M., Kreft I., Stibilj V. & Urbanc-Berčič O. (2007). Combined effects of selenium and drought on photosynthesis and mitochondrial respiration in potato. *Plant Physiol Biochem*. 45, 162–167.
- Gonzalez-Melendi, P., Fernandez-Pacheco, R., Coronado, M.J., Corredor, E., Testillano, P.S., Risueno, M.C., Marquina, C., Ibarra, M.R., Rubiales, D. & Perezde- Luque, A. (2008). Nanoparticles as smart treatment-delivery systems in plants: assessment of different techniques of microscopy for their visualization in plant tissues. *Annals. Bot*. 101 (1), 187–195.
- Gornik K., Grzesik M. & Duda B. R. (2008). The effect of chitosan on rooting of gravevine cuttings and on subsequent plant growth under drought and temperature stress. J. Fruit Ornam. *Plant Res*. 16, 333-43.
- Gupta, A.K. & Gupta, M. (2005). Synthesis and surface engineering of iron oxide nanoparticles for biomedical applications. Biomaterials 26, 3995–4021.
- Harsini, M.G., Habibib, H. & Talaei, G.H. (2014). Study the effects of iron nano chelated fertilizers foliar application on yield and yield components of new line of wheat cold region of Kermanshah Provence. Agri. Adv. 3 (4), 95-102.
- Kumar A., Samarth R. M. & Yasmeen S. (2004). Anticancer and radioprotective potentials *of Mentha piperita* L. BioFactors; 22 (1-4), 87- 91.
- Laware, S.L. & Raskar, S. (2014). Effect of titanium dioxide nanoparticles on hydrolytic and antioxidant enzymes during seed germination in onion. Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci. 3 (7), 749e760.

- Lawlor D. W. & Cornic, G. (2002). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant Cell Environ*. 25, 275-94.
- Li, G., Gao, S., Zhang, G. & Zhang, X. (2014). Enhanced adsorption of phosphate from aqueous solution by nanostructured iron (III) copper (II) binary oxides. Chem. *Eng. J*. 235, 124–131.
- Mandal, S. (2010). Induction of phenolics, lignin and key defense enzymes in eggplant (*Solanum melongena* L.) roots in response to elicitors. *Biotechnology*, 9, 8038-8047.
- Mishra, S., Keswani, C., Abhilash, P.C., Fraceto, L.F. & Singh, H.B. (2017). Integrated Approach of Agrinanotechnology: Challenges and Future Trends. Front. *Plant Sci*. 8, 471.
- Mishra, S., & Singh, H.B. (2016). Preparation of biomediated metal nanoparticles. *Indian Patent Filed*. 32:48.
- Nahar, K., Hasanuzzaman, M., Rahman, A., Alam, M.M., Mahmud, J.A., Suzuki, T. & Fujita, M. (2016). Polyamines Confer Salt Tolerance in Mung Bean (*Vigna radiata* L.) by Reducing Sodium Uptake, Improving Nutrient Homeostasis, Antioxidant Defense, and Methylglyoxal Detoxification Systems. *Frontiers in Plant Science*. 7, 1104.
- Rahman, M., Mukta, J.A., Sabir, A.A., Gupta, D.R., Mohi-Ud-Din, M. & Hasanuzzaman, M. (2018). Chitosan biopolymer promotes yield and stimulates accumulation of antioxidants in strawberry fruit. *PLoS One*. 13(9), e0203769.
- Scott, N. & Chen, H. (2012) Nanoscale science and engineering for agriculture and food systems. Ind. *Biotechnol*. 8 (6), 340–343.
- Sharifi Rad, M.R. Loizzo, M. Oluwaseun, Ademiluyi, A. Sharifi Rad, R. Ayatollahi, SAM. & Iriti, M. (2017). Biological Activities of Essential Oils: From Plant Chemoecology to Traditional Healing Systems. *Molecules*. 22(1), 70.
- Singh R, Shushni A.M. & Belkheir A. (2011). Antibacterial and antioxidant activities of *Mentha piperita* L. *Arabian J. Chem*. 1, 1 - 5.
- Singh, S., Tripathi, D.K., Singh, S., Sharma, S., Dubey, N.K., Chauhan, D.K. & Vaculı´k, M. (2017). Toxicity of aluminium on various levels of plant cells and organism: a review. *Environ. Exp. Bot*. 137, 177e193.
- Tayyab, Q.M., Almas, M.H., Jilani, G. & Razzaq, A. (2016). Nanoparticles and plant growth dynamics: a review. *J. Appl. Agric. Biotechnol*. 1 (2), 14e22. In Persian.
- Torabi Giglou, M., Heydarnajad Giglou, R., Esmaeilpour, B. & Azarmi, R. (2020). Effect of Different Concentrations of Kitoplas Growth Stimulator on Morphological Characteristics and Essential Oil in Peppermint Plant under low Irrigation stress. *J. Agri. Sci. and Sustainable Production*. 30(3), 169-184. In Persian.
- Turkan I., Bor M., Ozdemir F. & Koca H. (2005). Differential responses of lipid peroxidation and antioxidant in the leaves of drought– sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyetylen glycol mediated water stress. *Plant Science*. 168, 223-231.
- Vasconcelos, M.W. & Grusak, M.A. (2014). Morpho-physiological parameters affecting iron deficiency chlorosis in soybean (*Glycine max* L.). *Plant Soil*. 374 (1–2), 161–172.
- Wang Y., Ma F., Li M., Liang D. & Zou J. (2011). Physiological responses of kiwifruit plants to exogenous ABA under drought conditions. *Plant Growth Regulation*. 64, 63-74.
- Zehtab-Salmasi S., Heidari F. & Alyari H. (2008). Effect of microelements and plant density on biomass and essential oil production of peppermint (*Mentha piperment* L.). *Plant Science Research*. 1, 24-28.
- Zong, H., Liu, S., Xing, R., Chen, X. & Li, P. (2017). Protective effect of chitosan on photosynthesis and antioxidative defense system in edible rape (*Brassica rapa* L.) in the presence of cadmium. *Ecotoxicol. Environ. Saf*. 138, 271–278.