



The morphophysiological response of *Digitalis purpurea* L. to drought stress and foliar application with zinc nano-chelate and zinc sulfate

Meitham Mansouri¹, Ismail Chamani^{2*}, Yonus Pourbirami-hir²,
Yahya Selahvarzi³

¹ Department of Horticultural Sciences and Green Space Engineering, Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, Email: mansoori.1388@gmail.com,

² Department of Horticultural Sciences and Green Space Engineering, Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, Email: echamani@uma.ac.ir

³ Department of Horticultural Sciences and Green Space Engineering, Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, Email: Younes_ph62@yahoo.com

⁴ Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, Email: selahvarzi@gmail.com

Article type:

Abstract

Research article

Article history

Received: 23.11.2024

Revised: 04.03.2025

Accepted: 09.03.2025

Published: 23.09.2025

Keywords

Drought stress

Flower

Fertilization

Nano

Photosynthetic

pigment

Due to the significance of drought stress and the impact of zinc on the growth characteristics and yield of *Digitalis purpurea*, a factorial experiment was conducted at Ferdowsi University of Mashhad in 2019. This study utilized a randomized complete block design with 10 replications to assess the effects on *D. purpurea* L. Drought stress test treatments were carried out at two levels of 50 and 100 percent of field capacity and type of zinc fertilizer (at 7 levels of 0, 0.5, 1, and 2 g/L of zinc nano-chelate and 0, 0.5, 1, and 2 g/L of zinc sulfate) as foliar sprays starting at the 5-leaf stage and repeated every 15 days, in three doses. The results indicated that applying a foliar spray of 2 mg/L zinc nano fertilizer, without any stress conditions (FC 100%), led to the highest measurements in several growth parameters of *Digitalis purpurea*. These measurements included leaf area (1300 mm²), plant height (24 cm), number of leaves (110), rosette stem diameter (48 mm), flowering stem diameter (79.5 mm), crown diameter (30 mm), and corolla diameter (125 mm). Applying 50% FC stress without fertilizer resulted in the highest levels of carotenoids (3.8 µg/mg wet weight), phenols (6 µg/mg wet weight), and antioxidants (55%). The application of 2 mg/L of zinc nano fertilizer effectively prevented increases in the levels of carotenoids, phenols, and antioxidants. Meanwhile, the highest concentrations observed were for chlorophyll a (10.8 µg/mg wet weight), chlorophyll b (5.5 µg/mg wet weight), total chlorophyll (15.5 µg/mg wet weight), and total pigments (15.68 µg/mg wet weight), which were found in the 100% field capacity treatment along with the application of 2 mg/L of zinc nano chelate. In arid and semi-arid regions, applying 2 mg/liter of zinc nano fertilizer can enhance the quality of *D. purpurea*.

Cite this article as: Mansouri, M., Chamani, I., Pourbirami-hir, Y., Selahvarzi, Y. (2025). The morphophysiological response of *Digitalis purpurea* L. to drought stress and foliar application with zinc nano-chelate and zinc sulfate. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 79: 30-51.



©The author(s)

Publisher: Islamic Azad University, Gorgan branch



<https://doi.org/10.71890/IPER.2025.1191363>

پاسخ مورفوفیزیولوژیک گل انگشتانه (*Diggitalis purpurea* L.) به تنش خشکی و محلول پاشی نانو کلات روی و سولفات روی

میثم منصوری^۱، اسماعیل چمنی^{۲*}، یونس پوربیرامی هیر^۳، یحیی سلاح ورزی^۴

^۱ گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، رایانامه: mansoori.1388@gmail.com

^۲ گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، رایانامه: echamani@uma.ac.ir

^۳ گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، رایانامه: Younes_ph62@yahoo.com

^۴ گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران، رایانامه: selahvarzi@gmail.com

نوع مقاله:	چکیده
مقاله پژوهشی	با توجه به اهمیت تاثیر تنش خشکی و نقش عنصر روی بر خصوصیات رشدی و عملکرد گل انگشتانه، آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک های کامل تصادفی در ۱۰ تکرار در دانشگاه فردوسی مشهد طی سال ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ روی گیاه گل انگشتانه (<i>Diggitalis purpurea</i> L.) انجام شد. تیمارهای آزمایش تنش خشکی در دو سطح ۵۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و نوع کود روی (در ۷ سطح ۰/۵، ۱ و ۲ گرم در لیتر نانو کلات روی و ۰/۵، ۱ و ۲ گرم در لیتر سولفات روی همراه شاهد) به صورت محلول پاشی در مرحله ۵ برگ شروع و هر ۱۵ روز یکبار، در سه نوبت تکرار شد. نتایج نشان داد محلول پاشی با میزان ۲ میلی گرم بر لیتر نانوکود روی و عدم کاربرد تنش خشکی باعث ایجاد بیشترین مقادیر سطح برگ (۱۳۰۰ میلی متر مربع)، ارتفاع (۲۴ سانتی متر) و تعداد برگ (۱۱۰ عدد)، قطر ساقه رزت (۴۸ میلی متر) و گلدهنده (۵/۷۹ میلی متر)، قطر تاج پوششی (۳۰ میلی متر) و قطر تاج گل (۱۲۵ میلی متر) انگشتانه شد. در حالیکه که با اعمال تنش ۵۰٪ FC و عدم کاربرد کود بالاترین میزان کارتنوئید (۳/۸ میکروگرم بر میلی گرم وزن تر)، فنل (۶ میکروگرم بر میلی گرم وزن تر) و آنتی اکسیدانت (۵۵٪) به دست آمد. با این وجود کاربرد ۲ میلی گرم بر لیتر نانوکود روی توانست از افزایش میزان کارتنوئید، فنل و آنتی اکسیدانت ممانعت کند و بالاترین میزان کلروفیل a (۱۰/۸ میکروگرم بر میلی گرم وزن تر)، کلروفیل b (۵/۵ میکروگرم بر میلی گرم وزن تر)، کلروفیل کل (۱۵/۵ میکروگرم بر میلی گرم وزن تر) و رنگدانه کل (۱۵/۶۸ میکروگرم بر میلی گرم وزن تر) در تیمار FC ۱۰۰٪ و کاربرد ۲ میلی گرم بر لیتر نانو کلات روی مشهود بود. در مناطق خشک و نیمه خشک با کاربرد تغذیه تکمیلی ۲ میلی گرم بر لیتر نانوکود روی می توان کیفیت مطلوبی از <i>Diggitalis purpurea</i> L. انتظار داشت.
واژه های کلیدی:	تنش خشکی گل کوددهی نانو رنگیزه فتوسنتزی

استاد: منصوری، میثم؛ چمنی، اسماعیل؛ پوربیرامی هیر، یونس؛ سلاح ورزی، یحیی. (۱۴۰۴). پاسخ مورفوفیزیولوژیک گل انگشتانه (*Diggitalis purpurea* L.) به تنش خشکی و محلول پاشی نانو کلات روی و سولفات روی. فیزیولوژی محیطی گیاهی، ۷۹: ۵۱-۳۰.



<https://doi.org/10.71890/IPER.2025.1191363>

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرمان

© نویسندگان.



مقدمه

گل انگشتانه، یک گیاه زینتی مهم و متعلق به جنس *Digitalis* از تیره گل میمون (Scrophulariaceae) می باشد (Verma et al., 2018). این گیاه بومی اروپا و شمال غربی آفریقا و آسیای مرکزی است. جنس *Digitalis* حدود ۲۲ گونه یکساله، دوساله و چند ساله دارد که همگی مقاوم به سرما هستند و اغلب به صورت دوساله کشت و کار می شوند. برگ های این گیاه حاوی ماده قلیایی است به نام دیجیتالین که در درمان بیماری های قلبی مورد استفاده قرار می گیرد (Rana et al., 2022).

خشکی به عنوان اصلی ترین عامل محدود کننده ی غیر زنده رشد و عملکرد گیاهان محسوب می شود. تنش خشکی در مراحل مختلف زندگی گیاه، به ویژه مراحل گلدهی و دانه بندی عملکرد را محدود می کند. تاثیرات کمبود آب در عملکرد و تغییرات مواد موثره گیاهان دارویی دارای ویژگی های به خصوصی است که بایستی کاملاً بررسی شود. تحمل تنش در اغلب گیاهان دیده می شود اما در گونه های مختلف متفاوت است و علاوه بر ژنوتیپ گیاه به شدت و طول مدت تنش و نیز توانایی گیاه در ترمیم، اصلاح و بهبود برای تنظیم عملکرد آنها وابسته است (Tavossi et al., 2024)، لذا انتخاب گونه های مناسب و سازگار در این راستا بسیارحائز اهمیت است. گیاهان واکنش های متفاوتی نسبت به تنش کم آبی در عملکردشان دارند. در سال های اخیر تحقیقات فراوانی در مورد اثر تنش خشکی بر متابولیسم و عملکرد گیاهان انجام شده است. با وجود مطالعات فراوان در گیاهان زراعی مطالعات روی پاسخ گیاهان زینتی به تنش خشکی محدود است. از جمله تحقیقات انجام شده در این زمینه می توان به بررسی انجام شده بر گیاه اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia*) (Gorgini et al., 2022)، اطلسی (*Petunia* × *Shabankare*) (Shabankare et al., 2022).

(*atkinsiana*)، کوکب کوهی (*Rudbeckia hirta*)، رعنا زیبا (*Gaillardia aristata*) و جعفری فرانسوی (*Tagetes patula*) (Hayati et al., 2019)، گل آهار (*Zinnia elegans*) (Keshavarz Fard et al., 2019)، سلوی زینتی (*Salvia splendens*) (Biranvand et al., 2023) و گل ابری (*Agreatum houstonisum*)، آهار (*Zinnia elegans*)، پروانش (*Catharanthus roseus*) (Zargarian, 2015)، گیاه رز (*Rosa hybrida*) (Abdel-Salam et al., 2018)، گل انگشتانه (*Digitalis purpurea*. L) (Fakhri Abboud and Mohammad Saeed, 2023) و گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) (Manveliana et al., 2021) اشاره کرد. امروزه راهکارهای مختلف در جهت بهبود عملکرد گیاه در شرایط تنش خشکی پیشنهاد می شود. تغذیه مطلوب گیاهی یکی از روش های مؤثر بر تواناسازی گیاهان در مقابله با شرایط خشکی معرفی شده است (Ghorbani, 2023). عنصر روی تنها عنصری است که نقش فعال کننده و کوفاکتور در هر ۶ گروه آنزیمی را دارد. روی برای تولید کلروفیل، ساخت اکسین و انجام گرده افشانی ضروری می باشد. باید مد نظر قرار دارد که کمبود این عنصر در خاک های ایران به علل متعدد از قبیل خاک های شور، آهکی، اسیدی، خاک های شنی و خاک های حاوی ماده آلی پایین و عدم رواج مصرف کودهای روی مشهود است (Moghimipour et al., 2014). بنابراین به کارگیری کودهای حاوی عنصر روی در کشاورزی ایران ضروری به نظر می رسد. محلول پاشی سولفات روی بر میزان عملکرد دانه، روغن و اجزای عملکرد دانه و همچنین میزان عناصر روی و فسفر دانه و کلروفیل برگ ارقام گلرنگ تأثیرگذار بود (Moradi et al., 2015).

از طرفی با توجه به کمبود منابع طبیعی و نیاز بالای جامعه به کاهش مصرف کودهای شیمیایی،

جهت دستیابی به بالاترین عملکرد در صنعت گل و گیاهان زینتی و دارویی، به کارگیری فناوری‌های نوین از جمله نانو تکنولوژی، ضروری به نظر می‌رسد. نانو تکنولوژی از طریق افزایش تعداد ذرات در هر واحد وزنی و افزایش سطح ویژه آنها و کاهش اندازه ذرات به افزایش تماس کود با گیاه و به تبع آن افزایش جذب عناصر غذایی ضروری از کود و افزایش کارایی کود کمک می‌کند (Moghimi et al., 2014). همچنین نانوکودهای کندرها به صورت فیزیکی و از طریق پوشش‌دار کردن ذرات کودهای شیمیایی محلول توسط موادی که موجب کاهش سرعت انحلال آنها در آب می‌شوند، تهیه می‌گردند و سبب افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی در گیاهان می‌شوند. این ترکیبات، به صورت مداوم عناصر غذایی را رها کرده و جذب و انتقال آنها از طریق برگ را نیز تسهیل می‌نمایند و از این طریق میزان سمیت ایجاد شده توسط کودهای شیمیایی را کاهش می‌دهند (Kazemi and Rabbani Khairkhah, 2022). از این رو استفاده از نانوکودها را عنوان یکی از ساده‌ترین و مؤثرترین روش‌ها در جهت کاهش تلفات عناصر ضروری گیاه و افزایش دسترسی به عناصر و افزایش کارایی کودها است (Suppan, 2013). Nikbakht و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی اثر تغذیه برگی عنصر روی از منابع نانوکودها و کودهای شیمیایی بر ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه دارویی هندوانه ابوجهل پرداختند و نتایج نشان داد. تغذیه برگی روی منجر به افزایش غلظت عنصر روی در برگ شد، در حالیکه تأثیری بر غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم نداشت. در مجموع کاربرد نانو کلات روی نسبت به سولفات روی تأثیر بیشتری بر میزان عملکرد، تعداد میوه در هر بوته و مقدار فنل دانه داشت. به کارگیری کود نانو روی در پرورش گیاه بنفشه آفریقایی نشان داد بیشترین ارتفاع گیاه، طول و

قطر ساقه گل‌دهنده، همچنین بیشترین تعداد برگ، تعداد ساقه گل‌دهنده و تعداد گلچه و بیشترین مقدار آهن در گیاهان تیمار شده با دو گرم در لیتر نانوکلات روی ۲۱ درصد همراه با ترکیب یک گرم نانوکلات روی و آهن به دست آمد (Kaviani et al., 2021). با توجه به اینکه یکی از شایع‌ترین اختلالات تغذیه‌ای در گیاهان و خاک‌های مناطق مختلف جهان کمبود عنصر روی می‌باشد و کمبود روی در مراحل اولیه رشد، سبب تأخیر در رشد اولیه گیاه شده و سبب افزایش حساسیت گیاه به تنش خشکی می‌شود (Harris et al., 2007). بر اساس مرور منابع و بیانات گفته شده، با توجه به اهمیت تأثیر تنش خشکی و نقش عنصر روی بر خصوصیات رشدی و عملکرد گل انگشتانه و جایگاه گل انگشتانه در فضای سبز و گلکاری، لزوم پژوهش در این زمینه ضروری به نظر می‌رسد. به همین منظور آزمایش حاضر به بررسی تغییرات صفات مورفولوژیک (تعداد برگ، سطح برگ، ارتفاع گیاه، قطر ساقه رزت و گل‌دهنده، قطر تاج پوششی و قطر تاج گل) و صفات فیزیولوژیک (کلروفیل، کارتنوئید، فنل و آنتی اکسیدان، گیاه گل انگشتانه تحت تأثیر تنش خشکی و انواع کود نانو و غیر نانو روی می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

طرح آزمایشی: این آزمایش، طی سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۰ به منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی و دو نوع کود روی و سطوح مختلف آن بر رشد و عملکرد گونه پوششی *Digitalis purpurea*، به عنوان یکی از گونه‌های گلدار مورد استفاده در فضاهای سبز شهری انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۰ تکرار در گلخانه انجام شد.

گلدان‌های ۷ کیلویی حاوی خاک با نسبت (۱ قسمت ماسه، یک قسمت خاک، یک قسمت پیت ماس) کاشته شد و نمونه خاک جهت تعیین بافت خاک و عناصر به آزمایشگاه داده شد و در جدول ۱ ارائه گردید. گلدان‌ها از نظر وزن یکسان شده تا جهت انجام تیمارهای آبیاری کاملاً یکنواخت باشند.

آماده سازی بذور و کاشت: پس از تهیه بذر گل انگشتانه F1 (درصد خلوص: ۹۹٪، درصد جوانه زنی: ۸۵٪ و وزن هزاردانه: ۰/۱۲ گرم) از شرکت پاکان بذر اصفهان، بذور در سینی‌های کشت حاوی کوکوپیت و پرلیت به منظور تولید نشا کشت شدند و بعد از اینکه گیاهچه‌های مورد نظر در مرحله چهار برگی رسیدند در

جدول ۱: برخی از خواص فیزیکی و شیمیایی بسترکشت مورد مطالعه

بافت	نیترژن کل (%)	پتاسیم (mg/kg)	فسفر (mg/kg)	CaCO ₃ (%)	کربن آلی (%)	EC (ds/m)	pH
متوسط لوم	۰/۱۴۲	۲۹۳	۱۲	۱۰/۲۲	۱/۴۲	۱/۵۵	۶/۲۵

رسانده، ۰/۵ میلی‌لیتر از مخلوط حاصله را برداشته و با ۴/۵ میلی‌لیتر متانول مخلوط گشت، سپس به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفوژ با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه انجام شد (Arnon, 1940). پس از آن محلول شناور را برداشته و با استفاده از اسپکتروفتومتر میزان جذب نور در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۵۳، ۶۶۶ نانومتر قرائت شد، نهایتاً غلظت کلروفیل از رابطه زیر بدست آمد.

$$\begin{aligned} \text{Chl a } (\mu\text{g/ml}) &= (15/65 \times A_{666}) - (7/34 \times A_{653}) \\ \text{Chl b } (\mu\text{g/ml}) &= (27/05 \times A_{653}) - (11/21 \times A_{666}) \\ \text{Carotenoid } (\mu\text{g/ml}) &= (1000 \times A_{470}) - (2/860 \times \text{Chl a}) - (129/2 \times \text{Chl b}) / 245 \\ \text{Chl c } (\mu\text{g/ml}) &= \text{Chl a} + \text{Chl b} \end{aligned}$$

در این روابط: A جذب نور در طول موج‌های مورد نظر است. مجموع کلروفیل کل و کارتنوئید گیاه به عنوان رنگدانه کل گیاه ثبت گردید.

جهت تهیه عصاره به منظور بررسی میزان فنل برگ از نمونه‌های برگ آسیاب شده مقدار ۵۰۰ میلی‌گرم وزن شد و با ۵ میلی‌لیتر متانول استخراج عصاره صورت گرفت. جهت اندازه‌گیری ترکیبات فنلی از روش فولین سیکالتو استفاده شد (Slinkard and Singleton, 1977). ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره تهیه شده با ۲۰۰ میکرولیتر فولین ۴۰ درصد مخلوط و ۲۰۰۰ میکرولیتر آب مقطر به محلول فوق اضافه شد.

عامل اول تنش خشکی ۵۰ و ۱۰۰ درصد FC و عامل دوم نوع کود روی (نانو کلات روی و سولفات روی، که نانو کلات روی در ۴ سطح ۰، ۱۰/۵ و ۲ گرم در لیتر و سولفات روی در ۴ سطح ۰، ۱۰/۵ و ۲ گرم در لیتر) به صورت محلول‌پاشی در مرحله ۵ برگی شروع و هر ۱۵ روز یکبار، در سه نوبت تکرار می‌گردد. در پایان آزمایش از هر تیمار نمونه برداری صورت گرفت و صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک مورد نظر بررسی گردید.

بررسی صفات مورفولوژیک: پس از شمارش تعداد برگ هر بوته تعداد ۳ برگ از هر بوته جدا شده و سطح برگ توسط دستگاه سطح برگ سنج مدل Conveyor belt unit بررسی و میانگین سطح برگ ثبت گردید (Kazemi et al., 2025). فاصله بین سطح زمین تا انتهای خوشه در ساقه اصلی نیز به عنوان ارتفاع گیاه اندازه‌گیری شد. همچنین قطر ساقه رزت و گلدهنده، قطر تاج پوششی و قطر تاج گل توسط کولیس بررسی و ثبت گردید.

بررسی صفات فیزیولوژیک: به منظور محاسبه میزان کلروفیل، ۰/۲۵ گرم برگ تازه را خرد کرده با ۵ میلی‌لیتر آب مقطر در هاون سائیده و سپس مخلوط حاصل را در یک بالن ژوژه با آب مقطر به حجم

درصد مهار رادیکال آزاد (DPPH)

$$= \frac{(A_c - A_s)}{A_c} \times 100$$

آنالیز آماری

به منظور تجزیه و تحلیل آماری از نرم افزار JMP8 استفاده شد. مقایسه میانگین داده‌ها، با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال ۵٪، و نمودارها با نرم‌افزار اکسل ترسیم شدند.

نتایج

مطابق جدول تجزیه واریانس در تمامی صفات مورفولوژیک اثرات ساده تنش خشکی و نوع کود در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی‌دار نشان دادند. در مورد اثرات متقابل تنش خشکی و نوع کود نیز تمامی صفات مورفولوژیک در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی‌دار نشان دادند (جدول ۲).

پس از ۳ دقیقه ۱۰۰۰ میکرولیتر کربنات سدیم ۲۰٪ به محلول اضافه و پس از کمی هم زدن نمونه‌ها یک ساعت در شرایط اتاق نگه‌داری شد. پس از جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر برای رسم منحنی استاندارد از غلظت‌های مختلف اسید گالیگ استفاده شد.

فعالیت آنتی‌اکسیدان از روش آزمون DPPH بررسی گردید. برای این منظر ابتدا عصاره متانولی ۱ به ۱۰ رقیق گردید. پس از آن با هدف غیر فعال کردن رادیکال‌های آزاد به هر نمونه ۴ میلی‌لیتر DPPH اضافه گردید. نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار داده شد و پس از آن جذب نمونه‌ها (As) و نمونه شاهد (Ac) با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۷ نانومتر ثبت گردید. سپس درصد مهارکنندگی رادیکال آزاد DPPH به صورت ذیل محاسبه شد (Moon and Terao, 1998).

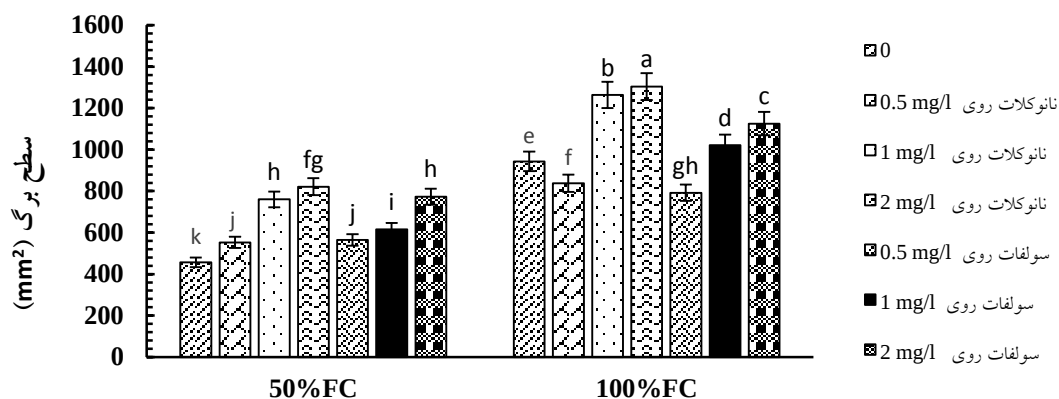
جدول ۲: میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف تنش خشکی و نوع کود بر روی برخی از صفات مورفولوژیک گیاه گل انگشتانه

منابع تغییرات	درجه آزادی	سطح برگ	تعداد برگ	ارتفاع بوته	قطر ساقه رزت گیاه	قطر ساقه گل‌دهنده	قطر تاج پوششی	قطر تاج گل
بلوک	۹	۳۰۷ ^{ns}	۸/۸ ^{ns}	۲/۶۰*	۹/۱۹**	۰/۲۳*	۱/۶۴ ^{ns}	۰/۵۵ ^{ns}
تنش خشکی	۱	۵۳۸۵۰۵۹**	۲۴۲۸۸/۱۱**	۳۰۷/۲۴**	۱۰۱۴/۳۹**	۲۲/۷۶**	۳۵۰/۴۴**	۲۹۰۷/۴۵**
نوع کود	۶	۵۲۷۴۸۹**	۱۷۰۳/۷۵**	۷۳/۶۱**	۶۲/۱۹**	۲/۳۴**	۳۲/۰۲**	۲۰۳/۴۵**
تنش خشکی × نوع کود	۶	۵۸۵۵۰**	۳۰۲/۹۸**	۶/۲۵**	۷/۴۲*	۱/۱۷**	۶/۰۹**	۴۹/۴۹**
خطا	۱۱۷	۴۳۸	۱۳/۸۲	۱/۲۴	۲/۷	۰/۱۱	۰/۹۸	۰/۸۷
ضریب تغییرات (%)		۲/۴۷	۴/۹۲	۵/۶۴	۵/۳۵	۷/۱۹	۳/۶۳	۰/۷۵

^{ns}، * و ** به ترتیب نشانگر عدم اختلاف معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

سطح برگ: مطابق با شکل ۱ و در ارتباط با سطح برگ، اعمال تنش خشکی به طور معنی‌داری سطح برگ را در تمامی سطوح کود کاهش داد. بالاترین میزان سطح برگ در دو تیمار ۲ میلی‌گرم بر لیتر

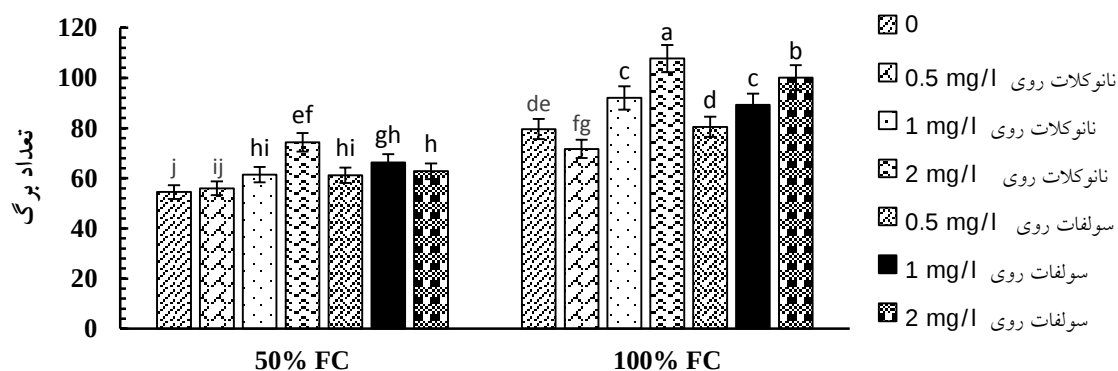
نانوکود روی (حدود ۱۳۰۰ میلی‌متر مربع) در تیمار FC ۱۰۰٪ تنش خشکی رویت شد. البته مقایسه میانگین گویای این مطلب است که سولفات روی به اندازه نانو کلات روی نتوانسته سطح برگ را افزایش دهد.



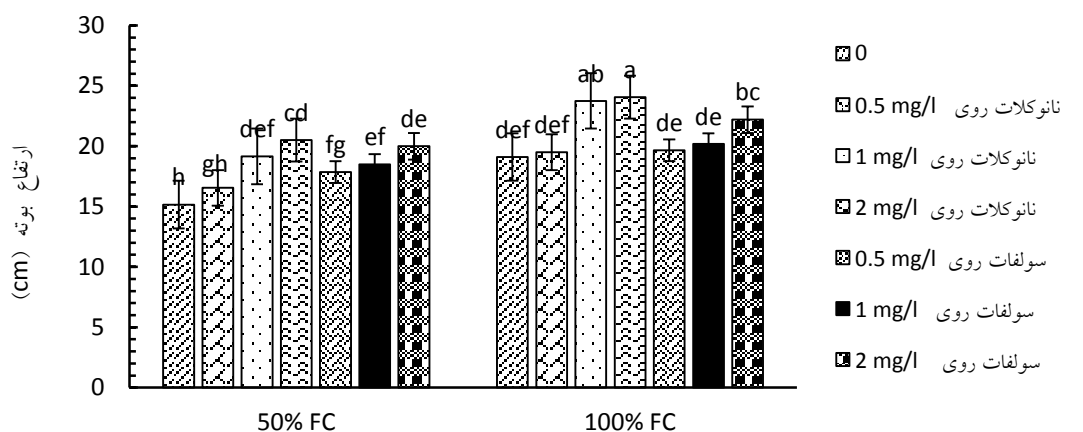
شکل ۱: اثر متقابل تنش خشکی و نوع کود بر سطح برگ گل انگشتانه

شکل ۴ نشان می‌دهد که زمانی که آب کافی در اختیار گیاه قرار می‌گیرد (تیمار FC ۱۰۰٪) سه سطح کود نانو سولفات و سطح ۲ میلی‌گرم بر لیتر نانو کود نسبت به سایر سطوح کود تا حدود ۱۰٪ قطر ساقه رزت گیاه را افزایش می‌دهند و در سطح تنش FC ۵۰٪ کاربرد کود در تمامی سطوح توانسته قطر ساقه رزت گیاه را نسبت به شاهد افزایش دهد و کمترین قطر ساقه رزت (حدود ۲۵ میلی‌متر) در تیمار عدم کاربرد کود (شاهد) رویت گردید. تیمار ترکیبی FC ۱۰۰٪ و ۲ میلی‌گرم بر لیتر نانو کود روی با با ۵/۷۹ میلی‌متر قطورترین ساقه گلدهنده را داشت در صورتیکه که نازکترین ساقه گلدهنده (۳/۹۷ میلی‌متر) مربوط به تیمار ترکیبی FC ۵۰٪ و شاهد (عدم کاربرد کود) می‌باشد (شکل ۵).

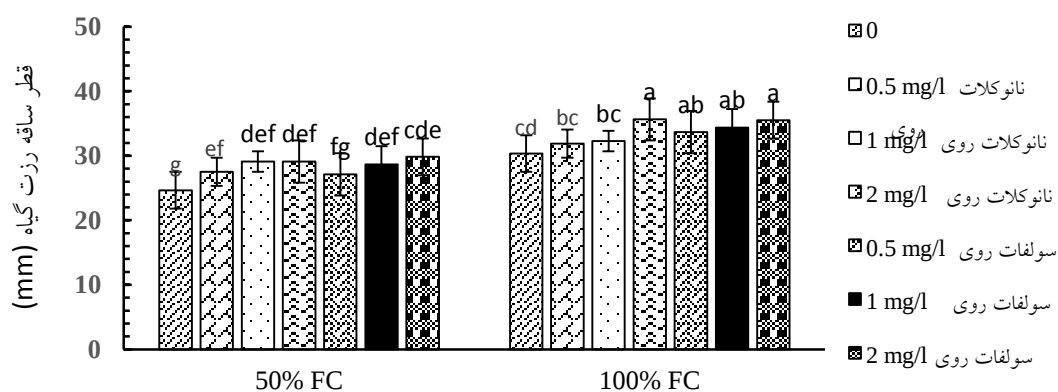
تعداد برگ و ارتفاع گیاه: بیشترین تعداد برگ (۱۱۰ عدد) و کمترین تعداد برگ (۵۰ عدد) نیز به ترتیب در تیمار FC ۱۰۰٪ و ۲ میلی‌گرم بر لیتر نانو کود روی و تیمار FC ۵۰٪ و شاهد (عدم کاربرد کود) مشهود است و همچنین تیمار FC ۵۰٪ و شاهد (عدم کاربرد کود) و تیمارهای FC ۱۰۰٪ و ۱ و ۲ میلی‌گرم بر لیتر نانو کود روی به ترتیب کمترین (۱۵/۱۶ سانتی‌متر) و بیشترین (۲۴/۰۵ و ۲۳/۷۵ سانتی‌متر) ارتفاع بوته را در این آزمایش به خود اختصاص دادند (شکل ۲ و ۳). همانطور در شکل‌های مذکور مشهود است تمامی سطوح سولفات روی نسبت به نانو کلات روی عملکرد ضعیف تری در ارتباط با تعداد برگ و ارتفاع بوته داشتند. قطر ساقه رزت و قطر ساقه گلدهنده:



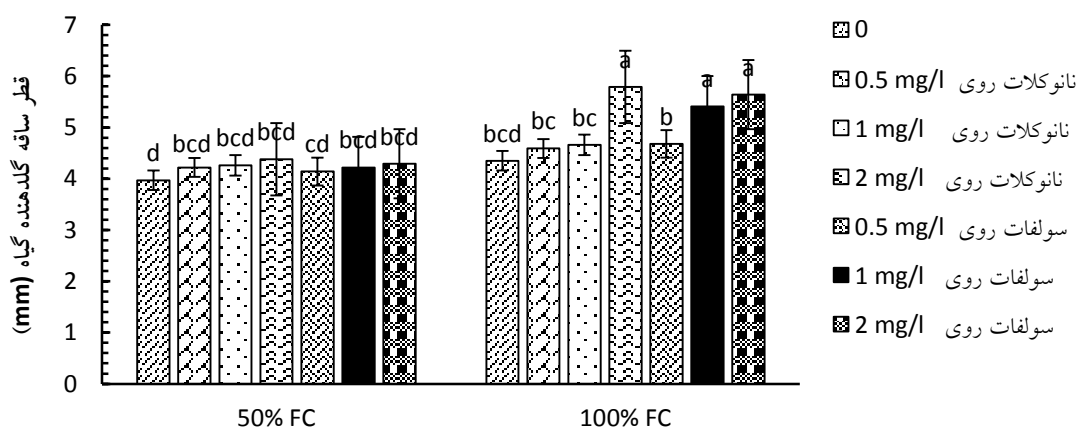
شکل ۲: اثر متقابل تنش خشکی و نوع کود بر تعداد گل انگشتانه



شکل ۳: اثر متقابل تنش خشکی و نوع کود بر ارتفاع بوته گل انگشتانه



شکل ۴: اثر متقابل تنش خشکی و نوع کود بر قطر ساقه رزت گل انگشتانه



شکل ۵: اثر متقابل تنش خشکی و نوع کود بر قطر ساقه گلدهنده گل انگشتانه

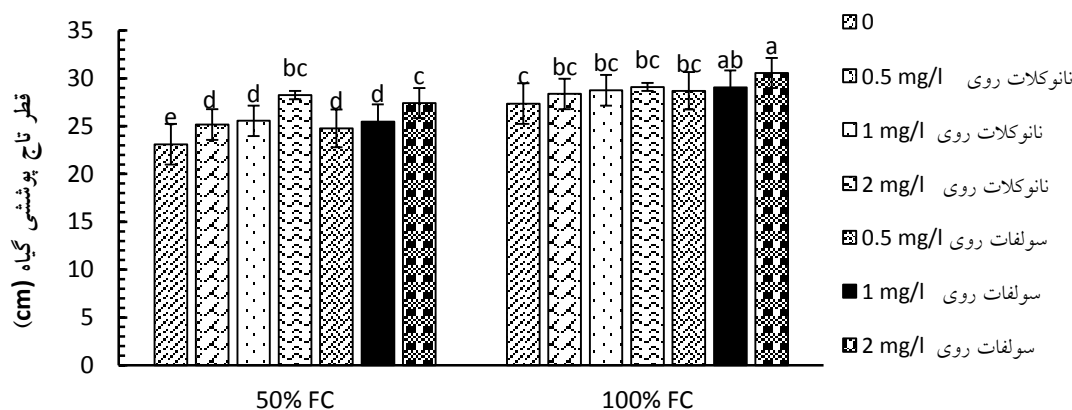
شاهد (عدم کاربرد کود) بود (شکل ۶). در تیمار تنش خشکی دو غلظت کمتر از هر دو نوع کود نانو و میکرو از نظر آماری یکسان عمل کردند و نسبت به بالاترین غلظت قطر تاج پوششی کمتری داشتند اما

قطر تاج پوششی: بیشترین (۳۰/۵۵ سانتی متر) و کمترین (۲۳/۱ سانتی متر) قطر تاج پوششی گیاه در طی آزمایش به ترتیب مربوط به تیمار FC ۱۰۰٪ و ۲ میلی گرم بر لیتر سولفات روی و تیمار FC ۵۰٪ و

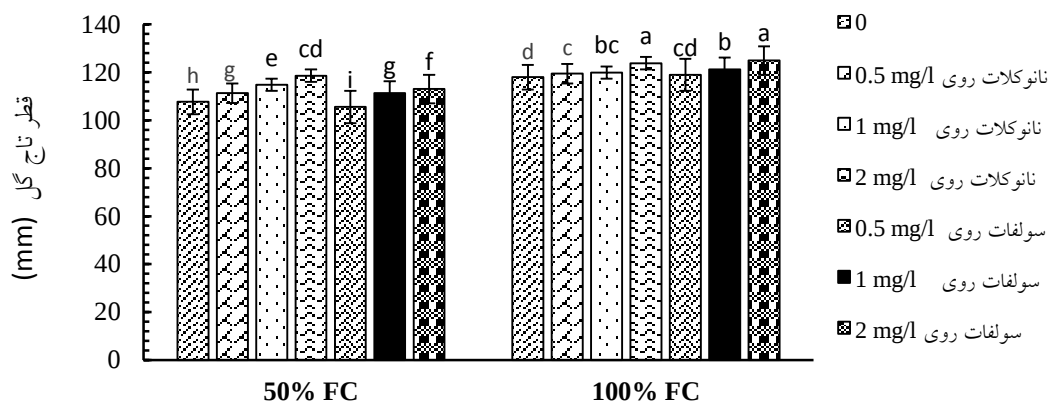
خشکی قطر تاج پوششی توسط نانوکلات روی نسبت به سولفات روی بیشتر حفظ شد. در هر دو سطح تنش نیز کاربرد دو سطح کود ۲ میلی گرم بر لیتر نانو کلات روی و سولفات روی نسبت به سایر سطوح کود تاج گل بزرگتری ایجاد کردند.

زمانی که تنش خشکی وجود نداشت اختلاف اندازه تاج پوششی بین تیمارها قابل توجه نبود.

قطر تاج گل: با اعمال تنش قطر تاج گل بدون توجه به سطوح و نوع کود نسبت شاهد (FC ۱۰۰٪) به طور میانگین ۳۰٪ کاهش یافت. البته در زمان اعمال تنش



شکل ۶: اثر متقابل تنش خشکی و نوع کود بر قطر تاج پوششی گل انگشتانه



شکل ۷: اثر متقابل تنش خشکی و نوع کود بر قطر تاج گل انگشتانه

r ، قطر تاج پوششی ($r = 0.77$) و قطر تاج گل ($r = 0.86$) همبستگی مثبت و معنی داری نشان داد. ارتفاع بوته با قطر ساقه روزت گیاه ($r = 0.66$)، قطر ساقه گل دهنده ($r = 0.58$)، قطر تاج پوششی ($r = 0.68$) و قطر تاج گل ($r = 0.74$) همبستگی مثبت و معنی دار داشت. همچنین، همبستگی بین قطر ساقه روزت گیاه با قطر ساقه گل دهنده ($r = 0.70$)، قطر تاج پوششی ($r = 0.74$) و قطر تاج گل ($r = 0.81$)

نتایج حاصل از تحلیل همبستگی بین صفات مورفولوژیک (جدول ۳) نشان داد که سطح برگ با تعداد برگ ($r = 0.92$)، ارتفاع بوته ($r = 0.86$)، قطر ساقه روزت گیاه ($r = 0.76$)، قطر ساقه گل دهنده ($r = 0.69$)، قطر تاج پوششی ($r = 0.76$) و قطر تاج گل ($r = 0.87$) همبستگی مثبت و معنی داری دارد. تعداد برگ نیز با ارتفاع بوته ($r = 0.77$)، قطر ساقه روزت گیاه ($r = 0.79$)، قطر ساقه گل دهنده ($r = 0.78$)

نیز مثبت و معنی دار بود. قطر ساقه گل دهنده با سایر صفات از جمله قطر تاج پوششی ($r = 0/66$) و قطر تاج گل ($r = 0/70$) همبستگی مثبت و معنی داری داشت. نتایج همچنین نشان داد که قطر تاج پوششی با قطر تاج گل ($r = 0/83$) دارای همبستگی مثبت و معنی دار است.

جدول ۳: ضرایب همبستگی بین صفات مورفولوژیک مورد مطالعه

صفت	سطح برگ	تعداد برگ	ارتفاع بوته	قطر ساقه روزت گیاه	قطر ساقه گل دهنده	قطر تاج پوششی	قطر تاج گل
سطح برگ	۱						
تعداد برگ	۰/۹۲**	۱					
ارتفاع بوته	۰/۸۶**	۰/۷۷**	۱				
قطر ساقه روزت گیاه	۰/۷۶**	۰/۷۹**	۰/۶۶**	۱			
قطر ساقه گل دهنده	۰/۶۹**	۰/۷۸**	۰/۵۸**	۰/۷۰**	۱		
قطر تاج پوششی	۰/۷۶**	۰/۷۷**	۰/۶۸**	۰/۷۴**	۰/۶۶**	۱	
قطر تاج گل	۰/۸۷**	۰/۸۶**	۰/۷۴**	۰/۸۱**	۰/۷۰**	۰/۸۳**	۱

* و ** به ترتیب بیانگر معنی داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می باشند.

نتایج تجزیه واریانس برای صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در جدول ۴ نشان می دهد که اثر ساده تنش خشکی و نوع کود برای تمامی صفات مورد بررسی در سطح احتمال ۱٪ معنی دار شد، در

صورتیکه متقابل تنش خشکی و نوع کود برای تمامی صفات فیزیولوژیک به جز کلروفیل a که در سطح احتمال ۵٪ معنی دار شد، در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی دار نشان دادند.

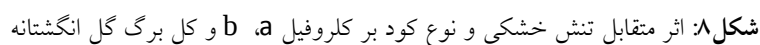
جدول ۴: میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف تنش خشکی و نوع کود بر روی برخی از صفات فیزیولوژیک گیاه گل انگشتانه

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کارتونوید	رنگدانه کل	فنل	آنتی اکسیدانت
بلوک	۹	۱/۶۸ ^{ns}	۱/۱۸ ^{ns}	۰/۴۷ ^{ns}	۰/۵۹ ^{ns}	۰/۹۲ ^{ns}	۰/۲۴ ^{ns}	۱۸/۹۳ ^{ns}
تنش خشکی	۱	۸۰/۹۷**	۴۷/۱۷**	۲۵۱/۷۷**	۲۸/۱۳**	۱۱۱/۵۷**	۳۰۴/۷۷**	۱۳۳۱۳/۸۳**
نوع کود	۶	۳۵/۰۵**	۱۰/۸۷**	۶۵/۹۴**	۵/۵۵**	۴۵/۴۰**	۲۶/۲۹**	۶۶۶/۰۵**
تنش خشکی × نوع کود	۶	۶/۷۲*	۱۱/۹۹**	۲۳/۵۵**	۱/۸۶**	۱۸/۰۳**	۷/۳۴**	۸۹/۳۰**
خطا	۱۱۷	۲/۳۱	۱/۶۷	۱/۶۹	۰/۵۴	۲/۰۵	۰/۲۸	۱۶/۰۶
ضرب تغییرات (%)		۱۹/۵۸	۲۷/۴۵	۱۱/۵۹	۲/۹۰	۱۰/۴۱	۱۴/۴۵	۲/۸۸

^{ns}، * و ** به ترتیب نشان/گر عدم اختلاف معنی دار و معنی دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می باشد.

محتوای کلروفیل برگ: بر اساس شکل ۸ بالاترین (۴/۲۷ میکروگرم بر میلی گرم وزن تر) کلروفیل a به ترتیب مربوط به تیمار FC ۱۰۰٪ و ۲ میلی گرم بر لیتر (۱۰/۸ میکروگرم بر میلی گرم وزن تر) و پایین ترین

نانوکود روی و تیمار FC ۵۰٪ و شاهد (عدم کاربرد کود) می‌باشد. در حالیکه در مورد کلروفیل b و کل در هر دو سطح تنش کاربرد همه سطوح سولفات روی عملکرد یکسانی داشته و نسبت به نانو کلات روی رتبه آماری پایین‌تری داشتند. بالاترین میزان کلروفیل b (۵/۵۱ میکروگرم بر میلی‌گرم وزن تر) در تیمار FC ۱۰۰٪ و ۵۰٪ میلی‌گرم بر لیتر نانوکود روی قابل رویت

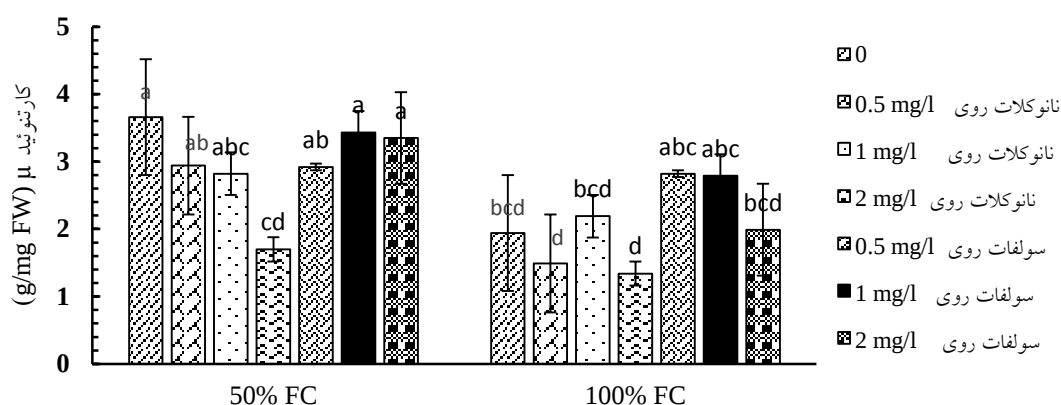


محتوای کارتنوئید برگ: همانطور که شکل ۹ نشان می‌دهد کاربرد اعمال تنش ۵۰٪ FC نسبت به شاهد

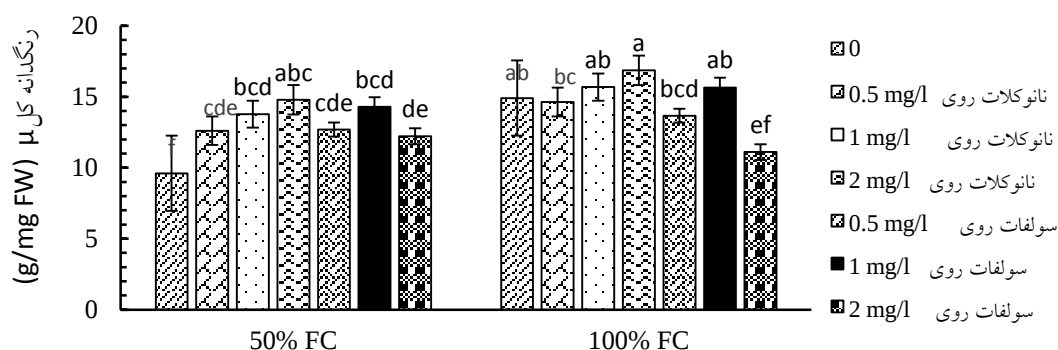
بر لیتر نانوکود روی و تیمار FC ۵۰٪ و شاهد (عدم کاربرد کود) می‌باشد (شکل ۱۰). در تیمار تنش خشکی تمامی سطوح کود نسبت به شاهد رنگدانه کل را افزایش داده‌اند اما در شرایطی که تنش خشکی وجود ندارد این طور نیست و بالاترین غلظت سولفات روی پایین‌ترین میزان رنگدانه را ایجاد کرده است.

۲ میلی‌گرم بر لیتر نانوکود پایین‌ترین میزان کارتنوئید بر (به طور میانگین ۱/۴ میکروگرم بر میلی‌گرم وزن تر) را داراست.

محتوای رنگدانه کل گیاه: بالاترین (۱۵/۶۸ میکروگرم بر میلی‌گرم وزن تر) و پایین‌ترین (۹/۶ میکروگرم بر میلی‌گرم وزن تر) میزان رنگدانه کل برگ به ترتیب مربوط به تیمار FC ۱۰۰٪ و ۲ میلی‌گرم



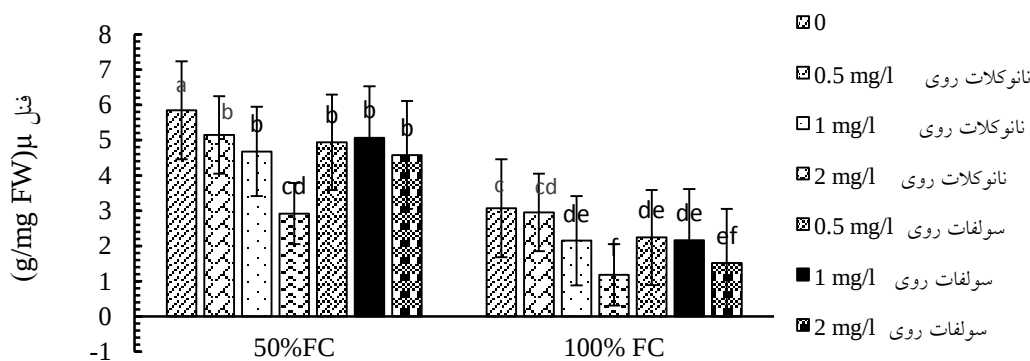
شکل ۹: اثر متقابل تنش خشکی و نوع کود بر کارتنوئید برگ گل انگشتانه



شکل ۱۰: اثر متقابل تنش خشکی و نوع کود بر میزان رنگدانه کل برگ گل انگشتانه

بر لیتر نانوکود روی، پایین‌ترین میزان فنل برگ را نشان می‌دهند و پایین‌ترین میزان فنل برگ در بین تمامی تیمارها یعنی ۱/۱۸ میکروگرم بر میلی‌گرم وزن تر در تیمار FC ۱۰۰٪ و ۲ میلی‌گرم بر لیتر نانوکود روی مشهود است.

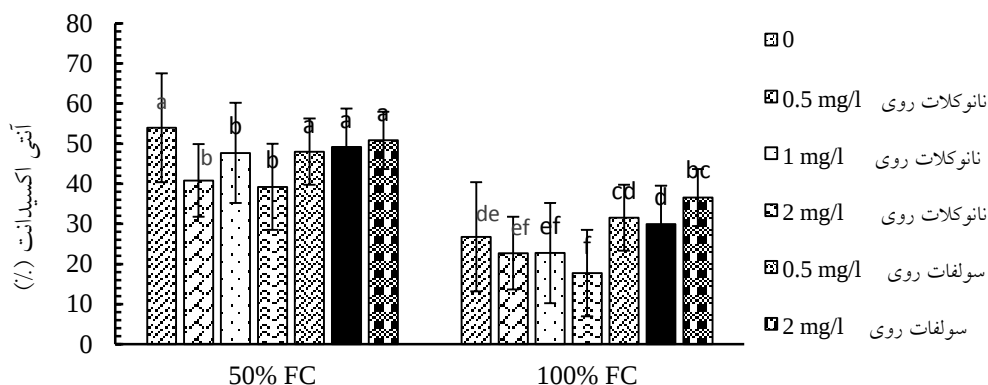
محتوای فنل برگ: مقایسه میانگین‌ها در شکل ۱۱ بیانگر این موضوع می‌باشد که اعمال تنش نسبت به شاهد از نظر آماری به شکل قابل توجهی تا حدود ۵۰٪ میزان فنل را در برگ گیاهان افزایش داده است. در صورتیکه در هر دو سطح تنش تیمار ۲ میلی‌گرم



شکل ۱۱: اثر متقابل تنش خشکی و نوع کود بر میزان فنل برگ گل انگشتانه

بالاترین میزان آنتی اکسیدانت (۰/۵۵) در تیمار ترکیبی ۵۰٪ FC و عدم کاربرد کود رویت شد و تیمار ۱۰۰٪ و ۲ میلی گرم بر لیتر نانوکود روی با فعالیت آنتی اکسیدانتی ۲۰٪ پایین ترین میزان این شاخص را به خود اختصاص داد.

محتوای آنتی اکسیدانت برگ: مشابه محتوی فنل برگ میزان آنتی اکسیدانت برگ نیز با اعمال تنش به طوری معنی داری افزایش یافت (حدود ۵۰٪ افزایش) و در هر دو سطح تنش کاربرد تمامی سطح نانوکود روی به طورقابل توجهی نسبت به سطوح کود سولفات روی از افزایش میزان آنتی اکسیدانت برگ جلوگیری کرد.



شکل ۱۱: اثر متقابل تنش خشکی و نوع کود بر میزان آنتی اکسیدانت برگ گل انگشتانه

(r) همبستگی مثبت و معنی داری نشان داد، اما DPPH ($r = -0.70$) و فنول ($r = -0.65$)، همبستگی منفی و معنی دار داشت. کاروتنوئید با فنول ($r = 0.53$) همبستگی مثبت و معنی دار داشت، اما با کل رنگدانه ها ($r = -0.17$) و کلروفیل های a، b و کل همبستگی منفی و معنی داری نشان داد. کل رنگدانه ها با فنول ($r = -0.52$) همبستگی منفی و معنی داری داشت. DPPH با فنول ($r = 0.74$) همبستگی مثبت و معنی داری داشت.

نتایج تحلیل همبستگی بین صفات فیزیولوژیک (جدول ۵) نشان داد که کلروفیل a با کلروفیل کل ($r = 0.78$) و کل رنگدانه ها ($r = 0.85$) همبستگی مثبت و معنی داری دارد. همچنین، کلروفیل a با DPPH ($r = -0.51$) و فنول ($r = -0.52$) همبستگی منفی و معنی دار نشان داد. کلروفیل b با کلروفیل کل ($r = 0.61$) و کل رنگدانه ها ($r = 0.41$) همبستگی مثبت و معنی دار داشته، درحالی که با کاروتنوئید ($r = -0.38$) و فنول ($r = -0.38$) همبستگی منفی و معنی دار داشت. کلروفیل کل با کل رنگدانه ها ($r = 0.93$)

جدول ۵: ضرایب همبستگی بین صفات فیزیولوژیک مورد مطالعه

صفت	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید	کل رنگدانه‌ها	DPPH	فنول
کلروفیل a	۱						
کلروفیل b	-۰/۰۲	۱					
کلروفیل کل	۰/۷۸**	۰/۶۱**	۱				
کاروتنوئید	-۰/۱۲	-۰/۶۸**	-۰/۵۲**	۱			
کل رنگدانه‌ها	۰/۸۵**	۰/۴۱**	۰/۹۳**	-۰/۱۷*	۱		
DPPH	-۰/۵۱**	-۰/۴۷**	-۰/۷۰**	۰/۵۲**	-۰/۵۸**	۱	
فنول	-۰/۵۲**	-۰/۳۸**	-۰/۶۵**	۰/۵۳**	-۰/۵۲**	۰/۷۴**	۱

* و ** به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

بحث

بررسی تغییرات مورفوفیزیولوژیک گیاه گل انگشتانه نشان داد در شرایط کم آبی میزان سطح برگ گیاه به طور قابل توجهی کاهش یافت و داشتن میزان مطلوب سطح برگ در گیاه گل انگشتانه مستلزم در دسترس بودن میزان کافی آب آبیاری می‌باشد. محققان کاهش بیوماس گیاه را به کاهش فتوسنتز نسبت می‌دهند که می‌تواند به دلیل بسته شدن روزنه‌ها و یا کم شدن سطح برگ‌ها اتفاق افتد. مطالعات نشان می‌دهد که میزان بهینه سطح برگ جهت فتوسنتز و تولید ماده خشک ضروری است، ولی در شرایط کم آبی با کاهش رشد برگ‌ها و در نهایت کاهش سطح آن‌ها فتوسنتز و تولید ماده خشک در گیاهان افت می‌کند (Ghorbani, 2023). فرآیندهایی مانند رشد برگ و سرعت تبادل دی اکسید کربن که وابسته به حجم سلول‌های محافظ و آماس سلولی هستند، نسبت به سایر فرآیندهای گیاهی به کمبود آب حساس‌تر می‌باشند بنابراین تنش خشکی منجر به بسته شدن روزنه‌ها، کاهش سطح برگ و به دنبال آن کاهش تولید آسیمیلات در گیاه می‌گردد و در نهایت وزن خشک کل گیاه کاهش

پیدا می‌کند، در حالی که افزایش دوره آبیاری سبب دیررس‌تر شدن گیاه می‌شود و با افزایش میزان شاخص سطح برگ فرصت بیشتری برای تجمع ماده خشک پیدا می‌کند و در نتیجه عملکرد گیاه نیز افزایش می‌یابد (Fakhri Abboud and Mohammad Saeed, 2023). آزمایش حاضر نیز سطح برگ به طور معنی‌داری تحت تنش خشکی کاهش یافت و علت کاهش عملکرد رویشی و زایشی گیاه تحت تنش خشکی نیز همین کاهش سطح برگ می‌باشد. همچنین افزایش سطح برگ بوجه بر اثر مصرف روی را می‌توان به نقش مؤثر این عنصر در رشد و نمو گیاه نسبت داد. مثلاً روی در متابولیسم RNA و مقدار ریبوزوم در سلول‌های گیاهی نقش دارد که تولید کربوهیدرات، پروتئین و ساخت DNA را تحریک می‌کنند. همچنین روی در تشکیل و ساخت تریپتوفان به عنوان پیش ماده تولید اکسین در گیاهان نقش دارد (Fang et al., 2008). اکسین در جنبه‌های مختلف رشدونمو گیاهان که در برابر تنش‌های محیطی واکنش نشان می‌دهند، نقش اساسی دارد (Park et al., 2019). تعداد برگ و ارتفاع گیاه نیز توسط تنش خشکی کاهش یافت و به کمترین

(Mosanna and Khalilvand Behrozyar, 2015) و ریحان (Moghimpour et al., 2014) در دسترس می‌باشد. همچنین قطر تاج پوششی یکی از شاخص‌های مهم برای گیاهان زینتی و همچنین گیاهان دارویی محسوب می‌شود و در واقع در ارتباط با حجمی از فضا می‌باشد که گیاه اشغال کرده است. و میزان رشد گیاه، سطح برگ و اندازه برگ‌ها بر میزان تاج پوششی گیاه موثر می‌باشد. در آزمایش حاضر تنش FC ۵۰٪ قطر تاج پوششی گیاه را کاهش داد و پایین‌ترین قطر تاج پوششی (۲۲ سانتی متر) مربوط به تیمار عدم کاربرد کود و FC ۵۰٪ بود. به نظر می‌رسد با به کار بردن عناصر ریز مغذی، دسترسی گیاه به عناصر غذایی افزوده شده و به دلیل افزایش فتوسنتز و تجمع ماده خشک گیاه، نهایتاً تعداد شاخه جانبی و گل‌دهنده در گیاه افزایش می‌یابد. کاربرد برگی نانوذره روی موجب افزایش میزان وزن تر و خشک ساقه، برگ و ریشه گیاه قهوه نسبت به کاربرد برگ سولفات روی گردید (Rossi et al., 2019). در مقدار کم، عنصر روی (Zn) به عنوان یک ریز مغذی ضروری برای رشد و نمو گیاهان در بسیاری از فرآیندهای متابولیکی گیاه نقش دارد. در آزمایش حاضر نیز کاربرد کود روی فارغ از غلظت و نوع کود موجب افزایش قطر تاج پوششی گیاه گردید که با نتایج Shahabivand و همکاران (۲۰۲۳) مطابقت ندارد زیرا آنها گزارش کردند که کود نانو روی نسبت به کود اکسید روی شاخص‌های رشدی گیاه ریحان را بیشتر تحت تاثیر قرار می‌دهند.

قطر طبق گل از مهمترین صفاتی است که تحت تاثیر تنش خشکی کاهش پیدا می‌کند و بر اجزای عملکرد مانند تعداد دانه تاثیر می‌گذارد (Soheili Mohad et al., 2018). تنش خشکی در مرحله زایشی موجب آسیب به تعداد زیادی از گلچه‌ها و سلول‌های زایشی گردیده و از حجم و تعداد آنها کاسته می‌شود

ارتفاع گیاه (۵۴/۵ سانتی متر) در تیمار FC ۵۰٪ و شاهد (عدم کاربرد کود) رسید. Fouaduddin و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقی بیان کردند که کم‌آبی به شدت موجب کاهش ارتفاع، تعداد برگ و تعداد شاخه‌های جانبی در گیاه کاسنی گردید. علت افت ارتفاع بوته در تیمار تحت تنش، کم شدن فشار تورژسانس یاخته‌های در حال رشد و تاثیر بر طول یاخته گزارش شد. همچنین در زمان مواجهه با تنش خشکی، گیاه از شاخ و برگ خود که منابع اصلی تبخیر و تعرق هستند، می‌کاهد (Ghorbani, 2023). در مطالعه‌ای بر روی گیاه آویشن اعلام شد که با افزایش کمبود آب ارتفاع بوته، تعداد ساقه‌های جانبی، وزن خشک و تر شاخساره، حجم ریشه، وزن تر و خشک ریشه و نیز طول ریشه کاهش پیدا کرد (Babaei et al., 2021).

با توجه به نتایج پژوهش‌های گذشته، افزایش رشد و بیوماس گیاه با کاربرد عنصر روی را به علل مختلفی از جمله افزایش تولید اکسین در حضور عنصر روی، افزایش آنزیم کربونیک انهیدراز که در همه بافت‌های فتوسنتزی وجود دارد و جهت تولید کلروفیل مورد نیاز است، بهبود عملکرد فتوسیستم‌های نوری، افزودن فعالیت فسفوانول پیرووات کربوکسیلاز و ریبولوز فسفات کربوکسیلاز، کاهش میزان سدیم و افزایش جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانست (Shahabivand et al., 2021). مشابه با نتایج این آزمایش، محلول‌پاشی روی باعث افزایش عملکرد هندوانه ابوجهل (Nikbakht et al., 2019)، گیاه بابونه (Madadi Nasiri et al., 2010) و بالنگو (Bamanroud Pushti et al., 2024) گردیده است. از سوی دیگر گزارش‌هایی از تأثیر نانوکودهای حاوی عنصر روی بر عملکرد گیاهان مختلف از جمله ذرت

و در نهایت اعمال تنش خشکی در مرحله زایشی موجب افت کیفیت و کمیت گل می‌گردد (Mozaffari al et, 1996) که این می‌تواند ناشی از کاهش تولید و ارسال مواد فتوسنتزی در مرحله گلدهی تحت تنش خشکی باشد. در آزمایش ما نیز تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار قطر تاج گل انگشتانه گردید تا جایی که تیمار ترکیبی ۵۰٪ و ۵/۰ میلی‌گرم بر لیتر سولفات روی کم قطرترین تاج گل (۱۰۷ میلی‌متر) را به خود اختصاص داد. تاثیر منفی تنش خشکی بر کیفیت و کمیت گل گلرنگ توسط Soheili Mohad همکاران (۲۰۱۸) نیز گزارش گردیده است. کاربرد عنصر روی در مرحله گلدهی، احتمالاً دسترسی گیاه را به مواد غذایی در مرحله تشکیل و توسعه گل افزایش داده و در نهایت منجر به افزایش قطر تاج گل گردیده است. افزایش قطر گل با به کارگیری عناصر ریز مغذی روی قبلاً توسط Soheili Movahedi و همکاران (۲۰۱۸) و Roshan و همکاران (۲۰۱۶) در گیاه گلرنگ گزارش گردیده است. در تحقیقی دیگر، Nasiri و همکاران (۲۰۱۰) گزارش دادند که کاربرد روی موجب افزایش ۴۶ درصدی عملکرد گل بابونه آلمانی می‌شود و علت آن افزایش تعداد و اندازه گل است.

میزان کلروفیل در گیاهان زنده یکی از فاکتورهای مهم حفظ ظرفیت فتوسنتزی است. در آزمایش حاضر تنش خشکی موجب کاهش ۵۰ درصدی میزان کلروفیل کل در گیاه گل انگشتانه گردید. که با نتایج Shahqoli و همکاران (۲۰۲۲)، Din و همکاران (۲۰۱۱) و Mir و همکاران (۲۰۲۳) مطابقت دارد. تنش خشکی موجب افزایش فعالیت آنزیم کلروفیل‌از و همچنین افزایش سنتز برخی از تنظیم‌کننده‌های رشد مثل اسید آبسزیک و اتیلن شده که در نهایت باعث تخریب و کاهش کلروفیل برگ‌ها و افزایش برگ‌های رنگ پریده می‌گردد (Rabbani Kheir khah

et al., 2019). با کاهش میزان کلروفیل کل، از رشد به علت کم شدن توسعه اندام‌های گیاهی نیز کاسته می‌شود و شاخص‌های مرتبط با رشد گیاه مانند ارتفاع، تعداد و غیره وزن خشک اندام هوایی گیاه و سطح برگ کاهش می‌یابند که می‌توان به ارتباط میان این صفات با محتوای کلروفیل کل پی برد (Salehi et al., 2023). Shahqoli و همکاران (۲۰۲۲) اظهار داشتند عنصر روی نیز با تاثیر در سنتز پیش ماده کلروفیل موجب کاهش تاثیر تنش خشکی بر گیاه می‌گردد. این افزایش سنتز پیش ماده کلروفیل موجب افزایش فعالیت‌های فتوسنتزی و انتقال بهتر مواد فتوسنتزی تولیدی می‌شود (Wang et al., 2006). در هر دو سطح تنش غلظت ۲ میکروگرم بر لیتر نانوکلات روی بالاترین میزان کلروفیل کل گیاه (حدود ۱۶ میکروگرم بر میلی‌گرم) را ایجاد کرده است. این نشان می‌دهد نوع نانو عنصر روی در حفظ و تجمع کلروفیل برگ کارایی بیشتری نسبت به سولفات روی داشته است. Hassanpour aghdam و همکاران (۲۰۱۹) اظهار داشتند محلول‌پاشی برگی نانوذره روی اثر مثبت افزایشی بر بیومس و کلروفیل کل گیاه رزماری در شرایط بدون تنش و نیز تنش شوری داشت.

افزایش محتوای کاروتنوئیدها تحت شرایط کمبود آب به علت نقش مهم این رنگیزه‌های کمکی در سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی در حفاظت از رنگیزه‌های کلروفیلی فتوسنتزی توسط نوآپور و همکاران (Navabpour et al., 2015) گزارش شده است که نشانگر نقش کارتنوئیدها در تعدیل مقدار انواع گونه‌های آزاد اکسیژن است. این رنگیزه‌ها می‌توانند با تبدیل انرژی رادیکال‌های آزاد به انرژی گرمایی مانع پراکسیداسیون لیپیدی دستگاه فتوسنتزی گردند (Kafi et al., 2012). افزایش میزان کاروتنوئیدها در طی تنش خشکی در گیاه شنبلیله (Baghbani-Arani,

میلی گرم) در تیمار ترکیبی FC ۵۰٪ و عدم کاربرد کود رویت شد که با یافته‌های تحقیقات ذکر شده در بالا می‌باشد. عنصر روی به عنوان کوفاکتور در فعال‌سازی بسیاری از آنزیم‌های مسیر بیوستز متابولیت‌های ثانویه نقش دارد. کاربرد ۲ میلی گرم بر لیتر از هردو نوع نانو و غیر نانو کود روی موجب کاهش معنی‌دار فنل برگ نسبت به سایر شاهد گردید که با نتایج Fallahi و همکاران (۲۰۱۶) و Nikbakht و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت ندارد.

زمانی که گیاه در معرض تنش کم‌آبی قرار می‌گیرد مقدار زیادی از گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) مانند آنیونها، سوپر اکسیدها، رادیکال‌های هیدروکسید و پراکسید هیدروژن در نتیجه عدم تعادل بین تولید و مهار آنها تولید می‌شود. در طول تنش خشکی، گیاهان با استفاده از یک پاسخ آنتی‌اکسیدانی قادر به مقابله با تولید بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن هستند (Emami Bistegani and Bakhshandeh, 2022). پاسخ آنتی‌اکسیدان‌ها به کمبود آب، به شدت تنش و نوع گونه گیاهی بستگی دارد. در حقیقت با بالا رفتن میزان آنتی اکسیدان‌ها در گیاه تحمل گیاه به تنش‌ها از جمله تنش خشکی افزایش می‌باشد. ارقام متحمل به تنش‌های محیطی مانند خشکی قادر هستند به‌وسیله القا کردن سیستم‌های دفاعی آنتی اکسیدانی تحمل به تنش‌های محیطی را افزایش دهند (Emami Bistegani and Bakhshandeh, 2022). در پژوهش حاضر کاربرد سولفات روی به طور معنی‌داری موجب افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی گیاه انگشتانه گردید و تیمار کود سولفات روی فارغ از میزان غلظت آن و تیمار FC ۵۰٪ فعالیت آنتی اکسیدانی گیاه را تا ۵۵٪ رساند. مشابه پژوهش حاضر Sahin و Erdem (۲۰۲۱) گزارش کردند که محلول‌پاشی روی منجر به افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی در گیاهان می‌گردد. از سایر نتایج این پژوهش تأثیر بیشتر نانوکلات روی نسبت به

2017) و گیاه نخود (Ghorbani, 2015) مشاهده شده است که مطابق با نتایج تحقیق حاضر است، Shahqoli و همکاران (۲۰۱۲) و Dadkhah و همکاران (۲۰۱۳) افزایش میزان کارتنوئید برگ را تحت تیمار عنصر روی گزارش کردند. البته در آزمایش حاضر تنها نانو کود روی میزان کارتنوئید برگ را در هر دو سطح تنش افزایش داد به نظر می‌رسد عنصر روی با افزایش کلروفیل برگ مانع از تجمع کارتنوئید در برگ‌ها می‌شود.

احتمال می‌رود افزایش مقدار فنل تحت تنش خشکی در گیاه به علت فعالیت مسیر هگزوز مونی فسفات و مسیر استات و رها شدن فنل‌ها توسط آنزیم‌های هیدرولیزکننده باشد. تحقیقات Sakihama و Yamasaki (۲۰۲۲) نشان دادند که ترکیبات فنلی با دادن الکترون به آنزیم‌های پراکسیداز و سم‌زدایی آب اکسیژنه تولید شده قادر هستند در سلول به‌عنوان آنتی‌اکسیدان ایفای نقش کنند. تحت شرایط خشکی فعالیت‌های آنزیمی مداخله گر در سنتز پلی فنل‌ها کنترل شده و باعث مهار موثر رادیکال‌های سمی می‌گردد که بهبود رشد و عملکرد گیاه را به دنبال خواهد داشت. در یاخته‌های گیاهی در حالت طبیعی ترکیبات فنلی سنتز می‌شود اما مقدار این مواد در تنش‌های مختلف محیطی تغییر می‌کند. کمبود آب تنظیم بسیاری از ژن‌های کلیدی درگیر در سنتز آنزیم‌های مسیر فنیل پروپانوئید نظیر فنیل آلانین آمونیلایز (PAL) و چالکون سنتاز را برعهده دارد و تولید ترکیبات فنلی را القاء می‌کند. در این مورد، آنزیم PAL در برقراری ارتباط بین متابولیسم اولیه و ثانویه گیاه نقش قابل توجهی به‌عهده دارد و نخستین مرحله در مسیر تولید ترکیبات فنلی را کاتالیز می‌نماید (Emami Bistegani and Bakhshandeh, 2022). در پژوهش حاضر با افزایش تنش خشکی فنل برگ نیز افزایش یافت و بالاترین میزان (۵/۷ میکروگرم بر

سولفات روی بود که با نتایج بدست آمده بر روی گیاه ریحان (Fallahi et al., 2016)، گیاه هندوانه ابوجهل (Nikbakht et al., 2019) مطابقت دارد. نانو کودها آسان جذب گیاهان می‌شوند و از کودهای شیمیایی کارآمدتر هستند، با محیط زیست سازگار هستند، آلودگی ندارند، شوری خاک را افزایش نمی‌دهند و کیفیت خاک را بهبود می‌بخشند. نانوذرات به علت اندازه کوچک و نفوذ بسیار بالا، از طریق غشاهای سلولی گیاه نسبت به ذرات معمولی بیشتر جذب می‌شوند. البته بالا بودن کارایی جذب و سطح مخصوص نانوذرات در مقابل ذرات معمولی، اثرگذاری بالاتر این ذرات را توجیه می‌کند (Monica and Cremonini, 2009). باتوجه به پایین بودن میزان عنصر روی در خاک‌های آهکی ایران و مشکل جذب این عنصر از خاک به علت عواملی چون pH بالا، میزان مواد آلی کم و مقدار زیاد یون بیکربنات در خاک، محلول‌پاشی کودهای دارا روی و مخصوصاً نانوکودهای دارای روی به منظور رسیدن به عملکرد مطلوب مفید می‌باشد. تاثیر مثبت به کارگیری کود روی بر القای مقاومت به خشکی در گیاه توسط محققانی چون Azram و همکاران (۲۰۲۳)، Bani Abbas Makarian و همکاران (۲۰۱۶) و Sadeghzadeh و همکاران (۲۰۲۲) گزارش شده است.

نتیجه‌گیری نهایی

بررسی تغییرات مورفوفیزیولوژیک گیاه گل انگشتانه نشان داد در شرایط کم آبی میزان عملکرد گیاه به طور قابل توجهی کاهش می‌باشد و داشتن میزان مطلوب بیوماس و عملکرد گل بهتر در گیاه گل انگشتانه مستلزم در دسترس

بودن میزان کافی آب آبیاری می‌باشد در حالیکه که نوع و میزان به کارگیری کود روی نیز تاثیر به سزایی در عملکرد مورفوفیزیولوژیک گیاه داشت و تغذیه مناسب و با غلظت مناسب با کود روی به ویژه کود نانو تا حد زیادی موجب عملکرد بهتر گیاه شد. بنابراین در مناطق خشک کشت گل انگشتانه خسارت بار خواهد بود مگر اینکه گیاه با کود روی به ویژه کود تولید شده با فناوری نانو تغذیه شود. نتایج نشان می‌دهد به محلول‌پاشی با میزان ۲ میلی‌گرم بر لیتر نانوکود و عدم کاربرد تنش (FC ۱۰۰٪) روی باعث ایجاد بالاترین شاخص‌های رشدی از سطح برگ، ارتفاع و تعداد برگ، قطر ساقه رزت و گل‌دهنده، قطر تاج پوششی و قطر تاج گل انگشتانه شده است. بر اساس نتایج بالاترین میزان کلروفیل کل در هر دو شرایط تنش و شاهد مربوط به تیمار ۲ میلی‌گرم بر لیتر نانوکود روی بود. در حالیکه که اعمال تنش تا FC ۵۰٪ و عدم کاربرد کود بالاترین میزان کارتنوئید، فنل و آنتی اکسیدانت رویت گردید. با این وجود کاربرد ۲ میلی‌گرم بر لیتر نانوکود توانست از افزایش میزان کارتنوئید، فنل و آنتی اکسیدانت مانع کند و بالاترین میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی از قبیل کلروفیل، کلروفیل b، کلروفیل کل و رنگدانه کل در تیمار FC ۱۰۰٪ و کاربرد ۲ میلی‌گرم بر لیتر نانو کلات روی مشهود بود. بنابراین در مناطق خشک و نیمه خشک با کاربرد تغذیه تکمیلی به صورت ۲ میلی‌گرم بر لیتر نانوکود روی می‌توان گل انگشتانه کشت داد و کیفیت مطلوبی از این گیاه انتظار داشت.

References

- Abdel-Salam, E., Alatar, A. and El-Sheikh, M. A. (2018). Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi alleviates harmful effects of drought stress on damask rose. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25(8):1772-1780.
- Arnon, D.S. (1940). Copper enzyme in isolated chloroplast polyphenol oxidase in *Beta Vulgaris*. *Journal Plant Physiology*, 24: 1-15.
- Azram, D., Jalali, A. and Safai, L. (2023). The role of zinc foliar application on modulating the effects of drought stress in some wheat cultivars. *Crop Science Research in Arid Regions*. 4 (2):305-320.
- Babaei, K., Moghaddam, M., Farhadi, N. and Pirbalouti, A.G. (2021). Morphological, physiological and phytochemical responses of Mexican marigold (*Tagetes minuta* L.) to drought stress. *Scientia Horticulturae*, 284: 110116.
- Baghbani- Arani, A. (2017). Quantitative and qualitative assessment of (*Trigonella foenum-graecum*) under drought stress during the vegetative and reproductive stage in response to zeolite and vermicompost. Ph.D. Thesis Tarbiat Modares University Faculty of Agriculture. Pp: 567. [In Persian]
- Bani Abbas Shahri, Z., Zamani, G. and Sayari Zahan, M. (2011). The effect of drought stress and zinc sulfate spraying on yield and yield components of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Environmental Stresses in Agricultural Sciences*. 4 (2):172-165.
- Biranvand, F., Zahedi, B. and Rezainejad, A. (2023). Investigating the effect of selenium foliar application on the morphophysiological and biochemical characteristics of ornamental cypress under different irrigation regimes. *Plant Process and Function*. 11 (47):323-339. [In Persian]
- Dadkhah, N., Ebadi, A., Permon, Q., Qalipuri, A. and Jahanbakhsh, S. (2013). The effect of zinc sulfate foliar application on photosynthetic pigments and chickpea seed yield in irrigated fields. *Iran's Rainfed Agriculture*. 2(2): 160-141. [In Persian]
- Din, J., Khan, S. U., Ali, I. and Gurmani, A. R. (2011). Physiological and agronomic response of *canola varieties* to drought stress. *Journal of Animal and Plant Sciences*. 21, 78-82.
- Erdem, H. and Sahin, O. (2021). Foliar zinc sprays affected yield and bioactive compounds of granny smith apple. *International Journal of Fruit Science*, 21(1):670-680. <https://doi.org/10.1080/15538362.2021.1920554>.
- Emami Bistegani, Z. and Bakhshandeh, A. (2022). Physiology of environmental stress in medicinal plants. Publication of Agricultural Education. *Tehran*. [In Persian]
- Fakhri Abboud, M. and Mohammad Saeed, A. (2023). Effect of Foliar Spraying with Methyl Jasmonate on Growth and Production of some Cardiac Glycosides of *Digitalis purpurea* L. Under Water Stress. 4th International Conference of Modern Technologies in Agricultural Sciences. doi:10.1088/1755-1315/1262/4/042007.
- Fallahi, A., Hassani, A. and Sefidkon, F. (2016). Effect of foliar application of different zinc sources on yield and phytochemical characteristics of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 32(5): 743-757.
- Fang, Y., Wang, L., Xin, Z., Zhao, L., An, X. and Hu, Q. (2008). Effect of foliar application of zinc, selenium, and iron fertilizers on nutrients concentration and yield of rice grain in China. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 56:2079-2084.
- Fouaduddin, M., Saqha al-Salami, M. J. and Mousavi, S. G. (2014). The effect of water deficit stress on plant characteristics of chicory in different planting dates (*Cichorium Lintybus*). *Bimonthly scientific-research journal of medicinal and aromatic plants of Iran*. 31(3):383-395. [In Persian]
- Gorgini Shabankare, H., Khorasaninejad, S., Sultanlou, H. and Shariati, V. (2022). Investigating the effects of drought stress and foliar spraying with abscisic acid on yield, physiological and biochemical characteristics of lavender (*Lavandula angustifolia* cv. Organic Munstead). *Crop Production Journal*, 14(2): 65-82. doi: 10.22069/ejcp.2021.17868.2314. [In Persian]

- Ghorbani, F. (2023). The effect of drought stress on the morphological and physiological characteristics of two selected genotypes of chickpea (*Cicer arietinum* L.) at the seedling stage. Master's thesis. University of Zanjan. [In Persian].
- Hassanpour aghdam, M. B., Mehrabani, L. V. and Tzortzakis, N. (2019). Foliar application of nano -zinc and iron affects physiological attributes of *rosmarinus officinalis* and quiatens NaCl salinity depression. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 20: 335 -345.
- Hayati, F., Alimoradi, L. and Alizadeh, B. (2019). Evaluation of the effect of different levels of low irrigation on the growth indicators of some seasonal ornamental plants in the Atlantic green space (*Pentunia hybrida* L.), Dahlia (*Rudbeckia fulgida* L.), Ranaziba (*Gaillardia grandiflora* L.) and French parsley (*Tagetes patula* L.). Iran Irrigation and Drainage Journal, 14(2): 714-723. [In Persian]
- Harris, D., Rashid, A., Miraj, G., Arif, M. and Shah, H. (2007). Priming seeds with zinc sulphate solution increases yield of maize (*Zea mays* L.) on zinc-deficient soils. Field Crops Research. 102: 119-127.
- Kafi, M., Borzoei, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A. and Nabati, J. (2012). Physiology of environmental stresses in plants. Ferdowsi University, Mashhad, Iran, 502 pp.
- Kazemi, F. and Rabbani Khairkhah, S. M. (2022). A look at the application of nanotechnology in the ornamental plant industry, the 12th Congress of Horticultural Sciences of Iran, Rafsanjan. [In Persian]
- Kazemi, F., Rabbani Khairkhah, S. M. and Jozay, M. (2025). Investigating the effect of different sources of nitrogen fertilizer and the type of cultivation medium on the growth and performance of Madagascar periwinkle under green roof conditions. Journal of Plant Environmental Physiology. Accepted on 2025/01/17. [In Persian]
- Kaviani, B., Sedaghat Hoor, SH. And Montazeri, SH. (2021). Effect of Fe and Zn Nano - fertilizers on some growth, biochemical parameters and accumulation of some essential elements in *Saintpaulia ionantha*. Journal of Plant Process and Function. 10(42):293-283. [In Persian]
- Keshavarz Fard, S., Selgi, M., Bagheri, H. and Shahrjardi, A. (2019). Application of biochar and humic acid to increase resistance to drought stress in common zinnia flower. Applied Biology. 33 (1):148-174. [In Persian]
- Madadi Bamanroud Pushti, A., Akbarpour, V., Bahmanyar, M. and Ashnavar, M. (2024). Investigating the application of iron and zinc nanofertilizers on the quantitative and qualitative characteristics of *Lallemantia royleana* Benth. Journal of Plant Production Research. 30 (3):129-141. [In Persian]
- Makarian, H.F. Shujaie, H., Damavandi, A., Nasiri Dehsarkhi, A. and Akhiani, A. (2016). The effect of foliar feeding of micro and nano particles of zinc element on some growth and quality traits of *Vigna radiata* mung bean under drought stress conditions. Researches of Iranian Legumes. 8 (2):180-166. [In Persian]
- Manveliana, J., Weisany, W., Abdul-razzakTahir, N., Jabbari, H. and Diyanat, M. (2021). Physiological and biochemical response of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars to zinc application under drought stress, Industrial Crops and Products, 172.
- Monica, R.C. and Cremonini, R. (2009). Nanoparticles and higher plants. Caryologia, 62(2): 161-165.
- Moghimipour, Z., Mahmoudi Surestani, M., Alamzadeh Ansari, N. and Ramezani, Z. (2014). Investigating the effect of foliar spraying of zinc nano chelate and zinc sulfate on the morphological characteristics of the holy basil medicinal plant (*Ocimum sanctum*). Plant products. 38 (3):53-41. [In Persian]
- Mir, Y., Khosravi, H., Daneshvar, M. and Esmaili, A. (2023). Foliar spraying of micronutrient elements and salicylic acid in order to improve some quality traits and performance of rapeseed (*Brassica napus*.L) under water stress. Environmental tensions in agricultural sciences. 16: 1153-1141.

- Moradi Telavat, M.R., Roshan, F. and Siadat, S.A. (2015). Effect of foliar application of zinc sulfate on minerals content, seed and oil yields of two safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.). Iranian Journal of Crop Sciences, 17(2): 153-164.
- Moon, J.H., and Terao, J. (1998). Antioxidant activity of caffeic acid and dehydrocaffeic acid in lard and human low density lipoprotein. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 46: 5062- 5065.
- Mosanna, R. and Khalilvand Behrozyar, E. (2015). Morpho- physiological response of maize (*Zea mays* L.) to zinc nano-chelate foliar and soil application at different growth stages. Journal on New Biological Reports, 4: 46-50.
- Mozaffari, K., Arshi, Y. and Zeinali Khanghah, H. (1996). Research on the effects of water stress on some morphophysiological traits and yield components of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Seed and Plant Journal 12(3): 24-33. (In Persian with English Summary)
- Nasiri, Y., Zehab-Salmasi, S., Nasrullahzadeh, S., Najafi, N. and Ghassemi-Golezani, K. (2010). Effects of foliar application of micronutrients (Fe and Zn) on flower yield and essential oil of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). Journal of Medicinal Plants Research, 4(17): 1733-1737.
- Navabpour, S., Ramezanpour, S.S. and Mazandarani, A. (2015). Evaluation of changes in enzymatic and nonenzymatic defense systems of soybean cultivars in response to drought stress during reproductive development. Bi-Quarterly Journal of Plant Production Technology, 7(2), 39-54. [In Persian]
- Nikbakht, M., Seluki, M. and Aran, M. (2019). Effect of foliar application of chelate and chemical zinc fertilizer on some quantitative and qualitative characteristics of Abu Jahl watermelon (*Citrullus colocynthis* L.). Iranian Medicinal and Aromatic Plants Research Journal. 36 (6): 911-898. [In Persian]
- Park, J.S., Hye, J., Kim, Cho, H.S., Jung, H.W., Cha, J.Y., Yun, D.J., Oh, S.W. and Chung, Y.S. (2019). Overexpression of AtYUCCA6 in soybean crop results in reduced ROS production and increased drought tolerance. Plant Biotechnology Reports, 13(2), 161-168.
- Rana, S. Singh, S and Bisht, A. (2022). *Digitais purpurea* L: An overview on imedicinal plant. Advances in Agriculture For Doubling Farmers' Income. Publisher: BFC Publications Private Limited. Chapter 17.
- Rabbani Kheirkhah, S.M., F. Kazemi, and Shoor, M. (2019). Evaluating the effect of superabsorbents on soil moisture and physiological characteristics of turfgrasses. Desert, 24(2): 229-240.
- Roshan, F., Moradi Telavat, M., and Siadat, S.A. (2016). Effect of foliar application of zinc sulfate at phenological growth stages on yield and yield components of spring safflower cultivars. Journal of Crops Improvement 17(4): 1063-1074. [In Persian]
- Rossi, L., Fedenia, L. N., Sharifan, H., Ma, X. and Lombardini, L. (2019). Effects of foliar application of zinc sulfate and zinc nanoparticles in coffee (*Coffea arabica* L.) plants. Plant Physiology and Biochemistry. 135: 160 -166.
- Sadeghzadeh, B., Qodsizadeh, L., Sadeghzadeh, N., Sepehr, A. and Faizi, M. (2022). Cereal improvement for zinc deficiency and its importance in adjusting drought stress. Crop Breeding Research Paper. 13 (37): 22-40. [In Persian]
- Salehi, A., Farhosh, F., Akbari, Q., Soltani, A. and Mirshkari, B. (2023). The effect of foliar application of titanium dioxide nanoparticles in low irrigation conditions on some morphological and physiological traits and yield of wheat. Plant processes and function. 12 (53):436-409. [In Persian]
- Sakihama, .H and Yamasaki, Y:(2002). Lipid peroxidation induces by phenolics in conjunction with aluminium ions. Biologia Plantarum. 45 (2): 249-254.
- Slinkard K, Singleton VL. (1977). Total phenol analysis; automation and comparison with manual methods. American Journal of Enology and Viticulture; 28: 49-55.
- Suppan, S. (2013). Nanomaterials in soil, our future food chain? Institute of Agriculture and Trade Policy.

- Shahqoli, S., Seifzadeh, S., Hadidi Masuleh, A., Shahesvari, N. and Zakrin, H. (2022). The effect of foliar application of low-use elements on some biochemical traits and wheat yield under water stress conditions. *Plant Process and Function*. 12 (56):237-221. [In Persian]
- Shahabivand, S., Aghaei, A., Athari, M. and Nasiri, Y. (2023). The effect of foliar application of zinc oxide and zinc nanoparticles on the growth and activity of antioxidant enzymes in the medicinal plant basil (*Ocimum basilicum* L). *Plant Process and Function*. 11 (47):83-94. [In Persian]
- Soheili Movahed, S., Khomari, S., Sheikhzadeh, P. and Alizadeh, B. (2018). Effect of drought stress and boron and zinc foliar application on yield and some morphological and agronomic characteristics of spring safflower. *Agricultural Ecology*. 11 (4):1275-1291.
- Tavossi, R., Sayari, M. and Azizi, A. (2024). The effect of drought stress on some growth and phytochemical characteristics of *Echinacea purpurea* L. *Environmental Stresses in Agricultural Sciences*. 17 (3):621-637. [In Persian]
- Verma, S., Gantait, S., Ryong Jeong, B. and Hwang, S. (2018). Enhanced growth and cardenolides production in *Digitalis purpurea* under the influence of different LED exposures in the plant factory. *Scientific Reports*. 8:18009. DOI:10.1038/s41598-018-36113-9.
- Wang, N. and Duan, J.K. (2006). Effects of variety and crude protein content on nutrients and anti-nutrients in lentil. *Food Chemistry*, 95: 493-502.
- Zargarian, S. M. (2015). Physiomorphological responses of a number of annual flowers to salicylic acid treatment in drought stress and mixed planting design of selected species. PhD thesis. Ferdowsi University of Mashhad. [In Persian]