Plant Prod., 2026, 48(4), 625- 644
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2025.48169.2218
Received: 19 October 2024
Accepted: 17 March 2025

Plant Productions

Research Article

Effect of foliar application of humic acid, nano-Fe and Zn chelate on morpho-physiological traits of Periwinkle (*Catharanthus roseus* L.)

Parisa Sheikhzadeh [1*], Mitra Rostami hir [2], Morteza Barmaki [3], Nasser Zare [3], Rasoul Asghari Zakaria [3], Farzad Fard [4]

1. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
2. Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Applied Sciences and Technology, Ardabil, Iran
3. Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
4. M.Sc. Graduate, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Citation: Sheikhzadeh, E., Rostami hir, M., Barmaki, M., Zare, N., Asghari Zakaria, R., Fard, F. (2026). Effect of foliar application of humic acid, nano-Fe and Zn chelate on morpho-physiological traits of Periwinkle (*Catharanthus roseus* L.). *Plant Productions*, 48(4), 625- 644.

Abstract

Introduction

The use of medicinal plants in traditional medicine has a long and rich history, deeply rooted in various cultures around the world. Madagascar periwinkle (*Catharanthus roseus* L.) is a prominent medicinal plant belonging to the Apocynaceae family, recognized for its rich alkaloid content, which is distributed throughout all parts of the plant. This plant has been traditionally used for various therapeutic purposes, including the treatment of several diseases. Effective management of environmental conditions is crucial in the production of medicinal plants. By utilizing nutritional sources such as humic acid, nano-zinc chelate, and nano-iron chelate, both the quantitative and qualitative yields of these plants can be maximized, thereby enhancing their medicinal properties.

Materials and Methods

To assess the effects of humic acid, nano-iron chelate, and nano-zinc chelate on the characteristics of Madagascar periwinkle, a factorial experiment was conducted using a randomized complete block design with three replications at the municipal flower and plant production farm in Ardabil, located in the village of Soumea during the 2016 growing season. The experimental factors included three levels of humic acid (0, 100, and 300 mg. l^{-1}), three levels of nano-iron chelate (0, 2.5, and 3%), and three levels of nano-zinc chelate (0, 1.5, and 3%). For seedling preparation, seven seeds were planted in each pot measuring 10 cm in height and 12 cm in diameter on March 13, 2016. The soil mixture consisted of two parts soil and one

* **Corresponding Author:** Parisa Sheikhzadeh
E-mail: sheikhzadehmp@gmail.com

© 2026 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

part sand to ensure proper drainage and nutrient availability. The seedlings were transferred to the main field upon reaching the 10-leaf stage on June 9, 2016. Treatments were applied through foliar spraying in two stages: first during the vegetative growth stage (12 leaves) on July 6, 2016, and second during the reproductive growth stage (early flowering) on August 17, 2016. Distilled water served as the control treatment. Key traits evaluated included chlorophyll index, relative water content, stomatal conductance, plant height, number of branches per plant, pods per plant, number of seed per pod, thousand-seed weight, seed yield, and biological yield.

Results and Discussion

The results indicated that foliar application of each substance significantly increased all measured traits compared to the control treatment. This enhancement is attributed to their positive effects on nutrient absorption efficiency, osmotic regulation improvement, increased chlorophyll synthesis, and enhanced photosynthesis processes. Notably, simultaneous application of humic acid, nano-iron chelate, and nano-zinc chelate demonstrated a greater impact than individual applications and showed significant effects on all traits except for the number of seeds per pod. The highest values for chlorophyll index, number of lateral branches per plant, number of pods per plant, and biological yield were achieved with the simultaneous application treatment comprising 300 mg. l^{-1} humic acid + 3% nano-iron chelate + 3% nano-zinc chelate.

Conclusion

Given that the highest biological yield resulted from the simultaneous foliar application of 300 mg/L humic acid along with both 3% nano-iron chelate and nano-zinc chelate, it is recommended to utilize this combination to enhance vegetative growth as well as yield and yield components in Madagascar periwinkle cultivation.

Keywords: Chlorophyll Index, Medicinal plant, Micronutrient, Stomatal conductance

تولیدات گیاهی، ۱٤۰٤، ٤۸(٤)، ٦۲٥ - ٦٤٤
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2025.48169.2218
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۷

تولیدات گیاهی
مقاله پژوهشی

تأثیر محلول‌پاشی اسید هیومیک، نانوکلات آهن و روی بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک گیاه دارویی پروانش (*Catharanthus roseus* L.)

پریسا شیخ زاده [۱*]، میترا رستمی هیر [۲]، مرتضی برمکی [۳]، ناصر زارع [۳]، رسول اصغری زکریا [۳]، فرزاد فرد [٤]

۱- دانشیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲- استادیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جامع علمی کاربردی اردبیل، ایران
۳- استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی ومنابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۴- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

چکیده

گیاه دارویی پروانش ماداگاسکار (*Catharanthus roseus* L.)، یکی از گیاهان دارویی مهم و شناخته شده است. این گیاه منبعی غنی از آلکالوئیدهای ارزشمند بوده که در تمامی اندام‌های گیاه پراکنده شده اند. در تولید گیاهان دارویی، مدیریت شرایط محیطی نقش مهمی در افزایش کمیت و کیفیت محصول دارد. استفاده از منابع تغذیه‌ای مانند اسیدهیومیک، کودهای نانوکلات روی و آهن می‌تواند عملکرد کمی و کیفی گیاهان دارویی را بهبود بخشد. به منظور بررسی تأثیر این ترکیبات بر ویژگی‌های گیاه دارویی پروانش، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در روستای صومعهٔ شهرستان اردبیل در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹٤ انجام شد. عامل‌های آزمایشی شامل اسیدهیومیک در سه سطح (صفر، ۱۰۰، ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، نانوکلات آهن در سه سطح (صفر، ۲/۵، ۳ در هزار) و نانوکلات روی در سه سطح (صفر، ۱/۵، ۳ در هزار) بودند. به منظور تولید نشا، در تاریخ ۲۳ اسفند ۱۳۹٤، هفت بذر در هر گلدان با ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر و قطر ۱۲ سانتی‌متر در بستری با ترکیب دو قسمت خاک و یک قسمت ماسه کاشته شدند. گیاهچه‌ها در مرحلهٔ ۱۰ برگی به زمین اصلی منتقل شدند. تیمارهای محلول‌پاشی در دو مرحلهٔ رشد رویشی (۱۲ برگی) و مرحلهٔ رشد زایشی (اوایل گل‌دهی) اعمال شد. برای محلول‌پاشی تیمار شاهد، از آب مقطر استفاده گردید. در این آزمایش صفاتی مانند شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب برگ، هدایت روزنه‌ای، ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداددانه در غلاف، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد زیست توده مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که محلول‌پاشی هریک از این ترکیبات با افزایش جذب مواد غذایی، بهبود تنظیم اسمزی، افزایش سنتز کلروفیل و بهبود فرآیند فتوسنتز سبب افزایش معنی‌دار کلیه صفات نسبت به شاهد شد. همچنین، کاربرد همزمان اسید هیومیک، نانوکلات آهن و نانوکلات روی تأثیر بیش‌تری نسبت به کاربرد جداگانه آن‌ها داشت و به جز صفت تعداد دانه در غلاف، در سایر صفات تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. محلول‌پاشی همزمان اسید هیومیک، نانوکلات

[*] **نویسنده مسئول:** پریسا شیخ زاده
رایانامه: sheikhzadehmp@gmail.com

آهن و روی به غیر از صفت تعداد دانه در غلاف، در سایر صفات اثر معنی‌داری داشت. بیش‌ترین میزان شاخص کلروفیل، تعداد شاخهٔ فرعی، تعداد غلاف در بوته و عملکرد زیست توده در تیمار محلول‌پاشی همزمان ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدهیومیک و ۳ در هزار نانوکلات آهن و ۳ در هزار نانوکلات روی به‌دست آمد. بنابراین، کاربرد همزمان این ترکیبات در غلظت‌های مورد اشاره، به عنوان یک راهکار تغذیه‌ای کارآمد برای افزایش رشد رویشی، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه پروانش توصیه می‌شود.

کلید واژه‌ها: ریزمغذی، شاخص کلروفیل، گیاه دارویی، هدایت روزنه‌ای

مقدمه

استفاده از گیاهان دارویی برای درمان بیماری‌ها از گذشته‌های دور مرسوم بوده است. این اطلاعات به تدریج از نسلی به نسل دیگر منتقل‌شده و با افزایش دانش بشر، تکامل یافته‌است (Jamshidi-Kia *et al.*, 2017).

پروانش با نام علمی *Catharanthus roeus* L. متعلق به تیرهٔ خرزهره (Apocynaceae)، یکی از گیاهان دارویی مهم و ارزشمند است. این گیاه، بومی جزیرهٔ ماداگاسکار در اقیانوس هند است و امروزه به‌عنوان گیاهی دارویی و زینتی در بسیاری از نقاط جهان کشت می‌شود (Adekomi, 2010). کشت وسیع و صنعتی آن در کشورهایی مانند اسپانیا، ایالات متحده، چین، آفریقا، استرالیا، هند و جنوب اروپا رایج است (Lata, 2007). این گیاه حاوی ۱۳۰ نوع آلکالوئید ایندولی است؛ از جمله وین‌بلاستین و وین‌کریستین در اندام‌های هوایی که در درمان سرطان کاربرد دارند و آجمالایسین در ریشه که در رفع انسداد جریان خون طبیعی در مغز مؤثر است (Aslam *et al.*, *2010*). آلکالوئیدهای مورد اشاره از بخش‌های مختلف گیاه شامل ریشه، برگ، گل و ساقه استخراج می‌شوند (Das and Sharangi, 2017).

عملکرد یک گیاه دارویی زمانی اقتصادی و مقرون به‌صرفه است که علاوه بر تولید حداکثری زیست توده، کمیت و کیفیت مواد مؤثره آن نیز در سطح مطلوب باشد که این موضوع با مدیریت عوامل محیطی محقق خواهد شد (Kusano *et al.*, 2008). در حال حاضر رویکرد جهانی در تولید گیاهان دارویی، استفاده از نظام‌های کشاورزی پایدار و به‌کارگیری روش‌های مدیریتی مانند کاربرد کودهای آلی و نانوکودها جهت افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاهان دارویی است (Gohari *et al.*, 2017).

کودهای آلی مانند اسید هیومیک، اسید فولویک و اسید هیمتولانیک محصول نهایی تجزیه بقایای گیاهی در خاک هستند و نقش مهمی در تنظیم مواد مغذی خاک، تبادل گازهای خاک و جو، تجزیهٔ ترکیبات سمی و بهبود زیست‌پذیری برای میکروارگانیسم‌ها ایفا می‌کنند (Turan *et al.*, 2022). اسید هیومیک به‌عنوان یک محرک زیستی، سبب افزایش هورمون‌های درون‌زا، افزایش محتوای آب و دسترسی بیشتر به مواد مغذی در خاک می‌شود که مجموع این عوامل منجر به افزایش فتوسنتز و تولید زیست توده می‌گردد (Chen *et al.*, 2022).

نانو ذرات به دلیل ویژگی‌های ساختاری منحصر به فرد و کارایی بالا، به عنوان جایگزینی مناسب برای کودهای معمولی مطرح شده‌اند (Fatima *et al.*, 2020). استفاده از نانوکودها به دلیل اندازهٔ کوچک، سطح ویژه بالا و قابلیت جذب بیشتر، سبب افزایش کارایی جذب عناصر غذایی، کاهش سمیت خاک و کاهش تعداد دفعات مصرف کود می‌شود (Larki *et al.*, 2015; Naumann *et al.*, 2018). این ترکیبات، به عنوان راهکاری امیدبخش و کارآمد برای توسعهٔ کشاورزی پایدار شناخته می‌شوند (Mittal *et al.*, 2020).

عناصر ریزمغذی مانند آهن و روی با وجود این‌که

به مقدار کم مورد نیاز گیاهان هستند، ولی نقش اساسی در رشد گیاه و افزایش عملکرد دارند (Nasiri and Najafi, 2015). این عناصر نقش اساسی در متابولیسم گیاه دارند و تعادل بین آن‌ها در کمیت و کیفیت تولیدات گیاهان مؤثر است، به‌طوری که جذب بیش از حد یا کمبود این عناصر باعث ایجاد اختلالات متابولیکی در گیاه و در نهایت منجر به کاهش عملکرد می‌گردد (Turan *et al.*, 2022). آهن به‌دلیل نقش ساختاری آن در تشکیل خوشه‌های آهن-گوگرد فردوکسین، به عنوان یکی از ریزمغذی‌های ضروری برای گیاه محسوب می‌شود. فردوکسین، پروتئینی است که در فرآیند انتقال الکترون در فتوسنتز نقش مهمی ایفا می‌کند. کمبود آهن با ایجاد ناهنجاری در ساختار کلروپلاست، کاهش محتوای کلروفیل و در نتیجه کاهش سرعت فتوسنتز همراه است (Şimşek and Çelik, 2021). روی نیز یک عنصر ضروری و کم‌مصرف برای گیاهان است که نقش کلیدی در فعالیت کاتالیزوری داشته و به عنوان کوفاکتور ساختاری و تنظیمی در طیف گسترده‌ای از آنزیم‌ها عمل می‌کند. همچنین برای متابولیسم کربوهیدرات‌ها، بیوسنتز تنظیم‌کننده‌های گیاهی، سنتز پروتئین و حفظ و یکپارچگی غشاها ضروری است (Calvo *et al.*, 2014). در حال حاضر کمبود عناصر ریز مغذی روی و آهن به دلیل استفاده از سیستم‌های کشت فشرده و تأمین ناکافی ریزمغذی‌ها به عنوان یک مشکل عمده در کشورهای در حال توسعه مطرح است (Dhaliwal *et al.*, 2021).

نتایج بررسی تأثیر اسید هیومیک و نانوکلات روی بر گیاه دارویی مرزه (*Satureja hortensis* L.) نشان داد که محلول‌پاشی ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک همراه با ۲ گرم در لیتر نانوکلات روی به ترتیب سبب افزایش ۶۴ و ۷۵ درصدی وزن خشک بوته و سطح برگ در مقایسه با تیمار شاهد گردید (Najafivafa *et al.*, 2020). همچنین گزارش شده است که در اثر محلول‌پاشی آهن، عملکرد دانه، محتوای اسانس و میزان کلروفیل در گیاه دارویی آنیسون (*Pimpinella anisum* L.) افزایش می‌یابد و این افزایش با محلول‌پاشی عنصر روی بیش‌تر نیز شد به طوری‌که بیشترین تعداد دانه، عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده و عملکرد اسانس با محلول‌پاشی همزمان غلظت ۶ در هزار آهن و ۴ در هزار روی به دست آمد (Pirzad *et al.*, 2013). محلول‌پاشی آهن و روی عملکرد گل و اسانس بابونه (*Matricaria chamomilla* L.) را به طور قابل‌توجهی بهبود بخشد، به‌ویژه وقتی‌که این ریزمغذی ها با هم در دو مرحلهٔ ساقه دهی و گلدهی استفاده شدند (Nasiri *et al.*, 2010). در زیره سیاه (*Nigella sativa* L.) نیز استفاده از کلات‌های آهن و روی به صورت نانوکلات نسبت به فرم معمول بیش‌ترین تأثیر را بر عملکرد و اجزای عملکرد داشت، به‌طوری که در بین غلظت‌های مورد بررسی، محلول‌پاشی غلظت ۴ در هزار نانوکلات آهن و ۳ در هزار نانوکلات روی باعث بیش‌ترین افزایش در عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده و شاخص برداشت شد (Davoodi *et al.*, 2020). محلول‌پاشی همزمان نانوکلات آهن و اسیدهیومیک ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر، عملکرد مادهٔ خشک را در ریحان (*Ocimum basilicum* L.)، به میزان ۱۶/۲ درصد افزایش داد و سبب افزایش درصد اسانس از ۰/۵۵ درصد در تیمار شاهد به ۱/۸۹ درصد در تیمار نانوکلات آهن + اسید هیومیک ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر شد (Hoseini *et al.*, 2023).

مواد مؤثره گیاه دارویی پروانش در تمامی اندام‌های این گیاه پراکنده است؛ ازاین‌رو، افزایش عملکرد زیست‌توده می‌تواند به‌منزلهٔ افزایش دسترسی به مواد مؤثره نیز تلقی شود. بر این اساس، مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر اسید هیومیک و نانوکلات‌های آهن و روی و همچنین تعیین غلظت بهینه این ترکیبات بر صفات مورفوفیزیولوژیک گیاه پروانش انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ در مزرعهٔ تولید گل و گیاه فضای سبز شهرداری اردبیل، در روستای صومعه واقع در ۵ کیلومتری شمال غربی شهرستان اردبیل انجام شد. این منطقه در ارتفاع ۱۳۴۲ متری از سطح دریا در ۱۴ درجه و ۴۸ دقیقه طول جغرافیایی و ۱۸ درجه و ۳۸ دقیقه عرض جغرافیایی قرار گرفته است. محل آزمایش از نظر طبقه‌بندی اقلیمی به روش آمبرژه در اقلیم نیمه خشک سرد قرار دارد. ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ و ویژگی‌های هواشناسی در جدول ۲ ارائه شده است.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل اسید هومیک ۷۰ درصد با غلظت صفر (شاهد)، ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کود نانوکلات آهن ۷ درصد با غلظت‌های صفر (شاهد)، ۱/۵ و ۳ در هزار و کود نانوکلات روی ۱۲ درصد با غلظت‌های صفر (شاهد)، ۲/۵ و ۳ در هزار بودند. در این آزمایش بذور پروانش مورد نیاز از شرکت مزرعه سبز نمین، اسید هیومیک مورد استفاده از شرکت خزر کود طبرستان با کد ۲۴۱۲۶۱۲۳۷۱ و نانوکود آهن و روی از شرکت خضرا تهیه گردید.

به منظور تهیه نشا، هفت عدد بذر در هر گلدان (ارتفاع گلدان ۱۰ سانتی‌متر و قطر دهانه ۱۲ سانتی‌متر) در ۲۳ اسفند ماه سال ۱۳۹۴ در گلخانه کاشته شد. برای ترکیب خاکی بستر گلدان‌ها شامل دو قسمت خاک و یک قسمت ماسه در نظر گرفته شد. در این آزمایش از کوکوپیت به عنوان پوشش بر روی بذرها استفاده شد. جوانه‌زنی بذرها بین ۱۲ تا ۱۴ روز به طول انجامید.

میانگین دمای روزانه گلخانه در زمان رشد گیاه ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد، میانگین دمای شبانه ۱۸ درجه سانتی‌گراد، و میانگین رطوبت نسبی ۶۰ درصد بود. گیاهچه‌ها در مرحلهٔ ۱۰ برگی در تاریخ ۲۰ خرداد ۱۳۹۵ به زمین اصلی انتقال داده شدند.

برای تهیهٔ زمین محل اجرای آزمایش، ابتدا زمین توسط گاوآهن برگردان‌دار شخم و سپس با استفاده از دیسک و ماله، مسطح و کرت بندی شد.

هر کرت آزمایشی شامل نه خط کاشت به طول و عرض سه‌متر بود که یک ردیف از هر طرف و نیم‌متر از بالا و پایین برای اثر حاشیه در نظر گرفته شد. فاصلهٔ بین ردیف‌ها ۳۵ سانتی‌متر و فاصلهٔ بوته‌ها روی هر ردیف ۲۵ سانتی‌متر بود. اولین آبیاری در روز انتقال نشاها انجام شد تا از پژمردگی نشاها جلوگیری شود و به‌صورت جوی-پشته‌ای اعمال گردید. آبیاری‌های بعدی بر اساس نیاز گیاه و به‌طور متوسط هر هفت روز یک‌بار تا رسیدگی فیزیولوژیک ادامه یافت.

عملیات داشت شامل آبیاری، وجین علف‌های هرز و سله‌شکنی به‌صورت دستی و به طور منظم، در تمامی کرت‌ها به یکسان انجام شد. محلول‌پاشی در دو مرحلهٔ رشد رویشی (۱۲ برگی) در تاریخ ۱۵ تیرماه ۱۳۹۵ و در مرحلهٔ رشد زایشی (اوایل گل‌دهی) در تاریخ ۲۶ مردادماه ۱۳۹۵ انجام شد. در تیمار شاهد از آب مقطر استفاده شد. برای افزایش راندمان جذب عناصر غذایی، محلول‌پاشی در ساعات صبح بین ۶ تا ۹ صبح انجام شد تا رطوبت نسبی هوا بیشتر باشد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در عمق ۳۰ سانتی‌متری

Table 1. Physical and chemical characteristics of the soil at the depth of 0-30 cm

Soil texture	Sand (%)	Clay (%)	Silt (%)	K (mg kg^{-1})	P (mg kg^{-1})	N (mg kg^{-1})	pH	EC (dS m^{-1})
Loam-clay	22	46	32	136	7.07	0.6	7.82	0.686

جدول ۲- ویژگی‌های هواشناسی منطقهٔ اجرای آزمایش طی دورهٔ رشد (۱۳۹۵)

Table 2. Meteorological characteristics during growing period at experimental site (2016)

Month	Average daily temperature (°C)	Average minimum temperature (°C)	Average maximum temperature (°C)	Monthly rainfall (mm)
June	15.5	9	22	25
July	18.2	11.1	25.4	10.0
August	19.2	13.6	24.8	3.3
September	20.4	12.7	28.2	0.0
October	12.2	6.1	18.4	9.88
November	7.1	1.7	12.5	40.3

میزان محلول مورد نیاز برای هر کرت با غلظت تعیین‌شده تهیه و با سم‌پاش تلمبه‌ای دستی به‌طور یکنواخت بر روی شاخ و برگ گیاه اعمال شد. همچنین با توجه به واکسی بودن برگ‌های پروانش و به منظور جلوگیری از تجمع محلول در نقاط خاص و ایجاد سوختگی برگ، به هر ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول، دو قطره توئین ۲۰ اضافه گردید.

شاخص کلروفیل، با دستگاه کلروفیل‌متر دستی (مدل Konica Minota, Chlorophyll Metter SPAD-502, Japan) و هدایت روزنه‌ای توسط پرومتر (Porometer U.S.A SC-1) یک هفته پس از محلول‌پاشی اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ، هفت روز پس از محلول‌پاشی در مرحلهٔ رشد زایشی، سه بوته به طور تصادفی انتخاب شد و از هر بوته سه نمونهٔ برگ درون پلاستیک قرار داده و داخل یخ به آزمایشگاه منتقل شدند و به سرعت وزن تر آن توسط ترازو با دقت ۰/۰۰۰۱ توزین شد. برگ‌ها بلافاصله در داخل آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجهٔ سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از ۲۴ ساعت، آب سطحی آن‌ها به آرامی خشک و وزن اشباع آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت دیگر در آون در دمای ۷۵ درجهٔ سانتی‌گراد قرارگرفت و وزن خشک آن‌ها توزین شد. در نهایت بر اساس رابطه ۱ محتوای نسبی آب برگ محاسبه گردید (Ritchie *et al.*, 1990).

$$RWC=(F_w-D_w)/(T_w-D_w)\times 100$$ رابطهٔ ۱

در این رابطه RWC، Fw، Dw و Tw به ترتیب نشان دهندهٔ محتوای نسبی آب، وزن تر برگ بلافاصله پس از نمونه‌برداری، وزن خشک پس‌از قرارگیری در آون، وزن اشباع برگ پس از قرارگیری در آب مقطر می‌باشد.

برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد غلاف و تعداد دانه، در اوایل آبان ماه ۱۳۹۵ پنج بوته از هر کرت به‌طور تصادفی برداشت شد. ارتفاع ساقه اصلی با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شد و تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد غلاف و تعداد دانه در هر غلاف شمارش و یادداشت گردید. وزن هزار دانه نیز پس از شمارش، توزین گردید. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه و عملکرد زیست توده نیز پنج بوته از هر کرت به‌طور تصادفی برداشت و وزن دانه و عملکرد زیست توده آن‌ها اندازه‌گیری و در نهایت به صورت عملکرد تک بوته محاسبه گردید. پس از جمع آوری داده‌ها و اطمینان از نرمال بودن آن‌ها تجزیه و تحلیل آن با استفاده نرم افزار آماری SAS 9.1، رسم نمودارها توسط نرم افزار Excel و مقایسه میانگین صفات مورد بررسی از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

شاخص کلروفیل

اثر اصلی محلول‌پاشی اسید هیومیک، آهن، روی و اثر دو جانبهٔ اسید هیومیک × آهن، در سطح احتمال یک

درصد بر شاخص کلروفیل معنی‌دار بود، در حالی‌که اثر دو جانبهٔ اسید هیومیک × روی و آهن × روی و همچنین اثر سه‌جانبهٔ اسید هیومیک × آهن × روی بر این صفت معنی‌دار نگردید (جدول ۳). محلول‌پاشی نانوکلات روی با غلظت ۳ در هزار با تفاوت معنی‌دار نسبت به غلظت ۱/۵ در هزار، سبب افزایش ۱۳/۴ درصدی شاخص کلروفیل نسبت به تیمار شاهد شد (شکل۱-A). هم محلول‌پاشی اسید هیومیک و هم نانوکلات آهن سبب افزایش شاخص کلروفیل شد، ولی اثر مصرف تلفیقی آن‌ها سبب هم‌افزایی و افزایش بیش‌تر شاخص کلروفیل گردید به طوری‌که نانوکلات آهن با غلظت ۳ در هزار، سبب افزایش ۲۰/۷ درصد و اسید هیومیک با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر سبب افزایش ۲۴/۴۱ درصدی شاخص کلروفیل نسبت به تیمار شاهد شدند، ولی بیش‌ترین میزان شاخص کلروفیل در محلول‌پاشی همزمان اسید هیومیک با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و نانوکلات آهن با غلظت ۳ در هزار مشاهده شد که با تفاوت معنی‌دار نسبت به سایر تیمارها، سبب افزایش ۳۹/۵۳ درصدی شاخص کلروفیل نسبت به تیمار شاهد شد (شکل۱-B).

افزایش میزان شاخص کلروفیل می‌تواند به دلیل افزایش جذب عناصر غذایی در گیاه و فعال شدن آنزیم‌های مسیر بیوسنتز کلروفیل باشد. افزایش جذب نیتروژن در اثر کاربرد اسید هیومیک (Dalvand *et al.*, 2018) نقش ضروری آهن در ساختار آنزیم‌ها، سیتوکروم‌ها، فرودوکسین و سنتز کلروفیل (Barker and Pilbeam, 2015) و همچنین ضرورت حضور عنصر روی در فعال‌سازی برخی از آنزیم‌های مسیر بیوسنتز کلروفیل و نیز برخی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (Azhand *et al.*, 2021)، از دلایل افزایش شاخص کلروفیل می‌باشد.

مطابق با نتایج پژوهش حاضر، افزایش شاخص کلروفیل در اثر کاربرد آهن و روی در گیاه نعنا فلفلی (Mohammadi *et al.*, 2016) و آهن و اسید هیومیک در گیاه ریحان (Hoseini *et al.*, 2023) نیز گزارش شده‌است که مطابق با نتایج پژوهش حاضر می‌باشد.

محتوای نسبی آب برگ

اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک، نانوکلات آهن و روی بر محتوای نسبی آب برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید، ولی اثرهای دو جانبهٔ و سه جانبهٔ آن‌ها بر این پارامتر معنی‌دار نشد (جدول ۳). محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف اسید هیومیک بر محتوای نسبی آب برگ معنی‌دار بود، به طوری‌که غلظت ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک، محتوای نسبی آب برگ را با اختلاف معنی‌دار به ترتیب به میزان ۳/۸۹ و ۸/۶۳ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد (شکل۲-A). محلول‌پاشی نانوکلات آهن و نانوکلات روی نیز سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ شدند، به‌طوری‌که محلول‌پاشی غلظت ۳ در هزار نانوکلات آهن و نانوکلات روی به ترتیب سبب افزایش۷/۴۱ و ۶/۹۳ درصدی محتوای نسبی آب برگ نسبت به تیمار شاهد شدند. بین سطوح ۲/۵ و ۳ در هزار نانوکلات آهن (شکل۲-B) و غلظت ۱/۵ و ۳ در هزار نانوکلات روی (شکل۲-C) تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. افزایش محتوی نسبی برگ نتیجهٔ افزایش تنظیم اسمزی است. به‌نظر می‌رسد نانوکلات آهن و روی با بهبود تنظیم اسمزی، محتوای نسبی آب برگ را افزایش می‌دهند. افزایش محتوی نسبی آب برگ در اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک، نانوکلات آهن و نانوکلات روی به ترتیب در کلزا (Afkari and Sarhangzadeh, 2023)، زعفران (*Crocus sativus* L.) و رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) گزارش شده است (Hassanpouraghdam *et al.*, 2021).

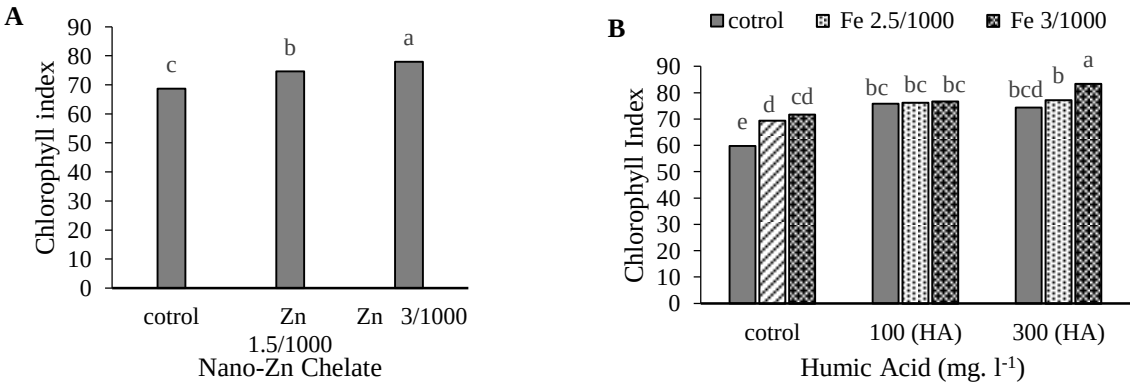
جدول ۳- تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی با اسیدهیومیک، نانو کلات آهن و روی برصفات مورد مطالعه در گیاه دارویی پروانش

Table 3. Analysis of variance for the effect of humic acid, nano-Fe and Zn chelate treatments on evaluated traits of Periwinkle

S.O.V	df	Mean of squares									
		Chlorophyll index	Relative water content	Stomatal conductance	Plant height	Number of branches	Number of pods per plant	Number of seeds in pre pod	1000-seed weight	Seed yield	Biological yield
Block	2	22.93	0.003	14.01	13.37	26.1	46.93	2.57	0.002	2.66	25.2
Humic acid (HA)	2	1078.87^{**}	0.032^{**}	43.70^{**}	77.49^{*}	1359.86^{**}	17543^{**}	41.83^{**}	2.84^{**}	1347^{**}	1423^{**}
Nano-Fe chelate	2	319.25^{**}	0.025^{**}	40.19^{**}	48.62^{ns}	1274.6^{**}	69491^{**}	182.86^{**}	0.1^{*}	1045.6^{**}	4655^{**}
Nano-Zn chelate	2	590.20^{**}	0.024^{**}	27.36^{**}	141.78^{**}	356.93^{**}	38715^{**}	91.35^{**}	0.065^{**}	634.5^{**}	2701^{**}
Nano-Fe ×HA	4	128.17^{**}	0.008^{ns}	2.38^{ns}	35.78^{ns}	84.23^{**}	1205^{**}	2.94^{ns}	0.16^{**}	142.12^{**}	77.7^{**}
Nano-Zn × HA	4	40.08^{ns}	0.003^{ns}	4.79^{ns}	26.35^{ns}	66.56^{**}	386.7^{ns}	3.09^{ns}	0.032^{*}	87.49^{**}	78.3^{**}
Nano-Zn × Nano-Fe	4	48.65^{ns}	0.003^{ns}	9.36^{**}	112.9^{**}	391.8^{**}	2820^{**}	0.96^{ns}	0.003^{ns}	105.18^{**}	67.3^{**}
Nano-Zn ×Nano-Fe× HA	8	57.76^{ns}	0.002^{ns}	4.32^{ns}	16.49^{ns}	147.99^{**}	367.9^{ns}	3.84^{ns}	0.028^{*}	31.26^{**}	57.7^{**}
Error	52	32.41	0.001	2.39	18.44	15.67	182.7	6.31	0.01	2.17	10.72
CV%	-	7.71	4.92	4.28	8.32	11.72	8.76	14.17	11.1	10.72	5.25

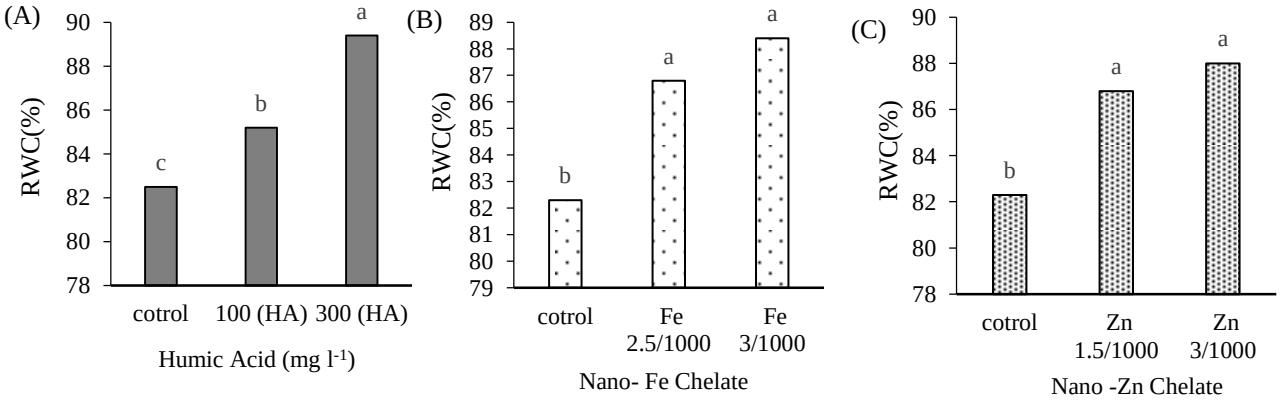
*، ** و ^{ns} به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد و غیر معنی‌دار می‌باشند.

^{ns}, * and **: Non-significant and significant at 5% and 1% probability level, respectively.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی نانوکلات روی (الف) و برهم‌کنش نانو کلات آهن و اسید هیومیک (ب) بر شاخص کلروفیل پروانش. میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Figure 1. Effect of foliar application of nano-Zn chelate (A) and nano-Fe chelate × humic acid (B) on chlorophyll index in Periwinkle. Means with similar letters in each column are not significantly different at 5% level of probability using Duncan's multiple range test.



شکل۲- مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک نانوکلات روی (الف)، نانوکلات آهن (ب) و نانوکلات روی (ج) بر محتوی نسبی آب برگ پروانش. میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Figure 2. Effects of foliar application of humic acid (A), nano-Fe chelate (B), nano-Zn chelate (C) and on RWC in Periwinkle. Means with similar letters in each column are not significantly different at 5% level of probability using Duncan's multiple range test.

هدایت روزنه‌ای

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از آن بود که اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک، نانوکلات آهن و روی و همچنین برهمکنش نانوکلات آهن و روی بر میزان هدایت روزنه‌ای معنی‌دار بود، ولی اثر دو جانبهٔ اسید هیومیک با آهن و اسید هیومیک با روی و اثر سه جانبهٔ اسید هیومیک، آهن و روی، بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۳).

محلول‌پاشی اسید هیومیک با غلظت‌های ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر، با تفاوت معنی‌دار از هم به‌ترتیب سبب افزایش ۴/۱۲ و ۷/۸۱ درصدی میزان هدایت روزنه‌ای برگ نسبت به شاهد گردید (شکل۳-A).

بیش‌تربن میزان هدایت روزنه‌ای در کاربرد همزمان غلظت ۲/۵ در هزار نانوکلات آهن با غلظت ۳ در هزار نانوکلات روی با ۱۶/۲۲ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد مشاهده گردید، که با تیمارهای ۳ در هزار نانوکلات آهن، ۳ در هزار نانوکلات آهن با ۱/۵ در هزار نانوکلات روی و ۳ در هزار نانوکلات آهن با ۳ در هزار نانوکلات روی تفاوت معنی‌داری نداشت. کم‌ترین هدایت روزنه‌ای در تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی) به‌دست آمد که به‌طور معنی‌داری از تیمارهای کاربرد کودی کمتر بود (شکل۳-B). نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد محلول‌پاشی روی، سبب افزایش محتوای نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برگ‌ها می‌شود (Alamer *et al.*, 2020). افزایش جذب میزان پتاسیم در اثر استفاده از نانوکود روی نسبت به روی معدنی در مطالعات گذشته نیز گزارش شده است (Saini *et al.*, 2021). تجمع پتاسیم در واکوئل سلول‌های محافظ روزنه باعث افزایش فشار اسمزی در این سلول‌ها و باز شدن روزنه‌ها می‌شود (Outlaw, 1983). همچنین افزایش محتوای نسبی آب برگ، با توجه به وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین هدایت روزنه‌ای و محتوی نسبی آب، سبب افزایش میزان هدایت روزنه‌ای می‌گردد (Roshanfekr dezfuli *et al.*, 2012). افزایش محتوای نسبی آب برگ در اثر محلول‌پاشی نانوکلات آهن و روی می‌تواند از دلایل افزایش هدایت روزنه‌ای در این پژوهش باشد (شکل۲).

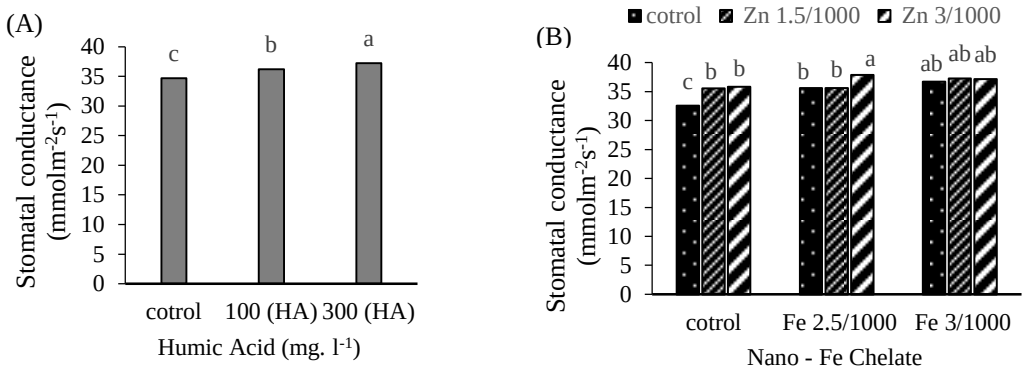
ارتفاع بوته

اثر محلول‌پاشی اسیدهیومیک و نانوکلات روی بر ارتفاع بوته، معنی‌دار و اثر نانوکلات آهن بر روی این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۲). برهمکنش نانوکلات آهن و روی بر ارتفاع بوته معنی‌دار و سایر برهمکنش های دو جانبهٔ و برهمکنش سه جانبهٔ اسیدهیومیک و نانوکلات آهن و روی بر ارتفاع بوته معنی‌دار نبود (جدول ۳).

کاربرد اسیدهیومیک موجب افزایش ارتفاع بوته گردید، به‌طوری‌که کمترین میانگین ارتفاع بوته مربوط به تیمار عدم محلول‌پاشی و بیش‌تربن آن با ۶/۷۸ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد، در محلول‌پاشی با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک مشاهده گردید. بین تیمارهای ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل۴-A).

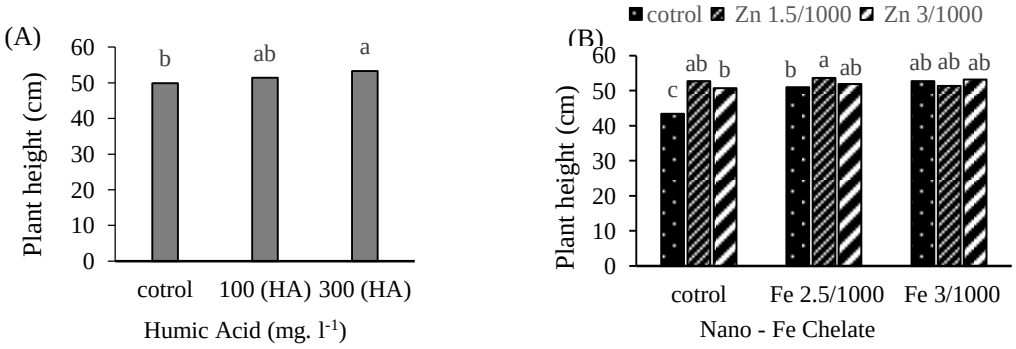
مطابق با نتایج پژوهش حاضر، افزایش ارتفاع بوته در اثر محلول‌پاشی اسیدهیومیک در آویشن (Sorkhi, 2020) و فلفل قرمز (*Capsicum annum* L.) نیز گزارش شده است (Jan *et al.*, 2020).

بیش‌ترین ارتفاع بوته در محلول‌پاشی ترکیبی نانوکلات آهن با غلظت ۲/۵ در هزار با نانوکلات روی ۱/۵ در هزار مشاهده گردید که باعث افزایش ۲۳/۴۰ درصدی ارتفاع بوته نسبت به تیمار شاهد گردید (شکل ۴ B). با توجه به نقش عنصر روی در فتوسنتز و همچنین افزایش طول میانگره‌ها (Raeesi Sadati *et al.*, 2020) و نیز اثر مثبت آهن در سنتز کلروفیل (Oshodi *et al.*, 1993)، انتظار می‌رود با محلول‌پاشی عناصر آهن و روی، ارتفاع بوته افزایش یابد. در پژوهشی ارتفاع بوته در سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) در تیمار شاهد، ۱۷۹ سانتی‌متر بود که در اثر محلول‌پاشی آهن، روی و تلفیق آهن و روی به ترتیب به ۱۸۰، ۱۸۴ و ۱۹۶سانتی‌متر رسید (Soleymani and Hesam Shahrajabian, 2012). همچنین محلول‌پاشی ۲ درصد نانو اکسید آهن در سیب‌زمینی باعث افزایش ۲۶/۴۵ درصدی ارتفاع بوته نسبت به شاهد شد (Pourahmadi *et al.*, 2023).



شکل۳- مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک نانوکلات روی (الف) و نانوکلات آهن (ب) بر هدایت روزنه‌ای پروانش. میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Figure 3. Effect of foliar application of humic acid (A) and nano-Fe chelate × nano-Zn chelate (B) on stomatal conductance in Periwinkle. Means with similar letters in each column are not significantly different at 5% level of probability using Duncan's multiple range test.



شکل٤- مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک (الف) و نانوکلات آهن (ب) بر ارتفاع بوتهٔ پروانش. میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Figure 4. The effects of foliar application humic acid (A) and nano-Fe chelate × nano-Zn chelate (B) on plant height in Periwinkle. Means with similar letters in each column are not significantly different at 5% level of probability using Duncan's multiple range test.

تعداد شاخه‌های فرعی

اثرهای اصلی سطوح اسید هیومک، نانوکلات آهن و روی، برهم‌کنش دو جانبهٔ اسید هیومیک × آهن، اسید هیومیک × نانوکلات روی و آهن × روی و همچنین برهمکنش سه جانبهٔ اسید هیومیک با آهن و روی بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۳).

بیش‌ترین تعداد شاخه‌های فرعی در بوته مربوط به کاربرد همزمان غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدهومیک با غلظت ۳ در هزار نانوکلات آهن و غلظت ۳ در هزار نانوکلات روی بود که باعث ۴/۵ برابر شدن تعداد شاخه فرعی نسبت به تیمار شاهد شد و تفاوت معنی‌داری با تیمارهای کاربرد هم‌زمان ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک با ۳ در هزار نانوکلات آهن و ۳ در هزار نانوکلات روی نداشت. با افزایش غلظت کودها بر تعداد شاخه‌های فرعی در بوته نیز افزوده شد. کم‌ترین ارتفاع بوته مربوط به تیمار عدم محلول‌پاشی بود، که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای ۱/۵ در هزار نانوکلات روی، ۳ در هزار نانوکلات روی و ۲/۵ در هزار نانوکلات آهن نداشت (جدول ۴).

اسید هیومیک از طریق افزایش جذب عناصر غذایی از جمله نیتروژن (Dalvand *et al.*, 2018)، روی از طریق

افزایش فتوسنتز خالص (Flores *et al.*, 2023) و آهن نیز از طریق افزایش میزان کلروفیل، سبب افزایش تولید مواد آلی و در نتیجه افزایش رشد اندام‌های گیاه از جمله تعداد شاخه جانبی شوند.

در اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک، افزایش ۲۲/۷ درصدی تعداد شاخه فرعی در گیاه دانسیاه (*Guizotia abyssinica* (L. گزارش شده است (Tadayyon and Beheshti, 2016). نتایج پژوهش‌ها، نشان دهندهٔ اثر مثبت محلول‌پاشی تلفیقی نسبت به استفاده مجزا و منفرد است، به‌طوری‌که در اثر محلول‌پاشی آهن، روی و ترکیب آهن و روی، تعداد شاخهٔ فرعی در گیاه زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) به ترتیب به میزان ۸/۶۸، ۳/۱۱ و ۱۲/۶ درصد افزایش یافته است که مطابق با نتایج پژوهش حاضر می‌باشد (Amini *et al.*, 2019).

تعداد غلاف در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که صفت تعداد غلاف در بوته به طور معنی‌داری به سطوح مختلف اسید هیومیک، آهن و روی و همچنین برهمکنش اسید هیومیک و نانوکلات آهن و نیز نانوکلات آهن و روی واکنش نشان می‌دهد (جدول ۳).

به نظر می‌رسد اسید هیومیک با حفظ تعادل آب گیاه (شکل۲-A) و افزایش میزان فتوسنتز از طریق افزایش شاخص کلروفیل (شکل۱-A) و هدایت روزنه‌ای (شکل۳-A)، شرایط بهتری را برای طولانی شدن زمان گل‌دهی و افزایش تعداد غلاف فراهم می‌کند. افزایش تعداد روز گل‌دهی، در اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک در فلفل قرمز گزارش شده است (Jan *et al.*, 2020).

نانوکلات آهن، در هر دو سطح مورد استفاده، با افزایش میزان نانوکلات روی، سبب افزایش معنی‌دار تعداد غلاف در بوته گردید. تیمارهای تلفیقی نسبت به تیمارهای منفرد، افزایش بیشتری را در تمامی سطوح نشان دادند، به طوری‌که محلول‌پاشی همزمان غلظت ۳ درهزار نانوکلات آهن با غلظت ۳ در هزار نانوکلات روی، سبب شد تا تعداد غلاف در در بوته نسبت به تیمار شاهد، سه برابر افزایش یابد (شکل۵-B). ریز مغذی روی با اثر مثبت بر تشکیل برگ پرچم و دانه گرده، سبب افزایش باروری گل (Kobraee *et al.*, 2011) و آهن نیز با افزایش ماندگاری گل (Hosny *et al.*, 2019)، سبب افزایش تعداد غلاف در بوته می‌شوند. افزایش تعداد غلاف در بوته در اثر کاربرد همزمان نانو ذرات آهن و روی در لوبیا چیتی نیز گزارش شده است، که مطابق با نتایج پژوهش حاضر می‌باشد (Fatollahpour Grangah *et al.*, 2021).

تعداد دانه در غلاف

براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، فقط اثرهای اصلی سطوح اسید هیومیک، نانوکلات آهن و روی بر تعداد دانه در غلاف معنی‌دار بود (جدول ۳).

کاربرد غلظت ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک، با تفاوت معنی‌دار نسبت به شاهد موجب افزایش تعداد دانه در غلاف به ترتیب به میزان ۹/۹۶ و ۱۴/۹۱ درصد شد (شکل۶-A). افزایش غلظت نانوکلات آهن با تفاوت معنی‌دار موجب افزایش تعداد دانه در غلاف گردید، به‌طوری که کم‌ترین و بیش‌ترین تعداد غلاف در بوته به ترتیب در تیمار شاهد و غلظت ۳ در هزار نانوکلات آهن حاصل شد. محلول‌پاشی نانوکلات آهن با غلظت ۲/۵ و ۳ در هزار، تعداد دانه در غلاف را به ترتیب به میزان ۲۲/۹۲ و ۳۴/۴۱ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد (شکل۶-B). علی‌رغم این که هر دو غلظت نانوکلات روی سبب افزایش تعداد دانه در غلاف گردید، ولی بین این دو تیمار تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. تعداد دانه در غلاف با کاربرد غلظت ۱/۵ و ۳ در هزار نانوکلات روی به ترتیب به میزان ۱۵/۵۸ و ۲۲/۶۳ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (شکل۶-C).

محلول‌پاشی روی با افزایش ذخایر هیدروکربنی و طول عمر گرده، منجر به افزایش گرده افشانی و تشکیل تعداد بیشتری دانه می‌شود (Wang and Jin, 2007). مطابق با نتایج پژوهش حاضر، افزایش تعداد دانه در غلاف در اثر کاربرد نانو ذرات آهن و روی در لوبیا چیتی (Fatollahpour Grangah *et al.*, 2021)، سویا (Tousi *et al.*, 2014) و شنبلیله (Mohammadzadeh and Amirinia, 2016). گزارش شده است. افزایش تعداد دانه در غلاف در اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک در عدس (*Lens culinaris Medic*) نیز گزارش شده است (Dogan *et al.*, 2014)

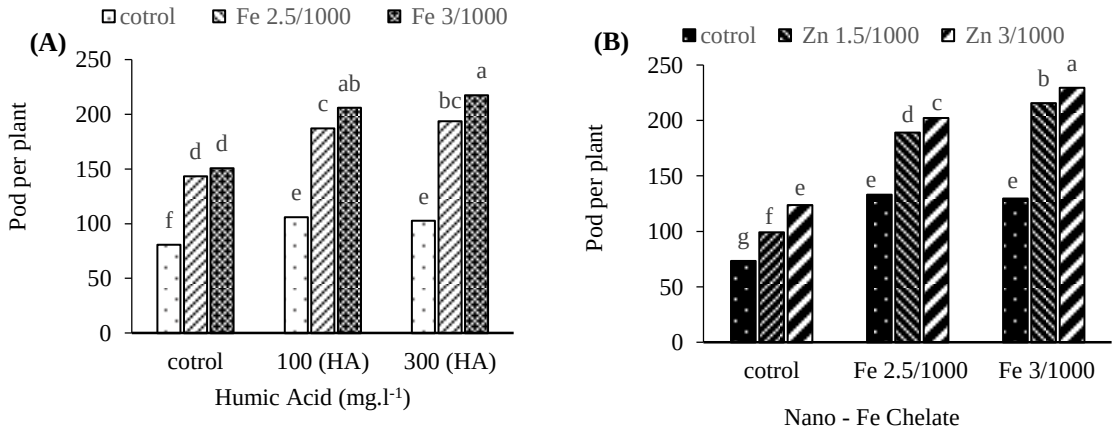
جدول ٤- مقایسه میانگین تعداد شاخه‌های فرعی، وزن هزار دانه، عملکرد دانه در بوته و عملکرد بیولوژیک در بوته تحت تأثیر محلول‌پاشی اسید هیومیک × نانوکلات آهن × نانوکلات روی در گیاه پریوش

Table 4. Mean comparison for number of branches, 1000-seed weight, seed yield per plant and biological yield per plant affected foliar application humic acid (HA) × nano-Fe chelate (Fe)× nano-Zn chelate (Zn) in Periwinkle

Treatments			Number of branches	1000-seed weight (g)	Seed yield (g. plant^{-1})	Biological yield (g. plant^{-1})
HA	Fe	Zn				
0	0	0	14.33^{k}	0.46^{h}	3.16^{j}	30.94^{r}
0	0	1.5	19.33^{jk}	0.62^{f-h}	3.03^{j}	46.32^{op}
0	0	3	$2.0.33^{jk}$	0.54^{gh}	4.92^{ij}	47.89^{n-p}
0	2.5	0	21^{jk}	0.65^{f-h}	4.85^{ij}	45.4^{op}
0	2.5	1.5	32^{f-h}	0.56^{gh}	6.55^{g-i}	65.8^{f-h}
0	2.5	3	35.33^{ij}	0.57^{gh}	8.1^{f-h}	66.84^{e-h}
0	3	0	22.33^{g-i}	0.58^{gh}	4.89^{ij}	50.19^{m-o}
0	3	1.5	29^{g-i}	0.52^{gh}	8.17^{f-h}	67.4^{e-h}
0	3	3	36.67^{ef}	0.55^{gh}	9.07^{fg}	67.9^{e-h}
100	0	0	30.33^{f-h}	0.78^{d-f}	4.63^{ij}	38.34^{q}
100	0	1.5	31^{f-h}	0.67^{e-g}	5.14^{ij}	52.55^{l-n}
100	0	3	25.67^{h-j}	0.78^{d-f}	6.14^{hi}	57.23^{j-l}
100	2.5	0	49^{bc}	0.84^{de}	9.39^{f}	61.74^{h-j}
100	2.5	1.5	36^{e-g}	1.1^{c}	19.74^{d}	68.54^{e-g}
100	2.5	3	39.67^{e}	1.11^{c}	25.1^{c}	72.87^{de}
100	3	0	31.33^{f-h}	1.09^{c}	15.29^{e}	64.02^{f-i}
100	3	1.5	42.33^{c-e}	1.15^{bc}	27048^{c}	80.24^{bc}
100	3	3	50.67^{a-c}	1.12^{c}	29.9^{b}	84.71^{b}
300	0	0	42.33^{c-e}	1.18^{bc}	8.69^{f-h}	43.05^{pq}
300	0	1.5	25^{h-j}	1.32^{ab}	10.7^{f}	55.56^{k-m}
300	0	3	26.33^{h-j}	1.21^{bc}	14.85^{e}	59.63^{i-k}
300	2.5	0	29.67^{f-h}	1.21^{bc}	15.21^{e}	62.82^{g-j}
300	2.5	1.5	39.67^{e}	1.41^{a}	25.89^{c}	69.6^{ef}
300	2.5	3	41^{de}	1.23^{bc}	25.42^{c}	77.02^{cd}
300	3	0	32^{f-h}	0.91^{d}	8.81^{f-h}	65.22^{f-i}
300	3	1.5	47.33^{b-d}	1.21^{bc}	30.37^{b}	79.1^{bc}
300	3	3	62^{a}	1.21^{bc}	35.55^{a}	103.3^{a}

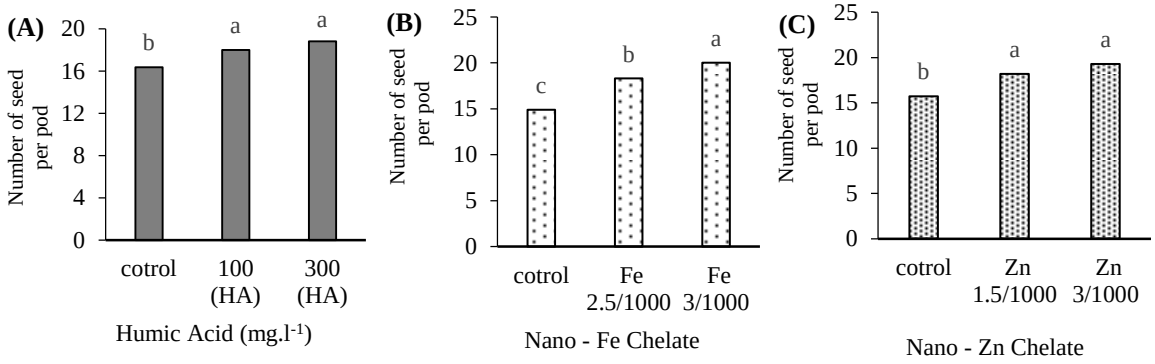
میانگین‌های دارای حروف متفاوت در هر ستون، دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن می‌باشند.

The different letters in each column indicate a significant difference by the Duncan test at the 5%level.



شکل۵- مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک (الف) و نانوکلات آهن (ب) بر تعداد غلاف در بوتهٔ پروانش. میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Figure 5. Effect of foliar application of humic acid (A) and nano-Fe chelate × nano-Zn chelate (B) on pod per plant in Periwinkle. Means with similar letters in each column are not significantly different at 5% level of probability using Duncan's multiple range test.



شکل٦- مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک (الف) و نانوکلات آهن (ب) برتعداد دانه در غلاف در بوتهٔ پروانش. میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Figure 6. Effect of foliar application of humic acid (A) and nano-Fe chelate × nano-Zn chelate (B) on number of seed per pod in Periwinkle. Means with similar letters in each column are not significantly different at 5% level of probability using Duncan's multiple range test.

وزن هزار دانه

در این تحقیق اثر اسید هیومیک و نانوکلات روی در سطح احتمال یک درصد و نانوکلات آهن در سطح احتمال پنج درصد بر وزن هزار دانه معنی‌دار بود. همچنین برهمکنش اسید هیومیک با آهن در سطح احتمال یک درصد و اسید هیومیک با روی و اثر سه جانبهٔ اسید هیومیک، آهن و روی، در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳).

کم‌ترین وزن هزار دانه مربوط به تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی) بود که با تیمارهای عدم کاربرد اسید هیومیک تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴). بیش‌ترین وزن هزار دانه مربوط به کاربرد همزمان اسید هیومیک با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و ۲/۵ در هزار نانوکلات آهن و ۱/۵ در هزار نانوکلات روی بود که با افزایش ۳ برابری نسبت به تیمار شاهد، با تمامی سطوح کودی به غیر از تیمار کاربرد همزمان ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک و ۱/۵ در هزار روی، تفاوت معنی‌دار داشت (جدول۳). به طور کلی نتایج نشان دهندهٔ اثر بیش‌تر سطوح بالای اسید هیومیک نسبت به نانوکلات آهن و روی می‌باشد که می‌تواند به دلیل اثر اسید هیومیک در افزایش جذب عناصر غذایی (Zarehmanesh *et al.*, 2021) باشد.

عملکرد دانه در بوته

اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک، نانوکلات آهن و نانوکلات روی و برهمکنش دوجانبهٔ و سه‌جانبهٔ آن‌ها در سطح احتمال یک درصد، تفاوت معنی‌داری را از نظر عملکرد دانه نشان داد (جدول ۳). کمترین عملکرد دانه مربوط به تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی) بود که تفاوت معنی‌داری با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدهیومیک، غلظت ۲/۵ و ۳ در هزار نانوکلات آهن و غلظت ۱/۵ و ۳ در هزار نانوکلات روی و محلول‌پاشی همزمان غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدهیومیک با ۱/۵ در هزار نانوکلات روی نشان نداد (جدول ۴).

تمامی تیمارهای ترکیبی به غیر از محلول‌پاشی همزمان غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک با ۱/۵ در هزار نانوکلات روی با تفاوت معنی‌دار بیشتر از تیمار شاهد بودند (جدول۳). بیش‌ترین عملکرد دانه در بوته با تفاوت معنی‌دار نسبت به همهٔ تیمارها در محلول‌پاشی همزمان اسید هیومیک با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر، ۲/۵ در هزار نانوکلات آهن و ۳ در هزار نانوکلات روی به‌دست آمد که نشان دهندهٔ اثر هم‌افزایی بین تیمارهای مورد استفاده بود (جدول ۳). در پژوهش حاضر نیز، در اثر محلول‌پاشی همزمان اسیدهیومیک، نانوکلات آهن و نانوکلات روی، تعداد غلاف در بوته (شکل ۵)، تعداد دانه در غلاف (شکل ۶) و وزن هزار دانه (جدول ۴) افزایش یافت، که در نهایت سبب افزایش عملکرد دانه در بوته گردید. افزایش عملکرد دانه در اثر محلول‌پاشی همزمان اسیدهیومیک، نانوکلات آهن و نانوکلات روی در گیاه دانسیاه گزارش شده است (Tadayyon and Beheshti, 2016).

تغییر در عملکرد دانه به تعداد غلاف، تعداد دانه در غلاف و وزن دانه بستگی دارد (Golchin *et al.*, 2013). با توجه به این که تعداد دانه در غلاف تا حدودی به‌وسیلهٔ سازوکار ژنتیکی کنترل می‌شود (Liu *et al.*, 2010)، عمده تغییرات عملکرد مربوطه به تغییر تعداد غلاف و وزن دانه خواهد بود. اسید هیومیک با افزایش تولید کلروفیل، افزیش سرعت فتوسنتز (Tadayyon and Beheshti, 2016) و افزایش جذب نیتروژن (Dalvand *et al.*, 2018) سبب افزایش تولید در گیاه و در نتیجه افزایش عملکرد می‌شود. با توجه به نقش عناصر روی و آهن در بهبود فعالیت‌های فتوسنتزی و افزایش دسترسی اندام‌های زایشی گیاه به مواد فتوسنتزی، افزایش طول غلاف و وزن هزار دانه سبب افزایش عملکرد می‌شوند (Şahin and İşler, 2021).

عملکرد زیست توده

مطابق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر ساده سطوح اسید هیومک، نانوکلات آهن و روی و همچنین اثرهای متقابل دو جانبهٔ و سه جانبهٔ اسید هومیک با آهن و روی در

سطح احتمال یک درصد بر روی این صفت معنی‌دار بود (جدول ۳). کمترین مقدار عملکرد زیست توده مربوط به تیمار عدم محلول‌پاشی به میزان ۳۰/۹۴ گرم در هر بوته بود که به‌طور معنی‌داری کمتر از سایر سطوح کودی بود. و بالاترین میزان عملکرد زیست توده مربوط به تیمار کاربرد همزمان ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک، غلظت ۳ در هزار نانوکلات آهن و غلظت ۳ در هزار نانوکلات روی بود که تفاوت معنی‌دار آماری با سایر تیمارها داشت (جدول ۴).

این صفت برآیند مؤلفه‌های مختلفی از جمله ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد شاخه فرعی و تعداد برگ می‌باشد. لذا، با توجه به این که صفات مذکور در حضور تیمارهای مورد آزمایش افزایش یافتند، بنابراین افزایش معنی‌دار عملکرد زیست توده دور از انتظار نیست.

در پژوهش حاضر نیز محلول‌پاشی اسیدهیومیک، آهن و روی با افزایش شاخص کلروفیل (شکل ۱) و هدایت روزنه‌ای (شکل ۲) سبب افزایش فتوسنتز و افزایش دسترسی اندام‌های گیاه به مواد فتوسنتزی شدند که نتیجه آن افزایش ارتفاع بوته (شکل ۴)، تعداد شاخه فرعی (جدول ۴) و در نهایت افزایش عملکرد زیست توده می‌باشد. افزایش عملکرد زیست توده در اثر محلول‌پاشی آهن و روی در آنیسون (Pirzad *et al.*, 2013) و محلول‌پاشی آهن، روی و اسید هیومیک در دانسیاه (Tadayyon and Beheshti, 2016) گزارش شده است که مطابق با نتایج پژوهش حاضر می باشد.

نتیجه‌گیری

افزایش عملکرد گیاهان با کاربرد کودهای شیمیایی با توجه به اثرهای زیست محیطی این کودها منطقی نیست. لذا استفاده از کودهای آلی و نانود کودها از راه‌های مؤثر برای افزایش عملکرد و دست‌یابی به کشاورزی پایدار می‌باشد. همان‌طور که نتایج نشان داد محلول‌پاشی اسید هیومیک، نانوکلات آهن و نانوکلات روی، به‌صورت جداگانه و تلفیقی، سبب افزایش میزان شاخص کلروفیل، هدایت روزنه‌ای، محتوی نسبی آب برگ، ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد زیست توده شد. تیمارهایی که به‌صورت ترکیبی استفاده شدند به‌ویژه تلفیق غلظت‌های ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک و ۳ در هزار نانوکلات آهن و ۳ در هزار نانوکلات روی، از بیش‌تربن درصد افزایش در صفات مورد بررسی برخوردار بود.

سپاس‌گزاری

از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه محقق اردبیلی و مدیریت سازمان سیما، منظر و فضای سبز شهرداری اردبیل در حمایت از اجرای این پژوهش قدردانی می گردد.

References

Adekomi, D. A. (2010). Madagascar periwinkle (*Catharanthus roseus* L.) enhances kidney and liver functions in Wistar rats. *European Journal of Anatomy*, *14*(3), 111-119. https://eurjanat.com/v1/data/pdf/eja.100018da.pdf

Afkari, A., & Sarhangzadeh, D. (2023). Effect of humic acid and drought stress on some of physiological characteristics and agronomic traits of rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. *Crop Physiology Journal*, *15*(57), 41-57. http://cpj.ahvaz.iau.ir/article-1-1459-en.html [In Persian].

Alamer, K., Ali, E., Al-Thubaiti, M., & Al-Ghamdi, M. (2020). Zinc nutrition and its activated roles on growth, inflorescences attributes and some physiological parameters of *Tagetes erecta* L. plants. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, *23*(1), 35-44. https://doi.org/10.3923/pjbs.2020.35.44

Amini, M., Sadatasilan, K., Yosefzadeh, S., & Mansurifar, S. (2019). Effect of foliar application of zinc, iron, and manganese on morphological, and phytochemical traits of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*, *50*(3), 199-212. https://ijfcs.ut.ac.ir/article_75067.html [In Persian].

Aslam, J., Khan, S. H., Siddiqui, Z. H., Fatima, Z., Maqsood, M., Bhat, M. A., Nasim, S. A., Ilah, A., Ahmad, I. Z., & Khan, S. A. (2010). *Catharanthus roseus* (L.) G. Don. An important drug: it's applications and production. *Pharmacie Globale (IJCP), 4*(12), 1-16.

Azhand, M., Saeidi, M., Beheshti, A. A. A., & Kahrizi, D. (2021). Effect of foliar application of iron and zinc sulphate on yield and some physiological characteristics of Camelina (*Camelina sativa* L. crantz) in rainfed conditions. *Crop Physiology Journal, 48*,155-172. https://doi.org/10.22055/ppd.2023.41711.2056 [In Persian].

Barker, A. V., & Pilbeam, D. J. (2015). *Handbook of plant nutrition*. CRC press. Taylor and Francis Group. London. New York. pp.399-426. https://doi.org/10.1201/b18458

Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and soil, 383*, 3-41. https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8

Chen, Q., Qu, Z., Ma, G., Wang, W., Dai, J., Zhang, M., Wei, Z., & Liu, Z. (2022). Humic acid modulates growth, photosynthesis, hormone and osmolytes system of maize under drought conditions. *Agricultural Water Management, 26(3)*, 107447. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107447

Dalvand, M., Solgi, M., & Khaleghi, A. (2018). Effects of foliar application of humic acid and drought stress on growth and physiological characteristics of marigold (*Taget erecta* L.). *Journal of Soil and Plant Interactions-Isfahan University of Technology*, *9*(2), 67-80. [In Persian].

Das, S., & Sharangi, A. B. (2017). Madagascar periwinkle (*Catharanthus roseus* L.): Diverse medicinal and therapeutic benefits to humankind. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, *6*(5), 1695-1701. https://www.phytojournal.com/archives/2017/vol6issue5/PartY/6-5-182-590.pdf

Davoodi, S. H., Biabani, A., Rahemi karizaki, A., Modarres-Sanavy, S. A. M., Gholamalipour Alamdari, E., & Zarei, M. (2020). Effect of iron and zinc nano chelates on yield and yield components of black cumin medicinal plant (*Nigella sativa* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, *18*(3), 267-278. https://jcesc.um.ac.ir/article_38345.html [In Persian].

Dhaliwal, S. S., Sharma, V., Shukla, A. K., Verma, V., Behera, S. K., Singh, P., Alotaibi, S. S., Gaber, A., & Hossain, A. (2021). Comparative efficiency of mineral, chelated and nano forms of zinc and iron for improvement of zinc and iron in chickpea (*Cicer arietinum* L.) through biofortification. *Agronomy*, *11*(12), 2436. https://doi.org/10.3390/agronomy11122436

Dogan, Y., Togay, Y., Togay, N., & Kulaz, H. (2014). Effect of humic acid and phosphorus applications on the yield and yield components in lentil (*Lens culinaris Medic*.). *Legume Research-An International Journal*, *37*(3), 316-320. https://doi.org/10.5958/j.0976-0571.37.3.048

Fatollahpour Grangah, M., Rashidi, V., Mirshekari, B., Khalilvand Behrozyar, E., & Farahvash, F. (2021). Evaluation the effects of Zinc and Iron elements in nano form on grain yield and growth traits of pinto bean under water deficit stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences, 14*(2), 347-358. https://escs.birjand.ac.ir/article_1616.html [In Persian].

Flores, R. A., Xavier, M., Viçosi, K., Bueno, A. M., Andrade, A. F. d., Mesquita, M., & Santos, G. (2023). Can foliar application of zinc increased growth, physiology, and yield in snap beans? *Journal of Plant Nutrition*, *46*(18), 4519-4531. https://doi.org/10.1080/01904167.2023.2241485

Gohari, G., Rasouli, F., & Zahedi, S. M. (2017). Evaluation of some growth characteristics, essential oil content and yield of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) in salinity stress condition and humic acid application. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 27*(2), 159-168. https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir/article_6398.html [In Persian].

Golchin, E., Zeinali, E., & Pori, K. (2013). Studying grain and green pod yield, and grain yield components as affected by inter- and intra-row spacing in faba bean, Barakat cultivar. *Iranian Journal Pulses Research*, *4*(1), 9-20. https://ijpr.um.ac.ir/article_29439.html [In Persian].

Hassanpouraghdam, M. B., Vojodi Mehrabani, L., & Shamsi Khotab, T. (2021). The effect of foliar application of zinc oxide and nanoparticles zinc oxide on some growth characteristics and elemental concentration of rosemary under NaCl salinity. *Plant Productions, 44*(3), 421-432. https://doi.org/10.22055/ppd.2020.31067.1825 [In Persian].

Hoseini, M., Paknejad, F., & Ilkaee, M. N. (2023). Evaluation of humic acid and iron and zinc nanochelates effect on Italian basil (O*cimum basilicum* L.) in salinity stress condition. *Journal of Organic Farming of Medicinal Plants, 2*(1), 44-51. https://jofmp.areeo.ac.ir/article_131630.html

Hosny, S., Mahmoud, K., & Mohamed, Y. (2019). Effect of levels and application methods of iron and zinc on growth and flowering of rosa hybrida Cv. *Alexandria Journal of Agricultural Sciences, 64*(2), 63-73. https://doi.org/ 10.21608/ALEXJA.2019.48386

Jamshidi-Kia, F., Lorigooini, Z., & Amini-Khoei, H. (2017). Medicinal plants: Past history and future perspective. *Journal of Herbmed Pharmacology, 7*(1), 1-7. https://herbmedpharmacol.com/Article/jhp-1198

Jan, J. A., Nabi, G., Khan, M., Ahmad, S., Shah, P. S., & Hussain, S. (2020). Foliar application of humic acid improves growth and yield of chilli (*Capsicum annum* L.) varieties. *Pakistan Journal of Agricultural Research, 33*(3), 461-473. http://dx.doi.org/10.17582/journal.pjar/2020/33.3.461.472

Kobraee, S., NoorMohamadi, G., Heidari Sharifabad, H., DarvishKajori, F., & Delkhosh, B. (2011). Influence of micronutrient fertilizer on soybean nutrient composition. *Indian Journal of Science and Technology, 4*(7), 763-769. https://sciresol.s3.us-east-2.amazonaws.com/IJST/Articles/2011/Issue-7/Article9.pdf

Kusano, T., Berberich, T., Tateda, C., & Takahashi, Y. (2008). Polyamines: essential factors for growth and survival. *Planta, 228*, 367-381. doi: 10.1007/s00425-008-0772-7

Larki, S., Rahnama, A., & Aynehband, A. (2015). Effect of application of potassium fertilizers on physiological traits and cadmium accumulation in grain of two durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. Durum (Desf.) Husn.) cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 17 (3), 223-235. http://agrobreedjournal.ir/article-1-553-en.html

Lata, B. (2007). Cultivation, mineral nutrition and seed production of *Catharanthus roseus* (L.) G. Don in the temperate climate zone. *Phytochemistry Reviews, 6*, 403-411. https://doi.org/10.1007/s11101-007-9069-x

Liu, B., Liu, X.-B., Wang, C., Jin, J., Herbert, S., & Hashemi, M. (2010). Responses of soybean yield and yield components to light enrichment and planting density. *International Journal of Plant Production*, 4 (1), 1-10. https://sid.ir/paper/314536/en

Mohammadi, M., Majnoun Hosseini, N., & Dashtaki, M. (2016). Effects of nano-ferric oxide and zinc sulfate on chlorophyll, anthocyanin, flavonoid and leaf mineral elements of peppermint (*Mentha piperita* L.) at Karaj climatic conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 32*(5), 770-783. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2016.107994 [In Persian].

Mohammadzadeh, P., & Amirinia, R. (2016). Effect of foliar application of iron, zinc and manganese on yield and yield components of fenugreek. *Journal of Crops Improvement, 18*(1), 69-78. https://doi.org/10.22059/jci.2016.56548 [In Persian].

Najafivafa, Z., Sirousmehr, A., & Bijani, M. (2020). Effect of different levels of humic acid and nano-zinc fertilizer on the antioxidant enzyme activities And essential oil of Savory (*Satureja hortensis* L.). *Horticultural Plants Nutrition, 3*(2), 43-58. https://doi.org/10.22070/hpn.2020.4876.1050 [In Persian].

Nasiri, Y., & Najafi, N. (2015). Effects of soil and foliar applications of iron and zinc on flowering and essential oil of chamomile at greenhouse conditions. *Acta Agriculturae Slovenica, 105*(1), 33-41. https://doi.org/10.14720/aas.2015.105.1.04

Nasiri, Y., Zehtab-Salmasi, S., Nasrullahzadeh, S., Najafi, N., & 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. https://www.researchgate.net/publication/228 [In Persian].

Oshodi, A., Olaofe, O., & Hall, G. (1993). Amino acid, fatty acid and mineral composition of pigeon pea (*Cajanus cajan*). *International Journal of Food Sciences and Nutrition, 43*(4), 187-191. https://doi.org/10.3109/09637489309027541

Outlaw Jr, W. H. (1983). Current concepts on the role of potassium in stomatal movements. *Physiologia Plantarum, 59*(2), 302-311. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1983.tb00775.x

Pirzad, A., Tosi, P., & Darvishzadeh, R. (2013). Effect of Fe and Zn foliar application on plant characteristics and essential oil content of anise (*Pimpinella anisum* L.). *Iranian Society of Crops and Plant Breeding Sciences, 15*(1), 12-23. http://agrobreedjournal.ir/article-1-68-en.html [In Persian].

Pourahmadi, M., zarghami, r., Dyanat, M., & Mohammadi torkashvand, A. (2023). Effect of iron oxide and iron chelate nanofertilizers and different sizes of micro-tubers on yield and yield components of potato (*Solanum tubersum* L.). *Plant Productions, 46*(3), 381-395. https://doi.org/10.22055/ppd.2023.44309.2112 [In Persian].

Raeesi Sadati, S. Y., Jahanbakhsh Godekahriz, S., Ebadi, A., & Sedghi, M. (2020). Effect of zinc nano oxide foliar application yield and physiological traits wheat under drought stress. *Crop Physiology Journal, 12*(46), 45-64. http://cpj.ahvaz.iau.ir/article-1-1292-en.html [In Persian].

Ritchie, S. W., Nguyen, H. T., & Holaday, A. S. (1990). Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science, 30*(1), 105-111. https://doi.org/10.2135/cropsci1990.0011183X003000010025x

Roshanfekr dezfuli, H., Nabipour, M., Moradi, F., & Meskarbashee, M. (2012). Effect of temperature change on stomatal conductance and chlorophyll content of wheat. *Plant Productions, 34*(2), 39-52. https://plantproduction.scu.ac.ir/article_12251.html [In Persian].

Şahin, C. B., & İşler, N. (2021). Foliar applied zinc and iron effects on yield and yield components of soybean: Determination by PCA analysis. *Communications in Soil Science and Plant Analysis, 52*(3), 212-221. https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1854297

Saini, S., Kumar, P., Sharma, N. C., Sharma, N., & Balachandar, D. (2021). Nano-enabled Zn fertilization against conventional Zn analogues in strawberry (*Fragaria× ananassa* Duch.). *Scientia Horticulturae, 282*, 110016. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110016

Şimşek, O., & Çelik, H. (2021). Effects of iron fortification on growth and nutrient amounts of spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Journal of Plant Nutrition, 44*(18), 2770-2782. https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1927083

Soleymani, A., & Hesam Shahrajabian, M. (2012). The effects of Fe, Mn and Zn foliar application on yield, ash and protein percentage of forage sorghum in climatic condition of Esfahan. *International Journal of Biology, 4*(3), 92-96. http://dx.doi.org/10.5539/ijb.v4n3p92

Sorkhi, F. (2020). Effect of irrigation intervals and humic acid on physiological and biochemical characteristic on medicinal plant of *Thymus vulgaris*. *Iranian Journal of Plant Physiology, 10*(4), 3367-3378. https://sanad.iau.ir/journal/ijpp/Article/677196?jid=677196

Tadayyon, A., & Beheshti, S. (2016). Effect of foliar applications of humic acid, iron and zinc on some characteristics of negro (*Guizotia abyssinica* L.). *Journal of Crop Ecophysiology, 10*(38), 283-296. https://sanad.iau.ir/Journal/jcep/Article/956631 [In Persian].

Tousi, P., Tajbakhsh, M., Esfahani, M. (2014). Effect of spray application of nano-Fe chelate, amino acid compounds and magnetic water on protein content and fatty acids composition of oil of soybean (*Glycine max*) in different harvest time. *Iranian Journal of Crop Sciences,* 16(2), 125-136 http://agrobreedjournal.ir/article-1-38-fa.html

Turan, M., Ekinci, M., Kul, R., Kocaman, A., Argin, S., Zhirkova, A. M., Perminova, I. V., & Yildirim, E. (2022). Foliar Applications of humic substances together with Fe/nano Fe to increase the iron content and growth parameters of spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Agronomy, 12*(9), 2044. https://doi.org/10.3390/agronomy12092044

Wang, H., & Jin, J. (2007). Effects of zinc deficiency and drought on plant growth and metabolism of reactive oxygen species in maize (*Zea mays* L.). *Agricultural Sciences in China, 6*(8), 988-995. https://doi.org/10.1016/S1671-2927(07)60138-2

Zarehmanesh, H., Eisvand, H. R., Akbari, N., Ismaili, A., & Feizian, M. (2021). An investigation of effects of humic acid on changes in nutrients concentration of leaf, root and stem of *Satureja khuzestanica* under salinity stress. *Plant Process and Function, 10*(41), 1-16. http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1428-en.html [In Persian].