Journal of Vegetables Sciences, Autumn & Winter 2025, Vol 8, No 16(2), Pages 105-122

Ilam University

doi:10.22034/iuvs.2023.2008953.1306 Article Type: Research Online ISSN: 2676-4822

Iron Heterocomplexes Containing Humic Acid Chelating Agent as Highly Efficient Micronutrient Materials for Bell Pepper Plant

Omid Nikoosefat[1], Zahra Shariatinia[2,*], Francis *S.* Mair[3], Ali Sharif Paghaleh[4], Hamideh Zare[5]

1- Ph.D. in Applied Chemistry, Department of Chemistry, Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic), Tehran, Iran

2- Professor, Department of Chemistry, Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic), Tehran, Iran

3- Professor, School of Chemistry, The University of Manchester, Manchester, M13 9PL, United Kingdom

4- Professor, Department of Food Technology, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran

5- M.Sc., Department of Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

[*]**Corresponding author:** shariati@aut.ac.ir

(**Received:** 10 August 2023 **Revise:** 28 August 2023 **Accepted:** 19 September 2023)

Extended Abstract

1. **Introduction:** Bell pepper (*Capsicum annuum* L.) Nirvin variety is one of the most important vegetables in the world because of its high economic value and its valuable food and medicinal compounds, including the antioxidants and vitamins. Though there is a high amount of iron as one of the most essential microelements in soil, iron deficiency is a significant issue in agriculture principally in calcareous soils. However, bioavailability of iron as an essential micronutrient depends on environmental parameters including acidity and redox reactions. Also, iron delivery into plants mainly in alkaline and neutral soils, is an important problem and enormous efforts have been accomplished to appropriately deliver iron ions to plants and overcome the iron deficiency. Foe this purpose, several synthetic Fe-containing fertilizers have been produced to solve the iron deficiency problem in plants and enhance yield and quality of agricultural crops. Many studies have reported effects of HA on enhancement of iron contents in many plants. Besides, application of humic iron chelates in soil is known as an important strategy for iron delivery to plants. Hence, it is expected hat the humic iron chelates will enhance the morphological and micronutrient properties of bell pepper plant including its leaf and fruit.
2. **Materials and Methods:** In order to investigate the effect of differential treatments on the concentration of N, P, and K, and low-use elements, especially Fe, Zn, Cu, and Mn, and some leaf and fruit morphological traits in the red bell pepper plant of Nirvin variety, several experiments were performed in a complete randomized block design with three replications. High consumption elements including nitrogen, phosphorus, potassium, and low consumption elements including including iron, zic, manganese, and copper were measured in bell pepper plant leaves. For this purpose, samples were thermally treated at 550 °C for 3 h to obtain their ash powders. Then, HCl was added to the samples to obtain extracts, which were used for measurement os the existing elements. The elements zinc, copper, iron, and manganese were measured using atomic absorption spectroscopy, phosphorus element was measured using spectrophotometer, potassium was measured by film photometer, and nitrogen was measured by Kjeldahl digestion as as analytical chemistry method. In order to measure fresh and dry weights of leaves, samples were weighted before and after drying at 70 °C for 48 h. The length and diameter and fruits were measured using a digital caliper.
3. **Results and Discussion:** The results of analysis of variance showed a significant difference between the treatments in high and low consumption elements and traits of leaf length, leaf width, leaf fresh and dry weight, fruit length and width, fruit fresh and dry weight and pericarp thickness. The highest amounts of N and K, Fe were observed in plants treated with humic iron chelate. The highest and the lowest amounts of low consumption iron element were 258.67 mg/L and 192.67 mg/L, which were obtaoned for the plants treated with humic iron chelate and control, respectively. By comparing the average values, it was found that the highest and the lowest amounts of zinc element were 47 mg/L and 38 mg/L, which were obtaoned for the plants treated with low humic percentage and control, respectively. Moreover, the highest and the lowest amounts of manganese element were 105 mg/L and 74 mg/L, which were obtaoned for the plants treated with humic iron chelate and control, respectively. Furthermore, the characteristics of leaf width and fresh weight, length, fresh and dry weight of fruit showed the highest values in plants treated with humic iron chelate. In the cluster analysis of the control treatments, humic and low percentage humic iron chelate were placed in one group. Leaf width trait with leaf wet weight (r=0.89) and leaf length with fruit dry weight (r=0.87) showed the highest positive and significant correlation among the traits. Plants treated using commercial iron chelate and american humax exhibited the highest amounts of manganese element in bell pepper leaves.

4. **Conclusion:** Therefore, according to the result of this research, in order to obtain better performance in bell pepper plant, it is recommended to use humic iron chelate compared to other treatments used. This result was obtained by treatment of bell pepper plant using various micronutrient materials for bell pepper plant, including commercial iron chelate, low humic percentage, high humic percentage, american humax, and humic iron chelate.

Keywords: Plant growth, Morphological traits, High and low consumption food elements, Humic iron chelates.

Citation: Nikoosefat, O., Shariatinia, Z., Mair, F. S., Sharif Paghaleh, A., & Zare, H. (2025). Iron Heterocomplexes Containing Humic Acid Chelating Agent as Highly Efficient Micronutrient Materials for Bell Pepper Plant. *Journal of Vegetables Sciences*, 16(2), 105-122 . doi:10.22034/iuvs.2023.2008953.1306

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

دوفصلنامه علمی علوم سبزی‌ها، سال۸ ، دوره ۱۶، شماره ۲، پاییز و زمستان، صفحات (۱۲۲-۱۰۵)

دانشگاه ایلام شاپا الکترونیکی: ۴۸۲۲-۲۶۷۶ نوع مقاله: پژوهشی doi:10.22034/iuvs.2023.2008953.1306

هتروکمپلکس‌های آهن حاوی عامل کلات شونده هیومیک‌اسید به عنوان مواد ریزمغذی های بسیار مؤثر برای گیاه فلفل دلمه‌ای

امید نیکوصفت[۱]، زهرا شریعتی نیا[۲،*]، فرانسیس اس مایر[۳]، علی شریف پاقلعه[۴]، حمیده زارع[۵]

۱- دکترای شیمی کاربری، دانشکده شیمی، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران، ایران

۲- استاد، دانشکده شیمی، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، دانشکده شیمی، تهران، ایران

۳- استاد، دانشکده شیمی، دانشگاه منچستر، منچستر، انگلستان

۴- استاد، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه ابوریحان تهران، ایران

۵- کارشناسی ارشد، دانشکده اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل، زابل، ایران

*نویسنده مسئول: shariati@aut.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۱۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۸)

چکیده

فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum* L.) به دلیل ارزش اقتصادی بالا و دارا بودن ترکیبات ارزشمند غذایی و دارویی از جمله ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و ویتامین‌ها، یکی از مهمترین سبزی‌ها در جهان است. برای بررسی اثر تیمارهای مختلف آهن بر غلظت عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم و عناصر کم مصرف، به‌ویژه آهن، روی، مس و منگنز و برخی صفات مورفولوژیکی برگ و میوه در گیاه فلفل دلمه‌ای رقم نیروین، آزمایشی به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار عناصر پرمصرف نیتروژن و پتاسیم و عناصر کم‌مصرف آهن، منگنز را گیاهان تیمار شده با کلات آهن هیومیکی نشان داد. همچنین بیشترین مقدار عرض و وزن تر برگ، طول، وزن تر و خشک میوه در گیاهان تیمار شده با کلات آهن هیومیکی مشاهده شد. در آنالیز خوشه‌ای تیمارهای شاهد، کلات آهن هیومیکی و هیومیک درصد پایین در یک گروه قرار گرفتند. صفت عرض برگ با وزن تر برگ (r=۰/۸۹) و طول برگ با وزن خشک میوه (r=۰/۸۷) بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را در بین صفات نشان دادند. با توجه به نتایج حاصل این پژوهش، جهت به دست آوردن خواص بهتر برای گیاه فلفل دلمه‌ای استفاده از کلات آهن هیومیکی نسبت به سایر تیمارهای مورد استفاده توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: رشد گیاه، صفات مورفولوژیکی، عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف، کلات‌های آهن هیومیکی.

استناد: نیکوصفت، ا.، شریعتی نیا، ز.، مایر، ف. اس.، شریف پاقلعه، ع.، زارع، ح.. (۱۴۰۳). هتروکمپلکس‌های آهن حاوی عامل کلات شونده هیومیک‌اسید به عنوان مواد ریزمغذی‌های بسیار مؤثر برای گیاه فلفل دلمه‌ای. علوم سبزی‌ها، ۱۶(۱)، ۱۲۲-۱۰۵.

حق چاپ:

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

مقدمه

فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum* L.) رقم نیروین به عنوان یکی از محصولات مهم باغبانی، هم به خاطر ارزش اقتصادی و هم به دلیل ارزش زیاد میوه و همچنین منبع عالی رنگ‌های طبیعی و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Topuz & Ozdemir, 2007). فلفل یکی از پرطرفدارترین و مهمترین گیاهان زراعی بوده و دارای ویژگی‌های مهمی همچون عطر، طعم و رنگ است (Mwando *et al.*, 2022, Sood *et al.*, 2023). این محصول به طور گسترده‌ای در محصولات غذایی، به عنوان ادویه و در کاربردهای متنوع دارویی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Sood *et al.*, 2023, Xu *et al.*, 2023). این محصول خاص مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری است، سرشار از ویتامین‌های ضروری به ویژه ویتامین های A و C که کالری کمی را نیز داراست (Balamurugan & Kumar, 2023, Di Donato *et al.*, 2023).

عناصر مختلفی در ساختار گیاه وجود دارند که تنها تعداد محدودی از آنها برای گیاه ضروری تشخیص داده شده است (Amerian *et al.*, 2023, Haghighi & Najafi 2020). ممکن است در ساختار گیاه و یا برخی فرآیند های سوخت و سازی آن عناصر ضروری مورد نیاز باشند. به طوری که کمبود آنها سبب بروز نارسایی‌هایی در گیاه می‌گردد که اغلب روی اندام‌های مختلف و یا کل گیاه به صورت علائمی قابل مشاهده می‌باشد (Mardi *et al.*, 2022). در نقطه مقابل، وجود مقدار زیاد برخی عناصر سبب بروز اختلالاتی در رشد و نمو گیاه می‌شود (Aghili *et al.*, 2011). در شرایط کمبود آهن، حجم کلروپلاست و محتوای پروتئین هر کلروپلاست کاهش می‌یابد. این موضوع نشان دهنده این است که پروتئین نمی‌تواند به میزان کافی به عنوان کروموپروتئین فراهم شود که در نتیجه آن کلروز برگ‌ها اتفاق می‌افتد (Guerra & Casquero, 2010). کلسیم، منیزیم، فسفر و پتاسیم و عناصر کم مصرف آهن، مس، منگنز و روی از مهم‌ترین عناصر پر مصرف مؤثر بر کیفیت میوه می‌باشند (Martínez-Castro *et al.*, 2023, Olanbiwoninu *et al.*, 2023, Samoraj *et al.*, 2022).

یکی از عناصر ضروری اما کم مصرف و کم تحرک برای گیاهان آهن است (Nikoosefat *et al.*, 2023). در بین همه‌ی عناصر کم مصرف، گیاهان بیشترین نیاز را به آهن دارند. بخشی از گروه کاتالیزوری بسیاری از آنزیم‌های اکسیداسیون و احیا آهن می‌باشد و برای سنتز کلروفیل مورد نیاز است (Consalez *et al.*, 2022, Gosdin *et al.*, 2023, Nikoosefat *et al.*, 2024). افزودن آهن در شکل‌های غیر کلات به خاک‌ها، به ویژه در خاک‌های آهکی ایران، تأثیر زیادی در فراهم آوردن آهن برای گیاه و میکروارگانیسم‌های خاک ندارد، چون آهن آزاد به سرعت هیدراته شده و به صورت هیدروکسیدهای آهن رسوب می‌کند و قابل استفاده نیست (Banaei *et al.*, 2005). با توجه به دامنه pH، منبع آهن به کار برده شده جهت یک محصول می‌تواند تغییر پیدا کند. به عنوان مثال، در بستر پیت، با pH کمتر از ۵/۵، منابع غیرآلی آهن از قبیل اکسید آهن (Fe_2O_3) و $FeSO_4.7H_2O$ می‌توانند به مقدار زیادی محلول باشند. اما با افزایش pH بستر، حلالیت‌شان به سرعت کاهش می‌یابد (Pourebrahimi *et al.*, 2014).

Peyvandi و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی و مقایسه اثر نانوکود کلات آهن و کود کلات آهن معمولی بر عملکرد و رشد گیاه دارویی مرزه گزارش کردند که گیاهان رشد کرده با نانوکود کلات آهن نسبت به گیاهان رشد کرده با Fe-EDDHA (اتیلن دی آمین دی-۲-هیدروکسی فنیل فریک استات) طول ریشه و ساقه کوتاه‌تری داشتند (Peyvandi *et al.*, 2015). گیاهان جهت رشد مناسب و تولید میوه بیشتر و درنتیجه عملکرد زیاد، نیازمند ذخایر غذایی کافی و رشد رویشی بیشتر می‌باشند. این سطح محصول از رشد در صورتی ایجاد می‌گردد که آب و عناصر غذایی توسط ریشه‌ها به مقدار کافی و میزان بهینه جذب گردد.

Aghili و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی وضعیت تغذیه‌ای خیار و فلفل دلمه‌ای گلخانه‌ای در استان اصفهان بیان کردند که مقایسه میانگین غلظت آهن، منگنز، مس و روی در میوه‌های برداشت شده در هر دو نوبت نمونه-برداری در دامنه کفایت بوده است (Aghili *et al.*, 2011).

هیومیک‌اسید بدون اثرات مخرب زیست محیطی به عنوان یک اسید آلی حاصل از هوموس و سایر منابع طبیعی، می‌تواند تاثیر قابل توجهی جهت بالا بردن عملکرد به خصوص در شرایط متغیر محیطی داشته باشد (Sabzevari *et al.*, 2010). مواد هیومیکی شامل مواد ساخته شده با یا بدون استفاده از میکروارگانیسم‌ها هنگام تجزیه‌ی بقایای گیاهان و حیوانات می‌باشند (Lee *et al.*, 2023, Shao *et al.*, 2023). ساخت این مواد از متابولیت‌های بیوشیمیایی یا شیمیایی محیط زیست یا اجزای تشکیل دهنده‌ی زیست توده می‌باشد (Nadi *et al.*, 2012). از خواص برجسته هوموس، کلوئیدی بودن ذرات و شکل‌پذیری کم و چسبندگی زیاد در ساختار خاک است (*Liu et al.*, 2023). هوموس قادر است pH خاک را به علت حضور گروه‌های فعال اسیدی ضعیف، در محدوده تغییرات وسیع pH تثبیت کند (Liu & Huang, 1999). سرعت تجزیه هیومیک‌اسید با افزایش pH زیاد شده و در pH=11 سرعت حل شدن در مدت ۹۰ دقیقه حاصل می‌شود (Brigante *et al.*, 2009).

گزارش شده است که غلظت آنتی‌اکسیدان‌ها با کاربرد برگی (محلول‌پاشی) هیومیک‌اسید به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد و موجب افزایش در تنفس، فتوسنتز، جذب یون‌ها و سنتز نوکلئیک‌اسیدها می‌گردد (Schmidt & Zhang, 1998). قابلیت کلات‌کنندگی عناصر غذایی مختلف مانند پتاسیم، منیزیم، روی، کلسیم، سدیم، آهن، مس و سایر عناصر در جهت غلبه بر کمبود عناصر غذایی می‌تواند از مزایای مهم هیومیک‌اسید باشد (Ghorbani *et al.*, 2010). همچنین، افزایش فعالیت فتوسنتزی گیاه با افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو توسط هیومیک‌اسید صورت می‌گیرد. افزایش ۲۹ درصدی عملکرد در گیاه نخود با محلول‌پاشی هیومیک‌اسید رخ داده است و جذب عناصر پرمصرفی همانند پتاسیم، کلسیم، فسفر و منیزیم را در این گیاه افزایش داده است (Yadollahi Farsani *et al.*, 2021).

استخراج هیومیک‌اسید از منابع مختلف نظیر هوموس، خاک، پیت، لیگنیت اکسید شده و زغال‌سنگ صورت می‌گیرد (Atiyeh *et al.*, 2002). رشد گیاهان با مصرف ۵۰ تا ۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم هیومیک‌اسید افزایش و با مصرف بیش از ۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم رشد گیاهان به طور معنی‌داری کاهش می یابد. رشد گیاهان از طریق تغییر فیزیولوژی گیاه و با بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک توسط هیومیک‌اسید تغییر می‌یابد (Xavier *et al.*, 2012). هیومیک اسیدها کمپلکس‌هایی را با فلزات سنگین تشکیل می‌دهند و نقش مهمی در باروری خاک دارند (Wang *et al.*, 2023). بهترین راه حل برای برطرف کردن کلروز آهن در همه خاک‌ها و به خصوص خاک‌های قلیایی ترکیبات کلاته آهن می‌باشد که می‌توانند شدیدترین مشکلات تغذیه‌ای گیاهان را برطرف نمایند (Singh *et al.*, 2021).

این پژوهش با هدف مقایسه اثر منابع مختلف آهن شامل کلات آهن تجاری، کلات آهن هیومیکی فناور شیمی به رویان، هیومیک اسید فناور شیمی به‌رویان (درصد پایین)، هیومیک‌اسید فناور شیمی به رویان (درصد بالا) و هیومیک‌اسید تجاری (هیومکس آمریکایی) بر ویژگی‌های رشد و نمو فلفل در شرایط کشت گلخانه‌ای صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه سازمان فنی و حرفه‌ای شهرستان خرامه در استان فارس در قالب طرح بلوک کامل تصادفی بر روی گیاه فلفل دلمه‌ای در سه تکرار اجرا شد.

بذرهای فلفل دلمه‌ای رقم نیروین (Nirvin RzF1) به مدت ۲۴ ساعت در آب خیسانده و سپس در سینی‌های نشاء در بستر کوکوپیت و پیت ماس کشت شدند. بسته به نیاز گیاه آبیاری انجام می‌شد. در هفته چهارم که گیاهان به مرحله ۴ برگی رسیدند به زمین اصلی گلخانه انتقال داده شدند. فاصله ردیف‌ها از هم ، فاصله بوته روی ردیف و فاصله بین بلوک‌ها به ترتیب ۵۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتیمتر بود. از ۶ تیمار شاهد (A)، کلات آهن تجاری (B)، کلات آهن هیومیکی (F)، هیومیک‌اسید فناور شیمی به‌رویان درصد پایین (G)، هیومیک‌اسید فناور شیمی به رویان درصد بالا (S) و هیومیک اسید تجاری (هیومکس آمریکایی) (X) برای بررسی اثر آن‌ها بر خصوصیات مورفولوژیکی استفاده گردیدند. هیومیک-اسیدهای G، S و X طبق توصیه شرکت سازنده سه مرحله (هفته‌های سوم، ششم و نهم پس از کشت نشاء)، کلات آهن هیومیکی فناور شیمی به رویان (F) و کلات آهن تجاری (B) در دو مرحله (هفته‌های سوم و ششم پس از کشت نشاء) بر روی گیاهان اعمال شدند.

اندازه‌گیری عناصر غذایی

عناصر غذایی پرمصرف شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کم مصرف شامل آهن، روی، منگنز و مس در برگ گیاه در این آزمایش اندازه‌گیری شدند. برای تهیه عصاره، ابتدا ۰/۵ گرم از نمونه خشک و آسیاب شده، توزین و در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۳ ساعت قرار داده شد تا تبدیل به خاکستر شد. سپس، ۵ میلی-لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال، به هر نمونه اضافه گردید و در نهایت توسط آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. از این عصاره برای اندازه‌گیری عناصر استفاده شد. اندازه‌گیری عناصر روی، مس، آهن و منگنز بعد از عصاره‌گیری با استفاده از دستگاه جذب اتمی ساخت کشور استرالیا (مدل GBC Avanta)، فسفر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر، پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر و نیتروژن توسط دستگاه کجلدال صورت گرفت (Reitemeier, 1963).

برای اندازه‌گیری وزن تر و خشک برگ‌ها، توزین نمونه‌ها بعد از ۴۸ ساعت قرار گرفتن در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس انجام شد. میوه‌های بالغ فلفل در طول آزمایش برداشت و وزن تر آنها با استفاده از ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ گرم، طول و قطر میوه‌ها با استفاده از کولیس دیجیتال اندازه‌گیری شد. تعداد لوپ میوه‌های برداشت شده از هر بوته نیز شمارش و میانگین آنها برای مقایسات استفاده شد.

تجزیه آماری داده ها

تجزیه آماری داده‌های حاصل با استفاده از نرم افزار SAS9.2 و میانگین‌ها با استفاده از روش حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) فیشر در سطح احتمال ۰/۰۵ مقایسه شدند زیرا یکی از پرکاربردترین آزمون ها در مقایسه ی میانگین‌ها آزمون LSD می‌باشد. برای ارزیابی شباهت بین تیمارها در صفات اندازه‌گیری شده تجزیه خوشه‌ای براساس روش وارد به عنوان دقیق‌ترین روش سلسله مراتبی با نرم‌افزار SPSS (ver16.0) انجام شد. در این روش هر عضو در گروهی قرار می‌گیرد که مجموع مربعات انحراف درون گروهی به حداقل برسد (Gocic & Trajkovic, 2014).

نتایج و بحث

با توجه به نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها (جدول ۱) بیشترین مقدار عنصر نیتروژن (۳/۴۶ درصد) در برگ گیاه تیمار شده با کلات آهن هیومیکی مشاهده شد. همه تیمارها با گیاه شاهد تفاوت معنی‌دار داشتند اما بین سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. بیشترین (۰/۴۱ درصد) مقدار فسفر مربوط به تیمار هیومیک درصد بالا و کمترین (۰/۳۵درصد) مقدار آن به گیاهان شاهد و تیمار شده با هیومکس آمریکایی می‌باشد. عنصر پتاسیم به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار آن در برگ گیاهان تیمار شده با کلات آهن هیومیکی (۵/۱۵ درصد) و گیاهان شاهد (۳/۵۲ درصد) مشاهده گردید. Dordipour و همکاران (۲۰۱۷) مشاهده کردند که کاربرد کلات آهن در غلظت ۱ میلی-گرم در کیلوگرم در شاهی موجب می‌شود که ترکیبات محلول به ویژه پتاسیم کمتر از سلول خارج و در نتیجه تورژسانس گیاهی افزایش یابد، نفوذپذیری غشاء حفظ

شود و نشت‌یونی کاهش یابد (Dordipour et al., 2017).

گیاهان تیمار شده با کلات آهن هیومیکی و شاهد به ترتیب بیشترین (۲۵۸/۶۷ میلی‌گرم در لیتر) و کمترین (۱۹۲/۶۷ میلی‌گرم در لیتر) مقدار عنصر کم مصرف آهن در برگ داشتند. نتایج مقایسه میانگین عتصر روی با بیشترین مقدار در گیاهان تیمار شده با هیومیک درصد پایین (۴۷ میلی‌گرم در لیتر) و کمترین مقدار در گیاهان شاهد (۳۸ میلی‌گرم در لیتر) نتیجه حاصل شد. بیشترین و کمترین مقدار عنصر منگنز به ترتیب به گیاهان تیمار شده با کلات آهن هیومیکی (۱۰۵ میلی-گرم در لیتر) و گیاهان شاهد (۷۴ میلی‌گرم در لیتر) تعلق داشت. گیاهان تیمار شده با کلات آهن تجاری و هیومکس آمریکایی بیشترین مقدار عنصر منگنز در برگ به خود اختصاص دادند. Adan و همکاران (۱۹۹۸) بیان کردند کاربرد هیومیک‌اسید به صورت محلول پاشی و کاربرد در خاک افزایش جذب عناصر غذایی از خاک و افزایش کارآیی عناصر غذایی در گیاه را در پی دارد. مطابق با نتایج حاصل از مقایسه میانگین صفات طول برگ، عرض برگ و وزن تر برگ بیشترین و کمترین مقدار را به ترتیب در گیاهان تیمار شده با کلات آهن هیومیکی (۲۴۱ میلی‌متر، ۱۲۲ میلی‌متر) و کلات آهن تجاری (۲۰۸ میلی‌متر، ۱۰۵/۵ میلی‌متر) داشتند.

Roosta وMohsenian (۲۰۱۲) گزارش کردند که محلول‌پاشی منابع مختلف آهن مانند $FeSO_4$، Fe-EDDHA و Fe-DTPA (DTPA= دی اتیلن تری آمین پنتا استیک اسید) روی گیاه فلفل سبب افزایش رشد رویشی، عملکرد و رنگ‌گیری بهتر میوه در سیستم هیدروپونیک و آکواپونیک می‌شود. بیشترین (۰/۶۶۷ گرم) و کمترین (۰/۵۳ گرم) مقدار وزن خشک برگ در گیاهان شاهد و تیمار شده با کلات آهن تجاری مشاهده شد. Celik و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی دوزهای مختلف محلول‌پاشی هیومیک‌اسید تأثیر متفاوت و معنی داری در وزن خشک گیاه مشاهده کردند (Celik *et al.*, 2010).

Khoram Ghahfarokhi و همکاران (۲۰۱۵) اثر معنی‌دار کاربرد هیومیک‌اسید بر شاخص کلروفیل، فسفر عناصر نیتروژن، روی، اندام هوایی و عملکرد دانه-های گیاه مشاهده کردند .همچنین، به این نتیجه رسیدند که محلولپاشی چای کمپوست و به کار بردن کود زیستی هیومیک‌اسید به میزان 1000 میلی‌گرم در هکتار مناسبترین تیمارها برای بالا بردن رنگدانه‌های فتوسنتزی، جذب عناصر غذایی و عملکرد گلرنگ می‌باشد (Khoram Ghahfarokhi *et al.*, 2015).

Padem و همکاران (Padem *et al.*, 1997) با محلول‌پاشی هیومیک‌اسید بر گیاهچه‌های بادمجان و فلفل گزارش کردند که تعداد برگ‌ها، وزن تر ساقه، قطر ساقه، وزن خشک ساقه و ریشه به طور معنی‌داری با کاربرد هیومیک‌اسید افزایش یافت.

Fatehnezhad (۲۰۲۰) در بررسی تأثیر کودهای کلات آهن، سولفات آهن و هیومیک‌اسید روی صفات مورفولوژیک سینرر گزارش کردند که اکثر صفات مورفولولوژیک گیاه سینرر و همچنین صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی این گیاه، تحت تأثیر به کاربردن کودهای آهن و هیومیک‌اسید قرار گرفته و افزایش می‌یابد .لذا جهت بالابردن عملکرد و کیفیت گیاهان سینرر، به کار بردن کودهای کلات آهن، سولفات آهن و هیومیک‌اسید را پیشنهاد کردند (Fatehnezhad, 2020).

جدول ۱- نتایج مقایسه میانگین عناصر غذایی و صفات مورفولوژیکی برگ و میوه گیاه فلفل دلمه‌ای

Table 2- The results of comparing the average nutritional elements and morphological traits of leaves and fruits of red bell pepper

تیمار (treatment)	نیتروژن (%) (N)	فسفر (P) (%)	پتاسیم (K) (mg L^{-1})	آهن (Fe) (mg L^{-1})	روی (Zn) (mg L^{-1})	منگنز (Mn) (mg L^{-1})	مس (Cu) (mg L^{-1})
شاهد (Control)	2.54 b	0.35 d	3.52 e	192.67 c	38 c	74 c	14.66 c
کلات آهن تجاری (Commercial iron chelate)	3.02 a	0.39 b	4.54 b	195 c	41.33 bc	92.33 b	21.33 a
کلات آهن هیومیکی (Humic iron chelate)	3.46 a	0.36 d	5.15 a	258.67 a	45.33 ab	105 a	14 c
هیومیک درصد پایین (Low humic percentage)	3.41 a	0.37 c	4.33 c	219.33 b	47 a	95 ab	18 b
هیومیک درصد بالا (High humic percentage)	3.34 a	0.41 a	4.33 c	221 b	46 ab	100 ab	18.33 b
هیومکس آمریکایی (American Humax)	3.22 a	0.35 d	3.86 d	210.33 bc	43 abc	93.66 ab	21.33 a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون مطابق آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means within each column with similar letter, are not significantly different ($p \leq 0.05$) based on LSD test.

ادامه جدول ۱

Table 1 Continued

تیمار (Treatment)	طول برگ Leaf length (mm)	عرض برگ Leaf width (mm)	وزن خشک برگ Leaf dry weight (gr)	طول میوه Fruit length (mm)	عرض میوه Fruit width (mm)	تعداد لوپ Number of loops	ضخامت پریکارپ Pericarp thickness (mm)
شاهد (Control)	239.2 a	119.2 ab	0.667 a	90.12 ab	83.19 a	3.77 a	7.76 c
کلات آهن تجاری (Commercial iron chelate)	208 d	105.5 c	0.53 b	84.6 bc	79.63 ab	3.66 a	8.7 bc
کلات آهن هیومیکی (Humic iron chelate)	241a	122 a	0.645 a	97.108 a	81.02 ab	3.71a	10.52 a
هیومیک درصد پایین (Low humic percentage)	226.4 bc	117.5 ab	0.637 a	88.11 bc	76.21 bc	3.55 a	9.42 b
هیومیک درصد بالا (High humic percentage)	231.7 b	118.8 ab	0.652 a	91.94 ab	79.71 ab	3.54 a	10.58 a
هیومکس آمریکایی (American Humax)	220.9 bc	116.06 b	0.63 a	81.73 c	71.96 c	3.61 a	8.81 bc

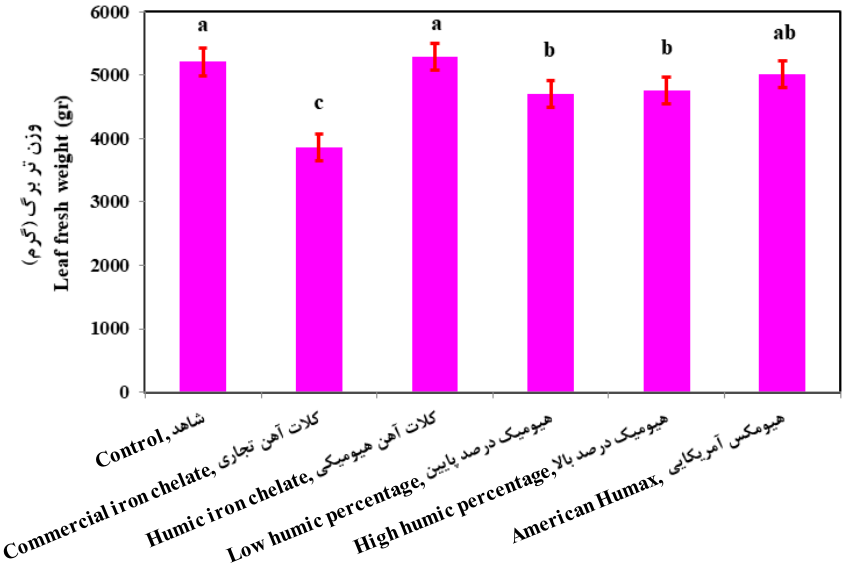
میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون مطابق آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means within each column with similar letter, are not significantly different ($p \leq 0.05$) based on LSD test.

در خصوص صفت طول میوه گیاهان تیمار شده با کلات آهن هیومیکی با ۹۷/۱۰۸ میلی‌متر بیشترین مقدار این صفت را به خود اختصاص دادند و کمترین (۸۱/۷۳ میلی‌متر) آن در گیاهان تیمار شده با هیومکس آمریکایی مشخص شد. صفت مورفولوژیکی عرض میوه در گیاهان شاهد بیشترین مقدار (۸۳/۱۹ میلی‌متر) و گیاهان تیمار شده با هیومکس آمریکایی (۷۱/۹۶ میلی‌متر) کمترین مقدار را نشان دادند.

Arancon و همکاران در بررسی اثر ورمی‌کمپوست و هیومیک‌اسید روی رشد گیاهان فلفل، توت‌فرنگی و گل همیشه بهار نتیجه گرفتند که کود هیومیک‌اسید باعث افزایش رشد ریشه‌های فلفل، افزایش رشد ریشه‌ها و میوه‌های توت‌فرنگی و افزایش رشد گل همیشه بهار می‌گردد. فلفل‌های تیمار شده با هیومیک‌اسید تعداد گل و میوه‌های بیشتری نسبت به گیاهان تیمار نشده تولید کردند و درنتیجه عملکرد بالاتری از خود نشان دادند (Arancon *et al.*, 2004).

برای صفت تعداد لوپ اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد. بیشترین (۱۰/۵۲ میلی‌متر) و کمترین (۷/۷۶ میلی‌متر) ضخامت پریکارپ به گیاهان تیمار شده با کلات آهن هیومیکی و گیاهان شاهد تعلق داشت. وزن تر برگ دارای بیشترین (۵۲۹۴/۲ گرم) و کمترین (۳۸۵۵/۹ گرم) مقدار در گیاهان تیمار شده با کلات آهن هیومیکی و کلات آهن تجاری می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مورد بررسی بر وزن تر برگ گیاه فلفل دلمه‌ای. میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون مطابق آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

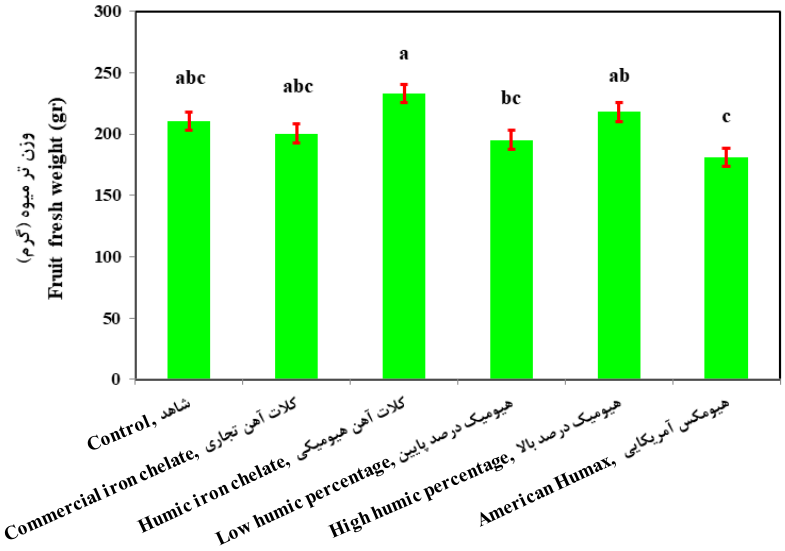
Figure 1- Comparison of the average effect of the examined treatments on the fresh weight of red bell pepper leaves. Means within each column with similar letter, are not significantly different ($p \leq 0.05$) based on LSD test.

Jabbarzadeh و Talebi (۲۰۱۸) اثر معنی‌دار هیومیک‌اسید بر صفات رویشی (مانند وزن تر و خشک برگ و قطر ساقه) و صفات زایشی (مانند تعداد و قطر غنچه، قطر گل) و همچنین جذب عناصر غذایی توسط گل رُز مینیاتور رقم هفت رنگ گزارش کردند نتایج آن‌ها مشخص کرد که تیمار خاکی 2000 میلی‌گرم در لیتر هیومیک‌اسید موجب بالاترین مقدار جذب نیتروژن و آهن در این گیاه شده است (Jabbarzadeh & Talebi, 2018).

در بررسی اثر هیومیک‌اسید بر صفات موفولوژیکی گل لیزیانتوس توسط Bahaloo و همکاران (۲۰۱۸)، اثر معنی‌دار کود هیومیک‌اسید بر صفاتی مانند وزن

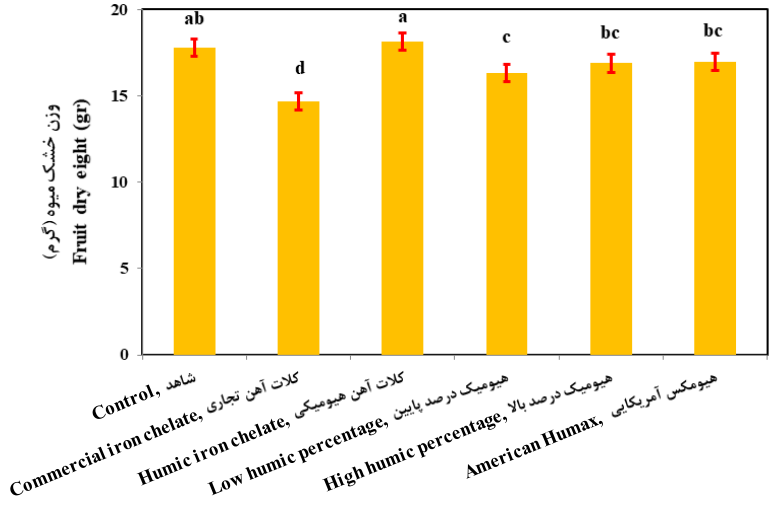
خشک اندام هوایی و قطرگل، وزن خشک و تر ریشه، گزارش شده است. علاوه براین، برهمکنش هیومیک‌اسید بر صفاتی مانند :طول دمگل، طول میانگره، قطر ساقه اصلی، تعداد برگ، وزن تر و خشک ریشه و وزن تر و خشک اندام هوایی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بوده است. بنابراین، استفاده از کود هیومیک‌اسید تأثیر زیادی بر اجزای عملکرد، کیفیت و جذب عناصر غذایی توسط لیزیانتوس دارد (Bahaloo *et al.*, 2018).

بیشترین مقدار وزن تر میوه در گیاهان تیمار شده با کلات آهن هیومیکی (۲۳۳/۱۴ گرم) و کمترین آن در گیاهان تیمار شده با هیومکس آمریکایی (۱۸۰/۹۷ گرم) مشاهده گردید (شکل ۲). Karakurt و همکاران (Karakurt *et al.*, 2009) با بررسی اثر هیومیک‌اسید را در ۵ غلظت بر عملکرد و کیفیت میوه‌های فلفل به صورت تیمار برگی و خاکی گزارش کردند هیومیک‌اسید اثر معنی‌داری را بر طول و قطر میوه‌ها دارد.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مورد بررسی بر وزن تر میوه گیاه فلفل دلمه‌ای. میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون مطابق آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

Figure 2- Comparison of the average effect of the examined treatments on the fresh weight of red bell pepper fruit. Means within each column with similar letter, are not significantly different ($p \leq 0.05$) based on LSD test.



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مورد بررسی بر وزن خشک میوه گیاه فلفل دلمه‌ای. میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون مطابق آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

Figure 3-Comparison of the average effect of the examined treatments on the dry weight of red bell pepper fruit. Means within each column with similar letter, are not significantly different ($p \leq 0.05$) based on LSD test.

گیاهان تیمار شده با کلات آهن هیومیکی و کلات آهن تجاری به ترتیب دارای بیشترین (۱۸/۱۶ گرم) و کمترین (۱۴/۶۸ گرم) مقدار وزن خشک میوه بودند (شکل ۳). مراحل انتقال گیاهان فلفل دلمه‌ای به گلخانه و رشد آنها پس از سه هفته، شش هفته، نه هفته و همچنین پس از رشد کامل در شکل ۴ نشان داده شده است. مشاهده می شود که با تیمار نمودن خاک گلخانه توسط کلات آهن هیومیکی، گیاهان فلفل دلمه‌ای سبز و قرمز به خوبی رشد کرده و از لحاظ مشخصات ظاهری نیز دارای کیفیت بسیار عالی و ایده‌آلی هستند.

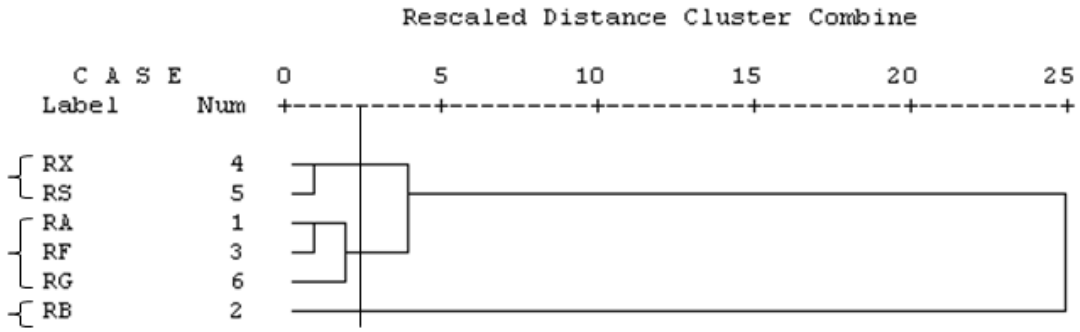
شکل ۴- کشت و رشد گیاه فلفل دلمه‌ای قرمز تیمار شده با کلات آهن هیومیکی. (الف) انتقال گیاه به گلخانه، (ب) رشد گیاه بعد از سه هفته، (ج) رشد گیاه بعد از سه هفته، (د) رشد گیاه بعد از نه هفته، (ه) برداشت محصول.

Figure 4- Images of culture and growth of green and red bell pepper fruits treated with humic chelating agent. (a) plant transfer to the greenhouse, (b) plant growth after three weeks, (c) plant growth after six weeks, (d) plant growth after nine weeks, (e) harvesting the plant product.

نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای

تجزیه خوشه‌ای تیمارهای مختلف آهن برای صفات اندازه‌گیری شده با استفاده از روش ward انجام شد. این روش، جزء روش‌های سلسله مراتبی محسوب می‌شود. در این روش خوشه‌بندی برای کاهش تلفات ناشی داده‌های دور افتاده (Outlier) از معیاری جدید برای محاسبه عدم‌شباهت بین خوشه‌ها استفاده می‌کند. در روش Ward از مجموع مربعات تفاضل هر داده از یک خوشه با بردار میانگین آن خوشه به عنوان معیاری برای سنجش یک خوشه استفاده می‌شود.. تجزیه خوشه‌ای سه گروه تیمارها را نشان داد که گروه اول شامل تیمارهای هیومکس آمریکایی و هیومیک درصد بالا، گروه دوم شامل شاهد، کلات آهن هیومیکی و

هیومیک درصد پایین و گروه سوم تیمار کلات آهن تجاری را شامل می‌شود.



شکل ۵- گروه بندی تیمارهای مختلف برای صفات اندازه‌گیری شده در فلفل دلمه‌ای

Figure 5- Grouping of different treatments for measured traits in bell pepper

نتایج حاصل از آنالیز همبستگی

تعیین ضرایب همبستگی به روش پیرسون انجام شد (جدول ۲). نتایج حاصل از آنالیز همبستگی نشان داد که عنصر نیتروژن با عناصر روی (r=۰/۷۳) پتاسیم (r=۰/۶۱)، منگنز (r=۰/۵۶) و آهن (r=۰/۵۴) همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد. عنصر پتاسیم با منگنز (r=۰/۷۳)، آهن (r=۰/۶۹) و روی (r=۰/۴۸)، عنصر آهن با عناصر منگنز (r=۰/۶۲) و روی (r=۰/۵۶) و صفات عرض برگ (r=۰/۵۵) ، وزن تر برگ (r=۰/۵۵) و طول میوه (r=۰/۵۱) همبستگی نشان دادند. بین عنصر مس با صفات طول برگ (r=۰/۸۳)، عرض برگ (r=-۰/۶۴) همبستگی مثبت و وزن تر برگ (r=-۰/۶۴)، طول میوه (r=-۰/۵۹)، عرض میوه (r=-۰/۴۷) و وزن خشک میوه (r=-۰/۶۸) همبستگی منفی و معنی‌داری مشاهده گردید. همه عناصر مورد بررسی به جز عنصر فسفر و مس با صفت ضخامت پریکارپ همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان دادند.

صفت طول برگ با صفات عرض برگ (r=۰/۸۶)، وزن تر برگ (r=۰/۸۲)، وزن خشک برگ (r=۰/۶۸)، طول میوه (r=۰/۵۶) و وزن خشک میوه (r=۰/۸۷) همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد. صفت عرض برگ نیز با وزن تر و خشک برگ (به ترتیب و r=۰/۸۹ و r=۰/۸) وزن خشک میوه (r=۰/۷۸) همبستگی بالایی داشت.

نتیجه‌گیری

در گیاهان تیمار شده با کلات آهن هیومیکی عناصر پرمصرف نیتروژن و پتاسیم و عناصر کم مصرف آهن، منگنز و مس صفات عرض و وزن تر برگ، طول، وزن تر و خشک میوه بیشترین مقدار را دارا بودند. عناصر فسفر، روی و مس به ترتیب در برگ گیاهان تیمار شده با هیومیک درصد بالا و کلات آهن تجاری مقدار بیشتری وجود داشتند. ضخامت پریکارپ که در گیاهان تیمار شده با هیومیک درصد بالا بیشترین مقدار را دارا بودند با گیاهان تیمار شده با کلات آهن هیومیکی اختلاف معنی‌داری نداشتند. بنابراین با توجه به نتایج حاصل، استفاده از تیمار کلات آهن هیومیکی جهت بدست آوردن عملکرد بهتر در گیاه فلفل دلمه‌ای در شرایط گلخانه توصیه می‌گردد.

سپاسگزاری

با تشکر و قدردانی از دانشگاه صنعتی امیرکبیر، مدیریت محترم شرکت فناورشیمی به رویان، مدیریت محترم سازمان فنی و حرفه‌ای شهرستان خرامه و تمام دوستانی که برای انجام این پژوهش از نویسندگان پشتیبانی نمودند.

جدول ۲- نتایج آنالیز همبستگی بین صفات مورد بررسی در گیاه فلفل دلمه‌ای

Table 3- Correlation analysis results between investigated traits in red bell pepper plant

صفات	نیتروژن (N) (%)	فسفر (P) (%)	پتاسیم (K) (%)	آهن (Fe) (%)	روی (Zn) (%)	منگنز (Mn) (%)	مس (Cu) (%)	طول برگ leaf length (mm)	عرض برگ leaf width, (mm)	وزن تر برگ leaf fresh weight, (gr)	وزن خشک برگ leaf dry weight, (gr)	طول میوه fruit length, (mm)	عرض میوه fruit width, (mm)	وزن تر میوه fruit fresh weight, (gr)	تعداد لوپ Number of loops	وزن خشک میوه fruit dry weight (gr)	ضخامت پریکارپ pericarp thickness (mm)
نیتروژن (N) (%)	1	0.12^{ns}	0.61**	0.54*	0.73**	0.56*	0.12^{ns}	0.01^{ns}	0.1^{ns}	-0.07^{ns}	-0.12^{ns}	0.19^{ns}	-0.24^{ns}	0.14 ^{ns}	-0.46^{ns}	0.03^{ns}	0.68**
فسفر (P) (%)	0.12^{ns}	1	0.25^{ns}	-0.09^{ns}	0.38^{ns}	0.15^{ns}	0.19^{ns}	-0.18^{ns}	-0.29^{ns}	-0.47^{ns}	-0.23^{ns}	-0.09^{ns}	0.23^{ns}	0.15 ^{ns}	-0.36^{ns}	-0.28^{ns}	0.36^{ns}
پتاسیم (K) (%)	0.61**	0.25^{ns}	1	0.69**	0.48^{ns}	0.73**	-0.13^{ns}	0.02^{ns}	-0.01^{ns}	-0.14^{ns}	-0.25^{ns}	0.35^{ns}	0.12^{ns}	0.39^{ns}	0.00^{ns}	-0.05^{ns}	0.67**
آهن (Fe) (%)	0.54*	-0.09^{ns}	0.69**	1	0.56*	0.62**	-0.4^{ns}	0.41^{ns}	0.55*	0.47*	0.18^{ns}	0.51*	-0.1^{ns}	0.39^{ns}	0.04^{ns}	0.34^{ns}	0.71**
روی (Zn) (%)	0.73 **	0.38^{ns}	0.48^{ns}	0.56*	1	0.45^{ns}	0.05^{ns}	0.04^{ns}	0.19^{ns}	0.00^{ns}	0.08^{ns}	0.08^{ns}	-0.2^{ns}	0.24^{ns}	-0.44^{ns}	-0.00^{ns}	0.74**
منگنز (Mn) (%)	0.56*	0.15^{ns}	0.73**	0.62**	0.45^{ns}	1	0.12^{ns}	-0.09^{ns}	0.11^{ns}	-0.02^{ns}	-0.003	0.17^{ns}	-0.27^{ns}	0.16^{ns}	0.02^{ns}	-0.11^{ns}	0.72**
مس (Cu) (%)	0.12^{ns}	0.19^{ns}	-0.13^{ns}	-0.4^{ns}	0.05^{ns}	0.12^{ns}	1	-0.83**	-0.64**	-0.64**	-0.46^{ns}	-0.59**	-0.47*	-0.44^{ns}	-0.21^{ns}	-0.68**	-0.09^{ns}
طول برگ leaf length, mm)	0.01^{ns}	-0.18^{ns}	0.02^{ns}	0.41^{ns}	0.04^{ns}	-0.09^{ns}	-0.83**	1	0.86**	0.82**	0.68**	0.56*	0.38^{ns}	0.41^{ns}	0.10^{ns}	0.87**	0.20^{ns}
عرض برگ (leaf width, (mm)	0.1^{ns}	-0.29^{ns}	-0.01^{ns}	0.55*	0.19^{ns}	0.11	-0.64**	0.86**	1	0.89**	0.8**	0.42^{ns}	-0.02^{ns}	0.24^{ns}	-0.04^{ns}	0.74**	0.33^{ns}
وزن تر برگ (leaf fresh weight (gr)	-0.07^{ns}	-0.47^{ns}	-0.14^{ns}	0.47*	0.00^{ns}	-0.02^{ns}	-0.64**	0.82**	0.89**	1	0.75**	0.33^{ns}	-0.02^{ns}	0.18^{ns}	0.22^{ns}	0.84**	0.1^{ns}
وزن خشک برگ leaf dry weight (gr)	-0.12^{ns}	-0.23^{ns}	-0.25^{ns}	0.18^{ns}	0.08^{ns}	-0.00^{ns}	-0.46^{ns}	0.68**	0.8**	0.75 **	1	0.25^{ns}	0.00^{ns}	0.22 ^{ns}	0.03^{ns}	0.64**	0.21^{ns}
طول میوه	0.19^{ns}	-0.09^{ns}	0.35^{ns}	0.51*	0.08^{ns}	0.17^{ns}	-0.59**	0.56*	0.42^{ns}	0.33 ^{ns}	0.25^{ns}	1	0.55*	0.77 **	0.07^{ns}	0.44^{ns}	0.49*

fruit length, (mm)																
عرض میوه fruit width, (mm)	-0.24^{ns}	0.23^{ns}	0.12 ^{ns}	-0.10^{ns}	-0.20^{ns}	-0.27^{ns}	-0.47^{ns}	0.38^{ns}	-0.02^{ns}	-0.02^{ns}	0.00^{ns}	0.55*	1	0.69 **	0.18 ^{ns}	0.26^{ns}	0.03^{ns}
وزن تر میوه fruit fresh weight (gr)	0.14^{ns}	0.15^{ns}	0.39^{ns}	0.39^{ns}	0.24^{ns}	0.16^{ns}	-0.44^{ns}	0.41^{ns}	0.24ns	0.18^{ns}	0.22^{ns}	0.77**	0.69**	1	0.06^{ns}	0.41^{ns}	0.61**
تعداد لوپ Number of loops	-0.46^{ns}	-0.36^{ns}	0.00 ^{ns}	0.04^{ns}	-0.44^{ns}	0.02^{ns}	-0.21^{ns}	0.1^{ns}	-0.04^{ns}	0.22^{ns}	0.03^{ns}	0.07^{ns}	0.18^{ns}	0.06^{ns}	1	0.09^{ns}	-0.28^{ns}
وزن خشک میوه fruit dry weight (gr)	0.03^{ns}	-0.21^{ns}	-0.05 ^{ns}	0.34^{ns}	-0.00^{ns}	-0.11^{ns}	-0.68**	0.87**	0.74**	0.84**	0.64**	0.44^{ns}	0.26^{ns}	0.41^{ns}	0.09^{ns}	1	0.19^{ns}
ضخامت پریکارپ pericarp thickness (mm)	0.68**	0.36^{ns}	0.67**	0.71**	0.74**	0.72**	-0.09^{ns}	0.20^{ns}	0.33^{ns}	0.1^{ns}	0.21^{ns}	0.49^{ns}	0.03^{ns}	0.61**	-0.28^{ns}	0.19^{ns}	1

^{ns} و * و ** به ترتیب عدم معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

References

Adani, F., Genevini, P., Zaccheo, P. & Zocchi, G. (1998). The effect of commercial humic acid on tomato plant growth and mineral nutrition. *Journal of Plant Nutrition*, 21(3), 561-575. https://doi.org/10.1080/01904169809365424

Aghili, F., Khoshgoftarmanesh, A., Afyuni, M., Mobli, M., Pirzadeh, M. & Sanaei Ostovar, A. (2011). Nutritional status of greenhouse cucumber and bell pepper in Isfahan province. *Journal of Soil and Plant Interactions-Isfahan University of Technology*, 1(4), 35-42.

Amerian, M., Khoramivafa, M. & Rabani, B.A. (2023). Effect of selenium and humic acid on germination and some morphological characteristics of quinoa under drought and salinity stress. *Journal of Vegetables Sciences*, 6(2), 1-16.

Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Atiyeh, R. & Metzger, J.D. (2004). Effects of vermicomposts produced from food waste on the growth and yields of greenhouse peppers. *Bioresource Technology*, 93(2), 139-144. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.10.015

Atiyeh, R., Lee, S., Edwards, C., Arancon, N. & Metzger, J. (2002). The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Bioresource Technology*, 84(1), 7-14. https://doi.org/10.1016/S09608524(02)00017-2

Bahaloo, Z., Rizi, S., Rabiei, G. & Saeisi, K. (2018). The positive effect of vermicompost and humic acid on quantitative and qualitative properties of Lisianthus flower (*Eustoma grandiflorum*) after transplantation. *Science and Technology of Greenhouse Cultivation*, 8(4), 17-25.

Balamurugan, A. & Kumar, A. (2023). Postharvest fruit rot of Bell pepper (*Capsicum annuum* L.): Pathogenicity and Host range of Alternaria alternata. *Scientia Horticulturae*, 319, 112156. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112156

Banaei, M., Moameni, A., Bybordi, M. & Malakouti, M. (2005). The soils of Iran: new achievements in perception, management and use. *Soil and Water Research Institute*: Tehran, 481.

Brigante, M., Zanini, G. & Avena, M. (2009). Effect of pH, anions and cations on the dissolution kinetics of humic acid particles. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 347(1-3), 180-186. https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2009.04.003

Celik, H., Katkat, A.V., Aşık, B.B. & Turan, M.A. (2010). Effect of foliar-applied humic acid to dry weight and mineral nutrient uptake of maize under calcareous soil conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42(1), 29-38.

Consalez, F., Ahern, M., Andersen, P. & Kjellevold, M. (2022). The Effect of the meat factor in animal-source foods on micronutrient absorption: A scoping review. *Advances in Nutrition*, 13(6), 2305-2315. https://doi.org/10.1093/advances/nmac089

Di Donato, F., Biancolillo, A., Foschi, M., Di Cecco, V., Di Martino, L. & D'Archivio, A.A. (2023). Authentication of typical Italian bell pepper spices by ICP-OES multi-elemental analysis combined with SIMCA class modelling. *Journal of Food Composition and Analysis*, 115, 104948. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104948

Dordipour, E., Alidadi Khaliliha, M. & Barani Motlagh, M. (2017). Interactive effect of iron and lead on growth and their uptake in Cress (*Lepidium sativum* L.). *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 5(4), 41-59.

Fatehnezhad, L. (2020). Morphophysiological response of Cineraria (*Pericallis* × *hybrida*) to application of humic acid, iron chelate, and iron sulfate fertilizers. Master of Science, *Shiraz University, Agriculture College*.

Ghorbani, S., Khazaie, H., Kafi, M. & Bannayan Aval, M. (2010). Effects of humic acid application with irrigation water on yield and yield components of corn (*Zea mays* L.). *Journal of Agroecology*, 2(1), 11-118.

Gocic, M. & Trajkovic, S. (2014). Spatiotemporal characteristics of drought in Serbia. *Journal of Hydrology*, 510, 110-123. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.12.030

Gosdin, L., Addo, O.Y., Palmieri, M., Mesarina, K., Mazariegos, D.I., Martínez, C., Santizo, M.C., Guzmán, L., Alfaro, Y., Flores-Ayala, R. & Jefferds, M.E.D. (2023). Trends in Micronutrient Interventions, Anemia, and Iron Deficiency among Women and Children in Guatemala, 2009–2019. *Current Developments in Nutrition*, 7(8), 101970. https://doi.org/10.1016/j.cdnut.2023.101970

Gruda, N. (2005). Impact of environmental factors on product quality of greenhouse vegetables for fresh consumption. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 24(3), 227-247. https://doi.org/10.1080/07352680591008628

Guerra, M. & Casquero, P. (2010). Summer pruning: An ecological alternative to postharvest calcium treatment to improve storability of high quality apple cv.'Reinette du Canada'. *Food Science and Technology International*, 16(4), 343-350.

Haghighi, M. & Najafi, H. (2020). The effect of humic acid on alleviating drought stress effects in tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill.). *Journal of Vegetables Sciences*, 3(2), 147-158.

Howard, L.R., Smith, R., Wagner, A., Villalon, B. & Burns, E. (1994). Provitamin A and ascorbic acid content of fresh pepper cultivars (*Capsicum annuum*) and processed jalapenos. *Journal of Food Science*, 59(2), 362-365. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1994.tb06967.x

Jabbarzadeh, Z. & Talebi, P. (2018). Effect of Humic Acid Application on Some Physiological Characteristics of Miniature Rose (*Rosa chinensis* var. minima 'Baby Masquerade'). *Plant Process and Function*, 7(23), 263-272.

Karakurt, Y., Unlu, H., Unlu, H. & Padem, H. (2009). The influence of foliar and soil fertilization of humic acid on yield and quality of pepper. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B–Soil and Plant Science*, 59(3), 233-237. https://doi.org/10.1080/09064710802022952

Khoram Ghahfarokhi, A., Rahimi, A., Torabi, B. & Maddah Hosseini, S. (2015). Effect of humic acid application and foliar spraying of compost tea and vermiwash on nutrient absorption and chlorophyll content of safflower (Carthamus tinctorius L.). *Journal of Oil Plant Production*, 2(1), 71-84.

Kumar, S., Kumar, R. & Singh, J. (2006). Handbook of herbs and spices, Chapter 16 - Cayenne/American pepper, pp. 299-312, *Elsevier*. https://doi.org/10.1533/9781845691717.3.299

Lazar, T. (2003) Taiz, L. & Zeiger, E. Plant physiology. 3rd Edn., *Oxford University Press*. https://doi.org/10.1093/aob/mcg079

Lee, H., Coulon, F. & Wagland, S.T. (2023). The influence of humic acid on metal(loid)s leaching in landfill leachate for enhancing landfill mining. *Science of The Total Environment*, 896, 165250. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165250

Liu, C. & Huang, P. (1999). Understanding Humic Substances, Atomic force microscopy of pH, ionic strength and cadmium effects on surface features of humic acid. Understanding humic substances. Advanced methods, properties and applications. ISBN: 978-1-85573-815-7, *Elsevier*, 87-99. https://doi.org/10.1016/B978-1-85573-815-7.50014-3

Liu, Y., Zhang, K., Zhang, H., Zhou, K., Chang, Y., Zhan, Y., Pan, C., Shi, X., Zuo, H., Li, J. & Wei, Y. (2023). Humic acid and phosphorus fractions transformation regulated by carbon-based materials in composting steered its potential for phosphorus mobilization in soil. *Journal of*

Environmental Management, 325 (Part A), 116553. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116553

Mardi, M., Abbasifar, A. & ValizadehKaji, B. (2022). Comparison of the effect of biological and non-biological fertilizers on quantitative, qualitative and phytochemical properties of garlic (*Allium sativum* L.). *Journal of Vegetables Sciences*, 5(2), 1-17.

Martínez-Castro, J., de Haro-Bailón, A., Obregón-Cano, S., García Magdaleno, I.M., Moreno Ortega, A. & Cámara-Martos, F. (2023). Bioaccessibility of glucosinolates, isothiocyanates and inorganic micronutrients in cruciferous vegetables through INFOGEST static in vitro digestion model. *Food Research International*, 166, 112598. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112598

Mwando, N.L., Ndlela, S., Meyhöfer, R., Subramanian, S. & Mohamed, S.A. (2022). Immersion in hot water as a phytosanitary treatment for Thaumatotibia leucotreta (Lepidoptera: Tortricidae) in bell pepper (*Capsicum annuum* L.). *Postharvest Biology and Technology*, 192, 112026. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.112026

Nadi, M., Sedaghati, E. & Fuleky, G. (2012). Evaluation of humus quality of forest soils with two extraction methods. *International Journal of Forest, Soil and Erosion (IJFSE)*, 2(3), 124-127.

Nikoosefat, O., Shariatinia, Z., Mair, F.S. & Paghaleh, A.S. (2023). An effective strategy to synthesize water-soluble iron heterocomplexes containing Dubb humic acid chelating agent as efficient micronutrients for iron-deficient soils of high pH levels. *Journal of Molecular Liquids*, 376, 121441. https://doi.org/10.1016/j.molliq.2023.121441

Nikoosefat, O., Shariatinia, Z., Mair, F.S. & Paghaleh, A.S. (2024). Efficient Soil Stabilizers Against Wind Erosion Based on Lignin and Lignosulfonate Composites of Dubb Humic Acid as a Value-Added Material Extracted from a Natural Waste. *Journal of Polymers and the Environment*, 32 (3), 1065-1079. https://doi.org/10.1007/s10924-023-03016-4

Olanbiwoninu, A., Greppi, A., Awotundun, T., Adebayo, E.A., Spano, G., Mora, D. & Russo, P. (2023). Microbial-based biofortification to mitigate African micronutrients deficiency: A focus on plant-based fermentation as source of B-group vitamins. *Food Bioscience*, 55, 102996. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102996

Padem, H., Ocal, A. & Alan, R. (1997). Effect of humic acid added to foliar fertilizer on quality and nutrient content of eggplant and pepper seedlings. *Acta Horticulturae*, pp. 241-246.

Peyvandi, M., Parandeh, H. & Mirza, M. (2015). Comparison of nano Fe and Fe chelate fertilizers on the quality and the quantity of *Ocimum basilicum* L. essential oil. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 31(2), 185-193. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2015.101458

Pourebrahimi, M., Roosta, H.R. & Hamidpour, M. (2014). Interactive effect of sodium bicarbonate and different Fe sources on micronutrients concentration in bell pepper plants. *Journal of Soil and Plant Interactions-Isfahan University of Technology*, 5(1), 27-38.

Reitemeier, R.F. (1963). Methods of analysis for soils, plants, and waters. *Soil Science Society of America Journal*, 27(1), iv-iv. https://doi.org/10.2136/sssaj1963.03615995002700010004x

Roosta, H.R. & Mohsenian, Y. (2012). Effects of foliar spray of different Fe sources on pepper (*Capsicum annum* L.) plants in aquaponic system. *Scientia Horticulturae*, 146, 182-191. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.08.018

Sabzevari, S., Khazaei, H. & Kafi, M. (2010). Study on the effects of humic acid on germination of four wheat cultivars (*Triticun*

aestivum L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 8(3), 473-480.

Samoraj, M., Izydorczyk, G., Krawiec, P., Moustakas, K. & Chojnacka, K. (2022). Biomass-based micronutrient fertilizers and biofortification of raspberries fruits. *Environmental Research*, 215, 114304. https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114304

Schmidt, R. & Zhang, X. (1998). How humic substances help turfgrass grow. *Golf Course Management*, 66(7), 65-67.

Shao, Y., Geng, Y., Li, Z., Long, Y., Ajmal, M., Lu, W. & Zhao, J. (2023). Unlocking the potential of humic acid production through oxygen-assisted hydrothermal humification of hydrochar. *Chemical Engineering Journal*, 472, 145098. https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.145098

Singh, S., Singh, J., Ramamurthy, P.C., Kumar, V., Bhardwaj, S. & Garg, V.K. (2021). Biodegradation of monocrotophos by indigenous soil bacterial isolates in the presence of humic acid, Fe(III) and Cu(II) ions. *Bioresource Technology Reports*, 15, 100778. https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100778

Sood, T., Sood, S., Sood, V.K., Badiyal, A., Anuradha, Kapoor, S., Sood, V. & Kumar, N. (2023). Characterisation of bell pepper (*Capsicum annuum* L. var. grossum Sendt.) accessions for genetic diversity and population structure based on agro-morphological and microsatellite markers. *Scientia Horticulturae*, 321, 112308. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112308

Topuz, A. & Ozdemir, F. (2007). Assessment of carotenoids, capsaicinoids and ascorbic acid composition of some selected pepper cultivars (Capsicum annuum L.) grown in Turkey. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20(7), 596-602. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2007.03.007

Wang, C., Tang, S., Chen, H., Cheng, T., Zhang, D. & Pan, X. (2023). Alkalization-induced disintegration increased redox activity of solid humic acids and its soil biogeochemical implications. *Science of The Total Environment*, 891, 164486. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164486

Xavier, D., Silva, A., Santos, R., Mesko, M., Costa, S.N., Freire, V., Cavada, B. & Martins, J. (2012). Characterization of the coal humic acids from the candiota coalfield. *Brazilian International Journal of Agriculture Sciences*, 4(5), 238.

Xu, D., Yuan, S., Chen, B., Shi, J., Sui, Y., Gao, L., Geng, S., Zuo, J. & Wang, Q. (2023). A comparative proteomic and metabolomic analysis of the low-temperature response of a chilling-injury sensitive and a chilling-injury tolerant cultivar of green bell pepper. *Scientia Horticulturae*, 318, 112092. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112092

Yadollahi Farsani, N., Tadayon, M. & Karimi, M. (2021). The Effect of Potassium (K) and Boron (B) Foliar Application on Quantitative and Qualitative Traits of Sugar Beet (Beta vulgaris L.) under Drought Stress Conditions. *Isfahan University of Technology-Journal of Crop Production and Processing*, 11(1), 125-136.