

تأثیر محلول پاشی روی، آهن و منگنز بر خصوصیات مورفولوژیک و فیتوشیمیایی گیاه زوفا (*Hyssopus officinalis* L.)

محمد امینی^۱، کمال سادات اسیلان^۲، سعید یوسف زاده^{۳*}، سیروس منصوری^۲

۱. دانشجوی رشته کارشناسی ارشد زراعت دانشگاه پیام نور کرج ۲ و ۳. دانشیار و استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور،

تهران، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۵/۸ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۷/۲۳)

چکیده

به منظور بررسی اثر محلول پاشی آهن، روی و منگنز بر تعدادی از صفات مورفولوژیک و فیتوشیمیایی گیاه زوفا، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار، در سال ۱۳۹۵ اجرا گردید. تیمارها شامل: شاهد، محلول پاشی آهن، روی، منگنز، آهن + روی، آهن + منگنز، روی + منگنز و آهن + منگنز + روی بودند. محلول پاشی بر تمامی صفات مورد مطالعه تأثیر معنی‌داری داشت. محلول پاشی بویژه در حالت ترکیبی، در مقایسه با تیمار شاهد تأثیر مثبتی بر تمامی ویژگی‌های مورد مطالعه داشت. بیشترین ارتفاع بوته (۴۹/۵۵ سانتی‌متر) و عملکرد بیولوژیکی (۵۰۸۵/۷ کیلوگرم در هکتار) در اثر محلول پاشی ترکیبی روی + آهن + منگنز در گیاه زوفا بدست آمد. عدم محلول پاشی (تیمار شاهد) کمترین ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌جانبی، تعداد شاخه گل‌دهنده و عملکرد بیولوژیکی را در این گیاه تولید کرد. محلول پاشی، به طور معنی‌داری تعداد شاخه گل‌دهنده و عملکرد بیولوژیکی را در مقایسه با تیمار شاهد، افزایش داد. بیشترین میزان کلروفیل کل در برگ گیاهان (۱/۸۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) از محلول پاشی تیمار آهن بدست آمد. همچنین محلول پاشی با تیمارهای ترکیبی، بیشترین میزان فلاونوئید کل را در گیاهان تولید کرد. نتایج نشان داد محلول پاشی هم‌زمان روی، آهن و منگنز تأثیر مثبتی بر صفات کمی و کیفی گیاه زوفا داشت، بنابراین محلول پاشی عناصر ریز مغذی می‌تواند به عنوان یک راهکار مدیریتی مناسب در جهت کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی، حرکت به سمت کشاورزی پایدار و دستیابی به عملکرد مطلوب بیولوژیکی در گیاه زوفا مورد استفاده قرار بگیرد.

واژه‌های کلیدی: زوفا، کلروفیل، متابولیت‌های ثانویه، محلول پاشی.

Effect of foliar application of zinc, iron, and manganese on morphological, and phytochemical traits of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.)

Mohammad Amini¹, Kamal-Sadat Asilan², Saeed Yousefzadeh^{2*} and Sirus Mansorifar²

1. MSc. Student of Agronomy, Payamee Noor University, karaj, Iran.

2,3. Associate Professor and Assistant Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran

(Received: July 30, 2017 - Accepted: October 30, 2018)

ABSTRACT

To investigate the effect of iron, zinc, and manganese on morphological and phytochemical traits of hyssop, an experiment was conducted as a randomized complete block design with three replications in 2016. Treatments consisted of control, foliar application of iron, zinc, manganese, iron + zinc, iron + manganese, zinc + manganese and iron + zinc + manganese. The foliar application had a significant effect on all studied traits. Foliar application, especially in combined treatments of the above-mentioned microelements, had a positive effect on all studied traits compared with control. The highest values of plant height (49.55 cm) and biological yield (5085.7 kg/ha) were gained with foliar application of iron + zinc + manganese. The untreated control produced the lowest plant height, number of lateral branch per plant, number of flowering branches per plant and biological yield. The foliar application significantly increased the number of flowering branches per plant and biological yield compared with control. The highest total chlorophyll (1.85 mg g⁻¹ FW) was gained by foliar application of Fe. In addition, foliar application with the combination of microelements produced the greatest total flavonoids content in plants. Results showed that simultaneous foliar application of Fe, Zn and Mn had a positive effect on the quantitative and qualitative traits of hyssop. Therefore, micronutrients could be applied as a suitable

* Corresponding author E-mail: s_yousefzadeh@pnu.ac.ir

strategy to reduce chemical inputs toward sustainable agriculture and to achieve optimum biological yield in hyssop.

Keywords: Chlorophyll, Foliar application, Secondary metabolites, *Hyssopus officinalis* L.

مقدمه

محلول پاشی عناصر غذایی یکی از روش‌های معمول تأمین نیاز غذایی در گیاهان عالی است. و زمانی که شرایط خاک برای دسترسی عناصر نامناسب است، کارایی این روش در مقایسه با کاربرد کود در خاک بیشتر می‌باشد (Erdal et al., 2004). در ایران غالبیت شرایط آهکی خاک‌ها، مصرف نامتعادل کودهای شیمیایی و به خصوص مصرف بی رویه فسفر، عدم رعایت تناوب زراعی، مصرف ناچیز کودهای آلی و بالاخره عدم مصرف کودهای محتوی عناصر ریزمغذی، سبب شده که امروزه کمبود این عناصر در خاک‌ها و در نتیجه مواد غذایی بیشتر مشهود باشد (غفاری ملایری، ۱۳۹۱). بنابراین برای برطرف نمودن نیاز گیاه به عناصر غذایی و افزایش عملکرد و کیفیت محصول در این مناطق، به دلیل کارایی پایین مصرف خاکی، تغذیه برگ‌گی مفید و مؤثر است (Marschner, 2008). تغذیه برگ‌گی، روشی جهت کاهش تثبیت کودهای شیمیایی در خاک و در نتیجه کاهش خطرات محیطی از جمله کاهش آلودگی خاک و آب است (Kannan, 2010). آهن یکی از عناصر غذایی ریزمغذی می‌باشد که در فرایندهای متابولیکی مثل تثبیت نیتروژن، ساخت کلروفیل و تیلاکوئید، توسعه کلروپلاست، تولید رنگدانه و شرکت در فعالیت‌های آنزیمی گیاه دارای نقش اساسی است (Bernal et al., 2007). عنصر روی، به عنوان بخشی از ساختمان آنزیم‌ها در فتوسنتز، تقسیم و طویل شدن سلول، حفظ ساختمان و عملکرد غشای سلولی گیاهان، نقش دارد (Oshodi et al., 1993). منگنز در گیاه وظیفه مهمی در فرایند انتقال الکترون در فتوسنتز دارد، همچنین منگنز به عنوان فعال کننده بسیاری از آنزیم‌های شرکت کننده در متابولیسم کربوهیدرات‌ها، واکنش‌های فسفری شدن و چرخه اسید سیتریک، می‌باشد (Graham et al., 1998). مطالعات در مورد تأثیر عناصر ریز مغذی نشان داده که محلول پاشی عناصر ریز مغذی روی، آهن و منگنز در مقایسه با تیمار شاهد به

طور معنی داری ارتفاع بوته را در گیاه دارویی همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) افزایش داد (Yadegari, 2016). (Rezaee Chianeh et al., 2015). گزارش کرد در گیاه بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) کاربرد عنصر منگنز تأثیر معنی داری در افزایش تعداد شاخه فرعی داشت. در پژوهشی دیگر محلول پاشی ۱/۵ و ۱ گرم کلات و نانو کلات آهن در مقایسه با سایر تیمارها، وزن خشک اندام‌های هوایی را در گیاه ریحان مقدس افزایش داد (Moghadam et al., 2015). با توجه به پژوهش‌های انجام شده، کاربرد ترکیبی تیمار نانو اکسید آهن و سولفات روی، بیشترین میزان کلروفیل کل را در گیاه نعنا فلفلی (*Mentha piperita* L.) تولید کرد (Mohammadi et al., 2016).

مطالعات Yousefzadeh et al. (2016) نیز نشان داد، محلول پاشی نانو کلات آهن به طور معنی داری میزان کلروفیل را در مقایسه با تیمار شاهد در گیاه بادرشبو، افزایش داد. در تحقیقی دیگر، محلول پاشی آهن تأثیر مثبتی بر میزان رزمارینیک اسید (نوعی فلاونوئید) در گیاه دارویی بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) داشت. (Kiani et al., 2014). زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) گیاهی است چند ساله متعلق به خانواده نعناعیان که در سطح وسیعی در اروپا، خاورمیانه آسیا و شمال افریقا جهت تولید اسانس کشت کار می‌شود. زوفا دارای گل‌های آبی رنگ بوده و ارتفاع آن تا ۶۰ سانتی متر هم می‌رسد (Kizil, 2008). اسانس این گیاه در صنایع آرایشی، بهداشتی و غذایی کاربردهای فراوانی دارد. عصاره استخراج شده از اندام هوایی گیاه دارای خاصیت آنتی اکسیدانی و آنتی میکروبی بوده و فعالیت ضد ویروسی بالایی در برابر بیماری ایدز دارد (Letessier, 2001; Ozer et al., 2006). با بررسی‌های بعمل آمده در ایران تحقیقات اندکی در مورد کاربرد عناصر ریز مغذی در گیاه دارویی زوفا به انجام رسیده است، از این رو با توجه به اهمیت زوفا به عنوان یک گیاه دارویی و همچنین اثرات عناصر ریز مغذی بر تغذیه،

میلی‌متر بارندگی سالانه دارای رژیم آب و هوایی نیمه‌خشک سرد بوده و متوسط درجه حرارت سالیانه آن ۱۱/۳ درجه سانتی‌گراد است. خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک در جدول ۱ نشان داده شده است. این آزمایش به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار اجرا گردید. تیمارها شامل A: شاهد، B: محلول پاشی آهن، C: محلول پاشی روی، D: محلول پاشی منگنز، E: محلول پاشی آهن+ روی، F: محلول پاشی آهن+ منگنز، G: محلول پاشی روی+ منگنز و H: محلول پاشی آهن+ منگنز+ روی بودند.

متابولیسم و رشد و نمو گیاهان، هدف از این تحقیق، بررسی تأثیر محلول‌پاشی آهن، روی و منگنز بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی گیاه زوفا می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت مزرعه‌ای در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور مرند با عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۲۲ دقیقه، طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۴۶ دقیقه و ارتفاع ۱۵۰۰ متر از سطح دریا انجام شد. بر اساس آمار هواشناسی، این منطقه با ۳۵۷

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک

Table 1- Soil physical and chemical properties

Soil Texture	Ec (dSm ⁻¹)	pH	Organic carbon (%)	N (%)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)
Sandy loam	1.11	7.51	1.62	0.18	132	478	9.1	0.21	7.1

انتخاب گردید و داده‌های مربوط به آن صفات یادداشت برداری شدند. به منظور تعیین عملکرد وزن خشک در واحد سطح، از خطوط میانی هر کرت معادل یک متر مربع، در مرحله گل‌دهی کامل به روش دستی برداشت گردید. بوته‌ها در هوای آزاد و سایه خشک شده و سپس توزین گردیدند و در پایان عملکرد ماده خشک در هکتار محاسبه گردید. اندازه گیری میزان کلروفیل a, b و کل از طریق ساییدن ۰/۲ گرم نمونه برگ در استون ۸۰ درصد و قرائت جذب نوری در طول موج‌های (به ترتیب ۶۴۵، ۶۶۳ و ۴۷۰ نانومتر) انجام گرفت (Arnon, 1949). محتوی فلاونوئیدها نیز بر مبنای میزان جذب نوری عصاره صاف شده حاصل از سایش ۰/۲ گرم از برگ در اتانول اسیدی (محلول اتانول و اسید استیک به نسبت ۹۹ به ۱) در سه طول موج ۲۷۰، ۳۰۰ و ۳۳۰ نانومتر وبا استفاده از ضریب خاموشی (E=۳۳۰۰۰ mol⁻² cm⁻¹) انجام شد (Krizek et al., 1993). جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها از برنامه آماری (SAS Institute Inc. 2002) استفاده گردید. قبل از تجزیه و تحلیل، تست نرمال بودن داده‌ها انجام شد و پس از اطمینان از حالت توزیع نرمال، نسبت به تجزیه و تحلیل آن‌ها اقدام گردید. برای مقایسه میانگین تیمارها از آزمون دانکن در سطح

هر کرت آزمایشی دارای پنج ردیف کاشت با فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر، فاصله بین هر بوته ۲۵ سانتی‌متر بود. بین هر کرت با کرت مجاور که از نظر سطح دریافت کودی متفاوت بودند، یک متر به صورت نکاشت در نظر گرفته شد. نشاءهای گیاه در تاریخ ۱۰ اردیبهشت به صورت شیاری و به عمق ۵-۳ سانتی‌متر کشت گردید. عملیات وجین علف‌های هرز نیز در سه مرحله و به صورت دستی انجام شد. بعد از کاشت یک مرحله آبیاری برای استقرار بوته‌ها صورت پذیرفت و تا زمان استقرار بوته‌ها هر سه روز یکبار آبیاری انجام شد. بعد از آن به فاصله هر شش روز یک بار آبیاری تکرار گردید. در تاریخ یک تیر در مرحله ساقه‌دهی گیاهان با سولفات روی، آهن و منگنز با غلظت ۴ در هزار در اوایل صبح محلول‌پاشی شدند. تیمار شاهد با آب محلول پاشی گردید. پس از محلول‌پاشی، مزرعه آبیاری شد. زمانی که گیاهان به مرحله گلدهی کامل رسیدند، در تاریخ ۱۰ مرداد برداشت از مزرعه انجام گردید. در این مطالعه، صفاتی نظیر ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های جانبی، تعداد شاخه‌های گل‌دهنده، عملکرد بیولوژیکی، میزان کلروفیل و فلاونوئید مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای محاسبه ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های گل‌دهنده، ۱۰ گیاه به صورت تصادفی از دو ردیف میانی هر کرت

احتمال پنج درصد، استفاده شد. همبستگی بین صفات از طریق آزمون پیرسون انجام گردید.

نتایج و بحث

نتایج جداول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر محلول پاشی عناصر ریز مغذی بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های جانبی، میزان کلروفیل *a*، کلروفیل کل و فلاونوئید ۳۳۰ در سطح ۵ درصد و بر تعداد شاخه‌های گل‌دهنده و وزن خشک گیاه، فلاونوئید ۳۳۰ و فلاونوئید کل در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲ و ۴).

ارتفاع بوته

بیشترین ارتفاع بوته (۴۹/۵۵ سانتی‌متر) از محلول پاشی تیمار آهن+ منگنز+ روی (H) بدست آمد. عدم محلول پاشی عناصر ریز مغذی، کمترین ارتفاع (۴۱/۱۴ سانتی‌متر) را در گیاهان تولید کرد (جدول ۳). به نظر می‌رسد کاربرد توأم عناصر تیمار آهن+ منگنز+ روی، توانسته با یک اثر هم افزایی ارتفاع گیاه را بهبود دهد. در این راستا مطالعات نشان داد محلول پاشی عناصر ریز مغذی روی، آهن و منگنز در مقایسه با تیمار شاهد به طور معنی‌داری ارتفاع بوته را در گیاه دارویی همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) افزایش داد (Rezaee Chiane *et al.*, 2015). نتایج مشابهی در ریحان مقدس (*Ocimum sanctum*)، مرزه (*Satureja hortensis* L.) و گیاه شوید (*Anethum graveolens* L.) گزارش شده است (Moghadam *et al.*, 2015; Emaratpardaz *et al.*,)

پژوهش همخوانی دارد. احتمالاً کاربرد آهن به دلیل افزایش تولید کلروفیل و بهبود فتوسنتز در گیاه، ارتفاع گیاه را افزایش داده است. کمبود آهن، سبب کاهش تولید کلروفیل در سلول‌های برگ می‌شود که نتیجه آن کاهش رشد گیاه می‌باشد. کمبود عنصر روی باعث کاهش رشد ریشه می‌گردد و در چنین شرایطی ارتفاع بوته کوتاه می‌ماند (Haghighi-Nia, 1998). احتمالاً در این مطالعه نیز کمبود عناصر ریز مغذی مانند آهن، روی و منگنز باعث کاهش ارتفاع گیاه در تیمار شاهد شده است. بررسی‌های انجام شده نشان داده‌اند که آهن نقش مهمی در متابولیسم گیاهان مانند فعالیت آنزیم‌های کاتالیزوری مرتبط با سوپر اکسید دیسموتاز و آنزیم‌های مسیر تنفسی نوری و گلیکولات دارد و با کمبود آن فعالیت برخی از آنزیم‌های گیاهی مختل می‌شود (Marschner *et al.*, 2008). با توجه به نقش عنصر روی در تولید هورمون اکسین، تقسیم سلولی و طویل شدن سلول‌های گیاهی، کاربرد روی در طول دوره رشد گیاه سبب افزایش ارتفاع گیاه می‌شود (Broadley *et al.*, 2007). منگنز نیز در ترکیب آنزیم‌های فتوسنتزی و تنفسی و متابولیسم گیاهی نقش فعالی دارد. در گیاهانی که با کمبود منیزیم مواجه می‌شوند جذب فسفر، کلسیم، میزان کلروفیل و فتوسنتز کاهش می‌یابد (Malakooti *et al.*, 2008).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک زوفا تحت تأثیر محلول پاشی کودهای سولفات آهن، روی و منگنز

Table 2 - The Analysis of variance of morphological traits of hyssop affected by iron, zinc and manganese sulfate fertilizers

S.V	df	Mean squares				
		Plant height	Number of lateral branch per plant	Number of flowering branch per plant	Biological yield	Essential oil content
Replication	2	16.7	11.92	16.14	13142.58	0.0001
Treatment	7	*21.74	*148.77	**55.65	**1919201.92	0.014*
Error	14	6.07	37.39	11.42	280046.72	0.005
CV (%)		5.58	15.11	17.40	13.69	14.9

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد.

* and **: significance at the P-value of 0.01 and 0.05, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک زوفا تحت تأثیر محلول پاشی کودهای سولفات آهن، روی و منگنز

Table 3- The mean comparison of morphological traits of hyssop affected by iron, zinc and manganese sulfate fertilizers

Treatments	Plant height (cm)	Number of lateral branch per plant	Number of flowering branch per plant	Biological yield (kg/ha)	Essential oil content (%)
A	41.14c	24.23b	9.95b	2838.5d	0.39c
B	44.71bc	37.38a	16.95a	2966.6d	0.44bc
C	42.42bc	42.52a	20.61a	3375cd	0.45bc
D	42.58bc	42.42a	19.19a	3598.4bcd	0.55ab
E	46.33ab	42a	21.71a	4540.9ab	0.48abc
F	42.57bc	45a	23.52a	4093.9abc	0.54ab
G	43.66bc	46a	21.81a	4418.9ab	0.45bc
H	49.55a	44.04a	21.61a	5085.7a	0.6a

A: شاهد، B: محلول پاشی آهن، C: محلول پاشی روی، D: محلول پاشی منگنز، E: محلول پاشی آهن + روی، F: محلول پاشی آهن + منگنز، G: محلول پاشی روی + منگنز و H: محلول پاشی آهن + منگنز + روی. در هر ستون میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف آماری معنی دار در سطح ۵ درصد ندارند.

Control (A), foliar application of iron (B), foliar application of zinc (C), foliar application of manganese (D), foliar application of iron + zinc (E), foliar application of iron + manganese (F), foliar application of zinc + manganese (G), foliar application of iron + zinc + manganese (H), Means followed by the same letter in each column are not significantly different at 5% of probability level.

تعداد شاخه جانبی

نتایج نشان داد، محلول پاشی با عناصر آهن، روی و منگنز در حالت منفرد و ترکیبی، تعداد شاخه جانبی را در مقایسه با تیمار شاهد به طور معنی داری افزایش داد. بین تیمارهای کودی تفاوت معنی داری مشاهده نگردید (جدول ۳). تعداد شاخه جانبی در تیمار G در مقایسه با تیمار شاهد بیش از ۱/۵ برابر بیشتر بود (جدول ۳). به نظر می رسد به واسطه کاربرد آهن و منگنز توان فتوسنتزی گیاه بیشتر شده و این عناصر به توزیع بهتر شاخه های فرعی کمک کرده است. در این راستا، محققین گزارش کردند محلول پاشی توأم روی و منگنز در گیاه گلرنگ بیشترین (۶/۶۶) و تیمار شاهد کمترین (۴/۴۱) تعداد شاخه فرعی را تولید کردند (Kohnaward *et al.*, 2011). وجود روی در مناطق مریستمی، به علت کارایی آن در تولید هورمون اکسین، باعث افزایش شاخه بندی می شود. منگنز نیز نقش مهمی در سیستم های آنزیمی مؤثر در تولید اکسین، سوخت و ساز نیتروژن داشته و باعث افزایش تعداد شاخه فرعی می شود (Tandon, 1995). محققین گزارش کردند کاربرد عناصر ریز مغذی با بهبود رشد سیستم ریشه ای می توانند با بهبود جذب آب و مواد غذایی و بهبود فعالیت های آنزیم های دخیل در سنتز

کلروفیل (نظیر کاتالاز، پراکسیداز، الکل دهیدروژناز، کربنیک دهیدروژناز، تریپتوفان سنتتاز و غیره) را فعال نموده و از این طریق، سبب تحریک رشد رویشی گیاه شوند (Zika, 2013). به نظر می رسد در این تحقیق نیز عوامل مورد اشاره، تعداد شاخه های جانبی را در گیاه افزایش داده است. در این رابطه محققان گزارش کردند کاربرد یک گرم نانو کلات آهن در مقایسه با تیمار شاهد تعداد شاخه جانبی را در گیاه ریحان مقدس دو برابر افزایش داد (Moghadam *et al.*, 2015). نتایج مشابهی در گیاه کاسنی (*Cichorium inyubus* L.) (Sepehri & Vaziri Amjad, 2015)، گشنیز (Said-Al Ahl and Omer, 2009) و بادرنجبویه (Yadegari, 2016) گزارش گردید، که با یافته های این تحقیق همخوانی دارد.

تعداد شاخه گل دهنده

بیشترین تعداد شاخه گل دهنده از محلول پاشی همزمان کودهای سولفات آهن و سولفات منگنز (تیمار F) بدست آمد. کاربرد تیمار آهن + منگنز (F) در مقایسه با تیمار شاهد بیش از دو برابر تعداد شاخه گل دهنده را افزایش داد. تیمار عدم محلول پاشی (شاهد) کمترین تعداد شاخه گل دهنده را در گیاهان تولید کرد (جدول ۳). محلول پاشی عناصر ریز مغذی آهن، روی و منگنز

به تنهایی و به صورت همزمان تأثیر مثبتی بر تعداد شاخه گل‌دهنده داشت. احتمالاً با به کار بردن عناصر ریز مغذی، دسترسی گیاه به عناصر غذایی افزایش یافته و به علت افزایش فتوسنتز و ماده خشک گیاه، در نهایت تعداد شاخه جانبی و گل‌دهنده در گیاه افزایش یافته است. احتمالاً با به کار بردن عناصر ریز مغذی، دسترسی گیاه به عناصر غذایی افزایش یافته و به علت افزایش فتوسنتز و ماده خشک گیاه در نهایت تعداد شاخه جانبی و گل‌دهنده در گیاه در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافته است. با توجه به نتایج جدول همبستگی، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین تعداد شاخه جانبی و تعداد شاخه گل‌دهنده ($r=0.82^{**}$) مشاهده گردید (جدول ۶). به بیان دیگر یک رابطه مستقیم بین افزایش تعداد شاخه فرعی با شاخه گل‌دهنده وجود داشته که افزایش تعداد شاخه فرعی تعداد شاخه گل‌دهنده را بهبود داده است. آهن یک عنصر کم مصرف مورد استفاده گیاه است که برای تشکیل کلروفیل و فتوسنتز آن ضروری است، بنابراین از طریق افزایش تولید آسیمیلات، به طور غیر مستقیم می‌تواند در افزایش تولید گل در گیاه ایفای نقش کند. شکل‌گیری اندام‌های جنسی نر و ماده و فرایند گرده‌افشانی بر اثر کمبود روی، مختل می‌شود. روی همچنین سبب افزایش تولید اتیلن می‌شود که این هورمون نیز سبب گلدهی می‌شود (Srivastava et al., 1997). منگنز در فعال‌سازی آنزیم‌های متعددی نقش دارد و همچنین بر سنتز هورمون اکسین، تقسیم سلولی و باروری گیاه نقش دارد (Sayyari-zahan et al., 2009). در این راستا، مطالعات نشان دادند محلول پاشی کودهای سولفات آهن و روی در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی در مقایسه با تیمار شاهد تعداد شاخه گل‌دهنده را به طور معنی‌داری در گیاه سرخارگل افزایش داد (Farzarian & Yarnia, 2013). در پژوهشی دیگر محققان گزارش کردند محلول پاشی عناصر آهن، روی و منگنز به تنهایی و همزمان آنها در مقایسه با تیمار شاهد تعداد کاپیتول در بوته را در گیاه همیشه بهار افزایش داد (Rezaee Chiane et al., 2015). نتایج مشابهی در گیاه گلرنگ (Modares Sanavi, 2007) کاسنی (Sepehri & Vaziri, 2007) و کاسنی (Sepehri & Vaziri, 2007) مشاهده گردید. در این رابطه (Miransari et al., 2015) گزارش کردند، محلول پاشی همزمان یک گرم در لیتر سولفات آهن و روی، بیشترین وزن خشک اندام هوایی را در گیاه شویید تولید کرد. در پژوهشی دیگر محققان گزارش کردند محلول پاشی گشسین با روی و آهن در مراحل رشد رویشی، گلدهی و تشکیل میوه، سبب افزایش معنی‌دار وزن تر و خشک ساقه و عملکرد دانه گردید و کاربرد توأم آهن و روی نقش بیشتری بر این افزایش داشت (Said-Al Ahl and Omer, 2009). نتایج مشابهی در گیاه ریحان مقدس، همیشه بهار، نعنای فلفلی گزارش شد (Moghadam et al., 2015).

عملکرد بیولوژیکی

بیشترین و کمترین عملکرد بیولوژیکی، به ترتیب از محلول پاشی همزمان عناصر ریز مغذی منگنز، روی و آهن (H) و تیمار شاهد (A) بدست آمد. همچنین کاربرد همزمان عناصر ریزمغذی در مقایسه با کاربرد منفرد عناصر ریز مغذی و تیمار شاهد، میزان عملکرد بیولوژیکی را افزایش داد (جدول ۳). محلول پاشی همزمان عناصر ریزمغذی با یک اثر هم افزایی، عملکرد بیولوژیکی را افزایش داد. به نظر می‌رسد یکی از دلایل افزایش عملکرد بیولوژیکی گیاه در اثر محلول پاشی توأم روی، آهن و منگنز نقش این عناصر در بهبود شرایط رشدی برای گیاه باشد که با تأثیر در افزایش در سنتز کلروفیل، فتوسنتز و تقسیم و طویل شدن سلول‌ها، در نهایت عملکرد بیوماس گیاه را افزایش داده است. عناصر ریزمغذی احتمالاً با افزایش دوام سطح سبز گیاه، باعث افزایش تولید ماده خشک می‌شوند (Ghorashi Nasb et al., 2009). در این راستا محققان گزارش کردند، کاربرد روی با افزایش متابولیسم و تولید کربوهیدرات‌ها و استفاده از آهن با تولید کلروفیل و افزایش فتوسنتز با افزایش فعالیت‌های آنزیمی گیاه، در افزایش عملکرد بیولوژیک گیاهی نقش دارند (Malakuti, 2000). با توجه به نتایج جدول ۶، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین ارتفاع بوته و تعداد شاخه گل‌دهنده با عملکرد بیولوژیکی گیاه ($r=0.48^{**}$ و $r=0.54^{**}$) مشاهده گردید. در این رابطه (Miransari et al., 2015) گزارش کردند، محلول پاشی همزمان یک گرم در لیتر سولفات آهن و روی، بیشترین وزن خشک اندام هوایی را در گیاه شویید تولید کرد. در پژوهشی دیگر محققان گزارش کردند محلول پاشی گشسین با روی و آهن در مراحل رشد رویشی، گلدهی و تشکیل میوه، سبب افزایش معنی‌دار وزن تر و خشک ساقه و عملکرد دانه گردید و کاربرد توأم آهن و روی نقش بیشتری بر این افزایش داشت (Said-Al Ahl and Omer, 2009). نتایج مشابهی در گیاه ریحان مقدس، همیشه بهار، نعنای فلفلی گزارش شد (Moghadam et al., 2015).

مستقیمی با تولید اسانس در گیاهان دارد، بطوری که همبستگی بین فتوسنتز و تولید اسانس نشان می‌دهد که گلوکز به عنوان پیش ماده مناسب برای تأمین NADPH و ATP در سنتز اسانس و بویژه مونوترپن‌ها عمل می‌کند. از این رو به نظر می‌رسد که مقدار گلوکز حاصل از فتوسنتز، سوبسترای لازم را برای تأمین انرژی و سنتز ترکیب‌های مؤثر در اسانس را فراهم می‌کند (Misra *et al.*, 2007). با توجه به تأثیر عنصر آهن در رشد و نمو گیاه، می‌توان یکی از دلایل بیشتر شدن میزان اسانس را افزایش فعالیت فتوسنتزی گیاه و نقش این عنصر در ساختمان کلروپلاست دانست که این افزایش منجر به تولید بیشتر غده‌های ترشح کننده اسانس در برگ می‌شود (Kumar *et al.*, 2012). در این راستا، تحقیقات نشان داد در گیاه دارویی ریحان مقدس (*Ocimum sanctum* L.) کاربرد آهن تعداد و اندازه کرک‌های ترش‌چی را در سطح فوقانی و تحتانی برگ افزایش داد که این موضوع خود دلیلی بر افزایش میزان اسانس بواسطه استفاده از تیمارهای کودی آهن می‌باشد. عنصر روی در فتوسنتز و متابولیسم ساکاریدها نقش دارد و از آنجایی که CO₂ و گلوکز از منابع احتمالی کربن مورد استفاده در بیوسنتز ترپن‌ها هستند، بنابراین نقش روی در ساخت و تجمع اسانس بسیار مهم و مؤثر به نظر می‌رسد (Yassen *et al.*, 2010). شناخته شده ترین نقش منگنز، دخالت آن در آزاد سازی اکسیژن فتوسنتزی در کلروپلاست است. به لحاظ نقش کلیدی منگنز در شکستن مولکول آب، حتی کمبود جزئی منگنز روی فتوسنتز و آزادسازی اکسیژن اثر می‌گذارد، به طوری که در اثر کمبود منگنز غلظت کلروفیل کاهش می‌یابد (Romheld and Marschener, 1991). محققان گزارش کردند کاربرد ۰/۵ کیلوگرم در هکتار منگنز در مقایسه با تیمار شاهد درصد اسانس را در گیاه ریحان به طور معنی‌داری افزایش داد (Pazoki *et al.*, 2012). در تحقیقی دیگر (Hadaddi *et al.*, 2016) گزارش کردند، کاربرد سولفات منگنز به طور معنی‌داری درصد اسانس گیاه بادرنجبویه را بهبود بخشید. تحقیقات دیگر حاکی از آن بود که محلول‌پاشی ۱/۵ گرم در لیتر نانو کود آهن در مقایسه با سایر سطوح نانو کود و تیمار شاهد بیشترین درصد

Rezaee Chiane *et al.*, 2015; Zehtab-Salmasi *et al.*, 2008). افزایش عملکرد بیولوژیک با مصرف عناصر ریز مغذی، دلایل مختلفی می‌تواند داشته باشد که از آن جمله می‌توان به افزایش بیوسنتز اکسین در حضور عنصر روی، افزایش فتوسنتز به واسطه افزایش غلظت کلروفیل، افزایش جذب نیتروژن و فسفر، افزایش فعالیت ریبولوز بی فسفات کربوکسیلاز اشاره نمود (Kamkar *et al.*, 2011; Malakooti *et al.*, 2008). محلول‌پاشی با آهن و روی با بهبود شرایط تغذیه‌ای و با افزایش فراهمی مواد غذایی، باعث افزایش ارتفاع و تعداد شاخه فرعی و گل‌دهنده شده و در نهایت بیوماس گیاه را افزایش داده است. در حالیکه کمبود عناصر ریز مغذی با تأثیر منفی آن بر فتوسنتز با کاهش رشد گیاه، در نهایت عملکرد بیولوژیکی گیاه را کاهش داده است.

محتوای اسانس

نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین و کمترین درصد اسانس به ترتیب از محلول‌پاشی توأم عناصر روی+ آهن+ منگنز (H) و تیمار شاهد (A) بدست آمد (جدول ۳). تیمار H در مقایسه با تیمار شاهد درصد اسانس را بیش از ۵۰ درصد افزایش داد. کاربرد عناصر ریز مغذی در حالت منفرد و ترکیبی در تمامی موارد درصد اسانس را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد. کاربرد عناصر ریزمغذی به دلیل گسترش سطح برگ، تعداد غدد مترشحه اسانس را در برگ افزایش می‌دهد، که به تبع آن میزان اسانس در گیاه افزایش می‌یابد. در این راستا نتایج مشابهی توسط سایر محققان گزارش شده است (Heidari *et al.*, 2008). با توجه به نتایج جدول ۶، همبستگی مثبت و معنی‌داری با تعداد شاخه گل‌دهنده و درصد اسانس ($r=0/43^*$) مشاهده گردید. احتمالاً وجود گل‌های بیشتر در گیاه توانسته درصد اسانس را بهبود دهد. محلول‌پاشی آهن با افزایش میزان کلروفیل برگ و بهبود ظرفیت فتوسنتزی در گیاه، آسیمیلات‌های بیشتری به مسیره‌های ساخت ترپن‌ها و فنیل پروپانوییدها اختصاص می‌دهد که محل تجمع آنها در کرک‌های ترش‌چی می‌باشد. مطالعات نشان داده است که فتوسنتز و تولید فراورده‌های فتوسنتزی رابطه

کرد (Mohammadi *et al.*, 2016). مطالعات (Yousefzadeh *et al.*, 2016) نیز نشان داد، محلول پاشی نانو کلات آهن به طور معنی داری میزان کلروفیل را در مقایسه با تیمار شاهد در گیاه بادرشبو افزایش داد. نتایج مشابهی در گیاه گلرنگ گزارش شد (Fathi Amirkhiz *et al.*, 2015). مطالعات نشان داد افزایش میزان SPAD در گیاه گلرنگ به واسطه کاربرد روی و منگنز به دلیل نقش این عناصر در متابولیسم نیتروژن و ساخت کلروفیل می باشد (Movahedy Dehnavi *et al.*, 2007). محتوی کلروفیل یکی از مهمترین عواملی است که ظرفیت فتوسنتزی را تحت تأثیر قرار می دهد. احتمالاً، علت افزایش مقدار کلروفیل به دلیل عناصر ریز مغذی بویژه آهن بر ساخت پیش سازهای سنتز کلروفیل است. زیرا آهن جز متابولیک آنزیم کاپروپورفینوژن اکسیداز است و این آنزیم در بیوسنتز آلفا-آمینو لینیوولنیک (ALA) که پیش ساز کلروفیل است تأثیر دارد (Marschner, 2008) عنصر روی بر محتوای عناصر غذایی مؤثر در تشکیل کلروفیل نظیر آهن و منیزیم تأثیر دارد (Kaya and Higs, 2002). محققین کاهش معنی دار سنتز کلروفیل در اثر کمبود روی را به دلیل نقش مهم روی در پایداری آنزیمها و غشاهای کلروپلاست نسبت دادند (Hu and Sparks, 1991). افزایش میزان کلروفیل بواسطه کاربرد عنصر روی می تواند به نقش این عنصر در افزایش بیوسنتز این رنگدانه های فتوسنتزی و همچنین به تعویق انداختن تخریب و زوال آن باشد. محققین بیان کردند که محلول پاشی روی به مقدار ۶ در هزار سبب افزایش کلروفیل گلرنگ می شود. آنها ادعان داشتند گرچه روی به طور مستقیم بر تشکیل کلروفیل مؤثر نیست، ولی بر غلظت عناصر غذایی درگیر در تشکیل کلروفیل مانند آهن و منیزیم یا عناصری که قسمتی از مولکول کلروفیل هستند مؤثر می باشد (Kaya and Higgs, 2002). یکی از شناخته شده ترین نقش های منگنز، دخالت آن در آزاد سازی اکسیژن فتوسنتزی در کلروپلاست است. به نظر می رسد با توجه به نقش آهن در ساختمان کلروفیل و سیستم فتوسنتزی گیاه و نقش روی و منگنز در بهبود فعالیت

اسانس را در گیاه بادرشبو تولید کرد (Yousefzadeh *et al.*, 2016). مطالعات نشان داد در گیاه دارویی سرخارگل، کاربرد سولفات آهن و روی در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی باعث افزایش معنی داری اسانس در مقایسه با تیمار شاهد می شود. در این تحقیق در شرایط آبیاری پس از ۱۲۰ میلیمتر تبخیر از تشتک، درصد اسانس در اثر کاربرد سولفات آهن و روی بیش از ۳۰ درصد بهبود یافت (Farzarian and Yarnia, 2013) مطالعات Emaratpardaz و همکاران (2016) نیز نشان داد محلول پاشی ۳۰۰ میلی گرم روی در لیتر در مقایسه با تیمار شاهد درصد اسانس را دو برابر افزایش داد. در پژوهشی دیگر محلول پاشی روی و آهن به طور معنی داری درصد اسانس بایونه را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند (Nasiri *et al.*, 2010). نتایج مشابهی در گیاه ریحان مقدس و آنیسون نیز مشاهده گردید (Moghadam *et al.*, 2015, Nateghi *et al.*, 2015).

کلروفیل

بیشترین میزان کلروفیل a، به ترتیب از محلول پاشی منفرد آهن (B) و تیمار ترکیبی آهن+ منگنز+ روی (H) بدست آمد. تیمار عدم محلول پاشی (A) کمترین میزان کلروفیل a را در گیاهان تولید کرد. میزان کلروفیل a در برگ گیاهان محلول پاشی شده با تیمار منفرد آهن، در مقایسه با تیمار عدم محلول پاشی بیش از ۶۰ درصد افزایش یافت (جدول ۵). محلول پاشی سولفات آهن و عدم محلول پاشی بیشترین و کمترین میزان کلروفیل کل (به ترتیب ۱/۸۵ و ۱/۱۶ میلی گرم بر گرم وزن تر) را در برگ گیاهان تولید کردند. محلول پاشی ریز مغذیها در تمامی موارد توانست میزان کلروفیل a و کل را در مقایسه با عدم محلول پاشی افزایش دهد. همچنین تأثیر آهن و روی در مقایسه با منگنز بر میزان کلروفیل بیشتر بود (جدول ۵). علت احتمالی افزایش محتوای کلروفیل، بهبود شرایط تغذیه ای از طریق محلول پاشی است. در این راستا مطالعات نشان داد کاربرد ترکیبی تیمار نانو اکسید آهن و سولفات روی (۱/۷۵ گرم بر لیتر آهن و ۲۵۰ کیلوگرم سولفات روی) بیشترین میزان کلروفیل کل را در گیاه نعنا فلفلی تولید

فتوسنتزی و فعالیت‌های آنزیمی، محلول پاشی عناصر مذکور میزان کلروفیل را در گیاه افزایش داده است.

فلاونوئید

بیشترین و کمترین میزان فلاونوئید ۳۰۰ به ترتیب در اثر کاربرد تیمار ترکیبی روی+ آهن (E) و تیمار شاهد (A) بدست آمد. بین تیمارهای ترکیبی و تیمار محلول پاشی با روی (C) تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید. تیمار ترکیبی روی+ آهن+ منگنز (H) بیشترین فلاونوئید ۳۳۰ را در گیاهان تولید کرد و کمترین میزان این فلاونوئید در اثر عدم محلول پاشی مشاهده گردید. تیمارهای ترکیبی F و E بیشترین میزان فلاونوئید کل را در برگ گیاهان تولید کردند. تیمار شاهد، کمترین میزان فلاونوئید کل را در گیاهان تولید کرد. بین تیمارهای ترکیبی از نظر میزان فلاونوئید کل تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵). محلول پاشی با عناصر ریز مغذی بویژه در حالت ترکیبی بیشترین میزان فلاونوئیدها را در گیاهان تولید کرد. اثر مثبت هم‌افزایی این عناصر در افزایش میزان فلاونوئیدها کاملاً مشهود بود. محققین همچنین گزارش کردند گیاهان کاشته شده در غلظت‌های بالای فلزات سنگین فلاونوئیدها، آنتوسیانین‌ها، ترکیب‌های فنلی و حتی کاروتنوئیدها فعال شده و از گیاه محافظت می‌کنند (Posmyk *et al.*, 2009). منگنز نقش بسیار مهمی در تولید فلاونوئیدها دارد. محلول پاشی آهن، روی و منگنز باعث افزایش فلاونوئید در گیاه گل‌گاوزبان باغی شد (Yadegari, 2013). در تحقیقی دیگر محلول پاشی آهن و روی سبب افزایش فلاونوئید در گیاه همیشه بهار شد (Yadegari and Alayean, 2012). مطالعات نشان

داد محلول پاشی با کلات آهن، میزان فلاونوئید (۲۷۰، ۳۰۰ و ۳۳۰) را در مقایسه با تیمار شاهد در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی به طور معنی‌داری در گیاه گلرنگ افزایش داد (Fathi Amirkhiz *et al.*, 2015). در پژوهشی دیگر در گیاه بادرشبو، محلول پاشی نانو کلات آهن، باعث افزایش میزان فلاونوئیدها شد. ولی با افزایش مقادیر مصرف به سطح ۲ گرم در لیتر، مجدداً میزان فلاونوئیدها کاهش نشان داد (Yousefzadeh *et al.*, 2016). همچنین محققان گزارش کردند در گیاه دارویی بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) محلول پاشی آهن اثر مثبتی بر افزایش رزمارینیک اسید (نوعی فلاونوئید) داشت (Kiani *et al.*, 2014).

مطالعات (Mohammadi *et al.*, 2016) نشان داد محلول پاشی نانو اکسید آهن بر میزان فلاونوئید ۲۷۰ تأثیر معنی‌داری داشت. فلاونوئیدها دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی بوده و در تنظیم فعالیت‌های آنزیمی و تولید متابولیت‌های اولیه نقش دارند. فلاونوئیدها در بافت‌های گیاهی تجمع می‌یابند و می‌توانند به واسطه گروه‌های هیدروکسیل موجود در ساختارشان به عنوان خنثی‌کننده رادیکال‌های آزاد عمل کنند (Grace & Logan, 2000). میزان فلاونوئیدها در گونه‌های مختلف گیاهی با مرحله رشد، بافت، وارپته، تنش‌های محیطی مانند؛ اشعه ماوراء بنفش، خشکی، شرایط خاک، شخم، آفات و بیماری‌ها و کاربرد کودها مرتبط می‌باشد. به نظر می‌رسد محلول پاشی عناصر ریز مغذی به ویژه در حالت ترکیبی با بهبود شرایط رشدی گیاه تأثیر مثبتی بر میزان فلاونوئیدها داشته است.

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات فیتوشیمیایی زوفا تحت تأثیر محلول پاشی کودهای سولفات آهن، روی و منگنز

Table 4- Analysis of variance of phytochemical traits of hyssop affected by iron, zinc and manganese sulfate fertilizers

S.V	df	Mean squares				
		Chlorophyll a	Total chlorophyll	Flavonoids 300	Flavonoids 330	Total Flavonoids
Replication	2	0.004	0.008	49.85	121.52	1202.2
Treatment	7	0.059*	0.156*	394.25**	370.39*	4920.06**
Error	14	0.014	0.04	75.52	131.22	1101.04
CV (%)		13.71	13.8	7.74	9.3	8.84

** و * به ترتیب نشانگر معنی دار بودن در سطح آماری ۱ و ۵ درصد

*and **: significance at the P-value of 0.01 and 0.05, respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات فیتوشیمیایی زوفا تحت تأثیر محلول پاشی کودهای سولفات آهن، روی و منگنز

Table 5- The mean comparison of phytochemical traits of hyssop affected by iron, zinc and manganese sulfate fertilizers

Treatments	Chlorophyll a mg g ⁻¹ FW	Total chlorophyll mg g ⁻¹ FW	Flavonoids 300 mmol g ⁻¹ FW	Flavonoids 330 mmol g ⁻¹ FW	Total Flavonoids mmol g ⁻¹ FW
A	0.685c	1.16c	97.06c	104.12c	315.61d
B	1.12a	1.85a	102.63bc	118.03abc	340.44bcd
C	0.869bc	1.49abc	117.81ab	125.28abc	388.56abc
D	0.767c	1.28c	97.72c	112.47bc	328.37cd
E	0.867bc	1.42bc	127.5a	131.39ab	415.11a
F	0.802bc	1.38bc	118.94a	132.96ab	416.87a
G	0.791bc	1.37bc	115.03ab	123.05abc	397.36ab
H	1.00a	1.74ab	120.58a	137.06a	398.20ab

A: شاهد، B: محلول پاشی آهن، C: محلول پاشی روی، D: محلول پاشی منگنز، E: محلول پاشی آهن+ روی، F: محلول پاشی آهن+ منگنز، G: محلول پاشی روی+ منگنز و H: محلول پاشی آهن+ منگنز+ روی. در هر ستون میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف آماری معنی دار در سطح ۵ درصد ندارند.

Control (A), foliar application of iron (B), foliar application of zinc (C), foliar application of manganese (D), foliar application of iron + zinc (E), foliar application of iron + manganese (F), foliar application of zinc + manganese (G), foliar application of iron + zinc+ manganese (H), Means followed by the same letter in each column are not significantly different at 5% of probability level.

جدول ۶- ضریب همبستگی بین صفات مورفولوژیک و فیتوشیمیایی گیاه زوفا

Table 6- The correlation coefficient between the morphological and phytochemical traits of hyssop plant

Treatment	Plant height	Stem diameter	Number of lateral branch	Number of flowering branch	Biological Yield	Essential oil	Chlorophyll a
Plant height	1						
Stem diameter	0.40 ^{ns}	1					
Number of lateral branch	0.06 ^{ns}	0.21 ^{ns}	1				
Number of flowering branch	0.17 ^{ns}	0.15 ^{ns}	0.82**	1			
Biological yield	0.48**	0.32 ^{ns}	0.39 ^{ns}	0.54**	1		
Essential oil	0.42*	0.19 ^{ns}	0.36 ^{ns}	0.43*	0.37 ^{ns}	1	
Chlorophyll a	0.28 ^{ns}	0.33 ^{ns}	0.32 ^{ns}	0.38 ^{ns}	0.20 ^{ns}	0.27 ^{ns}	1

** و * : به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد و عدم تفاوت معنی دار

* , ** and ns: significance at the P-value of 0.01, 0.05 and no significant difference, respectively

جدول ۷- ضریب همبستگی بین صفات مورفولوژیک و فیتوشیمیایی گیاه زوفا

Treatment	Total chlorophyll	Total anthocyanins	Flavonoids 270	Flavonoids 300	Flavonoids 330	Total Flavonoids
Total chlorophyll	0.95**	1				
Total anthocyanins	-0.04 ^{ns}	-0.09 ^{ns}	1			
Flavonoids 270	0.06 ^{ns}	0.08 ^{ns}	-0.14 ^{ns}	1		
Flavonoids 300	0.48*	0.44*	-0.08 ^{ns}	0.66 ^{ns}	1	
Flavonoids 330	0.32 ^{ns}	0.35 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.65**	0.80**	1
Total Flavonoids	0.26 ^{ns}	0.27 ^{ns}	-0.07 ^{ns}	0.91**	0.87**	0.87**

*, ** و ns: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد و عدم تفاوت معنی دار *، ** and ns: significance at the P-value of 0.01, 0.05 and no significant difference, respectively.

نتیجه‌گیری کلی

بیشترین ارتفاع و ماده خشک کل در اثر محلول پاشی ترکیبی روی + آهن + منگنز (H) در گیاهان بدست آمد. ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد شاخه گل دهنده و عملکرد بیولوژیکی به واسطه عدم محلول پاشی کاهش یافت. محلول پاشی با آهن و تیمارهای ترکیبی به ترتیب بیشترین میزان کلروفیل و فلاونوید کل را در برگ گیاهان تولید کردند. نتایج نشان داد با محلول پاشی عناصر ریز مغذی روی، آهن و منگنز می‌توان به یک عملکرد مطلوب کمی و کیفی در گیاه دارویی زوفا دست یافت.

نتایج این پژوهش نشان داد که تمامی صفات مورد بررسی (ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد شاخه گل دهنده و عملکرد بیولوژیکی، محتوی اسانس، میزان کلروفیل و فلاونوئید) تحت تأثیر محلول پاشی با عناصر روی، آهن و منگنز قرار گرفتند. و تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای محلول پاشی و عدم محلول پاشی مشاهده گردید. در تمامی صفات مورد مطالعه محلول پاشی عناصر ریز مغذی بویژه در حالت ترکیبی در مقایسه با تیمار شاهد تأثیر مثبتی در آنها داشت.

REFERENCES

- Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology* 24(1), 1-150.
- Bernal, M. Cases, R. Picorel, R. & Yruela, I. (2007). Foliar and root Cu supply affect differently Fe and Zn-uptake and photosynthetic activity in soybean plants. *Environmental and Experimental Botany*. 60, 145-150.
- Broadley M. R., Philip J.W., Hammond J. P., Zelko I. & Alexander L. (2007). Zinc in plants. *New Phytologist*. 173, 677-702.
- Emaratpardaz, J. Hami, A. & Ghohari, G. (2016). Valuation of growth characteristics and essential oil yield of (*Satureja hortensis* L.) under salinity and Zn foliar spraying. *Journal of Sustainable Agriculture and Production Science*. 9 (26), 131-141. (In Farsi).
- Erdal, I., Kepenek, K. & Kizilgos, I. 2004. Effect of foliar iron applications at different growth stages on iron and some nutrient concentrations in strawberry cultivars. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 28, 421-427.
- Farzani, M. & Yarnia, M. (2013). Effects of microelement fertilizers and phosphate biofertilizer on some morphological, physiological traits, yield and essence of *Purple coneflower* in water stress conditions. *Electronic Journal of Crop Production*. 3 (7), 145-162. (In Farsi).
- Fathi Amirkhiz, K. Amini Dehaghi, M. & Heshmati, S. (2015). Study the effect of iron chelate on Chlorophyll content, photochemical efficiency and some biochemical traits in safflower under deficit irrigation condition. *Iranian Journal of Field Crops Science*. 1 (46), 137-145. (In Farsi).
- Ghaffari Malayeri, M. Akbari, Gh. A. & Mohammadzadeh, A. (2012). Response of yield and yield components of corn on soil use and foliar application of micronutrients. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 10 (2), 368-373. (In Farsi).
- Ghorashi Nasb, M. J., Ahmadzadeh, V. Pakmehr, A. & Ashouri Sahli, A. (2009). Effect of microelement nutrients (Fe and Zn) and allopathic compounds from *Amaranthus retroflexus* in yield,

- yield component and oil yield in herbal plant (*Calendula officinalis* L.). In: Proceeding of 6th Iranian Horticultural Science Congress, Faculty of Agricultural Science, University of Guilan, Rasht, Iran. (In Farsi).
10. Grace, S.C. & Logan, B.A. (2000). Energy dissipation and radical scavenging by the plant phenylpropanoid pathway. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 355, 1499-1510.
 11. Graham R. D, Hannam R. J & Uren N. C. (1988). *Manganese in soils and plants*. Dordrecht. The Netherland: Kluwer Academic publishers.
 12. Hadaddi, H. Moradi, P. & Motalebi, E. (2016). The effect of methanol and manganese sulfate spraying on quantity and essential oil components of (*Melissa officinalis* L.). *Journal of Medicinal Plants*. 2 (58): 80-88. (In Farsi)
 13. Haghight-Nia, H. (1998). *Study of potassium, sulfur, zinc, magnesium and manganese on quality and quantity traits of cotton*. Research Report. Soil and Water Department of Agricultural Research Center, Fars, Iran. (In Farsi)
 14. Hasani, M. Zamani, Z. Savaghebi, G. & Fatahi, R. (2012). Effects of zinc and manganese as foliar spray on pomegranate yield, fruit quality and leaf minerals. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 12 (3), 471-480
 15. Heidari, F. Zehtab Salmasi, S. Javanshir, A. Aliari, H. & Dadpoor, M. R. (2008). The effects of application of microelements and plant density on yield and essential oil of peppermint (*Menta peperita* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*. 24:1-9. (In Farsi)
 16. Hu, H. & Sparks, D. (1991). Zinc deficiency inhibits chlorophyll synthesis and gas exchange in 'Stuart' Pecan. *Horticulture Science*. 26(3): 267-268.
 17. Kamkar, B. Safahani-Langerodi, A. R. & Mohammadi, R. (2011). *The use of nutrients in crop plants*. Publication University of Mashhad. 500 p. (In Farsi).
 18. Kannan, S. 2010. Foliar fertilization for sustainable crop production, sustainable agriculture reviews, 1, Genetic engineering, bio fertilization. *Soil Quality and Organic Farming*. 2010; 4 (5): 371-402.
 19. Kaya C. & Higgess, D. (2002). Response of tomato cultivars to foliar application of Zinc when grown in sand culture at low Zinc. *Scientia Horticulturae*. 93: 53-64.
 20. Kiani, M. H., Mokhtari, A. Zeinali, H. Abbasnejad, A. & Afghani Khoraskani, L. (2014). Rosmarinic acid and anthocyanin content improvement by foliar application of Fe and Zn fertilizer in Lemon balm (*Melissa officinalis* L.). *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*. 2 (5), 1525-1530.
 21. Kohnaward, P. Jalilian, J. & Pirzad, A. (2011) Effect of foliar application of micro-nutrients on some agronomic characteristics of the safflower under conventional and ecological cropping systems. *Journal of Agronomy Science*. 4 (6): 14-25. (In Farsi).
 22. Krizek, D. T., Kramer G. F., Upadhyaya A. & Mirecki R. M. (1993). UV-B Response of cucumber seedling grown under metal halide and high-pressure sodium/deluxe lamps. *Physiology Plant*. 88:350-358.
 23. Kumar, P. K. Kumar, M. R. Kavitha, K. Singh, J. & Khan, R. (2012). Pharmacological actions of *Ocimum sanctum*-review article. *International Journal of Advances in Pharmacy. Biology and Chemistry*. 1(3): 406-411.
 24. Letessier, M. P, Svoboda, K. P. & Walters DR. (2001). Antifungal activity of the essential oil of Hyssop (*Hyssopus officinalis*). *Journal of Phytopathology*. 149, 673-8.
 25. Malakooti, M.G., Keshavarz, P. & Karimian, N. (2008). *Comprehensive approach to diagnosis and optimum fertilizer recommendation for sustainable agriculture*, Tarbiat Modarres University Press, 7th edition. pp, 775. (In Farsi).
 26. Malakuti, M. J. (2000). *The role of microelements in increasing agricultural production in Iran*. Publication of Agricultural Education. TAT Organization. Department of Agriculture., Pp: 123-144.
 27. Marschner, H. (2008). *Mineral nutrition of higher plants*. Second edition, Academic Press Limited. Harcourt Brace and Company, Publishers, London, pp. 347-364.
 28. Miransari, H. Mehrafarin, A. & Naghdi Badi, H. (2015). Morphophysiological and phytochemical responses of dill (*Anethum graveolens* L.) to foliar application of iron sulfate and zinc sulfate. *Journal of Medicinal Plants*, 14(2), 15-30. (In Farsi).
 29. Miransari, H. Mehrafarin, A. & Naghdi Badi, H. (2015). Morphophysiological and phytochemical responses of dill (*Anethum graveolens* L.) to foliar application of iron sulfate and zinc sulfate. *Journal of Medicinal Plants*. 14(2), 15-30. (In Farsi).

30. Misra, A. Dwivedi, S. Srivastava, A. K. Tewari, D. K. Khan, A. & Kumar, R.. (2007). Analysis of growth, physiology, photosynthesis, essential monoterpene oil(s) yield and quality in *Ocimum sanctum* L. genotypes. *Bioscience Research*. 4(1): 1-5.
31. Moghadam, E. Mahmoodi Sourestani, M. Farrokhian Firozi, A. Ramazani, Z. & Eskandari, F. (2015). The effect of foliar application of iron chelate type on morphological traits and essential oil content of holy basil (*Ocimum sanctum*). *Agriculture Crop Management*. 17(3): 595-606. (In Farsi).
32. 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*. 32 (5), 770-783.
33. Moradi Telavat, M. R., Roshan, F. & Siadat, S. A. (2015). Effect of foliar application of zinc sulfate on minerals content, seed and oil yields of two safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences*. 17(2): 153-164. (In Farsi).
34. Movahedy Dehnavy, M. & Modares Sanavi, S.A.M. (2007). Effect of Zn and Mn micronutrients foliar application on yield and yield component of three winter safflower under drought stress in Isfahan. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*. 13(2), 1-10. (In Farsi).
35. Nasiri, Y. Zehtab-Salmasi, S. Nasrollahzadeh, S. Najafi, N. & Ghasemi-Golezani, K. (2010). Effects of foliar application of micronutrients (Fe and Zn) on flower yield and essential oil of chamomile. *Journal of Medicinal Plants Research*. 4(17): 1733-1737. (In Farsi).
36. Nateghi, SH. Pirzad, A. R. & Darvishzadeh, R. (2015). The impact of micronutrient fertilizers, iron and zinc on yield and yield component of anise. *Journal of Horticulture Science*. 29 (1): 37-46. (In Farsi).
37. Oshodi, A.A. & Adeladun, M.O.A. (1993). Proximate composition, some valuable minerals and functional properties of three varieties of Lima bean (*Phaseolus lunatus* linn) flour. *International Journal of Food Science and Nutrition*. 43, 181-185.
38. Ozer, H. Sokmen, M. Gulluce, M. Adiguzel, A. Kilic, H. & Sahin, F. (2006). In-vitro antimicrobial and antioxidant activities of the essential oils and methanol extracts of *Hyssopus officinalis* ssp. *angustifolius*. *Italian Journal of Food Science*. 18 (1), 73-83.
39. Pazoki, A. R. Ghazi Pirkouhi, M. Shirani Rad, A. H. Bigdeli, M. & Habibi, D. (2012). Essential oil percent and essential oil yield of basil (*Ocimum Basilicum* L.) change affected by nitrogen, magnesium and manganese amounts. *New Findings in Agriculture*. 21 (1): 5-16. (In Farsi).
40. Pengbao, Sh. Bing, L. Haiju, Ch. Changzheng, S. Jiangfei, M. Zhumei, X. & Zhenwen, Z. (2017). Iron supply affects anthocyanin content and related gene expression in berries of *Vitis's vinifera* cv. *Cabernet Sauvignon*. 1-13.
41. Posmyk, M. M., Kontek, R. & Janas, K. M. (2009). Antioxidant Enzymes activity and phenolic compounds content in red cabbage seedlings exposed to copper stress. *Ecotoxicology and Environmental safety*. 72(2):596-602.
42. Rezaee Chiane, A. Zehtab Salmasi, S. Pirzad, A. & Rahimi, A. (2015). The effect of foliar micronutrients iron, zinc and manganese on yield, yield components, and seed oil, calendula (*Calendula officinalis* L.). *Journal of Horticulture Science*. 29 (1), 95-102. (In Farsi).
43. Romheld. V. & Marschner, H. (1991). *Functions of micronutrients in plants*. In: Mortvedt, J.J., Cox, F.R., Shuman, L.M. and Welch R.M. (eds.). *Micronutrients in Agriculture: Second Edition*. Number 4 in the Soil Science Society of America Book Series. Pp. 297-328. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
44. Said-Al Ahl, H. A. H. & Omer, E. A. (2009). Effect of spraying with zinc and/or iron on growth and chemical composition of coriander (*Coriandrum sativum* L.) harvested at three stages of development. *Journal of Medicinal Food Plants*. 1, 30-46.
45. Sayyari-zahan, M. H., Singh Sadana, U., Steingrobe, B. & Claassen, N. (2009). Manganese efficiency and manganese-uptake kinetics of Indian mustard (*Brassica juncea*), wheat (*Triticum aestivum*) and oat (*Avena sativa*) grown in nutrient solution and soil. *Plant Nutrition Soil Science*. 172: 425-434.
46. Sepehri, A. & Vaziri Amjad, Z. (2015). The effect of iron and zinc nano fertilizers on quantitative yield of chicory (*Cichorium incubus* L.) in different crop densities. *Journal of Agricultural Knowledge and sustainable production*. 25 (1), 61-73. (In Farsi)
47. Srivastava, N. K., Mirsa, A. & Sharma, S. (1997). Effect of zinc deficiency on net photosynthetic rate, ¹⁴C partition, and oil accumulation in leaves of peppermint. *Photosynthetica*. 33: 71-79
48. Tandon, H. L. S. (1995). *Micronutrients in soil, crops, and fertilizers*. Fertilizer Development and Consultation Organization, New Dehli, India. pp: 138.

49. Yadegari, M. & Alayean, N. (2012). Effect of micronutrients foliar application on some yield traits in marigold (*Calendula officinalis* L.). *Journal of Crop Production Research*. 4 (1): 75-85. (In Farsi)
50. Yadegari, M. (2016). Effect of micronutrients foliar application and biofertilizeres on essential oils of lemon balm. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 16 (3), 702-71 5.
51. Yadegari, M. 2013. Effect of Foliar Application of Fe, Zn, Cu and Mn on Yield and Essential Oils of *Borago officinalis*. *J. Appl. Sci. Agric*. 8: 568-575.
52. Yassen, A. Abou El-Nour, E. A. A. & Shedeed, S. (2010). Response of Wheat to foliar spray with urea and micronutrients. *Journal of American Science*. 6 (9): 14 - 22.
53. Yousefzadeh, S. Sabaghnia, N. & Janmohammadi, M. (2016). The effect of foliar application of nano-iron chelate on physiological and chemical traits of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.). *Journal of medicinal plants*. 4 (15): 152-162. (In Farsi)
54. Zehtab-Salmasi, S., Heidari, F. & Alyari, H. (2008). Effect of microelements and plant density on biomass and essential oil production of peppermint (*Mentha piperment* L.). *Plant Science Research*. 1, 24-28.
55. Zika, A. (2013). Effect of micronutrient application and application time on growth traits and increasing yield of *Calendula officinalis* L. *Journal of Soil and Water*. 2(1): 56-62.