

## تأثیر نانو اکسید آهن و سولفات روی بر میزان کلروفیل، آنتوسیانین، فلاونوئید و عناصر معدنی برگ نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) در شرایط آب و هوایی کرج

مراد محمدی<sup>۱</sup>، ناصر مجنون حسینی<sup>۲\*</sup> و محمد دشتکی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲- نویسنده مسئول، استاد، دانشکده کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

پست الکترونیک: Mhoseini@ut.ac.ir

۳- کارشناس ارشد، گروه اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ پذیرش: بهمن ۱۳۹۴

تاریخ اصلاح نهایی: دی ۱۳۹۴

تاریخ دریافت: دی ۱۳۹۳

### چکیده

به منظور بررسی تأثیر نانو اکسید آهن و سولفات روی بر صفات رنگیزه‌ای و عناصر مختلف برگ نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.)، آزمایشی به صورت فاکتوریل با دو عامل کود آهن (نانو اکسید آهن) و کود روی (سولفات روی) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران (کرج) در سال ۱۳۹۲ اجرا شد. کود آهن در ۴ سطح (شامل ۰، ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵ گرم بر لیتر آب) و کود روی ۳ سطح (شامل ۰، ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی) در نظر گرفته شدند و به صورت برگ‌پاشی بکار رفتند. صفات رنگیزه‌ای مانند غلظت آنتوسیانین، فلاونوئید (در طول موج ۲۷۰ نانومتر)، غلظت کلروفیل کل و عناصر (کلسیم، منیزیم، آهن، روی و فسفر) در برگ مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج آزمایش نشان داد که سطوح کودهای روی و آهن بر صفات فلاونوئید و کلروفیل کل تأثیر معنی‌داری داشتند، اما بر میزان آنتوسیانین تأثیر معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین اثر متقابل نانو اکسید آهن و سولفات روی بر تمام صفات مورد بررسی بجز آنتوسیانین در سطح ۵٪ معنی‌دار بودند. بیشترین میزان آهن (۱۳۶۳/۵۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در برگ نعناع وقتی حاصل شد که از تیمار ۰/۷۵ گرم در لیتر آهن استفاده شد و کمترین میزان آن (۱۰۷۳/۷۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در محلول‌پاشی با غلظت ۰/۲۵ گرم در لیتر آهن بدست آمد. در مجموع نتایج تحقیق نشان داد که اثر کاربرد کود سولفات روی (میزان ۲۵ کیلوگرم در هکتار) و کود نانو آهن (سطح ۰/۷۵ گرم در لیتر) سبب افزایش آهن برگ و متعاقب آن افزایش کلروفیل برگ شد که از طریق محلول‌پاشی می‌تواند بهینه‌سازی شود.

واژه‌های کلیدی: آهن برگ، نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.)، محلول‌پاشی، صفات رنگیزه‌ای.

### مقدمه

فلفلی شده‌است. برگ‌ها و سرشاخه‌های گلدار نعناع دارای ۱ تا ۲ درصد اسانس، تانن، فلاونوئید، کولین و یک ماده تلخ می‌باشند. اسانس نعناع فلفلی دارای بیش از ۲۰ نوع ترکیب شیمیایی است که مهمترین آنها منتول (۴۰ تا ۶۰ درصد)،

نعناع (*Mentha piperita* L.) گیاه علفی، چندساله و دورگه حاصل از *M. spicata* و *M. aquatica* است (Lewis, 1998). طعم تند برگ‌های نعناع سبب معروفیت آن به نعناع

برخی آنزیم‌های حیاتی گیاه از جمله کربونیک ان‌هیدرازها، دهیدروژنازها، آلکالین فسفاتازها، فسفولیپازها و RNA پلیمازها بوده و در متابولیسم قند و چربی‌ها، فتوسنتز گیاه و بیوسنتز اکسین به‌عنوان یک هورمون محرک رشد ایفای نقش می‌کند (Rion & Alloway, 2004). آهن تعدادی از آنزیم‌ها را فعال می‌سازد و نقش مهمی در سنتز RNA و بهبود عملکرد فتوسیستم‌ها دارد. کمبود آهن در دسترس و بعضی از عناصر کم‌مصرف گیاهان و غیرقابل جذب بودن و سنتز آنها در خاک‌های آهکی از مشکلات اصلی در تولید محصولات کشاورزی می‌باشد. جذب آهن در خاک‌هایی که مواد آلی پایینی دارند کاهش می‌یابد و قابلیت دسترسی گیاهان به عناصر روی و منگنز نیز با افزایش اسیدیته خاک کاهش می‌یابد (Havlin et al., 2005).

طی تحقیقی، تأثیر سطوح متفاوت عناصر ریزمغذی بر وزن خشک ریحان گزارش شد. در این آزمایش مشخص شد که کاربرد عناصر ریزمغذی بر کیفیت اسانس و مقدار مواد مؤثره مثل آرتیمیزینین و آرتیمیزیک اسید تأثیر گذاشت (Drazic & Pavlovic, 2005). نعنای فلفلی در طول رویش و تولید مواد مؤثر به مقدار زیادی از عناصر غذایی نیاز دارد و تحقیقات نشان می‌دهد که مقادیر مناسب از عناصر ریزمغذی به مقدار قابل توجهی سبب افزایش اسانس نعنای می‌شود (Omid Beige, 1997). Kelly و Carlos (۲۰۰۴) برای تولید بیشتر روغن اسانس نعنای، میزان ۳/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک منگنز، ۳ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک سولفید (SO<sub>2</sub>)، ۲۲ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک روی، ۱۴۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک منیزیم، ۳۲۳ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک آهن و ۸ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک مس ذکر می‌کنند. محققان گزارش کردند که محلول‌پاشی با سولفات روی در نعنای فلفلی سبب افزایش بیوسنتز منتول به مقدار ۱۵ تا ۱۸ درصد می‌شود (Hart et al., 2003). Nasiri و همکاران، (۲۰۱۰) در آزمایشی روی گیاه بابونه مشاهده کردند که محلول‌پاشی همزمان آهن و روی افزایش کیفیت عملکرد گیاه را در پی داشت. محلول‌پاشی گشسینز با آهن و روی در مراحل رشد رویشی، گلدهی و تشکیل میوه سبب

منتون (۱۰ تا ۳۰ درصد)، منتوفوران، پیریتون، پولگون و سینتول می‌باشند (Lewis, 1998). منتول و منتون بیشترین سهم را در ترکیب اسانس نعنای تشکیل می‌دهند (Darvishi, 1995). مواد مؤثره اگرچه اساساً با هدایت فرایندهای ژنتیکی ساخته می‌شوند، اما به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر عوامل محیطی و مراحل رشد و نمو گیاه و نیز کمیت و کیفیت مواد مؤثره تغییر می‌کند (Omid Beige, 1997).

استفاده از مواد ریزمغذی به‌صورت برگ‌پاش، به‌ویژه در خاک‌های قلیایی (که اغلب کمبود عناصر ریزمغذی دارند)، از روش‌های مناسب و مؤثر برای افزایش عملکرد اسانس گیاهان دارویی می‌باشد. آهن یکی از عناصر ضروری برای رشد گیاهان است و در واکنش‌های فتوسنتزی نقش به‌سزایی دارد. تحقیقات نشان داده‌است که کاربرد مقادیر مناسب از عناصر ریزمغذی به‌طور قابل ملاحظه‌ای سبب افزایش اسانس نعنای می‌شود (Omid Beige, 1997). محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف می‌تواند کمیت و کیفیت مواد مؤثره گیاهان دارویی را افزایش دهد. نتایج یک بررسی نشان داد که محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی (مخلوطی از اسید بوریک، سولفات روی و آهن) منجر به تولید بیشتر ماده خشک نعنای (۱۱۸۸ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با عدم محلول‌پاشی (۸۳۷ کیلوگرم در هکتار) شد و درصد روغن اسانس برگ نعنای نیز حدود ۰/۷۸٪ در محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی افزایش نشان داد، به‌طوری که عملکرد اسانس نعنای از ۱۳/۶۹ به ۲۱/۴ لیتر در هکتار افزایش یافت (Zehtab-salmasi et al., 2008).

آهن در تشکیل کلروفیل در گیاهان نقش مؤثری دارد (Ravi et al., 2008; Sharifi et al., 2002). Berg و همکاران (۱۹۹۳) نشان دادند که محلول‌پاشی سولفات آهن موجب سبزی دوباره برگ‌های گندم که دچار زردی برگ شدید شده بودند در طی یک هفته گردید و دو برابر شدن میزان قصیل سبز بعد از یک ماه شد. آهن در ساختمان سیتوکروم به‌عنوان ناقل الکترون در سیستم‌های فتوسنتزی برای تنفس، عملیات اکسیداسیون، احیاء و ساخت کلروفیل دخالت دارد. عنصر روی به‌عنوان فعال‌کننده و کوفاکتور

جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۸ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۱۱۱۲/۵ متر از سطح دریا، به صورت فاکتوریل کرت‌های خرد شده با دو عامل کود آهن (نانو اکسید آهن در ۴ سطح شامل ۰، ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵ گرم بر لیتر آب) و کود روی (سولفات روی در ۳ سطح شامل ۰، ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی) در دو چین در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. کود آهن از منبع نانو اکسید آهن تأمین شد که یک ترکیب جدید و با خلوص ۹۹٪ از عنصر آهن است. تعیین مقدار این کود (Sheykhbaglou *et al.*, 2010) و همچنین تعیین مقادیر کود سولفات روی (۳۴٪ روی دارد) بر اساس مطالعات قبلی (Zehtab-salmasi *et al.*, 2008) بر نعنای فلفلی بود. پس از انجام آزمون خاک مزرعه آزمایشی (جدول ۱)، عملیات آماده‌سازی زمین انجام شد و کرت‌های آزمایشی با ابعاد ۱/۵ در ۲ متر آماده شدند. کشت نعنای در مزرعه به صورت نشایی در اواسط اردیبهشت‌ماه انجام و نشاها از مرکز تحقیقات گیاهان دارویی در هلجرد کرج تهیه شد. آبیاری کرت‌ها به صورت غرقابی انجام شد و زمان برداشت نعنای فلفلی مرحله اواسط گلدهی انجام گردید.

افزایش معنی‌دار عملکرد دانه گردید و کاربرد همزمان آهن و روی نقش بیشتری بر این افزایش داشت (Said-Al Ahl & Omer, 2009).

البته تا به حال کاربردهای متعددی از فناوری نانو در کشاورزی، صنایع غذایی و علوم دامی مطرح شده‌است. استفاده از نانو اکسید آهن به‌عنوان ترکیب جدیدی از عناصر ریزمغذی آهن، شیوه جدیدی از تأمین عناصر مورد نیاز گیاه می‌باشد. متأسفانه مطالعات اندکی در مورد کاربرد نانو در کشاورزی انجام شده‌است که انجام تحقیقات در این زمینه را ضروری می‌کند. بنابراین با توجه به اهمیت اقتصادی و تقاضای روزافزون نعنای و کاربرد فراوان آن و مطالعات اندک در زمینه تأثیر کاربرد نانو بر این گیاه دارویی، در این پژوهش، اثر نانو مواد (نانو اکسید آهن) و سولفات روی بر صفات رنگیزه‌ای و عناصر معدنی برگ بررسی شد.

## مواد و روش‌ها

این بررسی در مزرعه آموزشی-پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در کرج با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۶ دقیقه شمالی، طول

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک محل آزمایش

نیترژن کل (%)	فسفر قابل جذب (mg/kg)	روی قابل جذب (mg/kg)	آهن قابل جذب (mg/kg)	پتاسیم قابل جذب (mg/kg)	اسیدیته (pH)	هدایت الکتریکی		بافت خاک (لوم)		
						عصاره اشباع (EC) ds.m <sup>-1</sup>	کربن آلی (%)	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)
۰/۱۴۷	۱۴/۱	۸/۸۵	۸/۳	۲۵۰	۸/۳	۱/۵۷	۱/۵۳	۳۴	۳۶	۳۰

زمان شروع گلدهی از برگ‌های تازه به‌طور تصادفی نمونه‌برداری شد. سپس ۵۰۰ میلی‌گرم از هر نمونه برگ تر در ۵ میلی‌لیتر استن (۸۰٪) هموژن گردید و آنگاه عصاره حاصل صاف و حجم آن با اضافه کردن استن به ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد. پس از استخراج عصاره آن به روش فوق، میزان جذب نور توسط عصاره با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Shimadzu UV 180) در طول موج ۶۶۳ (کلروفیل a) و

مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی و در دو نوبت انجام شد. محلول‌پاشی با کودهای مورد نظر در هر چین، یک‌بار در اواسط رشد رویشی و یک‌بار در مرحله شروع گلدهی توسط سم‌پاش پستی انجام گردید. نمونه‌برداری برای مطالعه صفات رنگیزه‌ای و عناصر معدنی برگ‌ها در هر دو چین و در مرحله اواسط گلدهی نعنای فلفلی انجام شد. برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل برگ، از هر کرت آزمایشی در

شده و  $W$  وزن تر نمونه است) از طریق روابط زیر بدست آمد:

$$\begin{aligned} & \{ \text{جذب در } 645 \text{ نانومتر} \} - 2/69 - \{ \text{جذب در } 663 \text{ نانومتر} \} \times V / (1000 \times W) \\ & = \text{میلی گرم کلروفیل } a \text{ در هر گرم وزن تر} \\ & \{ \text{جذب در } 663 \text{ نانومتر} \} - 4/69 - \{ \text{جذب در } 645 \text{ نانومتر} \} \times V / (1000 \times W) \\ & = \text{میلی گرم کلروفیل } b \text{ در هر گرم وزن تر} \\ & \{ \text{جذب در } 663 \text{ نانومتر} \} - 8/02 - \{ \text{جذب در } 645 \text{ نانومتر} \} \times V / (1000 \times W) \\ & = \text{میلی گرم کلروفیل } a \text{ و } b \text{ در هر گرم وزن تر} \end{aligned}$$

### آنتوسیانین برگ نعناع

بیشترین میزان آنتوسیانین برگ (۱/۴۰۳ میکرومول بر گرم وزن تر) از سطح شاهد (بدون محلول پاشی) و کمترین آن (۱/۳۶۳ میکرومول بر گرم وزن تر) از سطح ۵۰ کیلوگرم سولفات روی در هکتار بدست آمد. البته میزان آنتوسیانین برگ نعناع با افزایش سطح کود سولفات روی روندی کاهشی داشت، در حالی که کاربرد نانوآکسید آهن با افزایش مقدار مورد استفاده روندی افزایشی در برگ داشت. همچنین از نظر زمان برداشت، چین دوم میزان آنتوسیانین بیشتری (۱/۶۸۲ میکرومول بر گرم وزن تر) را نسبت به چین اول به خود اختصاص داد (جدول ۳).

### فلاونوئید برگ نعناع

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بین سطوح مختلف محلول پاشی کود سولفات روی، بیشترین میزان فلاونوئید ۲۷۰ (۳/۵۱۳٪) در سطح شاهد و کمترین مقدار آن (۳/۱۸۷٪) در سطح ۲۵ کیلوگرم سولفات روی در هکتار بود. میزان فلاونوئید در سطوح مختلف اثر متقابل سولفات روی و زمان برداشت متفاوت بود، به طوری که سطح شاهد در چین اول بیشترین (۵/۰۵۴٪) و در سطح ۵۰ کیلوگرم سولفات روی در چین اول (۳/۰۲۷٪) کمترین مقدار را داشت (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر متقابل آهن و روی نشان داد که بیشترین میزان فلاونوئید (۳/۸۵۰٪) از محلول پاشی با غلظت ۰/۵ گرم در لیتر آهن و بدون کاربرد روی و کمترین میزان فلاونوئیدها (۲/۹۴٪)، از عدم مصرف آهن و کاربرد ۲۵ کیلوگرم بر هکتار روی بدست آمد (جدول ۵).

۶۴۵ (کلروفیل  $b$ ) تعیین گردید. غلظت کلروفیل  $a$  و  $b$  و مجموع آنها (در این روابط  $V$  حجم نهایی نمونه استخراج

برای اندازه‌گیری آنتوسیانین‌های برگ از روش Wagner (۱۹۷۹) استفاده شد. برای سنجش فلاونوئیدها از روش Krizek و همکاران (۱۹۹۸) استفاده شد. همچنین برای سنجش عناصر معدنی برگ (کلسیم، منیزیم، آهن، روی و فسفر) از دستگاه جذب اتمی مدل VARIAN استفاده شد. پس از آزمون همگنی واریانس‌ها محاسبات آماری مربوطه با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ انجام شد. به دلیل وجود عامل زمان برداشت، تجزیه به صورت فاکتوریل کرت‌های خرد شده انجام شد. همچنین مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال ۵٪ با نرم‌افزار Mstat-c انجام گردید.

### نتایج

بررسی نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر محلول پاشی نانوآکسید آهن و سولفات روی بر اغلب صفات رنگیزه‌ای و عناصر معدنی برگ نعناع فلفلی معنی‌دار بود (جدول ۲). اثر متقابل آهن  $\times$  روی، بر میزان کلروفیل کل و درصد آهن در سطح احتمال ۱٪ بر میزان فلاونوئید ۲۷۰ در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود. اثر متقابل محلول پاشی نانوآکسید آهن  $\times$  زمان برداشت بر کلروفیل کل، فلاونوئید و درصد روی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۲). اثر متقابل محلول پاشی سولفات روی  $\times$  زمان برداشت در سطح احتمال ۵٪ بر درصد کلسیم و در احتمال ۱٪ بر درصد آهن معنی‌دار بود. اثر متقابل محلول پاشی روی  $\times$  آهن  $\times$  زمان برداشت نیز در سطح احتمال ۱٪ بر میزان فلاونوئید ۲۷۰ و کلروفیل کل معنی‌دار بود (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی برگ نعنای فلفلی تحت تأثیر محلول پاشی کودهای نانو اکسید آهن و سولفات روی

منبع تغییرات	درجه آزادی	آنتوسیانین	فلاونوئید ۲۷۰	کلروفیل کل	کلسیم	منیزیم	فسفر	روی	آهن
تکرار	۲	۰/۰۰۷۰ ns	۰/۰۵۱۹ ns	۰/۰۱۱۰ *	۰/۰۹۲۱ ns	۰/۰۳۳۲ **	۰/۰۱۲۴ *	۴۲۲۰/۲۵ ns	۱۴۲۱۰/۳۳ ns
آهن	۲	۰/۰۱۱۳ ns	۰/۷۹۳۹ **	۰/۰۰۴۸ ns	۰/۵۳۹۵ *	۰/۰۰۱۶ ns	۰/۰۰۵۳ ns	۱۹۴۴۰/۱۴ **	۵۳۹۰۱۵/۲۲ **
روی	۳	۰/۰۷۰۷ *	۰/۷۰۵۶ **	۰/۰۰۸۹ *	۰/۷۹۰۳ ns	۰/۰۰۰۶ ns	۰/۰۰۲۶ ns	۲۶۷۶/۶۲ ns	۳۵۰۸۰۲/۱۹۲ **
آهن×روی	۶	۰/۰۱۶۲ ns	۰/۱۱۱۲ *	۰/۰۱۲۶ **	۰/۱۶۴۹ ns	۰/۰۰۱۰ ns	۰/۰۰۲۰ ns	۱۴۴۹/۴۵ ns	۲۲۳۲۸۳/۳۱۱ **
خطای a	۲۲	۰/۰۱۹۳	۰/۰۳۹۷	۰/۰۰۲۹	۰/۱۷۹۱	۰/۰۰۳۷	۰/۰۰۲۳	۱۵۸۵/۹۵	۲۸۷۵۱/۶۷۱
زمان برداشت	۱	۶/۸۰۱۲ **	۴۷/۷۵۰۸ **	۰/۲۸۴۵ **	۹۰/۶۳۷۴ **	۰/۰۰۶۲ ns	۰/۰۲۷۴ **	۷۸۳۸۸/۲۰ **	۲۳۶۱۲۰۶/۰۷۱ **
آهن×زمان برداشت	۲	۰/۰۰۶۷ ns	۰/۵۷۲۰ **	۰/۰۲۵۸ **	۰/۰۹۳۹ ns	۰/۰۰۰۳۹ ns	۰/۰۰۰۴۱ ns	۸۰۰۵۷/۵۰ **	۴۰۰۱۰/۱۷۹ ns
روی×زمان برداشت	۳	۰/۰۲۳۳ ns	۰/۱۶۳۲ ns	۰/۰۱۰۵ ns	۰/۴۸۱۸ *	۰/۰۰۰۷۰ ns	۰/۰۰۰۶۷ ns	۳۲۷۴/۰۹ ns	۲۳۳۳۷۹۸/۵۴۵ **
آهن×روی×زمان برداشت	۶	۰/۰۰۱۸ ns	۰/۲۵۱۹ **	۰/۰۱۷۰ **	۰/۱۹۰۳ ns	۰/۰۰۴۳ ns	۰/۰۰۰۴۸ ns	۲۰۹۱/۶۷ ns	۲۱۲۲۴/۹۸۵ ns
خطای b	۲۴	۰/۰۱۲۶	۰/۰۵۴۶	۰/۰۰۳۸	۰/۱۴۵۶	۰/۰۰۴۶	۰/۰۰۰۴۴	۱۴۵۸/۸۲	۳۲۲۴۱/۸۴۱
ضریب تغییرات (%)	-	۸/۱۶	۶/۸۸	۱۷/۵۱	۶/۷۶	۹/۰۹	۵/۷۱	۲۳/۱۶	۱۳/۹۹

ns، \*، \*\* به ترتیب نشان دهنده معنی داری در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ و عدم معنی داری می باشد.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات اصلی صفات مورد مطالعه برگ نعناع تحت تأثیر محلول پاشی کودهای نانو اکسید آهن و سولفات روی (دانکن ۵٪)

تیمارها	آنتوسیانین (میکرومول بر گرم وزن تر)	فلاونوئید ۲۷۰ (٪)	کلروفیل کل (میلی گرم در گرم وزن تر برگ)	کلسیم (٪)	منیزیم (٪)	فسفر (٪)	روی (میلی گرم بر کیلوگرم)	آهن (میلی گرم بر کیلوگرم)
a1	۱/۴۰۳ a	۳/۵۱۳ a	۰/۳۷۲۸ a	۵/۵۹۱ ab	۰/۷۴۳ a	۰/۳۸۷ a	۷۷/۳۸ c	۱۲۰۷/۷۵ b
a2	۱/۳۶۹ a	۳/۱۸۷ b	۰/۳۴۷۰ a	۵/۸۱۴ a	۰/۷۵۹ a	۰/۳۶۲ b	۱۶۰/۱۷ b	۱۱۸۵/۳۹ b
a3	۱/۳۶۳ a	۳/۴۹۰ a	۰/۳۴۹۲ a	۵/۵۲۹ b	۰/۷۵۵ a	۰/۳۶۰ a	۲۷۵/۱۹ a	۱۴۵۵/۴۲ a
b1	۱/۳۰۱ b	۳/۱۰۷ b	۰/۳۳۲۹ b	۵/۶۸۶ ab	۰/۷۶۰ a	۰/۳۷۲ b	۱۸۱/۴۷ a	۱۳۴۶/۰۶ a
b2	۱/۳۵۵ ab	۳/۴۳۳ a	۰/۳۵۶۶ ab	۵/۹۱۳ a	۰/۷۵۱ a	۰/۳۸۴ a	۱۶۴/۸۹ a	۱۰۷۳/۷۸ b
b3	۱/۴۲۱ a	۳/۵۳۳ a	۰/۳۴۹۶ ab	۵/۴۲۵ b	۰/۷۵۵ a	۰/۳۷۰ a	۱۵۲/۴۳ a	۱۳۴۸/۰۰ a
b4	۱/۴۳۷ a	۳/۵۱۴ a	۰/۳۸۶۳ a	۵/۵۵۳ b	۰/۷۴۷ a	۰/۳۵۴ a	۱۶۰/۸۹ a	۱۳۶۳/۵۷ a
c1	۱/۰۷۲	۴/۲۱۲	۰/۴۱۹	۶/۷۶۷	۰/۷۶۲	۰/۳۹۰	۱۳۱/۹۱۴	۱۱۰۱/۷۵۹
c2	۱/۶۸۶	۲/۵۸۳	۰/۲۹۴	۴/۵۲۳	۰/۷۴۴	۰/۳۵۱	۱۹۷/۹۰۳	۱۴۶۳/۹۴۴

اعداد داخل هر ستون که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، از نظر آماری اختلاف معنی داری ندارند.

a1, a2 و a3 به ترتیب ۰، ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی؛ b1, b2, b3 و b4 به ترتیب ۰، ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵ گرم بر لیتر آب؛ c1 و c2 به ترتیب چین اول و چین دوم می باشند.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل کاربرد روی در زمان برداشت در مورد صفات مورد مطالعه برگ نعناع (دانکن ۵٪)

تیماها	آنتوسیانین (میکرومول برگرم وزن تر)	فلاونوئید ۲۷۰ (%)	کلروفیل کل (میلی گرم در گرم وزن تر برگ)	کلسیم (%)	منیزیم (%)	فسفر (%)	روی (میلی گرم بر کیلوگرم)	آهن (میلی گرم بر کیلوگرم)
a1 c1	۱/۰۸۸ b	۵/۰۵۴ a	۰/۱۴۷ a	۳/۲۳۷ a	۰/۷۵۶ a	۰/۴۰۷ a	۱۰۳/۲۹۲ c	۹۹۹/۲۵۰ c
a1 c2	۱/۷۲۰ a	۳/۳۶۶ c	۰/۰۹۶ c	۲/۲۵۶ c	۰/۷۳۲ a	۰/۳۶۷ b	۵۱/۴۵۸ d	۱۴۱۶/۲۵۰ b
a2 c1	۱/۰۵۱ b	۴/۵۴۳ b	۰/۱۴۲ a	۳/۱۳۲ ab	۰/۷۶۴ a	۰/۳۷۸ b	۱۲۴/۷۸۳ c	۹۸۴/۷۷۸ c
a2 c2	۱/۶۸۷ a	۳/۳۴۵ c	۰/۰۹۷ c	۲/۲۴۸ c	۰/۷۵۵ a	۰/۳۴۷ c	۱۹۵/۵۵۰ b	۱۳۸۶ b
a3 c1	۱/۰۷۶ b	۳/۰۲۷ a	۰/۱۲۸ b	۲/۸۹۷ b	۰/۷۶۷ a	۰/۳۸۴ b	۱۶۷/۶۶۷ b	۱۳۲۱/۲۵۰ b
a3 c2	۱/۶۵۲ a	۳/۴۱۹ c	۰/۱۰۱ c	۲/۲۵۶ c	۰/۷۴۴ a	۰/۳۳۷ c	۳۴۶/۷۰۸ a	۱۵۸۹/۵۸۳ a

اعداد داخل هر ستون که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، از نظر آماری اختلاف معنی داری ندارند.

a1, a2 و a3 به ترتیب ۰، ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی؛ c1 و c2، به ترتیب چین اول و چین دوم می باشند.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل کاربرد کود روی و آهن در مورد صفات مورد مطالعه برگ نعناع (دانکن ۰.۵٪)

تیمارها	آنتوسیانین (میکرومول بر گرم وزن تر)	فلاونوئید ۲۷۰ (٪)	کلروفیل کل (میلی گرم در گرم وزن تر برگ)	کلسیم (٪)	منیزیم (٪)	فسفر (٪)	روی (میلی گرم بر کیلوگرم)	آهن (میلی گرم بر کیلوگرم)
a1 b1	۱/۲۸۷ b	۳/۱۲۶ de	۰/۳۲۰ cd	۵/۵۰۵ abc	۰/۷۶۱ a	۰/۳۸۱ ab	۱۸۱/۱۵۰ d	۱۰۹۹ d
a1 b2	۱/۳۷۵ ab	۳/۴۵۳ bc	۰/۳۶۳ abcd	۵/۹۹۸ a	۰/۷۵۲ a	۰/۳۹۴ a	۹۰/۵۶۷ d	۱۲۰۵/۱۶۷ cd
a1 b3	۱/۴۸۴ a	۳/۸۵۰ a	۰/۳۸۷ abc	۵/۳۳۰ bc	۰/۷۴۵ a	۰/۳۷۷ ab	۵۱/۴۶۷ d	۱۳۴۴bc
a1 b4	۱/۴۷۰ ab	۳/۶۰۷ ab	۰/۴۲۲ a	۵/۵۳۳ abc	۰/۷۱۶ a	۰/۳۹۷ a	۸۶/۳۱۷ d	۱۱۸۲/۸۳۳ cd
a2 b1	۱/۲۹۵ ab	۲/۹۴۰ e	۰/۳۳۴ bcd	۵/۸۳۷ abc	۰/۷۶۱ a	۰/۳۷۱ ab	۱۹۲/۳۱۷ b	۱۴۳۸/۳۳ b
a2 b2	۱/۳۸۷ ab	۳/۲۱۳ cd	۰/۳۰۴ d	۵/۸۷۸ ab	۰/۷۵۱ a	۰/۳۸۶ a	۱۵۳/۴۶۷ bc	۹۷۸/۵۰۰ d
a2 b3	۱/۴۲۶ ab	۳/۳۰۷ cd	۰/۳۳۲ bcd	۵/۶۸۵ abc	۰/۷۵۹ a	۰/۳۶۷ ab	۱۵۶/۲۱۷ bc	۱۱۳۸/۳۳۳ cd
a2 b4	۱/۳۶۹ ab	۳/۲۹۰ cd	۰/۴۱۹ a	۵/۸۵۹ abc	۰/۷۶۷ a	۰/۳۱۹ b	۱۳۸/۶۶۷ c	۱۱۶۸/۳۸۹ cd
a3 b1	۱/۳۲۲ ab	۳/۲۲۰ cd	۰/۳۴۵ bcd	۵/۷۱۷ abc	۰/۷۵۷ a	۰/۳۶۵ ab	۲۷۰/۹۵۰ a	۱۵۰۰/۸۳۳ b
a3 b2	۱/۳۰۵ ab	۳/۶۵۲ ab	۰/۴۰۳ ab	۵/۸۷۲ ab	۰/۷۴۹ a	۰/۳۷۱ ab	۲۵۰/۴۸۳ a	۱۰۳۷/۶۶۷ d
a3 b3	۱/۳۵۵ ab	۳/۴۴۳ bc	۰/۳۳۱ bcd	۵/۲۶۲ c	۰/۷۶۱ a	۰/۳۵۶ ab	۲۴۹/۶۱۷ a	۱۵۶۱/۶۶۷ ab
a3 b4	۱/۴۷۴ ab	۳/۶۴۶ ab	۰/۳۱۸ cd	۵/۲۶۸ c	۰/۷۵۵ a	۰/۳۴۸ ab	۲۵۷/۷۰۰ a	۱۷۲۱/۵۰۰ a

اعداد داخل هر ستون که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، از نظر آماری اختلاف معنی داری ندارند.

a1، a2 و a3 به ترتیب ۰، ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی؛ b1، b2، b3 و b4 به ترتیب ۰، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ گرم بر لیتر آهن می باشند.



جدول ۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل کاربرد آهن در زمان برداشت در مورد صفات مورد مطالعه برگ نعناع (دانکن ۰.۵٪)

تیمار	آنتوسیانین (میکرومول بر گرم وزن تر)	فلاونوئید ۲۷۰ (٪)	کلروفیل کل (میلی گرم در گرم وزن تر برگ)	کلسیم (٪)	منیزیم (٪)	فسفر (٪)	روی (میلی گرم بر کیلوگرم)	آهن (میلی گرم بر کیلوگرم)
<b>b1 c1</b>	۱/۰۲۹ d	۳/۸۳۲ b	۰/۳۷۱ b	۶/۸۰۶ b	۰/۷۷۳ a	۰/۳۹۲ a	۱۳۶/۲۳۳ d	۱۲۷۰ bc
<b>b1 c2</b>	۱/۵۷۴ c	۲/۳۸۳ d	۰/۲۹۱ c	۴/۵۶۷ d	۰/۷۴۷ a	۰/۳۵۳ b	۲۲۶/۷۱۱ a	۱۴۲۲/۱۱ b
<b>b2 c1</b>	۱/۰۶۸ d	۴/۳۸۲ a	۰/۴۳۶ ab	۷/۲۲۲ a	۰/۷۵۵ a	۰/۴۰۶ a	۱۳۴/۴۳۳ d	۹۷۸/۸۸۹ e
<b>b2 c2</b>	۱/۶۴۴ bc	۲/۴۸۵ d	۰/۲۷۷ c	۴/۶۱۰ d	۰/۷۴۷ a	۰/۳۶۱ b	۱۹۵/۲۴۴ ab	۱۱۶۸/۶۶۷ cd
<b>b3 c1</b>	۱/۰۶۷ d	۴/۳۱۷ a	۰/۳۹۲ b	۶/۳۳۴ c	۰/۷۷۱ a	۰/۳۹۵ a	۱۱۱/۱۷۸ d	۱۰۳۸ de
<b>b3 c2</b>	۱/۷۷۶ a	۲/۷۵۱ c	۰/۳۰۷ c	۴/۵۱۷ d	۰/۷۳۹ a	۰/۳۴۴ b	۱۹۳/۶۸۹ ab	۱۶۵۰ a
<b>b4 c1</b>	۱/۱۲۳ d	۴/۳۱۶ a	۰/۴۷۴ a	۶/۷۰۷ b	۰/۷۵۰ a	۰/۳۶۶ a	۱۴۵/۸۱۱ cd	۱۱۲۰/۱۵ cde
<b>b4 c2</b>	۱/۷۵۲ ab	۲/۷۱۳ c	۰/۲۹۹ c	۴/۴۰۰ b	۰/۷۴۲ a	۰/۳۴۳ b	۱۷۵/۹۷۸ bc	۱۶۰۷ a

اعداد داخل هر ستون که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، از نظر آماری اختلاف معنی داری ندارند.

b1, b2, b3 و b4 به ترتیب ۰، ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵ گرم آهن بر لیتر آب؛ c1 و c2 به ترتیب چین اول و چین دوم می باشند.

دوم برگ نعنای مشاهده شد (جدول ۶). با کاربرد ۵۰ کیلوگرم در هکتار روی که در چین اول مصرف شده بود، بیشترین میزان منیزیم (۰/۷۶۷٪) بدست آمد و کمترین آن (۰/۷۳۲٪) وقتی بود که سطح صفر (شاهد) روی × چین دوم استفاده شد (جدول ۴). وقتی محلول پاشی با غلظت ۰/۷۵ گرم در لیتر آهن و کاربرد ۵۰ کیلوگرم روی بر هکتار انجام شد، بیشترین مقدار منیزیم (۰/۷۶۷٪) بدست آمد و کمترین آن (۰/۷۱۶٪) هم وقتی بود که از کود روی استفاده نشد و محلول پاشی با غلظت ۰/۷۵ گرم در لیتر آهن انجام شد (جدول ۵). هیچ یک از عوامل مورد بررسی بجز زمان برداشت تأثیر معنی داری بر میزان فسفر نداشتند (جدول ۲). البته میزان فسفر در چین اول (۰/۳۹۰٪) بیشتر از چین دوم (۰/۳۵۱٪) بود (جدول ۳).

در رابطه با تأثیر سولفات روی، چنین مشاهده شد که بیشترین میزان روی (۱۸۱/۴۷ میلی گرم بر کیلوگرم) در شرایط عدم مصرف آهن و کمترین میزان آن (۱۵۲/۴۳ میلی گرم بر کیلوگرم) در محلول پاشی با غلظت ۰/۵۰ گرم در لیتر آهن بدست آمد (جدول ۳). بیشترین میزان روی (۲۷۵/۱۹ میلی گرم بر کیلوگرم) با کاربرد ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی ایجاد شد و کمترین میزان آن (۷۷/۳۸ میلی گرم بر کیلوگرم) در شرایط عدم مصرف روی بود (جدول ۳).

کاربرد ۵۰ کیلوگرم روی در هکتار بدون استفاده از آهن بیشترین میزان روی (۲۷۰/۹۵ میلی گرم بر کیلوگرم) و کمترین آن (۵۱/۴۶۷ میلی گرم بر کیلوگرم) در تیمار عدم کاربرد روی و استفاده از آهن با غلظت ۰/۵۰ گرم در لیتر ایجاد شد (جدول ۵).

نتایج نشان داد که میزان روی در کلیه سطوح تیماری در چین دوم بیشتر از چین اول بود (جدول ۴). بیشترین میزان آهن (۱۳۶۳/۵۷ میلی گرم بر کیلوگرم) در برگ نعنای وقتی حاصل شد که از تیمار ۰/۷۵ گرم در لیتر آهن استفاده شد و کمترین میزان آن (۱۰۷۳/۷۸ میلی گرم بر کیلوگرم) در محلول پاشی با غلظت ۰/۲۵ گرم در لیتر آهن بدست آمد (جدول ۳).

محلول پاشی آهن با غلظت ۰/۷۵ گرم در لیتر قبل از چین اول بیشترین تولید کلروفیل کل (۰/۴۷۴ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) و محلول پاشی ۰/۲۵ گرم در لیتر آهن در چین دوم، کمترین کلروفیل کل (۰/۲۷۷ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) را به دنبال داشت (جدول ۶). بیشترین و کمترین میزان کلروفیل کل به ترتیب از تیمار شاهد روی و چین اول (۰/۱۴۷ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) و (۰/۰۹۶ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) از تیمار شاهد روی در چین دوم حاصل شد (جدول ۴).

در استفاده همزمان روی و آهن بیشترین میزان کلروفیل کل از تیمار شاهد روی در محلول پاشی با غلظت ۰/۷۵ گرم در لیتر آهن و کمترین میزان کلروفیل کل در بین تیمارها، از تیمار ۲۵ کیلوگرم بر هکتار سولفات روی و محلول پاشی ۰/۲۵ گرم در لیتر آهن بدست آمد (جدول ۵).

#### درصد عناصر معدنی برگ نعنای

بیشترین میزان کلسیم (۵/۹۱۳٪) وقتی حاصل شد که از غلظت ۰/۲۵ گرم در لیتر آهن استفاده شد و کمترین میزان آن (۵/۴۲۵٪) در محلول پاشی با غلظت ۰/۵ گرم در لیتر آهن بدست آمد (جدول ۳). در تیمار گیاه نعنای با سولفات روی × زمان برداشت، بیشترین میزان کلسیم از شاهد (صفر) روی × چین اول و کمترین میزان آن از کاربرد ۲۵ کیلوگرم بر هکتار روی × چین دوم حاصل شد (جدول ۴). همچنین در بین چین های برداشت شده، چین اول درصد کلسیم بیشتری (۶/۷۶۷٪) داشت (جدول ۳). در استفاده همزمان آهن و روی بیشترین میزان کلسیم (۵/۹۹۸٪) از عدم استفاده روی و محلول پاشی با غلظت ۰/۲۵ گرم در لیتر آهن و کمترین آن (۵/۲۶۲٪) از استفاده ۵۰ کیلوگرم بر هکتار سولفات روی در محلول پاشی ۰/۵۰ گرم در لیتر آهن بدست آمد (جدول ۵).

بیشترین میزان منیزیم (۰/۷۷۳٪) در تیمار صفر (شاهد) آهن × در چین اول و کمترین میزان آن (۰/۷۳۹٪) در تیمار محلول پاشی با آهن با غلظت ۰/۵۰ گرم در لیتر در چین

نتایج Malakooti و Tehrani (۱۹۹۹) مطابقت داشت. Said-Al Ahl و Mahmoud (۲۰۱۰) گزارش کردند که محلول پاشی آهن در نعنای شیرین تحت تنش شوری موجب افزایش ارتفاع گیاه، تعداد شاخه‌ها و افزایش وزن تر و عملکرد می‌شود. در این تحقیق کلروفیل کل در چین اول میزان غلظت بیشتری داشت که به نظر می‌رسد علت آن مصادف شدن چین دوم با شروع فصل سرما باشد. اما برخلاف نقش مثبت محلول پاشی آهن، استفاده از سولفات روی نقش مثبتی در میزان کلروفیل کل ایجاد نکرد. به طوری که کمترین میزان کلروفیل کل برگ از تیمار شاهد روی حاصل شد (جدول ۴) و در استفاده همزمان روی و آهن بیشترین میزان کلروفیل کل از تیمار شاهد روی توام با محلول پاشی آهن بدست آمد (جدول ۵). اگرچه Bhanavase و همکاران (۱۹۹۵)، با بررسی تأثیر عناصر کم‌مصرف بر روی سویا ملاحظه کردند که دو عنصر آهن و روی با افزایش میزان کلروفیل برگ موجب افزایش تعداد و وزن دانه در سویا و در نتیجه، افزایش عملکرد آن شد. همانطور که از نتایج تحقیق در مورد صفت کلروفیل مشخص شد، مصرف آهن سبب افزایش آهن برگ و متعاقب آن افزایش کلروفیل برگ می‌شود.

بیشترین میزان کلسیم برگ نعنای (۵/۹۹۸٪) وقتی بدست آمد که از غلظت صفر روی (شاهد) و کم آهن (۰/۲۵ گرم در لیتر) استفاده شد (جدول ۴). در بین چین‌های برداشت شده، چین اول درصد کلسیم بیشتری (۶/۷۷٪) داشت (جدول ۳). کاربرد آهن و همچنین روی سبب افزایش منیزیم گیاه شد. بیشترین مقدار منیزیم برگ نعنای (۰/۷۶۷٪) از محلول پاشی بالای آهن و روی بدست آمد (جدول ۵). Panjtan dust (۲۰۰۷)، گزارش کرد که مصرف آهن به دو روش محلول پاشی و تیمار خاکی، مقدار عناصر ضروری مانند آهن کل، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم اندام‌های هوایی بادام زمینی را به‌طور معنی‌داری افزایش می‌دهد.

هیچ‌یک از عوامل مورد بررسی بجز زمان برداشت تأثیر معنی‌داری بر میزان فسفر نداشتند (جدول ۲). در استفاده

در استفاده همزمان هر دو کود، بیشترین میزان آهن از کاربرد حداکثری هر دو کود (۱۷۲۱/۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) و کمترین آن (۹۷۸/۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) از استفاده ۲۵ کیلوگرم بر هکتار روی و ۰/۲۵ گرم در لیتر محلول آهن بدست آمد (جدول ۵). در چین دوم محلول پاشی با غلظت ۰/۷۵ گرم در لیتر آهن بیشترین درصد آهن (۱۶۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) و کمترین آن (۹۷۸/۸۸۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) کاربرد کود آهن با غلظت ۰/۲۵ گرم در لیتر در برداشت اول حاصل شد (جدول ۶). بیشترین درصد آهن (۱۵۸۹/۵۸۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) از کاربرد ۵۰ کیلوگرم بر هکتار سولفات روی در برداشت دوم و کمترین درصد آن (۹۸۴/۷۷۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) با کاربرد ۲۵ کیلوگرم بر هکتار سولفات روی بدست آمد (جدول ۴).

## بحث

آنتوسیانین‌ها و فلاونوئیدها از مهمترین ترکیب‌های آنتی‌اکسیدانی هستند. در این بررسی محلول پاشی سولفات روی نتوانست در افزایش آنتوسیانین و فلاونوئیدهای برگ نعنای مؤثر باشد. به طوری که میزان آنتوسیانین و فلاونوئیدهای برگ نعنای با افزایش سطح کود سولفات روی روندی کاهشی داشت (جدول ۳)، ولی در مورد کود نانو اکسید آهن با افزایش مقدار مورد استفاده روندی افزایشی در میزان آنتوسیانین و فلاونوئیدها مشاهده شد. آنتوسیانین‌ها به احتمال زیاد باعث تسهیل ورود فلزات سنگین به واکوئل سلول‌ها و در نتیجه جمع‌آوری آنها از سایر بخش‌ها می‌شوند (Tripathi et al., 2006). از این مطلب می‌توان این گونه برداشت کرد که در افزایش میزان آهن در تیمارهایی که آهن برگ نعنای افزایش یافته بود علاوه بر غلظت آهن مورد استفاده، تجمع فلزات سنگین در واکوئل‌ها (نقش آنتوسیانین‌ها) نیز می‌تواند مؤثر باشد.

محلول پاشی با کود آهن نتوانست باعث افزایش میزان کلروفیل برگ نعنای شود. در تیمار شاهد، تعداد رنگدانه‌های فتوسنتزکننده و مقدار کلروفیل برگ‌ها کاهش یافت که با

مؤثری میزان کارآیی مصرف عناصر آهن و روی را افزایش دهد. بنابراین به نظر می‌رسد که ترکیب نانوآکسید آهن و سولفات روی به صورت محلول‌پاشی می‌تواند برای رفع کمبود جذب آهن و روی در زمین‌های آهکی مفید باشد.

### منابع مورد استفاده

- Ajasa, A.M.O., Bello, M.O., Ibrahim, A.O., Ogunwande, I.A. and Olawore, N.O., 2004. Heavy trace metals and macronutrients status in herbal plants of Nigeria. *Food Chemistry*, 85: 67-71.
- Berg, W.A., Hodges, M.E. and Kenez, E.G., 1993. Iron deficiency in wheat grown on the southern plains. *Journal of Plant Nutrition*, 16(7): 1241-1248.
- Bhanavase, D.B., Jadhar, B.K., Kshirasager, C.R. and Patil, P.L., 1995. Studies on chlorophyll, nodulation, nitrogen fixation, soybean yield and their correlation as influenced by micronutrient. *Madras Agricultural Journal*, 81: 325-328.
- Carlos, V.F. and Kelly, S., 2004. Nutrition mineral growth and essential oil content of mint in nutrient solution under different phosphorus concentrations. *Horticultural Brasilia*, 22(3): 578-573.
- Darvishi, Sh., 1995. Extraction of Peppermint oils and comparison with chemical speriment and pirmint. Ph.D. Thesis in Pharmacy, Pharmacy Faculty, Tabriz Medical Science University.
- Drazic, S. and Pavlovic, S., 2005. Effects of vegetation space on productive traits of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Institute for Medicinal Plants Researches*, 31(1): 1-4.
- Hart, J.M., Christensen, N.W., Mellbye, M.E. and Gingrich, G.A., 2003. Nutrient and biomass accumulation of peppermint. *Proceedings, Western Nutrient Management Conference*, 5: 63-70.
- Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L. and Nelson, W.L., 2005. *Soil Fertility and Fertilization: An Introduction to Nutrient Management*. Upper Saddle River, New Jersey, 515p.
- Krizek, D.T., Britz, S.J. and Mirecki, R.M., 1998. Inhibitory effects of ambient levels of solar UV-A and UV-B radiation on growth of cv. new red fire lettuce. *Physiologia Plantarum*, 103: 1-7.
- Lewis, K., 1998. Peppermint and Spearmint. *The Oxford Review*, 1-6.
- Malakooti, M.J. and Tehrani, M.M., 1999. *The role of Micronutrients on Yield and Quality of Agricultural Products*. Tarbiat Modarres Publication, Tehran, Iran, 328p.
- Mazher, A.A.M. and El-Mesiry, T.A., 2002. Influence of some micronutrients under variable irrigation

همزمان هر دو کود، بیشترین میزان آهن و روی در برگ نعناع از کاربرد حداکثری هر دو کود بدست آمد (جدول ۵). کاربرد سولفات روی سبب افزایش غلظت روی در گیاهان شد. به طوری که بیشترین میزان در کاربرد ۵۰ کیلوگرم سولفات روی در هکتار بدست آمد.

Pande و همکاران (۲۰۰۷) افزایش غلظت روی در بخش هوایی گیاه نعناع با کاربرد ۲/۵، ۵ و ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی از منبع سولفات در برداشت اول نعناع به میزان ۲۵، ۱۷ و ۳۲ درصد و در برداشت دوم گیاه نعناع ۳۲، ۱۹ و ۱۰۹ درصد گزارش کرده‌اند. همچنین آنان کاهش غلظت روی با افزایش مقادیر آهن مصرف شده را در برگ گزارش کرده‌اند، که در هر یک از سطوح سولفات روی این بررسی نیز چنین نتیجه‌ای مشاهده شد (جدول ۵). مطابق با گزارش Ajasa و همکاران (۲۰۰۴) حداکثر مجاز مقدار روی در محصولات کشاورزی باید بیش از ۲۰۰ میکروگرم بر گرم باشد که این مقادیر در سطح ۲۵ کیلوگرم سولفات روی در هکتار در این آزمایش دیده شد. بنابراین مصرف ۵۰ کیلوگرم سولفات روی در هکتار منطقی به نظر نمی‌رسد. کمبود آهن، شایع‌ترین کمبود در میان گل‌ها و گیاهان زینتی است و اثر زیادی بر رشد رویشی و زایشی گیاهان می‌گذارد. Mazher و El-Mesiry (۲۰۰۲) نشان دادند که کاربرد آهن، مقدار و درصد عنصر آهن را در گیاهان تیمار شده در مقایسه با گیاهان شاهد در رازیانه (*Foeniculum vulgare*) افزایش می‌دهد. البته تأثیر مثبت آهن بر افزایش عملکرد نعناع شیرین ( Said-Al Ahl & Mahmoud, 2010) نیز گزارش شده است.

به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت که کاربرد آهن تأثیر مثبتی بر افزایش میزان کلروفیل برگ نعناع داشت، که افزایش سبزی‌نگی بیشتر، افزایش فتوسنتز و رشد نعناع فلفلی از آن جمله بود. البته مصرف آهن افزایش درصد آهن بافت برگی را در پی داشت ولی سبب افزایش معنی‌داری بر دیگر عناصر معدنی برگ نعناع نشد. با توجه به اینکه بیشتر خاک‌های ایران آهکی و قلیایی می‌باشد، روش مصرف عناصر ریزمغذی به صورت محلول‌پاشی توانست به شیوه

- Said-Al Ahl, H.A.H. and Mahmoud, A.A., 2010. Effect of zinc and or iron foliar application and growth and essential oil of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) under salt stress. *Ocean Journal of Applied Sciences*, 3(1): 97-111.
- Said-Al Ahl, H.A.H. and 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.
- Sharafi, S., Tajbakhsh, M., Majidi, M. and Pourmirza, A., 2002. Effect of iron and zinc fertilizer on yield and yield components of two forage com cultivars in Urmia. *Soil and Water*, 12: 85-94.
- Sheykhbaglou, R., Sedghi, M., Tajbakhsh, M. and Seyed Sharifi, R., 2010. Effects of Nano-iron oxide particles on agronomic traits of soybean. *Notulae Scientia Biologicae*, 2(2): 112-113.
- Tripathi, B.N., Mehta, S.K., Amar, A. and Guar, J.P., 2006. Oxidative stress in *Scenedemus* sp. during short- and long-term exposure to Cu and Zn. *Chemosphere*, 62(4): 538-544.
- Wagner, G.J., 1979. Content and vacuole/extra vacuole distribution of neutral sugars, free amino acids, and anthocyanin in protoplast. *Plant Physiology*, 64: 88-93.
- Zehtab-salmasi, S., Heidari, F. and Alyari, H., 2008. Effect of microelements and plant density on biomass and essential oil production of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Plant Sciences Research*, 1(1): 24-26.
- intervals on growth yield, chemical composition and essential oil productivity of Fennel (*Feoniculum vulgare* Mill.) plants. *Annals of Agricultural Sciences*, 38: 773-794.
- Nasiri, Y., Zehtab-Salmasi, S., Nasrollahzadeh, S., Najafi, N. and 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.
- Omid Beige, R., 1997. Approach to the Production and Processing of Medicinal Plants (Vol. 2). Tarahan Nashr Publication, 438p.
- Pande, P., Anwar, M., Chand, S., Yadav, V.K. and Patra, D., 2007. Optimal level of iron and zinc in relation to its influence on herb yield and production of essential oil in menthol mint. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 38: 561-578.
- Panjtan dust, M., 2007. Effect of iron on quality and yield of peanut (*Arachis hypogaea* L.) in Gilan province. Agriculture Faculty, Tarbiat Modarres University.
- Ravi, S., Channal, H.T., Hebsur, N.S., Patil, B.N. and Dharmatti, P.R., 2008. Effect of sulfur, zinc and iron nutrition on growth, yield, nutrient uptake and quality of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Karnataka Journal of Agricultural Science*, 21(3): 382-385.
- Rion, B. and Alloway, J., 2004. Fundamental aspects of Zinc in soils and plants. *International Zinc Association*, 23: 1-128.

## 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

M. Mohammadi<sup>1</sup>, N. Majnoun Hosseini<sup>2\*</sup> and M. Dashtaki<sup>3</sup>

1- M.Sc. Student of Agronomy, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

2\*- Corresponding Author, Professor, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, E-mail: Mhoseini@ut.ac.ir

3- M.Sc. Graduated of Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Received: December 2014

Revised: January 2016

Accepted: February 2016

### Abstract

This research was aimed to evaluate the impact of nano-ferric oxide and zinc sulfate on leaf pigments and elements of peppermint (*Mentha piperita* L.) in field conditions. The study was conducted in a factorial experiment based on RCBD with three replicates at the research farm of University of Tehran (Karaj-Iran) in 2013. Nano-ferric oxide at four levels (including 0, 0.25, 0.5, & 0.75 g.L<sup>-1</sup>) and zinc sulfate at three levels (+0, 25 & 50 kg.ha<sup>-1</sup>) were used. The pigment traits such as anthocyanin, flavonoid (at 270 nm wavelength), total leaf chlorophyll, and elements (Ca, Mg, Fe, Zn & P) were examined. The results showed that nano-ferric oxide and zinc sulfate had significant effect on leaf flavonoid and total leaf chlorophyll; however, the study fertilizers had no significant effect on leaf anthocyanin. Similarly, the interaction effects of nano-ferric oxide and zinc sulfate were significant on all peppermint traits ( $P < 0.05$ ), except leaf anthocyanin content. The highest and lowest rate of leaf iron content were obtained at 0.25 and 0.75 g.L<sup>-1</sup> nano-ferric oxide, respectively, showing that application of nano-ferric oxide increased the leaf iron and chlorophyll content. Totally, the results indicated that leaf pigment variations of peppermint could be optimized through foliar application of zinc sulfate (25 kg.ha<sup>-1</sup>) and nano-ferric oxide (0.75 g.L<sup>-1</sup>) fertilizers.

**Keywords:** Leaf iron content, peppermint (*Mentha piperita* L.), foliar application, leaf pigments.