اثر محلول‌پاشی سطوح و منابع مختلف آهن بر رشد و غلظت برخی عناصر غذایی در گیاه سورگوم

لاله جوکار[1*] و عبدالمجید رونقی[1]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۱۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۳/۷)

چکیده

یکی از روش‌های سریع پاسخ گیاهان به افزودن کود، محلول‌پاشی است که منجر به صرفه‌جویی در مصرف کود نیز می‌شود. محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف یک روش مفید است، به ویژه در مواقعی که ریشه توانایی لازم برای جذب عناصر غذایی ضروری مورد نیاز گیاه از خاک را ندارد. میزان آهن قابل استفاده در خاک‌های آهکی با پ- هاش بالا برای گیاهان حساس به کمبود آهن، از جمله سورگوم، کم است. به منظور مقایسه اثر محلول‌پاشی منابع مختلف آهن بر ویژگی‌های رشدی، غلظت و جذب عناصر غذایی در گیاه سورگوم، آزمایشی در شرایط گلخانه در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار طراحی و اجرا شد. تیمارها شامل سه سطح آهن (صفر، ۹۰ و ۱۸۰ میلی‌گرم آهن در لیتر) از سه منبع آهن (نانوکلات آهن، سکوسترین آهن ۱۳۸ و سولفات آهن) بود. نتایج نشان داد که با افزایش سطح آهن از هر سه منبع کودی، وزن خشک اندام هوایی و ریشه، ارتفاع و میزان کلروفیل، غلظت و جذب آهن در اندام هوایی در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت. با کاربرد محلول‌پاشی آهن، غلظت فسفر و منگنز در اندام هوایی سورگوم کاهش یافت؛ ولی بر غلظت فسفر، منگنز و آهن ریشه تأثیر معنی‌داری نداشت. اثر سطوح آهن مصرفی بر غلظت روی و مس اندام هوایی و ریشه سورگوم معنی‌دار نبود. بر اساس نتایج این پژوهش، کاربرد محلول‌پاشی سولفات آهن در مقایسه با سکوسترین آهن و نانوکلات آهن سبب افزایش رشد و بهبود برخی خصوصیات گیاه سورگوم در شرایط گلخانه می‌گردد که این نتیجه از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: سولفات آهن، نانوکلات آهن، کمبود عناصر ریزمغذی

مقدمه

گیاهان علوفه‌ای چهارکربنه سطح زیر کشت وسیعی از زمین‌های زراعی جهان را به خود اختصاص داده‌اند، که به‌طورعمده مناطق خشک و نیمه خشک را شامل می‌شود. سورگوم، ذرت و ارزن به‌طور وسیعی در نواحی خشک و نیمه خشک جهان کشت می‌شوند و سهم قابل توجهی در تغذیه دام‌ها و انسان در کشورهای آفریقایی، آمریکایی و آسیایی دارند. به‌طوری که این گیاهان ۴۹-۳۵ درصد مقدار محصولات زراعی در آسیا را تشکیل می‌دهند (۱۳، ۱۴، ۱۵، ۲۷، ۳۳ و ۴۹). وایتی و چامبلیس (۵۷) مشکل اساسی تولید ذرت، سورگوم، غلات دانه‌ریز و بادام‌زمینی را کمبود عناصر ریزمغذی آهن، روی، منگنز و مس دانسته‌اند. مطالعات نشان داده که گیاهانی از قبیل ذرت و سورگوم توانایی تراوش ترکیبات خاصی به نام فیتوسیدرفور را دارند که باعث افزایش قابلیت جذب آهن توسط گیاه می‌شود. ولی با وجود بهره‌گیری از چنین توانایی، به دلیل داشتن ریشه‌های افشان و سطحی، این توانایی کم رنگ شده و علائم کمبود آهن در آنها مشاهده می‌شود (۵۰).

یکی از مشکلات عمده خاک‌های قلیایی، که بخش عمده‌ای

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

*: مسئول مکاتبات؛ پست الکترونیکی: Lalehjokar82@gmail.com

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.20089082.1394.6.2.12.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.ejgcst.6.2.163]

از خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک ایران را تشکیل می‌دهند، کمبود آهن قابل استفاده گیاه است. آهن یکی از عناصر کم‌مصرف بسیار مهم برای گیاه به شمار می‌آید (۳۸). کمبود آهن منجر به زردبرگی (۴۱)، کاهش فتوسنتز و غلظت کلروفیل (۳۸، ۴۱ و ۵۵)، کاهش وزن خشک بخش هوایی و ریشه (۶، ۸، ۱۹، ۴۱، ۴۲ و ۵۸)، تغییر غلظت و محتوای آهن (۶، ۸، ۲۰ و ۴۱) و سایر عناصر فلزی در بافت‌های گیاهی (۲۲) می‌شود. این صفات ارتباط بسیار نزدیکی با عملکرد گیاهان زراعی دارند. همچنین، کلروز آهن با تراکم خاک، زهکشی و شرایط آب و هوای سرد و مرطوب مرتبط است (۷). در چنین شرایطی، استفاده مداوم از آهن برای گیاهان میسر نیست و آهن به‌کار رفته در این خاک‌ها تثبیت خواهد شد. بنابراین، محلول‌پاشی آهن یک تیمار معمول در مزرعه برای جبران کردن کلروز ناشی از کمبود آهن است (۳).

محلول‌پاشی یکی از روش‌های سریع جهت پاسخ گیاهان به افزودن کود است که منجر به صرفه‌جویی در مصرف کود نیز می‌گردد (۴). محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف یک روش مفید است، به ویژه در مواقعی که ریشه توانایی لازم برای جذب عناصر غذایی ضروری مورد نیاز گیاه از خاک را ندارد (۳۴). منابع آلی آهن مانند کلات آهن و منابع معدنی مانند سولفات آهن برای اصلاح وجبران کمبود آهن به کار برده می‌شوند (۴۳). استفاده از فرم‌های کلاته که به واسطه واکنش نمک‌های فلزی با کمپلکس‌های مصنوعی و طبیعی حاصل می‌شوند، مهمترین راه حفاظت از عنصر آهن در برابر افزایش تثبیت در خاک با افزایش پ- هاش می‌باشد (۳۶). چوهورا و همکاران (۲۳) و کوماسا و همکاران (۳۷) گزارش کردند که کود کلات آهن به طور قابل ملاحظه‌ای عملکرد را نسبت به دیگر کودهای آهن افزایش داد.

قابل توجه است که افزودن آهن معدنی، مانند سولفات آهن، به خاک‌ها، به ویژه در خاک‌های آهکی و قلیایی، تأثیری در فراهم آوردن آهن برای گیاه و ریزجانداران خاک ندارد. به دلیل اینکه آهن اضافه شده به خاک به سرعت هیدراته شده و به صورت هیدروکسید آهن رسوب می‌کند و بنابراین برای گیاه قابل استفاده نبوده (۱۶) و بهترین روش مصرف، محلول‌پاشی می‌باشد.

مقدار آهن قابل استفاده در خاک‌های آهکی با پ- هاش بالا برای گیاهان حساس به کمبود آهن، از جمله سورگوم، کم می‌باشد. لذا باید آهن به صورت کلات یا ترکیباتی که بتوانند این کمبود را برطرف نمایند به خاک یا گیاه افزوده گردد. با توجه به اینکه استفاده از محلول‌پاشی سولفات آهن ممکن است به خوبی منابع کلاتی آهن در برطرف کردن کمبود این عنصر مؤثر باشد، در این پژوهش از این منابع مختلف آهن استفاده گردید. ضمناً با توجه به اینکه شکل معدنی آهن خیلی ارزان‌تر از کلات آهن است، بنابراین مقایسه منابع معدنی و کلاتی آهن، حائز اهمیت می‌باشد (۴۴). پژوهش حاضر با هدف مقایسه اثر محلول‌پاشی سه منبع آهن (نانوکلات آهن، سکوسترین آهن ۱۳۸ و سولفات آهن) بر پارامترهای کمی و کیفی گیاه سورگوم در شرایط گلخانه اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی منابع مختلف آهن بر پارامترهای رشدی، غلظت و جذب عناصر غذایی در سورگوم رقم پگاه، آزمایشی در شرایط گلخانه در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار طراحی و اجرا شد. تیمارها شامل سه سطح آهن (صفر، ۹۰ و ۱۸۰ میلی‌گرم آهن در لیتر) از سه منبع کودی (نانوکلات آهن، سکوسترین آهن ۱۳۸ و سولفات آهن) بودند. نانو کود کلات آهن دارای پایداری در بازه‌ی پ- هاش ۳ تا ۱۱ و ۹٪ آهن محلول در آب است.

در این آزمایش، نمونه خاک از افق سطحی سری چیتگر واقع در ۹ کیلومتری جنوب شرقی روستای نظرآباد شهرستان سروستان استان فارس جمع‌آوری گردید. این خاک از نوع Calcic Brown Soil است و در سیستم تاکسونومی خاک Typic Calcixerept، thermic، carbonatic، Fine-Loamy نامیده می‌شود (۱۲). پس از خشک کردن خاک و عبور از الک دو میلی‌متری، برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن از جمله بافت به روش هیدرومتری (۱۷)، ماده

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.20089082.1394.6.2.12.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.ejgcst.6.2.163]

جدول ۱. برخی ویژگی‌های خاک مورد آزمایش

ویژگی	مقدار
شن (٪)	۲۹/۵
رس (٪)	۲۵/۸
سیلت (٪)	۴۴/۷
بافت	لوم
پ- هاش (خمیر اشباع)	۷/۴۶
قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع (دسی‌زیمنس بر متر)	۰/۵۸
ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی مول(+) بر کیلوگرم)	۸/۴۰
کربنات کلسیم معادل (٪)	۴۴/۸
ماده آلی (٪)	۰/۹
نیتروژن نیتراتی (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)	۲/۱۵
فسفر قابل استخراج با بی‌کربنات سدیم (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)	۹/۶۷
پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)	۳۲۰
آهن قابل استخراج با DTPA (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)	۳/۲۱
منگنز قابل استخراج با DTPA (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)	۵/۰۶
مس قابل استخراج با DTPA (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)	۰/۶۵
روی قابل استخراج با DTPA (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)	۰/۵۲

آلی به روش اکسایش مرطوب (۴۷) قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع با هدایت‌سنج الکتریکی، پ- هاش در گل اشباع به وسیله پ‌هاش‌متر، ظرفیت تبادل کاتیونی (۵۴)، کربنات کلسیم معادل(۴۰)، نیتروژن کل به روش میکروکلدال (۱۸)، فسفر قابل استفاده (۴۸)، غلظت عناصر کم‌مصرف کاتیونی با عصاره‌گیر DTPA (۳۹) و پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیوم (۳۵) تعیین گردید. ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در جدول ۱ آورده شده است.

سه کیلوگرم خاک الک شده در کیسه‌های پلاستیکی ریخته شد. قبل از کشت بذرها، با توجه به نتایج آزمون خاک و برای جلوگیری از کمبود احتمالی عناصر ضروری، ۳۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک به صورت مونوکلسیم فسفات، ۱۰ میلی‌گرم روی، ۱۰ میلی‌گرم منگنز و ۵ میلی‌گرم مس در کیلوگرم خاک، از منبع نمک سولفاتی آنها به طور یکنواخت به تمام گلدان‌ها افزوده شد. نیتروژن به صورت اوره در دو نوبت، قبل از کشت و چهار هفته بعد از کشت، جمعاً به مقدار ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک افزوده شد. پس از چند روز که رطوبت خاک داخل کیسه‌ها مناسب بود، خاک کیسه‌ها کاملاً مخلوط و نمونه‌های خاک به گلدان‌های سه کیلوگرمی منتقل گردید. تعداد پنج عدد بذر سورگوم در هر گلدان در عمق حدود ۳ تا ۴ سانتی‌متری کشت گردید و گلدان‌ها تا رسیدن به حدود رطوبت گنجایش زراعی (ظرفیت مزرعه) آبیاری شدند. حدود ۱۰ روز پس از کشت، تعداد بوته‌ها در هر گلدان به سه عدد نهال یکنواخت کاهش داده شد. آبیاری گلدان‌ها در طول دوره رشد با آب مقطر و با روش توزین انجام گرفت. محلول‌پاشی منابع آهن در سه مرحله (پنج برگی، تمایز تقطه رشد و قبل از خوشه‌دهی) انجام شد.

هشت هفته پس از کاشت، ابتدا سبزینگی برگ‌ها با استفاده از کلروفیل‌متر دستی (SPAD-502) اندازه‌گیری و سپس گیاهان از محل طوقه قطع و پس از توزین و شستشو در آون در دمای ۶۵ درجه سلسیوس تا زمانی که وزن نمونه‌ها ثابت شد، خشک گردیدند و نمونه‌ها پس از توزین به‌وسیله آسیاب برقی پودر

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.20089082.1394.6.2.12.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.ejgcst.6.2.163]

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر کاربرد محلول‌پاشی نانو کود کلات آهن، سکوسترین آهن و سولفات آهن بر برخی پارامترهای رشد و غلظت عناصر غذایی در اندام هوایی و ریشه سورگوم

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	ارتفاع گیاه	قرائت کلروفیل
تیمار	۶	۱۸۱/۸۳***	۰/۷۵۲۳***	۸۷۸/۱۹***	۶۲/۲۲***
خطا	۱۴	۲/۳۷	۰/۰۴۵۲	۱۱/۴۹	۱/۸۰
ضریب تغییرات (٪)		۴/۱۰	۶/۶۰۵	۲/۸۷	۳/۴۳
		غلظت آهن اندام هوایی	جذب آهن اندام هوایی	غلظت فسفر اندام هوایی	غلظت منگنز اندام هوایی
تیمار	۶	۸۷۲/۱۸***	۲۸۷۲۸۴۸/۹۶***	۹۲۷۱۸/۳۴***	۳۰۲/۳۳***
خطا	۱۴	۲/۶۱	۲۴۱۶۵/۰۲	۶۴۰۰/۰۰۲	۱/۸۶
ضریب تغییرات (٪)		۲/۶۴	۶/۵۱	۶/۹۱	۲/۳۹
		غلظت روی اندام هوایی	غلظت مس اندام هوایی	غلظت آهن ریشه	جذب آهن ریشه
تیمار	۶	۵۰۰/۸۸ ^{ns}	۱۱/۷۹۵ ^{ns}	۷۰۰۴/۰۷۵۴ ^{ns}	۳۰۹۵۱۵/۳۱۸ ^{ns}
خطا	۱۴	۲۷۵/۵۵	۱۴/۴۲۹	۴۱۷۳/۰۲۳۸	۴۸۶۴۷/۵۳۷
ضریب تغییرات (٪)		۲۴/۴۴	۸۰/۶۵	۱۷/۷۰۸	۱۸/۴۵
		غلظت فسفر ریشه	غلظت منگنز ریشه	غلظت روی ریشه	غلظت مس ریشه
تیمار	۶	۹۹۴۴۲/۶۸۶ ^{ns}	۲۶/۹۲۷^{ns}	۹۳۷/۹۸ ^{ns}	۱۱/۰۴ ^{ns}
خطا	۱۴	۹۵۵۴۰/۲۳۷	۱۶/۰۷۵	۱۶۹۷/۰۳	۱۵/۰۷
ضریب تغییرات (٪)		۱۲/۹	۱۵/۶۷	۴۶/۷۷	۸۰/۰۰

***معنی‌دار در سطح ۰/۱٪ و ns غیر معنی‌دار از لحاظ آماری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن

گردیدند. برای تجزیه گیاه، یک گرم ماده خشک اندام هوایی و نیم گرم ماده خشک ریشه در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس خاکستر شده و سپس ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال به آن افزوده شد سپس، نمونه حل شده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عبور داده و حجم محلول صاف شده با آب مقطر به ۲۵ میلی‌لیتر رسانیده شد. غلظت عناصر با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری گردید. در پایان، داده‌های آزمایش توسط نرم-افزار SAS تجزیه و تحلیل گردید. مقایسه میانگین‌ها در سطح ۵٪ با آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

شاخص‌های رشدی سورگوم

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که محلول‌پاشی نانوکلات آهن، سکوسترین آهن و سولفات آهن در هر دو سطح آهن کاربردی بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه، ارتفاع و قرائت کلروفیل‌متر در سطح ۰/۱ درصد معنی‌دار بود. با افزایش سطح آهن در هر سه نوع کود کاربردی، وزن خشک اندام هوایی و ریشه، ارتفاع و میزان کلروفیل سورگوم در مقایسه با شاهد افزایش پیدا کرده است؛ اگرچه افزایش سطح آهن از ۹۰ به ۱۸۰ میلی‌گرم آهن از منبع نانوکلات و سکوسترین تأثیر معنی‌داری بر افزایش وزن خشک ریشه نداشته است (جدول ۳).

بیشترین عملکرد اندام هوایی (میانگین ۴۷/۳ گرم در گلدان) در تیمار ۱۸۰ میلی‌گرم آهن در لیتر از منبع سولفات آهن مشاهده گردید که با همین سطح آهن از منبع سکوسترین آهن تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین میزان وزن خشک اندام هوایی

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.20089082.1394.6.2.12.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.ejgcst.6.2.163]

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر محلول پاشی نانو کود کلات آهن، سکوسترین آهن و سولفات آهن بر برخی پارامترهای رشد در اندام هوایی و ریشه سورگوم

تیمار		وزن خشک اندام هوایی (گرم در گلدان)	وزن خشک ریشه (گرم در گلدان)	ارتفاع گیاه (سانتی متر)	قرائت کلروفیل متر (SPAD)
سطوح آهن (میلی گرم آهن بر لیتر)	منابع آهن				
۰	شاهد	۲۴/۷۰ d+	۲/۳۸ e	۸۰/۸ c	۳۲/۵ d
۹۰	سولفات آهن	۳۷/۹۰ b	۳/۲۷ bc	۱۱۹/۶۷ b	۴۰/۰ bc
	نانو کود کلات آهن	۳۲/۵۶ c	۳/۶۱ ab	۱۱۹/۶۷ b	۳۴/۵ d
	سکوسترین آهن	۳۵/۰۰ c	۳/۰۷ cd	۱۱۹/۶۷ b	۴۱/۰ b
۱۸۰	سولفات آهن	۴۷/۳۰ a	۳/۸۶ a	۱۳۲/۰ a	۴۵/۷ a
	نانو کود کلات آهن	۳۹/۷۳ b	۳/۵ ab	۱۲۶/۹ a	۳۷/۸ c
	سکوسترین آهن	۴۵/۷۵ a	۲/۸۴ d	۱۲۷/۳ a	۴۲/۳ b

+ : اعدادی که در یک حرف مشترک هستند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

(میانگین ۲۴/۷ گرم در گلدان) در تیمار شاهد مشاهده شد. کمترین وزن خشک ریشه نیز در تیمار شاهد (میانگین ۲/۳۸ گرم در گلدان) مشاهده گردید. بیشترین عملکرد ریشه در تیمار ۱۸۰ میلی‌گرم آهن در لیتر از منبع سولفات آهن به‌دست آمد که با سطوح ۹۰ و ۱۸۰ میلی‌گرم آهن در لیتر از منبع نانو کود کلات آهن تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳).

با افزایش سطوح آهن هر سه نوع کود کاربردی ارتفاع سورگوم به طور معنی‌داری افزایش یافت. بیشترین ارتفاع سورگوم (میانگین ۱۳۲ سانتی‌متر) در سطح ۱۸۰ میلی‌گرم آهن در لیتر از منبع سولفات آهن مشاهده شد که با همین سطح آهن از دو منبع کود کاربردی دیگر تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین ارتفاع در تیمار شاهد با میانگین ۸۰/۸ سانتی‌متر مشاهده گردید (جدول ۳).

کمترین میزان کلروفیل در تیمار شاهد با میانگین ۳۲/۵ مشاهده گردید. بیشترین میزان کلروفیل در سطح ۱۸۰ میلی‌گرم آهن در لیتر از منبع سولفات آهن اندازه‌گیری شد (جدول ۳).

گوس و جانسون (۳۱) نشان دادند که محلول‌پاشی آهن از منبع سولفات آهن باعث افزایش عملکرد دانه سویا می‌گردد. روستا و محسنیان (۵۲) در بررسی اثر محلول‌پاشی منابع مختلف آهن بر گیاه فلفل قرمز دریافتند که با افزایش سطح محلول‌پاشی آهن، فاکتورهای رشدی گیاه از جمله وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، تعداد برگ، قطر ساقه و ارتفاع گیاه در مقایسه با تیمار شاهد به طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد؛ هرچند بین منابع مختلف مورد بررسی یعنی Fe-EDTA و Fe-EDDHA از نظر خصوصیات مورد بررسی تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید. کایا و همکاران (۳۲) نیز نتایج مشابهی را در مورد گیاه گوجه‌فرنگی گزارش کردند. چاترجی و همکاران (۲۱) بیان کردند که کاهش میزان آهن، با کاهش میزان کلروفیل، عملکرد لوبیا سبز را به طور معنی‌داری کاهش داد.

غلظت و جذب آهن در گیاه

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر محلول‌پاشی هر سه نوع کود کاربردی بر غلظت و جذب آهن اندام هوایی سورگوم در سطح ۰/۱ درصد معنی‌دار بود؛ ولی بر غلظت و جذب آهن ریشه تأثیر معنی‌داری نداشت. با افزایش سطح آهن هر سه نوع کود کاربردی، غلظت و جذب آهن اندام هوایی افزایش معنی‌داری یافت (جدول ۴). بیشترین غلظت آهن در تیمار ۱۸۰ میلی‌گرم آهن در لیتر از منبع نانو کود کلات آهن با

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.20089082.1394.6.2.12.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.ejgcst.6.2.163]

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی نانو کود کلات آهن، سکوسترین آهن و سولفات آهن بر غلظت برخی عناصر غذایی در اندام هوایی و ریشه سورگوم

تیمار		غلظت آهن اندام هوایی (میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک)	جذب آهن اندام هوایی (میکرو گرم در گلدان)	غلظت فسفر اندام هوایی (میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک)	غلظت منگنز اندام هوایی (میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک)
سطح آهن (میلی‌گرم آهن در لیتر)	منبع آهن				
۰	شاهد	۳۱/۲ g	۷۷۱ d	۱۵۰۰ a	۶۹/۲۰ a
۹۰	سولفات آهن	۴۹/۹ f	۱۸۹۰ c	۱۰۶۰ cd	۶۱/۶۴ b
	نانو کود کلات آهن	۶۶ d	۲۱۴۸ c	۱۲۰۰ bc	۶۲/۳۰ b
	سکوسترین آهن	۵۵/۴ e	۱۹۳۸ c	۱۲۵۰ b	۶۲/۳۸ b
۱۸۰	سولفات آهن	۷۳/۸ b	۳۴۹۴ a	۹۸۰ d	۳۷/۸۲ e
	نانو کود کلات آهن	۸۱/۹ a	۳۲۵۷ ab	۱۰۵۰ cd	۵۴/۱۲ c
	سکوسترین آهن	۶۹/۷ c	۳۱۹۱ b	۱۰۷۰ cd	۵۱/ ۱۷ d

+ در هر ستون، اعدادی که حداقل در یک حرف مشترک هستند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

میانگین ۸۱/۹ میلی‌گرم آهن در کیلوگرم ماده خشک اندام هوایی مشاهده گردید. کمترین میزان غلظت آهن (میانگین ۳۱/۲ میلی‌گرم آهن در کیلوگرم ماده خشک اندام هوایی) در تیمار شاهد اندازه‌گیری شد. بیشترین میزان جذب آهن (میانگین ۳۴۹۴ میکروگرم در گلدان) در تیمار ۱۸۰ میلی‌گرم آهن در ۲ لیتر از منبع سولفات آهن به‌دست آمد، که با همین سطح آهن از منبع نانو کود کلات آهن تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین میزان جذب آهن در تیمار شاهد (میانگین ۷۷۱ میکروگرم در گلدان) اندازه گیری شد (جدول ۴). با توجه به کم بودن فراهمی آهن در خاک (۳/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و در نتیجه کمبود آهن در گیاه سورگوم، افزودن این عنصر غذایی از منابع مختلف به صورت محلول‌پاشی سبب افزایش غلظت آهن در گیاه شده است. رفع کمبود آهن سبب افزایش رشد گیاه، وزن خشک اندام هوایی و در نتیجه افزایش جذب آهن اندام هوایی گردیده است.

قاسمی فسایی و همکاران (۳۰) گزارش کردند که کاربرد کلات آهن سبب افزایش غلظت و جذب کل آهن در ۱۲ ژنوتیپ گیاه سویا گردید. یافته‌های نظران و همکاران (۱۰) نشان داد که محلول‌پاشی با نانو کود کلات آهن خضرا در مرحله ساقه‌دهی، غلظت آهن دانه گندم دیم را در مقایسه با شاهد ۳۲٪ افزایش داد. ضیائیان و ملکوتی (۵) گزارش کردند که مصرف برگی آهن موجب افزایش غلظت و جذب آهن در گندم گردید.

غلظت فسفر در گیاه

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که محلول‌پاشی منابع آهن کاربردی بر میزان غلظت فسفر اندام هوایی سورگوم در سطح ۰/۱ درصد معنی‌دار بود؛ ولی بر میزان غلظت فسفر ریشه سورگوم معنی‌دار نبود. با افزایش سطح آهن در هر سه نوع کود کاربردی، غلظت فسفر اندام هوایی در مقایسه با شاهد کاهش معنی‌داری یافت (جدول ۴). بیشترین غلظت فسفر اندام هوایی در تیمار شاهد (میانگین ۱۵۰۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم ماده خشک اندام هوایی سورگوم) مشاهده گردید. کمترین غلظت فسفر اندام هوایی (میانگین ۹۸۰ میلی‌گرم فسفر

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.20089082.1394.6.2.12.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.ejgcst.6.2.163]

در کیلوگرم ماده خشک اندام هوایی) در سطح ۱۸۰ میلی‌گرم آهن در لیتر از منبع سولفات آهن حاصل شد که با دو منبع کود کاربردی دیگر در همین سطح آهن تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴).

چاکرالحسینی و همکاران (۲) در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که با افزایش سطح آهن، میانگین غلظت فسفر در سویا به طور معنی‌داری کاهش یافت. داهیا و سینگ (۲۵) دریافتند که افزایش سطح آهن باعث کاهش غلظت فسفر در گیاه نخود شده و این امر احتمالاً به دلیل تشکیل فسفات آهن یا فسفات هیدروکسید آهن بوده است. مورگان و ماسکاگنی (۴۶) بیان کردند که با افزایش میزان آهن در گیاه گندم، غلظت فسفر در گیاه کاهش می‌یابد. دکاک و همکاران (۲۶) نیز گزارش کردند که غلظت فسفر در نتیجه کاربرد آهن در گیاه خردل کاهش پیدا کرد.

غلظت منگنز در گیاه

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که محلول‌پاشی کودهای آهن کاربردی بر غلظت منگنز اندام هوایی در سطح ۰/۱ درصد معنی‌دار می‌باشد؛ ولی بر غلظت منگنز ریشه تأثیر معنی‌داری نداشت. با افزایش سطح آهن در هر سه نوع کود کاربردی، غلظت منگنز اندام هوایی کاهش معنی‌داری پیدا کرد (جدول ۴). کاهش غلظت منگنز با افزایش سطح آهن می‌تواند به دلیل رابطه آنتاگونیستی آهن با منگنز در گیاه باشد. بیشترین غلظت منگنز اندام هوایی در تیمار شاهد (میانگین ۶۹/۲ میلی‌گرم منگنز در کیلوگرم ماده خشک اندام هوایی) مشاهده گردید و کمترین غلظت منگنز (میانگین ۳۷/۸۲ میلی‌گرم منگنز در کیلوگرم ماده خشک اندام هوایی) در سطح ۱۸۰ میلی‌گرم آهن در لیتر از منبع سولفات آهن اندازه‌گیری شد (جدول ۴).

سینگ و یداو (۵۳) اظهار داشتند که با افزودن آهن، غلظت منگنز در گیاه سورگوم به طور معنی‌داری کاهش یافته است. آنان دلیل این امر را رقابت میان آهن و منگنز برای اشغال محل‌های جذب روی ناقل‌ها در سطح ریشه ذکر می‌کنند. قاسمی فسایی و همکاران (۹) مشاهده کردند که مصرف ۲/۵ میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک، سبب کاهش معنی‌داری در میانگین غلظت و جذب کل منگنز دانه دو ژنوتیپ سویا به ترتیب به میزان ۵۱/۵ و ۴۹/۶ درصد نسبت به شاهد شد و کاربرد ۵ میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک، سبب کاهش معنی‌دار میانگین غلظت و جذب کل منگنز دانه ژنوتیپ‌ها به ترتیب به میزان ۳۸/۷ و ۳۷/۴ درصد نسبت به سطوح کم‌تر آهن گردید. ورما و مینهاس (۵۶)، کاهش غلظت منگنز در نتیجه افزایش آهن را گزارش کرده‌اند. موراگان (۴۵) نیز نتایج مشابهی را گزارش نمود.

غلظت روی و مس در گیاه

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که محلول‌پاشی کودهای آهن کاربردی بر میزان غلظت روی و مس اندام هوایی و ریشه سورگوم معنی‌دار نبود. چاکرالحسینی (۱) بیان کرد که کاربرد آهن اثر معنی‌داری بر میانگین غلظت روی در گیاه سویا و اثری بر غلظت و جذب مس کل به‌وسیله ذرت نداشت. رومی‌زاده و کریمیان (۵۱) نشان دادند که کاربرد آهن تأثیر معنی‌داری بر میانگین غلظت و جذب کل روی در گیاه سویا ندارد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که افزایش سطح آهن از هر سه منبع کود کاربردی باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی و ریشه، ارتفاع، میزان کلروفیل و غلظت و جذب آهن اندام هوایی در مقایسه با تیمار شاهد گردید. اما اثر افزایش سطح آهن، بر غلظت و جذب آهن ریشه معنی‌دار نبود. با توجه به اینکه اکثر پارامترهای اندازه‌گیری شده در تیمارهای محلول‌پاشی با سولفات آهن، در هر دو سطح آهن کاربردی، به طور معنی‌داری در مقایسه با دو منبع دیگر بیشتر بوده یا در یک گروه آماری قرار داشته، لذا می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد محلول‌پاشی سولفات آهن در مقایسه با سکوسترین آهن و نانو

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.20089082.1394.6.2.12.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.ejgcst.6.2.163]

کود کلات آهن سبب افزایش رشد و بهبود برخی خصوصیات گیاه سورگوم در شرایط گلخانه می‌گردد.

اساساً جذب عنصر غذایی به وسیله سلول‌های برگ مشابه جذب توسط سلول‌های ریشه است و مرحله اصلی جذب، عبور عنصر غذایی از غشای پلاسمایی است. انتقال آهن از غشای پلاسمایی سلول به احیای Fe^{3+} قبل از ورود به سیتوسول بستگی دارد (۲۴). لذا، آهن به صورت Fe^{2+} جذب می‌شود (۲۸) و در واقع از یک کانال ویژه در غشای پلاسمایی عبور می‌کند (۲۹). پس احتمالاً دلیل جذب بیشتر آهن از منبع سولفات آهن می‌تواند شکل آهن به صورت دو ظرفیتی باشد. در حالی که در منابع کلاتی آهن، ابتدا باید Fe^{3+} به Fe^{2+} احیا شود و سپس از غشای پلاسمایی عبور کند. همچنین، سرعت جذب تابع غلظت عنصر غذایی در آپوپلاست برگ است که عمدتاً توسط سرعت انتشار یون‌ها از عرض کوتیکول کنترل می‌شود و همچنین تابع میزان غلظت عنصر غذایی در محلول پاشیده شده روی برگ و بار الکتریکی عنصر غذایی است که احتمالاً در منابع آهن کاربردی این ویژگی متفاوت بوده است. به عبارتی، در سولفات آهن، سرعت جذب بیشتر بوده است (مقایسه Fe^{2+} در سولفات آهن با Fe^{3+} در کلات). از دلایل دیگر بهبود خصوصیات کمی و کیفی گیاه سورگوم در محلول‌پاشی سولفات آهن در مقایسه با دو منبع دیگر آهن، می‌توان به کمتر بودن پ- هاش محلول اشاره کرد. زیرا در محلول‌هایی که پ- هاش کم باشد، نفوذ مواد به درون کوتیکول بیشتر بوده و لذا سبب افزایش بازده محلول پاشیده شده به برگ‌ها می‌شود (۱۱). در صورتی که این نتایج در شرایط مزرعه نیز تأیید گردد، با توجه به قیمت کمتر سولفات آهن در مقایسه با دو منبع کود دیگر، از لحاظ اقتصادی نیز کاربرد این کود به صورت محلول‌پاشی مقرون به صرفه می‌باشد و باعث بهبود خصوصیات کمی و کیفی گیاه سورگوم می‌گردد.

با افزایش سطح آهن، غلظت فسفر و منگنز اندام هوایی در سورگوم کاهش یافت؛ ولی غلظت فسفر و منگنز ریشه تحت تأثیر سطوح آهن کاربردی قرار نگرفت. بنابراین، در توصیه کودی آهن، بایستی رابطه ضدیتی آهن و منگنز و همچنین نقش آهن در کمبود احتمالی فسفر و منگنز مد نظر قرار بگیرد و با کاربرد مقدار مناسب آهن، این عناصر به نحو مطلوب مدیریت شوند. افزایش سطح آهن تأثیر معنی‌داری بر غلظت مس و روی اندام هوایی و ریشه نداشت.

سپاسگزاری

بدین وسیله از مسئولین محترم دانشگاه شیراز برای تأمین وسایل و امکانات لازم برای انجام این پژوهش صمیمانه قدردانی می‌گردد و همچنین از همکاری صمیمانه آقای مهندس خلیل منصوری فر در تهیه این مقاله تقدیر و تشکر می‌گردد.

منابع مورد استفاده

۱. چاکرالحسینی، م. ر. ۱۳۷۸. تأثیر فسفر و آهن بر رشد و ترکیب شیمیایی ذرت و سویا. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

۲. چاکرالحسینی، م. ر.، ع. رونقی، م. مفتون و ن. ع. کریمیان. ۱۳۸۱. پاسخ سویا به کاربرد آهن و فسفر در یک خاک آهکی. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۶(۴): ۹۱-۱۰۱.

۳. زرین کفش، م. ۱۳۷۱. حاصلخیزی خاک. انتشارات دانشگاه تهران، ۴۴۰ صفحه.

۴. صفاری، ح. ۱۳۸۴. بررسی تأثیر روش و میزان مصرف بهینه کودهای ریزمغذی حاوی آهن و روی بر عملکرد کمی و کیفی و درصد روغن کلزا. مجموعه مقالات سمینار علمی و کاربردی صنعت روغن نباتی ایران. تهران، صفحات ۳۵۰-۳۵۶.

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.20089082.1394.6.2.12.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.ejgcst.6.2.163]

۵. ضیائیان، ع. و م. ج. ملکوتی. ۱۳۷۹. بررسی گلخانه‌ای اثرات مصرف آهن، منگنز، روی و مس بر تولید گندم در خاک‌های شدیداً آهکی استان فارس. مجله آب و خاک ۱۲(۱۳): ۴۲-۵۵.

۶. طباطبایی، س.، ع. رزازی، ا. ح. خوشگفتارمنش، ن. خدائیان، ز. مهرابی، ش. فتحیان، ا. عسکری، ف. رمضان‌زاده و ح. عرب‌زادگان. ۱۳۹۰. پاسخ برخی گیاهان به کمبود آهن در محیط کشت بدون خاک. نشریه زراعت (پژوهش و سازندگی) ۹۰: ۶۶-۷۳.

۷. عابدی قشلاقی، ا. و ع. تفضلی. ۱۳۸۳. تأثیر محلول‌پاشی سولفات آهن و اسید سیتریک بر خواص کمی و کیفی گیاه گوجه‌فرنگی رقم اوربانا. علوم کشاورزی و منابع طبیعی ۱۱(۴): ۷۱-۷۹.

۸. عشقی زاده. ح. ر.، ا. ح. خوشگفتارمنش، ع. اشرفی، ا. ح. معلم، ن. پورسخی، ن. پورقاسمیان، م. گرجی و ا. میلادی. ۱۳۸۷. آهن‌کارایی تعدادی از محصولات زراعی در محیط کشت محلول. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۴۶(۴): ۶۵۵-۶۶۶.

۹. قاسمی فسایی، ر.، ع. رونقی، م. مفتون و ن. کریمیان. ۱۳۸۵. تأثیر آهن بر عملکرد و ترکیب شیمیایی دانه ژنوتیپ‌های سویا. مجله علمی کشاورزی ۲۹(۲): ۱-۱۲.

۱۰. نظران، م. ح.، ح. خلج، م. ر. لبافی حسین آبادی، م. شمس آبادی و ع. زازی. ۱۳۸۸. بررسی اثر زمان محلول‌پاشی نانو کود آلی کلات آهن بر خصوصیات کمی و کیفی گندم دیم. مجموعه مقالات همایش ملی دستاوردهای نوین در زراعت، شهر قدس، صفحات ۲۱۷-۲۲۳.

۱۱. خلدبرین، ب. و ط. اسلام زاده. ۱۳۸۰. تغذیه معدنی گیاهان عالی. انتشارات دانشگاه شیراز، جلد ۱

12. Abtahi, A. 1980. Soil genesis as affected by topography and time in highly calcareous parent materials under semiarid conditions in Iran. Soil Sci. Soc. Am. J. 44(2): 329-336.
13. Al-Jaloud, A., G. Hussain, A. Al-Saati and S. Karimullah. 1993. Effect of municipal treated wastewater on yield of maize and sorghum soil properties. Arid Soil Res. Rehabil. 7: 173-179.
14. Al-Jaloud, A., G. Hussain, A. Al-Saati and S. Karimullah. 1995. Effect of wastewater irrigation on mineral composition of corn and sorghum plant in a pot. J. Plant Nutr. 18: 1677-1692.
15. Alma, D., B. Gonzalez and J.G.W. Jones. 1995. Models of sorghum and pearl millet to predict forage dry matter production in semi-arid Mexico. I. Simulation models. Agric. Sys. 47: 133-145.
16. Banaei, M.H., A. Moameni, M. Baybordi and M.J. Malakouti. 2005. The soil of Iran: New Achievements in Perception, Management and Use. SANA Publishing, Tehran, Iran, 481 p.
17. Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. Agron. J. 54: 464-465.
18. Bremner, J.M. 1996. Nitrogen-total. PP. 1085-1122. *In:* Sparks et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 3, SSSA, ASA, Madison, WI.
19. Cakmak, I., B. Torun, B. Erenoglu, L. Ozturk, H. Marschner, M. Kalayci, H. Ekiz and A. Yilmaz. 1998. Morphological and physiological differences in cereals in response to zinc deficiency. Euphytica 100: 349-357.
20. Cakmack, I. and H.J. Braun. 2001. Genotypic variation for zinc efficiency. *In:* Reynolds, M.P., J.I. Ortiz-Monasterio and A. McNab (Eds.), Application of Physiology in Wheat Breeding, CIMMYT, Mexico.
21. Chatterjee, C., R. Gopal and B.K. Dub. 2006. Physiological and biochemical responses of French bean to excess cobalt. J. Plant Nutr. 29: 127-136.
22. Chen, Y., J. Shi, G. Tin, S. Zheng and Q. Lin. 2004. Fe deficiency induces Cu uptake and accumulation in Commelia communis. Plant Sci. 166: 1371-1377.
23. Chohura, P., E. Kolota and A. Komosa. 2007. The effect of different sources of iron on nutritional value of greenhouse tomato fruit grown in peat substrate. Vegetable Crops Res. Bull. 67: 55-61.
24. Crowley, D.E., Y.C. Wang, C.P.P. Reid and P.J. Szaniszlo. 1991. Mechanisms of iron acquisition from siderophores by microorganisms and plants. PP. 213-232. *In:* Chen, Y. and Y. Hadar (Eds.), Iron Nutrition and Interactions in Plants, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
25. Dahiya, S.S. and M. Singh. 1976. Effect of salinity, alkalinity and iron application on the availability of iron, manganese, phosphorus and sodium in pea (*Pisum sativum* L.) crop. Plant Soil 44: 697-702.
26. Dekock, P.C., A. Holland and M. McDonald. 1960. A relation between the ratios of phosphorus to iron and potassium to calcium in mustard leaves. Plant Soil 12: 128-141.
27. Dogget, H. 1988. Sorghum. 2nd Edition, Longman, Harlow, 512 p.

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.20089082.1394.6.2.12.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.ejgcst.6.2.163]

28. Fox, T.C., J.E. Shaff, M.A. Grusak, W.A. Norvell, Y. Chen, R.L. Chaney and L.V. Kochian. 1996. Direct measurement of ^{59}Fe labeled Fe^{2+} influx in roots of pea using a chelator buffer system to control free Fe in solution. Plant Physiol. 111: 93-100.
29. Fox, T.C. and M.L. Guerinot. 1998. Molecular biology of cation transport in plants. Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 49: 669-696.
30. Ghasemi-Fasaei, R., A. Ronaghi, M. Maftoun, N. Karimian and P.N. Soltanpour. 2003. Influence of FeEDDHA on iron-manganese interaction in soybean genotypes in calcareous soil. J. Plant Nutr. 26: 1815-1823.
31. Goos, R.J. and B.E. Johnson. 2001. Seed treatment, seeding rate, and cultivar effects on iron deficiency chlorosis of soybean. J. Plant Nutr. 24: 1255-1268.
32. Kaya, C., D.E.B. Higgs and A. Burton. 1999. Foliar application of iron as a remedy for zinc toxic tomato plants. J. Plant Nutr. 22: 1829-1837.
33. Kelly, T.G. and P.P. Rao. 1993. Sorghum and millets in Asia. PP. 95-117. *In:* Byth, D.E. (Ed.), Sorghum and Millets Commodity and Research Environments, ICRISAT, Patancheru, Andhra Pradesh, India.
34. Kinaci, E. and N. Gulmezoglu. 2007. Grain yield and yield components of triticale upon application of different foliar fertilizers. Interciencia 32: 624-628.
35. Knudsen, D., G.A. Peterson and P.F. Prat. 1982. Lithium, sodium and potassium. PP. 225-246. *In:* Page, A.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 2, Monograph No. 9, Am. Soc. Agron., Madison, WI.
36. Koksal, A.L., H. Dumanoglu, N. Tuna Gunes and M. Aktas. 1998. The effect of different amino acid chelate foliar fertilizers on yield, fruit quality, shoot growth and Fe, Zn, Cu, Mn content of leaves in Williams pear cultivar (*Pyrus communis* L.). Turk. J. Agric. Forest. 1998. 23: 651-658.
37. Komasa, A., E. Kolota and P. Chohura. 2002. Usefulness of iron chelates for fertilization of greenhouse tomato cultivated in rockwool. Veget. Crop Res. Bull. 55: 35-40.
38. Ksouri, R., A. Debez, H. Mahmoudi, Z. Ouerghi, M. Gharsalli and M. Lachaal. 2007. Genotypic variability within Tunisian grapevine varieties (*Vitis vinifera* L.) facing bicarbonate-induced iron deficiency. Plant Physiol. Biochem. 45: 315-322.
39. Lindasy, W.I. and W.A. Norvell. 1978. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421-428.
40. Loppert, R.H. and D.L. Suarez. 1996. Carbonate and gypsum. PP. 437-474. *In:* Sparks et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 3, SSSA, ASA, Madison, WI.
41. Mahmoudi, H., R. Ksouri, M. Gharsalli and M. Lachaal. 2005. Differences in responses to iron deficiency between two legumes: Lentil (*Lens culinaris*) and chickpea (*Cicer arietinum*). J. Plant Physiol. 162(11): 1237-1245.
42. Mahmoudi, H., N. Labidi, R. Ksouri, M. Gharsalli and C. Abdelly. 2007. Differential tolerance to iron deficiency of chickpea varieties and Fe resupply effects. Comp. Ren. Biol. 330(3): 237-246.
43. Martens, D.G. and D.T. Westerman. 1991. Fertilizer application for correcting micronutrient deficiency. PP. 549-592. *In:* Mortvedt, J.J., F.R. Cox, L.M. Shuman and R.M. Welch (Eds.), Micronutrients in Agriculture, Madison, WI, SSSA Book Series.
44. Mengel, K., E.A. Kirkby, H. Kosegarten and T. Appel. 2001. Principles of Plant Nutrition. 5th Edition, Kluwer Publ., Dordrecht, The Netherlands.
45. Moraghan, J.T. 1985. Manganese deficiency in soybean as affected by FeEDDHA and low soil temperature. Soil Sci. Soc. Am. J. 49: 1581-1586.
46. Moraghan, J.T. and H.J. Mascagni. 1991. Environmental and soil factors affecting micronutrient deficiencies and toxicities. Soil Sci. Soc. Am. J. 27: 371-425.
47. Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. PP. 961-1010. *In:* Sparks, D.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 3, 3rd Ed., SSSA, Madison, WI.
48. Olsen, S.R., C.V. Cole, F.S. Vatanabe and L.A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circular 939: 1-19, Gov. Printing office, Washington, DC.
49. Olufayo, A., C. Baldy and P. Ruelle. 1996. Sorghum yield, water use and canopy temperatures under different levels of irrigation. Agric. Water Manage. 30: 77-90.
50. Römheld, V. and H. Marschner. 1986. Mobilization of iron in the rhizosphere of different plant species. Adv. Plant Nutr. 2: 155-204.
51. Roomizadeh, S. and N. Karimian. 1996. Manganese-iron relationship in soybean grown in calcareous soils. J. Plant Nutr. 19: 397-406.
52. Roosta, H.R. and Y. Mohsenian. 2012. Effects of foliar spray of different Fe sources on pepper (*Capsicum annum* L.) plants in aquaponic system. Sci. Hort. 146: 182-191.
53. Singh, M. and D.S. Yedave. 1980. Effect of copper, iron and liming on growth, concentration and uptake of Cu, Fe, Mn and Zn in sorghum. J. Indian Soc. Soil Sci. 28: 113-118.
54. Sumner, M.E. and W.P. Miller. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. PP. 1201-1229. *In:*

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.20089082.1394.6.2.12.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.ejgcst.6.2.163]

Sparks, D.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 3, 3rd Ed., SSSA, ASA, Madison, WI.
55. Thoiron, S. and J. Briat. 1999. Differential expression of maize sugar responsive genes in response to iron deficiency. Plant Physiol. Biochem. 37(10): 759-766.
56. Verma, T.S. and R.S. Minhas. 1989. Effect of iron and manganese interaction on paddy yield and iron and manganese nutrition in silicon-treated and untreated soils. Soil Sci. 147: 107-115.
57. Whitty, E.N. and C.G. Chambliss. 2005. Fertilization of Field and Forage Crops. Nevada State University Publication, 21 p.
58. Yousefi, S., M. Rabhi, C. Abdelly and M. Gharsalli. 2009. Iron deficiency tolerance traits in wild (*Hordeum maritimum*) and cultivated barley (*Hordeum vulgare*). Comp. Ren. Biol. 332(6): 523-533.

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.20089082.1394.6.2.12.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.ejgcst.6.2.163]