نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۱، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۶،ص.۱۱۱۹-۱۱۰۸

Journal of Water and Soil
Vol. 31, No. 4, Sept.-Oct.2017, p. 1108-1119

اثرسکوسترین آهن بر رشد گیاه سویا و توزیع شکل‌های شیمیایی آهن در خاک‌های استان فارس

لیلا تابنده*[۱] – محمدرضا بخشی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۲۸

چکیده

از بین عناصر کم مصرف مورد نیاز گیاهان، آهن، محدودیت‌های زیادی را برای محصولات کشاورزی استان فارس به خود اختصاص داده است.در یک آزمایش گلخانه‌ای،اثر کود سکوسترینآهن ۱۳۸ بر رشد و ترکیب شیمیایی رقم ویلیامز (*Glycine max L.*)سویا به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار، مورد مطالعه قرار گرفت. تیمارها،شامل ۳سطح کودی از منبع سکوسترین آهن (شاهد، ۵ و۱۰میلی‌گرم برکیلوگرم خاک) و۱۰ نمونه خاک‌می‌باشند. کاربرد آهن، منجر به افزایش معنی‌دار وزن خشک، غلظت و جذب آهن و کاهش معنی‌دار غلظت و جذب روی، مس و منگنز در گیاه سویا گردید.سکوسترین آهن، اثر معنی‌داری بر شکل‌های قابل استخراج باعصاره‌گیرهای دی‌تی‌پی‌ا، ای‌دی‌تی‌ا، شکل‌های آلی و تبادلی آهن نشان داد. شکلآلی اهن، با مقدار آهن قابل استفاده گیاهی (عصاره‌گیری شده با دی‌تی‌پی‌ا)، همبستگی مثبت معنی‌دار داشت. همچنین، بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های آهکی مورد مطالعه، با برخی از شکل‌های شیمیایی و مقدار جذب آهن گیاهی، همبستگی معنی‌داری نشان دادند.

واژه‌های کلیدی:آهن،ای‌دی‌تی‌ا،دی‌تی‌پی‌ا،عصاره‌گیری دنباله‌ای،ویژگی‌های فیزیکو شیمیاییخاک

مقدمه

کلروز ناشی از آهک، اصلی‌ترین مساله و معضل تولید سویا در مناطق آهکی است. از آنجا که زردبرگی به طور مستقیم کمبود غیر مستقیم یا فیزیولوژیک آهن می‌گردد، از این‌رو، تغذیه صحیح گیاه، یکی از عوامل مهم، در بهبود کمی و کیفی محصول به شمار می‌آید (۲۲). در تغذیه صحیح، علاوه براینکه عناصر ضروری به اندازه کافی در اختیار گیاه قرارمی‌گیرد، بلکه ایجاد تعادل و نسبت مناسب میان همه عناصر ضروری، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. درحالت عدم تعادل تغذیه‌ای، اضافه کردن عناصر ضروری، نه تنها باعث افزایش عملکرد نمی‌شود، بلکه اختلالاتی در رشد گیاه و نهایتاً کاهش عملکرد را باعث می‌شود (۱۸). شایع‌ترین کمبود تغذیه‌ای گیاهان زراعی درخاک‌های آهکی با کربنات کلسیم بالا (بیش از ۲۰ درصد)، ظهور کلروز آهن یا زرد برگی در اثر آهک می‌باشد (۲۲). در خاک‌های آهکی، یون بی‌کربنات، مهمترین عامل ایجاد سبز زردی در رقم‌های حساس سویا بوده ومنجر به کاهش قابلیت جذب آهن می‌گردد (۹).سیدروفورهایگیاهی (فیتوسیدروفور) ترکیباتی هستند که در شرایط کمبود آهن، از ریشه گیاهان ترشح می‌شوند. از ترکیب فیتوسیدروفور با آهن، کمپلکس‌های محلولی تشکیل می‌شود که سبب افزایش پویایی آهن خاک و نهایتاً افزایش آهن قابل جذب توسط گیاهان همراه می‌شود (۷،۳۵ و۳۶). یکی از مهمترین مشکلات تولید سویا در خاک‌های آهکی، کمبود آهن و در نتیجه کاهش فتوسنتز و عملکرد سویا می‌باشد. منابع آلی (سکوسترین) و معدنی (سولفات) آهن، برای تغذیه گیاهان در شرایط کمبود آهن به کاربرده می‌شود. ولیکن، ترکیبات آلی یا کلاته آهن (سکوسترین)، بهترین راه حل برای برطرف کردن کلروز آهن در همه خاک‌ها، بخصوص، خاک‌های آهکی می‌باشد (۲۳). در شرایط متغیر خاکی، یک عصاره‌گیر مناسب، باید بتواند تمام یا قسمتی از شکل‌های قابل استفاده گیاهی را از خاک‌هایی با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مختلف، خارج نماید و از طرفی، مقدار عنصر استخراج شده با یک عصاره‌گیر مناسب،

۱- کارشناس ارشد بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
(*- نویسنده مسئول:Email:ltabande@yahoo.com)
۲- کارشناس ارشد گروه خاک و آب سازمان جهاد کشاورزی زنجان، ایران
DOI: 10.22067/jsw.v31i4.56933

می‌بایست، بیشترین همبستگی را با پاسخ‌های گیاهی از جمله، عملکرد، غلظت و یا مقدار جذب کل عنصر در گیاه را نشان دهد (۵).محمودی و همکاران (۲۱) و قاسمی (۱۵) در بررسی اثر کاربرد کود سکوسترین آهن در خاک‌های آهکی تحت کشت سویا، گزارش کردند که با افزایش سطح آهن از تیمار شاهد تا سطح ۵ میلی‌گرم درکیلوگرم آهن خاک، منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد، غلظت و جذب آهن در سویا شده است.شریفی و همکاران (۲۶) بیان کردند که، از بین شکل‌های شیمیایی آهن، شکل متصل به ماده آلی و اکسیدهای منگنز به ترتیب با وزن خشک و جذب آهن در سویا، همبستگی مثبت معنی‌داری نشان داده‌است. در گزارشی نشان داده شد که، آهنقابلاستخراجیا DTPA باشکل‌های تبادلی،متصلبهاکسیدهایمنگنزواکسیدهایآهنمتبلور(بهترتیب $r=0/54^{**}$، $r=0/6^{**}$ و $r=0/41^{*}$) همبستگیمثبتمعنی‌داریداشته است و از بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمایی خاک‌های تحت کشت سویا، درصد رس، با شکل‌های شیمیایی آهن (تبادلی، متصل به ماده آلی، کل و باقیمانده) همبستگی مثبت معنی‌داری نشان داد (۲۶). محققان در نتایج آزمایشات خود، رابطهمثبت معنی‌داریباآهنقابلاستخراجیا DTPA و شکل‌های شیمیایی آهن تبادلی، متصل به ماده آلی و آهن متصل به اکسیدهای آهن و منگنز گزارش کردند (۳۰).

برخلاف نقش مهمی که عنصر آهن در گیاه به عهده دارد، هنوز اطلاع دقیقی از مقادیر آن در خاک‌های کشور وجود ندارد و معلوم نیست که سرنوشت کودهای آهن اضافه شده به خاکهایی با کمبود آهن، به کجا ختم می‌شود. آهکی بودن بیشتر خاکهای استان فارس و کمبود آهن در این خاک‌ها، نیاز به تحقیقات در این زمینه را دو چندان می‌کند. از این رو، با توجه به کمبود و توصیه‌های بی‌رویه این عنصر غذایی در خاک‌های آهکی، انجام پژوهش‌هایی جهت بررسی پاسخ‌های سویا به کاربرد سطوح مختلف کود سکوسترین آهن، به منظور تغذیه متعادل گیاه و استفاده بهینه از کود و رسیدن به عملکردهای اقتصادی و کشاورزی پایدار، از اولویت و اهمیت‌های خاصی برخوردارمی‌باشد. بنابراین از هدف‌های این تحقیق، ارزیابی اثرکاربرد سطوح مختلف کود سکوسترین آهن بر رشد و ترکیب شیمیایی سویا (غلظت و جذب عناصر آهن، روی، منگنز و مس گیاهی) و نحوه توزیع شکل‌های قابل استخراج با عصاره‌گیرهای دی‌تی‌پی‌ا، ای‌دی‌تی‌ا و سایر شکل‌های شیمیایی آهن (عصاره‌گیری دنباله‌ای) می‌باشد. نهایتاً،در صورت معنی‌دار بودن، همبستگی بین پاسخ‌های گیاهی سویا و شکل‌های شیمیایی آهن، با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی درخاک‌های آهکی، تحت مطالعه و بررسی قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

از بین۲۰ سری خاک مختلف استان فارس (افق سطحی۰ تا ۳۰سانتی‌متری)، تعداد۱۰ نمونه خاک با ویژگی‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی انتخاب گردید. خاک‌های منتخب، از شهرستان‌های مرودشت (کامفیروز)، سپیدان، فسا و سروستان که به ترتیب در قسمت‌های شمال، شمال غرب، جنوب و جنوب شرق شیراز واقع شده‌اند، جمع آوری شدند. نمونه‌های خاک، پس از خشک کردن در هوای آزاد، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند و طبق نتایج مندرج در جدول ۱، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های منتخب، به روش‌های مختلف اندازه‌گیری گردید. بافت خاک به روش هیدرومتری (۴)، ماده‌آلی به روش اکسیداسیون (۳۷)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم (۱۰)، کربنات کلسیم معادل با استفاده از اسیدکلریدریک (۳)، واکنش خاک در خمیر اشباع با الکترود شیشه‌ای، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع به وسیله دستگاه هدایت‌سنج و مقدار آهن خاک توسط عصاره‌گیرهای DTPA (۱۹)،EDTA (۶) اندازه‌گیری گردید. به منظور بررسی اثر کاربرد کود سکوسترین آهن بر پاسخ‌های گیاهی (عملکرد و ترکیب شیمیایی سویا)، از سه سطح آهن (۰، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک) به صورت سکوسترین ۱۳۸ آهن (Fe-EDDHA) و در سه تکرار استفاده شد. آزمایش گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل (فاکتور اول، ۱۰ نمونه خاک و فاکتور دوم، سطوح مختلف سکوسترین آهن) و در قالب طرح کاملاً تصادفی، به اجرا در آمد. از این‌رو، مقدار۲کیلوگرم از هر نمونه خاک انتخاب شده، داخل کیسه‌های پلاستیکی ریخته و جهت جلوگیری از کمبود احتمالی سایر عناصر غذایی، به تمامی آنها مقدار۴۰ میلی‌گرم درکیلوگرم فسفر به شکل $CaH_4(PO_4)_2$ ، ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن به شکل اوره، ۵، ۲/۵ و ۱۰ میلی‌گرم درکیلو گرم روی، مس و منگنز به شکل سولفاته داده شد و تمامی این عناصر به صورت محلول به خاک اضافه شدند. پس از کاشت شش عدد از بذر سویا (*Glycine max L.*) رقم ویلیامز در عمق حدود یک سانتی‌متری، رطوبت تمام گلدان‌ها با آب مقطر (به روش وزنی) به حد ظرفیت مزرعه رسانده شد و در حدود ۲ هفته پس از کاشت، تعداد بوته‌ها در هر گلدان به ۳ عدد کاهش داده شد. هشت هفته پس از تاریخ کاشت، گیاهان از محل طوقه قطع و دوبار در آب مقطر شسته و در آون در دمای ۶۵ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. پس از توزین، نمونه‌های گیاهی بوسیله آسیاب برقی پودر شدند. سپس، خاک هر گلدان، پس از خشک شدن کامل، از گلدان خارج و پس از کوبیدن، جدا کردن ریشه‌ها و عبور از الک۲ میلی‌متری، حدود ۵۰۰ گرم از خاک‌ها به آزمایشگاه منتقل شدند. استخراج شکل‌های شیمیایی آهن به روش عصاره‌گیری دنباله‌ای (۳۲)انجام شد و با دستگاه جذب اتمی قرائت و اندازه‌گیری گردید. شرح روش مذکور در جدول ۲ به اختصار آورده شده است.

جدول۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

Table 1 - Physical and chemical characteristics of studied soils

شماره خاک	OM %	Clay %	Silt %	Sand %	EC ($dS\ m^{-1}$)	CCE (%)	CEC ($Cmol_cKg^{-1}$)	pH	Fe-EDTA	Fe-DTPA ($mg\ Kg^{-1}$)
1	1.53	61.5	36	2.48	0.49	25.04	25.33	7.59	15.9	11.5
2	1.87	52.5	34	14.48	0.46	27.66	32.41	8.52	36.4	22
3	1.94	37.5	50	12.48	0.99	47.65	11.83	7.37	34	29.5
4	2.21	33.5	44	22.48	1.15	55.5	12.48	7.61	38.3	7.7
5	1.97	21.5	42	26.48	1.19	50.74	11.83	7.55	13.8	8.2
6	2.31	45.5	42	12.48	0.64	36.94	17.53	7.54	21.1	17
7	1.36	37.5	38	24.48	1.11	17.47	11.19	7.76	9.9	6.5
8	0.75	16.0	34	49.92	0.68	71.45	7.6	7.49	6.06	3.2
9	1.53	47.5	30	22.48	1.51	43.84	14.53	7.64	8.08	5.7
10	1.7	51.5	32	16.48	0.49	32.89	31.34	7.52	31.8	18.6

جدول ۲- مراحل مختلف عصاره‌گیری دنباله‌ای

Table 2 – Different stages of sequential extraction

شکل های شیمیایی Chemical forms	مدت تکان‌دادن (دقیقه) Shaking time (min)	میلی‌لیتر درگرم خاک (ml) per Soil weight (g)	عصاره‌گیر Extractant
Exch- Feآهن تبادلی	120	10:40	1 M $Mg(NO_3)_2$
Car- Feآهن کربناتی	300	10:40	1 M NaOAc
OM-Fe آهنآلی	30 minutes in boiling water	10:20Double Repeat	0.7 M NaOCl
اکسیدهای آهن بی‌شکل AFeOX-Fe	30 minutes in boiling water	5:50	0.25 M $NH_2OH.HCl$ + 0.25 M HCl
اکسیدهای آهن کریستالی CFeOX-Fe	30 minutes in boiling water	5:50	0.2 M $(NH_4)_2C_2O_4$ + 0.2 M $H_2C_2O_4$ + 0.1 M ascorbic acid

جهت تجزیه شیمیایی نمونه‌های گیاهی، یک گرم از ماده خشک گیاهی در کوره الکتریکی با دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد خاکستر شده، سپس در ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ مولار حل و پس از صاف کردن به حجم رسانده شدند. غلظت آهن، منگنز، مس و روی با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل (GBC Avanta P) اندازه‌گیری گردید (۱۴). در پایان، مقایسه میانگین بین نتایج حاصل از تجزیه نمونه‌های گیاه و خاک، با استفاده از نرم افزارکامپیوتری MSTATC و بررسی همبستگی بین پارامترهای مورد نظر، با استفاده از مدل‌های رگرسیونی ساده و چند متغیره گام به گام (Stepwise) با نرم افزار SPSS صورت گرفت.

نتایج و بحث

اثرکاربرد سکوسترین آهن بر عملکرد و ترکیب شیمیایی گیاه سویا (غلظت و جذب عناصر آهن، منگنز، مس و روی)

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول۱۱)، سطوح مختلف کود سکوسترین آهن، تاثیر معنی‌داری بر عملکرد، غلظت و جذب کل عناصر آهن، روی، منگنز و مس در سویا نشان داده است ($p<0.01$). این درحالی است که اثر نوع خاک زراعی، بر غلظت آهن گیاهی تاثیر معنی‌داری نشان نداد و در سایر پارامترهای مذکور، در سطح آماری یک درصد اختلاف معنی‌داری داشتند. نتایج مربوط به اثر کاربرد کود آهن بر وزن خشک گیاه (جدول۳) نشان داد که،کاربرد کود سکوسترین آهن در سطح ۵ و ۱۰ میلی‌گرم درکیلوگرم خاک، منجر به افزایش معنی‌دار، ماده خشک اندام هوایی سویا در مقایسه با شاهد شده، اما تفاوت معنی‌داری بین دو سطح ۵ و ۱۰ میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک وجود نداشت. همچنین، در این تحقیق مشخص گردید که، با افزایش سطوح ۰، ۵ و۱۰ میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک، غلظت و جذب آهن در سویا، به طور معنی‌داری، نسبت به شاهد، روند افزایشی نشان داده‌است (جدول۳). این یافته، مشابه با نتایج محمودی و همکاران (۲۱) و قاسمی (۱۵) می‌باشد. عباسپور و همکاران (۱) گزارش کردند که سکوسترین آهن سبب افزایش جذب

آهن شده و این کلات با قدرت زیادی آهن سه ظرفیتی را نگه می‌دارد و از رسوب آن در خاک جلوگیری می‌کند و بدین ترتیب غلظت آهن محلول در خاک افزایش می‌یابد. چاکرالحسینی (۸) گزارش کرد که، کاربردآهن به مقدار ۲/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، سبب افزایش معنی‌دار وزن ماده خشک سویا (رقم ویلیامز) گردید ولی کاربرد سطوح بالاتر آهن، میانگین وزن مادهٔ خشک را کاهش داد. رومی‌زاده و کریمیان (۲۹) مشاهده کردند که مصرف ۱۰ یا ۲۰ میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک، سبب کاهش وزن ماده خشک سویا (رقم پرشینگ) نسبت به شاهد گردید. چن و همکاران (۱۱) نشان دادند که با اضافه کردن کلات آهن FeEDDHA وزن خشک و جذب کل آهن افزایش یافته است.

جدول ۳- تاثیر سطوح آهن (میلی‌گرم درکیلوگرم خاک) بر وزن خشک، غلظت و جذب کل آهن در اندام هوایی سویا

Table 3- Effect of Fe levels (mg Kg^{-1} soil) on dry matter weight, Fe concentration and uptake in aerial parts of soybean

سطوح آهن Fe-levels (mg Kg^{-1})	غلظت آهن Fe-concentration (mg Kg^{-1})	وزن خشک Dry matter (g Pot^{-1})	جذب کل آهن Fe-uptake (µg Pot^{-1})
0	55.36^{B}	11.33^{B}	623.5^{B}
5	60.56^{AB}	12.4^{A}	753.6^{A}
10	65.48^{A}	12.07^{A}	787.9^{A}

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌دار ندارند (p≤۰/۰۵).

In each column, mean with the same letters are not significantly different (p≤0.05).

با توجه به نتایج مندرج درجدول۴، مصرف آهن، با کاهش معنی‌دار غلظت و جذب کل عناصر مس، منگنز و روی همراه بوده است. به‌طوریکه، در سطح کودی ۵ میلی‌گرم آهن برکیلوگرم خاک، به ترتیب منجر به کاهش ۲۵،۸۸ و ۳۱/۷ درصدی غلظت مس، منگنز و روی و کاهش جذب کل عناصر مس، منگنز و روی به ترتیب برابر با ۱۶، ۸۴/۳ و ۲۳ درصد در گیاه سویا گردید.

رومی‌زاده و کریمیان (۲۹) گزارش کردند که کاربرد آهن، منجر به اختلال در جذب منگنز توسط ریشه سویا یا انتقال آن از ریشه به اندام هوایی شده است. قاسمی فسایی (۱۵) نتیجه‌گیری کرد که کاربرد ۲/۵ میلی‌گرم آهن برکیلوگرم خاک، سبب کاهش معنی‌دار میانگین غلظت و جذب کل روی در اندام هوایی ژنوتیپ‌های سویا به میزان ۲۹/۲ و ۲۸/۴ درصد نسبت به شاهد گردید. ولیکن، آهن اثر معنی‌داری بر غلظت و جذب کل مس نشان نداد. از آنجا که عناصر کم مصرف ضروری، توسط ناقل‌های مشابهی جذب می‌شوند، لذا تحت شرایط کمبود آهن، تجمع منگنز، روی و مس در ریشه و بخش هوایی گیاه افزایش می‌یابد (۱۲). محققان، دلیل این امر را به وجود یک سیستم انتقال عمومی در سطح غشا پلاسمایی و وجود رقابت بین عناصر مذکور برای انتقال توسط این سیستم گزارش کرده‌اند (۱۷). چاکرالحسینی (۸) گزارش کرد که کاربرد آهن به میزان ۲/۵ میلی‌گرم برکیلوگرم خاک، سبب افزایش معنی‌دار جذب کل روی و مس در سویا شد و آن را ناشی از افزایش وزن خشک حاصل از کاربرد کود آهن دانست.

جدول ٤- اثر سطوح آهن (میلی‌گرم درکیلوگرم خاک) بر غلظت (میلی‌گرم درکیلوگرم) و جذب (میکروگرم در گلدان) منگنز، مس و روی در اندام هوایی سویا

Table 4- Effect of iron levels (mg kg^{-1} soil) on the concentration(mg kg^{-1}) and total uptake (µg pot^{-1}) of Mn, Cu and Zn in aerial parts of soybean plant.

سطوح آهن Fe-levels	Zn		Cu		Mn	
	جذب uptake		جذب uptake	غلظت concentration	جذب uptake	غلظت concentration
0	483.6^{A}	44.03^{A}	74.84^{A}	6.66^{A}	827.3^{A}	87.95^{A}
5	371.7^{B}	30.07^{B}	62.81^{B}	4.99^{B}	129.8^{B}	10.43^{B}
10	371.1^{B}	31.18^{B}	51.31^{C}	4.26^{C}	129.4^{B}	10.50^{B}

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌دار ندارند (p≤۰/۰۵).

In each column, mean with the same letters are not significantly different (p≤0.05).

همبستگی بین غلظت و جذب کل آهن در گیاه سویا با شکل‌های قابل استخراج (عصاره‌گیرهای DTPA و EDTA)

با توجه به معادلات رگرسیونی مندرج در جدول ۵، مقدار کل آهن جذب شده در سویا، رابطه مثبت معنی‌داری با مقدار آهن استخراج شده با DTPA و EDTA نشان داده است. این درحالی است که، هیچ همبستگی معنی‌داری بین غلظت آهن در گیاه با مقدار آهن قابل

استخراج توسط دو عصاره‌گیر دی‌تی‌پی‌ا و ای‌دی‌تی‌ا به‌دست نیامد. این یافته، مشابه با نتایج ملکوتی و همکاران (۲۲) است. آنها گزارش کردند که غلظت عناصر غذایی در بعضی موارد از جمله در اثر پدیده رقیق شدن، ممکن است نشان دهنده واقعی اثر تیمارها بر گیاه نباشد. در این موارد، در نظرگرفتن جذب این عناصر توسط گیاه، می‌تواند فاکتور مناسبی برای ارزیابی اثر تیمارها باشد.

جدول۵- رابطه آهن کل جذب شده در گیاه سویا با آهن عصاره‌گیری شده توسطDTPA و EDTA

Table 5 - Relationship between Fe total uptake in soybean plant with Fe extracted by DTPA and EDTA

معادله Equation	ضریب تبیین (R^2)
FeU= 478.548+11.1*FeDTPA	0.764^{**}
FeU= 479.42+6.69*FeEDTA	0.61^{**}
$FeU = 637.155- 38.212\ (FeEDTA) + 3.151(FeEDTA)^2 – 0.057(FeEDTA)^3$	0.95^{**}

**معنی‌داردرسطحاحتمال یک درصد FeUp: مخفف جذب کل آهن در سویا

**Significant at P< 0.01 FeUp:abreviation of total uptake of Fe in soybean

رابطه بین غلظت و جذب کل فلزات در گیاه با ویژگی‌های خاک

طبق نتایج بدست آمده، از بین ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد نظر، ماده‌آلی، همبستگی مثبت و پی‌هاش، همبستگی منفی با جذب کل آهن در سویا نشان داده است. این یافته، مشابه با نتایج عباسپور و همکاران (۱) می‌باشد. به‌طوریکه، آنها افزایش ۱/۳ برابری جذب آهن نسبت به شاهد و رفع کلروز آهن گیاه را در اثر استفاده از کاربرد آهن (لجن معادن آهن)، مربوط به اثرات مثبت ماده آلی در افزایش آهن قابل جذب دانستند. از عوامل خاکی موثر بر بروز کمبود آهن، می‌توان به عدم توازن بعضی عناصر غذایی مانند مس، روی و منگنز، مقدار زیاد فسفر و کربنات کلسیم و دمای پایین خاک، غلظت زیاد بی‌کربنات در محیط ریشه، میزان رطوبت کم در خاک، میزان کم مادهٔ آلی و بالا بودن pH خاک اشاره کرد (۲۹).

$FeUp=۳۶۵/۳۷۲+۱۵۰/۳۵۸*OM \quad R^2=(۱)۰/۴۰۴^*$

$FeUp= ۵۵۰۳/۲۲۲+۱۳۹/۵۵۸*OM-۶۷۸/۰۵۴pH(۲)$

$R^2= ۰/۶۹۲^*$

تاثیرسکوسترین آهن بر شکل‌های قابل استخراج با عصاره‌گیرهای DTPA و EDTA

طبق نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول۱۱)، سطوح مختلف کود سکوسترین آهن و نوع خاک زراعی، اثر معنی‌داری بر غلظت آهن عصاره‌گیری شده بوسیله دو عصاره‌گیر دی‌تی‌پی‌ا و ای‌دی‌تی‌ا نشان داده است ($p<0.01$). بنابراین، همانطورکه درجدول ۶ ملاحظه می‌گردد، سکوسترین آهن، منجر به افزایش معنی‌دار غلظت آهن قابل استخراج بوسیله عصاره‌گیرهای دی‌تی‌پی‌ا و ای‌دی‌تی‌ا شده است، به طوریکه با کاربرد ۵ و۱۰ میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک (از منبع سکوسترین)، منجر به افزایش۷/۳ و ۱۸/۶ درصدی غلظت آهن قابل استخراج با عصاره‌گیر DTPA و افزایش ۱/۸ و۱۰/۳درصدی غلظت آهن استخراجی با عصاره‌گیر EDTA نسبت به سطح شاهد (بدون کاربرد کود سکوسترین)گردید. بنابراین طبق نتایج به‌دست آمده، کاربرد آهن تاثیر بیشتری بر آهن قابل استخراج با عصاره‌گیر DTPA نشان داده است عباسپور و همکاران (۱) گزارش کردند که کاربرد سکوسترین، سبب افزایش جذب آهن شده و این کلات با قدرت زیادی آهن سه ظرفیتی را نگه می‌دارد و از رسوب آن در خاک جلوگیری می‌کند و بدین ترتیب غلظت آهن محلول در خاک، افزایش می‌یابد.

جدول٦- تاثیر سطوح آهن (میلی‌گرم درکیلوگرم خاک) برآهن قابل استخراج با عصاره‌گیرDTPA و EDTA

Table 6- The effect of iron levels (mg kg^{-1} soil) on Fe extracted by DTPA and EDTA extractants

Fe-levels (mg Kg^{-1})	Fe-DTPA (mg Kg^{-1})	Fe-EDTA (mg Kg^{-1})
0	13.06^{C}	21.54^{B}
5	14.01^{B}	21.94^{B}
10	15.49^{A}	23.75^{A}

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌دار ندارند (p≤۰/۰۵).

In each column, mean with the same letters are not significantly different (p≤0.05).

تاثیرکود سکوسترین آهن بر توزیع شکل‌های شیمیایی آهن به روش عصاره‌گیری دنباله‌ای

طبق نتایج مندرج درجدول ۷، از بین شکل‌های شیمیایی قابل استخراج با روش عصاره‌گیری دنباله‌ای سینگ و همکاران (۳۲)، کاربرد سطوح مختلفکود سکوسترین آهن، منجر به افزایش معنی‌دار شکل آهن تبادلی و آلی گردید و این اختلاف از نظر آماری، در سطح احتمال ۱ درصد ($p<0.01$) معنی‌دار بود (جدول ۱۰). به طوریکه، کاربرد بالاترین سطح کودی آهن (۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، نسبت به سطح شاهد (بدون کود سکوسترین آهن)، منجر به افزایش ۲۷ درصدی شکل آهن متصل به ترکیبات آلی گردید و شکل آهن تبادلی از حد ناچیز و غیر قابل اندازه‌گیری به ۲/۰۳ میلی‌گرم درکیلوگرم خاک، روند افزایشی معنی‌داری نشان داده‌است. همچنین، کاربرد کود آهن، منجر به افزایش سایر شکل‌های شیمیایی آهن از جمله، شکل‌های متصل به اکسیدهای کریستالی، بی‌شکلو تتمه گردید و مصرف ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم آهن در خاک نسبت به سطح شاهد، به ترتیب، منجر به افزایش ۴/۵، ۱/۹، ۵/۶۵ درصدی شکل-های شیمیایی تتمه، اکسیدهای آهن کریستالی و بی‌شکل شده است. ولیکن، این افزایش از نظر آماری، معنی‌دار، نبود (جدول ۱۰). همچنین، با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول۱۱)، نوع خاک، تاثیر معنی‌داری($p<0.01$) بر مقدار شکل‌های شیمیایی مذکور، نشان داده است که می‌توان آن را معلول ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی متفاوت خاک‌ها دانست.

جدول۷- اثر سطوح آهن بر توزیع شکل‌های شیمیایی آهن به روش سینگ و همکاران (۳۲)

Table7- Effect of Fe levels on distribution of chemical forms of Fe by Singh et al method (32)

سطوح آهن Fe-levels	آهن تتمه Res-Fe	اکسیدهای آهن کریستالی CFeOX-Fe	اکسیدهای آهن‌بی-شکل AFeOX-Fe	آهن آلی OM-Fe	آهن کربناتی Car- Fe	اهن تبادلی Exch- Fe
0	^{A}27115	^{A}7268	^{A}152.2	^{C}0.5569	^{A}1.833	^{C}nd
5	^{A}27475	^{A}7240	^{A}156.6	^{B}0.6260	^{A}1.842	^{B}0.6977
10	^{A}28346	^{A}7404	160.8 ^{A}	^{A}0.7070	^{A}1.704	^{A}2.03

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌دار ندارند ($p\leq$۰/۰۵).

In each column, mean with the same letters are not significantly different ($p\leq0.05$).

رابطه آهن عصاره‌گیری شده (EDTA و DTPA) با سایر شکل‌های شیمیایی آهن

با توجه به معادله رگرسیونی به دست آمده، از بین شکل‌های مختلف شیمیایی آهن به روش عصاره‌گیری دنباله‌ای سینگ و همکاران (۳۲)، شکل آلی آهن، همبستگی مثبت معنی‌داری با آهن قابل جذب گیاهی (استخراجی با عصاره‌گیر دی‌تی‌پی‌ا) نشان دادهاست. بنابراین، می‌توان چنین استنباط کرد که شکل آلی آهن، منبع بالقوه‌ای از آهن قابل استفاده خاک‌های آهکی استان فارس را، تشکیل داده‌است. این در حالی است که آهن استخراج شده با عصاره‌گیرای‌دی‌تی‌ا، با هیچ یک از شکل‌های شیمیایی رابطه رگرسیونی معنی‌داری نشان نداد.

$FeDTPA = 17.10 + 7.253*FeOMR^2=0.189*$(۳)

همبستگی بین شکل‌های قابل استخراج با عصاره‌گیرهای EDTA،DTPA و سایرشکل‌های شیمیایی (عصاره‌گیری دنباله‌ای) با ویژگی‌های خاک

بین شکل‌های قابل استخراج با عصاره‌گیرهای دی‌تی‌پی‌ا وای-دی‌تی‌ا با برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد نظر، همبستگی مثبت و منفی معنی‌دار به‌دست آمد. طبق نتایج مندرج درجدول۸، در خاک‌های آهکی تحت مطالعه، همبستگی منفی معنی‌داری بین آهن قابل استفاده گیاهی (DTPA) با pH به‌دست آمد ($r=۰/۷۲^{*}$). لوسنا (۲۰) گزارش کرد که در خاک‌های با پی‌هاش بین ۷/۵ تا ۸/۵، بدلیل غلظت بالای بی‌کربنات در محلول خاک، معمولاً حلالیت آهن کاهش یافته و در نتیجه آهن عمدتاً به صورت اکسی هیدروکسیدها رسوب کرده و مقدار آهن قابل استفاده در این خاک‌ها کاهش می‌یابد. یلویکار و همکاران (۳۴) همبستگی منفی بین آهن قابل عصاره‌گیری با DTPA و pH بدست آوردند.

در این تحقیق، بین آهن استخراج شده بوسیله عصاره‌گیرEDTA و ماده آلی، همبستگی مثبت معنی‌دار مشاهده شد ($r=۰/۷۵^{*}$) که مشابه با نتایج یلویکار و همکاران (۳۴) بود و همگی گویای آن است که، یک همبستگی مثبتی بین آهن قابل استخراج با عصاره‌گیر مذکور و ماده آلی خاک، وجود دارد. ماده آلی، تامین کننده الکترون، جهت احیاء آهن در خاک بوده و موجب کاهش پتانسیل رداکس و افزایش حلالیت آهن می‌شود.

همچنین، بین برخی از شکل‌های شیمیایی آهن (قابل استخراج به روش عصاره‌گیری دنباله‌ای) با ویژگیهای خاک، همبستگی مثبت یا منفی معنی‌دار به‌دست آمده است (جدول ۹).

جدول۸ - رابطه بین شکل‌های استخراجی آهن (عصاره‌گیرهایDTPA و EDTA) با ویژگی‌های خاکها

Table 8- The relationship between extractive forms of Fe(DTPA and EDTA extractants) with soil properties

معادله Equation	ضریب تبیین (R^2)
FeDTPA=550.62 - 71.2*pH	0.514*
FeDTPA=553.517-70.504*pH- 0.402*Sand	0.871**
Ln(FeEDTA)=-0.9763+ *OM1.1101	0.564*
FeEDTA=-9.304+*OM17.939	0.428*

*,** Significant at P< 0.05 and P< 0.01 at respectively

* , ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ است

شکل آهن کربناتی استخراج شده بوسیله استات سدیم با ظرفیت تبادل کاتیونی رابطه منفی و با کربنات کلسیم معادل رابطه مثبت نشان داد. همبستگی مثبت بین کربنات کلسیم خاک با شکل کربناتی آهن توسط هان و بنین (۱۶) گزارش شده است. آنها چنین استنباط کردند که شکل کربناتی فلزات، در خاک‌های آهکی با کربنات کلسیم در ارتباط مستقیم بوده و در سطوح این ترکیبات کربناته جذب می-شوند. سینگ و همکاران (۳۲) همبستگی آهن کربناتی را با مقدار رس و سیلت، مثبت و با مقدار شن، منفی گزارش کردند. طبق گزارشات ریحانی تبار و همکاران (۲۸)، اندازه ذرات کربنات کلسیم خاک، همبستگی بیشتری با عناصر کم مصرف در خاک ها، نسبت به مقدار کل کربنات کلسیم معادل نشان داده اند، که این گویای اهمیت اندازه ذرات کربنات کلسیم در مقایسه با مقدار کل آن در خاک می‌باشد.

دراین تحقیق، همبستگی بین شکل آلی آهن (عصاره گیری با هیپوکلریت سدیم) با پی‌هاش مثبت و معنی‌دار نشان داده شد. ناگانوما و همکاران (۲۴) گزارش کردند که با افزایش پی هاش، بر اثر حل شدن مواد آلی، منجر به افزایش شکل متصل به ترکیبات آلی می‌شود. بنابراین، می‌توان چنین استنباط کرد که از بین ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه، پی‌هاش، تاثیر بسزایی در مقدار شکل آلی استخراج شده با هیپوکلریت سدیم نشان داده است. نیمان و همکاران (۲۵) گزارش کردند که ترکیبات محلول و نامحلول مواد آلی خاک، تاثیر بسزایی در افزایش یا کاهش حلالیت آهن به عهده دارند. تحرک آهن و ارتباط آن با مواد آلی خاک، به خواص ترکیبات آلی از جمله، گروه‌های عاملی مواد آلی و همچنین ویژگیهایی از خاک مانند پی‌هاش و ظرفیت تبادل کاتیونی و قدرت یونی وابسته می‌باشد.

اکسیدهای آهن بی‌شکل، با ظرفیت تبادل کاتیونی و رس رابطه مثبت معنی‌دار و با کربنات کلسیم معادلو شوری خاکهمبستگی منفی معنی‌دار نشان دادند. رابطه مثبت بین اکسیدهای بی شکل آهن و رس در پژوهش‌های سایر محققین نیز گزارش شده است (۳۲، ۳۳). شومان (۳۱) بیان کرد که یکی از قوی‌ترین همبستگی‌های بین شکل‌های مختلف عناصر و ویژگی های خاک، مرتبط با ظرفیت تبادل کاتیونی می‌باشد.

بین اکسیدهای آهن کریستالی وظرفیت تبادل کاتیونی،رابطه مثبت و با شوری خاک و سیلت، همبستگی منفی معنی‌دار مشاهده شد. ادهیکاری و همکاران (۲)گزارش کردند که آهن کریستالی با مقدار رس در خاک رابطه مثبت معنی‌داری نشان داده است.

همچنین، مقدارآهن تتمه و کل، با درصد سیلت و ماده آلی همبستگی مثبت معنی‌داری بدست آمد. همبستگی بین آهن تتمه با مقدار سیلت و ماده آلی، موافق با نتایج بسیاری از محققین از جمله سینگ و همکاران (۳۲)می‌باشد. مطالعات متعدد در این باره حاکی از آن است که رابطه مثبتی بین مقدار آهن کل با مقدار رس (۱۳، ۲۷، ۳۴، ۳۸) و همچنین همبستگی مثبت معنی داری بین آهن کل با ماده آلی (۳۴)به‌دست آمده است. آنها گزارش کردند که با افزایش درصد رس و ماده‌آلی خاک‌های مورد مطالعه، شکل آهن کل، روند افزایشی نشان داده است.

همبستگی بین شکل‌های مختلف شیمیایی آهن

در ارتباط بین شکل های شیمیایی آهن مشخص گردید که مقدار آهن کربناتی با اکسیدهای آهن بی شکل و اکسیدهای آهن کریستالی همبستگی منفی معنی‌دار نشان داده است و همچنین همبستگی منفی معنی دار بین آهن متصل به مواد آلی با اکسیدهای آهن بی‌شکل نیز بدست آمد (جدول۱۰). این در حالی است که بین اکسیدهای آهن بی شکل و کریستالی همبستگی مثبت معنی‌دار نشان داده شد و همچنین بین مقدار آهن کل با آهن تتمه همبستگی مثبت معنی‌داری گزارش گردید. بنابراین وجود یک همبستگی معنی‌دار بین شکل‌های مختلف آهن، دلیلی بر وجود رابطه پویا بین این شکل‌های شیمیایی در خاک های مورد مطالعه می باشد.

جدول۹- همبستگی بین شکلهای شیمیایی آهن با ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها

Table 9- The correlation between the chemical forms of Fe with physicl and chemical properties of soils

ویژگیهای خاک Soil properties	آهن تتمه Res-Fe	آهن کل T-Fe	اکسیدهای آهن کریستالی CFeOX-Fe	اکسیدهای آهن بی‌شکل AFeOX-Fe	آهن کربناتی Car-Fe	آهن آلی OM-Fe
OMماده آلی	*0.754	**0.749**	**-0.253**	**-0.092**	**-0.019**	**0.207**
pH پی‌هاش	-0.172	-0.179	0.020	0.014	-0.086	0.682*
CECظرفیت تبادل کاتیونی	-0.154	-0.206	0.834**	0.801**	-0.78**	-0.262
CCEکربنات کلسیم معادل	-0.405	-0.153	-0.623	-0.737*	0.764*	0.082
ECهدایت الکتریکی	0.132	0.012	-0.78**	-0.695*	0.551	0.621
Sandشن	-0.320	0.38	-0.221	0.547	0.461	0.086
Silt سیلت	*0.718	*0.647	-0.71*	-0.385	0.462	-0.101
Clayرس	-0.152	-0.064	0.571	0.708*	-0.598	-0.088

*,** Significant at P< 0.05 and P< 0.01 at respectively * , ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ است

جدول ۱۰- همبستگی بین شکلهای شیمیایی آهن به روش سینگ و همکاران (۱۹۸۸)

Table 10- The correlation between the chemical forms of Fe by method of Singh et al (1988)

شکلهای شیمیایی Chemical forms	آهن کربناتی Car-Fe	آهن آلی OM-Fe	اکسیدهای آهن بی-شکل Aox-Fe	اکسیدهای آهن کریستالی Cox-Fe	آهن تتمه Res-Fe
OM-Fe آهن آلی	0.289 ns				
AFeOX-Fe اکسیدهای آهن بی‌شکل	-0.765*	-0.507**			
CFeOX-Fe اکسیدهای آهن کریستالی	-0.754**	-0.229ns	0.738*		
T-Fe آهن کل	-0.124ns	-0.1ns	0.037ns	-0.277ns	
Res-Fe آهن تتمه	-0.003ns	-0.047ns	-0.08ns	-0.413*	0.99*

*,** Significant at P< 0.05 and P< 0.01 at respectively * , ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ است

کاربرد کود سکوسترین آهن، منجر به افزایش معنـی‌دار برخـی از پاسخ‌های گیاهی (عملکرد، غلظت و جذب آهن)و شـکل‌هـای قابـل استخراج با عصاره‌گیرهای دی‌تی‌پـی‌ا، ای‌دی‌تـی‌ا و علـی الخصـوص شکل‌های تبادلی و آلی آهن خاک گردید.از آنجا که نتـایج نشـان داد، کمتر از یک درصد از شکل‌های شیمیایی آهن خـاک، در شـکل‌هـای تبادلی، کربناتی، آلی و متصل به اکسیدهای آهن بی‌شـکل بـه دسـت آمد. از این رو، قسمت عمده شکل‌های شـیمیایی آهـن، درشـکلکل و تتمه گـزارش شـد و ایـن شـکل‌هـای شـیمیایی، همبسـتگی مثبـت معنی‌داری با مقدار ماده‌آلی خاک نشـان دادنـد. همچنـین، مقـدارآهن قابل استخراج با عصاره‌گیرهای دی‌تی‌پی‌ا، ای‌دی‌تی‌ا و مقـدار جـذب کل آهن گیاهی، با پی‌هاش همبستگی منفی و با ماده‌آلی همبسـتگی مثبت داشتند. در نتیجه، از بین ویژگیهای فیزیکی و شـیمیایی خـاک-های مورد نظر، دو پارامتر ماده‌آلی و پی‌هاش، بر مقدار آهـن در گیـاه تاثیر بسزایی داشتند. به‌نحویکه، با افزایش قلیائیت و کاهش مـاده‌آلـی خاک، مقدار جذب آهن در سویا روند کاهشی نشان داده است. از آنجا که، کاربرد کود سکوسترین آهن، با افزایش معنی‌دار، شکل‌هـای آلـی آهن و قابل استفاده گیاهی (دی‌تی‌پی‌ا) همراه بـوده اسـت و از سـوی دیگر به دلیل رابطه رگرسیونی معنـی‌دار ($r=۰/۴۳۵^{*}$) بـین دو شـکل شیمیایی آلی و قابل جـذب گیـاهی (عصـاره‌گیـری بـا دی‌تـی‌پـی‌ا)، می‌توان چنین استنباط کرد که، شـکلآلی، قسـمت عمـده آهـن قابـل جذب گیاهی را به خود اختصاص داده و یکی از دلایـل عکـس‌العمـل مثبت پاسخ گیاه به کاربرد کود سکوسترین درخاک‌های مورد مطالعـه (pH=۷/۳-۸/۵)، منوط به افزایش معنی‌دار شکل‌هـای قابـل جـذب آهن خاک می‌باشد.

جدول۱۱- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر عملکرد، غلظت و جذب کل عناصر کم‌مصرف و شکل‌های مختلف شیمیایی آهن

Table 11- Analysis of variance of different treatments on yield, concentration and total uptake of micronutrients and different chemical forms of Fe

منابع تغیرات Sources of variety	خطا Error	خاک* آهن Fe*Soil	آهن Fe	خاک Soil
	درجه آزادی Degrees of freedom			
	60	18	2	9
Fe-DTPAآهن عصاره‌گیری با دی‌تی‌پی‌ا	2.032	1.14 Ns	44.9**	611.6**
Res-Feآهن تتمه	21036273	407628615**	12004251 Ns	242806121**
Fe-concentration غلظت آهن	134.2	167.3 Ns	768.3**	113.1 Ns
Mn-concentration غلظت منگنز	124.4	4317.2**	60038	4731.1**
Zn-concentrationغلظت روی	46.95	93.5*	1807.09*	512.2**
Cu-concentrationغلظت مس	1.49	7.11**	45.55**	16.76**
Dry matterماده خشک	1.7	4.12**	8.89**	11.14**
Fe-uptakeجذب آهن	25400.5	16799 Ns	225518.7**	86027.5**
Mn -uptakeجذب منگنز	10047.4	192231.1	5515843.7**	220409**
Zn -uptakeجذب روی	6303.01	7665.9 Ns	125881.9**	68316.2**
Cu -uptakeجذب مس	237.3	938.6**	4155.6**	3189.9**
Exch- Feآهن تبادلی	0.0522	0.344**	31.81**	0.742**
Car-Feآهن کربناتی	0.0486	0.0685 Ns	0.178 Ns	1.28**
OM-Fe آهن آلی	0.0102	0.07**	0.169**	2.08**
AFeOX-Feاکسیدهای آهن بی‌شکل	3140.012	4624.61 Ns	559.51 Ns	381000**
CFeOX-Feاکسیدهای آهن کریستالی	316458	543436.1*	231496.1 Ns	42628620.2**
Fe-EDTAآهن عصاره‌گیری با ای‌دی‌تی‌ا	1.482	2.989*	41.48**	1418.5**

Ns,*، **، به ترتیب غیر معنی‌داری و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

Ns,*,** not significant and significant at $P< 0.05$ and $P< 0.01$ at respectively

منابع

1- Abbaspour A., Kalbasi M. and Shariatmadari H. 2004. Effect of steel converter sludge as iron fertilizer and amendment in some calcareous soil, Journal of Plant Nutrition, 27(2): 377-394.

2- Adhikari M. and Si S.K. 1991. Studies on different forms of iron and aluminum and their release in relation to acidity of some acid soils, Journal of Indian Societyand Soil Science, 39: 252- 255.

3- Alison L.E. and Moodie C.D. 1965. Method of soil analysis. Part II, Monograph No. 9. American Society of Agronomy. Madison, WI.

4- Bouyoucos C.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle – size analysis of soils, Agronomy Journal, 54:464-465.

5- Bray R.H. 1945. Soil-plant relationships: II. Blanced fertilizer use through soil tests for K and P. Soil Science, 60:463-473.

6- Brown A.L., Quick J. and Eddings J.L. 1971. A comparison of analytical methods for soil zinc, Soil Science Society of American, 35: 105- 107.

7- Cakmack I. and Braun H.J. 2001. Genotypic variation for Zinc efficiency. In: Reynolds MP, Ortiz- Monaterio JI, McNabA(ed.) Application of physiology in Wheat breeding. Mexico, pp.175-188.

8- Chackerolhoseini M.R. 2001. Effect of P and Fe on yield and concentration of corn and soybean. Master's thesis, Department of Soil Science, College of Agriculture, Shiraz University. (in Persian with English abstract)

9- Chaney R.L., Hamze M.H. and Bell P.F. 1992. Screening chickpea for iron chlorosisresistantance using bicarbonate in nutrient solution to simulate calcareous soils, Journal of Plant Nutrition, 15: 2045- 2062.

10- Chapman H.D. 1965. Cation exchange capactiy.P.811– 903. In: C.A. Black. et al(ed). Methods of soil analysis. Part II. Monograph No.9, American Society of Agronomy. Madison, WI.

11- Chen L, Warren Streeter A.W.J.G. and Horitionk H.A.J.1998. Fe chelates form compost microorganism improve Fe nutrition of soybean and oat, Plant and Soil, 200: 139- 147.

12- Chen Y., Shi J., Tin G., Zheng S. and Lin Q. 2004. Fe deficiency induces Cu uptake and accumulation in commeliacommunis, Plant Science, 166:1371-1377.
13- Dolui A.K. and Mustafi S.C., 1997. Forms of extractable iron in relation to soil characteristics of some alfisols. Journal of IndianSocietyand Soil Science, 45, 192- 194.
14 -Emame A. 1998. Methods of plant chemical analysis, Soil & Water Research Institute,Karaj.(in Persian)
15- Ghasemiphasaee R. 2002. Response of soybean genotypes to iron. Master's thesis, Department of Soil Science, College of Agriculture, Shiraz University. (in Persian with English abstract)
16- Han F.X. and Banin A. 1995. Selective sequential dissolution techniques for trace metals in arid-zone soils: The carbonatedissolutionstep,Communication and Soil Science and Plant Analysis, 26, 553-576.
17- Koleli N., Eker S. and Cakmak I. 2004. Effect of zinc fertilization on cadmium toxicity in durum and bread wheat grown in zinc- deficient soil, Environmental Pollution, 131:453-459.
18- Kumar Das D. 1997. Intreductory soil science. KalyanPublishers,India.
19- Lindsay W.L., and Norvell W.A. 1978. Develepment of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Sci Society of American Journal, 42: 421- 428.
20- Lucena J.J. 2000. Effects of bicarbonate, nitrate and other environmental factors on iron chlorosis,Areview, Journal of Plant Nutrition, 23:1591-1606.
21- Mahmoudi H., Ksouri R., Gharsalli M. and Lachaal M. 2005. Differences in responses to iron deficiency between two legums: Lentil (Lens culinaris) and chickpea(Cicerarietinum), Journal of Plant Physiology, 162(11):1237-1245.
22- Malakouti M.J., Karimian N.A. and Keshavarz P. 2006. Diagnosis and recommendation integrated system for balanced fertilization, Tarbiatmodarres university press.
23-Martens D.G., and Westerman D.T. 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, SSSA,Madison, WI
24- Naganuma K., Okazaki M., Yonebayshi K. and AbuBaker Z. 1993. Surface charge and adsorption characteristics of copper and zinc on tropical soils, Soil Science and Plant Nutrition, 39: 455-462.
25- Neaman A., Reyes L., Trolard F., Bourrie G. andSauve S. 2009. Copper mobility in contaminated soils of the puchancavi valley, central Chile. Geoderma, 150: 359- 366.
26-Nodehsharify GH .R.,Dordipour E., BaraniMotlagh M. and Olamaee M. 2016. Distribution of soil iron chemical forms in some Golestanprovince soils, Applied Soil Research, 4(1):28-38.
27- Randhava H.S. and Singh S.P. 1997. Iron fractions in allivium- derived soils of Punjab, Journal of Indian Society and Soil Science, 45:825- 827.
28- Reyhanitabar A., Karimian N.A., Ardalan M., Savaghebi G.H.R. and Ghanadha M.R. 2006. Zinc Fractions of Selected Calcareous Soils of Tehran Province and Their Relationships with Soil Characteristics, Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, 3: 125-136.
29- Roomizadeh S. and Karimian N. 1996. Manganese-iron relationship in soybean grown in calcareous soils, Journal of Plant Nutrition, 19: 379-406.
30-Shuman L.M. 1991. Chemical fractions of micronutrients in soils. In: Mortve, J.J., Cox F.R., Shuman L.M. and Awetch R.M. (Eds.). Micronutrients in Agriculture. SSSA, Madison,WI, pp. 113-144.
31- Shuman L.M. 1985. Frsctionation method for soil microelements, Journal of Soil Science, 140 (1): 11-22.
32- Singh J.P., Karwasra S.P.S. and Singh M. 1988. Distribution and forms of copper, iron, manganese, and zinc in calcareous soils of India, Soil Science, 146: 359-366.
33- Yerriswamy R.M., Vasuki N., Manjunathaiah H.M. and Satyanarayana T. 1995. Forms of iron and their distribution in some Vertisols of Karnataka, Journal of Indian Society and Soil Science, 43, 371- 374.
34- Yelvikar N.V., Seddiqui S.I.M., Malewar G.U. and Tajuddin G. 1996. Distribution of different forms of iron in Vertic soils and their relation with soil properties, Journal of Indian Society of Soil Science, 44: 781- 783.
35- Yousfi S., Wissal M., Mahmoudi H., Abdelly C. and Gharsalli M. 2007. Effect of salt on physiological responses of barley to iron deficiency, Plant Physiology Biochemistry, 45: 309-314.
36- Yousfi S., Rabhi M., Abdelly C. and Gharsalli M. 2009. Iron deficiency tolerance traits in wild(Hordeummaritimum) and cultivated barley (Hordeumvulgare),ComptesRendusBiologies, 332(6): 523-533.
37- Walkley A. and Black T.A. 1934. An examination of the Deligaref method for determining organic matter and a proposed modification of chromic acid titration method, Soil Science, 37:29-38.
38- Zhang M., Alva A.K., Li Y.C. and Calvert D.V. 1997. Fractionation of iron, aluminum, and phosphorous in selected sandy soils under citrus production. Soil Science Society and American Journal, 61:797-801.

Journal of Water and Soil
Vol. 31, No. 4, Sept.-Oct.2017, p. 1108-1119

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۱، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۶،ص.۱۱۱۹-۱۱۰۸

Effect of Fe-EDDHA on Soybean and Distribution of Chemical Forms of Iron in Soils of Fars Province

L.Tabande[1*]- M. R.Bakhshi[2]

Received:07-08-2016
Accepted:18-03-2017

Introduction: Among essential plant micronutrients, iron (Fe) exerts the highest restriction to crop production in Fars Province. Determination of iron chemical forms is one of the accurate methods to study the status of this element (Fe) in the soil. Assessment of the relationships between the chemical forms and soil characteristic helps to describe the chemical changes of iron in the soil. In this study sequential extraction to determine iron forms in soils was conducted in order to provide a clear understanding of elements mobility and availability to plants. Trace elements in the soil are classified into 5 groups of chemical forms. These are the water-soluble and variable, adsorbed, chelate creating with complex compounds, secondary clay minerals, forms of insoluble metal oxide minerals, and primary minerals. Trace elements in the forms of water-soluble, changeable, adsorbed or chelates improve elemental balance in the soil and are known important for plant nutrition.

Materials and Methods: In a greenhouse experiment, the effects of Fe chelate (FeEDDHA) fertilizer levels on William cultivar of soybean (*Glycine max L.*) growth and chemical composition were studied using factorial and completely randomized design with 3 replications. Treatments were consisted of 10 soil samples and 3 levels of Fe applications (control, 5 and 10 mg.kg-1 as Fe EDDHA). The aerial parts of Soybean plant were harvested at 8 weeks after plant emergence.Furthermore, many physical and chemical soil properties and extractable iron content with DTPA and EDTA were determined. Furthermore, by using sequential extraction methods of Singh et al (1988), chemical forms of Iron for example, exchangeable iron (Exch-Fe), organic bounded iron (OM-Fe), amorph iron oxides bounded iron (AFeOX-Fe), crystal iron oxides bounded iron (CFeOX-Fe), carbonate and residual forms of iron in the studied soils, were determined. Finally, concentrations of Fe, Mn, Cu and Zn were detected in plant and soil.

Results and Discussion: Forms of carbonate, organic, amorphous oxide, crystalline iron oxide in the forms of bounded and residual iron showed 0.0053, 0.0016, 0.44, 21.1 and 78.6% of the total soil iron, respectively. Therefore, the content of carbonate, organically bound iron of soil, represented only a small fraction of total soil iron and was considered unimportant in the total iron.In other words, crystalline iron oxide bound iron and residual iron forms constituted an important part of total iron.

The average contents of chemical forms of iron were classified as follows:

Res-Fe>CFeOX-Fe>AFeOX-Fe>Car-Fe> OM-Fe >Exch-Fe

Applications of Fe had a significant effect on dry matter, concentration, and uptake of Fe, Zn, Cu and Mn, extractable forms via extracting DTPA, EDTA, organic and exchangeable forms in soybean, when compared to the control. Among the chemical forms of iron, organic form had a significant positive correlation with the amount of available iron plant (extraction by DTPA). Moreover, most of the physical and chemical properties of calcareous soils studied were significantly correlated with the chemical forms and amount of iron uptake by plant. DTPA extractable iron had a negative significant correlation with pH (R^2=0.514*) and EDTA extractable iron had a positive significant correlation with organic matter (R^2= 0.428*). The strongest correlation among the different chemical forms was obtained between the total and residual iron forms. Furthermore, the form connected to the amorphous iron oxides (AFeOX-Fe) showed a positive significant correlation with crystalline iron oxide bound iron (CFeOX-Fe). Therefore, there were significant correlations between some chemical forms of Fe, indicating the existence of a dynamic relationship between them in soils.

Conclusions: Application of Fe EDDHA resulted in significant increase in the organic and plant available (DTPA) forms of iron and, then it can be inferred that due to significant regression equation (r=0.435*) between two chemical forms of iron (organic and DTPA extracted), the form of organically bound formed the bulk of available iron in the plant. The positive reaction of plant to the use of Fe EDDHA was attributed to a significant increase in absorbable forms of iron in the studied soils. Furthermore, the highest level of iron (10 mgkg^{-1} as Fe EDDHA) resulted in significant decrease of yield and a sharp drop in the concentration and uptake of other

1-Master of Science,Soil and Water Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Shiraz, Iran
(*-Corresponding Author Email: ltabande@yahoo.com)
2-Master of Science,Department of Soil & Water, Jihad Agriculture Organization, Zanjan, Iran

nutrients such as Cu, Mn and Zn in plant. Thus, production and appropriate stability of the concentration of the other nutrients and good balance should be achievedthrough using an optimum level of Fe EDDHA in the Soybeancultivation.

Keywords: Iron, EDTA, DTPA, Sequential extraction,Chemical and Physical properties of soil