

## توزیع شکل‌های شیمیایی آهن در تعدادی از خاک‌های استان گلستان

غلامرضا نوده شریفی<sup>۱</sup>، اسماعیل دردی پور<sup>۲\*</sup>، مجتبی بارانی مطلق<sup>۳</sup>، محسن علمائی<sup>۴</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۴/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۲/۲۵)

## چکیده

آهن یکی از عناصر کم مصرف ضروری برای گیاه است. شکل‌های مختلف عناصر خاک از نظر واکنش‌پذیری و زیست‌فراهمی به‌طور چشمگیری با یکدیگر متفاوتند. هدف از این تحقیق، مطالعه توزیع شکل‌های مختلف آهن در بین اجزای مختلف خاک و روابط این اجزای فلزی با برخی ویژگی‌های خاک و پاسخ گیاهی بود. بدین منظور آزمایشی روی ۱۰ نمونه خاک تهیه شده از مناطق مختلف استان گلستان با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مختلف انجام شد. جزءبندی آهن خاک به‌وسیله روش عصاره‌گیری دنباله‌ای تعیین گردید. همچنین برای بررسی رابطه میان شکل‌های مختلف آهن خاک با ماده خشک، غلظت و جذب آهن، آزمایشی گلدانی روی سویا رقم ویلیامز (*Glycine max cv. Williams*) به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی که فاکتور اول تعداد ۱۰ نوع خاک و فاکتور دوم دو سطح کودی سکوسترین آهن (۰ و ۲۰ میلی‌گرم آهن بر کیلوگرم) بود، در سه تکرار انجام گردید. نتایج نشان داد که در خاک‌های مورد مطالعه، ترتیب مقادیر شکل‌های شیمیایی آهن به صورت زیر بود: کربناتی > تبادل‌ی > ماده‌آلی > اکسیدهای منگنز > اکسیدهای آهن بی‌شکل > اکسیدهای آهن متبلور > باقی‌مانده. آهن قابل استخراج با DTPA با اجزای تبادل‌ی، متصل به اکسیدهای منگنز و اکسیدهای آهن متبلور (به ترتیب  $r=0/54^{**}$ ،  $r=0/60^{**}$  و  $r=0/41^*$ ) همبستگی مثبت معنی‌داری نشان دادند. مصرف سکوسترین آهن باعث افزایش شاخص کلروفیل، غلظت و جذب آهن اندام هوایی شد. جزء متصل به ماده‌آلی با وزن خشک ( $r=0/41^{**}$ ) و تعداد برگ کلروزی ( $r=-0/33^*$ ) به ترتیب همبستگی مثبت و منفی معنی‌داری نشان دادند. جزء متصل به اکسیدهای منگنز با جذب آهن ( $r=0/35^*$ ) و شاخص کلروفیل برگ سالم ( $r=0/37^{**}$ ) و برگ پایینی ( $r=0/53^{**}$ ) همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد. شکل‌های تبادل‌ی ( $r=0/51^{**}$ )، متصل به ماده‌آلی ( $r=0/37^*$ )، باقی‌مانده ( $r=0/57^{**}$ ) و آهن کل ( $r=0/46^*$ ) خاک همبستگی مثبت معنی‌داری با درصد رس خاک نشان دادند. عصاره‌گیری ساده با DTPA به تنهایی قادر به برآورد آهن قابل جذب گیاه نیست، بنابراین، شکل‌های مختلف آهن و میزان رس خاک نیز در این زمینه باید مدنظر قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: آهن، جذب، خاک، سویا، شکل‌های شیمیایی

- ۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک دانشکده آب و خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
  - ۲- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده آب و خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان (مکاتبه کننده)
  - ۳- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده آب و خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
  - ۴- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده آب و خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
- \*پست الکترونیک: [e.dordipour@yahoo.com](mailto:e.dordipour@yahoo.com)

## مقدمه

خاک‌ها و رسوب‌ها ابداع شده است. استفاده از استخراج و یا جزء به جزء کردن فلزات کم‌مصرف اطلاعات دقیقی درباره منشأ آن‌ها، شیوه ایجاد آن‌ها، سودمندی بیولوژیکی و فیزیکوشیمیایی، متحرک سازی و نفوذ آن‌ها در خاک‌های کشاورزی و خاک‌های آلوده به دست می‌دهد. توزیع آهن در بخش‌های مختلف بسیار متغیر بوده و به نوع خاک و روش‌های استفاده شده در جزءبندی بستگی دارد. اکثر روش‌های جزءبندی برای آهن تغییراتی را در توانایی واکنش-گرهای شیمیایی به منظور بازیافت آهن به کار رفته در خاک نشان داده‌اند (Ma & Uren, 1995). اکسیدهای آهن که به طور ضعیف کریستاله شدند، منابع آهن برای گیاهانی هستند که در خاک‌های آهکی رشد می‌کنند (D Santiago *et al.*, 2008; Derek & Philips, 1987). بهرا و سینگ (Behera & Singh, 2010) در نتایج آزمایشات خود میزان اکسیدهای آهن و منگنز و آهن کربناتی را به ترتیب ۱/۷۷-۲/۲۱ و ۷/۸۹-۹/۶۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک تحت شرایط مختلف و اعماق مختلف گزارش کردند. طبق آزمایشات گزارش شده، آهن استخراج شده با هیدروکسیل آمین هیدروکلراید با آهک فعال رابطه منفی و با اکسیدهای آهن که به طور ضعیف کریستاله شدن، رابطه مثبت دارند. سینگ و همکاران (Singh *et al.*, 1988) در گزارشات خود بیان کردند که فقط آهن موجود در جزء آلی خاک تحت تأثیر سطوح ماده‌آلی خاک‌ها قرار داشت که رابطه مستقیم و معنی‌داری با ماده‌آلی خاک و رابطه معکوس با pH خاک داشت. این یافته‌ها مشابه نتایج سیمز و پاتریک (Sims & Patrick, 1978) است که دریافتند در pH پایین‌تر میزان آهن دارای اتصالات آلی بیشتر است. همبستگی میان نسبت‌های مختلف آهن در خاک توسط شومان (Shuman, 1986 & 1991) نیز گزارش شده است و میان نسبت‌های مختلف با آهن قابل استخراج با DTPA در خاک و جذب آهن به‌وسیله گیاه، اثرات مستقیم و غیرمستقیم وجود دارد. براساس همین گزارشات آهن تبدالی، آهن متصل به اکسیدهای منگنز، آهن متصل به ماده‌آلی و آهن متصل به اکسیدهای آهن رابطه مثبتی با آهن قابل استخراج با

آهن یکی از عناصر ضروری و کم‌مصرف برای گیاه است و نقش اساسی در ساختار و عملکرد کلروپلاست و انتقال الکترون در میتوکندری و چرخه فتوسنتز دارد (Salardini, 2005; Borges *et al.*, 2001; Monge *et al.*, 1993). مقدار آهن کل در خاک‌ها ۱/۷ تا ۴/۸ درصد می‌باشد (Lion *et al.*, 1982). آهن به مقداری نسبتاً کم توسط گیاه جذب می‌شود و سطح بحرانی آن با DTPA، ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک برای گندم می‌باشد (Agrawal, 1992). قابلیت استفاده آهن برای گیاهان نه فقط بوسیله میزان آن تحت تأثیر قرار می‌گیرد، بلکه توسط شکل‌های مختلف آهن، پ. هاش خاک و سایر عوامل تحت تأثیر قرار می‌گیرد. مقدار آهن در محلول خاک در مقایسه با کل آهن بسیار کم است. غلظت آهن در برگ‌های جوان گیاهان می‌تواند در حدود ۳۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم باشد (Mortvedt, 1991). میزان آهن قابل استفاده خاک-های استان گلستان از ۲/۹ تا ۲۲/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم (Emami, 2011)، و در خاک‌های آهکی ترکیه ۳/۹ تا ۱۴/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم (Çelik & Katkal, 2007) گزارش شده است. امروزه توزیع، تحرک و زیست دسترسی عناصر در محیط به‌طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته و مشخص شده که تنها وابسته به غلظت کل آن‌ها نیست بلکه به فاز جامدی که با آن‌ها پیوند یافته نیز مرتبط است (Filgueiras *et al.*, 2002). آهن در خاک به‌شکل اسیدها، هیدروکسیدها، فسفات‌ها و در شبکه ساختمانی کانی‌های سیلیکاتی اولیه یا کانی‌های ثانویه یافت می‌شود (Tessier *et al.*, 1979). توزیع آهن در بین این اجزاء مختلف به عنوان جزءبندی<sup>۱</sup> آهن خاک تعریف می‌شود. این جزءبندی به میزان زیادی تحرک و در نتیجه زیست‌فراهمی آهن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اطلاع از توزیع عناصر بین اجزای گوناگون خاک برای درک شیمی عناصر کم مصرف و توسعه روش‌های عصاره‌گیری آن‌ها از خاک اهمیت دارد. روش‌های عصاره‌گیری دنباله‌ای مختلفی برای جداسازی شکل‌های عناصر کم‌مصرف از جمله آهن در

1- Fractionation

۵ گلدان‌هایی در *Glycine max cv. Williams*) در گلدان‌هایی ۵ کیلوگرمی کشت گردید. میزان و دور آبیاری بر اساس ۳۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده و به روش توزین گلدان‌ها با آب مقطر انجام شد. در مرحله گل‌دهی نمونه برگی تهیه و میزان آهن به روش خشک سوزانی در آن اندازه‌گیری و شاخص کلروفیل برگی نیز توسط دستگاه کلروفیل‌متر (Minolta SPAD-502) تعیین گردید. برداشت ۱۰ هفته بعد از کشت به صورت کفبر و مقادیر وزن خشک و میزان آهن در اندام هوایی گیاه (Jones & Case, 1990) تعیین گردید. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (SAS Institute Inc., 1999) و رسم شکل‌ها با نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

### نتایج و بحث

#### توزیع شکل‌های شیمیایی آهن در خاک‌های مورد مطالعه

به طور میانگین آهن محلول به‌اضافه تبادلی حدود ۰/۰۲ درصد، متصل به کربنات‌ها ۰/۰۱ درصد، متصل به ماده‌آلی ۰/۰۴ درصد، متصل به اکسیدهای منگنز ۰/۱۲ درصد، اکسیدهای آهن بی‌شکل ۵/۷۴ درصد، اکسیدهای آهن متبلور ۲۹/۴۰ درصد و باقی‌مانده ۵۵/۱۵ درصد مجموع شکل‌های اندازه‌گیری شده را تشکیل می‌دهند (شکل ۱). بنابراین در خاک‌های مورد مطالعه ترتیب فراوانی شکل‌های شیمیایی آهن به صورت زیر بود: کربناتی > تبادلی > ماده‌آلی > اکسیدهای منگنز > اکسیدهای آهن بی‌شکل > اکسیدهای آهن متبلور > باقی‌مانده. لی و همکاران (Li *et al.*, 1997) ترتیب نسبی اجزای آهن خاک را به این صورت گزارش کردند: رسوبی < ماده‌آلی < اکسیدهای آهن و منگنز < کربناتی < تبادلی. سینگ و همکاران (Singh *et al.*, 1988) با بررسی توزیع شکل‌های آهن در ۱۱ خاک با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مختلف بیان کردند که مقادیر جزء‌های عصاره‌گیری شده با روش عصاره‌گیری دنباله‌ای به صورت زیر است: در جزء باقیمانده حدود ۵۲ درصد، در جزء اکسیدهای آهن متبلور حدود ۴۱ درصد، در جزء اکسیدهای آهن بی‌شکل حدود شش درصد، در جزء ماده‌آلی کمتر از

DTPA در خاک داشت (Shuman, 1986 & 1991). سویا یکی از محصولات کشاورزی رایج در کشور است و سطح کشت آن در سال ۱۳۹۰، ۹۰ هزار هکتار بود. استان گلستان با ۶۵/۰۳ درصد از سطح برداشت سویای کشور، بیشترین سطح را داراست و با ۶۲/۸۱ درصد تولید سویای کشور در جایگاه نخست تولیدکنندگان این محصول قرار دارد. (Agricultural statistics, 2010). هدف از این تحقیق مطالعه توزیع شکل‌های مختلف آهن در بین اجزای مختلف خاک و تاثیر آن بر وضعیت تغذیه‌ای آهن و شاخص کلروفیل‌متری در برگ‌های سویا می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

به منظور بررسی توزیع شکل‌های آهن در خاک‌هایی با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مختلف تعداد ۱۰ نمونه مرکب از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری نواحی مختلف زمین‌های کشاورزی استان گلستان جمع‌آوری گردید. نمونه‌های هوا خشک شده به آرامی کوبیده شدند و از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شدند. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آنها با روش‌های استاندارد (Page *et al.*, 1982) تعیین و در جدول (۱) ارائه گردیده است. برای جداسازی و تعیین شکل‌های شیمیایی آهن در خاک-ها از روش سینگ و همکاران (Singh *et al.*, 1988) استفاده شد. این روش آهن را به شکل‌های تبادلی، کربناتی، آلی، اکسیدهای منگنز، اکسیدهای آهن بی‌شکل و متبلور و آهن باقیمانده جدا می‌کند (جدول ۲). بعد از عصاره‌گیری آهن توسط روش فوق در هر مرحله غلظت آهن به وسیله دستگاه جذب اتمی (Unicam 919AA) قرائت گردید. برای بررسی رابطه میان شکل‌های مختلف آهن با جذب آهن و پاسخ گیاهی آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اول تعداد ۱۰ سری خاک و فاکتور دوم تیمار کودی آهن شامل (۱) شاهد و (۲) ۲۰ میلی‌گرم آهن بر کیلوگرم خاک از منبع سکوسترین آهن (Fe-EDDHA 6%) در گلدان‌های سه کیلوگرمی بود. بقیه عناصر غذایی از جمله ازت، فسفر و عناصر کم مصرف بر اساس آزمون خاک به همه تیمارها داده شد. گیاه سویا رقم ویلیامز

بیش از نصف کل آهن خاک در جزء باقیمانده وجود دارد (Miller *et al.*, 1986; Shuman, 1995). مقدار آهن کل در خاک‌های مورد مطالعه ما از ۱/۴۰ تا ۲/۵۲ درصد متغیر بود که در محدوده طبیعی ۰/۵ تا ۵/۰ درصد خاک‌ها می‌باشد (Miller *et al.*, 1986; Behera & Singh, 2010). بطور کلی مقادیر آهن در شکل‌های تبدالی، کربناتی و متصل به ماده آلی و اکسیدهای منگنز بسیار ناچیز (<۰/۲٪) و قسمت عمده آهن در شکل‌های اکسیدهای آهن متبلور (Singh *et al.*, 1988; Zemberyova *et al.*, 2004) همسویی دارد.

#### همبستگی شکل‌های شیمیایی آهن با یکدیگر

همبستگی شکل‌های مختلف آهن با یکدیگر در جدول (۳) ارائه گردیده است. جزء تبدالی با جزء متصل به اکسیدهای آهن متبلور ( $r = -0.38^*$ ) همبستگی منفی معنی‌داری در سطح ۵ درصد، جزء متصل به ماده آلی با جزءهای باقیمانده ( $r = -0.39^*$ ) و کل ( $r = -0.62^{**}$ ) به ترتیب در سطح ۵ و ۱ درصد همبستگی منفی معنی‌داری نشان دادند. نکته قابل توجهی که در این بخش می‌توان بدان اشاره کرد این است که شکل‌های اکسیدهای آهن بی‌شکل و متبلور و باقیمانده کنترل کننده شکل‌های محلول، تبدالی و آلی هستند و وجود رابطه منفی بین آنها نشان می‌دهد که می‌توان با اعمال بعضی مدیریت‌ها از جمله مواد آلی از شدت کنترل بخش‌های نامحلول تر کاست و بر میزان آهن قابل جذب افزود.

#### همبستگی شکل‌های شیمیایی آهن با برخی خواص خاک

همبستگی شکل‌های مختلف آهن با ویژگی‌های خاک در جدول (۴) ارائه گردیده است. براساس آن، مقدار شن با اجزای تبدالی و محلول ( $r = -0.36^*$ )، آهن بی-شکل ( $r = -0.47^{**}$ )، باقیمانده ( $r = -0.61^{**}$ ) و آهن کل ( $r = -0.49^{**}$ ) همبستگی منفی معنی‌دار نشان داد. ولی سیلت با جزء آهن بی‌شکل ( $r = -0.49^{**}$ ) و جزء باقیمانده ( $r = -0.38^*$ ) همبستگی مثبت معنی‌دار نشان داد. رس نیز با اجزای تبدالی ( $r = -0.51^{**}$ )،

یک درصد و در جزءهای اکسیدهای آهن منگنز و متصل به کربنات کمتر از ۰/۱ درصد بود. در حالی که آهن یا منگنز قابل تبادل به میزان ناچیزی و به‌طور متوسط کم‌تر از ۰/۱ درصد بود. ژو و آلو (Zhu & Alva, 1993) بیان کردند ۶۰ تا ۸۰ درصد آهن به صورت بی‌شکل و متبلور هستند. اوکازاکی و همکاران (Okazaki, 1986) گزارش کردند که درجه تبلور هیدروکسیدهای آهن و آلومینیم بر مقدار جذب کاتیون‌های فلزی موثر است و با کاهش درجه تبلور، ظرفیت آنها برای نگهداری کاتیون‌های فلزی افزایش می‌یابد، لذا در این مطالعه، مقدار آهن متصل به ماده آلی از آهن متصل به اکسیدهای آهن متبلور کمتر بود (شکل ۱). بر اساس نتایج بدست آمده از جدول (۲) کمترین مقدار مربوط به شکل کربناتی و بیشترین مقدار مربوط به شکل باقیمانده می‌باشد، به طوری که شکل کربناتی از ۰/۵ تا ۳/۶ با میانگین ۲/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک تغییر کرد. این دامنه از گزارشات سینگ و همکاران (Singh *et al.*, 1988) کمتر است. ما و اورن (Ma & Uren, 1995) نیز گزارش کردند که شکل کربناتی آهن پس از شکل تبدالی و محلول در آب کمترین شکل آهن در خاک‌ها را تشکیل می‌دهد. فیلگورز و همکاران (Filgueiras *et al.*, 2002) نیز بیان کردند جزء کربناتی درصد نسبتاً کمی از غلظت کل فلز را در بر می‌گیرند ولی بلافاصله و بالقوه برای گیاه قابلیت دسترسی دارد. شکل آهن محلول و تبدالی در این آزمایش از ۰/۴ تا ۶/۷، جزء متصل به ماده آلی از ۴/۱ تا ۱۱/۸ و شکل اکسیدهای آهن منگنز از ۱۰/۴ تا ۴۲/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک متغیر بود. مقادیر شکل‌های آهن تبدالی و اکسیدهای آهن با آزمایشات سینگ و همکاران (Singh *et al.*, 1988) مطابقت داشت ولی مقدار جزء متصل به ماده آلی بیشتر بود. این نتایج با گزارشات تسیر و همکاران (Tessier *et al.*, 1979) و شومان (Shuman, 1995) نیز مطابقت داشت. در خاک‌های مورد مطالعه ما شکل باقیمانده از ۶/۹ تا ۱۳/۲ گرم بر کیلوگرم خاک تغییر کرد (جدول ۲). این شکل در آزمایشات سینگ و همکاران (Singh *et al.*, 1988) بین ۸/۸ تا ۲۱/۲ گرم بر کیلوگرم خاک بود. برخی از محققین دریافتند که

بستگی دارد (Reyhanitabar *et al.*, 2006). همچنین آهن قابل جذب (DTPA) با شکل‌های آهن تبدیلی ( $r=0/54^{**}$ )، متصل به اکسیدهای منگنز ( $r=0/60^{**}$ ) و اکسیدهای آهن متبلور ( $r=0/41^{*}$ ) همبستگی مثبت و معنی دار نشان داد. ظرفیت تبادل کاتیونی تنها با جزء متصل به ماده آلی ( $r=0/50^{**}$ ) همبستگی مثبت معنی دار داشت.

متصل به ماده آلی ( $r=0/37^{*}$ )، باقیمانده ( $r=0/57^{**}$ ) و کل ( $r=0/46^{*}$ ) همبستگی مثبت معنی دار از خود نشان داد. کربن آلی با آهن قابل استخراج توسط DTPA ( $r=0/39^{**}$ ) همبستگی منفی معنی دار و کربنات کلسیم معادل با جزءهای اکسیدهای آهن بی-شکل ( $r=0/50^{**}$ ) و باقیمانده ( $r=0/47^{*}$ ) همبستگی مثبت معنی دار نشان داد. واکنش کربنات کلسیم در خاک‌ها معمولاً به سطح ویژه آن بیشتر از مقدارش

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد استفاده در این بررسی

Table 1- Some physical and chemical characteristics of the studied soils

CEC	آهن قابل استخراج Extractable Fe with DTPA	EC	pH	کربن آلی Organic carbon	کربنات				سری خاک Soil series	شماره خاک Soil No.
					کلسیم معادل CCE	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay		
$\text{cmol.kg}^{-1}$	$\text{mg.kg}^{-1}$	$\text{dSm}^{-1}$			%					
15.2	2.3	0.9	7.6	0.9	12.1	40	30	30	علی آباد Aliabad	1
13.6	1.8	0.9	7.6	1.4	7.6	42	42	16	کلاله Kalaleh	2
14.8	5.4	0.9	7.6	0.2	9.2	70	20	10	گالیکش ۱ Galikesh1	3
11.4	3.4	1.3	7.5	0.4	1.2	78	20	2	گالیکش ۲ Galikesh2	4
14.6	2.0	0.6	7.5	2.1	23.5	42	28	30	آزادشهر ۱ Azadshahr1	5
17.8	12.5	2.1	7.5	1.3	30.5	44	40	16	آزادشهر ۲ Azadshahr2	6
17.4	4.8	0.7	7.5	2.5	9.7	38	38	24	آزادشهر ۳ Azadshahr3	7
18.2	18.2	1.1	7.4	3.2	16.4	46	30	24	رامیان Ramian	8
15.1	0.9	1.6	7.5	1.0	8.7	44	42	14	گنبد کاوس GonbadKavous	9
13.4	8.4	1.1	7.0	1.5	39.5	7	52	42	دلند Daland	10

کربنات‌ها به صورت ویژه جذب شده است. شکل کربناتی آهن با هیچ یک از خصوصیات خاک همبستگی معنی‌داری نشان نداد. براساس گزارشات شومان (Shuman, 1986 & 1991) آهن تبدیلی، آهن متصل به اکسیدهای منگنز، آهن متصل به ماده آلی و اکسیدهای آهن رابطه مثبتی با آهن قابل استخراج با

از سوی دیگر عدم مشاهده ارتباط معنی‌دار بین ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) با اکثر شکل‌های مختلف آهن از جمله شکل تبدیلی را می‌توان نشانگر آن دانست که در خاک‌های مورد مطالعه جذب آهن به صورت تبدیلی و فیزیکی انجام نشده بلکه آهن در این خاک‌ها به وسیله کانی‌ها، اکسیدهای مختلف و نیز

DTPA در خاک داشت. در حالی که آهن باقیمانده متصل به ماده آلی داشت. رابطه منفی با آهن متصل به اکسیدهای منگنز و آهن

جدول ۲- توزیع شکل‌های مختلف آهن در خاک‌های مورد مطالعه (به روش سینک و همکاران، ۱۹۸۸)

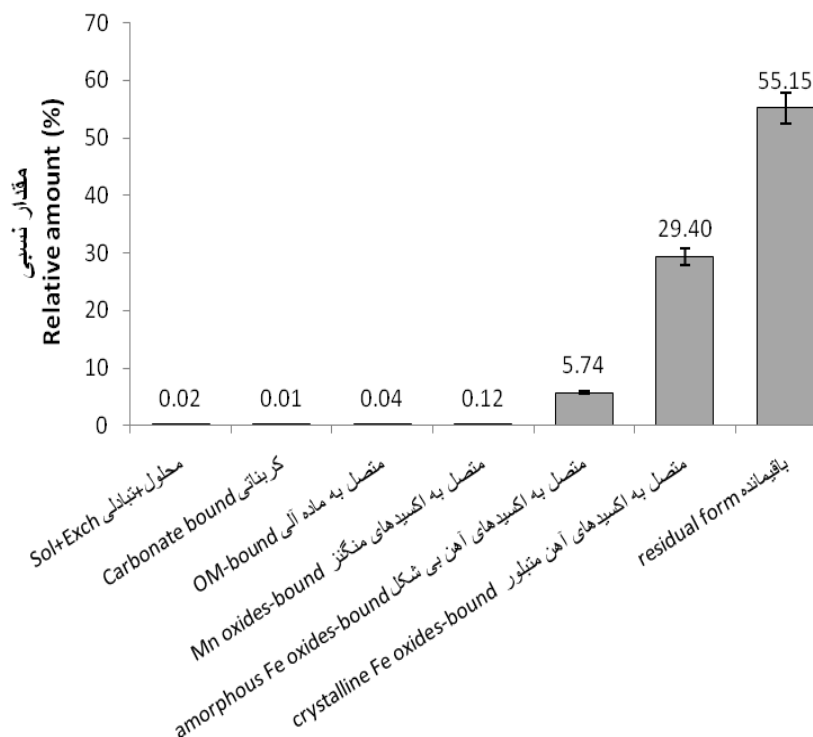
Table 2- Distribution of various soils iron chemical forms in studied soils (Singh et al., 1988, method)

آهن کل Total iron	باقیمانده FeRes	اکسیدهای آهن متیلور CFeOX	اکسیدهای آهن بی‌شکل AFeOX	متصل به اکسیدهای منگنز FeMnOX	ماده آلی FeOM	کربناتی FeCar	محلول+ تبادلی FeEX	خاک
(g kg <sup>-1</sup> )				(mg kg <sup>-1</sup> )				Soil
22.5	11.8	5.8	1.5	27.9	4.1	3.6	5.1	1
18.7	10.3	4.3	1.1	10.4	6.8	2.1	6.7	2
18.0	9.7	5.5	0.8	10.5	6.7	1.5	0.4	3
14.0	6.9	6.2	0.8	26.0	11.8	1.4	2.0	4
18.2	10.5	6.0	0.9	14.5	7.8	3.2	5.1	5
20.3	9.6	5.3	1.7	21.8	7.5	3.2	2.5	6
18.9	10.0	4.9	0.8	25.2	10.7	3.5	3.0	7
21.4	13.2	8.2	0.5	42.6	6.9	0.5	1.4	8
18.9	10.5	5.2	1.2	17.0	6.1	2.5	5.8	9
19.4	12.5	4.4	1.7	25.2	6.3	0.6	3.5	10
19.0	10.5	5.6	1.1	22.1	7.5	2.2	3.6	میانگین Mean
14.0	6.9	4.3	0.8	10.4	4.1	0.5	0.4	حداقل Min.
22.5	13.2	8.2	1.7	42.6	11.8	3.6	6.7	حداکثر Max.

ما همانند نتایج آزمایش‌های اسکارف و همکاران (Scharf et al., 2006) نشان داد که از مقادیر شاخص کلروفیل متر می‌توان برای تعیین غلظت آهن و همچنین قابلیت دسترسی به آهن در گیاه سویا استفاده نمود. مارکوارد و تیپتون (Marquard, R.D., & Tipton, 1987) بیان نمودند که ضریب همبستگی بین آهن و عدد کلروفیل متر بسته به واریته‌های مختلف از ۰/۸۳ تا ۰/۹۷ تغییر می‌کند. ما و همکاران (Ma et al., 1995) نیز همبستگی قوی و مثبتی بین فتوسنتز برگ و عدد کلروفیل متر در گیاه سویا مشاهده کردند. همان‌تارانجام و گراگ (Hemantaranjam & Grag, 1988) بیان کردند که آهن با تاثیر بر مقدار کلروفیل برگ باعث افزایش معنی‌دار اجزای عملکرد و در نهایت عملکرد دانه شد.

#### همبستگی شکل‌های شیمیایی آهن با برخی پاسخ‌های گیاهی

رابطه غلظت، جذب کل آهن و شاخص کلروفیل متری برگ‌های سویا با شکل‌های شیمیایی آهن در خاک-های مورد مطالعه در جدول (۵) ارائه گردیده است. جزء تبادلی با غلظت آهن در گیاه ( $r=0/35^*$ ) همبستگی معنی‌دار مثبت و جزء متصل به ماده آلی با وزن خشک ( $r=0/41^{**}$ ) و تعداد برگ کلروزی ( $r=-0/33^*$ ) بترتیب همبستگی معنی‌دار مثبت و منفی نشان دادند. جزء متصل به اکسیدهای منگنز با جذب آهن ( $r=0/35^*$ ) و شاخص کلروفیل برگ سالم ( $r=0/37^{**}$ )، برگ کلروزی ( $r=0/52^{**}$ ) و برگ پایینی ( $r=0/53^{**}$ ) همبستگی مثبت معنی‌دار از خود نشان دادند. بنابراین، این شکل از آهن احتمالاً می‌تواند بخشی از آهن قابل جذب گیاه باشد و نتایج



شکل ۱- مقادیر نسبی شکل‌های شیمیایی آهن در خاک‌های مورد مطالعه  
Fig. 1- Relative amounts of soil iron chemical forms in studied soils

جدول ۳- ضرایب همبستگی خطی ساده (r) میان شکل‌های مختلف آهن در خاک‌های مورد مطالعه

Table 3- Simple linear correlation coefficients (r) among various iron forms in the studied soils

آهن کل Total iron	FeRes	FeCFeOX	FeAFeOX	FeMnOX	FeOM	FeCar	FeEX	شکل‌های آهن Iron forms
0.14 <sup>ns</sup>	0.12 <sup>ns</sup>	*-0.38	0.17 <sup>ns</sup>	-0.18 <sup>ns</sup>	-0.22 <sup>ns</sup>	0.22 <sup>ns</sup>	1	FeEX
0.24 <sup>ns</sup>	-0.08 <sup>ns</sup>	-0.27 <sup>ns</sup>	0.14 <sup>ns</sup>	-0.01 <sup>ns</sup>	-0.21 <sup>ns</sup>	1		FeCar
**0.62	*-0.39	0.10 <sup>ns</sup>	-0.35 <sup>ns</sup>	-0.01 <sup>ns</sup>	1			FeOM
0.29 <sup>ns</sup>	*0.37	*0.41	-0.19 <sup>ns</sup>	1				FeMnOX
0.29 <sup>ns</sup>	0.08 <sup>ns</sup>	*-0.42	1					FeAFeOX
0.09 <sup>ns</sup>	0.05 <sup>ns</sup>	1						FeCFeOX
**0.67	1							FeRes
1								آهن کل Total iron

\* و \*\* یعنی به ترتیب در سطح ۵ و ۱ درصد احتمال معنی دار است و ns یعنی معنی دار نیست.

\*, \*\* Significant at  $P < 0.05$  and  $0.01$ , respectively; ns, not significant.

جدول ۴- ضرایب همبستگی (r) خطی ساده بین شکل‌های مختلف آهن و برخی ویژگی‌های خاک

Table 4- Simple linear correlation coefficients (r) between various iron forms and some soil properties

آهن کل Fe total	FeRes	FeCFeOX	FeAFeOX	FeMnOX	FeOM	FeCar	FeEX	آهن قابل استخراج با DTPA Extractable Fe with DTPA	ویژگی‌های خاک Soil properties
** -0.49	** -0.61	-0.35 <sup>ns</sup>	** -0.47	-0.14 <sup>ns</sup>	0.31 <sup>ns</sup>	-0.01 <sup>ns</sup>	* -0.36	-0.13 <sup>ns</sup>	(Sand)
0.31 <sup>ns</sup>	* 0.38	-0.31 <sup>ns</sup>	** 0.49	0.25 <sup>ns</sup>	-0.12 <sup>ns</sup>	-0.01 <sup>ns</sup>	0.04 <sup>ns</sup>	0.26 <sup>ns</sup>	(Silt)
* 0.46	** 0.57	-0.26 <sup>ns</sup>	0.28 <sup>ns</sup>	-0.01 <sup>ns</sup>	* 0.37	0.02 <sup>ns</sup>	** 0.51	-0.02 <sup>ns</sup>	(Clay)
-0.17 <sup>ns</sup>	-0.14 <sup>ns</sup>	0.08 <sup>ns</sup>	0.03 <sup>ns</sup>	-0.29 <sup>ns</sup>	-0.17 <sup>ns</sup>	-0.12 <sup>ns</sup>	-0.04 <sup>ns</sup>	* -0.39	(OC)
0.35 <sup>ns</sup>	* 0.47	-0.02 <sup>ns</sup>	** 0.50	0.10 <sup>ns</sup>	-0.24 <sup>ns</sup>	0.11 <sup>ns</sup>	-0.02 <sup>ns</sup>	0.23 <sup>ns</sup>	CaCO <sub>3</sub> equiv.
-0.13 <sup>ns</sup>	-0.32 <sup>ns</sup>	0.23 <sup>ns</sup>	-0.14 <sup>ns</sup>	0.18 <sup>ns</sup>	** 0.50	0.28 <sup>ns</sup>	-0.17 <sup>ns</sup>	0.11 <sup>ns</sup>	CEC
0.33 <sup>ns</sup>	0.34 <sup>ns</sup>	* 0.41	-0.06 <sup>ns</sup>	** 0.60	-0.37 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	** 0.54	1.00	Fe - DTPA

\* و \*\* یعنی به ترتیب در سطح ۵ و ۱ درصد معنی‌دار است و ns یعنی معنی‌دار نیست.

\*, \*\* Significant at P &lt; 0.05 and 0.01, respectively; ns, Not significant.

جدول ۵- ضرایب همبستگی خطی ساده (r) میان شکل‌های شیمیایی و قابل جذب آهن در خاک‌ها با برخی پاسخ‌های گیاهی

Table 5- Simple linear correlation coefficients (r) of chemical forms and availability of iron with some plant responses

تعداد برگ کلروزی Chlorotic leaf no.	شاخص کلروفیل متری SPAD index				وزن ماده خشک گیاهی Plant dry weight	جذب کل آهن Fe uptake	غلظت آهن در گیاه Plant iron Conc.	شکل‌های آهن Iron forms
	برگ پایینی Bottom leaf	برگ بالایی Upper leaf	برگ کلروزی Chlorotic leaf	برگ سالم Intact leaf				
-0.26 <sup>ns</sup>	0.29 <sup>ns</sup>	0.27 <sup>ns</sup>	0.04 <sup>ns</sup>	0.26 <sup>ns</sup>	-0.05 <sup>ns</sup>	0.15 <sup>ns</sup>	* 0.35	FeEX
0.05 <sup>ns</sup>	0.10 <sup>ns</sup>	0.24 <sup>ns</sup>	-0.05 <sup>ns</sup>	0.4 <sup>ns</sup>	-0.04 <sup>ns</sup>	0.06 <sup>ns</sup>	0.10 <sup>ns</sup>	FeCar
* -0.33	0.01 <sup>ns</sup>	0.18 <sup>ns</sup>	-0.03 <sup>ns</sup>	0.11 <sup>ns</sup>	** 0.41	0.25 <sup>ns</sup>	-0.20 <sup>ns</sup>	FeOM
-0.18 <sup>ns</sup>	** 0.53	0.27 <sup>ns</sup>	** 0.52	** 0.37	-0.25 <sup>ns</sup>	* 0.35	-0.31 <sup>ns</sup>	FeMnOX
0.12 <sup>ns</sup>	-0.12 <sup>ns</sup>	-0.14 <sup>ns</sup>	-0.23 <sup>ns</sup>	-0.12 <sup>ns</sup>	-0.15 <sup>ns</sup>	-0.12 <sup>ns</sup>	0.18 <sup>ns</sup>	FeAFeOX
-0.16 <sup>ns</sup>	0.16 <sup>ns</sup>	0.16 <sup>ns</sup>	0.03 <sup>ns</sup>	0.31 <sup>ns</sup>	0.17 <sup>ns</sup>	0.17 <sup>ns</sup>	0.00 <sup>ns</sup>	FeCFeOX
0.09 <sup>ns</sup>	0.03 <sup>ns</sup>	-0.16 <sup>ns</sup>	-0.11 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	-0.02 <sup>ns</sup>	-0.07 <sup>ns</sup>	-0.07 <sup>ns</sup>	FeRes
0.28 <sup>ns</sup>	0.04 <sup>ns</sup>	-0.13 <sup>ns</sup>	0.09 <sup>ns</sup>	-0.03 <sup>ns</sup>	-0.07 <sup>ns</sup>	-0.05 <sup>ns</sup>	0.08 <sup>ns</sup>	آهن کل Total iron

\* و \*\* یعنی به ترتیب در سطح ۵ و ۱ درصد احتمال معنی‌دار است و ns یعنی معنی‌دار نیست.

\*, \*\* Significant at P &lt; 0.05 and 0.01, respectively; ns, Not significant.

## نتیجه‌گیری کلی

همکاران (Singh *et al.*, 1988) نشان داد که آهن باقی‌مانده بیشترین میزان آهن را در خاک و آهن کربناتی و تبادلی کمترین میزان آهن را داراست.

توزیع شکل‌های شیمیایی آهن در خاک‌های مورد بررسی با استفاده از روش عصاره‌گیری سینگ و



همبستگی شاخص‌های کلروفیل متری برگ‌های سالم و کلروزی با برخی از شکل‌های آهن در خاک و جذب آهن، مفید و ساده بودن این شاخص در ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای آهن در گیاهان را نشان می‌دهد. همچنین وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار برخی از شکل‌های آهن با میزان رس خاک‌ها لزوم لحاظ درصد رس را در تفسیر نتایج آزمون خاک و توصیه کودی گوشزد می‌نماید.

همچنین اکسیدهای آهن بی‌شکل و متبلور پس از شکل باقی‌مانده، بیشترین مقدار را در بین شکل‌های مختلف آهن به خود اختصاص دادند که می‌تواند حاکی از نقش پراهمیت این کانی‌ها در جذب سطحی و نگهداشت آهن در این خاک‌ها باشد. همبستگی منفی بین شکل آهن آلی با شکل‌های کنترل‌کننده عمده آهن مثل اکسیدهای آهن بی‌شکل و کریستالی و باقیمانده اهمیت توجه به مدیریت ماده آلی را برای افزایش آهن قابل جذب برای گیاهان نشان می‌دهد.

## References

- Agrawal H.P. 1992. Assessing the micronutrient requirement of winter wheat. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 23(17-20): 2555-2568.
- Anonymous. 2010. Agricultural Statistics. Volume 2. Ministry of Agricultural Jihad, Department of Planning and Economy, *Bureau of Statistics and Information Technology*, 389p. (In Persian)
- Behera S.K., and Singh, D. 2010. Fractions of Iron in Soil under a long-term experiment and their contribution to iron availability and uptake by maize- wheat cropping sequence. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 41: 1538-1550.
- Borges M., DeMello W.V., Abrahao A.P., Jordao C.P., and Simas N.B. 2001. Methods for evaluation of easily reducible iron and manganese in paddy soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32: 3009-3022.
- Çelik H., and Katkal A.V. 2007. Some parameters in relation to iron nutrition status of peach orchards. *Journal of Biological and Environmental Sciences*, 1 (3): 111-115.
- Derek R., and Philips J.P. 1987. Rapid assay for microbially reducible ferric iron in aquatic sediments. *Applied and Environmental Microbiology*, 53 (7): 1536-1540.
- DSantiago A., Diaz I., and Delgado A. 2008. Predicting the incidence of iron deficiency chlorosis from hydroxylamine-extractable iron in soil. *Soil Science Society of America Journal*, 72: 1493-1499.
- Emami M. 2011. Comparison of the evaluation methods to determine Fe nutritional status in Golestan province peach orchards. MSc Thesis, Soil Science Department. Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan. Iran. 105p. (in Persian)
- Filgueiras A.V., Lavilla I., and Bendicho C. 2002. Chemical sequential extraction for metal partitioning in environmental solid samples. *Journal of Environmental Monitoring*, 4 (6): 823-857.
- Hemantaranjam A., and Grag O.K. 1988. Iron and zinc fertilization with reference to the grain quality of *Triticum aestivum* L. *Journal of Plant Nutrition*, 11: 1439-1450.
- Jones J.B. Jr. and Case V.W. 1990. Sampling, handling, and analyzing plant tissue samples. In: Westerman, R.L. (Eds.), *Soil Testing and Plant Analysis*. Soil Science Society of America, Inc. Madison, WI, pp. 25-44.
- Li M., Hue N.V., and Hussain S.K.G. 1997. Changes of metal by organic amendments to Hawaii soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 28 (3-5): 381-394.
- Lion L.W., Altmann R.S., and Leckie J.O. 1982. Trace metal adsorption characteristics of estuarine particulate matter: Evaluation of contributions of Fe/Mn oxide and organic surface coatings. *Environmental Science and Technology*, 16: 660-666.
- Ma B.L., Morrison M.J., and Voldeng H.D. 1995. Leaf greenness and photosynthetic rates in soybean. *Crop Science*, 35(5): 1411-1414.
- Ma Y.B., and Uren N.C. 1995. Application of a new fractionation scheme for heavy metals in

- soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 26 (19-20): 3291-3303.
- Marquard R.D., and Tipton J.L. 1987. Relationship between extractable chlorophyll and an in situ method to estimate leaf greenness. *HortScience*, 22 (6): 1327-1329.
- Miller W.P., Martens D.C., and Zelazny L.W. 1986. Effect of sequence in extraction of trace metals from soils. *Soil Science Society of America Journal*, 50(3): 598-601.
- Monge E., Perez C., Pequerul A., Madero P., and Val J. 1993. Effect of iron chlorosis on mineral nutrition and lipid composition of thylakoid biomembrane in *Prunus persica* (L.) Bastch. *Plant and Soil*, 154: 97- 102.
- Mortvedt J.J. 1991. Correcting iron deficiencies in annual and perennial plants: Present technologies and future prospects. *Plant and Soil*, 130(1-2): 273-279.
- Okazaki M., Takamidoh K., and Yamane I. 1986. Adsorption of heavy metal cations on hydrated oxides and oxides of iron and aluminum with different crystallinities. *Soil Science and Plant Nutrition*, 32(4): 523-533.
- Page A.L., Miller R.H., and Keeney D.R. 1982. Methods of soil analysis, Part 2. 2<sup>nd</sup> ed. Agron. Monogr. 9 ASA, Madison, WI, 1187p.
- Reyhanitabar A., Karimian N., Muazardalan M., Savaghebi G.R., and Ghannadha MR. 2006. Zinc fractions of selected calcareous soils of Tehran province and their relationships with soil characteristics. *Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 3: 125-128. (In Persian)
- Salardini A.A. 2005. Soil Fertility. University of Tehran Press, Tehran, Iran. 434p. (in Persian)
- SAS. Institute Inc. 1999. SAS/ETS Users Guide. Version 8. Cary, NC. USA.
- Scharf P.C., Brouder S.M., and Hoefst R.G. 2006. Chlorophyll meter readings can predict nitrogen need and yield response of corn in the north-central USA. *Agronomy Journal*, 98(3): 655-665.
- 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.
- Shuman L.M. 1988. Effect of organic matter on the distribution of Manganese, Copper, Iron, and Zinc in soil fractions. *Soil Science*, 146(3): 192-198.
- Shuman L. M. 1985. Fractionation method for soil microelements. *Soil Science*, 140(1): 11-22.
- Sims J.L., and Patrick W.H. 1978. The distribution of micronutrient cations in soil under conditions of varying redox potential and pH. *Soil Science Society of America Journal*, 42(2): 258-262.
- 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(5): 359-366.
- Singhal S. K., and Rattan R. K. 1995. Soil zinc fractions and their availability in some Inceptisols and Entisols. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, 43(1): 80-83.
- Tessier A., Campbell P.G., and Bisson M. 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Analytical Chemistry*, 51(7): 844-851.
- Zalidis G., Barbayiarinis N., and Matsi T. 1999. Forms and distribution of heavy metals in soils of the Axios Delta of Northern Greece. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 30(5-6): 817-827.
- Zembyyova M., Bartekova J., Bajcan D., and Vysinska D. 2004. Utilization of modified BCR three-step sequential extraction procedure for iron fractionation in soil reference materials. In: *Proceedings book 277*, Adnan Menderes University, 4th AACD Congress, 29 Sept-3 Oct. Kusadasi- Aydin, Turkey, Pp. 536-538.
- Zhu B., and Alva A. K. 1993. Distribution of trace metals in some sandy soils under citrus production. *Soil Science Society of America Journal*, 57(2): 350-355.

## Distribution of Soil Iron Chemical Forms in some Golestan Province Soils

Gholamreza Nodehsharify<sup>1</sup>, Esmail Dordipour<sup>2\*</sup>, Mojtaba Barani Motlagh<sup>3</sup>,  
Mohsen Olamaee<sup>4</sup>

(Received: July 2015 Accepted: May 2016)

### Abstract

Iron is one of the essential micronutrients for plants. The various components of soil elements differ significantly from each other in terms of reactivity and bioavailability. The purpose of this research was to study the distribution of different forms of Iron among the various soil components and the relationships between the metal components with some soil characteristics. So, an experiment was carried out on 10 samples collected from different areas of Golestan province with different chemical and physical properties. Fractionation of soil iron was determined via Singh et al (1988)'s sequential extraction procedure. For investigating the relationship among the various forms of soil iron with dry matter, concentration and uptake of iron, a factorial pot experiment on *Glycine max* cv. Williams in a completely randomized design (10 types of soil at first factor and two iron fertilizer levels (0 and 20 Fe mg kg<sup>-1</sup>) at second factor), with three replications was also conducted. The results showed that the amounts of iron chemical forms were ordered as follows: carbonates-bound < exchangeable < OM-bound < Mn oxides-bound < amorphous Fe oxides-bound < crystalline Fe oxides-bound < residual forms. DTPA-extractable iron showed significantly a positive correlation with exchangeable, Mn oxides-bound and crystalline Fe oxides-bound fractions ( $r=0.54^{**}$ ,  $r=0.60^{**}$  and  $r=0.41^*$ , respectively). Application of iron sequestrene caused an increase in chlorophyll index and concentration and uptake of iron. The OM-bound fraction indicated significantly positive and negative correlations with dry weight ( $r=0.41^{**}$ ) and the number of chlorotic leaves ( $r=-0.33^*$ ), respectively. Mn oxides-bound form was significantly and positively correlated with iron uptake ( $r=0.35^*$ ) and chlorophyll indices of intact and bottom leaves ( $r=0.37^{**}$  and  $r=0.53^{**}$ , respectively). The soil exchangeable ( $r=0.51^{**}$ ), OM-bound ( $r=0.37^*$ ) and residual forms ( $r=0.57^{**}$ ) and total iron ( $r=0.46^*$ ) showed significantly positive correlations with soil clay content. A single extraction with DTPA is not able to estimate a plant available iron; therefore, in this regard the iron different forms and clay content of soil should be also considered.

**Keywords:** Chemical forms, Iron, Soil, Soybean, Uptake

1- M.Sc. Graduate, Department of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

2- Associate Professor, Department of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

3- Assistant Professor, Department of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

4- Associate Professor, Department of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

\* Corresponding author Email: [e.dordipour@yahoo.com](mailto:e.dordipour@yahoo.com)