

## شکل‌های شیمیایی و قابل استخراج به وسیله DTPA آهن در خاک‌های تیمار شده توسط سرباره و لجن کنورتور کارخانه ذوب آهن اصفهان

علیرضا کاظمی\*، حسین شریعتمداری و محمود کلباسی<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۴/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۳/۲)

### چکیده

از میان عناصر مورد نیاز گیاهان کمبود آهن به عنوان عنصر کم مصرف بیشترین محدودیت را برای محصولات کشاورزی سرتا سر جهان دارد. متخصصین امروزه برای حل مشکل کمبود آهن در گیاهان از روش‌های بسیار پر هزینه مانند کاربرد نمک‌ها و کلات‌های آهن، تعدیل مصنوعی پ- هاش خاک و جایگزینی گونه‌های گیاهی که توانایی زیاد برای جذب آهن دارند، استفاده نموده‌اند. استفاده از مواد جامد زاید کارخانجات فولادسازی و ذوب آهن مانند سرباره و لجن کنورتور به عنوان مواد اصلاحی خاک در تغذیه آهن می‌تواند مفید باشند. این ترکیبات حاوی درصد قابل توجهی آهن هستند و سالانه به مقدار خیلی زیاد تولید و انباشته می‌شوند. قابلیت دسترسی زیستی و تحرک عناصر وابسته به شکل‌های شیمیایی آنها در خاک است. این تحقیق با هدف مطالعه اثر کاربرد سه ساله لجن کنورتور و سرباره کارخانه ذوب آهن اصفهان بر (۱) مقدار آهن قابل جذب، (۲) شکل‌های شیمیایی آهن و (۳) چگونگی توزیع این شکل‌ها در خاک سطحی و عمقی سه خاک آهکی در قالب طرح اسپلیت پلات با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تیمار، در سه تکرار و در دو عمق طی سه سال متوالی اجرا شد. کاربرد سرباره و لجن کنورتور برای یک، دو و سه سال متوالی سبب شد بیش از ۹۹٪ آهن در فرم‌های باقی‌مانده، متصل به اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن، آمورف و آزاد و کمتر از ۱٪ آهن در سایر فرم‌های شیمیایی قرار گیرد. نتایج نشان داد کاربرد سرباره و لجن کنورتور طی سه سال متوالی باعث افزایش معنی دار شکل‌های شیمیایی آهن و آهن قابل جذب در خاک هر سه مزرعه شد.

واژه‌های کلیدی: سرباره، لجن کنورتور، شکل‌های شیمیایی، آهن قابل جذب

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی‌ارشد، دانشیار و استاد علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: [kazemi\\_alireza\\_ak@yahoo.com](mailto:kazemi_alireza_ak@yahoo.com)

## مقدمه

خاکها مقدار زیادی عناصر سنگین از طریق منابع طبیعی و فعالیت‌های انسانی دریافت می‌کنند که عبارت‌اند از: هوازدگی، کانی‌های اولیه، استخراج معادن، احتراق سوخت‌های فسیلی، صنایع شیمیایی و الکترونیکی، متالورژی و مواد زاید (۱۶). مواد زاید و آلوده‌کننده حاوی عناصر سنگین برای تولید محصولات کشاورزی لازم است. ولی وقتی مقدار آن در خاک از یک حدی بیشتر شود ایجاد خطر و سمیت می‌کند. خاک‌ها حاوی مخلوط نامتجانسی از مواد آلی و معدنی هستند. بسته به منشأ عناصر سنگین این عناصر در شکل‌های معدنی و ترکیبات شیمیایی مختلف وجود دارند. هم‌چنین در ترکیبات مختلف آلی و معدنی خاک و رسوبات در شرایط مختلف یافت می‌شوند. به‌طوری‌که عواملی مانند: پ-هاش، شرایط اکسید و احیا (رداکس)، حالت‌های اکسیداسیون، دما، وجود مواد آلی و فعالیت‌های میکروبیولوژیکی بر شکل، غلظت، تحرک، تبدیل شدن و فرآیند تجمع این عناصر در اکوسیستم نقش دارند. همه عوامل ذکر شده در چرخه بیوژئوشیمیایی عناصر در محیط نقش مهمی دارند (۱۶).

گرچه غلظت کل فلزات سنگین در خاک نشانه‌هایی از سطح آلودگی ارائه می‌دهد، ولی درباره قابلیت زیستی، تحرک، فعالیت و سمیت هیچ‌گونه اطلاعاتی ارائه نمی‌دهد. عناصر در خاک‌ها دارای شکل‌های فیزیکوشیمیایی بسیاری هستند. به‌طوری‌که قابلیت دسترسی زیستی آنها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین، روش‌های عصاره‌گیری مرحله‌ای شیمیایی به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. در روش عصاره‌گیری مرحله‌ای نمونه خاک با مجموعه‌ای از واکنش‌دهنده‌ها برای حداکثر جداسازی و حل شدن شکل‌های مقاوم عناصر واکنش داده می‌شود. واکنش‌دهنده‌ها برای جداسازی یک قسمت ویژه از خاک به‌طور انتخابی عمل می‌کنند و روی فازهای غیرهدف کمترین اثر را داشته و آنها را به مقدار ناچیز حل می‌کنند. در عمل، عصاره‌گیری هر یک از فازهای موجود به‌طور کامل غیرممکن است (۱۴).

روش‌های عصاره‌گیری مرحله‌ای بیان شده در مقالات علمی مختلف از نظر نوع ماده عصاره‌گیر، ترتیب مراحل عصاره‌گیری و جزئیات عملی مانند: نسبت ماده جامد به عصاره‌گیر و زمان عصاره‌گیری با یکدیگر تفاوت زیادی دارند. استفاده از روش‌های عصاره‌گیری مرحله‌ای موضوع بحث‌های زیادی بوده است. زیرا در این روش اولین مسئله قدرت انتخابی محدود و کم عصاره‌گیر می‌باشد و دومین مسئله پراکندگی مجدد عناصر در بین فازهای مختلف در حین عصاره‌گیری می‌باشد که ممکن است منجر به نتایج نادرستی بشود. محققین نشان داده‌اند تکرار هر مرحله پراکندگی مجدد عناصر را کاهش می‌دهد و برای افزایش بازده روش عصاره‌گیری و دقت جداسازی عناصر رعایت بعضی پارامترها مانند: pH و پتانسیل احیایی برای عصاره‌گیری هر مرحله ضروری است (۷).

برای ارزیابی و شناسایی گونه‌های شیمیایی و شکل‌های باند شده فلزات سنگین در خاک عصاره‌گیرهای مختلفی مانند: الکترولیت‌ها ( $\text{CaCl}_2$  و  $\text{MgCl}_2$ )، بافر اسیدهای ضعیف برای کنترل پ-هاش (استیک اسید و اگزالیک اسید)، عوامل کلات‌کننده ( $\text{EDTA}$  و  $\text{DTPA}$ )، عوامل احیاکننده ( $\text{NH}_2\text{OH}$ )، اسیدهای قوی ( $\text{HF}$ ،  $\text{HClO}_4$  و  $\text{HNO}_3$  و  $\text{HCl}$ ) و مواد قلیایی ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) به‌طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته است. بسیاری از روش‌های عصاره‌گیری ساده و مرحله‌ای براساس روش تسی بر و یا نسخه‌های مختلف آن بنیان نهاده شده است. به‌طوری‌که برای تعیین اجزای شیمیایی فلزات از نمونه‌های خاک از عصاره‌گیرهای مختلف استفاده می‌شود تا اطلاعات سودمندی درباره قابلیت دسترسی زیستی و تحرک فلزات به‌دست آید. در این مورد بخش شیمیایی فلز وابسته به عصاره‌گیرها و شرایط عملی انجام عصاره‌گیری است (۱۶). این تحقیق با هدف مطالعه اثر کاربرد سه ساله لجن کنورتور و سرباره کارخانه ذوب‌آهن اصفهان بر ۱. مقدار آهن قابل جذب، ۲. شکل‌های شیمیایی آهن و ۳. چگونگی توزیع این شکل‌ها در خاک سطحی و عمقی سه خاک آهکی در قالب طرح اسپلینت پلات با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تیمار، در سه تکرار و در دو عمق طی سه سال متوالی اجرا شد.

شکل‌های شیمیایی و قابل استخراج به وسیله DTPA آهن در ...

## مواد و روش‌ها

این تحقیق در سه مزرعه آزمایشی خزان، لورک و شروان متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان با سابقه یک تا سه سال سطوح مختلف ترکیبات سرباره و لجن کنورتور در قالب طرح کرت‌های خرد شده با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی انجام پذیرفت. جدول ۱ نتایج اولیه تجزیه خاک در سه مزرعه آزمایشی را نشان می‌دهد. تیمارهای آزمایشی عبارت‌اند از: ۱. شاهد (Control) بدون افزایش مواد حاوی آهن. ۲. لجن کنورتور به میزان ۱ و ۲ و ۳ برابر مقدار توصیه آزمون خاک [۵] برحسب آهن قابل جذب این ترکیب (L<sub>10</sub>، L<sub>20</sub>، L<sub>30</sub>، L<sub>40</sub>). ۳. سرباره ذوب‌آهن به میزان ۱، ۲، ۳ و ۴ برابر مقدار توصیه آزمون خاک بر حسب آهن قابل جذب این ترکیب (S<sub>10</sub>، S<sub>20</sub>، S<sub>30</sub>، S<sub>40</sub>). برای اعمال تیمارها در هر مزرعه در سال اول سه بلوک و در هر بلوک ۹ کرت به ابعاد ۳ در ۱۲ متر انتخاب شد. با توجه به غلظت آهن قابل عصاره‌گیری خاک مزرعه‌ها قبل از آزمایش و هم‌چنین میزان آهن قابل جذب ترکیبات لجن کنورتور و سرباره ذوب‌آهن، مقدار آهن قابل جذب خاک به ۱، ۲، ۳ و ۴ برابر حد بحرانی افزایش یافت. به ترتیب برابر ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک تا عمق ۱۵ سانتی‌متری از سطح خاک محاسبه و به کرت‌های مربوطه اضافه شدند.

حد بحرانی آهن قابل جذب خاک برای اغلب محصولات زراعی برابر با ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ذکر شده است (۱۵). جدول شماره ۲ نتایج تجزیه شیمیایی لجن کنورتور و سرباره را نشان می‌دهد. حدود ۶۳/۵ درصد لجن کنورتور را اکسیدهای دو ظرفیتی و سه ظرفیتی آهن تشکیل می‌دهند. از طرفی مقادیر کلسیم، سیلیسیم، منگنز، فسفر و منیزیم هم در لجن قابل ملاحظه بوده که به نوعی حائز اهمیت است. در کارخانجات مختلف بسته به نوع کوره و تکنولوژی مربوطه ترکیب شیمیایی لجن می‌تواند متفاوت باشد. آهن کل سرباره ۱۶/۸۳ درصد است و اکسید آهن (III) ۷/۸۷ درصد آن را تشکیل می‌دهد. اکسید کلسیم (CaO) از نظر کمی بیشترین مقدار را به خود

اختصاص داده است (۵۲/۸۵٪). عناصر دیگری چون منیزیم، فسفر، منگنز، سیلیسیم و مقادیر کمی روی در سرباره وجود دارد که در تأمین نیاز گیاه می‌تواند مؤثر باشد. مقادیر تیمارها با نسبت اشاره شده ویر مبنای ۱۵ سانتی‌متر عمق خاک برای لجن کنورتور در سطوح مختلف L<sub>10</sub>=۵/۱۱، L<sub>20</sub>=۱۲/۶۱، L<sub>30</sub>=۲۰/۱۱ و L<sub>40</sub>=۲۷/۶۱ تن در هکتار و برای سرباره در سطوح مختلف S<sub>10</sub>=۲/۷۸، S<sub>20</sub>=۶/۸۶، S<sub>30</sub>=۱۰/۹۵، S<sub>40</sub>=۱۵/۰۳ تن در هکتار محاسبه شد. مواد مورد نیاز به صورت یکنواخت در سطح کرت‌ها پخش و تا عمق ۱۵ سانتی‌متری به خوبی با خاک مخلوط گردید. تیمارها به صورت تصادفی در هر تکرار اعمال شدند. در سال دوم یک سوم کرت‌ها رها شد ولی در دو سوم دیگر کرت‌ها مطابق سال اول کوددهی صورت گرفت. در سال سوم، دو سوم کرت‌ها رها و در یک سوم دیگر مطابق سال اول و دوم کوددهی صورت گرفت. تا پایان سال سوم کل کرت به غیر از کرت شاهد به سه کرت تقسیم شد که به ترتیب ۱ سال، ۲ سال و سه سال متوالی کوددهی شدند. از هر پلات آزمایشی دو نمونه خاک مرکب از دو عمق ۲۰- و ۰-۴۵- سانتی‌متر برداشته شد. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه، هوا خشک و کوبیده شده و از الک دو میلی‌متر عبور داده شدند. برای مشاهده بهتر نتایج آزمایش سطوح L<sub>40</sub> و S<sub>40</sub> انتخاب و برای تجزیه‌های لازم مورد استفاده قرار گرفتند. برای تعیین شکل‌های شیمیایی آهن از روش شومان و تسی یر استفاده شد. این روش عصاره‌گیری ترکیبی از دو روش عصاره‌گیری مرحله‌ای است که توسط شومان و تسی یر پیشنهاد شده است (۹ و ۱۴).

بر طبق این روش نمونه خاک به طور متوالی با: آب مقطر دوبار دیونیزه شده برای استخراج فرم محلول، کلرید منیزیم ۱ مولار در پ- هاش ۷ برای استخراج فرم تبادل، هیپو کلریت سدیم در پ- هاش ۹ برای استخراج آهن متصل به مواد آلی (۱۱)، بافر استات سدیم- استیک اسید ۱ مولار در پ- هاش ۵ برای استخراج آهن کربناته (۱۴)، هیدروکسیل آمین- هیدروکلراید ۰/۱ مولار در اسید نیتریک ۰/۱ مولار تنظیم شده

جدول ۱. نتایج اولیه تجزیه خاک در سه مزرعه آزمایشی

مزرعه	بافت خاک	pH گل اشباع	ECe (dS/m)	pH CaCl <sub>2</sub> (۱:۵)	OM (%)	CaCO <sub>3</sub> (%)
خزانه	لوم رسی شنی	۸/۱	۴/۳	۶/۸	۰/۹	۶۰/۶
لورک	لوم رسی سیلتی	۸/۲	۱/۶	۶/۸	۱/۱	۳۹/۵
شروان	رسی	۸/۰	۲/۰	۶/۹	۲/۲	۳۷/۰

جدول ۲. نتایج تجزیه شیمیایی لجن کنورتور و سرباره (آزمایشگاه مرکزی شرکت ذوب آهن اصفهان)

نتایج تجزیه شیمیایی سرباره			نتایج تجزیه شیمیایی لجن کنورتور		
مقدار (%)	ترکیب	ردیف	مقدار (%)	ترکیب	ردیف
۱۶/۸	Total-Fe	۱	۴۴/۳	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱
۷/۸	FeO	۲	۱۹/۲	FeO	۲
۴/۴	MnO	۳	۶/۱	CaO	۳
۸/۹	Si O <sub>2</sub>	۴	۱/۳	Si O <sub>2</sub>	۴
۵۲/۸	CaO	۵	۰/۲	MgO	۵
۲/۲	MgO	۶	۰/۱	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۶
۲/۳	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	۷	۰/۲	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	۷
۴/۷	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	۸	۱/۰	MnO	۸
۰/۷	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۹	۰/۰	ZnO	۹
۰/۱	S	۱۰	۰/۰	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	۱۰
۰/۰	ZnO	۱۱	۰/۱	S	۱۱
۰/۰	Na <sub>2</sub> O	۱۲	۱/۰	Loss on ignition	۱۲
۰/۰	K <sub>2</sub> O	۱۳	۰/۲	Na <sub>2</sub> O	۱۳
			۰/۳	K <sub>2</sub> O	۱۴

سدیم برای استخراج آهن آزاد یا پدوژنیک و هیدروکلریک-نیتریک-هیدرو فلونوریک اسید برای استخراج فرم باقی مانده آهن (۱۲) عصاره گیری شد. در پایان هر مرحله غلظت آهن توسط دستگاه جذب اتمی تعیین شد. برای تعیین آهن قابل جذب گیاه از عصاره گیر DTPA-TEA استفاده شد. در این روش ۲۰ گرم خاک توزین و به داخل ظروف پلاستیکی ۸۰

در پ- هاش ۲ برای استخراج آهن متصل به اکسیدهای کریستالی منگنز (۱۰)، بافر اگزالات آمونیوم- اسید اگزالیک ۰/۲ مولار در پ- هاش ۳ برای استخراج آهن غیرکریستالی (۸)، هیدروکسیل آمین- هیدروکلراید ۱ مولار در اسید استیک ۰/۲۵ (حجمی / حجمی) برای استخراج آهن متصل به هیدروکسیدهای آهن (۱۴)، سیترات- بیکربنات- دیتیونات

ریکاردر و همکاران (۶) در تحقیق خود شکل‌های شیمیایی برخی فلزات سنگین در خاک‌های آلوده به مواد زاید صنایع را مورد بررسی قرار دادند. این محققین نشان دادند کاربرد این ترکیبات باعث افزایش مقدار آهن تبادلی در خاک سطحی و عمقی شد.

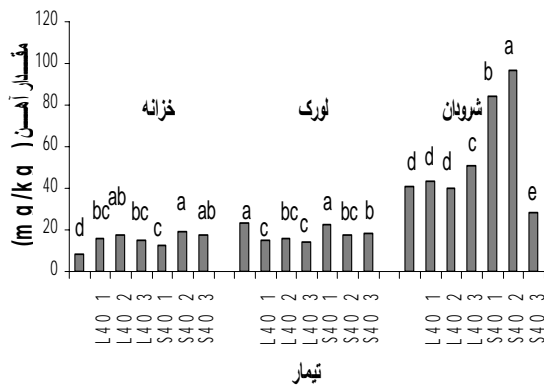
کاربرد سرباره و لجن کنورتور برای دو و سه سال متوالی سبب افزایش مقدار آهن متصل به مواد آلی در خاک سطحی و عمقی هر سه مزرعه شد. درحالی که کاربرد سرباره و لجن کنورتور برای سه سال متوالی در خاک سطحی و عمقی مزرعه‌های آزمایشی سبب کاهش مقدار آهن کربناته شد. شکل‌های ۵، ۶، ۷ و ۸ این مطلب را به خوبی نشان می‌دهند. سوکاریا و همکاران (۱۳) در تحقیق خود اثر کاربرد مواد زاید زیستی غنی‌شده با پس مانده‌های صنایع را بر فرم‌های شیمیایی فلزات سنگین مانند آهن، روی، مس و منگنز در خاک بررسی کردند. این محققین نشان دادند کاربرد این ترکیبات مقدار فلزات متصل به مواد آلی خاک را نسبت به تیمار شاهد به میزان بیشتری در خاک سطحی (عمق ۲۵-۲۰ سانتی‌متر) و خاک عمقی (عمق ۵۰-۲۵ سانتی‌متر) افزایش داد. این محققین نشان دادند این افزایش متناسب با میزان کاربرد این ترکیبات است، به طوری که کاربرد ۲۱۰ مگاگرم بر هکتار از این ترکیبات باعث افزایش بیشتر فلزات متصل به مواد آلی خاک سطحی نسبت به کاربرد این ترکیبات به میزان ۱۲۶ مگاگرم بر هکتار و تیمار شاهد شد. مارشنر و ویلزینسکی (۵) در تحقیق خود نشان دادند فلزات سنگین مانند آهن قادرند با مواد آلی محلول در خاک کلات تشکیل دهند و به دلیل حلالیت بالا در اثر بارندگی و آبیاری از سطح به عمق خاک منتقل شوند. کاربرد لجن کنورتور طی سه سال متوالی (۳-۴۰ L) در هر سه مزرعه آزمایشی و برای عمق‌های ۲۰-۰، ۲۰-۴۵، ۲۰-۴۵ سانتی‌متر مقدار آهن آمورف، آهن متصل به اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن، آهن آزاد و آهن باقی‌مانده را به میزان قابل توجه نسبت به تیمار شاهد افزایش داده است. شکل‌های ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷ و ۱۸ این مطلب را به خوبی نشان می‌دهند.

میلی‌لیتری منتقل شد و آنگاه ۵۰ میلی‌لیتر محلول ۰/۰۰۵ مولار DTPA + ۰/۰۱ مولار  $\text{CaCl}_2$  + ۰/۱ مولار تری اتانول آمین (TEA) به مجموعه اضافه و برای مدت ۲ ساعت شیک شد. پس از عصاره‌گیری به وسیله کاغذ صافی واتمن ۴۲ غلظت آهن محلول توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. مقایسه میانگین‌ها به کمک آزمون‌های t و LSD در سطح ۵ درصد انجام پذیرفت. برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار EXCEL استفاده گردید.

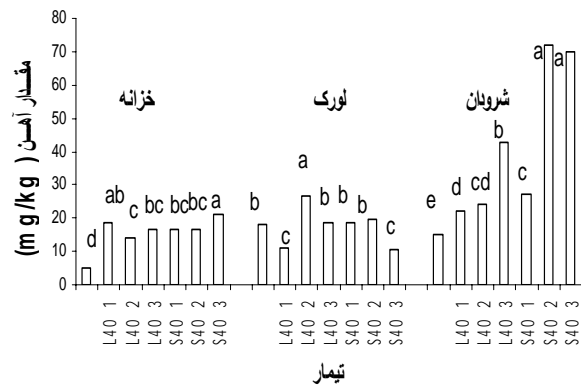
## نتایج و بحث

شکل‌های ۱ تا ۱۸ اثر تیمارها بر مقدار نسبی شکل‌های شیمیایی آهن به ترتیب در خاک سطحی (عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر) و خاک عمقی (عمق ۴۵-۲۰ سانتی‌متر) سه مزرعه خزان، لورک و شروان را نشان می‌دهند. نتایج نشان می‌دهد مقدار آهن باقی‌مانده، آهن متصل به اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن، آهن آزاد و آهن آمورف (بی شکل) بیش از ۹۹٪ آهن کل را در همه تیمارها به خود اختصاص داده است. در حالی که سایر فرم‌های شیمیایی آهن کمتر از ۱٪ آهن کل را به خود اختصاص داده‌اند. این نشان می‌دهد که آهن بیشتر در فرم اکسیدها و هیدروکسیدهای آمورف (بی شکل) و کریستالی در خاک یافت می‌شود. در خاک‌های آلی ۵۰٪ آهن در بخش سولفید آلی یافت می‌شود. اما در خاک‌های معدنی که بیشتر در مناطق خشک و نیمه خشک قرار دارند و اغلب آهکی و قلیایی هستند بیشتر آهن به شکل اکسیدهای آهن کریستالی، آمورف و بخش باقی‌مانده در خاک یافت می‌شود (۴).

نتایج نشان می‌دهد در هر سه مزرعه آزمایشی کاربرد سرباره کنورتور و لجن کنورتور طی دو و سه سال متوالی (۲-۴۰ L, ۳-۴۰-۳, S۴۰-۳, L۴۰-۳, S۴۰-۲) در افزایش مقادیر آهن مراحل عصاره‌گیری و آهن قابل جذب مؤثرتر بوده است. به طوری که کاربرد سرباره طی دو و سه سال متوالی سبب افزایش مقدار آهن محلول و تبادلی در خاک سطحی و عمقی هر سه مزرعه شد. شکل‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ این مطلب را به خوبی نشان می‌دهند.

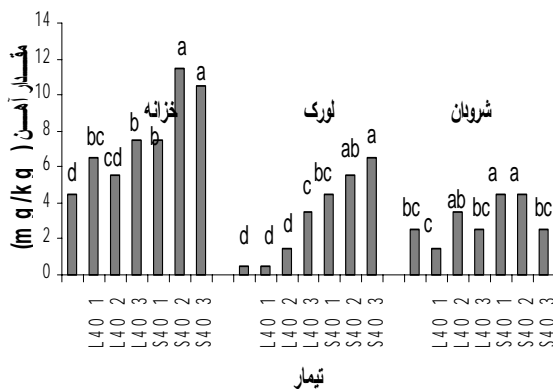


شکل ۲ (۲۰-۴۵)

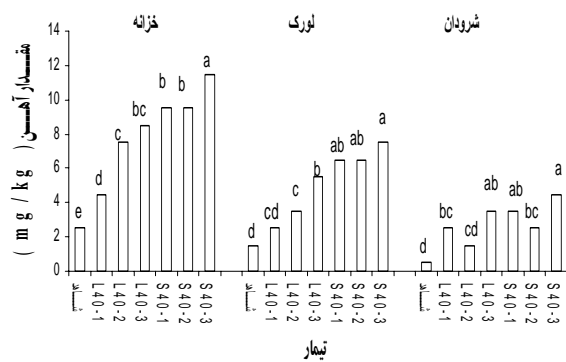


شکل ۱ (۲۰-۰)

شکل ۱ و ۲. اثر سال‌های کاربرد سرباره و لجن کنورتور بر مقدار آهن محلول (مرحله ۱) در عمق ۰-۲۰ و ۲۰-۴۵ سانتی‌متری خاک سه مزرعه خزانه، لورک و شرویان. L40 و S40 = به ترتیب لجن کنورتور و سرباره به میزان ۴ برابر مقدار توصیه آزمون خاک بر حسب آهن قابل جذب این ترکیبات. ۱، ۲ و ۳ نشان‌دهنده سال کوددهی است. حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون LSD و در سطح ۵٪ ( $P < 0.05$ ) برای هر مزرعه می‌باشد.

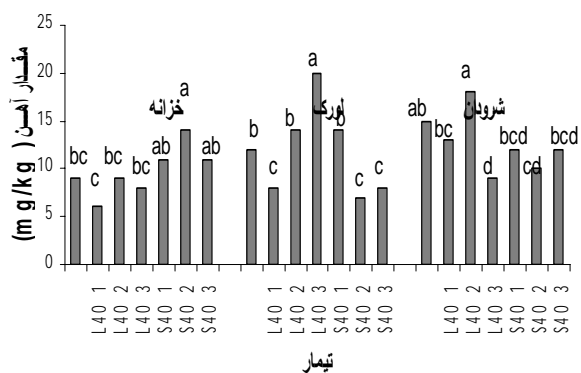


شکل ۴ (۲۰-۴۵)

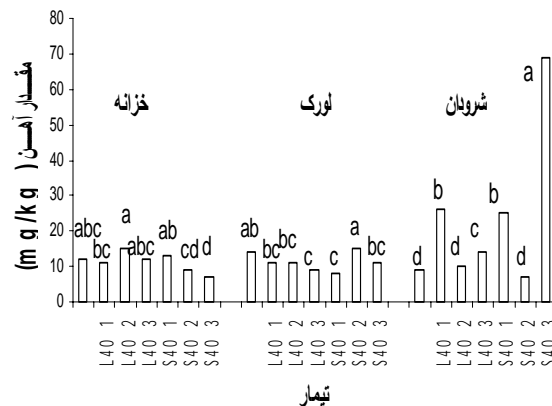


شکل ۳ (۲۰-۰)

شکل ۳ و ۴. اثر سال‌های کاربرد سرباره و لجن کنورتور بر مقدار آهن تبدلی (مرحله ۲) در عمق ۰-۲۰ و ۲۰-۴۵ سانتی‌متری خاک سه مزرعه خزانه، لورک و شرویان. L40 و S40 = به ترتیب لجن کنورتور و سرباره به میزان ۴ برابر مقدار توصیه آزمون خاک بر حسب آهن قابل جذب این ترکیبات. ۱، ۲ و ۳ نشان‌دهنده سال کوددهی است. حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون LSD و در سطح ۵٪ ( $P < 0.05$ ) برای هر مزرعه می‌باشد.

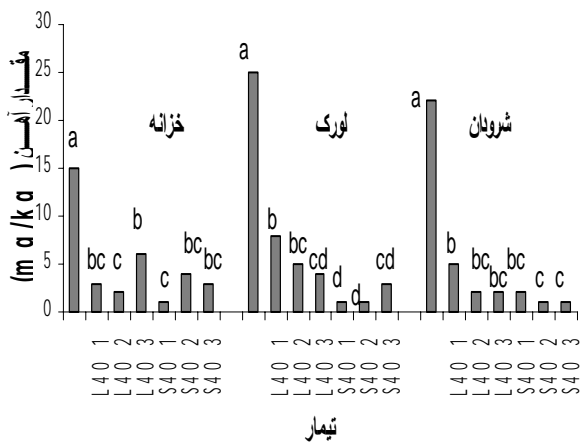


شکل ۶ (۲۰-۴۵)

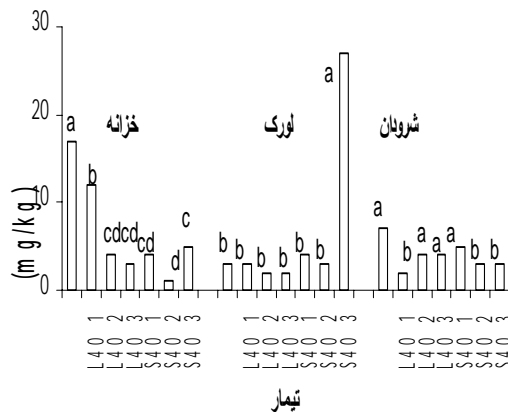


شکل ۵ (۲۰-۰)

شکل ۵ و ۶. اثر سال های کاربرد سرباره و لجن کنورتور بر مقدار آهن متصل به مواد آلی (مرحله ۳) در عمق ۰-۲۰ و ۲۰-۴۵ سانتی متری خاک سه مزرعه خزانه، لورک و شرویان. L۴۰ و S۴۰ = به ترتیب لجن کنورتور و سرباره به میزان ۴ برابر مقدار توصیه آزمون خاک برحسب آهن قابل جذب این ترکیبات. ۳ و ۲، ۱ نشان دهنده سال کوددهی است. حروف مشترک نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار براساس آزمون LSD و در سطح ۵٪ ( $P < 0.05$ ) برای هر مزرعه می باشد.

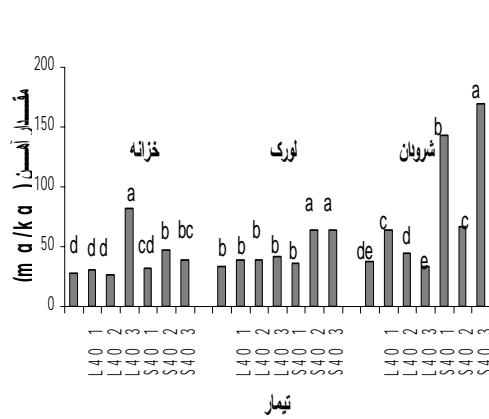


شکل ۸ (۲۰-۴۵)

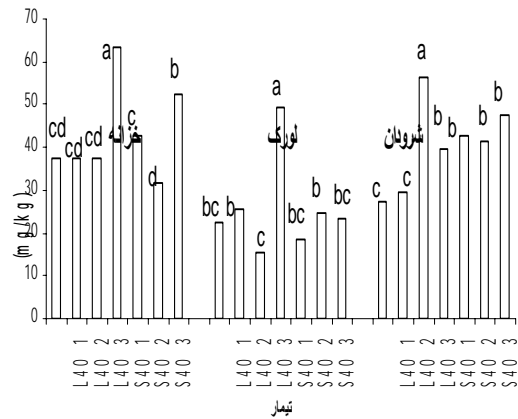


شکل ۷ (۲۰-۰)

شکل ۷ و ۸. اثر سال های کاربرد سرباره و لجن کنورتور بر مقدار آهن کربناته (مرحله ۴) در عمق ۰-۲۰ و ۲۰-۴۵ سانتی متری خاک سه مزرعه خزانه، لورک و شرویان. L۴۰ و S۴۰ = به ترتیب لجن کنورتور و سرباره به میزان ۴ برابر مقدار توصیه آزمون خاک برحسب آهن قابل جذب این ترکیبات. ۳ و ۲، ۱ نشان دهنده سال کوددهی است. حروف مشترک نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار براساس آزمون LSD و در سطح ۵٪ ( $P < 0.05$ ) برای هر مزرعه می باشد.

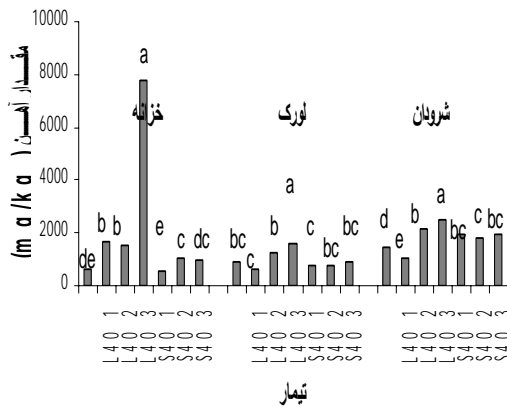


شکل ۱۰ (۲۰-۴۵)

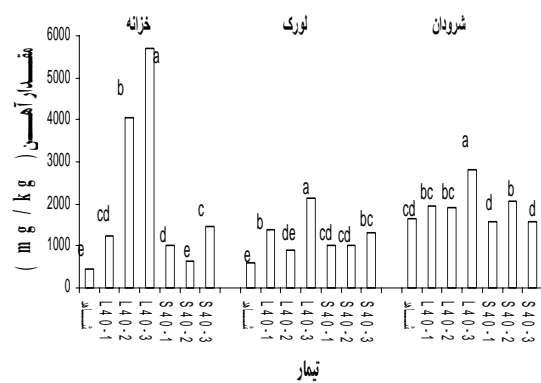


شکل ۹ (۲۰-۰)

شکل ۹ و ۱۰. اثر سال‌های کاربرد سرباره و لجن کنورتور بر مقدار آهن متصل به اکسیدهای منگنز (مرحله ۵) در عمق ۰-۲۰ و ۲۰-۴۵ سانتی‌متری خاک سه مزرعه خزانة، لورک و شرویان.  $L^{40}$  و  $S^{40}$  = به ترتیب لجن کنورتور و سرباره به میزان ۴ برابر مقدار توصیه آزمون خاک برحسب آهن قابل جذب این ترکیبات. ۳ و ۲، ۱ نشان‌دهنده سال کوددهی است. حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون LSD و در سطح ۵٪ ( $P < 0.05$ ) برای هر مزرعه می‌باشد.



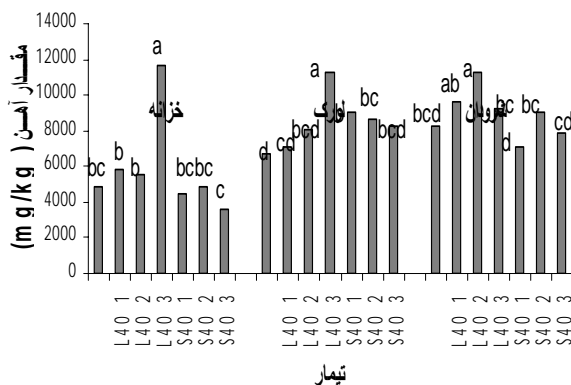
شکل ۱۲ (۲۰-۴۵)



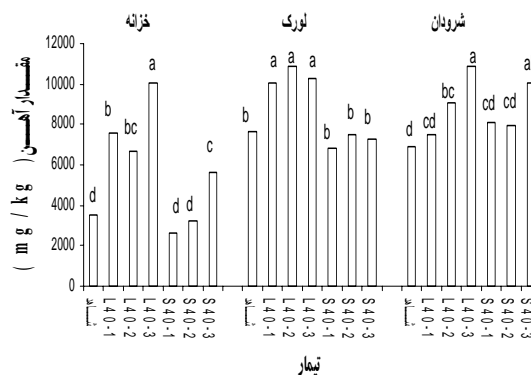
شکل ۱۱ (۲۰-۰)

شکل ۱۱ و ۱۲. اثر سال‌های کاربرد سرباره و لجن کنورتور بر مقدار آهن آمورف (بی‌شکل) (مرحله ۶) در عمق ۰-۲۰ و ۲۰-۴۵ سانتی‌متری خاک سه مزرعه خزانة، لورک و شرویان.  $L^{40}$  و  $S^{40}$  = به ترتیب لجن کنورتور و سرباره به میزان ۴ برابر مقدار توصیه آزمون خاک برحسب آهن قابل جذب این ترکیبات. ۳ و ۲، ۱ نشان‌دهنده سال کوددهی است. حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون LSD و در سطح ۵٪ ( $P < 0.05$ ) برای هر مزرعه است.



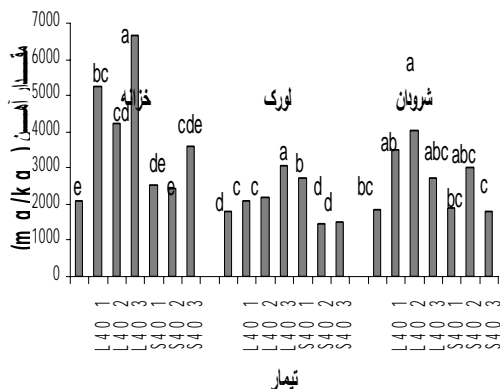


شکل ۱۴ (۲۰-۴۵)

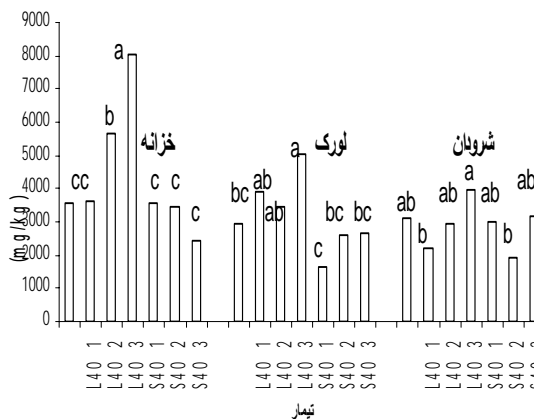


شکل ۱۳ (۲۰-۰)

شکل ۱۳ و ۱۴. اثر سال‌های کاربرد سرباره و لجن کنورتور بر مقدار آهن اکسیدی و هیدروکسیدی (مرحله ۷) در عمق ۰-۲۰ و ۲۰-۴۵ سانتی‌متری خاک سه مزرعه خزانه، لورک و شرویان. L<sup>۴۰</sup> و S<sup>۴۰</sup> = به ترتیب لجن کنورتور و سرباره به میزان ۴ برابر مقدار توصیه آزمون خاک برحسب آهن قابل جذب این ترکیبات. ۲،۱ و ۳ نشان‌دهنده سال کوددهی است. حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون LSD و در سطح ۵٪ (P < ۰/۰۵) برای هر مزرعه می‌باشد.

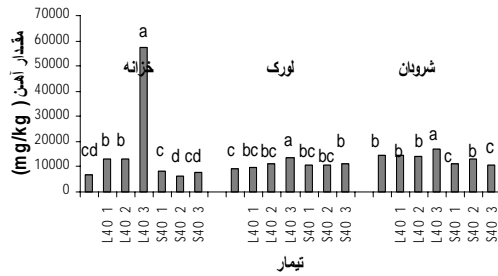


شکل ۱۶ (۲۰-۴۵)

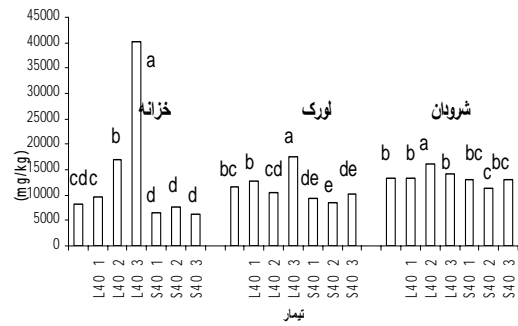


شکل ۱۵ (۲۰-۰)

شکل ۱۵ و ۱۶. اثر سال‌های کاربرد سرباره و لجن کنورتور بر مقدار آهن آزاد (مرحله ۸) در عمق ۰-۲۰ و ۲۰-۴۵ سانتی‌متری خاک سه مزرعه خزانه، لورک و شرویان. L<sup>۴۰</sup> و S<sup>۴۰</sup> = به ترتیب لجن کنورتور و سرباره به میزان ۴ برابر مقدار توصیه آزمون خاک برحسب آهن قابل جذب این ترکیبات. ۲،۱ و ۳ نشان‌دهنده سال کوددهی است. حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون LSD و در سطح ۵٪ (P < ۰/۰۵) برای هر مزرعه می‌باشد.



شکل ۱۸ (۴۵-۲۰)



شکل ۱۷ (۲۰-۰)

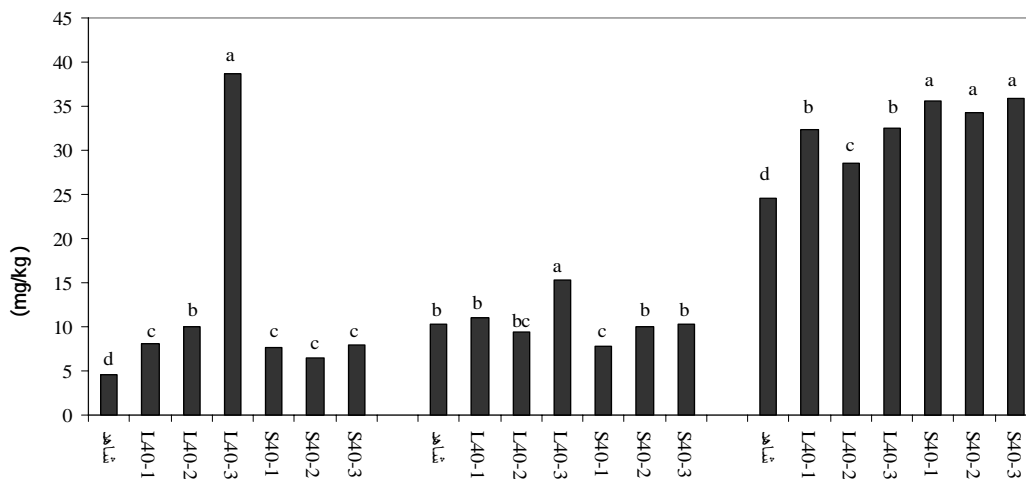
شکل ۱۷ و ۱۸. اثر سال‌های کاربرد سرباره و لجن کنورتور بر مقدار آهن باقی‌مانده (مرحله ۹) در عمق ۲۰-۰ و ۴۵-۲۰ سانتی‌متری خاک سه مزرعه خزانة، لورک و شرویان. L۴۰ و S۴۰ = به ترتیب لجن کنورتور و سرباره به میزان ۴ برابر مقدار توصیه آزمون خاک برحسب آهن قابل جذب این ترکیبات. ۲،۱ و ۳ نشان‌دهنده سال کوددهی است. حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون LSD و در سطح ۵٪ ( $P < 0.05$ ) برای هر مزرعه می‌باشد.

کلات داده و به صورت قابل جذب عصاره‌گیری شده است. شکل‌های ۱۹ و ۲۰ اثر سال‌های کاربرد سرباره و لجن کنورتور بر مقدار آهن قابل جذب برای عمق ۲۰-۰ و ۴۵-۲۰ سانتی‌متری خاک را نشان می‌دهند.

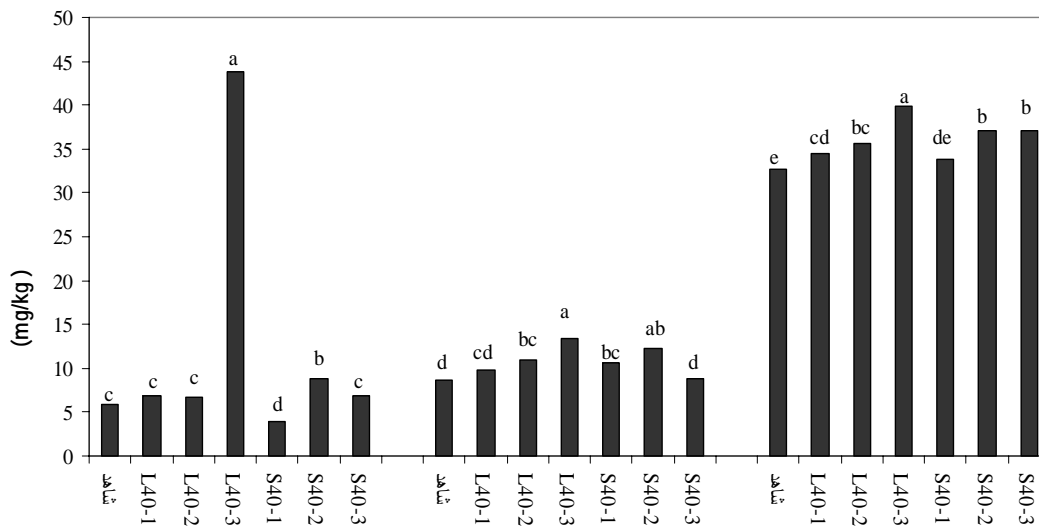
محمودآبادی (۳) در تحقیقی اثر کاربرد سطوح مختلف سرباره و لجن کنورتور را بر مقدار آهن قابل عصاره‌گیری توسط DTPA در سه مزرعه تحقیقاتی خزانة، لورک و شرویان مورد بررسی قرار داد. ایشان نشان داد در مزرعه خزانة سطوح سه و چهار درصد وزنی لجن کنورتور و سرباره (L۳۰، L۴۰، S۳۰ و S۴۰) با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند در صورتی که این سطوح با شاهد دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشند. این روند تقریباً در دو مزرعه دیگر نیز مشاهده می‌شود. دستوری (۱) در تحقیقی نشان داد، تیمار ۵/۰ درصد وزنی لجن کنورتور (L۰/۵) از نظر آهن قابل جذب تفاوت معنی‌داری با شاهد ندارد. تیمارهای یک و دو درصد وزنی لجن کنورتور (L۱ و L۲) تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند ولی هر دو با L۰/۵ اختلاف معنی‌دار نشان می‌دهند. عباسپور (۲) نشان داد که کاربرد لجن کنورتور به میزان ۱۶ درصد جرم خاک در یک خاک اسیدی باعث افزایش معنی‌دار آهن قابل عصاره‌گیری با DTPA شد،

احتمالاً دلیل این امر مقدار بیشتر آهن در ترکیب لجن کنورتور (۱۹/۲۲٪ = اکسید آهن (II) و ۴۴/۳٪ = اکسید آهن (III)) نسبت به سرباره (۷/۸۷٪ = اکسید آهن (II) و ۱۶/۸۳٪ = آهن کل) است. در واقع آهن به خوبی از لجن کنورتور جدا شده، حل شده و در ساختار اکسیدهای آهن کریستالی، آمورف و بخش باقی‌مانده خاک سطحی و عمقی این مزارع قرار گرفته است. البته شاید خوب مخلوط شدن این ترکیب با خاک سطحی نیز در افزایش مقدار آهن این بخش تأثیرگذار باشد. در مزرعه‌های خزانة و لورک کاربرد سه ساله لجن کنورتور (L۴۰-۳) برای عمق‌های ۲۰-۰ و ۴۵-۲۰ سانتی‌متر، در مزرعه شرویان کاربرد سه ساله سرباره (S۴۰-۳) برای عمق ۲۰-۰ و کاربرد سه ساله لجن کنورتور (L۴۰-۳) برای عمق ۲۰-۰ و ۴۵-۲۰ سانتی‌متر باعث افزایش قابل ملاحظه مقدار آهن قابل جذب عصاره‌گیری شده توسط DTPA-TEA شد.

در مزرعه شرویان در واقع آهن به خوبی از این ترکیب حل و جدا شده و به صورت قابل جذب عصاره‌گیری شده است. شاید یکی از دلایل این امر بهتر مخلوط شدن سرباره با خاک سطحی باشد. یا این که احتمالاً آهن موجود در سرباره بهتر از لجن کنورتور با ماده آلی قابل توجه مزرعه شرویان تشکیل



شکل ۱۹. اثر سال‌های کاربرد سربراره و لجن کنورتور بر مقدار آهن قابل جذب برای عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری خاک سه مزرعه خزانه، لورک و شروان. L<sup>۴۰</sup> و S<sup>۴۰</sup> = به ترتیب لجن کنورتور و سربراره به میزان ۴ برابر مقدار توصیه آزمون خاک بر حسب آهن قابل جذب این ترکیبات. ۳ و ۲، ۱ نشان‌دهنده سال کوددهی است. حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون LSD و در سطح ۵٪ (P < ۰/۰۵) برای هر مزرعه می‌باشد.



شکل ۲۰. اثر سال‌های کاربرد سربراره و لجن کنورتور بر مقدار آهن قابل جذب برای عمق ۲۰-۴۵ سانتی‌متری خاک سه مزرعه خزانه، لورک و شروان. L<sup>۴۰</sup> و S<sup>۴۰</sup> = به ترتیب لجن کنورتور و سربراره به میزان ۴ برابر مقدار توصیه آزمون خاک بر حسب آهن قابل جذب این ترکیبات. ۳ و ۲، ۱ نشان‌دهنده سال کوددهی است. حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون LSD و در سطح ۵٪ (P < ۰/۰۵) برای هر مزرعه می‌باشد.

به طوری که مقدار آهن قابل استخراج در این خاک تا حدود ۳۰ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت.

آهن قابل جذب (DTPA-TEA) برای هر سه مزرعه آزمایشی شد. در کل کاربرد لجن کنورتور نسبت به سرباره طی سه سال متوالی تأثیر بیشتری بر مقدار آهن آمورف، آهن متصل به اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن، آهن آزاد و آهن باقی مانده داشت.

### نتیجه گیری

مقدار آهن باقی مانده، آهن متصل به اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن، آهن آزاد و آهن آمورف (بی شکل) بیش از ۹۹٪ آهن کل را در همه تیمارها به خود اختصاص داده است. در حالی که سایر فرم‌های شیمیایی آهن کمتر از ۱٪ آهن کل را به خود اختصاص داده‌اند. کاربرد سرباره و لجن کنورتور طی سه سال متوالی باعث افزایش قابل توجه مقدار آهن در هریک از مراحل عصاره‌گیری و

### سپاسگزاری

از کارخانه ذوب آهن اصفهان و دانشگاه صنعتی اصفهان که با همکاری صمیمانه خود شرایط لازم را برای انجام این کار تحقیقاتی فراهم کردند سپاسگزاری می‌گردد.

### منابع مورد استفاده

۱. دستوری، ع. ۱۳۸۰. اثر پوسته‌های اکسیدی، لجن کنورتور و سرباره کارخانجات ذوب آهن و فولادسازی بر رشد و عملکرد ذرت در یک خاک آهکی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۲. عباسپور، ع. ۱۳۷۹. بررسی اثر کاربرد لجن کنورتور به عنوان کود آهن و ماده به‌ساز در خاک‌های آهکی و اسیدی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۳. محمود آبادی، ع. ۱۳۸۳. اثر لجن کنورتور و سرباره ذوب آهن بر عملکرد ذرت و جذب برخی عناصر سنگین در سه خاک آهکی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
4. Hoffman, S. J. and W. K. Fletcher. 1978. Selective sequential extraction of Cu, Zn, Fe, Mn, and Mo from soils and sediments. PP. 289-299. In: J. R. Watterson and P. K. Theobald, (Eds.), Geochemical Exploration, IMM Publ.
5. Marschner, B. and A. M. Wilczynski. 1991. The effect of liming on quantity and chemical composition of soil organic matter in a pine forest in Berlin, Germany. Plant Soil. 137: 229-236.
6. Melamed, R., X. Cao, M. Chen and L. Q. Ma. 2003. Field assessment of lead immobilization in a contaminated soil after phosphate application. Sci. Total. Environ. 305: 117-127.
7. Rauret, G., R. Rubio, J. F. Lopez-Sanchez and E. Casassas. 1989. Specific procedure for metal solid speciation in heavily polluted river sediments. Intern. J. Environ. Anal. Chem. 35: 89-100.
8. Schwertman, U. 1973. Use of oxalate for Fe extraction from soils. Can. J. Soil. Sci. 53: 244-246.
9. Shuman, L. M. 1985. Fractionation methods for soil microelements. Soil Sci. 140: 11-22.
10. Shuman, L. M. 1982. Separation soil iron and manganese oxide fractions for microelement analysis. Soil Sci. Soc. Amer. J. 46: 1099-1102.
11. Shuman, L. M. 1983. Sodium hypochlorite method for extracting microelements associated with organic matter. Soil Sci. Soc. Amer. J. 47: 656-660.
12. Sridhar, K. and M. L. Jackson. 1947. Layer charge decrease by tetrahedral cation removal and silicon incorporation during natural weathering of phlogopite and saponite. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 38: 847-850.
13. Sukkariyah, B. F., G. Evanylo and L. Zelazny. 2005. Recovery and distribution of biosolids-derived trace metals in a clay loam soil. J. Environ. Qual. 34: 1843-1850.
14. Tessier, A., P. G. C. Campbell and M. Bisson. 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. Anal. Chem. 51: 844-851.
15. Tisdale, S. L., W. L. Nelson, J. D. Beaton and J. L. Havlin. 1985. Soil Fertility and Fertilizers. 5<sup>th</sup> ed., McMillan Pub. Co., NY.
16. Tokalioglu, S., S. Kartal and G. Birol. 2003. Application of a tree-stage sequential extraction procedure for the determination of extractable metal contents in highway soils. Turk. J. Chem. 27: 333-346.

## Chemical Forms and DTPA Extractable Iron in Soils Treated with Slag and Converter Sludge of Esfahan Steel Mill

A. Kazemi\*, H. Shariatmadari and M. Kalbasi<sup>1</sup>

(Received : Jul. 14-2010 ; Accepted : Aug. 20-2011)

### Abstract

Iron deficiency is most widespread among plant nutrients. Nowadays, different materials such as inorganic salts, organic chelates, soil acidifying materials and industrial wastes are used to correct iron deficiency. Slag and converter sludge of steel factories are among the industrial wastes for this purpose. These materials contain considerable amount of iron produced in large quantities every year. Application of slag and converter sludge to soil may affect bioavailability and chemical forms of iron in soil. Sequential chemical extraction technique has been widely used to examine these chemical forms, and thus to better understand the processes that influence element availability. It was, therefore, the objective of this study to investigate the application effect of slag and converter sludge of Esfahan Steel Mill on the chemical forms of iron, distribution of these forms and bioavailability of iron in surface (0-20cm) and subsurface (20-45cm) soil of three research fields. The results showed that more than 99% of the applied Fe occurred in residual, Fe oxide and hydroxide and free forms. Application of slag and converter sludge for three consecutive years increased chemical forms and DTPA extractable iron in surface and subsurface soil of three fields.

**Keywords:** Slag, Converter sludge, Chemical forms, Extractable Fe.

---

1. Former MSc. Student, Assoc. Prof. and Prof. of Soil Sci., Respectively, College of Agric., Isf. Univ. Technol., Isfahan, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: kazemi\_alireza\_ak@yahoo.com