

کاربرد لجن کنورتور اسیدی شده (ضایعات کارخانه فولاد) به عنوان کود آهن در خاک‌های آهکی

علی عباس‌پور، محمود کلباسی و حسین شریعتمداری^۱

چکیده

امکان استفاده از لجن کنورتور، یک محصول فرعی صنایع فولاد، به عنوان کود آهن بررسی شد. حدود ۶۴ درصد وزن این ماده را اکسیدهای دو و سه ظرفیتی آهن و بقیه را به‌طور عمده عناصری مانند کلسیم، سیلیسیم، منگنز، پتاسیم و فسفر تشکیل داده است. این پژوهش به صورت یک آزمایش انکوباسیون در سه خاک آهکی و با نمونه‌های ۴۰۰ گرمی در رطوبت ظرفیت مزرعه و دمای اتاق به مدت دو ماه انجام شد. تیمارها شامل سطوح مختلف لجن کنورتور (۰، ۸ و ۴ درصد)، لجن همراه با گوگرد عنصری و تیوباسیلوس و لجن اسیدی شده بودند. نمونه برداری از تیمارها در زمان‌های ۱، ۱۰، ۳۰ و ۶۰ روز پس از شروع آزمایش صورت گرفت.

نتایج آزمایش نشان داد که کاربرد لجن کنورتور باعث افزایش مختصری در pH خاک شد ولی در عین حال قابلیت جذب آهن خاک را افزایش داد. مقدار افزایش به‌طور عمده متناسب با مقدار لجن مصرفی بود. اسیدی کردن لجن کنورتور باعث افزایش چشم‌گیری در قابلیت جذب آهن خاک شد ولی مقدار قابل جذب این عنصر عموماً با گذشت زمان کاهش یافت. استفاده از لجن کنورتور همراه با گوگرد عنصری قابلیت جذب آهن و منگنز خاک‌ها را در مقایسه با تیمارهای لجن به تنهایی افزایش داد. همچنین استفاده از لجن کنورتور به تنهایی و همراه با گوگرد عنصری و اسیدسولفوریک باعث افزایش مختصری در قابلیت جذب فسفر خاک‌ها شد. با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان دریافت که لجن کنورتور فولادسازی پتانسیل کاربرد به‌عنوان کود آهن در خاک‌های آهکی را داراست هرچند که انجام پژوهش‌های بیشتر گلخانه‌ای و مزرعه‌ای به‌منظور بررسی این موضوع مورد نیاز است.

واژه‌های کلیدی: کلروز آهن، لجن کنورتور فولاد، کود آهن

مقدمه

وجود دارد (۱). مؤثرترین روش برای مرتفع کردن کلروز آهن، استفاده از کلات‌های مصنوعی آهن است ولی به دلیل گرانی عموماً برای محصولات خاص استفاده می‌شود (۸). بنابراین استفاده از ترکیبات جایگزین که بتواند به طور مؤثر کلروز آهن را معالجه نماید ضروری است. تاکنون بررسی‌های

عارضه کلروز آهن عمدتاً در خاک‌های آهکی و قلیایی رایج است که بین ۲۵ تا ۴۵ درصد زمین‌های کشاورزی در سطح جهان آهکی هستند (۴ و ۲). در ایران نیز این عارضه در کلیه مناطق میوه خیز همچون: خراسان، اصفهان، کرج و آذربایجان

۱. به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

والاس و همکاران (۱۳) از مخلوط گوگرد و ضایعات اسیدی آهن حاصله از معادن مس که آبرون سل نامیده می شود به منظور تصحیح کلروز آهن ناشی از آهک استفاده کردند. نتایج به دست آمده نشان داد که مخلوط آبرون سل و گوگرد (۵۰۰ گرم خاک + ۰/۲۵ گرم آبرون سل + ۰/۷۵ گرم گوگرد) مؤثرترین تیمار بود. آنان بر این باور بودند که اسید موجود در آبرون سل نه تنها در قابل جذب کردن آهن مشارکت می کند بلکه توانایی باکتری های گوگردی خاک را برای اکسایش گوگرد بالا می برد. هدف های این پژوهش عبارت اند از:

۱. بررسی تغییرات pH، آهن و سایر عناصر غذایی قابل جذب گیاه در خاک ناشی از افزودن مقادیر مختلفی از لجن کنورتور.
۲. به کار بردن مخلوطی از لجن کنورتور با گوگرد عنصری و اسیدسولفوریک و بررسی تغییرات pH، آهن و سایر عناصر غذایی قابل جذب گیاه در خاک. بدیهی است در صورت امکان استفاده از این ترکیب به عنوان کود آهن، علاوه بر کاهش مشکل تغذیه گیاه در خاک های آهکی، مشکلات انبار کردن این مواد و همچنین خطرات زیست محیطی حاصل از آن برطرف خواهد شد. علاوه بر آن فروش این ضایعات منبع درآمد اضافی برای کارخانه فولاد نیز خواهد بود.

مواد و روش ها

لجن کنورتور علاوه بر آهن، حاوی مقادیر قابل توجهی کلسیم، منیزیم، آلومینیوم، سیلیسیم، منگنز، روی، فسفر و عناصر دیگر می باشد (جدول ۱) که مقادیر آنها بسته به نوع سنگ آهن و روش تولید فولاد، متغیر است (۱۲). این پژوهش بر روی سه خاک آهکی از مناطق اصفهان، گلشهر و مورچه خورت استان اصفهان انجام گرفت. نمونه های خاک پس از انتقال به آزمایشگاه خشک شدن در مجاورت هوا از الک ۲ میلی متری گذرانده شدند و در هر خاک آهن، منگنز، روی و مس قابل استخراج $(AB-DTPA)NH_4HCO_3-DTPA$ ، طبق روش پیشنهادی سلطان پور و شواب (۱۰) استخراج شد. تعدادی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک ها از قبیل pH گل اشباع، EC عصاره اشباع و بافت خاک

زیادی در زمینه استفاده از محصولات جنبی صنایع به عنوان کود آهن در کشاورزی انجام گرفته است. از جمله این ضایعات می توان به لجن کنورتور صنایع فولاد اشاره کرد. لجن کنورتور در کارخانه های تولید فولاد در مرحله اکسایش چدن مذاب تشکیل می شود. در این مرحله هنگامی که اکسیژن به داخل کوره فولاد (کنورتور) تزریق می شود گرد و غباری از داخل کوره به بیرون انتشار می یابد. این ذرات به تأسیسات و دستگاه ها آسیب می رسانند، بنابراین توسط آب جمع آوری شده و پس از خشک کردن به صورت پودر در انبار نگهداری می شود. به ازای تولید هر تن فولاد، ۱۳ تا ۱۸ کیلوگرم لجن کنورتور به صورت پودر تولید می گردد (۱۲). تولید سالانه مقدار بسیار زیاد این ماده باعث بروز مشکلات انبارداری گشته و همچنین از لحاظ زیست محیطی ممکن است خطراتی را به همراه داشته باشد. ترکیب این ماده حاکی از وجود تعدادی از عناصر پر مصرف (کلسیم، منیزیم و فسفر) و کم مصرف (آهن و منگنز) در غلظت بالاست، پودری بودن آن (سطح ویژه زیاد) و وجود مقادیر نسبتاً زیاد آهن به خصوص آهن دو ظرفیتی امکان کاربرد آن را به عنوان کود آهن تقویت می کند.

استرولین و برگر (۱۱) از فروسل حاصل از صنایع فولاد به عنوان کود آهن و ماده اصلاحی استفاده نمودند. این ماده که مخلوطی از اسیدسولفوریک و سولفات های آهن است، توانست افزایش عملکرد یونجه و ذرت را به همراه داشته باشد. پارکپیان (۹) از لجن کنورتور به عنوان کود آهن استفاده نمود. این ترکیب که حاوی ۴۳ درصد آهن، ۵ درصد روی و ۲ درصد منگنز بود به دو صورت پودری و دانه ای همراه با اسیدسولفوریک (نسبت ۱:۲ اسید به لجن) یا بدون آن مورد استفاده قرار گرفت که بیشترین عملکرد سورگوم در تیمار لجن پودری اسیدی شده دیده شد. فروهر (۳) در بررسی خود، از پودر آهن ضایعاتی حاصل از صنایع فولاد استفاده نمود که ۹۶/۵ درصد ترکیب را اکسید آهن تشکیل می داد. استفاده از این ترکیب سبب کاهش معنی دار pH و افزایش معنی دار آهن قابل استخراج با EDTA در سه خاک مورد آزمایش شد.

جدول ۱. نتایج تجزیه شیمیایی لجن کنورتور

ترکیب	مقدار	ترکیب	مقدار
-----%	-----%	-----%	-----%
Fe ₂ O ₃	۴۴/۳۰	MnO	۱/۰۲
FeO	۱۹/۲۲	ZnO	۰/۰۳
CaO	۶/۱۲	V ₂ O ₅	۰/۰۷
SiO ₂	۱/۳۰	S	۰/۱۳
MgO	۰/۲۴	Na ₂ O	۱/۰۲
Al ₂ O ₃	۰/۱۰	K ₂ O	۰/۲۰
P ₂ O ₃	۰/۲۷	L.O.I*	۰/۳۰

* Loss on ignition

جدول ۲. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های

مورد مطالعه

منطقه	اصغر آباد	گلشهر	مورچه خورت
نمونه برداری			
بافت خاک	شن رسی	لومی	شن لومی
pH	۷/۵	۸/۰	۷/۶
EC (dS/m)	۷/۵	۲/۰	۱۰/۰
مواد آلی (%)	۰/۸۷	۰/۷۰	۰/۴۶
ازت کل (%)	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۲
آهک (%)	۴۳	۴۰	۴۰
فسفر (mg/kg)	۱۵/۰	۱۷/۷	۱۵/۷
پتاسیم (mg/kg)	۱۴۷/۸	۱۲۵/۸	۲۰۷/۲
آهن (mg/kg)	۱۵/۷	۱۳/۷	۶/۳
منگنز (mg/kg)	۲۲/۲	۲۲/۹	۸۴/۹
روی (mg/kg)	۱/۴	۱/۴	۱/۰

و هم‌چنین ماده آلی، ازت خاک، آهک و عناصر عصاره‌گیری شده توسط AB-DTPA در جدول ۲ نشان داده شده است. اثر لجن کنورتور بر خصوصیات خاک در یک آزمایش انکوباسیون و در سه تکرار به صورت طرح پایه کاملاً تصادفی در قالب فاکتوریل اجرا شد. در این آزمایش، نمونه‌های خاک (حدود ۴۰۰

گرم) در دمای معمولی اتاق و رطوبت ظرفیت مزرعه به مدت ۲ ماه نگهداری شدند. تیمارها به قرار زیر است:

۱. L₀: شاهد.

۲. L₄ و L₈: لجن کنورتور به میزان ۴ و ۸ درصد جرم خاک.

۳. L₄pH₄ و L₄pH₂: لجن اسیدی شده تاپ هاش ۲/۵ و ۴/۷ به میزان ۴ درصد جرم خاک.

۴. S₁: گوگرد عنصری به میزان ۱ درصد جرم خاک.

۵. L₄S₁T و L₄S₁: ۴ درصد لجن کنورتور + ۱ درصد گوگرد عنصری و همراه با مایه تلقیح تیو باسیلوس.

برای اسیدی کردن لجن کنورتور از اسید سولفوریک غلیظ و برای تیمارهای گوگرد عنصری از پودر میکرونیزه گوگرد استفاده گردید. مایه تلقیح تیو باسیلوس از مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه شد. نمونه‌برداری از تیمارهای مورد آزمایش در زمان‌های ۱، ۱۰، ۳۰ و ۶۰ روز پس از شروع انکوباسیون انجام گرفت. در این نمونه‌ها EC و pH در تعلیق ۲/۵: ۱ خاک به آب تعیین شد. هم‌چنین عناصر Fe، Mn، Zn، Cu، P و K به وسیله عصاره‌گیر AB-DTPA از خاک استخراج شد. آهن، روی، مس و منگنز عصاره‌گیری شده به وسیله دستگاه جذب اتمی پرکین‌المر-مدل ۳۰۳۰، فسفر به روش اسپکتروفتومتری و پتاسیم با روش فلیم فتومتری اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری pH با استفاده از الکترود شیشه‌ای متصل به pH متر مدل ۶۲۰ و EC با دستگاه هدایت سنج متر اهم انجام شد.

نتایج و بحث

تغییرات آهن قابل استخراج خاک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) اثر متقابل تیمار در زمان نگهداری را برای آهن قابل استخراج با AB-DTPA در هر سه خاک آهکی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار نشان می‌دهد. در تیمارهای لجن کنورتور (L₄ و L₈) متناسب با مقدار لجن، آهن قابل استخراج با AB-DTPA در خاک‌های مورد آزمایش افزایش یافته است (جدول ۵). استفاده از مقادیر زیاد لجن کنورتور (L₈) باعث کاهش قابلیت استخراج آهن در

جدول ۳. تجزیه واریانس مربوط به pH و مقدار قابل عصاره‌گیری آهن و منگنز خاک‌ها

میانگین مربعات						منابع تغییر	
خاک مورچه خورت			خاک گلشهر			درجه	آزادی
pH	منگنز	آهن	pH	منگنز	آهن	خاک اصغر آباد	
۰/۱۷**	۹۴۵/۳**	۱۹۴۳۳/۰**	۰/۵۵**	۳۹۱/۴**	۱۵۹۰۲/۴**	۰/۲۳**	۳۱۷۸۸/۸**
۰/۰۵**	۱۴۹۳/۶**	۲۷۲۷/۶**	۰/۱۴**	۷۵۹/۶**	۶۸۵/۵**	۰/۰۱ ^{NS}	۱۲۱۴/۸**
۰/۰۲**	۳۶۶/۱**	۶۸۳/۵**	۰/۰۴**	۶۱/۵**	۱۵۱/۷**	۰/۰۲**	۲۵۴/۰**
۰/۰۰۳	۳/۱	۱۰/۳	۰/۰۰۳	۱/۸	۲۰/۴	۰/۰۱	۱۷/۶

*: در سطح احتمال ۱٪ معنی دار است.

NS: در سطح احتمال ۵٪ معنی دار نیست.

جدول ۴. تجزیه واریانس مربوط به EC و مقدار قابل عصاره‌گیری فسفر، پتاسیم و روی خاک‌ها

میانگین مربعات						منابع تغییر	
خاک مورچه خورت			خاک گلشهر			درجه	آزادی
EC	روى	پتاسیم	فسفر	پتاسیم	فسفر	خاک اصغر آباد	
EC	روى	پتاسیم	فسفر	پتاسیم	فسفر	روى	
۱۲/۶ ^{NS}	۰/۳۱**	۱۱۶۳/۸ ^{NS}	۲۳/۵**	۱/۱۳**	۱۴۵/۵ ^{NS}	۰/۴۷**	۴/۸**
۱۰/۷ ^{NS}	۰/۰۴ ^{NS}	۴۲۹/۰ ^{NS}	۲۳/۳**	۴/۸۱**	۳۷/۹ ^{NS}	۰/۴۴*	۲/۴ ^{NS}
۷/۸ ^{NS}	۰/۰۶ ^{NS}	۹۸۳/۳ ^{NS}	۳/۳**	۰/۰۵۳**	۹۷/۵*	۰/۱۵ ^{NS}	۱/۹ ^{NS}
۷/۹	۰/۰۶	۱۰۸/۳	۱/۵	۰/۱	۵۱/۸	۰/۱۲	۱/۹

*: در سطح احتمال ۱٪ معنی دار است.

NS: در سطح احتمال ۵٪ معنی دار نیست.

جدول ۵. اثر تیمار و زمان نگهداری بر مقدار آهن (mg/kg) قابل عصاره‌گیری با AB-DTPA

L ₄ S ₁ T	L ₄ S ₁	S ₁	تیمار				L ₀	زمان انکوباسیون	خاک
			L ₄ pH ₄	L ₄ pH ₂	L _g	L ₄			
۶۹/۹	۴۹/۱	۲۸/۵	۱۷۱/۸	۱۸۱/۶	۶۵/۱	۶۵/۲	۲۵/۴	۱	
۵۱/۵	۴۲/۰	۲۵/۳	۱۳۸/۰	۱۵۸/۰	۶۵/۱	۶۱/۱	۲۰/۳	۱۰	
۴۴/۳	۳۹/۹	۲۳/۶	۱۳۸/۸	۱۵۶/۳	۵۷/۹	۴۵/۱	۱۹/۴	۳۰	اصفر آباد
۳۶/۳	۳۷/۷	۲۶/۴	۹۹/۸	۱۴۷/۴	۴۸/۵	۵۱/۷	۱۹/۷	۶۰	
۵۰/۵ ^d	۴۲/۳ ^c	۲۵/۹ ^f	۱۳۷/۱ ^b	۱۶۰/۸ ^a	۵۹/۱ ^c	۵۵/۸ ^{cd}	۲۱/۲ ^f	میانگین	
۳۴/۴	۳۷/۱	۱۵/۱	۹۶/۰	۱۳۴/۹	۵۴/۳	۳۸/۳	۱۳/۸	۱	
۵۳/۱	۳۶/۴	۲۶/۰	۹۲/۶	۱۱۹/۱	۵۴/۷	۵۴/۹	۱۵/۲	۱۰	
۵۲/۰	۳۳/۵	۱۷/۷	۸۴/۵	۱۳۳/۷	۴۶/۸	۲۹/۸	۱۲/۴	۳۰	گلشهر
۳۲/۴	۳۵/۷	۱۵/۳	۸۲/۵	۱۰۴/۷	۳۸/۰	۳۱/۶	۱۲/۸	۶۰	
۴۳/۰ ^d	۳۳/۲ ^c	۱۸/۵ ^f	۸۸/۹ ^b	۱۲۰/۶ ^a	۴۸/۵ ^c	۳۸۸ ^d	۱۳/۵ ^f	میانگین	
۴۵/۲	۴۵/۲	۸/۹	۱۴۳/۷	۱۵۹/۵	۶۵/۱	۴۲/۹	۶/۸	۱	
۳۶/۵	۳۹/۳	۹/۱	۹۲/۷	۱۳۳/۷	۶۳/۷	۳۸/۶	۶/۷	۱۰	
۳۸/۱	۳۴/۸	۷/۳	۶۸/۹	۸۶/۳	۵۸/۷	۳۵/۱	۵/۶	۳۰	مورچه خورت
۳۳/۹	۲۷/۹	۶/۳	۹۰/۲	۹۴/۰	۵۹/۴	۲۴/۹ ^f	۴/۶	۶۰	
۳۸/۴ ^d	۳۶/۸ ^d	۷/۶ ^c	۱۰۲/۸ ^b	۱۱۴/۴ ^a	۶۱/۷ ^c	۳۵/۴ ^d	۵/۹ ^e	میانگین	

در هر ستون اعداد دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵٪ تفاوتی با یکدیگر ندارند.

تغییرات منگنز قابل استخراج خاک

اثر متقابل تیمار در زمان نگهداری برای منگنز قابل استخراج با AB-DTPA در هر سه خاک در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شده است (جدول ۳). تیمارهای حاوی اسیدسولفوریک بهترین نتیجه را در افزایش منگنز قابل استخراج در همه خاک‌ها داشته است (جدول ۶)، ولی در این تیمارها با گذشت ۲ ماه از شروع آزمایش، کاهش معنی‌داری در منگنز قابل استخراج نسبت به زمان شروع آزمایش ایجاد شده است. کاهش عمده در ۱۰ روز اول اتفاق افتاده، هر چندکه ممکن است این کاهش در زمان کمتر از ۱۰ روز به وقوع پیوسته باشد. به نظر می‌رسد روند نزولی منگنز قابل استخراج در طول زمان نگهداری به دلیل تغییرات pH و رسوب یا اکسایش منگنز II و III به IV می‌شود که منگنز IV می‌تواند به صورت کانی‌های کم محلول در محیط خاک رسوب کند. تیمارهای حاوی گوگرد عنصری (L_4S_1 و L_4S_1T) نیز افزایش معنی‌داری در منگنز قابل استخراج نشان می‌دهند. در طول نخستین ماه آزمایش، افزایش معنی‌داری در مقدار منگنز قابل استخراج از خاک در تیمارهای حاوی گوگرد عنصری دیده می‌شود، ولی احتمال می‌رود بخش اعظم اکسایش گوگرد در ماه اول اتفاق افتاده باشد. در ماه دوم میزان قابلیت استخراج منگنز کاهش یافته است. افزودن لجن کنورتور (L_4 و L_8) باعث افزایش جزئی در قابلیت استخراج منگنز شده است. علت افزایش را می‌توان به منگنز موجود در ترکیب لجن (به میزان ۱/۰۲ درصد) نسبت داد.

تغییرات pH و EC خاک

کاربرد لجن اسیدی کاهش معنی‌داری در pH خاک نسبت به شاهد به وجود آورده ولی این کاهش در طول زمان نگهداری تا حدودی خنثی شده است (جدول ۷). تأثیر کوتاه مدت تیمارهای اسیدی احتمالاً به دلیل اسید موجود در لجن این تیمارها و افزایش pH در مراحل بعدی به دلیل خنثی شدن این اسید به وسیله آهک خاک است. تیمارهای حاوی گوگرد عنصری کاهش معنی‌داری را در pH خاک باعث شده‌اند ولی

طول زمان نگهداری شده است. به نظر می‌رسد که دلیل آن، افزایش pH و رسوب ترکیبات نامحلول تر آهن در خاک باشد (۷). اسیدی کردن لجن کنورتور (L_4pH_2 و L_4pH_4) آهن قابل استخراج با AB-DTPA را در مقایسه با شاهد به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش داده است. هر چند که در طول زمان نگهداری از قابلیت استخراج آهن کاسته شده ولی با این وجود مقدار آن پس از گذشت ۶۰ روز از شروع آزمایش، چندین برابر شاهد می‌باشد، این در حالی است که pH در این تیمارها نسبت به شاهد کاهش چشم‌گیری نداشته است. به عنوان مثال در خاک مورچه خورت pH در تیمار L_4pH_2 نسبت به شاهد پس از پایان دوره انکوباسیون کاهش نیافته، این در حالی است که آهن قابل استخراج در تیمار مذکور حدود ۱۷ برابر شاهد افزایش یافته است که نشان دهنده افزایش شدید آهن قابل استخراج در اثر افزودن لجن اسیدی شده به خاک بدون کاهش pH است. پارکپیان (۹) لجن کنورتور را با اسیدسولفوریک مخلوط نمود (نسبت ۱:۲ گرد و غبار به اسید)، بدین طریق میزان آهن قابل استخراج آن از ۴ به ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک افزایش یافت ولی پس از گذشت ۶۰ روز مقدار آن به ۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک تنزل یافت. فروهر (۳) گزارش کرد مقدار آهن قابل استخراج با EDTA در خاک‌هایی که با پودر اکسید آهن ضایعاتی تیمار شده بودند کاهش معنی‌داری در طول ۶۰ روز آزمایش انکوباسیون داشته است، ضمن این‌که pH ماده مورد استفاده در این پژوهش حدود ۲ گزارش شده بود.

تیمار ۱ درصد گوگرد عنصری (S_1) تفاوت معنی‌داری در قابلیت استخراج آهن نسبت به شاهد نداشته در حالی که در تیمارهای لجن کنورتور به همراه گوگرد عنصری (L_4S_1) و تیوباسیلوس (L_4S_1T) افزایش معنی‌داری در قابلیت استخراج آهن نسبت به شاهد دیده شده ولی نسبت به L_4 افزایشی را نشان نمی‌دهد. در طول زمان نگهداری مقدار آهن قابل استخراج با AB-DTPA در تیمارهای لجن کنورتور به همراه گوگرد عنصری همانند تیمارهای اسیدسولفوریک کاهش داشته است.

کاربرد لجن کنورتور اسیدی شده (ضایعات کارخانه فولاد) به عنوان کود...

جدول ۶ اثر تیمار و زمان نگهداری بر مقدار منگنز (mg/kg) قابل عصاره گیری با AB-DTPA

تیمار					زمان		شاخ
L ₄ S ₁ T	L ₄ S ₁	S ₁	L ₄ pH ₄	L ₄ pH ₂	L ₈	L ₄	
۶۲/۶	۴۹/۷	۵۱/۹	۵۹/۳	۷۷/۶	۴۶/۴	۲۶/۶	۱
۶۸/۹	۷۵/۱	۸۵/۱	۲۱/۷	۲۲/۹	۳۱/۳	۲۵/۲	۱۰
۹۴/۶	۹۶/۷	۹۳/۴	۱۹/۳	۱۹/۶	۱۹/۴	۲۱/۳	۳۰
۷۰/۶	۴۱/۳	۷۳/۷	۱۰/۴	۱۲/۷	۱۲/۶	۱۵/۶	۶۰
۷۴/۳ ^a	۶۵/۷ ^b	۷۶/۵ ^a	۳۷/۷ ^d	۳۳/۲ ^c	۲۷/۴ ^d	۲۱/۶ ^c	میانگین
۲۸/۲	۲۹/۸	۲۷/۳	۱۹/۹	۲۶/۸	۱۴/۸	۱۲/۲	۱
۳۲/۲	۲۱/۰	۲۷/۰	۱۰/۵	۱۲/۵	۱۰/۹	۲۳/۳	۱۰
۲۷/۲	۱۳/۸	۱۹/۷	۹/۱	۱۰/۱	۹/۶	۸/۰	۳۰
۱۰/۶	۱۴/۳	۹/۹	۸/۱	۶/۴	۶/۴	۷/۰	۶۰
۲۴/۶ ^a	۱۹/۷ ^b	۲۱/۰ ^b	۱۱/۹ ^c	۱۳/۹ ^c	۱۰/۴ ^d	۱۲/۶ ^c	میانگین
۲۷/۹	۲۵/۲	۲۳/۹	۴۵/۸	۵۵/۹	۱۲/۲	۱۰/۲	۱
۳۸/۱	۴۰/۵	۳۹/۴	۱۱/۷	۱۵/۲	۱۳/۰	۹/۸	۱۰
۲۷/۹	۴۰/۱	۱۶/۳	۶/۵	۹/۴	۸/۶	۷/۲	۳۰
۱۵/۰	۹/۷	۱۱/۵	۸/۲	۶/۷	۷/۶	۳/۴	۶۰
۲۷/۳ ^a	۲۸/۹ ^a	۲۲/۸ ^b	۱۸/۱ ^c	۲۱/۸ ^b	۱۰/۴ ^d	۷/۷ ^c	میانگین

در هر ستون اعداد دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵٪ تفاوتی با یکدیگر ندارند.

جدول ۷. اثر تیمار و زمان نگهداری بر pH خاکها

خاک	تیمار						زمان	
	L ₄ S ₁ T	L ₄ S ₁	S ₁	L ₄ pH ₄	L ₄ pH ₂	L ₈	L ₄	L ₀
اصفر آباد	۷/۵۶	۷/۸۰	۷/۵۸	۷/۶۰	۷/۵۰	۸/۰۰	۷/۷۰	۷/۷۶ ^a
	۷/۶۱	۷/۶۱	۷/۵۵	۷/۶۷	۷/۷۲	۷/۹۳	۷/۸۶	۷/۷۳
	۷/۶۵	۷/۶۳	۷/۵۳	۷/۷۳	۷/۷۰	۸/۰۳	۶/۷۶	۷/۷۶
	۷/۶۳	۷/۵۵	۷/۵۳	۷/۷۶	۷/۶۷	۷/۹۶	۷/۸۳	۷/۸۳
	۷/۶۱ ^{cd}	۷/۶۵ ^{cd}	۷/۵۵ ^d	۷/۶۹ ^c	۷/۶۵ ^{cd}	۷/۹۸ ^a	۷/۷۹ ^b	۷/۷۷ ^b
گلشهر	۷/۸۸	۷/۸۵	۷/۸۳	۷/۶۰	۷/۳۸	۸/۰۰	۷/۹۶	۷/۹۸
	۷/۷۱	۷/۷۵	۷/۷۰	۷/۸۰	۷/۶۷	۸/۲۵	۸/۱۵	۸/۱۱
	۷/۵۶	۷/۵۷	۷/۶۰	۷/۶۵	۷/۷۲	۸/۱۰	۸/۰۳	۸/۰۰
	۷/۳۶	۷/۵۰	۷/۶۲	۷/۶۵	۷/۵۰	۸/۰۰	۸/۰۳	۸/۰۱
	۷/۶۳ ^{bc}	۷/۶۷ ^b	۷/۶۹ ^b	۷/۶۷ ^b	۷/۵۷ ^c	۸/۰۹ ^a	۸/۰۴ ^a	۸/۰۳ ^a
مورچه خورت	۷/۸۰	۷/۷۲	۷/۷۲	۷/۶۰	۷/۶۳	۷/۹۸	۷/۹۳	۷/۶۵
	۷/۶۶	۷/۶۵	۷/۶۳	۷/۶۳	۷/۶۸	۸/۰۰	۷/۷۸	۷/۷۰
	۷/۵۸	۷/۵۵	۷/۴۵	۷/۷۲	۷/۶۲	۷/۹۰	۷/۷۰	۷/۷۳
	۷/۵۵	۷/۵۳	۷/۵۲	۷/۶۸	۷/۷۵	۷/۸۸	۷/۸۶	۷/۷۰
	۷/۶۵ ^{cd}	۷/۶۱ ^d	۷/۵۸ ^d	۷/۶۶ ^c	۷/۶۷ ^c	۷/۹۴ ^a	۷/۸۲ ^b	۷/۶۹ ^c

در هر ستون اعداد دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵٪ تفاوتی با یکدیگر ندارند.

جدول ۸. مقایسه اثر تیمارها بر مقدار فسفر، پتاسیم و روی (mg/kg) قابل عصاره گیری با AB-DTPA و EC خاک‌ها (آزمون دانکن)

خاک مورد چرخش				خاک گلشهر				خاک اصغر آباد				تیمار
EC	روی	پتاسیم	فسفر	EC	روی	پتاسیم	فسفر	EC	روی	پتاسیم	فسفر	
۲/۲ ^b	۱/۴ ^b	۲۷۱/۹ ^a	۲۰/۱ ^a	۰/۹ ^d	۱/۶ ^b	۱۳۹/۵ ^a	۱۳/۰ ^c	۳/۱ ^c	۲/۴ ^b	۱۴۰/۴ ^a	۱۱/۱ ^b	L ₀
۲/۲ ^b	۱/۴ ^b	۲۵۵/۳ ^a	۲۱/۷ ^a	۰/۸ ^d	۱/۸ ^b	۱۴۷/۹ ^a	۱۴/۲ ^b	۳/۱ ^c	۲/۳ ^b	۱۴۰/۵ ^a	۱۲/۳ ^{ab}	L ₄
۲/۱ ^b	۱/۵ ^b	۲۵۳/۵ ^a	۲۱/۹ ^a	۰/۸ ^d	۱/۸ ^b	۱۳۸/۴ ^a	۱۵/۱ ^{ab}	۲/۹ ^c	۲/۴ ^b	۱۳۲/۸ ^a	۱۲/۵ ^{ab}	L ₈
۳/۰ ^a	۱/۷ ^a	۲۵۸/۱ ^a	۲۱/۹ ^a	۲/۶ ^a	۲/۴ ^a	۱۴۵/۸ ^a	۱۶/۰ ^a	۳/۹ ^b	۲/۹ ^a	۱۴۲/۲ ^a	۱۲/۸ ^{ab}	L ₄ pH ₂
۲/۹ ^a	۱/۷ ^a	۲۶۲/۶ ^a	۲۰/۶ ^a	۲/۴ ^b	۱/۹ ^{ab}	۱۴۶/۷ ^a	۱۵/۳ ^{ab}	۳/۹ ^b	۲/۸ ^a	۱۴۳/۶ ^a	۱۲/۷ ^{ab}	L ₄ pH ₄
۲/۸ ^a	۱/۳ ^b	۲۶۶/۱ ^a	۱۸/۳ ^b	۲/۳ ^{bc}	۱/۴ ^b	۱۴۱/۶ ^a	۱۵/۲ ^{ab}	۴/۲ ^a	۲/۶ ^{ab}	۱۴۷/۲ ^a	۱۱/۷ ^b	S ₁
۲/۹ ^a	۱/۶ ^{ab}	۲۳۹/۹ ^a	۱۹/۸ ^{ab}	۲/۳ ^{bc}	۲/۰ ^{ab}	۱۴۲/۸ ^a	۱۵/۴ ^{ab}	۳/۹ ^b	۲/۵ ^b	۱۴۵/۰ ^a	۱۲/۶ ^{ab}	L ₄ S ₁
۲/۸ ^a	۱/۴ ^b	۲۶۵/۲ ^a	۱۸/۸ ^b	۲/۲ ^c	۱/۶ ^b	۱۴۱/۲ ^a	۱۵/۴ ^{ab}	۴/۰ ^{ab}	۲/۷ ^{ab}	۱۴۷/۱ ^a	۱۳/۰ ^a	L ₄ S ₁ T

در هر ستون اعداد دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵٪ تفاوتی با یکدیگر ندارند.

حلالیت روی همانند منگنز و آهن شدیداً به pH وابسته است و با کاهش pH، حلالیت کانی‌های حاوی روی افزایش می‌یابد (۷).

نتیجه‌گیری

کاربرد لجن کنورتور باعث افزایش مقدار آهن قابل جذب خاک‌ها شد و مقدار افزایش عموماً متناسب با مقدار لجن مصرفی بود. استفاده از لجن کنورتور همراه با گوگرد عنصری و اسید سولفوریک قابلیت جذب آهن و منگنز را در خاک‌ها در مقایسه با تیمارهای لجن به تنهایی افزایش داد که اسید سولفوریک از این نظر مؤثرتر از گوگرد عنصری بود. استفاده از لجن کنورتور به تنهایی و یا همراه با گوگرد عنصری و اسید سولفوریک افزایش مختصری را در قابلیت جذب فسفر خاک‌ها باعث شد. کاربرد مقادیر زیاد لجن کنورتور باعث افزایش جزئی در pH خاک‌ها شدند در حالی که اسید سولفوریک و گوگرد عنصری کاهش pH خاک‌ها را به همراه داشتند. با گذشت زمان در آزمایش انکوباسیون، یک روند نزولی در مقدار آهن و منگنز قابل استخراج خاک‌ها در همه تیمارها دیده شد. شدت کاهش در تیمارهای حاوی گوگرد عنصری کندتر بود. کاربرد لجن کنورتور همراه با گوگرد عنصری و اسید سولفوریک، هدایت الکتریکی خاک‌ها را افزایش داد ولی تأثیر اسید سولفوریک در این ارتباط مشهودتر بود. به منظور تأیید و کاربردی شدن نتایج این پژوهش، انجام بررسی‌های گلخانه‌ای و مزرعه‌ای با استفاده از گیاهان حساس به استرس آهن و کاربرد لجن کنورتور به عنوان کود آهن پیشنهاد می‌شود.

بر خلاف تیمارهای اسید سولفوریک در طول زمان نگره‌داری افزایش معنی‌داری در pH خاک دیده نشده که نشان‌دهنده اثر دراز مدت‌تر گوگرد بر کاهش pH خاک است. کاهش pH خاک‌های آهکی در اثر افزودن گوگرد عنصری توسط محققان زیادی تأیید شده است (۵ و ۶). تیمارهای L_4S_1 و L_4S_1T آثار مشابهی بر کاهش pH خاک داشته‌اند احتمالاً گونه‌های تیوباسیلوس استفاده شده در شرایط این خاک فعال نبوده‌اند. مقادیر زیاد لجن کنورتور به تنهایی باعث افزایش جزئی در pH خاک شده که به دلیل بالا بودن pH لجن (pH تعلیق ۲/۵: ۱ لجن به آب برابر ۱۱/۲) می‌باشد.

در خاک‌های مورد آزمایش تنها تیمارهای حاوی اسید سولفوریک و گوگرد عنصری باعث افزایش معنی‌دار هدایت الکتریکی نسبت به شاهد گردیده‌اند (جدول ۸). به طور کلی در تیمارهایی که باعث آزاد شدن H^+ شده (اسید سولفوریک و گوگرد عنصری) حلالیت املاح و نمک‌های موجود در خاک و لجن افزایش یافته و بدین طریق هدایت الکتریکی خاک افزایش می‌یابد.

تغییرات فسفر، پتاسیم و روی قابل استخراج

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴)، اثر تیمارها بر فسفر و روی قابل استخراج با AB-DTPA را در هر سه خاک مورد آزمایش در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار نشان داده در حالی که پتاسیم قابل استخراج حتی در سطح ۵٪ معنی‌دار نشده است. کاربرد لجن کنورتور به تنهایی با وجود افزایش جزئی در pH خاک موجب افزایش مختصری در قابلیت استخراج فسفر نسبت به شاهد شده است (جدول ۸). در خاک‌های مورد آزمایش، کاربرد تیمارها تأثیر معنی‌داری در پتاسیم قابل استخراج با AB-DTPA نداشته‌اند (جدول ۸). روی قابل استخراج با AB-DTPA تنها در تیمارهای اسید سولفوریک افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد داشته است (جدول ۸).

منابع مورد استفاده

۱. سالاردینی، ع. ا. ۱۳۷۱. حاصل خیزی خاک. چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه تهران.
۲. سالاردینی، ع. ا. و م. مجتهدی، ۱۳۶۷. اصول تغذیه گیاه. چاپ اول، مرکز نشر دانشگاهی، تهران.
۳. فروهر، م. ۱۳۷۱. بررسی امکان استفاده از پودر اکسید آهن ضایعاتی حاصل از فرایند اسیدشویی فولاد به عنوان کود آهن، دانشکده کشاورزی، پایان نامه کارشناسی ارشد خاک شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۴. کلباسی، م. ۱۳۷۴. کلروز آهن در گیاهان و راه های مبارزه با آن. نشریه شماره ۱۸، سازمان پارک ها و فضای سبز اصفهان.
5. Kalbasi, M., F. Filsoof and Y. Rezai-Nejad. 1988. Effect of sulfur treatment on yield and uptake of Fe, Zn and Mn by corn, sorghum and soybean. J. Plant Nutr. 11: 1353-1360.
6. Kaplan, M. and S. Orman. 1998. Effect of elemental sulfur and sulfur containing waste in a calcareous soil in Turkey. J. Plant Nutr. 21(8): 1655-1665.
7. Lindsay, W. L. 1992. Chemical Equilibria in Soils. John Wiley & Sons, Inc. New York.
8. Mortvedt, J.J. 1988. Iron source and management practices for correcting iron chlorosis problem. J. Plant Nutr. 9: 94-97.
9. Parkpian, P. 1983. The Potential of Iron Waste By-Product as an Iron Fertilizer in Alkaline Soil. Texas A & M University.
10. Soltanpour, P.N. and A.P. Schwab. 1977. A new soil test for simultaneous extraction macro and micro- nutrients in alkaline soils. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 8(3): 195-207.
11. Stroehlin, J.L. and C. Berger. 1963. The use of ferrosul, a steel industry by-product, as a soil amendment. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 27: 51-53.
12. United Nations. 1990. The recuperation and economic utilization of by-product of the iron and steel industry. Economic Commission for Europe. Geneva.
13. Wallace, A., Y.S. Samman and C.A. Wallace. 1982. Correction of lime-induced chlorosis in soybean in a calcareous soil with sulfur and an acidifying iron compound. J. Plant Nutr. 5(4-5): 949-953.