

## بررسی آثار سرباره کنورتور بر خصوصیات شیمیایی خاک‌های اسیدی

علی محمدی ترکشوند، محمود کلباسی و حسین شریعتمداری<sup>۱</sup>

### چکیده

سرباره کنورتور LD یک فرآورده جنبی صنایع آهن و فولاد است که به مقدار زیاد در اصفهان تولید می‌شود. سرباره به کاررفته به ترتیب حاوی ۵۲/۸ و ۲/۲ درصد CaO و MgO است. برای تعیین اثر سرباره LD بر خصوصیات شیمیایی خاک، یک آزمایش انکوباسیون با استفاده از سه خاک اسیدی از گیلان انجام گرفت. نمونه‌های خاک از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری سطح مزارع برنج و توتون و باغ چای گرفته شدند. تیمارها شامل ۰، ۰/۵، ۱، ۲، ۴، ۸ و ۱۶ درصد سرباره کنورتور در هر کیلوگرم خاک بود که به طور کامل با ۰/۵ کیلوگرم از هر خاک مخلوط شد. رطوبت خاک‌ها در ظرفیت مزرعه‌ای برای مدت دو ماه ثابت نگه‌داشته شد، و در زمان‌های ۱، ۱۰، ۳۰ و ۶۰ روز پس از شروع آزمایش از نمونه‌ها، نمونه‌های فرعی برای بررسی تغییرات pH، EC، غلظت Fe، Mn، P و K قابل استخراج با AB-DTPA گرفته شد.

نتایج نشان داد pH خاک با افزایش نسبت سرباره به کاررفته افزایش پیدا کرد. سرباره مقدار P و Mn قابل استخراج با AB-DTPA را متناسب با مقدار به کاررفته افزایش داد. ولی تأثیر سرباره بر مقدار Fe بسته به pH اولیه خاک متفاوت بود، به طوری که با افزایش pH خاک به محدوده ۷/۴-۸/۵ از غلظت آهن کاسته شد و بعد از آن با افزایش pH خاک مقدار آهن دوباره افزایش یافت. سرباره، پتاسیم قابل استخراج با AB-DTPA را به ویژه در خاک‌های شدیداً اسیدی کاهش داد. pH خاک در طول زمان کاهش یافت ولی قابل ملاحظه نبود. مقدار آهن قابل جذب غالباً در طول زمان کاهش یافت. اثر زمان انکوباسیون بر فسفر و منگنز متفاوت بود. اثر زمان بر EC قابل ملاحظه نبود. در کل، خصوصیات شیمیایی خاک‌ها بیشتر تحت تأثیر تیمارها بود تا زمان. با توجه به نتایج به دست آمده به نظر می‌رسد سرباره کنورتور برای اصلاح خاک‌های اسیدی مناسب باشد. پیشنهاد می‌شود که اثر سرباره کنورتور LD بر خصوصیات شیمیایی خاک‌های اسیدی طی آزمایش‌های مزرعه‌ای بررسی شود.

واژه‌های کلیدی: خاک‌های اسیدی، اصلاح کننده، سرباره، کنورتور LD

### مقدمه

می‌رسد این تیمار برای تولید مؤثر در کشاورزی مناطق مرطوب ضروری بوده و منجر به بهبود عملکرد محصولات می‌شود (۶). استفاده از مواد آهکی در خاک‌های اسیدی نسبتاً گران است.

آهک دهی برای خنثی کردن حالت اسیدی خاک یکی از روش‌های معمول در مدیریت خاک‌های اسیدی است. به نظر

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، استاد و استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

از مواد گوناگونی از جمله فرآورده‌های جنبی صنایع در اصلاح خاک‌های اسیدی استفاده شده است (۱۲، ۱۶، ۲۰ و ۲۲) که از مهم‌ترین آنها سرباره فولادسازی است. برای هر تن تولید فولاد، در حدود ۱۵۰ کیلوگرم سرباره تولید می‌شود (۱۸). هر ساله ۲۵۰ میلیون کیلوگرم سرباره در اصفهان تولید می‌شود که حاوی مواد و ترکیبات با ارزشی است (۱). این مواد در حال حاضر بدون استفاده مانده که علاوه بر محدودیت‌های فیزیکی، احتمالاً خطرات بالقوه زیست محیطی را نیز در بر دارد.

بر اساس بررسی‌های به عمل آمده در ایران تاکنون پژوهشی در زمینه استفاده از سرباره (Slag) به عنوان اصلاح‌کننده در خاک‌های اسیدی به عمل نیامده ولی طی سال‌های اخیر در دنیا استفاده از سرباره به عنوان یک ماده آهکی بهساز در خاک‌های اسیدی اهمیت زیادی پیدا کرده است. تنها در جمهوری فدرال آلمان، ۲۰ درصد کل سرباره‌های فولاد سازی به عنوان کود یا اصلاح‌کننده خاک در کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۲۴). چون در فرآیند تولید فولاد از آهک استفاده می‌شود، بنابراین سرباره دارای pH قلیایی است (۹). غلظت زیاد کلسیم و منیزیم، سرباره LD (کلمات L و D دو حروف اول نام دو دهکده در اتریش به نام لینتس و دوناویتس است که آزمایش‌های اولیه فولادسازی به روش کنورتور اکسیژن در آنجا صورت گرفته است.) را به یک ماده با خاصیت آهکی تبدیل کرده است (۱۸). بنابراین استفاده از سرباره به عنوان ماده بهساز و کود در خاک‌های اسیدی عموماً نتایج رضایت بخشی به همراه دارد. بخش زیادی از سرباره تشکیل شده به روش بسمر بازی را با سرباره فولادسازی به روش LDAC مخلوط کرده و آهک توماس تهیه می‌کنند که در کشاورزی کاربرد دارد. در سوئد (۹) مصرف سرباره در مقایسه با سنگ آهک سبب افزایش بیشتر عملکرد محصولات شده است. آگوتوینو و همکاران (۱۲) در تحقیقی که در خاک‌های اسیدی جنوب نیجریه انجام دادند به این نتیجه رسیدند که استفاده از سرباره سبب افزایش pH و فسفر قابل جذب و کاهش آلومینیوم می‌شود. همچنین استفاده از سرباره باعث افزایش جذب کلسیم و پتاسیم و مقدار ماده

خشک گیاهی شده و در مجموع موجب بهبود جذب عناصر غذایی به وسیله گیاهان می‌شود. در تحقیقی استفاده از سرباره LD در جنگل‌ها به ویژه جنگل‌های اکالیپتوس سبب بهبود قابل ملاحظه خصوصیات فیزیکی - شیمیایی خاک شده است. همچنین سرباره LD رشد درختان کاج و تبریزی را نیز افزایش داده است (۱۸). کریستن و همکاران (۹) اثر سرباره و سنگ آهک را در خاک‌های آلی اسیدی نروژ بررسی کردند. آنها نتیجه گرفتند که قدرت خنثی‌کنندگی هر دو ماده در خنثی کردن اسیدیته خاک یکسان است. سرباره علاوه بر ویژگی قلیایی، دارای تعدادی از عناصر مورد نیاز برای رشد گیاهان است (جدول ۱). هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی امکان استفاده از سرباره کنورتور به عنوان یک ماده آهکی در اصلاح خصوصیات شیمیایی خاک‌های اسیدی شمال کشور است.

### مواد و روش‌ها

نتایج تجزیه شیمیایی سرباره کنورتور (LD) مورد استفاده که توسط آزمایشگاه ذوب آهن اصفهان انجام شده بود (جدول ۱) نشان داد که سرباره حاوی ۵۲/۸ درصد اکسید کلسیم و ۲/۲ درصد اکسید منیزیم است. همچنین سرباره دارای مقادیر زیادی آهن، فسفر، منگنز و سیلیسیم است که می‌تواند باعث افزایش محصولات زراعی شود. محل نمونه‌های خاک در خاک‌های اسیدی با توجه به شدت اسیدیته (pH) و محصولات مهمی که در این خاک‌ها کشت می‌شوند انتخاب شدند. با همکاری مؤسسه تحقیقات برنج و بخش تحقیقات توتون از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک یک باغ چای در لاهیجان (خاک شماره ۱)، یک مزرعه توتون (خاک شماره ۲) و یک مزرعه برنج (خاک شماره ۳) در رشت نمونه‌برداری شد. pH خاک باغ چای، مزرعه توتون و مزرعه برنج به ترتیب ۴/۰، ۵/۵ و ۶/۷ بود. نمونه‌های خاک پس از انتقال به آزمایشگاه و خشک شدن در مجاورت هوا با چکش چوبی کوبیده و از الک دو میلی‌متری استیل عبور داده شدند. حدود یک کیلوگرم از هر خاک برای انجام تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی و بقیه برای آزمایش‌های آنکوباسیون مورد استفاده قرار گرفت. برخی

جدول ۱. نتایج تجزیه شیمیایی سرباره کنورتور LD

نوع آنالیز	مقدار (%)
TFe	۱۶/۸۳
FeO	۷/۸۷
MnO	۴/۴۶
SiO <sub>۲</sub>	۸/۹۲
CaO	۵۲/۸۵
MgO	۲/۲۲
V <sub>۲</sub> O <sub>۵</sub>	۲/۳۱
P <sub>۲</sub> O <sub>۵</sub>	۴/۷۶
Al <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	۰/۷۸
S	۰/۱۸
ZnO	۰/۰۵۷
Na <sub>۲</sub> O	۰/۰۷۵
K <sub>۲</sub> O	۰/۰۳۲

غلظت فسفر به روش فسفومولیدات، پتاسیم به روش شعله‌سنجی و آهن، منگنز و روی به روش جذب اتمی تعیین شدند (۳). داده‌های به دست آمده به وسیله نرم‌افزارهای SAS و MSTATC مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند.

### نتایج و بحث

#### pH

در جدول ۳ تأثیر سطوح مختلف سرباره و زمان نگهداری بر pH خاک‌های شماره ۱، ۲ و ۳ نشان داده شده است. آنالیز واریانس نشان داد که اثر تیمارها و زمان انکوباسیون بر pH خاک‌های اسیدی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است (جدول ۴). با افزودن سرباره از ۰/۵ تا ۱۶ درصد، pH هر سه خاک به طور معنی‌داری افزایش یافت. پینتو و همکاران (۱۵) در مراتع ایالت باسک در شمال اسپانیا با استفاده از سرباره LD حاوی ۲۹ درصد کلسیم و ۵ درصد منیزیم به میزان ۷/۵ تن در هکتار نتیجه گرفتند که pH خاک در منطقه دریو (Derio) از ۵/۳ به ۶/۴ و در منطقه آبادیانو (Abadiano) از ۵/۷ به ۶/۵

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد استفاده در جدول ۲ دیده می‌شود. در این پژوهش سرباره در سطوح ۰، ۰/۵، ۱، ۲، ۴، ۸، و ۱۶ درصد در ۳ تکرار در قالب یک طرح کامل تصادفی با ۵۰۰ گرم خاک مخلوط شد. در این مقاله به این سطوح به ترتیب S0، S0.5، S1، S2، S4، S8 و S16 اشاره می‌شود. نمونه‌های تیمار شده به قوطی‌های پلاستیکی با گنجایش ۷۰۰ گرم منتقل و رطوبت آنها در حد ظرفیت مزرعه‌ای نگهداری شد. سپس درب قوطی‌ها بسته و روی درب هر قوطی ۳ سوراخ به قطر تقریبی یک میلی‌متر برای تبادل هوا ایجاد شد. در طول مدت آزمایش (دو ماه) رطوبت نمونه‌های خاک با توزین مرتب قوطی‌ها ثابت نگه داشته شد. در فاصله‌های زمانی ۲۴ ساعت، ۱۰ روز، یک ماه و دو ماه پس از شروع آزمایش، نمونه‌های فرعی برداشت شدند. در این نمونه‌ها پس از هوا خشک شدن، pH و قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره ۲/۵ : ۱ خاک به آب و غلظت فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز و روی به وسیله AB-DTPA عصاره‌گیری (۱۴ و ۲۱) و سپس

جدول ۲. برخی خصوصیات فیزیکی - شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

شماره ۳	شماره ۲	شماره ۱	خاک
لوم رسی	لوم شنی	لوم	بافت
Aquic Hapludalfs	Typic Homuaquepts	Typic Hapludalfs	رده بندی
۶/۷	۵/۵	۴/۱	pH گل اشباع
۱/۱	۱/۳	۰/۷	ECe (dS/m)
۷۲/۸	۳۱/۶	۶۱/۳	SP
۰/۷۹	۱/۲۴	۲/۷۵	ماده آلی (%)
۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۲۷	نیترژن کل (%)
۲/۱	۱۲/۶	۱۰/۲	فسفر
۱۲۷	۱۱۵	۱۹۵	پتاسیم
۴۶۱	۱۰۱	۳۰۷	آهن
۱۴/۴	۱۴/۴	۲۷/۸	منگنز

↑  
mg/kg  
↓

جدول ۳. اثر تیمارهای سرباره و زمان نگهداری بر pH خاک

S16	S8	S4	S2	S1	S0.5	S0	تیمار	
							زمان	خاک
۱۰/۵۰ <sup>a</sup>	۷/۷۳ <sup>c</sup>	۷/۳۰ <sup>f</sup>	۶/۲۰ <sup>g</sup>	۵/۷۶ <sup>hi</sup>	۵/۰۶ <sup>k</sup>	۴/۴۳ <sup>*i</sup>	یک روز	شماره ۱
۱۰/۰۰ <sup>b</sup>	۸/۲۳ <sup>d</sup>	۷/۲۰ <sup>f</sup>	۶/۱۸ <sup>g</sup>	۵/۷۶ <sup>hi</sup>	۵/۰۳ <sup>k</sup>	۴/۴۸ <sup>i</sup>	ده روز	
۹/۰۸ <sup>c</sup>	۸/۱۳ <sup>d</sup>	۷/۰۶ <sup>f</sup>	۶/۲۸ <sup>g</sup>	۵/۴۳ <sup>ij</sup>	۵/۱۶ <sup>jk</sup>	۴/۲۸ <sup>i</sup>	یک ماه	
۹/۳۶ <sup>c</sup>	۸/۰۸ <sup>d</sup>	۷/۲۰ <sup>f</sup>	۶/۲۰ <sup>g</sup>	۵/۲۶ <sup>jk</sup>	۵/۰۶ <sup>jk</sup>	۴/۲۰ <sup>i</sup>	دو ماه	
۹/۳۷ <sup>a</sup>	۸/۰۴ <sup>b</sup>	۷/۱۹ <sup>c</sup>	۶/۱۷ <sup>d</sup>	۵/۵۵ <sup>c</sup>	۵/۱۱ <sup>f</sup>	۴/۳۵ <sup>g</sup>	میانگین	
۱۰/۷۰ <sup>b</sup>	۱۰/۵۳ <sup>bc</sup>	۸/۳۶ <sup>de</sup>	۷/۶۳ <sup>g</sup>	۷/۷۰ <sup>g</sup>	۶/۳۰ <sup>hi</sup>	۶/۰۳ <sup>i</sup>	یک روز	شماره ۲
۱۱/۵۵ <sup>a</sup>	۱۰/۴۰ <sup>bc</sup>	۷/۳۰ <sup>d</sup>	۷/۸۳ <sup>fg</sup>	۷/۱۶ <sup>h</sup>	۶/۳۰ <sup>hi</sup>	۵/۸۶ <sup>ij</sup>	ده روز	
۱۱/۵۰ <sup>a</sup>	۱۰/۳۳ <sup>bc</sup>	۸/۵۰ <sup>d</sup>	۷/۷۶ <sup>g</sup>	۷/۱۳ <sup>h</sup>	۶/۹۰ <sup>h</sup>	۵/۹۳ <sup>ij</sup>	یک ماه	
۱۱/۳۳ <sup>a</sup>	۱۰/۱۶ <sup>c</sup>	۸/۲۶ <sup>def</sup>	۷/۹۳ <sup>efg</sup>	۷/۰۲ <sup>h</sup>	۶/۱۰ <sup>h</sup>	۵/۹۱ <sup>ij</sup>	دو ماه	
۱۱/۵۲ <sup>a</sup>	۱۰/۳۵ <sup>b</sup>	۸/۴۰ <sup>c</sup>	۷/۷۹ <sup>d</sup>	۷/۲۵ <sup>e</sup>	۶/۶۵ <sup>f</sup>	۵/۹۳ <sup>g</sup>	میانگین	
۱۱/۱۳ <sup>a</sup>	۹/۰۳ <sup>c</sup>	۹/۰۳ <sup>c</sup>	۸/۵۳ <sup>cd</sup>	۷/۶۳ <sup>gh</sup>	۷/۵۰ <sup>h</sup>	۷/۲۸ <sup>hi</sup>	یک روز	شماره ۳
۱۰/۴۰ <sup>b</sup>	۹/۰۳ <sup>c</sup>	۷/۸۱ <sup>efgh</sup>	۸/۳۰ <sup>de</sup>	۷/۸۰ <sup>efgh</sup>	۷/۵۸ <sup>gh</sup>	۷/۳۶ <sup>hi</sup>	ده روز	
۱۰/۹۰ <sup>ab</sup>	۸/۹۰ <sup>c</sup>	۸/۱۳ <sup>defg</sup>	۸/۲۵ <sup>def</sup>	۷/۷۰ <sup>fgh</sup>	۷/۳۴ <sup>hi</sup>	۷/۴۸ <sup>h</sup>	یک ماه	
۱۰/۸۸ <sup>ab</sup>	۸/۵۳ <sup>cd</sup>	۸/۶۶ <sup>cd</sup>	۷/۸۶ <sup>efgh</sup>	۶/۸۰ <sup>i</sup>	۷/۴۳ <sup>h</sup>	۷/۴۸ <sup>h</sup>	دو ماه	
۱۰/۸۲ <sup>a</sup>	۸/۸۷ <sup>b</sup>	۸/۴۱ <sup>c</sup>	۸/۲۳ <sup>c</sup>	۷/۴۸ <sup>d</sup>	۷/۴۶ <sup>d</sup>	۷/۴۰ <sup>d</sup>	میانگین	

\*: برای هر خاک، داده‌هایی که در یک حرف مشترک می‌باشند طبق آزمون دانکن در سطح یک درصد معنی‌دار نیست.

افزایش یافت. هم‌چنین اوپا و همکاران (۱۳) نتیجه گرفتند که استفاده از ۵/۳ گرم سرباره کوره بلند در هر گلدان، pH خاک را ۴/۷ به ۵/۸ افزایش داد. بنابراین تصحیح pH خاک‌های اسیدی به وسیله سرباره یکی از مزیت‌های عمده این فرآورده جانبی به حساب می‌آید. دیگران نیز نتایج مشابهی را گزارش کرده‌اند (۷، ۸، ۹، ۱۲ و ۱۷).

در خاک شماره ۱ زمان نگهداری بر pH خاک بخصوص در سطوح کمتر از ۱۶ درصد تأثیر زیادی نداشته است. در خاک

افزایش یافت. هم‌چنین اوپا و همکاران (۱۳) نتیجه گرفتند که استفاده از ۵/۳ گرم سرباره کوره بلند در هر گلدان، pH خاک را ۴/۷ به ۵/۸ افزایش داد. بنابراین تصحیح pH خاک‌های اسیدی به وسیله سرباره یکی از مزیت‌های عمده این فرآورده جانبی

جدول ۴. تجزیه واریانس مربوط به اثر تیمارها و زمان نگهداری بر pH و مقدار فسفر و آهن (mg/kg) قابل استخراج با AB-DTPA در خاک‌ها

فسفر	خاک شماره ۳			میانگین مربعات			خاک شماره ۱			منابع تغییر	
	خاک شماره ۲			خاک شماره ۲			خاک شماره ۱				
	آهن	pH	فسفر	آهن	pH	فسفر	آهن	pH	فسفر		
۱۷۶۵**	۵۹۱۱**	۱۷۷**	۱۵۰۳**	۴۴۳۴**	۴۸۸**	۵۸۰**	۳۵۹۵۷**	۴۱/۶**	۵۸۰**	۶	تیمار
۱۰۹**	۱۲۰۶**	۰/۴۷**	۳۳/۸**	۷۲۵۴**	۰/۰۵ <sup>ns</sup>	۸/۶ <sup>ns</sup>	۵۱۶۱**	۰/۳۳**	۸/۶ <sup>ns</sup>	۳	زمان
۸۵**	۲۲۵۵**	۰/۲۹**	۹۱/۶**	۱۵۹۸**	۰/۱۶**	۶۷/۷**	۴۹۹۹**	۰/۲۲**	۶۷/۷**	۱۸	برهمکنش تیمار× زمان
۴۷	۱۱۳	۰/۰۶	۹/۱	۸۰/۶	۰/۰۴۰	۵/۳	۴۸۰	۰/۰۲۲	۵/۳	۵۶	خطا

\*\* در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار است.

ns : معنی دار نیست.

وجود ندارد، اما تیمارهای S2، S4، S8 و S16 با شاهد و با یکدیگر اختلاف معنی دار دارند. افزایش فسفر قابل عصاره‌گیری در این تیمارها متناسب با مقدار سرباره به کار رفته است. هم‌چنین سرباره حاوی مقدار زیادی سیلیس است که می‌تواند فسفر تثبیت شده را از خاک آزاد کند (۱۹). کریستن و ارستاد (۹) ملاحظه نمودند که بیشترین غلظت فسفر قابل جذب در اثر استفاده از ۱۴/۴ تن در هکتار سرباره به دست آمد. سوبرامانیان و همکاران (۲۳) نیز در تحقیقی با استفاده از مواد آهکی سیلیکاتی (سرباره) دریافتند که کاربرد این مواد در سطحی معادل ۵۰۰ میلی گرم در کیلوگرم سیلیس باعث افزایش فسفر قابل استفاده در خاک شد. زمان بر مقدار فسفر قابل جذب در تیمارهای S0، S0.5، S1 و S2 تأثیر معنی دار نداشته است. فسفر قابل استخراج با AB-DTPA در تیمارهای S4 و S8 در طول زمان افزایش یافته است. احتمالاً افزایش فسفر قابل جذب در طول زمان در این تیمارها به علت تأثیر سرباره بر pH خاک‌ها و افزایش آن تا حد قلیایی ضعیف است (۲) که در این صورت با معدنی شدن فسفر آلی توسط میکروپها، غلظت فسفر افزایش یافته است. کاهش مقدار فسفر قابل جذب در تیمار S16 در یک و دو ماه نسبت به یک و ده روز احتمالاً به دلیل رسوب فسفر به صورت ترکیبات نامحلول تری فسفات کلسیم می‌باشد.

در خاک شماره ۲ نیز سرباره، سبب افزایش معنی دار فسفر قابل استخراج با AB-DTPA در بدو شروع کار شده است. با شروع آزمایش متناسب با سرباره به کار رفته مقدار فسفر قابل جذب افزایش یافته است، ولی در طول زمان تغییرات غلظت فسفر قابل جذب در تیمارها متفاوت بوده است. این تغییرات به گونه‌ای است که در تیمارهای S1، S2 و S4 فسفر قابل جذب در طول زمان افزایش و در تیمارهای S8 و S16 کاهش یافته است. با توجه به افزایش pH خاک در تیمارهای S1، S2 و S4 به حد قلیایی ضعیف، همان‌طور که قبلاً گفته شد فعالیت میکروبی افزایش و با افزایش معدنی شدن فسفر آلی، متعاقب آن فسفر قابل جذب خاک در طول زمان افزایش یافته است. در تیمارهای S8 و S16، نخست در اثر حل شدن سرباره،

شماره ۲ نیز سرباره سبب افزایش معنی دار pH خاک در همه تیمارها و در بدو شروع کار شده است. در تیمار ۰/۵ درصد سرباره بین زمان‌های یک و ده روز با زمان‌های یک و دو ماه اختلاف معنی دار وجود دارد. در تیمار S1 کاهش معنی دار pH خاک در زمان‌های یک و دو ماه نسبت به یک روز مشاهده می‌شود. با این وجود زمان، بر pH خاک در سایر تیمارها تأثیری ندارد. در خاک شماره ۳ نیز همانند دو خاک دیگر pH خاک با مقدار سرباره به کار رفته افزایش یافته است (جدول ۳)، ولی در سطوح ۰/۵ و ۱ درصد سرباره این افزایش بسیار جزئی و با شاهد اختلاف معنی دار ندارد که احتمالاً با توجه به درصد بالای رس در این خاک (بافت لوم رسی) به خاطر قدرت بافری این خاک است. در تیمارهای S2 و S4 در طول زمان از میزان pH خاک کاسته شده است. رودریگز و همکاران (۱۸) در یک آزمایش سه ساله با استفاده از سرباره LD نشان دادند که کاهش pH در طول زمان احتمالاً به خاطر هیدرولیز Fe(III) رس‌های خاک بوده است. در تیمارهای S8 و S16 زمان تأثیر معنی داری بر pH خاک نداشته است. به نظر می‌رسد در این تیمارها مواد قلیایی اضافه شده بیشتر از قدرت خشی‌کنندگی خاک در طول زمان آزمایش بوده است. در مجموع می‌توان گفت که pH خاک بیشتر تحت تأثیر تیمارها بوده است. با توجه به تأثیر نامطلوب سطوح بالای سرباره یعنی S8 و S16 بر pH خاک، این مقادیر به هیچ وجه توصیه نمی‌شوند.

### فسفر

اثر سرباره بر مقدار فسفر در جدول ۵ دیده می‌شود. تأثیر تیمارها و زمان و برهمکنش این دو بر فسفر قابل استخراج با AB-DTPA در سه خاک در سطح یک درصد معنی دار است (جدول ۴). با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت که یکی از پتانسیل‌های مهم سرباره در خاک‌های اسیدی، افزایش مقدار فسفر قابل جذب خاک می‌باشد که این امر، با توجه به مقدار زیاد فسفر در سرباره دور از انتظار نبوده است. در خاک شماره ۱ بین تیمارهای S0.5 و S1 با شاهد اختلاف معنی دار

جدول ۵. اثر سرباره و زمان نگهداری بر فسفر قابل استخراج (mg/kg) با AB-DTPA

S16	S8	S4	S2	S1	S0.5	S0	تیمار	
							زمان	خاک
۲۷/۹۰ <sup>b</sup>	۲۰/۰۴ <sup>def</sup>	۱۰/۸۹ <sup>hijk</sup>	۱۱/۴۳ <sup>hijk</sup>	۹/۳۸ <sup>ijkl</sup>	۹/۰۵ <sup>ijkl</sup>	۹/۰۷ <sup>*ijkl</sup>	یک روز	شماره ۱
۲۸/۵۳ <sup>b</sup>	۲۲/۱۲ <sup>cd</sup>	۱۳/۲۸ <sup>ghij</sup>	۱۱/۳۸ <sup>hijk</sup>	۹/۷۱ <sup>ijkl</sup>	۹/۴۳ <sup>ijkl</sup>	۱۰/۵۴ <sup>hijk</sup>	ده روز	
۱۶/۲۱ <sup>efgh</sup>	۲۵/۷۹ <sup>bc</sup>	۲۱/۱۸ <sup>cde</sup>	۱۵/۸۱ <sup>efgh</sup>	۸/۶۴ <sup>ijkl</sup>	۶/۹۹ <sup>kl</sup>	۱۲/۸۳ <sup>hijk</sup>	یک ماه	
۱۵/۸۰ <sup>efgh</sup>	۳۶/۲۱ <sup>a</sup>	۱۸/۷۶ <sup>defg</sup>	۱۴/۵۲ <sup>efgh</sup>	۸/۸۴ <sup>ijkl</sup>	۴/۶۵ <sup>l</sup>	۸/۱۳ <sup>ijkl</sup>	دو ماه	
۲۲/۱۰ <sup>b</sup>	۲۶/۰۴ <sup>a</sup>	۱۶/۰۳ <sup>c</sup>	۱۳/۲۸ <sup>d</sup>	۹/۱۴ <sup>e</sup>	۷/۵۳ <sup>e</sup>	۱۰/۱۴ <sup>e</sup>	میانگین	
۴۰/۸۱ <sup>abc</sup>	۳۹/۴۶ <sup>abcde</sup>	۲۷/۲۲ <sup>ghij</sup>	۲۵/۸۴ <sup>hi</sup>	۱۵/۱۰ <sup>jk</sup>	۱۱/۳۷ <sup>k</sup>	۱۱/۳۷ <sup>k</sup>	یک روز	شماره ۲
۳۹/۷۰ <sup>abcde</sup>	۴۰/۲۲ <sup>abcd</sup>	۴۱/۵۱ <sup>ab</sup>	۳۳/۹۰ <sup>cdefg</sup>	۱۴/۷۶ <sup>k</sup>	۱۱/۳۷ <sup>k</sup>	۱۱/۳۷ <sup>k</sup>	ده روز	
۳۱/۴۷ <sup>efgh</sup>	۳۶/۹۷ <sup>defgh</sup>	۳۴/۹۷ <sup>bcdefg</sup>	۳۸/۳۱ <sup>abcdef</sup>	۲۳/۸۴ <sup>i</sup>	۱۳/۵۵ <sup>k</sup>	۱۱/۳۷ <sup>k</sup>	یک ماه	
۲۲/۲۹ <sup>ij</sup>	۳۶/۴۷ <sup>efgh</sup>	۴۱/۹۹ <sup>a</sup>	۳۴/۵۵ <sup>abcdefg</sup>	۲۲/۰۲ <sup>ij</sup>	۱۳/۹۹ <sup>k</sup>	۱۱/۳۷ <sup>k</sup>	دو ماه	
۳۳/۵۷ <sup>a</sup>	۳۶/۲۸ <sup>a</sup>	۳۶/۲۴ <sup>a</sup>	۳۳/۱۵ <sup>a</sup>	۱۹/۰۳ <sup>b</sup>	۱۲/۶۱ <sup>c</sup>	۱۱/۳۷ <sup>c</sup>	میانگین	
۳۵/۰۴ <sup>b</sup>	۱۳/۹۴ <sup>f</sup>	۸/۷۱ <sup>g</sup>	۲/۴۰ <sup>ghij</sup>	۳/۱۶ <sup>hij</sup>	۲/۰۳ <sup>hij</sup>	۱/۱۷ <sup>j</sup>	یک روز	شماره ۳
۳۲/۷۵ <sup>bc</sup>	۳۳/۷۳ <sup>de</sup>	۱۴/۲۱ <sup>f</sup>	۶/۳۳ <sup>ghij</sup>	۴/۰۴ <sup>ghij</sup>	۲/۱۷ <sup>hij</sup>	۱/۳۱ <sup>j</sup>	ده روز	
۲۸/۵۹ <sup>cd</sup>	۳۴/۱۰ <sup>de</sup>	۲۷/۹۰ <sup>cd</sup>	۷/۰۷ <sup>ghi</sup>	۷/۳۹ <sup>gh</sup>	۳/۲۱ <sup>hij</sup>	۱/۵۱ <sup>ij</sup>	یک ماه	
۲۷/۹۹ <sup>cd</sup>	۴۰/۳۸ <sup>a</sup>	۲۰/۸۵ <sup>e</sup>	۴/۲۹ <sup>ghij</sup>	۴/۴۸ <sup>ghij</sup>	۲/۳۴ <sup>hij</sup>	۱/۳۷ <sup>j</sup>	دو ماه	
۳۱/۰۹ <sup>a</sup>	۲۵/۵۴ <sup>b</sup>	۱۷/۹۲ <sup>c</sup>	۵/۲۷ <sup>d</sup>	۴/۷۷ <sup>de</sup>	۲/۴۴ <sup>ef</sup>	۱/۳۵ <sup>f</sup>	میانگین	

\* برای هر خاک، داده‌هایی که در یک حرف مشترک می‌باشند طبق آزمون دانکن در سطح یک درصد معنی دار نمی‌باشند.

مقدار زیادی فسفر به خاک اضافه شده و غلظت فسفر قابل جذب خاک افزایش یافته است، ولی با توجه به افزایش بیش از حد pH خاک در این تیمارها (قلیایی شدید) به نظر می‌رسد فعالیت میکروبی کند شده و فسفر خاک به صورت فسفات‌های کم محلول‌تر رسوب کرده است.

در خاک شماره ۳ نیز سرباره سبب افزایش فسفر قابل جذب خاک شده است. استفاده از سرباره به ویژه در مقادیر ۴، ۸ و ۱۶ درصد سبب افزایش قابل ملاحظه فسفر قابل جذب خاک شده است. اثر سرباره کنورتور بر غلظت فسفر قابل استخراج با AB-DTPA در خاک را نباید تنها به خاطر وجود فسفر در ترکیب آن دانست، بلکه افزایش pH و آزاد شدن فسفر از فسفات آهن و آلومینیوم و همچنین جایگزینی سیلیس سرباره در سایت‌های تبادل‌ی به جای فسفات سبب افزایش غلظت فسفر محلول می‌شود (۲۳). تغییرات فسفر قابل جذب در طول زمان با توجه به سطح مصرفی سرباره و pH خاک همانند دو خاک دیگر است.

به طور کلی غلظت فسفر قابل جذب تا حدود زیادی به pH خاک وابسته است و pH علاوه بر تأثیر بر فعالیت‌های میکروبی بر حلالیت ترکیبات مختلف فسفره تأثیر می‌گذارد و در pH های قلیایی، فسفر به صورت فسفات‌های کلسیم نامحلول رسوب می‌کند.

## آهن

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمارها و زمان نگهداری بر آهن قابل استخراج با AB-DTPA در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است (جدول ۴). جدول ۶، تأثیر تیمارها و زمان نگهداری بر آهن قابل جذب را در این سه خاک نشان می‌دهد. مقدار آهن قابل با افزایش مقدار سرباره تا سطح ۴ درصد کاهش نشان می‌دهد و در تیمارهای S8 و S16، میزان آهن افزایش می‌یابد. علت کاهش غلظت آهن در تیمارهای S0.5، S1، S2 و S4 نسبت به شاهد، افزایش pH خاک و نزدیک شدن حلالیت آهن به محدوده کمترین حلالیت اکسیدهای آهن

III (pH محدوده ۷/۴-۸/۵) است. با افزایش pH به بالاتر از ۸/۵ در سطوح ۸ و ۱۶ درصد سرباره، غلظت گونه‌های آنیونی آهن III مانند  $\text{FeOH}^-$  در خاک غالب می‌شود و غلظت آهن مجدداً افزایش می‌یابد (۱۰). روند کاهشی آهن در طول زمان در تیمارهای S1، S2، S4 و S8 به دلیل تشکیل رسوب ترکیبات نامحلول آهن در خاک است. نورول و لیندزی (۱۱) مشاهده کردند که نمک‌های معدنی آهن پس از اضافه شدن به خاک با گذشت زمان به فرم‌های غیر محلول‌تر تبدیل می‌شوند.

در خاک شماره ۲ کاهش معنی‌دار آهن قابل جذب در تیمار S0.5 نسبت به شاهد دیده می‌شود (جدول ۶) و تیمار S1 با شاهد اختلاف معنی‌داری ندارد، در حالی که در تیمارهای دیگر سرباره، افزایش معنی‌دار آهن قابل جذب نسبت به شاهد ملاحظه می‌شود. این به علت pH بیشترین خاک نسبت به خاک ۱ است که در مقادیر کمتر سرباره، pH خاک در محدوده‌ای قرار می‌گیرد که کمترین حلالیت آهن از کانی‌های سه ظرفیتی آهن در خاک وجود دارد و از این محدوده به بعد با افزایش مقدار سرباره، افزایش آهن قابل جذب دیده می‌شود (۱۰). کاهش معنی‌دار آهن قابل جذب در زمان ۲ ماه نسبت به ۱ روز در تیمارهای S1، S2، S4، S8 و S16 به دلیل رسوب آهن محلول به صورت ترکیبات نامحلول‌تر است (۱۱). فروهر (۴) نیز طی یک آزمایش انکوباسیون با استفاده از یکی از ضایعات صنایع فولاد به نام پودر اکسید آهن ضایعاتی ملاحظه کرد که با گذشت ۲ ماه از شروع آزمایش از میزان آهن قابل استخراج با AB-DTPA کاسته شده است.

در خاک شماره ۳ نیز وابستگی آهن قابل جذب به تغییرات pH خاک دیده می‌شود. با توجه به pH نزدیک به خنثی در این خاک ملاحظه می‌شود که با افزایش سطح سرباره از ۱ تا ۱۶ درصد، به مقدار آهن قابل جذب نیز افزوده شده است. جدول ۶ نشان می‌دهد که با کاربرد ۲ درصد سرباره یا بیشتر، pH خاک از ۸/۵ فراتر رفته است و همان‌طور که قبلاً اشاره شد با افزایش غلظت گونه‌های آنیونی حاصل از هیدرولیز آهن III غلظت آهن قابل جذب خاک افزایش می‌یابد. در تیمارهای S1،

جدول ۶. اثر سرباره و زمان نگ‌مداری بر آهن قابل استخراج (mg/kg) با AB-DTPA

S16	S8	S4	S2	S1	S0.5	S0	تیمار		خاک
							زمان	یک روز	
۲۲۷/۴	۲۸۳/۷	۲۰۵/۷	۲۵۱/۲	۲۷۲/۶	۲۸۵/۳	۳۰۸/۸	یک روز	۳۰۸/۸ * bcd	شماره ۱
۲۱۷/۵	۱۸۹/۴	۲۳۹/۱	۲۴۱/۸	۲۴۶/۲	۲۸۷/۰	۳۳۸/۵	ده روز	۳۳۸/۵ bc	
۲۱۵/۷	۱۸۴/۲	۱۴۹/۴	۲۲۰/۴	۲۳۵/۸	۲۹۸/۴	۳۰۷/۱	یک ماه	۳۰۷/۱ bcd	
۲۸۱/۹	۱۸۲/۳	۱۳۵/۸	۲۰۵/۷	۲۲۴/۳	۳۴۴/۸	۳۳۲/۵	دو ماه	۳۳۲/۵ a	
۲۳۵/۳	۲۰۹/۹	۱۹۱/۰	۲۲۹/۲۸	۲۴۴/۷	۳۰۲/۸	۳۴۶/۷	میانگین	۳۴۶/۷ a	
۲۲۲/۳	۲۶۲/۱	۱۰۵/۳	۱۲۵/۷	۸۵/۸	۷۱/۸	۱۰۱/۹	یک روز	۱۰۱/۹ jkl	شماره ۲
۲۳۳/۸	۲۴۱/۱	۱۷۴/۱	۱۰۷/۵	۷۶/۱	۶۷/۳	۹۰/۲	ده روز	۹۰/۲ jklm	
۱۳۵/۸	۱۸۵/۰	۸۱/۸	۹۶/۱	۱۰۳/۳	۶۲/۸	۷۶/۸	یک ماه	۷۶/۸ mn	
۱۹۳/۵	۲۰۶/۹	۱۲۴/۱	۹۸/۲	۶۱/۱	۴۸/۶	۶۲/۸	دو ماه	۶۲/۸ no	
۱۹۶/۳	۲۲۳/۷	۱۲۱/۳	۳۳/۸	۶۱/۶	۶۲/۶	۸۲/۹	میانگین	۸۲/۹ e	
۱۷۵/۷	۱۷۱/۳	۱۵۳/۸	۱۲۴/۷	۹۴/۴	۶۲/۲	۶۱/۸	یک روز	۶۱/۸ hi	شماره ۳
۱۸۷/۵	۲۰۲/۶	۱۰۲/۰	۶۴/۵	۶۴/۳	۵۲/۱	۵۳/۲	ده روز	۵۳/۲ hij	
۲۴۱/۳	۱۸۷/۳	۹۹/۷	۶۹/۲	۶۱/۷	۵۱/۸	۳۲/۶	یک ماه	۳۲/۶ j	
۲۶۰/۳	۲۳۳/۸	۱۰۹/۲	۵۷/۲	۳۵/۴	۴۲/۹	۵۴/۶	دو ماه	۵۴/۶ hij	
۲۱۷/۴	۱۹۸/۷	۱۱۶/۲	۷۸/۱	۶۳/۹	۵۲/۳	۵۰/۶	میانگین	۵۰/۶ f	

\* برای هر خاک، داده‌هایی که در یک حرف مشترک هستند طبق آزمون دانکن در سطح یک درصد معنی دار نمی‌باشند.

جدول ۷. تجزیه واریانس مربوط به اثر تیمارها و زمان نگهداری بر مقدار منگنز و پتاسیم (mg/kg) قابل استخراج با AB-DTPA و هدایت الکتریکی (dS/m) در خاک‌ها

میانگین مربعیات											
خاک شماره ۱				خاک شماره ۲				خاک شماره ۳			
منابع تغییر	درجه آزادی	منگنز	پتاسیم	هدایت الکتریکی	منگنز	پتاسیم	هدایت الکتریکی	منگنز	پتاسیم	هدایت الکتریکی	منگنز
تیمار	۶	۴۱/۶**	۳۵۹/۵۷**	۵۸۰**	۴۸/۸**	۴۴۳/۴**	۱۵۰/۳**	۱۷/۷**	۵۹۱/۱**	۱۷/۷**	۱۷/۷**
زمان	۳	۰/۳۳**	۵۱/۶**	۸/۶ <sup>NS</sup>	۰/۰۵ <sup>NS</sup>	۷۲/۵۴**	۳۳/۸**	۰/۴۷**	۱۲۰/۶**	۰/۴۷**	۰/۴۷**
برهمکنش تیمار× زمان	۱۸	۰/۲۲**	۴۹۹/۹**	۶۷/۷**	۰/۱/۶**	۱۵۹/۸**	۹۱/۶**	۰/۲۹**	۲۲۵/۵**	۰/۲۹**	۰/۲۹**
خطا	۵۶	۰/۰۲۲	۴۸۰	۵/۳	۰/۰۴۰	۸۰/۶	۹/۱	۰/۰۶	۱۱۳	۰/۰۶	۰/۰۶

\*\* : در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار است.

NS : معنی دار نیست.

جدول ۸. اثر سرباره و زمان نگهداری بر مگنیز قابل استخراج (mg/kg) با AB-DTPA

شماره خاک	نیمار		S0	S0.5	S1	S2	S4	S8	S16
	زمان	نیمار							
شماره ۱	یک روز	یک روز	۲۲/۰ * imno	۲۸/۴ ijklmn	۳۴/۵ ghijkl	۳۹/۵ fghi	۴۷/۰ f	۱۰۶/۲ d	۲۲۱/۴ a
	ده روز	ده روز	۲۴/۳ imno	۳۱/۹ hijklm	۳۲/۳ hijkl	۳۲/۴ hijkl	۴۴/۲ fg	۶۸/۱ e	۱۵۷/۶ b
	یک ماه	یک ماه	۲۴/۸ klmno	۳۸/۴ fghij	۲۲/۶ imno	۲۰/۱ mno	۳۶/۶ fghijk	۱۰۵/۸ d	۱۵۴/۷ b
	دو ماه	دو ماه	۲۷/۵ jklmn	۴۲/۵ fgh	۱۷/۵ no	۱۵/۴ o	۳۱/۶ ijklm	۱۲۷/۶ c	۱۱۵/۵ d
میانگین			۲۴/۹ d	۳۵/۳ c	۲۶/۷ d	۲۶/۸ d	۳۹/۸ c	۱۰۱/۹ b	۱۶۳/۳ a
شماره ۲	یک روز	یک روز	۲۰/۷ jkl	۲۰/۷ jkl	۲۰/۰ jkl	۲۲/۶ jkl	۲۹/۲ ij	۹۱/۸ d	۱۵۳/۴ a
	ده روز	ده روز	۸/۶ m	۹/۳ m	۱۵/۲ l	۳۴/۶ hi	۵۳/۰ f	۸۲/۴ e	۱۱۶/۰ c
	یک ماه	یک ماه	۱۳/۰ klm	۳/۳ m	۱۷/۵ kl	۲۵/۴ jk	۴۰/۴ egh	۹۳/۴ d	۹۱/۸ d
	دو ماه	دو ماه	۳/۲ m	۳/۶ m	۶/۸ m	۳۵/۵ li	۴۴/۲ e	۷۶/۰ e	۱۳۶/۸ b
میانگین			۱۱/۴ c	۹/۳ f	۱۴/۹ de	۲۹/۵ d	۴۱/۷ c	۸۵/۹ b	۱۲۴/۵ a
شماره ۳	یک روز	یک روز	۲۰/۰ jk	۱۶/۹ jklm	۳۰/۲ i	۳۹/۵ h	۶۴/۶ b	۸۳/۰ f	۱۹۰/۹ a
	ده روز	ده روز	۱۳/۴ klm	۹/۳ m	۱۶/۶ jklm	۲۴/۲ ij	۴۴/۸ h	۹۱/۳ c	۱۳۸/۲ bc
	یک ماه	یک ماه	۱۲/۲ klm	۱۹/۰ jkl	۱۲/۴ klm	۴۰/۸ h	۴۶/۸ h	۱۳۳/۰ c	۱۰۷/۴ d
	دو ماه	دو ماه	۱۰/۲ lm	۱۰/۳ lm	۸/۱ m	۱۷/۶ jklm	۵۸/۱ b	۱۳۵/۷ c	۱۴۵/۱ b
میانگین			۱۳/۹ e	۱۳/۹ e	۱۶/۸ e	۳۰/۵ d	۵۳/۷ c	۱۱۰/۷ b	۱۴۵/۴ a

\*: برای هر خاک، داده‌هایی که در یک حرف مشترک هستند طبق آزمون دانکن در سطح یک درصد معنی‌دار نمی‌باشند.

جدول ۹. اثر سرباره و زمان نگهداری بر پتانسیم قابل استخراج (mg/kg) AB-DTPA

S16	S8	S4	S2	S1	S0.5	S0	تیمار		شماره
							زمان	شماره	
۷۰/۹ <sup>fg</sup>	۸۰/۸ <sup>f</sup>	۱۲۲/۱ <sup>bcd</sup>	۱۰۵/۰ <sup>de</sup>	۱۴۹/۴ <sup>a</sup>	۱۴۵/۵ <sup>a</sup>	۱۵۳/۲ <sup>*a</sup>	یک روز	۱	
۶۷/۶ <sup>fg</sup>	۸۴/۳ <sup>f</sup>	۱۱۲/۱ <sup>d</sup>	۱۴۱/۷ <sup>ab</sup>	۱۳۴/۱ <sup>abc</sup>	۱۵۲/۳ <sup>a</sup>	۱۴۵/۵ <sup>a</sup>	ده روز		
۵۸/۰ <sup>g</sup>	۸۷/۶ <sup>ef</sup>	۱۱۵/۷ <sup>cd</sup>	۱۰۵/۱ <sup>de</sup>	۱۱۵/۸ <sup>cd</sup>	۱۴۵/۶ <sup>a</sup>	۱۴۵/۶ <sup>a</sup>	یک ماه		
۵۱/۷ <sup>g</sup>	۶۷/۶ <sup>fg</sup>	۱۱۲/۱ <sup>d</sup>	۱۲۳/۰ <sup>bcd</sup>	۱۲۳/۲ <sup>bcd</sup>	۱۴۹/۴ <sup>a</sup>	۱۵۳/۴ <sup>a</sup>	دو ماه		
۶۲/۰ <sup>e</sup>	۸۰/۰ <sup>d</sup>	۱۱۵/۷ <sup>c</sup>	۱۱۸/۶ <sup>c</sup>	۱۳۰/۶ <sup>b</sup>	۱۴۸/۴ <sup>c</sup>	۱۴۹/۴ <sup>d</sup>	میانگین		
۸۰/۸ <sup>bcd</sup>	۸۴/۲ <sup>abcd</sup>	۷۷/۵ <sup>cd</sup>	۹۴/۵ <sup>abc</sup>	۹۱/۰ <sup>ijkl</sup>	۱۰۵/۱ <sup>a</sup>	۱۰۵/۱ <sup>a</sup>	یک روز	۲	
۷۰/۹ <sup>d</sup>	۸۷/۶ <sup>abcd</sup>	۸۷/۶ <sup>abcd</sup>	۸۷/۷ <sup>abcd</sup>	۱۰۱/۴ <sup>ab</sup>	۱۰۵/۱ <sup>a</sup>	۱۰۵/۱ <sup>a</sup>	ده روز		
۸۰/۹ <sup>bcd</sup>	۷۷/۵ <sup>cd</sup>	۸۱/۰ <sup>bcd</sup>	۸۰/۹ <sup>bcd</sup>	۹۱/۰ <sup>abcd</sup>	۸۰/۸ <sup>bcd</sup>	۱۰۵/۱ <sup>a</sup>	یک ماه		
۸۰/۸ <sup>bcd</sup>	۷۷/۵ <sup>cd</sup>	۷۷/۵ <sup>cd</sup>	۸۴/۳ <sup>abcd</sup>	۹۱/۰ <sup>ab</sup>	۱۰۱/۴ <sup>ab</sup>	۱۰۵/۱ <sup>a</sup>	دو ماه		
۷۸/۳ <sup>c</sup>	۸۱/۷ <sup>c</sup>	۸۰/۹ <sup>c</sup>	۸۶/۵ <sup>bc</sup>	۹۲/۶ <sup>ab</sup>	۹۶/۲ <sup>ab</sup>	۱۰۵/۱ <sup>a</sup>	میانگین		
۸۰/۸ <sup>cd</sup>	۹۱/۳ <sup>abcd</sup>	۱۰۵/۰ <sup>ab</sup>	۹۸/۰ <sup>abcd</sup>	۹۱/۲ <sup>abcd</sup>	۱۱۲/۰ <sup>a</sup>	۹۴/۴ <sup>abcd</sup>	یک روز	۳	
۸۴/۲ <sup>bcd</sup>	۹۴/۵ <sup>abcd</sup>	۸۷/۶ <sup>bcd</sup>	۹۱/۰ <sup>abcd</sup>	۹۱/۲ <sup>abcd</sup>	۹۷/۹ <sup>abcd</sup>	۹۴/۴ <sup>abcd</sup>	ده روز		
۸۰/۸ <sup>cd</sup>	۸۰/۸ <sup>cd</sup>	۸۷/۶ <sup>bcd</sup>	۱۰۱/۴ <sup>abc</sup>	۹۱/۰ <sup>abcd</sup>	۹۴/۴ <sup>abcd</sup>	۹۱/۰ <sup>abcd</sup>	یک ماه		
۸۴/۲ <sup>bcd</sup>	۷۷/۵ <sup>d</sup>	۷۷/۵ <sup>d</sup>	۸۷/۶ <sup>bcd</sup>	۸۴/۲ <sup>bcd</sup>	۹۱/۰ <sup>abcd</sup>	۸۴/۲ <sup>bcd</sup>	دو ماه		
۸۲/۵ <sup>c</sup>	۸۶/۰ <sup>bc</sup>	۸۹/۴ <sup>abc</sup>	۹۴/۵ <sup>ab</sup>	۸۹/۴ <sup>abc</sup>	۹۸/۸ <sup>a</sup>	۹۱/۰ <sup>abc</sup>	میانگین		

\*: برای هر خاک، داده هایی که در یک حرف مشترک هستند طبق آزمون دانکن در سطح یک درصد معنی دار نمی باشد.

جدول ۱.۰ اثر سرباره و زمان نگهداری بر قابلیت هدایت الکتریکی ( $\text{dSm}^{-1}$ )

شماره خاک	تیمار		S0	S0.5	S1	S2	S4	S8	S16
	زمان	یک روز							
شماره ۱	یک روز	یک روز	۰/۵۲ * km	۰/۵۲ km	۰/۵۰ km	۰/۶۴ ij	۰/۸۶ fg	۱/۱۱ bc	۰/۹۰ efg
	ده روز	ده روز	۰/۳۵ op	۰/۳۰ p	۰/۳۶ nop	۰/۳۸ nop	۰/۹۷ de	۰/۸۰ gh	۰/۹۶ def
	یک ماه	یک ماه	۰/۴۲ mno	۰/۳۹ nop	۰/۴۶ lmn	۰/۵۵ jkl	۱/۰۴ cd	۰/۹۷ de	۱/۱۷ b
	دو ماه	دو ماه	۰/۴۳ mno	۰/۵۹ ik	۰/۷۱ hi	۰/۸۲ g	۱/۰۸ bc	۰/۸۶ fg	۱/۴۶ a
میانگین	میانگین	۰/۴۳ c	۰/۴۵ c	۰/۵۱ d	۰/۶۰ c	۰/۹۹ b	۰/۹۳ b	۱/۱۲ a	
شماره ۲	یک روز	یک روز	۰/۵۵ ghijk	۰/۶۶ ghijk	۰/۷۶ f	۰/۶۴ fghi	۰/۸۳ f	۱/۰۱ e	۱/۱۵ a
	ده روز	ده روز	۰/۳۰ ghijk	۰/۷۶ ghijk	۰/۴۰ k	۰/۴۹ ijk	۰/۵۹ fghij	۰/۷۲ f	۱/۲۵ d
	یک ماه	یک ماه	۰/۳۱ ghijk	۰/۴۴ jk	۰/۵۶ ghijk	۰/۵۹ fghij	۰/۵۳ ghijk	۰/۵۵ ghijk	۱/۰۷ c
	دو ماه	دو ماه	۰/۳۳ ghijk	۰/۵۲ hijk	۰/۵۴ ghijk	۰/۶۹ fg	۰/۶۷ fgh	۰/۶۹ fg	۱/۰۱۸ b
میانگین	میانگین	۰/۳۷ a	۰/۵۹ c	۰/۵۶ c	۰/۶۰ c	۰/۶۳ c	۰/۷۴ b	۱/۱۱ a	
شماره ۳	یک روز	یک روز	۰/۵۰ d	۰/۶۷ ab	۰/۶۵ abc	۰/۶۱ bc	۰/۵۰ d	۰/۴۹ d	۰/۶۹ a
	ده روز	ده روز	۰/۳۸ ef	۰/۳۴ efg	۰/۳۱ fg	۰/۳۳ efg	۰/۵۸ c	۰/۳۰ fg	۰/۵۱ d
	یک ماه	یک ماه	۰/۳۷ ef	۰/۳۷ ef	۰/۳۸ ef	۰/۴۰ c	۰/۳۲ bcfgd	۰/۲۷ g	۰/۶۴ abc
	دو ماه	دو ماه	۰/۳۶ ef	۰/۳۸ ef	۰/۳۵ ef	۰/۴۱ c	۰/۴۰ c	۰/۳۲ fg	۰/۶۲ abc
میانگین	میانگین	۰/۴۰ c	۰/۴۴ bc	۰/۴۳ bc	۰/۴۴ bc	۰/۴۵ b	۰/۳۵ d	۰/۶۲ a	

\* برای هر خاک، داده‌هایی که در یک حرف مشترک می‌باشند طبق آزمون دانکن در سطح یک درصد معنی دار نمی‌باشند.

و در نتیجه تثبیت پتاسیم افزایش می‌یابد. از عوامل مؤثر دیگر در تثبیت پتاسیم تشکیل ترکیبات نامحلول پتاسیم به ویژه آلومینوسیلیکات‌های پتاسیم در pH های بالا (با افزودن سطوح بالای سربراره) است (۵). در خاک شماره ۲ برهمکنش تیمار و زمان در سطح ۵ درصد معنی دار نیست (جدول ۷) و تیمارها نیز همان روند ذکر شده در مورد خاک شماره ۱ را طی می‌کنند. به طور کلی در خاک شماره ۱، میانگین پتاسیم عصاره‌گیری شده از خاک تیمار شده با ۱۶ درصد سربراره کاهشی معادل ۵/۵ درصد نسبت به شاهد نشان می‌دهد، حال آن که چنین کاهشی در خاک شماره ۲ تا ۲۵/۵ درصد است. برهمکنش تیمار و زمان در خاک شماره ۳ معنی دار نیست و اثر تیمارها نیز قابل ملاحظه نیست.

#### هدایت الکتریکی

اثر تیمارها و زمان نگهداری بر قابلیت هدایت الکتریکی در خاک‌های اسیدی در سطح احتمال یک درصد معنی دار است (جدول ۷). در تمام نمونه‌ها، کاربرد سربراره سبب افزایش قابلیت هدایت الکتریکی خاک شده است (جدول ۱۰). این افزایش در مقادیر بالای سربراره یعنی تیمارهای S8 و S16 بیشتر محسوس است. در هر صورت تأثیر سربراره بر قابلیت هدایت الکتریکی در تمام سطوح مصرفی قابل ملاحظه نبوده و تأثیر سوئی بر EC خاک ندارد. تأثیر زمان نیز در خاک شماره ۱ روند افزایشی و در دو خاک دیگر قابل ملاحظه نیست.

S2 و S4 روند کاهشی آهن قابل جذب در طول زمان دیده می‌شود. افزایش معنی دار آهن قابل جذب در طول زمان در تیمارهای S8 و S16 به دلیل بالا بودن pH خاک در طول زمان است.

#### منگنز

تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۷) اثر تیمارها و زمان نگهداری بر منگنز قابل استخراج با AB-DTPA را در خاک‌های اسیدی در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار نشان داد. با افزایش سطح سربراره، غلظت منگنز زیاد شده است (جدول ۸) که این در نتیجه حضور ۴/۴۶ درصد سربراره است. کان (۸) نیز در سال ۱۹۹۲ با استفاده از سربراره بازی به عنوان اصلاح کننده خاک نتیجه گرفت که غلظت منگنز محلول در خاک تیمار شده افزایش یافته است. تأثیر زمان نگهداری بر منگنز قابل جذب غالباً کاهشی بود که احتمالاً به دلیل رسوب منگنز به صورت ترکیبات با حلالت کم است.

#### پتاسیم

اثر تیمارها بر پتاسیم قابل عصاره‌گیری با AB-DTPA در خاک‌ها در سطح ۱ درصد معنی دار است (جدول ۱۰). نکته مهم در مورد پتاسیم این است که با افزایش مقدار سربراره در خاک شماره ۱ از میزان پتاسیم قابل عصاره‌گیری کاسته شده است (جدول ۹). علت کاهش در این خاک تثبیت پتاسیم است. افزایش pH خاک (در اثر افزودن سربراره) سبب حذف پلیمرهای هیدروکسی آهن و آلومینیوم در فضای بین لایه‌ای رس‌ها شده

#### منابع مورد استفاده

۱. افلاکی، ع. ۱۳۷۴. تحقیق روی پارامترهای مؤثر در بازیابی ترکیبات وانادیومی از سربراره. پایان نامه کارشناسی ارشد شیمی تجزیه، دانشکده شیمی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۲. پال، ال. آ. و ف. ای. کلارک. ۱۳۷۶. میکروبیولوژی و بیوشیمی خاک (ترجمه: ن. علی اصغرزاده). انتشارات دانشگاه تبریز. ۴۲۱ صفحه.
۳. زرین کفش، م. ۱۳۷۲. خاک‌شناسی کاربردی. انتشارات دانشگاه تهران.
۴. فروهر، م. ۱۳۷۸. بررسی امکان استفاده از پودر اکسید آهن ضایعاتی حاصل از فرآیند اسید شوئی فولاد به عنوان کود آهن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۵. ملکوتی، م. ج. و م. افخمی. ۱۳۷۸. ضرورت جلوگیری از تخلیه پتاسیم خاک‌های اراضی شالیزاری شمال کشور. نشریه فنی شماره ۶، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج.
6. Adams, F. 1984. Crop response to lime in the southern United State. pp: 211-265. *In*: F. Adams (Ed.), Soil Acidity. 2<sup>nd</sup> ed., ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
7. Cassanova, E., M. J. Perez and M. Flores. 1993. Agronomic evaluation of phosphate rock and slag on an Upata acid soil in Bolivia State. *Commu. Soil Sci. Plant Anal.* 24(7-8): 573-578.
8. Khan, H. R. 1996. Dynamic in composition of percolating solutions from acid sulfate soil under rice and selected amendments. *Curr. Agric.* 20(1-2): 51-60.
9. Kristen, M. and K.J. Erstad. 1996. Converter slag as a liming material on organic soils. *Norwegian J. Agric. Sci.* 10(1): 83-93.
10. Lindsay, W. L. and A.P. Schqab. 1982. The chemistry of iron in soils and its availability to plant. *J. Plant Nutr.* 5 (4-7): 821-840.
11. Norvell, W. A. and W. L. Lindsay. 1982. Effect of ferric chlorid additions on the solubility of ferric iron of a near – neutral soil. *J. Plant Nutr.* 5: 1285-12995 .
12. Oguntoinbo, F. I., E. A. Aduay and R. A. Sobulo. 1996. Effectiveness of some local liming materials in Nigeria as ameliorants of soil acidity. *J. Plant Nutr.* 19(7): 999-1016.
13. Oya, K., N. Kinjo and M. Shimo. 1990. The improving effect of several limig materials on the growth and nutrient uptake of rodes grass. *Sci. Bull. College Agric., Univ. Ryukyus, Okinawa.* 37: 7-17.
14. Paye, A. L., R. H. Miller and D. R. Keeny. 1984. Method of Soil Analysis. Part II. SSSA Inc., Madison, WI.
15. Pinto, M., M. Rodriguez, B. N. Besga and F. A. Lopez. 1995. Effects of Linz-Donawitz (LD) slag on soil properties and pasture production in the Basque County ( Northern Spain ). *New Zealand J. Agric. Res.* 38 (1): 143-155.
16. Plaster, J. E. 1997. Soil Science and Management. 3<sup>rd</sup> ed., Delmar Pub., India.
17. Ponnente, Q., R. Frankart, W. Poma Rojas and C. Petit . 1991. Effects of mineral ammendments on the physico-chemical properties of a brown acid soil in a beech stand in the Belgian Ardennes. *Pedologie* 41 (1): 89-100.
18. Rodriguez, M., F.A. Lopez, M. Pinto, N. Balcazar and G. Besga. 1994. Basic Linz-Donawitz slag as a liming agent for pastureland. *Agron. J.* 86:904-909.
19. Shariatmadari, H. and A. R. Mermut. 1999. Magnesium and silicon-induced phosphate desorption in smectite-, palygorskite- and sepiolite- calcite systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 1167-1173.
20. Sloan, J. J. and N. T. Basta. 1995. Remediation of acid soils by using alkaline biosolids. *J. Environ. Qual.* 24:1097-1103.
21. Soltanpour, P. N., F. Adams and A. C. Bennett. 1974. Soil phosphorus availability measured by displaced soil solution, calcium-chloride extracts, dilute-acid extracts, labile phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 38:225-228.
22. Stuczynski, T. I., G. W. McCarty and R. J. Wright. 1998. Impact of coal combustion product amendments on soil quality : 1. Mobilization of soil organic nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am.J.* 163:952-959.
23. Subramanian, S. and A. Copalswamy. 1990. Influence of silicate and phosphate materials on availability and uptake of silicon and phosphorus in acid soil. *Oryza* 27(3): 267-273.
24. United Nation. 1990. The recuperation and economic utilization of by-products of the iron and steel industry. Economic Commission for Europe, Geneva.