بررسی آثار سرباره کنورتور بر خصوصیات شیمیایی خاک‌های اسیدی

علی محمدی ترکاشوند، محمود کلباسی و حسین شریعتمداری[۱]

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 برخصوصیات شیمیایی خاک، یک آزمایش انکوباسیون با استفاده از سه خاک اسیدی از گیلان انجام گرفت. نمونه‌های خاک از عمق ۳۰-۰ 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 و 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 کار رفته افزایش داد. ولی تأثیر سرباره بر مقدار Fe بسته به pH اولیه خاک متفاوت بود، به طوری که با افزایش pH خاک به محدوده ۸/۵-۷/۴ 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

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

---

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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.4.5.7]

از مـواد گوناگونی از جمله فرآورده‌های جنبی صنایع در اصلاح خـاک‌هـای اسیدی استفاده شده است (۱۲، ۱۶، ۲۰ و ۲۲) که از مهم‌ترین آنها سرباره فولادسازی است. برای هر تن تولید فولاد، در حـدود ۱۵۰ کیلوگـرم سـرباره تولـید می‌شود (۱۸). هر ساله ۲۵۰ میلیون کیلوگرم سرباره در اصفهان تولید می‌شود که حاوی مـواد و تـرکیبات بـا 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 زمیـنهٔ اسـتفاده از سـرباره(Slag) بـه عـنوان اصلاح‌کننده در خـاک‌های اسیدی به عمل نیامده ولی طی سال‌های اخیر در دنیا اسـتفاده از سـرباره به عنوان یک ماده آهکی بهساز در خاک‌های اسـیدی اهمـیت زیادی پیدا کرده است. تنها در جمهوری فدرال آلمـان، ۲۰ درصـد کـل سـرباره‌های فولاد سازی به عنوان کود یا اصـلاح‌کننده خاک در کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۲۴). چـون در فـرآیند تولـید فولاد از آهک استفاده می‌شود، بنابراین سرباره دارای pH قلیایی است (۹). غلظت زیاد کلسیم و منیزیم، سـرباره LD (کلمـات L و D دو حـروف اول نام دو دهکده در اتـریش بـه نـام لینـتس و دوناویتس است که آزمایش‌های اولیه فولادسـازی بـه روش کـنورتور اکسـیژن در آنجا صورت گرفته است.) را به یک ماده با خاصیت آهکی تبدیل کرده است (۱۸). بنابـراین اسـتفاده از سـرباره بـه عـنوان مـاده بهسـاز و کـود در خـاک‌هـای اسـیدی عمـوماً نتایج رضایت بخشی به همراه دارد. بخـش زیـادی از سـرباره تشکیل شده به روش بسمر بازی را با سـرباره فولادسـازی بـه روش LDAC مخلـوط کـرده و آهـک توماس تهیه می‌کنند که در کشاورزی کاربرد دارد. در سوئد (۹) مصـرف سـرباره در مقایسـه بـا سنگ آهک سبب افزایش بیشتر عملکـرد محصـولات شـده است. اگونتوینبو و همکاران (۱۲) در تحقیقـی کـه در خاک‌های اسیدی جنوب نیجریه انجام دادند به ایـن نتـیجه رسـیدند کـه استفاده از سرباره سبب افزایش pH و فسـفر قابـل جذب و کاهش آلومینیوم می‌شود. هم‌چنین استفاده از سـرباره باعـث افـزایش جـذب کلسیم و پتاسیم و مقدار ماده خشـک گیاهـی شـده و در مجموع موجب بهبود جذب عناصر غذایـی بـه وسیله گیاهان می‌شود. در تحقیقی استفاده از سرباره LD در جـنگل‌ها به ویژه جنگل‌های اکالیپتوس سبب بهبود قابل ملاحظـه خصوصـیات فیزیکـی ـ شـیمیایی خـاک شـده اسـت. هـم‌چنین سرباره LD رشد درختان کاج و تبریزی را نیز افزایش داده اسـت (۱۸). کریسـتن و همکـاران (۹) اثـر سرباره و سنگ آهک را در خاک‌های آلی اسیدی نروژ بررسی کردند. آنها نتیجه گـرفتند کـه قـدرت خنثـی‌کنندگـی هـر دو ماده در خنثی کردن اسـیدیته خـاک یکسـان اسـت. سـرباره علاوه بر ویژگی قلیایی، دارای تعـدادی از عناصـر مـورد نـیاز بـرای رشـد گیاهان است (جـدول ۱). هـدف از انجـام پـژوهش حاضـر، بررسـی امکـان اسـتفاده از سـرباره کنورتور به عنوان یک ماده آهکی در اصلاح خصوصیات شیمیایی خاک‌های اسیدی شمال کشور است.

مواد و روش‌ها

نـتایج تجـزیه شـیمیایی سرباره کنورتور (LD) مورد استفاده که توسـط آزمایشگاه ذوب آهن اصفهان انجام شده بود (جدول ۱) نشـان داد کـه سـرباره حـاوی ۵۲/۸ درصد اکسید کلسیم و ۲/۲ درصد اکسید منیزیم است. هم‌چنین سرباره دارای مقادیر زیادی آهـن، فسـفر، منگنز و سیلیسیم است که می‌تواند باعث افزایش محصـولات زراعـی شـود. محـل نمونه‌های خاک در خاک‌های اسـیدی با توجه به شدت اسیدیته (pH) و محصولات مهمی که در ایـن خـاک‌هـا کشـت مـی‌شـوند انتخاب شدند. با همکاری مؤسسـه تحقـیقات بـرنج و بخـش تحقـیقات توتـون از عمق ۳۰-۰ سـانتی‌متـری خـاک یک باغ چای در لاهیجان(خاک شماره ۱)، یک مزرعه توتون (خاک شماره ۲) و یک مزرعه برنج (خاک شماره ۳) در رشـت نمـونه‌برداری شد. pH خاک باغ چای، مزرعه توتون و مزرعه بـرنج بـه ترتیب ۴/۰ ، ۵/۵ و۶/۷ بود. نمونه‌های خاک پس از انتقال به آزمایشـگاه و خشک شدن در مجاورت هوا با چکش چوبی کوبیده و از الـک دو میلـی‌متـری اسـتیل عـبور داده شـدند. حدود یک کیلوگـرم از هـر خـاک برای انجام تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی و بقـیه برای آزمایش‌های انکوباسیون مورد استفاده قرار گرفت. برخی

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.4.5.7]

جدول ۱. نتایج تجزیه شیمیایی سربارهٔ کنورتور LD

نوع آنالیز	مقدار (٪)
TFe	۱۶/۸۳
FeO	۷/۸۷
MnO	۴/۴۶
SiO_2	۸/۹۲
CaO	۵۲/۸۵
MgO	۲/۲۲
V_2O_5	۲/۳۱
P_2O_5	۴/۷۶
Al_2O_5	۰/۷۸
S	۰/۱۸
ZnO	۰/۰۵۷
Na_2O	۰/۰۷۵
K_2O	۰/۰۳۲

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 تیمارشده 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 (۱٤ و ۲۱) و سپس غلظت فسفر به روش فسفومولیبدات، پتاسیم به روش شعله‌سنجی وآهن، 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 برpH خاک‌های شماره ۱ ، ۲ و ۳ نشان داده شده است. آنالیز واریانس نشان داد که اثر تیمارها و زمان انکوباسیون برpH خاک‌های اسیدی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است (جدول ۴). با افزودن سرباره از ۰/۵ تا ۱۶ درصد، pH هر سه خاک به‌طور معنی داری 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 به۶/۴ و در منطقه آبادیانو (Abadiano) از ۵/۷ به ۶/۵

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.4.5.7]

جدول ۲. برخی خصوصیات فیزیکی – شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

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

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

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

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

افزایش یافت. هم‌چنین اویا و همکاران (۱۳) نتیجه گرفتند که استفاده از ۵/۳ گرم سرباره کوره بلند در هر گلدان، pH خاک را ۴/۷ به۵/۸ 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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.4.5.7]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.4.5.7] [Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

جدول۴ . تجزیه واریانس مربوط به اثر تیمارها و زمان نگه‌داری برpH و مقدار فسفر و آهن(mg/kg) قابل استخراج با AB-DTPA در خاک‌ها

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		خاک شماره ۱			خاک شماره ۲			خاک شماره ۳		
		pH	آهن	فسفر	pH	آهن	فسفر	pH	آهن	فسفر
تیمار	۶	۴۱/۶**	۳۵۹۵۷**	۵۸۰**	۴۸/۸**	۴۴۳۱۴**	۱۵۰۳**	۱۷/۷**	۵۸۹۱۱**	۱۷۶۵**
زمان	۳	۰/۳۳**	۵۱۶۱**	۸/۶ ns	۰/۰۵ ns	۷۲۵۴**	۳۳/۸**	۰/۴۷**	۱۲۰۶**	۱۰۹**
برهمکنش تیمار× زمان	۱۸	۰/۲۲**	۴۹۹۹**	۶۷/۷**	۰/۱۶**	۱۵۹۸**	۹۱/۶**	۰/۲۹**	۲۲۵۵**	۸۵**
خطا	۵۶	۰/۰۲۲	۴۸۰	۵/۳	۰/۰۴۰	۸۰/۶	۹/۱	۰/۰۶	۱۱۳	۴/۷

** : در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است.

ns : معنی‌دار نیست.

شماره ۲ نیز سریاره سبب افزایش معنی‌دار pH خاک در همه تیمارها و در بدو شروع کار شده است. در تیمار ۰/۵ درصد سریاره بین زمان‌های یک و ده روز با زمان‌های یک و دو ماه اختلاف معنی‌دار وجود دارد. در تیمار S1 کاهش معنی‌دار 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 سریاره به کار رفته افزایش یافته است (جدول ۳)، ولی در سطوح ۰/۵ و ۱ درصد سریاره این افزایش بسیار جزیی و با شاهد اختلاف معنی‌دار 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 سریاره LD نشان دادندکه کاهش pH در طول زمان احتمالاً به خاطر هیدرولیز Fe(III) رس‌های خاک بوده است. در تیمارهای S8 و S16 زمان تأثیر معنی‌داری بر pH خاک نداشته است. به نظر می‌رسد در این تیمارها مواد قلیایی اضافه شده بیشتر از قدرت خنثی کنندگی 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 سریاره یعنی S8 و S16 بر pH خاک، این مقادیر به هیچ وجه توصیه نمی‌شوند.

فسفر

اثر سریاره 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 سریاره در خاک‌های اسیدی، افزایش مقدار فسفر قابل جذب خاک می‌باشد که این امر، با توجه به مقدار زیاد فسفر در سریاره دور از انتظار نبوده است. در خاک شماره ۱ بین تیمارهای S0.5 و S1 با شاهد اختلاف معنی‌دار وجود ندارد، اما تیمارهای S2 ، S4 ، S8 و S16 با شاهد و با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند. افزایش فسفر قابل عصاره‌گیری در این تیمارها متناسب با مقدار سریاره به کار رفته است. هم‌چنین سریاره 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 سریاره به دست آمد. سوبرامانیان و همکاران (۲۳) نیز در تحقیقی با استفاده از مواد آهکی سیلیکاتی (سریاره) 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 معنی‌دار نداشته است. فسفر قابل استخراج با AB-DTPA در تیمارهای S4 و S8 در طول زمان افزایش یافته است. محتملاً افزایش فسفر قابل جذب در طول زمان در این تیمارها به علت تأثیر سریاره بر pH خاک‌ها و افزایش آن تا حد قلیایی ضعیف است(۲) که در این صورت با معدنی شدن فسفر آلی توسط میکروب‌ها، 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 تری‌فسفات کلسیم می‌باشد.

در خاک شماره ۲ نیز سریاره، سبب افزایش معنی‌دار فسفر قابل استخراج با AB-DTPA در بدو شروع کار شده است. با شروع آزمایش متناسب با سریاره 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 سریاره،

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.4.5.7]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.4.5.7] [Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

جدول۵. اثر سرباره و زمان نگه‌داری بر فسفر قابل استخراج(mg/kg) با AB-DTPA

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

* : برای هر خاک، داده‌هایی که در یک حرف مشترک می‌باشند طبق آزمون دانکن در سطح یک درصد معنی‌دار 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 وpH خاک همانند دو خاک دیگر است.

به طور کلی غلظت فسفر قابل جذب تا حدود زیادی بهpH خاک وابسته است و pH علاوه بر تأثیر بر فعالیت‌های میکروبی بر حلالیت ترکیبات مختلف فسفره تأثیر می‌گذارد ودر 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 ۸/۵-۷/۴) است. با افزایش pH به بالاتر از ۸/۵ در سطوح ۸ و ۱۶ درصد سرباره، غلظت گونه‌های آنیونی آهن III مانند $FeOH_4^-$ 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 کردندکه 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 حالی‌که در تیمارهای دیگر سرباره، افزایش معنی‌دار آهن قابل جذب نسبت به شاهد ملاحظه می‌شود. این به علت pH بیشتراین خاک نسبت به خاک ۱ است که در مقادیر کمتر سرباره، pH خاک در محدوده‌ای قرارمی‌گیرد 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 همان طور که قبلاً اشاره شد با افزایش غلظت گونه‌های آنیونی حاصل از هیدرولیز آهن III غلظت آهن قابل جذب خاک افزایش می‌یابد. در تیمارهایS1 ،

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.4.5.7]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.4.5.7] [Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

جدول ٦. اثر سرباره و زمان نگهداری بر آهن قابل استخراج (mg/kg) با AB-DTPA

خاک	تیمار / زمان	S0	S0.5	S1	S2	S4	S8	S16
شماره ۱	یک روز	۳۰۸/۸ * bcd	۲۸۵/۳ def	۲۷۲/٦ defg	۲۵۱/۲ efgh	۲۰۵/۷ hijk	۲۸۳/۷ def	۲۲٦/۴ ghijk
	ده روز	۳۳۸/۵ bc	۲۸۷/۰ cdef	۲۴٦/۲ efgh	۲۴۱/۸ fghi	۲۳۹/۱ fghi	۱۸۹/۴ ijkl	۲۱٦/۵ hijk
	یک ماه	۳۰۷/۱ bcd	۲۹۸/۴ bcde	۲۳۵/۸ fghijk	۲۲۰/۴ ghijk	۱۴۹/۴ lm	۱۸۴/۲ jklm	۲۱۵/۷ hijk
	دو ماه	۴۳۲/۵ a	۳۴۴/۸ b	۲۲۴/۳ hijk	۲۰۵/۷ hijk	۱۳۵/۸ m	۱۸۲/۳ klm	۲۸۲/۹ def
	میانگین	۳۴٦/۷ a	۳۰۳/۸ b	۲۴۴/۷ e	۲۲۹/۲۸ cd	۱۹۱/۰ e	۲۰۹/۹ de	۲۳۵/۳ c
شماره ۲	یک روز	۱۰۱/۹ jkl	۷۱/۸ mn	۸۵/۸ klm	۱۲۵/۷ gh	۱۰۵/۳ ijk	۲٦۲/۱ a	۲۲۲/۳ bc
	ده روز	۹۰/۲ jklm	٦۷/۳ nop	۷٦/۱ mn	۱۰۷/۵ hij	۱۷۴/۱ f	۲۴۱/۱ b	۲۳۳/۸ b
	یک ماه	۷٦/۸ mn	٦۲/۸ no	۱۰۳/۳ jk	۹٦/۱ jkl	۸۱/۸ lm	۱۸۵/۰ ef	۱۳۵/۸ g
	دو ماه	٦۲/۸ no	۴۸/٦ o	٦۱/۱ no	۹۸/۲ jkl	۱۲۴/۱ ghi	۲۰٦/۹ cd	۱۹۳/۵ de
	میانگین	۸۲/۹ e	٦۲/٦ f	٦۱/٦ e	۳۳/۸ d	۱۲۱/۳ c	۲۲۳/۷ a	۱۹٦/۳ b
شماره ۳	یک روز	٦۱/۸ hi	٦۲/۲ hi	۹۴/۴ g	۱۲۴/۷ f	۱۵۳/۸ e	۱۷۱/۳ de	۱۷۵/۷ de
	ده روز	۵۳/۲ hij	۵۲/۱ hij	٦۴/۳ h	٦۴/۵ hi	۱۰۲/۰ fg	۲۰۲/٦ c	۱۸۷/۵ cd
	یک ماه	۳۲/٦ j	۵۱/۸ hij	٦۱/۷ hi	٦۹/۲ h	۹۹/۷ g	۱۸۷/۳ cd	۲۴٦/۳ ab
	دو ماه	۵۴/٦ hij	۴۲/۹ hij	۳۵/۴ ij	۵۷/۲ hij	۱۰۹/۲ fg	۲۳۳/۸ b	۲٦۰/۳ a
	میانگین	۵۰/٦ f	۵۲/۳ f	٦۳/۹ e	۷۸/۱ d	۱۱٦/۲ c	۱۹۸/۷ b	۲۱۷/۴ a

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

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.4.5.7] [Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

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

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		خاک شماره ۱			خاک شماره ۲			خاک شماره ۳		
		منگنز	پتاسیم	هدایت الکتریکی	منگنز	پتاسیم	هدایت الکتریکی	منگنز	پتاسیم	هدایت الکتریکی
تیمار	٦	۴۱/٦**	۳۵۹۵۷**	۵۸۰**	۴۸/۸**	۴۴۳۱۴**	۱۵۰۳**	۱۷/۷**	۵۸۹۱۱**	۱۷٦۵**
زمان	۳	۰/۳۳**	۵۱٦۱**	۸/٦ ns	۰/۰۵ ns	۷۲۵۴**	۳۳/۸**	۰/۴۷**	۱۲۰٦**	۱۰۹**
برهمکنش تیمار× زمان	۱۸	۰/۲۲**	۴۹۹۹**	٦۷/۷**	۰/۱٦**	۱۵۹۸**	۹۱/٦**	۰/۲۹**	۲۲۵۵**	۸۵**
خطا	۵٦	۰/۰۲۲	۴۸۰	۵/۳	۰/۰۴۰	۸۰/٦	۹/۱	۰/۰٦	۱۱۳	۴/۷

** : در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است.

ns : معنی‌دار نیست.

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.4.5.7] [Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

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

خاک	تیمار / زمان	S0	S0.5	S1	S2	S4	S8	S16
شماره ۱	یک روز	۲۳/۰ * lmno	۲۸/۴ ijklmn	۳۴/۵ ghijkl	۳۹/۵ fghi	۴۷/۰ f	۱۰۶/۲ d	۲۲۱/۴ a
	ده روز	۲۴/۳ lmno	۳۱/۹ hijklm	۳۲/۳ hijkl	۳۲/۴ hijkl	۴۴/۲ fg	۶۸/۱ e	۱۵۷/۶ b
	یک ماه	۲۴/۸ klmno	۳۸/۴ fghij	۲۲/۶ lmno	۲۰/۱ mno	۳۶/۶ fghijk	۱۰۵/۸ d	۱۵۴/۷ b
	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	۲۰/۷ jkl	۲۰/۷ jkl	۲۰/۰ jkl	۲۲/۶ jkl	۲۹/۲ ij	۹۱/۸ d	۱۵۳/۴ a
	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	۱۳/۰ klm	۳/۳ m	۱۷/۵ kl	۲۵/۴ jk	۴۰/۴ gh	۹۳/۴ d	۹۱/۸ d
	دو ماه	۳/۲ m	۳/۶ m	۶/۸ m	۳۵/۵ hi	۴۴/۲ g	۷۶/۰ e	۱۳۶/۸ b
	میانگین	۱۱/۴ e	۹/۳ f	۱۴/۹ de	۲۹/۵ d	۴۱/۷ c	۸۵/۹ b	۱۲۴/۵ a
شماره ۳	یک روز	۲۰/۰ jk	۱۶/۹ jklm	۳۰/۲ i	۳۹/۵ h	۶۴/۶ g	۸۳/۰ f	۱۹۰/۹ a
	ده روز	۱۳/۴ klm	۹/۳ m	۱۶/۶ jklm	۲۴/۲ ij	۴۴/۸ h	۹۱/۳ e	۱۳۸/۲ bc
	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	۱۰/۲ lm	۱۰/۳ lm	۸/۱ m	۱۷/۶ jklm	۵۸/۱ g	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.

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.4.5.7] [Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

جدول۹. اثر سرباره و زمان نگه‌داری بر پتاسیم قابل استخراج (mg/kg) با AB-DTPA

خاک	تیمار / زمان	S0	S0.5	S1	S2	S4	S8	S16
شماره ۱	یک روز	۱۵۳/۲ * a	۱۴۵/۵ a	۱۴۹/۴ a	۱۰۵/۰ de	۱۲۲/۱ bcd	۸۰/۸ f	۷۰/۹ fg
	ده روز	۱۴۵/۵ a	۱۵۳/۳ a	۱۳۴/۱ abc	۱۴۱/۷ ab	۱۱۲/۱ d	۸۴/۲ f	۶۷/۶ fg
	یک ماه	۱۴۵/۶ a	۱۴۵/۶ a	۱۱۵/۸ cd	۱۰۵/۱ de	۱۱۵/۷ cd	۸۷/۶ ef	۵۸/۰ g
	دو ماه	۱۵۳/۴ a	۱۴۹/۴ a	۱۲۳/۲ bcd	۱۲۳/۰ bcd	۱۱۲/۱ d	۶۷/۶ fg	۵۱/۷ g
	میانگین	۱۴۹/۴ d	۱۴۸/۴ c	۱۳۰/۶ b	۱۱۸/۶ c	۱۱۵/۷ c	۸۰/۰ d	۶۲/۰ e
شماره ۲	یک روز	۱۰۵/۱ a	۱۰۵/۱ a	۹۱/۰ jkl	۹۴/۵ abc	۷۷/۵ cd	۸۴/۲ abcd	۸۰/۸ bcd
	ده روز	۱۰۵/۱ a	۱۰۵/۱ a	۱۰۱/۴ ab	۸۷/۷ abcd	۸۷/۶ abcd	۸۷/۶ abcd	۷۰/۹ d
	یک ماه	۱۰۵/۱ a	۸۰/۸ bcd	۹۱/۰ abcd	۸۰/۹ bcd	۸۱/۰ bcd	۷۷/۵ cd	۸۰/۹ bcd
	دو ماه	۱۰۵/۱ a	۱۰۱/۴ ab	۹۱/۰ ab	۸۴/۳ abcd	۷۷/۵ cd	۷۷/۵ cd	۸۰/۸ bcd
	میانگین	۱۰۵/۱ a	۹۶/۲ ab	۹۳/۶ ab	۸۶/۵ bc	۸۰/۹ c	۸۱/۷ c	۷۸/۳ c
شماره ۳	یک روز	۹۴/۴ abcd	۱۱۲/۰ a	۹۱/۲ abcd	۹۸/۰ abcd	۱۰۵/۰ ab	۹۱/۳ abcd	۸۰/۸ cd
	ده روز	۹۴/۴ abcd	۹۷/۹ abcd	۹۱/۲ abcd	۹۱/۰ abcd	۸۷/۶ bcd	۹۴/۵ abcd	۸۴/۲ bcd
	یک ماه	۹۱/۰ abcd	۹۴/۴ abcd	۹۱/۰ abcd	۱۰۱/۴ abc	۸۷/۶ bcd	۸۰/۸ cd	۸۰/۸ cd
	دو ماه	۸۴/۲ bcd	۹۱/۰ abcd	۸۴/۲ bcd	۸۷/۶ bcd	۷۷/۵ d	۷۷/۵ d	۸۴/۲ bcd
	میانگین	۹۱/۰ abc	۹۸/۸ a	۸۹/۴ abc	۹۴/۵ ab	۸۹/۴ abc	۸۶/۰ bc	۸۲/۵ c

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

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.4.5.7] [Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

جدول ۱۰. اثر سرباره و زمان نگه‌داری بر قابلیت هدایت الکتریکی (dSm^{-1})

خاک	تیمار / زمان	S0	S0.5	S1	S2	S4	S8	S16
شماره ۱	یک روز	۰/۵۲ * klm	۰/۵۲ klm	۰/۵۰ klm	۰/۶۴ ij	۰/۸۶ fg	۱/۱۱ bc	۰/۹۰ efg
	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	۰/۴۲ mno	۰/۳۹ nop	۰/۴۶ lmn	۰/۵۵ jkl	۱/۰۴ cd	۰/۹۷ de	۱/۱۷ b
	دو ماه	۰/۴۳ mno	۰/۵۹ jk	۰/۷۱ hi	۰/۸۲ g	۱/۰۸ bc	۰/۸۶ fg	۱/۴۶ a
	میانگین	۰/۴۳ e	۰/۴۵ e	۰/۵۱ d	۰/۶۰ c	۰/۹۹ b	۰/۹۳ b	۱/۱۲ a
شماره ۲	یک روز	۰/۵۵ ghijk	۰/۶۶ ghijk	۰/۷۲ f	۰/۶۴ fghi	۰/۷۳ f	۱/۰۱ e	۱/۱۵ a
	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	۰/۳۱ ghijk	۰/۴۴ jk	۰/۵۶ ghijk	۰/۵۹ fghij	۰/۵۳ ghijk	۰/۵۵ ghijk	۱/۰۷ c
	دو ماه	۰/۳۳ ghijk	۰/۵۲ hijk	۰/۵۴ ghijk	۰/۶۹ fg	۰/۶۷ fgh	۰/۶۹ fg	۱/۰۱۸ b
	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	۰/۵۰ d	۰/۶۷ ab	۰/۶۵ abc	۰/۶۱ bc	۰/۵۰ d	۰/۴۹ d	۰/۶۹ a
	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	۰/۳۷ ef	۰/۳۷ ef	۰/۳۸ ef	۰/۴۰ e	۰/۳۲ bcfgd	۰/۲۷ g	۰/۶۴ abc
	دو ماه	۰/۳۶ ef	۰/۳۸ ef	۰/۳۵ ef	۰/۴۱ e	۰/۴۰ e	۰/۳۲ fg	۰/۶۲ abc
	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.

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 سرباره، غلظت منگنز زیاد شده است (جدول ۸) که این در نتیجه حضور ۴/۴۶ درصد سرباره است. کان (۸) نیز در سال ۱۹۹۲ با استفاده از سرباره 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 حلالیت کم است.

پتاسیم

اثر تیمارها بر پتاسیم قابل عصاره‌گیری با AB-DTPA در خاک‌ها در سطح ۱ درصد معنی دار است (جدول ۱۰). نکتهٔ مهم در مورد پتاسیم این است که با افزایش مقدار سرباره 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 سرباره) سبب حذف پلیمرهای هیدروکسی آهن و آلومینیوم در فضای بین لایه‌ای رس‌ها شده ودر نتیجه تثبیت پتاسیم افزایش می‌یابد. از عوامل مؤثر دیگر در تثبیت پتاسیم تشکیل ترکیبات نامحلول پتاسیم به ویژه آلومینوسیلیکات‌های پتاسیم در pHهای بالا (با افزودن سطوح بالای سرباره) است (۵). در خاک شماره ۲ برهمکنش تیمار و زمان در سطح ۵ درصد معنی دار نیست (جدول ۷) و تیمارها نیز همان روند ذکرشده 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 سرباره کاهشی معادل ۵/۵۸ 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 معنی‌دار 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 معنی‌دار است (جدول ۷). در تمام نمونه‌ها، کاربرد سرباره سبب افزایش قابلیت هدایت الکتریکی خاک شده است (جدول ۱۰). این افزایش در مقادیر بالای سرباره یعنی تیمارهای S8 و S16 بیشتر محسوس است. در هر صورت تأثیر سرباره 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.

منابع مورد استفاده

۱. افلاکی، ع. ۱۳۷۴ . تحقیق روی پارامترهای مؤثر در بازیابی ترکیبات وانادیومی از سرباره. 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.

٤. 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.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.4.5.7]

۵. ملکوتـی، م. ج. و م. افخمـی. 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. 2nd 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 rd.ed., Delmar Pub., India.
17. Ponnette, 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.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.4.5.7]