محور مقاله: حاصلخیزی خاک، تغذیه گیاه و کشت گلخانه ای

تأثیر کاربرد سرباره مس همراه با ترکیبات آلی بر میزان آهن قابل جذب در یک خاک آهکی

الهام میرپاریزی [۱*]، مجتبی بارانی مطلق [۲]، سید علیرضا موحدی نائینی [۳]، رضا قربانی نصرآبادی [۴]، سمیه بختیاری [۵]، مهران اسپهبدی [۶]

[۱] دانش آموخته دکترای خاکشناسی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

[۲] دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

[۳] دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

[۴] دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

[۵] استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سیرجان

[۶] کارشناس ارشد تحقیقات آب و محیط زیست مجتمع مس سرچشمه

چکیده

ازآنجایی که حدود ۵۳/۸ درصد سرباره حاصل از ذوب کنسانتره مس را اکسیدهای آهن به خود اختصاص می‌دهند، لذا امکان کاربرد آن را به عنوان کود تقویت می‌کند. بدین منظور آزمایش انکوباسیونی به مدت ۳ ماه به‌صورت آزمایش فاکتوریل خرد شده در زمان در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل ۵ سطح ماده آلی (پوست پسته (P_2 و P_4)، کود گاوی (C_2 و C_4) در دو سطح ۲ و ۴ درصد وزنی و نمونه شاهد (C) و ۱۰سطح آهن (سرباره مس(S_2 و S_4)، سرباره مس با گوگرد($S_2S°$ و $S_4S°$)، سرباره مس با گوگرد و تیوباسیلوس ($S_2S°T$ و $S_4S°T$)، سرباره اسیدی (S_{2a} و S_{4a}) (به میزان ۲ و ۴ برابر مقدار توصیه آزمون خاک) کلات سکوسترین (Seq) و نمونه شاهد (S_0) بودند. در زمان-های ۱۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ روز بعد از انکوباسیون تغییرات pH، EC و مقدار آهن قابل جذب اندازه‌گیری شدند. اثر بر هم کنش تیمارها نشان داد. مقدار آهن قابل جذب در خاک از ۱/۴۳ میلی‌گرم در کیلوگرم در تیمار شاهد$CS°$ به مقدار ۸/۱۷ میلی‌گرم در کیلوگرم در تیمار ($C_4S_4S°T$) رسید. لذا سرباره پتانسیل استفاده به عنوان یک منبع آهن را برای گیاهان دارد.

کلمات کلیدی: سرباره مس، پوست پسته، کود گاوی، آهن قابل جذب.

مقدمه

کمبود آهن از شایع‌ترین کمبودهای غذائی است که کنترل آن نیز مشکل می‌باشد. روش‌ها و راه‌های متعددی جهت درمان کلروز آهن وجود دارد که یکی از این راه‌ها استفاده از ترکیبات مختلف اصلاحی یا مواد حاوی آهن در خاک می‌باشد. تعدادی از این ترکیبات عبارتند از: ترکیبات معدنی آهن، مواد اسیدی و اسیدزا، ضایعات معادن و محصولات جنبی صنایع، مواد آلی و مواد آلی آهن‌دار و کلات‌های مصنوعی آهن که مؤثرترین این مواد کلات‌های مصنوعی آهن هستند که البته به‌دلیل گرانی فقط برای محصولات ویژه مصرف می‌شوند (Marsolek و همکاران ۱۹۸۲). مواد حاصل از عملیات استخراج تعدادی از معادن در دنیا اغلب دارای مقادیر زیادی آهن هستند. به علاوه محصولات جنبی حاصل از بسیاری از فرایندهای صنعتی هم اغلب از این عنصر غنی می‌باشند. از جملهٔ این ترکیبات محصولات فرعی کارخانجات ذوب مس از قبیل سرباره[1] را می‌توان نام برد (Teresa و همکاران ۲۰۱۲). میزان تولید سرباره از کوره‌های ریورب[2] مجتمع مس سرچشمه در حدود ۷۰۰ تا ۹۰۰ تن در روز می‌باشد که به عنوان ماده‌ای دور ریز در قسمتی از مجتمع جمع می‌گردد. این سرباره تقریباً دارای ۳۵ تا ۴۰ درصد آهن است لذا استفاده از این ماده برای تغذیه گیاهان مخصوصاً در مناطقی که کلروز ناشی از کمبود آهن دارند بسیار مهم است. Nadine ۲۰۱۴ در سال اظهار داشت سرباره با داشتن عناصری مانند آهن، مس، منگنز و روی تأمین‌کننده عناصر کم مصرف برای گیاهان خواهد بود. تهیه کودهای مناسب از سرباره فولاد و تأثیر آن بر ترکیب خاک و گیاه مزایای اقتصادی

[1] Slag
[2] Reverbatory Furnance

زیادی را در بر خواهد داشت. سرباره با داشتن ترکیباتی مانند MgO، SiO_2، CaO، Mn و دیگر عناصر کم‌مصرف مانند مس، روی، آهن و بور به عنوان یک ماده آهکی مناسب مورد استفاده قرار می‌گیرد (Teresa و همکاران ۲۰۱۲).Torkashvand (۲۰۱۱) در مطالعه انکوباسیونی با کاربرد سرباره به یک خاک آهکی نتیجه گرفت، این ترکیب با داشتن ۱۶/۸ درصد اکسیدهای آهن سبب افزایش معنی‌دار آهن قابل عصاره‌گیری خاک می‌شود. همچنین کاربرد یک درصد وزنی این ترکیب در خاک به همراه مواد آلی باعث افزایش عملکرد گیاه ذرت شد. Mokhtari و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعات خود تأثیر سطوح سرباره به همراه لجن را به منظور تغذیه آهن و عملکرد گیاه ذرت مورد مطالعه قرار دادند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد استفاده از ۵ درصد سرباره بیش‌ترین تأثیر را در افزایش غلظت آهن در اندام‌های هوایی گیاه ذرت نشان داد. Jiu و همکاران (۲۰۱۵) با کاربرد سرباره در مقایسه با گچ برای یک خاک التی سول افزایش EC را در شروع آزمایش خود به ترتیب در تیمارهای سرباره، سرباره+گچ و گچ گزارش کردند. اما با گذشت زمان مقدار EC در تمامی تیمارهای آزمایش کاهش نشان داد. مطالعات Masud و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد کاربرد سطوح مواد آهکی از جمله سرباره بازی[3]، دو نوع بیوچار و آهک منجر به افزایش pH در پایان دوره انکوباسیون شد. Wang (۲۰۱۳) از سرباره بازی برای اصلاح خاک‌های اسیدی چای کاری استفاده کرد. با اضافه کردن ۸ گرم بر کیلوگرم سرباره مقدار pH در پایان انکوباسیون به ۵/۳۲ رسید که ۱/۰۹ واحد در مقایسه با شاهد بیش‌تر بود. از سرباره حاصل از ذوب مس در کشاورزی تاکنون استفاده نشده است، لذا این مطالعه با هدف تأثیر سرباره بر آهن قابل عصاره‌گیری به وسیله DTPA و برخی ویژگی‌های یک خاک آهکی انجام شد.

مواد و روش‌ها:

به منظور بررسی اثر سرباره مس و ترکیبات آلی (کود گاوی و پوست پسته) بر میزان آهن قابل جذب ، نمونه خاکی با آهن قابل استفاده و ماده آلی کم برداشت شد. بخشی از نمونه‌های خاک پس از انتقال به آزمایشگاه و خشک‌شدن در مجاورت هوا از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. برخی از خصوصیات فیزیکوشیمایی نمونه خاک مورد استفاده و ترکیبات آلی به ترتیب در جداول‌های ۱ و ۲ آورده شده است. بافت خاک به روش هیدرومتر، pH وEC نمونه خاک در گل و عصاره اشباع و در ترکیبات آلی در نسبت ۱:۵ ترکیب آلی به آب، درصد کربن آلی در نمونه خاک و ترکیبات آلی با استفاده از روش واکی بلک و مقدار کربنات کلسیم معادل خاک به روش خنثی‌سازی با اسید و تیتراسیون معکوس با سود ۱ نرمال تعیین شدند (۴). همچنین نیتروژن کل خاک و ترکیبات آلی به روش کجلدال، فسفر قابل دسترس خاک به روش اولسن و پتاسیم موجود در نمونه خاک با استفاده از استات آمونیوم عصاره‌گیری شده و با دستگاه فلیم فوتومتر قرائت شد. عناصر قابل جذب خاک (آهن، مس، روی و منگنز) بعد از عصاره‌گیری با DTPA-TEAبا دستگاه جذب اتمی پرکین المر- مدل ۳۰۳۰ اندازه‌گیری شدند. سدیم، کلسیم و منیزیم محلول در عصاره اشباع به ترتیب با استفاده از فلیم فوتومتر و روش کمپلکسومتری تعیین شدند. رطوبت اشباع (SP) خاک به روش وزنی و رطوبت ظرفیت زراعی(FC) با استفاده از دستگاه صفحه فشار اندازه‌گیری شدند. برای تعیین غلظت کل فلزات در ترکیبات آلی از روش اکسایش تر استفاده شد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

ویژگی	مقدار	ویژگی	مقدار	ویژگی	مقدار
بافت خاک	Loamy Sand	فسفر قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$)	۱۸/۶	سدیم($meq\ L^{-1}$)	۱۸/۵۹
pH	۷/۴۴	پتاسیم قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$)	۳۰۹/۳۳	کلسیم($meq\ L^{-1}$)	۱۳/۵
هدایت الکتریکی	۳/۳۹	آهن قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$)	۳/۱	منیزیم($meq\ L^{-1}$)	۱/۷۵
کربن آلی %	۰/۳۵	مس قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$)	۰/۹۱	نسبت جذب سدیم SAR	۶/۷۳
کربنات کلسیم معادل %	۱۴	روی قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$)	۰/۷۸	درصد رطوبت اشباع Sp %	۳۳/۵
نیتروژن کل N %	۰/۰۲۹	منگنز قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$)	۳/۱۵	درصد رطوبت ظرفیت زراعی FC %	۱۱/۳

جدول ۲- برخی خصوصیات شیمیایی مواد آلی مورد استفاده

ویژگی	پوست پسته	کود گاوی	ویژگی	پوست پسته	کود گاوی
pH	۴/۹	۸/۱	آهن کل ($mg\ kg^{-1}$)	۹۱۰	۴۱۵۰
هدایت الکتریکی	۶/۲۶	۵/۳۴	مس کل ($mg\ kg^{-1}$)	۱۱/۰۶	۳۹/۲

[3] Alkaline Slag

کربن آلی %	۵۴/۷	۲۹/۲۲	روی کل ($mg\ kg^{-1}$)	۲۴	۱۴۸/۵
نیتروژن کل %	۲/۵	۱/۴	منگنز کل ($mg\ kg^{-1}$)	۳۴	۳۵۷
فسفر کل %	۰/۱۲	۰/۴۲	سدیم %	۰/۱۱	۰/۵۹
پتاسیم کل %	۵/۰۲	۱/۶۳	کلسیم %	۰/۸۴	۷/۵۶
			منیزیم %	۰/۵۸	۱/۵۸

نتایج کانی‌شناسی سرباره نشان داد که این ترکیب حاوی کانی‌های اولیوین، اوژیت، فایالیت، هماتیت، مگنتیت و فاز آمورف می‌باشد. آنالیز فلورسانس اشعه ایکس نتایج نشان داد که حدود ۵۳/۸ درصد سرباره را اکسیدهای آهن به خود اختصاص می‌دهند (جدول ۳). هم چنین عناصر قابل عصاره گیری با DTPA در نمونه سرباره، هم‌چنین pH، EC در نسبت ۱:۲/۵ سرباره به آب در جدول ۴ آمده است.

جدول ۳- تجزیه شیمیایی سرباره با استفاده از تکنیک XRF

ترکیب	مقدار (٪)	ترکیب	مقدار (٪)
Fe_2O_3	۴۴/۵۴	K_2O	۱/۴۱
Fe_3O_4	۹/۲۴	Cu	۱/۲۱
SiO_2	۳۱/۴۷	MgO	۱/۰۲
CaO	۵/۶۳	ZnO	۰/۷۲
Al_2O_3	۴/۰۵	TiO_2	۰/۴۲

جدول ۴- عناصر قابل جذب سرباره (قابل عصاره‌گیری با DTPA)

ویژگی	مقدار	عنصر	مقدار	عنصر	مقدار	عنصر	مقدار	عنصر	مقدار	عنصر	مقدار	عنصر	مقدار
pH	۷/۵	آهن	۲۵۰	منگنز	۱۴/۶۷	کبالت	۵۱۳/۳۳	سرب	ND	مولیبدن	ND
EC	۰/۴۲	مس	۲۶۶/۶۷	کادمیوم	۸۰/۶۷	نقره	۲۴	آرسنیک	ND	سلنیوم	ND
)۱(dS.m-		روی	۳۳۱۶۶/۶۷	نیکل	۲۲۲۰	بیسموت	۳۱۳/۳۳	کرم	ND	بیسموت	ND

ND: زیر حد تشخیص (Non Detection) دستگاه

آزمایش انکوباسیونی به مدت ۳ ماه به‌صورت آزمایش فاکتوریل خرد شده در زمان در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در قالب زمان انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل ۵ سطح ماده آلی (پوست پسته (P_2 و P_4)، کود گاوی (C_2 و C_4) در دو سطح ۲ و ۴ درصد وزنی و نمونه شاهد (C)) و ۱۰سطح آهن (سرباره مس(S_2 و S_4)، سرباره مس با گوگرد($S_2S°$ و $S_4S°$)، سرباره مس با گوگرد و تیوباسیلوس ($S_2S°T$ و $S_4S°T$)، سرباره اسیدی (S_{2a} و S_{4a}) (به میزان ۲ و ۴ برابر مقدار توصیه آزمون خاک) کلات سکوسترین (Seq) و نمونه شاهد (S_0) بودند. به‌منظور بررسی حلالیت سرباره در pHهای متفاوت از بافرهای ایجاد شده در pHهای ۳ تا ۹ استفاده شد و در نهایت pH=۳ برای اسیدی‌کردن سرباره انتخاب شد. تیمارهای آزمایشی به صورت یکنواخت در گلدان‌های ۳ کیلوگرمی مخلوط و به‌مدت ۳ ماه انکوباسیون شدند. در زمان‌های ۱۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰روز بعد از انکوباسیون، نمونه‌های ۱۰۰ گرمی از هر کدام از گلدان‌ها برداشت شد. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه هواخشک و کوبیده شده و از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شدند. در این بازه‌های زمانی تغییرات پارامترهایی نظیر pH، EC در عصاره ۱ به ۲/۵ خاک به آب و مقدار آهن عصاره‌گیری با DTPA-TEA قرائت شد. تجزیه واریانس با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها به کمک آزمون‌های t و LSD در سطح ۵ درصد انجام شد. نمودارهای مربوطه با نرم افزار Excelرسم و نتایج تفسیر گردید.

شکل ۱. نمایی از مطالعه انکوباسیونی

نتایج و بحث

اثر متقابل تیمارهای سرباره و ترکیبات آلی بر مقدار EC، pH و مقدار آهن ($mg.kg^{-1}$) قابل استخراج با DTPA

EC خاک

نتایج حاصل از مقایسات میانگین مربوط به تأثیر تیمارهای سرباره و ترکیبات آلی بر مقدار EC خاک در جدول ۵ نشان داده شده است. اثر بر هم کنش تیمارهای سرباره و ترکیبات آلی نشان داد بیش‌ترین مقدارEC مربوط به تیمار ($C_4S_4S°T$) به میزان ۲/۰۴ دسی زیمنس بر متر بود. Abbaspour و همکاران (۲۰۰۴) تغییرات EC را بعد از اضافه‌کردن لجن اسیدی و لجن به همراه گوگرد و تیوباسیلوس بررسی کردند و دریافتند تیمارهای حاوی اسید و گوگرد با آزاد کردن H^+ و انحلال کانی‌ها و آزادکردن املاح به درون فاز محلول منجر به افزایش هدایت الکتریکی خاک‌ها شدند.

جدول۵- تأثیر تیمارهای سرباره و ترکیبات آلی بر مقدار EC خاک

P_4%	P_2%	C_4%	C_2%	C	
۱/۶۲c-i	۱/۱۷m-s	۱/۴۳f-o	۱/۱۶m-s	۰/۶۹v	S_0
۱/۳۵i-q	۱/۰۹q-s	۱/۴۵f-n	۱/۰۲r-u	۰/۶۶v	Seq
۱/۳۷h-q	۱/۲۴k-r	۱/۴g-p	۱/۱۶m-s	۰/۶۴v	S_2
۱/۴۲g-p	۱/۰۷q-t	۱/۵۳e-k	۱/۱۵o-s	۰/۷۹t-v	S_4
۱/۷۲b-f	۱/۴۳f-o	۱/۸۶a-d	۱/۴۶f-m	۰/۹۴s-v	$S_2S^°$
۱/۸۷a-c	۱/۸۱a-e	۱/۸a-e	۱/۵۸c-j	۱/۳۶h-q	$S_4S^°$
۱/۷۷a-e	۱/۶c-i	۱/۷۸a-e	۱/۴۶f-l	۱/۱۶n-s	$S_2S^°T$
۱/۹۹ab	۱/۷۹a-e	۲/۰۴a	۱/۶۶c-h	۱/۴۴f-o	$S_4S^°T$
۱/۵۷d-j	۱/۱۹l-s	۱/۴۱g-p	۱/۲۸j-r	۰/۷۸t-v	S_{2a}
۱/۴۵f-o	۰/۹۴s-v	۱/۶۹b-g	۱/۱۲p-s	۰/۷۶uv	S_{4a}

میانگین‌هایی با حروف مشابه، در هر ستون یا ردیف، در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند

Karimian و Kalbasi (۲۰۱۲) تأثیر لجن کنورتور و ترکیب آن را با ماده آلی (پودر یونجه)، گوگرد عنصری و اسید سولفوریک را دریک مطالعه انکوباسیونی بر مقدار EC سه خاک آهکی مورد بررسی قرار دادند. استفاده از لجن به‌تنهایی تأثیری بر مقدار EC نداشت که دلیل آن را به رسوب برخی مواد معدنی موجود در لجن به دلیل pH زیاد آن دانستند. بیش‌ترین مقدار افزایش EC به ترتیب مربوط به تیمارهای (گوگرد عنصری ۲ درصد)، (گوگرد عنصری ۲ درصد + لجن کنورتور ۲ درصد)، (گوگرد عنصری ۲ درصد + لجن کنورتور ۴ درصد)، (ماده آلی ۴ درصد + لجن کنورتور ۴ درصد)

بود. این افزایش را به‌دلیل تولید اسید (اسید سولفوریک در تیمارهای حاوی گوگرد و اسیدهای آلی در تیمارهای حاوی مواد آلی) و انحلال کانی‌هایی مانند کربنات کلسیم را زیاد کرده و EC را زیاد می‌کند. مقدار EC طی دوره انکوباسیون بعد از ۲ ماه کاهش و بعد از ۴ ماه افزایش را نشان داد.

pH خاک

تغییرات pH تحت تأثیر تیمارهای سرباره و ترکیبات آلی در جدول ۶ آورده شده است. بیش‌ترین میزان pH خاک با اضافه‌کردن تیمار (CS_{4a}) بود. کم‌ترین مقدار pH متعلق به تیمار۴ درصد کود گاوی با سرباره به‌میزان ۲ برابر مقدار توصیه آزمون خاک همراه با گوگرد و تیوباسیلوس ($C_4S_2S°T$) با مقدار pH=۷/۲ بود (جدول ۶). کود گاوی در مقایسه با پوست پسته C/N کم‌تری داشته است، (جدول ۲)، لذا به دلیل تجزیه‌پذیری بیش‌تر به عنوان منبع کربن برای میکروارگانیسم‌های هتروتروف موجود در خاک محسوب می‌شود. بنابراین اکسیداسیون بیولوژیکی گوگرد زیاد شده و با تولید اسیدسولفوریک pH خاک کاهش نشان داده است. Garcia و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که با کاربرد گوگرد به همراه سه نوع کمپوست، کاهش قابل توجهی در pH کمپوست به‌وجود آمد. Abbaspour و همکاران (۲۰۰۴) تغییرات pH را بعد از اضافه‌کردن لجن اسیدی و لجن به همراه گوگرد و تیوباسیلوس بر مقدار pH خاک بررسی کردند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که این تیمارها در مقایسه با شاهد کاهش معنی‌داری را در pH خاک ایجاد کردند با این تفاوت که اثرات اسید کوتاه مدت و اثرات گوگرد دراز مدت است. Pinto و همکاران (۱۹۹۵) گزارش کردند که مصرف سرباره Ld، pH خاک را از ۵/۷ به ۶/۵ و از ۵/۸ به ۶/۷ به ترتیب با و بدون مصرف کودهای NPK افزایش می‌دهد. Besga و همکاران (۱۹۹۶) به این نتیجه رسیدند که به‌ازای هر تن سرباره مصرفی pH خاک ۰/۱۵ واحد افزایش می‌دهد.

جدول ۶- تأثیر تیمارهای سرباره و ترکیبات آلی بر مقدار pH خاک

P_4%	P_2%	C_4%	C_2%	C	
۷/۳۹k-s	۷/۴۴g-s	۷/۴۱j-s	۷/۴۲i-s	۷/۵۷b-p	S_0
۷/۶۱a-n	۷/۷۵a-f	۷/۴۷e-s	۷/۵۸b-p	۷/۶۳a-m	Seq
۷/۷۴a-g	۷/۶۷a-k	۷/۴۸d-s	۷/۷۱a-i	۷/۷a-j	S_2
۷/۳۱o-s	۷/۴k-s	۷/۲۷q-s	۷/۲۷rs	۷/۵۲c-r	S_4
۷/۵d-r	۷/۴۶f-s	۷/۲۹p-s	۷/۳۱p-s	۷/۳۵m-s	S_2S°
۷/۴۵g-s	۷/۴۴h-s	۷/۲۷q-s	۷/۳۳n-s	۷/۳۶l-s	S_4S°
۷/۳۱p-s	۷/۳۲o-s	۷/۲s	۷/۲۷rs	۷/۳۶l-s	$S_2S^\circ T$
۷/۶۱a-o	۷/۵۱d-r	۷/۳۴m-s	۷/۴۱j-s	۷/۴۶f-s	$S_4S^\circ T$
۷/۸۶ab	۷/۸۱a-c	۷/۷۲a-h	۷/۷۶a-e	۷/۷۷a-d	S_{2a}
۷/۸۳ab	۷/۸۴ab	۷/۵۶b-q	۷/۶۴a-l	۷/۸۹a	S_{4a}

میانگین‌هایی با حروف مشابه، در هر ستون یا ردیف، در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند

مقدار آهن ($mg.kg^{-1}$) قابل استخراج با DTPA

تأثیر تیمارهای سرباره و ترکیبات آلی بر مقدار آهن خاک در جدول ۷ نشان داده شده است. مقدار آهن قابل جذب در خاک از ۱/۴۳ میلی-گرم در کیلوگرم در تیمار شاهد$CS°$ به مقدار ۸/۱۷ میلی‌گرم در کیلوگرم در تیمار ($C_4S_4S°T$) رسید که تفاوت معنی‌داری نسبت به تیمارهای ($C_4S_4S°$) و (C_4S_4) نداشت. بنابراین آهن موجود در سرباره به خوبی توانسته با لیگاندهای آلی و ترکیبات کلات‌کننده موجود در کود گاوی تشکیل کلات داده و به شکل محلول درآید. بسیاری از بررسی‌ها نشان داده‌اند که اگر گوگرد عنصری در خاک مصرف شود، با فراهم بودن شرایط اکسیداسیون بیولوژیکی آن، مقادیر قابل توجهی از گوگرد مصرفی توسط باکتری‌های جنس تیوباسیلوس اکسید می‌گردد. اکسیداسیون گوگرد و تولید اسیدسولفوریک در اطراف ریشه‌ها منجر به افزایش حلالیت کانی‌های حاوی آهن خواهند شد. از طرفی شرایط اسیدی منجر به احیاء آهن ۳ به آهن ۲ خواهد شد و در نهایت افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی را سبب می‌شود (Khadem و همکاران ۲۰۱۴).

جدول ۷- تأثیر تیمارهای سرباره و ترکیبات آلی بر مقدار آهن ($mg.kg^{-1}$) قابل استخراج با DTPA

P_4%	P_2%	C_4%	C_2%	C	
۱/۹۶e-g	۱/۴۷fg	۱/۶۵e-g	۱/۵۶fg	۱/۴۳g	S_0
۳/۲۷b-g	۲/۰۵d-g	۲/۲۸c-g	۲/۹۵b-g	۳/۰۱b-g	Seq
۲/۵۸b-g	۲/۳۶c-g	۳/۲۵b-g	۲/۴۴b-g	۲/۲۳c-g	S_2
۴/۰۷b-d	۴/۴۳b	۷/۶a	۴/۱۲bc	۳/۱۴b-g	S_4
۲/۹۱b-g	۲/۹۴b-g	۴/۴۲b	۲/۸۲b-g	۲/۸۶b-g	S_2S°
۳/۴۸b-f	۳/۶۲b-e	۷/۷۶a	۲/۸۲b-g	۲/۴۸b-g	S_4S°
۲/۱۵c-g	۲/۷۸b-g	۳/۴۸b-f	۱/۹۹e-g	۲/۱۵c-g	$S_2S^\circ T$
۴/۰۶b-d	۴/۱۳bc	۸/۱۷a	۳/۱۶b-g	۲/۸۶b-g	$S_4S^\circ T$
۲/۳۶c-g	۲/۵۲b-g	۳/۲۵b-g	۲/۲۶c-g	۱/۹۱e-g	S_{2a}
۲/۶۹b-g	۲/۶۶b-g	۴/۳۹b	۲/۶۴b-g	۲/۳۲c-g	S_{4a}

میانگین‌هایی با حروف مشابه، در هر ستون یا ردیف، در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند

Samar و Shahabian (۲۰۰۳) دریافتند با افزایش تـوأم گوگرد و سـولفات‌آهن، غلظت آهن قابل جذب تا ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلـوگرم در خـاک افزایش می‌یابد. Chen و همکاران(۱۹۸۲) دریافتند آهن مخلوط شده با پیت سبب کاهش کلروز و افزایش عملکرد پسته در اسرائیل شد. Thomas و Mathers (۱۹۷۹) اظهار داشتند کود دامی خرد شده در کاهش کلروز و افزایش عملکرد سورگوم در شرایط گلخانه تأثیر بسزایی داشته است. ترکیب سولفات‌فرو همراه با N-P-K عملکرد را افزایش می‌دهد، اما تأثیرش کمتراز کود دامی است.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد ، اثر متقابل تیمارهای سرباره و ترکیبات آلی حاکی از آن است تیمار ۴ کود گاوی با سرباره به میزان ۴ برابر مقدار توصیه آزمون خاک همراه با گوگرد و تیوباسیلوس ($C_4S_4S^\circ T$) بیش‌ترین مقدار آهن قابل جذب را دارا بود. لذا سرباره حاصل از ذوب مس به همراه مواد آلی پتانسیل استفاده به عنوان کود آهن را در خاک های آهکی داراست.

منابع

Abbaspour, A., Kalbasi, M., & Shariatmadari, H. 2004. Effect of steel converter sludge as iron fertilizer and amendment in some calcareous soils. Journal of Plant Nutrition, 27, 377_394.

Besga, G., M. Pinto and M. Rodriguez. 1996. Agronomic and nutritional effects of Linz-Donawitz slag application to two pastures in Northern Spain. J. Nut. Cyc. Agroecosystems. 46: 157-167.

Chen, Y., J. Navrot and P. Barak. 1982. Remedy of lime- induced chlorosis with iron- enriched muck. J. Plant Nutr. 5: 927-940.

Garcia de la Fuente, R., Carrión, C., Botella, S., Fornes, F., Noguera, V., & Abad, M. 2007. Biological oxidation of elemental sulphur added to three.

Jiu-yu Li a, Zhao-dong Liu. 2015. Alkaline slag is more effective than phosphogypsum in the amelioration of subsoil acidity in an Ultisol profile. Soil & Tillage Research: 149 21–32.

Karimian, N., Kalbasi, M. 2012. Effect of converter sludge, and its mixtures with organic matter, elemental sulfur and sulfuric acid on availability of iron, phosphorus and manganese of 3 calcareous soils from central Iran., African Journal of Agricultural Research Vol. 7(4), pp. 568-576, 26.

Khadem A. Gholchin A., Shafiee S. and Zare A. 2014. Effect of manures and sulfure on nutrients uptake of corn. Journal of Farming, 103: 1-10.

Marsolek, M.D., and Hagstrom, G.R. 1982. Acidified mining residue for correction of iron chlorosis on calcareous soils. Journal of Plant Nutrition, 5: 941-948.

Masud. M. 1,2 , LI Jiu-Yu1 and XU Ren-Kou. 2014. Use of Alkaline Slag and Crop Residue Biochars to Promote Base Saturation and Reduce Acidity of an Acidic Ultisol. Pedosphere 24(6): 791–798

Mokhtari,s. M Hodaji. And M. Kalbasi. 2014. The effect of steel converter slag application along with sewage sludge in iron nutrition and corn plant yield. Pharmacol. Life Sci., Vol 3 Spl Issue III: 96-104

Nadine M. Piatak. 2014. Characteristics and environmental aspects of slag: A review., Applied Geochemistry

Pinto, M., M. Rodriguez., G. Besga, and F. A. Lopez. 1995. Effects of Linz-Donowitz (LD) slag on soil properties and pasture production in the Basque country (Northern Spain). New Zealand. J. Agric. Res. 38: 143-155.

Samar, S.M., and Shahabian, M. 2003. Effect of organic manure enrichment with sulfur and sulfate on increasing availibility of iron in a calcareous soil. National Seminar of production and application of sulfur in the country.

Teresa, A.B., and Coll, V. 2012. Possible uses of steelmaking slag in agriculture: an overview.

Thomas, J. D. and A. C. Mathers. 1979. Manure and iron effects on sorghum growth on iron deficient soil. Agron. J. 71: 792-794.

Torkashvand, A.M. 2011. Effect of steel converter slag as iron fertilizer in some calcareous soils. Soil and Plant Science, 61(1):14-22.

Wang lei1, 2, YANG Xing-Lun. 2013. Combined Use of Alkaline Slag and Rapeseed Cake to Ameliorate Soil. Acidity in an Acid Tea Garden Soil. Pedosphere 23(2): 177–184.

Topic for submission: Soil Fertility, Plant Nutrition and Greenhouse Cultivation

The effect of copper slag application with organic compounds on Soil available iron a calcareous soil

*E. Mirparizi[1], M. Baranimotlgh[2], SA. MovahediNaein[3], R. GhorbaniNasrabadi[4] and S. Bakhtiary[5], M. espahbody[6]
[1] Ph.D. in Soil Science, Department of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
[2]. Associate Prof., Department of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
[3]. Associate Prof., Department of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
[4]. Assistant Prof., Department of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
[5]. Assistant Prof., Department of civil engineering, Sirjan University of technology
[6]Master of Science in Water and Environmental Research of Sarcheshmeh Copper Complex

Abstract
Since iron oxides account for about 53.8% of the slag, it can be used as a fertilizer. In order to an incubation test was performed for 3 months as a factorial experiment in a completely randomized design with three replications. The experimental factors consisted of 5 levels of organic matter (pistachio shell, cow manure 2 and 4% w / w and control sample) and 10 iron levels (copper slag, copper slag with sulfur, copper slag with sulfur and Thiobacillus, acid slag (each at two levels), Chelate Sequestrene and control sample). 10, 30, 60 and 90 days after incubation, changes in parameters such as pH, EC and iron content were measured by DTPA-TEA extractor.
The interaction effect of slag treatments and organic compounds showed that the amount of absorbable iron in the soil from 1.43 mg / kg in the control treatment of CS° reached 8.17 mg / kg in the treatment of 4% pistachio shell as 4 times of the recommended value of the soil test with sulfur and Thiobacillus ($C_4S_4S°T$). **Keywords**: Copper slag, Pistachio Shell, Cow manure, Soil available iron.