اثر کاربرد خاکی سرباره مس و ترکیبات آلی بر فراهمی آهن و رشد گیاه سورگوم

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

۱- دانشجوی دکترای علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
۲- دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
۳- استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
۴- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سیرجان، ایران

تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۰۱
پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۰۱/۲۱

کلمات کلیدی:
سرباره مس،
آهن قابل جذب خاک،
آهن گیاه،
عملکرد،
سورگوم

* عهده دار مکاتبات

Email: barani2002@yahoo.com

چکیده

از میان عناصر غذایی کم مصرف، کمبود آهن بیش‌ترین محدودیت را برای محصولات کشاورزی دارد. در این تحقیق امکان استفاده از سرباره مس به عنوان منبع تأمین‌کننده عناصر غذایی در یک خاک آهکی مورد ارزیابی قرار گرفت. ازآن‌جایی که حدود ۵۳/۸ درصد سرباره را اکسیدهای آهن به خود اختصاص می‌دهند، امکان کاربرد آن به عنوان کود تقویت می‌شود. تأثیر سرباره به همراه ترکیبات آلی بر فراهمی آهن و رشد گیاه سورگوم به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل ۵ سطح ماده آلی (پوست پسته، کود گاوی در دو سطح ۲ و ٤ درصد وزنی و نمونه شاهد) و ۱۱سطح آهن(سرباره مس، سرباره مس با گوگرد، سرباره مس با گوگرد و تیوباسیلوس، سرباره اسیدی (هر کدام دو سطح)، کلات سکوسترین، محلول پاشی EDTA و نمونه شاهد) بودند. استفاده از سطوح سرباره اسیدی با افزایشEC و نسبت جذب سدیم، کم‌ترین میزان آهن قابل جذب خاک را ایجاد کردند. کاربرد سرباره به میزان ٤ برابر مقدار توصیه آزمون خاک، افزایش آهن، روی قابل جذب خاک و غلظت آهن گیاه را در پی داشت. مقایسه ترکیبات آلی نشان داد کودگاوی، در مقایسه با پوست پسته در مقدار آهن قابل جذب خاک، میزان عملکرد گیاه، غلظت و جذب آهن گیاه تأثیرگذاری بیش‌تری دارد؛ از این‌رو با کاهش غلظت فلزات سنگین استفاده از آن در مقایسه با پوست پسته توصیه می‌شود. مقدار روی، نیکل و کبالت در گیاه مورد بررسی از حد مجاز تجاوز نکرد؛ بنابراین سرباره مس پتانسیل استفاده به عنوان یک کود را در خاک‌های آهکی دارد.

مقدمه

کمبود آهن یکی از شایع‌ترین مشکلات تغذیه گیاه در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک، به‌ویژه خاک‌های آهکی است (۳۳). آهن به عنوان یکی از عناصر فراوان خاک شناخته شده ولی به‌دلیل خصوصیات شیمیایی این عنصر و هم‌چنین شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک‌های خشک و نیمه خشک، حلالیت آن عموماً ناچیز و کمتر از حد مورد نیاز گیاهان می‌باشد (۲۸). گیاهان به مقدار کمی آهن نیاز دارند؛ اما همین مقدار کم تأثیر زیادی بر عملکرد گیاه دارد. آهن در ساخت کلروفیل، انتقال انرژی در گیاه،

تشکیل و ساخت آنزیم‌های خاص و همچنین تثبیت نیتروژن نقش دارد. کمبود یا غیر فعال شدن آهن در گیاه، باعث کلروز یا زرد شدن برگ‌های جوان می‌گردد در حالی‌که رگبرگ‌ها تا مراحل شدید کلروز سبز رنگ باقی می‌مانند (۲۸). کمبود آهن به علت عدم تعادل یون‌های فلزی، مانند مس و منگنز، مقدار زیاد فسفر در خاک، تهویه ضعیف، دماهای پایین، کمبود آهن خاک، مقدار ماده آلی کم و غلظت بالای بی‌کربنات در محیط ریشه ایجاد می‌شود (۳۱).

در ایران نیز همانند بسیاری از نقاط دیگر دنیا، عارضه کلروز آهن در برخی مناطق وجود دارد؛ به‌نحوی که ۳۷ درصد خاک‌های کشور دچار کمبود آهن بوده که سالانه خسارت‌های زیادی را به همراه دارد (۲۴). برای حل مشکل کمبود آهن در گیاهان از روش‌های بسیار پرهزینه، مانند کاربرد نمک‌ها و کلات‌های آهن، تعدیل مصنوعی pH و جایگزینی گونه‌هایی که توانایی زیادی برای جذب آهن دارند، مواد معدنی آهن، مواد اسیدی و اسیدزا، مواد آلی و مواد آلی آهن‌دار استفاده می‌شود. در ایران، به دلیل عدم تولید کلات‌های آهن‌دار در داخل باعث شده است معالجه کلروز آهن به وسیله این کلات‌ها برای کشاورزان مقرون به صرفه نباشد. بنابراین نیاز واقعی برای پیدا کردن موادی حاوی آهن که بتوان آن‌ها را به خاک عرضه کرد، احساس می‌شود (۳۲). مواد باقی‌مانده از فعالیت‌های استخراج و فرآوری موادمعدنی محصولات جانبی صنایع اغلب از نظر آهن غنی هستند (۵۶). استفاده از مواد جامد زائد کارخانه‌های ذوب مس مانند سرباره به عنوان مواد اصلاحی خاک در تغذیه آهن می‌تواند مفید باشد. این ترکیب حاوی درصد قابل توجهی آهن هست و سالانه به مقدار خیلی زیاد تولید و انباشته می‌شود. کاربرد سرباره در خاک ممکن است بر تحرک زیستی و فرم‌های شیمیایی آهن در خاک تأثیرگذار باشد. طی فرآیندهای ذوب کنسانتره مس، مات غنی از مس (سولفیدها) و سرباره (اکسیدها) تشکیل می‌شوند. برای تولید مس از کنسانتره آن، در فرآیندهای پیرومتالورژی سالانه مقدار زیادی سرباره تولید می‌شود (۱۵)؛ بنابراین، با مدیریت مناسب آن می‌توان مشکل فقر آهن در خاک‌های آهکی را برطرف کرد. مقدار سرباره حاصل شده از صنایع فولادسازی در چین به بیش از ۳۰۰ میلیون تن رسیده است. سرباره حاصل از صنایع فولادسازی شامل ترکیبات (CaO, SiO_2, MgO) بوده، علاوه بر این سه ترکیب اجزاء دیگری مانند FeO, MnO و P_2O_5 را داشته و به منظور اهداف کشاورزی و بهبود وضعیت خاک استفاده شده است. در کشورهای آلمان، آمریکا، فرانسه و ژاپن از سرباره کنورتور برای تولید کودهای سیلیسی، فسفره و عناصر کم‌مصرف استفاده می‌شود (۲۰). نادین و همکاران (۳۹) اظهار داشتند 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 زیادی را در بر خواهد داشت. نتایج مطالعات داس و پارکاش (۱۲) نشان داد که بسته به نوع خاک و کاربری کشاورزی، با اضافه کردن ۱/۵ تا ۵ تن در هکتار از سرباره می‌توان pH خاک را تغییر داده، و کیفیت و حاصل‌خیزی آن را بهبود بخشید. ترسا و کول (۵۶) در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که سرباره با داشتن ترکیباتی مانند MgO، SiO_2، CaO، Mn و دیگر عناصر کم مصرف، مانند آهن، مس و روی از نظر تغذیه‌ای دارای اهمیت بوده، برای پایداری خاکدانه‌ها نیز مفید است. والاس و سامان (۵۸) از مخلوط گوگرد و آیرون‌سل (ضایعات اسیدی حاصل از معادن مس حاوی $Fe_2(SO_4)_3$، $KFe(SO_4)_2$ و ۳۰ درصد گوگرد) برای رفع کلروز آهن ناشی از آهک استفاده کردند. نتایج نشان داد که مخلوط (۵۰۰ گرم خاک + ۰/۲۵ گرم آیرون سل + ۰/۷۵ گرم گوگرد) بیش‌ترین تأثیر را در رفع این عارضه دارد. وانگ و کای (۶۰) از سرباره به عنوان کود آهن در دو خاک لومی شنی و شنی لومی استفاده کردند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد سرباره‌ای که دارای مقادیر زیادی اکسید آهن(II) است، به عنوان یک منبع مهم آهن برای مناطقی محسوب می‌شود که از کمبود آهن رنج می‌برند. ترکاشوند (۵۷) در مطالعه انکوباسیونی با کاربرد سرباره به یک خاک آهکی نتیجه

گرفت که این ترکیب با داشتن ۱۶/۸ درصد اکسیدهای آهن سبب افزایش معنی‌دار آهن قابل عصاره‌گیری با AB-DTPA می‌شود. هم‌چنین کاربرد یک درصد وزنی این ترکیب در خاک به همراه مواد آلی باعث افزایش عملکرد گیاه ذرت شد. تأثیر سطوح سرباره به همراه لجن به منظور تغذیه آهن و عملکرد گیاه ذرت مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از ۲/۵ درصد لجن کم‌ترین غلظت آهن را در مقایسه با بقیه تیمارها در اندام هوایی گیاه ذرت نشان داد و استفاده از ۵ درصد سرباره بیش‌ترین تأثیر را در افزایش غلظت آهن در اندام‌های هوایی گیاه ذرت مشخص کرد (۳۶). هم‌چنین استفاده از ترکیبات آلی با بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک، فراهمی عناصر غذایی در خاک را افزایش می‌دهند. از طرفی، استفاده از این مواد به همراه سرباره، احتمالاً می‌تواند باعث کلاته‌شدن و افزایش قابلیت جذب آهن در خاک شود. حیدری و همکاران (۱۷) استفاده از سولفات آهن و ماده آلی را به عنوان روشی مناسب برای رفع کمبود آهن در درختان میوه گزارش کردند. ابوسعدا و همکاران (۱) متوجه شدند که مقدار آهن قابل عصاره‌گیری با $CaCl_2$ در نمونه سرباره متناسب با افزایش ماده آلی افزایش پیدا می‌کند. از سرباره و لجن کنورتور برای غنی‌سازی دو کود آلی ورمی کمپوست و کود گاوی استفاده شده است. نتایج مطالعات انکوباسیونی مللی و شریعتمداری (۳۴) در یک دوره ۹۰ روزه نشان داد که تیمار ۵ درصد آهن خالص از سرباره همراه با کود گاوی بعد از ۹۰ روز منجر به افزایش مقدار آهن قابل عصاره‌گیری با DTPA می‌شود. از طرفی، سرباره با داشتن فلزات سنگین می‌تواند مدیریت تغذیه‌ای آهن را تحت تأثیر قرار دهد. فلزات سنگین قابلیت فراهمی و جذب آهن در آپوپلاست ریشه، جذب به درون سلول‌های ریشه و انتقال به بخش‌های هوایی را کاهش می‌دهند و سبب می‌شوند آهن کم‌تر در اختیار برگ‌ها قرار گیرد (۲). سامارا و همکاران (۴۸) اظهار داشتند که غلظت فلزات سنگین قابل انحلال در آب در نمونه‌های سرباره کم است، و از آن‌جایی که سرباره pH زیادی دارد، دلیل آن را به جذب فلزات سنگین توسط سرباره و رسوب‌دادن آن‌ها به صورت ترکیباتی با حلالیت کم ربط دادند. این محققان نتیجه گرفتند سطوح سرباره به همراه لجن منجر به افزایش مقدار مس و روی در خاک اسیدی می‌شود. آنان افزایش را در نتیجه تشکیل کلات‌های قابل انحلال با مواد آلی بعد از اعمال لجن به خاک دانستند. از سرباره حاصل از ذوب مس در کشاورزی تاکنون استفاده نشده است؛ با کاربرد علمی ضایعات صنعتی در اراضی کشاورزی، می‌توان مشکل دفع آن‌ها را تا حدودی رفع کرد و با در نظرگرفتن مسائل زیست‌محیطی می‌توان زمینه را برای کاربرد آن‌ها فراهم نمود؛ بنابراین، هدف از انجام این پژوهش گلخانه‌ای بررسی تأثیر کاربرد خاکی سرباره مس و ترکیبات آلی بر فراهمی آهن و رشد گیاه سورگوم می‌باشد.

مواد وروش‌ها

به منظور بررسی اثر سرباره مس (از محصولات جانبی حاصل از ذوب کنسانتره مس در مجتمع مس سرچشمه استان کرمان) و ترکیبات آلی (کود گاوی و پوست پسته) بر فراهمی آهن و رشد گیاه سورگوم، نمونه خاکی با آهن قابل استفاده و ماده آلی کم از روستای دوچاهی تحت کشت پسته، واقع در ۲۵۰کیلومتری کرمان برداشت شد. بخشی از نمونه‌های خاک، پس از انتقال به آزمایشگاه و خشک‌شدن در مجاورت هوا از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. کود گاوی از واحد دامپروری اطراف سیرجان و پوسته پسته مورد استفاده از باغات پسته اطراف سیرجان تهیه گردید. ترکیبات آلی، پس از خشک کردن در مجاورت هوا، از الک ۴ میلی‌متری عبور داده شدند. برخی از خصوصیات فیزیکوشیمایی نمونه خاک مورد استفاده و ترکیبات آلی، به ترتیب در جداول ۱ و ۲ آورده شده‌اند. بافت خاک به روش هیدرومتر (۱۴)، pH وEC نمونه خاک در گل و عصاره اشباع و در ترکیبات آلی در نسبت ۵:۱ ترکیب آلی به آب تعیین گردید (۳۵)، درصد کربن آلی در نمونه خاک و ترکیبات آلی با استفاده از روش واکلی بلک اندازه‌گیری شد (۴۱)، مقدار کربنات کلسیم معادل خاک به

روش خنثی‌سازی با اسید و تیتراسیون معکوس با سود ۱ نرمال تعیین شد (۳). نیتروژن کل خاک و ترکیبات آلی به روش کجلدال (۸)، فسفر قابل دسترس خاک به روش اولسن (۴۲) و پتاسیم موجود در نمونه خاک با استفاده از استات آمونیوم عصاره‌گیری شده و با دستگاه فلیم فوتومتر قرائت شد (۴۵).

عناصر قابل جذب خاک (آهن، مس، روی و منگنز) بعد از عصاره‌گیری با DTPA-TEA در طول موج خاص هر عنصر با دستگاه جذب اتمی پرکین المر- مدل ۳۰۳۰ اندازه‌گیری شدند (۳۰). سدیم، کلسیم و منیزیم محلول در عصاره اشباع به‌ترتیب با استفاده از فلیم فوتومتر و روش کمپلکسومتری تعیین شدند (۱۹). رطوبت اشباع (SP) خاک به روش وزنی ورطوبت ظرفیت زراعی(FC) با استفاده از دستگاه صفحه فشار اندازه‌گیری شدند (۱۹). برای تعیین غلظت کل فلزات در ترکیبات آلی (کود گاوی و پوست پسته) از روش اکسایش تر (اسید نیتریک ۷۰ درصد، اسید کلریدریک غلیظ و آب اکسیژنه ۳۰ درصد) استفاده شد (۵۴). طرح آزمایشی به‌صورت یک آزمایش فاکتوریل دوعاملی (سرباره مس و ترکیبات آلی) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام گردید.

جدول (۱) برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک
Table (1) Some soil physical and chemical properties

ویژگی Property	مقدار Value	ویژگی Property	مقدار Value	ویژگی Property	مقدار Value
بافت خاک Texture	LoamySand	پتاسیم ($mg.kg^{-1}$)	309.33	نسبت جذب سدیم SAR	6.73
واکنش خاک pH	7.44	آهن ($mg.kg^{-1}$)	1.3	درصد رطوبت اشباع % Sp	33.5
هدایت الکتریکی EC (dS m^{-1})	3.39	مس ($mg.kg^{-1}$)	0.91	درصد رطوبت ظرفیت زراعی % Fc	11.3
درصد کربن % OC	0.35	روی ($mg.kg^{-1}$)	0.78		
درصد آهک % T.N.V	14	منگنز ($mg.kg^{-1}$)	3.15		
درصد نیتروژن % N	0.029	کلسیم($meq.L^{-1}$)	13.5		
فسفر ($mg.kg^{-1}$)	18.6	منیزیم($meq.L^{-1}$)	1.75		

جدول (۲) برخی خصوصیات شیمیایی مواد آلی مورد استفاده
Table (2) Selected chemical properties of organic matters used

ویژگی Property	پوست پسته Pistachio shell	کود گاوی Cow manure	ویژگی Property	پوست پسته Pistachio shell	کود گاوی Cow manure
واکنش خاک pH	4.9	8.1	آهن کل ($mg\ kg^{-1}$)	910	4150
هدایت الکتریکی EC ($dS\ m^{-1}$)	6.26	5.34	مس کل ($mg\ kg^{-1}$)	11.06	39.2
درصد کربن % OC	54.7	29.22	روی کل ($mg\ kg^{-1}$)	24	148.5
درصد نیتروژن کل % N	2.5	1.4	منگنز کل ($mg\ kg^{-1}$)	34	357
درصد فسفر کل % P	0.12	0.42	درصد سدیم % Na	0.11	0.59
درصد پتاسیم کل % K	5.02	1.63	درصد کلسیم % Ca	0.84	7.56
			درصد منیزیم % Mg	0.58	1.58

تیمارهای آزمایشی شامل ۱۰ سطح آهن: شاهد(S)، سکوسترین[1](Seq) FeEDDHA به میزان ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، سرباره مس به میزان ۲ و ۴ برابر مقدار توصیه آزمون خاک برحسب آهن قابل جذب این ترکیب (S_2) و(S_4) (۳۰)، سرباره مس به میزان ۲ و ۴ برابر مقدار توصیه آزمون خاک برحسب آهن قابل جذب این ترکیب همراه با گوگرد (S_2S°) و (S_4S°)، سرباره مس به میزان ۲ و ۴ برابر مقدار توصیه آزمون خاک برحسب آهن قابل جذب این ترکیب همراه با گوگرد و تیوباسیلوس($S_2S^\circ T$) و ($S_4S^\circ T$)، سرباره اسیدی شده مس به میزان ۲ و ۴ برابر مقدار توصیه آزمون خاک برحسب آهن قابل جذب این ترکیب (S_{2a}) و (S_{4a})و ۵ سطح ماده آلی: بدون ماده آلی (C)، کود گاوی ۲ درصد (C_2)، کود گاوی ۴ درصد (C_4)، پوست پسته ۲ درصد (P_2)، پوست پسته ۴ درصد (P_4). (گوگرد عنصری استفاده شده از نمونه مرک و باکتری تیوباسیلوس از مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور خریداری گردید. برای اسیدی‌کردن سرباره مس۳=pH از اسید سولفوریک غلیظ استفاده شد). تیمارهای آزمایشی به صورت یکنواخت در گلدان‌های ۳ کیلوگرمی مخلوط و به‌مدت ۳ ماه انکوباسیون شدند. در طی دوره انکوباسیون، نمونه‌ها در رطوبت ۷۵٪ ظرفیت زراعی در دمای ۲۵ درجه به حالت تعادل رسیدند. بعد از اتمام دوره انکوباسیون داخل هر گلدان ۱۰ عدد بذر سورگوم *Sorghum bicolor* رقم اسپید فید کاشته شد و بعد از استقرار گیاهان، شمار بوته‌ها به چهار عدد کاهش یافت. در طول مدت زمان کشت رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی نگه داشته شد. آب آبیاری دارای pH برابر با ۶/۹۸ و هدایت الکتریکی ۴۳/۲ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بود. یک تیمار تغذیه برگی توسط فتریلون (Fe-EDTA[2]) با غلظت ۵ در هزار، علاوه بر تیمارهای مذکور اضافه شد. اعمال این تیمار در طی دوره کشت قبل از گلدهی صورت گرفت. هم‌چنین برای جلوگیری از بروز علائم کمبود سایر عناصر در گیاه و براساس نتایج آزمون خاک، کوددهی به گلدآن‌ها به صورت زیر انجام گردید. فسفر از منبع دی آمونیوم فسفات به میزان ۰/۵ گرم در هر گلدان، پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم ۱/۵ گرم در هر گلدان، نیتروژن از منبع اوره طی دو مرحله قبل از گلدهی و بعد از گلدهی به میزان ۰/۲ گرم در هر گلدان و محلول پاشی عناصر کم‌مصرف (مس و منگنز) به میزان ۳ در هزار انجام گرفت (۳۱). برای ایجاد شرایط یکسان برای گلدآن‌ها، هر هفته یک‌بار تمام گلدآن‌ها به‌طور تصادفی در گلخانه جابه‌جا شدند. برداشت بوته‌های گیاه سورگوم ۹۰ روز پس از کاشت انجام گردید. نمونه‌های گیاهی به مدت ۴۸ ساعت در درجه حرارت ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند، پس از هضم نمونه‌های گیاهی به روش اکسیداسیون تر(۶)، غلظت آهن، روی، نیکل و کبالت با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. همزمان با برداشت گیاه، از خاک گلدآن‌های تحت کشت، نمونه‌برداری شد. نمونه‌های خاک پس از هواخشک شدن از الک ۲ میلی‌متری گذرانده شدند. سپس قابلیت هدایت الکتریکی، میزان سدیم محلول، غلظت کلسیم و منیزیم و غلظت عناصر آهن، روی، نیکل و کبالت با استفاده از روش‌های یاد شده اندازه‌گیری شدند. تجزیه واریانس با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها به کمک آزمون‌های t و LSD در سطح ۵ درصد انجام گردید.

نتایج و بحث

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). علاوه بر این، عناصر سیلیسیم، کلسیم، پتاسیم، مس، منیزیم و مقداری روی در سرباره وجود دارند. ترکیب

[1]-تیلنن دی آمین دی هیدروکسی فنیل استیک اسید

[2]- تیلن دی آمین ترا استیک اسید

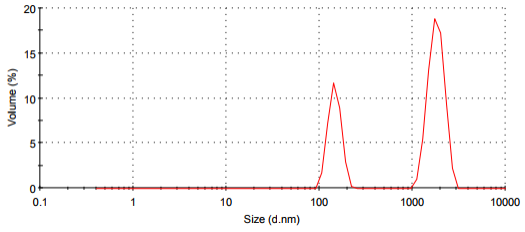
این ماده حاکی از وجود تعدادی از عناصر کم‌مصرف و پرمصرف در غلظت بالاست؛ بنابراین امکان کاربرد آن را به عنوان کود تقویت می‌کند. نتایج آنالیز زیتا سایزر نشان داد، در نمونه سرباره مورد استفاده ۳۲ درصد حجمی ذرات، قطری درحد ۱۴۰ نانومتر داشته و ۶۷ درصد حجمی، قطر ۱۸۱۰ نانومتر را دارند (جدول ۴ و شکل۱). آنالیز (SEM) انجام شده نیز، تأیید کننده این نتایج است (شکل۲). هم‌چنین pH، EC در نسبت ۲/۵:۱ سرباره به آب و عناصر قابل عصاره‌گیری با DTPA در نمونه سرباره در جدول ۵ آمده است(۳۲).

جدول (۳) تجزیه شیمیایی سرباره با استفاده از تکنیک XRF
Table (3) Chemical analytic of slag by XRF technique

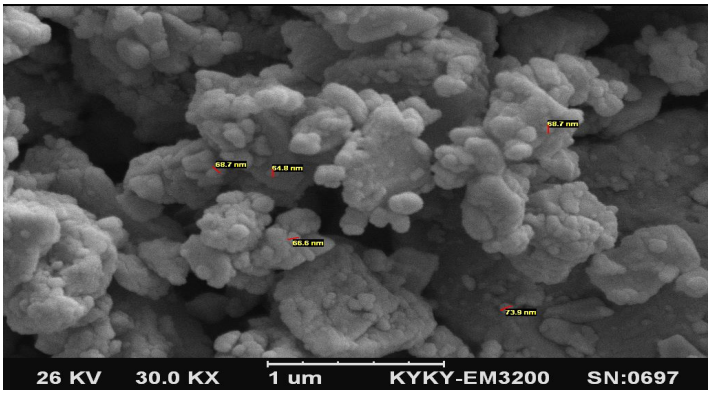
	Diam (nm)	% Volume	Width (nm)
Peak 1	146.6	32.8	22.79
Peak 2	1810	67.2	346.8

جدول(٤) توزیع اندازه ذرات بر حسب درصد حجمی آن‌ها
Table (4) Size distribution by percentage of volume

مقدار (٪) %Value	ترکیب Composition	مقدار (٪) % Value	ترکیب Composition
1.41	K_2O	44.54	Fe_2O_3
1.21	Cu	9.24	Fe_3O_4
1.02	MgO	31.47	SiO_2
0.72	ZnO	5.63	CaO
0.42	TiO_2	4.05	Al_2O_3



شکل (۱) توزیع اندازه ذرات بر حسب درصد حجمی آن‌ها
Figure (1) Size distribution by percentage of volume



شکل (۲) آنالیز SEM نمونه سرباره مورد استفاده

Figure (2) SEM analysis of slag used

جدول (۵) عناصر قابل جذب سرباره (قابل عصاره‌گیری با DTPA)

Table (5) Elemental analysis of slag (extracted with DTPA)

ویژگی Property	مقدار Value	عنصر element	مقدار Value (ppm)	عنصر element	مقدار Value (ppm)	عنصر element	مقدار Value (ppm)	عنصر element	مقدار Value (ppm)	عنصر element	مقدار Value (ppm)
pH	7.5	آهن	250	منگنز	14.67	کبالت	513.33	سرب	ND	مولیبدن	ND
EC ($dS.m^{-1}$)	0.42	مس	266.67	کادمیوم	80.67	نقره	24	آرسنیک	ND	سلنیوم	ND
		روی	33166.67	نیکل	2220	بیسموت	313.33	کرم	ND	بیسموت	ND

ND: زیر حد تشخیص (Detection Limit) دستگاه

تأثیر تیمارهای مختلف بر مقدار EC نمونه خاک‌های بعد از برداشت

تأثیر اثرات اصلی و متقابل تیمارهای مختلف برEC خاک در جدول ۶ نشان داده شده است. مطابق جدول ۶، اثر کاربرد تیمارهای سرباره بر EC خاک نشان داد، تیمارهای سرباره اسیدی (S_{2a} و S_{4a}) بیش‌ترین میزان افزایش EC را در مقایسه با شاهد، ایجاد کردند. مصرف ترکیبات آلی نیز، اثر معنی‌داری بر افزایش هدایت الکتریکی خاک داشت. با افزایش میزان مصرف ترکیبات آلی شوری خاک افزایش یافت. از بین سطوح ترکیبات آلی، تیمار ۴ درصد وزنی پوست پسته (P_4) با مقدار ۱۰/۹دسی زیمنس بر متر بیش‌ترین هدایت الکتریکی را ایجاد کرد. افزایش شوری خاک با افزودن ترکیبات آلی ممکن است به دلیل وجود املاح محلول نسبتاً فراوان در آن‌ها باشد. در اثر تجزیه ترکیبات آلی در خاک، یون‌های حاصل از تجزیه به محلول خاک وارد شده و در نتیجه موجب افزایش شوری خاک می‌شوند. اثر بر هم کنش تیمارهای سرباره و ترکیبات آلی نشان داد، بیش‌ترین مقدار EC مربوط به تیمار ۴ درصد وزنی پوست پسته با سرباره اسیدی به میزان ۴ برابر مقدار توصیه آزمون خاک (P_4S_{4a}) به میزان ۱۴/۹۷ دسی زیمنس بر متر بود که در مقایسه با تیمار شاهد افزایش معنی‌داری را نشان داد. با توجه به مقدار EC اولیه در ترکیبات آلی (جدول ۳)، بخشی از این افزایش می‌تواند ناشی از EC بیش‌تر در پوست پسته در مقایسه با کود گاوی باشد. در تیمارهای ترکیبات آلی، تولید اسیدهای آلی افزایش پیدا می‌کند در نتیجه، pH کاهش می‌یابد و با انحلال کانی‌هایی مانند کربنات کلسیم، EC افزایش پیدا می‌کند.

جدول(٦) مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر EC ($dS.m^{-1}$) خاک

Table(6) Means comparison of the effects of various treatments on electrical conductivity of soils

میانگین	P_4%	P_2%	C_4%	C_2%	C	
7.36^{EF}	9.62^{c-f}	7.54^{i-p}	8.22^{g-l}	7.87^{h-n}	3.53^{t}	S_0
8.67^{C}	12.40^{b}	8.58^{f-k}	9.18^{d-g}	7.76^{h-n}	5.47^{s}	Seq
8.57^{C}	10.39^{cd}	8.67^{f-k}	8.95^{e-h}	8.20^{g-l}	6.66^{n-s}	S_2
7.85^{DE}	8.66^{f-k}	8.71^{f-j}	8.62^{f-k}	6.83^{n-r}	6.45^{o-s}	S_4
8.15^{CD}	10.84^{c}	8.26^{g-l}	8.24^{g-l}	7.48^{j-p}	5.92^{q-s}	S_2S
7.82^{DE}	10.72^{c}	8.11^{g-m}	8.16^{g-m}	6.65^{n-s}	5.47^{s}	S_4S°
7.93^{D}	10.63^{c}	7.66^{i-o}	8.10^{g-m}	7.56^{i-p}	5.70^{rs}	$S_2S°T$
7.98^{D}	10.59^{c}	7.45^{j-p}	7.89^{h-n}	7.80^{h-n}	6.15^{q-s}	$S_4S°T$
9.27^{B}	12.42^{b}	9.29^{d-g}	10.06^{c-e}	8.23^{g-l}	6.35^{p-s}	S_{2a}
9.86^{A}	14.97^{a}	9.16^{d-g}	9.75^{c-f}	8.35^{g-k}	7.04^{l-p}	S_{4a}
6.98^{F}	8.74^{f-i}	6.91^{m-r}	8.20^{g-l}	7.44^{k-p}	3.16^{t}	EDTA
	10.90^{A}	8.22^{C}	8.67^{B}	7.65^{D}	5.67^{E}	میانگین

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

Means followed by the same letters are insignificant at the 0.05 probability within each column or row

سینگر و همکاران (۵۱) با اضافه کردن کمپوست به افزایش میزان هدایت الکتریکی و ظرفیت تبادلی کاتیونی خاک اشاره کردند. مولایی و همکاران (۳۷) در پژوهشی گزارش کردند که در بین تیمارهای ورمی-کمپوست، پوست پسته و میگو در نمونه خاک آلوده به فلزات سنگین، سطوح ۵ و ۱۰ درصد پوست پسته منجر به کاهش معنی‌دار pH و افزایش EC شد.کریمیان و کلباسی (۲۴) تأثیر لجن کنورتور و ترکیب آن را با پودر یونجه، گوگرد عنصری و اسید سولفوریک را دریک مطالعه انکوباسیونی بر مقدار EC سه خاک آهکی مورد بررسی قرار دادند. مقدار EC طی دوره انکوباسیون بعد از ۲ ماه کاهش و بعد از ۴ ماه افزایش را نشان داد. جیو یو و ژائو دنگ (۲۱) 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. اشنافی و همکاران (۵) گزارش کردند با اضافه‌کردن اسید سولفوریک به خاک شور، EC به طور خطی کاهش پیدا می‌کند. به‌نحوی که کاهش تجمعی در پایان دوره انکوباسیون ۶۰/۳ درصد در مقایسه با تیمار شاهد بود.

تأثیر تیمارهای مختلف بر مقدار Na محلول و SAR نمونه خاک‌های بعد از برداشت

جداول ۷ و ۸ نشان دهنده تأثیر اثرات اصلی و متقابل تیمارهای مختلف بر مقدار Na محلول و SAR نمونه‌های خاک اند. مقایسه اثرات اصلی تیمارهای سرباره نشان داد تیمار سرباره اسیدی به میزان ۴ برابر مقدار توصیه آزمون خاک (S_{4a}) بیش‌ترین مقدار Na و SAR را داراست؛ به‌نحوی که به ترتیب باعث افزایش Na و SAR از ۶۲/۱۷ میلی اکی والان بر لیتر و ۱۱/۶۳ در خاک بدون کاربرد سرباره به ۷۱/۳۳ میلی اکی والان بر لیتر و ۱۵/۲۱ شد. جیو یو و ژائو دنگ (۲۱) نشان دادند که استفاده از سرباره در خاک‌های آلتی‌سول در مقایسه با گچ، مقدار سدیم محلول را به مقدار بیش‌تری افزایش می‌دهد؛ اما با گذشت زمان تفاوت معنی‌داری بین سطوح کاربرد سرباره و گچ مشاهده نکردند. استفاده از ترکیبات آلی سبب افزایش مقدار Na و SAR در مقایسه با تیمار شاهد شد. بیش-ترین افزایش در تیمار ۴ درصد کود گاوی (C_4) مشاهد گردید (جداول ۷ و ۸). با توجه به مقادیر سدیم، کلسیم و منیزیم اندازه‌گیری شده در ترکیبات آلی (جدول ۳)، این نتایج محتمل به نظر می‌رسد.

جدول(۷) مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر Na ($meq.L^{-1}$) محلول خاک

Table(7) Means comparison of the effects of various treatments on soluble sodium of soils

میانگین	P_4%	P_2%	C_4%	C_2%	C	
62.17^{D}	70.26^{c-m}	55.57^{r-v}	71.89^{b-l}	59.93^{n-v}	53.23^{uv}	S_0
64.28^{CD}	70.26^{c-m}	50.68^{v}	74.61^{b-i}	69.17^{e-o}	56.66^{q-v}	Seq
68.46^{A-C}	63.46^{j-s}	65.36^{i-r}	80.04^{a-c}	72.43^{b-k}	61.01^{m-u}	S_2
63.66^{D}	60.60^{m-v}	63.78^{j-s}	72.98^{b-j}	61.55^{m-u}	59.38^{o-v}	S_4
71.00^{A}	69.36^{d-n}	69.36^{d-n}	79.77^{a-c}	77.03^{a-g}	59.50^{n-v}	$S_2S°$
65.96^{B-D}	67.72^{g-o}	66.07h-q	78.13a-f	64.43^{j-r}	53.48^{t-v}	$S_4S°$
68.48^{A-C}	68.81^{f-o}	63.34^{j-t}	78.13^{a-f}	75.93^{a-h}	56.22^{q-v}	$S_2S°T$
70.78^{A}	69.36^{d-n}	64.43^{j-r}	78.13^{a-f}	78.67^{a-f}	63.35^{j-t}	$S_4S°T$
70.02^{AB}	61.15^{m-u}	62.24^{l-u}	84.70^{a}	79.22^{a-d}	62.79^{k-u}	S_{2a}
71.33^{A}	66.62^{h-p}	67.17^{g-o}	85.25^{a}	80.87^{ab}	56.76^{p-v}	S_{4a}
63.39^{C}	64.82^{i-r}	62.64^{k-u}	78.96^{a-e}	56.66^{q-v}	53.88^{s-v}	EDTA
	66.58^{C}	62.79^{C}	78.41^{A}	70.54^{B}	57.84^{D}	میانگین

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

Means followed by the same letters are insignificant at the 0.05 probability within each column or row.

جدول(۸) مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر SAR خاک

Table(7) Means comparison of the effects of various treatments on sodium adsorption ratio of soils

میانگین	P_4%	P_2%	C_4%	C_2%	C	
11.63^{E}	10.78^{xy}	10.84^{w-y}	13.56^{h-r}	11.91^{r-x}	11.06^{v-y}	S_0
13.74^{B}	17.04^{ab}	10.12^{y}	14.19^{f-o}	14.22^{f-n}	13.16^{i-t}	Seq
13.74^{B}	13.28^{i-s}	12.86^{k-u}	15.36^{b-g}	14.22^{f-n}	13.00^{j-u}	S_2
13.33^{BC}	13.06^{i-u}	12.98^{j-u}	14.59^{d-j}	13.12^{i-t}	12.89^{j-u}	S_4
14.09^{B}	12.49^{o-x}	13.42^{h-r}	15.56^{a-f}	15.95^{a-e}	13.03^{i-u}	$S_2S°$
12.87^{CD}	12.46^{p-x}	12.77^{l-v}	14.73^{d-i}	12.90^{j-u}	11.51^{t-y}	$S_4S°$
13.56^{BC}	12.36^{q-x}	12.66^{m-v}	15.03^{c-h}	15.38^{b-g}	12.37^{q-x}	$S_2S°T$
13.50^{BC}	12.07^{r-x}	12.51^{n-w}	14.42^{e-l}	15.09^{c-h}	13.43^{h-r}	$S_4S°T$
15.05^{A}	13.84^{g-q}	13.18^{i-t}	17.16^{a}	16.58^{a-c}	14.53^{e-k}	S_{2a}
15.21^{A}	14.22^{f-n}	14.32^{e-m}	17.16^{a}	16.29^{a-d}	14.09^{f-p}	S_{4a}
12.28^{DE}	11.64^{s-y}	11.93^{r-x}	14.43^{e-l}	11.37^{u-y}	12.06^{r-x}	EDTA
	13.02^{C}	12.50^{C}	15.11^{A}	14.27^{B}	12.83^{C}	میانگین

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

Means followed by the same letters are insignificant at the 0.05 probability within each column or row.

نتایج مطالعات چی و ژانگ (۱۰) نشان داد کوددهی متوالی با مقادیر زیاد کودگاوی به دلیل داشتن املاح محلول، باعث افزایش سدیم خاک می‌شود. مقایسه اثرات متقابل نشان داد، بیش‌ترین مقادیر Na و SAR (Na=۸۵/۲۵ و SAR=۱۷/۱۶) مربوط به تیمار کود گاوی به میزان ۴ درصد وزنی با سرباره اسیدی به میزان ۴ برابر مقدار توصیه آزمون خاک (C_4S_{4a}) بود. نتایج سامارا و همکاران (۴۸) نشان داد که اضافه‌کردن لجن به همراه سرباره، مشکلی را برای سدیمی شدن خاک‌ها فراهم نمی‌کند. چیریا[1] (۱۱) از سرباره به عنوان اصلاح-کننده در اراضی شور استفاده کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند با افزایش میزان کلسیم و منیزیم میزان CEC افزایش یافته است و در نتیجه درصد سدیم تبادلی کم می‌شود. مسعود و همکاران (۳۳) از سطوح مواد آهکی، از جمله سرباره بازی، دو نوع بیوچار و آهک به منظور افزایش درصد اشباع بازی در خاک‌های اسیدی استفاده کردند. استفاده از این مواد با جایگزینی کاتیون‌های، بازی به جای کاتیون‌های اسیدی، درصد اشباع بازی افزایش پیدا کرد .

1- Chiara

تأثیر تیمارهای مختلف بر غلظت عناصر قابل عصاره‌گیری با DTPA

آهن قابل جذب خاک(قابل عصاره‌گیری با DTPA)

جدول ۹ بیانگر تأثیر اثرات اصلی و متقابل تیمارهای مختلف بر مقدار آهن قابل عصاره‌گیری با DTPA است. مقایسه اثرات اصلی تیمارهای سرباره نشان داد تیمار سرباره به میزان ۴ برابر مقدار توصیه آزمون خاک (S_4) بیش‌ترین و سرباره اسیدی به میزان ۴ برابر مقدار توصیه آزمون خاک (S_{4a}) کم‌ترین مقدار آهن قابل جذب را دارا می‌باشند که با تیمار سرباره اسیدی به میزان ۲ برابر مقدار توصیه آزمون خاک (S_{2a}) و شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت(جدول ۹). اثر پذیری کم سطوح تیمارهای سرباره اسیدی شده در مقدار آهن قابل جذب خاک را می‌توان به زیاد شدن pH خاک بعد از استفاده از این تیمارها ارتباط داد (نتایج pH نشان داده نشده است). در تحقیقی لیندزی (۲۹) گزارش نمود، به ازای هر واحد افزایش pH خاک، حلالیت آهن در خاک ۱۰۰۰ برابر کاهش می‌یابد. آندرسون و پارکپیان (۴) بعد از مخلوط‌کردن پودر آهن اسیدی به خاک، بلافاصله افزایش مقدار آهن را مشاهده کردند؛ اما در طی دوره انکوباسیون مقدار آهن کاهش پیدا کرد. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که آهن ممکن است در نتیجه pH زیاد در خاک رسوب کرده باشد. در نمونه خاک مورد مطالعه متناسب با مقدار مصرف سرباره، مقدار آهن قابل عصاره‌گیری با DTPA افزایش یافت؛ به طوری که سطوح S_4، $S_4S°$، $S_4S°T$ در مقایسه با S_2، $S_2S°$، $S_2S°T$ به ترتیب افزایش ۱۵/۳۸، ۱۳/۱۴و ۲۳/۵۵ درصدی را در مقدار آهن به دنبال داشتند (جدول ۹). وانگ و کای(۶۰) نشان دادند، مصرف سرباره سبب افزایش غلظت آهن قابل عصاره‌گیری با AB-DTPA از خاک شده که این میزان افزایش متناسب با مقدار سرباره مصرفی بود. مقایسه میانگین‌های آهن قابل جذب خاک برای اثر اصلی ترکیبات آلی نشان داد با مصرف سطوح ۲ و ۴ درصد کود گاوی، آهن قابل جذب خاک به طور معنی‌داری افزایش یافته است.

با توجه به مقدار آهن اندازه‌گیری شده در ترکیبات آلی، بخشی از این افزایش می‌تواند مربوط به آهن بیش‌تر در کود گاوی در مقایسه با پوست پسته باشد (جدول ۳). با مصرف کودهای آلی در خاک و افزایش سطح مصرف آن، مقدار ترکیب‌های کلات‌کننده آهن افزایش یافته و موجب افزایش فراهمی آهن شده است (۴۰). نتایج حاصل از پژوهش سومر و همکاران (۵۳) نشان داد که استفاده از ترکیبات آلی افزایش میزان مس، روی، منگنز، آهن خاک را به دنبال دارد. بیش‌ترین مقدار آهن قابل جذب خاک هم‌زمان با کاربرد ۲ درصد وزنی کود گاوی با سرباره به میزان ۴ برابر مقدار توصیه آزمون خاک (C_2S_4) با مقدار ۹/۳۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک مشاهده شد (جدول ۹)؛ بنابراین، آهن موجود در سرباره به‌خوبی توانسته با لیگاندهای آلی و ترکیبات کلات‌کننده موجود در کود گاوی تشکیل کلات داده و به شکل محلول در آید. ابوسعدا و همکاران (۱) نشان دادند مقدار آهن قابل عصاره‌گیری با $CaCl_2$، متناسب با افزایش مصرف مواد آلی افزایش پیدا می‌کند. این موضوع در حالی است که کم‌ترین مقدار آهن قابل جذب در خاک در تیمار ۲ درصد پوست پسته با سرباره اسیدی به میزان ۴ برابر مقدار توصیه آزمون خاک (P_2S_{4a}) با مقدار ۲/۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک مشاهده شد (جدول ۹). با توجه به ظرفیت بافری قوی خاک‌های آهکی، اضافه‌کردن سرباره اسیدی به خاک بعد از ۱۰ روز افزایش pH معنی‌داری را در مقایسه با تیمار شاهد نشان داد (نتایج تغییرات pH طی دوره انکوباسیون نشان داده نشده است)؛ در نتیجه آهن به صورت ترکیباتی با حلالیت کم مانند هیدروکسیدهای آهن III رسوب خواهد کرد. نتایج سامارا و همکاران (۴۸) نشان داد که عناصر آهن و منگنز، بعد از اضافه‌کردن لجن به همراه سرباره، روند کاهشی را نشان دادند. کم‌شدن این عناصر را به افزایش pH بعد از اضافه‌کردن سرباره ارتباط دادند.

جدول(۹) مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر مقدار آهن ($mg.kg^{-1}$) قابل جذب خاک (قابل عصاره‌گیری با DTPA)

Table(9) Means comparison of the effects of various treatments on Soil absorbable Fe (extracted with DTPA)

میانگین	P_4%	P_2%	C_4%	C_2%	C	
2.86^{F}	3.02^{l-n}	2.74^{l-n}	3.19^{lm}	2.85^{l-n}	2.51^{mn}	S_0
2.91^{F}	2.99^{l-n}	2.54^{mn}	3.41^{l}	2.70^{l-n}	2.92^{l-n}	Seq
7.54^{B}	7.95^{d}	8.28^{b-d}	8.80^{a-c}	6.74^{e}	5.92^{f-h}	S_2
8.70^{A}	8.95^{ab}	8.04^{cd}	8.43^{b-d}	9.36^{a}	8.71^{a-d}	S_4
6.01^{D}	5.65^{g-j}	6.26^{e-h}	6.42^{e-g}	6.09^{e-h}	5.61^{h-j}	$S_2S°$
6.80^{C}	5.11^{i-k}	6.51^{ef}	6.05^{e-h}	8.04^{cd}	8.31^{b-d}	$S_4S°$
4.84^{E}	4.99^{jk}	5.04^{i-k}	5.09^{i-k}	4.48^{k}	4.60^{k}	$S_2S°T$
5.98^{D}	4.92^{jk}	5.80^{f-i}	6.27^{e-h}	6.12^{e-h}	6.79^{e}	$S_4S°T$
2.75^{F}	2.61^{mn}	2.68^{l-n}	2.87^{l-n}	3.13^{l-n}	2.47^{mn}	S_{2a}
2.68^{F}	2.83^{l-n}	2.40^{n}	2.77^{l-n}	2.77^{l-n}	2.64^{l-n}	S_{4a}
2.91^{E}	3.01^{l-n}	2.78^{l-n}	3.24^{lm}	2.90^{l-n}	2.63^{mn}	EDTA
	4.73^{C}	4.82^{BC}	5.14^{A}	5.02^{AB}	4.83^{BC}	میانگین

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

Means followed by the same letters are insignificant at the 0.05 probability within each column or row.

روی قابل جذب خاک (قابل عصاره‌گیری با DTPA)

مقایسه میانگین‌های روی قابل جذب خاک برای اثرات اصلی و متقابل تیمارهای مختلف در جدول ۱۰ نشان داده شده است. بررسی اثر اصلی سطوح مختلف تیمارهای سرباره بر مقدار روی قابل جذب خاک، نشان داد کاربرد سرباره سبب افزایش معنی‌دار روی قابل جذب خاک نسبت به شاهد شد. بیش‌ترین مقدار روی قابل جذب خاک برابر با ۷/۶۱ میلی‌گرم در کیلوگرم، مربوط به تیمار سرباره به میزان ۴ برابر مقدار توصیه آزمون خاک (S_4) بود که با شاهد در سطح ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌داری است؛ این موضوع در حالی است که تیمار S_4 با تیمارهای $S_2S°$، $S_4S°$، $S_4S°T$ تفاوت معنی‌داری را نداشت.

مطالعات ترکاشوند (۵۷) نشان داد که استفاده از سرباره‌ای با pH قلیایی در خاک‌های اسیدی منجر به کاهش جذب روی در خاک‌های اسیدی و افزایش جذب آن در خاک‌های خنثی می‌شود. در این مطالعه، سطوح حاوی گوگرد در مقایسه با سطوح اسیدی تأثیر بیش‌تری در مقدار روی قابل عصاره‌گیری داشتند. سطوح اسیدی با آزاد کردن کربنات‌های محلول منجر به رسوب $ZnCO_3$ شد، حلالیت روی را کاهش می‌دهند (جدول ۱۰).

بعد از تیمار شاهد، کم‌ترین میزان روی قابل جذب متعلق به کاربرد خاکی کلات آهن است. شباهت شعاع یونی Fe^{2+} و Zn^{2+} ممکن است از جذب روی جلوگیری کرده باشد (۱۳). بر هم کنش آهن-روی منجر به رسوب کانی فرانکلینیت ($ZnSO_4$) شده که می‌تواند سبب کاهش فراهمی روی شود (۱۳). مطالعات مورتوت (۳۸) نشان داد، استفاده از FeDTPA در محیط‌های آبکشت باعث کمبود روی برای گیاه شد. تیمارهای کود گاوی و پوست پسته نیز، اثر معنی‌داری بر افزایش روی قابل جذب خاک داشتند (جدول ۱۰). بیش‌ترین افزایش مربوط به تیمار ۴ درصد وزنی پوست پسته (P_4) بود، به صورتی که روی قابل جذب از ۴/۳۹ در شاهد به ۵/۳۶ میلی‌گرم در کیلوگرم در تیمار پوست پسته افزایش یافت؛ بنابراین استفاده از ترکیبات آلی با افزایش ماده آلی خاک و هم‌چنین کاهش pH خاک تا حد زیادی در رفع کمبود روی موثر خواهند بود. نتایج مطالعات نشان داد که کاربرد کودهای آلی سبب افزایش روی قابل جذب در خاک می‌شود که علت این پدیده،

تجمع زیاد روی در حضور کودهای آلی در شکل‌های محلول و تبادلی است (۳۴).

علی رغم کم‌تر بودن غلظت روی در پوست پسته در مقایسه با کود گاوی، غلظت روی قابل جذب در این تیمارها بیش‌تر از کود گاوی بود. یک دلیل احتمالی می‌تواند بالا بودن pH کود گاوی در مقایسه با پوست پسته باشد (جدول ۳). بیش‌ترین غلظت روی در بین سطوح مواد آلی با سرباره در تیمار ۲ درصد وزنی پوست پسته با سرباره به میزان ۲ برابر مقدار توصیه آزمون خاک همراه با گوگرد $P_2S_2S°$ مشاهده گردید (جدول ۱۰). مقدار روی قابل جذب در خاک از ۱/۷۸ میلی‌گرم در کیلوگرم در تیمار شاهد$CS°$ به مقدار ۸/۸۵ میلی‌گرم در کیلوگرم در تیمار $P_2S_2S°$ رسید که تفاوت معنی‌داری نسبت به تیمار P_2S_4 نداشت.

حد بحرانی و کفایت روی قابل عصاره‌گیری با DTPA در خاک‌های آهکی، به ترتیب حدود ۱ و ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک گزارش شده است. هم‌چنین حداکثر مجاز روی کل، در خاک‌های کشاورزی ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک است (۲۲). از آن‌جایی که سرباره دارای مقادیر زیادی روی است (جدول ۲)، اما مقدار روی آزاد شده آن زیر حد مجاز است؛ بنابراین از نظر آلودگی مشکلی را در اراضی کشاورزی ایجاد نخواهد کرد (جدول۱۰).

مللی و شریعتمداری (۳۴) از سرباره و لجن کنورتور برای غنی‌سازی دو کود آلی ورمی‌کمپوست و کود گاوی استفاده کردند. بعد از اتمام دوره انکوباسیون میزان روی اندازه‌گیری شده در تمامی تیمارها کم‌تر از نمونه شاهد بود. آن‌ها نتیجه گرفتند که میزان روی در نمونه‌های سرباره و کنورتور کم بوده و از طرفی در طی دوره انکوباسیون جذب سطحی روی و یا رسوب آن اتفاق افتاده است. سامارا و همکاران (۴۸) تأثیرات مثبت استفاده از سرباره همراه با لجن را در افزایش مقدار روی در خاک در نتیجه اضافه‌کردن سطوح بالای سرباره به همراه لجن دانستند. افزایش مقدار روی در نتیجه تشکیل کلات‌های قابل انحلال با مواد آلی بعد از اعمال لجن به خاک بود.

تأثیر تیمارهای مختلف برعملکرد، غلظت عناصر در برگ گیاه سورگوم و جذب آن‌ها در این گیاه

رشد و عملکرد گیاه

مقایسه‌های میانگین مربوط به اثرات اصلی و متقابل تیمارهای مختلف بر عملکرد وزن خشک گیاه سورگوم در جدول ۱۱ نشان داده شده است. کاربرد تیمارهای سرباره سبب افزایش عملکرد وزن خشک سورگوم شد که این افزایش در تمامی تیمارهای سرباره و کلات‌های حاوی آهن نسبت به شاهد، معنی‌دار بود.

جدول(۱۰) مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر مقدار روی ($mg.kg^{-1}$) قابل جذب خاک (قابل عصاره‌گیری با DTPA)
Table(10) Means comparison of the effects of various treatments on Soil absorbable Zn (extracted with DTPA)

میانگین	P_4%	P_2%	C_4%	C_2%	C	
1.89^{F}	1.38^{u}	1.95^{s-u}	2.38^{q-u}	1.94^{s-u}	1.78^{tu}	S_0
2.65^{EF}	2.73^{p-u}	2.67^{p-u}	2.81^{p-u}	2.59^{q-u}	2.44^{q-u}	Seq
3.60^{D}	5.69^{f-l}	2.21^{r-u}	4.15^{k-q}	3.25^{o-t}	2.68^{p-u}	S_2
7.61^{A}	8.27^{a-d}	8.57^{ab}	6.96^{b-g}	7.43^{a-f}	6.81^{b-h}	S_4
7.44^{A}	8.25^{a-d}	8.85^{a}	8.40^{a-c}	6.12^{f-i}	5.56^{g-m}	$S_2S°$
6.94^{A}	7.28^{a-g}	7.04^{b-g}	6.68^{c-h}	7.32^{a-g}	6.40^{e-i}	$S_4S°$
5.61^{B}	6.85^{b-h}	5.75^{f-l}	6.14^{f-j}	4.45^{j-p}	4.87^{i-o}	$S_2S°T$
6.84^{A}	5.66^{f-m}	6.59^{d-i}	7.04^{b-g}	6.94^{b-g}	7.97^{a-e}	$S_4S°T$
5.00^{BC}	3.30^{n-t}	6.27^{e-i}	5.68^{f-m}	5.79^{f-k}	3.98^{l-r}	S_{2a}
4.41^{C}	6.90^{b-g}	5.05^{h-n}	3.32^{n-t}	3.88^{m-r}	2.91^{p-u}	S_{4a}
3.31^{DE}	2.64^{q-u}	3.09^{o-u}	3.75^{n-s}	4.18^{k-q}	2.92^{p-u}	EDTA
	5.36^{A}	5.28^{A}	5.21^{A}	4.90^{AB}	4.39^{B}	میانگین

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

Means followed by the same letters are insignificant at the 0.05 probability within each column or row.

جدول(۱۱) مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر عملکرد (گرم در گلدان)

Table(11) Means comparison of the effects of various treatments on yield (g per pot)

میانگین	P_4%	P_2%	C_4%	C_2%	C	
2.64^{E}	1.34^{q}	1.30^{q}	5.25^{d-n}	3.94^{m-p}	1.37^{q}	S_0
4.90^{CD}	4.27^{k-p}	3.50^{o-p}	6.49^{a-f}	6.33^{a-h}	3.88^{m-p}	Seq
5.39^{CD}	4.88^{f-o}	5.37^{b-m}	6.77^{a-e}	5.26^{c-n}	4.65^{h-o}	S_2
5.47^{BC}	6.24^{a-h}	5.36^{b-m}	5.95^{a-k}	5.83^{a-l}	3.95^{m-p}	S_4
5.14^{CD}	4.31^{j-p}	5.34^{b-m}	5.29^{c-n}	5.67^{a-l}	5.11^{e-o}	$S_2S°$
5.64^{BC}	5.55^{b-m}	6.68^{a-e}	6.00^{a-j}	5.28^{c-n}	4.68^{g-o}	$S_4S°$
6.20^{AB}	6.15^{a-i}	6.26^{a-h}	5.81^{a-l}	6.59^{a-f}	6.20^{a-h}	$S_2S°T$
6.68^{A}	7.03^{ab}	6.95^{a-d}	6.37^{a-g}	7.35^{a}	5.71^{a-l}	$S_4S°T$
5.64^{BC}	5.71^{a-1}	5.97^{a-k}	6.63^{a-e}	5.69^{a-l}	4.20^{l-p}	S_{2a}
5.17^{CD}	3.61^{n-p}	5.41^{b-m}	6.98^{a-c}	5.40^{b-m}	4.46^{i-o}	S_{4a}
4.69^{D}	2.68^{pq}	4.12^{l-p}	6.97^{a-c}	6.29^{a-h}	3.40^{o-p}	EDTA
	4.71^{BC}	5.11^{B}	6.23^{A}	5.79^{A}	4.33^{C}	میانگین

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

Means followed by the same letters are insignificant at the 0.05 probability within each column or row

بیش‌ترین مقـدار عملکرد وزن خشک گیاه سورگوم برابر با ۶/۶۸ گرم در گلدان، مربوط به تیمار سرباره به میزان ۴ برابر مقدار توصیه آزمون خاک همراه با گوگرد و تیوباسیلوس($S_4S°T$) بود که با تیمار ($S_2S°T$) تفاوت معنی‌داری نداشت. تأثیر تیمارهای سرباره بر عملکرد وزن‌تر نیز، به این تیمار تعلق داشت (داده‌ها نشان داده نشده است). در بین تیمارهای سرباره ارتفاع اندام هوایی سورگوم در تیمار سرباره به میزان ۴ برابر مقدار توصیه آزمون خاک (S_4) با مقدار ۶۹/۸۱ سانتی‌متر بیش‌ترین مقدار را داشت. کم‌تـرین ارتفاع اندام هوایی سورگوم (۳۶/۳۸ سانتی‌متر) مربوط بـه تیمـار شاهد بود (داده‌ها نشان داده نشده است). کاپلان و اورمان (۲۳) بیان کردند که استفاده از گوگرد در یک نمونه خاک آهکی با افزایش جذب عناصر غذایی کم مصرف منجر به افزایش عملکرد گیاه سورگوم شد. بررسی‌های خادم و همکاران (۲۶) نشان داده‌اند که اگر گوگرد عنصری در خاک مصرف شود، با فراهم بودن شرایط اکسیداسیون آن، مقادیر قابل توجهی از گوگرد مصرفی در یک فصل زراعی توسط میکروارگانیسم‌های خاکزی، به‌ویژه باکتری‌های جنس تیوباسیلوس اکسید می‌گردد. اکسیداسیون گوگرد و تولید اسید سولفوریک در نقاط ریز اطراف ریشه‌ها، افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی، افزایش جذب عناصر توسط گیاه و در نهایت افزایش رشد و عملکرد گیاه را سبب می‌شود (۵۵). تیمارهای اسیدی سرباره در این مطالعه، در مقایسه با شاهد افزایش عملکرد را نشان دادند. ریان و استرولین (۴۶) گزارش کردند که اضافه‌کردن جاروسیت به عنوان یک محصول فرعی در فرایندهای تولید مس، تأثیری بر عملکرد سورگوم ندارد. اما ترکیب این ماده با H_2SO_4 می‌تواند نتایج بهتری را به دنبال داشته باشد. اضافه‌کردن ۵ میلی گرم در کیلوگرم آهن از منبع سکوسترین در مقایسه با تیمار شاهد افزایش وزن خشک گیاه سورگوم را به دنبال داشت؛ اما این افزایش در مقایسه با سایر تیمارها کم‌تر بود. بنابراین سکوسترین به عنوان یک منبع مناسب آهن در خاک‌های آهکی پیشنهاد نمی‌شود. نتایج مطالعات هرگرت و همکاران (۱۸) نشان داده است که اضافه‌کردن آهن به صورت کلات سکوسترین به میزان ۰/۵ کیلوگرم در هکتار در مقایسه با ۱۱ کیلوگرم در هکتار سولفات آهن، تأثیری بر افزایش رشد ذرت در خاک‌های آهکی ندارد. مقایسه‌ها میانگین مربوط به اثرات اصلی ترکیبات

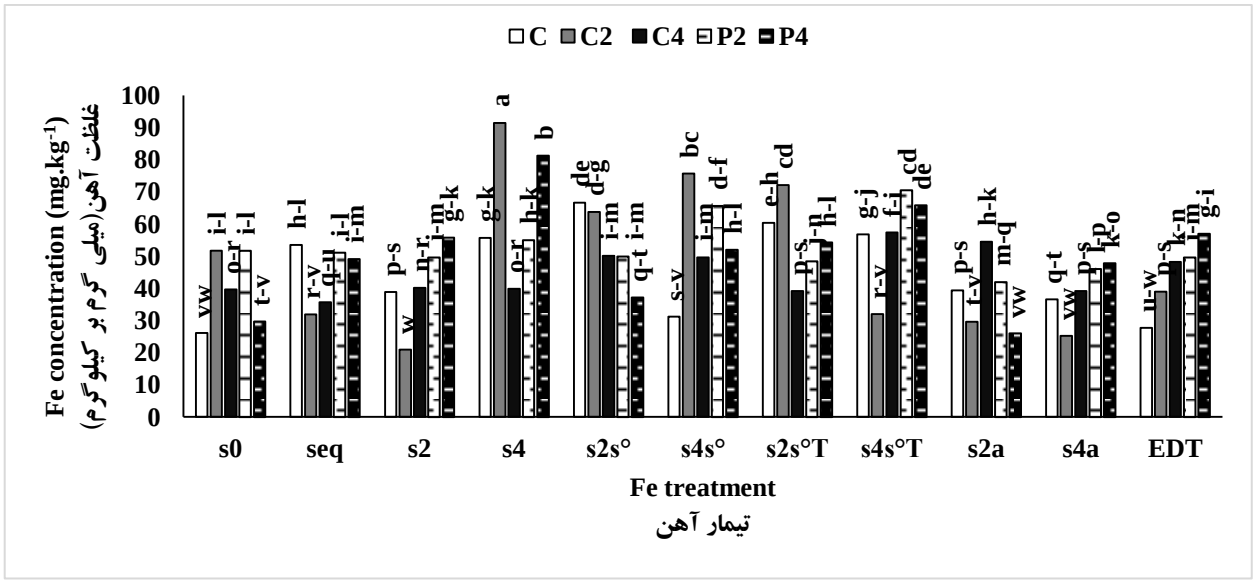
آلی نشان داد، عملکرد وزن خشک سورگوم در تیمارهای آلی افزایش یافت که این افزایش در تیمارهای کود گاوی نسبت به شاهد، معنی‌داری شد. بیش‌ترین عملکرد وزن خشک سورگوم (۶/۲۳ گرم در گلدان) مربوط به تیمار ۴ درصد کود گاوی (C_4) بود (جدول ۱۱).

استفاده از کود گاوی سبب افزایش معنی‌دار آهن قابل جذب در خاک شد. همه این عوامل منجر به افزایش بیش‌تر عملکرد در این تیمار شد (۵۸). بررسی برهم کنش تیمارهای سرباره و ترکیبات آلی نشان داد، بیش‌ترین میزان عملکرد گیاه سورگوم با اضافه‌شدن تیمار سرباره به میزان ۴ برابر مقدار توصیه آزمون خاک همراه با گوگرد و تیوباسیلوس و ۲ درصد کود گاوی $C_2S_4S°T$ حاصل شد. مقدار عملکرد حاصله در این تیمار ۷/۳۵ گرم در گلدان بود که در مقایسه با میزان عملکرد در تیمار شاهد ۱/۳۷ گرم در گلدان افزایش معنی‌داری را نشان داد (جدول ۱۱). این احتمال وجود دارد که در این شرایط فراهمی عناصر غذایی جهت رشد گیاه سورگوم در حد مطلوب وجود دارد. بالا بودن سطح عملکرد در خاک‌های تیمار شده با کود گاوی نسبت به شاهد به علت تأمین متناسب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و هم‌چنین بهبود شرایط فیزیکی خاک به علت اثرهای مطلوب مواد آلی بوده است. برخی از ویژگی‌های مثبت کود گاوی که موجب افزایش رشد گیاه می‌شود، مربوط به بهبود خواص فیزیکی و زیستی خاک است(۳۶). سامر و شهابیان (۴۷) استفاده از کودهای حیوانی و سایر ترکیبات آلی می‌تواند به عنوان یک منبع آهن برای محصولات به حساب آید. رشد دانه‌های سورگوم با اضافه‌کردن $۲۰g.kg^{-1}$ کود حیوانی (حاوی $۲/۱g.kg^{-1}$ آهن) افزایش پیدا کرد این در حالی بود که با اضافه کردن مقادیر مشابه از سولفات آهن کلروز آهن رفع نشد. پرگینا و همکاران (۴۴) افزایش عملکرد معنی‌داری را بعد از اضافه‌کردن سرباره به همراه گچ در مقایسه با اضافه‌کردن گچ به تنهایی گزارش کردند. آن‌ها این افزایش عملکرد را به وجود منیزیم موجود در سرباره نسبت دادند. نتایج مطالعات ترکاشوند (۵۷) نشان داد که استفاده از ۰/۵ و ۱ درصد سرباره به همراه ۲ درصد ماده آلی منجر به افزایش عملکرد گیاه ذرت به میزان ۲/۸۶ و ۲/۹ برابر در مقایسه با نمونه شاهد شد. در اثر تجزیه مواد آلی، دی اکسیدکربن و اسیدهای آلی آزاد می‌شوند درنتیجه pH کاهش پیدا می‌کند، در نتیجه منجر به افزایش فراهمی برخی از عناصر که تحت تأثیر pH خاک هستند، می‌شود. افزایش عملکرد ماده خشک با استفاده از ترکیبات حاوی آهن علت‌های مختلفی می‌تواند داشته باشد که از آن جمله می‌توان به افزایش بیوسنتز اکسین در حضور آهن و افزایش غلظت کلروفیل، افزایش غلظت فسفوانول پیروات کربوکسیلاز و ریبولوز بیفسفات کربوکسیلاز، کاهش تجمع سدیم در بافت‌های گیاهی و افزایش کارایی جذب نیتروژن و فسفر در حضور آهن اشاره کرد. افزایش ماده خشک نشان‌دهنده تأثیرگذاری قابل توجه آهن در انتقال بیش‌تر مواد فتوسنتزی به سمت اندام‌های گیاه است. مصرف ترکیبات حاوی آهن می‌تواند با فعال‌کردن سیستم‌های آنزیمی، فعالیت‌های متابولیکی باعث افزایش تولید انرژی، سنتز پروتئین و قندها و در نتیجه، توسعه سطوح برگی شود که در نهایت به‌صورت افزایش ماده خشک ملاحظه می‌گردد. از دلایل دیگر افزایش عملکرد ماده خشک می‌توان به نقش عنصر آهن به‌عنوان گروه پروستتیک آنزیم‌های مسیر بیوسنتز هورمون‌های گیاهی که نقش عمده‌ای در تسهیم و انتقال اسیمیلات در ساختار گیاهی دارند، اشاره کرد (۹).

آهن گیاه: بررسی اثر اصلی سطوح مختلف تیمارهای سرباره بر مقدار آهن گیاه، نشان داد کاربرد سرباره سبب افزایش معنی‌دار آهن گیاه سورگوم نسبت به شاهد می‌شود. بیش‌ترین مقدار آهن گیاه برابر با ۶۴/۶۸ میلی‌گرم در کیلوگرم، مربوط به تیمار سرباره به میزان ۴ برابر مقدار توصیه آزمون خاک (S_4) بود که با

شاهد در سطح ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌داری است (داده‌ها نشان داده نشده‌اند). حد بحرانی غلظت آهن در گیاه سورگوم ۶۵ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک گزارش شده است. شریعتمداری و همکاران (۴۹) نیز، نشان دادند که بیش‌ترین غلظت آهن در گیاهانی که تحت تأثیر تیمارهای سرباره و لجن کنورتور بوده‌اند، مربوط به سطوح بالای این دو ترکیب است. بعد از تیمار (S_4) بیش‌ترین مقدار آهن گیاه به تیمارهای $S_2S°T$ و $S_4S°T$ تعلق داشت. (داده‌ها نشان داده نشده‌اند). کاپلان و اورمان (۲۳) در آزمایش گلخانه‌ای و مزرعه‌ای در خاک‌های آهکی پی بردند که مصرف گوگرد، عملکرد محصول و نیز مقدار آهن، روی، منگنز گیاه سورگوم را افزایش داده است. سامر و شهابیان (۴۷) دریافتند که با افزایش توأم گوگرد و سولفات آهن، غلظت آهن برگ افزایش یافت. نتایج مقایسات میانگین مربوط به اثرات متقابل تیمارهای مختلف بر غلظت آهن در برگ‌های بالایی گیاه سورگوم، در شکل ۳ نشان داده شده است. مطابق شکل ۳ بیش‌ترین غلظت آهن مربوط به تیمار ۲ درصد وزنی کود گاوی با سرباره به میزان ۴ برابر مقدار توصیه آزمون خاک (C_2S_4) با مقدار ۹۱/۴۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک مشاهده شد که دلیل آن را می‌توان به افزایش آهن قابل جذب خاک در این تیمار ارتباط داد (جدول ۹). از آن‌جا که غلظت یک عنصر ویژه در گیاه زمانی افزایش می‌یابد که در خاک نیز افزایش پیدا کرده باشد، برخی پژوهشگران بر این باور هستند که برای بیش‌تر عناصر، رابطه مثبت معنی‌داری بین غلظت عناصر در بافت گیاهی و غلظت قابل استفاده آن‌ها در خاک وجود دارد (۲۵). از طرفی، با توجه به نتایج جدول ۳، افزایش مقدار آهن در این تیمار (C_2S_4) را می‌توان به آهن بیش‌تر در کود گاوی، در مقایسه با پوست پسته ارتباط داد. استفاده از ترکیبات آلی با افزایش ترکیبات کلات کننده موجبات افزایش فراهمی آهن را فراهم می‌کنند.

مواد هیومیکی موجود در این ترکیبات، موجب ایجاد کمپلکس با عناصر کم مصرف شده و درنتیجه عناصر مؤثر در دستگاه فتوسنتزی، خصوصاً آهن بیش‌تر در دسترس گیاه قرار می‌گیرند.



شکل (۳) مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف برغلظت آهن($mg.kg^{-1}$) برگ

Figure (3) Means comparison of the effects of various treatments on Fe ($mg.kg^{-1}$) concentration of leaf

چن و آونیملچ (۹) گزارش کردند که استفاده از کودهای حیوانی همراه با سولفات آهن مشکل کمبود آهن را در سورگوم رفع خواهد کرد. ونگ و همکاران (۶۱) اظهار داشتند که غلظت آهن، منگنز، روی، مس در بافت گیاهی ذرت کاشته شده در خاک‌های تحت تیمار کمپوست و لجن فاضلاب، به مقدار معنی-داری افزایش پیدا کرد. سیکا و کانسال (۵۰) گزارش کردند تیمار ۸ درصد خاکستر پروازی سبب افزایش معنی‌دار غلظت آهن گیاه گندم از ۱۳۸ میلی‌گرم در کیلوگرم به ۱۶۱ میلی‌گرم در کیلوگرم شد. مختاری و همکاران (۳۶) در مطالعات خود سطح مختلف سرباره و لجن کنورتور را بر میزان آهن در اندام‌های هوایی بررسی کردند. سطح ۵ درصد سرباره بیش‌ترین تأثیر را در مقدار آهن گیاه داشت.

جذب آهن: جذب آهن توسط گیاه سورگوم تحت تأثیر تیمارهای مختلف در جدول ۱۲ نشان داده شده است.

بررسی اثر اصلی سطوح مختلف تیمارهای سرباره بر مقدار جذب آهن توسط گیاه نشان داد، بیش‌ترین مقدار آهن جذب شده برابر با ۹۱/۲۸ میکروگرم بر گلدان مربوط به تیمار سرباره به میزان ۲ برابر مقدار توصیه آزمون خاک همراه با گوگرد و تیوباسیلوس ($S_2S°T$) بود. مطالعه تأثیر ترکیبات آلی نشان داد استفاده از کود گاوی در مقایسه با پوست پسته، میزان جذب آهن توسط گیاه را بیش‌تر افزایش داده است (جدول ۱۲). بررسی اثرات متقابل تیمارهای سرباره و ترکیبات آلی نشان داد، بیش‌ترین میزان جذب آهن (۱۱۲/۴۳) میکروگرم بر گلدان توسط گیاه سورگوم مربوط به تیمار سرباره به میزان ۴ برابر مقدار توصیه آزمون با کود گاوی ۲ درصد (C_2S_4) بود که با تیمار ($C_2S_2S°T$) تفاوت معنی‌داری را نشان نداد.

در سطوح سرباره استفاده شده، احتمالاً تمامی آهن اضافه شده در مدت آزمایش رسوب نکرده است و به‌دلیل بیش‌تر بودن غلظت آهن در گیاهان تحت تأثیر، این تیمار جذب آهن نیز بیش‌تر شده است (جدول ۱۲). از آن‌جایی که میزان عملکرد، مقدار آهن قابل جذب و به تبع آن غلظت آهن در گیاه در تیمار شاهد کم است، بنابراین میزان جذب نیز در این تیمار کم‌تر از بقیه به دست آمد. آندرسون و پارکپیان (۴) با مصرف کودهای مختلف آهن نظیر سولفات آهنII، سکوسترین آهن و گرد و غبار حاصل از کارخانه فولاد برای گیاه سورگوم، دریافتند که جذب آهن به‌وسیله گیاه وابستگی زیادی به عملکرد گیاه داشته است. مطالعات سامارا و همکاران (۴۸) نشان داد عناصر آهن و منگنز بعد از اضافه کردن لجن به همراه سرباره بازی، روند کاهشی را نشان دادند. از آن‌جایی که فراهمی آهن و منگز در خاک، اساساً تحت کنترل pH می‌باشد، کم شدن این عناصر در نتیجه افزایش pH بوده است. نتایج مطالعات وانگ و کای (۶۰) گلخآن‌های در چین نشان داد که استفاده از سرباره-ای به عنوان کود می‌تواند جذب آهن توسط گیاه ذرت را افزایش دهد. این موفقیت به مقدار اضافه‌کردن سرباره بستگی دارد؛ به‌طوری که اضافه کردن مقادیر زیاد سرباره نتایج مطلوبی را به دنبال ندارد. نتایج این مطالعات در خاک لومی شنی، کاهش وزن خشک را به دنبال داشت که ناشی از افزایش مقدار نمک‌ها در این خاک بود که به دنبال آن فراهمی آهن کاهش پیدا می‌کند و در نتیجه، کلروز زیاد می‌شود.

روی گیاه: تأثیر متقابل تیمارهای سرباره و ترکیبات آلی بر غلظت روی برگ گیاه سورگوم در شکل ۴ نشان داده شده است. بیش‌ترین غلظت روی موجود در برگ گیاه سورگوم مربوط به تیمار سرباره به میزان ۴ برابر مقدار توصیه آزمون خاک همراه با گوگرد و تیوباسیلوس با پوست پسته ۴ درصد $P_4S_4S°T$ با مقدار ۱۱۸/۹۷ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک گیاه است که دلیل آن را می‌توان به افزایش روی قابل جذب خاک در سطوح سرباره حاوی گوگرد نسبت داد. هم‌چنین غلظت روی قابل جذب در تیمارهای پوست پسته بیش‌تر از کود گاوی بود (جدول ۱۰). این موضوع را می‌توان

به تأثیر گوگرد و پوست پسته بر کاهش pH خاک و افزایش حلالیت ترکیبات روی موجود در سرباره نسبت داد. به‌طوری که سبب افزایش روی قابل جذب خاک و در نتیجه افزایش غلظت روی در بخش هوایی گیاه می‌شود. مطالعات بشارتی (۷) نشان داد که با توجه به این که بخش اعظم اکسیداسیون گوگرد توسط باکتری‌ها انجام می‌گیرد، فراهم کردن شرایط بهتر برای رشد این باکتری‌ها به افزایش بازدهی اکسیداسیون کمک می‌کند. از جمله این شرایط فراهم‌کردن مواد آلی مورد نیاز برای رشد باکتری است.

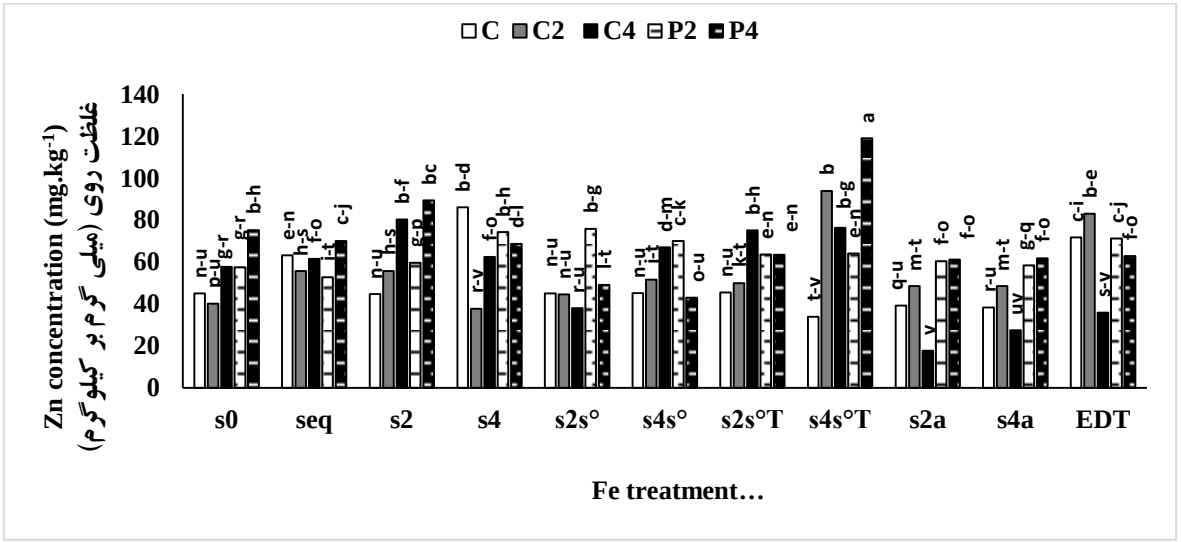
جدول(۱۲) مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر جذب آهن میکروگرم بر گلدان

Table(12) Means comparison of the effects of various treatments on Fe uptake ((µg.pot^{-1})

میانگین	P_4%	P_2%	C_4%	C_2%	C	
45.33^{E}	21.14^{pq}	31.51^{m-q}	78.82^{c-j}	82.64^{b-i}	13.68^{q}	S_0
62.75^{C-E}	74.74^{c-k}	50.55^{h-p}	72.61^{d-l}	47.21^{h-q}	68.67^{f-m}	Seq
51.75^{C-E}	82.34^{c-i}	43.16^{j-p}	59.79^{f-o}	20.93^{o-q}	52.57^{h-p}	S_2
69.06^{BC}	82.28^{c-j}	52.04^{h-p}	44.89^{i-q}	122.43^{a}	49.43^{h-p}	S_4
55.21^{C-E}	29.64^{m-q}	58.42^{g-p}	44.89^{i-q}	76.60^{c-k}	66.55^{f-n}	$S_2S°$
66.03^{B-D}	49.98^{h-q}	98.81^{a-f}	61.08^{f-n}	85.06^{a-h}	35.23^{l-q}	$S_4S°$
91.28^{A}	75.89^{c-k}	82.35^{c-j}	74.20^{c-l}	112.71^{a-c}	111.29^{a-e}	$S_2S°T$
83.22^{AB}	111.59^{a-d}	121.80^{ab}	72.27^{e-l}	49.74^{h-q}	60.72^{f-n}	$S_4S°T$
65.54^{CD}	55.00^{h-p}	73.28^{d-l}	95.11^{a-g}	46.53^{h-q}	57.83^{g-p}	S_{2a}
62.07^{C-E}	50.35^{h-p}	77.63^{c-k}	110.72^{a-e}	28.01^{n-q}	43.65^{i-q}	S_{4a}
48.50^{DE}	46.55^{h-q}	47.19^{h-q}	71.21^{f-l}	47.92^{h-q}	29.63^{m-q}	EDTA
	61.68^{AB}	66.97^{A}	70.88^{A}	65.43^{A}	53.56^{B}	میانگین

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

Means followed by the same letters are insignificant at the 0.05 probability within each column or row



شکل (٤) مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف برغلظت روی(mg.kg^{-1}) برگ

Figure (4) Means comparison of the effects of various treatments on Zne (mg.kg^{-1}) concentration of leaf

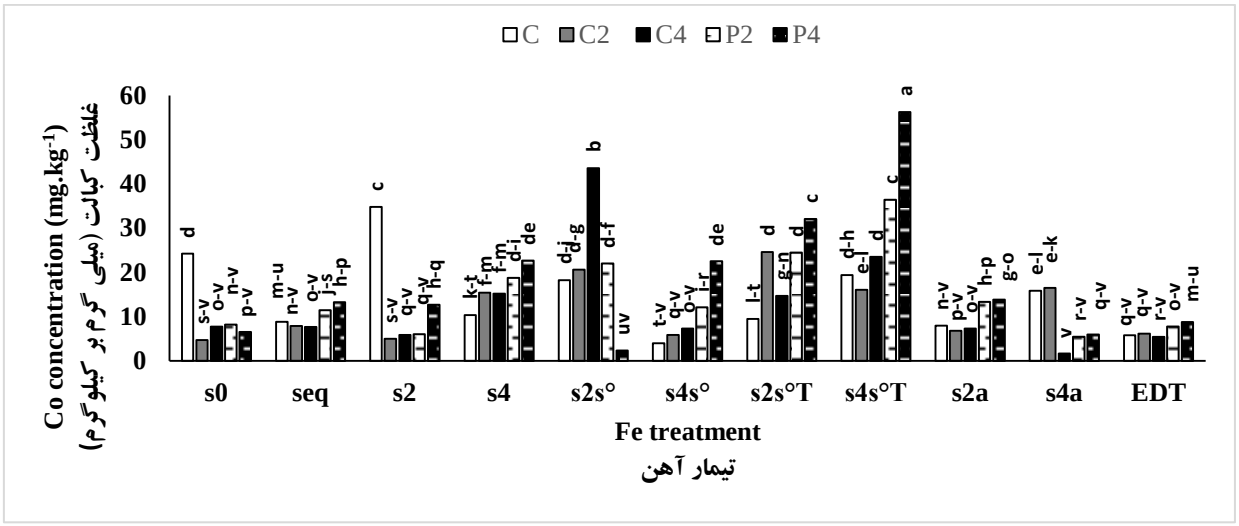
این احتمال وجود دارد که با افزایش میزان ترکیبات آلی مصرفی، جمعیت میکروارگانیسم‌های اکسیدکننده گوگرد افزایش یافته و در نتیجه، اثر گوگرد بر کاهش واکنش خاک و افزایش عناصر کم مصرف قابل جذب تشدید می‌شود. ماده آلی باعث تسریع اکسیداسیون گوگرد می‌گردد و موجب تأثیر سریع این ماده بر واکنش خاک و افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی می شود. هرچه میزان ماده آلی و گوگرد مصرفی بیش‌تر باشد، چون گوگرد اثر بیش‌تری بر واکنش خاک می‌گذارد، قابلیت دسترسی مواد غذایی نیز، بیش‌تر افزایش می‌یابد. نتایج مطالعات بشارتی نشان داد که تبدیل گوگرد به اسید سولفوریک یا سولفات با مصرف ترکیبات آلی و در رطوبت مناسب با سرعت بیش ری انجام می‌گردد (۷). کاپلان و اورمان (۲۳) نیز، در آزمایشی به افزایش مقدار روی جذب شده توسط سورگوم به دنبال کاربرد گوگرد در خاک‌های آهکی اشاره نمودند. در صورت مخلوط شدن گوگرد با خاک و اکسایش آن، نقاطی با واکنش اسیدی در خاک پدید می‌آید که شرایط مساعدی را برای انحلال و جذب بیش‌تر و سریع‌تر روی فراهم می‌آورد . ترسا و کول (۵۶) اظهار داشتند سرباره LD[1] با داشتن عناصر کم مصرف، مانند مس و روی از نظر تغذیه‌ای دارای اهمیت بوده است از طرفی، با داشتن ترکیباتی مانند MgO، SiO_2، CaO به‌عنوان یک ماده آهکی مناسب مورد استفاده قرار می‌گیرد. نادین و همکاران (۳۹) دریک آزمایش گلخآن‌های با اضافه‌کردن سطوح مختلف سرباره (۰ تا ۴ درصد) در شرایط کنترل شده تأثیر آن را بر pH خاک، هدایت الکتریکی خاک، رشدگیاه و ترکیب شیمیایی گیاه لوبیا مورد بررسی قرار داند. با اضافه کردن سرباره، مقدار pH خاک از ۵/۶ به ۹/۸ و هدایت الکتریکی از ۰/۱۴ به $ms.cm^{-1}$ ۰/۸۲ افزایش پیدا کردند. بعد از اضافه‌کردن سرباره به میزان ۱ درصد به گیاهان لوبیایی که در خاک‌های آلوده به مس رشد کرده بودند، کاهش غلظت مس در اندام هوایی این گیاهان مشاهده شد. علاوه بر این، استفاده از سرباره آهکی در خاک‌های آلوده شده، غلظت‌های کادمیوم، کروم و روی را در اندام‌های هوایی افزایش نداد. مللی و شریعتمداری (۳۴) با مقایسه سطوح سرباره و لجن کنورتور، تأثیر معنی‌داری را بر میزان جذب روی توسط گیاه مشاهده نکردند. در ابتدا با بالا رفتن عملکرد، افزایش ناچیزی در جذب روی رخ داد؛ اما در مراحل انتهای رشد، توانایی گیاه برای جذب روی کاهش یافت. از آن‌جایی که مقدار روی در نمونه سرباره مورد مطالعه زیاد بود (جدول ۲)، احتمال آلودگی خاک و به تبع سمیت آن در گیاه بعد از استفاده از آن اندک به نظر می‌رسید. روی در غلظت‌های کم سبب تحریک رشد مانند افزایش طول اندام هوایی، طول ریشه و سطح برگ‌ها در گیاهان می‌شود. این در حالی است که اگر در بافت‌های گیاهی تجمع یابد، باعث اختلال در رشد و نمو برخی فرآیندهای متابولیکی آن می‌گردد. حد معمول غلظت روی در گونه‌های مختلف گیاهان از ۱۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک گیاه و حد سمیت آن در مقادیر بیش از ۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک گیاهان می‌باشد (۱۶). بر اساس مقادیر به دست آمده در شکل ۴ غلظت روی در برگ گیاه سورگوم زیر حد سمیت است. روی در pHهای بالا بر روی سطح اکسیدها و آلومینوسیلیکات‌ها تبادل لیگاندی برقرار کرده است. این امکان نیز وجود دارد که گیاه از طریق فعال نمودن سیستم‌های دفاعی در ریشه، باعث رسوب دادن روی در ریشه شده و یا مسیرهایی را که امکان انتقال روی از این طریق امکان‌پذیر باشد، را مسدود نموده است (۱۶). این نتایج نشان می‌دهد که سرباره، کود مناسبی برای تأمین روی مورد نیاز گیاه در خاک‌های آهکی به شمار می‌رود.

نیکل و کبالت گیاه: از آن‌جایی که پایش وضعیت فلزات سنگین خاک، بعد از استفاده از ضایعات صنعتی

1- Lindz-Donawitz

در خاک مهم است و از طرفی، مقدار نیکل و کبالت در نمونه سرباره زیاد بود (جدول ۲)، غلظت نیکل و کبالت در برگ گیاه سورگوم اندازه‌گیری شد. مقدار نیکل موجود در نمونه‌های گیاهی در حد تشخیص دستگاه جذب اتمی نبود. حد معمول این عنصر در گیاهان ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک و حد مسموم کننده آن ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک گزارش شده است (۴۳). در pH بالای ۶ جذب شیمیایی نیکل در سطح اکسیدها، آلومینوسیلیکات‌های آمورف و رس‌های سیلیکاتی لایه‌ای اتفاق می‌افتد. بنابراین حلالیت نیکل در pHبالا به طور محسوسی کاهش می‌یابد؛ به‌طوری‌که تحرک آن در خاک‌های خنثی تا قلیایی خیلی کم و در خاک‌های اسیدی به نسبت متحرک است. از طرفی، نیکل الکترونگاتیوی برابری با Cu^{2+} دارد و همانند Cu^{2+} یون Ni^{2+} برای اتصال به لیگاندهای آلی مناسب است(۵۲). هم‌چنین نیکل دو ظرفیتی به‌آسانی در مکان‌های اکتاهدرال قرار گرفته، در اکسیدهای منگنز و آهن رسوب می‌دهد. علی رغم مقادیر قابل توجه نیکل در نمونه سرباره با توجه به شرایط pH خاک‌ها رسوب آن در خاک قابل توجیه است. هم‌چنین با وجود ترکیبات آلی در مطالعه انجام شده، تشکیل کمپلکس با مواد آلی و جذب اختصاصی در ساختار رس‌های سیلیکاتی محتمل به نظر می‌رسد (۲۷)؛ بنابراین، انتقال آن به اندام‌های هوایی گیاه صورت نگرفته است. مقایسه اثرات اصلی تیمارهای سرباره بر میزان کبالت گیاه نشان داد، تیمار سرباره به میزان ۴ برابر مقدار توصیه آزمون خاک همراه با گوگرد و تیوباسیلوس $S_4S°T$، بیش‌ترین (۳۰/۳۴ میلی‌گرم در کیلوگرم) و سرباره اسیدی به میزان ۲ برابر مقدار توصیه آزمون خاک (S_{2a})، کم‌ترین مقدار کبالت گیاه را دارا می‌باشند (داده‌ها نشان داده نشده است). میزان کبالت قابل جذب خاک قبل و بعد از کشت گیاه در نمونه خاک‌های مورد مطالعه اندازه‌گیری شد. بررسی اثرات اصلی سرباره نشان داد، بیش‌ترین میزان کبالت قابل جذب خاک (۰/۴۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) قبل از کشت گیاه، مربوط به تیمارهای اسیدی و بعد از کشت گیاه کم‌ترین میزان کبالت در خاک (۰/۰۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) به تیمارهای سرباره اسیدی تعلق دارد (داده‌ها نشان داده نشده است). هر چند این مقادیر از حد مجاز تجاوز نکرد و در محدوده تعیین شده قرار داشت، (حداکثر غلظت مجاز کبالت ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است)، از آن‌جایی که مقدار کبالت اندازه‌گیری شده در این تیمارها (تیمارهای اسیدی) در اندام هوایی گیاهی کم بود، این احتمال وجود دارد ریشه گیاه با رسوب‌دادن کبالت و فعال‌کردن سیستم‌های دفاعی، از انتقال آن به اندام‌های هوایی جلوگیری کرده است. وانگ و همکاران (۵۹) گزارش کردند فلزات سنگین موجود در محلول خاک، می‌توانند به دیواره‌های سلولی ریشه گیاه پیوند یابند.

مقایسه میانگین‌های مقدار کبالت گیاه برای اثر اصلی ترکیبات آلی نشان داد، غلظت کبالت با کاربرد کود گاوی در مقایسه با شاهد، کاهش معنی‌داری داشت (داده‌ها نشان داده نشده است). سینگ و استینس (۵۲) اظهار داشتند مواد آلی، به‌دلیل داشتن گروه‌های عامل دارای بار منفی (کربوکسیلیک، فنلیک و هیدروکسیل)، می‌توانند فلزات سنگین را از محلول خاک، جذب سطحی کنند و از دسترس گیاه خارج سازند. تشکیل کمپلکس‌های سطحی درون-کره‌ای و برون-کره‌ای، مهم‌ترین مکانیزم‌های جذب سطحی فلزات سنگین به وسیله مواد آلی است. نتایج مقایسه‌های میانگین مربوط به اثرات متقابل سرباره با ترکیبات آلی در شکل ۵ نشان داده شده است. بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت کبالت گیاه در تیمار ۴ درصد پوست پسته با سرباره به میزان ۴ برابر مقدار توصیه آزمون خاک همراه با گوگرد و تیوباسیلوس($P_4S_4S°T$) با مقدار ۵۶/۲۱ میلی‌گرم در کیلوگرم و تیمار ۴ درصد کود گاوی با سرباره اسیدی به میزان ۴ برابر مقدار توصیه آزمون خاک (C_4S_{4a}) با مقدار ۱/۶۷ میلی‌گرم در کیلوگرم مشاهده گردید.



شکل(۵) نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف برغلظت کبالت($mg.kg^{-1}$) برگ

Figure (5) Means comparison of the effects of various treatments on Co ($mg.kg^{-1}$) concentration of leaf

با توجه به مقادیر زیاد کبالت قابل جذب در سرباره، کاربرد کودگاوی سطوح جذبی مناسبی را برای فلزات ایجاد نموده و سبب کاهش حلالیت و حرکت آن‌ها شده است (۲۷). شواهدی وجود دارد که حلالیت کبالت با افزایش pH خاک به‌دلیل جذب اختصاصی در سطح رس‌های سیلیکاته، اکسیدها و ایجاد کمپلکس با مواد آلی و امکان رسوب $CO(OH)_2$ کاهش می‌یابد (۵۲). تحرک کبالت در خاک‌های اسیدی تا حدی قابل توجه است؛ اما با رسیدن pH به حالت خنثی، کم می‌شود. علی‌رغم مقدار زیاد کبالت در نمونه سرباره، محدوده تغییرات پایین‌تر از حد سمیت این عنصر در گیاه بود. احتمالاً با گذشت زمان، این عنصر در خاک یا به شکل‌های غیر محلول رسوب کرده و یا در ساختار کانی‌ها و ترکیبات آلی پایدار به دام افتاده است و در نتیجه به اندام‌های هوایی منقل نشده است (۵۲). چیریا (۱۱) از سرباره بازی به عنوان یک اصلاح کننده در اراضی شور استفاده کرد. آن‌ها نتیجه گرفتند که کاتیون-های دو ظرفیتی سرباره با سدیم برای محل‌های جذب رقابت می‌کنند و اثرات سوء سدیم را رفع می‌نمایند؛ اما با وجود کروم و وانادیوم در نمونه سرباره در استفاده از آن باید احتیاط لازم به عمل آید. در گزارشی آمده است که سرباره بازی با داشتن عناصری مثل آهن، روی، کبالت، کلسیم، منیزیوم عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان را فراهم می‌کنند (۴۴).

نتیجه‌گیری

سرباره حاصل از ذوب مس دارای عناصر غذایی کم مصرف از جمله آهن و روی بوده، اضافه‌کردن آن به همراه ترکیبات آلی می‌تواند این عناصر را به مرور در طول دوره رشد در اختیار گیاه قرار دهد، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که سرباره حاصل از ذوب مس پتانسیل استفاده به عنوان یک منبع تأمین کننده عناصر برای گیاهان را دارد. با افزایش بیش‌تر pH خاک در اثراضافه‌شدن سرباره‌های اسیدی به مرور زمان ، مقدار آهن در مقایسه با روی کاهش بیش‌تری پیدا کرد. از آن‌جایی که به ازای هر واحد کاهش pH حلالیت آهن و روی به ترتیب ۱۰۰۰ و ۱۰۰ مرتبه افزایش می‌یابد بنابراین، کاهش بیش‌تر آهن قابل جذب نسبت به عنصر روی با توجه به وابستگی بش‌تر رفتار شیمیایی آن به pH خاک، قابل درک است .این نتایج عدم استفاده از تیمارهای اسیدی را تأیید می‌کند. علاوه براضافه‌شدن آهن و روی به عنوان عناصر غذایی ضروری برای گیاهان، اندازه‌گیری دیگر فلزات سنگین در گیاه نشان

داد که غلظت فلزات سنگین اندازه‌گیری شده زیر حد سمیت آن‌ها بود. ازاین‌رو مناسب بودن این ماده برای کشاورزی تأیید خواهد شد. از آن‌جایی که اضافه‌کردن فلزات سنگین به خاک اثرات زیست محیطی زیادی دارد. بنابراین استفاده مکرر و استفاده در مقادیر زیاد سرباره توصیه نمی‌شود. با توجه به این‌که در جذب عناصر غذایی غیرمتحرک شدن در خاک، تثبیت فلز در ریشه و ممانعت از انتقال آن به اندام هوایی، از جمله سازوکارهای گیاه در مواجهه با غلظت زیاد فلزات سنگین است، پیشنهاد می‌شود مقدار فلزات سنگین در ریشه مورد مطالعه قرار گیرد.

سپاس‌گزاری

بدین وسیله از تحقیقات آب و محیط زیست مس منطقه کرمان که در تأمین بخشی از مواد و هزینه‌های مورد نیاز اجرای این تحقیق با کد پروژه ۲۵۵/د/۹۴/آ همکاری نموده‌اند، تشکر و قدردانی می‌شود. هم‌چنین از سرکار خانم مهندس اسماعیل‌زاده، جناب آقای مهندس اسپهبدی و سرکار خانم دکتر فتحی که با همکاری صمیمانه خود شرایط لازم را برای انجام این کار تحقیقاتی فراهم کردند، سپاس‌گزاری می‌شود. هم‌چنین از زحمات سرکار خانم دکتر سمیه قاسمی استادیار گروه علوم خاک دانشگاه یزد تشکر می‌گردد.

منابع

1. Abou Seeda, M., EI-Aila, H.I., and EI-Ashry, S. 2002. Assessment of basic slag as soil amelioration and their effects on the uptake of some nutrient elements by radish plant. Bulletin National Research, 27: 491-506.

2. Alidadi Khaliliha, M., Dordipour, E., and Barani Motlagh, M. 2016. Interactive effect of iron and lead on growth and their uptake in Cress (Lepidium sativum L.). Journal of Soil Management, 5 (4): 41-59. (In Persian with English abstract)

3. Allison, L.E., Modie, C.D. 1965. Carbonate. In Blck (ed.), Method of soil analysis part 2. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI, USA. pp:1379-1396.

4. Anderson, W. B., and Parkpain, P. 1984. Plant availability of an iron waste product utilized as an agriculturalfertilizer on calcareous soil. Journal of Plant Nutrition, 7:222-233.

5. Ashenafi, W., Melese, M., and Heluf, G. 2016. Impact of gypsum and sulfuric acid application on cotton yield under saline sodic soil condition in melka sadi irrigated Farm. Academia Journal of Agricultural Research, 4(2): 091-095.

6. Benton, J., Jones, J.R and Case, V.W. 1990. Sampling, handling and analyzing plant tissue sample. In: R. L. Westerman (ed.), Soil Testing and Plant Analysis. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI, USA. pp:389-429.

7. Besharati, H. 2016. Effects of sulfur application and Thiobacillus inoculation on soil nutrient availability, wheat yield and plant nutrient concentration in calcareous soils with different calcium carbonate content. Journal of Plant Nutrition, pp:447-456.

8. Bremner, J.M. 1996. Nitrogen-total. In: D.L. Sparks, Methods of Soil Analysis, Part 3. Soil Science Society of America and American society of agronomy, Madison, WI, USA. pp: 1-89.

9. Chen Y. and Y. Avnimelech. 1986. The role of organic mater in modern agriculture Matinus Nijhoff Netherlands.

10. Chi, C., and Xiying, H. 2003. Does a long-term heavy cattle manure application increase salinity of clay loam soil in semi-arid isotherm Alberta? Agriculture, Ecosystems and Environment Journal, 94:89- 103.

11. Chiara, P. 2017. Exchangeable Sodium Percentage decrease in saline sodic soil after Basic Oxygen Furnace Slag application in a lysimeter trial. Journal of Environmental Management, pp: 896-906.

12. Das, B., and Prakash, S. 2007. An overview of utilization of slag and sludge from steel industries. Resources, Conservation and Recycling, 50:40–57.

13. Fontes, R.L., and Cox, F.R. 1998. Zinc toxicity in soybean grown at high iron concentration in nutrient solution. Journal of Plant Nutrition, 21: 1723-1730.

14. Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1986. Particle-size analysis. In Klute, A. (ed.), Methods of soil analysis part 1: Physical and Mineralogical Methods. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI, USA. pp: 383-411.

15. Gorai, B.R., and Jana, K. 2003. Characteristics and utilisation of copper slag. a review, Premchand. Resources, Conservation and Recycling, 39: 299-313.

16. Hall, J.L. 2002.Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. Journal of Experimental Botany, 53: 1-11.

17. Heidari Kohal, H., Samar, S.M., and Moez Ardalan, M. 2014. Soil injection of iron sulfate, an inexpensive method for controlling Iron deficiency of fruit trees. Land Manage Journal 2 (2): 151-160. (In Persian with English abstract)

18. Hergert, G.W., Nordquist, P.T., Petersen, J.L., and Skates, B.A. 1996. Fertilizer and crop management practices for improving corn yields on high pH soils. Journal of Plant Nutrition, 19(8-9): 1223-1 233.

19. Hesse, P.R. 1971. A text book of soil chemical analysis. John Murray. London

20. Huang, Y.i., and Guoping, X.u. 2012. An overview of utilization of steel slag. Procedia Environmental Sciences, 16:791- 801.

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

22. Kabata-Pendias, A., and Pendias, H. 1991. Trace elements in soils and plants, second ed. CRC Press, p. 365.

23. Kaplan, M., and Orman, S. 1998. Effect of elemental sulfur and sulfur containing waste in a calcareous soil in Turkey. Journal of Plant Nutrition, 21:1655-1665.

24. Karimian, N., and 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, 7(4) 568-576.

25. Karla, Y.P., 1998. Hanbook of reference methods for plant analysis. CRC press, Washington D.C. USA, 320p.

26. Khadem, A., Gholchin, A., Shafiee, S., and Zare, A. 2014. Effect of manures and sulfur on nutrients uptake of corn. Applied Field Crops Research, 103: 1-10.

27. Lavado, R.S. 1998. Heavy metal in soil of Argentina comparison between urban and agricultural soil. Communication in Soil Science and Plant Analysis, 29: 1913-1917.

28. Lin, S., Cianzio, S., and Shoemaker, R. 1977. Mapping genetic ionic for iron deficiency chlorosis in soybean. Molecular Breeding, 3: 219-229.

29. Lindsay, W.L. 1979. Chemical equilibria in soils. John Wiley and Sons, New York.

30. Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Society of America Journal, 42: 421-428.

31. Marshner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic press. New York, pp: 313-324

32. 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.

33. Masud, M.M., Jiu-Yu1, L.I., and Ren-Kou, U.X. 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.

34. Melali, A.R., and Shariatmadari, H. 2008. Application of steel making slag and converter Sludge in farm manure enrichment for corn nutrition in greenhouse conditions. Journal of Water Soil Science, 11(42): 505-513. (In Persian)

35. Miller, R.H., and Keeney, D.R. 1982. Methods of Soil Analysis Part 2: Chemical and microbiological prpperties. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI, USA.

36. Mokhtari, S., Hodaji, M., and Kalbasi, M. 2014. The effect of steel converter slag application along with sewage sludge in iron nutrition and corn plant yield. Pharmacol Life Science, 3: 96-104.

37. Molaei, S., Shirani, H., Hamidpour, M., Shekofteh, H., and Besalatpour, A.A. 2016. Effect of vermicompost, pistachio Kernel and Shrimp Shell on Some Growth Parameters and Availability of Cd, Pb and Zn in Corn in a Polluted Soil. Journal of Water and Soil Science, 19 (74):113-124.

38. Mortvedt, J. J., 1982. Grain sorghum response to iron sourcesapplied alone or with fertilizers. Journal of Plant Nutrition, 5:859-868.

39. Nadine, M.P., Michael, B.P., and Robert, R.S. 2015. Characteristics and environmental aspects of slag: A review. Applied Geochemistry, 57:236-266.

40. Najafi, N., Mardomi, S., and Oustan, S. 2013. The effect of waterlogging sewage sludge and manure on selected macronutrients and sodium uptake by sunflower plant in a loamy sand soil. Journal of Water and Soil, Ferdowsi University of Mashhad. 26(3): 619-636. (In Persian with English abstract)

41. Nelson, D.W., and Sommers, L.P. 1986. Total carbon, organic carbon and organic matter. In A. L. Pag (ed.), Methods of soil analysis part 2. soil science society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI, USA. pp: 539-579.

42. Olsen, S.R., Close, V., Watnebe, F.S., and pean, L.A. 1954. Estimation of available phosphorous in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA. 939. USA.

43. Pais, I.J., Benton Jones, J.R. 1997. The handbook of trace elements. St. Lucie press Boca Raton pub. Florida

44. Peregrina, F., Mariscal, I., Ord, R., Gonz, P., Terefe, T., and Espejo, R. 2008. Agronomic implications of converter basic slag as a magnesium source on acid soils. Soil Science Society of America Journal, 72 (2): 402-411.

45. Richards, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of salin and alkali soils. USDA. Agriculture hand book. No: 60. Washington.

46. Ryan, J., and Stroehlein, L. 1976. Copper Industrial byproducts for improving iron DeficientCalcareous Soils. Agronomy Journal, 68(1): 79-82.

47. 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. Mashhad, Iran. (In Persian)

48. Samara, E., Theodora, M., and Athanasios, B. 2017. Soil application of sewage sludge stabilized with steelmaking slag and its effect on soil properties and wheat growth. Waste Management, 68: 378-387.

49. Shariatmadari, H., Rezainejad, Y., Abdi, A., Mahmoudabadi, A., Karami, M. 2009. effect of converter sludge and slag of Isfahan iron melting factory on corn yield and Some Heavy Metal Uptake in a Calcareous Soil. Journal of Water and Soil Science, 12 (46):667-680.

50. Sikka, R., and Kansal, B.D. 1994. Effect of fly-ash application on yield and nutrient composition of rice, wheat and on pH and available nutrition status of soils. Bioresource Technology, 51: 199-203.

51. Singer, J.W., Kohler, K.A., Liebman, M., Richard, T. L., Cambardella, C.A., and Buhler, D.D. 2004. Tillage and compost affect yield of corn, soybean, and wheat and soil fertility. Agronomy Journal, 96:531-537.

52. Singh, B.R., and Steinnes, E. 1994. Soil and water contamination by heavy metals, In: Lai, R., and Stewart, B.A. (ed.), Soil processes and water quality, pp: 233-271.

53. Soumare, M., Tack, G., and Verloo, M.G. 2003. Effects of a municipal solid waste compost and mineral fertilization on plant growth in two tropical agricultural soils of Mali. Bioresource Technology, 86:15- 20.

54. Sposito, G., Lund, L.J., and Chang, A.C. 1982. Trace metal chemistry in arid zone field soils amended with sewage sludge, I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in solid phases. Soil Science Society of America Journal, 46: 260-264.

55. Tabatabai, M.A. 1994. Sulfur oxidation and reduction in soils. In Weaver, et al. (ed.). Methods of Soil Analysis. Part 2. Microbiological and Biochemical Properties.

56. Teresa, A.B., and Colla, V. 2012. Possible uses of steelmaking slag in agriculture: an overview. In: Dimitris, A. (ed.). Material Recycling – Trends and Perspectives, pp:335-356.

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

58. Wallace, A., and Samman, Y.S. 1982. Correction of lime-induced chlorosis in Soybean in Calcareous Soil with Sulfur and an acidifing iron compound. Journal of Plant Nutrition, 5: 949-953.

59. Wang, G., Chen, F., Lin, D., and Gao, D.F. 2006. Transfer characteristics of cadmium and lead from soil to the edible parts of six vegetable species in south eastern China. Environmental Pollution. 144: 127-135.

60. Wang, X.1., and Cai, Q.S. 2006. Steel slag as an iron fertilizer for corn growth and soil improvement in a pot experiment. Pedosphere, 16(4): 519-524.

61. Wonge, J.W.C., Lik, L., Zhoul, X., and Selvam, A. 2007. The sorption of Cd and Zn by different soils in the presence of dissolved organic matter from sludge. Geoderma, 137: 310-317.