اثر شیرابه کمپوست زباله شهری بر قابلیت جذب برخی عناصرکم مصرف در ذرت و کاهو

ثمانه آریابد،[۱*] امیر فتوت، امیر لکزیان و غلامحسین حق‌نیا

دانشجوی سابق گروه خاکشناسی دانشگاه فردوسی مشهد

استادیار دانشگاه فردوسی مشهد؛ **afotovat@um.ac.ir**

دانشیار دانشگاه فردوسی مشهد؛ **alakzian@yahoo.com**

استاد دانشگاه فردوسی مشهد؛ **ghaghnia@yahoo.com**

چکیده

در فرایند تبدیل زباله‌های شهری به کمپوست مقدار زیادی شیرابه تولید می‌شود. اگر چه شیرابه حاصل از کمپوست زباله شهری یکی از مشکلات تولید کود کمپوست در کشور به شمار می‌رود، ولی در حقیقت باید آن را یکی از منابع سرشار آب و عناصرغذایی دانست. شیرابه کمپوست زباله شهری دارای عناصرکم‌مصرف (آهن، روی، منگنز و مس) است که می‌تواند مورد استفاده گیاه قرار گیرد. از طرفی میکروارگانیزم‌ها در چرخه عناصرغذایی در خاک نقش مهمی دارند. بنابراین به منظور بررسی اثر شیرابه کمپوست زباله شهری بر قابلیت جذب برخی عناصرکم‌مصرف در گیاه در شرایط سترون و غیرسترون این مطالعه با سه تیمار آبیاری (آب مقطر، شیرابه غیرسترون و شیرابه سترون)، سه تیمار خاک (خاک غیرسترون، خاک سترون + تلقیح با خاک غیرسترون و خاک سترون) و دو گیاه (ذرت و کاهو) در گلخانه به صورت فاکتوریل در چهارچوب طرح کاملاًتصادفی با سه تکرار انجام گرفت. بر اساس نتایج بدست آمده، غلظت روی در اندام هوایی گیاه در تیمارهای شیرابه افزایش معنی‌داری یافت درحالی‌که غلظت آهن، منگنز و مس اندام هوایی گیاه تحت تأثیر کاربرد شیرابه قرار نگرفت. در اکثر موارد غلظت عناصرکم مصرف در گیاه در اثر کاربرد شیرابه غیرسترون و شیرابه سترون تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشت. همچنین فراهمی آهن در خاک (عصاره‌گیری شده با DTPA) در اثر کاربرد شیرابه افزایش یافت، درحالی‌که این افزایش در مورد روی، منگنز و مس مشاهده نشد. به‌طورکلی کاربرد شیرابه به مقدار ۲۰ درصد حجمی شیرابه و آب مقطر سبب افزایش عملکرد ذرت و کاهو شد. همچنین غلظت عناصر کم مصرف (آهن، روی، منگنز و مس) در گیاه کمتر از غلظت های مجاز توصیه شده از لحاظ سمیت (Pais و Benton، ۱۹۹۷) بود. در واقع به نظر می‌رسد بتوان از شیرابه در مقادیر کم به عنوان یک کود آلی مایع حاوی عناصرکم‌مصرف استفاده کرد. هر چند برای استفاده از شیرابه در دراز مدت باید به اثرات باقیمانده شیرابه در خاک نیز توجه شود.

واژه های کلیدی: شیرابه کمپوست زباله شهری، عناصرکم مصرف، سترون کردن، ذرت، کاهو، خاک آهکی

مقدمه

در خاکهای مناطق خشک و نیمه خشک که قسمت عمده کشور ما را تشکیل می‌دهند، به علت فقر شدید ماده آلی، استفاده از هر ترکیب حاوی ماده آلی از جمله شیرابه‌های تولید شده در فرایندهای مختلف تبدیل زباله‌های شهری به کود کمپوست، برای تقویت خاک ضروری است. مقدار تولید شیرابه در بیشتر کارخانه‌های

۱- نویسنده مسئول، آدرس: مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد – گروه خاکشناسی

* دریافت: ۸۴/۱۲/۳ و پذیرش: ۸۶/۶/۴

کود آلی کشور به نسبت، زیاد است. به عنوان مثال طی فرآیند تبدیل ۷۰۰ تن زباله شهری اصفهان و۵۰۰ تن زباله شهری مشهد به کود آلی کمپوست روزانه به‌ترتیب بیش از ۴۰ تن (گندمکار، ۱۳۷۵) و ۵ تن (رضوی طوسی، ۱۳۸۰) شیرابه تولید می‌شود. از آنجا که مشکل تولید شیرابه طی فرایند تولید کود کمپوست زباله به دلیل رطوبت زیاد زباله‌های خانگی به کشور ایران مربوط می‌شود و زباله‌های کشورهای پیشرفته رطوبت بسیار کمتری دارند، از این رو تحقیقات در رابطه با شیرابه بسیار محدود است. ولی تحقیقات زیادی در زمینه اثرهای پساب (Brar و همکاران، ۲۰۰۰)، لجن فاضلاب و کود کمپوست (Warman و Termeer، ۲۰۰۴) بر خاک و گیاهان انجام گرفته است که بیانگر افزایش غلظت عناصر کم مصرف خاک و گیاه در اثر کاربرد این مواد می باشند. بررسی‌های انجام‌شده در مورد ترکیب شیمیایی شیرابه نشان داده است که شیرابه زباله دارای عناصر کم مصرف (آهن، روی، منگنز و مس) است که می‌تواند مورد استفاده گیاه قرار گیرد (خوشگفتار منش و کلباسی، ۱۳۸۱؛ الماسیان، ۱۳۸۳؛ گندمکار، ۱۳۷۵).

از طرفی میکروارگانیزم‌ها بر میزان جذب عناصر کم‌مصرف توسط گیاه نقش دارند (صفری سنجانی، ۱۳۸۲؛ صالح راستین، ۱۳۵۷). تأثیر این موجودات معمولاً بطور مستقیم از راه آزادکردن یونهای غیرآلی در حین تجزیه مواد آلی، اکسایش و کاهش ترکیبات مختلف و قابل‌حل‌کردن مواد نامحلول است (صفری سنجانی، ۱۳۸۲). بعلاوه این موجودات می‌توانند از راه تغییراتی که ضمن فعالیتهای خود در بعضی مشخصات خاک به ویژه pH و فشار نسبی اکسیژن بوجود می‌آورند، بطور غیرمستقیم نیز در انجام این قبیل دگرگونی‌ها مؤثر باشند (صالح راستین، ۱۳۵۷). علاوه بر این میکروارگانیزم‌ها به علت دارابودن نسبت سطح به حجم بالا (به علت اندازه کوچکشان) سطح‌تماس زیادی با محیط‌های محلول (محلول خاک) دارند و از طریق جذب عناصرکم‌مصرف در سطح یا درون سلولهایشان غلظت این عناصر در محلول خاک را کاهش می‌دهند (Yilmaz، ۲۰۰۳). هر چند به دلیل تغییر برخی خصوصیات خاک در اثر سترون کردن (مثلاً با اتوکلاو) (Shaw و همکاران،۱۹۹۹؛ Wolf و همکاران، ۱۹۸۹)، استفاده از روش های سترون کردن خاک به منظور مطالعه اثرات میکروارگانیزم ها بر جذب عناصر کم مصرف توسط گیاه اثرات میکروارگانیزم ها را کاملاً آشکار نمی سازد.

بنابراین با توجه به این که میکروارگانیزم‌ها در چرخه عناصرغذایی در خاک نقش مهمی دارند (صفری سنجانی، ۱۳۸۲) مطالعه اثر میکروارگانیزم‌های شیرابه و خاک در جذب عناصر کم مصرف به وسیله گیاه حائز اهمیت است. تحقیق حاضر اثر شیرابه کمپوست زباله شهری را در حضور و عدم حضور میکروارگانیزم ها بر غلظت عناصر کم مصرف (آهن، روی، منگنز و مس) در ذرت و کاهو در خاک های آهکی بررسی می کند.

مواد و روشها

این تحقیق در سال ۱۳۸۳ به صورت گلخانه‌ای در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در چهارچوب طرح کاملاً تصادفی با سه تیمار آبیاری (آب مقطر، شیرابه غیرسترون و شیرابه سترون)، سه تیمار خاک (خاک غیرسترون، خاک سترون + تلقیح با خاک غیرسترون و خاک سترون)، با دو گیاه (ذرت و کاهو) و در سه تکرار انجام گرفت.

برای سترون‌کردن خاک ۵ کیلوگرم از نمونه های خاک عبور داده شده از الک ۲ میلیمتری درون اتوکلاو در دمای۱۲۰ درجه سلسیوس به مدت یک ساعت قرار داده شد و برای آماده‌سازی تیمار خاک سترون + تلقیح پس از ریختن مقدار معین خاک سترون درون گلدان ها (۳ کیلوگرم خاک برای گلدان های ذرت و ۵ کیلوگرم خاک برای گلدان های کاهو)، تعلیقی از خاک غیرسترون تهیه (۵۰ گرم خاک غیر سترون با ۱۰۰۰ میلی لیتر آب مقطر پس از قرار گرفتن به مدت ۳۰ ثانیه درون شیکر رفت و برگشتی، از کاغذ صافی عبور داده شد) و به هرگلدان مربوطه اضافه گردید. انتخاب تیمار خاک سترون + تلقیح با خاک غیر سترون به منظور بررسی اثرات اتوکلاو بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بود. به این معنی که پس از تلقیح خاک سترون با خاک غیر سترون احتمال می رود جمعیت میکروبی خاک سترون مشابه خاک غیر سترون شود. بنابراین از مقایسه تیمار خاک غیر سترون و تیمار خاک سترون + تلقیح می توان به تأثیراتی که اتوکلاو بر خصوصیات خاک گذاشته است پی برد. پس از آماده‌سازی گلدان ها،به منظور کاشت ذرت در هر گلدان ۱۰ بذر ذرت (رقم سینگل کراس ۷۰۴) کشت شد و پس از استقرار گیاهان شمار بوته ها به ۳ عدد تنک گردید. برای کشت کاهو ۷ بذر در هر گلدان کشت شد که پس از رسیدن گیاهچه ها به مرحله ۴ برگی شمار بوته ها به ۱ عدد تنک گردید. برای آبیاری گلدان ها با تیمارهای شیرابه، از نسبت ۲۰ درصد حجمی شیرابه و آب مقطر (۱لیتر شیرابه به علاوه ۴ لیتر آب مقطر) استفاده شد. انتخاب سطح ۲۰ درصد شیرابه، به علت نتایج تحقیقات دیگران و معرفی این سطح به عنوان سطح مناسب در افزایش عملکرد گیاه (گندم و ذرت) بود (الماسیان، ۱۳۸۳؛

گندمکار، ۱۳۷۵). برای تهیه شیرابه سترون محلول ۲۰ درصد شیرابه، در ارلن‌های دولیتری ریخته و به مدت یک ساعت درون اتوکلاو در دمای ۱۲۰درجه سلسیوس قرار داده شد. آبیاری گلدان های ذرت و کاهو به ترتیب با ۱۵۰ و ۲۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر، شیرابه غیرسترون و شیرابه سترون با توجه به وضعیت گیاه و رطوبت خاک هر دو یا سه روز یکبار انجام گرفت (در کل دوره رشد گیاه، به هر گلدان ذرت و کاهو به ترتیب ۱ و ۲/۵ لیتر شیرابه خالص اضافه شد). پس از گذشت سه ماه از کاشت ذرت و چهار ماه از کاشت کاهو، گیاهان به تفکیک اندام هوایی و ریشه (به استثناء کاهو که ریشه کمی تولید کرده بود) برداشت و پس از انتقال به آزمایشگاه به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سلسیوس در خشک کن قرار داده شده و پس از آن به وسیله آسیاب پودر شدند. نمونه‌های خشک و آسیاب‌شده گیاهان با استفاده از روش هضم خشک (Page و همکاران، ۱۹۸۲) عصاره‌گیری و غلظت عناصر کم مصرف آهن (Fe)، روی (Zn)، منگنز (Mn) و مس (Cu) در عصاره حاصل با دستگاه جذب اتمی[1] (مدل Shimadzu, AA-670) اندازه‌گیری شد. نمونه خاک گلدان ها پس از انتقال به آزمایشگاه در هوا خشک، کوبیده و از الک ۲ میلیمتری عبور داده شدند. به منظور تجزیه نمونه‌های خاک (قبل و بعد از آزمایش)، اندازه‌گیری بافت خاک به روش هیدرومتری، CEC به روش چاپمن (اشباع کلوئید های خاک با Na^+، جایگزینی یون های سدیم توسط استات آمونیوم ۱ مولار و اندازه گیری Na^+ توسط فلیم فتومتر)، pH نمونه‌های خاک در گل اشباع با pH متر، قابلیت هدایت‌الکتریکی عصاره گل اشباع به وسیله دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی، کربن آلی به روش واکلی‌وبلاک، نیتروژن کل به روش کلدال، فسفر قابل‌استفاده به روش اولسن، سدیم و پتاسیم محلول با استفاده از فتومتر شعله ای، کلسیم و منیزیم عصاره اشباع با استفاده از روش تیتراسیون با EDTA ۰/۰۱ نرمال و مقدار آهک به روش کلوت (خنثی کردن کربنات های خاک توسط اسید کلریدریک ۰/۵ نرمال و تیتراسیون اسید باقیمانده با سود ۰/۲۵ نرمال) انجام گرفت (Page و همکاران، ۱۹۸۲). مقدار قابل جذب عناصر غذایی کم مصرف خاک شامل آهن، روی، منگنز و مس به وسیله محلول ۰/۰۰۵ مولار DTPA با pH ۷/۳ عصاره‌گیری (Lindsay و Norvell، ۱۹۷۸) و توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. شیرابه حاصل از کمپوست زباله شهری از کارخانه کود آلی مشهد جمع‌آوری و خواص شیمیایی و غلظت فلزات در شیرابه، با همان روش هایی که برای نمونه های خاک به کار رفت تعیین شد. مقدار TOC[2] شیرابه توسط دستگاه TOC متر (مدل Shimadzu, TOC_{CPH}) و BOD شیرابه با روش تیتراسیون با تیو سولفات سدیم اندازه گیری شد. جمعیت باکتری ها و قارچ های خاک و شیرابه با روش شمارش تک‌کلنی[3] (Page و همکاران، ۱۹۸۲) برآورد شد. تجزیه واریانس نتایج با استفاده از نرم‌افزار MINITAB و مقایسه میانگین با روش آزمون چنددامنه‌ای دانکن و با استفاده از نرم‌افزار MSTAT انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه خاک و شیرابه کمپوست زباله شهری

نتایج تجزیه شیمیایی و زیستی خاک (قبل از کاشت) و شیرابه در جداول ۱ تا ۳ نشان داده شده است. تجزیه شیمیایی خاک مورد مطالعه پس از اتوکلاوکردن نشان داد که اتوکلاوکردن خاک سبب افزایش pH خاک (به مقدار ۰/۶ واحد) و فراهمی منگنز (به مقدار ۲ برابر) شد در حالی که سایر ویژگی های خاک تحت تأثیر اتوکلاو قرار نگرفت (جدول ۱). افزایش pH خاک (Dalton و همکاران، ۱۹۸۹) و فراهمی منگنز (Dalton و همکاران، ۱۹۸۹؛ Wolf و همکاران، ۱۹۸۹) در اثر اتوکلاوکردن خاک در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است. اتوکلاوکردن خاک با تغییر حلالیت منگنز، فراهمی منگنز در خاک را افزایش می‌دهد. در یک مطالعه افزایش فراهمی منگنز در اثر اتوکلاوکردن خاک به ایجاد شرایط کاهشی در خاک در اثر بخار اشباع تحت فشار و افزایش حلالیت اشکال معدنی منگنز و نیز رهایی منگنز از ماده آلی و سلولهای میکروارگانیزم‌ها نسبت داده شد (Skipper و Westermann، ۱۹۷۳).

تجزیه شیمیایی شیرابه کمپوست زباله (قبل از رقیق سازی) نیز نشان داد که شیرابه دارای pH اسیدی (برابر ۵/۸)، شوری زیاد (برابر ۲۲/۶ dS/m)، مقدار زیادی ماده آلی (برابر ۳/۱ درصد) و نمک های محلول است. همچنین ۶/۸ درصد شیرابه را ماده خشک تشکیل می‌دهد (جدول ۲). مطالعه ویژگی های شیرابه سترون و غیرسترون نشان داد که مقدار کل کربن آلی (TOC) شیرابه سترون نصف شیرابه غیرسترون و در نتیجه نسبت کربن به نیتروژن شیرابه سترون نیز کمتر از شیرابه غیرسترون است (جدول ۲). مطالعه جمعیت باکتری ها و قارچ ها در شیرابه (جدول ۳) نشان داد که این میکروارگانیزم‌ها به فراوانی در شیرابه

1- Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

2- Total Organic Carbon

3- Colony Forming Unit (CFU)

حضور دارند. جمعیت باکتریهای شیرابه ۸×۱۰^{۴} و جمیت قارچ های آن $۱۰^{۳}$ در هر میلی‌لیتر شیرابه می‌باشد (جدول ۳).

Tatsi و Zouboulis (۲۰۰۲) نشان دادند که ویژگی های شیرابه تحت تأثیر سن شیرابه (شیرابه تازه و کهنه) قرار دارد. به طوری که این محققان نشان دادند، به استثناء pH، مقادیر اندازه گیری شده سایر ویژگی ها (غلظت کاتیون ها و آنیون ها، EC، BOD و COD) در شیرابه تازه بالاتر از شیرابه کهنه است. کاهش BOD شیرابه با گذشت زمان که نشان دهنده کاهش تجزیه بیولوژیکی ماده آلی شیرابه است، احتمالاً بیانگر کاهش جمعیت میکروبی شیرابه با گذشت زمان نیز می باشد.

شیرابه به علت حضور اسیدهای آلی مانند اسیداستیک و اسیدلاکتیک، همچنین اسیدهای‌آمینه که به وفور در میوه‌ها و غذاهای پخته شده یافت می‌شود و احتمالاً اسیدهای معدنی که همراه زباله وارد کارخانه می‌شود دارای pH اسیدی است. قابلیت هدایت‌الکتریکی بالای شیرابه علاوه براینکه به وجود املاح محلول فراوان که در باقیمانده‌های غذاهای پخته‌شده یافت می‌شود، نسبت داده می‌شود به وجود مواد معدنی زیاد در شیرابه که از فرایند معدنی‌شدن در طی تجزیه بی‌هوازی زباله‌ها به وجود می‌آیند نیز مربوط می‌شود (Al-Yaqout و Hamoda، ۲۰۰۳). با اتوکلاوکردن شیرابه در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس، مقدار زیادی از کربن آلی موجود در شیرابه (مانند اسیدهای‌چرب‌فرار) به صورت CO_2 خارج می‌شود، در نتیجه مقدار TOC شیرابه سترون بسیار کمتر از شیرابه غیرسترون است (جدول ۲)، بنابراین ماده آلی در ماده خشک شیرابه سترون کمتر و برابر ۲۲ درصد می‌باشد.

بین عناصرغذایی کم‌مصرف، آهن بیشترین غلظت را در شیرابه دارد. آهن موجود در شیرابه ممکن است ناشی از وجود زائدات آهن و استیل در زباله باشد (Al-Yaqout و Hamoda، ۲۰۰۳). فلز روی (Zn) جزء عناصرغذایی کم مصرف گیاه است و همراه ماده آلی موجود در زباله وارد شیرابه می‌شود. بخش عمده روی (Zn) موجود در شیرابه احتمالاً در اثر وجود زائدات باتری و لامپ های روشنایی و فلورسنت در زباله می‌باشد (Al-Yaqout و Hamoda، ۲۰۰۳). عناصر مس و منگنز هم از عناصرغذایی کم‌مصرف گیاه می‌باشند و در زباله‌هایی که قسمت عمده آن را بقایای گیاهی و حیوانی تشکیل می‌دهد وجود دارند.

وزن خشک اندام هوایی ذرت و کاهو

اضافه‌کردن شیرابه (غیرسترون و سترون) سبب افزایش معنی‌دار ($P \leq ۰/۰۵$) وزن‌خشک اندام‌هوایی ذرت شد. به‌طوری که وزن خشک ذرت از ۵/۴۸ گرم‌در گلدان در تیمار آب مقطر به ۸/۸۲ و ۹/۰۳ گرم‌در گلدان به ترتیب در تیمار شیرابه غیرسترون و شیرابه سترون افزایش یافت (شکل ۱- الف). افزایش عملکرد گیاه در اثر کاربرد شیرابه توسط پژوهشگران دیگر نیز گزارش شده است (گندمکار، ۱۳۷۵؛ خوشگفتارمنش و کلباسی، ۱۳۸۱؛ الماسیان، ۱۳۸۳). افزایش قابل توجه وزن خشک گیاه به دنبال کاربرد شیرابه نه تنها ناشی از وجود عناصرغذایی مختلف در شیرابه است (جدول ۲)، بلکه احتمالاً به دلیل ماده آلی شیرابه و همچنین pH اسیدی آن است. کاهش pH خاک به دنبال کاربرد شیرابه، سبب افزایش جذب عناصر کم مصرف توسط گیاه می‌شود که در نتیجه آن عملکرد گیاه افزایش می‌یابد.

در مورد اثر تیمارهای خاک بر وزن خشک گیاه، مشاهده شد که وزن خشک ذرت و کاهو در خاک سترون به طور معنی‌داری ($P \leq ۰/۰۵$) نسبت به خاک غیرسترون کاهش یافت (شکل ۱- ب). Sonneveld و Voogt (۱۹۷۳) علت کاهش رشد کاهو در خاکهای اتوکلاوشده را جذب زیاد منگنز توسط کاهو و تغییر در وضعیت نیتروژن خاک (افزایش نیتریت) به دنبال اتوکلاوکردن خاک گزارش کردند. هر چند در این مطالعه سمیت منگنز در گیاه مشاهده نشد. با وجود افزایش فراهمی عناصر خاک در اثر سترون‌کردن خاک (با اتوکلاو) (Skipper و Westermann، ۱۹۷۳) عملکرد گیاه در خاک سترون کاهش یافت. اگر چه اتوکلاو کردن خاک سبب شکستن ماکرومولکول هایی مثل پروتئین ها و هومات ها و رها شدن گروه های آلی دارای عناصر غذایی (مثل نیتروژن، فسفر و گوگرد) در خاک می شود، ولی تحرک این عناصر غذایی نیازمند فعالیت میکروبی است (Rroco و همکاران، ۲۰۰۳). بنابر این شکستن مولکول های درشت آلی در اثر اتوکلاو کردن خاک در تأمین عناصر غذایی و در نتیجه افزایش عملکرد گیاه نقش موثری نداشته است. هر چند افزایش عملکرد گندم در خاک سترون‌شده (اتوکلاو) به علت کاهش رقابت میکروارگانیزم‌ها با گیاه برای عناصرغذایی، از بین رفتن میکروارگانیزم‌های بیماری زا و به ویژه رهایی عناصر غذایی در خاک در اثر اتوکلاو گزارش شده است (Marschner و Rumberger، ۲۰۰۴).

فراهمی عناصر کم‌مصرف و برخی ویژگی های خاک

نتایج تجزیه شیمیایی خاکها نشان داد که شیرابه باعث کاهش pH خاک شد (جدول۴). مشابه چنین نتیجه‌ای در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (خوشگفتار منش و کلباسی، ۱۳۸۱؛ الماسیان، ۱۳۸۳؛ گندمکار، ۱۳۷۵). کاهش pH خاک در اثر کاربرد شیرابه

علاوه بر این که به pH اسیدی شیرابه نسبت داده می‌شود، به شوری زیاد شیرابه (EC برابر ۲۲/۶ dS/m) که نشان‌دهنده حضور املاح محلول فراوان در شیرابه می‌باشد نیز مربوط است. بدین معنی که در اثر کاربرد شیرابه غلظت کاتیون ها در فاز محلول خاک به مقدار زیادی افزایش می‌یابد که با افزایش غلظت کاتیون های محلول خاک، این کاتیون ها با کاتیون های موجود در سطوح تبادلی و از جمله H^+ تبادلی جایگزین شده و بدین ترتیب H^+ وارد محلول خاک می شود و pH خاک کاهش می‌یابد. همچنین تجزیه زیستی ماده آلی در خاک نیز منجر به تشکیل اسیدهای آلی و کاهش pH خاک می‌شود (Lindsay، ۱۹۹۲). کاهش pH خاک اثر مثبتی بر قابلیت جذب عناصر غذایی به ویژه آهن، روی، منگنز و مس دارد. به ازاء هر واحد کاهش pH خاک، حلالیت آهن هزار برابر و حلالیت منگنز صد برابر افزایش می‌یابد (Lindsay، ۱۹۹۲). شیرابه به علت دارابودن شوری بالا (جدول ۲) سبب افزایش قابلیت هدایت‌الکتریکی خاک شد. افزایش کربن آلی خاک به دنبال کاربرد شیرابه در نتیجه وجود مقداری کربن آلی در شیرابه است (شیرابه غیرسترون ۳/۱ درصد و شیرابه سترون ۱/۵ درصد کربن آلی داشت). با وجودیکه مقدار کربن آلی شیرابه سترون نصف شیرابه غیرسترون می‌باشد، اما تفاوت معنی‌دار ($P \leq ۰/۰۵$) در کربن آلی خاک بین این دو تیمار احتمالاً به علت تجزیه بیشتر کربن آلی در تیمار شیرابه غیرسترون در نتیجه حضور میکروارگانیزم‌ها، مشاهده نشد (جدول ۴).

افزایش مقدار قابل استفاده آهن به دنبال کاربرد شیرابه (جدول ۴) نشان می‌دهد که شیرابه کمپوست زباله منبع خوبی برای تأمین آهن گیاه است. گندمکار (۱۳۷۵) نیز گزارش کرد کاربرد ۳۰ درصد حجمی شیرابه و آب سبب افزایش فراهمی آهن در خاک شد. کمبود آهن یکی از مشکلات تغذیه گیاهان در اغلب خاکهای آهکی ایران می‌باشد. زیرا آهن در این خاکها به شکل اکسیدهای آهن حضور دارد که به آسانی قابل‌دسترس برای گیاه نیست. افزایش آهن قابل استفاده در خاک علاوه بر اینکه به وجود مقدار به نسبت زیادی آهن در شیرابه (جدول ۲) نسبت داده می‌شود به کاهش pH خاک و افزایش شوری خاک در اثر کاربرد شیرابه نیز مربوط است. کاهش pH خاک (Lindsay، ۱۹۹۲) و افزایش قابلیت هدایت‌الکتریکی خاک (De Pascale و همکاران، ۲۰۰۵) فراهمی آهن را افزایش می‌دهد. با وجود مقدار به نسبت بالای روی در شیرابه (جدول ۲)، کاربرد شیرابه در خاک فراهمی روی را افزایش نداد (جدول ۴). مشابه چنین نتیجه‌ای در یک مطالعه دیگر نیز بدست آمد (رضوی طوسی، ۱۳۸۰). هر چند مطالعاتی وجود دارد که نشان می‌دهد فراهمی روی در اثر کاربرد شیرابه افزایش یافته است (گندمکار، ۱۳۷۵). فراهمی منگنز نیز در اثر کاربرد شیرابه افزایش پیدا نکرد که می‌تواند به علت فسفر به نسبت بالا در خاک مورد مطالعه باشد. مشخص شده است که در خاکهای با فسفر زیاد، جذب منگنز به سطح اکسیدها زیاد است و در نتیجه فراهمی منگنز کاهش می‌یابد (Neilsen و همکاران، ۱۹۹۲).

در مورد مس نیز می‌توان گفت که غلظت کم مس در شیرابه، سبب شد که فراهمی مس در خاک افزایش پیدا نکند. مشابه چنین نتیجه‌ای در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (رضوی طوسی، ۱۳۸۰).

جدول ۴ همچنین نشان می‌دهد که pH، هدایت‌الکتریکی و کربن آلی خاک پس از برداشت گیاه تحت تأثیر سترون‌کردن خاک قرار نگرفت. Shaw و همکاران (۱۹۹۹) و Wolf و همکاران (۱۹۸۹) نیز چنین نتیجه‌ای را گزارش کردند. هر چند مطالعاتی وجود دارد که نشان می‌دهد pH خاک در اثر اتوکلاوکردن (به علت حلالیت اسیدهای آلی) کاهش و کربن آلی خاک افزایش (Powlson و Jenkinson، ۱۹۷۶) می‌یابد.

جدول ۴ همچنین نشان می‌دهد که سترون‌کردن خاک فراهمی آهن، روی و مس را تغییر نداد. Dalton و همکاران (۱۹۸۹) نیز چنین نتیجه‌ای را بدست آوردند. هر چند مطالعاتی وجود دارد که نشان می‌دهد فراهمی آهن، روی و مس در اثر اتوکلاوکردن کاهش می‌یابد (Wolf و همکاران، ۱۹۸۹). علت عدم تأثیر معنی‌دار سترون‌کردن خاک (اتوکلاو) بر فراهمی آهن ممکن است اثرات آنتاگونیستی بین آهن و منگنز باشد. زیرا فراهمی منگنز در اثر اتوکلاوکردن خاک به طور معنی‌داری افزایش یافته است (جدول ۴). در یک مطالعه گزارش شد که سترون‌کردن خاک با بخار، غلظت منگنز تبادلی را در خاکهای با آهن تبادلی پایین افزایش داد اما سطوح منگنز را در خاکهای با مقدار آهن بالا تغییر نداد (Cheng و Quellette، ۱۹۷۰). جدول ۴ نشان می‌دهد که فراهمی منگنز در اثر سترون‌کردن خاک (اتوکلاو) به طور معنی‌داری ($P \leq ۰/۰۵$) افزایش یافته است. به طوری که فراهمی منگنز از ۶/۰۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار خاک غیرسترون به ۱۱/۷ و ۱۲/۰۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ترتیب در تیمار خاک سترون + تلقیح و تیمار خاک سترون افزایش یافت. سترون‌کردن خاک با تغییر حلالیت منگنز روی فراهمی منگنز در خاک تأثیر می‌گذارد. افزایش فراهمی منگنز خاک در اثر اتوکلاو کردن خاک در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (Cheng و Quellette، ۱۹۷۰؛ Dalton و همکاران، ۱۹۷۰).

غلظت برخی عناصر کم مصرف در ذرت و کاهو

همانطور که در قسمت قبل اشاره شد اضافه‌کردن شیرابه به خاک باعث افزایش فراهمی آهن در خاک شد (جدول ۴). بنابراین انتظار می‌رود غلظت آهن گیاه (اندام هوایی و ریشه) نیز با اضافه‌کردن شیرابه به خاک افزایش یابد. جدول ۵ غلظت عناصر کم‌مصرف در اندام‌هوایی ذرت و کاهو در تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، بین تیمارهای مختلف آبیاری از لحاظ غلظت آهن در اندام‌هوایی ذرت و کاهو اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (جدول ۵). دلیل عدم افزایش غلظت آهن در اندام‌هوایی ذرت و کاهو در صورتیکه فراهمی آهن در اثر کاربرد شیرابه افزایش یافت، تجمع آهن در ریشه گیاه است (جدول ۶). زیرا آهن پیوندهای محکم با سلولهای ریشه ایجاد می‌کند و تحرک کمی در گیاه دارد.

با وجود عدم افزایش معنی‌دار فراهمی روی در تیمارهای شیرابه (جدول ۴) غلظت روی در ذرت و کاهو در اثر کاربرد شیرابه به طور معنی‌داری ($P \leq ۰/۰۵$) افزایش یافت. به طوریکه غلظت روی در اندام‌هوایی ذرت از ۶۵/۹۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار آب مقطر به ۲۵۰/۱ و ۲۴۹/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ترتیب در تیمار شیرابه غیرسترون و تیمار شیرابه سترون افزایش یافت. غلظت روی در اندام‌هوایی کاهو نیز از ۸۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار آب مقطر به ۱۵۱/۹ و ۱۹۰/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ترتیب در تیمار شیرابه غیرسترون و تیمار شیرابه سترون افزایش یافت. این امر نشان می‌دهد که در خاکهای مخلوط شده با شیرابه عصاره‌گیر DTPA، عصاره‌گیر مناسبی برای استخراج فرم قابل‌جذب روی نیست و در این خاکها فراهمی روی را کمتر از حد واقعی نشان می‌دهد. جدول ۵ همچنین نشان می‌دهد که غلظت آهن در اندام هوایی کاهو در کلیه تیمارها (تیمارهای آبیاری و تیمارهای خاک) به طور معنی‌داری ($P \leq ۰/۰۵$) بیشتر از ذرت است. با وجود اینکه ذرت (تک لپه) توانایی تولید سیدروفور را دارد، در حالیکه کاهو (دو لپه) قادر به انجام این عمل نیست. علت این امر تجمع بیشتر آهن در ریشه ذرت است (جدول ۶). رضایی نژاد و افیونی (۱۳۷۹) گزارش کردند که انتقال فلزات مخصوصاً آهن در ذرت به آسانی صورت نمی‌گیرد. علاوه بر این در یک مطالعه مشاهده شد که تجمع عناصر کم مصرف در غلات و حبوبات کمتر از گیاهان برگی (کاهو و اسفناج) است (Sterritt و Lester، ۱۹۸۰). غلظت منگنز نیز در کلیه تیمارها (به استثناء تیمار خاک غیرسترون) در اندام‌هوایی کاهو بیشتر از ذرت است. Bromfield (۱۹۷۸) نیز مشاهده کرد که در شرایط حضور باکتری های اکسیدکننده منگنزکه جذب منگنز توسط یولاف کاهش یافت، کلم در این شرایط مقادیر قابل‌توجهی منگنز جذب کرد. اختلاف در توانایی دو گیاه در انحلال منگنز از اکسیدهای منگنز به خصوص در حضور باکتری های اکسیدکننده منگنز علت این اختلاف ذکر شد. همچنین غلظت روی در اندام‌هوایی ذرت در کلیه تیمارها (به استثناء تیمار خاک غیرسترون و تیمار آب مقطر) به طور معنی‌داری ($P \leq ۰/۰۵$) بیشتر از کاهو است. جذب بیشتر روی در ذرت نسبت به کاهو به بزرگتربودن اندام‌هوایی و ریشه ذرت مربوط است که آب بیشتری را نیز جذب می‌کند و با افزایش جذب آب، جذب روی در گیاه نیز افزایش می‌یابد. همچنین سیستم ریشه‌ای گسترده‌تر ذرت نسبت به کاهو سبب جذب بیشتر روی در گیاه شده است. در یک مطالعه گزارش شد که جذب روی با افزایش طول ریشه افزایش می‌یابد (Nambiar، ۱۹۷۶).

همانطور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود غلظت آهن، روی، منگنز و مس در ذرت و کاهو در تیمار شیرابه غیرسترون تفاوت معنی‌داری با تیمار شیرابه سترون ندارد. با سترون‌کردن شیرابه و حذف میکروارگانیزم‌های آن انتظار می‌رود غلظت این عناصر در گیاه در تیمار شیرابه سترون و غیرسترون متفاوت باشد. یکی از علل آن می‌تواند شوری خاک به دنبال کاربرد شیرابه غیرسترون و سترون باشد. زیرا شوری خاک هم جمعیت میکروبی و هم فعالیت میکروبی خاک را کاهش می‌دهد (Rietz و Haynes، ۲۰۰۳). بنابراین از تأثیر میکروارگانیزم‌های شیرابه بدین‌ترتیب کاسته می‌شود. همچنین در مورد مس می‌توان گفت که مس می‌تواند با پلیمرهای برون‌یاخته‌ای میکروارگانیزم‌ها پیوند برقرار کند و در سطح آنها تجمع یابد (DurSun و همکاران، ۲۰۰۳؛ Yilmaz، ۲۰۰۳). با تجمع مس شیرابه بر سطح میکروارگانیزم‌های موجود در آن انتظار می‌رود با سترون‌کردن شیرابه و از بین رفتن میکروارگانیزم‌ها، مس جذب شده در سطح میکروارگانیزم‌ها رهاشده و جذب مس در گیاه افزایش یابد. اما به علت اینکه با سترون‌کردن شیرابه، کربن آلی محلول شیرابه به نصف کاهش یافت (جدول ۲)، حلالیت مس و قابلیت جذب آن بدین‌ترتیب کاهش یافته و تفاوت معنی‌داری در غلظت مس گیاه در تیمار شیرابه سترون و شیرابه غیرسترون مشاهده نمی‌شود (جدول ۵).

جدول ۵ همچنین نشان می‌دهد که سترون‌کردن خاک تأثیری در غلظت آهن ذرت نداشت، اما سبب کاهش معنی‌دار ($P \leq ۰/۰۵$) غلظت آهن در کاهو شد. به طوریکه غلظت آهن کاهو از ۵۳۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار خاک غیرسترون به ۲۵۳/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار

خاک سترون کاهش یافت. علت کاهش غلظت آهن کاهو در تیمار خاک سترون این است که میکروارگانیزم‌های تولیدکننده سیدروفور موجود در خاک در اثر سترون‌کردن خاک از بین رفته‌اند. ولی در تیمارهای خاک غیرسترون و سترون + تلقیح، چون این میکروارگانیزم‌ها حضور دارند سیدروفور میکروبی تولیدشده، سبب افزایش جذب آهن در کاهو شده است. ولی ذرت چون توانایی تولید سیدروفور را دارد (Crowly و همکاران، ۱۹۹۲)، در شرایط عدم حضور سیدروفورهای میکروبی، سیدروفورهای تولید شده توسط گیاه سبب افزایش غلظت آهن در گیاه می‌شود. همچنین غلظت آهن در تیمار خاک سترون + تلقیح تفاوت معنی‌داری با تیمار خاک غیرسترون ندارد. این نشان می‌دهد که بعد از تلقیح خاک سترون با خاک غیرسترون، جمعیت میکروارگانیزم‌های خاک سریع افزایش یافته است (Marschner و Rumberger، ۲۰۰۴؛ Shaw و همکاران، ۱۹۹۹).

جدول ۵ همچنین نشان می‌دهد که سترون‌کردن خاک تأثیری در غلظت روی ذرت نداشت، اما سبب کاهش معنی‌دار ($P \leq ۰/۰۵$) غلظت روی در کاهو شد. به طوری که غلظت روی در کاهو از ۲۰۷/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار خاک غیرسترون به ۱۳۸/۷ و ۷۶/۴۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ترتیب در تیمار خاک سترون + تلقیح و تیمار خاک سترون کاهش یافت. علت آن اثرات آنتاگونیستی روی و منگنز می‌باشد. زیرا در این تیمارها غلظت منگنز به طور معنی‌داری بیشتر از خاک غیرسترون است (جدول ۵). جدول ۵ همچنین نشان می‌دهد که سترون‌کردن خاک سبب افزایش غلظت منگنز در اندام هوایی ذرت و کاهو شد. به طوری که غلظت منگنز ذرت از ۶۵/۳۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار خاک غیرسترون به ۱۷۸/۴ و ۱۰۸/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ترتیب در تیمار خاک سترون + تلقیح و تیمار خاک سترون افزایش یافت. غلظت منگنز کاهو نیز از ۵۶/۶۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار خاک غیرسترون به ۲۰۰ و ۲۷۸/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ترتیب در تیمار خاک سترون + تلقیح و تیمار خاک سترون افزایش یافت. Sonneveld و Voogt، ۱۹۷۳ گزارش کردند که غلظت منگنز کاهو در خاکهای سترون شده با بخار ۱۰۰ درجه سانتیگراد بسیار بالاتر از تیمار خاک غیرسترون است که علت آن رهاشدن منگنز در طی سترون‌کردن خاک با اتوکلاو می‌باشد (Cheng و Quellette، ۱۹۷۰؛ Dalton و همکاران، ۱۹۷۰).

نتیجه گیری

۱- کاربرد شیرابه در خاک، سبب افزایش وزن خشک گیاه شد. بنابراین شیرابه با تأمین آب و عناصر غذایی مورد نیاز گیاه می تواند رشد گیاه را افزایش دهد.

۲- کاربرد شیرابه جذب آهن، روی و منگنز را در گیاه افزایش داد اما مس گیاه زیر تأثیر کاربرد شیرابه قرار نگرفت. بنابراین شیرابه به عنوان یک کود آلی مایع حاوی عناصر کم مصرف، برای تأمین بخشی از نیاز گیاه به آهن، روی و منگنز مناسب است ولی در تأمین مس گیاه نقشی ندارد.

۳- در شرایط عدم حضور سیدروفورهای میکروبی، سیدروفورهای تولید شده توسط ذرت (C4) سبب افزایش جذب آهن در گیاه می شود در حالی که به علت عدم توانایی کاهو (C3) در تولید سیدروفور در شرایط عدم حضور سیدروفورهای میکروبی، جذب آهن در کاهو کاهش می یابد.

جدول۱- بعضی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

ویژگی	واحد	خاک غیرسترون	خاک سترون
بافت	-	لوم شنی	لوم شنی
pH	-	۷/۶	۸/۲
EC	dSm^{-1}	۲/۲	۲/۶
OC	٪	۰/۳	۰/۳
CEC	$cmol^{(+)}kg^{-1}$	۱۹	۱۶
آهک محلول	٪	۱۳	۱۲
نیتروژن کل	٪	۰/۰۳	۰/۰۳
P_{av}	$mgkg^{-1}$	۱۵	۱۸
K *	mgl^{-1}	۲۱	۲۰
Na *	mgl^{-1}	۲۱۶	۲۵۵
Ca *	mgl^{-1}	۱۱۱	۱۱۳
Mg *	mgl^{-1}	۳۲۷	۳۱۱
Fe**	$mgkg^{-1}$	۱/۵	۱/۷
Zn**	$mgkg^{-1}$	۳/۲	۲/۹
Mn**	$mgkg^{-1}$	۹/۲	۱۴/۷
Cu**	$mgkg^{-1}$	۰/۲۲	۰/۲۳

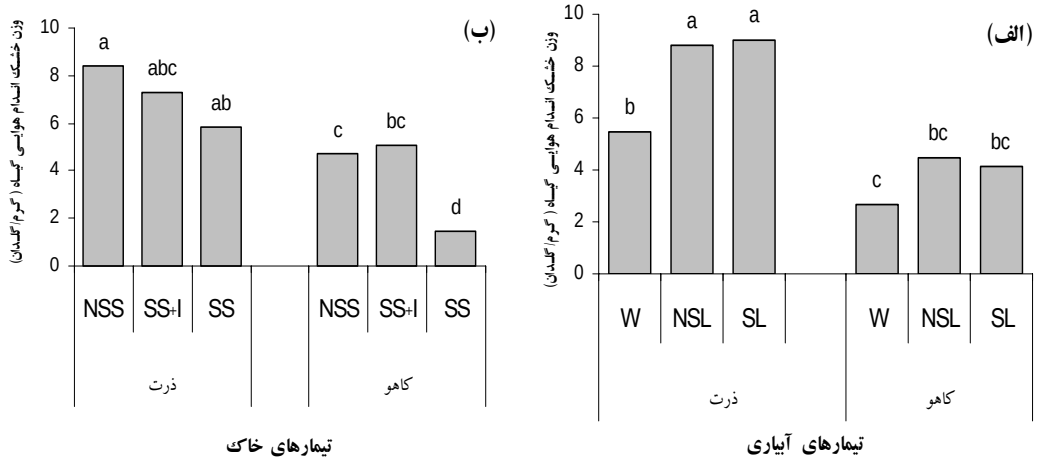
داده‌ها مربوط به عصاره اشباع می‌باشند.**عصاره‌گیری شده با DTPA

جدول ۲- برخی ویژگی های شیمیایی شیرابه (سترون و غیرسترون)

ویژگی	واحد	شیرابه غیرسترون	شیرابه سترون
pH	–	۵/۸	۵/۴
EC	dSm^{-1}	۲۲/۶	۲۳/۰
BOD	mgl^{-1}	۶۰۰۰	–
کربن آلی محلول	٪	۳/۱	۱/۵
ماده خشک	٪	۶/۸	۶/۸
نیتروژن کل	٪	۰/۱۸	۰/۱۵
نیتروژن معدنی	٪	۰/۰۶	۰/۰۶
P	mgl^{-1}	۱۰۶	۱۱۰
K	٪	۰/۲۴	۰/۲۱
Na	٪	۰/۲۰	۰/۲۱
Ca	٪	۰/۲۴	۰/۲۴
Mg	٪	۰/۰۸	۰/۰۶
C/N	–	۱۷	۱۰
Fe	mgl^{-1}	۳۲/۲	–
Zn	mgl^{-1}	۱۶/۳	–
Mn	mgl^{-1}	۱۱/۲	–
Cu	mgl^{-1}	۰/۳۵	–

جدول ۳- نتایج شمارش باکتریها و قارچ ها در هر میلی لیتر شیرابه و هر گرم خاک

باکتری/قارچ	خاک	شیرابه
باکتری	۳×۱۰^{۴}	۱۸×۱۰^{۴}
قارچ	۷×۱۰^{۲}	۱×۱۰^{۳}



شکل ۱- (الف) اثر تیمارهای آبیاری (W = آب مقطر،NSL = شیرابه غیرسترون و SL = شیرابه سترون) و (ب) تیمارهای خاک (NSS = خاک غیرسترون، SS+I = خاک سترون + تلقیح با خاک غیرسترون و SS = خاک سترون) بر وزن خشک اندام‌هوایی ذرت و کاهو

جدول۴- اثر تیمارهای آبیاری و تیمارهای خاک بر برخی ویژگی های خاک پس از برداشت گیاه

تیمار	pH (-)	EC (dSm^{-1})	OC (٪)	Fe* ($mgkg^{-1}$)	Zn* ($mgkg^{-1}$)	Mn* ($mgkg^{-1}$)	Cu* ($mgkg^{-1}$)
تیمارهای آبیاری							
آب مقطر	۷/۷ a**	۱/۳۱ b	۰/۲۵ b	۱/۸۱ b	۳/۰۷ a	۸/۰۳ a	۰/۲۴ a
شیرابه غیرسترون	۷/۶ b	۵/۰۸ a	۰/۳۵ a	۳/۵۵ a	۳/۰۴ a	۹/۹۶ a	۰/۲۱a
شیرابه سترون	۷/۵ b	۵/۴۵ a	۰/۳۵ a	۳/۲۱ a	۲/۸۵ a	۹/۸۲ a	۰/۲۰ a
تیمارهای خاک							
خاک غیرسترون	۷/۶ a	۳/۹۰ a	۰/۳۳ a	۳/۱۰ a	۲/۸۸ a	۶/۰۱ a	۰/۲۱ a
خاک سترون + تلقیح	۷/۶ a	۳/۸۳ a	۰/۳۰ a	۲/۵۷ a	۲/۹۲ a	۱۱/۷۰ b	۰/۲۰ a
خاک سترون	۷/۶ a	۴/۱۱ a	۰/۳۲ a	۲/۹۱ a	۳/۱۵ a	۱۲/۰۲ b	۰/۲۳ a

* عصاره‌گیری شده با DTPA

** در هر ستون در مورد تیمارهای آبیاری و تیمارهای خاک میانگین هایی که دارای حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی دار ندارند.

جدول۵- اثر تیمارهای آبیاری و خاک بر غلظت ($mgkg^{-1}$) عناصر کم‌مصرف در اندام‌هوایی ذرت و کاهو

تیمار	گیاه	آهن	روی	منگنز	مس
تیمارهای آبیاری					
آب مقطر	ذرت	۱۵۰/۰ b*	۶۶/۰ d	۱۲۵/۷ ab	۱۲/۸ a
	کاهو	۵۰۹/۰ a	۸۱/۰ d	۱۷۶/۳ a	۱۲/۳ a
شیرابه غیرسترون	ذرت	۱۲۷/۱ b	۲۵۰/۱ a	۱۲۸/۰ ab	۶/۵ ab
	کاهو	۴۶۰/۳ a	۱۵۱/۹ c	۱۸۴/۹ a	۱۰/۴ a
شیرابه سترون	ذرت	۱۲۸/۴ b	۲۴۹/۱ a	۹۸/۴۵ b	۷/۱ ab
	کاهو	۴۳۸/۵ a	۱۹۰/۱ b	۱۷۳/۸ a	۱۲/۲ a
تیمارهای خاک					
خاک غیرسترون	ذرت	۱۳۰/۱ b	۱۹۸/۶ ab	۶۵/۴ c	۱۰/۲ a
	کاهو	۵۳۲/۵ a	۲۰۷/۸ b	۵۶/۶ c	۱۴/۴ a
خاک سترون + تلقیح	ذرت	۱۳۹/۷ b	۱۷۹/۴ b	۱۷۸/۴ b	۹/۷ ab
	کاهو	۶۲۱/۳ a	۱۳۸/۷ c	۲۰۰/۰ b	۹/۴ ab
خاک سترون	ذرت	۱۳۵/۸ b	۱۸۷/۲ b	۱۰۸/۴ c	۱۱/۶ a
	کاهو	۲۵۳/۹ b	۷۶/۵ d	۲۷۸/۵ a	۱۱/۱ a

* در هر ستون در مورد تیمارهای آبیاری و تیمارهای خاک میانگین هایی که دارای حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی دار ندارند.

جدول۶- اثر تیمارهای آبیاری و خاک بر غلظت ($mgkg^{-1}$) عناصر کم‌مصرف در ریشه ذرت

تیمار	آهن	روی	منگنز	مس
تیمارهای آبیاری				
آب مقطر	۲۱۴۵ b*	۸۳/۴۹ a	۱۵۷/۴ a	۲۷/۷۷ a
شیرابه غیرسترون	۳۵۵۰ a	۹۱/۷۷ a	۱۳۹/۹ a	۱۶/۹۸ a
شیرابه سترون	۳۲۳۰ a	۹۴/۶۷ a	۱۵۳/۹ a	۲۳/۶۶ a
تیمارهای خاک				
خاک غیرسترون	۲۷۵۷ a	۹۵/۴۸ a	۷۳/۴ b	۱۵/۷۶ a
خاک سترون + تلقیح	۲۸۸۰ a	۸۲/۷۲ a	۲۲۲/۷ a	۲۲/۶۵ a
خاک سترون	۲۸۹۵ a	۹۱/۷۳ a	۱۵۵/۱ ab	۳۰/۰۰ a

- در هر ستون در مورد تیمارهای آبیاری و تیمارهای خاک میانگین هایی که دارای حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی دار ندارند.

فهرست منابع:

۱. الماسیان، ف. ۱۳۸۳. تأثیر شیرابه حاصل از کمپوست زباله‌های شهری بر خصوصیات شیمیایی خاک و عملکرد و اجزای عملکرد گیاه گندم. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته خاکشناسی دانشکده کشاورزی. دانشگاه فردوسی مشهد

۲. خوشگفتارمنش، ا.ج. و کلباسی، م. ۱۳۸۱. اثر باقیمانده شیرابه بر ویژگی‌های خاک و رشد و عملکرد گندم. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. جلد۶، شماره۳. ص۱۴۸-۱۴۱

۳. رضایی نژاد، ی. و افیونی، م. ۱۳۷۹. اثر مواد آلی بر خواص شیمیایی خاک، جذب عناصر به وسیله ذرت و عملکرد آن. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. جلد۴، شماره۴. ص۲۹-۱۹

۴. رضوی طوسی، ا. ۱۳۸۰. برهمکنش کمپوست، شیرابه کمپوست و منگنز بر رشد و ترکیب شیمیایی اسفناج و برنج. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته خاکشناسی دانشکده کشاورزی. دانشگاه شیراز

۵. صالح راستین، ن. ۱۳۵۷. بیولوژی خاک (موجودات خاکزی و نقش آنها در گردش عناصر). انتشارات دانشگاه تهران

۶. صفری سنجانی، ع.ا. ۱۳۸۲. بیولوژی و بیوشیمی خاک. انتشارات دانشگاه بو علی سینا

۷. گندمکار، ا. ۱۳۷۵. اثر شیرابه زباله و شیرابه کمپوست بر خصوصیات خاک و رشد و عملکرد گیاه ذرت. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته خاکشناسی دانشکده کشاورزی. دانشگاه صنعتی اصفهان

8. Al-Yaqout, A.F., and Hamoda, M.F. 2003. Evaluation of landfill leachate in arid climate-a case study. Environment International. 29: 593-600
9. Brar, M.S., Malhi, S.S., Singh, A.P., Arora, C.L., and Gill, K.S. 2000. Sewage water irrigation effects on some potentially toxic trace elements in soil and potato plants in northwestern India. Canadian Journal of Soil Science. 80: 465-471
10. Bromfield, S.M. 1978. The effect of manganese-oxidizing bacteria and pH on the availability of manganous ions and manganese of oxides to oats in nutrient solution. Plant and Soil. 49: 23-39
11. Cheng, B.T., and Quellette, G.J. 1970. Effects of steam sterilization and organic amendments on the manganese status and associated characteristics of acid soils. Soil Science. 110: 383-388
12. Crowly, D.E., Romheld, V., Marschner, H., and Szaniszlo, P.J. 1992. Root – microbial effects on plant iron uptake from siderophores and phytosiderophores. Plant and Soil. 142: 1-7
13. Dalton, B.R., Blum, U., and Weed, S.B. 1989. Plant phenolic acids in soils: sorption of ferulic acid by soil and soil components sterilized by different techniques. Soil Biology and Biochemistry. 21: 1011-1018
14. De Pascale, S., Maggio, A., and Barbieri, G. 2005. Soil salinization effects growth, yield and mineral composition of cauliflower and broccoli. European Journal of Agronomy. 23: 254-264
15. Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Society of American Journal. 42: 421-428
16. Lindsay, W.L. 1992. Chemical equilibria in soils. John Wiley and sons. New York
17. Marschner, P., Rumberger, A. 2004. Rapid changes in the rhizosphere bacteria community structure during re-colonization of sterilized soil. Biology and Fertility of Soils. 40: 1-6
18. Nambiar, E.K.S. 1976. The uptake of zinc - 65 by oats in relation to soil water content and root growth. Australian Joutnal of Soil Research. 14:67-74
19. Neilsen, D., Neilsen, G.H., Sinclair, A.H., and Linehan, D.J. 1992. Soil phosphorus status, pH and the manganese nutrition of wheat. Plant and Soil. 145: 45-50

20. Page, A.L., Miller, R.H., and Kenny, D.R. 1982. Methods of soil analysis part 2: chemical and microbiological properties. 2nd edition. ASA. SSSA. Madison. Wisconsin. USA
21. Pais,I., and JJ.Benton.1997. The handbook of trace elements. St.Lucie Press. Boca. Raton. Florida
22. Powlson, D.S., and Jenkinson, D.S. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soils-II. Gamma irradiation, autoclaving, air-drying and fumigation. Soil Biology and Biochemistry. 8: 179-188
23. Rietz, D.N., and Haynes, R.J. 2003. Effects of irrigation – inducrd salinity and sodicity on soil microbial activity. Soil Biology and Biochemistry. 35: 845-854
24. Rroco,E., Kosegarten,H., Harizaj,F., Imani,J., and Mengel,K.2003. The importance of soil microbial activity for the supply of iron to sorghum and rape. Europian Journal of Agronomy. 19:487-493
25. Shaw, L.J., Beaton, Y., Glover, L.A., Killham, K., and Mehary, A.A. 1999. Re-inoculation of autoclaved soil as a non-sterile treatment for xenobiotic sorption and biodegradation studies. Applied Soil Ecology. 11: 217-226
26. Skipper, H.D., and Westermann, D.T. 1973. Comparative effects of propylene oxide, sodium azide, and autoclaving on selected soil properties. Soil Biology and Biochemistry. 5: 409-414
27. Sonneveld, C., and Voogt, S. 1973. The effects of soil sterilization with steam-air mixtures on the development of some glasshouse crops. Plant and Soil. 38: 418-423
28. Sterritt, R.M., and Lester, J.N. 1980. The value of sewage sludge to agriculture and effects of the agricultural use of sludges contaminated with toxic elements: A review. The Science of the Total Environment. 16: 55-90
29. Tatsi,A.A., and Zouboulis,A.I.2002. A field investigation of the quantity and quality of leachate from a municipal solid waste landfill in a Mediterranean climate (Thessaloniki,Greece). Advances in Environmental Research. 6:207-219
30. Warman, P.R., and Termeer, W.C. 2004. Evaluation of sewage sludge, septic waste and sludge compost applications to corn and forage: Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu, Zn and B content of crops and soils. Bioresource Technology. (in Press)
31. Wolf, D.C., Dao, T.H., Scott, H.D. and Lavy, T.L. 1989. Influence of sterilization methods on selected soil microbiological, physical, and chemical properties. Journal of Environmental Quality. 18: 39-44
32. Yilmaz, E.I. 2003. Metal tolerance and biosorption capacity of *Bacillus circulans* strain EB1. Research in Microbiology. 154: 409-415