بررسی تاثیر سطوح مختلف گوگرد، کود دامی و برگ کاج بر عملکرد باکتری تیوباسیلوس در جذب عناصر کم‌مصرف در خاک

- **ریحانه دهقان**: گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه یزد، یزد، ایران
- **علی‌اکبر کریمیان**: گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه یزد، یزد، ایران
- **سمیه قاسمی**: گروه علوم خاک، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه یزد، یزد، ایران
- **ملیحه امینی***: گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران

تاریخ دریافت: آذر ۱۳۹۷ تاریخ پذیرش: اسفند ۱۳۹۷

چکیده

یکی از راهکارهای افزایش قابلیت جذب عناصر کم‌مصرف در خاک‌های آهکی، استفاده از مواد اصلاح‌کننده است. در این پژوهش به بررسی تاثیر سطوح مختلف گوگرد و ماده آلی بر قابلیت جذب عناصر و هم‌چنین برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک غنی از عناصر کم‌مصرف پرداخته شده است. این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی به‌صورت فاکتوریل با سه تکرار انجام گردید. تیمارها شامل دو سطح گوگرد (صفر و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار) و دو نوع ماده آلی کود گوسفندی و بقایای کاج (۲۰درصد حجمی خاک) به‌همراه شاهد (بدون اضافه کردن ماده آلی و گوگرد) بودند. نتایج نشان داد افزودن کود دامی و بقایای کاج به خاک باعث افزایش معنی‌دار کربن آلی، نیتروژن کل و هم‌چنین افزایش معنی‌دار غلظت منگنز خاک می‌گردد. تأثیر کاربرد گوگرد نیز بر غلظت آهن و منگنز قابل جذب در تیمارهای حاوی گوگرد به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از تیمار شاهد گزارش گردید. براساس نتایج این مطالعه، کاربرد گوگرد و کودهای آلی می‌تواند از طریق افزایش عملکرد باکتری تیوباسلوس در خاک و بهبود برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک چون کربن آلی و نیتروژن کل بر افزایش قابلیت جذب عناصر کم مصرف در خاک موثر باشد.

کلمات کلیدی: عناصر کم‌مصرف، گوگرد، کود دامی، بقایای کاج، باکتری تیوباسیلوس

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Amini.malihe@gmail.com

مقدمه

در خاک‌های آهکی به‌علت غلظت زیاد یون کلسیم، برخی از عناصر غذایی مانند فسفر، آهن و روی تثبیت شده و از دسترس گیاه خارج می‌شود (Eghbal، ۲۰۰۴). در اراضی کشاورزی به‌منظور رفع کمبود عناصر کم‌مصرف، از نمک‌های معدنی و کلات‌های مصنوعی استفاده‌می‌شود. ترکیبات‌معدنی به‌دلیل داشتن آلودگی فلزات سنگین و شرکت‌در واکنش‌های‌رسوب‌در‌خاک، کارایی زیادی ندارند.کلات‌های مصنوعی‌نیز، اگرچه تأثیر قابل توجهی در رفع کمبود عناصر کم‌مصرف در خاک دارند، اما به‌دلیل هزینه زیاد، استفاده از آن‌ها در بسیاری از موارد مقرون به‌صرفه نمی‌باشد. یکی از راهکارهای افزایش قابلیت جذب عناصر کم‌مصرف در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک، استفاده از مواد اصلاح کننده از قبیل گوگرد است. اثرات مفید کاربرد گوگرددرخاک‌های آهکی شامل‌کاهش اسیدیته‌خاک،افزایش حلالیت و قابلیت جذب عناصر غذایی و در نتیجه بهبود عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی می‌باشد (Karimizarchi، ۲۰۱۴؛ Hitsuda، ۲۰۰۵). در واقع گوگرد در خاک به‌دلیل اکسایش، علاوه بر تامین سولفات مورد نیاز گیاه باعث کاهش موضعی pH خاک در منطقه ریزوسفر گیاه و افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی ازجمله فسفر، آهن، روی، مس و منگنز می‌گردد (بشارتی‌کلایه، ۱۳۷۷). یکی دیگر از راهکارهای پایدار برای حفظ تولید و بهبود وضعیت تغذیه‌ای عناصر کم‌مصرف در خاک، استفاده از کودهای آلی به‌جای کودهای شیمیایی است. مصرف مواد آلی موجب تولید اسیدهای آلی، کاهش اسیدیته خاک، افزایش فعالیت میکروبی خصوصاً در مورد افزایش فعالیت و عملکرد باکتری تیوباسیلوس و هم‌چنین بهبود ساختمان خاک می‌گردد (Pedra، ۲۰۰۷؛ Deluca، ۱۹۸۹).

پژوهش‌های مختلفی در این زمینه صورت گرفته است. Singh (۱۹۹۷) به بررسی تاثیر مصرف گوگرد بر عملکرد و غلظت عناصر غذایی در بادام زمینی پرداخت. نتایج آزمایشات نشان داد که گوگرد موجب افزایش جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم، گوگرد، آهن، روی و منگنز می‌گردد. در پژوهشی مشابه چقازردی (۱۳۹۱) به ارزیابی اثر گوگرد و کود دامی بر خصوصیات رشد ذرت و اسیدیته خاک پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که استفاده از گوگرد به همراه کود دامی در مقادیری مشخص در هکتار، باعث افزایش عملکرد دانه ذرت شد و اثرات منفی خاک‌های آهکی را بهبود بخشید. در بررسی‌های دیگر محققان نیز تاثیر مثبت استفاده از گوگرد در بهبود وضعیت خاک و عملکرد میکروارگانیسم‌ها گزارش شده است (Erdem، ۲۰۱۶؛ Ansori، ۲۰۱۵؛ Ahmadi، ۲۰۱۰؛ Mirzashahi، ۲۰۱۰). بر همین اساس در پژوهش حاضر به بررسی تأثیر گوگرد، کود دامی و برگ کاج بر قابلیت جذب آهن، روی، منگنز و هم‌چنین برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک ازجمله pH، قابلیت هدایت الکتریکی خاک، کربن و نیتروژن کل پرداخته شده‌است.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری و آنالیز خاک: نمونه‌برداری خاک از عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری خاک معدن آهن بافق واقع در فاصله ۱۳۳ کیلومتری جنوب‌شرقی استان یزد و ۱۳ کیلومتری شمال‌شرقی شهرستان بافق انجام شد. نمونه‌ها پس از خشک شدن، از الک۲ میلی‌متری عبور داده شد و سپس برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد نظر اندازه‌گیری گردید (جدول ۱).

جدول ۱: برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک معدن آهن بافق

ویژگی	واحد	مقدار
بافت خاک	-	خاک رس
pH	-	۷/۳
EC	دسی‌زیمنس بر متر	۸
آهک	درصد	۴۱/۲
کربن آلی	درصد	۰/۸۷
نیتروژن کل	درصد	۰/۰۳
غلظت آهن کل	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۱۲۱۸۷/۵
غلظت آهن قابل جذب	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۴/۶۲

بافت خاک به‌روش هیدرومتر تعیین گردید (احیایی، ۱۳۷۲). برای اندازه‌گیری pH و قابلیت هدایت الکتریکی خاک از عصاره اشباع خاک استفاده شد. مقدار آهک خاک به‌روش خنثی‌سازی با اسید کلریدریک و تیتراسیون برگشتی با هیدروکسیدسدیم تعیین گردید (احیایی، ۱۳۷۲).درصد کربن آلی به‌روش اکسیداسیون تر در مجاورت بیکرومات‌پتاسیم و اسیدسولفوریک غلیظ و درصد نیتروژن کل نیز با استفاده از دستگاه اتوکلتک مدل S4 براساس روش کلدال تعیین گردید(احیایی، ۱۳۷۲). برای اندازه‌گیری آهن قابل دسترس از محلول دی‌اتیلن‌تری‌آمین‌پنتااستیک‌اسید (DTPA) استفاده شد. آهن کل نیز توسط اسیدنیتریک ۵ مولار عصاره‌گیری گردید. سپس غلظت آهن در عصاره توسط دستگاه جذب اتمی مدل novAA300 تعیین گردید.

نحوه انجام آزمایشات: آزمایشات در قالب طرح کاملاً تصادفی به‌صورت فاکتوریل با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه یزد انجام شد. تیمارها شامل دو سطح گوگرد (۰ و ۲۵۰ کیلوگرم در هر هکتار) و دو نوع ماده آلی کود گوسفندی و برگ کاج (۲۰درصد حجمی خاک) به‌همراه شاهد (بدون اضافه کردن ماده آلی و گوگرد) بود. سطوح‌مختلف‌گوگردو ماده آلی به‌مقدار ۲۰ درصدحجمی‌به‌گلدان‌های

حاوی سه کیلوگرم خاک معدن آهن بافق اضافه شدند. تعداد کل گلدان‌ها ۱۸ عدد بود. پس از اعمال تیمارها، رطوبت گلدان‌ها با افزودن آب مقطر به حد ظرفیت زراعی رسیده و در دمای ۲۸ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و در مدت آزمایش به‌روش وزنی در حد ظرفیت مزرعه ثابت نگه داشته شد. پس از گذشت ۹۰ روز از شروع آزمایش، نمونه‌برداری از خاک گلدان‌ها انجام شد و سپس pH، کربن، نیتروژن کل، آهن، روی و منگنز قابل جذب، اندازه‌گیری شدند. نتایج و داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار Excel مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. گروه‌بندی میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج

اثر گوگردبر پارامترهای مختلف خاک: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد تأثیر گوگرد بر pH خاک معنی‌دار بوده است. اما کربن آلی خاک و نیتروژن کل، تحت تاثیر حضور گوگرد قرار نگرفتند. نتایج حاصل از مقایسه میانگین تاثیر سطوح مختلف گوگرد بر پارامترهای اندازه‌گیری‌شده خاک در جدول ۲ نشان‌داده شده است.

جدول ۲: اثر گوگرد بر پارامترهای مختلف خاک

مقدار گوگرد (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	pH	نیتروژن (درصد)	کربن آلی (درصد)	آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	منگنز (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
۰	۷/۲۹^{a}	۰/۴۴^{a}	۲/۰۵^{a}	۱/۳۵^{a}	۱/۱^{a}	۴/۰۹^{a}
۲۵۰	۶/۹^{b}	۰/۴۲^{a}	۱/۹۸^{a}	۱/۵۱^{a}	۱/۱۳^{a}	۴/۹۱^{b}

اعداد دارای حروف مشترک در هر ستون از نظر آماری با توجه به آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیستند.

جدول ۳: اثر موادآلی بر پارامترهای مختلف خاک

مقدار ماده آلی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	pH	نیتروژن (درصد)	کربن آلی (درصد)	آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	منگنز (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
تیمار شاهد	۷/۱۵^{ab}	۰/۰۲^{b}	۱/۳۵^{b}	۱/۵۳^{a}	۱/۰۶^{a}	۳/۵۷^{c}
تیمار حاوی کود آلی	۷/۰۶^{b}	۰/۰۵^{a}	۲/۵۱^{a}	۱/۴^{a}	۱/۲۴^{b}	۴/۵۱^{b}
تیمار حاوی بقایای کاج	۷/۲۲^{a}	۰/۰۴^{a}	۲/۱^{a}	۱/۳۶^{a}	۱/۰۵$_{b}$	۵/۴۲^{a}

اعداد دارای حروف مشترک در هر ستون از نظر آماری با توجه به آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیستند.

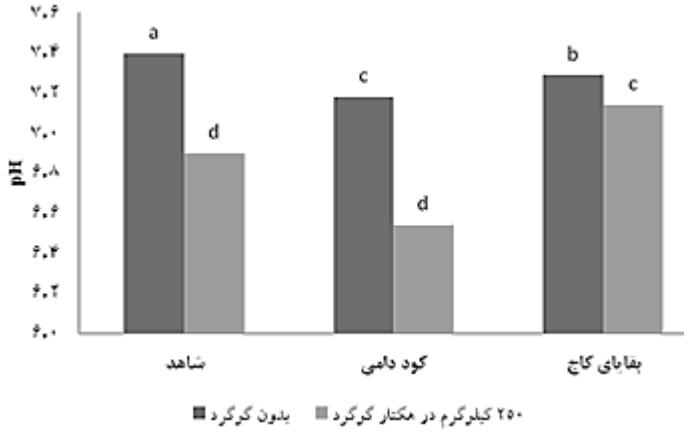
اثر ماده آلی بر پارامترهای مختلف خاک: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد تأثیر مواد آلی بر pH خاک معنی‌دار بوده است. در مورد کربن آلی خاک و نیتروژن کل نیز بین تیمارهای کود آلی و بقایای کاج تفاوت معنی‌دار نبود اما هر دو دسته با تیمار شاهد تفاوت‌معنی‌داری داشتند. نتایج حاصل از مقایسه میانگین تاثیر سطوح مختلف مواد آلی بر پارامترهای اندازه‌گیری شده خاک در جدول ۳ نشان داده شده است.

اثر تیمارهای مختلف بر قابلیت جذب برخی عناصر کمیاب خاک: با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس در جداول ۲ و ۳، تیمار گوگرد سبب افزایش عناصر کمیاب در خاک گردیده است که البته فقط در مورد منگنز این افزایش معنی‌دار بوده است. هم‌چنین در رابطه با تاثیر تیمار ماده آلی نیز، غلظت روی و منگنز در خاک به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است امادر مورد آهن تغییر معنی‌داری اتفاق نیافتاده است.

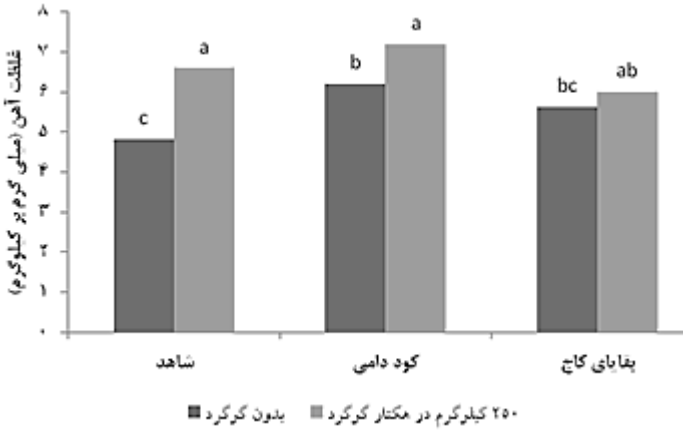
تاثیرمتقابل‌گوگرد و ماده‌آلی برخصوصیات‌خاک: شکل‌های ۱ تا ۴ به‌ترتیب بیانگر تاثیر متقابل گوگرد و ماده آلی بر pH، غلظت آهن، روی و منگنز در خاک می‌باشد.

باتوجه به شکل ۱، تاثیر متقابل گوگرد و ماده آلی بر pH خاک معنی‌دار بود و بیش‌ترین مقدار pH خاک در تیمار بدون گوگرد و بدون ماده آلی و کم‌ترین مقدار pH خاک نیز مربوط به تیمار گوگرد بدون ماده آلی مشاهده شد. باتوجه به شکل ۲، استفاده از گوگرد در خاک سبب افزایش معنی‌دار غلظت آهن قابل جذب در خاک شد. کم‌ترین غلظت آهن در تیمار بدون گوگرد و بدون‌ماده‌آلی و بیش‌ترین غلظت آهن نیز مربوط به تیمار گوگرد بدون ماده آلی مشاهده شد که البته اختلاف معنی‌داری با تیمارهای گوگرد به‌همراه کود دامی و بقایای کاج نداشت. براساس نتایج حاصل از شکل ۳ تاثیر متقابل گوگرد و ماده آلی بر غلظت روی خاک معنی‌دار بود. بیش‌ترین غلظت روی در تیمار کود دامی بدون گوگرد و کم‌ترین غلظت روی خاک نیز

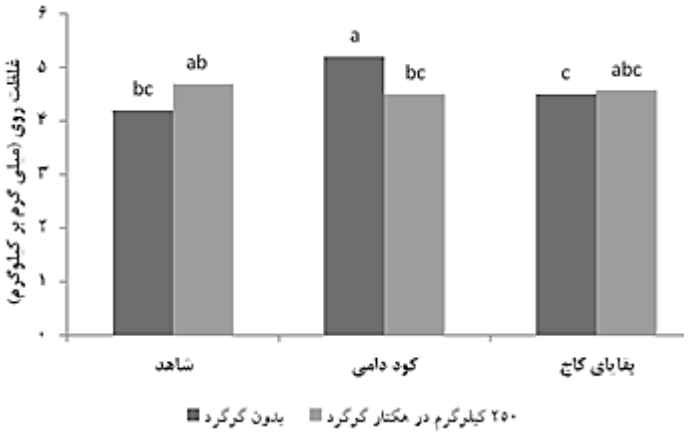
مربوط به تیمار شاهد و هم‌چنین خاک تیمار شده با برگ کاج و بدون گوگرد مشاهده گردید. براساس نتایج حاصل از شکل ۴ تاثیر متقابل گوگرد و ماده آلی بر غلظت منگنز خاک معنی‌دار بود. بیش‌ترین غلظت منگنز در تیمار بقایای کاج به همراه گوگرد مشاهده شد و کم‌ترین غلظت منگنز نیز در تیمار بدون گوگرد و بدون ماده آلی گزارش گردید. برگ کاج در مقایسه با کود دامی تأثیر بیش‌تری در افزایش غلظت منگنز در خاک داشت.



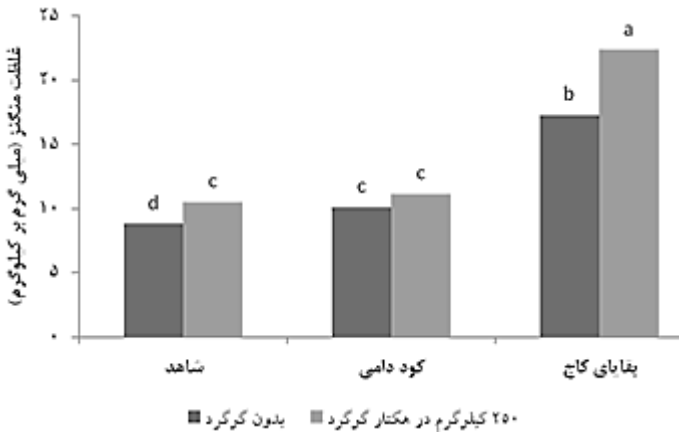
شکل ۱: نمودار اثر متقابل گوگرد و ماده آلی بر pH خاک



شکل ۲: نمودار اثر متقابل گوگرد و ماده آلی بر غلظت آهن خاک



شکل ۳: نمودار اثر متقابل گوگرد و ماده آلی بر غلظت روی خاک



شکل ۴: نمودار اثر متقابل گوگرد و ماده آلی بر غلظت منگنز خاک

بحث

براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۲)، افزودن گوگرد به خاک در مقایسه با تیمار شاهد باعث کاهش معنی‌دار pH خاک شد. هم‌چنین با توجه به نتایج موجود در شکل ۱، بیش‌ترین مقدار pH خاک در تیمار بدون گوگرد و بدون ماده آلی و کم‌ترین مقدار pH خاک نیز مربوط به تیمار گوگرد بدون ماده آلی مشاهده شد. Kalbas (۱۹۸۸) نیز به نتایجی مشابه با تحقیق حاضر دست یافته‌است. کاهش pH خاک در اثر کاربرد گوگرد به‌دلیل اکسیداسیون گوگرد در خاک و تبدیل آن از گوگرد عنصری به سولفات می‌باشد و اکسیداسیون بیولوژیکی، بخش عمده اکسیداسیون گوگرد را شامل می‌شود. البته در تحقیق حاضر که از تلقیح مستقیم باکتری‌های تیوباسیلوس استفاده نشده است اما می‌توان اکسیداسیون گوگرد را به هتروتروف‌ها نسبت داد که با وجود ماده آلی مورد استفاده، جمعیت آن‌ها در خاک مناسب بوده و نقش خود را در اکسیداسیون گوگرد ایفا کرده‌اند. نتایج مشابهی مبنی بر تاثیر گوگرد بر کاهش pH خاک در اثر استفاده از گوگرد در مطالعات صبور (۱۳۸۹) نیز گزارش شده است. Kaplan (۱۹۹۸) نیز به بررسی تأثیر کاربرد گوگرد بر جذب فسفر و مقدار pH خاک پرداخت و نتایج نشان داد که مصرف گوگرد نسبت به تیمار شاهد تاثیر معنی‌داری بر کاهش pH خاک داشته است.

با توجه به نتایج جدول ۳، کاربرد کود دامی و بقایای کاج در مقایسه با تیمار شاهد باعث افزایش معنی‌دار نیتروژن خاک

شده است. Matos (۲۰۰۸) طی پژوهشی نشان داد که با استفاده از کودهای سبز لگوم، مقدار عناصر غذایی خاک به‌ویژه نیتروژن کل افزایش می‌یابد. هم‌چنین عبدی (۱۳۹۱) با بررسی اثر کود سبز بر مقدار ماده آلی و نیتروژن خاک، به نتایج مشابه با مطالعه حاضر دست یافت. بقایای گیاهی، سبب حفظ نیتروژن و سایر عناصر غذایی در خاک شده، به تجمع آن‌ها در خاک نیز کمک می‌نماید و هم‌چنین مانع تلفات عناصر در نتیجه آب‌شویی می‌گردد (Creamer، ۲۰۰۰).

استفاده از کود دامی و بقایای کاج در مقایسه با تیمار شاهد باعث افزایش معنی‌دار کربن آلی خاک نیز شده است هرچند که اثر متقابل گوگرد و ماده آلی بر کربن آلی خاک معنی‌دار نبوده است (جدول ۳).به‌طورکلی مواد آلی از طریق افزودن هم‌زمان کربن، نیتروژن و دیگر عناصر غذایی به خاک، موجب افزایش فعالیت ریزجانداران خاک و تسریع گردش چرخه‌های عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن و بهبود حاصل‌خیزی خاک می‌شوند. Habibi (۲۰۱۳) با به‌کار بردن کود سبز در خاک به نتایج مشابهی در رابطه با افزایش مقدار کربن آلی دست یافتند. به‌عبارتی برگشت کود سبز در خاک، به‌دلیل فرآیندهای میکروبیولوژی، باعث افزایش مواد آلی خاک و آزادسازی عناصر غذایی موجود در آن‌ها برای گیاهان می‌شود (Talger، ۲۰۰۹). بقـایای گیاهی یا حیوانی که به خاک افزوده می‌شود در نتیجه فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک، تجزیه شده و ضمن آزادسازی قسمتی از مواد غذایی، سبب افزایش درصد کربن آلی در خاک نیز می‌گردند.

با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس در جدول ۲، تیمار گوگرد سبب افزایش معنی‌دار آهن و منگنز قابل جذب در خاک شده است اما در مورد روی تغییر خیلی ناچیزی اتفاق افتاده است. در رابطه با تاثیر تیمار ماده آلی نیز غلظت روی و منگنز در خاک به طور معنی‌داری افزایش یافته است (جدول (۳)، اما در مورد آهن تاثیر تا حدودی معکوس و کاهشی بوده است. سلیم‌پور (۱۳۸۹) در پژوهشی به بررسی تاثیر فسفات، ماده آلی و گوگرد بر عملکرد و ترکیب شیمیایی کلزا پرداخت و به این نتیجه رسید که تیمار خاک با این سه دسته از مواد از لحاظ نیتروژن، فسفر، پتاسیم، گوگرد، روی، آهن و منگنز جذب شده تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد داشته است. یکی از دلایل در توجیه این اتفاق این است که کودهای آلی و از جمله کود دامی دارای مقادیر زیادی عناصر غذایی است که به تدریج و با فعالیت میکروارگانیسم‌ها آزاد شده و در اختیار گیاه قرار می‌گیرد (Mao، ۲۰۰۸). هم‌چنین کاربرد گوگرد در خاک به‌دلیل اکسایش آن، ضمن تامین سولفات موردنیاز گیاه باعث‌کاهش موضعی pH خاک در منطقه ریزوسفر گیاه، افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی ازجمله فسفر، آهن، روی، مس و منگنز و ... و در نهایت بهبود وضعیت تغذیه گیاه می‌گردد. از طرفی پایین بودن درصد مواد آلی در اکثر خاک‌های ایران موجب کاهش فعالیت‌های میکروارگانیسم‌ها می‌گردد. از آن‌جایی‌که برای اکسیداسیون گوگرد در خاک باید میکروارگانیسم‌ها فعال باشند و این امر نیازمند وجود مواد آلی در خاک است، بنابراین مصرف توام گوگرد با کود دامی می‌تواند علاوه بر تامین مواد غذایی مورد نیاز گیاه و رفع مشکل خاک‌های آهکی، خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک را نیز تا حدود زیادی بهبود ببخشد (بشارتی‌کلایه، ۱۳۷۷).

کم‌ترین غلظت آهن در تیمار بدون گوگرد و بدون ماده آلی و بیش‌ترین غلظت آهن نیز مربوط به تیمار گوگرد بدون ماده آلی مشاهده شد که البته اختلاف معنی‌داری با تیمارهای گوگرد به همراه کود دامی و بقایای کاج نداشت (شکل ۲). اخوان (۱۳۹۱) در مطالعه‌ای با بررسی تاثیر گوگرد و مایه تلقیح تیوباسیلوس بر غلظت آهن، نشان داد که اثر گوگرد و اثر متقابل گوگرد و باکتری تیوباسیلوس بر غلظت آهن در گیاه معنی‌دار بوده است. گوگرد عنصری، در اثر فعالیت باکتری‌های هتروترف اکسیدشده و به اسیدسولفوریک تبدیل می‌شود. بنابراین کاهش pH خاک باعث افزایش قابلیت جذب آهن در خاک خواهد شد. تشکیل کمپلکس ماده آلی با عناصر کم مصرف نیز موجب جلوگیری از رسوب این عناصر در pH معمول خاک شده و حلالیت آن‌هارا افزایش‌می‌دهد. هم‌چنین موادآلی‌خاک اگردرشرایط بی‌هوازی قرار بگیرند، در اطراف خود شرایط احیا ایجاد کرده و آهن سه ظرفیتی را به آهن دو ظرفیتی تبدیل می‌کنند. در نتیجه تاثیر مواد آلی در کاهش pH و اسیدی شدن خاک، به‌ویژه در خاک‌های آهکی باعث افزایش قابلیت جذب برخی از عناصر کم مصرف (آهن و منگنز) خواهد شد.

با توجه به داده‌های شکل ۳، بیش‌ترین غلظت روی در تیمار کود دامی بدون گوگرد و کم‌ترین غلظت روی خاک نیز مربوط به تیمار بدون گوگرد و بدون ماده آلی و هم‌چنین تیمار بقایای کاج، بدون گوگرد مشاهده شد. Kalbas (۱۹۸۸) با بررسی اثر گوگرد بر جذب آهن، روی و منگنز به‌وسیله سه گیاه ذرت، سورگوم و سویا در خاکی با ۴۰ درصد آهک، نشان داد که کاربرد گوگرد در خاک تاثیر معنی‌داری بر افزایش قابلیت جذب آهن، منگنز و روی دارد. هم‌چنین صلحی (۱۳۷۸) نیز طی پژوهشی در ارتباط با بررسی تأثیر گوگرد بر قابلیت جذب عناصر غذایی کم‌مصرف توسط درختان سیب در منطقه سمیرم اصفهان، به نتایجی مشابه با پژوهش حاضر دست یافت. در اثر استمرار مصرف کودهای حیوانی در خاک‌های آهکی، اسیدیته خاک کاهش یافته و درنتیجه علاوه بر بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های زراعی، حلالیت تعدادی از عناصر غذایی به‌ویژه فسفر و ریزمغذی‌ها ازجمله آهن، روی، بر و مس افزایش می‌یابد هم‌چنین کاربرد گوگرد در خاک از طریق کاهش pH می‌تواند بر افزایش قابلیت جذب روی تأثیر بگذارد. از طرفی بقایای کاج هم از طریق کاهش

میزان اسیدیته خاک و هم با اضافه کردن تدریجی روی موجود در بقایای کاج به خاک و کمک به اکسیداسیون گوگرد به‌عنوان ماده آلی سبب‌افزایش‌مقدار روی‌نسبت به‌تیمار بدون گوگرد می‌گردد (ملکوتی، ۱۳۷۳).

با توجه به نتایج شکل ۴، بیش‌ترین غلظت منگنز در تیمار بقایای کاج مشاهده شد و برگ کاج در مقایسه با کود دامی تأثیر بیش‌تری در افزایش غلظت منگنز در خاک داشت. هم‌چنین تأثیر بقایای کاج بر افزایش غلظت منگنز خاک بیش‌تر از کود دامی بود، به‌طوری‌که بیش‌ترین غلظت منگنز در خاک تیمار شده با گوگرد به همراه بقایای کاج مشاهده شد که این امر می‌تواند احتمالاً به‌دلیل آزادسازی عنصر منگنز از بقایای کاج و هم‌چنین کاهش pH خاک باشد. دیالمی (۱۳۸۹) با بررسی اثر کاربرد نسبت‌های مختلفی از کود دامی به‌همراه گوگرد پودری و مایه تلقیح تیوباسلوس برغلظت برخی عناصر غذایی در برگ درخت خرما نشان دادند که کود دامی از طریق افزایش قابلیت جذب فسفر، پتاسیم، روی و منگنز باعث بهبود وضعیت تغذیه‌ای خرما می‌گردد.

به‌طورکلی پژوهش حاضر نشان داد:

- کاربرد گوگرد و ماده آلی در خاک‌های آهکی می‌تواند، در کاهش pH و افزایش حلالیت برخی عناصرکم‌مصرف نقش داشته باشد.

- مصرف گوگرد در خاک سبب اکسیده شدن و تولید اسیدسولفوریک و کاهش pH خاک، حداقل در مقیاس کوچک اطراف ذرات خود می‌شود که به‌دلیل اسیدی شدن خاک جذب عناصر غذایی ضروری مانند آهن، روی و منگنز افزایش می‌یابد.

- هم‌چنین مواد آلی علاوه بر فـراهـــم نمودن عناصر غذایی، می‌توانند اثرات سودمندی بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک داشته باشند و حضور مواد آلی به‌مقدار مطلوب و مورد نیاز خاک موجب بهبود وضعیت کلی خاک، افزایش مواد مغذی مورد نیاز گیاهان در خاک و هم‌چنین افزایش حاصل‌خیزی و توانایی باروری خاک می‌گردد.

- در مناطق خشک و نیمه‌خشک، شرایط اقلیمی نامناسب که با تغییرات اقلیم جهانی و پدیده گرمایش جهانی تشدید شده است و در کنار آن مدیریت غیرصحـیح اراضـی کشاورزی و بهره‌برداری‌متناوب و پیوسته‌محصولات‌کشاورزی‌که‌اجازه استراحت به زمین کشاورزی را در زمان مناسب آیش نمی‌دهد، منجر به کاهش مواد آلی شده است. در نتیجه زمینه فرسایش و هدررفت بی‌رویه خاک‌در اثر فرسایش‌آبی و بادی‌فراهم‌شده است.

- در این تحقیق سعی بر این بوده است تا با بررسی تاثیر مثبت افزودن مواد معدنی (گوگرد) و مواد آلی (کود دامی و بقایای کاج) به خاک و بهبود وضعیت آن خصوصاً افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک، استفاده از این مواد جهت بهبود شرایط خاک و تولید محصولاتی با کیفیت بالاتر آموزش داده شود تا مفهوم توسعه پایدار که حفاظت از منابع طبیعی ضمن بهره‌برداری از آن‌ها در حد ظرفیت قابل تحمل برآورده گردد.

منابع

۱. **احیایی، م. و بهبهانی زاده، ع. ا.، ۱۳۷۲.** شرح روش‌های تجزیه شیمیایی خاک. جلد اول. نشریه موسسات تحقیقات خاک و آب. سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، وزارت کشاورزی. تهران.

۲. **اخوان، ز.؛ فلاح، ع. و رضایی‌عمروآبادی، ش.، ۱۳۹۱.** بررسی تاثیر گوگرد و مایه تلقیح تیوباسیلوس بر غلظت آهن، روی، مس و منگنز در گیاه کلزا در شرایط گلخانه‌ای. مجله زراعت و اصلاح نباتات. جلد ۸، شماره ۳، صفحات ۱۹۷ تا ۱۹۱.

۳. **بشارتی‌کلایه، ح.، ۱۳۷۷.** بررسی اثر گوگرد همراه با گونه‌های تیوباسیلوس در افزایش جذب برخی از عناصر در خاک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی. دانشگاه تهران.

۴. **چقازردی، ح.م. و بهشتی‌آلآقا، ع.، ۱۳۹۱.** ارزیابی اثر گوگرد و کود دامی بر خصوصیات رشد گیاه ذرت (سینگل کراس ۷۰۴) و اسیدیته خاک. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. جلد ۱۱، صفحات ۱۶۲ تا ۱۷۰.

۵. **دیالمی، ح. و محبی، ع.، ۱۳۸۹.** اثر کاربرد گوگرد به‌همراه مایه تلقیح تیوباسیلوس و کود دامی بر میزان عناصر غذایی برگ و شاخص‌های رشد رویشی نهال‌های خرما رقم برحی. نشریه علوم باغبانی. جلد ۲۴، شماره ۲، صفحات ۱۹۴ تا ۱۸۹.

۶. **سلیم‌پور، س.؛ خاوازی، ک.؛ نادیان، ح. و بشارتی، ح.، ۱۳۸۹.** تاثیر خاک فسفات همراه با گوگرد و ریزجاندارن بر عملکرد و ترکیب شیمیایی کلزا. مجله پژوهش‌های خاک. جلد ۲۴، شماره ۱، صفحات ۹ تا ۱۹.

۷. **صبور، م.؛ شکری، م.؛ سماوات، س. و فراهانی، م.، ۱۳۸۹.** بررسی تاثیر مقادیر گوگرد و کمپوست پسماند شهری بر pH خاک و جذب عناصر ریزمغذی علوفه‌ای. علوم و تکنولوژی محیط زیست. جلد ۱۵، شماره ۳، صفحات ۱۰۶ تا ۱۱۷.

۸. **صلحی، م. و درخشنده، ع.، ۱۳۷۸.** بررسی اثر گوگرد در قابلیت جذب عناصر کم مصرف بر روی درختان سیب اصفهان. چکیده مقالات ششمین کنگره علوم خاک ایران. دانشگاه فردوسی مشهد. صفحات ۱۶۷ تا ۱۷۶.

۹. **عبدی، س.؛ تاجبخش، م.؛ عبدالهی‌مندولکانی، ب. و رسولی صدقیانی، م.، ۱۳۹۱.** بررسی اثر کود سبز بر میزان ماده

آلی و نیتروژن خاک. مجله دانش زراعت. جلد ۵، شماره ۷، صفحات ۱۲۷ تا ۱۴۴.

۱۰. **ملکوتی، م. و همایی، م.، ۱۳۷۳.** حاصلخیزی خاک‌های مناطق خشک. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. جلد ۱، ۵۱۸ صفحه.

۱۱. **Ahmadi, M., 2010.** Effect of zinc and nitrogen fertilizer rates on yield and yield components of oilseed rape (*Brassica napus* L.). World Applied Sciences Journal. Vol. 10, No. 3, pp: 298-303.

۱۲. **Ansori, A. and Gholami, A., 2015.** Improved nutrient uptake and growth of maize in response to inoculation with Thiobacillus and Mycorrhiza on an alkaline soil. Journal of Communication in Soil Science and Plant Analysis, Vol. 46, No. 17, pp: 2111-2126.

۱۳. **Creamer, N.G. and Baldwin, K.R., 2000.** An evaluation of summer cover crops for use in vegetable production systems in North Carolina. Hort Science. Vol. 35, No. 4, pp: 600-603.

۱۴. **Deluca, T.H.; Skogley, E.O. and Engel, R.E., 1989.** Band applied elemental sulfur to enhance the phytoavailability of phosphorus in alkaline calcareous soils. Biology and fertility of soils. Vol. 7, No. 4, pp: 346-350.

۱۵. **Eghball, B.; Ginting, D. and Gilley, J.E., 2004**. Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties. Agronomy journal. Vol. 96, No. 2, pp: 442-447.

۱۶. **Erdem, H.; Torun, M.B.; Erdem, N.; Yazıcı, A.; Tolay, I.; Gunal, E. and Özkutlu, F., 2016.** Effects of different forms and doses of sulfur application on wheat. Turkish Journal of Agriculture, Food Science and Technology.Vol. 4, No. 11, pp: 957-961.

۱۷. **Hababi, A.; Javanmard, A.; Mosavi, S.B.; Rezaei, M. and Sabaghnia, N., 2013**. Effect of green manure on some soil physicochemical characteristics. International Journal of Agronomy and Plant Production. Vol. 4, No. 11, pp: 3089-3095.

۱۸. **Hitsuda, K.; Yamada, M. and Klepker, D., 2005.** Sulfur requirement of eight crops at early stages of growth. Agronomy Journal. Vol. 97, No. 1, pp: 155-159.

۱۹. **Kalbas, M.; Filsoof, F. and Rezai-Nejad, Y., 1988.** Effect of sulfur treatments on yield and uptake of Fe, Zn, and Mn by corn, sorghum, and soybeans. Journal of plant nutrition. Vol. 11, No. 6, pp: 1353-1360.

۲۰. **Kaplan, M. and Orman, Ş., 1998.** Effect of elemental sulphur and sulphur containing waste in a calcareous soil in Turkey. Journal of plant nutrition. Vol. 21, No. 8, pp: 1655-1665.

۲۱. **Karimizarchi, M.; Aminuddin, H.; Khanif, M.Y. and Radziah, O., 2014.** Elemental sulfur application effects on nutrient availability and sweet maize response (*Zea mays* L.) in a high pH soil of Malaysia. Malaysian Journal of Soil Science. Vol. 18, pp: 75-86.

۲۲. **Mao, J.; Olk, D.C.; Fang, X.; He, Z. and Schmidt-Rohr, K., 2008.** Influence of animal manure application on the chemical structures of soil organic matter as investigated by advanced solid-state NMR and FT-IR spectroscopy. Geoderma. Vol. 146, No. 1-2, pp: 353-362.

۲۳. **Matos, E.D.S.; Mendonça, E.D.S.; Lima, P.C.D.; Coelho, M.S.; Mateus, R.F. and Cardoso, I.M., 2008.** Green manure in coffee systems in the region of Zona da Mata, Minas Gerais: characteristics and kinetics of carbon and nitrogen mineralization. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Vol. 32, No. 5, pp: 2027-2035.

۲۴. **Mirzashahi, K.; Pishdarfaradaneh, M. and Nourgholipour, F., 2010.** Effects different rates of nitrogen and sulphur application on canola yield in north of Khuzestan. Research Agriculture Science. Vol. 6, No. 2, pp: 107- 112.

۲۵. **Pedra, F.; Polo, A.; Ribeiro, A. and Domingues, H., 2007.** Effects of municipal solid waste compost and sewage sludge on mineralization of soil organic matter. Soil Biology and Biochemistry. Vol. 39, No. 6, pp: 1375-1382.

۲۶. **Singh, A.L. and Chaudhari, V., 1997.** Sulphur and micronutrient nutrition of groundnut in a calcareous soil. Journal of Agronomy and Crop Science. Vol. 179, No. 2, pp: 107-114.

۲۷. **Talger, L.; Lauringson, E.; Roostalu, H. and Astover, A., 2009.** The effect of grren manures on application on the yields and yield quality of spring wheat. Agronomy Journal. Vol. 7, No. 1, pp: 125-132.