نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۹، ص. ۱۱۰۷-۱۰۹۳

Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 5, Nov.-Dec. 2020, p. 1093-1107

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی مقایسه‌ای اثر تیمارهای آلی، زیستی و اسیدزا بر قابلیت دسترسی عناصر غذایی در یک خاک آهکی

شنو حقیقی[۱]- زاهد شریفی[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۲۵

چکیده

علی‌رغم وجود میزان فراوان عناصر غذایی در خاک‌های آهکی، فرم قابل جذب این عناصر کمتر از میزان لازم برای رشد و نمو بهینه گیاهان است. از طرفی این خاک‌ها، معمولاً در اقلیم خشک و نیمه خشک با کمی مواد آلی مواجه هستند که کمبود قابلیت دسترسی عناصر را تشدید می‌نماید. بنابراین کمبود عناصر غذایی یکی از عوامل مهم محدود کننده تولید محصول در این خاک‌هاست. پژوهش‌های زیادی در رابطه با افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی در خاک‌های آهکی انجام شده است اما پژوهشی که تمام این روش‌ها را با هم مقایسه کند و بهترین راهکار را پیشنهاد نماید تاکنون انجام نشده است. بنابراین این پژوهش با هدف افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی در یک خاک آهکی با کاربرد نه تیمار شامل، شاهد (خاک بدون تیمار) (Blank)، خاک + اسید هیومیک (HA)، خاک + اسیدسولفوریک (H_2SO_4)، خاک + تیوباسیلوس (T)، خاک + گوگرد (S^o)، خاک + گوگرد + تیوباسیلوس (S^o+T)، خاک + ورمی‌کمپوست (VC)، خاک + ورمی‌کمپوست + تیوباسیلوس (VC+T) و خاک + گوگرد + ورمی‌کمپوست + تیوباسیلوس (S^o+VC+T)، هر کدام در ۳ تکرار به مدت ۹۰ روز در شرایط آزمایشگاه مورد انکوباسیون قرار گرفت. آنالیز نتایج این پژوهش با بهره‌گیری از آمار کلاسیک نشان داد که به دلیل ظرفیت بالای بافری خاک‌های آهکی و پیچیده بودن عواملی که حلالیت کانی‌ها و قابلیت دسترسی عناصر غذایی در این خاک‌ها را کنترل می‌کنند، کاربرد منفرد تیمارهای مورد بررسی اثر چشم‌گیری بر قابلیت دسترسی عناصر غذایی در این خاک‌ها را ندارند، اما اثر تیمار S^o+VC+T در افزایش شاخص‌های مورد بررسی به طور معنی‌داری بیش از اثر تیمارهای S^o+T و VC+T بود. بنابراین به نظر می‌رسد، کاربرد توأم تیمارهای آلی، بیولوژیک و گوگرد عنصری که به‌طور همزمان تأمین کننده منبع انرژی و کربن برای جامعه میکروبی خاک و سبب کاهش pH خاک می‌شوند، به‌گونه چشم‌گیری می‌توانند موانع بر سر راه افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی را در خاک‌های آهکی رفع نمایند. بنابراین کاربرد همزمان تیمار کودهای آلی، گوگرد عنصری و باکتری تیوباسیلوس (S^o+VC+T) می‌تواند یک رویکرد امیدوارکننده در راستای افزایش حلالیت عناصر غذایی در خاک‌های آهکی باشد.

واژه‌های کلیدی: اسید هیومیک، باکتری تیوباسیلوس، خاک آهکی، گوگرد، قابلیت دسترسی عناصر غذایی، ورمی‌کمپوست

مقدمه

یکی از نگرانی‌هایی که در دهه‌های اخیر توجه بسیاری از محافل علمی را به خود جلب کرده است، کمبود و عدم تعادل عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان در خاک است. زیرا این دو معضل با کاهش میزان جذب عناصر غذایی توسط ریشه ضمن کاهش رشد و توسعه گیاهان، سلامت انسان و حیوانات تغذیه کننده از محصولات کشاورزی به بار آمده از این خاک‌ها را به مخاطره می‌اندازد (۵۳). خاک‌های آهکی با مساحت حدود ۶۰۰ میلیون هکتار که غالباً در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک قرار دارند، دارای pH در دامنه ۷/۵ تا ۸/۵ و آهک از میزان ناچیز تا ۹۵٪ می‌باشند (۳۱ و ۳۴). در این خاک‌ها به دلیل بالا بودن pH و فراوانی کلسیم به‌رغم فراوانی برخی از عناصر غذایی مانند فسفر، شکل‌های قابل جذب این عناصر کمتر از نیاز گیاهان است و بنابراین رشد گیاهان در این خاک‌ها اغلب با کمبود عناصر غذایی محدود می‌شود (۲۱). از سال ۱۹۶۰ تاکنون از مواد اسیدزا مانند گوگرد، اسید سولفوریک، اسید فسفریک و اوره برای کاهش pH خاک‌های آهکی جهت افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی استفاده شده است که گوگرد قدیمی‌ترین و رایج‌ترین آنهاست (۳۶). گوگرد پس از اضافه شدن به خاک، در اثر فرآیندهای شیمیایی و میکروبی به

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد و استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان
(*- نویسنده مسئول: (Email: z.sharifi@uok.ac.ir
DOI: 10.22067/jsw.v34i5.86182

اسید سولفوریک تبدیل شده که موجب کاهش pH خاک می‌شود (۶۱). البته باید به این نکته توجه نمود که شرط اصلی اثر بخشی گوگرد، سرعت اکسایش آن به سولفات است تا بتواند ضمن تأمین نیاز گوگردی گیاه با کاهش pH در ریزجایگاه‌های خاک به ویژه ریزوسفر، قابلیت جذب سایر عناصر غذایی را از راه افزایش حلالیت ترکیبات نامحلول مانند اکسیدها، کربنات‌ها و سیلیکات‌ها بهبود بخشد (۵۴). تحقق این شرط مستلزم وجود جمعیت بالایی از ریزجانداران اکسیدکننده گوگرد عنصری یعنی باکتری‌های جنس تیوباسیلوس[1] می‌باشد (۵۶). به‌گونه‌ای که پژوهش‌ها نشان داده‌اند، اکسایش گوگرد در خاک‌های تلقیح شده با باکتری‌های تیوباسیلوس حدود ۱۱ برابر بیشتر از خاک‌های تلقیح نشده است (۸). در پژوهش دیگری ساکاری و همکاران (۴۵) چنین گزارش کردند که مصرف گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس سبب افزایش عملکرد کلزا و نیز حلالیت فسفر، آهن و روی در خاک‌های آهکی شد. از طرفی، بیشتر خاک‌های آهکی به دلیل شرایط اقلیمی حاکم بر آن‌ها از فقر مواد آلی رنج می‌برند. در حالی‌که ماده آلی در بهبود بسیاری از ویژگی‌های خاک از جمله افزایش میزان کل و قابل جذب عناصر غذایی خاک، خاکدانه‌سازی، ظرفیت نگه‌داشت آب خاک و تنوع و فراوانی جانداران خاک بسیار مؤثر است (۴۸). همچنین ریزجانداران اکسید کننده گوگرد (تیوباسیلوس‌ها) زمانی در اکسایش گوگرد و افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی کارا خواهند بود که همگام با تلقیح آن‌ها به خاک، ماده آلی نیز مصرف شود (۵۲). در این راستا کاهش pH خاک با به‌کارگیری گوگرد (۴۷)، کود گاوی (۱۴) و باکتری تیوباسیلوس (۴) گزارش شده است. سجادی‌نیک و همکاران (۴۴) چنین گزارش کردند که مصرف ورمی‌کمپوست در مقایسه با مصرف کودهای شیمیایی باعث افزایش میزان کلروفیل، جذب عناصر نیتروژن، پتاسیم، فسفر، پروتئین و عملکرد دانه در گیاه کنجد شد. افزون بر گوگرد و ماده آلی، در سال‌های اخیر کاربرد اصلاح کننده‌های دیگری در راستای افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی در خاک‌های آهکی صورت گرفته است. گزارش شده است که اسید هیومیک با افزایش قابلیت جذب نیتروژن، پتاسیم، فسفر، کلسیم، منگنز، روی و آهن، همچنین افزایش میزان جذب آب، میزان کلروفیل و انتقال مواد فتوسنتزی سبب بهبود رشد و افزایش عملکرد در گیاهان می‌شود (۶۳). اخیراً نیز غلامی و شریفی (۶۷) چنین گزارش کردند که تیمار خاک‌های آهکی با پودر خون کشتارگاه سبب افزایش میزان قابل دسترس عناصر غذایی کم پرمصرف و کم مصرف گیاهان می‌شود. همچنین در پژوهشی اثر افزایشی معنی‌دار اسید سولفوریک در افزایش میزان قابلیت جذب فسفر و آهن خاک و همچنین افزایش میزان ماده خشک و عملکرد در گیاه گوجه‌فرنگی گزارش شده است (۴۳). پژوهش‌های بسیاری در رابطه با اثر تیمارهای مختلف بر افزایش میزان قابلیت جذب عناصر غذایی در خاک‌های آهکی انجام شده است اما پژوهشی در رابطه با مقایسه همزمان این تیمارها و شناخت کاراترین تیمار در دست نیست، بنابراین این پژوهش به بررسی همزمان ورمی‌کمپوست، گوگرد عنصری، باکتری تیوباسیلوس، اسید سولفوریک و اسید هیومیک به تنهایی و یا به‌صورت ترکیبی بر افزایش میزان قابلیت دسترسی عناصر غذایی در یک خاک آهکی می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

تیمارهای پژوهش

برای اجرای این پژوهش یک نمونه خاک زراعی آهکی از ژرفای ۳۰-۰ سانتی‌متری از یک مزرعه گندم شهرستان دهگلان واقع در استان کردستان بعد از برداشت محصول نمونه‌برداری شد و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل گردید. در آزمایشگاه پس از نرم کردن کلوخه‌ها و برداشتن پس‌ماندهای گیاهی، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. ورمی‌کمپوست کود گاوی نیز از یک سایت تولید ورمی‌کمپوست واقع در روستای سراب قامیش از توابع شهرستان سنندج تهیه گردید. مایه تلقیح باکتری گونه تیوباسیلوس تیوپاروس (*Thiobacillus thioparus PTCC 1686*) نیز از سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران تهیه شد. سپس یک کیلوگرم خاک در ظروف تمیز یک لیتری ریخته شد و برای حفظ نفوذپذیری و تهویه خاک ۱۰۰ گرم سنگریزه که به ترتیب با آب شهر، آب مقطر، اسید کلریدریک ۰/۱ مولار و با آب مقطر شستشو داده شد و در نهایت در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک شد، اضافه گردید و تیمارهای پژوهشی شامل ۹ تیمار هر کدام در ۳ تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی به شرح زیر تهیه شدند:

۱. خاک بدون تیمار (شاهد)

۲. خاک + اسید هیومیک (۱/۵ g/kg soil)

۳. خاک + اسید سولفوریک (رساندن رطوبت خاک به ۷۰٪ ظرفیت زراعی با آب مقطر که pH آن با اسید سولفوریک به ۵ تا ۵/۵ رسانده شده بود)

۴. خاک + باکتری تیوباسیلوس (به تعداد 10^4 عدد در هر گرم خاک)

۵. خاک + گوگرد عنصری (۱ t S°/ha)

۶. خاک + گوگرد عنصری (۱ t S°/ha) + باکتری تیوباسیلوس (به تعداد 10^4 عدد در هر گرم خاک)

۷. خاک + ورمی‌کمپوست (۱۲ t/ha)

۸. خاک + ورمی‌کمپوست (۱۲ t/ha) + باکتری تیوباسیلوس (به تعداد 10^4 عدد در هر گرم خاک)

1- Thiobacillus

۹. خاک + گوگرد عنصری (۱ t S°/ha) + ورمی‌کمپوست (۱۲t/ha) + باکتری تیوباسیلوس (به تعداد 10^4 عدد در هر گرم خاک)

رطوبت تمامی تیمارها با آب مقطر (به جز تیمار اسید سولفوریک) به ۷۰ درصد ظرفیت زراعی رسانده شد و به مدت ۹۰ روز در دمای آزمایشگاه (۲۵ ± ۲ °C) انکوباسیون شدند. در طول آزمایش کسر رطوبت تیمارها تا رطوبت فوق‌الذکر به صورت وزنی با آب مقطر جبران می‌شد. اما تیمار اسید سولفوریک با آب مقطری که pH آن با اسید سولفوریک بر روی ۵ تا ۵/۵ تنظیم شده بود به ۷۰ درصد ظرفیت زراعی رسانده شد و جبران کسر رطوبتی آن در طول آزمایش با همین محلول بود. یادآوری می‌شود همان‌گونه که در تیمار شماره ۱ آمده است در این پژوهش خاک نقطه صفر آزمایشی شاهد نبوده است، بلکه شاهد، خاک بدون هیچ تیماری بود که شرایط رطوبتی و دمایی آزمایش در طول انکوباسیون بر آن اعمال شد تا تغییرات ذاتی خود خاک تحت این شرایط نیز در نظر گرفته شود.

آنالیزهای فیزیکی و شیمیایی خاک و کود

در پایان انکوباسیون نمونه‌های خاک در هر تیمار به همراه ورمی‌کمپوست و خاک اولیه که تا انجام آزمایشات در یخچال در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شده بودند، همه هوا خشک شدند و با استفاده از روش‌های استاندارد زیر آنالیز شدند. بافت خاک به روش هیدرومتری (۱۱)، میزان کربن آلی کل به روش اکسیداسیون تر (۴۰)، کربنات کلسیم معادل خاک به روش تیتراسیون برگشتی (۳۲)، میزان pH و شوری در سوسپانسیون نسبت ۱ به ۵ (کمپوست به آب) و ۱ به ۲ (خاک به آب) به ترتیب به کمک دستگاه pHمتر و ECمتر اندازه‌گیری شد. میزان کل عناصر در کمپوست به روش اکسایش خشک و در خاک به روش اکسایش تر با بهره‌گیری از محلول $HCl:HNO_3$ (3:1) (۲۴) انجام شد. عصاره‌های تهیه شده تا انجام آزمایش‌ها در دمای ۴ °C در یخچال نگهداری شدند. در عصاره‌های به‌دست آمده میزان کل کلسیم و منیزیم به روش کمپلکسومتری (۱۰)، پتاسیم به روش نشر اتمی به کمک دستگاه فلیم‌فتومتر، فسفر به روش رنگ‌سنجی (۳۸) به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر و همچنین میزان کل عناصر کم‌مصرف (منگنز، آهن، مس و روی) و همچنین میزان قابل دسترس این عناصر با روش عصاره‌گیری با آمونیوم بی‌کربنات دی اتیلن تری آمین پنتا استیک اسید[1] (۶۰) عصاره‌گیری شدند. تمامی فلزات یاد شده (کل و قابل دسترس) به کمک دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند. همچنین نیتروژن کل به روش کجلدال اندازه‌گیری شد (۱۲). آمونیوم و نیترات نیز به روش برمنر و کینی (۱۳) اندازه‌گیری شدند.

آنالیزهای آماری

داده‌های به‌دست آمده برای تجزیه واریانس یک طرفه و مقایسه میانگین‌ها با روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار SAS9 انجام شد، بنابراین در سرتاسر این مقاله منظور از معنی‌داری، سطح احتمال ۵ درصد است. همچنین نمودارهای مربوطه با استفاده از نرم‌افزار EXCEL رسم شدند.

نتایج و بحث

ویژگی‌های خاک و کمپوست مورد استفاده در این پژوهش

خاک استفاده شده در این پژوهش دارای بافت لومی، pH قلیایی (۸/۰۱)، ماده آلی ۱/۷٪ و غیرشور ($0/20\ dSm^{-1}$) می‌باشد (جدول ۱). همچنین میزان فسفر و پتاسیم قابل دسترس این خاک به ترتیب ۷/۶ و $255/3\ mgkg^{-1}$ به‌دست آمد. با توجه به این نتایج و با در نظر گرفتن حد آستانه ۳/۴٪ ماده آلی برای بیشتر خاک‌ها، خاک مورد پژوهش در کلاس کم ماده آلی قرار دارد (۶۶). همچنین با توجه به استاندارد مؤسسه تحقیقات خاک و آب، میزان فسفر این خاک در حد کم ($5-10\ mgkg^{-1}$) و میزان پتاسیم آن در حد بهینه ($200\ mgkg^{-1}$ <) برای کشت گندم بر اساس آزمون خاک می‌باشد (۴۱). همچنین میزان آهن، روی، مس و منگنز قابل دسترس در خاک مورد بررسی به ترتیب ۰/۳۲، ۱/۲۰، ۱/۳۱ و $7/16\ mgkg^{-1}$ به‌دست آمد (جدول ۲) که بر اساس استاندارد مؤسسه تحقیقات خاک و آب، این خاک دارای کمبود آهن و منگنز برای کشت گندم می‌باشد (۴۱). میزان هدایت الکتریکی و pH در کمپوست مورد استفاده در این پژوهش، به‌ترتیب ۸/۹۷ و $1/29\ dSm^{-1}$ بود (جدول ۲). میزان کل عناصر روی، مس، سرب و نیکل در ورمی‌کمپوست به ترتیب ۹۴، ۱۹، ۲۱/۶۷ و $mgkg^{-}$ ۴۹/۱۱[1] به‌دست آمد، که نسبت به حدود مجاز این عناصر به ترتیب ۲۵۰-۲۰۰، ۲۰۰-۱۰۰، ۳۰۰-۱۵۰ و $60\ mgkg^{-1}$ برای کودهای آلی بر طبق استاندارد ملی استرالیا محدویتی از نظر عناصر یادشده برای استفاده از این کود در خاک جهت اهداف کشاورزی وجود ندارد. همچنین میزان کل کادمیم در ورمی‌کمپوست برابر با $2\ mgkg^{-1}$ به‌دست آمد که در مقایسه با استاندارد کشورهای فنلاند، ایتالیا، فرانسه و اتریش که برابر $3\ mgkg^{-1}$ است، ورمی‌کمپوست مورد استفاده فاقد محدویت برای استفاده جهت اهداف کشاورزی است (۶۵) (جدول ۳).

1- Ammonium Bicarbonate Diethylene Triamine Penta Acetic acid (AB DTPA)

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و ورمی‌کمپوست (میانگین± خطای استاندارد)

Table 1- Some physical and chemical properties of soil and vermicompost (Values are means of three replicates ± the standard errors)

	بافت Texture	واکنش خاک pH	هدایت الکتریکی (dS/m) Electrical conductivity (dS/m)	ماده آلی (٪) Organic matter (%)	نیتروژن کل (٪) Total nitrogen (%)	کربنات کلسیم معادل (٪) Equivalent calcium carbonate (%)
خاک Soil	لوم Loam	8.01±0.03	0.20±0.00	1.66±0.02	0.1±0.00	24.91±0.22
ورمی‌کمپوست Vermicompost	-	8.97±0.16	1.29±0.02	60.87±1.37	1.65±0.02	-

جدول ۲- مقادیر کل و قابل دسترس عناصر غذایی در خاک مورد پژوهش پیش از اعمال تیمارها (میانگین ± خطای استاندارد)

Table 2- Total and available nutrient amounts in the soil under study before treatments (mean ± standard error)

مس Cu	منگنز Mn	روی Zn	آهن Fe	نیترات NO_3	آمونیوم NH_4	پتاسیم K	فسفر P	منیزیم Mg	کلسیم Ca
(mg kg^{-1})								(%)	
مقدار کل Total content									
24.43±0.38	211.57±27.87	46.53±4.71	12611.85±735	-	-	1104.05±73.74	93.35±2.77	1.18±0.04	4.86±0.20
مقدار قابل دسترس Available content									
1.31±0.00	7.16±0.66	1.20±0.10	0.32±0.10	5.96±0.6	8.16±0.67	255.30±1.51	7.63±0.49	0.05±0.01	0.27±0.03

جدول ۳- مقادیر کل عناصر غذایی در ورمی‌کمپوست مورد پژوهش (میانگین ± خطای استاندارد)

Table 3- Total and available amounts of nutrients in soil under study before treatments (mean ± standard error)

روی Zn	آهن Fe	فسفر P	پتاسیم K	منیزیم Mg	کلسیم Ca
(mg kg^{-1})				(%)	
94.44±3.1	6061.87±312.8	1081.94±22.6	5678.90±164.3	0.25±0.0	2.20±0.1
سرب Pb	**کادمیم Cd**	**نیکل Ni**	**مس Cu**	**منگنز Mn**	
(mg kg^{-1})					
21.7±2.38	2.06±0.9	49.11±1.7	19.26±0.7	306.18±14.0	

اثر تیمارهای آزمایشی بر ویژگی‌های خاک مورد بررسی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تیمارهای مورد بررسی در این پژوهش اثر معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر شاخص‌های مورد بررسی داشته است (جدول ۴).

pH خاک

میزان pH در تمامی تیمارهایی که گوگرد عنصری حضور داشت، کاهش معنی‌داری را در مقایسه با شاهد (خاک بدون تیمار) از خود نشان دادند. نکته قابل توجه این‌که تیمار باکتری تیوباسیلوس به تنهایی سبب تغییر معنی‌داری در pH خاک نشد اما زمانی که این باکتری‌ها با گوگرد عنصری (S^o+T) و یا همراه با ماده آلی و گوگرد عنصری (S^o+VS+T) به صورت توأم به خاک اضافه گردید، کاهش بیشتری را در pH خاک سبب شدند. اما در مورد سایر تیمارها میزان pH در مقایسه با شاهد تغییرات معنی‌داری نداشت، به جز تیمار ورمی‌کمپوست که این شاخص افزایش معنی‌داری داشت (شکل ۱). در هماهنگی با یافته‌های این پژوهش، محمدی آریا و همکاران (۳۷) و حیدرنژاد و همکاران (۲۲) کاهش معنی‌دار pH خاک را در اثر کاربرد گوگرد به همراه مایه تلقیح تیوباسیلوس گزارش کردند. همچنین برخی پژوهش‌ها به نقش مؤثر فراهمی گلوگز (ماده آلی) در تسریع اکسیداسیون گوگرد و کاهش معنی‌دار pH خاک (۲۷) و نیز کاربرد همزمان گوگرد، کود گاوی و باکتری تیوباسیلوس در کاهش میزان pH خاک را نسبت به حالتی که به تنهایی به کار می‌روند، اشاره کرده‌اند (۳، ۲۷). در این پژوهش کاهش pH خاک در نتیجه تیمار گوگرد + ورمی‌کمپوست + باکتری تیوباسیلوس ممکن است ناشی از تولید گاز کربنیک در طی فرآیند تجزیه مواد آلی و نیز نقش کود ورمی‌کمپوست به‌عنوان منبع کربن برای فعالیت بیشتر باکتری‌های اکسید کننده گوگرد باشد (۳۷).

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های مورد بررسی

Table 4- Analysis of variance of the studied indicators

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares									
		هدایت الکتریکی EC	واکنش خاک pH	فسفر P	پتاسیم K	آمونیوم NH_4	نیترات NO_3	روی Zn	منگنز Mn	آهن Fe	مس Cu
تیمار Treatment	8	0.831*	0.604*	283.73*	40453.92*	1.963*	306.450*	0.054*	5.781*	1.031*	0.008*
خطا Error	18	0.002	0.003	5.388	81.370	0.480	58.54	0.004	1.066	0.0273	0.005
ضریب تغییرات Coefficient of variation	-	5.32	0.72	5.25	3.75	8.12	15.94	4.28	6.85	3.036	4.96

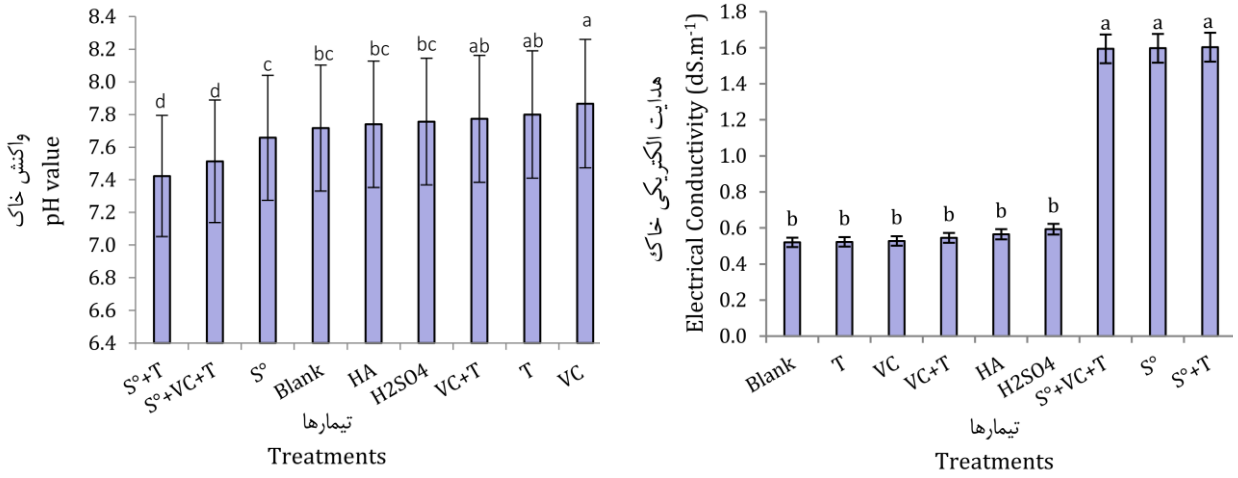
*: Significance at P<0.05 level

* : معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد

اما افزایش معنی‌دار pH در تیمار ورمی‌کمپوست می‌تواند ناشی از وجود آهک در این تیمار آلی و جذب پروتون توسط این ترکیبات و یا آزاد شدن یون هیدروکسیل و یون‌های قلیایی در جریان تجزیه مواد آلی باشد (۳۹).

هدایت الکتریکی خاک (EC)

میزان EC در تمامی تیمارهای مورد بررسی نسبت به شاهد افزایش یافت، اما این افزایش فقط در تیمارهایی معنی‌دار بود که در آن‌ها گوگرد به تنهایی (S^o) و یا همراه با باکتری تیوباسیلوس (S^o+T) و یا همراه با ماده آلی و باکتری تیوباسیلوس (S^o+VS+T) حضور داشت (شکل ۱). در هماهنگی با این نتایج، وانگ و همکاران (۵۹) افزایش EC خاک ناشی از مصرف کمپوست را گزارش کرده‌اند، این پژوهندگان علت این امر را بالا بودن شوری خود کمپوست مصرف شده و نیز افزایش میزان عناصر محلول خاک ناشی از تجزیه آن بیان کرده‌اند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد در تیمارهایی که گوگرد و باکتری تیوباسیلوس حضور داشت، میزان افزایش EC نیز چشم‌گیرتر بود. این مسئله می‌تواند ناشی از افزایش شدت اکسیداسیون گوگرد و تولید اسید سولفوریک در حضور باکتری‌های اکسید کننده گوگرد باشد، این اسید با کربنات‌های خاک واکنش داده و آن‌ها را به سولفات‌های محلول تبدیل می‌کند (۴۷).



شکل ۱ – واکنش و هدایت الکتریکی خاک تیمارهای مورد پژوهش، Blank: شاهد، HA: اسید هیومیک، H_2SO_4: اسیدسولفوریک، T: باکتری تیوباسیلوس، S°: گوگرد عنصری، VC: ورمی‌کمپوست، S°+T :گوگرد عنصری+باکتری تیوباسیلوس، VC+T: ورمی‌کمپوست+باکتری تیوباسیلوس، S°+VC+T: گوگرد عنصری+ورمی‌کمپوست+باکتری تیوباسیلوس. حروف متفاوت بیانگر معنی‌دار بودن میانگین‌ها در هر تیمار به روش دانکن در پایه آماری ۵ درصد می‌باشد.

Figure 1- pH and electrical conductivity (EC) of examined soil variables (mean ± SE). Humic Acid (HA), Sulfuric acid (H_2SO_4), Thiobacillus bacteria (T), Sulfur (S°), Sulfur + Thiobacillus bacteria (S°+T), Vermicompost (VC), Vermicompost + Thiobacillus bacteria (VC+T), and Sulfur + Vermicompost + Thiobacillus bacteria (S°+VC+T). Different superscript letters indicate significant differences (P<0.05) between means.

عناصر پرمصرف

فسفر قابل دسترس

تیمارهایی که کود آلی دریافت کردند و یا این‌که این کودها به‌همراه گوگرد و باکتری تیوباسیلوس به‌کار رفت، افزایش معنی‌داری در میزان فسفر قابل دسترس خاک را سبب شدند اما سایر تیمارها تغییرات معنی‌داری را در رابطه با این شاخص نسبت به تیمار شاهد از خود نشان ندادند (شکل ۲). در هماهنگی با این یافته‌ها، پژوهش‌ها نشان داده‌اند در اثر تجزیه مواد آلی همچون ورمی‌کمپوست، یون هومیک، یون هومات، آنیون‌های آلی و دی‌اکسیدکربن تولید می‌شود که یون هومیک به‌راحتی برای گیاه قابل جذب است، یون هومات سبب رهاسازی فسفات‌های جذب سطحی شده می‌شود و آنیون‌های آلی از طریق پیوند با آهن و آلومنیوم سبب کاهش تثبیت فسفر خواهند شد. از طرفی خود ماده آلی می‌تواند با پوشش دادن سطح کلوئیدهای خاک، اکسیدهای آهن و آلومینیوم و کربنات کلسیم از جذب و بی‌جنبش کردن فسفر توسط این ترکیبات بکاهد (۳۳ و ۱۵). در هماهنگی با یافته‌های سیدی و همکاران (۴۷) در این پژوهش در تیماری که باکتری تیوباسیلوس و ورمی‌کمپوست به‌همراه هم اعمال شده بود، بیشترین میزان فسفر قابل دسترس به‌دست آمد. همچنین در پژوهش دیگری در راستای یافته‌های این پژوهش، میرانصاری و اسمیت (۳۵) مشاهده کردند که اکسایش گوگرد به‌کمک تیوباسیلوس‌ها منجر به کاهش pH خاک و افزایش حلالیت فسفر می‌شود. در این پژوهش تیماری که گوگرد به تنهایی و یا همراه با باکتری تیوباسیلوس به‌کار رفته است، علی‌رغم کاهش pH، فسفر قابل دسترس خاک افزایش نیافته است (شکل ۱ و ۲). به‌نظر می‌رسد، اسید سولفوریک تولید شده توسط این باکتری‌ها ضمن کاهش pH خاک با کربنات کلسیم خاک واکنش داده و آن‌ها را به گچ تبدیل کرده که محلول‌تر از کربنات کلسیم بوده و غلظت کلسیم را در محلول خاک افزایش داده و این امر باعث تثبیت فسفر به صورت فسفات‌های مختلف کلسیم می‌شود (۲۲ و ۵۷). در تأیید این مطلب کوچک‌زاده (۲۹) گزارش کرد که هر چند که pH خاک در اثر کاربرد گوگرد کاهش می‌یابد اما در pHهای بالاتر از ۷/۵ که عموماً یون کلسیم فعال فراوانی حضور دارد، فسفر محلول عمدتاً به صورت فسفات‌های کلسیم رسوب می‌کند. همچنین سفونتیس و لیندمن (۱۶) گزارش نمودند که به‌کارگیری گوگرد عنصری در خاک‌های آهکی اثری بر میزان فسفر قابل دسترس خاک نداشته است و دلیل این امر را ظرفیت بافری خاک عنوان کرده‌اند.

پتاسیم قابل دسترس خاک

تیمارهایی که ورمی‌کمپوست، گوگرد و باکتری تیوباسیلوس در آن‌ها حضور داشت و تیمار اسید سولفوریک در مقایسه با تیمار شاهد افزایش معنی‌داری را در میزان پتاسیم قابل دسترس خاک سبب شدند. در حالی‌که سایر تیمارها در رابطه با این شاخص تغییرات معنی‌داری را در مقایسه با شاهد از خود نشان ندادند (شکل ۲). این نتیجه در پژوهش‌های دیگر نیز گزارش شده است (۴۲). پژوهندگان علت این امر را آزادسازی پتاسیم ناشی از تجزیه مواد آلی توسط ریزجانداران خاک و کاهش تثبیت و افزایش حلالیت پتاسیم ناشی از افزایش مواد آلی خاک گزارش کرده‌اند. یکی دیگر از دلایل افزایش پتاسیم قابل دسترس در این خاک می‌تواند جایگزینی آمونیوم ناشی از تجزیه کودهای نیتروژنی با پتاسیم در جایگاه‌های تبادلی باشد. همچنین در این پژوهش زمانی که گوگرد عنصری به‌تنهایی به‌کار رفته است، اثری بر میزان پتاسیم قابل دسترس خاک نداشت، اما هنگامی که همراه با کودهای آلی و باکتری تیوباسیلوس به خاک افزوده شد بیشترین اثر افزایشی را بر میزان این شاخص داشت (شکل ۲). این نتیجه احتمالاً به دلیل تحریک رشد جامعه میکروبی خاک بر اثر ماده آلی افزوده شده به خاک و افزایش اکسیداسیون زیستی گوگرد باشد (۱۶). از طرفی، عدم معنی‌داری اثر اسید هیومیک بر میزان قابل دسترس پتاسیم در این پژوهش احتمالاً به دلیل نبود پتاسیم در ترکیبات هومیک و یا عدم ایجاد لیگاندهای محلول با این عنصر باشد (۲۰). همچنین در این پژوهش افزایش معنی‌دار پتاسیم در تیمار اسید سولفوریک در مقایسه با شاهد می‌تواند به دلیل اثر این تیمار در تبدیل کربنات‌های کلسیم کم محلول به گچ با حلالیت بیشتر باشد که سبب رهاسازی کلسیم به محلول خاک و آزادسازی پتاسیم توسط این یون از سایت‌های تبادلی باشد (۹).

نیتروژن قابل دسترس (آمونیوم و نیترات)

میزان آمونیوم در تمامی تیمارهای مورد بررسی در مقایسه با شاهد افزایش یافت و این افزایش در بیشتر موارد از نظر آماری معنی‌دار بود (شکل ۲). در هماهنگی با این یافته‌ها، کیل و همکاران (۲۶) چنین گزارش کردند که کاربرد ورمی‌کمپوست در یک شالیزار به طور مستقیم از طریق تجزیه مواد نیتروژنی در خود کمپوست و به طور غیرمستقیم از طریق تحریک فعالیت جامعه میکروبی خاک سبب افزایش نیتروژن معدنی خاک به‌ویژه آمونیوم می‌شود. در پژوهش دیگری سجادی‌نیک و همکاران (۴۴) گزارش کردند که ورمی‌کمپوست در مقایسه با کودهای شیمیایی و زیستی، افزایش بیشتری در نیتروژن معدنی خاک را سبب می‌شود. همچنین در راستای نتایج این پژوهش افزایش نیتروژن معدنی خاک در اثر کاربرد تیمارهای اسید هیومیک (۶۲) و گوگرد (۴۶) گزارش شده

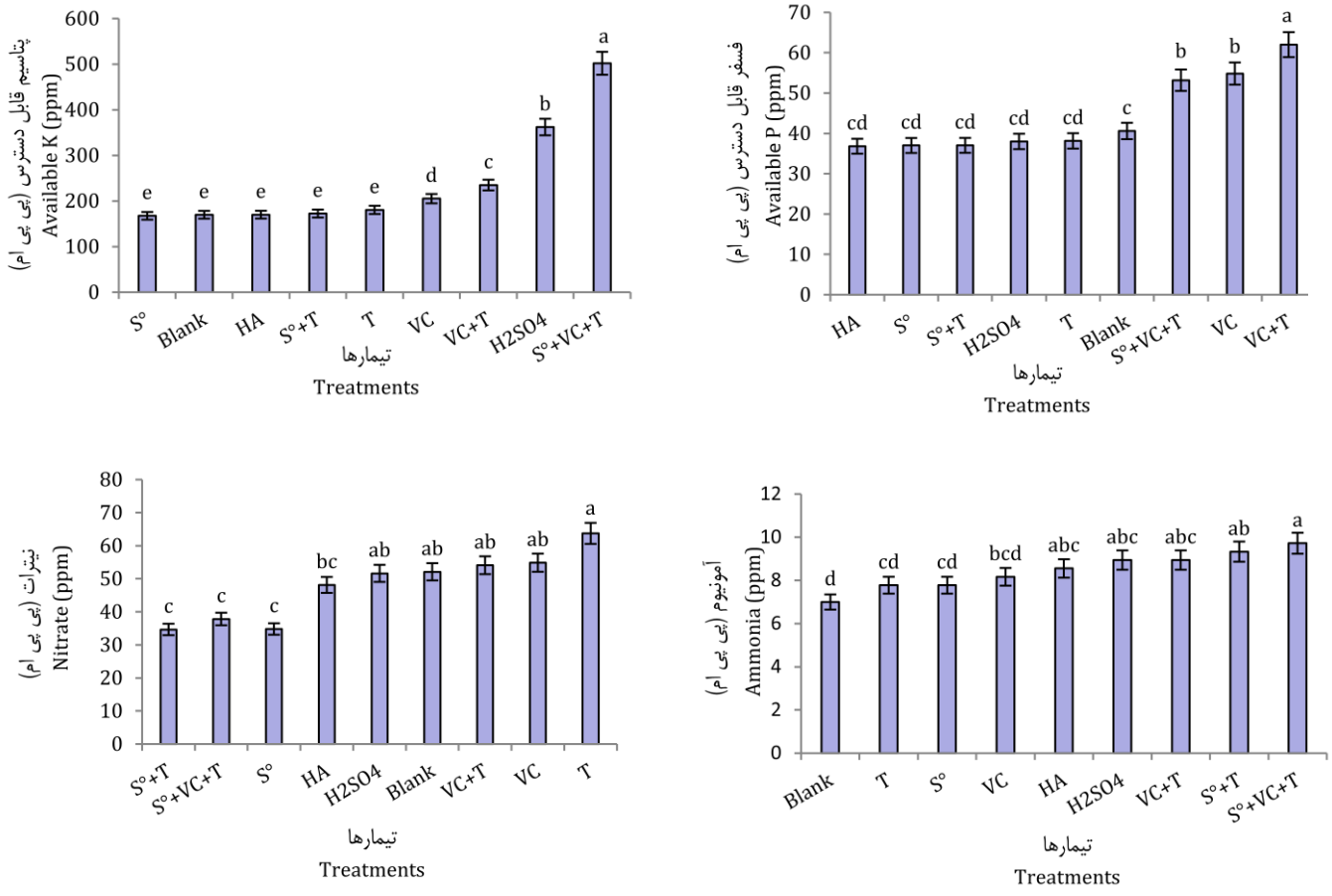
است.

میزان نیترات در تمامی تیمارهای مورد بررسی در مقایسه با شاهد تغییرات معنی‌داری نشان نداد، به جز تیمارهایی که در آن گوگرد به کار رفته بود که میزان کاهش این شاخص در مقایسه با شاهد از نظر آماری معنی‌دار است (شکل ۲). به سخن دیگر، به‌نظر می‌رسد در تیمارهای مورد آزمایش نیتریفیکاسیون روندی عکس با آمنوفیکاسیون داشته است. در هماهنگی با یافته‌های این پژوهش، دلایل مختلفی در کاهش نیترات خاک بعد از اضافه شدن تیمارهای آلی به خاک گزارش شده است که از جمله این دلایل می‌توان به آبشویی، تصعید، جذب توسط گیاه و محبوس شدن در سلول‌های میکروبی و یا در ساختار پیوندی کانی‌های رسی اشاره کرد (۷).

میزان قابل دسترس عناصر کم‌مصرف خاک

روی قابل دسترس در خاک

روی هم رفته میزان روی قابل دسترس هر چند در اکثر تی مارهای مورد بررسی نسبت به شاهد افزایش یافته است اما این افزایش تنها در تیمارهایی که ورمی‌کمپوست به تنهایی و یا با گوگرد عنصری و باکتری تیوباسیلوس همراه شده است، از نظر آماری معنی‌دار بود (شکل ۳).



شکل ۲ – پتاسیم قابل دسترس، فسفر قابل دسترس، نیترات و آمونیوم تیمارهای مورد پژوهش، Blank: شاهد، HA: اسید هیومیک، H_2SO_4: اسیدسولفوریک، T: باکتری تیوباسیلوس، °S: گوگرد عنصری، VC: ورمی‌کمپوست، °S+T :گوگرد عنصری+باکتری تیوباسیلوس، VC+T: ورمی‌کمپوست+باکتری تیوباسیلوس، °S+VC+T: گوگرد عنصری+ورمی‌کمپوست+باکتری تیوباسیلوس. حروف متفاوت بیانگر معنی‌دار بودن میانگین‌ها در هر تیمار به روش دانکن در پایه آماری ۵ درصد می‌باشد.

Figure 2- Available K, Available P, Nitrate and Ammonia of examined soil variables (mean ± SE). Humic Acid (HA), Sulfuric acid (H_2SO_4), Thiobacillus bacteria (T), Sulfur (S°), Sulfur + Thiobacillus bacteria (S°+T), Vermicompost (VC), Vermicompost + Thiobacillus bacteria (VC+T), and Sulfur + Vermicompost + Thiobacillus bacteria (S°+VC+T). Different superscript letters indicate significant differences (P<0.05) between means.

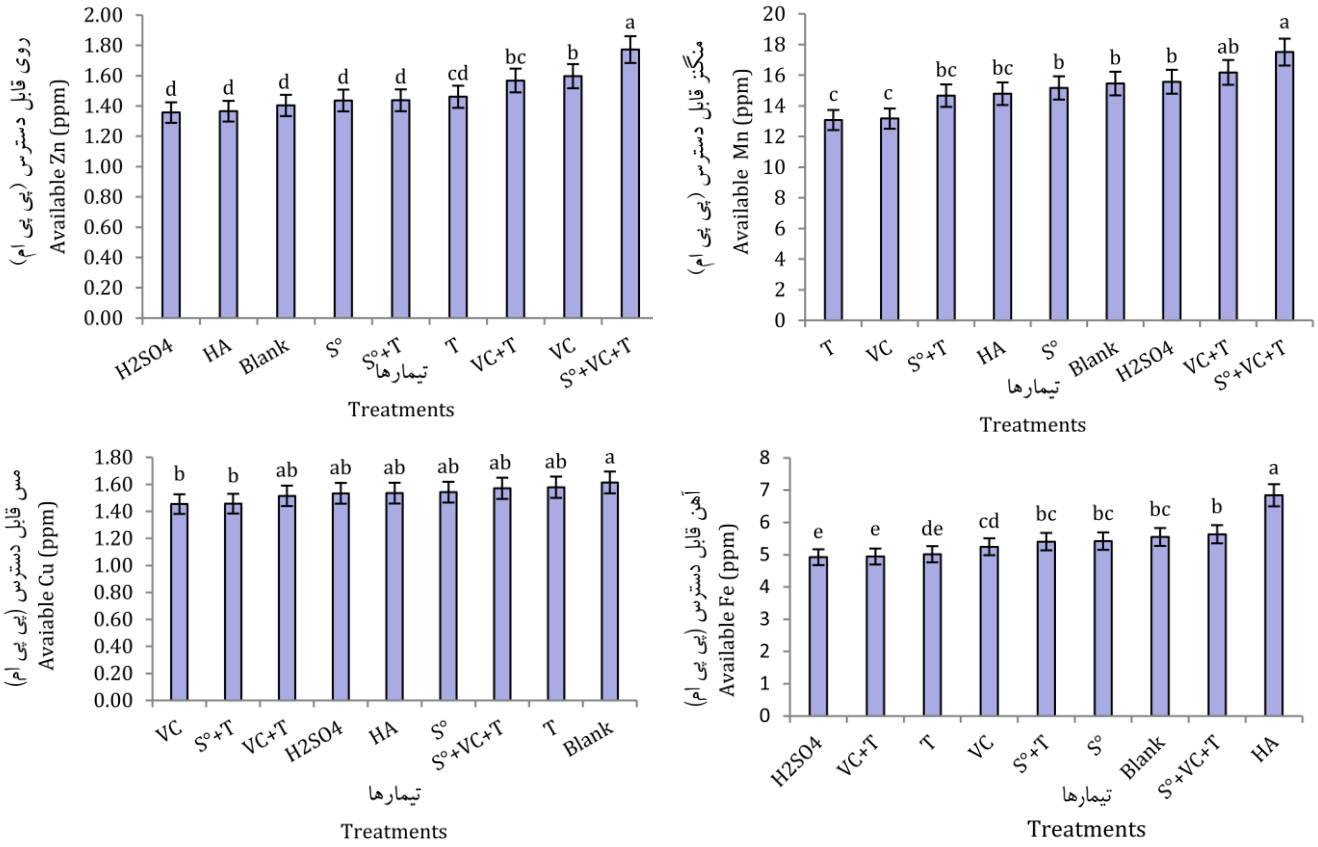
پژوهش‌ها نشان داده‌اند که تیمارهای آلی از جمله کمپوست از طریق رهاسازی روی در اثر تجزیه و ایجاد مواد کلات کننده به طور مستقیم و یا به طور غیرمستقیم با بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی خاک، فراهمی عناصر کم‌مصرف از جمله روی را افزایش می‌دهند (۱ و ۵۵). در تأیید این مطالب ون‌ارپ و ون (۵۸) گزارش کردند که روی بر خلاف مس پیوند قوی با ماده آلی برقرار نکرده و بنابراین هنگام کاربرد کود آلی قابلیت استفاده آن افزایش می یابد. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که در مقایسه با شاهد در تیمارهایی که گوگرد و باکتری تیوباسیلوس با ورمی‌کمپوست همراه شده است در مقایسه با حالتی که این تیمارها به صورت منفرد به کار رفته‌اند، میزان روی قابل دسترس به میزان بیشتری در مقایسه با شاهد افزایش یافته است (شکل ۳). پژوهش‌ها نشان می‌دهند که عوامل متعددی از جمله میزان روی کل، pH، ماده آلی، مکان‌های جذب و فعالیت میکروبی بر میزان روی قابل دسترس خاک مؤثر هستند (۲). در میان موارد گفته شده pH مهم‌ترین فاکتور کنترل کننده روی قابل دسترس خاک است که افزایش آن با میزان روی قابل دسترس رابطه عکس دارد (۵۱). بنابراین احتمالاً کاهش بیشتر pH در تیمارهای یادشده علت افزایش بیشتر میزان روی قابل دسترس در این تیمارها باشد. همچنین افزایش روی قابل دسترس در این پژوهش در تیمارهایی که باکتری‌های تیوباسیلوس حضور داشته است می‌تواند از طریق مکانیسم‌های دیگری غیر از اکسایش گوگرد باشد که از جمله این مکانیسم‌ها می‌توان به ترشح متابولیت‌های اسیدی، ترشح برخی از آنزیم‌ها، مواد محرک رشد و مواد کلات کننده اشاره کرد.

منگنز قابل دسترس خاک

روی هم رفته میزان منگنز قابل دسترس در تیمارهایی که دارای ماده آلی بوده‌اند، افزایش یافته است اما این افزایش تنها در تیماری که گوگرد، ورمی‌کمپوست و باکتری تیوباسیلوس به‌همراه هم به‌کار رفته‌اند، از نظر آماری معنی‌دار بود (شکل ۳). پژوهش‌ها نشان می‌دهند که اثر ماده آلی بر افزایش منگنز قابل دسترس ممکن است به صورت مستقیم باشد، زیرا با افزودن مواد آلی و تجزیه این مواد در خاک، منگنز موجود در این کودها آزاد شده و یا مواد آلی می‌توانند به صورت غیرمستقیم با کلات کردن عناصر کم‌مصرف از جمله منگنز قابلیت دسترسی این عناصر را افزایش دهند (۳۰). البته باید به این نکته نیز توجه نمود که اغلب تیمارهای آلی در ابتدا به دلیل ایجاد پیوندهای پایدار کلاته با منگنز باعث کمبود شدید این عنصر در خاک می‌شوند اما بعد از تجزیه مواد آلی و شکسته شدن این پیوندها گاهاً سمیت منگنز نیز مشاهده می‌شود. همچنین با افزایش مواد آلی به خاک شیمیولیتوتروف‌ها منگنز را از فرم ۲ به ۳ و ۵ غیرقابل جذب برای گیاهان تبدیل می‌کنند. اثر افزایشی گوگرد همگام با مواد آلی در افزایش منگنز قابل دسترس خاک می‌تواند ناشی از این امر باشد که با افزایش میزان مواد آلی مصرفی، جمعیت ریزجانداران اکسید کننده گوگرد افزایش یافته است و در نتیجه اثر گوگرد بر کاهش واکنش خاک، افزایش میزان عناصر کم‌مصرف قابل جذب از جمله منگنز تشدید می‌شود (۱۸). در همین راستا کریمی‌نیا و شعبان‌پور (۲۷) چنین گزارش کردند که افزودن مواد آلی باعث افزایش فعالیت باکتری‌های تیوباسیلوس و افزایش سرعت اکسیداسیون گوگرد خواهد شد. اما کاهش معنی‌دار میزان منگنز قابل دسترس در کاربرد منفرد ورمی‌کمپوست در این پژوهش می‌تواند ناشی از بالا بودن میزان pH در این تیمار و به‌وجود آمدن کمپلکس‌های آلی-فلزی نامحلول منگنز در pHهای بالا باشد. در هماهنگی با این یافته آنتونیادیس و آلووی (۵) چنین گزارش کردند که کاربرد ورمی‌کمپوست به تنهایی در خاک سبب کاهش منگنز قابل دسترس خاک می‌شود.

مس قابل دسترس خاک

در تیمارهای مورد بررسی میزان مس قابل دسترس در مقایسه با شاهد تغییرات معنی‌داری نیافت، به جز دو تیمار ورمی‌کمپوست و گوگرد به‌همراه تیوباسیلوس که میزان این شاخص کاهش معنی‌داری در پایه آماری ۵ درصد از خود نشان داده‌اند (شکل ۳). این نتایج نخست ممکن است به این دلیل باشد که هر چند تیمارهای مورد بررسی سبب کاهش pH خاک شده‌اند، اما این میزان کاهش pH در حدی نبوده است که بتواند به حلالیت مس کمک کند، چرا که پژوهش‌ها نشان می‌دهند که تغییرات چشم‌گیر مس قابل دسترس در pHهای کمتر از ۵ اتفاق می‌افتد (۱۹). دوم این‌که مس در خاک می تواند با مواد آلی، رس‌ها، اکسیدهای آهن و منگنز، کربنات‌ها، فسفات‌ها و سولفیدها ترکیب شود که این شکل‌ها توانایی‌های متفاوتی برای نگهداری یا آزاد کردن مس را دارند و می‌توانند به‌طور چشم‌گیری بر پویایی مس و دسترسی زیستی آن اثر بگذارند (۲۵). در این پژوهش عدم افزایش و حتی کاهش معنی‌دار مس قابل دسترس در تیمارهایی که به آن‌ها کودهای آلی افزوده شده است، می‌تواند به‌دلیل میزان کم مس در کودهای آلی و تمایل زیاد فلز مس در ایجاد کمپلکس‌های پایدار با ماده آلی باشد که سبب کاهش میزان قابل جذب آن می‌شود (۶۴). همچنین در هماهنگی با یافته‌های این پژوهش، کریمی‌زرچی و همکاران (۲۸) گزارش کردند که کاربرد g S°/kg soil ۱ اثری بر میزان حلالیت مس قابل دسترس خاک نداشت.



شکل ۳- روی، منگنز، آهن و مس قابل دسترس تیمارهای مورد پژوهش، Blank: شاهد، HA: اسید هیومیک، H_2SO_4: اسیدسولفوریک، T: باکتری تیوباسیلوس، S°: گوگرد عنصری، VC: ورمی‌کمپوست، S°+T :گوگرد عنصری+باکتری تیوباسیلوس، VC+T: ورمی‌کمپوست+باکتری تیوباسیلوس، S°+VC+T: گوگرد عنصری+ورمی‌کمپوست+باکتری تیوباسیلوس. حروف متفاوت بیانگر معنی‌دار بودن میانگین‌ها در هر تیمار به روش دانکن در پایه آماری ۵ درصد می‌باشد.

Figure 3- Available Zn, Available Mn, Available Fe and Available Cu of examined soil variables (mean ± SE). Humic Acid (HA), Sulfuric acid (H_2SO_4), Thiobacillus bacteria (T), Sulfur (S°), Sulfur + Thiobacillus bacteria (S°+T), Vermicompost (VC), Vermicompost + Thiobacillus bacteria (VC+T), and Sulfur + Vermicompost + Thiobacillus bacteria (S°+VC+T). Different superscript letters indicate significant differences (P<0.05) between means

آهن قابل دسترس

میزان آهن قابل دسترس خاک تنها در تیمار اسید هیومیک افزایش معنی‌داری از نظر آماری در مقایسه با شاهد از خود نشان داد (شکل ۳). در هماهنگی با این یافته آستارایی و ایوانی (۶) چنین گزارش کردند که اسید هیومیک از طریق تأمین و در اختیارگذاری عناصر کم‌مصرف همچون آهن و عناصر پرمصرف و بهبود وضعیت فتوسنتز در گیاه سبب افزایش وزن تر و خشک گیاه می‌شود. همچنین ایهراگوییل و همکاران (۱۷) چنین بیان کردند که اسید هیومیک از طریق تشکیل کمپلکس با یون آهن، از رسوب آن جلوگیری کرده و میزان قابل دسترس آن را افزایش می‌دهد. همچنین گزارش شده است که اسیدهای آلی به طور مؤثری تحرک و حلالیت بسیاری از کاتیون‌های فلزی از جمله آهن و آلومنیوم را افزایش می‌دهند (۲۳). در برخی از پژوهش‌ها گزارش شده است که اسید هیومیک فعالیت‌های میکروبی در خاک را بهبود می‌بخشد (۴۹) و همین مسئله می‌تواند یکی از عوامل افزایش میزان حلالیت آهن ناشی از افزایش متابولیت‌های میکروبی همچون تولید سیدروفورها و غیره در تیمار اسید هیومیک باشد. همچنین در این پژوهش در تمام تیمارهایی که گوگرد حضور داشت، در مقایسه با تیمار شاهد، تغییرات معنی‌داری در

میزان آهن قابل دسترس مشاهده نشد و در مابقی تیمارها به جز تیمار ورمی‌کمپوست میزان حلالیت آهن در مقایسه با تیمار شاهد کاهش معنی‌داری داشت (شکل ۳). در هماهنگی با این یافته‌ها کریمی‌زرچی و همکاران (۲۸) در پژوهش خود از سطوح مختلف گوگرد (۰/۵، ۱ و ۲ g S°/kg soil) استفاده کردند و مشاهده کردند که کاربرد g S°/kg soil ۱ اثری بر افزایش میزان آهن قابل دسترس خاک نداشت. همچنین سفونتیس و لیندمن (۱۶) گزارش نمودند که به‌کارگیری گوگرد عنصری در خاک‌های آهکی اثری بر میزان آهن قابل دسترس خاک نداشت و دلیل این امر را به ظرفیت بافری خاک نسبت دادند. روی هم رفته، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در این پژوهش در تیمارهایی که میزان فسفر قابل دسترس خاک افزایش یافته، آهن قابل دسترس خاک کاهش معنی‌داری از خود نشان داده است. در تأیید این مطلب، رابطه خطی پیرسون بین فسفر و آهن قابل جذب در این پژوهش ۰/۳۲- به‌دست آمد که در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است. بررسی‌ها نشان داده است که آهن می‌تواند با فسفات ترکیب شده و ترکیباتی نامحلول ایجاد کنند و به این گونه از میزان قابلیت جذب آهن کاسته شود (۳۴).

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف افزایش حلالیت عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف گیاهان در یک خاک آهکی با استفاده از تیمارهای مواد آلی، مواد اسیدزا و زیستی به روش انکوباسیون به مدت ۹۰ روز در دمای آزمایشگاه انجام شد. نتایج این پژوهش نشان داد به دلیل پویا بودن شرایط خود خاک، ظرفیت بالای بافری خاک‌های آهکی و پیچیده بودن حلالیت کانی‌هایی که غلظت عناصر مورد نیاز گیاهان در این خاک‌ها را کنترل می‌کنند، اثر یک تیمار به تنهایی نمی‌تواند تمامی موانع بر سر راه حلالیت عناصر غذایی در این خاک‌ها را رفع نماید. به گونه‌ای که نتایج این پژوهش نشان داد که بدون وجود فراهمی مواد آلی در خاک در نتیجه اعمال کودهایی مانند کمپوست و یا ورمی‌کمپوست استفاده از باکتری‌های تیوباسیلوس به همراه گوگرد نمی‌تواند نقش مؤثری در افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی در خاک‌های آهکی داشته باشد. بلکه ترکیبی از کودهای آلی که نقش مهمی در افزایش فعالیت و فراوانی باکترهای اکسید کننده گوگرد دارند، به همراه گوگرد عنصری و باکتری تیوباسیلوس می‌تواند راهکار مناسبی برای افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی در خاک‌های آهکی مشابه و افزایش کمی و کیفی رشد گیاهان در این خاک‌ها باشد. ضمن اینکه نویسندگان تأکید دارند، برای اطمینان بیشتر این پژوهش باید در شرایط مزرعه و در حضور گیاهان زراعی مختلف در خاک‌های آهکی با ویژگی‌های مختلف تکرار شود.

منابع

1- Agbede T.M., and Adekiya A.O. 2011. Evaluation of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) performance and soil properties under tillage methods and poultry manure levels. Emirates Journal of Food. Agriculture 23(2):164-177.

2- Alloway B.J. 2009. Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. Environmental Geochemistry and Health 31(5): 537-548.

3- Ansari M.H., Hashemabadi D., and Kaviani B. 2017. Effect of cattle manure and sulfur on yield and oil composition of pumpkin (*Cucurbita pepo* var. *Styriaca*) Inoculated with thiobacillus thiooxidans in calcareous soil. Communications in Soil Science and Plant Analysis 48(18): 2103-2118.

4- 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. Communications in Soil Science and Plant Analysis 46(17): 2111-2126.

5- Antoniadis V., and Alloway B.G. 2003. Evidence of heavy metal movement down the profile of a heavily sludged soil. Communication in Soil Science and Plant Analysis 34: 1225-1231.

6- Astaraei A.R., and Ivani R. 2008. Efect of organic sources as foliar spray and root media on nutrition if cowpea plant. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science 3: 352-356.

7- Beauchamp E.G. 1987. Corn response to residual N from urea and manure applied in previous year. Canadian Journal of Soil Science 67: 931-942.

8- BesharatiKelayeh H. 1998. Study of sulfur application with Thiobacillus species on absorption potential of some nutrients in soil. M.Sc. Thesis in Soil Science, College of Agriculture, Tehran University, Karaj, Iran, 1-9. (In Persian with English abstract)

9- Bohn H.L., McNeal B.L., and O'Conner G.A. 1979. Adsorption isotherms, Soil Chemistry 185-188.

10- Botha C.R., and Webb M.M. 1952. The versenate method for the determination of calcium and magnesium in mineralized waters containing large concentrations of interfering ions. Institute of Water Engineers Journal 6: 459-462.

11- Bouyoucos G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle is analysis of soils. Agronomy Journal

54:464–465.

12- Bremner J.M., and Mulvaney C.S. 1982: Nitrogen – Total. In: Methods of Soil Analysis, Part II, 2nd edition, Page, A.L., Miller, R. H, Keeney D. R. (Eds.), Madison, Wisconsin USA 1159.

13- Bremner J.M., and Keeney D.R. 1996. Determination and isotope-ratio analysis for different forms of nitrogen in soils. Exchangeable ammonium, nitrate, and nitrite by extraction-distillation methods. Proceedings of the Soil Science Society of America 30: 577-624.

14- Cardelli R., Saviozzi A., Cipolli S., and Riffaldi R. 2008. Compost and cattle manure as sources of inorganic sulfur to soil. Journal of Agronomy and Soil Science 54(2): 139-147.

15- Chen J.H. 1996. Characterization of Inositol hexaphophate, Glucose-6-phosphate and potassium dehydrate phosphate sorption by acid and calcareous soils. Journal of Chinese Agricultural Chemical Society 34: 112-117.

16- Cifuentes F.R., and Lindemann W.C. 1993. Organic matter stimulation of elemental sulfur oxidation in a calcareous soil. Soil Science Society of America Journal 57: 727–731.

17- Eyheraguibel B., Silvestre J., and Morard P. 2008. Effects of humic substances derived from organic waste enhancement on the growth and mineral nutrition of maize. Bioresource Technology 99: 4206–4212.

18- Goodarzi K. Enhancing Effects of sulfur and compost on nutrient availability and wheat yield. Journal of Water and Soil 15(2): 154-166. (In Persian with English abstract)

19- Hagin J., and Tucker B. 1982. Fertilization of dry land and irrigated soils. Springer Verlag, New York, 101-112

20- Halim, M., Conte P., and Piccolo A. 2003. Potential availability of heavy metals to phytoextraction from contaminated soils by exogenous humic substances. Chemosphere 52: 265-275.

21- Havlin J.L., Tisdale S.L., Nelson W.L., and Beaton J.D. 2005. Soil Fertility and Fertilizers. An Introduction to Nutrient Management. Prentice Hall; 7 ed., 499.

22- Heydarnezhad F., Shahinrokhsar P., Shokri Vahed H., and Besharati H. 2012. Influence of elemental sulfur and sulfur oxidizing bacteria on some nutrient deficiency in calcareous soils. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 4: 735-739.

23- Jones D.L., and Darrah P.R. 1994. Role of root derived organic acid in the mobilization of nutrient from the rhizosphere. Plant Soil 166: 247-257.

24- Jones Jr J.B. 2001. Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis, Chemical Rubber Company Press, 48-78.

25- Kabala C., and Singh B.R. 2001. Fractionation and mobility of copper, lead and zinc in soil profiles in the vicinity of a copper smelter. Journal of Environmental Quality 30: 485-492.

26- Kale R.D., Malesh B.C., Bano K., and Bagyaraj D.J. 1992. Influence of vermicompost application on the available macronutrients and selected microbial populations in a paddy field. Soil Biological and Biochemical 24: 317-1320.

27- Kariminia A., and Shabanpoor S. 2002. Sulphur oxidation power of heterotrophic microorganism in different soils. Journal of Soil and Water 1: 57-68.

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

29- Koochekzadeh Y. 2003. Effect of S and Thibacillus and organic matter on required P of corn in calcorus soils. MSc Thesis. TarbiatModarres University, Tehran, Iran. (In Persian with English abstract)

30- Kulkarni A. 2009. Biozink Solubilizing Microbes.

31- Leytem A.B., and Mikkelsen R.L. 2005. The nature of phosphorus in calcareous soils. Better Crops 89(2): 11-13.

32- Nelson R.E. 1982. Carbonate and Gypsum. In: Page A.L (Ed), Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and microbiological properties, (2nd Ed.). Agronomy Monograph 9, Madison, WI, pp. 181-196.

33- Malakooti M.J., and Homai M. 1995. Fertility of arid soils (problems and solutions). Tarbiat Modarres University Press, 494.

34- Marschner H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London.

35- Miransari M., and Smith D.L. 2007. Overcoming the stressful effects of salinity and acidity on soybean nodulation and yields using signal molecule genistein under field conditions. Journal of Plant Nutrition 30(12): 1967-1992.

36- Miyamoto S. 1998. Use of acids and acidulants on alkali soils and water. Handbook of soil conditioners. Marcel Dekker, Madison, NY, 217-256.

37- Mohammady Aria M., Lakzian A., Haghnia G.H., Berenji A.R., Besharati H., and Fotovat A. 2010. Effect of Thiobacillus, sulfur, and vermicompost on the water-soluble phosphorus of hard rock phosphate. Bioresource Technology 101: 551-554.

38- Murphy J., and Riley J.P.A. 1962. Modified single solution method for determination of phosphatein natural waters. Analytica Chimica Acta Journal 27: 31–36.

39- Naramabuye F.X., and Haynes R.J. 2006. Effect of organic amendments on soil pH and Al solubility and use of laboratory indices to predict their liming effect. Soil Science 171: 754-763.
40- Nelson D.W., and Sommers L.E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods; Sparks, D.L., ed.; SSSA Book Series No. 5; Soil Science Society of America: Madison, Wisconsin 961-1010.
41- Moshiri F., Shahabbi F.F., Keshavarz P., Khogar Z., Feiziasl V., Tehrani M.M., Asadi Rahmani H., Samavat M.N., Ghaibi M.N., Sedri M.H., Rashidi N., Saadat S., and Khdemi. 2014. Guidelines for integrated soil fertility and plant nutrition management of wheat. Published by Soil and Water Research Institute of Iran. Pp. 73.
42- Rodrigues M.A., Pereira A., Cabanas J.E., Dias L., Pires J. and Arrobas M. 2006. Crops use-efficiency of nitrogen from manures permitted in organic farming. European Journal of Agronomy 25: 328–335.
43- Ryan J., Stroehlein J.L., and Miyamoto S. 1975. Sulfuric Acid Applications to Calcareous Soils: Effects on Growth and Chlorophyll Content of Common Bermudagrass in the Greenhouse 1. Agronomy Journal 67(5): 633-637.
44- Sajadi nic R., Yadavy A.R., Baluchi H.R., and Faraji H. 2011. The effect of chemical fertilizers (urea), organic (vermicompost) and biological (Nitroksin) on the yield and quality of sesame. Journal of Agricultural Science 21(2): 87-101.
45- Sakari A., Ardakani M.R., and Khavazi K. 2012. Effect of azospiillum lipoferum and Thiobacillus thioparus on quantitative and qualitative characters of rapeseed (*Brassica napus* L.) under water deficit conditions. Middle-East Journal of Scientific Research 11(6): 819-827.
46- Salvagiotti F., Castellarín J.M., Miralles D.J., and Pedrol H.M. 2009. Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. Field Crop Research 113: 170-177.
47- Seyyedi S.M., Rezvani Moghaddam P., Khajeh-Hosseinia M., and Shahandeh H. 2015. Influence of phosphorus and soil amendments on black seed (*Nigell asativa* L.). Oil yield and nutrient uptake. Industrial Crops and Products 77: 167–174.
48- Shamim A.H.M., and Ahmed F. 2010. Response to sulfur and organic matter status by the application of sulfid materials in S defcient soils in Bangladesh. possibilities and opportunities. Report and Opinion 2(1): 188-193.
49- Sharif M., Sarir M.S., and Rabi F. 2000. Biological and chemical transformation of phosphorus in some important soil series of NWFP. Sarhad Journal of Agriculture 16(6): 587-592.
50- Sharifi Z., Azadi N., and Certini G. 2017. Fire and tillage as degrading factors of soil structure in northern zagros oak forest, west Iran. Land Degradation and Development 28: 1068–1077.
51- Shuman L.M., and Li Z. 1997. Amelioration of zinc toxicity in cotton using lime or mushroom compost. Soil and Sediment Contamination 6(4): 425-438.
52- St-Pierre B., and Wright A.D.G. 2017. Implications from distinct sulfate-reducing bacteria populations between cattle manure and digestate in the elucidation of H_2S production during anaerobic digestion of animal slurry. Applied Microbiology and Biotechnology 101(13): 5543–56.
53- Swaminathan S., Edward B.S., and Kurpad A.V. 2013. Micronutrient deficiency and cognitive and physical performance in Indian children. European Journal of Clinical Nutrition 67(5): 467-474.
54- Tabatabai M.A. 1986. Sulfur in Agriculture. American Socity of Agronomy, Madison, WI., 428 pp.
55- Theunissen J., Ndakidemi P., and Laubscher C. 2010. Potential of vermicompost produced from plant waste on the growth and nutrient status in vegetable production. International Journal of Physical Sciences 5: 1964-1973.
56- Tisdale S.L., Nelson W.L., Beaton J.D., and Havlin J.L. 1993. Soil and fertilizer nitrogen. Soil Fertility and Fertilizers 4: 112-183.
57- Ullah I., Jilani G., ul Haq M.I., and Khan A. 2013. Enhancing bio-available phosphorous in soil through sulfur oxidation by Thiobacilli. British Microbiology Research Journal 3(3): 378.
58- Van Erp P.J., and Van Lune P. 1991. Long-term heavy metal leaching from soils-sewage sludge and soil/sewage mixtures. Environmental Science Technology 25: 706-711.
59- Wang A.S., Angle J.S., Chaney R.L., Delorme T.A., and Reeves R.D. 2006. Soil pH effects on uptake of Cd and Zn by Thlaspi caerulescens. Plant and Soil, 281(1-2): 325-337.
60- Wang L., Zheng Z., Zhang Y., Chao J., Gao Y., Luo X., and Zhang J. 2013. Biostabilization enhancement of heavy metals during the vermiremediation of sewage sludge with passivant. Journal of Hazardous Materials 244: 1-9.
61- Yang Z.H., Stoven K., Haneklaus S., Singh B.R., and Schnug E. 2010. Elemental sulfur oxidation by Thiobacillus spp. and aerobic heterotrophic sulfur-oxidizing bacteria. Pedosphere 20(1): 71-79.
62- Young C.C., and Chen L.F. 1997. Polyamines in humic acid and their effect on radical growth of lettuce seedlings. Plant and Soil 195: 143-149.
63- Yuan T., Wang J., Sun X., Yan J., Wang Z., and Niu J. 2017. Effect of combined application of humic acid and nitrogen fertilizer on nitrogen uptake, utilization and yield of winter wheat. Chinese Journal of Eco-Agriculture 3: 74-82.

64- Zalidis G., Barbayiarinis N., and Matsi T. 1999. Forms and distribution of heavy metals in soils of the axios delta of northern Greece. Commun. Soil Science and Plant Analysis 30: 817-827.
65- Page A.L., Miller R.H., and Keeney D.R. 1982. Method of soil analysis. Part 1 and 2. American Society of Agronomy Inc Madison, Wisconsin USA.
66- Golchin A. 2016. Soil organic matter. Published by Jahad Daneshgahi center, the University of Zanjan. Pp. 281.
67- Gholami M., and Sharifi Z. 2020. Assessment of fertilizing potential of livestock industrial abattoir refinery sludge and its effect on soil chemical properties (case study: livestock industrial abattoir of Sanandaj). Iranian Journal of Soil and Water Research 51(6): 1405-1416.

Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 5, Nov.-Dec. 2020, p. 1093-1107

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۹، ص. ۱۱۰۷-۱۰۹۳

Comparative Survey of Organic Matter, Biological and Acid-causing Treatments Effects on Availability of Nutrient Elements in a Calcareous Soil

Sh. Haghighi[1]- Z. Sharifi[2]*

Received: 27-04-2020
Accepted: 15-09-2020

Introduction: Calcareous soils are described as soils containing quantities of calcium carbonate which have an enormously effect on the soil properties (physical, consisting of soil water relations and soil crusting, or chemical consisting of the availability of plant nutrients) and plant growth. Calcareous soils arise clearly in arid and semi-arid areas due to rare precipitation and little leaching. It has been evaluated that these soils contain over one-third of the world's surface zone and their $CaCO_3$ content ranged from a few to 95%. Calcareous soils faced many challenges such as shortage of organic matter, low structure stability, low water holding capacity, low CEC, high pH, surface crusting and cracking and great infiltration rate which cause loss of essential plant nutrients via leaching or deep percolation. Another problem in calcareous soils is low availability of plant nutrients particularly phosphorous and micronutrients specially zinc, iron and manganese, and a nutritional imbalance between elements such as potassium, magnesium and calcium. Although a calcareous soil is dominated by free lime, it could also incorporate large quantities of iron, aluminum, and manganese. These metals provide more strong sorption sites for phosphorus and are mostly more significant in controlling phosphorus solubility in calcareous soils than calcium carbonate itself. Under such severe conditions, desired yield levels are difficult to attain. Calcareous soils lack the organic matter required for optimal crop yield. Therefore, numerous studies have made efforts to increase the availability of nutrients in the soils through different treatments. Common methods for dealing with these deficiencies, is the use of chemical fertilizers that have the risk of environmental pollution in addition to the high cost and low efficiency. Oxidation of sulfur leads to sulfuric acid formation which can decrease the soil pH and increase dissolution of insoluble soil minerals and release of essential plant nutrients. Furthermore, the addition of organic amendments improves the soil chemical and physical properties, initiates nutrient cycling, and provides a functioning environment for vegetation.

Materials and Methods: The objective of this research was to increase solubility of nutrient elements in a calcareous soil considering nine treatments (i.e., control (Blank), Soil + Humic Acid (HA), Soil + Sulfuric Acid (H_2SO_4), Soil + Thiobacillus (T), Soil + Sulphur (S^o), Soil + Sulphur + Thiobacillus (S^o +T), Soil + Vermicompost (VC), Soil + Vermicompost + Thiobacillus (VC+T) and Soil + Sulphur + Vermicompost + Thiobacillus (S^o +VC+T)). The experimental design was factorial arrangement in randomized complete block, with all the treatments replicated three times. All the treatments were incubated under the laboratory condition for 90 days in 25 ± 2 °C and 70% of water holding capacity by distilled water. During the incubation period, the moisture of the samples was kept at 70% FC by daily addition of deionized water based on weight loss. At the end of incubation period the pH value, electrical conductivity (EC), available form of macro elements (K, P and N) and micro elements (Zn, Mn, Fe and Cu) were determined in all treatments by standard methods.

Results and Discussion: The results showed that, the soil pH value significantly decreased in S^o+T and S^o+VC+T treatments, in com\pared to the blank. While, the EC of these treatments significantly increased with respect to the blank. The results also showed that most of the treatments have been able to increase the solubility of the nutrients. However, the effect of S^o +VC+T treatment on increasing the availability of studied soil nutrients and decreasing pH value was more significant than the other treatments.

Conclusion: Analysis of the results obtained from this study using classical statistic methods showed that applying a single treatment cannot remove all obstacles to increase nutrient availability in calcareous soils. This may be attributed to high buffering capacity of calcareous soils and complexity of factors which control mineral solubility and nutrient availability. While, treatments that simultaneously provide soil organic matter and lower pH (such as S^o+VC+T) can significantly remove barriers to increase nutrient uptake in these soils. As a result,

1 and 2- M.Sc. Graduate Student and Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: z.sharifi@uok.ac.ir)
DOI: 10.22067/jsw.v34i5.86182

the simultaneous application of organic fertilizers, elemental sulfur and Thiobacillus bacteria can be a promising approach to increase the solubility of nutrients in calcareous soils and to increase the quantitative and qualitative growth of plants in these soils.

Keywords: Calcareous soils, Humic acid, Sulphur, Thiobacillus bacteria, Availability of nutrient elements, Vermicompost