تغییرات شیمیایی خاک، ترکیب عناصر غذایی و عملکرد گوجه‌فرنگی در پاسخ به مصرف کمپوست پسماند شهری

پیمان کشاورز[1]*

عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی؛ keshavarz@kanrrc.ac.ir

چکیده

بروز مشکلات فراوان زیست محیطی و اقتصادی در دفع زباله های شهری همچنین کاهش روزافزون مواد آلی خاک‌های کشور، ضرورت تولید و مصرف بیشتر فراورده های کودی حاصل از پسماندهای شهری را در کشاورزی فراهم آورده است. بدین منظور طی آزمایش مزرعه‌ای اثر مصرف کمپوست پسماند شهری مشهد در سه سطح پودری، گرانوله گوگردی و گرانوله گوگردی همراه با مایه تلقیح تیوباسیلوس (به میزان دو درصد وزنی گوگرد) و مقدارمصرف در پنج سطح صفر (شاهد)، 15، 30، 45 و60 تن در هکتار بر گوجه‌فرنگی بررسی شد. آزمایش به صورت فاکتوریل (5×3) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار از 1387 به مدت سه سال انجام شد. نتایج نشان داد با افزایش مصرف کمپوست پسماند شهری pH خاک کاهش ولی قابلیت هدایت الکتریکی (EC_e)، غلظت سولفات محلول و کربن آلی خاک افزایش پیدا کرد. پس از شش ماه و با زیاد شدن مدت زمان آزمایش، pH خاک به تدریج افزایش و شوری، غلظت سولفات محلول و کربن آلی خاک کاهش یافت. افزایش قابلیت هدایت الکتریکی و غلظت سولفات محلول خاک، همچنین کاهش pH خاک در اثر مصرف کمپوست‌های گوگردی (گرانوله با و بدون تیوباسیلوس) بیش از کمپوست پودری بود. با افزایش مصرف کمپوست پسماند شهری غلظت پتاسیم و روی در برگ گوجه‌فرنگی افزایش یافت اما از غلظت منگنز به طورمعنی‌داری ($P<0.05$) کاسته شد. بالاترین عملکرد گوجه فرنگی از مصرف 45 تن در هکتار (هر سه سال) کمپوست پسماند شهری بدست آمد. مقایسه بین کمپوست‌ها نیز برتری نوع گرانوله گوگردی را نشان داد به طوری که مصرف این کمپوست عملکرد را نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف کمپوست) 40 درصد افزایش داد. بر این اساس استفاده از کمپوست پسماند شهری گوگردی نقش مؤثری در عملکرد گوجه‌فرنگی داشته و استفاده از مایه تلقیح تیوباسیلوس با آن ضرورتی ندارد.

واژه‌های کلیدی: کمپوست گرانوله گوگردی، کمپوست گرانوله‌گوگردی با مایه تلقیح تیوباسیلوس، کربن‌آلی‌خاک، گوگرد.

مقدمه

مواد آلی به دلیل اثرات سازنده‌ای که در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و زیستی خاک دارد به عنوان ارکان حاصلخیزی و پایداری ساختمان خاک شناخته می‌شود. کشور ایران و به ویژه استان خراسان به علت قرار گرفتن در منطقه خشک و نیمه خشک و کمبود نزولات جوی دارای گستره وسیعی از خاک‌های با مواد آلی اندک است. کشاورز (1385) گزارش کرد که میزان کربن آلی خاک در بیشتر خاک‌های تحت کشت

[1]. نویسنده مسئول، آدرس: مشهد، طرق، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، بخش تحقیقات خاک و آب، 488- 91735

*/ دریافت: 90/11/17 و پذیرش: 91/8/30

گندم استان خراسان رضوی پایین‌تر از حد بحرانی است. این در حالی است که منابع سنتی تأمین مواد آلی در مناطق خشک و نیمه خشک محدود و منحصر به کودهای دامی و گاهی کود سبز است (ملکوتی، 1384).

با وجود این فرآورده‌های کودی حاصل از پسماندهای شهری منبعی دائمی و مناسب برای تأمین مواد آلی خاک در مزارع کشاورزی می‌باشد (خاوازی و همکاران، 1384). افزون بر این بالا بودن pH در خاک‌های کشور و وجود یون بی کربنات در آب آبیاری مشکلات تغذیه‌ای را برای گیاهان دو چندان کرده است. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که گوگرد درکاهش pH خاک-های آهکی، افزایش حلالیت عناصر کم‌مصرف، همچنین فسفر و اصلاح خاک‌های شور و سدیمی نقش دارد. متأسفانه به دلیل کاهش شدید مواد آلی در خاک‌های زراعی ایران فرایند اکسیداسیون بیو شیمیایی گوگرد کارایی لازم را ندارد. این در حالی است که کمپوست محیط مناسبی برای رشد و فعالیت باکتری‌های مفید از جمله باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد است. با در نظر گرفتن مازاد تولید گوگرد در کشور و همچنین تولید کمپوست از پسماندهای شهری به عنوان منبع تأمین کننده مواد آلی خاک، استفاده از ترکیبی که با اصلاح pH خاک-های آهکی و افزایش حلالیت عناصر غذایی به ویژه فسفر، آهن، منگنز و روی بتواند عملکرد گیاهان را افزایش دهد اهمیت زیادی دارد. با وجود این تمام کمپوست‌ها شبیه به هم نیستند اگرچه در نظر اول ممکن است شبیه به نظر برسند ولی از لحاظ خصوصیات با هم متفاوت هستند. pH، شوری، خصوصیات فیزکی، رسیدگی و پایداری از جمله شاخص‌های مهم کیفیت کود کمپوست به شمار می‌رود. از اینرو مقدار و شیوه مصرف کمپوست پسماند شهری و همچنین نوع آن بسته به اینکه در مزارع بزرگ، خزانه‌ها، گلخانه‌ها، باغ‌ها و فضای سبز مصرف گردد متفاوت است. آگلیدز و لوندرا[1] (2000) افزایش pH خاک را در نتیجه مصرف کمپوست پسماند شهری گزارش کردند. این در حالی است که گیوسکوانی[2] و همکاران (1988) گزارش کردند که مصرف کمپوست زباله شهری pH و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را تغییر نداده است. همچنین میرزایی تالارپشتی و همکاران (1388) با مقایسه منابع متفاوت کود آلی بیان داشتند که مصرف کمپوست پسماند شهری تغییری را در pH و هدایت الکتریکی خاک ایجاد نکرده است. در مقابل قیامتی و همکاران (1388) اعلام کردند که مصرف کمپوست پسماند شهری موجب کاهش pH و افزایش شوری خاک شده است. کمپوست همچنین حاوی مقادیر قابل ملاحظه‌ای عناصرکم مصرف از جمله آهن و روی بوده که در نتیجه دارای پتانسیل پیشگیری یا رفع کمبود این عناصر در درختان مثمر و غیر مثمر است (ملکوتی، 1384). رحیمی (1371) نشان داد که کاربرد کمپوست پسماند شهری اصفهان در درجه اول سبب افزایش قابلیت استفاده عناصر روی و مس و سپس آهن و منگنز در خاک و همچنین افزایش غلظت آنها در ذرت شده است. وی اعلام کرد که کود کمپوست اصفهان منبع مناسبی برای تغذیه درختان و بعضی از گیاهان در خاک‌های آهکی است. ژلیجازکوف و وارمن[3] (2004) گزارش کردند با افزایش مقدار مصرف کمپوست پسماند شهری، pH و هدایت الکتریکی خاک و غلظت عناصر مس، روی و سرب در تمام اجزای خاک افزایش می‌یابد. کاربرد کمپوست پسماند شهری در تعداد زیادی از محصولات کشاورزی با موفقیت همراه بوده است. برخی محققان اثر کمپوست را بر رشد و عملکرد درختان و درختچه‌ها بررسی کردند و اثرات مثبت استفاده از آنها را در رشد درخت صنوبر (برامرید[4]، 2001)، درخت سپیدار (مکینتاش[5] و همکاران، 1984)، درختچه‌های مناطق نیمه خشک مدیترانه (کاراواکا[6] و همکاران، 2003) و همچنین بهبود اراضی تخریب شده گزارش کردند. پترسن[7] و همکاران (2003) در بررسی اثر کمپوست پسماند شهری و لجن فاضلاب در رشد گیاه بیان داشتند که کاربرد آنها هیچ محدودیتی را ایجاد نکرد. ژانگ[8] و همکاران (2010) مصرف سالانه 50 تن در هکتار کمپوست پسماند شهری را در فصل بهار برای چمن گزارش کردند. با وجود گزارش‌هایی مبنی بر اثرات مثبت کمپوست پسماند شهری در عملکرد گیاهان برخی بررسی‌ها نشان می‌دهد که شوری زیاد این کود می‌تواند اثر محدود کننده‌ای بر رشد گیاه و ساختمان خاک داشته باشد (هارگریوز[9] و همکاران، همکاران، 2008). در آزمایشی هارگریوز و همکاران (2009) نشان دادند که بالاترین سطح مصرف کمپوست پسماند شهری غلظت بیشتر عناصر غذایی قابل استفاده خاک را افزایش داد، اگرچه جذب این عناصر در برگ

1. Agglides and Londera
2. Giusquiani
3. Zheljazkov and Warman
4. Bramryd
5. Mcintosh
6. Caravaca
7. Petersen
8. Zhang
9. Hargreaves

و میوه توت فرنگی تحت تأثیر قرار نگرفت. آنان همچنین یادآور شدند که به دلیل عرضه زیاد نیتروژن به گیاه، میوه-ها دچار پوسیدگی و عملکرد کاهش یافته است. از این رو تحقیقات بیشتری نیاز است تا اثر کمپوست پسماند شهری بر محصولات کشاورزی مشخص گردد. بر این اساس هدف از انجام این آزمایش مطالعه تغییرات شیمیایی خاک در اثر مصرف کمپوست پسماند شهری و همچنین بررسی عکس‌العمل گوجه‌فرنگی به مصرف آن در بازه زمانی 36 ماهه بود.

مواد و روش‌ها

روش تحقیق

این پژوهش طی سه سال(89-1387) در ایستگاه طرق مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی واقع در مشهد، عرض جغرافیایی 36 درجه و 15 دقیقه شمالی و طول جغرافیایی 59 درجه و 40 دقیقه شرقی با میانگین بارندگی سالانه حدود 260 میلی متر و میانگین درجه حرارت سالانه 5/ 13 درجه سلسیوس انجام گردید. بافت خاک مزرعه لوم، کربن آلی 0/51 درصد، هدایت الکتریکی 0/91 دسی زیمنس بر متر(dS/m) و pH خاک 8 بود. آزمایش به صورت فاکتوریل (5×3) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور نوع کود کمپوست پسماند شهری در سه سطح شامل کمپوست پودری، کمپوست گرانوله گوگردی (15 درصد گوگرد)، کمپوست گرانوله گوگردی همراه با مایه تلقیح تیوباسیلوس (به ازای هر 25 کیلوگرم گوگرد 500 گرم مایه تلقیح) و پنج سطح مقدار مصرف صفر (شاهد)، 15، 30، 45 و60 تن در هکتار در سه تکرار انجام شد. سطح هر کرت آزمایشی 22/5 متر مربع (7/5 *3) با فاصله 5 متر بین تکرارها در نظر گرفته شد. به هنگام کشت، کودهای کمپوست طی یک نوبت و فقط در سال اول بعد از پخش یکنواخت در سطح زمین تا عمق 25 سانتی متری زیر خاک گردید. سایر عناصر غذایی با توجه به تجزیه خاک شامل نیتروژن به صورت اوره (350 کیلوگرم در هکتار)، فسفر به صورت سوپر فسفات تریپل (150 کیلوگرم در هکتار) و پتاسیم به صورت سولفات پتاسیم (250 کیلوگرم در هکتار) هر سال مصرف گردید. بذرگوجه فرنگی مورد استفاده در این آزمایش رقم موبیل بود و آبیاری به روش نشتی انجام شد. کرت های آزمایشی دائمی وکاشت گوجه فرنگی در هر سال در همان محل قبلی انجام می‌شد.

نمونه‌برداری و تجزیه آماری

در طول دوره آزمایش در فواصل سه، شش و در نهایت هر 12 ماه از کرت‌های آزمایشی تحت کشت نمونه‌برداری بعمل آمد تا تغییرات غلظت سولفات (SO_4) محلول خاک به روش رسوب سولفات کلسیم، pH گل اشباع خاک، کربن آلی خاک و هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (EC_e) تعیین گردد (علی احیایی، 1376). به این منظور چهار نمونه تصادفی از هر کرت آزمایشی از عمق صفر تا 25 سانتی‌متری خاک برداشت و بعد از مخلوط کردن یک نمونه مرکب به میزان 1 کیلوگرم تهیه و مورد آزمایش قرار گرفت. در اواسط دوره رشد گیاه (اواخر تیر ماه) در هرسال غلظت عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، منگنز، مس، گوگرد و بور در برگ تعیین گردید. در پایان دوره رشد بعد از حذف دو ردیف کناری سطحی معادل 5/5 متر مربع برداشت و عملکرد میوه گوجه‌فرنگی طی چهار نوبت اندازه‌گیری شد. داده‌ها با استفاده از نرم افزار MSTAT-C مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و مقایسه میانگین‌ها با روش دانکن انجام شد. نمودارها نیز با استفاده از نرم افزار Excel-2007 ترسیم شد. نتایج تجزیه کودهای کمپوست پسماند شهری مشهد در جدول 1 آمده است.

نتایج و بحث

ویژگی‌های شیمیایی خاک

اسیدته خاک (pH)

با افزایش مصرف کمپوست پسماند شهری pH خاک به طور معنی‌داری ($P<0.05$) کاهش یافت، به‌طوری که بالاترین سطح مصرف کمپوست، pH خاک را 5 درصد نسبت به شاهد (بدون مصرف کمپوست) کاهش داد (جدول2). با وجودی که بعد از گذشت شش ماه کم‌ترین pH خاک از مصرف 60 تن در هکتار کمپوست به میزان 7/61 بدست آمد (4/8 درصد کاهش نسبت به شاهد) اما پس از 36 ماه با همان مقدار کمپوست، pH خاک به 7/89 افزایش یافت (شکل1- الف). محمد و مزاره[1] (2003) بیان داشتند که علت کاهش pH خاک در اثر استفاده از کودهای آلی (فاضلاب) آزاد شدن یون هیدروژن ناشی از فرایند نیتریفیکاسیون است. در حالی که خوشگفتار منش و کلباسی (1378) این موضوع را به حضور اسیدهای آلی و معدنی موجود در کودهای آلی مربوط دانسته‌اند. با وجود این به دلیل حضور آهک و خاصیت تامپونی خاک و در نتیجه خنثی شدن اسیدهای آلی و معدنی موجود در کمپوست در طول زمان نمونه‌برداری، کاهش pH خاک پایدار نبود (اسچیپر[2]، 1996). کاهش pH خاک دراثر مصرف کمپوست گرانوله گوگردی (با و بدون تیوباسیلوس) بیش از کمپوست پودری بود (جدول 2).

1. Mohammad and Mazahreh
2. Schipper

بالاترین میزان مصرف کمپوست گرانوله گوگردی همراه با تیوباسیلوس به طور میانگین کم‌ترین مقدار pH خاک را به میزان 7/6 موجب شد. به نظر می‌رسد افزون بر دلایل ذکر شده اکسیداسیون گوگرد نیز در کمپوست گرانوله گوگردی نقش مؤثری در کاهش pH خاک داشته است. از طرفی اگرچه کاهش pH خاک از مصرف کمپوست گرانوله گوگردی با تیوباسیلوس بیش از دیگر کمپوست‌ها بود، اما بین کمپوست گرانوله گوگردی با و بدون تیوباسیلوس از نظر تأثیر درکاهش pH خاک تفاوت معنی-داری مشاهده نشد. بر این اساس باکتری‌های هتروتروف[1] موجود در کمپوست نیز مشابه شیمیو لیتوتروف[2] ها در اکسیداسیون گوگرد به اندازه کافی مؤثر بودند.

هدایت الکتریکی خاک (EC_e)

با زیاد شدن مصرف کمپوست پسماند شهری هدایت الکتریکی خاک افزایش معنی‌داری ($P<0.05$) یافت، به طوری که بالاترین سطح مصرف کمپوست، شوری خاک را 2/75 برابر شاهد (بدون مصرف کمپوست) افزایش داد (جدول2). افزون بر این هدایت الکتریکی خاک از مصرف کمپوست گرانوله گوگردی (با و بدون تیوباسیلوس) به‌طور معنی‌داری ($P<0.05$) بیشتر از کمپوست پودری بود به‌طوری که کمپوست گرانوله گوگردی همراه با تیوباسیلوس هدایت الکتریکی خاک را 32 درصد نسبت به کمپوست پودری افزایش داد. با وجود این با زیاد شدن طول مدت آزمایش از شوری خاک کاسته شد (شکل 1- ب). در حالی که بعد از گذشت شش ماه به طور میانگین از مصرف 60 تن در هکتار کمپوست بالاترین هدایت الکتریکی خاک به میزان dS/m 3/85 بدست آمد اما 36 ماه پس از مصرف همان مقدار کمپوست، هدایت الکتریکی خاک به dS/m 1/7 کاهش یافت (شکل 1- ب). محمدی‌نیا (1374) و حسن اقلی و همکاران (1381) گزارش کردند که افزایش شوری خاک در اثر افزودن کمپوست زباله، بستگی به شوری اولیه و بافت خاک دارد. به نظر می‌رسد بخشی از شوری خاک حاصل تجمع املاح و عناصر غذایی موجود در کمپوست پسماند شهری بوده و بخشی دیگر از انحلال کربنات کلسیم خاک در نتیجه اکسیداسیون گوگرد موجود درکمپوست گرانوله گوگردی ناشی شده باشد (بوسول و فریزن[3]، 1993). با وجود این انجام آبیاری در طول دوره رشد و آبشویی املاح (خوشگفتار منش و کلباسی، 1381) همچنین بارندگی در کل دوره آزمایش (با توجه به ثابت بودن کرت ها) و جذب املاح توسط گیاه موجب کاهش تدریجی شوری خاک گردید.

سولفات محلول خاک (SO_4-SS)

با افزایش مصرف کمپوست پسماند شهری غلظت سولفات محلول خاک به طور معنی‌داری ($P<0.05$) زیادگردید(جدول2). البته غلظت سولفات محلول خاک با مصرف کمپوست گرانوله گوگردی (با و بدون تیوباسیلوس) به‌طور معنی‌داری($P<0.05$) بیش از کمپوست پودری بود. استفاده از کمپوست گرانوله گوگردی همراه با تیوباسیلوس موجب افزایش 45 درصدی غلظت سولفات محلول خاک نسبت به کمپوست پودری گردید (جدول2). این در حالی بود که کمپوست گرانوله گوگردی همراه با تیوباسیلوس، غلظت سولفات محلول خاک را بیش از نوع بدون تیوباسیلوس افزایش داد ولی تفاوت معنی‌داری بین آنها وجود نداشت. بدیهی است اکسیداسیون گوگرد همراه با کمپوست سبب شده تا غلظت سولفات محلول خاک افزایش یابد. بالاترین میزان مصرف کمپوست گرانوله گوگردی با و بدون تیوباسیلوس (60 تن در هکتار) غلظت سولفات محلول را به ترتیب 4/8 و 4 برابر شاهد (عدم مصرف کمپوست) افزایش داد (جدول 2). این در حالی بود که مصرف کمپوست پودری نیز غلظت سولفات محلول خاک را به‌طور معنی‌داری ($P<0.05$) افزایش داد، به طوری که بالاترین میزان مصرف از این نوع کمپوست غلظت سولفات محلول را 3/4 برابر شاهد افزایش داد. این موضوع ممکن است از آنیون سولفات بومی همراه این کود ناشی شده باشد. روند تغییرات غلظت سولفات محلول خاک در زمان‌های مختلف نشان می‌دهد که غلظت سولفات محلول خاک پس از افزایش اولیه، به تدریج کاهش یافته است (شکل 1- ج). به نظر می‌رسد دلیل اصلی این موضوع واکنش رسوبی ایجاد شده از ترکیب آنیون سولفات محلول با کاتیون کلسیم خاک و تشکیل رسوب سولفات کلسیم باشد. اگرچه آبشویی سولفات و جذب توسط گیاه را نیز نباید از نظر دور داشت. به طور میانگین بالاترین غلظت سولفات محلول خاک شش ماه پس از مصرف 60 تن در هکتار کمپوست به میزان 34/5 میلی اکی والان در لیتر بدست آمد که نسبت به شاهد 6/9 برابر افزایش داشت (شکل 1- ج).

کربن آلی خاک (OC)

با افزایش مصرف کمپوست پسماند شهری کربن آلی خاک به طور معنی‌داری ($P<0.05$) افزایش یافت ولی بین منابع کمپوست تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول 2). بالاترین میزان مصرف کمپوست (60

1. Heterotroph
2. Chemolitoautotroph
3. Boswell and Friesen

تن در هکتار) از نوع گرانوله گوگردی با و بدون تیوباسیلوس و همچنین پودری کربن آلی خاک را به ترتیب 80، 75/5 و 71 درصد نسبت به شاهد (عدم مصرف کمپوست) افزایش داد (جدول 2). با وجود این با زیاد شدن طول مدت آزمایش از میزان کربن آلی خاک به طور معنی‌داری ($P<0.05$) کاسته شد (شکل ا-د). در ابتدا (سه ماه اول پس از مصرف) با 60 تن در هکتار کمپوست پسماند شهری کربن آلی اولیه خاک به طور میانگین 2/1 برابر گردید (شکل 1- د). بر این اساس مادرید[1] و همکاران (2011) نشان دادند که مصرف کمپوست پسماند شهری تا 12 هفته (سه ماه) موجب محبوس شدن نیتروژن موجود در خاک می‌شود بنابراین کمپوست می‌بایست سه ماه قبل از کشت گیاه مصرف گردد تا فرصت کافی برای معدنی شدن نیتروژن وجود داشته باشد. این در حالی بود که پس از سه سال میزان کربن آلی خاک در بعضی تیمارها (15 و 30 تن در هکتار) حتی از میزان اولیه هم اندکی کمتر شد. اگرچه ترکیب شیمیایی اولیه مواد آلی نیز بسیار مهم است ولی این موضوع از آنجا ناشی می‌شود که ماندگاری کربن آلی (فعال) در خاک به دلیل کمی رطوبت، درجه حرارت بالا و همچنین انجام عملیات خاک‌ورزی نظیر شخم، بسیار کوتاه مدت بوده و کربن به سرعت تجزیه شده و به شکل دی اکسیدکربن وارد اتمسفر می‌شود (وازکوئزمونتیل[2] و همکاران، 1996). به همین دلیل پس از سه سال تفاوت بین کربن آلی خاک در تیمار شاهد (عدم مصرف کمپوست) با تیمارهای مصرف کمپوست پسماند شهری بسیار کم شده است (شکل 1- د).

شاخص‌های گیاهی

غلظت عناصرغذایی در برگ

جدول 3 نتایج تجزیه واریانس مرکب غلظت عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف در برگ گوجه-فرنگی نشان می‌دهد. بر این اساس غلظت نیتروژن و فسفر در برگ گوجه‌فرنگی تحت تأثیر منابع و مقادیر مصرف کمپوست پسماند شهری قرار نگرفته است. این موضوع ممکن است از مصرف کود شیمیایی اوره همراه با کمپوست برای تأمین نیاز گوجه‌فرنگی به نیتروژن ناشی شده باشد که موجب شده، اثر کمپوست در تأمین بخشی از نیاز گیاه به نیتروژن پوشیده بماند. همین موضوع درمورد فسفر به دلیل مصرف کود فسفاته نیز صادق است. غلظت پتاسیم در برگ گوجه‌فرنگی نیز تحت تأثیر منابع مختلف کمپوست قرار نگرفت (جدول 3) اما افزایش مصرف کمپوست منجربه افزایش معنی‌دار($P<0.05$) غلظت پتاسیم در برگ گردید به طوری که مصرف 60 تن در هکتار کمپوست پسماند شهری غلظت پتاسیم را در حدود 13 درصد نسبت به شاهد (عدم مصرف کمپوست) افزایش داد (جدول 4). همچنین منابع مختلف کمپوست پسماند شهری تأثیر معنی‌داری بر غلظت آهن، روی، منگنز، مس، بور و گوگرد در برگ گوجه‌فرنگی نداشت (جدول 3). اما غلظت منگنز در برگ گوجه‌فرنگی با افزایش مصرف کمپوست به طور معنی‌داری ($P<0.05$) کاهش یافت (جدول 4). در مقابل غلظت روی در برگ‌ها همراه با افزایش میزان مصرف کمپوست به طور معنی‌داری ($P<0.05$) زیاد گردید، به طوری که مصرف 60 تن در هکتار کمپوست در حدود 27 درصد غلظت روی را در برگ نسبت به شاهد (عدم مصرف کمپوست) افزایش داد (جدول 4). به نظر می‌رسد برهمکنش منفی روی با منگنز در کاهش جذب منگنز مؤثر بوده است. بشارتی و همکاران (1385) گزارش کردند که غلظت مس، منگنز و روی در بخش هوایی ذرت در اثر مصرف گوگرد همراه با تیوباسیلوس تحت تأثیر قرار نگرفت. آنان شرایط محیطی از جمله حاصلخیزی خاک و جمعیت ریزجانداران اکسید کننده و زمان کم اکسیداسیون گوگرد در خاک را علت معنی‌دار نبودن این شاخص‌ها بیان نمودند. مقادیر مصرف کمپوست تأثیر معنی‌داری برغلظت مس، بور و گوگرد در برگ نداشت. در مورد گوگرد این موضوع ممکن است به دلیل بالا بودن میزان سولفات خاک و یا آب آبیاری بوده باشد.

عملکرد میوه

نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد گوجه-فرنگی نشان می‌دهد که منابع و مقادیرکمپوست پسماند شهری تأثیر معنی‌داری بر عملکرد گوجه‌فرنگی داشته است (جدول3). با افزایش مصرف کمپوست پسماند شهری عملکرد گوجه‌فرنگی زیاد گردید. بالاترین عملکرد از مصرف 45 تن در هکتار کمپوست (هر سه سال یک بار) بدست آمد و عملکرد را نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف کمپوست) 50/5 درصد افزایش داد (جدول 5). رجایی و کریمیان (1378) گزارش دادند که مصرف کمپوست پسماند شهری در تمامی سطوح مصرفی (صفر تا 40 گرم در کیلوگرم خاک) موجب افزایش رشد گوجه-فرنگی شده است. مقایسه بین کمپوست‌ها نیز برتری نوع گرانوله گوگردی را نشان داد به‌طوری که مصرف این کمپوست عملکرد را نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف کمپوست) 40 درصد افزایش داد (جدول 5). البته این منبع کمپوست تفاوت معنی‌داری ($P<0.05$) با کمپوست

[1] Madrid
[2] Vazquezmontiel

گرانوله گوگردی همراه با تیوباسلیوس نداشت. از اینرو به نظر می‌رسد استفاده از کمپوست پسماند شهری گوگردی نقش مؤثری در عملکرد گوجه‌فرنگی داشته و استفاده از مایه تلقیح تیوباسیلوس با آن ضرورتی ندارد.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که پس از مصرف کمپوست پسماند شهری، با افزایش طول مدت آزمایش pH خاک پس از کاهش نسبی در سال اول به تدریج افزایش یافت. این موضوع در مورد قابلیت هدایت الکتریکی و غلظت سولفات محلول و کربن آلی خاک معکوس بود به طوری که پس از افزایش اولیه در سال اول آزمایش روند کاهشی را نشان داد. بالاترین عملکرد از مصرف کمپوست پسماند شهری به میزان 45 تن در هکتار (هر سه سال یک بار) بدست آمد. مقایسه کمپوست‌ها نیز برتری کمپوست گرانوله گوگردی را نشان داد. افزون بر این با افزایش مصرف کمپوست پسماند شهری غلظت پتاسیم و روی در برگ افزایش یافت اما از غلظت منگنز به طور معنی‌داری ($P<0.05$) کاسته شد. بر این اساس می‌توان از کمپوست پسماند شهری گوگردی به عنوان یک کود آلی مناسب در کشت گوجه‌فرنگی استفاده نمود.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهرداری مشهد به دلیل تأمین هزینه انجام این پروژه (شماره 21/58252) همچنین کارشناسان آزمایشگاه بخش تحقیقات خاک و آب خراسان رضوی به ویژه آقای مهندس مهدوی صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.

جدول 1 – ویژگی‌های شیمیایی کمپوست پسماند شهری مشهد

کمپوست	EC(1/5) (dS/m)	pH(1/5)	Ash	O.C	N (%)	P	K	Fe	Mn	Cu	Zn
								(mg /kg)			
گرانوله	15/6	7/2	60	24	1/65	0/46	0/61	3890	270	540	590
پودری	8 /5	7/3	64	21	1/85	0/55	0/70	3630	450	500	900

جدول 2- اثر مقدار مصرف و نوع کمپوست پسماند شهری بر بعضی ویژگی‌های خاک (میانگین سه سال)

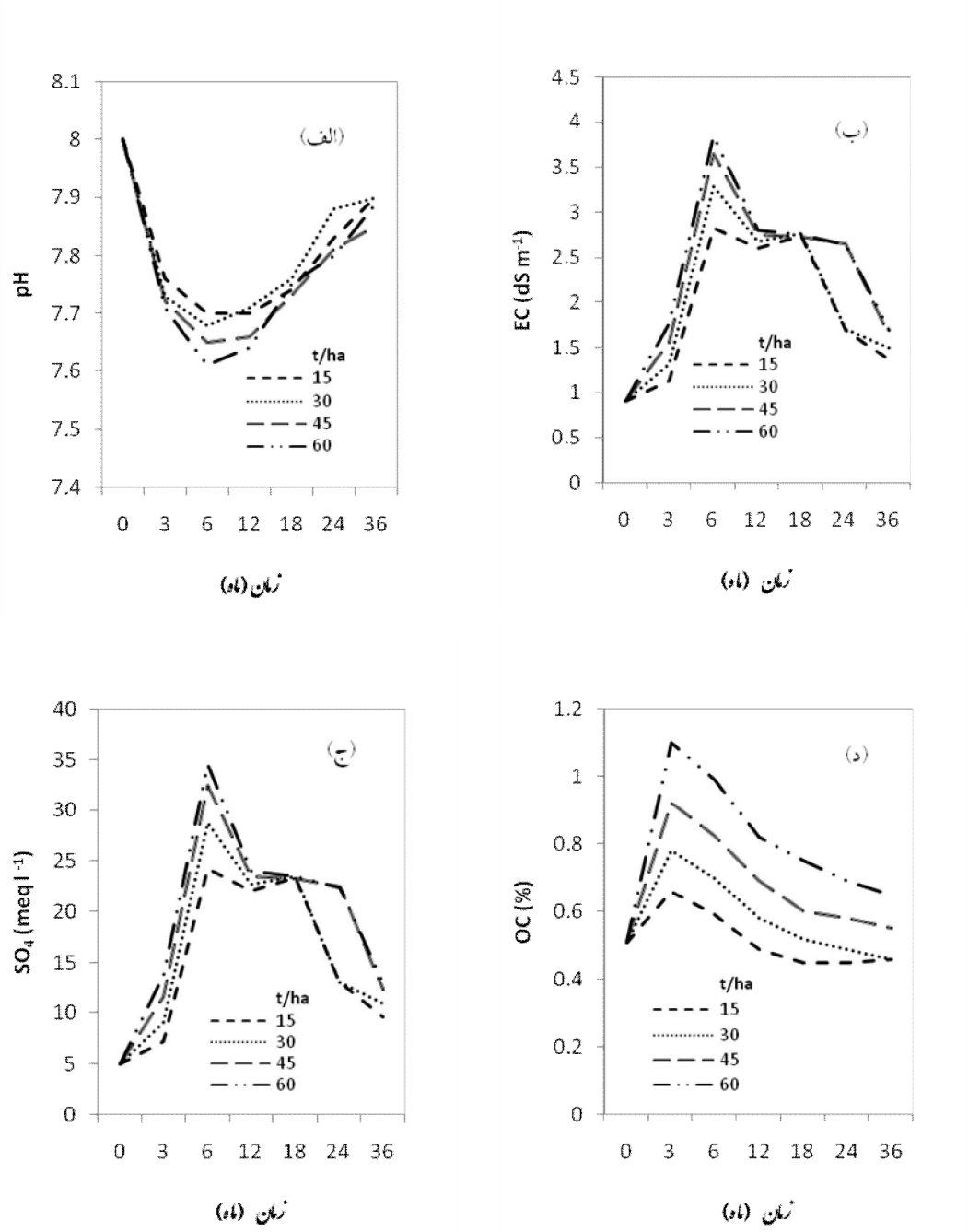
ویژگی خاک	نوع کمپوست	میزان مصرف (t/ha) 0	15	30	45	60	میانگین[1]
pH	گرانوله گوگردی	8/0	7/79	7/74	7/71	7/62	7/77 [b]
	گرانوله گوگردی+ تیوباسیلوس	8/0	7/81	7/75	7/65	7/60	7/76 [b]
	پودری	8/0	7/91	7/87	7/77	7/71	7/85 [a]
	میانگین	8/0 [a]	7/83 [b]	7/78 [b]	7/71 [c]	7/6 [a]	
	LSD[2] (P<0.05)	0/041					
EC_e	گرانوله گوگردی	0/91	1/85	2/25	2/51	2/60	2/02 [a]
	گرانوله گوگردی+ تیوباسیلوس	0/91	2/02	2/35	2/64	2/74	2/13 [a]
	پودری	0/91	1/45	1/68	1/80	2/20	1/61 [b]
	میانگین	0/91 [e]	1/77 [d]	2/09 [c]	2/32 [b]	2/51 [a]	
	LSD (P<0.05)	0/41					
SO_4-SS[3]	گرانوله گوگردی	5/06	15/30	17/93	18/50	20/20	15/39 [a]
	گرانوله گوگردی+ تیوباسیلوس	5/06	17/50	19/60	22/40	24/50	17/81 [a]
	پودری	5/06	10/46	13/10	15/25	17/50	12/27 [b]
	میانگین	5/06 [c]	14/42 [b]	16/88 [a]	18/72 [a]	20/73 [a]	
	LSD (P<0.05)	4/55					
OC[4]	گرانوله گوگردی	0/45	0/52	0/58	0/67	0/79	0/60 [a]
	گرانوله گوگردی+ تیوباسیلوس	0/45	0/53	0/59	0/67	0/81	0/61 [a]
	پودری	0/45	0/50	0/56	0/65	0/77	0/58 [a]
	میانگین	0/45 [d]	0/52 [cd]	0/58 [c]	0/67 [b]	0/79 [a]	
	LSD (P<0.05)	0/18					

1- میانگین‌های با حروف مشابه از نظر آماری در سطح 5% تفاوت معنی‌داری ندارند

2-کمترین اختلاف معنی‌دار میزان مصرف × نوع کمپوست

3- سولفات محلول خاک

4- کربن آلی خاک



شکل 1- تغییرات pH عصاره اشباع خاک (الف)، هدایت الکتریکی خاک (ب)، غلظت سولفات محلول خاک (ج) و کربن آلی خاک (د) در زمان های نمونه‌برداری پس از مصرف مقادیر مختلف کمپوست پسماند شهری تحت کشت گوجه‌فرنگی

جدول 3 – خلاصه تجزیه واریانس مرکب (سه سال) غلظت عناصر غذایی در برگ و عملکرد گوجه‌فرنگی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		عملکرد	N	P	K	S
سال	2	16747/4 **	2/17**	0/330**	96/03**	14/96**
نوع کمپوست	2	399/1**	0/063	0/002	0/0001	0/004
سال × نوع کمپوست	4	146/9	0/087	0/002	0/036	0/048
مقدار کمپوست	4	1406/9**	0/164	0/004	0/280**	0/083
سال × مقدارکمپوست	8	116/5	0/242	0/003	0/098	0/074
نوع کمپوست × مقدار کمپوست	8	53/2	0/067	0/001	0/055	0/078
سال × نوع کمپوست × مقدار کمپوست	16	107/2	0/161	0/001	0/076	0/040
خطا	88	76/5	0/152	0/002	0/057	0/067
		Fe	**Mn**	**Zn**	**Cu**	**B**
سال	2	2061259/41**	108930/47**	2924/63**	45196/03**	101822/48**
نوع کمپوست	2	12518/42	167/68	55/48	57/23	59/57
سال × نوع کمپوست	4	3978/63	262/17	14/75	78/62	26/47
مقدار کمپوست	4	17826/76	4026/46**	135/41**	59/63	67/46
سال × مقدارکمپوست	8	22633/32	236/91	24/48	18/57	50/01
نوع کمپوست × مقدار کمپوست	8	5947/76	168/65	17/45	440/68	42/15
سال × نوع کمپوست × مقدار کمپوست	16	9915/13	203/36	12/96	382/43	31/07
خطا	88	12884/12	121/60	21/09	531/26	109/72

** و * به ترتیب بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد می‌باشد

جدول 4- اثر مقادیر کود کمپوست پسماند شهری بر غلظت پتاسیم، منگنز و روی در برگ گوجه‌فرنگی (میانگین سه سال)

میزان مصرف (t/ha)	پتاسیم (%)	منگنز (mg/ kg)	روی
0	1/96 c	86/71 a	21/09 c
15	2/0 5 bc	67/84 b	23/49 bc
30	2/15 ab	63/46 bc	23/98 b
45	2/11 ab	61/17 c	25/23 ab
60	2/23 a	54/40 d	27/16 a

جدول 5- اثر مقدار مصرف و نوع کمپوست پسماند شهری بر عملکرد (تن در هکتار) گوجه‌فرنگی (میانگین سه سال)

نوع کمپوست	میزان مصرف (t/ha)					میانگین[1]
	0	15	30	45	60	
گرانوله گوگردی	36/4	46/5	50/2	62/9	59/6	51/1 a
گرانوله گوگردی+ تیوباسیلوس	36/4	46/4	53/7	53/7	57/8	49/6 ab
پودری	36/4	43/8	44/4	47/7	52/1	44/9 b
میانگین	36/4 c	45/6 b	49/4 ab	54/8 a	56/5 a	
LSD[2] (P<0.05)			8/7			

1- میانگین‌های با حروف مشابه از نظر آماری در سطح 5% تفاوت معنی‌داری ندارند

2-کمترین اختلاف معنی‌دار میزان مصرف × نوع کمپوست

فهرست منابع

1. بشارتی، ح.، ف. نورقلی پور و ک. خاوازی. 1385. بررسی کارایی گوگرد و مایه تلقیح باکتری‌های جنس تیو باسیلوس بر جذب عناصر غذایی و عملکرد ذرت در یک خاک آهکی. مجله علوم خاک و آب. 20:42-261
2. حسن اقلی، ع. ر.، ع. لیاقت و م. میراب زاده.1381. تغییرات میزان مواد آلی خاک در نتیجه آبیاری با فاضلاب‌های خانگی و خود پالایی آن. مجله آب و فاضلاب.11-2: 42
3. خاوازی، ک.، ه. اسدی رحمانی و م. ج. ملکوتی.1384. ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور (مجموعه مقالات - چاپ دوم با بازنگری بنیادی). به سفارش مؤسسه تحقیقات خاک و آب - وزارت جهاد کشاورزی، کرج، تهران.
4. خوشگفتار منش، ا. ح.، و م. کلباسی. 1378. اثر شیرابه زباله بر رشد و عملکرد برنج و اثرات باقیمانده آن بر گندم. ششمین کنگره علوم خاک ایران. دانشگاه فردوسی مشهد.
5. خوشگفتار منش، ا. ح.، و م. کلباسی.1381. اثر باقی مانده شیرابه زباله بر ویژگی‌های خاک و رشد و عملکرد گندم. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. 148-141: 3
6. رجایی، م.، و ن. کریمیان. 1378. تأثیر متقابل کمپوست و نیتروژن بر رشد گوجه فرنگی، قابلیت استفاده نیتروژن و بعضی خصوصیات خاک در شرایط گلخانه. ششمین کنگره علوم خاک ایران. دانشگاه فردوسی مشهد.
7. رحیمی، ق. 1371. مطالعات اثرات کود کمپوست بر شوری و آلودگی خاک و مقدار جذب عناصر سنگین توسط گیاه ذرت از خاک‌های حاوی کود کمپوست. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان.
8. قیامتی، گ.، ع. ر. آستارایی و غ. ر. زمانی. 1388. تأثیر کمپوست زباله شهری و گوگرد بر عملکرد چغندرقند و خصوصیات شیمیایی خاک. پژوهش‌های زراعی ایران. 163-155: 7
9. کشاورز، پ. 1385. ارزیابی تأثیر افزایش ماده آلی در خاک‌های زراعی و روش‌های توسعه مصرف آن در استان خراسان رضوی. گزارش‌نهایی. سازمان جهاد کشاورزی خراسان رضوی.
10. علی احیائی، م. 1376. شرح روش های تجزیه شیمیایی خاک. موسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه فنی شماره 1024.
11. محمدی نیا، غ. 1374. ترکیب شیمیایی شیرابه زباله و کمپوست و اثر آن بر خاک و گیاه. پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
12. ملکوتی، م. ج. 1384. کشاورزی پایدار و افزایش عملکرد با بهینه‌سازی مصرف کود در ایران (چاپ سوم با بازنگری کامل). به سفارش شورای عالی سیاستگزاری توسعه کاربرد مواد بیولوژیک و استفاده بهینه از کود و سم در کشاورزی - وزارت جهاد کشاورزی، کرج، ایران.
13. میرزایی تالارپشتی، ر.، ج. کامبوزیا، ح. صباحی و ع. مهدوی دامغانی. 1388. اثر کاربرد کودهای آلی بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک وتولید محصول و ماده خشک گوجه‌فرنگی. پژوهش‌های زراعی ایران.163-155: 7
14. Aggelides, S.M., and P.A. Londra 2000. Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and a clay soil. Bioresource Technology.71:253-259.
15. Boswell, C.C., and D.K. Friesen. 1993. Elemental sulfur fertilizers and their use on crops and pastures. Fertilizer Research. 35:127-149.
16. Bramryd, T. 2001. Effects of liquid and dewatered sewage sludge applied to a Scots pine stand (*Pinus sylvestris* L.) in Central Sweden. Forest Ecology and Management. 147:197-216.

17. Caravaca, F., D. Figueroa, M.M. Alguacil, and A. Roldán. 2003. Application of composted urban residue enhanced the performance of afforested shrub species in a degraded semiarid land. Bioresource technology. 90: 65-70.
18. Giusquiani, P., C. Marucchini, M. Businelli. 1988. Chemical properties of soils amended with compost of urban waste. Plant and Soil. 109: 73-78.
19. Hargreaves, J.C., M.S. Adl, and P.R. Warman. 2008. A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. Agriculture, Ecosystems and Environment. 123: 1-14.
20. Hargreaves, J.C., M.S. Adl, and P.R. Warman. 2009. The Effects of municipal solid waste compost and compost tea on mineral element uptake and fruit quality of strawberries. Compost Science and Utilization. 17:85-94.
21. Madrida, F., R. Lópeza, F. Cabreraa, and J.M. Murilloa. 2011. Nitrogen Mineralization of immature municipal solid waste compost. Journal of Plant Nutrition. 34:324-336.
22. McIntosh, M.S., J.E. Foss, D.C. Wolf, K.R. Brandt, and R. Darmody. 1984. Effect of composted municipal sewage sludge on growth and elemental composition of white pine and hybrid polar. J. Environ. Qual. 13:60-62.
23. Modaihsh, S., W.A. Al-Mustafa and A.E. Metwally. 1989. Effect of element sulfur on chemical changes and nutrient availability in calcareous soils. Plant and Soil. 116:95-101.
24. Mohammad, M.J., and N. Mazahreh. 2003. Changes in soil fertility parameters in response to irrigation of forage crops with secondary treated wastewater. Communications in soil science and plant analysis. 34:1281-1294.
25. Petersen, S.O., K. Henriksen, G.K. Mortensen, P.H. Krogh, K.K. Brandt, J. Sørensen, T. Madsen, J. Petersen, and C. Grøn. 2003. Recycling of sewage sludge and household compost to arable land: fate and effects of organic contaminants, and impact on soil fertility. Soil and Tillage. 72:139-152.
26. Schipper, L.A., J.C. Williamson, H.A. Kettles, and T.W. Speir. 1996. Impact of land-applied tertiary-treated effluent on soil biochemical properties. Journal of Environmental Quality. 25:1073-1077.
27. Vazquez-Montiel, O., N.J. Horan, and D.D. Mara. 1996. Management of domestic waste-water for reuse in irrigation.Water Sci. Technol. 33:355- 362.
28. Zhanga, M., S.S. Malhib, R. Panasuikc, and B. Henriquezc. 2010. Response of Turfgrass growth in a black chernozemic soil amended with municipal solid/biosolid waste compost. Journal of Plant Nutrition, 34:183-205.
29. Zheljazkov, V.D., and P.R. Warmen. 2004. Source separated municipal solid waste compost application to Swiss chard and basil. Environmental Quality. 33:542-552.