اثر باقی‌مانده و تجمعی کودهای آلی بر غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در خاک و گندم

نوید براهیمی، مجید افیونی، مهین کرمی و یحیی رضایی نژاد[1]*

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۵/۱۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۸/۸)

چکیده

با تولید روزافزون مواد آلی، به‌ویژه لجن فاضلاب و کمپوست زباله شهری، به‌کارگیری آنها در عرصه کشاورزی به عنوان کود آلی، نقش به‌سزایی بر مقدار عناصر در خاک و قابلیت دسترسی آنها برای گیاه و در نهایت افزایش عملکرد محصولات کشاورزی دارد. این تحقیق به‌منظور بررسی اثر باقی‌مانده و تجمعی کودهای آلی بر غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در خاک و گیاه گندم و مقایسه عملکرد آن با کود شیمیایی اجرا شد. این آزمایش به صورت طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار و چهار تیمار کودی شامل کود گاوی، لجن فاضلاب، کمپوست زباله شهری و کود شیمیایی انجام گرفت. کودهای آلی به مقدار ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ تن در هکتار و کود شیمیایی به مقدار ۲۵۰ کیلوگرم آمونیوم فسفات روی شخم و۲۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره به صورت سرک به کرت‌ها افزوده شد. در سال اول اجرای طرح تمام کرت و در سال دوم، چهار پنجم هر کرت (برای بار دوم) کوددهی گردید. اثر باقی‌مانده (یک بار کاربرد کود) کودهای آلی بر غلظت نیتروژن کل در خاک و مقدار آن در کاه و کلش معنی‌دار نبود، اما غلظت فسفر و پتاسیم قابل دسترس خاک و غلظت آنها در گیاه نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری نشان داد. اثر تجمعی (دو بار کاربرد کود) کودها بر نیتروژن کل خاک در تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ تن کود گاوی و ۱۰۰ تن کمپوست، فسفر در همه تیمارهای کود آلی و پتاسیم در تیمارهای کمپوست و کود گاوی منجر به افزایش معنی‌دار نسبت به شاهد گردید. اثر تجمعی کودها بر غلظت عناصر در کاه و کلش معنی‌دار بود. نیتروژن کل کاه و کلش در تیمار ۱۰۰ تن لجن فاضلاب، فسفر در ۱۰۰ تن کمپوست و پتاسیم در همه تیمارهای کود آلی به جز ۲۵ تن در هکتار کمپوست نسبت به شاهد تفاوت معنی‌دار داشت.

واژه‌های کلیدی: لجن فاضلاب، کمپوست، کود گاوی، نیتروژن، فسفر، پتاسیم

مقدمه

خاک‌های منطقه خشک و نیمه خشک ایران معمولا دارای کمبود ماده آلی می‌باشند که این امر باعث کاهش حاصل‌خیزی و خصوصیات مطلوب شیمیایی و فیزیکی این خاک‌ها می‌شود. این مسأله محققان را بر آن داشته تا در زمینه استفاده از کودهای آلی حاصل از فعالیت بشر مانند لجن فاضلاب و کمپوست زباله شهری برای افزایش تولیدات کشاورزی و معضلات ناشی از آن تحقیقات گسترده‌ای را انجام دهند. بررسی‌ها نشان داده که افزودن مواد آلی به خاک، بسته به ویژگی‌های انواع این مواد که آنها را بسیار متفاوت از هم می‌کند، اثرهای متفاوتی بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آن می‌گذارد که در بیشتر موارد با بهینه کردن این شرایط، امکان لازم جهت تولید محصولات با عملکرد بالا از نظر کیفی و کمّی را فراهم می‌آورد (۱۱). به‌طور کلی کاربرد پسماندهای آلی باعث افزایش غلظت بسیاری از عناصر در خاک می‌گردد. از سوی دیگر، همراه با تجزیه مواد آلی، فرایندهایی مانند اکسیداسیون گوگرد،

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، استاد، دانشجوی دکتری و دانشیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: rezainejad@cc.iut.ac.ir

به اسیدی شدن خاک (گرچه به صورت موضعی) کمک نموده که باعث انحلال و تحرک عناصر غذایی به‌ویژه عناصر کم مصرف غیر محلول خاک، به فرم قابل دسترس توسط گیاه می‌گردد (۱۷). خان و اشنیتزر گزارش کردند که هومیک غلیظ حاصل از بقایای آلی با عناصر غذایی کم مصرف خاک، کمپلکس تشکیل داده و قابلیت دسترسی آنها را برای گیاه افزایش می‌دهد (۱۳). مکابلا و وارمن گزارش کردند که کاربرد کمپوست زباله شهری در یک مزرعه سیب زمینی به افزایش معنی‌دار فسفر کل خاک منجر گردید. آنها در نهایت اعلام کردند که کمپوست زباله شهری می‌تواند به اندازه کودهای شیمیایی در افزایش فسفر قابل جذب خاک مؤثر باشد. دلیل احتمالی این امر افزایش فعالیت‌های میکربی پس از کاربرد کمپوست و در نتیجه آزادسازی فسفر در طول معدنی‌شدن مواد آلی ذکر گردید (۱۸). نتایج مطالعه رضایی‌نژاد و افیونی نشان داد که از بین سه تیمار لجن فاضلاب، کودگاوی و کمپوست زباله شهری، کمپوست با داشتن نسبت C/N بیشتر در مقابل کود گاوی و لجن فاضلاب، تأثیر کمتری در عملکرد ذرت داشت (۳). نتایج مطالعات مکابلا و وارمن نشان داد که وزن ماده خشک و عملکرد دو محصول سیب‌زمینی و ذرت در تیمار کود شیمیایی (NPK) و تیمار مخلوط (۵۰% کود شیمیایی و ۵۰% کمپوست زباله شهری) به‌طور معنی‌داری بیش از تیمار کمپوست زباله شهری بود. بررسی غلظت نیتروژن در بافت‌های گیاه نشان داد که این پارامتر در تیمار کمپوست کمتر از کود شیمیایی و تیمار مخلوط بوده، ولی غلظت فسفر بافت گیاه در تیمارهای مختلف، اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. در این مطالعه کم بودن عملکرد و وزن خشک گیاه در تیمار کمپوست زباله شهری نسبت به کود شیمیایی به کم بودن نیتروژن قابل دسترس برای گیاه در کمپوست ربط داده شد. این محققان در نهایت پیشنهاد کردند که کود کمپوست زباله شهری منبع فسفر خوبی برای هر دو گیاه است، اما قابلیت دسترسی کم نیتروژن موجود در کمپوست، ضرورت استفاده از یک کود شیمیایی به عنوان منبع نیتروژن همراه با کمپوست را ایجاد می‌کند (۱۸).

کوپربند و همکاران نیز گزارش کردند که کود کمپوست ضایعات مرغی، نیتروژن (نیتراتی) را به میزان ۳-۴ برابر کمتر از کود شیمیایی آزاد می‌کند (۱۲). لوئک و همکاران پیشنهاد کردند که به منظور بهبود قابلیت جذب نیتروژن برای گیاه، کمپوست زباله شهری، حداقل ۳ ماه قبل از کشت به خاک اضافه گردد (۱۶). تستر و همکاران نیز مشاهده کردند پس از افزودن تیمار لجن فاضلاب پوسیده و تراشه‌های چوب به خاک در مراحل اولیه، نیتروژن و فسفر غیر متحرک می‌شوند. آنها شرح دادند که در طی تجزیه بیولوژیک، نیتروژن و فسفر موجود در لجن در پرو توپلاسم میکروبی به فرم ترکیب آلی ذخیره شده و پس از مرگ آنها به خاک افزوده می‌گردد (۲۱). با وجود اثرات مثبت کاربرد این مواد در خاک، مطالعات زیادی وجود دارد که نشان می‌دهد کاربرد پسماندهایی مانند کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب به افزایش غلظت آلاینده‌هایی نظیر فلزات سنگین در خاک منجر می‌شود (۱، ۳ و ۱۷) لذا در کاربرد این‌گونه مواد در زمین‌های کشاورزی همواره بایستی جانب احتیاط رعایت شود.

تحقیقات صورت گرفته حاکی از آن است که علاوه بر نوع کود آلی مورد استفاده و ویژگی‌های آن، مدت زمان سپری شده پس از کاربردکود و نیز تکرار کوددهی در سال‌های بعد از عواملی هستند که بر وضعیت غلظت عناصر در خاک و گیاه کشت شده تأثیر دارند. سیکورا و اشمیت پس از تیمار کردن گیاه سورگوم با لجن فاضلاب شهری، کود حیوانی و کود شیمیایی، اظهار داشتند افزودن لجن فاضلاب در اولین سال، عملکرد محصول را در تیمار ۱۰ تن در هکتار افزایش داد، اما در مقادیر بالاتر سبب کاهش عملکرد شد. هم‌چنین اگرچه استفاده از لجن فاضلاب در سال اول تأثیری در مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه سورگوم نداشت، اما در دوره بعد موجب افزایش غلظت آن گردید (۲۰). تحقیقات انجام گرفته در امریکا نشان داد که آزادسازی نیتروژن از کود کمپوست به سرعت آزادسازی کودهای شیمیایی نمی‌باشد. به‌طوری‌که در بیشتر حالات در حدود ۲۵% از نیتروژن در سال اول و در سال‌های بعد، هر سال ۱۰% آن آزاد می‌گردد و این بدان خاطر است که

بـر خـلاف کودهـای شـیمیایی، نیتـروژن موجـود در کودهـای کمپوست، در جریان تجزیه به صورت پیونـد بـا دیگـر عناصـر به‌خصوص با کربن ظاهر می‌گردد همان‌گونه که در فرم‌های آلی دیگر نیز دیده می‌شود (۲۰).

وبر و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که کاربرد کمپوسـت زباله شهری علاوه بر بهبود بخشیدن خواص فیزیکی خاک، کـه مربوط به افزایش کربن آلی خاک بود، سبب افزایش قابل توجـه مقادیر قابل جذب فسفر، پتاسیم و منیزیم در طول دوره تحقیـق (۳ سال) شد. حتی در سال سوم بعد از کاربرد کمپوست، مقـدار پتاسیم قابل جذب گیـاه، بـیش از ۳ برابرتیمـار شـاهد بـود. در سومین سال پس از کاربرد کمپوست، هم‌چنین نـسبت C/N بـه طور چشمگیری افزایش یافت کـه ایـن امـر بـه کـاهش ذخیـره نیتروژن ارتبـاط داده شـد. در ایـن تحقیـق هـم‌چنـین تغییـرات سودمندی در ترکیب مواد هومیکی خاک رخ داد که بـا افـزایش نسبت اسید هومیک به اسید فلوویک همراه بود (۲۲).

نظر به این‌که تحقیقات در مورد اثرات باقی‌مانده و تجمعـی کودهای آلی بر قابلیت جذب عناصر پرمصرف در ایـران بـسیار محدود است، این تحقیـق بـا هـدف بررسـی اثـر بـاقی‌مانـده و تجمعی لجن فاضلاب، کمپوست زباله شـهری و کودگـاوی بـر غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در خاک و گیاه گندم انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در طرح آماری بلـوک‌هـای کامـل تـصادفی بـا ۱۱ تیمار و در ۳ تکرار در کرت‌هایی به ابعاد ۳*۱۵ متـر در مزرعـه تحقیقاتی دانشگاه صـنعتی اصـفهان اجـرا شـد. تیمارهـا شـامل کودهـای آلـی (کـود گـاوی، کمپوسـت زبالـه شـهری و لجـن فاضلاب) هر یک در ۳ مقدار (۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ تـن در هکتـار)، کـود شـیمیایی (شـامل ۲۵۰ کیلـوگرم فـسفات آمونیـوم + ۲۵۰ کیلوگرم اوره) و تیمار شاهد (بدون کود) بودند.

خاک منطقـه تیپیـک هاپـل آرجیـد، فـاین، لـومی، میکـسد، ترمیک می‌باشد. بـرای بررسـی اثـر بـاقی‌مانـده و اثـر تجمعـی کودهای آلی بر افـزایش عملکـرد و غلظـت نیتـروژن، فـسفر و پتاسیم در خاک و گیاه، تیمارها طی دو سال اعمال شد، بـه ایـن ترتیب که در سال اول تمام هرکرت و در سـال دوم قـسمتی از آن (چهار پنجم) برای بار دوم و مطابق برنامه سال قبل کوددهی شد. به قسمتی از کرت که تنها سـال اول کـود دریافـت نمـوده (یک پنجم) اثر بـاقی‌مانـده و بـه قـسمتی کـه دو سـال متـوالی کوددهی شده اثر تجمعی گفته می‌شـود. کودهـا پـس از کـاربرد (که پیش از کاشت پاییزه می‌باشد) تا عمق ۳۰ سـانتی‌متـری بـا خاک مخلوط شدند. تیمار کود شیمیایی نیـز بـه همـین ترتیـب اجرا گردید. کود فـسفات آمونیـوم روی شـخم و کـود اوره بـه صورت سرک مصرف شد. کشت گیاه گندم به‌صورت ردیفـی و آبیاری به صورت کرتی با آب چاه مزرعه انجام گرفت. هـدایت الکتریکی و pH آب آبیاری به ترتیب ۱/۱ دسی‌زیمنس بر متر و ۷/۵ بود.

نمونه‌برداری از کاه و کلش و دانه گندم نیمه اول تیرماه بعـد از رسیدگی کامل گیاه و نمونه‌برداری از خاک بلافاصـله بعـد از برداشت گندم و از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری انجام شد. نمونه‌های گیاهی پس از برداشت در دمای $65^{\circ}C$ بـه مـدت ۴۸ سـاعت در آون خشک و سپس توزین و وزن هزار دانه بوسیله سـینی دانـه شمار و وزن ۱۰۰۰ سی‌سـی بعـد از جـدا کـردن آن حجـم بـه وسیله ظرف مخصوص، اندازه‌گیری شد.

غلظت نیتروژن کل، فسفر قابل جذب و پتاسیم قابل جـذب (محلول + تبادلی) در خاک به ترتیب به روش کلـدال، الـسن و فلیم فتومتری (پس از عصاره‌گیری با استات آمونیـوم ۱ نرمـال) تعیین گردید. برای اندازه‌گیری نیتروژن کل دانه و کـاه از روش کلدال استفاده شد. برای اندازه‌گیری فسفر و پتاسیم ابتدا گیـاه را از طریق اکسیداسیون تر هضم کـرده و سـپس از روش الـسن و فلیم فتومتری مقدار آنها سنجیده گردید (۱۹). پـردازش آمـاری داده‌ها با نرم افزار SAS انجام شد (۶) و مقایسه میـانگین‌هـا بـا آزمون دانکن در سطح احتمال% ۵ صورت گرفت.

نتایج و بحث

جدول ۱ برخی ویژگی‌هـای فیزیکـی و شـیمیایی خـاک مـورد

جدول۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه تا عمق ۲۰ سانتی‌متری

پارامتر اندازه‌گیری شده	واحد	مقدار
بافت	-	لوم رسی
pH	-	۷/۸۱
O. M	%	۱/۰۲
CEC	$cmol_c\ kg^{-1}$	۱۴
ECe	$dS\ m^{-1}$	۱/۸
کربنات کلسیم معادل	$g\ kg^{-1}$	۳۹۵/۳
کلر	$mg\ kg^{-1}$	۱۱۰/۴

مطالعه را نشان می‌دهد. اثر باقی‌مانده کودهای آلی تفاوت معنی‌داری در EC خاک، مواد آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک نسبت به شاهد ایجاد نکرد. اما اثر تجمعی آنها به شکل معنی‌داری این پارامترها را افزایش داد. pH خاک در هیچ یک از تیمارهای باقی‌مانده یا تجمعی تفاوت معنی‌دار با شاهد نشان نداد (داده‌ها ارائه نشده‌اند).

جدول ۲، برخی ویژگی‌های شیمیایی کودهای آلی مورد استفاده را نشان می‌دهد. لجن فاضلاب نسبت به کود گاوی و کمپوست pH نسبتاً اسیدی‌تری دارد زیرا وجود برخی اسیدهای آلی در لجن باعث کاهش pH می‌گردد (۱۴). هرسه نوع کود آلی هدایت الکتریکی بالایی دارند که نشان‌دهنده میزان املاح بالا در آنهاست. املاح موجود در هر ترکیب کودی می‌تواند معلول دلایل خاص خود از جمله رژیم غذایی دام در کودهای گاوی و آلاینده‌ها و املاح موجود در کمپوست و لجن فاضلاب باشد. گرچه هدایت الکتریکی در لجن فاضلاب کمتر از دو کود دیگر است، ولی همین مقدار در صورت استفاده مقادیر بالا و مکرر این کود می‌تواند موجب افزایش شوری خاک شود. مقدار ماده آلی نسبتا زیاد این کودها می‌تواند اثر مطلوبی بر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک بگذارد که برای خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک نظیر ایران بسیار با اهمیت است (۱).

نسبت C/N کودها یکی از پارامترهای مهم در تجزیه آنها و جذب عناصر توسط گیاه می‌باشد. این نسبت برای کود گاوی برابر ۲۰/۸۳، کمپوست برابر ۱۲/۰۶ و لجن فاضلاب برابر ۹/۴۸ بود (جدول ۲). در نتیجه به نظر می‌رسد در لجن فاضلاب با توجه به زیاد بودن مقدار نیتروژن کل و کم بودن نسبت C/N، دسترسی نیتروژن برای گیاه بیش از دو ماده آلی دیگر باشد. با توجه به آنالیز کودها، مقدار عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم افزوده شده به خاک در هر نوبت کوددهی به ازای مقادیر ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ تن در هکتار سه نوع کود آلی مورد استفاده مطابق جدول ۳ مشخص گردید.

غلظت عناصر NPK در خاک

باقی‌مانده کودها اثر معنی‌داری بر نیتروژن کل خاک نداشت (جدول ۴). آبشویی، تصعید، مصرف توسط گیاه و محبوس شدن در سلول‌های میکروبی و یا در ساختار پیوندی کانی‌های رسی (تبدیل به فرم‌های غیر قابل دسترس) می‌تواند بر کاهش غلظت نیتروژن در خاک تأثیر داشته باشد (۱۰). میزان فسفر قابل دسترس در تیمارهای باقی‌مانده ۵۰ و ۱۰۰ تن در هکتار هر سه کود آلی نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری داشت. هم‌چنین غلظت پتاسیم قابل جذب تحت تیمارهای باقی‌مانده کود آلی نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار داشت به طوری که بالاترین مقادیر مربوط به تیمارهای کود گاوی و کمپوست بود.

غلظت کل نیتروژن در خاک با تکرار کوددهی (اثر تجمعی) افزایش یافت. با افزایش سطح کاربرد کود، نیتروژن کل در تیمارهای کود گاوی و کمپوست به طور معنی‌دار نسبت به شاهد افزایش یافت که بیشترین درصد نیتروژن خاک مربوط به

جدول ۲. ویژگی‌های شیمیایی کودهای آلی مورد استفاده

ویژگی	واحد	کودگاوی	کمپوست زباله	لجن فاضلاب
pH	-	۸/۶	۷/۸	۶/۴
هدایت الکتریکی	dS/m	۱۷	۱۴/۷	۹/۴
ماده آلی	%	۴۳	۲۷	۳۱
نسبت C/N	-	۲۰/۸۳	۱۲/۰۶	۹/۴۸
نیتروژن کل	mg/kg	۱۲۰۰۰	۱۳۰۰۰	۱۹۰۰۰
فسفر	mg/kg	۷۵۰۰	۳۰۰۰	۱۴۴۰۰
پتاسیم قابل جذب	mg/kg	۳۰۰۰	۷۰۰۰	۳۰۰۰

جدول ۳. مقدارNPK اضافه شده به خاک (Kg/ha) به ازای هر سطح کود آلی در هر نوبت کوددهی

مقدار کود آلی	عنصر	کود گاوی	کمپوست زباله	لجن فاضلاب
۲۵ تن در هکتار	N	۳۰۰	۳۲۵	۴۷۵
	P	۱۸۷/۵	۷۵	۳۶۰
	K	۷۵	۱۷۵	۷۵
۵۰ تن در هکتار	N	۶۰۰	۶۵۰	۹۵۰
	P	۳۷۵	۱۵۰	۷۲۰
	K	۱۵۰	۳۵۰	۱۵۰
۱۰۰ تن در هکتار	N	۱۲۰۰	۱۳۰۰	۱۹۰۰
	P	۷۵۰	۳۰۰	۱۴۴۰
	K	۳۰۰	۷۰۰	۳۰۰

تیمار ۱۰۰ تن کمپوست زباله و کود گاوی می‌باشد (جدول ۴). یکی از نکات قابل توجه جدول ۴ آن است که درصد کل نیتروژن خاک در تیمارهای لجن فاضلاب تفاوت معنی‌داری با تیمارهای سایر کودها ندارد، در صورتی‌که درصد نیتروژن لجن فاضلاب بیشتر از دو کود دیگر بود. این امر احتمالاً به دلیل بالا بودن سهولت دسترسی نیتروژن برای گیاه در تیمارهای لجن فاضلاب و در نتیجه مصرف بیشتر نیتروژن توسط گیاه می‌باشد. همان‌طور که پیشتر گفته شد نسبت C/N در لجن فاضلاب کمتر از دو کود دیگر بود.

اثر تجمعی کودها بر غلظت فسفر و پتاسیم قابل استفاده نیز معنی‌دار بود (جدول ۴). فسفر قابل جذب خاک در تیمار ۱۰۰ تن کود گاوی، بالاترین و در شاهد کمترین غلظت را داشت. برخی محققین نیز گزارش کردند که مواد آلی، فسفر قابل دسترس گیاهان را افزایش می‌دهد و به‌طور غیر مستقیم از رسوب فسفات در pH های ۶ تا ۹ که به شکل غیر قابل جذب برای گیاه است، جلوگیری می‌کند (۹ و ۱۳). تیمارهای کود گاوی بیشتر از تیمارهای دیگر بر غلظت فسفر قابل دسترس اثر گذاشت، اگرچه مقدار این عنصر در لجن فاضلاب بیشتر بود. این امر می‌تواند ناشی از وجود درصد بالای مواد آلی در کودگاوی (۴۳%) نسبت به لجن فاضلاب (۳۱%) باشد. همان‌طور که اشاره گردید بسیاری از تحقیقات دلالت بر افزایش قابلیت جذب فسفر در حضور مواد آلی دارد. تولید اسید کربنیک از گاز کربنیک تولید شده طی تجزیه مواد آلی در خاک و آب موجود، تشکیل ترکیبات فسفر هومیک که با سهولت

جدول ۴. اثر باقی‌مانده و تجمعی کودهای آلی بر غلظت N ,P ,K در خاک

نوع کود	مقدار (ton/ha)	نیتروژن(%)		فسفر (mg/kg)		پتاسیم(mg/kg)	
		باقی‌مانده	تجمعی	باقی‌مانده	تجمعی	باقی‌مانده	تجمعی
گاوی	۲۵	۰/۱۶^{a}	۱/۷^{ab}	۲۵^{cd}	۸۳^{c}	۵۴۱^{c}	۸۳۱^{c}
	۵۰	۰/۱۸^{a}	۱/۹^{a}	۵۲^{b}	۱۶۶^{b}	۶۶۲/۳^{ab}	۱۳۰۵^{b}
	۱۰۰	۰/۱۹^{a}	۱/۹^{a}	۹۵^{a}	۲۵۶^{a}	۷۰۱^{a}	۱۵۷۲^{a}
کمپوست	۲۵	۰/۱۵^{a}	۱/۵^{ab}	۲۴^{cd}	۴۷^{d}	۴۸۴^{cd}	۵۹۳^{def}
	۵۰	۰/۱۶^{a}	۱/۷^{ab}	۴۴^{b}	۵۰/۷^{cd}	۶۱۲^{b}	۶۲۵^{de}
	۱۰۰	۰/۱۸^{a}	۲^{a}	۴۴^{b}	۶۳/۳^{c}	۶۸۷^{ab}	۶۹۷^{cd}
لجن فاضلاب	۲۵	۰/۱۳^{a}	۱/۶۵^{ab}	۲۴^{cd}	۵۶ ^{cd}	۴۷۰^{cd}	۴۷۱^{ef}
	۵۰	۰/۱۳^{a}	۱/۶^{ab}	۳۳/۶^{c}	۵۷ ^{cd}	۴۷۱^{cd}	۴۷۸^{ef}
	۱۰۰	۰/۱۷^{a}	۱/۷^{ab}	۴۹^{b}	۶۰ ^{cd}	۴۷۳^{cd}	۵۰۳^{ef}
شاهد	۰	۰/۱^{a}	۰/۱^{b}	۱۸^{d}	۱۸^{e}	۴۰۷^{d}	۴۲۶^{f}
کود شیمیایی	-	۰/۱۵^{a}	۱/۶^{ab}	۲۴/۴^{cd}	۲۰^{e}	۴۱۲^{d}	۴۵۲^{f}

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حرف مشترک هستند در سطح ۵% براساس آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

بیشتر جذب گیاه می‌شوند، جایگزینی یون هومات به جای فسفات‌های جذب سطحی شده و آزادسازی یون فسفات، رقابت ترکیبات آلی با یون فسفات برای مکان‌های جذبی بر سطح ذرات کربنات کلسیم و پوشیده شدن سطوح رس‌ها و ذرات اکسیدهای آهن و آلومینیوم توسط مواد آلی که ظرفیت جذب فسفات را کاهش می‌دهد، برخی از دلایل احتمالی این امر ذکر شده‌اند (۵). جدول ۴ نشان می‌دهد که کاربرد کود شیمیایی موجب افزایش معنی‌دار فسفر قابل‌جذب نسبت به شاهد نشد. روشن است که در هر دو تیمار باقی‌مانده و تجمعی، مقدار کم فسفر قابل جذب به دلایلی از قبیل بالا بودن pH خاک و رسوب به صورت فسفات‌های کلسیم (۱۵)، ریز بافت بودن خاک (۸) و برداشت فسفر توسط گیاه در طی فصل رشد مورد انتظار است. اما نکته جالب آن است که در همین حال مقدار این ویژگی در تیمار باقی‌مانده بیش از تیمار تجمعی است. این امر نشان می‌دهد که فسفر موجود در خاک ناشی از کاربرد کود شیمیایی، برای نشان دادن اثر خود نیاز به گذشت زمان دارد و احتمالا با گذشت زمان بیشتر، اثر باقی‌مانده سبب مشاهده فسفر قابل جذب بیشتر در خاک می‌گردد. باربر در یک تحقیق ۲۵ ساله نشان داد که ۸ سال پس از آخرین کاربرد کود شیمیایی در مزرعه‌ای که چندین سال کود فسفره دریافت کرده بود،، مقدار فسفر قابل جذب بیش از حد انتظار بود. وی با اندازه‌گیری فسفر جذب شده توسط گیاه و نیز فسفر قابل تبادل با رزین (که فسفر محلول ناپایدار گفته می‌شود) دریافت که تنها یک ششم از کل فسفر جذب شده توسط گیاه از فسفر قابل تبادل با رزین تأمین شده و بقیه (پنج ششم از فسفر جذب شده توسط گیاه در مزرعه) از بخش غیر قابل دسترس فسفر خاک فراهم می‌آمد. وی نتیجه‌گیری کرد که با گذشت زمان بخش زیادی از فسفر غیر قابل دسترس وارد محلول خاک می‌شود (۷). بالاتر بودن فسفر در تیمارهای کود آلی نسبت به کود شیمیایی که در جدول ۴ مشهود است، در تحقیقات زیادی گزارش شده‌است. لبسکی و لمب (۱۴) دلیل این تفاوت را اسیدهای آلی آزاد شده از مواد آلی می‌دانند که از جذب فسفر

توسط خاک جلوگیری می‌کنند.

پتاسیم قابل جذب نیز با افزایش مقدار کود در تیمارهای کود گاوی و کمپوست نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری پیدا کرد و بیشترین غلظت پتاسیم مربوط به تیمار ۱۰۰ تن کود گاوی می‌باشد. در مورد پتاسیم هم مانند فسفر سطوح مختلف کود گاوی بیشتر از سایر کودها، غلظت این عنصر را در خاک افزایش داد.

غلظت عناصر N ,P,K در کاه و کلش گندم

باقی‌مانده کودهای آلی درتیمارهای اعمال شده اثر معنی‌داری بر غلظت نیتروژن کاه و کلش نداشت (جدول ۵). غلظت فسفر در تیمارهای باقی‌مانده ۲۵, ۵۰ و ۱۰۰ تن لجن فاضلاب، ۵۰ و ۱۰۰ تن کود گاوی و کمپوست نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری نشان داد و بیشترین مقدار آن مربوط به تیمار ۱۰۰ تن کمپوست زباله بود. غلظت پتاسیم جذب شده در تیمارهای باقی‌مانده ۱۰۰ تن کود کمپوست و لجن فاضلاب وتیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ تن کود گاوی نسبت به شاهد، معنی‌دار بود. با تکرار تیمارهای کود آلی درصد نیتروژن در کاه گندم افزایش یافت. بررسی اثر تجمعی بر نیتروژن کاه و کلش حاکی از آن است که تنها تیمار ۱۰۰ تن لجن فاضلاب دارای اختلاف معنی‌دار با شاهد می‌باشد. غلظت فسفرجذب شده در کاه گندم نیز با تکرار کوددهی در تیمارهای مختلف افزایش داشت. بررسی اثر تجمعی بر فسفر نیز نشان داد که تنها تیمار ۱۰۰ تن در هکتار کمپوست افزایش معنی‌دار نسبت به شاهد دارد. غلظت پتاسیم کاه گندم در تیمارهای تجمعی مختلف کود آلی نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار نشان داد، به‌طوری‌که بیشترین غلظت پتاسیم مربوط به تیمار ۱۰۰ تن در هکتار لجن فاضلاب است. بین تیمارهای ۲۵ و ۱۰۰ تن در هکتار کود گاوی و کود کمپوست زباله و هم‌چنین بین سطوح مختلف کاربرد لجن فاضلاب نیز تفاوت معنی‌دار وجود دارد (جدول ۵).

مقایسه مقادیر نیتروژن کاه و کلش گندم با حد کمبود معرفی شده در منابع (۱/۷۴% - ۱/۲۵) (۲) نشان داد که گندم رشد یافته در اکثر تیمارها دچار کمبود نیتروژن می‌باشد (جدول ۵). در منابع ذکر گردیده است که کمبود فسفر در دامنه غلظت ۲۰۰۰-۱۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم اندام هوایی گندم اتفاق می‌افتد (۲). همان‌طور که جدول ۵ نشان می‌دهد گندم درهمه تیمارهای آزمایش به کمبود فسفر مبتلا می‌باشد. محققین معتقدند اضافه کردن مواد آلی به خاک ممکن است با کاهش قابلیت جذب نیتروژن برای گیاه همراه باشد. بنابراین در هنگام استفاده از پسماندهای آلی برای جلوگیری از کمبود نیتروژن باید از کودهای شیمیایی نیتروژن‌دار استفاده کرد (۱۸). یکی از دلایل کمبود نیتروژن در شرایط مذکور محبوس شدن نیتروژن می‌باشد (۱۰). از طرفی مناسب بودن شرایط انتقال و نگهداری کودهای آلی یکی از عوامل مؤثر در غنی بودن آنها از عناصری مانند نیتروژن است، لذا این عنصر به راحتی می‌تواند به صورت گاز آمونیاک خارج شود. در ارتباط با فسفر نیز به جزعامل کمیت، عوامل مختلفی از جمله کند بودن سرعت آزاد سازی این عنصر به خصوص در مراحل اولیه کوددهی و اثرات متقابل یونی درکاهش جذب این عنصر توسط گیاه اثر دارد. علت این‌که غلظت پتاسیم جذب شده در سطوح پایین کاربرد کودها وحتی در تیمار شاهد نیز زیاد می‌باشد، احتمالاً زیاد بودن غلظت قابل جذب این عنصر در خاک به دلیل برخورداری این خاک از کانی‌های پتاسیم‌دار چون ایلایت بوده است. شریفی نیز طی مطالعات خود دریافت که خاک‌های مورد آزمایش به دلیل داشتن درصد بالای ایلایت و قدرت بافری می‌توانند نیاز پتاسیم گیاه را در طول فصل رشد تأمین نمایند (۴).

عملکرد گندم

اندازه‌گیری عملکرد کل گیاه گندم نشان داد که اگرچه اثر باقی‌مانده کودها افزایش محصول نسبت به شاهد را در پی داشته است، ولی این تفاوت معنی‌دار نیست (جدول ۶). تفاوت معنی‌داری در وزن هزار دانه و وزن هزار سی سی دانه گندم بین تیمارهای باقی‌مانده و شاهد مشاهده نشد (جدول ۶). فراهم نبودن عناصر غذایی در حد نیاز و یا عوامل متعدد دیگری که

جدول ۵. اثر باقی‌مانده و تجمعی کودهای آلی برغلظت NPK درکاه و کلش گندم

نوع کود	مقدار (ton/ha)	نیتروژن(%)		فسفر (mg/kg)		پتاسیم (mg/kg)	
		باقی‌مانده	تجمعی	باقی‌مانده	تجمعی	باقی‌مانده	تجمعی
گاوی	۲۵	۰/۶^{a}	۱/۱^{ab}	۵۲۵^{def}	۶۵۸^{ab}	۲۲۶۹^{bc}	۳۸۷۷^{cd}
	۵۰	۰/۷^{a}	۱/۲۰^{ab}	۵۵۰^{cde}	۷۷۵^{ab}	۳۱۵۱^{ab}	۳۳۲۸^{cd}
	۱۰۰	۰/۷^{a}	۱/۴۰^{ab}	۶۷۵^{b}	۶۹۲^{ab}	۳۵۷۲^{ab}	۶۹۵۷^{ab}
کمپوست	۲۵	۰/۵^{a}	۰/۸۵^{ab}	۴۷۵^{f}	۶۴۲^{ab}	۲۳۳۳^{bc}	۱۷۲۳^{ef}
	۵۰	۰/۵^{a}	۱/۰۰^{ab}	۵۴۲^{cde}	۷۴۲^{ab}	۲۶۲۵^{bc}	۲۹۹۵^{de}
	۱۰۰	۰/۶^{a}	۱/۴۰^{ab}	۷۹۲^{a}	۱۰۹۱^{a}	۳۶۳۵^{a}	۶۵۹۸^{ab}
لجن فاضلاب	۲۵	۰/۶^{a}	۱/۱۰^{ab}	۵۵۸^{cd}	۵۵۸^{b}	۲۹۳۱^{bc}	۳۰۷۳^{cd}
	۵۰	۰/۶^{a}	۱/۲۵^{ab}	۶۰۸^{bc}	۶۹۲^{ab}	۲۹۸۸^{bc}	۴۰۷۳^{bcd}
	۱۰۰	۰/۷^{a}	۱/۷۰^{a}	۶۵۸^{bc}	۷۷۵^{ab}	۳۴۳۸^{ab}	۷۳۶۰^{a}
شاهد	۰	۰/۵^{a}	۰/۵۰^{b}	۴۹۲^{f}	۶۴۱^{b}	۲۱۲۱^{c}	۱۵۴۸^{f}
کود شیمیایی	-	۰/۶^{a}	۱/۵۰^{ab}	۵۰۰^{ef}	۶۶۶^{ab}	۲۷۲۵^{bc}	۱۷۵۳^{ef}

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حرف مشترک هستند، در سطح ۵% بر اساس آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌دارند.

جدول ۶ . اثر باقی‌مانده و تجمعی کودهای آلی بر عملکرد کل، عملکرد ۱۰۰۰ دانه و وزن ۱۰۰۰ سی سی دانه گندم

نوع کود	مقدار (ton/ha)	عملکرد کل (kg/ha)		عملکرد ۱۰۰۰ دانه (gr)		وزن ۱۰۰۰ سی سی دانه (gr)	
		باقی‌مانده	تجمعی	باقی‌مانده	تجمعی	باقی‌مانده	تجمعی
گاوی	۲۵	۳۸۱۴^{a}	۳۹۸۳^{ab}	۳۷^{a}	۳۱^{bc}	۶۷۰^{a}	۶۹۰^{ab}
	۵۰	۴۶۹۰^{a}	۴۸۶۰^{ab}	۳۳^{a}	۲۷/۵^{e}	۵۸۰^{a}	۶۱۶^{ab}
	۱۰۰	۵۲۸۴^{a}	۵۱۹۹^{ab}	۳۴^{a}	۳۰^{d}	۵۵۴^{a}	۶۲۷^{ab}
کمپوست	۲۵	۳۵۰۳^{a}	۴۰۶۸^{ab}	۳۲/۵^{a}	۳۸/۵^{ab}	۶۴۲^{a}	۷۱۸^{ab}
	۵۰	۳۹۲۷^{a}	۴۲۹۴^{ab}	۴۰^{a}	۳۹/۹^{a}	۵۸۵^{a}	۷۴۴^{a}
	۱۰۰	۴۰۹۶^{a}	۴۵۲۰^{ab}	۳۹^{a}	۲۷^{e}	۶۸۵^{a}	۶۷۳^{ab}
لجن فاضلاب	۲۵	۳۵۸۸^{a}	۳۵۹۰^{ab}	۳۱^{a}	۲۷/۵^{e}	۶۸۵^{a}	۶۷۵^{ab}
	۵۰	۴۶۶۲^{a}	۴۷۰۰^{ab}	۲۹^{a}	۲۶/۵^{e}	۵۵۳^{a}	۶۸۳^{ab}
	۱۰۰	۳۸۴۲^{a}	۵۱۱۴^{ab}	۲۸/۸^{a}	۳۲/۵^{b}	۶۴۴^{a}	۶۸۰^{ab}
شاهد	۰	۲۵۴۲^{a}	۲۴۰۰^{b}	۲۶^{a}	۲۲^{e}	۵۲۷^{a}	۵۲۵^{b}
کود شیمیایی	-	۲۷۶۸^{a}	۶۱۰۳^{a}	۳۲^{a}	۳۰/۵^{cd}	۶۶۴^{a}	۶۵۴^{ab}

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حرف مشترک هستند، در سطح ۵% براساس آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌دارند.

نیاز به بررسی بیشتری دارد، می‌تواند موجب بروز کمبود و در نهایت عدم تأثیر بر عملکرد نسبت به شاهد شود. بررسی اثر تجمعی نیز نشان داد، بیشترین مقدار عملکرد کل گیاه گندم مربوط به تیمار کود شیمیایی بود (جدول ۶) و هیچ یک از تیمارهای کود آلی اثر معنی‌داری بر عملکرد نداشتند که با توجه به نتایج آنالیز کاه و کلش و کمبود نیتروژن و فسفر در گیاه، این نتیجه دور از انتظار نیست. مکابلا و وارمن گزارش کردند که کاربرد کود شیمیایی و کمپوست با هم، عملکرد سیب‌زمینی و ذرت را بیش از کود کمپوست به تنهایی افزایش داد. در تحقیق آنها بیشترین عملکرد مربوط به تیمار کود شیمیایی بود (۱۸).

اثر تجمعی کودها بر وزن هزار دانه گندم معنی‌دار بود. در این رابطه بسیاری از تیمارها افزایش معنی‌دار نسبت به شاهد نشان دادند و تیمار ۵۰ تن کود کمپوست بیشترین افزایش را دارا بود. اثر تجمعی کودها بر وزن ۱۰۰۰ سی سی دانه گندم جز در تیمار ۵۰ تن در هکتار کود کمپوست معنی‌دار نبود. عدم هم‌بستگی بین مقدار کودهای آلی افزوده شده به خاک و عملکرد دانه و کاه گندم، احتمالا به دلیل کمبود نیتروژن و فسفر گیاه است که در بخش قبل به آن اشاره شد. هر چند ممکن است عوامل دیگری مانند اضافه شدن مواد متنوع از جمله فلزات سنگین همراه کودهای آلی به خاک و اثرات متقابل بین طیف وسیعی از یون‌های اضافه شده بر عملکرد نقش داشته‌اند.

جدول ۶ نشان می‌دهد که تیمارهای باقی‌مانده در بیشتر موارد وزن ۱۰۰۰ دانه بیشتری نسبت به تیمارهای تجمعی دارند. بوشام معتقد است به دلایل متعدد اضافه کردن مواد آلی به خاک ممکن است موجب کاهش عملکرد محصول شود که یکی از علل آن محبوس بودن نیتروژن در ساختار مولکول‌های آلی است (۱۰).

نتیجه‌گیری

کاربرد کودهای آلی به صورت باقی‌مانده و تجمعی منجر به افزایش غلظت عناصر پرمصرف در خاک وگیاه گردید. این افزایش جز درمورد اثر باقی‌مانده کودهای آلی بر غلظت نیتروژن کل در خاک و مقدار آن در کاه و کلش، در سایر موارد معنی‌دار بود. اثر باقی‌مانده کودها به خصوص بر فسفر و پتاسیم قابل جذب خاک و گیاه نکته مثبت و قابل توجهی تلقی می‌شود. با توجه به کم بودن غلظت نیتروژن و فسفر در بافت‌های گیاه نسبت به سطوح بحرانی این عناصر، بایستی گفت که کودهای آلی به تنهایی نمی‌توانند نیاز گیاه را به عناصر پرنیاز فراهم کنند، لذا استفاده از کودهای شیمیایی مخصوصا نیتروژن به عنوان مکمل ضروری می‌باشد.

منابع مورد استفاده

۱. بهره‌مند، م. ر، م. افیونی، م.ع. حاج عباسی و ی. رضایی‌نژاد. ۱۳۸۱. اثر لجن فاضلاب بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۴: ۱-۸.

۲. خوشگفتارمنش، ا. ح. ۱۳۸۶. *ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای گیاه و مدیریت بهینه کودی*، انتشارات مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان.

۳. رضائی‌نژاد، ی. و م. افیونی. ۱۳۷۹. اثر مواد آلی بر خواص شیمیایی خاک، جذب عناصر به وسیله ذرت و عملکرد آن. نشریه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۴: ۱۹-۲۸.

۴. شریفی، م. ۱۳۷۷. انتخاب عصاره گیر مناسب جهت استخراج پتاسیم قابل جذب برای گیاه ذرت در خاک‌های منطقه مرکزی استان اصفهان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۵. ملکوتی، م. ج. ۱۳۷۳. *حاصل‌خیزی خاک‌های مناطق خشک (مشکلات و راه‌حل‌ها)*. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۶. میرزایی، ع. ۱۳۸۵. *آشنایی با نرم افزار SAS*. جلد اول، انتشارات ثامن الائمه، تهران.

7. Barber, S. A. 1984. Soil Nutrient Bioavailability. John Wiley & Sons Pub., New York.
8. Barrow, N. J. 1990. The Role of Phosphorus in Agriculture. Chapter 11, Madison WI. 53711. USA
9. Baure, A. and A. L. Black. 1992. Organic carbon effects on available water. Soil Sci. Am. J. 56: 248-254.
10. Beauchamp, E. G. 1987. Corn response to residual N from urea and manure applied in previous year. Can. J. Soil Sci. 67: 931-942.
11. Cecil, F. and C. F. Tester. 1990. Organic amendment effects on physical and chemical properties of a sandy soil. J. Soil Sci. Soc. Am. 54: 827-831.
12. Cooperband, L., G. Bollero, F. Coale. 2002. Effect of poultry litter and compost on soil nitrogen and phosphorus availability and corn production. Nutr. Cycl. Agroecosys. 62: 185–194.
13. Khan, S. V. and M. Schnitzer. 1972. Parmanganate oxidation of humic acids, folvic acids, and humins, Exteracted Ah horizons of black chernozem ablack solod and ablack solonetz soil. Can. J. Soil Sci. 52(1): 43-57.
14. Laboski, C. A. M. and J. A. Lamb. 2003. Changes in soil test phosphorus concentration after application of manure or fertilizer. Soil Sci. Soc. Am. J. 67: 544-554.
15. Lindsay, W. L. 1979. Chemical Equilibria in Soils. John Wiley & Sons Pub., New York.
16. Loecke, T. D., M. Liebman, C. A. Cambardella, T. L. Richard. 2004. Corn response to composting and time of application of solid swine manure. Agron. J. 96: 214–223.
17. McBride, M. B. 1995. Toxic metal accumulation from agricultural use of sludge: are USEPA regulations protective? J. Eviron. Qual. 24: 5-18.
18. Mkhabela, M. S. and P. R. Warman. 2005. The influence of municipal solid waste compost on yield, soil phosphorus availability and uptake by two vegetable crops grown in a Pugwash sandy loam soil in Nova Scotia. Agriculture. Ecosys. and Environ. 106: 57–67.
19. Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Keeney. 1982. Methods of Soil Analysis, Part: 2: Chemical and biological properties 2nd ed., Soil. Sci. Soc. Am. Inc. Pub., USA.
20. Sikora, L. and R. A. K. Szmidt. 2001. Nitrigen Sources, Mineralization Rates and Plant Nutrient Benefits from compost. *In*: Stoffella at al. (Ed.), Compost utilization in horticultural cropping systems. CRC Press Pub., USA.
21. Tester, C. F., L. J. Sikora, J. M. Taylor and J. F. Paw. 1973. Decomposition of sewage sludge compost in soil: Carbon, nitrogen, phosphorus, transformation in different size fractions. J. Environ. Qual. 8 (1):.79-82.
22. Weber, J., A. Karczewska, J. Drozd, M. Licznar, S. Licznar, E. Jamroz and A. Kocowicz. 2007. Agricultural and ecological aspects of a sandy soil as affected by the application of municipal solid waste composts. Soil Biol. and Biochem. 39: 1294-1302.