فصلنامه علوم محیطی،دوره هفدهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۸

۱۸۹-۲۰۸

تأثیر مصرف کمپوست زباله و لجن فاضلاب شهری بر زیست فراهمی عنصرهای غذایی موجود در خاک در کشت پیاز

علیرضا مرجوی* و پریسا مشایخی

بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۰۵

مرجوی، ع. و پ. مشایخی. ۱۳۹۸. تأثیر مصرف کمپوست زباله و لجن فاضلاب شهری بر زیست فراهمی عنصرهای غذایی موجود در خاک در کشت پیاز. فصلنامه علوم محیطی. ۱۷(۳): ۲۰۸-۱۸۹.

سابقه و هدف: باوجود همه اثرهای مثبتی که در ارتباط با مصرف کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب بر روی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مطرح است، هنوز در این رابطه نگرانی‌های زیادی ازنظر مسئله‌های محیط‌زیستی و سلامت وجود دارد. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی تأثیر مقدارهای مختلف کودهای آلی کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب درکشت پیاز پس از ۵ سال در کرت‌های ثابت بلحاظ تجمع عنصرهای سنگین در خاک و گیاه می‌باشد.

مواد و روش‌ها: این تحقیق در کرت‌های ثابت، در ایستگاه تحقیقاتی آبیاری و زهکشی رودشت اصفهان با چهار تیمار کود آلی کمپوست زباله شهری و کود لجن فاضلاب بهمراه تیمار شاهد در قالب یک طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و پنج سال متوالی انجام شد. تناوب مورد استفاده شامل پیاز، گندم، چغندرقند، ذرت علوفه‌ای و پیاز بودند که بدلیل وجود دو مرحله کشت پیاز به نام‌های مرحله اول و دوم تقسیم شدند. تیمارها عبارت بودند از: الف- بدون کاربرد هیچ‌گونه کود آلی (شاهد). ب- تیمار ۲۵ تن در هکتار کود کمپوست زباله شهری. ج- تیمار ۵۰ تن در هکتار کود کمپوست زباله شهری. د- تیمار ۱۵ تن در هکتار لجن فاضلاب. ه- تیمار ۳۰ تن در هکتار لجن فاضلاب.

نتایج و بحث: کاربرد کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب بویژه در سطح‌های بالاتر در خاک افزون بر افزایش ماده آلی خاک تا حدود دو برابر، غلظت عنصرهای غذایی موردنیاز گیاه در خاک از جمله فسفر، پتاسیم، روی، مس، منگنز و آهن قابل استفاده را نیز افزایش داد. مصرف این مواد آلی در مرحله اول تأثیری برافزایش میزان عنصرهای سنگین سرب و کادمیوم در خاک نداشت، ولی مصرف چندین سال متوالی کمپوست زباله (تیمار ۵۰ تن در هکتار) در مرحله دوم، موجب افزایش سرب قابل‌جذب در خاک شد. هم‌چنین مصرف سطح‌های مختلف کودهای آلی سبب افزایش معنی‌دار در عنصرهای غذایی موجود در اندام هوایی گیاه پیاز شامل نیتروژن، فسفر و پتاسیم و همچنین عنصرهای ریزمغذی آهن، روی، مس و منگنز شد. بیشترین میزان عنصرهای غذایی اندازه‌گیری شده در اندام هوایی گیاه پیاز در تیمار ۵۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری مشاهده شد که در بیشتر موارد تفاوت معنی داری با تیمار ۳۰ تن در هکتار لجن فاضلاب نداشت. غلظت بیشتر عنصرهای غذایی اندازه‌گیری شده در اندام هوایی گیاه پیاز پس از پنج سال مصرف متوالی کودهای آلی بصورت معنی داری نسبت به مرحله اول پژوهش افزایش پیدا کرد. در مورد عنصر مس این روند معکوس بود و میزان جذب این عنصر در مرحله دوم نسبت به مرحله اول، به دلیل افزایش غلظت عنصرهای دیگر مانند فسفر و وجود رقابت بین عنصرهای مختلف در جذب بوسیله گیاه، کاهش یافت. مصرف تیمارهای مختلف کود آلی در هر دو مرحله، میزان عنصر روی را در غده پیاز افزایش داد. بیشترین میزان روی در غده پیاز در

* Corresponding Author: *Email Address*.a.marjovvi@na.iut.ac.ir

تیمارهای ۵۰ تن در هکتار کمپوست زباله و ۳۰ تن در هکتار لجن فاضلاب مشاهده شد. ولی غلظت دیگر عنصرهای غذایی از جمله نیتروژن، پتاسیم، مس و آهن در غده پیاز تنها در مرحله دوم و درنتیجه مصرف چندین ساله کمپوست زباله و لجن فاضلاب، افزایش یافت. بیشترین میزان نیتروژن و آهن در غده گیاه در تیمار ۵۰ تن در هکتار کمپوست و بیشترین میزان مس در غده گیاه در تیمار ۳۰ تن در هکتار لجن اندازه گیری شد. غلظت سرب و کادمیم در گیاه، در تیمارهای مختلف به حدی کم بود که با دستگاه جذب اتمی قابل‌اندازه‌گیری نبود.

نتیجه‌گیری: مصرف بلندمدت کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب در این پژوهش، ضمن افزایش ماده آلی و بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، سبب افزایش غلظت عنصرهای غذایی در گیاه بویژه از لحاظ عنصرهای ریزمغذی ازجمله روی و آهن شد، ازآنجاکه یکی از نگرانی‌های عمده در مورد این گونه منبع‌های آلی، احتمال ایجاد آلودگی فلزهای سنگین در خاک و گیاه است، ولی نتایج این مطالعه نشان داد که مصرف چندین ساله این مواد در سطح‌های بیان شده موجب افزایش در عنصرهای سنگین مضری مانند سرب و کادمیم در خاک و یا گیاه نشد. در کل با توجه به پایین بودن میزان ماده آلی در خاک، بیشتر منطقه‌های کشور و محدود بودن منبع‌های آلی مختلف، مصرف بهینه ازاین‌گونه منبع‌ها در بخش کشاورزی، یکی از بهترین روش‌ها برای بازیافت این مواد به شمار آمده و گام مؤثری در جهت کشاورزی پایدار خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: زیست‌فراهمی، کمپوست زباله شهری، لجن فاضلاب، ویژگی‌های شیمیایی خاک، پیاز.

مقدمه

پیاز خوراکی[1] از مهم‌ترین سبزی‌های دنیا بشمار می‌رود که در گونه‌های مختلف به مصرف می‌رسد. تحقیق‌های علمی نشان داد که پیاز، شامل میزان زیادی ترکیب‌های زیست فعال است که در پیشگیری از بیماری‌های سرطان و قلب مؤثر هستند و تأثیرهای مثبتی بر سلامت انسان دارد (Geetha *et al*., 2011; Bernaert *et al*., 2012). پیاز خوراکی گیاهی دوساله است که توسط بذر، غده (پیازک) و نشا قابل تکثیر و بعنوان دومین سبزی بعد از گوجه فرنگی در جهان مطرح است (Mollavali *et al*., 2009).

بر اساس گزارش‌های موجود میانگین عملکرد این گیاه در سال‌های اخیر بطور متوسط بین ۳۵ تا ۴۰ تن در هکتار بوده است. بدیهی است با عنایت به ارقام اصلاح‌شده موجود، این عملکرد پایین بوده و موردقبول نیست. با رعایت اصول مصرف بهینه کودی به سهولت می‌توان عملکرد پیاز را افزایش داد (Malakouti *et al*., 2004). تولید پیاز با کیفیت بالا نیازمند خاک با شرایط فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی مطلوب است. انواع مختلف خاک‌ها ویژگی‌های مختلفی دارند که بر رشد و عملکرد محصول‌ها تأثیر می‌گذارد. یکی از مسئله‌های موجود در رابطه با کشت این گیاه این است که هزینه تولید این محصول بالا بوده و کشاورزان باوجود تولید محصول مرغوب مشکل‌های جدی در زمینه بازاریابی و کسب درآمد مناسب دارند. بخشی از هزینه تولید، صرف خرید کودهای شیمیایی می‌شود و بطور عموم داشتن عملکرد بیشتر کود شیمیایی زیادی در تولید این محصول مصرف می‌شود؛ ولی مصرف این کودها اثر زیان آوری بر محیط‌زیست و سلامت انسان دارد. از سوی دیگر، بدلیل رعایت نکردن اصول فنی، میزان مواد آلی در خاک‌های کشور سیر نزولی داشته و در بسیاری منطقه‌ها نیز مصرف میزان زیادی ماسه بعد از کشت پیاز سبب سبک تر شدن تدریجی بافت خاک شده و تخلیه عنصرهای غذایی از مجاورت ریشه را سرعت بخشیده است. افزون بر این کودهای نیتروژنه، بدلیل تصعید، آبشویی و زهکشی و کودهای فسفره و پتاسه بدلیل تثبیت بوسیله ذرات خاک از دسترس گیاه خارج شده و در هر کشت باید به زمین داده شوند (Aisha *et al*., 2007). استفاده مداوم از کودهای معدنی افزون بر تخریب ساختمان خاک، منجر به کمبود عنصر های کم‌مصرف، تعادل نداشتن در ویژگی‌های فیزیکی خاک و تولید محصول با ماندگاری اندک می‌شود (Jayathilake *et al*., 2006).

در سال‌های اخیر روند رو به افزایش تخریب منبع‌های آب، خاک و محیط‌زیست در اثر کاربرد بی‌رویه مواد شیمیایی در کشاورزی و روش‌های رایج تولید مواد غذایی در جهان موجب ترغیب پژوهشگران به کشاورزی ارگانیک شده است (Avis *et al*., 2008). در این راستا، استفاده از مواد آلی همانند کمپوست ضایعات کشاورزی، شهری و صنعتی بمنظور کاهش مصرف کودهای شیمیایی گامی بلند در راستای کشاورزی پایدار تلقی می‌شود. مدیریت و استفاده از پسماندهای آلی صنعتی، کشاورزی و شهری در زمین‌های کشاورزی ضمن کاهش خطرهای محیط زیستی، افزایش بهره وری آن‌ها را در پی دارد. بررسی‌ها نشان داده است که پسماندهای آلی مانند کمپوست لجن

فاضلاب، کمپوست پسماند شهری و کود دامی شامل مقادیر قابل ملاحظه‌ای از عنصرهای غذایی پرمصرف و کم‌مصرف بوده و از طریق سازوکارهای مختلف مانند تشکیل کلات فراهمی، عنصرهای غذایی موجود در خاک را افزایش می‌دهند (Najafi *et al*., 2013).

کودهای آلی با بهبود شرایط ریزوسفر ریشه (ساختار، رطوبت، تهویه و غیره) و همچنین با تأثیر برافزایش جمعیت میکروارگانیسم‌ها، بر میزان قابلیت دسترسی عنصرهای غذایی موجود در خاک تأثیر گذاشته و از این طریق موجب رشد بهتر ریشه و بدنبال آن تحریک رشد گیاه می‌شود (Shaheen *et al*., 2007). کود آلی ازجمله کمپوست می‌تواند میزان آبشویی عنصرهای کم‌مصرف و نیز سطح تثبیت فسفر در خاک را بویژه در خاک‌هایی با تهویه بالا، کاهش دهد (Obi and Ebo, 1995). پژوهش‌های زیادی نشان می‌دهند که کودهای آلی در مقایسه با کودهای شیمیایی شامل نیتروژن، پتاسیم و فسفر، منجر به افزایش عملکرد پیاز و جذب بیشتر مواد مغذی می‌شود (Yoldas *et al*., 2011).

با این‌حال، اثرهای کمپوست و ورمی کمپوست بر رشد گیاه و عملکرد ممکن است بسته به منبع‌های مواد زائد مورد استفاده، فرآیند تولید و حالت فیزیکی یا درجه معدنی شدن مواد آلی متفاوت باشد. در پژوهش انجام‌گرفته توسط Akoun (2004) با مصرف کودهای آلی میزان مواد غذایی خاک افزایش پیدا کرد که این امر موجب افزایش عملکرد پیاز شد. بنابراین، مصرف کودهای آلی می‌تواند بعنوان جانشینی برای کودهای شیمیایی (Naeem *et al*., 2006) و نیز بعنوان یک بهبود دهنده برای اصلاح بافت خاک (Dauda *et al*., 2008) و بهبود وضعیت توده میکروبی (Har-greaves *et al*., 2008) باشند.

Aisha *et al*. (2007) گزارش کردند که پارامترهای رشدی در بوته پیاز (طول برگ و تعداد برگ در بوته)، قطر غده، طول غده، عملکرد تک بوته و عملکرد کل پاسخ مثبتی به کاربرد ۱۹ تن در هکتار کمپوست حاصل از زباله شهری بهمراه کودهای معدنی فسفر و پتاس موردنیاز نشان دادند.

Selvakumari *et al*. (2001) دریافتند که استفاده از کودهای آلی و زیستی میزان موردنیاز کودهای معدنی را در تولید پیاز کاهش می‌دهد.

در سال‌های اخیر، لجن فاضلاب تولید شده از تصفیه‌خانه فاضلاب بطور گسترده ای بعنوان یک منبع مهم مواد مغذی بهبود دهنده خاک برای استفاده کشاورزی شناخته شده است. لجن فاضلاب محصول زائد تولید شده در پایان فرآیند تصفیه فاضلاب شهری و صنعتی است و بدلیل افزایش جمعیت و افزایش شهرنشینی، در حجم‌های فزاینده ای در سراسر جهان تولید می‌شود. بازیافت و استفاده مجدد از مواد مغذی باارزش در لجن در حال حاضر بعنوان منبع‌های مهم برای توسعه پایدار محسوب می‌شود (Tiruneh *et al*., 2014).

لجن فاضلاب نمونه‌ای از مواد آلی حاوی عنصرهای غذایی پرمصرف و کم‌مصرف است که افزودن آن به خاک سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی خاک و نیز رشد بهتر گیاه می‌شود (Baran *et al*., 2001). با توجه به تولید روزافزون مواد آلی شهری و صنعتی از یک‌سو و کاهش مواد آلی خاک‌ها بدلیل کشت و زرع مداوم از سوی دیگر، به گردش درآوردن مجدد این مواد برای افزایش ماده آلی خاک نسبت به دفن و سوزاندن آن‌ها برتری دارد (Felipo, 1996).

پژوهش‌های بعمل‌آمده در مورد اثرهای لجن فاضلاب بر روی محصول‌های کشاورزی در دنیا همگی نشان از مفید بودن آن ازنظر حاصلخیزی خاک و بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک می‌باشد (He and Singh, 1993).

Sims and Kline (1991) گزارش کردند که میزان مجاز کاربرد لجن فاضلاب در زمین‌های کشاورزی بستگی به میزان عنصرهای سنگین مانند کادمیم و سرب موجود در لجن فاضلاب دارد، بنابراین قبل از کاربرد لجن فاضلاب باید از میزان عنصرهای کم‌مصرف و فلزهای سنگین موجود در لجن فاضلاب مصرفی اطلاع حاصل کرد.

کمپوست پسماند شهری بعنوان یک کود آلی مقرون به‌صرفه و باارزش می‌تواند در کشاورزی پایدار از جایگاه ویژه ای برخوردار باشد (Beigi and Hejazi, 2004; Astaraei, 2006). در سال‌های اخیر کمپوست حاصل از مواد زائد جامد شهری بطور گسترده ای در بخش کشاورزی بعنوان یک بهبود دهنده خاک و نیز یک کود استفاده می‌شود (Hargreaves *et al*., 2008). کمپوست کردن زباله شهری، یک ابزار مفید برای بازیافت ضایعات است. با این‌حال استفاده ایمن آن در کشاورزی، بستگی به تولید کمپوست

باکیفیت خوب، بطور خاص، کمپوستی است که دارای درجه بلوغ بالا بوده و غلظت مناسبی از فلزها و نمک در آن موجود باشد (Hargreaves *et al*., 2008).

یکی از مزیت‌های اصلی کمپوست زباله‌های شهری، محتوای بالای مواد آلی و چگالی حجمی پایین است (Soumare *et al*., 2003). He and Singh (1993) گزارش نمودند که بسیاری از ترکیب‌های اسیدهای آلی موجود در کمپوست پسماند شهری بصورت اسید هیومیک بوده است. در این پژوهش، نسبت اسیدهیومیک به فولیک اسید برابر با ۳/۵۵ بوده است. نتایج پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد که اسید هومیک با ثبات تر از اسید فولویک بوده و افزایش آن در خاک با افزایش ظرفیت بافری خاک همراه است (Garcia-Gil *et al*., 2004). همچنین استفاده مکرر از کمپوست پسماند شهری سبب افزایش ماده آلی خاک و نسبت C/N خاک نسبت به خاک بدون مصرف کمپوست می‌شود (Perucci, 1990; Crecchio *et al*., 2004; Garcia-Gil *et al*., 2004; Monte-murro *et al*., 2006) با وجود همه اثرهای مثبتی که در ارتباط با مصرف کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب بر روی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در بالا بیان شد، هنوز در این رابطه نگرانی‌های زیادی ازنظر مسئله‌های محیط زیستی و سلامت وجود دارد. ازجمله مسئله‌های قابل‌توجه، وجود غلظت‌های بالا از عنصرهای سنگین مانند کادمیم و سرب در این مواد است که در صورت استفاده غیراصولی و مداوم از این مواد در عرصه‌های محیط زیستی و کشاورزی، می‌تواند مشکل‌ساز باشد. بر اساس گزارش مطرح شده توسط دفتر خاک و آب معاونت محیط زیست انسانی، غلظت مجاز عنصرهای سرب و کادمیم در خاک با توجه به ملاحظات محیط زیستی بترتیب معادل ۳۰۰ و ۵ میلی گرم در کیلوگرم است (Soil Quality Standards and its Guides, 2017). مصرف این مواد بدون مطالعات قبلی ممکن است غلظت عنصرهای سنگین را در خاک در مقادیر غیرمجاز افزایش داده و در نهایت این عنصرها از طریق جذب توسط ریشه گیاه وارد زنجیره غذایی شده و مشکل‌هایی را ازنظر سلامت در پی داشته باشد و یا از طریق نفوذ به آب‌های زیرزمینی سلامت محیط‌زیست را به خطر اندازد. در صورتی‌که تجمع عنصرهای سنگین در بافت‌های بدن، بیش از توان سم زدایی و دفع این مواد باشد، مشکل‌ها و بیماری‌های زیادی را در پی خواهد داشت (Bedassa, 2017). پیامدهای مرتبط با آلودگی فلزهای سنگین بویژه در سیستم تولید محصول‌های کشاورزی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. آن‌ها زیست‌تخریب‌پذیر نیستند و بطور عمده دارای نیمه‌عمر بیولوژیکی طولانی هستند؛ بنابراین تجمع آن‌ها در محیط‌زیست و در پی آن در ارگان‌های مختلف بدن منجر به عوارض جانبی ناخواسته ای خواهد شد (Gebregziabher, 2014). توجه به این مسئله‌ها بویژه در مورد محصول‌هایی که بمیزان قابل‌توجهی توسط اقشار مختلف جامعه مصرف می‌شوند، ازجمله سبزی‌های، بسیار درخور اهمیت است. از سوی دیگر با توجه به این که قسمت عمده کشور و ازجمله استان اصفهان، دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک بوده و نبود پوشش گیاهی کافی، سبب بازگشت میزان کم بقایای گیاهی به خاک و درنتیجه کمبود مواد آلی آن شده است، و نیز با توجه به محدود بودن منبع‌های دامی، استفاده از منبع‌های آلی مانند لجن فاضلاب و کمپوست زباله شهری ضروری است. اگر مطالعات لازم روی پسماندهای آلی تولیدشده در کشور انجام شود، می توان از آن‌ها بعنوان یک اصلاح‌کننده مناسب و ارزان در زمین‌های کشاورزی استفاده کرد. بنابراین با توجه به کمبود مواد آلی و مقادیر زیاد کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب موجود در اصفهان، این تحقیق باهدف بررسی تأثیر لجن فاضلاب و مقایسه آن با کمپوست زباله شهری بر گیاه پیاز که از مصرف به نسبت بالایی چه بصورت خام خواری و یا پخته‌شده در کشور برخوردار است، پس از یک و پنج سال مصرف این کودها، در ایستگاه تحقیقاتی آبیاری و زهکشی رودشت اصفهان انجام شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه برای مدت‌زمان ۵ سال در ایستگاه تحقیقاتی آبیاری و زهکشی رودشت اصفهان واقع در ۶۵ کیلومتری شرق اصفهان (طول جغرافیایی ۵۲ درجه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۲/۵ درجه شمالی و ارتفاع ۱۴۵۰ متر از سطح دریا) انجام شد. خاک محل آزمایش ازلحاظ رده‌بندی جدید تاکسونومی جزء خانواده Fine mixed thermic typic torri fluvents بوده و دارای بافت سنگین با کلاس سیلتی رسی[۲] بود. برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی (قبل از کشت)، در جدول ۱ بیان شد.

این تحقیق در کرت‌های ثابت (ابعاد هر کرت ۴۰ مترمربع)، با

جدول۱- برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش قبل از کاشت
Table 1. Some chemical characteristics of the studied soil before planting

عمق depth	هدایت الکتریکی EC	pH	کربن آلی Organic C	مس Cu	آهن Fe	سرب Pb	روی Zn	منگنز Mn	کادمیم Cd	فسفر P	پتاسیم K
(cm)	(dSm^{-1})		(%)	قابل جذب Available ($mgkg^{-1}$)							
0-30	3.2	7.8	0.55	1.5	6	2	1.1	9.4	0	7	340

چهار تیمار کود آلی کمپوست زباله شهری و کود لجن فاضلاب بهمراه تیمار شاهد به شرح زیر در قالب یک طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و پنج سال متوالی انجام شد. تیمارها عبارت بودند از: ۱- بدون کاربرد هیچ‌گونه کود آلی در طول دوره‌های آزمایش (شاهد). ۲- تیمار ۲۵ تن در هر هکتار کود کمپوست زباله شهری. ۳- تیمار ۵۰ تن در هکتار کود کمپوست زباله شهری. ۴- تیمار ۱۵ تن در هکتار لجن فاضلاب. ۵-تیمار ۳۰ تن در هکتار لجن فاضلاب. این مقادیر کود آلی، در هرسال قبل از اقدام به کاشت گیاه به خاک افزوده شدند. با توجه به مصرف میانگین کودهای کمپوست و لجن فاضلاب شهری در منطقه بترتیب ۳۵ و ۲۵ تن در هکتار تیمارها به گونه‌ای انتخاب شد که بالاتر و پایین‌تر از مصرف عرف در منطقه باشند.

نتایج میانگین تجزیه شیمیایی کود کمپوست زباله شهری و کود لجن فاضلاب مورداستفاده در طول این بررسی در جدول ۲ نمایش داده شده است. تناوب مورداستفاده در طول پنج سال انجام این پژوهش شامل گیاهان پیاز، گندم، چغندرقند، ذرت علوفه‌ای و پیاز بود که بدلیل وجود دو مرحله کشت پیاز در تناوب در گزارش عنوان‌های مرحله اول و دوم بیان شده است. بمنظور انجام این پژوهش، پس از انتخاب زمین نسبت به تسطیح و کرت بندی زمین اقدام شد و بدلیل ثابت بودن کرت‌ها، طوری کرت بندی صورت پذیرفت که پس از پایان هر کشت و آماده‌سازی مجدد زمین کشت بعدی تنها پشته‌های عرضی تخریب و پس از یک شخم سطحی و اعمال تیمارهای کود آلی دوباره پشته‌های عرضی بسته می‌شدند. پس از کرت بندی و قبل از اعمال تیمارهای کودهای آلی، از عمق ۳۰-۰ خاک محل اجرای آزمایش نمونه برداری انجام گرفت و ویژگی‌های شیمیایی آن اندازه گیری شد (جدول ۱).

تیمارهای کود آلی با ترکیب بیان شده (جدول ۲)، قبل از هر کشت در تناوب تعریف‌شده در طی سال‌های آزمایش به خاک محل کشت اضافه شد. قبل از کاشت محصول در سال اول، کودهای شیمیایی نیتروژنه از منبع اوره بمیزان ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار و کود فسفاته از منبع سوپر فسفات تریپل به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، با توجه به نتیجه آزمون خاک (جدول ۱) و بر اساس توصیه موسسه تحقیقات خاک و آب برای تغذیه پیاز (Malakouti and Nabi Gheibi, 2000) برای کلیه کرت‌ها بصورت یکسان مورد استفاده قرار گرفت. بر اساس نتیجه آزمون خاک (جدول ۱) نیازی به مصرف کودهای پتاسه نبوده است. کلیه عملیات داشت از قبیل آبیاری به‌موقع، مبارزه با علف‌های هرز و آفت‌ها و بیماری‌ها، عرضه کود سرک نیتروژن از منبع اوره بر اساس دو تقسیط از میزان کل ۳۵۰ کیلوگرم در هر هکتار در مرحله‌های مختلف رشد پیاز قبل از کشت و پس از تنک کردن بصورت یکسان برای همه تیمارها و تکرارها انجام شد. پس از اتمام کشت در هر دو دوره کشت پیاز، بعد از تعیین عملکرد اندام هوایی، نمونه‌برداری از گیاه به تفکیک اندام هوایی و غده انجام گرفت. قسمت اندام هوایی گیاه بصورت جداگانه با آب معمولی و آب مقطر شستشو داده شد و برای خشک‌کردن در دمای ۷۵ درجه در آون تهویه دار قرار گرفت. نمونه‌های گیاهی پس از ۲۴ ساعت، با استفاده از آسیاب برقی آسیاب شده و سپس از الک مش ۱۸ عبور داده شد. غده پیاز نیز بصورت تازه رنده شد و برای اندازه گیری‌های آزمایشگاهی مورد استفاده قرار گرفت. غلظت عنصرهای مختلف نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، مس، روی، منگنز، سرب و کادمیم در اندام هوایی گیاه پس از هضم نمونه‌ها با کمک اسید سولفوسالیسیلیک اندازه گیری شد (Jones, 2001). همچنین در هر دو مرحله کشت پیاز در تناوب بیان شده، پس از برداشت، از خاک محل اجرای آزمایش به تفکیک تیمار و تکرار نمونه‌برداری از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر صورت پذیرفت. سپس

کربن آلی به روش تیتراسیون، فسفر قابل‌استفاده گیاه با استفاده از روش اولسون با دستگاه اسپکتوفتومتر، پتاسیم قابل‌استفاده گیاه با دستگاه فلیم فتومتر، و عنصرهای مس، روی، آهن، منگنز، سرب و کادمیم قابل‌استفاده گیاه توسط دستگاه جذب اتمی بنابر روش‌های استاندارد اندازه گیری شد.[۳]

نتایج مربوط به اندازه‌گیری‌های انجام‌گرفته بر روی نمونه‌های خاک و گیاه در دو مرحله (مرحله اول پس از یک سال مصرف کودهای آلی و مرحله دوم پس از پنج سال کودهای آلی) بصورت جداگانه با نرم‌افزار SAS ازنظر آماری موردبررسی و تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت.

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی کود کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب مورداستفاده
Table 2. Chemical characteristics of the used sewage sludge and municipal compost

ویژگی Characteristic	واحد Unit	کمپوست زباله شهری Municipal compost	لجن فاضلاب Sewage sludge	غلظت مجاز استاندارد در کمپوست ISIRI 10716 Standard concentration limit in compost	غلظت مجاز استاندارد در لجن USEPA503 Standard concentration limit in sludge
هدایت الکتریکی (EC)	دسی زیمنس بر متر (dS/m)	18.2	14	14	
pH	-	7	6	6-8	-
C/N	-	14	10	10-20	-
کربن آلی (OC)	%	22.4	26	-	-
نیتروژن (N)	%	1.6	2.12	1-1.66	-
فسفر (P)	%	0.31	0.92	0.3-3.8	-
پتاسیم (K)	%	1.1	0.37	1.8-0.5	-
سدیم (Na)	%	0.76	0.2	-	-
کلسیم (Ca)	%	2.98	3.31	-	-
منیزیم (Mg)	%	0.41	0.4	-	-
آهن (Fe)	$mg\ kg^{-1}$	705	960	-	-
منگنز (Mn)	$mg\ kg^{-1}$	280.2	175.8	-	-
روی (Zn)	$mg\ kg^{-1}$	455	727.2	1300	2800
مس (Cu)	$mg\ kg^{-1}$	151.7	635.5	650	1500
سرب (Pb)	$mg\ kg^{-1}$	178	112	200	300
کادمیم (Cd)	$mg\ kg^{-1}$	16.6	15.4	10	39

نتایج و بحث

ویژگی‌های خاک

جدول ۳ نتایج تجزیه واریانس تأثیر سطح‌های مختلف کودهای کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب بر روی برخی ویژگی های شیمیایی و عنصرهای موجود در خاک، در دو مرحله کاشت پیاز در تناوب مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همان طور که مشخص است در مرحله اول برداشت پیاز، تأثیر مصرف سطح‌های مختلف کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب بر میزان شوری، کربن آلی و آهن قابل‌استفاده در خاک در سطح ۵ درصد و بر میزان فسفر، پتاسیم، مس و روی قابل‌استفاده در خاک در سطح ۱ درصد، معنی دار بوده است. در مرحله دوم تأثیر تیمارهای موردمطالعه به‌جز اسیدیته و کادمیم قابل‌استفاده خاک، در بقیه موارد و بیشتر در سطح ۱ درصد معنی دار بوده است (جدول۳).

بر اساس اطلاعات داده شده در جدول ۴، کاربرد سطح‌های مختلف

لجن فاضلاب و کمپوست زباله شهری سبب افزایش معنی دار (در سطح ۵ درصد) در شوری خاک، در هر دو مرحله کاشت پیاز شد. بیشترین مقادیر شوری خاک در تیمار ۳۰ تن در هکتار لجن فاضلاب اندازه‌گیری شد که برای مرحله اول و دوم نمونه برداری، معادل ۱/۵۴ دسی زیمنس بر متر بود. دلیل افزایش شوری با کاربرد تیمارهای مورد پژوهش درنتیجه شوری بالای این مواد است. وجود غلظت‌های بالای املاح و نمک‌های مختلف از جمله سدیم و پتاسیم در لجن فاضلاب و آزاد شدن این املاح در خاک، سبب بالا رفتن شوری خاک می‌شود (Rusan *et al*., 2007; Jahantigh, 2008).

سطح های مختلف کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب، میزان کربن آلی خاک را بصورت معنی داری، در سطح پنج درصد برای مرحله اول و در سطح یک درصد برای مرحله دوم، نسبت به خاک نمونه شاهد، افزایش دادند (جدول ۳). مصرف ۳۰ تن در هکتار لجن فاضلاب در مرحله اول میزان ماده آلی خاک را نسبت به شاهد تا دو برابر افزایش داد (میزان ماده آلی از ۰/۳۹ درصد در تیمار شاهد به حدود ۰/۸۱ در تیمار مذکور رسید). در مرحله دوم هم بیشترین میزان ماده آلی در همین تیمار مشاهده شد (۰/۷۷ درصد).

در هر دو مرحله مورد پژوهش، میزان فسفر قابل استفاده در خاک با مصرف کودهای آلی افزایش معنی داری، در سطح ۱ درصد، نشان داد. تیمارهای لجن فاضلاب نسبت به تیمارهای کمپوست زباله شهری، تأثیر بسیار بالاتری بر افزایش میزان فسفر قابل استفاده خاک داشتند (جدول ۴). بیشترین سطح‌های فسفر قابل استفاده در خاک در سطح دوم لجن فاضلاب مشاهده شد (بترتیب ۵۰ و ۷۱/۷۵ میلی گرم در کیلوگرم خاک برای دوره اول و دوره دوم)

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای موردمطالعه بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک بعد از دو مرحله برداشت پیاز (عمق۳۰-۰سانتی‌متری)

Table 3. Analysis of variance of the effects of studied treatments on some soil chemical properties after two stages of onion harvesting (depth 0-30 cm)

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	Ec	pH	کربن آلی(Oc)	فسفر (P)	پتاسیم (K)	مس (Cu)	روی (Zn)	آهن (Fe)	منگنز (Mn)	سرب (Pb)	کادمیم (Cd)
		میانگین مربعات (مرحله اول) MS (first stage)										
تکرار Replication	2	0.003	0.006	0.003	0.373	112.10	0.509	0.26	2.86	0.95	0.00	0.00
تیمار Treatment	4	0.18^{*}	0.00^{ns}	0.05^{*}	584.06^{**}	3235.95^{**}	9.79^{**}	6.077^{**}	5.33^{*}	1.14^{ns}	0.00^{ns}	0.00^{ns}
اشتباه Error	8	0.011	0.006	0.004	8.09	147.49	0.152	1.21	1.03	0.364	0.0001	0.00
ضریب تغییرات CV	---	9.43	1.04	9.04	14.17	4.55	11.03	16.24	11.71	10.96	16.19	17.04
		میانگین مربعات (مرحله دوم) MS (second stage)										
تکرار Replication	2	0.012	0.00	0.001	4.26	34.88	0.427	0.264	1.27	0.136	0.153	0.00
تیمار Treatment	4	0.34^{*}	0.025^{ns}	0.03^{**}	1312.99^{**}	4421.43^{**}	18.46^{**}	14.25^{**}	15.61^{**}	2.16^{*}	4.172^{**}	0.00^{ns}
اشتباه Error	8	0.023	0.006	0.001	2.70	205.37	0.439	0.086	1.11	0.518	0.086	0.00
ضریب تغییرات CV	---	8.87	1.01	5.05	5.27	5.44	13.31	7.67	10.96	7.78	7.67	16.41

**، * و ns به ترتیب معنی‌دار شدن در سطح احتمال یک و پنج درصد و نبود اختلاف معنی دار

**, * and ns are respectively significant level at 1٪, significant level at 5٪ and non significant

(جدول۴). بر اساس نتایج بیان شده در جدول ۴ با دو برابر شدن مصرف لجن فاضلاب، میزان فسفر قابل استفاده گیاه نیز تا حدود دو برابر افزایش پیدا کرده است. دلیل احتمالی این افزایش را می‌توان به فسفر بالای موجود در لجن فاضلاب و کربن آلی و اسیدهای آلی موجود در لجن نسبت داد.

میزان حلالیت فسفات با حضور اسیدهای آلی مثل مالات، سیترات و اگزالات بسته به نوع خاک و غلظت اسید آلی می‌تواند بین ۱۰ تا ۱۰۰۰ واحد افزایش یابد. از طرفی اسیدهای آلی حاصل از لجن فاضلاب بصورت تبادل لیگاندی، جذب سطحی شده و برای محل‌هایی که جذب صورت می‌گیرد با فسفر رقابت می‌کنند که درنهایت منجر به افزایش قابلیت استفاده فسفات می‌گردد. همچنین ترکیب گازکربنیک تولیدشده از تجزیه مواد آلی با آب، تولید اسیدکربنیک می‌نماید و این اسید در خاک‌های آهکی، حلالیت ترکیبات فسفره را افزایش می‌دهد و بدین ترتیب قابلیت جذب آن‌ها افزایش می‌یابد (Fathololomi *et al*., 2015). افزودن کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب در هر دو مرحله و در تمامی سطح‌ها، تأثیر معنی داری در سطح ۱ درصد، بر میزان پتاسیم قابل‌استفاده خاک داشت (جدول ۳). برخلاف فسفر، تیمارهای کمپوست زباله شهری تأثیر بیشتری در افزایش پتاسیم قابل‌استفاده خاک داشتند و از این نظر بین تیمارهای ۲۵ و ۵۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری اختلاف معنی داری مشاهده نشد (میزان پتاسیم در این دو تیمار بترتیب ۳۰۹/۵ و ۳۰۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک بود) (جدول ۴).

مصرف ۵۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری و نیز استفاده از لجن فاضلاب در هر دو سطح مورد پژوهش (۱۵ و ۳۰ تن در هکتار)، مس قابل‌استفاده در خاک را بصورت معنی داری، نسبت به شاهد در هر دو مرحله افزایش داد (جدول ۴). بیشترین میزان مس قابل‌استفاده خاک در هر دو مرحله، در تیمار ۳۰ تن در هکتار لجن فاضلاب اندازه گیری شد؛ بطوری که میزان مس قابل‌جذب در خاک در این تیمار در مرحله اول، از میزان ۱/۵۰ میلی گرم در کیلوگرم تیمار شاهد به ۶/۴۰ میلی گرم در کیلوگرم و در مرحله دوم از ۱/۷۲ میلی گرم در کیلوگرم تیمار شاهد به ۹/۵۲ میلی گرم در کیلوگرم رسید (جدول ۴). پژوهشگران دیگری هم افزایش مس قابل‌جذب خاک را در نتیجه مصرف کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب گزارش نمودند (Moreira *et al*., 2013 ; Belhaj *et al*., 2016).

همچنین تیمارهای مواد آلی مورد مطالعه سبب افزایش قابل توجهی در میزان روی قابل استفاده خاک نسبت به شاهد شدند. این افزایش با بالا رفتن سطح‌های مصرف مواد آلی نسبت مستقیم داشت. بیشترین میزان روی قابل استفاده خاک در هر دو مرحله در تیمار ۳۰ تن لجن فاضلاب مشاهده شد. در این تیمار میزان روی قابل‌استفاده گیاه در خاک از ۰/۶ میلی گرم در کیلوگرم خاک در تیمار شاهد به میزان ۴/۴۶ میلی گرم در کیلوگرم در مرحله اول و از میزان ۰/۳۳ میلی گرم در کیلوگرم خاک به ۵/۸۲ میلی گرم در کیلوگرم در مرحله دوم، رسید (جدول ۴). بر اساس پژوهش‌های انجام گرفته، با پایین آمدن pH خاک درنتیجه مصرف مواد آلی، بخشی از عنصر روی به فرم محلول درآمده و از فاز تبادلی خارج می‌شود (Shuman, 1999). روی ازجمله عنصرهایی است که با ترکیب‌های آلی پیوند داده و تحرک و قابلیت دسترسی آن تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Vaca *et al*., 2011).

کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب میزان آهن قابل‌استفاده خاک را در هر دو مرحله مورد پژوهش، بصورت معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش دادند (جدول ۳). افزایش آهن قابل‌استفاده در خاک با افزایش در میزان مصرف تیمارهای مواد آلی، نسبت مستقیم داشت. بیشترین میزان آهن قابل استفاده خاک در سطح‌های ۵۰ تن در هکتار کمپوست و ۳۰ تن در هکتار لجن فاضلاب مشاهده شد که در مرحله اول اندازه گیری (با مصرف یک سال از این تیمارها) بترتیب معادل ۹ و ۱۰/۶۶ میلی گرم در کیلوگرم خاک و پس از پنج سال مصرف متوالی این تیمارها، به ترتیب معادل ۱۲/۱۴ و ۱۱/۱۷ میلی گرم در کیلوگرم خاک بوده است. با مصرف مواد آلی در خاک، بویژه در سطح‌های بالاتر آن، pH خاک کاهش‌یافته و این امر موجب افزایش میزان آهن قابل‌جذب در خاک شده است. Shakarami *et al*. (2015) به نتایج مشابهی در این زمینه دست یافتند.

تیمارهای ماده آلی در مرحله اول کاشت پیاز، تأثیر معنی داری بر میزان منگنز قابل استفاده گیاه در خاک نداشتند؛ ولی در مرحله دوم کاشت پیاز، یعنی پس از مدت‌زمان پنج سال مصرف کودهای آلی در مقادیر تعریف شده، مصرف میزان مختلف کودهای آلی موردمطالعه، موجب افزایش منگنز قابل‌استفاده در خاک شدند که

جدول۴- مقایسه میانگین ویژگی‌های شیمیایی خاک محل آزمایش بعد از دو مرحله برداشت پیاز (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری)
Table 4. Mean comparison of chemical characteristics of the studied soil after two stages of onion harvesting (depth 0-30 cm)

ویژگی‌های شیمیایی خاک بعد از برداشت پیاز (مرحله اول)
Soil chemical characteristics after onion harvesting (first stage)

آهن (Fe)	روی (Zn)	مس (Cu)	پتاسیم (K)	فسفر (P)	کربن آلی (Oc)	EC_e	تیمار Traetment
mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	%	ds/m	
6.1^{c}	0.6^{c}	1.5^{d}	206^{d}	9.3^{c}	0.39^{b}	0.39^{b}	شاهد control
8.26^{b}	1.9^{b}	2.26^{cd}	309.5^{a}	9.65^{c}	0.67^{a}	0.67^{b}	کمپوست ۲۵ تن compost 25 ton
9.00^{ab}	2.73^{b}	2.93^{c}	294^{ab}	9.93^{c}	0.75^{a}	1.03^{ab}	کمپوست ۵۰ تن compost 50 ton
8.6^{b}	2.6^{d}	4.1^{b}	248^{c}	26.55^{b}	0.71^{a}	1.50^{a}	لجن ۱۵ تن sludge 15 ton
10.66^{a}	4.46^{a}	6.4^{a}	269^{bc}	50.00^{a}	0.81^{a}	1.54^{a}	لجن ۳۰ تن sludge 30 ton

ویژگی‌های شیمیایی خاک بعد از برداشت پیاز (مرحله دوم)
Soil chemical characteristics after onion harvesting (second stage)

سرب (Pb)	منگنز (Mn)	آهن (Fe)	روی (Zn)	مس (Cu)	پتاسیم (K)	فسفر (P)	کربن آلی (Oc)	ECe	تیمار Traet-ment
mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	٪	ds/m	
1.9^{d}	8.41^{b}	5.71^{c}	0.33^{c}	1.72^{c}	198^{b}	7.6^{d}	0.48^{d}	0.81^{b}	شاهد control
4.02^{b}	9.72^{ab}	9.12^{b}	4.04^{b}	4.03^{c}	272^{a}	19.93^{c}	0.61^{c}	1.05^{b}	کمپوست ۲۵ تن compost 25 ton
5.62^{a}	10.49^{a}	12.14^{a}	5.8^{a}	5.52^{b}	300^{a}	21.46^{c}	0.72^{ab}	1.03^{b}	کمپوست ۵۰ تن compost 50 ton
2.56^{d}	8.57^{b}	9.43^{b}	3.85^{b}	5.74^{b}	219^{b}	42.3^{b}	0.67^{bc}	1.50^{a}	لجن ۱۵ تن sludge 15 ton
3.28^{c}	9.15^{ab}	11.17^{ab}	5.82^{a}	9.52^{a}	294^{a}	71.75^{a}	0.77^{a}	1.54^{a}	لجن ۳۰ تن sludge 30 ton

حروف متفاوت در هر گروه نشان دهنده تفاوت معنی دار بین آن‌ها است

Different letters for each group show significant difference

این مقدار افزایش، تنها در تیمار ۵۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری، معنی دار بود (در سطح ۵ درصد) (جدول ۳). میزان منگنز خاک در این تیمار معادل ۱۰/۴۹ میلی گرم در کیلوگرم خاک بود (جدول ۴). همچنین میزان سرب قابل‌جذب در خاک در اثر کاربرد تیمارهای مورد مطالعه در مرحله دوم، بصورت معنی داری نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۳). در مقایسه با تیمارهای لجن فاضلاب، تیمارهای کمپوست زباله تأثیر بیشتری برافزایش سرب قابل‌استفاده خاک داشتند. بیشترین افزایش در میزان سرب

جدول۵-نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مورد مطالعه بر غلظت عنصرهای اندازه گیری شده در اندام هوایی گیاه پیاز
Table 5. Analysis of variance of the effects of treatments on the element concentration in onion shoot

منابع تغییرات S.O.V	df	میانگین مربعات (مرحله اول) mean squares (first stage)						
		نیتروژن (N)	فسفر (P)	پتاسیم (K)	مس (Cu)	روی (Zn)	آهن (Fe)	منگنز (Mn)
تکرار Replication	2	0.00	0.00	0.008	0.342	6.05	19.56	4.91
تیمار Treatment	4	0.057*	0.001ns	0.13*	1.35*	7.46*	302.85*	87.37*
اشتباه Error	8	0.012	0.00	0.004	0.213	0.661	105.12	17.37
ضریب تغییرات CV	---	9.52	16.19	2.60	10.21	5.74	15.01	12.97
		میانگین مربعات (مرحله دوم) mean squares (second stage)						
تکرار Replication	2	0.021	0.0004	0.047	0.058	16.97	14.235	3.008
تیمار Treatment	4	0.075**	0.012**	0.159ns	2.15*	72.62**	100.592*	6.54ns
اشتباه Error	8	0.006	0.0004	0.073	0.219	0.976	23.42	12.48
ضریب تغییرات CV	---	5.62	7.69	11.56	16.81	6.34	21.36	19.85

**، * و ns بترتیب معنی دار شدن در سطح احتمال یک و پنج درصد و نبود اختلاف معنی دار

**, * and ns are respectively significant level at 1%, significant level at 5% and non significant

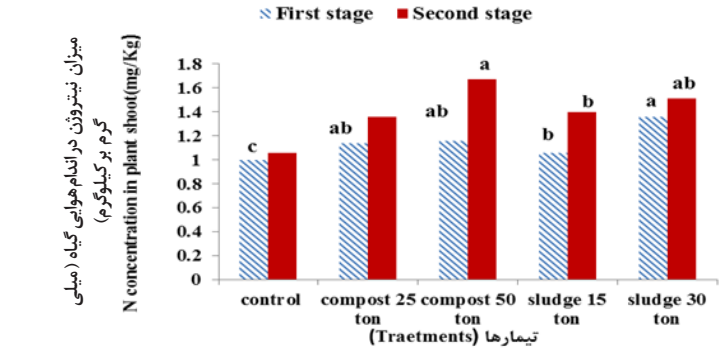
قابل‌جذب خاک در تیمار کمپوست ۵۰ تن مشاهده گردید (از ۱/۹ میلی گرم در کیلوگرم خاک در تیمار شاهد به ۵/۶۲ میلی گرم در کیلوگرم در تیمار ۵۰ تن در هکتار کمپوست زباله) (جدول ۴). کود کمپوست زباله شهری بدلیل داشتن مقادیر بالاتری از سرب، تأثیر بیشتری در افزایش این ترکیب در خاک داشته است (Belhaj *et al*., 2016). بر اساس استاندارد تدوین شده برای خاک‌های ایران (Soil Quality Standards and its Guides, 2017) میزان استاندارد حد مجاز برای عنصر سرب در خاک‌های با pH بزرگ تر از ۷، ۳۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم است که با مقدار اندازه گیری شده در این بررسی فاصله زیادی دارد. بنابراین تیمار بیان شده هیچ گونه محدودیتی ازنظر ملاحظات محیط زیستی در خاک ایجاد نکرده است. تیمارهای مورداستفاده در هیچ کدام از دو مرحله، سبب افزایش معنی داری در میزان کادمیم قابل استفاده خاک نشدند.

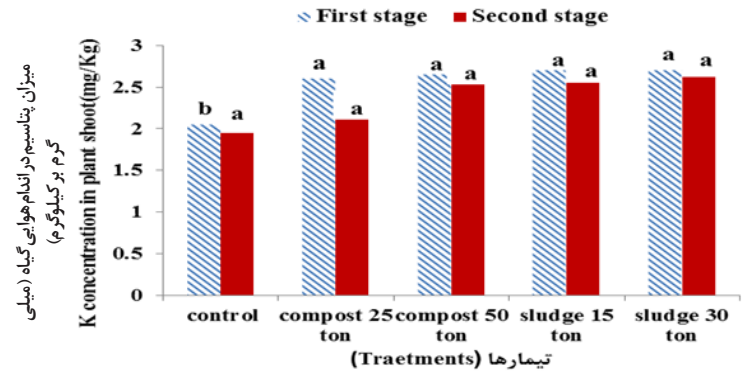
ویژگی‌های گیاه

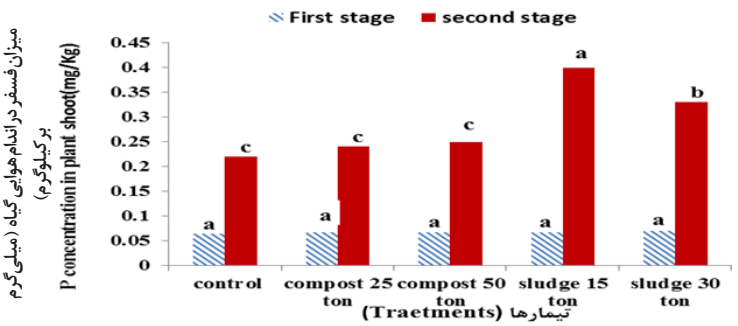
تغییرهای غلظت عنصرهای غذایی در اندام هوایی پیاز

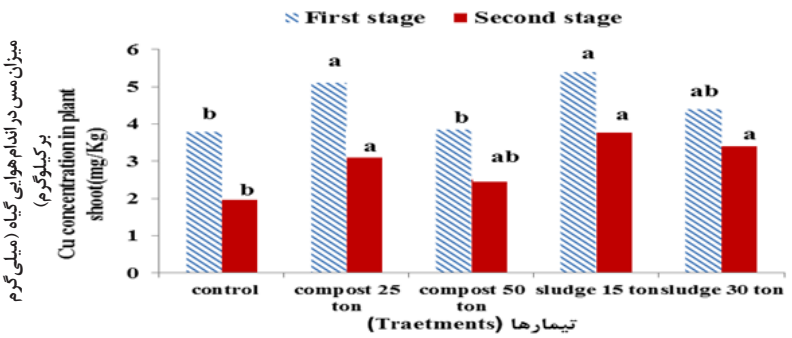
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد سطح‌های مختلف کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب در مرحله اول پژوهش، به‌جز فسفر، تأثیر معنی داری بر میزان دیگر عنصرهای غذایی پرنیاز و کم‌نیاز موجود در اندام هوایی گیاه داشته است. در مرحله دوم نیز تأثیر تیمارهای مورد مطالعه تنها در مورد پتاسیم و منگنز، معنی داری نبوده است (جدول ۵).

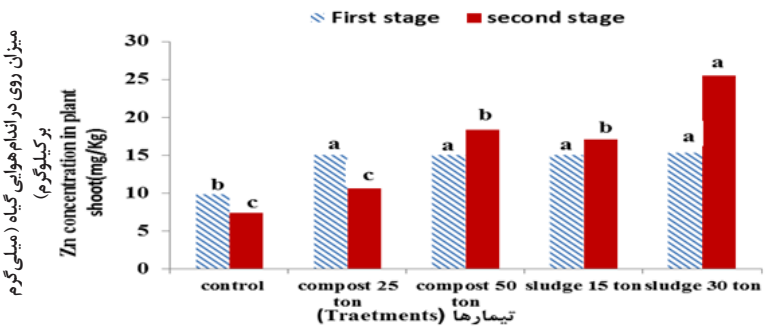
شکل ۱ نتایج مقایسه های میانگین غلظت عنصرهای غذایی مختلف در اندام هوایی گیاه پیاز را نشان می‌دهد. در این شکل مقایسه‌های میانگین برای مرحله ۱ و ۲ بصورت جداگانه انجام‌شده است. ازنظر عنصرهای غذایی پرمصرف، مصرف کودهای آلی در هر دو مرحله مورد مطالعه، نیتروژن کل اندام هوایی در پیاز را بصورت معنی داری نسبت به شاهد افزایش داد. بیشترین میزان نیتروژن کل در اندام هوایی پیاز در مرحله اول در تیمار ۳۰ تن در هکتار لجن فاضلاب (۱/۳۶ درصد) و در مرحله دوم در تیمار ۵۰ تن در هکتار کمپوست اندازه گیری شد (۱/۶۸ درصد) (شکل ۱). Saadat *et al*. (2012) به نتایج مشابهی در ارتباط با مصرف لجن فاضلاب رسیدند. همچنین بر اساس جدول ۵ مصرف تیمارهای مختلف در مرحله اول کاشت پیاز، سبب تغییر معنی داری در میزان غلظت فسفر موجود در اندام هوایی گیاه نشد؛ ولی عرضه چندین ساله لجن فاضلاب (مرحله دوم) موجب ایجاد تفاوت معنی‌دار با شاهد ازنظر فسفر در اندام هوایی شد؛ به‌گونه‌ای که غلظت فسفر اندازه گیری شده در اندام هوایی پیاز از میزان ۰/۲۲ درصد در شاهد به مقدار ۰/۴ درصد در تیمار ۱۵ تن در

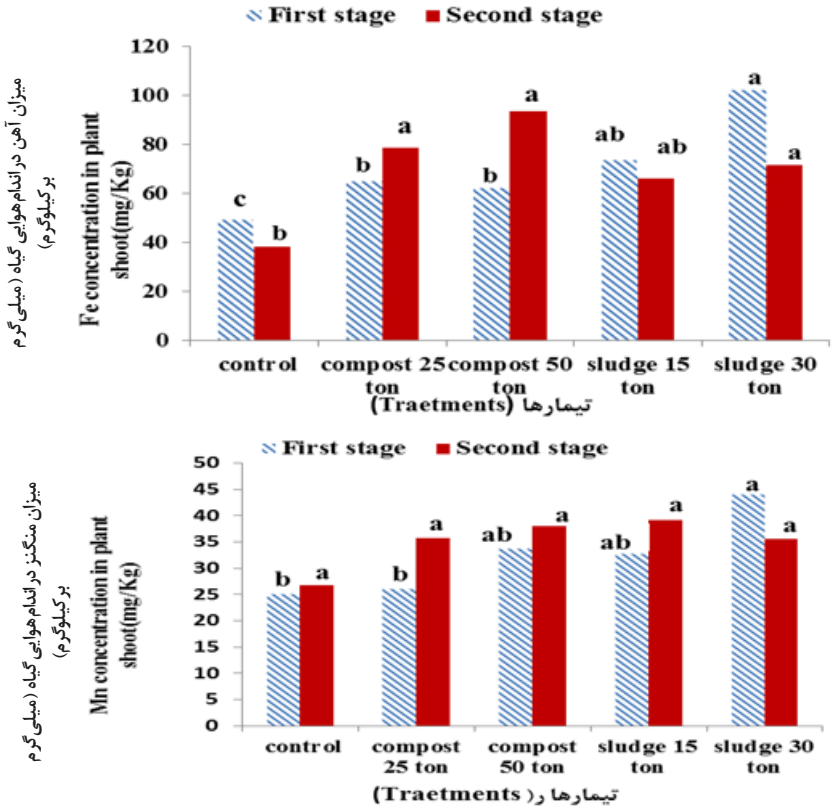

First stage
Second stage
میزان نیتروژن در اندام هوایی گیاه (میلی گرم بر کیلوگرم)
N concentration in plant shoot(mg/Kg)
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
c
ab
ab
a
b
a
b
ab
control
compost 25 ton
compost 50 ton
sludge 15 ton
sludge 30 ton
تیمارها (Traetments)


First stage
Second stage
میزان پتاسیم در اندام هوایی گیاه (میلی گرم بر کیلوگرم)
K concentration in plant shoot(mg/Kg)
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
b
a
a
a
a
a
a
a
a
a
control
compost 25 ton
compost 50 ton
sludge 15 ton
sludge 30 ton
تیمارها (Traetments)


First stage
second stage
میزان فسفر در اندام هوایی گیاه (میلی گرم بر کیلوگرم)
P concentration in plant shoot(mg/Kg)
0.45
0.4
0.35
0.3
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
a
c
a
c
a
c
a
a
a
b
control
compost 25 ton
compost 50 ton
sludge 15 ton
sludge 30 ton
تیمارها (Traetments)


First stage
Second stage
میزان مس در اندام هوایی گیاه (میلی گرم بر کیلوگرم)
Cu concentration in plant shoot(mg/Kg)
6
5
4
3
2
1
0
b
b
a
a
b
ab
a
a
ab
a
control
compost 25 ton
compost 50 ton
sludge 15 ton
sludge 30 ton
تیمارها (Traetments)


First stage
second stage
میزان روی در اندام هوایی گیاه (میلی گرم بر کیلوگرم)
Zn concentration in plant shoot(mg/Kg)
30
25
20
15
10
5
0
b
c
a
c
a
b
a
b
a
a
control
compost 25 ton
compost 50 ton
sludge 15 ton
sludge 30 ton
تیمارها (Traetments)



شکل ۱- میزان عنصرهای غذایی اندازه گیری شده در اندام هوایی پیاز در دو مرحله مورد پژوهش
Fig. 1- The amount of measured nutrients in onion shoot at two stages

هکتار لجن فاضلاب رسید. تیمارهای کمپوست زباله شهری در هیچ مرحله ای تأثیر معنی داری برافزایش فسفر موجود در گیاه نداشتند (شکل ۱).

Tamrabet *et al.* (2009) بیان کردند که کاربرد لجن فاضلاب می تواند بخش زیادی از فسفر موردنیاز بسیاری از گیاهان را تأمین نماید. Ahmadinezhad (2012) گزارش داد که با مصرف ۳۰ و ۶۰ تن کود دامی، کمپوست پسماند شهری و کمپوست لجن فاضلاب در هکتار، غلظت فسفر شاخساره گندم افزایش یافت. Najafi and Mohammadnejad (2016) نیز به نتایج مشابهی در ارتباط با افزایش غلظت فسفر در اندام هوایی ذرت درنتیجه مصرف کمپوست لجن فاضلاب و پسماند شهری رسیدند. میزان پتاسیم اندام هوایی گیاه، در مرحله اول مطالعه با مصرف سطح‌های مختلف کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب بصورت معنی داری (در سطح ۵ درصد) افزایش یافت (جدول ۵). ولی بین تیمارهای سطح‌های مختلف مواد آلی بکار رفته، از این نظر تفاوت معنی داری مشاهده نشد و همگی در گروه آماری a قرار گرفتند (شکل ۱). در مرحله دوم مطالعه تیمارهای مورد مطالعه تأثیر معنی داری بر غلظت پتاسیم موجود در اندام هوایی پیاز نداشتند (جدول ۵). در پژوهش انجام گرفته توسط Saadat *et al.* (2012) نیز، کاربرد لجن فاضلاب تأثیری بر غلظت پتاسیم اندام هوایی ذرت نداشت.

ازنظر عنصرهای غذایی کم‌مصرف نیز بالاترین جذب آهن در دوره اول، در تیمار ۳۰ تن در هکتار لجن (۱۰۲ میلی گرم بر کیلوگرم خاک) و در دوره دوم بیشترین میزان آهن در اندام هوایی پیاز در تیمار ۵۰ تن در هکتار کمپوست بود (۹۳/۳ میلی گرم بر کیلوگرم) که از این نظر با تیمار ۳۰ تن در هکتار لجن فاضلاب اختلاف معنی داری نداشت (شکل ۱).

Nazari *et al.* (2006) نیز افزایش غلظت آهن شاخساره گیاهان گندم، جو و ذرت را با مصرف، لجن فاضلاب در خاک گزارش کردند. با مصرف کودهای آلی در خاک و افزایش سطح مصرف آن، ازیک‌طرف pH خاک کاهش یافته و از سوی دیگر مقدار ترکیب‌های کلات کننده آهن و دیگر عنصرهای غذایی کم نیاز افزایش یافته و موجب افزایش زیست فراهمی عنصرهای غذایی موردنیاز گیاه و جذب آن‌ها بوسیله گیاه شده و درنتیجه رشد

گیاه افزایش می‌یابد (Najafi *et al*., 2013).

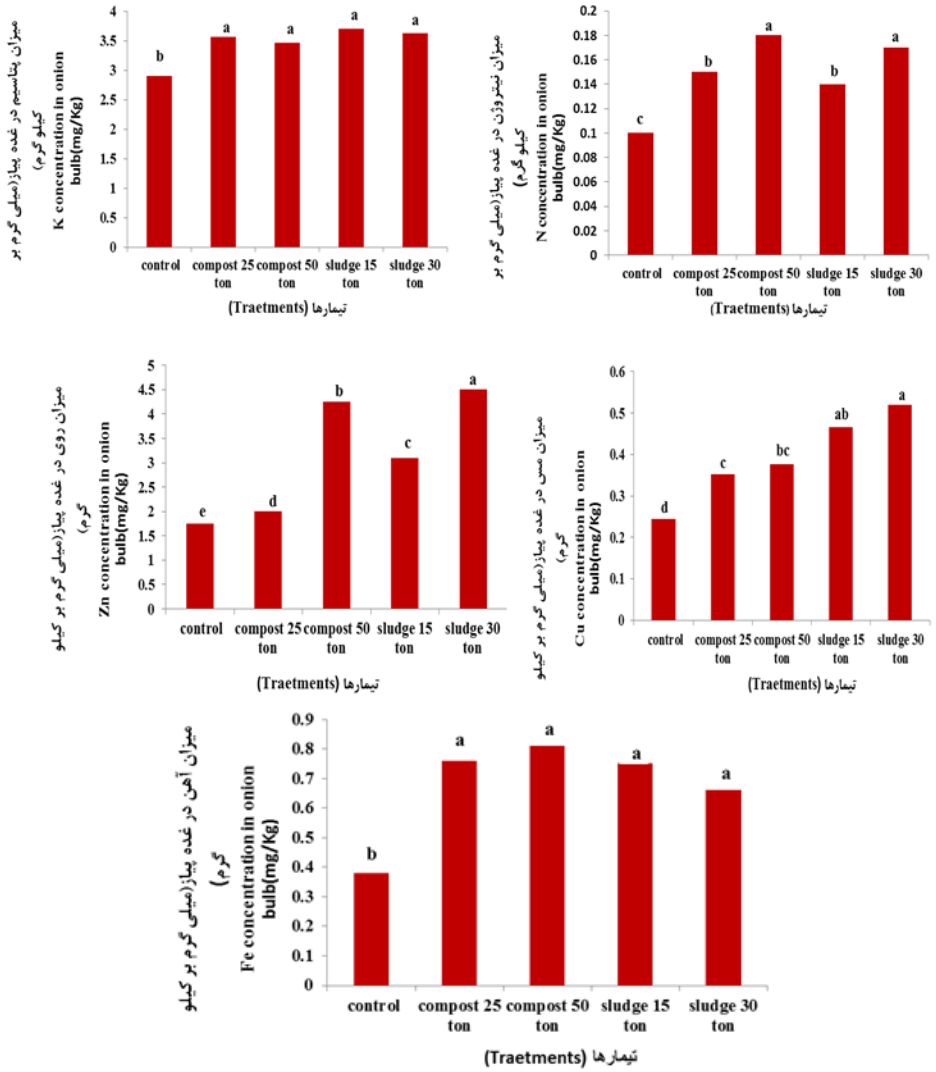
مقایسه میانگین‌های غلظت روی در اندام هوایی گیاه پیاز نیز نشان داد که مصرف کودهای آلی توانسته است میزان این عنصر را در اندام هوایی گیاه نسبت به شاهد، بصورت معنی داری، افزایش دهد. در مرحله اول، بین تیمارهای مختلف کودهای آلی تفاوت معنی داری از این نظر مشاهده نشد و همه در گروه آماری a قرار گرفتند (شکل ۱)؛ ولی در مرحله دوم بیشترین میزان غلظت روی در اندام هوایی گیاه در تیمار ۳۰ تن در هکتار لجن فاضلاب اندازه گیری شد (۲۵/۵ میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک گیاه). در این تیمار، میزان روی در اندام هوایی در حدود ۳/۵ برابر مقدار اندازه گیری شده در شاهد بود (شکل ۱). این نتایج با نتایج به دست آمده در پژوهش انجام گرفته توسط Najafi and Mohammadnejad (2016) همخوانی دارد. pH خاک بر اثر تجزیه کودهای آلی کاهش بویژه لجن فاضلاب و نیز تشکیل کلات روی بوسیله ترکیب‌های آلی اضافه شده، در افزایش فراهمی روی مؤثر می‌باشد. مواد آلی کوتاه زنجیر از طریق پیوند یافتن با روی، تحرک و حل-پذیری روی در خاک و فراهمی آن را برای گیاه افزایش می‌دهد (Marschner, 1995; Vaseghi *et al*., 2005).

تیمارهای کودی مورد پژوهش در هر دو مرحله، تأثیر معنی داری در میزان مس جذب شده توسط گیاه داشتند. نکته جالب توجه این که با افزایش سطح‌های مصرف کمپوست زباله و لجن فاضلاب، بویژه در مرحله دوم، میزان مس موجود در بافت گیاه کاهش داشته است (شکل ۱). دلیل این امر احتمالاً غلظت بالای عنصر روی در این سطح از تیمارهای موردنظر است. وجود رابطه آنتاگونیستی بین این دو عنصر مانع از جذب مس توسط گیاه در غلظت‌های بالای عنصر روی شده است. Boorboori and Tehrani (2010) دریافتند که عنصر روی در سطح‌های پایین موجب افزایش غلظت مس در اندام هوایی گیاه می‌شود. همچنین Rion and Alloway (2004) گزارش کردند که فلز روی از طریق رقابت این فلز با مس در جذب و جابه جایی توسط گیاه سبب کاهش جذب مس می‌شود.

در مرحله اول پژوهش تنها تیمار ۳۰ تن در هکتار لجن فاضلاب سبب افزایش معنی دار منگنز در اندام هوایی گیاه شد (۴۴ میلی گرم در کیلوگرم) و هیچ گونه تفاوت معنی‌داری بین دیگر تیمارهای کودی و شاهد برای جذب منگنز در اندام هوایی گیاه مشاهده نشد. در مرحله دوم نیز تیمارها تأثیر معنی داری برجذب منگنز توسط گیاه نداشتند (شکل ۱). لازم به بیان است در این پژوهش، غلظت سرب و کادمیم در بافت گیاهی پیاز در تیمارهای مختلف، در هر دو مرحله، به حدی پایین بود که با دستگاه جذب اتمی قابل اندازه گیری نبود.

جدول۶- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مورد مطالعه بر غلظت عنصرهای اندازه گیری شده در غده گیاه پیاز
Table 6. Analysis of variance of the effects of treatments on the element concentration in the onion bulb

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات (مرحله اول) MS (first stage)						
		نیتروژن (N)	فسفر (P)	پتاسیم (K)	مس (Cu)	روی (Zn)	آهن (Fe)	منگنز (Mn)
تکرار Replication	2	0.00	0.000	0.000	0.001	0.040	0.381	0.072
تیمار Treatment	4	0.002^{ns}	0.001^{ns}	0.000^{ns}	0.006^{ns}	1.67^{**}	0.706^{ns}	0.07^{ns}
اشتباه Error	8	0.0005	0.000	0.000	0.009	0.001	0.45	0.071
ضریب تغییرات CV	---	14.27	17.74	12.60	17.07	1.37	25.69	25.78
		میانگین مربعات (مرحله دوم) MS (second stage)						
تکرار Replication	2	0.00	0.003	0.142	0.0028	0.003	0.012	0.003
تیمار Treatment	4	$0,.002^{**}$	0.014^{ns}	0.301^{**}	0.019^{*}	1.84^{**}	0.068^{*}	0.012^{ns}
اشتباه Error	8	0.000	0.005	0.003	0.0019	0.020	0.006	0.007
ضریب تغییرات CV	---	9.94	10.80	1.68	11.39	6.62	11.65	12.05



شکل ۲- میزان عنصرهای غذایی اندازه گیری شده در غده پیاز در مرحله دوم پژوهش
Fig. 2- The amount of measured nutrients in onion bulb at two stages

تغییرهای غلظت عنصرهای غذایی در غده پیاز

بر اساس نتایج مطرح شده در جدول ۶، مصرف کودهای آلی در سطح‌های مختلف در مرحله اول تنها عنصر روی موجود در غده پیاز را بصورت معنی داری (در سطح ۱ درصد) نسبت به شاهد افزایش داد. ولی با مصرف چندین ساله تیمارهای موردنظر، یعنی در مرحله دوم پژوهش، تیمارهای مختلف توانستند میزان جذب عنصرهای نیتروژن، پتاسیم، مس، روی و آهن را توسط غده پیاز، بصورت معنی داری افزایش دهند (جدول۶).

مقایسه میانگین‌های تیمارها در مرحله دوم آزمایش نشان می‌دهد که سطح های مختلف کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب، پتاسیم جذب شده توسط غده پیاز را نسبت به شاهد بصورت معنی داری افزایش دادند، ولی بین تیمارهای سطح‌های مختلف مواد آلی به کار رفته تفاوت معنی داری از این نظر مشاهده نشد (شکل ۲). همچنین تیمارهای مختلف ماده آلی میزان نیتروژن موجود در غده را نسبت به شاهد افزایش دادند. بیشترین میزان نیتروژن غده در تیمار ۵۰ تن در هکتار کمپوست زباله اندازه گیری شد (۰/۱۷ درصد). از این نظر تفاوت معنی داری بین این تیمار و تیمار ۳۰ تن در هکتار لجن فاضلاب دیده نشد (شکل۲).

بیشترین میزان روی اندازه گیری شده در غده، در تیمار ۳۰ تن در هکتار لجن (۴/۵ میلی گرم در کیلوگرم) و پس از آن در تیمار ۵۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری (۴/۲۵ میلی گرم در کیلوگرم) مشاهده شد. همچنین مصرف سطح‌های مختلف کمپوست زباله

شهری و لجن فاضلاب میزان جذب مس در غده پیاز را بصورت معنی داری افزایش داد. بیشترین میزان مس در غده پیاز، در تیمار ۳۰ تن در هکتار لجن فاضلاب اندازه گیری شد (۰/۵۲ میلی گرم بر کیلوگرم). مصرف سطح های مختلف مواد آلی میزان آهن جذب شده توسط غده را بصورت معنی داری (در سطح ۵ درصد) نسبت به شاهد افزایش داد. بیشترین میزان آهن غده در تیمار ۵۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری اندازه گیری شد (۰/۸۱ میلی گرم بر کیلوگرم)؛ هرچند از این نظر تفاوت معنی داری بین تیمارهای مختلف ماده آلی وجود نداشت و همه تیمارهای ماده آلی از نظر تأثیر بر میزان جذب آهن در غده، در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۲).

همان طور که در بالا گفته شد، مصرف کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب سبب افزایش عنصرهای ریزمغذی مانند مس، آهن و روی در بخش خوراکی گیاه پیاز شده است. بر اساس گزارش سازمان خواربار جهانی، میزان خسارت کمبود عنصرهای ریزمغذی ازجمله آهن و روی بر روی محصول‌های کشاورزی از لحاظ کیفی و کمی، در کشورهای در حال توسعه بیش از ۱۲۸ میلیارد دلار است که اگر نقش این عنصرها در ارتقای سطح سلامت جامعه نیز مطرح باشد در چنین شرایطی خسارت وارده به سلامت جامعه نیز بسیار نگران کننده خواهد بود. میزان عنصرهای سنگین سرب و روی در غده پیاز قابل تشخیص با دستگاه جذب اتمی نبود و این بدان معنا است که جذب این عنصرها در گیاه بسیار پایین تر از حد مجاز تعریف شده است و از این نظر، محدودیتی برای مصرف، وجود ندارد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش کاربرد کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب شهری بویژه در سطح بالاتر سبب افزایش ماده آلی خاک شده است از طرفی غلظت عنصرهای غذایی ضروری و مورد نیاز گیاه مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم، روی، مس، منگنز و آهن قابل‌استفاده، در خاک نیز افزایش پیدا کرده است. هر دوی موارد بیان شده جزء آثار مثبت این کودهای آلی تلقی می‌شوند. از نقطه نظر عنصرهای سنگین در خاک مصرف این کودها در مرحله اول تأثیری بر میزان عنصرهای سنگین سرب و کادمیم در خاک نداشته، ولی مصرف چندین سال متوالی کمپوست زباله (تیمار ۵۰ تن در هکتار) در مرحله دوم، سبب افزایش سرب قابل‌جذب در خاک شد. با این وجود حتی در پایان سال پنجم میزان عنصر سرب در خاک زیر حد مجاز تعیین شده (۳۰۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک) در استاندارد تدوین شده برای خاک‌های ایران از نظر ملاحظات محیط‌زیستی بوده است.

هم چنین مصرف سطح های مختلف کودهای آلی سبب افزایش معنی دار در عنصرهای غذایی موجود در اندام هوایی گیاه پیاز شامل نیتروژن، فسفر و پتاسیم و همچنین عنصرهای ریزمغذی آهن، روی، مس و منگنز شد. این افزایش بویژه در تیمارهای آلی با سطح بالاتر و با گذشت زمان و تکرار عرضه کودهای آلی بیشتر خود را نشان داده‌اند. مورد بیان شده در مورد عنصر مس معکوس بوده که می‌تواند بدلیل افزایش غلظت عنصرهای دیگر مانند روی و وجود رقابت بین عنصرهای مختلف در جذب بوسیله گیاه باشد.

افزایش عنصرهای غذایی ضروری در غده پیاز نیز مانند اندام هوایی در مورد عنصرهای نیتروژن، پتاسیم، آهن، مس و روی روند مشابهی را طی کرده است. افزون بر اینکه روند افزایش عنصر مس در غده گیاه باگذشت زمان و تکرار عرضه کودهای آلی برخلاف اندام هوایی آن مشاهده شد.

غلظت سرب و کادمیم در گیاه هم در اندام هوایی و هم در غده، در تیمارهای مختلف به حدی کم بود که با دستگاه جذب اتمی قابل‌اندازه‌گیری نبود. در کل کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب در سطح‌های بیان شده با افزایش ماده آلی در خاک و نیز غلظت عنصرهای غذایی در گیاه بویژه از لحاظ عنصرهای ریزمغذی ازجمله روی و آهن در بخش خوراکی (غده)، می‌تواند بعنوان مواد اصلاحی خوب در کشت این گیاه مورد استفاده قرار گیرد، ضمن اینکه همان‌طور که پیشتر اشاره شد، مصرف حتی چندین ساله این منبع‌های آلی در خاک سبب افزایش غیرمجاز در عنصرهای سنگین مضر شامل سرب و کادمیم در خاک و گیاه نشد. بنابراین با وجود همه مزیت‌های عنوان شده، استفاده از کودهای آلی کمپوست و لجن فاضلاب شهری، این پژوهش در پاسخ به یکی از عمده نگرانی‌های مصرف این مواد، که احتمال وجود غلظت‌های بالا از عنصرهای سنگین مضر ازجمله سرب و کادمیم می‌باشد که چه از نظر محیط زیست و چه از

نظر کشاورزی از اهمیت بالایی برخوردار است و آن هم در مورد کشت پیاز که از جمله محصول‌های غذایی است که بصورت خام و پخته در سفره غذایی مردم، مورد استفاده قرار می‌گیرد انجام شده است. در کل مصرف بهینه از این گونه منبع‌های آلی در بخش کشاورزی یکی از بهترین روش‌ها برای بازیافت این مواد بشمار آمده و گام موثری برای کشاورزی پایدار خواهد بود.

پی‌نوشت‌ها

[1] Allium cepa L.

[2] Silty clay

[3] Council on Soil Testing and Plant Analysis, 1974

منابع

Ahmadinezhad, R., 2012. Integrated effect of organic fertilizers and nitrogen on nutrition, growth and yield of wheat (Triticum aestivum cv. Alvand). M.Sc. Thesis. University of Tabriz, Iran. (In Persian with English abstract).

Aisha, A.H., Rizk, F.A., Shaheen, A.M. and Abdel-Mouty, M.M., 2007. Onion plant growth, bulbs yield and its physical and chemical properties as affected by organic and natural fertilization. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences. 3(5), 380-388.

Akoun, J., 2004. Effect of plant density and manure on the yield and yield components of the common onion (Allium cepa L.) var. nsukka red. Nigerian. Journal of Horticultural Science. 9, 43-48.

Astaraei, A., 2006. Effect of municipal solid waste compost and vermicompost on yield and yield components of Plantago Ovata. Iran. Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 3, 180-187.

Avis, T.J., Grave, V., Antoun, H. and Tweddell, R.J., 2008. Multifaceted beneficial effects of rhizosphere microorganisms on plant health and productivity. Soil Biology and Biochemistry. 40, 1733-1740.

Baran, A., Cayci, G., Kutak, C. and Hartmann, R., 2001. The effect of grape mare as growing medium on growth of hypotases plant. Bioresoar-Technol. 78, 103-106.

Bedassa, M., Abebaw, A. and Desalegn, T., 2017. Assessment of selected heavy metals in onion bulb and onion leaf (Allium cepa L.), in selected areas of central rift valley of Oromia regione Thiopia. Journal of Horticulture. 4(4), 354-376.

Beigi, R.O. and Hejazi, M., 2004. Essential oil and composition of satureja hotrtensis of two different regions. Journal of Essential Oil Bearing Plants. 7(2), 66-68.

Belhaj, D., Elloumi, N., Jerbi, B., Zouari, N., Ben, F., Ayadi, H. and Kallel, M., 2016. Effects of sewage sludge fertilizer on heavy metal accumulation and consequent responses of sunflower (Helianthus annuus). Environmental Science and Pollution Research. 23(20), 20168-20177

Bernaert, N., De Paepe, D., Bouten, Ch., De Clercq, H., Stewart, D., Van Bockstaele, E., De Loose, M. and Van Droogenbroeck, B., 2012. Antioxidant capacity, total phenolic and ascorbate contentas a function of the genetic diversity of leek (Allium ampeloprasum var. porrum). Food Chemistry.134, 669-677.

Boorboori, M.R. and Tehrani, M.M., 2010. The effect interaction of amounts and methods applications of copper and zinc on plant and grain protein of wheat. Crop physiology. 2(8), 29-44. (In Persian with English abstract).

Council on Soil Testing and Plant Analysis, 1974. Handbook on Reference Methods for Soil Testing. Council on soil testing and plant analysis, Athens, Greece.

Crecchio, C., Curci, M., Pizzigallo, M., Ricciuti, P. and Ruggiero, P., 2004. Effects of municipal solid waste compost amendments on soil enzyme activities and bacterial genetic diversity. Soil Biology and Biochemistry. 36, 1595–1605.

Dauda, S.N., Ajayi, F.A. and Ndor, E., 2008. Growth and yield of water melon (Citrullus lanatus) as affected by poultry manure application. Journal of Agriculture and Social Science. 4(3), 121-124.

Fathololomi, S., Asghari, Sh. and Goli Kalanpal, E., 2015. Effects of municipal sewage sludge on the concentration

of macronutrients in soil and plant and some agronomic traits of wheat. Journal of Soil Management and Sustainable Production. 5(2), 49-70.

Felipo, M.T., 1996. Compost as a source of organic matter in Mediterranean soils. In: M. Bertoldi et al, (ed.) the science of composting. 1st ed. Part 1, Blakie Academic and Professional. Glasgow, UK, pp. 402-412.

Garcia-Gil, J.C., Ceppi, S., Velasca, M., Polo, A. and Senesi, N., 2004. Longterm effects of amendment with municipal solid waste compost on the elemental and acid functional group composition and pH-buffer capacity of soil humic acid. Geoderma. 121, 135–142.

Gebregziabher, B. and Shiferaw, T., 2014. Assessment of levels of lead, cadmium, copper and zinc contamination in selected edible vegetables. International Journal of Innovation and Applied Studies. 7, 78-86.

Geetha, M., Ponmozhi, P., Saravan, A., Kumar, M. and Suganyadevi, P., 2011. Extraction of anthocyanin and analysing its antioxidant properties from different onion (Allium cepa) varieties. Journal Research Pharmaceutical Sciences. 2, 497-506.

Hargreaves, J.C., Adl, M.S. and Warman, P.R., 2008. A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. Agriculture, Ecosystems and Environment. 123(1-3), 1-14.

He, Q.B. and Singh, B.R., 1993. Effect of organic matter on the distribution, extractability and uptake of Cd in soils. Journal of Soil Science. 44, 641-650.

Jahantigh, M., 2008. Impact of Recycled Wastewater Irrigation on Soil Chemical Properties in an Arid Region. Pakistanian Journal of Biological Sciences. 11(18), 2264-2268.

Jayathilake, P.K.S., Reddy, I.P., Srihari, D. and Reddy, K.R., 2006. Productivity and soil fertility status as influenced integrated use of N-fixing Biofertilizers, organic manures and inorganic fertilizers in onion. Journal of Agricultural Sciences. 2(1), 46-58.

Jones, J.B., 2001. Laboratory Guide for Conduction Soil Tests and Plant Analysis. CRC Press, Washington, D.C., USA.

Malakouti, M.J. and Nabi Gheibi, M., 2000. Determination of critical level of nutrients in soil, plant & fruit for the quality & yield improvement of Iran's strategic crops. Department Ministry of Jihad- e –Agriculture. (In Persian with English abstract).

Malakouti, M.J., Bybordi, A. and Tabatabaee, S.J., 2004. Balanced fertilization of vegetable Crops. Vegetable and Summer Crops. Bureau-Agronomy. Department Ministry of Jihad- e –Agriculture. (In Persian with English abstract).

Marschner, H., 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. New York.

Mollavali, M., Bolandnazar, S.A. and Tabatabaii, S.A., 2009. The effect of different amounts of ammonium nitrate and potassium sulfate on growth characteristics and yield of onion. Journal of Agricultural Science. 19-2, 221 -238. (In Persian with English abstract).

Montemurro, F., Maiorana, M. and Ferri, D., 2006. Compost organic amendments in fodder crops: effects on yield, nitrogen utilization and soil characteristics. Compost Science and Utilization. 14(2), 114–123.

Moreira, R.S., Mincato, R.L. and Santos, B.R., 2013. Heavy metals availability and soil fertility after land application of sewage sludge on dystroferric red latosol. Ciêncagrotec. 37(6), 512–520.

Naeem, M., Iqbal, J. and Bakhsh, M.A.A., 2006. Comparative study of inorganic fertilizers and organic manures on yield and yield components of mungbean (Vigna radiate L.). Journal of Agriculture and Social Science. 2, 227-229.

Najafi, N. and Mohammadnejad A., 2016. Differential concentrations of some nutrient element in forage of corn (Zea mays L.) as affected by organic fertilizers and soil compaction. Journal of crop ecophysiology. 9(4), 561-582.

Najafi, N., Mardomi, S. and Oustan, S., 2013. The effect of waterlogging sewage sludge and manure on selected macronutrients and sodium uptake by sunflower plant in a loamy sand soil. Journal of Water and Soil. 26(3), 619-

636. (In Persian with English abstract).

Nazari, M.A., Shariatmadari, H., Afyuni, M., Mobli, M. and Rahili, Sh., 2006. Effect of industrial sewage sludge and effluents application on concentration of some elements and yield of wheat, barley and corn. Journal of science and technology of agriculture and natural resources. 10(3), 97-111. (In Persian with English abstract).

Obi, M.E. and Ebo, P.O., 1995. The Effects of organic and inorganic amendments on soil physical properties and Maize production in a sandy soil on Southern Nigeria. Bioresource Technology. 51, 117-123.

Perucci, P., 1990. Effect of the addition of municipal soildwaste compost on microbial biomass and enzyme activities in soil. Biology and Fertility of Soils. 10, 221–226.

Rion, B. and Alloway, J., 2004. Fundamental aspects of Zinc in soils and plants. International Zinc Association. 23, 1-28.

Rusan, M.J., Hinnawi, S. and Rousan, L., 2007. Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. Desalination. 215, 143-152.

Saadat, K., Barani Motlagh, M., Dordipour, E. and Ghasemnezhad, A., 2012. Influence of sewage sludge on some soil properties, yield and concentration of lead and cadmium in roots and shoots of Maize. Journal of Soil Management and Sustainable Production. 2(2), 27-48. (In Persian with English abstract).

Selvakumari, G., Santhi, R., Natesan, R. and Sathyabama, K., 2001. Soil test and vegetable crop response under integrated plant nutrition system for optimization of fertilizer doses. South Indian Horticulture. 49, 130-136

Shaheen, A., Fatma, M., Rizk, A. and Singer, S.M., 2007. Growing onion plants without chemical fertilization. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences. 3(2), 95-104.

Shakarami, M., Marufi, S., Rahimi, Gh. and Dashti, F., 2015. Effect of sewage and compost on the transfer of some heavy metals in soil profiles. Journal of Water Research in Agriculture. 29(1), 75-86. (In Persian with English abstract).

Shuman, L.M., 1999. Effect of organic waste amendments on zinc adsorption by two soils. Soil Science. 164, 197-205.

Sims, J.T. and Kline, J.S., 1991. Chemical fractionation and plant uptake of heavy metal in soil amended sewage sludge. Journal of Environmental Quality. 20, 387-395.

Soil Quality Standards and its Guides, 2017. Human Environment Deputy. Water and Soil Office. p. 166. (In Persian with English abstract).

Soumare, M., Tack, F. and Verloo, M., 2003. Characterisation of Malian and Belgian solid waste composts with respect to fertility and suitability for land application. Waste Management. 23, 517–522.

Tamrabet, L., Bouzerzour, H., Makhlouf, K. and Makhlouf, M., 2009. The effect of sewage sludge application on Dorum Wheat. International Journal of Agriculture and Biology. 11, 741-745.

Tiruneh, T., Amos, A., Fadiran, O. and Joseph, S., 2014. Evaluation of the risk of heavy metals in sewage sludge intended for agricultural application in Swaziland. International Journal of Environmental Sciences. 5(1), 197-216.

Vaca, R., Lugo, J., Martinez, R., Esteller, M.V. and Zavaleta, H., 2011. Effects of sewage sludge and sewage sludge compost amendment on soil properties and Zea mays L. plants (Heavy metals, quality and productivity). Revista Internacional de Contaminación Ambiental. 27(4), 303-311.

Vaseghi, S., Afyuni, M., Shariatmadari, H. and Mobli, M., 2005. Effect of sewage sludge on some macronutrients concentration and soil chemical properties. Journal of Water and Waste Water. 16(53), 15-22. (In Persian with English abstract).

Yoldas, F., Ceylan, S., Mordogan, N. and Esetlili, B.C., 2011. Effect of organic and inorganic fertilizers on yield and mineral content of onion (Allium cepa L.). African Journal of Biotechnology. 10(55), 11488-11492.

Environmental Sciences Vol.17/ No.3/ Autumn 2019

189-208

Effects of sewage sludge and municipal compost application on bio availability of soil nutrients in onion (*Allium cepa* L.) cultivation

Alireza Marjovvi* and Parisa Mashayekhi

Soil and Water Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran

Received: 2018.10.13 Accepted: 2018.12.26

Marjovvi, A. and Mashayekhi, P., 2019. Effects of sewage sludge and municipal compost application on bio availability of soil nutrients in onion (*Allium cepa* L.) cultivation. Environmental Sciences.17(3): 189-208.

Introduction: Degradation of water, soil and environmental resources by the excessive use of chemical materials encouraged researchers to focus on organic farming in recent years. Despite all positive effects associated with the consumption of municipal compost and sewage sludge on the physical and chemical properties of the soil, there are still many concerns about their environmental and health issues. The aim of this study was to investigate the heavy metal accumulation in the soil and plant using different amounts of municipal compost and sewage sludge in a field trial after five years.

Material and methods: The field study was conducted in Rudasht Irrigation and Drainage Research Station, Isfahan, Iran. A randomized complete block design with three replications within treatments was employed. The crop rotations were onion, wheat, sugar beet, corn, and onion, so there were two stages of onion cultivation. The treatments were 0 (as control), 25 ton ha-1 municipal compost, 50 ton ha-1 municipal compost, 15 ton ha-1 sewage sludge and 30 ton ha-1 sewage sludge applied per planting during five years.

Results and discussion: Application of municipal compost and sewage sludge, especially at higher levels, increased the soil organic matter twice. In addition, the concentration of phosphorus (P), potassium (K), iron (Fe), copper (Cu), manganese (Mn), zinc (Zn), and lead (Pb) in the soil increased significantly. Concentrations of available lead (Pb) and cadmium (Cd) in the first onion planting stage in the soil were not significant, but in the second onion planting stage the lead (Pb) concentration in 50 ton ha^{-1} municipal compost increased significantly (from 1.9 mg kg^{-1} in control treatment to 5.62 mg kg^{-1} in 50 ton ha^{-1} municipal compost treatment). Application of organic fertilizers increased the essential elements (e.g., N, P, K, Zn, Mn, and Cu) in onion shoot. The highest amounts of nutrient elements in onion shoot were detected in 50 ton ha^{-1} municipal compost, which was

*Corresponding Author: *Email Address*.a.marjovvi@na.iut.ac.ir

not significantly different than 30 ton ha^{-1} sewage sludge. In the first stage, the absorption of copper (Cu) by plant shoot was lower than the second stage as a result of increasing concentration of other elements such as phosphorus (P) and competition between various elements. The highest copper (Cu) concentration in shoots was observed in 15 ton ha^{-1} sludge (5.4 mg kg^{-1}), which reached to 3.76 mg kg^{-1} after five years in the second stage. Application of organic fertilizers at both stages increased zinc (Zn) concentration in the onion bulb. The highest zinc (Zn) concentrations in bulbs were measured in 50 ton ha^{-1} compost and 30 ton ha^{-1} sewage sludge treatments (3.05 and 3.87 mg kg^{-1} for the first stage and 4.25 and 4.50 mg kg^{-1} for the second stage, respectively). However, the concentrations of other nutrients such as N, K, Cu and Fe in the onion bulb increased at the second stage. The highest concentrations of N (0.18%) and Fe (0.81 mg kg^{-1}) in the bulb were measured in 50 ton ha^{-1} compost and the highest concentration of Cu (0.52 mg kg^{-1}) was in 30 ton ha^{-1} sludge. The concentrations of lead (Pb) and cadmium (Cd) in the plant were undetectable by atomic absorption in different treatments.

Conclusion: Long-term consumption of municipal compost and sewage sludge increased the soil organic matter and improved the physical and chemical properties of the soil. Furthermore, these organic resources increased the concentration of nutrient elements, especially micronutrients including zinc (Zn) and iron (Fe), in the plant. One of the main concerns about such organic resources is the possibility of soil and plant contamination by heavy metals. The results of this study showed that the multi-year consumption of these materials did not increase the heavy metal elements such as lead (Pb) and cadmium (Cd) in the soil or plant. Considering the low amount of organic matters in the soil of most parts of the country and the limited availability of various organic resources, using such organic matters in agriculture would be one of the best methods for recycling these materials and would be very important to have sustainable agriculture.

Keywords: Bioavailability, Municipal compost, Onion, Sewage sludge, Soil chemical characteristics.