تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۹، شماره ۳، مرداد و شهریور ۱۳۹۷ (ص ۶۶۴-۶۵۳) DOI: 10.22059/ijswr.2017.238780.667727

تأثیر استفاده چندباره از کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب بر برخی ویژگی‌های خاک و عملکرد ذرت (Zea mays L.) در رودشت اصفهان

علیرضا مرجوی[1*]، پریسا مشایخی[2]

۱. عضو هیات علمی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان ، ایران

۲. عضو هیات علمی 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: ۱۷/ ۵/ ۱۳۹۶- تاریخ بازنگری: ۲۰/ ۸/ ۱۳۹۶- تاریخ تصویب: ۵/ ۹/ ۱۳۹۶)

چکیده

این پژوهش به منظور بررسی تأثیر مقادیر مختلف کودهای آلی کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب بر خصوصیات خاک و محصول ذرت پس از یک و پنج سال مصرف، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقاتی آبیاری و زهکشی رودشت اصفهان انجام شد. در هر سال چهار تیمار مصرف کودهای آلی (کمپوست شهری ۲۵ و ۵۰ تن در هکتار و لجن فاضلاب ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار) به همراه تیمار شاهد (عدم مصرف کود آلی) قبل از کشت، در کرت‌های ثابت به خاک اضافه شد. نتایج آزمایش نشان داد که مصرف کودهای آلی علاوه بر کاهش pH خاک باعث افزایش معنی‌دار برخی از عناصر ضروری پرنیاز و کم‌نیاز در خاک و به‌ویژه عنصر غیرضرور سرب در خاک شد. هم‌چنین افزایش این عناصر در اندام هوایی گیاه نیز قابل مشاهده بود. غلظت این عناصر در خاک و گیاه با مصرف پنج سال کودهای آلی مورد نظر به صورت قابل‌توجهی نسبت به سال اول افزایش داشت. کاربرد کودهای آلی به‌ویژه پس از پنج سال مصرف، باعث افزایش معنی‌دار عملکرد گیاه ذرت نسبت به تیمار شاهد شد.

واژه‌های کلیدی: کود آلی، کمپوست زباله شهری، لجن فاضلاب، ویژگی‌های شیمیایی خاک، ذرت

مقدمه

امروزه مدیریت مواد زائد جامد از عمده‌ترین بحران‌های زیست‌محیطی به شمار می‌رود که به علت رشد سریع جمعیت و شهرنشینی بروز کرده است (Nair *et al*., 2006). از سوی دیگر روند رو به افزایش تخریب منابع 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 در سال‌های اخیر شده است (Avis *et al*., 2008). در این راستا، استفاده از مواد آلی همانند کمپوست ضایعات کشاورزی، شهری و صنعتی به‌منظور 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 خطرات زیست‌محیطی، افزایش بهره‌وری آن‌ها را در پی دارد. بررسی‌ها نشان داده است که پسماندهای آلی مانند کمپوست لجن فاضلاب، کمپوست پسماند شهری و کود دامی حاوی مقادیر قابل‌ملاحظه‌ای از عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف بوده و از طریق سازوکارهای مختلف مانند تشکیل کلات فراهمی عناصر غذایی موجود در خاک را افزایش می‌دهند (Najafi *et al*., 2013).

این ترکیبات، علاوه بر مواد آلی، معمولاً سرشار از عناصر غذایی مورد نیاز گیاه به‌ویژه نیتروژن و فسفر بوده و باعث بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، مانند تخلخل، پایداری خاکدانه‌ها، جرم مخصوص ظاهری، اسیدیته، غلظت عناصر غذایی، مقدار ماده آلی و فعالیت موجودات زنده خاک می‌شوند (Yongjie and Yangsheng. 2005).

کمپوست پسماند شهری به عنوان یک کود آلی مقرون به صرفه و با ارزش می‌تواند در کشاورزی پایدار از جایگاه ویژه‌ای برخوردار باشد (Sumner, 2000;Beigi and Hejazi, 2004; Astaraei, 2006). در سال‌های اخیر کمپوست حاصل از مواد زائد جامد شهری به‌طور گسترده‌ای در بخش کشاورزی به عنوان یک بهبود دهنده خاک و نیز به عنوان یک کود استفاده می‌شود (Hargreaves *et al*., 2008). کمپوست کردن زباله شهری به عنوان یک ابزار مفید برای بازیافت ضایعات است. با این حال استفاده ایمن آن در کشاورزی، بستگی به تولید کمپوست با

* نویسنده مسئول: amarjovvi@yahoo.com

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

یکی از مزایای اصلی کمپوست زباله‌های شهری، محتوای بالای مواد آلی و چگالی حجمی پایین است (Soumare *et al*., 2003; He *et al*., 1995). He *et al*. (1995) گزارش نمودند که بسیاری از ترکیبات اسیدهای آلی موجود در کمپوست پسماند شهری به صورت اسیدهیومیک بوده است. در این پژوهش، نسبت اسیدهیومیک به فولیک‌اسید برابر با ۳/۵۵ بوده است. نتایج پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد که اسیدهومیک باثبات‌تر از اسیدفولیک بوده و افزایش آن در خاک با افزایش ظرفیت بافری خاک همراه است (He *et al*., 1995; Garcia-Gil *et al*., 2004). همچنین استفاده مکرر از کمپوست پسماند شهری باعث 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; Montemurro *et al*., 2006).

Heaf *et al*. (2007) اثر کمپوست بر میزان عناصر میکرو در خاک را بررسی کردند و دریافتند که مصرف کمپوست باعث افزایش غلظت روی (Zn)، مس (Cu) و آهن (Fe) در مقایسه با کود شیمیایی در خاک شد. به طور مشابه، مطالعات دیگر در بررسی اثر کود و کمپوست بر خصوصیات شیمیایی خاک در سایت پژوهشی دانشگاه بهشتی تهران نشان داد که مقدار آهن در تیمار کمپوست بالاتر از آن در تیمار کود شیمیایی بود (Mirzaei *et al*., 2009). همچنین پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که مصرف کمپوست زباله‌های شهری منجر به افزایش pH و نیز افزایش شوری در خاک می‌شود (Shanmugam, 2005; Walter *et al*., 2006; Zhang *et al*., 2006).

مصرف کمپوست می‌تواند سبب کاهش فرسایش، به فرم آلی درآوردن فلزات سنگین و از دسترس خارج کردن آن‌ها از جذب گیاه و هم‌چنین بهبود بخشیدن به فعالیت میکروبی خاک باشد (Hargreaves *et al*., 2008). لذا بسیاری از محل‌هایی که نیاز به کشت یا فضای سبز دارند مثل کارخانه‌ها و کنار جاده‌ها، به منظور بهبود بخشی و قابل‌کشت شدن آن‌ها از کمپوست استفاده می‌شود (Marjovvi and jahadakbar, 2011). همچنین نتایج پژوهش‌های مختلف افزایش عملکرد بسیاری از محصولات کشاورزی را با کاربرد کمپوست در خاک نشان می‌دهد (Zheljazkov *et al*., 2006; Montemurro *et al*., 2006).

لجن فاضلاب، مواد جامدی است که در روش‌های مختلف تصفیه به منظور حذف آلاینده‌های معلق و محلول از فاضلاب در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به دست می‌آید. امروزه مدیریت لجن، با توسعه تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و احداث واحدهای تصفیه‌خانه‌های جدید، به یکی از بحرانی‌ترین موضوعات زیست‌محیطی تبدیل‌شده است (Hashemimajd, 2010).

در سال‌های اخیر مصرف لجن فاضلاب در خاک‌های کشاورزی، از یک طرف به عنوان یک کود آلی (غنی از کربن) و سرشار از عناصر غذایی مختلف مثل نیتروژن و فسفر و از طرف دیگر به عنوان یک روش نسبتاً ایمن برای دفن پسماند حاصل از تصفیه فاضلاب‌های شهری مورد توجه قرار گرفته است (Hojjati *et al*., 2006; Casado-vela *et al*., 2007). به طور متوسط سالانه در جهان حدود ۳۰ میلیون تن لجن فاضلاب تولید می‌شود، که حدود ۲۱ میلیون تن آن به عنوان کود به زمین‌های کشاورزی اضافه می‌گردد. کاربرد لجن فاضلاب در زمین‌های زراعی علاوه بر این‌که عناصر ضروری مورد نیاز گیاهان را تأمین نموده، مسائل محیط‌زیستی و اقتصادی مربوط به دفن و سوزاندن لجن را مرتفع می‌سازد. لجن فاضلاب شامل مواد آلی و عناصر غذایی زیادی بوده و برای بهبود حاصلخیزی زمین‌های کشاورزی و ارتقای زیست‌توده آن‌ها به کار می‌رود (Casado-vela *et al*., 2007; Singh and Agrawal, 2010).

Al Zoubi *et al*. (2008) تأثیر لجن فاضلاب را بر عملکرد گندم، ذرت و ماشک بررسی نموده و گزارش نمودند افزودن لجن فاضلاب سبب افزایش معنی‌دار عملکرد ذرت و ماشک گردید. اما در مورد گندم افزایش معنی‌داری در عملکرد گیاه مشاهده نگردید. مقدار ماده آلی به نسبت زیاد لجن می‌تواند اثر مطلوبی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک گذارد و این به‌خصوص برای خاک‌های ایران که با کمبود مواد آلی مواجه هستند، دارای اهمیت می‌باشد (Afyuni *et al*., 1998).

Song and Lee (2010) با ارزیابی جنبه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی مصرف لجن فاضلاب بر خاک و گیاه گزارش نمودند، لجن فاضلاب باعث بهبود خصوصیات خاک مانند رطوبت، ماده آلی، تنفس، تخلخل و وزن مخصوص ظاهری می‌گردد. پژوهش‌های مختلفی در زمینه اثر مصرف لجن فاضلاب بر شاخص‌های رشد گیاهان زراعی انجام شده است (Angin and Yaganoglu, 2011 و Saadat, *et al*., 2012). Angin and Yaganoglu (2011) تأثیر لجن فاضلاب بر عملکرد جو را بررسی نموده و گزارش کردند که کاربرد لجن نه تنها ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک را بهبود بخشید بلکه عملکرد دانه جو را نیز افزایش داد. Saadat *et al*. (2012) با کاربرد لجن فاضلاب، افزایش معنی‌دار ماده آلی خاک، عملکرد، غلظت نیتروژن و فسفر را در ذرت گزارش کردند. با این حال، لجن ممکن است حاوی

مقدار قابل توجهی از فلزات سنگین باشد. تجمع بیش از حد فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی از طریق مصرف لجن فاضلاب، نه تنها باعث آلودگی خاک می‌شود، بلکه منجر به جذب فلزات سنگین بالا توسط محصولات زراعی شده و در نتیجه اثر سوء بر کیفیت و ایمنی مواد غذایی دارد (Muchuweti *et al*., 2006).

با وجود تمام ویژگی‌های مثبتی که به آن‌ها اشاره شد، گزارش‌های مختلفی وجود دارند که نشان می‌دهد در برخی موارد مصرف کمپوست زباله‌های شهری و لجن فاضلاب، منجر به افزایش غلظت عناصر سنگین (بالاتر از حدود استاندارد تعریف‌شده) در خاک و نهایتاً در اندام هوایی برخی گیاهان شده است (Walter *et al*., 2006; Maftoun *et al*., 2004; Hargreaves *et al*., 2008).

امروزه حفظ حاصلخیزی خاک، عمدتاً توسط کودهای شیمیایی صورت می‌گیرد (Malakouti and Homaei, 1994). مصرف زیاد کودهای شیمیایی به همراه روش‌های نامناسب کشت و کار، مانند آتش زدن کاه و کلش، مقدار ماده آلی خاک را کاهش داده که خطر از بین رفتن این خاک‌ها را به همراه خواهد داشت (Yongjie and Yangsheng, 2005). با توجه به این‌که قسمت عمده کشور و ازجمله استان اصفهان، دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک بوده و عدم وجود پوشش گیاهی کافی، سبب بازگشت مقدار کم بقایای گیاهی به خاک و در نتیجه کمبود مواد آلی آن شده است و نیز با توجه به محدود بودن منابع دامی، تحقیق پیرامون استفاده از منابع آلی دیگر مانند لجن فاضلاب و کمپوست زباله شهری ضروری است. اگر مطالعات لازم روی پسماندهای آلی تولید شده در کشور انجام شود، می‌توان از آن‌ها به عنوان 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 با هدف بررسی تأثیر لجن فاضلاب و مقایسه آن با کمپوست زباله شهری بر گیاه ذرت پس از یک و پنج سال مصرف این کودها، در ایستگاه تحقیقاتی آبیاری و زهکشی رودشت اصفهان انجام شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه از بهار ۱۳۸۹ الی تابستان ۱۳۹۳ برای مدت زمان 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 از لحاظ رده‌بندی جدید تاکسونومی جزو فامیل Fine mixed thermic typic torri fluvents بوده و دارای بافت سنگین با کلاس رس‌سیلتی (clay silty) بود. برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی (قبل از کشت) در جدول (۱) ارائه شده است.

این تحقیق در کرت‌های ثابت (ابعاد هر کرت ۴۰ مترمربع)، با چهار تیمار کود آلی کمپوست زباله شهری و کود لجن فاضلاب به همراه تیمار شاهد به شرح ذیل در قالب 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 کود کمپوست زباله شهری به میزان ۲۵ تن در هر هکتار. ۳- تیمار کود کمپوست زباله شهری به میزان ۵۰ تن در هکتار. ۴- تیمار لجن فاضلاب به میزان ۱۵ تن در هکتار. ۵- تیمار لجن فاضلاب به میزان ۳۰ تن در هکتار.

نتایج میانگین تجزیه شیمیایی کود کمپوست زباله شهری و کود لجن فاضلاب مورد استفاده در جدول (۲) ارائه شده است.

تناوب مورد استفاده در طول پنج سال انجام این پژوهش شامل گیاهان ذرت علوفه‌ای، پیاز، گندم، چغندرقند و مجدداً ذرت علوفه‌ای بود. به منظور انجام این پژوهش، پس از انتخاب زمین نسبت به تسطیح و کرت بندی زمین اقدام شد و به دلیل ثابت بودن کرت‌ها، طوری کرت‌بندی صورت پذیرفت که پس از پایان هر کشت و آماده‌سازی مجدد زمین برای کشت بعدی تنها پشته‌های عرضی تخریب و پس از یک شخم سطحی و اعمال تیمارهای کود آلی مجدداً پشته‌های عرضی بسته می‌شدند. در اولین مرحله نمونه‌برداری خاک، پس از کرت‌بندی و قبل از اعمال تیمارهای کودهای آلی، نسبت به نمونه‌گیری مرکب از عمق ۳۰-۰ و در پنج تکرار از خاک محل اجرای آزمایش اقدام گردید (جدول ۱). تیمارهای کود آلی با ترکیب ذکر شده (جدول ۲)، قبل از هرکشت در تناوب تعریف شده در طی سال‌های آزمایش به خاک محل کشت اضافه شد. کلیه عملیات داشت از قبیل آبیاری به موقع، مبارزه با علف‌های هرز و آفات و بیماری‌ها، عرضه کود سرک نیتروژن از منبع اوره بر اساس دو تقسیط از میزان کل ۳۵۰ کیلوگرم در هر هکتار در مراحل مختلف رشد ذرت قبل از کشت و پس از تنک کردن به صورت یکسان برای تمامی کرت‌ها انجام شد. پس از اتمام کشت در هر دوره کشت ذرت، بعد از تعیین عملکرد اندام هوایی، نمونه‌برداری از گیاه به تفکیک اندام هوایی و ریشه انجام گرفت. نمونه‌های گیاهی برای تجزیه‌های لازم به آزمایشگاه منتقل شد. نمونه‌های گیاهی پس از شستشو با آب معمولی و آب مقطر برای خشک‌کردن در دمای ۷۵ درجه در آون تهویه‌دار قرار

گرفت. پس از ۲۴ ساعت، کل اندام هوایی گیاه با استفاده از آسیاب برقی آسیاب شده و سپس از الک شماره مش ۱۸ عبور داده شد. غلظت عناصر مختلف نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، مس، روی و منگنز در اندام هوایی گیاه پس از هضم نمونه‌ها با کمک اسید سولفوسالیسیلیک اندازه‌گیری شد (Jones, 2001). همچنین 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 قابل استفاده گیاه با استفاده از روش اولسون با دستگاه اسپکتوفتومتر، پتاسیم قابل استفاده گیاه با دستگاه فلیم‌فتومتر و عناصر مس، روی، آهن، منگنز، سرب و کادمیم قابل استفاده گیاه توسط دستگاه جذب اتمی طبق روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد (Council on Soil Testing and Plant Analysis, 1974). نتایج دو مرحله کشت ذرت (مرحله اول پس از یک سال مصرف کودهای آلی و مرحله دوم پس از پنج سال کودهای آلی) به صورت جداگانه با نرم افزار SAS محاسبه شد و به دلیل یکنواختی واریانس خطا در دو سال تجزیه مرکب انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها با آزمون‌های دانکن و گروه‌بندی اثرات متقابل با نرم‌افزار MSTATC انجام شد.

جدول ۱. نتایج تجزیه شیمیایی نمونه مرکب خاک محل اجرای آزمایش قبل از کاشت

عمق (cm)	هدایت الکتریکی (dSm^{-1})	pH	کربن آلی (%)	مس	آهن	سرب	روی	منگنز	کادمیم	فسفر	پتاسیم
				قابل‌جذب ($mgkg^{-1}$)							
۰-۳۰	۳/۲	۷/۸	۰/۵۵	۱/۵	۶	۲	۱/۱	۹/۴	۰	۷	۳۴۰

جدول ۲. ویژگی‌های شیمیایی کود کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب مورد استفاده

ویژگی	واحد	کمپوست زباله شهری	لجن فاضلاب	غلظت مجاز استاندارد در کمپوست ISIRI **10716**	غلظت مجاز استاندارد در لجن **USEPA503**
هدایت الکتریکی	دسی زیمنس بر متر	۱۴/۳	۱۱/۶	حداکثر ۱۴	
pH	-	۷	۶/۹	۸-۶	-
C/N	-	۱۴	۱۰	۲۰-۱۰	-
کربن آلی	%	۲۲/۴	۲۶	–	–
نیتروژن	%	۱/۶	۲/۶	۱/۶۶-۱	-
فسفر	%	۰/۵	۰/۵	۳/۸ -۰/۳	-
پتاسیم	%	۰/۸	۰/۸	۱/۸-۰/۵	-
سدیم	%	۰/۶	۰/۴	-	-
کلسیم	%	۳/۵	۴/۱	-	-
منیزیم	%	۰/۶	۰/۶	-	-
آهن	$mg\ kg^{-1}$	۷۰۵۶	۷۹۴۵	-	-
منگنز	$mg\ kg^{-1}$	۲۶۱	۲۵۳	-	-
روی	$mg\ kg^{-1}$	۵۳۲	۴۷۲	۱۳۰۰	۲۸۰۰
مس	$mg\ kg^{-1}$	۲۵۸	۴۱۸	۶۵۰	۱۵۰۰
سرب	$mg\ kg^{-1}$	۱۰۴	۱۱۲	۲۰۰	۳۰۰
کادمیم	$mg\ kg^{-1}$	۶/۹	۸/۸	۱۰	۳۹

نتایج و بحث

ویژگی‌های خاک

جدول (۳) نتایج تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف کودهای کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب بر روی کربن آلی و برخی عناصر موجود در خاک، در دو مرحله مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است در مرحله اول برداشت ذرت، سطوح مختلف کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب بر ویژگی‌های شیمیایی اندازه‌گیری شده در خاک به‌جز میزان منگنز و کادمیوم قابل استفاده، تأثیر معنی‌دار داشته است. در

مرحله دوم تأثیر تیمارهای مورد مطالعه بر روی شوری، منگنز و کادمیوم قابل استفاده خاک معنی‌دار نبوده است (جدول ۳).

بر اساس اطلاعات ارائه شده در جدول (۴)، کاربرد سطوح مختلف لجن فاضلاب و کمپوست زباله شهری سبب کاهش معنی‌دار (در سطح ۵ درصد) pH خاک نسبت به تیمار شاهد، در هر دو مرحله مورد مطالعه شد. بیش‌ترین مقدار pH در تیمار شاهد (به ترتیب ۷/۸۶ و ۷/۸۰ برای مراحل اول و دوم) مشاهده شد و کمترین میزان آن مربوط به تیمار ۳۰ تن در هکتار لجن فاضلاب (به ترتیب برابر با ۷/۶۳ و ۷/۶۰ برای مراحل اول و دوم) بود. Belhaj *et al*. (2016) دلیل احتمالی این کاهش را تجزیه مواد آلی موجود در لجن، تولید مواد اسیدی و pH اولیه لجن فاضلاب دانستند. در پژوهش انجام گرفته توسط Angin *et al*. (2012) این روند به اسیدهای آلی تولید شده در فرآیند معدنی شدن در خاک نسبت داده شده است. بدین ترتیب تولید اسیدهای آلی، در طول فرآیند تجزیه بیولوژیکی از بخش آلی ممکن است به اسیدی شدن خاک کمک کند.

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مورد مطالعه بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک بعد از دو مرحله برداشت ذرت (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری)

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات (مرحله اول)										
		Ec	pH	کربن آلی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	مس	روی	آهن	منگنز	سرب	کادمیوم
بلوک	۲	۰/۱۶	۰/۰۱	۰/۰۰۶	۰/۰۰	۶/۴۵	۴۱/۶۶	۰/۳۹	۰/۵۸	۲/۴۷	۰/۷۲	۰/۳۳	۰/۰۰
تیمار	۴	۳/۱۰*	۰/۰۲*	۰/۱۲۰*	۰/۰۰*	۷۳۹/۷۲**	۲۹۳۰/۸۳**	۲۱/۵۸**	۵۲/۵۴**	۷/۲۵*	۰/۵۹^{ns}	۰/۳۵**	۰/۰۰^{ns}
اشتباه	۸	۰/۳۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰	۵/۴۵	۱۴۵/۸۳	۰/۶۳	۱/۶۲	۱/۳۱	۰/۲۹	۰/۱۲	۰/۰۰
ضریب تغییرات	---	۸/۹۶	۰/۸۹	۱۳/۴۲	۱۳/۴۰	۱۳/۳۹	۴/۰۸	۱۹/۶۴	۲۲/۷۲	۱۴/۷۷	۹/۲۸	۱۲/۵۸	۰/۵۱
		میانگین مربعات (مرحله دوم)											
بلوک	۲	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۱۰/۲۸	۱۲۵/۶۳	۰/۰۷	۰/۵۲	۰/۰۴	۰/۸۶	۰/۲۴	۰/۰۰
تیمار	۴	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۱*	۰/۰۸*	۰/۰۰*	۸۲۷/۱۹۸**	۱۳۰۱۹/۴۳**	۱۲/۲۷**	۷/۹۷**	۴/۹۶**	۰/۲^{ns}	۴/۹۸**	۰/۰۰^{ns}
اشتباه	۸	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰	۱/۲۶	۲۰۳/۱۵	۰/۱۱	۰/۴۷	۰/۱۲	۰/۳۱	۰/۱۲	۰/۰۰
ضریب تغییرات	---	۱۸/۰۶	۱/۴۷	۱۱/۸۷	۱۱/۸۷	۵/۵۹	۸/۰۱	۸/۳۸	۲۳/۴۹	۵/۴۲	۱۷/۲۹	۱۵/۰۱	۱/۲۵

**، * و ns به ترتیب معنی‌دار شدن در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار

سطوح مختلف تیمارهای مورد استفاده باعث افزایش شوری در خاک شد که این افزایش در مرحله اول در سطح پنج درصد معنی‌دار بود اما در مرحله دوم معنی‌دار نبود (جدول ۳). در مرحله اول کمترین میزان شوری در خاک نمونه شاهد اندازه‌گیری شد (۵/۷۶ dS/m). شوری ایجاد شده در خاک در تیمارهای لجن فاضلاب بیشتر از تیمارهای کمپوست زباله شهری بود. بیشترین میزان شوری خاک در تیمار ۳۰ تن در هکتار لجن فاضلاب مشاهده شد (۸/۰۳ dS/m) (جدول ۴). دلیل افزایش شوری با کاربرد تیمارهای مورد پژوهش در نتیجه شوری بالای این مواد است. وجود غلظت‌های بالای املاح و نمک‌های سدیم و پتاسیم در لجن فاضلاب و آزاد شدن این املاح در خاک، باعث بالا رفتن شوری خاک می‌شود (Rusan *et al*., 2007; Jahantigh, 2008).

سطوح مختلف کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب، میزان کربن آلی خاک را به صورت معنی‌داری (در سطح یک درصد) نسبت به خاک نمونه شاهد، افزایش دادند (جدول ۴). میزان کربن آلی در نمونه‌های لجن‌فاضلاب بالاتر از نمونه کمپوست زباله شهری بود. نیتروژن کل خاک نیز با کاربرد سطوح مختلف کودهای آلی، افزایش معنی‌دار نسبت به تیمار شاهد پیدا کرد (جدول ۴).

Vaca *et al*. (2011) گزارش نمودند با مصرف کمپوست و لجن فاضلاب در خاک، فرآیند معدنی شدن نیتروژن، افزایش پیدا می‌کند. بنابراین با افزودن مواد آلی به خاک نیتروژن آلی به تدریج به نیتروژن معدنی تبدیل شده و برای گیاه قابل استفاده می‌گردد.

میزان فسفر خاک در هر دو مرحله مورد مطالعه، با مصرف کودهای آلی افزایش معنی‌داری نشان داد. بیشترین سطوح فسفر قابل استفاده گیاه در سطح دوم لجن فاضلاب مشاهده شد (به ترتیب ۴۳ و ۴۶/۵۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک برای دوره اول و دوره دوم) (جدول ۴). بر اساس نتایج ارائه 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. علت 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 لجن‌فاضلاب به صورت تبادل لیگاندی، جذب سطحی شده و برای محل‌هایی که جذب صورت می‌گیرد با فسفر رقابت می‌کنند که در نهایت منجر به افزایش قابلیت استفاده فسفات می‌گردد. همچنین ترکیب گازکربنیک تولید شده 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 فزونی می‌یابد (Fathololomi *et al*., 2015). بر اساس جدول (۴) در هر دو دوره مورد مطالعه، با مصرف ۵۰ تن کود کمپوست در هکتار بیشترین میزان پتاسیم قابل جذب نسبت به شاهد مشاهده شد.

از نظر عناصر کم‌مصرف نیز تیمار ۳۰ تن در هکتار لجن-فاضلاب، به صورت معنی‌داری توانست مس قابل جذب در خاک را در هر دو دوره افزایش دهد. به‌طوری‌که میزان مس قابل جذب در خاک با مصرف ۳۰ تن در هکتار لجن فاضلاب در مرحله اول، از میزان ۱/۵۲ میلی‌گرم در کیلوگرم تیمار شاهد به ۶/۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و در مرحله دوم از ۱/۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم تیمار شاهد به ۸/۲۶ میلی‌گرم در کیلوگرم رسید. تیمارهای کمپوست نیز میزان مس قابل جذب در خاک را نسبت به شاهد افزایش دادند که این افزایش با بالا رفتن میزان کمپوست نسبت مستقیم داشت. پژوهشگران دیگری هم افزایش مس قابل جذب خاک را در نتیجه مصرف کمپوست و لجن فاضلاب گزارش نمودند (Moreira *et al*., 2013 و belhaj *et al*., 2016). به عقیده Moreira *et al*. (2013) قابلیت دسترسی عناصر ریزمغذی و از جمله مس تا حد زیادی به pH خاک بستگی دارد. همچنین تیمارهای مواد آلی مورد مطالعه باعث افزایش معنی‌دار (در سطح ۱ درصد) در میزان روی قابل استفاده خاک نسبت به شاهد شدند. این افزایش با بالا رفتن سطوح مصرف مواد آلی نسبت مستقیم داشت. در مرحله اول مطالعه، بیشترین میزان روی قابل استفاده خاک در تیمار ۳۰ تن لجن فاضلاب مشاهده شد (۱۱/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک). نکته جالب توجه این‌که در مرحله دوم پژوهش با وجود این‌که تیمارهای ماده آلی برای چند سال متوالی در خاک اعمال شده بودند، اما میزان روی قابل استفاده در خاک نسبت به مرحله اول تا حد زیادی کاهش یافت (جدول ۴). دلیل این امر این است که اگر چه کاربرد متوالی مواد آلی میزان روی قابل توجهی را وارد خاک می‌کند، اما این غلظت قابل توجه به فرم قابل استفاده گیاه نیست. با گذشت زمان از مصرف تیمارهای مورد مطالعه، مواد آلی با ایجاد کمپلکس با عنصر روی باعث تثبیت این عنصر شده و قابلیت دسترسی آن را برای گیاه کاهش می‌دهد (Cripps *et al*. 1992). با پایین آمدن pH خاک در نتیجه مصرف مواد آلی، بخشی از عنصر روی به فرم محلول درآمده و از فاز تبادلی خارج می‌شود (Shuman 1999). روی از جمله عناصری است که با ترکیبات آلی پیوند شده و تحرک و قابلیت دسترسی آن تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Vaca *et al*., 2011). ایجاد پیوند با گروه‌های عاملی اکسیژن‌دار در مواد آلی باعث تثبیت این عنصر در خاک می‌شود (Martinez and McBride 1999).

جدول ۴. مقایسه میانگین عناصر مورد تجزیه در خاک محل آزمایش بعد از برداشت ذرت (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری)

ویژگی‌های شیمیایی خاک بعد از برداشت ذرت (مرحله اول)

تیمار	EC_e	pH	کربن آلی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	مس	روی	آهن	سرب
	ds/m		٪	٪	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}
شاهد	۵/۷۶^{c}	۷/۸۶^{a}	۰/۶۱^{b}	۰/۰۶^{b}	۵/۰۶^{d}	۲۸۰^{b}	۱/۵۲^{d}	۰/۲۰^{c}	۴/۶۲^{c}	۱/۲۵^{c}
کمپوست ۲۵ تن	۶/۶۳^{bc}	۷/۸۶^{a}	۰/۸۶ ^{a}	۰/۰۹ ^{a}	۷/۲۶^{c}	۳۲۶^{a}	۲/۶۳^{c}	۳/۲۹^{b}	۶/۱۰^{b}	۳/۴۶^{a}
کمپوست ۵۰ تن	۶/۶۳^{c}	۷/۸۳^{a}	۰/۸۶ ^{a}	۰/۰۹ ^{a}	۹/۸۳^{c}	۳۳۱^{a}	۲/۷۷^{c}	۳/۰۹^{b}	۷/۶۴^{a}	۳/۵۳^{a}
لجن ۱۵ تن	۷/۲۳^{ab}	۷/۸۰^{a}	۰/۸۹ ^{a}	۰/۰۸ ^{a}	۲۲/۰۰^{b}	۲۶۸^{b}	۴/۵۶^{b}	۴/۸۶^{b}	۶/۷۲^{b}	۲/۴۰^{b}
لجن ۳۰ تن	۸/۰۳^{a}	۷/۶۳^{b}	۱/۰۱^{a}	۰/۱۰^{a}	۴۳/۰۰^{a}	۲۷۰^{b}	۶/۹۰^{a}	۱۱/۶^{a}	۷/۷۳^{a}	۲/۶۶^{b}

ویژگی‌های شیمیایی خاک بعد از برداشت ذرت (مرحله دوم)

تیمار	pH	کربن آلی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	مس	روی	آهن	سرب
		٪	٪	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}
شاهد	۷/۸۰^{a}	۰/۶۵^{b}	۰/۰۶^{b}	۵/۳۰^{e}	۲۶۶^{c}	۱/۶۰^{d}	۰/۳۳^{c}	۵/۶۰^{c}	۱/۰۶^{d}
کمپوست ۲۵ تن	۷/۶۶^{b}	۰/۸۲^{ab}	۰/۰۸^{ab}	۹/۴۰^{d}	۳۳۱^{b}	۲/۸۰^{c}	۳/۰۹^{b}	۷/۸۶^{ab}	۳/۷۲^{b}
کمپوست ۵۰ تن	۷/۶۰^{b}	۰/۹۷^{a}	۰/۱۰^{a}	۱۳/۶۳^{c}	۳۷۹^{a}	۴/۰۷^{b}	۴/۶۷ ^{a}	۸/۰۶^{ab}	۴/۵۱^{a}
لجن ۱۵ تن	۷/۶۶^{b}	۰/۸۵^{ab}	۰/۰۹^{ab}	۲۵/۴۰^{b}	۲۲۹^{c}	۵/۰۴^{b}	۲/۷۸^{b}	۷/۳۳^{bc}	۲/۷۷^{c}
لجن ۳۰ تن	۷/۶۳^{b}	۱/۰۷^{a}	۰/۱۱^{a}	۴۶/۵۶^{a}	۲۲۹^{c}	۸/۲۶^{a}	۳/۸۲^{ab}	۹/۹۳^{a}	۲/۸۶^{c}

اعدادی که در هر ستون حداقل یک حرف مشترک دارند از لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشند.

کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب میزان آهن قابل استفاده خاک را به صورت معنی‌دار (در سطح ۱ درصد) نسبت به شاهد افزایش دادند (جدول ۴). بیشترین میزان آهن قابل استفاده خاک در مرحله اول در سطوح ۵۰ تن کمپوست و در هر دو مرحله در تیمار ۳۰ تن لجن مشاهده شد. با مصرف مواد آلی در خاک، به خصوص در سطوح بالاتر آن، pH خاک کاهش یافته و این امر باعث افزایش میزان آهن قابل جذب در خاک شده است. در پژوهش انجام گرفته توسط Shakarami *et al.* (2015) نتایج مشابهی به دست آمد. همچنین میزان سرب قابل جذب در خاک در اثر کاربرد تیمارهای مورد مطالعه، به صورت معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۴). بیشترین افزایش در میزان سرب قابل جذب خاک در تیمار کمپوست ۵۰ تن مشاهده گردید. کود لجن فاضلاب در مجموع مقدار سرب کمتری نسبت به کودکمپوست به خاک وارد کرد. دلیل این افزایش علاوه بر سرب موجود در این منابع، کاهش pH خاک در نتیجه مصرف این کودهای آلی در خاک است که قابلیت جذب سرب در خاک را افزایش می‌دهد (Belhaj *et al.*, 2016).

ویژگی‌های گیاه

تغییرات غلظت عناصر غذایی در اندام هوایی ذرت

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد سطوح مختلف کمپوست زباله‌شهری و لجن فاضلاب تأثیر معنی‌داری بر میزان عناصر غذایی پرنیاز و کم‌نیاز موجود در اندام هوایی گیاه، به جز مس در مرحله اول مطالعه و منگنز در مرحله دوم، داشته است (جدول ۵).

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مورد مطالعه بر عملکرد و غلظت عناصر اندازه‌گیری‌شده در اندام هوایی گیاه ذرت

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات (مرحله اول)							
		نیتروژن	فسفر	پتاسیم	مس	روی	آهن	منگنز	عملکرد
بلوک	۲	۰/۰۰۹	۰/۰۰	۰/۰۲۴	۰/۲۶	۱۲/۰۶	۳۹۳۴/۷۸	۲۵۹/۰۹	۲/۲۲
تیمار	۴	۰/۲۶**	۰/۰۰۱**	۰/۱۵*	۰/۲۶^{ns}	۱۴۵۸/۲۳**	۸۶۰۵/۳۳**	۴۷۸۵/۷**	۱۵/۷۲**
اشتباه	۸	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰	۰/۱۷	۰/۲۶	۲۲/۴۸	۶۲۲	۲۸/۰۰۸	۶/۹۳
ضریب تغییرات	---	۳/۵۸	۱۱/۴۶	۷/۲۶	۸/۴۱	۹/۳۰	۸/۰۳	۱۳/۹۶	۶/۹۰
		میانگین مربعات (مرحله دوم)							
بلوک	۲	۰/۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۳	۱/۰۲	۲۱۰/۰۲	۱۷۹۸/۵۲	۱۴۵/۱۳	۳/۸۵
تیمار	۴	۰/۲۳*	۰/۰۰۲*	۰/۰۳*	۱۷/۹۳*	۱۳۴۴/۱۵*	۱۶۲۲/۷۷*	۴۷۲/۷۷^{ns}	۷۶/۰۲*
اشتباه	۸	۰/۰۵۲	۰/۰۰۰	۰/۰۱۵	۲/۷	۲/۷	۲۲۴	۳۹۹/۳۳	۶/۳۴
ضریب تغییرات	---	۷/۰۳	۱۳/۱۳	۸/۰۰	۱۲/۳۶	۱۳/۶۱	۸/۸۹	۱۶/۷۸	۳/۷۹

** ، * و ns به ترتیب معنی‌دار شدن در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار

از نظر عناصر غذایی پرنیاز، مصرف کودهای آلی در هر دو مرحله مورد مطالعه، نیتروژن کل اندام هوایی در گیاه ذرت را به صورت معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش داد. بیشترین میزان نیتروژن کل در اندام هوایی ذرت در مرحله اول در تیمار ۵۰ تن کمپوست (۲/۱۹ درصد) و در مرحله دوم در تیمارهای ۳۰ تن لجن فاضلاب و ۵۰ تن کمپوست اندازه‌گیری شد (۲/۴۲ درصد) (شکل ۱-الف). Saadat *et al.* (2012) به نتایج مشابهی در ارتباط با مصرف لجن فاضلاب رسیدند. همچنین بر اساس جدول (۵) عرضه کودهای آلی کمپوست زباله‌شهری و لجن‌فاضلاب باعث ایجاد تفاوت معنی‌دار با شاهد از نظر فسفر اندام هوایی شد. در این پژوهش تیمارهای کمپوست زباله بیشتر از تیمارهای لجن فاضلاب، فسفر موجود در گیاه را افزایش دادند. بیشترین مقادیر فسفر گیاه در تیمار ۵۰ تن کمپوست مشاهده شد که به ترتیب برابر با ۰/۱۴ و ۰/۲۰ درصد در مرحله اول و دوم مطالعه بود (شکل ۱-ب). Tamrabet *et al.* (2009) بیان نمودند که کاربرد لجن فاضلاب می‌تواند بخش زیادی از فسفر مورد نیاز 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 در نتیجه مصرف کمپوست لجن فاضلاب و پسماند شهری رسیدند. میزان پتاسیم اندام هوایی گیاه، در مرحله اول مطالعه با مصرف ۵۰ تن در هکتار کمپوست زباله‌شهری به صورت معنی‌داری افزایش یافت. در مرحله دوم مطالعه نیز تیمارهای کودی باعث افزایش معنی-دار پتاسیم گیاه نسبت به شاهد شد اما بین دو نوع ماده آلی مورد استفاده و سطوح مختلف آن‌ها تفاوت معنی‌داری از این

نظر مشاهده نشد (شکل ۱-ج). Saadat *et al.* (2012) نیز در پژوهش خود گزارش نمودند که کاربرد لجن تأثیری بر غلظت پتاسیم اندام هوایی ذرت نداشت.

از نظر عناصر غذایی کم‌نیاز نیز بالاترین جذب آهن در دوره اول، در تیمار ۳۰ تن در هکتار لجن و در دوره دوم بیشترین میزان آهن در اندام هوایی ذرت در تیمار ۵۰ تن در هکتار کمپوست بود که از این نظر با تیمار ۳۰ تن در هکتار لجن‌فاضلاب اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۱-د). Nazari *et al.* (2006) نیز افزایش غلظت آهن شاخساره گیاهان گندم، جو و ذرت را با مصرف لجن فاضلاب در خاک گزارش نمودند. با مصرف کودهای آلی در خاک و افزایش سطح مصرف آن، از یک طرف pH خاک کاهش یافته و از طرف دیگر مقدار ترکیب‌های کلات کننده آهن و سایر عناصر غذایی کم‌نیاز افزایش یافته و موجب افزایش زیست‌فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و جذب آن‌ها به وسیله گیاه شده در نتیجه رشد گیاه افزایش می‌یابد (Najafi *et al.*, 2013).

مقایسه میانگین‌های غلظت روی در اندام هوایی گیاه ذرت نیز نشان داد که مصرف کودهای آلی توانسته است میزان این عنصر را در اندام هوایی گیاه نسبت به شاهد افزایش دهد. این میزان افزایش در مرحله اول برای تیمارهای ۵۰ و ۲۵ تن در هکتار کمپوست و نیز تیمار ۳۰ تن در هکتار لجن فاضلاب معنی‌دار بوده است (شکل ۱-و). 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 به ویژه لجن فاضلاب کاهش می‌یابد و تشکیل کلات روی به‌وسیله ترکیب‌های آلی اضافه می‌شود که دو فرایند در افزایش فراهمی روی مؤثر می‌باشند. مواد آلی کوتاه زنجیر از طریق پیوند یافتن با روی، تحرک و حل‌پذیری روی در خاک و فراهمی آن را برای گیاه افزایش می‌دهد (Marschner, 1995; Vaseghi *et al.*, 2005). تیمارهای کودی مورد پژوهش در مرحله اول، تأثیر معنی‌داری در میزان مس جذب شده توسط گیاه نداشتند. میزان جذب مس در اندام هوایی گیاه ذرت در مرحله دوم مطالعه، با کاربرد سطوح ۳۰ و ۱۵ تن در هکتار کود آلی لجن فاضلاب و تیمار ۵۰ تن در هکتار کمپوست به صورت معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد (شکل ۱-ز). در پژوهش انجام گرفته توسط Vaseghi *et al.* (2005)، کاربرد مواد آلی در خاک تأثیری بر روی عنصر مس موجود در بافت‌های گیاهی نداشت. همچنین در مرحله اول پژوهش تنها تیمار ۵۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری باعث افزایش معنی‌دار منگنز اندام هوایی گیاه شد و هیچ‌گونه تفاوت معنی‌داری بین سایر تیمارهای کودی و شاهد برای جذب منگنز در اندام هوایی گیاه مشاهده نشد (شکل ۱-ه). در مرحله دوم نیز تیمارها تأثیر معنی‌داری بر جذب منگنز توسط گیاه نداشتند.

عملکرد گیاه ذرت

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تأثیر تیمارهای مختلف بر افزایش عملکرد وزن اندام هوایی ذرت در هر دو مرحله مطالعه معنی‌دار بوده است (جدول ۵). کمترین میزان عملکرد گیاه در تیمار شاهد مشاهده شد که به ترتیب برای مراحل اول و دوم مطالعه برابر با ۲۵/۶۴ و ۳۸ تن در هکتار بود. در مرحله اول بیشترین عملکرد در تیمار ۵۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری مشاهده شد (۴۵/۰۹ تن در هکتار) که با تیمار ۳۰ تن در هکتار لجن فاضلاب (۳۹/۸ تن در هکتار) از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نداشت. در مرحله دوم بیشترین عملکرد گیاه در تیمار ۵۰ تن در هکتار کمپوست اندازه‌گیری شد (۶۹/۷۷ تن در هکتار) که با تیمارهای ۲۵ تن در هکتار کمپوست و ۱۵ تن در هکتار لجن‌فاضلاب اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۱-ح). سایر تیمارهای ماده آلی در افزایش عملکرد گیاه اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. Rezvantalab *et al.* (2013) نیز در پژوهشی با مصرف دو سال لجن فاضلاب در خاک، تقریباً به نتایج مشابهی دست یافتند. در پژوهش انجام گرفته توسط این پژوهشگران، غلظت همه عناصر ریزمغذی به جز مس با مصرف دو سال لجن فاضلاب به صورت معنی‌داری افزایش پیدا کرده بود.

لازم به ذکر است در این پژوهش، غلظت سرب و کادمیم در اندام هوایی گیاه ذرت در تیمارهای مختلف، در هر دو مرحله، به حدی پایین بود که با دستگاه جذب اتمی قابل‌اندازه‌گیری نبود.

تأثیر مدت زمان مصرف کودهای آلی بر گیاه

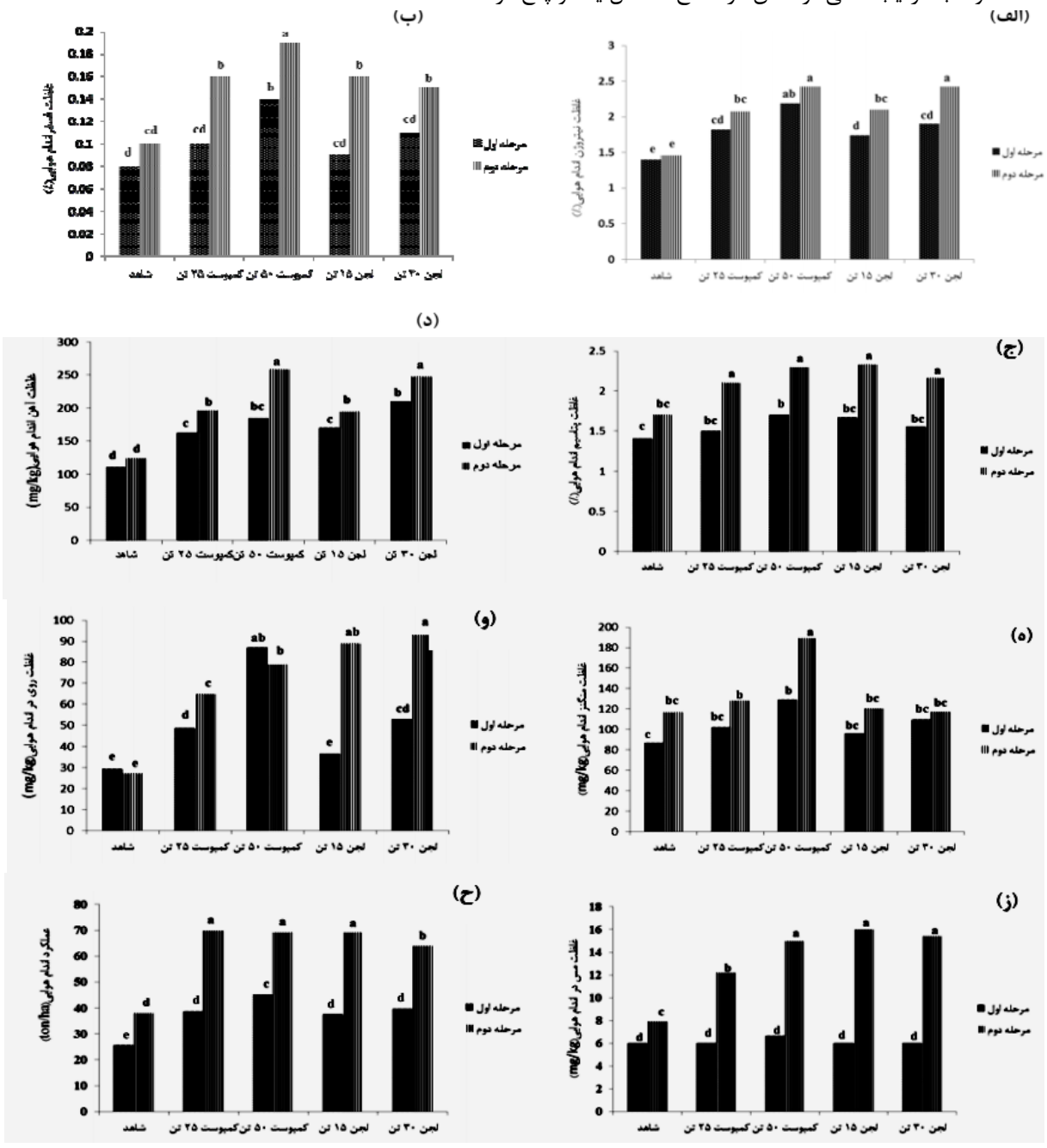
بررسی نتایج تجزیه واریانس نشان داد که مدت زمان مصرف کودهای آلی (مصرف یک‌ساله و پنج‌ساله تیمارهای آلی) در خاک تأثیر معنی‌داری بر غلظت عناصر اندازه‌گیری‌شده در گیاه (به جز منگنز) و همچنین عملکرد گیاه داشته است (جدول ۶). در مورد عنصر منگنز تنها تأثیر متقابل سال در تیمار در حد ۵ درصد معنی‌دار شده است.

مقایسه میانگین‌های عملکرد و میزان عناصر اندازه‌گیری‌شده در اندام هوایی ذرت تحت تأثیر مدت زمان مصرف کودهای آلی (پس از یک و پنج سال مصرف)، در شکل (۱) مشخص شده است. همان‌طور که مشخص است عناصر اندازه‌گیری‌شده در گیاه، در اکثر موارد در مرحله دوم پژوهش (پنج سال مصرف کودهای آلی) نسبت به مرحله اول (یک سال مصرف کودهای آلی)، افزایش معنی‌دار داشته است.

جدول ۶. تجزیه واریانس تأثیر مدت زمان مصرف کودهای آلی بر عملکرد و غلظت عناصر اندازه‌گیری‌شده در گیاه

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات (مرحله اول)							
		نیتروژن	فسفر	پتاسیم	مس	روی	آهن	منگنز	عملکرد
سال	۱	۰/۵۲**	۰/۰۲**	۲/۴۰ **	۳۳۳/۴۳**	۲۳۴۴/۳۲**	۴۴۰۹/۳۴**	۸۹/۷۵^{ns}	۵۳۰۷/۹۷**
اشتباه الف	۵/۷۹	۰/۱۲	۰/۰۰	۰/۰۴	۹/۰۴	۸۸۱/۸۸	۴۰۹۲/۱۴	۱۸۹۵/۴۴	۱۷/۱۱
تکرار در سال	۴	۰/۰۴^{ns}	۰/۰۰^{ns}	۰/۰۲^{ns}	۰/۶۴^{ns}	۲۵۳/۵۷^{ns}	۲۸۳۱/۶۵*	۲۵۳/۵۷^{ns}	۴/۰۴^{ns}
سال× تیمار	۴	۰/۰۹*	۰/۰۰^{ns}	۰/۰۳^{ns}	۱۰/۱۳**	۸۳۷/۸۶**	۳۱۸۵/۰۲*	۱۹۳۶/۲۹*	۱۶۵/۳۳**
اشتباه ب	۲	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۲	۱/۰۹	۴۱/۶۳	۱۹۱/۴۸	۶۰/۲۰۹	۶/۶۵
تیمار	۴	۰/۶۳**	۰/۰۱**	۰/۱۶*	۰/۰۶*	۱۹۹۱/۵۲**	۷۳۸۸/۸۲**	۳۰۰۲/۲۳**	۲۰/۱۰*
اشتباه ج	۸	۰/۰۹	۰/۰۰	۰/۰۳	۱۰/۱۳	۸۳۷/۸۶	۳۱۸۵/۰۲	۱۹۳۶/۲۹	۲۰/۱۰
ضریب تغییرات	---	۶/۴۶	۱۰/۶۰	۷/۶۳	۱۱/۳۵	۱۰/۹۶	۸/۳۴	۱۱/۹۰	۴/۹۳

** و * به ترتیب معنی‌دار شدن در سطح احتمال یک و پنج درصد.



شکل ۱. میزان اندازه‌گیری‌شده عناصر نیتروژن (الف)، فسفر (ب)، پتاسیم (ج)، آهن (د)، منگنز (ه)، روی (و) و مس (ز) در اندام هوایی گیاه ذرت و عملکرد وزن خشک اندام هوایی (ح) در مرحله اول (پس از یک سال مصرف کودهای آلی) و مرحله دوم (پس از پنج سال مصرف کودهای آلی)

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش کاربرد کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب در خاک سبب افزایش ماده آلی خاک شد. از سوی دیگر غلظت عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در خاک از جمله فسفر، پتاسیم، روی، مس، منگنز و آهن قابل استفاده افزایش پیدا کرد. افزودن سطوح مختلف کودهای آلی تأثیر معنی‌داری بر غلظت کادمیوم قابل جذب گیاه در خاک نداشت. میزان سرب قابل جذب با مصرف کودهای آلی مورد نظر، به ویژه در تیمار ۵۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری، به صورت معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد افزایش پیدا کرد.

هم‌چنین مصرف سطوح مختلف کودهای آلی باعث افزایش معنی‌دار در عناصر غذایی موجود در اندام هوایی گیاه ذرت شامل نیتروژن، فسفر و پتاسیم و همچنین عناصر ریزمغذی آهن، روی، مس و منگنز شد. بیشترین میزان عناصر غذایی اندازه‌گیری‌شده در اندام هوایی گیاه ذرت در تیمار ۵۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری مشاهده شد که در اغلب موارد تفاوت معنی‌داری با تیمار ۳۰ تن در هکتار لجن فاضلاب نداشت. غلظت عناصر غذایی اندازه‌گیری‌شده در اندام هوایی گیاه ذرت پس از پنج سال مصرف متوالی کودهای آلی به صورت معنی‌داری نسبت به مرحله اول پژوهش (پس از یک سال مصرف کودهای آلی) افزایش پیدا کرد. مقادیر عناصر غذایی اندازه‌گیری‌شده در اندام هوایی در هیچ موردی از محدوده بهینه تعریف شده برای گیاه ذرت (Jones *et al*., 1991) افزایش پیدا نکرده بود. عملکرد گیاه با مصرف کودهای آلی به ویژه در تیمار ۵۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری، به صورت معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد افزایش پیدا کرد. همچنین مصرف پنج سال کودهای آلی باعث افزایش قابل توجهی در عملکرد گیاه نسبت به مرحله اول شد.

غلظت سرب و کادمیم علوفه ذرت در تیمارهای مختلف به حدی کم بود که با دستگاه جذب اتمی قابل اندازه‌گیری نبود که یکی دیگر از ویژگی‌های مثبت کودهای آلی مصرف شده در این مطالعه بوده است.

در نهایت باید گفت که کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب با افزایش ماده آلی در خاک و نیز افزایش عملکرد و غلظت عناصر غذایی در گیاه به ویژه از لحاظ عناصر ریزمغذی از جمله روی و آهن، می‌تواند به عنوان مواد اصلاحی خوب در کشت ذرت مورد استفاده قرار گیرد. توصیه می‌شود در پژوهش-های بعدی علاوه بر مقادیر قابل‌جذب عناصر غذایی در خاک، مقادیر کل این عناصر به ویژه عناصر ریزمغذی و نیز عناصر سنگین سرب و کادمیوم در نتیجه کاربرد چندین ساله این‌گونه مواد آلی مورد بررسی قرار گیرد.

REFERENCES

Afyuni, M., Rezainejad, Y. and Khayambashi, B. (1998). Effect of Sewage Sludge on Yield and Heavy Metal Uptake of Lettuce and Spinach. *Journal Of Science And Technology Of Agriculture And Natural Resources*, 2(1), 19-30. (In Farsi)

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. 121 Pages. (In Farsi)

Al Zoubi, M.M., Arsalan, A., Abdegawad, G.N., Pejon, N., Tabbaa, M., and Jouzdan, O. (2008). The effect of sewage sludge on productivity of a crop rotation of wheat, maize and vetch and heavy metals accumulation in soil and plant Aleppo governorate. Amer.-Euras. Journal of Agriculture and Environmental Sciences, 3(4), 618-625.

Angin, I., Aslantas, R., Kose, M., Karakurt, H. and Ozkan, G. (2012). Changes in chemical properties of soil and sour cherry as a result of sewage sludge application. *Horticultural Science*, 39(2), 61–66.

Angin, I. and Yaganoglu, V. (2011). Effects of sewage sludge application on some physical and chemical properties of a soil affected by wind erosion. *Journal* of *Agricultural Science* and *Technology*, 13, 757-768.

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.

Beigi, R. O. and Hejazi, M. (2004). Essential oil and composition of satureja hotrtensis of two different region. *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*, DOI 10.1007/s11356-016-7193-0

Casado-vela, J., Selles, S., Dias-Crespo, C., Navarro-Pedreno, J., Mataix-Beneyto, J. and Grmez, I. (2007). Effect of composted sewage sludge application to soil on sweet pepper crop

(capsicum annuum var. annuum) grown under two explotation regimes. *Waste Management*, 27, 1509-1518.

Council on Soil Testing and Plant Analysis. Handbook on reference methods for soil testing. Council on Soil Testing and Plant Analysis, 1974. 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.

Cripps, W., Winfree, S. K. and Reagan, J. L. (1992). Effects of sewage sludge application method on corn production. *Soil Science and Plant Analysis*, 23, 1705-1715.

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.

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.

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.

Hashemimajd, K. (2010). Production of compost and verrmicompost from organic waste. Ayizh Publication, 192p. (In Farsi).

He, X., Logan, T. and Traina, S. (1995). Physical and chemical characteristics of selected U.S. municipal solid waste composts. *Journal of Environmental Quality*, 24, 543–552.

Heaf, C., Weipu, X., Junliung, L., Qinggian, Z., Yanging, H. and Gang, C. (2007). Application of Composted Sewage Sludge (CSS) as a soil amendment for Turfgrass Growth. African Journal of *Biotechnology*, 29: 96-104.

Hojjati, S., Nourbakhsh, F. and Khavazi, K. (2006). Microbial biomass index, enzyme activities and corn yield in a soil amended with sewage sludge. *Journal of Soil and Water Science*. 20(1), 84-93. (In Farsi)

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.

Jones, J. B. (2001). Laboratory guide for conduction soil tests and plant analysis. CRC Press, 256p.

Jones, J. B., Wolf, B. and Mills, H. A. (1991). Plant analysis handbook: a practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide. Micro-Macro Pubishing, Inc, 213 pages.

Maftoun, M., Moshiri, F., Karimian, N. and Ronaghi A. (2004). Effects of two organic wastes in combination with phosphorus on growth and chemical composition of spinach and soil properties. *Journal of Plant Nutrition*, 27, 1635-165.

Malakouti, M. J. and M, Homaei. 1994. Soil fertility in arid areas. Tarbiat Modarres University Press. 494 pp. (in Farsi).

Marjovvi, A. R. and Jahadakbar M. R. (2011). Effect of municipal compost and sewage sludge on soil chemical characteristics, quality and quantity of sugar beet in Rudasht-Esfahan. *Journal of Sugar Beet*, 27(1), 67-83. (In Farsi).

Marschner, H. (1995). Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. New York. 890 Pages.

Mirzaei, R., Kambozia, J., Sabahi, H. and Mahdavi, A. (2009). Effect of different organic fertilizers on soil physicochemical properties, production and biomass yield of tomato (Lycopersicon esculentum). Iran. *Journal of* Crops Research, *7(1), 257-267.*

Montemurro, F., Maiorana, M., Convertini, G. 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.

Muchuweti, M., Birkett, J. W., Chinyanga, E., Zvauya, R., Scrimshaw, M. D. and Lester, J. N. (2006) Heavy metal content of vegetables irrigated with mixtures of wastewater and sewage sludge in Zimbabwe: implications for human health. Agriculture, Ecosystems *and* Environment, 112:41–48

Nair, J., Sekiozoic, V. and Anda, M. (2006). Effect of pre-composting on vermicomposting of kitchen waste. Bioresource Technology, 97, 2091-2095.

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, Ferdowsi University of Mashhad*, 26(3), 619-636. (In Farsi).

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.

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 dry matter yield of wheat, barley and corn. *Journal* Of *Science And Technology Of Agriculture And Natural Resources*, 10(3), 97-111. (In Farsi).

Perucci, P. (1990). Effect of the addition of municipal soild-waste compost on microbial biomass and enzyme activities in soil. *Biology and Fertility of Soils*, 10, 221–226.

Rezvantalab, N., Pirdashti, H., Bahmanyar, M. A. and Abbasian, A. (2013). Investigating the effect of sewage sludge and mineral fertilizers on the concentration of certain elements in leaf and corn grain. *Iranian Journal of Plant Ecophysiology*, 32 (4), 21-30.

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 Farsi).

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 Farsi).

Shanmugam, G.S. (2005). Soil and plant response of organic amendments on strawberry and half-high blueberry cultivars. Master's Thesis. Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, Canada.

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

Singh, R.P., and Agrawal, M. (2010). Variations in heavy metal accumulation, growth and yield of rice plants grown at different sewage sludge amendment rates. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 73, 632-641.

Song, U., and Lee, E. J. (2010). Environmental and economical assessment of sewage sludge compost application on soil and plants in a landfill. *Resources, Conservation and Recycling*, 54, 1109-1116.

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.

Sumner, M.E. (2000) Beneficial use of effluents, wastes, and biosolids. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 31, 1701–1715.

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

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 Farsi).

Walter, I., Martinez, F. and Cuevas, G. (2006). Plant and soil responses to the application of composted MSW in a degraded, semiarid shrubland in central Spain. *Compost Science and Utilization*, 14 (2), 147–154.

Yongjie, W. and Yangsheng, L. (2005). Effects of sewage sludge compost application on crops and cropland in a 3-year field study. Chemosphere, 59, 1257-1265.

Zhang, M., Heaney, D., Henriquez, B., Solberg, E. and Bittner, E. (2006). A fouryear study on influence of biosolids/MSW cocompost application in less productive soils in Alberta: nutrient dynamics. *Compost Science and Utilization*. 14 (1), 68–80.

Zheljazkov, V., Astatkie, T., Caldwell, C.D., MacLeod, J. and Grimmett, M. (2006). Compost, manure, and gypsum application to timothy/red clover forage. *Journal of Environmental Quality*, 35, 2410–2418.