

تأثیر مواد بهساز آلی بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک‌های مختلف

لیلا نظمی^{1*} و کاظم هاشمی‌مجد

دکتری خاکشناسی، دانشگاه دولتی کشاورزی ایروان، ارمنستان؛ Leilanazmi2011@yahoo.com

عضو هیأت علمی دانشگاه محقق اردبیلی؛ Hashemimajd@yahoo.com

چکیده

با توجه به ویژگی‌های مواد آلی مختلف پیش‌بینی می‌شود که افزودن آنها به خاک تأثیرات متفاوتی بر ویژگی‌های خاک داشته باشد. به منظور بررسی تأثیر انواع مختلف مواد آلی بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک و تأمین عناصر غذایی، آزمایشی به صورت طرح کاملاً تصادفی در قالب فاکتوریل در سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل خاک (دو خاک با بافت‌های مختلف: لوم سیلتی و رسی)، نوع (کود دامی، کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب) و مقدار کمپوست (0، 75، 150 و 300 متر مکعب در هکتار معادل 0، 350، 175 و 700 سانتی متر مکعب در هر گلدان با حجم 7 لیتر) بودند. نمونه‌های خاک پس از هوا خشک شدن با الک 2 میلی‌متری سرنده شده و با تیمارهای مواد آلی مخلوط و در گلدان‌های 7 لیتری ریخته شد. ویژگی‌های شیمیایی نمونه‌های خاک شامل pH، هدایت الکتریکی (EC)، درصد کربن آلی، نیتروژن کل خاک و فسفر و پتاسیم قابل استفاده خاک اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که تغییرات در خصوصیات شیمیایی خاک با مقدار مصرف کمپوست‌ها متناسب بود. میزان پتاسیم و فسفر قابل استفاده خاک در گلدان‌های حاوی بالاترین سطح اختلاط کود دامی حداکثر بود. نیتروژن کل خاک، EC و کربن آلی در تیمار لجن فاضلاب با بالاترین سطح اختلاط و pH در گلدان‌های حاوی تیمار کمپوست زباله شهری بیش از سایر تیمارها بود. اثرات مثبت کاربرد مواد آلی بر خصوصیات شیمیایی خاک در خاک لوم سیلتی بیشتر از خاک رسی بود.

واژه‌های کلیدی: کود دامی، کمپوست زباله شهری، لجن فاضلاب، عناصر پرمصرف

مقدمه

ترکیبات آلی نظیر کودهای حیوانی و لجن فاضلاب عامل مدیریتی مهم و مؤثر بر کیفیت خاک و بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و باروری خاک به حساب می‌آید (اسمیت 2002). ویژگی‌هایی مانند عمق خاک، ظرفیت نگهداری آب خاک، محتوی مواد آلی، واکنش خاک، قابلیت هدایت الکتریکی، چگالی ظاهری، ظرفیت تبادل کاتیونی، درصد اشیاع بازی، تخلخل و پایداری خاکدانه‌ها با اضافه کردن کمپوست رسیده به خاک بهبود می‌یابند (میز و همکاران 1973، هرناندو و همکاران 1989). منابع تأمین کودهای آلی در ایران دارای تنوع زیادی است که شامل کودهای حیوانی، کودهای گیاهی و انواع

اگرچه استفاده از کودهای شیمیایی ظاهراً سریع‌ترین و مطمئن‌ترین راه برای تأمین حاصلخیزی خاک به شمار می‌رود، لیکن هزینه‌های زیاد مصرف این کودها، آلودگی و تخریب محیط زیست و خاک نگران کننده است. استفاده از کودهای آلی از مصرف کودهای شیمیایی می‌کاهد و در نهایت، دستیابی به کشاورزی پایدار را هموار کرده و باعث افزایش تولید محصولات زراعی و باغی، بهبود کیفیت آنها و نیز برطرف کردن نیازهای جهانی و تقاضای روزافزون غذا می‌گردد (روبین و همکاران 2001). علاوه بر این، با توجه به کمبود مواد آلی در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک، کاربرد

¹ نویسنده مسئول، آدرس: اردبیل، خیابان امام خمینی، ایستگاه سرعین، کوچه بهار دوم، پلاک 26 کد پستی 56196-63163

* دریافت: 90/9/19 و پذیرش: 91/12/9

آنتونیادیز و همکاران (2007) گزارش کردند که در مقادیر بالای لجن فاضلاب به کار گرفته شده و در هفته شانزدهم بعد از افزودن لجن، کاهش pH و افزایش عناصر سنگین به طور همزمان در گیاه علف چاودار مشاهده می‌شود. انجین و یاگان اوقلو (2011) مؤثرترین مقدار لجن فاضلاب مصرفی را 120 تن در هکتار که بالاترین سطح اختلاط در این مطالعه بود گزارش کردند. در مقابل، میرزا شاهی و سعادت (1389) نشان داد که میزان افزایش مواد آلی خاک با مقادیر مختلف مواد آلی مصرفی غیر معنی‌دار است. تأثیرات مواد آلی ذکر شده بسته به نوع خاک مورد آزمایش نیز می‌تواند متفاوت باشد، چنانچه در مطالعه برتونسینی و همکاران (2007) که بر روی دو خاک اکسی سول در برزیل انجام شد تأثیر لجن بر روی خصوصیات خاک شامل افزایش pH، کربن، ازت، فسفر، کلسیم و CEC در خاک شنی بیشتر از خاک رسی بود. با عنایت به اینکه در مورد مقایسه تأثیر مواد آلی مختلف و سطوح آن‌ها بر خواص خاک‌های متفاوت، تحقیقات کافی در کشور موجود نمی‌باشد این پژوهش جهت بررسی و مقایسه تأثیر نوع و درصد اختلاط کودهای آلی مختلف بر ویژگی‌های شیمیایی دو نوع خاک لوم سیلتی و رسی اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

برای تهیه نمونه‌های خاک از خاک‌های اطراف شهر رشت (مزرعه تحقیقاتی و جنب آزمایشگاه دانشگاه گیلان) که متعلق به تحت رده Udalf بود نمونه اولیه تهیه و بافت خاک به روش هیدرومتری تعیین شد. سپس دو نوع خاک با بافت‌های لوم سیلتی و رسی انتخاب و مقدار کافی خاک از عمق 0-30 سانتی‌متری برداشته و به گلخانه جهت اجرای طرح منتقل گردید. کمپوست زباله شهری پایدار (فاقد بو) از کارخانه کمپوست زباله شهری رشت، لجن خشک فاضلاب هضم شده از تصفیه‌خانه فاضلاب شهری تبریز و کود گاوی کاملاً پوسیده از گاوداری‌های اطراف شهراردبیل تهیه شد. نمونه‌های مرکب از لجن، زباله و کود دامی برای تعیین ویژگی‌های شیمیایی آن‌ها تهیه و در دامی 65 درجه سانتیگراد خشک شده و ویژگی‌های شیمیایی آن شامل pH (با دستگاه pH متر) و EC (با دستگاه هدایت سنج) در عصاره 1:2/5 وزنی/وزنی کمپوست و آب مقطر، کربن آلی (با روش والکلی بلک)، ازت (با روش کجلدال با دستگاه اتوماتیک)، فسفر و پتاسیم کل در عصاره حاصل از روش خاکستر کردن خشک و عصاره‌گیری با HCl دو نرمال به ترتیب با روش رنگ سنجی با دستگاه اسپکتروفتومتر و شعله سنجی با دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری شد (اسپارکز 1996).

کمپوست‌ها من جمله کمپوست‌های زباله شهری و لجن فاضلاب می‌باشد. لجن فاضلاب و کمپوست زباله شهری به دلیل اینکه حاوی مواد آلی و مقادیری از عناصر پر مصرف و کم مصرف گیاهی است به عنوان کود در اراضی کشاورزی استفاده می‌شوند. ارزش کودی پسماندهای مواد آلی مانند کودهای حیوانی، کمپوست و لجن فاضلاب در تحقیقات متعدد در کشورهای مختلف نشان داده شده است (کینگ 1981؛ مک کسلاین و اکنر 1982). کمپوست زباله از طریق افزایش عناصر غذایی خاک، ظرفیت نگهداری آب، درصد مواد آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی و نیز فراهم کردن انواع مختلف عناصر میکرو باعث افزایش کیفیت خاک و محصولات زراعی می‌شود (چریف و همکاران 2009؛ میلاوارپو و زینتی 2009). لجن فاضلاب نیز به دلیل داشتن مقادیر بالای مواد آلی و عناصر غذایی گیاهی یک ماده مؤثر برای بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک توصیه می‌گردد (روبر و همکاران 2007). در بررسی تأثیر لجن خشک شده بر روی خواص خاک آلفی سول در کشت ذرت و مقایسه تأثیر آن با دو نوع کود شامل کود شیمیایی (اوره و دی آمونیوم فسفات مخلوط شده با KCl) و کود گاوی، گاوالدا و همکاران (2005) به این نتیجه رسیدند که لجن خشک شده منبع خوبی برای عنصر فسفر در خاک و نیز عناصر فسفر و ازت در گیاه ذرت بوده که دلیل بازده بالای ازت، رطوبت کافی لجن (9/5%) برای نگهداری آمونیوم می‌باشد. در مقابل، لجن خشک شده ازت کافی برای خاک تأمین نمی‌کند که نشانگر عدم وجود مشکل آلودگی و آیشویی ازت در خاک‌هایی که به آنها لجن فاضلاب اضافه شده می‌باشد. جاگدیو و همکاران (1997) نشان دادند که فسفر محلول در آب، نیتروژن کل خاک و نسبت C/N در تیمارهای مربوط به کمپوست زباله شهری افزایش بیشتری نسبت به تیمار کود گاوی داشته است. در تحقیقی مشابه رسولی و مفتون (1389) گزارش کردند که تأثیر باقیمانده کود دامی در رشد و ترکیب شیمیایی و خصوصیات خاک بیش از کمپوست زباله شهری می‌باشد. ابوزهرا و تهوب (2008) نیز اعلام کرد که پتاسیم قابل جذب در تیمارهای حاوی کود دامی به صورت چشمگیری بالا می‌باشد. علاوه بر نوع مواد آلی به کار گرفته شده در خاک، سطوح مصرفی نیز در تعیین شاخص‌های کیفی خاک من جمله ویژگی‌های شیمیایی سهم می‌باشند. بوآجیلا و سانا (2011) و شر و همکاران (2011) اظهار داشتند که افزایش کربن آلی و نیتروژن کل در کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب به طور معنی‌داری بیشتر از کود دامی بوده که مستقیماً متناسب با مقدار ماده آلی به کار گرفته شده می‌باشد.

سطح یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل خاک و ماده افزودنی بر کلیه پارامترها به جز نیتروژن کل، اثر متقابل خاک و سطح اختلاط بر pH و فسفر قابل استفاده خاک، اثر متقابل ماده افزودنی و سطح اختلاط بر همه پارامترها به جز نیتروژن کل خاک و اثر متقابل خاک، ماده افزودنی و سطح اختلاط بر pH، EC، فسفر و پتاسیم قابل استفاده خاک معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین برای بررسی تأثیر تیمارها بر ویژگی‌های شیمیایی خاک بر حسب نوع ماده افزودنی در شکل 1 نشان داده شده است. pH خاک-های حاوی تیمار لجن فاضلاب به طور معنی‌داری کمتر از تیمارهای حاوی کمپوست زباله شهری و کود دامی بود که با نتایج نوامانوز و همکاران (2008) و انجین و یاگان اوقلو (2011) مبنی بر کاهش pH خاک در تیمارهای لجن فاضلاب به دلیل تولید اسیدهای آلی در طول معدنی شدن مطابقت دارد (شکل 1a). لجن فاضلاب به دلیل دارا بودن مقادیر بیشتر اسیدهای آلی و معدنی نسبت به کمپوست می‌تواند اثر معنی‌داری بر کاهش pH خاک داشته باشد (شریفی و همکاران 1390).

تأثیر نوع ماده افزودنی در افزایش EC و کربن آلی و نیتروژن کل خاک به ترتیب لجن فاضلاب < کمپوست زباله شهری < کود دامی بود (شکل 1b، 1c و 1d). کودهای آلی حاوی مقادیر زیادی املاح بوده و اضافه کردن آنها به خاک‌های قلیایی مناطق خشک منجر به تجمع نمک، افزایش شوری و کاهش پتانسیل اسمزی خاک‌ها می‌گردد (خیام باشی 1376) دلیل بالا بودن EC در تیمار لجن فاضلاب علی‌رغم مقدار اولیه بالا در کمپوست زباله شهری احتمالاً فعال‌تر بودن لجن فاضلاب از نظر تجزیه بیولوژیکی بوده و املاح حاصل از معدنی شدن آن بیشتر می‌باشد که در تأیید نتایج رسولی صدقیانی و سپهر (1390) مبنی بر بالا بودن پتانسیل و سرعت معدنی شدن ازت آلی از لجن فاضلاب در مقایسه با سایر کودهای آلی می‌باشد. عرفان منش (1376) نیز در بررسی اثر تیمارهای لجن فاضلاب بر روی برخی ویژگی‌های خاک و تراکم عناصر سنگین به این نتیجه رسید که افزایش لجن فاضلاب باعث افزایش هدایت الکتریکی و غلظت کل عناصر آهن، مس، منگنز، روی، کادمیم، نیکل و سرب می‌شود، از این رو افزودن تیمار لجن فاضلاب به خاک‌های شور (EC بالا) توصیه نمی‌شود چراکه رشد اغلب گیاهان زراعی و باغی در غلظت‌های زیاده‌تر از حد معینی از املاح محلول خاک به شدت محدود می‌شود. مقدار بیشتر کربن آلی و نیتروژن کل خاک در لجن فاضلاب در مقایسه با دو نوع کود دیگر استفاده شده در این آزمایش، جمعیت و فعالیت بیشتر ریزجانداران خاک

نمونه‌های کمپوست در مجاورت هوا خشک شده و از الک 2 میلی متری عبور داده شدند. نمونه‌های خاک پس از هوا خشک شدن و گذراندن از الک 2 میلی متری با مقدار مورد نظر ماده آلی کاملاً مخلوط و در گلدان‌های 7 لیتری ریخته شد. برای کنترل رطوبت نمونه‌ها، پس از اضافه کردن خاک و مواد آلی به گلدان‌ها، گلدان‌ها با آب شهری اشباع شده و پس از خروج آب اضافی و ثابت شدن رطوبت نمونه‌ها (حد ظرفیت مزرعه‌ای) آبیاری گلدان‌ها در زمان‌های مختلف با اسپری کردن آب به منظور جلوگیری از خشک شدن سطح خاک گلدان‌ها و حفظ رطوبت در حد ظرفیت مزرعه‌ای انجام شد. دمای محیطی نیز در حد معمول گلخانه (25 ± 3 درجه سانتی-گراد) بوده و از وسیله گرمایشی برای فصول سرد استفاده شد. در زمان 8 ماه نمونه‌های خاک از گلدان‌ها تهیه شده و ویژگی‌های خاک شامل pH، EC در عصاره اشباع، درصد کربن آلی (OC) با روش والکلی بلک، ازت (N) با روش کجلدال با دستگاه اتوماتیک، فسفر قابل استفاده (AP) در عصاره حاصل از بی‌کربنات سدیم 0/5 نرمال با روش طیف سنجی و پتاسیم قابل استفاده (AK) در عصاره حاصل از استات آمونیوم یک نرمال با روش فلیم فتومتری اندازه‌گیری شد (کلوت 1996). طرح آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار بوده که فاکتور اول سه نوع کمپوست (زباله شهری، لجن فاضلاب و کود دامی کاملاً پوسیده)، فاکتور دوم میزان کمپوست در چهار سطح (0، 75، 150 و 300 متر مکعب در هکتار معادل 0، 350، 175 و 700 سانتی‌متر مکعب در هر گلدان) و فاکتور سوم خاک در دو نوع (خاک لوم سیلتی، خاک رسی) می‌باشد. مجموعاً 72 گلدان برای اجرای آزمایش استفاده شد. داده‌ها با نرم افزار MSTATC آنالیز شد و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن برای تعیین تأثیر نوع کمپوست، نوع خاک و سطوح مصرف کمپوست استفاده گردید.

نتایج و بحث

نمونه‌برداری از دو ناحیه مختلف دانشگاه گیلان (جنب آزمایشگاه و مزرعه تحقیقاتی) به ترتیب با بافت-های رسی و لوم سیلتی) انجام گرفت مشخصات شیمیایی خاک‌های مورد بررسی در جدول یک نشان داده شده است. سه نوع ماده آلی مورد بررسی شامل کمپوست زباله شهری، لجن فاضلاب و کود دامی بود که ویژگی‌های شیمیایی آن‌ها در جدول 2 نشان داده شده است. نتایج تجزیه واریانس (جدول 3) نشان داد که اثر ساده نوع خاک بر کلیه پارامترها به جز EC و اثر ساده نوع ماده افزودنی و سطح اختلاط بر کلیه پارامترها در

برای بررسی اثرات متقابل نوع خاک و ماده افزودنی بر ویژگی‌های خاک در شکل 3 آمده است.

در هر دو نوع خاک، pH خاک در تیمار لجن فاضلاب به طور معنی‌داری کمتر از مواد افزودنی دیگر بوده و بیشترین pH، متعلق به خاک لوم سیلتی با تیمار کمپوست زباله شهری بود (شکل 3a) که احتمالاً به دلیل اسیدیفیکاسیون بیشتر خاک توسط اکسیداسیون و هیدرولیز سولفید در خاک حاوی کمپوست لجن فاضلاب بوده است. به‌طور مشابهی، افزایش pH در دیگر تیمارها نیز می‌تواند نتیجه کاهش اکسیداسیون و هیدرولیز سولفید در این خاک‌ها باشد. افزایش بیشتر pH در خاک لوم سیلتی نسبت به خاک رسی ممکن است به دلیل بالا بودن خاصیت بافری خاک رسی باشد (هاولین 2005). همچنین بالا بودن pH خاک لوم سیلتی نسبت به خاک رسی ممکن است بدلیل بالا بودن این ویژگی در نمونه‌های اولیه خاک باشد.

در هر دو نوع خاک، EC در تیمارهای حاوی لجن فاضلاب بیشترین و در تیمارهای حاوی کود دامی کمترین مقدار را داشت. دلیل بالا بودن EC در تیمار لجن فاضلاب علی‌رغم مقدار اولیه بالا در کمپوست زباله شهری، فعال بودن و تجزیه بیشتر لجن فاضلاب است که باعث آزادسازی بیشتر املاح در اثر معدنی شدن می‌گردد (رسولی صدقیانی و سپهر 1390)، C/N پایین لجن نسبت به کمپوست زباله نشانگر قابلیت بیشتر معدنی شدن نمونه لجن فاضلاب در مقایسه با کمپوست زباله شهری می‌باشد (شکل 3b). مواد با نسبت C/N کم با سرعت بیشتری نسبت به مواد با C/N زیاد تجزیه می‌شود (پوینکلوت 1978).

در خاک رسی مقدار کربن آلی خاک در تیمارهای لجن فاضلاب به طور معنی‌داری بیشتر از تیمارهای کود دامی و کمپوست زباله شهری بوده ولی در خاک لوم سیلتی این تفاوت معنی‌دار نبود (شکل 3c). احتمالاً دلیل آن این بوده است که در خاک لوم سیلتی میزان تهویه و در نتیجه تجزیه میکروبی بالا بوده و کربن آلی خاک کاهش یافته است که با نتایج گارسیا ارنز و همکاران (2005) مبنی بر افزایش چشمگیر کربن آلی، کربو هیدرات‌ها، درصد استحکام خاکدانه‌ها و کاهش جرم مخصوص در دو خاک با بافت سنگین تیمار شده توسط بیو سالیدها (لجن فاضلاب) مطابقت دارد.

در هر دو نوع خاک، میزان فسفر قابل استفاده خاک در تیمارهای کمپوست زباله به طور معنی‌داری کمتر از تیمارهای دیگر است و در خاک رسی تیمار لجن فاضلاب و در خاک لوم سیلتی تیمار کود دامی بیشترین

و فراهمی عناصر غذایی بوده است که با نتایج رسولی صدقیانی و سپهر (1390) مبنی بر بالا بودن جمعیت میکروبی در تیمارهایی حاوی لجن فاضلاب در مقایسه با سایر کودهای آلی من جمله زباله شهری و کود گاوی مطابقت دارد. همچنین در تحقیقی مشابه سرنا و پومارز (1993) گزارش کردند که با توجه به بالا بودن ازت کل در لجن، معدنی شدن نیتروژن در آن بیشتر از سایر کودها می‌باشد.

فسفر قابل استفاده خاک در تیمارهای لجن فاضلاب و کود دامی به طور معنی‌داری از تیمار کمپوست زباله شهری بیشتر بوده و پتاسیم قابل استفاده خاک نیز تیمار کود دامی بیشترین و تیمار لجن فاضلاب کمترین مقدار را به خود اختصاص داد که با غلظت اولیه این عناصر در لجن فاضلاب مصرفی هماهنگی دارد (جدول 2). ضمناً عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین فسفر در تیمارهای کود دامی و لجن فاضلاب با وجود مقادیر اولیه بالا در لجن، می‌تواند به دلیل تثبیت فسفر در خاک باشد. به دلیل قلیایی بودن بیش از 60 درصد خاک‌های ایران، احتمال تثبیت فسفر و همچنین جذب سطحی فسفر بر روی کلسیت و تشکیل پیوندهای نامحلول و کم محلول Ca-P پس از کوددهی وجود دارد (خورشید و حسین پور 1386) (شکل 1e و 1f).

نتایج مقایسه میانگین برای بررسی تأثیر تیمارها بر ویژگی‌های شیمیایی خاک بر حسب سطح اختلاط در شکل 2 نشان داده شده است. با افزایش سطح اختلاط pH خاک به طور معنی‌داری افزایش یافت ولی بین سطوح متوسط و سطوح بالای اختلاط اختلاف معنی‌داری دیده نشد (شکل 2a) که در تأیید نتایج تحقیق سلیس و همکاران (1998) مبنی بر افزایش pH خاک بعد از به کارگیری کودهای آلی می‌باشد. هدایت الکتریکی، کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل استفاده خاک نیز متناسب با سطح اختلاط به طور معنی‌داری افزایش یافت (شکل 2b، 2c، 2d، 2e و 2f). خواص فیزیکی شیمیایی خاک نظیر ماده آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل استفاده، هدایت هیدرولیکی و عناصر سنگین با افزودن مواد آلی متناسب با مقدار ماده آلی افزوده شده افزایش می‌یابند (لی و همکاران 2004، کاسادوولا و همکاران 2006). در یک تحقیق انجام شده، استفاده از ضایعات آلی به میزان 90 تن در هکتار، مقادیر pH، EC و ظرفیت نگهداری آب خاک را به صورت معنی‌داری افزایش داد (سلیس و همکاران 1998). فولی و کوپر باند (2002) گزارش کردند که اضافه کردن ضایعات خمیر کاغذ و کمپوست حاصل از آن باعث افزایش کربن آلی خاک شده است. نتایج مقایسه میانگین

کمپوست زباله شهری با افزایش سطح اختلاط، پتاسیم قابل استفاده خاک افزایش معنی‌داری پیدا کرد ولی در تیمار لجن فاضلاب تغییر معنی‌داری مشاهده نشد (شکل 5e). این نتیجه را می‌توان به پایین بودن مقادیر اولیه پتاسیم قابل استفاده در لجن فاضلاب تعمیم داد (جدول 2). والکر و همکاران (2004) نیز به نتیجه مشابهی دست یافتند.

نتایج مقایسه میانگین برای بررسی اثرات متقابل نوع خاک، ماده افزودنی و سطح اختلاط بر ویژگی‌های خاک در شکل 6 آمده است. بیشترین مقدار pH در خاک لوم سیلتی حاوی تیمار کمپوست زباله شهری با بالاترین سطح اختلاط و کمترین مقدار آن مربوط به سطح سوم لجن فاضلاب بود (شکل 6a) که به همان دلیل ذکر شده در قسمت بالا می‌باشد.

در هر دو نوع خاک بیشترین مقدار EC خاک مربوط به سطح سوم تیمار لجن فاضلاب و کمترین آن مربوط به سطوح پایین تیمار کود دامی بود که نشان از مناسب بودن کودهای دامی برای استفاده در خاک‌های با مشکل شوری دارد (شکل 6b). افزایش سطوح اختلاط کودهای آلی، اثر مستقیمی بر میزان کلیه عناصر و املاح موجود در خاک دارد، بدین دلیل برای جلوگیری از اثرات سمی فلزات سنگین و افزایش هدایت الکتریکی خاک، کمپوست لجن فاضلاب باید در مقادیر محدود (کمتر از 150 تن در هکتار) اضافه شود (وی و لیو 2005). بیشترین مقدار فسفر قابل استفاده خاک در سطح سوم تیمار کود دامی در خاک لوم سیلتی و کمترین مقدار آن در سطح اول تیمار کمپوست زباله در خاک رسی مشاهده شد (شکل 6c). در هر دو نوع خاک و در هر سه تیمار با افزایش سطح اختلاط پتاسیم قابل استفاده خاک افزایش یافت. این افزایش در خاک لوم سیلتی بیشتر بود (شکل 6d).

نتیجه‌گیری کلی

تأثیر کاربرد کمپوست لجن فاضلاب در افزایش ماده آلی خاک بیشتر از کمپوست زباله شهری و کود دامی بوده که بهبود خواص شیمیایی را به همراه داشته و در اغلب تیمارها سبب افزایش غلظت عناصر غذایی مورد نیاز گیاه بویژه عناصر پرمصرف در خاک شده است ولی شوری حاصله از آن بیش از سایر تیمارها بود. تأثیر کود دامی در افزایش پتاسیم قابل جذب گیاهان بیش از کود آلی دیگر بود. بهبود خصوصیات شیمیایی خاک و غلظت عناصر غذایی متناسب با سطح اختلاط کودهای آلی با خاک بود. به جز EC که در خاک رسی مقدار کمتری نسبت به خاک لوم سیلتی داشت، از نظر سایر پارامترها

مقدار فسفر قابل استفاده خاک را به خود اختصاص داد (شکل 3d). دلیل آن را می‌توان به شکل قابل جذب بیشتر فسفر در لجن در مقایسه با کود دامی در خاک رسی نسبت داد در حالی که در خاک لوم سیلتی با تهویه بهتر، کود دامی با C/N کمتر سریعتر تجزیه شده، غلظت فسفر قابل جذب بیشتری نسبت به لجن نشان داده است. لازم به ذکر است که افزایش بیشتر پتاسیم در خاک لوم سیلتی نسبت به خاک رسی ممکن است به این دلیل باشد که تثبیت پتاسیم در خاک رسی بیشتر از خاک لوم سیلتی بوده است.

در هر دو نوع خاک مقدار پتاسیم قابل استفاده خاک در تیمار لجن فاضلاب کمترین و در تیمار کود دامی بیشترین بود (شکل 3e). در تحقیق رسولی صدقیانی و سپهر (1390) نیز کود دامی بواسطه داشتن پتاسیم بالا (3/07 درصد)، غلظت پتاسیم را به صورت چشمگیری افزایش داد.

نتایج مقایسه میانگین برای بررسی اثرات متقابل نوع خاک و سطح اختلاط بر ویژگی‌های خاک در شکل 4 آمده است. در خاک رسی با افزایش سطح اختلاط، pH خاک به طور معنی‌داری افزایش یافت ولی در خاک لوم سیلتی چنین روندی مشاهده نشد (شکل 4a). احتمالاً علت کاهش pH در خاک لوم سیلتی تهویه و تجزیه میکروبی بیشتر در مقایسه با خاک رسی بوده است. در هر دو نوع خاک مورد مطالعه افزایش سطح اختلاط منجر به افزایش معنی‌دار فسفر و پتاسیم قابل استفاده خاک شد که در تأیید نتیجه تستر (1990) که اظهار داشت با مصرف زیاد کود و کمپوست آلی (100 تن در هکتار در سال) به یک خاک لومی شنی، ویژگی‌های شیمیایی خاک من جمله میزان عناصر غذایی ضروری بیشتر از خاک با بافت سنگین‌تر، افزایش یافت (شکل 4b و 4c).

نتایج مقایسه میانگین برای بررسی اثرات متقابل نوع ماده افزودنی و سطح اختلاط بر ویژگی‌های خاک در شکل 5 آمده است. با افزایش سطح اختلاط در تیمار کود دامی و کمپوست زباله شهری افزایش معنی‌دار pH و در تیمار لجن فاضلاب کاهش معنی‌دار آن مشاهده شد (شکل 5a). در تیمارهای لجن فاضلاب افزایش سطح اختلاط EC خاک را به طور معنی‌داری افزایش داد ولی این افزایش معنی‌دار در تیمارهای کمپوست زباله شهری فقط در سطوح بالای اختلاط موجود بود و تیمارهای کود دامی نیز در هیچ یک از سطوح اختلاط افزایش معنی‌داری نشان نداد (شکل 5b). افزایش کربن آلی در تیمار لجن فاضلاب و افزایش فسفر قابل استفاده در تیمار کود دامی بیشترین بود (شکل 5c و 5d). در تیمار کود دامی و

خاک لوم سیلتی شرایط بهتری نسبت به خاک رسی داشت.

جدول 1- ویژگی‌های شیمیایی خاک‌های نمونه‌برداری شده

خاک لوم سیلتی	خاک رسی	ویژگی‌های شیمیایی
7/2	6/7	pH
1/01	0/60	هدایت الکتریکی (dS/m)
2/10	1/46	درصد کربن آلی
0/170	0/126	درصد نیتروژن کل
47/88	33/91	فسفر قابل استفاده (mg/kg)
238	127	پتاسیم قابل استفاده (mg/kg)
2/26	2/26	سرب قابل جذب (mg/kg)
0/54	0/55	کادمیم قابل جذب (mg/kg)
0/80	1/27	نیکل قابل جذب (mg/kg)

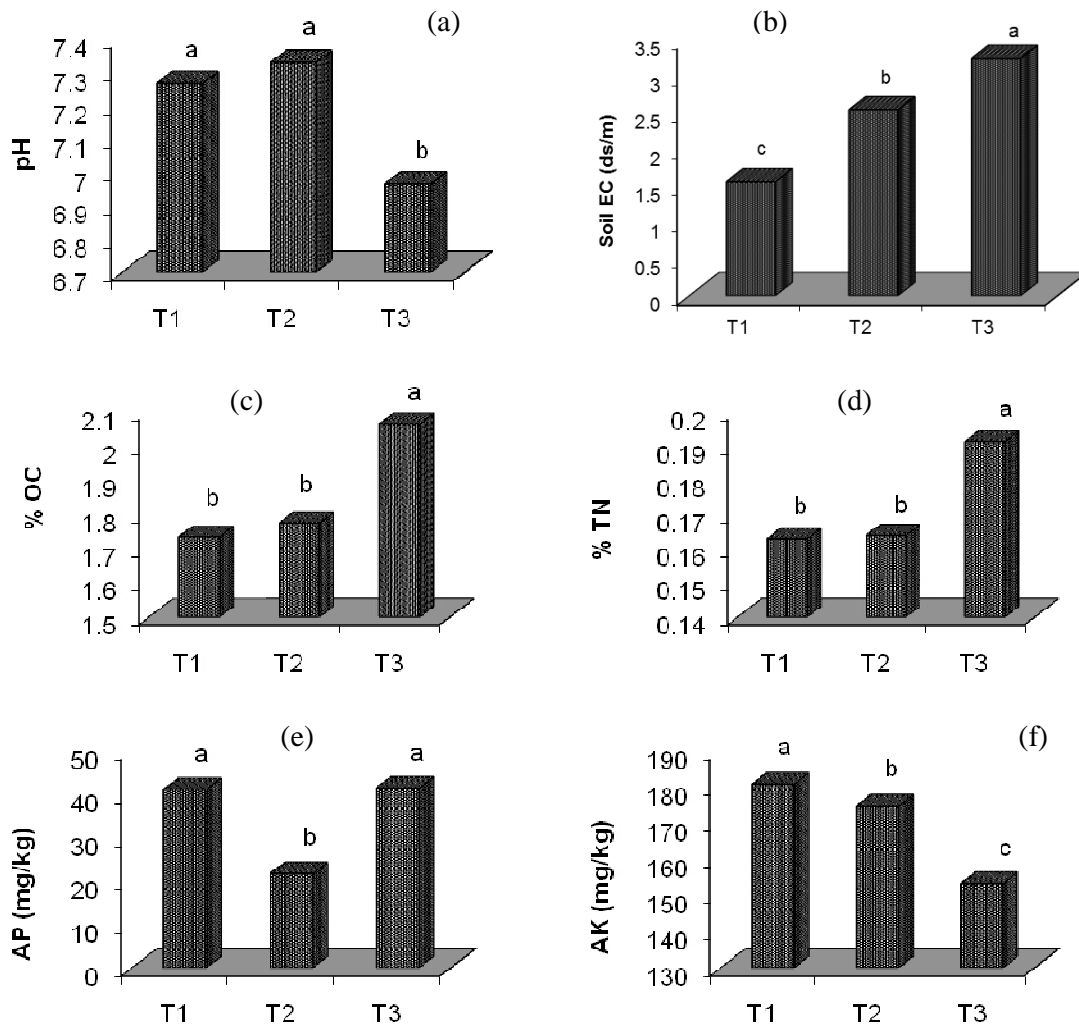
جدول 2- ویژگی‌های شیمیایی اولیه مواد آلی افزودنی

کود دامی	لجن فاضلاب	کمپوست زباله شهری	ویژگی‌های شیمیایی
7/5	7/1	6/8	pH
3/32	5/29	15/87	هدایت الکتریکی در عصاره 1:2/5 وزنی/وزنی کمپوست و آب مقطر (dS/m)
16/8	19/1	19/5	درصد کربن آلی
1/20	1/30	1/05	درصد نیتروژن کل
1/81	2/07	0/55	درصد فسفر کل
0/95	0/48	0/64	درصد پتاسیم کل

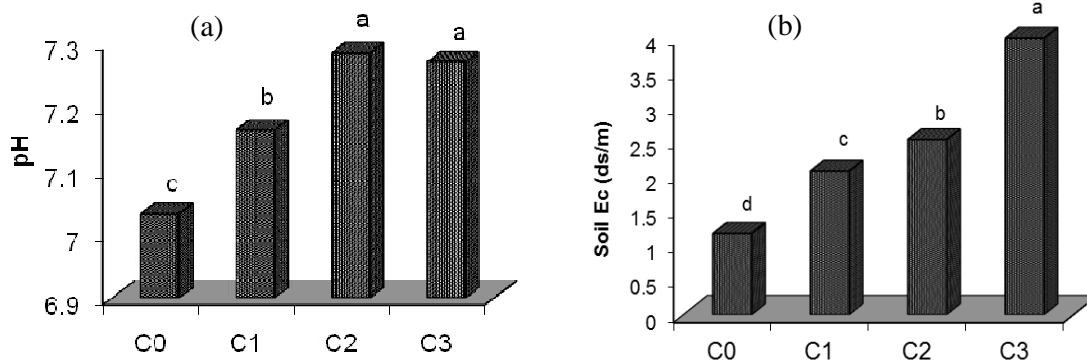
جدول 3- خلاصه تجزیه واریانس (میانگین مربعات) آزمایش تأثیر خاک، ماده افزودنی و سطح اختلاط بر ویژگی‌های خاک

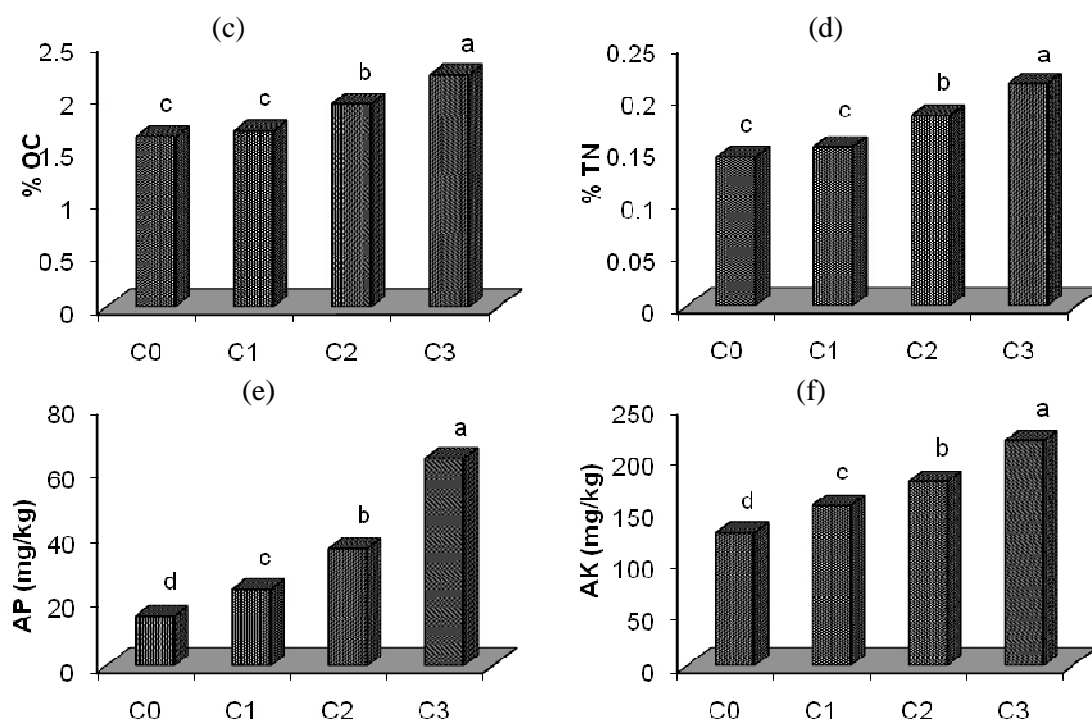
پتاسیم قابل استفاده (mg/kg)	فسفر قابل استفاده (mg/kg)	نیتروژن کل (%)	کربن آلی (%)	میانگین مربعات هدایت الکتریکی (ds/m)	pH	درجات آزادی	منابع تغییرات
262758/266	26711/851	0/041**	5/292**	20469/4 ^{ns}	5/352*	1	خاک
5032/612**	3067/967**	0/006**	0/778**	17125751/4**	0/915**	2	ماده افزودنی
2882/040**	857/726**	0/002 ^{ns}	0/296**	1686546/7**	0/160**	2	خاک* ماده افزودنی
25543/831**	8228/600**	0/018**	1/309**	24945977/9*	0/246**	3	سطح اختلاط
7893/177**	1619/446**	0/001 ^{ns}	0/071 ^{ns}	201635/3 ^{ns}	0/262**	3	خاک* سطح اختلاط
3791/002**	697/556**	0/002 ^{ns}	0/155*	4673012/4**	0/565**	6	ماده افزودنی* سطح اختلاط
3143/363**	303/520**	0/001 ^{ns}	0/107 ^{ns}	1099097/1**	0/049**	6	خاک* ماده افزودنی* سطح اختلاط
84/743	65/864	0/001	0/051	279061/7	0/013	48	خطای آزمایش
-	-	-	-	-	-	71	کل

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

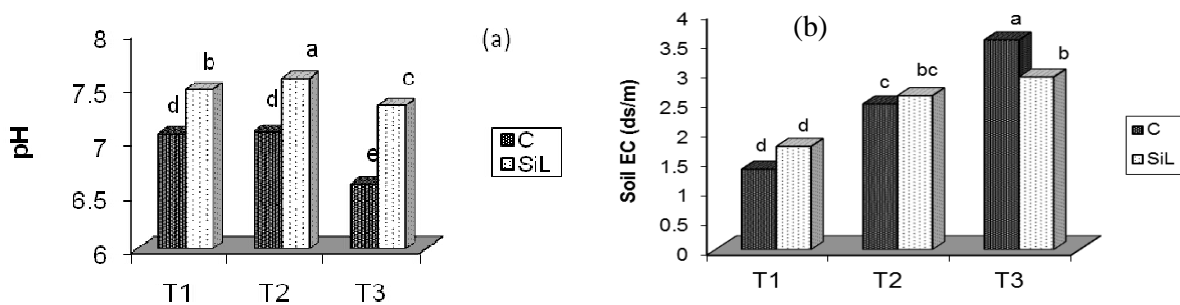


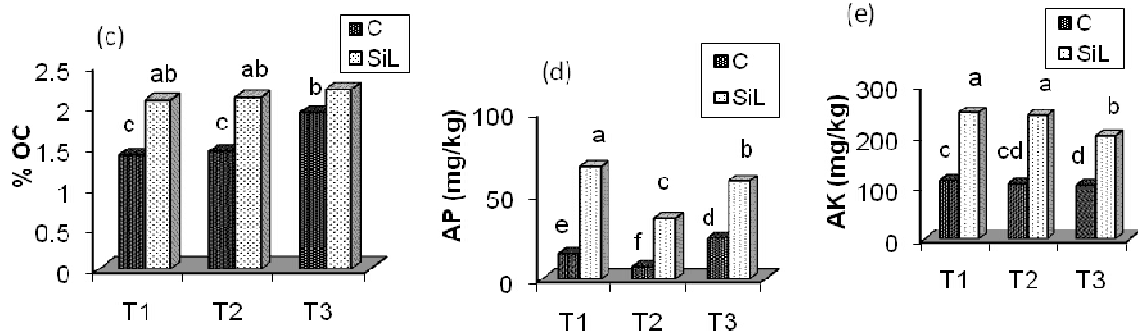
شکل 1- مقایسه میانگین اثر ساده نوع ماده افزودنی بر pH (a)، هدایت الکتریکی (b)، کربن آلی (c)، نیتروژن کل (d)، فسفر قابل استفاده (e) و پتاسیم قابل استفاده (f)، [T1 تیمار حاوی کود دامی، T2 تیمار حاوی کمپوست زیاله شهری و T3 تیمار حاوی لجن فاضلاب]



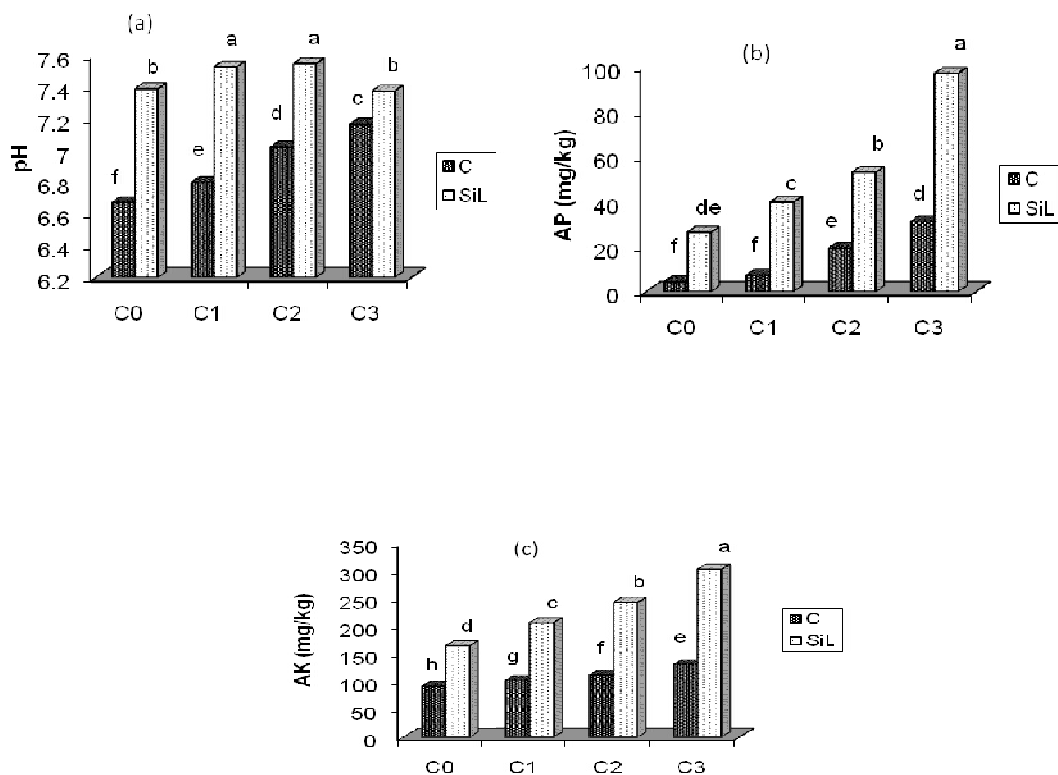


شکل 2- مقایسه میانگین اثر ساده سطح اختلاط بر pH (a)، هدایت الکتریکی (b)، کربن آلی (c)، نیتروژن کل (d)، فسفر قابل استفاده (e) و پتاسیم قابل استفاده (f)، C0 سطح اختلاط صفر، C1 (75 متر مکعب در هکتار)، C2 (150 متر مکعب در هکتار) و C3 (300 متر مکعب در هکتار)

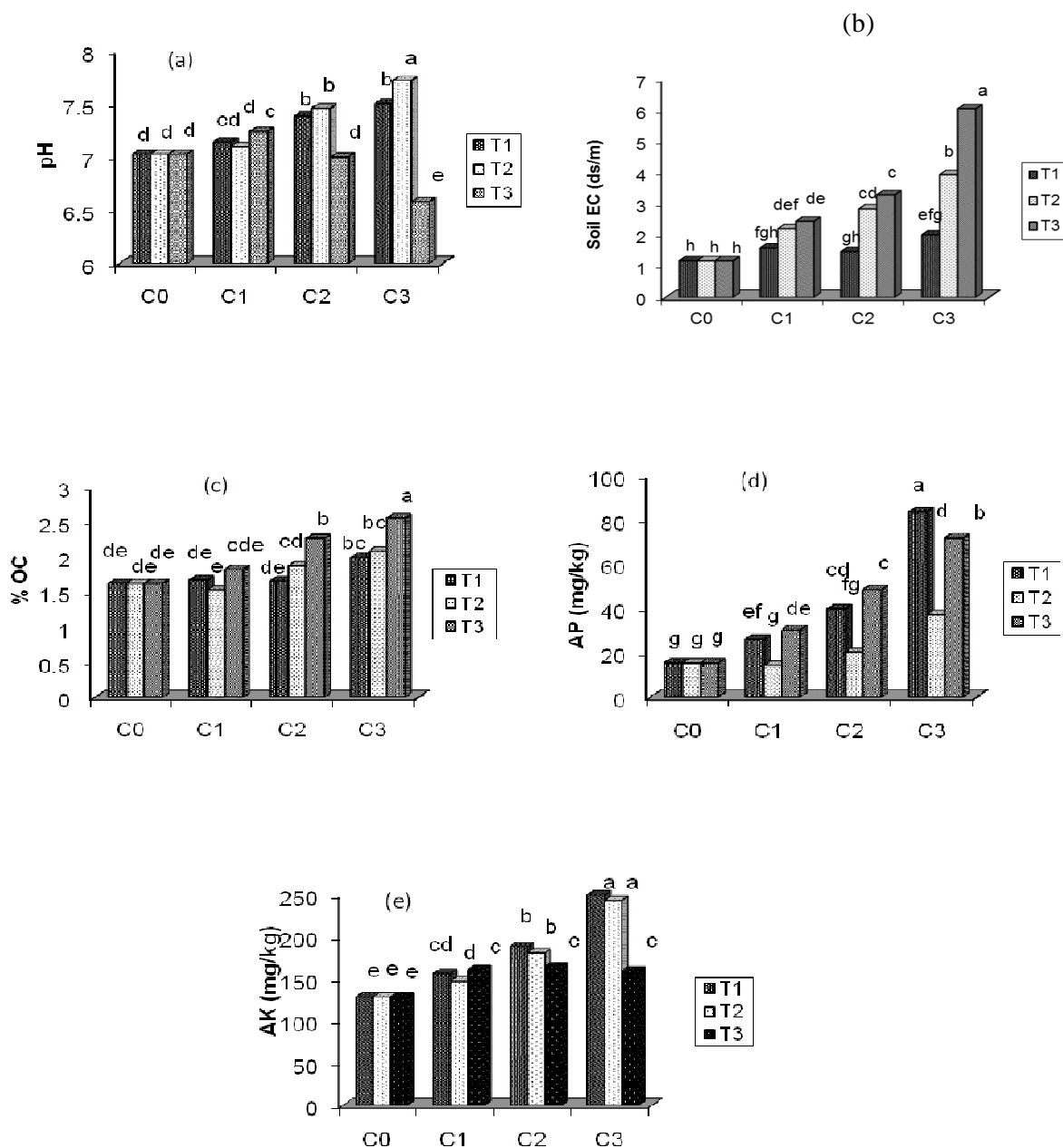




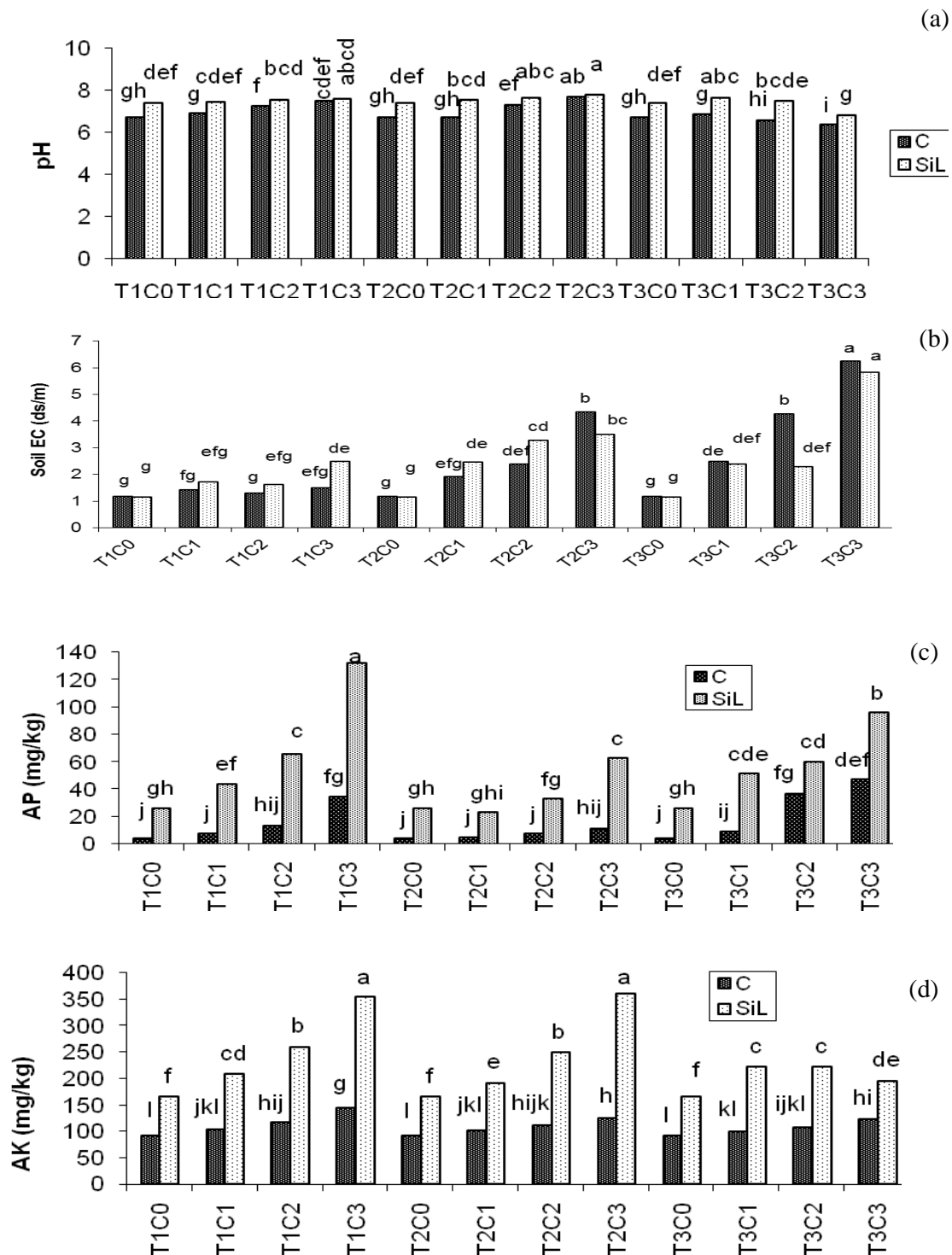
شکل 3- مقایسه میانگین اثر متقابل خاک و ماده افزودنی بر pH (a)، هدایت الکتریکی (b)، کربن آلی (c)، فسفر قابل استفاده (d) و پتاسیم قابل استفاده (e)، [C خاک رسی، SiL خاک لوم سیلتی، T1 تیمار کود دامی، T2 تیمار کمپوست زیاله شهری، T3 تیمار لجن فاضلاب]



شکل 4- مقایسه میانگین اثر متقابل خاک و سطح اختلاط بر pH (a)، فسفر قابل استفاده (b) و پتاسیم قابل استفاده (c)، [C خاک رسی، SiL خاک لوم سیلتی، C0 سطح اختلاط صفر، C1 75 متر مکعب در هکتار، C2 150 متر مکعب در هکتار، و C3 300 متر مکعب در هکتار]



شکل 5- مقایسه میانگین اثر متقابل ماده افزودنی و سطح اختلاط بر pH (a)، هدایت الکتریکی (b)، کربن آلی (c)، فسفر قابل استفاده (d) و پتاسیم قابل استفاده (e)، [T1 تیمار کود دامی، T2 تیمار کمپوست زباله شهری، T3 تیمار لجن فاضلاب، C0 سطح اختلاط صفر، C1 (75 متر مکعب در هکتار)، C2 (150 متر مکعب در هکتار) و C3 (300 متر مکعب در هکتار)]



شکل 6- مقایسه میانگین اثر متقابل نوع خاک، ماده افزودنی و سطح اختلاط بر pH (a)، هدایت الکتریکی (b)، فسفر (c) و پتاسیم قابل استفاده (d)، [C خاک رسی، SiL خاک لوم سیلتی، T1 تیمار کود دامی، T2 تیمار کمپوست زباله شهری، T3 تیمار لجن فاضلاب، C0 سطح اختلاط صفر، C1 (75 متر مکعب در هکتار)، C2 (150 متر مکعب در هکتار) و C3 (300 متر مکعب در هکتار)]

فهرست منابع:

1. خورشید، م. حسین پور، ع. اوستان، ش. 1386. تأثیر لجن فاضلاب بر جذب فسفر و فسفر قابل استفاده در برخی از خاک‌های آهکی. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. 12(46): 791-801.
2. خیام‌باشی، ب. 1376. اثر استفاده از لجن فاضلاب به عنوان کود در آرایش و انباشت عناصر سنگین در خاک و گیاه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان.
3. رسولی، ف. مفتون، م. 1389. اثر باقیمانده دو ماده آلی با و یا بدون نیتروژن بر رشد و ترکیب شیمیایی گندم و برخی خصوصیات شیمیایی خاک. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). 24(2): 262-273.
4. رسولی صدقیانی، م. سپهر، ا. 1390. تأثیر کاربرد لجن فاضلاب و کودهای دامی در معدنی شدن نیتروژن و خصوصیات ریزوسفری. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). 25(2): 327-337.
5. شریفی، م. افیونی، م. خوشگفتارمنش، ا. 1390. اثر کاربرد لجن فاضلاب کارخانه پلی‌اکریل، کمپوست زباله شهری و کود گاوی بر قابلیت جذب آهن و روی در خاک و جذب آنها توسط ذرت، یونجه و گل جعفری در شرایط گلخانه. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. 159(56): 141-153.
6. عرفان منش، م. 1376. اثر تیمارهای لجن فاضلاب بر برخی خصوصیات خاک و جذب و تراکم عناصر سنگین بوسیله اسفنج و گوجه فرنگی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان.
7. میرزاشاهی، ک. سعادت، س. 1389. تأثیر مواد آلی مختلف بر عملکرد کلزا و برخی خصوصیات خاک در شمال خوزستان. پژوهش‌های خاک (علوم آب و خاک). 24(1): 21-29.
8. Abu-Zahra, T.R. and A.B. Tahboub. 2008. Effect of Organic Matter Sources on Chemical Properties of the Soil and Yield of Strawberry under Organic Farming Conditions. World App. Sci J. 5(3): 383-388.
9. Angin, I., and A.V. Yaganoglu. 2011. Effects of sewage sludge application on some physical and chemical properties of a soil affected by wind erosion. J. Agr. Sci. Tech. 13: 757-768.
10. Antoniadis, V., J.S. Robinson, and B.J. Alloway. 2008. Effects of short term pH fluctuations on cadmium, nickel, lead and zinc availability to ryegrass in a sewage sludge-amended field. Chemosphere. 71(4): 759-764.
11. Bertoncini, E.I., V.D. Orazio, N. Senesi, and M.E. Mattiazzo. 2007. Effects of sewage sludge amendment on the properties of two Brazilian oxisols and their humic acids. Bioresource Technol. 99(11): 4972-4979.
12. Bouajjila, K., and M. Sanaa. 2011. Effects of organic amendments on soil physico-chemical and biological properties. J. Mater. Environ. Sci. 2(S1): 485-490.
13. Casado-Vela, J., S. Selles, J. Navarro, M.A. Bustamante, J. Mataix, C. Guerrero, and I. Gomez. 2006. Evaluation of composted sewage sludge as nutritional source for horticultural soils. Waste Manage. 26: 946-952.
14. Celis, R., E. Barriuso, and S. Houot. 1998. Sorption and desorption of atrazine by sludge-amended soil, dissolved organic matter effects. J. Environ. Qual. 27: 1348-1356.
15. Cherif, H., F. Ayari, H. Ouzari, M. Marzorati, M. Brusetti, L. Jedidi, A. Hassen, and D. Daffonchio. 2009. Effect of municipal solid waste compost, farmyard manure and chemical fertilizers on wheat growth, soil composition and soil bacterial characteristics under Tunisian arid climate. Eur. J. soil Biol. 45: 138-145.
16. Foley, B.J., and L.R. Cooperband. 2002. Paper mill residuals and compost effects on soil carbon and physical properties. J. Environ. Qual. 31: 2086-2095.

17. Garcia-Orenes, F., C. Guerrero, J. Mataix-Solera, J. Navarro-Pedreno, I. Gomez, and J. Mataix-Beneyto. 2005. Factors controlling the aggregate stability and bulk density in two different degraded soils amended with biosolids. *Soil Till. Res.* 82: 65-76.
18. Gavalda, D., J.D. Scheiner, J.C. Revel, G. Merlina, M. Kaemmerer, E. Pinelli, and M. Guirese. 2005. Agronomic and environmental impacts of a single application of heat-dried sludge on an Alfisol. *Sci. Total. Environ.* 343: 97-109.
19. Havlin, J.L., S.L. Tisdale, W.L. Nelson, and J.D. Beaton. 2005. Soil fertility fertilizers. An introduction to nutrient management (7th edition). Pearson Prentice Hall. 515 p.
20. Hernando, S., M.C. Lobo, and A. Polo. 1989. Effect of the application of a municipal refuse compost on the physical and chemical properties of soil. *Sci. Total. Environ.* 82: 589-596.
21. Jagdev, S., C.R. Sharma, and J. Sharma. 1997. Direct and residual effects of compost enriched mussoorioe rock phosphate in wheat-rice sequence. *Indian J. Agric. Sci.* 67: 192-198.
22. King, L.D. 1981. Effect of swine manure lagoon sludge and municipal sewage sludge on growth and nitrogen recovery, and heavy metal content of fescue grass. *J. Environ. Qual.* 10(10): 465-472.
23. Klute, A. 1996. *Methods of Soil Analysis, Part I: Physical and Mineralogical Methods.* SSSA Book Series No.5. Soil Sci. Soc. America Madison, WI. 1188 pp.
24. Lee, J.J., R.D. Park, Y.W. Kim, J.H. Shim, D.H. Chae, Y.S. Rim, B.K. Sohn, T.H. Kim, and K.Y. Kim. 2004. Effect of food waste compost on microbial population, soil enzyme activity and lettuce growth. *Bioresource Technol.* 93(1): 21-28.
25. McCasline, B.D., and G.A. O'Connor. 1982. Potential fertilizer value of gamma irradiated sewage sludge on calcareous soils. *NM Agric. Exp. Sta. Bull.* 692. 30 pp.
26. Mays, D.A., G.L. Terman, and J.C. Duggan. 1973. Municipal compost: Effects on crop yield and soil properties. *J. Environ. Qual.* 2(1): 89-92.
27. Mylavarapu, R.S., G.M. Zinati. 2009. Improvement of soil properties using compost for optimum parsley production in sandy soils. *Sci. Horti.* 120: 426-430.
28. Novoa-Munoz, J.C., J. Simal-Gandara, D. Fernandez-Calvino, E. Lopez-Periago, and M. Arias-Estevez. 2008. Changes in soil properties and in the growth of *Lolium multiflorum* in an acid soil amended with a solid waste from wineries. *Bioresource Technol.* 99(15): 6771-6779.
29. Poincelot, R.P. 1978. The biochemistry of composting. 1997 national conference on composting municipal residues and sludges, August 23-25, Information transfer Inc.
30. Robin, A.K., K. Szmidt, A. Andrew, and W. Dickson. 2001. Use of compost in agriculture, Frequently Asked Questions (FAQs). Remade Scotland.
31. Schere, H.W., D.J. Metker, and G. Welp. 2011. Effect of long-term organic amendments on chemical and microbial properties of a luvisol. *Plant Soil Environ.* 57 (11): 513-518.
32. Serna, M.D., and F. Pomares. 1993. Evaluation of nitrogen availability in a soil treated with organic amendments. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 24: 1833-1844.
33. Smith, P. 2002. Organic matter modelling. In: Lal, R. ed. *Encyclopedia of Soil Science.* Marcel Dekker, Inc., New York, New York, USA.
34. Sparks, D. 1996. *Methods of soil analysis. Part III: Chemical methods.* SSSA Book Series No. 5. SSSA, Madison, WI. 1264 pp.
35. Tester, C.F. 1990. Organic amendment effects on physical and chemical properties of a sandy soil. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 54: 827-831.
36. Walker, D.J., R. Clemente, and M.P. Bernal. 2004. Contrasting effects of manure and compost on soil pH, heavy metal availability and growth of *Chenopodium album* L. in a soil contaminated by pyritic mine waste. *Chemosphere.* 57: 215-224.

37. Weber, J., A. Karczewska, J., Drozd, M. Licznar, S. Licznar, E. Jamroz, and A. Kocowicz. 2007. Agricultural and ecological aspects of a sandy soil as affected by the application of municipal solid waste composts. *Soil Biol. Biochem.* 39: 1294-1302.
38. Wei, Y. and Y. Liu. 2005. Effects of sewage sludge compost application on crops and cropland in a 3- year field study. *Chemosphere.* 59: 1257-1265.