نشریه دانش آب و خاک / جلد ۲۸ شماره ۲صفحه‌های ۱۹۱ تا ۱۸۹ / سال ۱۳۹۷

اثر لجن فاضلاب بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و عملکرد گندم

فاطمه شهبازی*[۱]، سمیه قاسمی[۲]، حمید سودائی زاده[۳]، هادی پورداراء[٤]، کبری ایاسه[۱]

۱-دانش آموخته کارشناسی ارشد محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد

۲-استادیار گروه خاک‌شناسی، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد

۳-استادیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد

٤-استادیار گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یزد

مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: f.shahbazi116@gmail.com

چکیده

لجن فاضلاب یکی از منابع مهم مواد آلی، نیتروژن، فسفر و دیگر مواد غذایی است که با مدیریت مناسب می‌تواند به عنوان یک کود آلی در بهبود و باروری خاک مورد استفاده قرار گیرد. در این تحقیق به منظور بررسی تأثیر لجن فاضلاب بر عملکرد دو رقم گندم سیوند و روشن و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، آزمایشی در قالب طرح کاملا" تصادفی به صورت فاکتوریل با سه تکرار و سه سطح لجن (صفر، ٦۰ و ۱۲۰ گرم بر کیلوگرم خاک) در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه یزد اجرا گردید. نتایج نشان داد که کاربرد لجن فاضلاب در مقایسه با تیمار شاهد باعث افزایش معنی‌دار سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی، تعداد دانه و وزن کل دانه دو رقم مورد مطالعه شد، اما ارتفاع گیاه رقم روشن در تیمار شاهد بیشتر از تیمارهای لجن فاضلاب بود. با افزایش سطح کاربرد لجن فاضلاب، هدایت‌الکتریکی خاک نیز افزایش یافت، در حالی که pH خاک و چگالی ظاهری خاک در سطوح ٦۰ و ۱۲۰ گرم بر کیلوگرم لجن در مقایسه با تیمار شاهد کاهش معنی‌داری نشان داد. همچنین تیمارهای لجن فاضلاب در مقایسه با تیمار شاهد باعث افزایش معنی‌دار درصد کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل جذب خاک شد. با توجه به نتایج این تحقیق، لجن فاضلاب از طریق بهبود برخی ویژگی-های فیزیکی و شیمیایی خاک می‌تواند باعث حاصلخیزی خاک و افزایش عملکرد گیاه شود.

واژه‌های کلیدی: گندم روشن، گندم سیوند، لجن‌فاضلاب، مناطق خشک و نیمه‌خشک، موادغذایی

The Effects of Sewage Sludge on Some Physical and Chemical Properties of Soil and Wheat Yield

F Shahbazi[*1], S Ghasemi[2], H Sodaeizadeh[3], H Pourdara[4], K Ayaseh[1]

[1-]M.Sc. Graduate of Environment., Faculty of Natural Resources& Desert Studies., Yazd Univ, Iran
[2-]Assist. Prof., Dept. of Soil Science., Faculty of Natural Resources & Desert Studies., Yazd Univ,Iran
[3-]Assist. Prof., Dept. of Management in the Arid Regions., Faculty of Natural Resources & Desert Studies., Yazd Univ, Iran
[4-]Assist. Prof., Dept. of Civil Engineering., Faculty of Engineering., Yazd Univ,Iran
[*]corresponding author, Email: f.shahbazi116@gmail.com

Abstract

Sewage sludge is an important source of organic matter, nitrogen, phosphorus and other nutrients. This sludge can be used as an organic fertilizer to improve the soil and it's fertility by a correct management. In present study an investigation was carried out in order to checking the effects of sewage sludge on yield of two types of wheat species (Sivand and Roshan) and some physical and chemical properties of the soil.The investigation was done in the form of a factorial experiment as a completely randomized design with three replications and three levels of sludge(zero, 60 and120 g kg^{-1}soil) in research greenhouse of the Yazd University. The results showed that application of sewage sludge comparing control treatment caused a significant increase in the leaf surface, dry weight of aerial parts, seed number and total seed weight in the Sivand and Roshanas the two studied varieties, although the Roshan wheat height in control treatment was more than that is sewage sludge treatments. With increasing the level of sewage sludge, soil electrical conductivity increased too.While, soil pH and soil bulk dencity at treatment with 60 and 120g kg^{-1} of sludge showed a significant decrease as compared to the control treatment. Furthermore, the treatments of sewage sludge in comparison with control treatment increased the organic carbon, total nitrogen, phosphorus and absorbable potassium of the soil. According to the results, sewage sludge could increase soil fertility and plant yield by improving some physical and chemical properties of the soil.

Keywords: Arid and semi-arid regions, Food stuffs, Roshan wheat ,Sewage sludge, Sivand wheat

مقدمه

توانایی تولید غذا یکی از عوامل اصلی در توسعه جوامع بشری است که برای تداوم آن، تأمین و حاصلخیزی خاک امری ضروری است (ملکوتی و نفیسی ۱۳۷٦). یکی از روش‌های جلوگیری از تخریب کیفیت خاک، استفاده از ضایعات آلی است که باعث بازگرداندن مواد آلی خاک و عملکرد فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک می‌گردد (سنسی و همکاران ۱۹۹٦، استریک و ریچر ۱۹۹۷). لجن فاضلاب غنی از کربن آلی در طی فرآیند تصفیه فاضلاب است و منبع مواد آلی، نیتروژن، فسفر و دیگر مواد غذایی است که با مدیریت مناسب می‌تواند به عنوان یک کود آلی در بهبود و باروری خاک تخریب شده استفاده شود (آلبیاچ و همکاران ۲۰۰۱، گارسیا- گیل و همکاران ۲۰۰٤).

استفاده از مواد زائد مانند لجن فاضلاب در کشاورزی و اصلاح خاک به طور فزاینده‌ای به عنوان یک مسئله مهم برای حفاظت خاک در مناطق خشک و نیمه-خشک شناخته شده است (ناواس و همکاران ۱۹۹۸، رس و همکاران ۲۰۰۳). استفاده از لجن فاضلاب در این مناطق باعث غنی‌سازی خاک با مواد آلی شده و سبب کاهش مشکلات زیست‌محیطی می‌شود (کیوتوک و همکاران ۲۰۰۳). آنژین و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی تأثیر لجن فاضلاب بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و غلظت عناصر در برگ درخت گیلاس پرداختند و به این نتیجه

رسیدند که لجن فاضلاب نه تنها باعث بهبود ویژگی‌های شیمیایی خاک می‌شود، بلکه غلظت مواد مغذی در برگ گیلاس را نیز افزایش می‌دهد. بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که عملکرد محصول، پس از افزودن لجن به زمین-های کشاورزی افزایش می‌یابد. دلیل این افزایش عملکرد، وجود عناصر پرمصرف و کم‌مصرف موجود در لجن است (باری‌کوئیلو و همکاران ۲۰۰۳، ارسلان و همکاران ۲۰۰۷). علاوه بر آن، کاربرد لجن فاضلاب در خاک‌های کشاورزی از طریق افزایش درصد کربن آلی، تخلخل، پایداری کل، جرم مخصوص ظاهری و ظرفیت نگهداری آب (سیلویرا و همکاران ۲۰۰۳) باعث بهبود حاصلخیزی خاک می‌شود (چیبا و همکاران ۲۰۰۸، آلکانتارا و همکاران ۲۰۰۹، فرانکو و همکاران ۲۰۱۰).

لجن فاضلاب حاوی مواد غذایی شامل حدود سه درصد فسفر و چهار درصد نیتروژن است. به همین دلیل لجن فاضلاب به منزله یک منبع ارزشمند برای رشد محصولات کشاورزی به شمار می‌رود. آستارایی و همکاران (۱۳۸۹) نشان دادند که کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب باعث افزایش عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه دارویی سیاه‌دانه، افزایش در ارتفاع بوته، تعداد دانه در کپسول، تعداد کپسول در بوته، وزن دانه در بوته، زیست-توده گیاه و وزن هزار دانه می‌شود. لجن فاضلاب حاوی مواد غذایی گیاهی و مواد آلی است که ممکن است به عنوان مکمل یا جایگزین کودهای تجاری به منظور تولید محصولات کشاورزی استفاده گردد (ونگ و همکاران ۲۰۰۱). بنابراین، مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر لجن فاضلاب تصفیه‌خانه یزد بر برخی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و حاصلخیزی خاک و همچنین تأثیر آن بر رشد و عملکرد گندم انجام شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در قالب طرح کاملا" تصادفی به صورت فاکتوریل با سه تکرار و سه سطح لجن (صفر، ٦٠ و ۱۲۰ گرم بر کیلوگرم خاک) با استفاده از دو رقم گندم سیوند و روشن در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه یزد انجام شد. به منظور انجام این تحقیق، خاک مورد نیاز از منطقه قاسم‌آباد واقع در شهر یزد تهیه گردید. نمونه‌های خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری برداشت شد و پس از هوا-خشک شدن از الک ٤/٧٦ میلی‌متری عبور داده شدند. لجن فاضلاب مورد استفاده نیز از تصفیه‌خانه فاضلاب شهر یزد تهیه شد و پس از هواخشک نمودن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و لجن مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. بافت خاک به روش هیدرومتر (بویوکو ١٩٦٢)، جرم مخصوص ظاهری در نمونه دست‌نخورده (کلوت ١٩٨٦)، فسفر قابل جذب خاک به روش اولسن (اولسن و سامرز ۱۹۹۰) و با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتری مدل Jenway 6300ساخت کشور انگلستان، پتاسیم قابل جذب به روش عصاره‌گیر استات‌آمونیوم (اسپارکز و سامنر ١٩٩٦) و توسط دستگاه شعله سنج مدل Jenway PFPV ساخت کشور انگلستان، نیتروژن خاک به روش کلدال (نلسون و کلادیوکو ۱۹۷۹) و توسط دستگاه کلدال مدل Behr distillation unit ساخت کشور آلمان و کربن آلی به روش اکسایش تر(نلسون و سامرز ۱۹۸۲) اندازه‌گیری شد. به منظور اندازه‌گیری pH و هدایت الکتریکی خاک از عصاره حاصل از گل اشباع (مک‌لین ۱۹۸۲) و به منظور اندازه‌گیری pH و هدایت الکتریکی لجن فاضلاب از عصاره حاصل از نسبت یک به ٥ لجن و آب مقطر استفاده شد. pH نمونه‌های خاک و لجن توسط pHمتر و هدایت الکتریکی توسط EC متر اندازه‌گیری شد. فسفر و پتاسیم قابل جذب لجن فاضلاب به روش هضم لجن با تیزاب سلطانی (مخلوط اسید کلریدریک و اسید نیتریک با نسبت ۳ به ۱) (ریان و همکاران ۲۰۰۱) عصاره‌گیری و به ترتیب با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتری و شعله سنج اندازه-گیری شدند. سایر ویژگی‌های شیمیایی لجن فاضلاب نیز مشابه روش‌هایی که برای نمونه‌های خاک ذکر شد، تعیین

گردید. قبل از کشت، مقادیر لجن مورد نیاز هر تیمار با شش کیلوگرم خاک مخلوط گردید. بذر ارقام گندم سیوند و روشن پس از شستشو با آب اکسیژنه و آب مقطر به تعداد ۱۰ عدد در هر گلدان در دی‌ماه ۱۳۹۲ کاشته شد. آبدهی گلدان‌ها هر دو روز یک‌بار و بر اساس ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه به روش وزنی انجام شد. بدین صورت که یک نمونه خاک اشباع شده به مدت ٤٨ ساعت ثابت شد و آب ثقلی از آن خارج گردید و در زمان‌های مشخص وزن شد تا به مقدار ثابتی رسید. سپس مقداری خاک مرطوب وزن گردید و درون ظرف پتریدیش در آون خشک شد. از اختلاف خاک مرطوب و خاک خشک درصد رطوبت وزنی به دست آمد.

پس از مدتی از رشد بذرها تعداد آنها در هر گلدان به شش عدد تنک گردید. آزمایش در طی یک دوره رشد گیاه گندم انجام گرفت و در طول دوره رشد عملکرد ظاهری هر دو رقم گندم در تیمارهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت. اواسط خردادماه ۱۳۹۳ و پس از کامل شدن دوره رشد گیاه، ریشه، اندام‌هوایی و دانه گندم به طور جداگانه برداشت شد و شاخص‌هایی از قبیل ارتفاع، سطح برگ، تعداد دانه در گلدان، وزن دانه در گلدان و وزن اندام‌هوایی اندازه‌گیری شدند. پس از برداشت گیاه، کلیه ویژگی‌های ذکر شده برای خاک اولیه بر روی خاک هر گلدان نیز به صورت جداگانه انجام گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار SPSS و مقایسه میانگین-ها با روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۵ درصد انجام شد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های خاک و لجن فاضلاب مورد استفاده.

پارامتر	واحد	خاک	لجن
بافت خاک	–	لوم شنی	–
جرم مخصوص ظاهری	$g\ cm^{-3}$	۱/۹	–
هدایت الکتریکی	$dS\ m^{-1}$	۱/۸	۳*
pH	–	۷/۷	٦/۳*
کربن آلی	%	۱/۷	۵۸/۸
نیتروژن کل	%	۰/۱٤	٦/۰۲
فسفر قابل جذب	$mg\ kg^{-1}$	۵۰	٤۵۰۰
پتاسیم قابل جذب	$mg\ kg^{-1}$	۱۰۰	٤۹۰۰

* نسبت لجن: آب در عصاره ۵:۱ است.

نتایج و بحث

ارتفاع گیاه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر لجن فاضلاب و رقم و همچنین اثر متقابل آنها بر ارتفاع گیاه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است(جدول۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، کاربرد ٦۰ گرم بر کیلوگرم لجن فاضلاب در مقایسه با تیمار شاهد تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع رقم سیوند نداشت، اما کاربرد ۱۲۰ گرم بر کیلوگرم لجن باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع آن شد. در رقم روشن، افزودن لجن فاضلاب به خاک باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع گیاه شد و از این نظر اختلاف معنی‌داری بین سطوح ٦۰ و ۱۲۰ گرم بر کیلوگرم لجن مشاهده نشد (جدول ۳).

به احتمال زیاد، بالا بودن تعداد پنجه و برگ گیاه مانع از رشد ارتفاعی رقم گندم روشن در اثر کاربرد لجن فاضلاب شده است. نتایج تحقیق آیلینکای و همکاران

(۲۰۱۰)نشان داد که بیشترین افزایش در عملکرد اندام-هوایی گندم بر اثر کاربرد لجن تصفیه شده به دست آمده است.

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر لجن فاضلاب بر اجزاء عملکرد ارقام گندم سیوند و روشن.

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		ارتفاع	سطح برگ	تعداد دانه در گلدان	وزن کل دانه	وزن خشک اندام‌هوایی
لجن فاضلاب	۲	۱٤ /۷٦ **	۱۵۵۰۸۳۳۵ **	۱۲۷۸۷۷ **	۱٦٦ /۵ **	۵۹۹/۱ **
رقم	۱	٦٦۰ /۵ **	۳۸۷٦۷۲۰ **	۵٤۷۷ **	۲ /۷۲ **	٦۱۲/۵ **
لجن × رقم	۲	۱۰٤ /٤ **	۹٦۲۳۹٦ **	۲۹٤۷ **	۳ /۱۱ **	۱۲٤/۷ **
خطای آزمایش	۱۲	۲ /۰۲	٦۳۱٦	۸۹ /۹	۰/۱۹۷	۱/۱۲
ضریب تغییرات(٪)		۲/۷	۳/۷۲	۳/۳٦	۳/۷۹	۵/۷۳

** در سطح ۰/۰۱ آزمون دانکن معنی‌دار است.

سطح برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر لجن فاضلاب و رقم و همچنین اثر متقابل آنها بر سطح برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است(جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، کاربرد لجن فاضلاب در مقایسه با تیمار شاهد باعث افزایش معنی‌دار سطح برگ هر دو رقم سیوند و روشن شد. در هر دو رقم، سطح برگ گیاهان رشد یافته در تیمار ۱۲۰ گرم بر کیلوگرم لجن به طور معنی‌داری بیشتر از سطح ٦۰ گرم بر کیلوگرم لجن بود (جدول ۳).

تعداد دانه در گلدان

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر لجن فاضلاب و رقم و همچنین اثر متقابل آنها بر تعداد دانه در گلدان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد لجن فاضلاب در مقایسه با تیمار شاهد باعث افزایش معنی‌دار تعداد دانه هر دو رقم سیوند و روشن شد. به طوری که بیشترین تعداد دانه در هر دو رقم مورد مطالعه مربوط به تیمار ۱۲۰ گرم بر کیلوگرم لجن بود. تعداد دانه در رقم روشن در سطح ۱۲۰ گرم بر کیلوگرم نسبت به رقم سیوند افزایش معنی-داری نشان داد (جدول ۳).

جدول ۳- مقایسه میانگین تأثیر لجن فاضلاب بر اجزاء عملکرد ارقام گندم سیوند و روشن.

رقم	لجن فاضلاب ($g\ kg^{-1}$)	ارتفاع(cm)	سطح برگ(cm^2)	تعداد دانه در گلدان	وزن کل دانه ($g\ pot^{-1}$)	وزن خشک اندام-هوایی ($g\ pot^{-1}$)
سیوند	صفر	٤۳/۷ d	۳٤۲/۱٦ e	۱۱۳d	٦/۲ d	٦/۳ d
	٦۰	٤۵/۸ d	۱۹٤۷/۸ d	۳۲٤/۳ c	۱۱/۹ c	۱۵/٦ c
	۱۲۰	۵۰/۳ c	۲۷۱٤/۳ c	۳۵۲/٦ b	۱۵/۲ b	۱۵/۹٦ c
روشن	صفر	٦٤/۸ a	۳۵۹/۱٦ e	۱۲۰ d	۵/٦ d	۷/۷ d
	٦۰	۵٦/۵ b	۳۱۹٤ b	۳۳٦ bc	۱۲/۵ c	۳۰/۳ b

۳٤/۸ [a]	۱۷/٥ [a]	٤۳۸/٦ [a]	٤۲۳٥/٦ [a]	٥٤/۸ [b]	۱۲۰

میانگین‌هایی که در هر ستون، کمینه یک حرف مشترک دارند در سطح ۰/۰۵ آزمون دانکن تفاوت معنی‌دار ندارند.

وزن کل دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر لجن فاضلاب و رقم و همچنین اثر متقابل آنها بر وزن کل دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، با کاربرد لجن فاضلاب، وزن کل دانه در هر دو رقم سیوند و روشن نسبت به شاهد به طور معنی‌داری افزایش یافت. بیشترین وزن دانه در هر دو رقم مربوط به تیمار ۱۲۰ گرم لجن بر کیلوگرم خاک بود. وزن کل دانه در رقم روشن در سطح ۱۲۰ گرم لجن بر کیلوگرم خاک نسبت به رقم سیوند افزایش معنی-داری نشان داد (جدول ۳).

وزن خشک اندام‌هوایی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر لجن فاضلاب و رقم و همچنین اثر متقابل آنها بر وزن خشک اندام‌هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، کاربرد لجن در مقایسه با تیمار شاهد باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام‌هوایی هر دو رقم سیوند و روشن شد. در رقم سیوند بین سطوح ٦۰ و ۱۲۰ گرم بر کیلوگرم لجن اختلاف معنی‌داری از نظر وزن اندام‌هوایی وجود نداشت، اما در رقم روشن، وزن اندام‌هوایی گیاهان رشد یافته در تیمار ۱۲۰ گرم بر کیلوگرم لجن فاضلاب به طور معنی‌داری بیشتر از سطح ٦۰ گرم بر کیلوگرم بود (جدول ۳). افزایش در عملکرد دانه و متغیرهای مرتبط با عملکرد به دلیل وجود مقادیر بالای نیتروژن، فسفر و عناصر کم مصرف در اثر کاربرد لجن می‌باشد (ناگر و ال- قمری ۲۰۰۱).

آنتولین و همکاران (۲۰۰۵) در تحقیق خود علت افزایش عملکرد دانه جو در اثر استفاده از لجن فاضلاب را به افزایش در تعداد جوانه مربوط دانستند و همچنین این افزایش را به بهبودی شرایط خاک نسبت دادند که در نتیجه باعث بهبود چرخش مواد غذایی برای محصول می-شود. نتایج تحقیق بوزرزور و همکاران (۲۰۰۲) نشان داد که کاربرد لجن فاضلاب باعث افزایش اندازه برگ، شاخص سطح برگ، تجمع مواد خشک در سطح خاک، افزایش ظرفیت پنجه‌زنی و ارتفاع بوته جو در آزمایش گلدانی شد. خان و همکاران (۲۰۰۷) نیز افزایش عملکرد دانه و وزن خشک گندم با افزایش کاربرد لجن را گزارش نمودند.

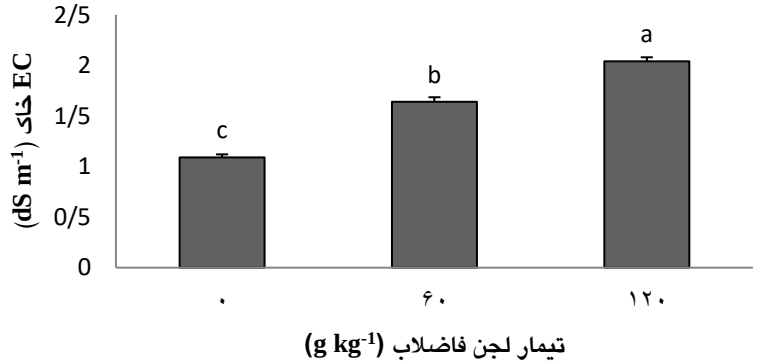
هدایت الکتریکی خاک (EC)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر لجن فاضلاب بر هدایت الکتریکی خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است، اما تأثیر رقم و اثر متقابل لجن و رقم بر هدایت الکتریکی خاک معنی‌دار نشد (جدول ٤). مقایسه میانگین‌ها نشان داد کاربرد لجن فاضلاب در مقایسه با تیمار شاهد باعث افزایش معنی‌دار هدایت الکتریکی خاک شد و هدایت الکتریکی خاک در سطح ۱۲۰ گرم بر کیلوگرم لجن فاضلاب به طور معنی‌داری بیشتر از سطح ٦۰ گرم بر کیلوگرم بود (شکل۱). یکی از دلایل تأثیر کاربرد لجن فاضلاب بر افزایش هدایت الکتریکی خاک ناشی از زیاد بودن مقدار املاح در لجن فاضلاب است (شیرانی و همکاران ۱۳۸۹). در این ارتباط، یگانه و همکاران (۱۳۸۷) با بررسی تأثیر لجن فاضلاب بر پروفیل شوری خاک به این نتیجه رسیدند که افزودن لجن فاضلاب به خاک، باعث افزایش معنی‌دار هدایت الکتریکی خاک شد.

جدول ۴- تجزیه واریانس تأثیر کاربرد لجن فاضلاب بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک.

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		EC	pH	جرم مخصوص ظاهری	کربن آلی	نیتروژن کل	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب
لجن فاضلاب	۲	۱/٤۱**	۰/۱٤٤**	۰/۰۱**	۲/۰۸۹**	۰/۰۲۳**	۰/۰۰۵**	۰/۰۰۹**
رقم	۱	۰/۰۲۳ ns	۰/۰۳٦*	۰/۰۰٤**	۰/۰۰۸ ns	۰/۰۰۷ ns	۰/۰۰۹ ns	۰/۰۰۰۸ ns
لجن × رقم	۲	۰/۰۰۳ ns	۰/۰۲٤*	۰/۰۰۰۲ ns	۰/۱۲٥*	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۱ ns
خطای آزمایش	۱۲	۰/۰۰٥	۰/۰۰٦	۰/۰۰۱	۰/۰۲۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات(٪)		٤/٤۱	۱	۱/۸٦	۷/۰۳	۸/۲۱	۹/۱۷	۹/۳۸

** و* به ترتیب در سطح ۰/۰۱ و ۰/۰۵ آزمون دانکن معنی‌دار است. ns در سطح ۰/۰۵ آزمون دانکن معنی‌دار نیست.



شکل ۱- تأثیر تیمارهای مختلف لجن فاضلاب (صفر، ۶۰ و ۱۲۰ گرم بر کیلوگرم) بر EC خاک.

pH خاک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر لجن فاضلاب بر pH خاک در سطح احتمال یک درصد و تأثیر رقم و اثر متقابل لجن و رقم بر pH خاک در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است (جدول ٤). مقایسه میانگین‌ها نشان داد کاربرد لجن در مقایسه با تیمار شاهد باعث کاهش معنی‌دار pH خاک هر دو رقم سیوند و روشن شد. pH خاک در رقم سیوند به طور معنی‌داری بیشتر از رقم روشن بود (جدول ۵). نتیجه به دست آمده با نتایج تحقیق رحیمی‌آلاشتی و همکاران (۱۳۹۰) مطابقت داشت. تجزیه مواد آلی موجود در لجن سبب ایجاد عوامل اسیدی شده و در نتیجه pH خاک کاهش می‌یابد (واثقی و همکاران ۱۳۸٤). بنابراین کاهش pH خاک می‌تواند سبب افزایش قابلیت دستیابی عناصر غذایی و در نتیجه افزایش حاصلخیزی خاک شود (افیونی و همکاران ۱۳۸۹).

جدول ۵- مقایسه میانگین تأثیر کاربرد لجن فاضلاب بر pH و کربن آلی خاک.

رقم	لجن فاضلاب ($g\ kg^{-1}$)	pH	کربن آلی (٪)
	صفر	۷/۹ [a]	۱/۵٤ [c]
سیوند	٦۰	۷/۷ [b]	۲/۱۷ [b]
	۱۲۰	۷/۷ [b]	۲/٤۲ [ab]
	صفر	۷/۹ [a]	۱/۲۵ [d]
روشن	٦۰	۷/۷ [b]	۲/٤۲ [ab]
	۱۲۰	۷/۵ [c]	۲/۵۹ [a]

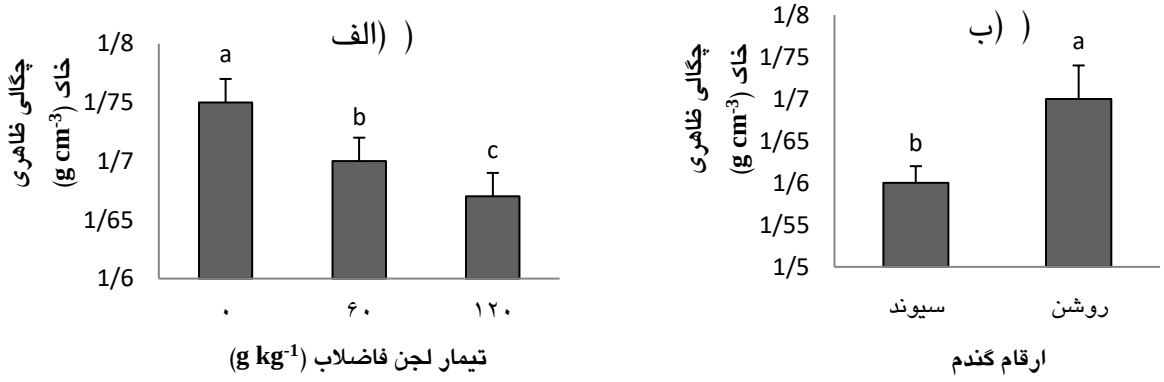
میانگین‌هایی که در هر ستون کمینه یک حرف مشترک دارند در سطح ۰/۰۵ آزمون دانکن تفاوت معنی‌دار ندارند.

کربن آلی خاک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر لجن فاضلاب بر کربن آلی خاک در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل لجن و رقم در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است اما تأثیر رقم بر کربن آلی خاک معنی‌دار نشد (جدول٤). مقایسه میانگین‌ها نشان داد کاربرد لجن فاضلاب در مقایسه با تیمار شاهد باعث افزایش معنی‌دار کربن آلی خاک تحت کشت دو رقم سیوند و روشن شد، اما از این نظر اختلاف معنی‌داری بین سطوح ٦۰ و ۱۲۰ گرم بر کیلوگرم لجن وجود نداشت. همچنین در رقم سیوند، درصد کربن آلی خاک در تیمار شاهد به طور معنی‌داری بیشتر از رقم روشن بود (جدول ۵). در بسیاری از مطالعات به تأثیر مثبت کاربرد لجن فاضلاب بر افزایش درصد کربن آلی خاک اشاره شده است. در این راستا، نادال و همکاران (۲۰۱۲) مطالعه‌ای با هدف اصلاح طولانی‌مدت خاک‌های آهکی با استفاده از لجن فاضلاب انجام دادند. نتایج این محققان نشان داد که لجن فاضلاب از طریق افزایش کربن آلی خاک می‌تواند باعث بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شود.

چگالی ظاهری خاک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد لجن فاضلاب و رقم بر چگالی ظاهری خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است، اما اثر متقابل لجن و رقم بر چگالی ظاهری خاک معنی‌دار نشد (جدول ٤). مقایسه میانگین‌ها نشان داد کاربرد لجن فاضلاب در مقایسه با تیمار شاهد باعث کاهش معنی‌دار چگالی ظاهری خاک شد (شکل۲- الف). همچنین در رقم روشن چگالی ظاهری خاک بیشتر از رقم سیوند بود (شکل ۲- ب).



شکل ۲- (الف) تأثیر تیمارهای مختلف لجن فاضلاب (صفر، ۶۰ و ۱۲۰ گرم بر کیلوگرم) بر چگالی ظاهری خاک.

(ب) تأثیر ارقام مختلف گندم (سیوند و روشن) بر چگالی ظاهری خاک.

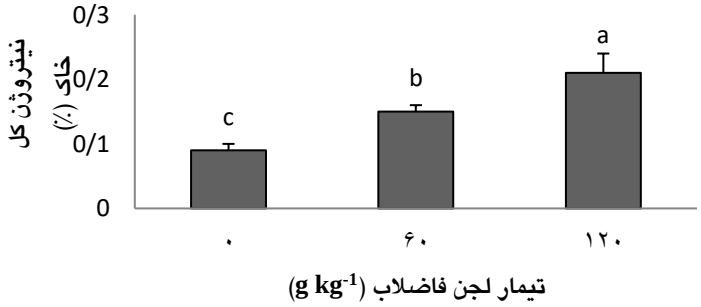
به طور کلی مواد آلی دارای چگالی کم بوده و از طرفی افزایش مواد آلی در خاک باعث افزایش تخلخل خاک می‌شود. بنابراین انتظار می‌رود با افزودن مواد آلی به خاک، چگالی ظاهری و تراکم‌پذیری خاک کاهش یابد (ای-کیو و استون ۱۹۹۵،فلتون ۱۹۹۵). اوهیو و همکاران (۱۹۸۵)، گزارش کردند به علت چگالی کمتر مواد آلی نسبت به خاک، چگالی مخلوط خاک و مواد آلی باید کمتر از چگالی ظاهری اولیه خاک باشد، حتی اگر تأثیر بخصوصی بر پوک‌کنندگی خاک نداشته باشد. لوگان و بیلیت (۱۹۹۸) دریافتند که اضافه کردن ۲۵ درصد حجمی لجن هضم شده به خاک، سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند چگالی ظاهری و تخلخل خاک می‌شود.

گیوس کوئیانی و همکاران (۱۹۹۵) تأثیر لجن فاضلاب بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک را مورد مطالعه قرار دادند و دریافتند که کاربرد لجن، باعث افزایش تخلخل و کاهش چگ[illegible]

همکاران (۱۹۷۳)نیز گزارش کردند که اضافه کردن لجن فاضلاب به خاک سبب کاهش چگالی ظاهری خاک می-شود. آنان این کاهش را به تشکیل خاکدانه‌ها نسبت دادند.

نیتروژن کل خاک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر لجن فاضلاب بر نیتروژن کل خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است اما تأثیر رقم و اثر متقابل لجن و رقم بر نیتروژن کل خاک معنی‌دار نشد (جدول ٤). مقایسه میانگین‌ها نشان داد کاربرد لجن در مقایسه با تیمار شاهد باعث افزایش معنی‌دار نیتروژن کل خاک شد. غلظت نیتروژن خاک در سطح ۱۲۰ گرم بر کیلوگرم لجن به طور معنی‌داری بیشتر از سطح ٦۰ گرم بر کیلوگرم لجن بود (شکل۳). بوستانی و رونقی (۱۳۹۱) نیز در مطالعات خود نشان دادند کاربرد لجن فاضلاب سبب افزایش معنی دار نیتروژن کل خاک گردید.



شکل ۳- تأثیر تیمارهای مختلف لجن فاضلاب (صفر، ۶۰ و ۱۲۰ گرم بر کیلوگرم) برنیتروژن کل خاک.

فسفر قابل جذب خاک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر لجن فاضلاب بر فسفر قابل جذب خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است اما تأثیر رقم و اثر متقابل لجن و رقم بر فسفر قابل جذب خاک معنی‌دار نشد (جدول ٤). مقایسه میانگین‌ها نشان داد کاربرد لجن در مقایسه با تیمار شاهد باعث افزایش معنی‌دار فسفر قابل جذب خاک شد. فسفر قابل جذب خاک در سطح ۱۲۰ گرم بر کیلوگرم لجن به طور معنی‌داری بیشتر از سطح ٦۰ گرم بر کیلوگرم لجن بود (شکل ٤).

لجن فاضلاب حاوی مقدار زیادی فسفر بوده و

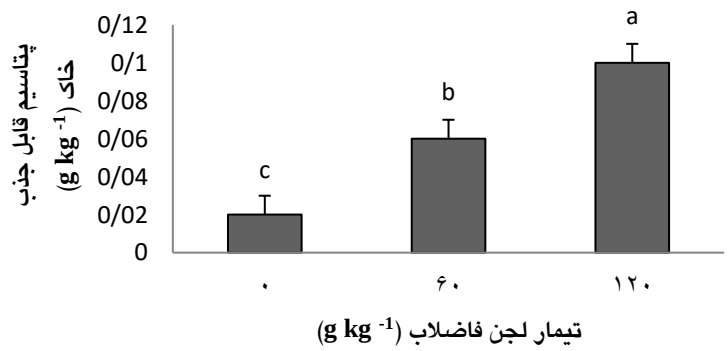
کاربرد آن در خاک می‌تواند سبب بهبود وضعیت تغذیه فسفر در گیاه شود. قابلیت دسترسی فسفر لجن فاضلاب نه تنها به مقدار کل فسفر موجود در لجن بلکه به واکنش-های آن با اجزای مختلف خاک و تغییر شکل‌های فسفر خاک بستگی دارد (دایل و همکاران ۲۰۰۹). شرودر و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که کاربرد سالیانه لجن فاضلاب سبب افزایش فسفر قابل جذب خاک در مزارع گندم گردید.

شکل ۴- تأثیر تیمارهای مختلف لجن فاضلاب (صفر، ۶۰ و ۱۲۰ گرم بر کیلوگرم) بر فسفر قابل جذب خاک.

پتاسیم قابل جذب خاک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر لجن فاضلاب بر پتاسیم قابل جذب خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است اما تأثیر رقم و اثر متقابل لجن و رقم بر پتاسیم قابل جذب خاک معنی‌دار نشد (جدول ٤). مقایسه میانگین‌ها نشان داد کاربرد لجن فاضلاب در مقایسه با تیمار شاهد باعث افزایش معنی‌دار پتاسیم قابل جذب خاک شد. پتاسیم قابل خاک در سطح ۱۲۰ گرم بر کیلوگرم لجن

به طور معنی‌داری بیشتر از سطح ٦٠ گرم بر کیلوگرم لجن بود (شکل ٥). افزایش پتاسیم قابل جذب خاک توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است. در این رابطه، نانس و همکاران (۲۰۰۸) تأثیرکوتاه‌مدت لجن ثانویه کارخانه کاغذسازی را بر روی خصوصیات خاک و عملکرد گندم دو نوع خاک کشاورزی مدیترانه‌ای مورد بررسی قرار دادند. نتایج به‌دست آمده از مطالعه این محققان بیانگر افزایش پتاسیم قابل جذب خاک بود.



شکل ۵- تأثیر تیمارهای مختلف لجن فاضلاب (صفر، ۶۰ و ۱۲۰ گرم بر کیلوگرم) بر پتاسیم قابل جذب خاک.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد با کاربرد لجن فاضلاب عملکرد گیاه، افزایش یافت. سطح برگ، تعداد دانه، وزن کل دانه و وزن اندام‌هوایی در سطح تیمارهای لجن نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری نشان داد. تیمارهای لجن فاضلاب باعث افزایش هدایت الکتریکی خاک شد. قابلیت هدایت الکتریکی لجن، ۳ دسی‌زیمنس بر متر بود و بنابراین با توجه به قابلیت هدایت الکتریکی خاک اولیه (۱/۸ دسی‌زیمنس بر متر)، با افزایش لجن فاضلاب، شوری خاک افزایش یافت ولی این افزایش چندان چشمگیر نبود. به کارگیری لجن در طولانی مدت یا در مقادیر زیاد، چنانچه با برنامه‌ریزی دقیق توأم نباشد، ممکن است میزان املاح خاک را افزایش دهد و تأثیرات مخربی بر روی ساختمان خاک بر جای بگذارد. لجن فاضلاب باعث کاهش pH و چگالی ظاهری خاک در سطوح ۶۰ و ۱۲۰ گرم لجن نسبت به تیمار شاهد شد. همچنین لجن فاضلاب در مقایسه با تیمار شاهد باعث افزایش کربن آلی و نیتروژن-کل، فسفر و پتاسیم قابل جذب خاک شد. اگرچه نتایج این تحقیق نشان داد که لجن فاضلاب تأثیر مطلوبی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و عملکرد گیاه دارد، اما استفاده مکرر از لجن فاضلاب ممکن است سبب تجمع فلزات سنگین در خاک و گیاه شود، بنابراین توصیه می-گردد راه‌های ورود فلزات سنگین به فاضلاب و لجن فاضلاب بررسی شود تا با کاهش ورود این فلزات، ارزش کودی لجن افزایش یابد.

منابع مورد استفاده

Afyuni M, Zamani Babgohari J, Khosh Goftarmanesh AH and Eshghizadeh HR,1389. Effect of sewage sludge of polyacrylic plant, municipalwaste compost and cow manure on soil characteristics and grain corn yield. Journal of Science Technology Agriculture and Natural Resources 4(54): 153-165.

Albiach R, Canet R, Pomares F and Ingelmo F, 2001. Organic matter components, aggregate stability and biological activity in a horticultural soil fertilized with different rates of two sewage sludges during ten years. Bioresour. Technol, 77: 109-114.

Alcantara S, Perez DV, Almeida MRA, Silva GM, Polidoro JC and Bettiol W, 2009. Chemical changes and heavy metal partitioning in an Oxisol cultivated with maize (*Zea Mays, L.*) after 5 years disposal of a domestic and an industrial sewage sludge. Water Air Soil Pollut, 203- 316.

Angin I, Aslantas R, Kos M, Karakurt H and Ozkan G, 2012. Changes in chemical properties of soil and sour cherry as a result of sewage slude application. Hort. Sci. (prague), 39(2) : 61- 66.

Antolin MC, Pascual I, Garcia C, Polo A and Sanchez-Diaz M, 2005. Growth, yield and solute content of barley in soils treated with sewage sludge under semiarid Mediterranean conditions. Field Crops Research 94: 224-237.

Akbarnejad F, Astaraei A, Fotovat A and Nasiri Mahalati M, 1388. Effect of urban waste compost and sewage sludge on yield and yield components of black cumin (*Nigella Sativa* L.). Iranian Journal of Field Crops Research, 8(5): 767-771.

Arslan A, Alzoubi MM, Nasralla H, Bijon N, Abdul JG and Jusadan O, 2007. The effect of mixing sludge with surface soil layer on the physical properties and cotton yield. Proceedings of the Workshop on sustainable management of wastewater for agricultural production in water scarce countries. ICARDA, Aleppo, Syria, 33-40.

Barriquelo M, Marines J, Silva M, and Lenzi E, 2003. Lead behavior in soil treated with contaminated sewage sludge and cultivated with maize. Brazilian Journal Archives of Biology and Technology 46: 499-505.

Boostani HR, Ronaghi A, 1391. Bioavilability of nutrients in three textural classes of a calcareous soil affected by addition of sewage sludge and fertilizer after harvesting corn. Journal of Water and Soil 26(2): 272-281.

Bouzerzour H, Tamrabet L and Kribaa M, 2002. Response of barley and oat to the wastewater irrigation and to the sludge amendment. In: the Proc. Int. Seminar: Biol. and Environ., p: 71. University Mentouri,

Constantine, Algeria.
Chiba MK, Mattiazzo ME and Oliveira FC, 2008. Sugarcane cultivation in a sewage sludge treated ultisol. The soil fertility and plant nutrition. Rev. Bras. Cienc. Solo 32, 643-652.
Dail HW, He Z, Erich SM and Honeycutt WC, 2009. Soil phosphorus dynamic in response to pultry manure amendment. Soil Sci. Soc. Am. J. 67: 645-653.
Ekwue EI and Stone RJ, 1995. Organic matter effects on the strength properties of compacted agricultural soils. Trans. ASAE., 38(2), 357-365.
Felton GK, 1995. Soil hydraulic properties on municipal solid waste. Trans. ASAE., 38(3): 775-782.
Franco A, Abreu Junior CH, Perecin D, Oliveira FC, Granja ACR and Braga VS, 2010. Sewage sludge as nitrogen and phosphorus source for cane plant and first ratoon crops. Rev. Bras. Cienc. Solo 34: 553-561.
Garcia-Gil JC, Plaza C, Senesi N, Brunetti G and Polo A, 2004. Effects of sewage sludge amendment on humic acids and microbiological properties of a semiarid Mediterranean soil. Biol. Fert. Soils 39: 320-328.
Giusquiani PL, Pagliai M, Gigliotti G, Businelli D and Benetti A, 1995. Urban wast compost: Effects on physical, chemical and biochemical soil properties. J Environ. Qual., 24(1): 175-182.
Khan M A, Kazi TG, Ansari R, Mujtaba SM, Khanzada B, Khan M A, Shirazi MU and Mumtaz S, 2007. Effects of un-treated sewage sludge on wheat yield, metal uptake by grain and accumulation in the soil. Pakistan Journal of Botany 39(7): 2511-2517.
Kutuk C, Cayci G, Baran A, Baskan O, and Hartmann R, 2003. Effects of beer factory sludge on soil properties and growth of sugar beet (Beta vulgaris saccharifera L.). Bioresource Technology, 90: 75-80.
Logan TJ and Bilite J, 1998. Filed response of soil physical properties to sewage sludge. J Environ. Qual. 27: 534-542.
Malakooti M and Nafisi M, 1376. The use of fertilizer in faryab and dam lands. Tarbiat Modares University Press.
Mays DA, Treman GL and Duggan JC, 1973. Municipal compost: effect on yield and soil properties. J Environ. Qual. 2: 81-89.
Nadal M, Roig N, Sierra J, Martí E, Schuhmacher M and Domingo JL, 2012. Long-term amendment of Spanish soils with sewage sludge: Effects on soil functioning. Agric Ecosyst Environ 158: 41– 48.
Naggar EM and El-Ghamry AM, 2001. Comparison of sewage sludge and town refuse as soil conditioners for sandy soil reclamation. Pakistan Journal of Biological Sciences 4: 775-778.
Navas A, Bermudez F and Machin J, 1998. Influence of sewage sludge application on physical and chemical properties of gypsisols. Geoderama, 87: 123- 138.
Nunes JR, Cabral F and Lopez-Pineiro A, 2008. Short-term effects on soil properties and wheat production from secondary paper sludge application on two Mediterranean agricultural soils. Bioresource Technology 99 : 4935-4942 .
Ohu JO, 1985. Peatmoss influence on strength hydraulic conductivity characteristics and crop production of compacted soils. Ph.D. Thesis, MacDonald Collage, Gill University.
Rahimi Alashty S, Bahmanyar MA, Ghajar Sepanlou M, 1390. The effect of sewage sludge application on pH, EC, O.C, Pb and Cd in soil and lettuce and radish plants. Journal of Water and Soil Conservation 18(3): 133-148.
Ros M, Hernandez M T and Garcia C, 2003. Soil microbial activity after restoration of a semiarid soil by organic amendments. Soil Biology and Biochemistry 35: 463-469.
Seleiman MF, Makela P, Santanen A and Stoddard F, 2012. Effect of sludge on germination and growth bioenergy crops. Maataloustieteen Paivat. www.smts.fi.
Senesi N, Miano T M, Brunetti G, 1996. Humic-like substances in organic amendments and effects on native soil humic substances. In: Piccolo, A. (Ed.), Humic Substances in Terrestrial Ecosystems. Elsevier, Amsterdam, pp. 531-593.
Schroder Jl, Zhang H, Zhou D, Basta N, Raun W R, Payton M E and Zazulak A, 2008. The effect long term annual application of biosolids on soil properties, phosphorus and metals. Soil Sci. Soc. Am.J, 72:73-82.
Silveira MLA, Alleoni LRF and Guilherme LRG, 2003. Sewage sludge and heavy metals in soils. Sci. Agric, 60: 793-806.
Shirani H, HajAbasi M, Afyuni M and Dashti H, 1389. Cumulative Effect of Sewage Sludge on Soil Physical and Chemical Characteristics. Journal of Water and Sewage 3:28-36.

Streck T,and Richter J, 1997. Heavy metal displacement in a sandy soil at the field scale: I. Measurements and parameterization of sorption. Journal of Environmental Quality, 26:49-56.

Vaseghi S, Afyuni M, Shariatmadari H and Mobli M, 1383. Effect of sewage sludge on some macronutrients concentration and soil chemical properties. Journal of Water and Sewage 53:15-22.

Wong JWC, Fang M and Su DC, 2001. Toxicity evaluation of sewage sludge in Hong Kong. Environ. Int, 27 : 373-380.

Yeganeh M, Afyuni M and Rezaei Nejad, 1387. Impact of sewage sludge on soil salinity profile. Journal of Soil Research, 22(2): 165-179.