



اثر لجن فاضلاب بر برخی خصوصیات خاک، عملکرد و غلظت سرب و کادمیوم ریشه و اندام هوایی ذرت

کبری سعادت^۱، * مجتبی بارانی مطلق^۲، اسماعیل دردی پور^۳ و عظیم قاسم نژاد^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ^۲ استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ^۳ استادیار گروه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
تاریخ دریافت: ۹۱/۱/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۵/۱۰

چکیده

لجن فاضلاب دارای ماده آلی فراوان و عناصر ضروری گیاه مانند نیتروژن و فسفر است. استفاده از لجن فاضلاب به عنوان کود در زمین‌های کشاورزی علاوه بر داشتن برتری‌های اقتصادی، گزینه مناسبی نیز برای رفع مشکل مدیریت لجن فاضلاب است. محدودیت اصلی مصرف لجن فاضلاب وجود غلظت‌های بالای فلزات سنگین مانند سرب و کادمیوم می‌باشد. هدف از این پژوهش، بررسی اثر لجن فاضلاب بر خصوصیات خاک، جذب عناصر غذایی، فلزات سنگین و عملکرد ذرت می‌باشد. به این منظور آزمایشی گلخانه‌ای با کاربرد سطوح مختلف لجن (۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد وزنی/وزنی) بر پایه طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار اجرا گردید. نتایج نشان داد کاربرد لجن فاضلاب موجب افزایش معنی‌دار ماده آلی، قابلیت هدایت الکتریکی خاک و کاهش معنی‌دار pH خاک در سطح ۱ درصد گردید. کاربرد لجن فاضلاب موجب افزایش معنی‌دار عملکرد، غلظت نیتروژن، فسفر و سدیم را در ذرت در سطح ۱ درصد به دنبال داشت. همچنین نتایج نشان داد، کاربرد لجن فاضلاب موجب افزایش غلظت سرب در اندام هوایی ذرت گردید، ولی فقط در تیمار ۲۰ درصد نسبت به تیمار شاهد از نظر آماری اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد مشاهده گردید. کاربرد لجن موجب افزایش معنی‌دار در سطح ۱ درصد غلظت سرب و کادمیوم در ریشه ذرت گردید.

واژه‌های کلیدی: لجن فاضلاب، سرب، کادمیوم، خصوصیات خاک

* مسئول مکاتبه: mbarani2002@yahoo.com

مقدمه

لجن فاضلاب، مواد جامدی است که در روش‌های مختلف تصفیه به منظور حذف آلاینده‌های معلق و محلول از فاضلاب در تصفیه خانه‌های فاضلاب به دست می‌آید. امروزه مدیریت لجن، با توسعه تصفیه خانه‌های فاضلاب و احداث واحدهای تصفیه خانه‌های جدید، به یکی از بحرانی‌ترین موضوعات زیست‌محیطی تبدیل شده است (هاشمی‌مجد، ۲۰۱۰). به طور متوسط ۳۰ میلیون تن لجن فاضلاب سالانه در جهان تولید می‌شود، که حدود ۲۱ میلیون تن آن به عنوان کود به زمین‌های کشاورزی اضافه می‌گردد. لجن فاضلاب به دلیل وجود عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و همچنین ماده آلی فراوان به عنوان کودی ارزان قیمت مورد توجه کشاورزان قرار گرفته است (واتقی و همکاران، ۲۰۰۳). کاربرد لجن فاضلاب در کشاورزی علاوه بر کاهش هزینه‌های مربوط به دفع لجن فاضلاب می‌تواند بخش زیادی از فسفر مورد نیاز بسیاری از گیاهان را تأمین نماید (تامبرات و همکاران، ۲۰۰۹). سینگ و اگراوال (۲۰۱۰) با بررسی پتانسیل برتری‌ها و خطرات کاربرد لجن فاضلاب در زمین‌های کشاورزی بیان نمودند، کاربرد لجن فاضلاب در زمین‌های زراعی علاوه بر این که عناصر ضروری مورد نیاز گیاهان را تأمین نموده، مسایل محیط زیستی و اقتصادی مربوط به دفن و سوزاندن لجن را مرتفع می‌سازد. لجن فاضلاب به عنوان محصول تصفیه فاضلاب شامل مواد آلی و عناصر غذایی زیادی بوده و برای بهبود حاصل خیزی زمین‌های کشاورزی و ارتقای زیست توده آن‌ها به کار می‌رود (کاسادوولا و همکاران، ۲۰۰۵). الذوبی و همکاران (۲۰۰۸) تأثیر لجن فاضلاب را بر عملکرد گندم، ذرت، 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 خواص فیزیکی و شیمیایی خاک گذارد و این به خصوص برای خاک‌های ایران که با کمبود مواد آلی مواجه هستند، دارای اهمیت می‌باشد (افیونی و همکاران، ۱۹۹۸). سانگ و لی (۲۰۱۰) 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. کمبود مواد آلی در خاک‌های کشاورزی از یک سو و تولید انبوه مواد زاید و مشکلات زیست‌محیطی به دست آمده از آن‌ها از سوی دیگر، ایجاب می‌کند که این مواد به نحو مطلوب و آگاهانه به عنوان کود آلی مورد استفاده قرار گیرند (حجتی و همکاران، ۲۰۰۶).

محدودیت اصلی استفاده از لجن فاضلاب پتانسیل آزادسازی فلزات سنگین از لجن و تجمع فلزات سنگین در سطوح سمی در بخش فوقانی خاک است (چلوپیکا و آدریانو، ۱۹۹۷). فانسس و همکاران (۲۰۰۴) بیان نمودند وجود فلزات سنگین در لجن فاضلاب استفاده از لجن فاضلاب را در کشاورزی محدود می‌نماید. گرچه خاک‌ها با مکانیسم‌های مختلف مانند رسوب، جذب سطحی و واکنش‌های احیا دارای ظرفیتی طبیعی برای کاهش قابلیت دسترسی و حرکت فلزات هستند، زمانی که غلظت فلزات سنگین زیاد می‌شود، این آلاینده‌ها می‌توانند متحرک شده و در نتیجه آلودگی‌هایی برای محصولات کشاورزی و آب زیرزمینی ایجاد نمایند (فانسس و همکاران، ۲۰۰۴). جذب فلزات سنگین به وسیله گیاهان و تجمع در زنجیره غذایی تهدیدی برای سلامتی انسان است (شی و همکاران، ۲۰۰۹). سرب یکی از آلاینده‌های عمده محیط بوده و برای انسان بسیار سمی است. گرچه سرب را به‌عنوان یکی از عناصر کم‌تحرک شناخته‌اند، اما در صورت وجود فرم‌های محلول در محیط، ریشه گیاه قادر خواهد بود مقادیر زیادی از آن را جذب نماید. شدت جذب با افزایش غلظت سرب در محلول و با گذشت زمان افزایش می‌یابد. برخی عوامل خاکی مانند pH کم، غلظت کم فسفر خاک و فراوانی لیگاندهای آلی به‌عنوان عوامل افزایش‌دهنده جذب سرب توسط گیاه و انتقال سرب به اندام‌های هوایی گیاه شناخته شده‌اند (نظری و همکاران، ۲۰۰۶). کادمیوم در بین فلزات سنگین میل ترکیبی کمی برای اتصال با فازهای تثبیت‌کننده خاک مانند اکسیدها و کلات‌ها دارد. بنابراین قابلیت جذب این عنصر توسط گیاه و انتقال آن به شاخساره گیاه زیاد است. کادمیوم همچنین توانایی بالایی برای عبور از غشا سلولی ریشه دارد. همه این عوامل باعث شده که خطر حضور کادمیوم در زنجیره غذایی بیش‌تر شود. کادمیوم برای رشد گیاهان ضروری نیست بلکه یک عنصر سمی برای گیاه است که در غلظت‌های ۳۰-۵ میلی‌گرم در کیلوگرم در برگ گیاهان سمیت ایجاد می‌کند (شریفی و همکاران، ۲۰۱۰).

واثقی و همکاران (۲۰۰۳) با بررسی تأثیر لجن فاضلاب بر قابلیت جذب عناصر کم‌مصرف و فلزات سنگین در خاک‌های با pH متفاوت دریافتند که لجن فاضلاب باعث افزایش معنی‌دار مقدار قابل استخراج آهن، روی، مس، سرب، کادمیوم و نیکل می‌شود که این افزایش متناسب با افزایش مقدار لجن بوده است. آن‌ها همچنین دریافتند که افزودن لجن فاضلاب به خاک باعث افزایش رشد گیاه و نیز افزایش مقدار جذب فلزات در محصول ذرت گردیده که این افزایش با کاهش pH متناسب بوده است. کرمی و همکاران (۲۰۰۷) اثر تجمعی و باقی‌مانده لجن فاضلاب شهری اصفهان را روی

غلظت عناصر سنگین در خاک و گیاه گندم بررسی نموده و به این نتیجه رسیدند که کاربرد لجن در مقادیر زیاد و با فواصل زمانی کم، موجب آلودگی خاک‌های تحت تیمار می‌شود و غلظت عناصر سنگین در خاک و گیاه را افزایش می‌دهد.

پرز- موریسیا و همکاران (۲۰۰۶) با بررسی تأثیر لجن فاضلاب بر رشد کلم بروکلی گزارش نمودند، افزودن لجن فاضلاب باعث افزایش غلظت فلزات سنگین در کلم بروکلی گردید.

اکدنیز و همکاران (۲۰۰۶) اثرات کاربرد لجن فاضلاب و نیتروژن را بر رشد سورگوم دانه‌ای در ترکیه بررسی نمودند. نتایج آنان نشان داد بعد از کاربرد لجن فاضلاب، غلظت فلزات سنگین در برگ و دانه کم‌تر از سطوح سمی برای انسان و دام بوده و می‌توان از لجن فاضلاب به‌عنوان کود نیتروژن در تولید ذرت سورگوم دانه‌ای استفاده نمود.

فوزیاهی و همکاران (۲۰۰۲) به بررسی کاربرد لجن فاضلاب در کشت ذرت و جذب فلزات سنگین نتایج آنان نشان داد غلظت کادمیوم و سرب در دانه افزایش یافته ولی کم‌تر از سطوح سمی بود.

گونداک (۲۰۰۹) با بررسی میزان کادمیوم در ذرت و خاک پس از مصرف لجن فاضلاب در آزمایشی گلدانی دریافتند لجن فاضلاب نسبت به کودهای معدنی عملکرد بیشتری را موجب شدند، در حالی که باعث افزایش کادمیوم ذرت نگردیدند.

با توجه به توصیه‌های وزارت کشاورزی مبنی بر مصرف کم‌تر کودهای شیمیایی، به‌منظور پیش‌گیری از آلودگی محیط زیست و همچنین با توجه به دلایل اقتصادی که کشاورزان را به مصرف بیش‌تر کودهای آلی ترغیب نموده، بررسی اثر لجن فاضلاب بر خاک از اهمیت خاصی برخوردار شده است (واتقی و همکاران، ۲۰۰۱). استفاده مجدد از ضایعات آلی مانند لجن فاضلاب، روش مناسبی برای بازگرداندن مواد آلی و برخی عناصر غذایی به خاک به‌شمار می‌رود. قبل از کاربرد ضایعات آلی تعیین احتمال جذب و انباشت فلزات سنگین در گیاهان و آلودگی زنجیره غذایی انسان و حیوان در نتیجه کاربرد این ترکیبات الزامی است. اگرچه مطالعاتی در زمینه تأثیر لجن فاضلاب بر خصوصیات خاک و جذب عناصر توسط گیاهان صورت گرفته است، اما چنین مطالعه‌ای در سطح استان گلستان در ارتباط با کیفیت لجن‌های تولید شده در تصفیه‌خانه‌های این استان و تأثیر آن بر رشد و عملکرد گیاه و نیز جذب برخی عناصر غذایی و فلزات سنگین انجام نشده است. در نتیجه انجام این مطالعه ضروری به‌نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش گلخانه‌ای با کاربرد سطوح مختلف لجن فاضلاب در خاک و کشت گیاه ذرت، رقم سینگل کراس ۷۰۴ در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار به انجام رسید. خاک مورد استفاده از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری مزرعه تحقیقاتی دانشگاه تهیه و پس از هوا خشک نمودن و عبور از الک ۲ میلی‌متر، برخی از مشخصات فیزیکی و شیمیایی آن تعیین گردید (جدول ۱). بافت خاک به روش هیدرومتری (دی، ۱۹۶۵)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش جایگزینی با استات آمونیوم (چاپمن، ۱۹۶۵)، کربن آلی به روش واکلی و بلاک (آلیسون، ۱۹۶۵)، کربنات کلسیم معادل به روش خشتی کردن با اسید کلریدریک (آلیسون و مودی، ۱۹۶۵)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع خاک با هدایت‌سنج الکتریکی و pH خاک به روش الکتروود شیشه‌ای در عصاره اشباع خاک. لجن مورد استفاده از تصفیه‌خانه شهرستان کردکوی تهیه گردید. برای اندازه‌گیری pH و EC لجن فاضلاب از نسبت ۱:۵ لجن به آب استفاده شد (نظری و همکاران، ۲۰۰۶). کربن آلی به روش واکلی و بلاک (آلیسون، ۱۹۶۵) و سدیم و پتاسیم قابل استفاده لجن با استفاده از استات آمونیوم یک نرمال (نادسن و پترسون، ۱۹۸۲) و فسفر قابل استفاده با روش اولسن (اولسن، ۱۹۵۴) اندازه‌گیری شد. نیتروژن به روش کج‌لدال (پیچ و همکاران، ۱۹۸۲) و غلظت کل سرب و کادمیوم در نمونه لجن با روش هضم با اسید فلئوئوریک و تیزاب سلطانی (محلول اسید نیتریک و اسید کلریدریک با نسبت ۱ به ۳) اندازه‌گیری شد (هوسنر، ۱۹۹۶). سطوح مختلف لجن فاضلاب شامل صفر، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد (وزنی / وزنی) به گلدان‌هایی شامل ۱۰ کیلوگرم خاک اضافه شد. داخل هر گلدان ۱۰ عدد بذر ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ کشت شد و پس از استقرار گیاهان، شمار بوته‌ها به ۳ عدد تنک گردید. عملیات آبیاری و وجین علف‌های هرز با دست انجام پذیرفت. در طول کشت از هیچ‌گونه کود شیمیایی، علف‌کش، سم و حشره‌کش استفاده نگردید و رطوبت خاک گلدان‌ها در محدوده ظرفیت زراعی حفظ شد و به‌منظور ایجاد شرایط یکنواخت و کاهش تأثیر عوامل محیطی، گلدان‌ها هر ۲ هفته یک‌بار جابه‌جا شدند. ۹۰ روز پس از کشت، عملیات برداشت گیاهان انجام پذیرفت. پس از برداشت گیاهان، اندام هوایی و ریشه از هم جدا شد و در آون به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد، خشک گردید. پس از خشک شدن نمونه‌ها، وزن خشک اندام هوایی و ریشه ذرت تعیین گردید. مقدار نیتروژن کل در نمونه‌های گیاهی با استفاده از اکسیداسیون تر و به روش

کجدال اندازه‌گیری شد (پیچ و همکاران، ۱۹۸۲). به‌منظور اندازه‌گیری پتاسیم، سدیم و فسفر اندام هوایی ذرت از هضم به روش سوزاندن خشک و ترکیب با اسید کلریدریک استفاده گردید (بتون و کیس، ۱۹۹۰). برای تعیین غلظت عنصر سرب و کادمیوم در اندام هوایی و ریشه ذرت از روش هضم با HNO_3 غلیظ و آب اکسیژنه ۳۰ درصد استفاده گردید (بتون و کیس، ۱۹۹۰) و غلظت سرب و کادمیوم در عصاره‌های گیاه به‌وسیله دستگاه جذب اتمی مدل UNICAM 919 AA در طول موج هر عنصر تعیین گردید. خاک گلدان‌ها نیز به‌منظور انجام برخی آنالیزها هوا خشک گردید و سپس از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد.

آنالیز آماری نتایج با استفاده از نرم‌افزار SAS و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده.

| CEC ($cmol_c kg^{-1}$) | EC_e (دسی‌زیمنس بر متر) | pH_e | FC | SP | OM | CCE | N (کل) | K | P | Pb | Cd | بافت |
|-----------------------------|---------------------------------|--------|----|----|----|-------|--------|-----|----|----|----|------|
| | | | | | | | | | | | | خاک |
| | | | | | | | | | | | | سیلت |
| ۱۸ | ۱/۰۸ | ۷/۴ | ۳۰ | ۵۴ | ۲ | ۱۸/۲۵ | ۰/۱۲ | ۳۰۰ | ۲۶ | ۲ | ۱ | رس |
| | | | | | | | | | | | | لومی |

CEC, CCE, OC, SP, FC, EC_e , pH_e و Pb و Cd به‌ترتیب ظرفیت تبادل کاتیونی، کربنات کلسیم معادل، ماده آلی، درصد رطوبت اشباع، درصد رطوبت ظرفیت مزرعه، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع و pH عصاره اشباع خاک، سرب قابل استخراج با DTPA و کادمیوم قابل استخراج با DTPA (لیندزی و نورول، ۱۹۸۷) هستند.

نتایج و بحث

خصوصیات لجن فاضلاب مورد استفاده: لجن فاضلاب تولید شده طی فرایند تصفیه فاضلاب، ممکن است دارای غلظت بالایی از املاح، عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف، مواد آلی و فلزات سنگین باشد. این موارد می‌توانند بر خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک، همچنین بر رشد و عملکرد گیاه، غلظت عناصر غذایی در گیاه اثرات مفید و در برخی موارد منفی داشته باشند. هم‌چنان‌که جدول ۲ نشان می‌دهد مقدار کربن آلی لجن مورد مطالعه قابل توجه است. این مقدار کربن آلی بالا (۱۷/۵)

درصد) می‌تواند علاوه بر جبران کمبود ماده آلی در خاک‌های کشاورزی، آثار مطلوبی بر خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک بگذارد. این مسأله به‌ویژه برای خاک‌های کشور که با کمبود مواد آلی مواجه هستند دارای اهمیت می‌باشد. پژوهش‌های نشان داده که اضافه کردن لجن فاضلاب باعث بهبود خواص فیزیکی مانند تخلخل، وزن مخصوص ظاهری خاک، پایداری خاک‌دانه‌ها، هدایت هیدرولیکی اشباع، سرعت نفوذ نهایی، درصد رطوبت در $1/3$ و 15 بار و آب قابل استفاده گیاه در خاک می‌گردد (رامولو، ۲۰۰۲؛ سانگ و لی، ۲۰۱۰).

pH لجن مورد مطالعه ($pH=6/85$) کمی اسیدی است. pH اسیدی برای لجن در سایر پژوهش‌ها نیز گزارش شده است (افیونی و همکاران، ۱۹۹۸؛ واثقی و همکاران، ۲۰۰۱). این pH می‌تواند قابلیت دسترسی عناصر سنگین را افزایش دهد. pH پایین لجن فاضلاب می‌تواند ناشی از حضور اسیدهای آلی فراوان به‌دست آمده از تخمیر مواد آلی و همچنین اسیدهای معدنی وارد شده به سیستم انتقال فاضلاب همراه پساب می‌باشد (واثقی و همکاران، ۲۰۰۵).

لجن مورد مطالعه به‌ترتیب دارای $1/34$ درصد و 155 میلی‌گرم بر کیلوگرم نیتروژن کل و فسفر قابل استفاده می‌باشد که می‌تواند سهم به‌سزایی در تأمین نیاز گیاه به این دو عنصر داشته باشد. هر چند بخش عمده نیتروژن به‌صورت آلی بوده که از طریق فرایندهای زیستی به‌تدریج معدنی شده و در اختیار گیاه قرار می‌گیرد.

غلظت سرب و کادمیوم در لجن فاضلاب مورد استفاده از حد مجاز استانداردهای آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا و اروپا کم‌تر می‌باشد (جدول ۲) که نشان‌دهنده پتانسیل آلودگی کم این لجن از نظر این فلزات می‌باشد که این امر نکته مثبتی در به‌کار بردن لجن فاضلاب تلقی می‌گردد. با این حال باید توجه داشت کاربرد طولانی‌مدت و مقادیر زیاد لجن می‌تواند موجب انباشته شدن این عناصر در خاک گردد. گزارش‌ها نشان می‌دهد کاربرد لجن فاضلاب شهری موجب افزایش مقادیر فلزات سنگین در خاک می‌گردد (اکدنیز و همکاران، ۲۰۰۶؛ سینگ و آگراوال، ۲۰۱۰).

با توجه به اثرات مفید لجن فاضلاب در رشد و تغذیه گیاهان، مصرف آن باید با توجه به ترکیب شیمیایی لجن، به‌خصوص غلظت فلزات سنگین موجود در آن و همچنین مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک صورت پذیرد.

جدول ۲- برخی ویژگی‌های شیمیایی لجن مورد استفاده و مقایسه غلظت برخی فلزات سنگین با استانداردهای بین‌المللی.

| پارامتر | واحد | لجن مورد استفاده | حد مجاز استاندارد* USEPA503 | حد مجاز استاندارد اروپا** |
|------------|---------------------|------------------|--------------------------------|---------------------------|
| pH (۱:۵) | - | ۶/۵۸ | - | - |
| EC (۱:۵) | دسی‌زیمنس بر متر | ۲/۲۳ | - | - |
| کربن آلی | درصد | ۱۷/۵ | - | - |
| نیتروژن کل | درصد | ۱/۳۴ | - | - |
| C/N | | ۱۳/۰۶ | - | - |
| سدیم*** | میلی‌گرم بر کیلوگرم | ۱۰۰ | - | - |
| پتاسیم*** | میلی‌گرم بر کیلوگرم | ۴۰۰ | - | - |
| فسفر*** | میلی‌گرم بر کیلوگرم | ۱۵۵ | - | - |
| سرب کل | میلی‌گرم بر کیلوگرم | ۱۳۶ | ۳۰۰ | ۷۵۰-۱۲۰۰ |
| کادمیوم کل | میلی‌گرم بر کیلوگرم | ۳ | ۳۹ | ۲۰-۴۰ |

* آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (۱۹۹۳).

** دامنه کم‌تر برای pH کوچک‌تر از ۷ و دامنه بیش‌تر برای pH بالاتر از ۷ (هی و همکاران، ۲۰۰۵).

*** قابل عصاره‌گیری با استات آمونیوم.

**** قابل استفاده به روش اولسن.

اثر لجن بر برخی ویژگی‌های خاک: نتایج نشان داد که لجن فاضلاب باعث افزایش معنی‌دار (در سطح ۱ درصد) ماده آلی خاک نسبت به تیمار شاهد گردید (جدول ۳) و در تیمارهایی که لجن دریافت نموده بودند با افزایش سطوح لجن، مقدار ماده آلی خاک افزایش یافت، اما از نظر آماری اختلاف‌های میان سطوح مختلف لجن معنی‌دار نبود. بیش‌ترین افزایش میزان ماده آلی نسبت به تیمار شاهد در تیمار ۲۵ درصد لجن مشاهده گردید. واتقی و همکاران (۲۰۰۵) با بررسی اثر لجن فاضلاب بر میزان ماده آلی در خاک‌های با pH متفاوت بیان نمودند، لجن فاضلاب باعث افزایش ماده آلی خاک می‌شود، که این افزایش با مقدار لجن اضافه شده به خاک رابطه مستقیم دارد. نتایج همچنین نشان داد لجن فاضلاب سبب کاهش معنی‌دار (در سطح ۱ درصد) pH خاک گلدان‌ها نسبت به تیمار شاهد گردید. با افزایش سطوح لجن، مقدار pH خاک کاهش یافت، اما از نظر آماری اختلاف‌های میان سطوح مختلف لجن معنی‌دار نبود (جدول ۳). بیش‌ترین مقدار pH در تیمار شاهد مشاهده گردید که ۷/۶۶ بود و کم‌ترین مقدار آن ۷/۳۲ و مربوط به سطح ۲۵ درصد لجن فاضلاب بود. واتقی و همکاران (۲۰۰۵) گزارش نمودند، که لجن فاضلاب باعث کاهش pH در خاک می‌گردد. آن‌ها دلایل احتمالی این کاهش را تجزیه

مواد آلی موجود در لجن، تولید مواد اسیدی و pH اولیه لجن فاضلاب دانستند. کاهش pH خاک در اثر کاربرد لجن فاضلاب توسط دیگر محققان نیز گزارش شده است (نیلسون و همکاران، ۱۹۹۸؛ قمری و دانش، ۲۰۰۷؛ سینگ و آگراوال، ۲۰۰۷). هر چند افزایش pH در اثر کاربرد لجن فاضلاب شهری نیز در برخی منابع دیده می‌شود (سادیللاس و همکاران، ۱۹۹۵). تغییر در pH خاک با مقدار کربنات کلسیم لجن و تولید اسید در طی فرآیند تجزیه مرتبط است (سینگ و آگراوال، ۲۰۰۷). تغییر pH خاک در نتیجه مصرف لجن فاضلاب می‌تواند آثار مثبت و منفی داشته باشد. به طوری که با کاهش pH خاک، بسیاری از عناصر کم‌مصرفی که برای گیاه قابل استفاده نیستند، می‌توانند به صورت قابل استفاده برای گیاه درآیند، از طرفی پتانسیل سمیت فلزات سنگین جذب شده به وسیله محصولات می‌تواند افزایش یابد.

نتایج نشان داد که کاربرد لجن موجب افزایش معنی‌دار (در سطح ۱ درصد) قابلیت هدایت الکتریکی خاک گردید (جدول ۴). بیش‌ترین افزایش قابلیت هدایت الکتریکی نسبت به تیمار شاهد، در تیمار ۲۵ درصد لجن مشاهده گردید. بیش‌ترین مقدار قابلیت هدایت الکتریکی در تیمار ۲۵ درصد لجن و برابر با ۲/۵۷ دسی‌زیمنس بر متر و کم‌ترین مقدار آن در تیمار شاهد و برابر با ۰/۸۷ دسی‌زیمنس بر متر بود. گزارش‌ها نشان داده، افزایش لجن فاضلاب باعث افزایش قابلیت هدایت الکتریکی و بالا رفتن غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها مثل کلسیم، سدیم، پتاسیم، منیزیم، کلرید، سولفات و بی‌کربنات در خاک می‌شود (افیونی و همکاران، ۱۹۹۸؛ رامولو، ۲۰۰۲؛ مارتینز، ۲۰۰۲؛ سینگ و همکاران، ۲۰۰۲).

جدول ۳- نتایج مقایسه گروهی ماده آلی، pH و هدایت الکتریکی خاک در تیمارهای مختلف لجن فاضلاب.

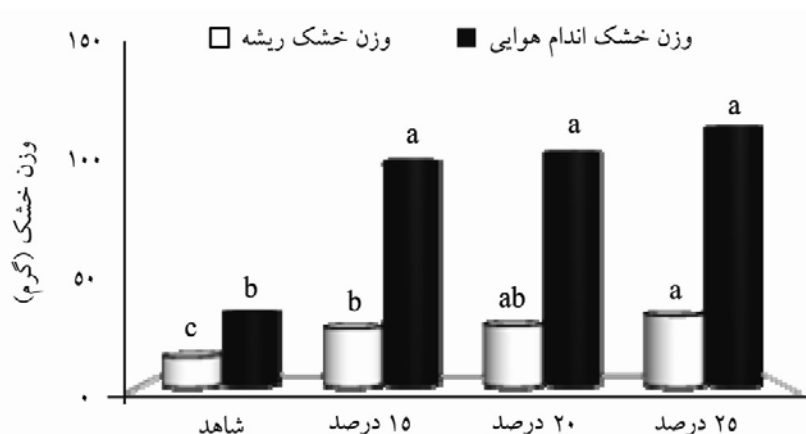
| سطوح لجن فاضلاب | ماده آلی (درصد) | pH | قابلیت هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) |
|-----------------|-------------------|-------------------|--|
| شاهد | ۲/۴۶ ^b | ۷/۶۶ ^a | ۰/۸۷ ^b |
| ۱۵ درصد | ۴/۷۳ ^a | ۷/۴۴ ^b | ۱/۸۵ ^a |
| ۲۰ درصد | ۵/۲ ^a | ۷/۴۲ ^b | ۱/۸۶ ^a |
| ۲۵ درصد | ۵/۵۹ ^a | ۷/۳۲ ^b | ۲/۵۷ ^a |

* در هر ستون اعدادی که دارای حروف یکسان هستند، در سطح احتمال ۵ درصد بدون تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

اثر لجن فاضلاب بر عملکرد اندام هوایی و ریشه ذرت و اجزای عملکرد: نتایج نشان داد که کاربرد لجن موجب افزایش معنی‌دار (در سطح ۵ درصد) عملکرد اندام هوایی، ریشه و اجزای عملکرد ذرت شامل تعداد برگ، ارتفاع گیاه، پهنای آخرین برگ و کلروفیل گردید (جدول ۴ و شکل ۱). در تیمارهایی که لجن دریافت نموده بودند با افزایش سطوح لجن، مقدار عملکرد اندام هوایی و اجزای

عملکرد ذرت افزایش یافت، اما از نظر آماری اختلافها میان سطوح لجن فاضلاب معنی‌دار نبود. بیش‌ترین افزایش عملکرد اندام هوایی و اجزای عملکرد ذرت نسبت به تیمار شاهد در تیمار ۲۵ درصد لجن مشاهده گردید. افزایش عملکرد و اجزای عملکرد ذرت در اثر کاربرد لجن فاضلاب توسط دیگر محققان نیز گزارش شده است (چیتدشواری و همکاران، ۲۰۰۲؛ وارمن و ترنر، ۲۰۰۵). قسیم و همکاران (۲۰۰۱) نیز افزایش جوانه‌زنی، طول ریشه و ساقه و سطح برگ را در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب نسبت به شاهد گزارش کردند. سانگ و لی (۲۰۱۰) با ارزیابی جنبه‌های اقتصادی زیست‌محیطی مصرف لجن فاضلاب بر خاک و گیاه گزارش نمودند، لجن فاضلاب باعث افزایش بیوماس برگ و پارامترهای فیزیولوژیکی مانند میزان کلروفیل و سرعت فتوسنتز می‌گردد. برخی از محققان از جمله نیلسون و همکاران (۱۹۹۸) بیان نمودند که افزایش عملکرد را به افزایش قابلیت دسترسی عناصر به‌ویژه نیتروژن و فسفر موجود در لجن فاضلاب برای گیاهان و نیز بهبود کیفیت فیزیکی خاک به دلیل وجود درصد بالایی از مواد آلی در لجن فاضلاب نسبت داده‌اند.

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که افزایش لجن فاضلاب می‌تواند سبب افزایش عملکرد شود، ولی با توجه به پتانسیل سمیت فلزات سنگین لجن فاضلاب، این امر تا مقادیر مشخصی از میزان لجن صادق است و در مقادیر بیش از این حد، افزایش لجن ممکن است باعث سمیت عناصر در گیاه و کاهش عملکرد گردد. تعیین این محدوده به شرایط مختلف خاک و گیاه و ویژگی‌های لجن فاضلاب مورد استفاده بستگی دارد.



شکل ۱- اثر سطوح مختلف لجن فاضلاب بر وزن خشک ریشه و اندام هوایی گیاه ذرت.

کبری سعادت و همکاران

جدول ۴- نتایج مقایسه گروهی اجزای عملکرد در تیمارهای مختلف لجن فاضلاب.

| کلروفیل | پهنای آخرین برگ (سانتی متر) | ارتفاع گیاه (سانتی متر) | تعداد برگ (در بوته) | سطوح لجن فاضلاب |
|--------------------|--------------------------------|----------------------------|------------------------|-----------------|
| ۲۵/۸۳ ^b | ۵/۲۸ ^b | ۱۲۰/۴۲ ^b | ۹/۵ ^c | شاهد |
| ۳۰/۸۵ ^a | ۶/۸۸ ^a | ۱۶۰/۷۵ ^a | ۱۲/۶۶ ^b | ۱۵ درصد |
| ۳۳/۰۱ ^a | ۶/۹۱ ^a | ۱۵۹/۳۸ ^a | ۱۲/۷۱ ^b | ۲۰ درصد |
| ۳۵/۷ ^a | ۷/۳ ^a | ۱۷۳/۰۲ ^a | ۱۳/۱۵ ^a | ۲۵ درصد |

* در هر ستون اعدادی که دارای حروف یکسان هستند، در سطح احتمال ۵ درصد بدون تفاوت معنی دار می باشند.

اثر لجن فاضلاب بر غلظت عناصر پرمصرف و سدیم در گیاه: نتایج نشان داد که کاربرد لجن موجب افزایش معنی دار (در سطح ۱ درصد) غلظت نیتروژن در اندام هوایی ذرت گردید (جدول ۵) و در تیمارهایی که لجن دریافت نموده بودند با افزایش سطوح لجن، غلظت نیتروژن در اندام هوایی افزایش یافت و اختلاف معنی داری (در سطح ۱ درصد) بین سطح ۱۵ درصد لجن فاضلاب با سطوح ۲۰ و ۲۵ درصد لجن فاضلاب مشاهده گردید. غلظت نیتروژن در اندام هوایی ذرت در تیمار ۱۵ درصد لجن، ۱/۷۲ برابر، در تیمار ۲۰ درصد لجن ۱/۹۶ برابر و در تیمار ۲۵ درصد لجن ۲/۰۸ برابر بیش تر از تیمار شاهد بود. میانگین غلظت نیتروژن در اندام هوایی ذرت در تیمار شاهد برابر با ۰/۵۹ درصد و در تیمار ۲۵ درصد لجن برابر با ۱/۲۳ درصد بود. نتایج مطالعات رضایی نژاد و افیونی (۲۰۰۱) نیز نشان داد لجن فاضلاب موجب افزایش میزان نیتروژن در دانه و اندام هوایی گیاه ذرت گردید. اکدنیز و همکاران (۲۰۰۶) اثرات کاربرد لجن فاضلاب و نیتروژن را بر رشد سورگوم دانه ای در ترکیه بررسی نموده و گزارش کردند که لجن فاضلاب باعث افزایش میزان نیتروژن برگ و کل گیاه و کل نیتروژن جذب شده گردید.

نتایج همچنین نشان داد، که کاربرد لجن موجب افزایش معنی دار (در سطح ۱ درصد) غلظت فسفر در اندام هوایی ذرت گردید (جدول ۵) و در تیمارهایی که لجن دریافت نموده بودند با افزایش سطوح لجن، غلظت فسفر در اندام هوایی ذرت افزایش یافت، اما از نظر آماری اختلافها میان سطوح لجن معنی دار نبود. غلظت فسفر در اندام هوایی ذرت در تیمار ۱۵ درصد لجن، ۱/۶۶ برابر، در تیمار ۲۰ درصد لجن ۱/۶۳ برابر و در تیمار ۲۵ درصد لجن ۱/۶۳ برابر بیش تر از تیمار شاهد بود. میانگین غلظت فسفر در اندام هوایی ذرت در تیمار شاهد برابر با ۰/۰۶۳ درصد و در تیمار ۱۵ درصد لجن

برابر با ۰/۱۰۵ درصد بود. سوز و همکاران (۲۰۰۳) با بررسی اثر لجن فاضلاب بر گیاه ذرت دریافتند، لجن فاضلاب موجب افزایش میزان فسفر در گیاه ذرت گردید. نتایج پرز- موریسیا و همکاران (۲۰۰۶) نشان داد لجن فاضلاب موجب افزایش میزان فسفر در کلم بروکلی گردید. کاربرد لجن فاضلاب در کشاورزی علاوه بر کاهش هزینه‌های مربوط به دفع لجن فاضلاب می‌تواند بخش زیادی از فسفر مورد نیاز بسیاری از گیاهان را تأمین نماید (تامبرات و همکاران، ۲۰۰۹).

نتایج نشان داد که کاربرد لجن تأثیر معنی‌داری بر غلظت پتاسیم در اندام هوایی ذرت نداشت (جدول ۵). کورتو و همکاران (۱۹۷۴) بیان نمودند به‌طور کلی تأثیر لجن فاضلاب بر مقدار پتاسیم نسبت به فسفر و نیتروژن کم‌تر بوده که می‌توان آن را به مقدار کم پتاسیم موجود در لجن ارتباط داد. دلیل اصلی این پدیده می‌تواند مربوط به حلالیت بالای املاح پتاسیم باشد؛ به این ترتیب که پس از جدا شدن لجن از فاضلاب، پتاسیم به‌طور غالب به‌صورت محلول در پساب باقی می‌ماند و بخش لجن از پتاسیم فقیر خواهد شد. نظری و همکاران (۲۰۰۶) نیز با بررسی اثر لجن فاضلاب بر غلظت برخی عناصر در گندم، جو و ذرت دریافتند کاربرد لجن فاضلاب موجب افزایش معنی‌دار غلظت پتاسیم در گندم، جو و ذرت نگردید. هر چند، نتایج رضایی‌نژاد و افیونی (۲۰۰۱) نشان داد کاربرد ۵۰ تن لجن فاضلاب در هکتار موجب افزایش معنی‌دار غلظت پتاسیم در ذرت گردید. قمری و دانش (۲۰۰۷) نیز با بررسی اثرات کاربرد لجن بر خصوصیات خاک دریافتند که کاربرد لجن موجب افزایش مقدار پتاسیم قابل دسترس خاک گردید. آن‌ها بیان نمودند، با این حال پتاسیم موجود در لجن فاضلاب معمولاً کم بوده و کاربرد لجن در مقادیر کم و متوسط تأثیر زیادی بر پتاسیم خاک نداشته و به همین دلیل در صورت کاربرد لجن بهتر است کود پتاسیم‌دار نیز به خاک افزوده شود.

نتایج همچنین نشان داد که کاربرد لجن موجب افزایش معنی‌دار (در سطح ۱ درصد) غلظت سدیم در اندام هوایی ذرت گردید (جدول ۵). بیش‌ترین افزایش غلظت سدیم در اندام هوایی ذرت نسبت به تیمار شاهد در تیمار ۲۰ درصد لجن مشاهده گردید. غلظت سدیم در اندام هوایی ذرت در تیمار ۱۵ درصد لجن، ۱/۶۱ برابر، در تیمار ۲۰ درصد لجن ۱/۷ برابر و در تیمار ۲۵ درصد لجن ۱/۶۱ برابر بیش‌تر از تیمار شاهد بود. میانگین غلظت سدیم در اندام هوایی ذرت در تیمار شاهد برابر با ۰/۰۴۹ درصد و در تیمار ۲۰ درصد لجن برابر با ۰/۰۸۴ درصد بود. افزایش هدایت الکتریکی خاک در نتیجه مصرف لجن فاضلاب نیز بیانگر افزایش غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های خاک می‌باشد. بنابراین در کاربردهای کشاورزی به‌خصوص در پرورش گیاهان حساس، غلظت سدیم در گیاه باید مورد بررسی قرار گیرد.

کبری سعادت و همکاران

جدول ۵- نتایج مقایسه گروهی غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم و سدیم در اندام هوایی ذرت در تیمارهای مختلف لجن فاضلاب.

| سطوح لجن فاضلاب | نیتروژن | فسفر | پتاسیم | سدیم |
|-----------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| (درصد) | | | | |
| شاهد | ۰/۵۹ ^c | ۰/۰۶۳ ^b | ۱/۱۸۴ ^a | ۰/۰۴۹ ^b |
| ۱۵ درصد | ۱/۰۴ ^b | ۰/۱۰۵ ^a | ۱/۲۲۲ ^a | ۰/۰۷۹ ^a |
| ۲۰ درصد | ۱/۱۶ ^a | ۰/۱۰۳ ^a | ۱/۲۳۷ ^a | ۰/۰۸۴ ^a |
| ۲۵ درصد | ۱/۲۳ ^a | ۰/۱۰۳ ^a | ۱/۲۱۳ ^a | ۰/۰۷۹ ^a |

* در هر ستون اعدادی که دارای حروف یکسان هستند، در سطح احتمال ۵ درصد بدون تفاوت معنی دار می‌باشند.

اثر لجن فاضلاب بر غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم در گیاه: نتایج نشان داد که کاربرد لجن تا تیمار ۲۰ درصد موجب افزایش غلظت سرب در اندام هوایی ذرت گردید، اما این افزایش فقط در تیمار ۲۰ درصد نسبت به تیمار شاهد از نظر آماری معنی دار بود (شکل ۲). بیشترین غلظت سرب در اندام هوایی در سطح ۲۰ درصد لجن فاضلاب مشاهده گردید که برابر با ۱/۶۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. نتایج همچنین نشان داد، که کاربرد لجن موجب افزایش معنی دار (در سطح ۱ درصد) غلظت سرب در ریشه گردید (شکل ۲). بیشترین غلظت سرب در ریشه در سطح ۱۵ درصد لجن فاضلاب مشاهده گردید که برابر با ۶/۴۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد مشاهده گردید که برابر با ۲/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود.

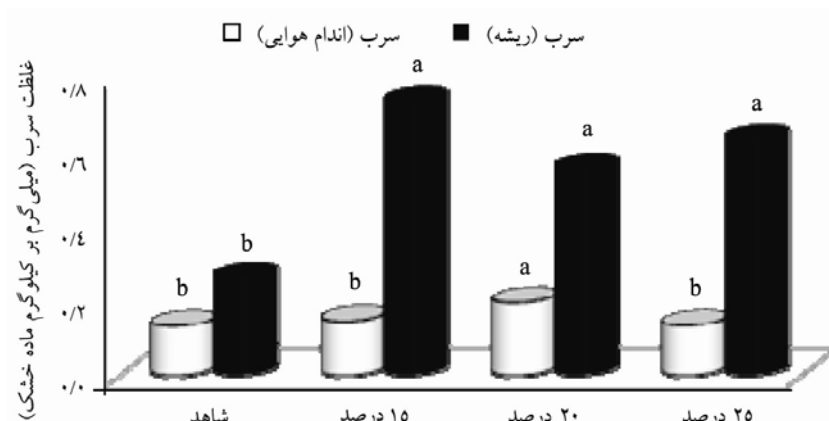
کسکین و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد، لجن فاضلاب موجب افزایش غلظت سرب در گونه‌ای از گیاهان علفی گردید. سینگ و اگراوال (۲۰۱۰) با بررسی اثر لجن فاضلاب بر تجمع فلزات سنگین در برنج دریافتند لجن فاضلاب موجب افزایش غلظت سرب در ریشه، ساقه، برگ و دانه برنج گردید. با این وجود، کلی و همکاران (۱۹۸۴) سرب را از نظر قابلیت جذب جزو عناصری دانستند که در خاک غیرمحلول بوده و در گیاه تجمع نمی‌یابند. نتایج اکدنیز و همکاران (۲۰۰۶) نشان داد با کاربرد لجن فاضلاب غلظت فلزات سنگین در برگ و دانه سورگوم دانه‌ای کم‌تر از سطوح سمی برای انسان و دام بوده و می‌توان از لجن فاضلاب به‌عنوان کود نیتروژن در تولید سورگوم دانه‌ای استفاده نمود. الذوبی و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی تأثیر لجن فاضلاب بر تجمع فلزات سنگین در گندم و ذرت گزارش نمودند، لجن فاضلاب تأثیری بر غلظت سرب در دانه و کاه و کلش گندم و ذرت نداشت.

حد سمی غلظت فلزات در منابع مختلف گزارش شده است. چانی (۱۹۸۹) بیان نمود دامنه غلظت سمی برای سرب ۳۰-۳۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم می باشد. وسرا (۱۹۹۹) بیان نمود دامنه غلظت سمی برای سرب ۲۰-۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم می باشد. با توجه به دامنه های گزارش شده غلظت سرب در اندام هوایی ذرت کم تر از غلظت آستانه بحران می باشد، در نتیجه کاربرد لجن فاضلاب مورد استفاده با خصوصیات یاد شده قابل توصیه است، با این حال کاربرد طولانی مدت آن ممکن است موجب انباشته شدن غلظت سرب در خاک گردیده و زمینه را برای جذب بیش تر این عنصر و حتی تا سطوح سمی توسط گیاه فراهم گرداند. با توجه به وجود مقادیری از سرب و سایر فلزات سنگین در لجن فاضلاب کاربرد لجن فاضلاب برای کشت گیاهانی که جذب کننده قوی این عناصر می باشند توصیه نمی گردد.

نتایج همچنین نشان داد، غلظت سرب جذب شده توسط ریشه به مراتب بیش تر از اندام هوایی گیاه ذرت بود (شکل ۲). نتایج مشابهی توسط واتقی و همکاران (۲۰۰۱) و کاستالدی و همکاران (۲۰۰۵) گزارش شده است. سینگ و آگراوال (۲۰۰۷) نیز گزارش کردند که به طور کلی تجمع سرب در ریشه ها در اثر کاربرد لجن فاضلاب بیش تر از اندام هوایی است. انتقال سرب از ریشه به اندام هوایی بسیار محدود است و فقط حدود ۳ درصد از آن از ریشه به اندام هوایی انتقال می یابد. سربی که به وسیله گیاه جذب می شود، به طور عمده درون ریشه باقی می ماند و انتقال آن به اندام های هوایی کم است (هودا، ۲۰۱۰). کپه (۱۹۷۸) بیان نمود که بیش ترین قسمت سرب توسط ریشه گیاه جذب می شود و فقط مقدار بسیار اندکی از آن به اندام هوایی انتقال می یابد. همچنین کاباتا پندیاس و همکاران (۲۰۰۱) بیان نمودند، اگرچه سرب در خاک خیلی محلول نیست، اما به طور عمده به وسیله تارهای کشنده جذب و به میزان قابل توجهی در دیواره های سلولی ریشه ذخیره می شود. برانتهی و همکاران (۲۰۱۱) بیان نمودند تجمع بیش تر فلزات کروم، مس، سرب و روی در ریشه نسبت به اندام هوایی نشان دهنده مکانیسم تحمل گیاه در غلظت های بالای فلزات در خاک می باشد. لی و همکاران (۲۰۰۹) بیان نمودند تجمع بیش تر سرب در ریشه نسبت به اندام هوایی بیانگر نقش مهم ریشه در جلوگیری از انتقال سرب از ریشه ها به اندام هوایی گیاهان است. سینگ و همکاران (۲۰۰۴) تجمع بیش تر فلزات سنگین در ریشه ها را به کمپلکس شدن این فلزات با گروه های سولفیدرل نسبت دادند که مانع از انتقال فلزات به اندام هوایی می شود.

تجمع سرب در ریشه می تواند به عنوان یک نکته مثبت تلقی گردد، زیرا این امر احتمالاً مانعی برای انتقال بیش تر آن به دانه و چرخه غذایی می باشد. از طرفی باید توجه داشت، که به علت برداشت نکردن

ریشه گیاهان (به جز گیاهان ریشه‌ای) در زمان برداشت گیاه، باقی ماندن ریشه‌ها در خاک که شامل غلظت‌هایی از این عناصر می‌باشند، می‌تواند پس از تجزیه ریشه‌ها باعث انباشته شدن این عناصر در خاک و جذب آن‌ها توسط گیاهانی که بعداً کشت می‌شوند گردد. بنابراین توصیه می‌گردد در حد امکان ریشه گیاهان نیز در هنگام برداشت از خاک خارج گردد، از طرفی به پژوهش‌گرانی که آثار تجمعی لجن فاضلاب را بر غلظت این عناصر در خاک و گیاه مورد بررسی قرار می‌دهند، توصیه می‌گردد که تأثیر وجود فلزات در ریشه گیاهانی که در خاک باقی می‌مانند را بررسی کرده و آزادسازی فلزات را پس از تجزیه ریشه گیاهان مورد توجه قرار دهند. از سوی دیگر، با توجه به تجمع فلزات سنگین مانند سرب در ریشه گیاهان، کاربرد ترکیباتی که شامل مقادیری از فلزات سنگین می‌باشند مانند لجن فاضلاب، در کشت گیاهانی که از ریشه آن‌ها در تغذیه استفاده می‌گردد، توصیه نمی‌گردد.

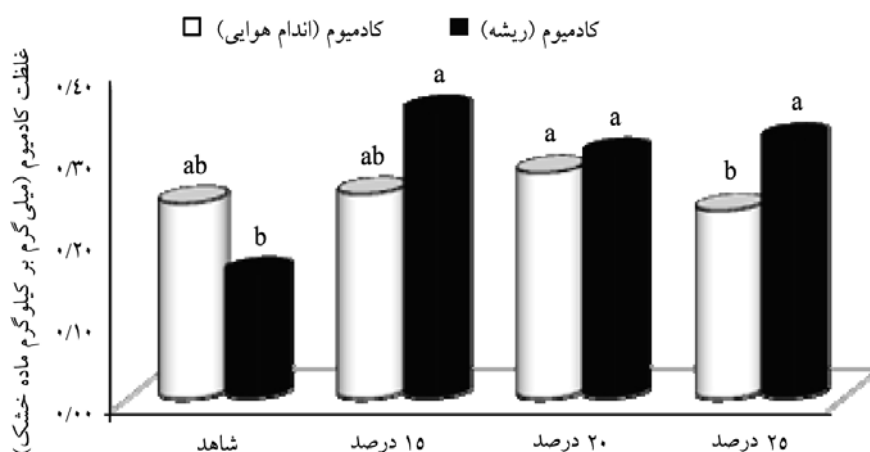


شکل ۲- اثر سطوح مختلف لجن فاضلاب بر غلظت سرب اندام هوایی و ریشه ذرت.

نتایج نشان داد که کاربرد لجن موجب افزایش غلظت کادمیوم در اندام هوایی ذرت گردید، اما این افزایش در تیمارهای مختلف لجن فاضلاب نسبت به تیمار شاهد معنی‌دار نبود (شکل ۳). نتایج همچنین نشان داد که کاربرد لجن موجب افزایش معنی‌دار (در سطح ۵ درصد) غلظت کادمیوم در ریشه ذرت گردید (شکل ۳). بیش‌ترین غلظت کادمیوم در ریشه ذرت در سطح ۱۵ درصد لجن فاضلاب مشاهده گردید، که برابر با ۰/۳۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کم‌ترین مقدار آن در تیمار شاهد مشاهده گردید که برابر با ۰/۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود.

پرز- موریسیا و همکاران (۲۰۰۶) با بررسی تأثیر لجن فاضلاب بر رشد کلم بروکلی گزارش نمودند، افزودن لجن فاضلاب باعث افزایش غلظت کادمیوم در کلم بروکلی گردید. سینگ و اگراوال (۲۰۱۰) با بررسی اثر لجن فاضلاب بر تجمع فلزات سنگین در برنج دریافتند لجن فاضلاب موجب افزایش غلظت کادمیوم در ریشه، ساقه، برگ و دانه برنج گردید. گوندک (۲۰۰۹) با بررسی میزان کادمیوم در ذرت و خاک پس از مصرف لجن فاضلاب و مخلوط لجن فاضلاب و پیت در آزمایشی گلدانی دریافتند، لجن فاضلاب و مخلوط لجن فاضلاب نسبت به کودهای معدنی عملکرد بیشتری را موجب شدند، در حالی که باعث افزایش کادمیوم ذرت نگردیدند.

چانی (۱۹۸۹) بیان نمود دامنه غلظت سمی برای کادمیوم ۳۰-۵ میلی گرم بر کیلوگرم می باشد. وسرا (۱۹۹۹) بیان نمود دامنه غلظت سمی برای کادمیوم ۱۰-۵ میلی گرم بر کیلوگرم می باشد. با توجه به دامنه های گزارش شده غلظت کادمیوم در اندام هوایی ذرت کم تر از غلظت آستانه بحران می باشد، در نتیجه کاربرد لجن فاضلاب مورد استفاده با خصوصیات یاد شده قابل توصیه است، با این حال کاربرد طولانی مدت آن می تواند موجب انباشته شدن غلظت کادمیوم در خاک گردیده و زمینه را برای جذب بیش تر این عنصر و حتی تا سطوح سمی توسط گیاه فراهم گرداند.



شکل ۳- اثر سطوح مختلف لجن فاضلاب بر غلظت کادمیوم اندام هوایی و ریشه ذرت.

نتیجه گیری کلی

کاربرد لجن فاضلاب موجب افزایش ماده آلی، قابلیت هدایت الکتریکی و کاهش pH خاک گردید. بیشترین افزایش ماده آلی و هدایت الکتریکی و کاهش pH خاک در تیمار ۲۵ درصد لجن فاضلاب مشاهده گردید. همچنین مصرف لجن فاضلاب موجب افزایش غلظت فسفر و نیتروژن در اندام هوایی ذرت گردید و با دارا بودن ۱/۳۴ درصد نیتروژن، ۱۵۵ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر و ۴۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم پتاسیم افزایش عملکرد گیاه ذرت را به دنبال داشت.

مصرف لجن فاضلاب موجب افزایش معنی دار غلظت سرب و کادمیوم در ریشه ذرت گردید و در اندام هوایی نیز موجب افزایش غلظت سرب و کادمیوم گردید ولی این افزایش فقط در مورد سرب و در تیمار ۲۰ درصد لجن فاضلاب نسبت به شاهد معنی دار بود. علاوه بر این در تمامی موارد غلظت عناصر کم تر از حد سمیت گیاهان بود.

با توجه به بهبود خصوصیات خاک، افزایش عملکرد و افزایش غلظت نیتروژن و فسفر به دنبال مصرف لجن فاضلاب، کاربرد آن با رعایت موارد زیست محیطی توصیه می گردد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان که هزینه اجرای این طرح را فراهم نمودند و نیز همکاری و مساعدت مسئولان محترم شرکت آب و فاضلاب شهری گرگان و کردکوی سپاسگزاری می گردد.

منابع

1. Afyuni, M., Rezainejad, Y., and Khayambashi, B. 1998. Effect of Sewage Sludge on Yield and Heavy Metal Uptake of Lettuce and Spinach. J. Sci. Tech. Agric. Natur. Res. 2: 1. 19-30. (In Persian)
2. Akdeniz, H., Yilmaz, I., Bozkurt, M.A., and Keskin, B. 2006. The effect of sewage sludge and nitrogen applications on crain sorghum grown (*Sorghum vulgare* L.) in Van-Turkey. J. Environ. Studies. 15: 19-26.
3. Al Zoubi, M.M., Arsalan, A., Abdegawad, G.N., Pejon, 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. American-Eurasian J. Agric. Environ. Sci. 3: 4. 618-625.

4. Allison, L.E. 1965. Organic carbon, P 1372-1376. In: Black, C.A., Evans, D.D., White, L.J., Ensminger, L.E., Clark, F.E. (Eds.), Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy, Madison, WI.
5. Allison, L.E., and Moodie, C.D. 1965. Carbonate, P 1379-1396, In: Black, C.A., Evans, D.D., White, L.J., Ensminger, L.E., Clark, F.E. (Eds.), Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy, Madison, WI.
6. Benton, J., and Case, V.W. 1990. Sampling, handling and analyzing plant tissue samples, P 389-428. In: Westerman, R.L. (ed.). Soil testing and plant analysis. 3rd ed. Book series No. 3. Soil Science Society of America, Inc. Madison, WI., USA.
7. Brunetti, G., Karam, F., Rovira, P.S., Nigro, F., and Sensi, N. 2011. Greenhouse and field studies on cr, cu, pb and zn phytoextraction by *brassica napus L.* from contaminated soils in the Apulia region, southern Italy. *Geoderma*, 160: 517-523.
8. Casado-Vela, J., Selles, S., Navarro, J., Bustamante, M.A., Mataix, J., Guerrero, C., and Gomez, I. 2005. Evaluation of composted sewage sludge as nutritional source for horticultural soils. *Waste Manage.* 26: 946-952.
9. Castaldi, P., Santona, L., and Melis, P. 2005. Heavy metal immobilization by chemical amendments in a polluted soil and influence on white lupin growth. *Chemosphere*, 60: 365-371.
10. Chaney, R.L. 1989. Scientific analysis of proposed sludge rule. *Biocycle*, 30: 80-85.
11. Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity, P 891-901. In: Black, C.A. et al. (eds.). Methods of soil analysis. ASA. Madison, WI.
12. Chitdeshwari, T., Savithri, P., and Mahimairaja, S. 2002. Effect of sewage biosolid composts on the yield of crops. *Ind. J. Environ. Protect.* 21: 10. 911-912.
13. Chlopecka, A., and Adriano, D.C. 1997. Influence of zeolite, apatite and Fe-oxide on Cd and Pb uptake by crops. *The Sci. Total Environ.* 207: 195-206.
14. Cuese, G., Martinez, F., and Walter, I. 2003. Field-grown maize (*Zea mays L.*) with composted sewage sludge. Effects on soil and grain quality. *Spanish J. Agric. Res.* 1: 3. 111-119.
15. Day, P.R. 1965. Particle fractionation and particle-size analysis, P 545-567. In: Black, C.A., Evans, D.D., White, L.J., Ensminger, L.E., Clark, F.E. (Eds.), Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy, Madison, WI.
16. Fauziahi, C., Rosenani, A.B., and Rosazlin, A. 2002. Sewage sludge application to corn: heavy metals uptake and soil fractionation study. 17th WCSS, 14-12 August, Thailand.
17. Fuentes, A., Llorens, M., Saez, J., Soler, A., Aguilar, M.I., Ortuno, J.F., and Meseguer, V.F. 2004. Simple and sequential extractions of heavy metals from different sewage sludges. *Chemospher*, 54: 1039-1047.
18. Ghamari, N., and Danesh, Sh. 2007. Effect of sewage sludge application and leaching on soil chemical poroperties, yield and quality of barley. *J. Agric. Engine. Res.* 8: 3. 65-80. (In Persian)

19. Gondec, K. 2009. Assessment of the influence of sewage sludge fertilization on yield and content of nitrogen and sulphur in maize. *J. Elementol.* 15: 1. 65-79.
20. Hashemimajd, K. 2010. Production of compost and vermicompost from organic waste. Ayizh Publication, 192p. (In Persian)
21. He, Z.L., Yanga, X.E., and Stoffella, P.J. 2005. Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. *J. Trace Elements in Med. and Biol.* 19: 125-140.
22. Hojjati, S., Noorbakhsh, F., and Khavazi, K. 2006. Effects of Sewage Sludge on soil microbial biomass index, enzyme activities and yield of Zea mays. *J. Soil and Water Sci.* 20: 1. 84-93. (In Persian)
23. Hooda, P.S. 2010. Trace Elements in Soils. A John and Sons, Ltd., Publication, 596p.
24. Hossner, L.R. 1996. Dissolution for total elemental analysis. P 49-64. In: Methods of soil analysis. (Ed. D.L. Sparks). ASA and SSSA. Madison, WI.
25. Kabata-Pendias, A., and Pendias, H. 2001. Trace element in soil & plant, Third Edition. CRC press Boca Raton Washington, 618p.
26. Karami, M., Rezainejad, Y., Afyuni, M., and Shariatmadari, H. 2007. Cumulative and Residual Effects of Sewage Sludge on Lead and Cadmium Concentration in Soil and Wheat. *J. Sci. Technol. Agric. Natur. Res.* 11: 1. 79-95. (In Persian)
27. Kelley, W.D., Martens, D.C., Reneau, Jr.R.B., and Simpson, T.W. 1984. Agricultural use of sewage sludge. Department of Agronomy Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg, Virginia, Pp: 2406-3397.
28. Keskin, B., Bozkurt, M.A., and Akdeniz, H. 2010. The effects of sewage sludge and nitrogen fertilizer application on nutrient (*Bromus inermis leys*). *J. Anim. and Vet. Advances.* 9: 5. 896-902.
29. Knudson, D., and Peterson, G.A. 1982. Lithium, Sodium and Potassium, P 225-246. In: Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd ed. Argon. Monogr. 9. ASA. Madison, WI.
30. Koeppe, D.E. 1987. The uptake, distribution and effect of cadmium and lead in plants. *The Sci. Total Environ.* 7: 197-206.
31. Korto, N.E., Skopp, J., Fuller, W., Niebla, E.E., and Alesh, B.A. 1974. Trace element movement in soil: Influence of soil physical and chemical properties. *Soil Sci.* 122: 350-359.
32. Li, H., Shi, W.Y., Shao, H.B., and Shao, M.A. 2009. The remediation of the lead-polluted garden soil by natural zeolite. *J. Hazardous Materials,* 169: 1106-1111.
33. Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1987. Development of DTPA Soil test for Zinc, Iron, Manganese and Copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 421-428.
34. Martinez, F., Cuevas, C., Teresa, W., and Iglesias, I. 2002. Urban organic wastes effects on soil chemical properties in degraded semiarid ecosystem. 17th WCSS, 14-12 August, Thailand.

35. 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. J. Sci. Tech. Agric. Natur. Res. 10: 3. 97-111. (In Persian)
36. Nielson, G.H., Hogue, E.J., Nielson, D., and Zebarth, B.J. 1998. Evaluation of organic wastes as soil amendments for cultivation of carrot and chard on irrigated sandy soils. Can. J. Soil Sci. 78: 217-225.
37. Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., and Dean, L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circular 939, US Gov. Printing Office, Washington, DC.
38. Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. 1982. Methods of soil analysis. Part 2. 2nd ed. ASA and SSSSA. Madison, WI.
39. Perez-Murcia, M.D., Moral, R., Moreno-Caselles, J., Perez-Espinosa, A., and Paredes, C. 2006. Use of composted sewage sludge in growth media for broccoli. Bioresour. Technol. 97: 123-130.
40. Qasim, M., Javed, N., Himayatullah, and Subhan, M. 2001. Effect of sewage sludge on the growth of maize crop. J. Biol. Sci. 1: 2. 52-54.
41. Ramulu, U.S. Sree. 2002. Reuse of municipal sewage and sludge in agriculture. Scientific Publishers, Jodhpur, India, 342p.
42. Rezaenejad, Y., and Afyuni, M. 2001. Effect of Organic Matter on Soil Chemical Properties and Corn Yield and Elemental Uptake. J. Sci. Technol. Agric. Natur. Res. 4: 4. 19-29. (In Persian)
43. Sharifi, M., Afyuni, M., and Khoshgoftarmanesh, A.H. 2010. Effects of Animal Manure, Sewage Sludge, and Cadmium Chloride on Cadmium Uptake of Corn Shoots. J. Water and Wastewater. 4: 98-103. (In Persian)
44. Shi, W.Y., Shao, H.B., Li, H., Shao, M.A., and Du, S. 2009. Progress in the remediation of hazardous heavy metal-polluted soils by natural zeolite. J. Hazardous Materials, 170: 1-6.
45. Singh, M.K., Sinha, S.S., and Singh, S.K. 2002. Effect of untreated and treated sewage on seed germination and seedling growth of Vicia Faba. Ind. J. Environ. Protect. 22: 4. 426-430.
46. Singh, R.P., and Agrawal, M. 2007. Effects of sewage sludge amendment on heavy metal accumulation and consequent responses of Beta vulgaris plants. Chemosphere, 67: 2229-2240.
47. 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.
48. Singh, S., Saxena, R., Pandey, K., Bhatt, K., and Sinha, S. 2004. Response of antioxidants in sunflower (*Helianthus annuus L.*) grown on different amendments of tannery sludge: its metal accumulation potential. Chemosphere, 57: 1663-1673.

49. 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.
50. Tamrabet, L., Bouzerzour, H., Makhlouf, K., and Makhlouf, M. 2009. The effect of sewage sludge application on Dorum Wheat. *Int. J. Agric. Biol.* 11: 741-745.
51. Tsadilas, C.D., Matsi, T., Barbayiannis, N., and Dimoyiannis, D. 1995. Influence of sewage sludge application on soil properties and on the distribution and availability of heavy metal fractions. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 26: 2603-2619.
52. U.S. Environmental Protection Agency. 1993. Clean water act. Section 503, Vol. 58, No. 32, USEPA, Washington, DC.
53. Vaseghi, S., Afyuni, M., Shariatmadari, H., and Mobli, M. 2003. Effects of Sewage Sludge and Soil pH on Micronutrient and Heavy Metal Availability. *J. Sci. Tech. Agric. Natur. Res.* 7: 3. 95-106. (In Persian)
54. Vaseghi, S., Afyuni, M., Shariatmadari, H., and Mobli, M. 2005. Effect of Sewage Sludge on Some Macronutrients Concentration and Soil Chemical Properties. *J. Water and waste water.* 53: 15-22. (In Persian)
55. Vaseghi, S., Shariatmadari, H., Afyuni, M., and Mobli, M. 2001. Effects of Sewage Sludge on Heavy Metal concentrations of Spinach and Lettuce in soils with different pH. *J. Sci. Tech. Hort.* 2: 3-4. 125-142. (In Persian)
56. Vecera, Z. 1999. Additional comments about trace elements in crop plants. Environmental analytical chemistry department, institute of analytical chemistry, Academy of Sciences of the Czech Republic. Brno, Veveri, 97: 61-642.
57. Warman, P.R., and Termeer, W.C. 2005. Evaluation of sewage sludge, septic waste and sludge compost applications to corn and forage: Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu, Zn and B content of crops and soils. *Bioresour. Technol.* 96: 1029-1038.



Influence of sewage sludge on some soil properties, yield and concentration of lead and cadmium in roots and shoots of *Maize*

K. Saadat¹, *M. Barani Motlagh², E. Dordipour² and A. Ghasemnezhad³

¹M.Sc. Student, Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ³Assistant Prof., Dept. of Horticulture Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 04/07/2012; Accepted: 07/31/2012

Abstract

Sewage sludge contains abundant organic matter and essential nutrients such as nitrogen and phosphorus for plant. In addition to having economic benefits, using sewage sludge as fertilizer in agricultural lands is an excellent option for sewage sludge management problem. The main limitation of the use of sewage sludge is high concentrations of heavy metals such as lead and cadmium. The purpose of this study was to evaluate the effect of sewage sludge on soil properties, nutrient uptake, heavy metals and maize yield. Thus, a greenhouse experiment with different levels of sewage sludge application (0, 15, 20 and 25% w/w) was conducted as a completely randomized design with four replications. The Results showed that the application of sewage sludge leads to significant increase of soil organic matter, electrical conductivity and significant decrease of soil pH at 1% level. Sewage sludge application increased significantly (at 1% level) maize yield, nitrogen, phosphorous and sodium concentration in maize. The results also revealed that the application of sewage sludge increased the lead concentration in maize above ground biomass, but this increase was statistically significant (at 1% level) only in 20% rate of sewage sludge in comparison with control treatment. The application of sewage sludge significantly increased (at 1% level) lead and cadmium concentration in roots.

Keywords: Sewage sludge, Lead, Cadmium, Soil properties

* Corresponding Authors; Email: mbarani2002@yahoo.com