اثر کاربرد سطوح مختلف کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب بر میزان عملکرد و غلظت برخی عناصر سنگین در گیاه فلفل سبز قلمی (*Capsicum annuum* var robustin)

مهری برومند[1*] و محمد علی بهمنیار[1]

(تاریخ دریافت:۱۳۹۳/۲/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۵/۲۲)

چکیده

به منظور بررسی اثر کاربرد مقادیر مختلف کمپوست پسماندهای شهری و لجن فاضلاب بر میزان عملکرد و تجمع برخی عناصر سنگین از جمله نیکل، کروم، کادمیم و سرب در اندام‌های گیاهی فلفل سبز قلمی، آزمایشی به صورت طرح کاملاً تصادفی با ۷ تیمار و ۴ تکرار در شرایط گلدانی اجرا شد. تیمارها شامل شاهد، ۵٪ کمپوست، ۱۰٪ کمپوست، ۵٪ لجن فاضلاب، ۱۰٪ لجن فاضلاب، ۵٪ کمپوست و لجن فاضلاب و ۱۰٪ کمپوست و لجن فاضلاب بودند. نتایج تحلیل داده‌ها نشان داد که افزودن کمپوست و لجن فاضلاب سبب افزایش عملکرد (وزن تر و خشک) میوه فلفل شده است. بیشترین میزان وزن تر میوه در تیمار۱۰٪ کمپوست و لجن فاضلاب و بیشترین وزن خشک میوه در تیمار ۵٪ لجن فاضلاب مشاهده شد؛ به گونه‌ای که به ترتیب حدود ۳/۵ و ۳ برابر افزایش عملکرد نسبت به شاهد نشان دادند. عملکرد اندام‌های هوایی نیز افزایش معنی‌داری در وزن تر و خشک نشان داد. کاربرد این کودها ارتفاع بوته را نسبت به شاهد افزایش داد، که بیشترین آن افزایشی در حدود ۲۸٪ در تیمار ۵٪ لجن فاضلاب نسبت به شاهد بود. همچنین، افزودن کمپوست و لجن فاضلاب سبب افزایش معنی‌دار غلظت عناصر سنگین در میوه، برگ، اندام‌های هوایی و ریشه گیاه فلفل‌گردید. با افزایش سطوح کودی، بر غلظت عناصر سنگین در گیاه نیز افزوده شد. غلظت نیکل در تمامی تیمارها، به‌غیر از شاهد و ۵٪ کمپوست، و غلظت کادمیم در تمامی تیمارها، به‌غیر از شاهد، ۱۰٪ کمپوست و ۵٪ لجن فاضلاب، در میوه فلفل حداکثر بود. محاسبه شاخص انتقال حاکی از آن بود که تجمع عناصر سنگین در گیاه فلفل در ریشه بیشتر از اندام‌های هوایی است. کادمیم با شاخص انتقال ۰/۵۲ دارای تحرک بیشتری در گیاه فلفل سبز نسبت به سرب (۰/۴۴) و نیکل (۰/۱۴) می‌باشد.

کلمات کلیدی: کمپوست، سرب، نیکل، کادمیم، کروم

مقدمه

تولید انبوه پسماندهای آلی در فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی و شهری، فشار بسیار زیادی بر محل دفع این پسماندها آورده و پیامدهای مشکل‌ساز کوتاه و بلندمدتی را برای سلامت محیط‌زیست ایجاد کرده است. در نتیجه، به دلیل محدودیت‌هایی که در مورد روش‌های سوزاندن و دفن زباله و لجن فاضلاب در اراضی و اقیانوس‌ها به وجود آمده است، متخصصین محیط‌زیست برای رهایی از مشکلات ناشی از

۱. گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mehri.boroumand@gmail.com

انباشت زباله‌ها و لجن تولید شده در تصفیه‌خانه‌ها، استفاده از آن را به عنوان کود در کشاورزی توصیه می‌کنند (۶ و ۱۹).

توجه به محیط‌زیست و از آن جمله مواد زائد جامد، مسئله‌ای است که در سال‌های اخیر مورد توجه جهانیان قرار گرفته است. این ترکیبات، علاوه بر مواد آلی، معمولاً سرشار از مواد غذایی مورد نیاز گیاه، به‌ویژه نیتروژن و فسفر، بوده (۳۳) و باعث بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک می‌گردند (۳۰ و ۳۳).

برای افزایش مقدار ماده آلی خاک، لازم است از همه منابع آلی مانند ضایعات کشاورزی، فاضلاب‌ها و مواد زائد شهری استفاده شود تا ضمن افزایش تولیدات زراعی، توسعه پایدار در کشاورزی ممکن شود (۶). اما لجن فاضلاب و کمپوست پسماندهای شهری، از جمله کودهای آلی هستند که اغلب علاوه بر افزایش عملکرد گیاه، دارای مقادیر نسبتاً زیاد عناصر سنگین نظیر کروم، کادمیم، سرب و نیکل می‌باشند. در اثر افزودن این مواد به خاک، گیاه همراه با عناصر غذایی مورد نیاز، این عناصر سمی را جذب کرده که وارد زنجیره غذایی انسان می‌گردند. جذب بیش از حد این عناصر توسط گیاه برای سلامت انسان زیان‌آور خواهد بود (۲۸).

افیونی و همکاران (۱) در مطالعه‌ای که در اصفهان به منظور بررسی اثر افزایش لجن فاضلاب بر جذب فلزات سنگین در کاهو و اسفناج به مدت دو سال انجام دادند، مشاهده نمودند که با افزودن سطح لجن فاضلاب، میزان جذب فلزات سنگین نیز افزایش یافت. ال-زوبی و همکاران (۱۸) با بررسی اثر لجن فاضلاب بر عملکرد گندم، ذرت و نخود در یک مطالعه مزرعه‌ای، گزارش کردند که کاربرد لجن فاضلاب تأثیری بر عملکرد گندم نداشت؛ اما عملکرد ذرت و نخود را در مقایسه با شاهد افزایش داد. چیتدشواری و همکاران (۲۲) نیز با مطالعه تأثیر سطوح مختلف لجن فاضلاب کمپوست شده بر عملکرد ذرت، تاج خروس، گل کروساندرا و لوبیا چشم بلبلی در یک آزمایش گلخانه‌ای، مشاهده کردند که مصرف لجن فاضلاب کمپوست شده، سبب افزایش عملکرد در تمامی گیاهان مورد مطالعه شد. کسرایی و ساعدی (۱۱) در مطالعه اثر لجن فاضلاب بر رشد گیاه گوجه‌فرنگی دریافتند که افزودن لجن فاضلاب اثر معنی‌داری بر عملکرد این گیاه داشته است. به گونه‌ای که تعداد، وزن تر و خشک و درصد آب موجود در میوه گوجه‌فرنگی در تیمارهای ۵ و ۱۰ تن لجن فاضلاب در هکتار افزایش یافته و از این سطوح به بعد، افزودن لجن با کاهش شدید عملکرد و مسمومیت گیاه همراه بوده است. اقبال و همکاران (۲۶) اعلام کردند که کاربرد یک‌ساله و دوساله این کودها می‌تواند باعث افزایش عملکرد دانه ذرت نسبت به شاهد گردد، و دلیل آن را بهبود وضعیت خاکدانه‌ای و اسیدیته خاک دانستند. کانینگهام و همکاران (۲۱) گزارش کردند که افزایش لجن فاضلاب باعث افزایش عملکرد محصول چاودار شد. سینگ و ناروال (۳۶) در یک آزمایش گلخانه‌ای نشان دادند که با افزایش مقدار لجن مورد استفاده، جذب عناصر سرب، کادمیم و نیکل افزایش می‌یابد.

دانیل و همکاران (۲۴) در آزمایشی به این نتیجه رسیدند که کاربرد ۱۰ تن در هکتار کمپوست باعث افزایش عملکرد محصول پیاز به میزان ۱۶٪ نسبت به شاهد گردید، که این افزایش ممکن است به دلیل بهبود نفوذپذیری و تهویه باشد. فرگوسن (۲۷) گزارش نمود که با مصرف ۲۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری در سبزی‌ها، عملکرد آنها ۱۵٪ افزایش یافت. اسلون و همکاران (۳۸) طی تحقیقی در اراضی کشاورزی که به طور متوالی با لجن فاضلاب تیمار شده بودند، اعلام نمودند که غلظت کادمیم در اندام‌های هوایی کاهو با مصرف لجن فاضلاب افزایش معنی‌داری داشته است. کالا و همکاران (۲۰) در بررسی اثر افزایش کمپوست زباله شهری بر گیاه دارویی رُزماری گزارش نمودند که تیمار ۲۰ تن کمپوست زباله شهری در هکتار عملکرد بیشتری را نسبت به شاهد و تیمار ۴۰ تن در هکتار داشت، که دلیل آن را افزایش مقدار شوری در مقادیر بیشتر کمپوست دانستند. نظری و همکاران (۱۶) در مطالعات خود نشان دادند که کاربرد پساب و لجن فاضلاب پلی اکریل اصفهان می‌تواند بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی گندم،

جدول ۱. برخی خصوصیات خاک، کمپوست و لجن فاضلاب مورد استفاده در پژوهش

خصوصیت	واحد	لجن فاضلاب	کمپوست	خاک
اسیدیته	-	۶/۵	۸/۳	۷/۴۵
هدایت الکتریکی	dS/m	۹/۹۴	۹/۰۷	۱/۱۳
آهک	درصد	-	-	۲۰
کربن آلی	درصد	۲۱	۲۲/۶۵	۱/۱
سرب قابل جذب	mg/kg	۴/۹۸	۲۵/۴۷	۰/۶۷
کروم قابل جذب	mg/kg	۱/۲۱	۲/۳۰	۰/۰۳
نیکل قابل جذب	mg/kg	۶۴/۵۴	۶/۱۱	۰/۵۵
کادمیم قابل جذب	mg/kg	۰/۶۱	۰/۲۰	۰/۰۴
سرب کل	mg/kg	۵۶/۴۵	۳۰۶/۰۵	۳۱/۹۱
کروم کل	mg/kg	۲۱۰/۶۲	۹۲/۱	۳۲/۲۶
نیکل کل	mg/kg	۲۱۷/۶	۴۷/۵۱	۴۲/۰۷
کادمیم کل	mg/kg	۲/۹۸	۲/۶۳	۰/۹۵
بافت خاک	-	-	-	لوم شنی

جو و ذرت اثرهای مناسبی داشته باشد؛ اگرچه گیاهان مختلف پاسخ متفاوتی داشتند. آنها این امر را به دلیل وجود عناصر غذایی و همچنین مواد آلی لجن فاضلاب می‌دانند که باعث بهبود شرایط عمومی خاک جهت رشد بهتر گیاهان شده است.

با توجه به عوامل ذکر شده، از آنجایی که فلفل از جمله محصولات کشاورزی است که به صورت خام مصرف می‌شود، این مطالعه به منظور بررسی اثر کاربرد کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب بر میزان عملکرد و غلظت عناصر سنگین سرب، کادمیم، کروم و نیکل در اندام‌های گیاهی فلفل سبز قلمی انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۷ تیمار شامل: شاهد (بدون لجن فاضلاب و کمپوست)، ۵٪ وزنی کمپوست، ۱۰٪ وزنی کمپوست، ۵٪ وزنی لجن فاضلاب، ۱۰٪ وزنی لجن فاضلاب، مخلوط ۵٪ وزنی کمپوست و لجن فاضلاب، مخلوط ۱۰٪ وزنی کمپوست و لجن فاضلاب در ۴ تکرار به صورت گلدانی در گلخانه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در سال ۱۳۹۱ انجام گرفت. برخی از خصوصیات خاک، کمپوست و لجن فاضلاب مورد استفاده در آزمایش در جدول ۱ آورده شده است. مقدار اسیدیته در گل اشباع و با استفاده از pHمتر و مقدار هدایت الکتریکی در عصاره اشباع توسط ECمتر اندازه‌گیری شد. درصد آهک به روش تیتراسیون برگشتی با هیدروکسید سدیم اندازه‌گیری شد (۳۵). جهت محاسبه میزان ماده آلی در خاک، از روش والکی- بلک استفاده شد (۳۴). غلظت عناصر سنگین قابل جذب خاک با عصاره‌گیری به وسیله DTPA (۳۳) و غلظت کل عناصر سنگین به روش مک گراس و کانلیف (۳۰) و با عصاره‌گیری با استفاده از محلول تیزاب (نسبت ۱:۳ اسید کلریدریک و اسید نیتریک غلیظ) و در نهایت با کمک دستگاه جذب اتمی تعیین شد.

در هر گلدان ۱۰ کیلوگرمی، ابتدا ۷ نشا از گیاه فلفل سبز قلمی (*Capsicum annuum* var robustin) کاشته شد و پس از اطمینان از گرفتن نشاها، به ۴ نشا در هر گلدان تنک شدند. به هر یک از گلدان‌ها، قبل از نشا، مقدار ۰/۳۰۷ گرم کود اوره، ۰/۶۱۳ گرم کود کلرور پتاسیم و ۰/۶۱۳ گرم سوپرفسفات افزوده شد. سپس، گلدان‌ها آبیاری شدند و پس از چند روز،

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر غلظت برخی عناصر سنگین (mg/kg) و عملکرد وزن تر و خشک (g/pot) میوه فلفل سبز

تیمار	سرب	نیکل	کروم	کادمیم	عملکرد میوه (وزن تر)	عملکرد میوه (وزن خشک)
شاهد	۰/۵۳۳c	۰/۸۵۶b	NDd	NDc	۷۶/۵۵۵c	۹/۷۴c
۵٪ کمپوست	۲/۳۰۶ab	۰/۹۰۹b	۰/۰۱bc	۰/۳۶۱a	۱۸۹/۱۷۳bc	۱۷/۷۴bc
۱۰٪ کمپوست	۳/۳۹۵a	۱/۳۱۵ab	۰/۰۱۷a	۰/۰۴۷bc	۲۵۳/۷۴۲ab	۳۰/۱۰ab
۵٪ لجن فاضلاب	۱/۳۲۸bc	۱/۳۶۵ab	NDd	۰/۰۶۶bc	۳۰۰/۳۱۵ab	۳۹/۷۹a
۱۰٪ لجن فاضلاب	۱/۵۷۸bc	۱/۹۱۹a	۰/۰۰۵dc	۰/۳۲۶a	۲۴۸/۳۷۸ab	۲۶/۰۱abc
۵٪ کمپوست و لجن	۲/۲۱۴abc	۱/۴۸۹ab	۰/۰۱bc	۰/۳۴۹a	۲۶۶/۴۵۸ab	۳۱/۶۴ab
۱۰٪ کمپوست و لجن	۲/۷۸۰ab	۱/۸۴۶a	۰/۰۱۲ab	۰/۱۴۷b	۳۴۳/۶۲۵a	۳۷/۳۵a

در هر ستون، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشابه بیانگر عدم اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۵٪ آزمون دانکن بین تیمارها می‌باشند. ND: غلظت کمتر از حد تشخیص دستگاه جذب اتمی است.

نشا صورت گرفت. مرحله بعدی کوددهی اوره نیز در هنگام ظهور اولین میوه‌ها صورت گرفت. نمونه‌گیری از برگ‌های کامل انتهایی در میانه فصل رشد و هنگام گل‌دهی بوته‌ها انجام شد. پس از پایان دوره رشد، بوته‌های موجود در هر گلدان پس از کف‌بُر شدن و توزین، به آزمایشگاه انتقال داده شدند. سپس، ابتدا با آب شهری و سپس با آب مقطر شستشو داده شدند و در آون تهویه‌دار ۶۰ درجه به مدت ۲ روز خشک شدند. پس از اطمینان از خشک شدن کامل، جهت محاسبه عملکرد اندام هوایی توزین شدند و نمونه‌ای مخلوط از برگ و شاخساره جهت تعیین غلظت عناصر سنگین در اندام‌های هوایی تهیه شد. ریشه‌ها نیز به همین ترتیب پس از شستشوی کامل آماده‌سازی گشتند. طی فصل رشد، میوه‌های برداشت شده از گیاه، پس از شستشو با آب معمولی و مقطر در آون خشک شده و پس از توزین، آسیاب شدند. سپس، نمونه‌های آماده شده جهت تعیین غلظت عناصر سنگین به روش هضم تر (هضم با اسید نیتریک و اسید پرکلریک) عصاره‌گیری (۳۱) و در نهایت، میزان عناصر سنگین در آنها با استفاده از دستگاه جذب اتمی قرائت شد.

فاکتور انتقال نیز از تقسیم غلظت فلز در بخش هوایی به غلظت آن در ریشه گیاه محاسبه شد. این فاکتور شاخصی است برای تعیین توانایی گیاه در انتقال فلزات از ریشه به بخش هوایی. اگر این فاکتور بیش از یک باشد، نشانگر این است که گیاه فلز را در بخش هوایی انباشته می‌کند. ولی اگر کوچکتر از یک باشد، نشان می‌دهد که گیاه فلز را بیشتر در ریشه انباشته می‌کند (۲۵ و ۳۶).

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS و مقایسه میانگین بین تیمارها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد و تجمع عناصر سنگین در میوه گیاه فلفل

نتایج به دست آمده از تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که افزودن کمپوست و لجن فاضلاب سبب افزایش عملکرد محصول، هم به صوت وزن تر و هم به صورت وزن خشک، می‌گردد. بیشترین عملکرد میوه از نظر وزن تر در تیمار ۱۰٪ کمپوست و لجن فاضلاب مشاهده شد، به طوری که از نظر وزن تر حدود ۳۴۹٪ نسبت به شاهد افزایش عملکرد مشاهده گردید. بیشترین مقدار وزن خشک در تیمار ۵٪ لجن فاضلاب مشاهده شد. اگرچه از نظر آماری با تیمار ۱۰٪ کمپوست و لجن در یک رده قرار گرفت (جدول ۲). ال-زوبی و همکاران (۱۸) اعلام نمودند که کاربرد لجن فاضلاب در گیاهان ذرت و نخود، افزایش عملکرد آن‌ها را در پی داشته است. این محققین ذکر نمودند که کاربرد لجن فاضلاب تأثیری بر عملکرد گندم نداشته است. مرجوی و جهاد اکبر (۱۴) افزایش عملکرد چغندرقند را ضمن کاربرد کمپوست و لجن فاضلاب ذکر کردند. محمدی و همکاران (۱۳) افزایش عملکرد دانه سویا را

جدول ۳. غلظت برخی از فلزات سنگین در گیاه (میلی‌گرم در کیلوگرم) (۱۷)

نام عنصر	محدوده طبیعی در گیاهان	غلظت بحرانی در گیاهان	غلظت بحرانی برای انسان
سرب	۰/۲-۲۰	۳۰-۳۰۰	۵
نیکل	۰/۰۲-۵	۱۰-۱۰۰	۱
کروم	۰/۰۳-۱۴	۵-۳۰	۱
کادمیم	۰/۱-۲/۴	۵-۳۰	۰/۱

ضمن استفاده از کمپوست گزارش نمودند. طولابی و همکاران (۸) نیز اعلام نمودند که کاربرد لجن فاضلاب سبب افزایش عملکرد و وزن خشک ریشه تربچه در تمام تیمارها در مقایسه با خاک شاهد شده است.

با توجه به جدول ۲ می‌توان گفت که افزایش کودهای کمپوست و لجن فاضلاب سبب افزایش غلظت سرب در میوه فلفل نسبت به شاهد شده است. بیشترین غلظت سرب (۳/۳۹۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار ۱۰٪ کمپوست مشاهده شد که حدود ۵ برابر بیشتر از تیمار شاهد بود. دلیل آن را می‌توان بیشتر بودن مقدار سرب در کمپوست دانست. البته غلظت سرب در میوه با توجه به جدول ۳ کمتر از مقدار بحرانی آن برای گیاه و انسان بود.

بیشترین غلظت نیکل در تیمار ۱۰٪ لجن فاضلاب و تیمار ۱۰٪ کمپوست و لجن فاضلاب مشاهده شد. مقدار غلظت نیکل در تیمار ۵٪ کمپوست با شاهد در یک گروه آماری قرار گرفت. با مقایسه این مقادیر به دست آمده برای نیکل با مقادیر مجاز (جدول ۳) مشاهده شد که در تمامی تیمارها، غلظت نیکل در محدوده طبیعی در گیاه بوده و در محدوده بحرانی آن برای گیاه قرار نگرفته است. اما این مقادیر در تمامی تیمارها، به‌غیر از تیمار شاهد و تیمار ۵٪ کمپوست، بیشتر از غلظت بحرانی آن برای انسان بود.

اکبرنژاد و همکاران (۲) در تحقیقی که در مشهد روی گیاه دارویی سیاهدانه انجام دادند اعلام کردند که غلظت نیکل در دانه این گیاه به بیشتر از حد مجاز آن رسیده است. این محققین، زیاد بودن مقدار نیکل در دانه و کاه و کلش را به دلیل تشکیل کمپلکس‌های ضعیف‌تر با مواد آلی و در نتیجه پویایی زیاد این عنصر در خاک، نسبت به سایر عناصر سنگین، دانستند. در نتیجه، با توجه به این خصوصیت نیکل، کاربرد این پسماندهای آلی باید با دقت بیشتری انجام گیرد (۲ و ۳۵).

غلظت کروم در تیمار ۱۰٪ کمپوست بیشترین مقدار افزایش را نسبت به شاهد نشان داد. اما افزودن ۵٪ وزنی لجن فاضلاب تأثیری بر غلظت کروم در میوه نداشت. مقایسه نتایج به دست آمده با مقادیر جدول ۳ حاکی از آن است که غلظت کروم در هیچکدام از تیمارها از محدوده طبیعی و مجاز آن برای گیاه و انسان فراتر نرفته و در تمامی تیمارها مقدار کروم میوه در حدی حتی کمتر از غلظت مجاز آن بوده است.

نتایج به دست آمده مطابق جدول ۲ نشان داد که افزودن کودهای آلی کمپوست و لجن فاضلاب اثر آماری معنی‌داری بر غلظت کادمیم در میوه فلفل داشته است، به طوری که تمامی تیمارها در سطحی بیشتر از تیمار شاهد قرار گرفتند و تیمارهای ۵٪ کمپوست، ۱۰٪ لجن فاضلاب و ۵٪ کمپوست و لجن فاضلاب بیشترین مقادیر غلظت کادمیم در میوه را نشان دادند. در تیمارهای ۵٪ کمپوست، ۱۰٪ لجن فاضلاب و تیمارهای ۵٪ و ۱۰٪ کمپوست و لجن فاضلاب، مقدار کادمیم از غلظت بحرانی آن برای انسان فراتر رفت. قلی‌پور و همکاران (۱۰) ذکر کردند که افزایش کمپوست به خاک، سبب افزایش معنی‌دار غلظت کادمیم در دانه برنج شده و با افزایش سطح کمپوست مصرفی، غلظت آن نیز در دانه بیشتر می‌شود.

ارتفاع بوته وتجمع عناصر سنگین در برگ گیاه

ارتفاع بوته گیاه فلفل تحت تأثیر افزایش کمپوست و لجن فاضلاب افزایش یافته و تمامی تیمارها ارتفاع بیشتری را نسبت

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر غلظت برخی عناصر سنگین در برگ (میلی‌گرم در کیلوگرم) و ارتفاع بوته فلفل

تیمار	سرب	نیکل	کروم	کادمیم	ارتفاع بوته (cm)
شاهد	۲/۳۱۱d	۰/۹۶۹c	ND	۰/۰۷۱b	۱۲۰/۰b
۵٪ کمپوست	۷/۲۶۵ab	۲/۷۷۵b	ND	۰/۳۴۵ab	۱۳۶/۷ab
۱۰٪ کمپوست	۸/۱۴۶a	۲/۹۰۱b	ND	۰/۳۵۷ab	۱۴۶/۷a
۵٪ لجن فاضلاب	۵/۲۳۱c	۳/۲۷۶b	ND	۰/۴۳۲ab	۱۵۳/۷a
۱۰٪ لجن فاضلاب	۵/۸۷۸bc	۴/۵۵۶a	ND	۰/۶۴۱a	۱۳۵/۰ab
۵٪ کمپوست و لجن	۵/۹۹۹bc	۳/۲۷۶b	ND	۰/۴۴۱ab	۱۴۰/۶ab
۱۰٪ کمپوست و لجن	۷/۴۹۳ab	۳/۵۷۴b	ND	۰/۶۴۱a	۱۵۰/۰a

در هر ستون، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشابه، بیانگر عدم اختلاف آماری معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۵٪ آزمون دانکن می‌باشد. ND: غلظت کمتر از حد تشخیص دستگاه جذب اتمی.

به شاهد نشان دادند (جدول ۴)، که بیشترین آن مربوط به تیمار ۵٪ لجن فاضلاب با افزایشی در حدود ۲۸٪ نسبت به شاهد بود. زمانی باب‌گهری و همکاران (۵) نیز ذکر کردند که لجن فاضلاب سبب افزایش ارتفاع گیاه ذرت در تیمارهای ۱۵ و ۴۵ تن در هکتار شد؛ ولی این افزایش تنها در تیمار ۴۵ تن در هکتار لجن فاضلاب معنی‌دار بود. آنان همچنین اعلام داشتند که کمپوست زباله شهری با بهبود شرایط فیزیکی خاک و همچنین دارا بودن شرایط تغذیه‌ای مناسب برای گیاه سبب افزایش ارتفاع آن شده است. این محققین مشاهده نمودند که کاربرد ۱۵ و ۴۵ تن کود کمپوست به ترتیب ۳/۸ و ۴/۸ درصد ارتفاع گیاه را در مقایسه با شاهد افزایش داد (۵). شاکرمی و همکاران (۶) نیز عنوان نمودند که کاربرد کمپوست سبب افزایش ارتفاع بوته در گیاه ریحان شده است.

چنانکه در جدول ۴ مشاهده می‌شود، بیشترین غلظت سرب برگ مربوط به تیمار ۱۰٪ کمپوست بوده است. اما تیمارهای ۱۰٪ کمپوست و لجن فاضلاب و تیمار ۵٪ کمپوست نیز اختلاف آماری کمی نسبت به تیمار ۱۰٪ کمپوست داشتند و تقریباً تمامی این تیمارها در یک گروه آماری قرار گرفتند. مقایسه نتایج به‌دست آمده با جدول ۳ نشان داد که غلظت سرب در برگ در تمامی تیمارهای اعمال شده در محدوده طبیعی غلظت آن در گیاه بوده است. نجفی و همکاران (۱۵) نیز اعلام نمودند که افزودن لجن فاضلاب به خاک گیاه آفتابگردان، غلظت سرب در برگ‌ها و بخش هوایی آن را به طور معنی‌داری افزایش داد. آنان ذکر کردند که با کاربرد لجن فاضلاب تا ۶۰ تن در هکتار در یک خاک لوم شنی، غلظت سرب در برگ‌ها و بخش هوایی گیاه بسیار کمتر از غلظت‌های سمی بود.

از نظر مقدار نیکل، بیشترین مقدار در برگ مربوط به تیمار ۱۰٪ لجن فاضلاب بود. سایر تیمارها اگرچه نسبت به شاهد در گروه آماری بالاتری قرار گرفتند، اما فاقد اختلاف معنی‌دار بین خود بودند (جدول ۴). با توجه به جدول ۳، کلیه تیمارها در محدوده طبیعی غلظت نیکل در گیاه قرار داشتند.

غلظت کروم در برگ‌ها بسیار ناچیز و در حد صفر بود (جدول ۴). از نظر غلظت کادمیم برگ نیز تمامی تیمارها نسبت به شاهد غلظت بیشتری از کادمیم را نشان دادند و تقریبا همگی با اختلاف ناچیز از نظر آماری، در یک گروه قرار گرفتند. مقایسه غلظت‌های به‌دست آمده در هر تیمار با مقادیر مجاز و طبیعی آن مطابق جدول ۳ بیانگر آن بود که غلظت کادمیم در تمامی تیمارهای اعمال شده کمتر از محدوده بحرانی و سمی برای گیاه بوده و در محدوده طبیعی آن قرار دارد. اسلون و همکاران (۳۸) طی یک تحقیق در اراضی کشاورزی که به طور متوالی با لجن فاضلاب تیمار شده بودند، گزارش نمودند که غلظت کادمیم در اندام‌های هوایی کاهو، با افزایش لجن فاضلاب، افزایش معنی‌دار داشت.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر غلظت برخی عناصر سنگین (mg/kg) در اندام‌های هوایی و عملکرد وزن تر و خشک (g/pot)

تیمار	سرب	نیکل	کروم	کادمیم	وزن تر	وزن خشک
شاهد	۲/۳۰c	۰/۸۶c	ND	۰/۱۲c	۲۲۳/۷۵b	۱۳۷/۸۹c
۵٪ کمپوست	۵/۳۸ab	۱/۸۰bc	ND	۰/۲۶bc	۲۵۷/۷۵ab	۱۵۹/۶۳bc
۱۰٪ کمپوست	۷/۳۷a	۲/۶۶b	ND	۰/۲۵bc	۲۹۴/۲۵ab	۱۸۲/۴۸abc
۵٪ لجن فاضلاب	۴/۰۶bc	۲/۶۷b	ND	۰/۳۰Bc	۲۸۵/۷۵ab	۱۷۹/۵۸abc
۱۰٪ لجن فاضلاب	۵/۹۷ab	۳/۹۴a	ND	۰/۴۸ab	۲۵۸/۵۰ab	۱۵۶/۵۷bc
۵٪ کمپوست و لجن	۴/۹۸b	۲/۴۳b	ND	۰/۳۰Bc	۳۱۲/۷۵ab	۱۹۳/۵۴ab
۱۰٪ کمپوست و لجن	۵/۸۶ab	۲/۵۲b	ND	۰/۵۳a	۳۴۶/۵۰a	۲۰۹/۸۷a

در هر ستون، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشابه، بیانگر عدم اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۵٪ آزمون دانکن بین تیمارها می‌باشد. ND: غلظت کمتر از حد قابل تشخیص به‌وسیله دستگاه جذب اتمی.

عملکرد و غلظت عناصر سنگین در اندام‌های هوایی گیاه

مقایسه میانگین داده‌های حاصل نشان داد که بیشترین عملکرد اندام‌های هوایی، چه به صورت وزن تر و چه به صورت وزن خشک، در تیمار ۱۰٪ کمپوست و لجن فاضلاب مشاهده شد. این افزایش عملکرد در وزن تر حدود ۵۵٪ و در وزن خشک حدود ۵۲٪ نسبت به شاهد بود (جدول ۵). شریفی و همکاران (۷) ذکر کردند که افزودن کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب به خاک منجر به افزایش عملکرد وزن خشک اندام هوایی گل جعفری در مقایسه با شاهد شد. این محققین عنوان نمودند که این افزایش عملکرد احتمالاً به دلیل حضور ماده آلی و عناصر غذایی در این ترکیبات می‌باشد. کوک و همکاران (۲۳) نیز گزارش نمودند که کاربرد کمپوست در مزرعه جو بهاره موجب افزایش ۲۵ درصدی ماده خشک گیاه شده و تعداد جوانه را در هر گیاه افزایش می‌دهد. فرگوسن (۲۷) گزارش نمود که با مصرف ۲۰ تن در هکتار کمپوست حاصل از زباله شهری در سبزی‌ها، عملکرد هوایی آنها ۱۵٪ افزایش یافت. طولابی و همکاران (۸) اعلام داشتند که کاربرد لجن فاضلاب در خاک تحت کشت تربچه سبب افزایش وزن خشک اندام‌های هوایی نسبت به شاهد شده است.

بیشترین میزان غلظت سرب در اندام‌های هوایی در تیمار ۱۰٪ کمپوست با مقدار ۷/۳۶۷۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد. در حالی که کمترین مقدار این عنصر در تیمار شاهد بود. اما بین سایر تیمارهایی که به آنها سطوح مختلف کمپوست و لجن فاضلاب افزوده شد، تیمار ۵٪ کمپوست و لجن فاضلاب کمترین میزان سرب را داشت. نجفی و همکاران (۱۵) نیز ذکر نمودند که افزودن لجن فاضلاب به خاک، غلظت سرب در اندام‌های هوایی گیاه آفتابگردان را به طور معنی‌دار افزایش داد و با افزایش مقدار لجن فاضلاب مصرفی، غلظت آن افزایش یافت.

از نظر مقدار نیکل نیز بیشترین میزان آن در تیمار ۱۰٪ لجن فاضلاب مشاهده شد که در حدود ۳/۵ برابر مقدار نیکل در تیمار شاهد بود (جدول ۵). برجی و همکاران (۳) در تحقیقی که در اصفهان روی گیاه گوجه‌فرنگی انجام دادند به این نتیجه رسیدند که افزایش سطح لجن فاضلاب سبب افزایش معنی‌دار مقدار نیکل در اندام‌های هوایی این گیاه گردید.

میزان جذب کروم در اندام‌های هوایی گیاه در حدود صفر بوده و یا مقدار آن به قدری ناچیز بود که دستگاه قادر به تشخیص آن نبود. بیشترین

میزان غلظت کادمیم در اندام‌های هوایی در تیمار ۱۰٪ کمپوست و لجن فاضلاب ۰/۵۳۱۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد که در حدود ۳۲۹ درصد بیشتر از غلظت آن در تیمار شاهد (۰/۱۲۳۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود (جدول ۵). کلر و همکاران (۲۹) نیز در تحقیقی که روی گیاهان ذرت، لوبیا، چغندرقند، سیب‌زمینی، کاهو و اسفناج انجام دادند دریافتند که

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر غلظت برخی عناصر سنگین (mg/kg) ریشه

تیمار	سرب	نیکل	کروم	کادمیم
شاهد	۶/۸۶۴c	۷/۹۸۴c	۲/۳۵۸c	۰/۳۳۷c
۵٪ کمپوست	۱۰/۸۲b	۱۰/۶۱bc	۸/۳۸۵b	۰/۸۱۷a
۱۰٪ کمپوست	۱۷/۱۰a	۱۱/۹۰ab	۱۲/۵۳a	۰/۷۰۶ab
۵٪ لجن فاضلاب	۹/۷۲bc	۱۱/۹۰ab	۷/۴۴۸b	۰/۴۲۲c
۱۰٪ لجن فاضلاب	۱۰/۶۵bc	۱۵/۰۱a	۹/۰۷۱b	۰/۷۵۹a
۵٪ کمپوست و لجن	۱۰/۷۰bc	۱۲/۴۶ab	۷/۷۲۰b	۰/۴۶۸bc
۱۰٪ کمپوست و لجن	۱۴/۶۹a	۱۲/۷۴ab	۱۲/۰۶a	۰/۸۴۱a

در هر ستون، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشابه، بیانگر عدم اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۵٪ آزمون دانکن بین تیمارها می‌باشد.

استفاده از لجن فاضلاب سبب افزایش غلظت کادمیم در اندام‌های هوایی این گیاهان نسبت به شاهد می‌گردد.

تجمع عناصر سنگین در ریشه گیاه

نتایج به دست آمده از تجزیه و تحلیل داده‌ها حاکی از آن است که استفاده از کودهای آلی کمپوست و لجن فاضلاب سبب افزایش غلظت و تجمع سرب در ریشه فلفل شده و با افزایش سطوح مصرف این کودها، غلظت سرب در ریشه نیز افزایش می‌یابد. بیشترین مقدار غلظت سرب مربوط به تیمار ۱۰٪ کمپوست (۱۷/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و تیمار ۱۰٪ کمپوست و لجن فاضلاب (۱۴/۶۹۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود (جدول ۶). با مقایسه نتایج به دست آمده با جدول ۳ می‌توان دریافت که در هیچیک از تیمارها غلظت سرب در ریشه از محدوده طبیعی آن برای گیاه فراتر نرفته است. قازانچایی و فاریابی (۹) نیز اعلام داشتند که افزودن کمپوست در دو سطح ۲۴ و ۴۸ تن در هکتار سبب افزایش معنی‌دار غلظت سرب ریشه نسبت به شاهد در گوجه‌فرنگی شد. اگرچه نجفی و همکاران (۱۵) و کرمی و همکاران (۱۲) ذکر کردند که افزودن لجن فاضلاب به خاک بر غلظت سرب ریشه به ترتیب در گیاهان آفتابگردان و گندم اثر معنی‌دار نداشت.

با توجه به جدول ۶، در مورد نیکل نیز می‌توان گفت که با افزایش مقدار مصرف کمپوست و لجن فاضلاب، غلظت نیکل در ریشه افزایش یافت. بیشترین میزان غلظت نیکل در ریشه این گیاه در تیمار ۱۰٪ کمپوست مشاهده شد. با توجه به جدول ۳، غلظت نیکل در تمامی تیمارها از محدوده طبیعی آن در گیاه فراتر رفته و در همگی آن‌ها، به‌غیر از شاهد، در محدوده غلظت بحرانی آن برای گیاه قرار گرفت. قازانچایی و فاریابی (۹) اعلام کردند که افزایش کمپوست به خاک تحت کشت گوجه‌فرنگی، سبب افزایش معنی‌دار غلظت نیکل در ریشه آن شد. در حالی که افزودن آن در کدو اثر معنی‌داری را بر غلظت نیکل در ریشه نشان نداد.

نتایج به دست آمده حاکی از آن بود که استفاده از کمپوست و لجن فاضلاب، غلظت کروم در ریشه فلفل را افزایش داد و بیشترین مقدار آن در تیمارهای ۱۰٪ کمپوست و ۱۰٪ کمپوست و لجن فاضلاب مشاهده شد (جدول ۶). اما در هیچکدام از تیمارها، غلظت کروم از حد طبیعی آن برای گیاه تجاوز نکرد (جدول ۳).

در مورد کادمیم نیز تمامی تیمارها نسبت به شاهد غلظت بیشتری داشتند. تیمارهای ۱۰٪ لجن فاضلاب و ۵٪ و ۱۰٪کمپوست و لجن فاضلاب در گروه بالاتر آماری نسبت به سایر تیمارها قرار گرفتند (جدول ۶). در تمامی تیمارها، غلظت کادمیم ریشه در محدوده طبیعی آن برای گیاه قرار گرفت (جدول ۳). نجفی و همکاران (۱۵) عنوان کردند که اثر منبع و مقدار کود آلی مصرفی بر مقدار کادمیوم در ریشه آفتابگردان معنی‌دار است. ولی قازانچایی و فاریابی (۹) عدم اثر معنی‌دار آن را بر غلظت کادمیم در گوجه‌فرنگی و کدو اعلام داشتند.

جدول ۷. مقادیر فاکتور انتقال برای سرب، نیکل، کروم و کادمیم در تیمارهای مختلف

تیمار	سرب	نیکل	کروم	کادمیم
شاهد	۰/۳۳۶۱	۰/۱۰۷۸	ND	۰/۳۴۲۹
۵٪ کمپوست	۰/۴۹۶۷	۰/۱۶۹۸	ND	۰/۳۱۳۸
۱۰٪ کمپوست	۰/۴۳۰۸	۰/۰۲۰۵	ND	۰/۳۴۷۱
۵٪ لجن فاضلاب	۰/۴۱۷۴	۰/۰۲۶۴	ND	۰/۷۴۵۶
۱۰٪ لجن فاضلاب	۰/۵۶۰۰	۰/۲۶۲۳	ND	۰/۶۲۱۶
۵ ٪ کمپوست و لجن	۰/۴۶۵۲	۰/۱۹۵۳	ND	۰/۶۲۳۰
۱۰٪ کمپوست و لجن	۰/۳۹۸۸	۰/۱۹۷۳	ND	۰/۶۳۲۷
میانگین	۰/۴۴۳۶	۰/۱۳۹۹	ND	۰/۵۱۸۱

فاکتور انتقال

محاسبه فاکتور انتقال برای عناصر سنگین نشان داد که این فاکتور برای عنصر سرب در تیمار ۱۰٪ لجن فاضلاب با مقدار ۰/۵۶ بیشترین و میانگین این فاکتور بین کلیه تیمارها ۰/۴۴ بود (جدول ۷). برای عنصر نیکل، بیشترین مقدار فاکتور انتقال مربوط به تیمار ۱۰٪ کمپوست و لجن فاضلاب و میانگین کلی آن در میان تیمارها در حدود ۰/۱۴ بود. برای عنصر کادمیم، بیشترین مقدار آن (۰/۷۵) در تیمار ۵٪ لجن فاضلاب مشاهده شد و به طور میانگین مقدار آن در تیمارها ۰/۵۲ بود. اگرچه مقایسه میانگین این اعداد نشان می‌دهد که بیشترین مقدار فاکتور انتقال مربوط به عنصر کادمیم بوده و می‌توان گفت که این عنصر تحرک بیشتری در گیاه داشته و به مقدار بیشتری به اندام‌های هوایی انتقال یافته است، اما این نتایج حاکی از آن است که از آنجایی که این ضریب برای کلیه فلزات مورد بحث در این پژوهش کمتر از یک به دست آمد، این فلزات بیشتر در ریشه گیاه فلفل تجمع یافته و به میزان کمتری به اندام‌های هوایی منتقل می‌گردند. لذا، به دلیل انتقال کم این عناصر به اندام‌های هوایی در گیاه فلفل، در صورت کاربرد مقادیر کمتر لجن فاضلاب و کمپوست زباله شهری، استفاده از این کودهای آلی در جهت افزایش عملکرد میوه قابل بررسی خواهد بود.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که افزایش کمپوست و لجن فاضلاب سبب افزایش عملکرد میوه فلفل (وزن تر و وزن خشک)، ارتفاع بوته و عملکرد اندام‌های هوایی (وزن تر و خشک) می‌گردد. با این وجود، افزایش این کودهای آلی سبب افزایش تجمع عناصر سنگین در میوه نیز گشت و در کلیه تیمارها، به غیر از تیمارهای شاهد و ۵٪ کمپوست، غلظت آنها فراتر از غلظت بحرانی آن برای انسان بود. در این پژوهش، فاکتور انتقال برای سرب ۰/۴۴، نیکل ۰/۱۴، کادمیم ۰/۵۲ و کروم صفر بوده است. از آنجایی که مقادیر این شاخص کمتر از یک به دست آمد، می‌توان گفت که تجمع این فلزات در گیاه فلفل بیشتر در ریشه بوده و میزان انتقال آن‌ها به اندام‌های هوایی کم است. اما با توجه به بالاتر بودن فاکتور انتقال کادمیم، می‌توان دریافت که کادمیم در گیاه، تحرک بیشتری را نسبت به سرب، نیکل و کروم داشته است.

منابع مورد استفاده

۱. افیونی، م.، ی. رضایی‌نژاد و ب. خیام‌باشی. ۱۳۷۷. اثر لجن فاضلاب بر عملکرد و جذب فلزات سنگین بوسیله کاهو و اسفناج. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی ۱: ۱۹-۳۰.

۲. اکبرنژاد، ف.، ع. آستارایی، ا. فتوت و م. نصیری محلاتی. ۱۳۸۹. تأثیر کمپوست پسماند شهری و لجن فاضلاب بر عملکرد و غلظت سرب، نیکل و کادمیم در خاک و گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.). نشریه بوم‌شناسی کشاورزی ۲(۴): ۶۰۰-۶۰۸.

۳. برجی، ح.، ح. امینی و ا. عسکری. ۱۳۹۰. تأثیر تیمارهای مختلف لجن فاضلاب بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک و جذب عناصر سنگین در گوجه‌فرنگی. دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران: شیمی و آلودگی خاک و سلامت محیط زیست، ۱۲- ۱۴ شهریور، تبریز.

۴. زائری، ع. ۱۳۸۰. بررسی اثرات تجمعی و باقیمانده لجن فاضلاب بر حرکت املاح، رطوبت خاک و برخی خواص فیزیکی خاک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۵. زمانی باب‌گهری، ج.، م. افیونی، ا. ح. خوشگفتارمنش و ح. ر. عشقی زاده. ۱۳۸۹. اثر لجن فاضلاب کارخانه پلی‌اکریل، کمپوست زباله شهری و کود گاوی بر ویژگی‌های خاک و عملکرد ذرت دانه‌ای. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی (علوم آب و خاک) ۱۴(۵۹): ۱۵۳-۱۶۵.

۶. شاکرمی، م.، ص. معروفی، ف. دشتی، ق. رحیمی و ن. نصرالدین. ۱۳۹۳. بررسی اثر استفاده از فاضلاب و کمپوست بر شاخص‌های رشد و جذب برخی عناصر غذایی در ریحان. فنآوری تولیدات گیاهی ۱۴(۱): ۱-۱۵.

۷. شریفی، م.، م. افیونی و ا. ح. خوشگفتارمنش. ۱۳۸۹. تأثیر لجن فاضلاب، کمپوست زباله شهری و کود گاوی بر رشد و عملکرد و جذب آهن، روی، منگنز و نیکل در گل جعفری. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۱(۲): ۴۳-۵۳.

۸. طولابی، ز.، ق. رحیمی و ص. معروفی. ۱۳۹۳. تجمع فلزات سنگین در بخش هوایی و ریشه تربچه (*Raphanus sativus*) رشد یافته در خاک‌های اصلاح شده با لجن فاضلاب. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک ۲۱(۲): ۲۰۹-۲۲۶.

۹. قازانچایی، ر. و آ. فاریابی. ۱۳۸۷. بررسی اثر کمپوست حاصل از زباله‌های شهری بر عملکرد و جذب فلزات سنگین بوسیله گوجه-فرنگی و کدو. سومین کنگره ملّی بازیافت و استفاده از منابع آلی تجدید شونده در کشاورزی، ۲۴-۲۶ اردیبهشت، اصفهان.

۱۰. قلی پور، آ.، م. قاجار سپانلو و م.ع. بهمنیار. ۱۳۸۹. بررسی کاربرد کمپوست زباله شهری بر میزان جذب کادمیوم و نیکل در گیاه برنج. اولین همایش ملی کشاورزی پایدار و تولید محصول سالم، ۱۹-۲۰ آبان، اصفهان.

۱۱. کسرایی، ر. و س. ساعدی. ۱۳۸۹. تأثیر لجن فاضلاب مجتمع پتروشیمی تبریز بر رشد گیاه گوجه‌فرنگی. مجله آب و خاک ۲۴(۱): ۱۰-۲۰.

۱۲. کرمی، م.، ی. رضایی نژاد، م. افیونی و ح. شریعتمداری. ۱۳۸۶. اثرات باقیمانده لجن فاضلاب شهری بر غلظت عناصر سرب و کادمیم در خاک و گیاه گندم. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۱: ۷۹-۹۴.

۱۳. محمدی، خ.، ب. پاساری، ا. رخزادی، ا. قلاوند، م. آقا علیخانی و م. اسکندری. ۱۳۹۰. واکنش عملکرد و کیفیت دانه کلزا به منابع مختلف کود دامی، کمپوست و بیولوژیک در منطقه کردستان. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی ۴(۲): ۸۱-۱۰۱.

۱۴. مرجوی، ع. ر. و م. ر. جهاد اکبر. ۱۳۹۰. تأثیر کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب بر خصوصیات شیمیایی خاک، کمیت و کیفیت چغندرقند در رودشت اصفهان. مجله چغندرقند ۲۷(۱): ۶۷-۸۳.

۱۵. نجفی، ن.، س. مردمی و ش. اوستان. ۱۳۹۰. اثر غرقاب، لجن فاضلاب و کود دامی بر غلظت فلزات سنگین در ریشه و بخش هوایی آفتابگردان در یک خاک شن لومی. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی (علوم آب و خاک) ۱۵(۵۸): ۱۳۹-۱۵۶.

۱۶. نظری، م. ع.، ح. شریعتمداری، م. افیونی و م. رحیلی. ۱۳۸۵. اثر کاربرد پساب و لجن فاضلاب صنعتی بر غلظت برخی عناصر و عملکرد گندم، جو و ذرت. علوم کشاورزی و منابع طبیعی ۳: ۹۷-۱۱۳.

17. Alloway, B.J. 1990. Heavy Metals in Soils. John Wiley and Sons, Inc., New York, 339 p.
18. Al Zoubi, M.M., A. Arslan, G. Abdelgawad, N. Pejon, M. Tabba and O. Jouzdan. 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 in Aleppo Governorate. Amer-Euras. J. Agric. Environ. Sci. 3(4): 618-625.
19. Bear, F.E. and A.L. Prince. 1995. Agricultural Value of Sludge. New Jersey Agric. Exp. Sta. Bull., 733 p.
20. Cala, V., M.A. Cases and I. Walter. 2005. Biomass production and heavy metal content of *Rosmarinus officinalis* grown on organic waste-amended soil. ***J. Arid*** Environ. 62: 401-412.
21. Cunningham, J.D., J.A. Ryan and D.R. Keeney. 1975. Phytotoxicity and metal uptake from soil treated with metal-amended sewage sludge. J. Environ. Qual. 4(4): 456-460.
22. Chitdeshwari, T., P. Savithri and S. Mahimairaja. 2002. Effect of sewage biosolid composts on the yield of crops. *Indian J. Environ. Protec*. 21(10): 911-912.
23. Cook, A.G.A., A.A. Keeling and P.F. Bloxham. 1998. Effect of green waste compost on yield parameters in spring barley (*Hordeum vulgare*). Acta Hort. 467: 283-286.
24. Daniel, J.N., P.S. Takawale, V.K. Kauthale and P.K. Kulkarni. 2002. EM application studies on a low organic matter soil in India. Proc. of the 7th International Conference on Kyusei Nature Farming, 15-18 Jan., Christchurch, New Zealand.
25. Das, M. and S.K. Maiti. 2007. Metal accumulation in 5 native plants growing on abandoned Cu-tailings ponds. ***Appl. Ecol. Environ. Res***. 5(1): 27-35.
26. Eghball, B., D. Ginting and J.E. Gilley. 2004. Residual effects of manure and compost application on maize production and soil properties. Agron. J. 96: 442-447.
27. Ferguson, J.L. 2001. Evaluation the on farm composting of waste. Fur Breeders. Agricultural Co-op Summer School, August 11, Park city, Utah, USA.
28. Hyun, H., A.C. Chang, D.R. Parker and A.L. Page. 1988. Cd solubility and phytoavailability in sludge-treated soil: Effect of soil organic carbon. J. Environ. Qual. 27: 329-334.
29. Keller, C., A. Kaser, A. Keller and R. Schulin. 2000. Heavy-metal uptake by agricultural crops from swage-sludge treated soils of the Upper Swiss Rhine valley and the effect of time. PP. 273-291. *In:* Iskandar, I.K. (Ed.), Environmental Restoration of Metals Contaminated Soils, Lewis Publishers.
30. McGrath, S.P. and C.I.I. Cunliffe. 1985. A simplified method for the extraction of the metals Fe, Zn, Cu, Ni, Pb, Cr, Co and Mn from soils and sewage sludge. J. Sci. Food Agric. 36: 794-798.
31. Ojeda, G., J.M. Alcaniz and O. Ortiz. 2003. Runoff and losses by erosion in soils amended with sewage sludge. Land *Degrad.* Dev. 14: 563-573.
32. Rayan, J.R., G. Estefan and A. Rashid. 2001. Soil and Plant Analysis Laboratory Manual. 2nd Edition, ICARDA, Syria, 172 p.
33. Risser, J.A. and D.E. Baker. 1999. Testing soils for toxic metals. PP. 275-298. *In:* Westerman, R.L. (Ed.), Soil Testing and Plant Analysis, 3rd ed., SSSA Books Series No. 3, Madison, WI.
34. Rowell, D.L. 1994. Measurement of the composition of soil solution. Soil Science Methods and Application, Part7, 146 p.
35. Sims, J.T., D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner. 1996. Lime requirement. PP. 491-515. *In:* Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods, SSSA, Madison, WI.
36. Singh, B.R. and R.P. Narwal. 1984. Plant availability of heavy metal uptake. J. Environ. Qual. 13: 342-348.
37. Singh, R.P. and M. Agrawal. 2008. Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. Waste Manage. 28: 347-358.
38. Sloan, J.J., R.H. Dowdy, M.S. Dolan and D.R. Linden. 1997. Long term effects of biosolids application on heavy metal bioavailability in agricultural soils. J. Environ. Qual., 26: 966-974.
39. Smith, S.R. 2009. A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge. Environ. Int 35: 142-156.
40. Yoon, J., X. Cao, Q. Zhou and L.Q. Ma. 2006. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. Sci. Total Environ. 368: 456-464.