ORIGINAL ARTICLE

Heavy Metal Concentrations in Dewatered Sludge of Wastewater Treatment Plant in Sari, Iran

Seyed Mostafa Aghili[1],
Nasser Mehrdadi[2],
Mohammad Ali Zazouli[3],
Behnoush Aminzadeh[4]

[1] PhD Student in Environmental Engineering-Water and Wastewater, School of Environment, College of Engineering, Tehran University, Tehran, Iran
[2] Professor, Department of Environmental Engineering ,School of Environment, College of Engineering, Tehran University, Tehran, Iran
[3] Professor, Department of Environmental Health Engineering,School of Health, Health Sciences Research Center, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
[4] Assistant Professor, Department of Environmental Engineering, School of Environment, College of Engineering, Tehran University, Tehran, Iran

(Received October 29, 2018 ; Accepted December 15, 2018)

Abstract

Background and purpose: Dewatered sludge of sewage treatment plants can be used in agriculture if required standards are followed. Heavy metals are among the chemical pollutants that are hazardous to health. Therefore, the aim of this study was to investigate the amount of heavy metals in dewatered sludge of municipal wastewater treatment plant and compare that with the standards and sludge of other wastewater treatment plants in Iran.

Materials and methods: In this experimental study, the sludge samples were taken from the sewage sludge in Sari wastewater treatment plant. Sampling and analysis were done during four seasons with three replicates in 2017. The samples were digested and prepared for extraction of heavy metals using standard method. Heavy metal content including Cd, Pb, Cr, Zn, Cu, and Ni was measured by atomic absorption. Data were analyzed using SPSS V24 applying t-test.

Results: The average concentrations of Cd, Pb, Cr, Zn, Cu, and Ni were 0.3 ± 0.18, 35.81 ± 9.54, 62.55 ± 14.72, 950 ± 149.93, 354 ± 107.45, and 62.4 ± 18.47 mg/kg dry weight, respectively.

Conclusion: In current study the concentrations of heavy metals in dewatered sludge were below the maximum permissible standard of 10716 Iran for compost and other standards. So, dewatered sludge of Sari wastewater treatment plant can be used in agriculture while following all parameters and composting operations.

Keywords: heavy metals, dewatered sludge, municipal wastewater treatment

J Mazandaran Univ Med Sci 2019; 28 (170): 152-159 (Persian).

*** Corresponding Author: Seyed Mostafa Aghili -** School of Environment, College of Engineering, Tehran University, Tehran, Iran (E-mail: mostafa.aghili.iran@gmail.com)

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-06-27]

پژوهشی

مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران
دوره بیست و هشتم شماره ۱۷۰ اسفند سال ۱۳۹۷ (۱۵۹-۱۵۲)

بررسی میزان فلزات سنگین در لجن آبگیری شده تصفیه خانه فاضلاب ساری

سید مصطفی عقیلی[۱]
ناصر مهردادی[۲]
محمد علی زززولی[۳]
بهنوش امین زاده[۴]

چکیده

سابقه و هدف: لجن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب را می‌توان با رعایت استانداردهای لازم در کشاورزی به‌کار گرفت. یکی از آلاینده‌های شیمیایی که برای سلامت مخاطره‌آمیز است، فلزات سنگین می‌باشد. این مطالعه با هدف بررسی میزان فلزات سنگین در لجن آبگیری شده تصفیه خانه فاضلاب شهری، مقایسه آن با استانداردها و لجن سایر تصفیه‌خانه‌های فاضلاب کشور انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه تجربی، نمونه های لجن از لجن آبگیری شده تصفیه خانه فاضلاب ساری جمع‌آوری شد و عملیات نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌ها طی چهار فصل در سال ۱۳۹۶با سه تکرار انجام گردید. نمونه‌ها جهت استخراج فلزات سنگین به روش استاندارد، هضم و آماده‌سازی شد. میزان فلزات سنگین شامل کادمیوم، سرب، کروم، روی، مس و نیکل توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری گردید و نتایج با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴ و آزمون t مورد تحلیل قرار گرفت و با استانداردها مقایسه شد.

یافته‌ها: براساس نتایج این مطالعه، میانگین غلظت کادمیوم، سرب، کروم، روی، مس و نیکل به ترتیب برابر ۰/۱۸ ± ۰/۳، ۹/۵۴ ± ۳۵/۸۱، ۱۴/۷۲ ± ۶۲/۵۵، ۱۴۹/۹۳ ± ۹۵۰، ۱۰۷/۴۵ ± ۳۵۴، ۱۸/۴۷ ± ۶۲/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک بوده است.

استنتاج: با توجه به این‌که مقادیر فلزات سنگین در لجن پایین‌تر از مقادیر حداکثر مجاز استاندارد ۱۰۷۱۶ ایران برای کمپوست و سایر استانداردها بوده است می‌توان لجن آبگیری شده تصفیه خانه فاضلاب ساری را با رعایت سایر پارامترها و انجام عملیات کودسازی در کشاورزی به کار برد.

واژه های کلیدی: فلزات سنگین، لجن آبگیری شده، تصفیه فاضلاب شهری

مقدمه

فاضلاب شهری پس از عبور از واحدهای عملیاتی و فرآیندی، تصفیه شده و دو محصول پساب و لجن تولید می‌گردد که هر یک برای راه یابی مجدد به طبیعت باید کیفیتی مطابق با استانداردهای محیط زیستی داشته باشند. لجن آبگیری شده فاضلاباغلب حاوی مواد مغذی و غنی از نوترینت‌های تقویت کننده خاک کشاورزی بوده که

مولف مسئول: سید مصطفی عقیلی- ساری: بلوار خزر، شرکت آب و فاضلاب شهری استان مازندران E-mail: mostafa.aghili.iran@gmail.com
۱. دانشجوی دکترای مهندسی محیط زیست گرایش آب و فاضلاب، دانشکده محیط زیست، دانشکده مهندسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۲. استاد، گروه مهندسی محیط زیست،آب و فاضلاب، دانشکده محیط زیست، دانشکده مهندسی، دانشگاه تهران، تهران،ایران
۳. استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۴. استادیار، گروه مهندسی محیط زیست،آب و فاضلاب، دانشکده محیط زیست، دانشکده مهندسی، دانشگاه تهران، تهران،ایران
تاریخ دریافت : ۱۳۹۷/۸/۷ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات :۱۳۹۷/۸/۱۴ تاریخ تصویب : ۱۳۹۷/۱۰/۲۵

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-06-27]

می‌توان آن را بـه زمـین برگردانـد و بـه عنـوان کـود بـه صـورت سـودمندانه اسـتفاده کـرد(۱). در صـورت ورود فاضلاب‌های صنعتی به همراه فاضلاب انسانی و همچنین ورود روان آب‌های ناشی از بارندگی، مخلوطی از مـواد مغذی و سموم از طریق شـبکه جمع‌آوری فاضـلاب بـه تصفیه خانه وارد می‌شوند. لجن فاضـلاب ممکـن اسـت حاوی مخلوطی پیچیده از مواد مغـذی، فلـزات سـنگین، بی‌فنیل‌های پلی‌کلرینه، دی‌اکسین‌ها و فـوران‌هـا، سـموم کلرینـه، هیـدروکربن‌هـای آروماتیـک چنـد هسـته‌ای سرطان زا، بـاکتری‌هـا، ویـروس‌هـا، کـرم‌هـای انگلـی و قارچ‌ها، حلال‌های صـنعتی، آزبسـت‌هـا، فـرآورده‌هـای نفتی و غیره باشـد(۲). در بـین آلاینـده‌هـای ذکـر شـده، فلـزات سـنگین بـه دلیـل دارا بـودن خاصـیت تجمعـی و سرطان‌زایی، از مهم‌ترین آلاینـده‌هـای موجـود در لجـن آبگیری شـده مـی‌باشـند(۳). فلـزات سـنگین، فلزاتـی بـا دانسیته نسبتا بالا (بیش از ۵ گـرم در سـانتی‌متـر مکعـب) هستند که در غلظـت‌هـای پـایین اثـرات سـمی داشـته و شامل سرب، جیـوه، کـادمیوم، جیـوه، آرسـنیک، روی، مس و نیکل و... می‌باشد. فلزات سنگین ممکن اسـت از طریق فاضلاب‌های صنعتی که فاضلاب خود را به شبکه جمع‌آوری فاضلاب می‌ریزند، وارد تصـفیه‌خانـه شـوند. با توجه به این کـه مسـمومیت بـا فلـزات سـنگین باعـث آسیب به کلیه‌هـا، اسـتخوان و سیسـتم عصـبی در انسـان می‌گردد وفلزات سنگین می‌توانند، واکنش‌های حساسیتی را افزایش دهند، جهش ژنتیکی ایجاد کرده و بـا عناصـر کمیاب مفید برای بـدن در واکـنش بیوشـیمیایی رقابـت کنند و مثل آنتی‌بیوتیک عمل‌کرده و باکتری‌هـای مفیـد و مضر را از بین ببرند، برای اسـتفاده ایمـن از کمپوسـت حاصـل از لجـن، پتانسـیل خطـر فلـزات سـنگین بـرای موجودات زنده باید در نظر گرفتـه شـود(۵،۴). مطالعـات انجام شده توسط ترابیان و همکاران بر روی چهار نمونه لجن اخذ شـده از بسـترهای خشـک‌کننـده تصـفیه‌خانـه شهرک قـدس تهـران نشـان داد کـه مقـادیر میـانگین بـه دست آمده برای فلزات سنگین کم‌تر از استاندارد EPA بوده اسـت(۵). مطالعـات انجـام شـده توسـط رحمـانی و همکـاران نشـان داد کـه غلظـت فلـزات سـنگین لجـن فاضلاب خشک شده تصفیه‌خانه شاهین شهر اصفهان بـه استثنای آرسنیک زیر حد مجاز بود است(۶).

تصفیه خانه فاضلاب ساری برای جمعیـت ۴۲۰۰۰۰ نفر در ۴ مـدول بـه روش هـوازی MLE[1] طراحـی شـده است. ظرفیت هر مدول ۲۴۲۴۲ متر مکعب در روز بـوده که برای ۱۰۵۰۰۰ نفر طراحـی گردیـد. در حـال حاضـر مدول اول با ظرفیت ۱۹۵۰۰ متر مکعب در روز، در حال بهره بـرداری اسـت و مـدول دوم تصـفیه خانـه در حـال سـاخت مـی‌باشـد. سیسـتم هضـم لجـن از نـوع هـوازی مزوفیلیک بـوده و بـرای لجـن کـلاس B طراحـی شـده است. در حال حاضر تنهـا یـک مـدول تصـفیه خانـه در حال بهره برداری است و حداقل یک تن و حداکثر سـه تن در روز لجن آبگیـری شـده تولیـد مـی‌شـود. بـدیهی است با افزوده شدن سه مدول بعدی، حجم تولیدی لجن به مقدار قابل ملاحظه ای خواهد رسید. این حجـم لجـن تولید شده می‌تواند کاربردهای سودمندانه داشـته باشـد. یکی از مناسب ترین کاربرد های سودمندانه آن، استفاده بـه عنـوان کـود در کشـاورزی مـی باشـد، زیـرا لجـن تصـفیه‌خانـه‌هـای فاضـلاب بـه عنـوان یـک محصـول بیولـوژیکی، سـازگار بـا محـیط زیسـت و غنـی از نوترینت‌هـای تقویـت‌کننـده خـاک کشـاورزی اسـت و جایگزینی مناسب برای کودهای شیمیایی ازتـه و فسـفره شناخته شده است(۷). با توجه به این‌که می‌تـوان از لجـن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب پس از پردازش لازم بـه عنـوان کود در کشاورزی استفاده نمود، مطالعه حاضر با هـدف بررسـی میـزان فلـزات سـنگین در لجـن آبگیـری شـده تصفیه‌خانه فاضلاب شهری و مقایسـه آن بـا لجـن سـایر تصفیه‌خانه‌های فاضلاب کشور و هم‌چنین مقایسه آن بـا اسـتانداردها از جملـه اسـتاندارد ملـی ایـران و اسـتاندارد سایر کشورها انجام پذیرفت(۸).

1. MLE= Modified Ludzack Ettinger

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-06-27]

مواد و روش ها

در این مطالعه تجربی که در سال ۱۳۹۶، در تصفیه خانه فاضلاب ساری انجام پذیرفت، نمونه‌برداری و انجام آزمایشات از اردیبهشت ۱۳۹۶ شروع گردید و طی ۴ فصل سال ادامه یافت. پس از نمونه‌برداری از لجن آبگیری شده، عملیات هضم اسیدی جهت استخراج فلزات سنگین از نمونه جامد در آزمایشگاه دانشکده بهداشت انجام شد. فلزات سنگین توسط دستگاه جذب اتمی شعله‌ای اندازه‌گیری گردید که حد تشخیصی آن برای کادمیوم، سرب، کروم، روی، مس و نیکل به ترتیب برابر ۰/۰۰۰۴، ۰/۰۱، ۰/۰۰۳، ۰/۰۰۰۵، ۰/۰۰۱ و ۰/۰۹ ppm بوده است(۹). برای تعیین فلزات سنگین در لجن آبگیری شده، ابتدا لازم بوده تا نمونه‌ها با روشی مناسب هضم شوند تا مزاحمت‌های ناشی از کمپلکس‌های آلی- فلزی کاهش یابد. روش‌های هضم نمونه‌ها برای اندازه‌گیری فلزات سنگین به دو دسته هضم مرطوب و خاکسترسازی خشک تقسیم می‌شود. روش خاکسترسازی خشک به علت از دست رفتن بسیاری از اجزای فرار در حین سوختن، برای آماده‌سازی نمونه‌ها توصیه نمی‌شود و روش هضم مرطوب توسط اسید نیتریک و سایر اسیدها انجام می‌گردد. اسید نیتریک قادر است بیش‌تر نمونه‌ها را به اندازه کافی هضم کند. برای هضم بعضی از نمونه‌ها ممکن است نیاز باشد که اسید پرکلریک، هیدروکلریک، هیدروفلوریک یا سولفوریک اضافه شود(۱۰). در این مطالعه از روش هضم اسیدی یا هضم مرطوب جهت آماده سازی نمونه ها استفاده گردید که بدین منظور، ابتدا ۳ گرم نمونه با اسید نیتریک و اسید هیدروکلریک و پراکسید هضم اسیدی شده و سپس با کاغذ صافی واتمن صاف گردید و با آب مقطر به حجم ۵۰ سی‌سی رسانده شد(۱۰). پس از آماده‌سازی نمونه‌ها، غلظت فلزات سنگین توسط دستگاه جذب اتمی ساخت کشور استرالیا با برندGBC مدل SAVANT AAΣ تعیین گردید و برای افزایش دقت اندازه‌گیری، آزمایش‌ها با ۳ تکرار انجام شد. نتایج با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴ و آزمون t در سطح ۵ درصد با استاندارد ۱۰۷۱۶ ایران برای کمپوست مقایسه شد.

یافته ها

نتایج اندازه‌گیری فلزات سنگین لجن آبگیری شده شامل مقادیر کمینه و بیشینه، میانگین و انحراف معیار در جدول شماره ۱ ارائه شده است. همان‌گونه که در جدول شماره ۱، ملاحظه می‌شود، میانگین غلظت کادمیوم، سرب، کروم، روی، مس و نیکل در چهار فصل سال به ترتیب برابر ۰/۱۸±۰/۳، ۹/۵۴±۳۵/۸۱، ۱۴/۷۲±۶۲/۵۵، ۱۴۹/۹۳±۹۵۰، ۱۰۷/۴۵±۳۵۴، ۱۸/۴۷±۶۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک لجن آبگیری شده می‌باشد.

بحث

اگر چه پارامتر فلزات سنگین جزء پارامتر های مشخص کننده کلاس لجن و تثبیت لجن نیست ولی به عنوان یک پارامتر کنترلی و جهت اطمینان از ایمن بودن کود حاصله باید اندازه‌گیری شود(۲۴). یافته‌های مطالعه حاضر با نتایج مطالعات معتبر خارجی و داخلی مقایسه شده است که در جدول شماره ۲ شرح داده شده است. بر اساس مقایسه مطالعه حاضر با سایر مطالعات، میانگین فلزات سنگین لجن آبگیری شده در ۴ فصل سال در اکثر موارد کم‌تر از نتایج سایر مطالعات از جمله مطالعه مانیوس و همکاران، رودریگز و همکاران، روکا پیرز وهمکاران، زورپاس و همکاران بود(۲۳،۱۵،۱۱،۷). علت کمتر بودن میانگین فلزات سنگین لجن آبگیری شده عدم وجود صنایع تولیدکننده فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه در حال حاضر که از طریق آن‌ها فلزات سنگین وارد شبکه جمع‌آوری فاضلاب گردد، بوده است همچنین میزان کادمیوم تصفیه خانه فاضلاب ساری با نتایج رحمانی و همکاران در تصفیه‌خانه شاهین شهر اصفهان، میزان سرب با نتایج ساگر و همکاران در تصفیه‌خانه Austria، میزان

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-06-27]

کروم و روی با نتایج بینا و همکاران در تصفیه‌خانه شمال اصفهان، میزان روی با نتایج بینا و همکاران در تصفیه‌خانه جنوب اصفهان، میزان مس با نتایج هرس و همکاران در تصفیه‌خانه Albacete-Spain و نتایج رودریگز و همکاران در تصفیه‌خانه Lugo-Spain مطابقت داشته است(۲۲،۲۰،۱۳،۷،۶).

پس از تعیین مقادیر فلزات سنگین و مقایسه آن‌ها با نتایج سایر مطالعات، لازم بوده تا مقادیر به‌دست آمده از این مطالعه با استانداردهای داخلی و خارجی مقایسه شود. استانداردهای کمپوست در جدول شماره ۳ آمده است.

به دلیل آن که در مقایسه استانداردها، استاندارد ۱۰۷۱۶ سازمان استاندارد ملی ایران نسبت به سایر استانداردها، در اکثر موارد سخت‌گیرانه‌تر بوده است، از مقادیر حداکثر مجاز این استاندارد برای مقادیر Test Value در نرم‌افزار SPSS استفاده گردید. مقادیر میانگین به دست آمده از جدول شماره ۱ به نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴ داده شد و با مقادیر حداکثر مجاز فلزات سنگین کمپوست در استاندارد ۱۰۷۱۶ مورد مقایسه قرارگرفت که نتایج تحلیل آماری در جدول شماره ۴ ارائه شده است.

جدول شماره ۱: میانگین مقادیر فلزات سنگین لجن آبگیری شده تصفیه خانه فاضلاب ساری (بر حسب mg/kg dw)

		بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سالیانه
کادمیوم	کمینه و بیشینه	۰/۴۱-۰/۶۵	۰/۲۵-۰/۴۴	۰/۱۱-۰/۱۳	۰/۱-۰/۲۹	۰/۱-۰/۶۵
	میانگین و انحراف معیار	۰/۵۵±۰/۱۲	۰/۳۲±۰/۱	۰/۱۲±۰/۰۱	۰/۲۱±۰/۰۹	۰/۳±۰/۱۸
سرب	کمینه و بیشینه	۴۹-۴۹	۵۶-۳۴/۷۳	۴۰/۳-۲۸/۷	۳۱/۷-۲۵	۵۶-۲۴
	میانگین و انحراف معیار	۱۲/۷۶±۳۸	۱۱/۸±۴۲/۴۱	۵/۸۲±۳۴/۲	۳/۳۸±۲۸/۶۳	۹/۵۴±۳۵/۸۱
کروم	کمینه و بیشینه	۸۵/۳-۶۵/۲	۷۴/۷-۶۸	۶۱-۴۶/۱	۵۲/۷-۴۵/۳	۸۵/۳-۴۵/۳
	میانگین و انحراف معیار	۱۰/۶۵±۷۷/۳	۴/۴۴±۷۳	۷/۸۶±۵۲/۱	۴/۲۴±۴۷/۸	۱۴/۷۲±۶۲/۵۵
روی	کمینه و بیشینه	۹۳۵-۸۱۱	۱۲۵۸-۱۰۰۴	۹۸۵-۸۳۰	۹۰۷-۸۶۲	۱۲۵۸-۸۱۱
	میانگین و انحراف معیار	۶۵/۹۶±۸۶۰	۱۳۹/۲۶±۱۱۶۴	۷۸/۰۸±۹۰۲	۲۸/۹۳±۸۷۴	۱۴۹/۹۳±۹۵۰
مس	کمینه و بیشینه	۲۴۱-۲۱۰	۳۸۰-۲۶۱	۵۱۷-۴۶۹	۴۳۴-۲۹۵	۵۱۷-۲۱۰
	میانگین و انحراف معیار	۱۶/۶۴±۲۲۲	۶۵/۲۷±۳۳۶	۲۶/۸۸±۴۸۶	۷۰/۷±۳۷۲	۱۰۷/۴۵±۳۵۴
نیکل	کمینه و بیشینه	۹۴-۷۳/۶	۸۲/۴-۶۱/۵	۵۷/۴-۴۶/۶	۴۷/۱-۳۸	۹۴-۳۸
	میانگین و انحراف معیار	۱۱/۲۹±۸۱	۱۱/۲۱±۷۴/۳	۵/۶۷±۵۱	۴/۷۸±۴۱/۷	۱۸/۴۷±۶۲

جدول شماره ۲: مقایسه میزان فلزات سنگین این مطالعه با سایر مطالعات انجام شده در ایران و جهان (برحسب mg/kg dw)

نام تصفیه خانه (رفرنس)	کادمیوم	سرب	کرم	روی	مس	نیکل
تصفیه خانه فاضلاب ساری (نتایج این تحقیق)	۰/۳	۳۵/۸۱	۶۲/۵۵	۹۵۰	۳۵۴	۶۲
Lugo-Spain(۷)	۱۴/۴	۲۸۱/۱	۹۲/۳	۱۷۵۲/۳	۲۳۸/۵	۶۹/۵
Madrid- Spain (۱۱)	۲/۵۵	۵۰	۲۱۰	۱۱۰۰	۲۳۰	۵۳
Coimbra-Portugal (۱۲)	ND	۴۸	۲۹	۵۰۰	۱۲۴	۱۵
Austria (۱۳)	۰/۸۲	۳۸/۳	۳۰/۶	۶۸۳	۱۶۶	۲۵/۶
India (۱۴)	۱۶	۳۴۰/۵		۲۱۶۴	۱۴۳۴/۵	۱۶۸
Greece (۱۵)	۱/۲	۱۹۱	۱۳۴	۷۲۸	۵۹۹	۹۹
Psittalia-Athens,Greece (۱۶)	۲	۳۲۶	۵۵۲	۱۷۳۹	۲۵۸	۴۱
Franca-São Paulo, Brazil(۱۷)	۱/۶	۲۶/۳	۲۶۰	۶۹۰	۲۰۲	۵۴/۶
Ciudad Real –Spain (۱۸)	ND	۸۳/۲	۱۸/۹	۷۲۳/۴	۲۶۷/۹	۱۱/۴
Rome-metropolitan area (۱۹)	۱/۳	۱۲۸	۳۴	۷۸۵	۲۷۹	۲۹
Albacete-Spain (۲۰)	۱/۵۴	۱۱۰	۱۱۷	۱۴۵۵	۳۷۰	۷۷/۵۴
تصفیه خانه فاضلاب گرگان (۲۱)	ND	۵۸/۴۸	۵۰۶/۲۵			۳۰/۳۱
شاهین شهر اصفهان (۶)	۰/۶۹	۹/۸۵	۷	۶۰۷/۱۵	۲۰۰/۲۵	۱۶
شاهین شهر اصفهان (۲۲)	۴/۴	۱۱۴	۴۸	۱۰۲۹	۲۰۶	۷۹
تصفیه خانه جنوب اصفهان (۲۲)	۴/۶	۱۶۷	۳۹	۹۶۲	۵۲۹	۷۳
تصفیه خانه شمال اصفهان (۲۲)	۷/۱	۱۶۶	۵۸	۱۱۵۲	۴۶۵	۶۱

جدول شماره ۳: استانداردهای کمپوست (برحسب mg/kg dw)

	کادمیوم	سرب	کروم	روی	مس	نیکل
استاندارد EPA (۲۵)	۳۹	۳۰۰	۱۲۰۰	۲۸۰۰	۱۵۰۰	۴۲۰
Land Application, EU; Directive 1986/278/EEC (۱۹)	۲۰-۴۰	۷۵۰-۱۲۰۰	-	۲۵۰۰-۴۰۰۰	۱۰۰۰-۱۷۵۰	۳۰۰-۴۰۰
استاندارد WHO (۲۶)	۱۵-۴۰	۲۰۰-۴۰۰			۹۰-۲۶۰	
استاندارد آمریکا (۲۱)	۱۰	۳۰۰	۱۲۰۰			۴۲۰
استاندارد کانادا (۲۱)	۱۰	۲۰۰	۱۰۰۰			۱۰۰
DWAF guidelines (۲۴)	۵	۱۵۰	۴۵۰	۷۰۰	۳۷۵	۲۰۰
Brazilian Legislation of Environmental National Council (CONAMA)(۱۷)	۳۹	۳۰۰	۱۰۰۰	۲۸۰۰	۱۵۰۰	۴۲۰
استاندارد ملی ایران، شماره ۱۰۷۱۶ (۱۰)	۱۰	۲۰۰	۱۵۰	۱۳۰۰	۶۵۰	۱۲۰

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-06-27]

جدول شماره ۴: مقایسه نتایج مطالعه با استاندارد برحسب (mg/kg dw) و تحلیل آماری

	میانگین و انحراف معیار کل سال	Test Value (حداکثر مجاز در کود کمپوست در استاندارد ۱۰۷۱۶)	سطح معنی داری	آماره آزمون t
کادمیوم	۰/۳±۰/۱۸	۱۰	۰/۰۰۰	-۱۸۰/۱۲۴
سرب	۳۵/۸۱±۹/۵۴	۲۰۰	۰/۰۰۰	-۵۹/۵۷۲
کروم	۶۲/۵۵±۱۴/۷۲	۱۵۰	۰/۰۰۰	-۲۰/۵۵۴
روی	۹۵۰±۱۴۹/۹۳	۱۳۰۰	۰/۰۰۰	-۸/۰۸۶
مس	۳۵۴±۱۰۷/۴۵	۶۵۰	۰/۰۰۰	-۹/۵۴۳
نیکل	۶۲±۱۸/۴۷	۱۲۰	۰/۰۰۰	-۱۰/۸۷۸

حد معنی داری در ۰/۰۵ > p

ناحیه بحرانی آماره آزمون t (در فرض H_1 که $\mu < \mu_0$ باشد): $t < -t_{\alpha,n-1}$

مقادیر p خروجی از نرم‌افزار SPSS برای تمام فلزات سنگین برابر صفر و کوچک‌تر از ۰/۰۵ به دست آمد (p<-۰/۰۵). بنابراین بین نتایج به دست آمده و مقادیر حداکثر مجاز استاندارد ملی ایران برای کمپوست اختلاف معنی‌داری وجود دارد. هم‌چنین مقدار $t_{\alpha,n-1}$ بر اساس جداول آماری برابر با ۱/۷۹۶ = $t_{0.05,11}$ بوده و مقادیر آماره t خروجی از نرم افزار برای تمام فلزات سنگین، کم‌تر از ۱/۷۹۶- به دست آمد ($t < -t_{\alpha,n-1}$) که این نیز نشان می‌دهد که بین نتایج به دست آمده و مقادیر حداکثر مجاز استاندارد ملی ایران برای کمپوست اختلاف معنی‌داری وجود دارد. با توجه به موارد ذکر شده لجن آبگیری شده، در صورت استفاده از آن به عنوان کود در کشاورزی، به لحاظ فلزات سنگین مشکلی ندارد.

سپاسگزاری

با سپاس از معاونت‌های برنامه‌ریزی، مهندسی و توسعه و بهره برداری و دفتر تحقیقات شرکت آب و فاضلاب شهری استان مازندران که در تصویب پروژه تحقیقاتی فوق به شماره ۳۸۱/۱۵۰ و تاریخ ۹۶/۱/۲۹ همکاری نمودند تا گامی مهم در جهت رفع معظل دفع لجن آبگیری شده تصفیه خانه فاضلاب ساری برداشته شود.

References

1. Komilis D, Kontou I, Ntougias S. A modified static respiration assay and its relationship with an enzymatic test to assess compost stability and maturity. Bioresource Technol 2011; 102(10): 5863-5872.
2. Mosquera-Losada MR, Muñoz-Ferreiro N, Rigueiro-Rodríguez A. Agronomic characterisation of different types of sewage sludge: Policy implications. Waste Manag 2010; 30(3): 492-503.
3. Kharrazi SM, Younesi H, Abedini-Torghabeh J. Heavy metals concentration changes during vermicomposting of organic wastesq. J Environ Studies 2014; 40(1): 46-48 (Persian).
4. Zazouli MA, Asgharnia H, Yazdani Cherati J, Ziaee Hezarjeribi H, Ahmadnezhad A. Evaluation of Cow Manure Effect as Bulking Agent on Concentration of Heavy Metals in Municipal Sewage Sludge Vermicomposting. J Mazandaran Univ Med Sci 2015; 25(124): 152-169 (Persian).
5. Torabian A, Momeni farahani L. Urban sewage sludge management plan. Environ sci J 2002; 30(28): 66-78 (Persian).
6. Rahmani HR, Moayeri M, Mazaheri Kouhanestani Z, Khodabakhsh N, Sharifi H. Investigation of Some Sewage Sludge Quality Properties and Heavy Metals Concentrations of Shahin-Shahr. J Environ Sci Technol 2014; 15(2): 54-66 (Persian).
7. Rodríguez Antonio AA, Mosquera-Losada MR, Ferreiro-Domínguez N. The effects of fertilization with anaerobic, composted and pelletized sewage sludge on soil, tree growth, pasture production and biodiversity in a

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-06-27]

silvopastoral system under ash (Fraxinus excelsior L). 2010; 65(2): 248-259.

8. Głąb T, Żabiński A, Sadowska U, Gondek K, Kopeć M, Mierzwa–Hersztek M, et al. Effects of co-composted maize, sewage sludge, and biochar mixtures on hydrological and physical qualities of sandy soil. Geoderma 2018; 315: 27-35.
9. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington, DC: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 2005.
10. Zazouli MA, Dehghan S. Solid waste & compost Sampling and analysis Guideline. Tehran: Avaye ghalam; 2014. (Persian).
11. Roca-Pérez L, Martínez C, Marcilla P, Boluda R. Composting rice straw with sewage sludge and compost effects on the soil–plant system. Chemosphere 2009; 75(6): 781-787.
12. Moreira R, Sousa JP, Canhoto C. Biological testing of a digested sewage sludge and derived composts. Bioresource Technol 2008; 99(17): 8382-8389.
13. Sager M. Trace and nutrient elements in manure, dung and compost samples in Austria. Soil Biol Biochem 2007; 39(6): 1383-1390.
14. Kandpal G, Ram B, Srivastava PC, Singh SK. Effect of metal spiking on different chemical pools and chemically extractable fractions of heavy metals in sewage sludge. J Hazard Mater 2004; 106(2-3): 133-137.
15. Manios TM, Stentiford EI, Millner PA. The effect of heavy metals accumulation on the chlorophyll concentration of Typha latifolia plants, growing in a substrate containing sewage sludge compost and watered with metaliferus water. Ecologic Engin 2003; 20(1): 65-74.
16. Zorpas AA, Inglezakis VJ, Loizidou M. Heavy metals fractionation before, during and after composting of sewage sludge with natural zeolite. Waste Manag 2008; 28(11): 2054-2060.
17. Leite Moretti SM, Bertoncini EI, Abreu-Junior CH. Composting sewage sludge with green waste from tree pruning. Scientia Agricola 2015; 72(5): 432-439.
18. Villaseñor J, Rodríguez L, Fernández FJ. Composting domestic sewage sludge with natural zeolites in a rotary drum reactor. Bioresource Technol 2011; 102(2): 1447-1454.
19. Cecchini C, Cirello P, Eramo B. Partitioning dynamics and fate of metals in an urban wastewater treatment plant. Environ Engin Manage J 2015; 14(7): 1511-1520.
20. de las Heras J, Mañas P, Labrador J. Effects of Several Applications of Digested Sewage Sludge on Soil and Plants. J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng 2005; 40(2): 437-451.
21. Dadban Shahamat Y, Sangbari N, Zafarzadeh A, Beirami S. Heavy Metal Contamination in the Effluent and Sludges of Wastewater Treatment Plant in Gorgan, Iran. J Mazandaran Univ Med Sci 2017; 27(150): 158-169 (Persian).
22. Bina B, Movahedian H, Amini A. Evaluation of Potentially Harmful Substances in Dried Sludge of Isfahan Wastewater Treatment Plants. J Water Wastewater 2004; 49: 34-42 (Persian).
23. Zorpas AA, Loizidou M. Sawdust and natural zeolite as a bulking agent for improving quality of a composting product from anaerobically stabilized sewage sludge. Bioresour Technol 2008; 99(16): 7545-7552.
24. Shamuyarira KK, Gumbo JR. Assessment of Heavy Metals in Municipal Sewage Sludge: A Case Study of Limpopo Province, South Africa. Int J Environ Res Public Health 2014; 11(3): 2569-2579.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-06-27]

25. Smith SR. A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge. Environ Int 2009; 35(1): 142-156.

26. Asgharzadeh F, Ghaneian MT, Amouei A, Barari R. Evaluation of Cadmium, Lead and Zinc Content of Compost Produced in Babol Composting Plant. Iranian J Health Sci 2014; 2(1): 62-67 (Persian).

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-06-27]