

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

Seyed Mostafa Aghili<sup>1</sup>,  
Nasser Mehrdadi<sup>2</sup>,  
Mohammad Ali Zazouli<sup>3</sup>,  
Behnoush Aminzadeh<sup>4</sup>

<sup>1</sup> PhD Student in Environmental Engineering-Water and Wastewater, School of Environment, College of Engineering, Tehran University, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Professor, Department of Environmental Engineering, School of Environment, College of Engineering, Tehran University, Tehran, Iran

<sup>3</sup> Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Health Sciences Research Center, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

<sup>4</sup> 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  $0.3 \pm 0.18$ ,  $35.81 \pm 9.54$ ,  $62.55 \pm 14.72$ ,  $950 \pm 149.93$ ,  $354 \pm 107.45$ , and  $62.4 \pm 18.47$  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)

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

سید مصطفی عقیلی<sup>۱</sup>ناصر مهرداد<sup>۲</sup>محمد علی ززولی<sup>۳</sup>بهروش امین زاده<sup>۴</sup>

### چکیده

**سابقه و هدف:** لجن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب را می‌توان با رعایت استانداردهای لازم در کشاورزی به کار 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 تصفیه‌خانه فاضلاب شهری، مقایسه آن با استانداردها و لجن سایر تصفیه‌خانه‌های فاضلاب کشور انجام پذیرفت.

**مواد و روش‌ها:** در این مطالعه تجربی، نمونه‌های لجن از لجن آبگیری شده تصفیه‌خانه فاضلاب ساری جمع‌آوری شد و عملیات نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌ها طی چهار فصل در سال ۱۳۹۶ با 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  $0.18 \pm 0.03$ ،  $9.54 \pm 0.81$ ،  $14.72 \pm 62.55$ ،  $149.93 \pm 95.0$ ،  $107.45 \pm 354$ ،  $18.47 \pm 62.4$  میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک بوده است.

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

**واژه‌های 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 راه‌یابی مجدد به طبیعت باید

کیفیتی مطابق با استانداردهای محیط زیستی داشته باشند. لجن آبگیری شده فاضلاب‌ها اغلب حاوی مواد مغذی و غنی از نوترینت‌های تقویت‌کننده خاک کشاورزی بوده که

E-mail: mostafa.aghili.iran@gmail.com

مؤلف مسئول: سید مصطفی عقیلی - ساری: بلوار خزر، شرکت آب و فاضلاب شهری استان مازندران

۱. دانشجوی دکتری 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

می‌توان آن را به زمین برگرداند و به عنوان کود به صورت سودمندانه استفاده کرد (۱). در صورت ورود فاضلاب‌های صنعتی به همراه فاضلاب انسانی و همچنین ورود روان آب‌های ناشی از بارندگی، مخلوطی از مواد مغذی و سموم از طریق شبکه جمع‌آوری فاضلاب به تصفیه‌خانه وارد می‌شوند. لجن فاضلاب ممکن است حاوی مخلوطی پیچیده از مواد مغذی، فلزات سنگین، بی‌فیل‌های پلی‌کلرینه، دی‌اکسین‌ها و فوران‌ها، سموم کلرینه، هیدروکربن‌های آروماتیک چند هسته‌ای سرطان‌زا، باکتری‌ها، ویروس‌ها، کرم‌های انگلی و قارچ‌ها، حلال‌های صنعتی، آزیست‌ها، فرآورده‌های نفتی و غیره باشد (۲). در بین آلاینده‌های ذکر شده، فلزات سنگین به دلیل دارا بودن خاصیت تجمع‌ی و سرطان‌زایی، از مهم‌ترین آلاینده‌های موجود در لجن آبگیری شده می‌باشند (۳). فلزات سنگین، فلزاتی با دانسیته نسبتاً بالا (بیش از ۵ گرم در سانتی‌متر مکعب) هستند که در غلظت‌های پایین اثرات سمی داشته و شامل سرب، جیوه، کادمیوم، جیوه، آرسنیک، روی، مس و نیکل و... می‌باشد. فلزات سنگین ممکن است از طریق فاضلاب‌های صنعتی که فاضلاب خود را به شبکه جمع‌آوری فاضلاب می‌ریزند، وارد تصفیه‌خانه شوند. با توجه به این که مسمومیت با فلزات سنگین باعث آسیب به کلیه‌ها، استخوان و سیستم عصبی در انسان می‌گردد و فلزات سنگین می‌توانند، واکنش‌های حساسیتی را افزایش دهند، جهش ژنتیکی ایجاد کرده و با عناصر کمیاب مفید برای بدن در واکنش بیوشیمیایی رقابت کنند و مثل آنتی‌بیوتیک عمل کرده و باکتری‌های مفید و مضر را از بین ببرند، برای استفاده ایمن از کمپوست حاصل از لجن، پتانسیل خطر فلزات سنگین برای موجودات زنده باید در نظر گرفته شود (۴، ۵). مطالعات انجام شده توسط ترابیان و همکاران بر روی چهار نمونه لجن اخذ شده از بسترهای خشک‌کننده تصفیه‌خانه شهرک قدس تهران نشان داد که مقادیر میانگین به

دست آمده برای فلزات سنگین کم‌تر از استاندارد EPA بوده است (۵). مطالعات انجام شده توسط رحمانی و همکاران نشان داد که غلظت فلزات سنگین لجن فاضلاب خشک شده تصفیه‌خانه شاهین شهر اصفهان به استثنای آرسنیک زیر حد مجاز بود است (۶).

تصفیه‌خانه فاضلاب ساری برای جمعیت ۴۲۰۰۰۰ نفر در ۴ مدول به روش هوازی<sup>۱</sup> MLE طراحی شده است. ظرفیت هر مدول ۲۴۲۴۲ متر مکعب در روز بوده که برای ۱۰۵۰۰۰ نفر طراحی گردید. در حال حاضر مدول اول با ظرفیت ۱۹۵۰۰ متر مکعب در روز، در حال بهره‌برداری است و مدول دوم تصفیه‌خانه در حال ساخت می‌باشد. سیستم هضم لجن از نوع هوازی مزوفیلیک بوده و برای لجن کلاس B طراحی شده است. در حال حاضر تنها یک مدول تصفیه‌خانه در حال بهره‌برداری است و حداقل یک تن و حداکثر سه تن در روز لجن آبگیری شده تولید می‌شود. بدیهی است با افزوده شدن سه مدول بعدی، حجم تولیدی لجن به مقدار قابل ملاحظه‌ای خواهد رسید. این حجم لجن تولید شده می‌تواند کاربردهای سودمندانه داشته باشد. یکی از مناسب‌ترین کاربردهای سودمندانه آن، استفاده به عنوان کود در کشاورزی می‌باشد، زیرا لجن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به عنوان یک محصول بیولوژیکی، سازگار با محیط زیست و غنی از نوترینت‌های تقویت‌کننده خاک کشاورزی است و جایگزینی مناسب برای کودهای شیمیایی از ته و فسفره شناخته شده است (۷). با توجه به این که می‌توان از لجن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب پس از پردازش لازم به عنوان کود در کشاورزی استفاده نمود، مطالعه حاضر با هدف بررسی میزان فلزات سنگین در لجن آبگیری شده تصفیه‌خانه فاضلاب شهری و مقایسه آن با لجن سایر تصفیه‌خانه‌های فاضلاب کشور و هم‌چنین مقایسه آن با استانداردها از جمله استاندارد ملی ایران و استاندارد سایر کشورها انجام پذیرفت (۸).

1. MLE= Modified Ludzack Ettinger

## مواد و روش ها

در این مطالعه تجربی که در سال ۱۳۹۶، در تصفیه خانه فاضلاب ساری انجام پذیرفت، نمونه برداری و انجام آزمایشات از اردیبهشت ۱۳۹۶ شروع گردید و طی ۴ فصل سال ادامه یافت. پس از نمونه برداری از لجن آبیگری شده، عملیات هضم اسیدی جهت استخراج فلزات سنگین از نمونه جامد در آزمایشگاه دانشکده بهداشت انجام شد. فلزات سنگین توسط دستگاه جذب اتمی شعله‌ای اندازه گیری گردید که حد تشخیصی آن برای کادمیوم، سرب، کروم، روی، مس و نیکل به ترتیب برابر  $0/0004$ ،  $0/01$ ،  $0/0003$ ،  $0/0005$ ،  $0/001$  و  $0/001$  ppm بوده است (۹). برای تعیین فلزات سنگین در لجن آبیگری 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 بیش تر 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 نمونه‌ها 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 سی سی رسانده شد (۱۰). پس از آماده‌سازی نمونه‌ها، غلظت فلزات سنگین توسط دستگاه جذب اتمی ساخت کشور استرالیا با برند GBC مدل SAVANT AA۳ تعیین گردید و برای افزایش دقت اندازه‌گیری، آزمایش‌ها با ۳

تکرار انجام شد. نتایج با استفاده از نرم افزار 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 آبیگری 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  $0/18 \pm 0/3$ ،  $9/54 \pm 8/1$ ،  $14/72 \pm 2/55$ ،  $149/93 \pm 95/0$ ،  $107/45 \pm 35/4$  و  $118/47 \pm 62$  میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک لجن آبیگری شده می‌باشد.

## بحث

اگر چه پارامتر فلزات سنگین جزء پارامترهای 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 آبیگری شده در ۴ فصل سال در اکثر موارد کم‌تر از نتایج سایر مطالعات از جمله مطالعه مانیوس و همکاران، رودریگز و همکاران، روکا پیرز و همکاران، زورپاس و همکاران بود (۱۱، ۱۵، ۲۳). علت کمتر بودن میانگین فلزات سنگین لجن آبیگری 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

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

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

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

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

سالیانه	زمستان	پاییز	تابستان	بهار	میانگین و انحراف معیار
۰/۱-۰/۶۵	۰/۱-۰/۲۹	۰/۱۱-۰/۱۳	۰/۲۵-۰/۴۴	۰/۴۱-۰/۶۵	کیمه و بیشینه
۰/۳±۰/۱۸	۰/۱±۰/۰۹	۰/۱۲±۰/۰۱	۰/۳۲±۰/۰۱	۰/۵۵±۰/۱۲	میانگین و انحراف معیار
۲۴-۵۶	۲۵-۳۱/۷	۲۸/۷-۴۰/۳	۳۴/۳-۵۶	۲۴-۴۹	کیمه و بیشینه
۳۵/۸۱±۹/۵۴	۲۸/۶۳±۳/۳۸	۳۴/۲±۵/۸۲	۴۲/۴۱±۱۱/۸	۳۸±۱۲/۷۶	میانگین و انحراف معیار
۴۵/۳-۸۵/۳	۴۵/۳-۵۲/۷	۴۶/۱-۶۱	۶۸-۷۴/۷	۶۵/۲-۸۵/۳	کیمه و بیشینه
۶۲/۵۵±۱۴/۷۲	۴۷/۸±۴/۲۴	۵۲/۱±۷/۸۶	۷۳±۴/۴۴	۷۷/۳±۱۰/۶۵	میانگین و انحراف معیار
۸۱۱-۱۲۵۸	۸۶۲-۹۰۷	۸۳-۹۸۵	۱۰۰۴-۱۲۵۸	۸۱۱-۹۳۵	کیمه و بیشینه
۹۵±۱۴۹/۹۳	۸۷۴±۲۸/۹۳	۹۰۲±۷۸/۰۸	۱۱۶۴±۱۳۹/۲۶	۸۶۰±۶۵/۹۶	میانگین و انحراف معیار
۲۱-۵۱۷	۲۹۵-۴۳۴	۴۶۹-۵۱۷	۲۶۱-۳۸۰	۲۱-۲۴۱	کیمه و بیشینه
۳۴±۱۰۷/۴۵	۳۷±۷۰/۷	۴۸۶±۲۶/۸۸	۳۳۶±۶۵/۱۷	۲۲۲±۱۶/۶۴	میانگین و انحراف معیار
۳۸-۹۴	۳۸-۴۷/۱	۴۶/۶-۵۷/۴	۶۱/۵-۸۲/۴	۷۳/۶-۹۴	کیمه و بیشینه
۶۲±۱۸/۴۷	۴۱/۷±۴/۷۸	۵۱±۵/۶۷	۷۴/۳±۱۱/۲۱	۸۱±۱۱/۲۹	میانگین و انحراف معیار

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

نیکل	مس	روی	کروم	سرب	کادمیوم	نام تصفیه خانه (فرانس)
۶۲	۳۵۴	۹۵۰	۶۲/۵۵	۳۵/۸۱	۰/۳	تصفیه خانه فاضلاب ساری (نتایج این تحقیق)
۶۹/۵	۲۳۸/۵	۱۷۵۲/۳	۹۲/۳	۲۸۱/۱	۱۴/۴	Lugo-Spain (۷)
۵۳	۲۳۰	۱۱۰۰	۲۱۰	۵۰	۲/۵۵	Madrid- Spain (۱۱)
۱۵	۱۲۴	۵۰۰	۲۹	۴۸	ND	Coimbra-Portugal (۱۲)
۲۵/۶	۱۶۶	۶۸۳	۳۰/۶	۳۸/۳	۰/۸۲	Austria (۱۳)
۱۶۸	۱۴۴۴/۵	۲۱۶۴	۳۰/۶	۳۴/۵	۱۶	India (۱۴)
۹۹	۵۹۹	۷۲۸	۱۳۴	۱۹۱	۱/۲	Greece (۱۵)
۴۱	۲۵۸	۱۷۳۹	۵۵۲	۳۲۶	۲	Psittalia-Athens,Greece (۱۶)
۵۴/۶	۲۰۲	۶۹۰	۲۶۰	۲۶/۳	۱/۶	Franca-São Paulo, Brazil (۱۷)
۱۱/۴	۲۶۷/۹	۷۲۳/۴	۱۸/۹	۸۳/۲	ND	Ciudad Real -Spain (۱۸)
۲۹	۲۷۹	۷۸۵	۳۴	۱۲۸	۱/۳	Rome-metropolitan area (۱۹)
۷۷/۵۴	۳۷۰	۱۴۵۵	۱۱۷	۱۱۰	۱/۵۴	Albacete-Spain (۲۰)
۳۰/۳۱			۵۰۶/۲۵	۵۸/۴۸	ND	تصفیه خانه فاضلاب گرگان (۲۱)
۱۶	۲۰۰/۲۵	۶۰۷/۱۵	۷	۹/۸۵	۰/۶۹	شاهین شهر اصفهان (۶)
۷۹	۲۰۶	۱۰۲۹	۴۸	۱۱۴	۴/۴	شاهین شهر اصفهان (۲۲)
۷۳	۵۲۹	۹۶۲	۳۹	۱۶۷	۴/۶	تصفیه خانه جنوب اصفهان (۲۲)
۶۱	۴۶۵	۱۱۵۲	۵۸	۱۶۶	۷/۱	تصفیه خانه شمال اصفهان (۲۲)

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

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

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

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

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

حد معنی داری در ۰/۰۵ < p

ناحیه بحرانی آماره آزمون t (در فرض H1 که  $\mu < \mu_0$  باشد):  $t < -t_{\alpha, n-1}$

## سپاسگزاری

با سپاس از معاونت‌های برنامه‌ریزی، مهندسی و توسعه و بهره‌برداری 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 معضل دفع لجن آبگیری شده تصفیه‌خانه فاضلاب ساری برداشته شود.

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  $t_{0.05, 11} = ۱/۷۹۶$  بوده و مقادیر آماره t خروجی از نرم‌افزار برای تمام فلزات سنگین، کم‌تر از ۱/۷۹۶- به دست آمد

## References

- 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.
- 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.
- 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).
- 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).
- Torabian A, Momeni farahani L. Urban sewage sludge management plan. *Environ sci J* 2002; 30(28): 66-78 (Persian).
- 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).
- 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

- silvopastoral system under ash (*Fraxinus excelsior* L). 2010; 65(2): 248-259.
8. Głab 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 metaliferous 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, Bertocini 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.

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).