

## بررسی تجمع عناصر سرب و کادمیوم در بافت گونه‌های تره (*Allium ampeloprasum*) و نعناع (*Mentha piperita*) تیمار شده با لجن فاضلاب تصفیه‌خانه شهرک قدس تهران

سهیل سبحان اردکانی<sup>۱\*</sup>، مهدی حبیبی<sup>۲</sup>، آزیتا بهبهانی‌نیا<sup>۳</sup>

۱- دانشیار گروه محیط‌زیست، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد محیط‌زیست، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

۳- استادیار گروه محیط‌زیست، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران

\*نویسنده مسئول مکاتبات: s\_sobhan@iauh.ac.ir

(دریافت مقاله: ۹۳/۱/۳۱ پذیرش نهایی: ۹۴/۹/۱۷)

### چکیده

این پژوهش با هدف بررسی غلظت تجمع یافته عناصر سرب و کادمیوم در گونه‌های تره و نعناع تحت تیمار لجن دفعی تصفیه‌خانه شهرک قدس تهران انجام یافت. پس از آماده‌سازی خاک و لجن فاضلاب و تعیین برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی آن‌ها، تره و نعناع در گروه‌های شاهد و تیمار کشت گردیدند. سپس غلظت عناصر سرب و کادمیوم در اندام هوایی این گیاهان توسط دستگاه نشر اتمی اندازه‌گیری شد. بر اساس نتایج مطالعه، میانگین غلظت سرب در گروه‌های تره شاهد و تیمار و همچنین نعناع شاهد و تیمار به ترتیب برابر با  $0.26 \pm 0.08$  mg/kg و  $0.55 \pm 0.16$  mg/kg و همچنین  $0.26 \pm 0.06$  و  $2.41 \pm 0.79$  mg/kg بود. به علاوه، میانگین غلظت کادمیوم در تیمارهای تره و نعناع (شاهد و تیمار) به ترتیب برابر با  $0.083 \pm 0.003$  و  $0.26 \pm 0.05$  و نیز  $0.057 \pm 0.002$  و  $0.14 \pm 0.02$  mg/kg برآورد گردید. مقایسه میانگین غلظت عناصر سرب و کادمیوم در تمام تیمارها با رهنمود آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار با حد مجاز بود ( $p < 0.05$ ). بدین صورت که میانگین غلظت تجمع یافته کادمیوم در تیمارهای تره و نعناع بیش‌تر از حد مجاز برآورد شد، اما در سایر موارد، کم‌تر از حد مجاز (به ترتیب  $0.5$  و  $0.1$  mg/kg برای سرب و کادمیوم) بود. می‌توان نتیجه گرفت، استفاده از لجن فاضلاب تأثیری در جذب سرب توسط گیاهان مورد مطالعه نداشته است اما در مورد غلظت تجمع یافته کادمیوم در گونه‌های تره و نعناع مقادیر جذب بیش از حد مجاز تعیین شد. لذا ضروری است در خصوص کاهش مخاطرات بهداشتی کاربرد لجن فاضلاب به‌عنوان کود و به‌ویژه در طولانی مدت تمهیداتی اندیشیده شود.

واژه‌های کلیدی: سرب، کادمیوم، لجن دفعی، تره، نعناع، تصفیه‌خانه شهرک قدس

## مقدمه

امروزه به دلیل نرخ بالای رشد جمعیت و تولید هرچه بیش‌تر مواد زائد آلی از یک سو و افزایش تقاضای محصولات کشاورزی و به‌ویژه سبزیجات به‌عنوان منبع ویتامین، مواد ریزمغذی و فیبر از سوی دیگر، مصرف کودهای آلی نظیر کمپوست و لجن فاضلاب به دلیل غنی بودن آن‌ها از بعضی عناصر مفید برای رشد گیاه و افزایش عملکرد محصولات زراعی همچون مواد آلی، ازت، فسفر و سایر مواد مغذی مورد توجه قرار گرفته است. به‌علاوه، استفاده از لجن می‌تواند در جبران بخشی از هزینه‌های تصفیه فاضلاب مفید باشد (Wong et al., 2001). مثلاً در اروپا بیش از ۵۰ درصد لجن فاضلاب تصفیه‌خانه‌های شهری به‌عنوان کود و یا به‌منظور اصلاح ویژگی‌های فیزیکی خاک از جمله هدایت هیدرولیکی، پایداری خاک‌دانه‌ها، تهویه و رطوبت خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد (Smith, 2000). از طرفی لجن فاضلاب معمولاً حاوی مقادیر قابل توجهی از ترکیبات آلی سمی، عناصر سنگین به‌ویژه عناصر سمی با قابلیت ذخیره یا تحرک در خاک و اندام گیاه، میکروارگانیزم‌ها و تخم انگل‌ها است که به‌طور بالقوه برای محیط‌زیست و بهداشت و سلامت شهروندان تهدید محسوب می‌شود (Tu et al., 2012). به‌عنوان مثال بر اساس گزارش EPA، مصرف لجن فاضلاب باعث افزایش غلظت عناصر سرب، جیوه، نیکل، سلنیوم و کادمیوم تا ۱۰۰ برابر غلظت پایه این عناصر در خاک می‌شود (به‌بهانی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۰). از این‌رو، استفاده از لجن فاضلاب به‌عنوان کود در کشاورزی می‌بایست با تدابیر بیشتری همراه بوده و

همچنین نسبت به مطالعه رفتار محیط‌زیستی عناصر موجود در لجن نیز اقدام کرد (Doelsch et al., 2006; Walter et al., 2006; Cai et al., 2007a, b; Singh and Agrawal, 2010; Tu et al., 2012). در حال حاضر فقدان مدیریت اصولی بر لجن‌های دفعی از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در کشور موجب شده که در بیش‌تر موارد این لجن‌ها به‌صورت خام و تثبیت‌نشده به محیط راه یافته و خسارات زیادی را بر سلامت انسان و منابع محیط‌زیست از جمله آلودگی میکروبی و شیمیایی منابع آب، خاک و محصولات کشاورزی و شیوع بیماری‌های انگلی و مسمومیت‌های شیمیایی وارد نماید (فرزادکیا، ۱۳۸۱). در تهران روزانه بیش از دو میلیون مترمکعب فاضلاب تولید می‌شود که حجم بسیار قابل توجهی است. وجود زمین‌های حاصل‌خیز در اطراف شهر و بازار مصرف گسترده محصولات کشاورزی در مجاورت آن‌ها، به‌کارگیری پساب فاضلاب در امر کشاورزی را با جاذبه بسیار همراه ساخته است. اما همان‌طور که اشاره شد، ورود فلزات سنگین از طریق پساب و لجن دفعی در خاک و گیاهان می‌تواند مخاطرات محیط‌زیستی و بهداشتی به‌دنبال داشته باشد. از این‌رو این پژوهش با هدف بررسی غلظت تجمع‌یافته عناصر سرب و کادمیوم در دو گونه گیاهی تره و نعناع تیمارشده با لجن دفعی تصفیه‌خانه شهرک قدس تهران به‌عنوان کود در سال ۱۳۹۱ انجام یافت.

## مواد و روش‌ها

برای آماده‌سازی خاک مورد استفاده در این پژوهش، نمونه‌های خاک از الک با قطر منافذ ۲ میلی‌متر عبور داده شده و سپس در یخچال در دمای ۴ درجه

فسفر در لجن نیز از همین روش استفاده شد (Olsen et al., 1954; Kalavrouziotis and Koukoulakis, 2012).

برای اندازه‌گیری غلظت ازت کل در خاک و لجن دفعی از روش کلدال استفاده شد. در این روش مقدار ۱ گرم خاک الک‌شده به بالون ژوزه ۱۰۰ میلی‌لیتری انتقال یافت و پس از افزودن ۱/۱ گرم مخلوط کاتالیست (سولفات پتاسیم، سولفات مس، پودر سلنیم) و ۳ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک غلیظ، محلول توسط هیتر برقی تا ۳۷۰ درجه سلسیوس حرارت داده شد. پس از انجام فرآیند هضم توسط اسید بوریک ۱ درصد و انجام مرحله تقطیر، در نهایت با استفاده از اسید سولفوریک ۰/۰۱ نرمال و در مجاورت معرف متیل‌رد بروموکرزول گرین نمونه‌ها تیتر شدند. به‌منظور اندازه‌گیری غلظت ازت در لجن نیز از همین روش استفاده شد (Kim et al., 2007).

برای اندازه‌گیری درصد ماده آلی در خاک و لجن دفعی، مقدار ۱ گرم از نمونه خاک الک‌شده را در ارلن مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری ریخته و به‌آرامی ۱۰ میلی‌لیتر دی‌کرومات پتاسیم به آن اضافه شد. در ادامه و پس از افزودن ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ، محلول توسط هیتر به مدت ۲۰ دقیقه تا حداکثر ۱۶۵ درجه سلسیوس حرارت داده شد. پس از خنک‌شدن محلول، ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر به آن افزوده و نمونه با فروآمونیم سولفات تیتر شد. با ظاهر شدن رنگ سبز لجنی در محلول، فرآیند تیتراسیون متوقف شد و حجم مصرفی فروآمونیم سولفات به‌منظور محاسبه درصد ماده آلی نمونه ثبت گردید. برای اندازه‌گیری درصد ماده آلی در لجن نیز از همین روش استفاده شد (Tu et al., 2012).

سلسیوس نگهداری شد. همچنین به‌منظور نمونه‌برداری از لجن دفعی تصفیه‌خانه، از ظروف پلی‌اتیلنی یک کیلوگرمی که با آب مقطر شسته شده بودند، استفاده شد. برای آماده‌سازی و نگهداری نمونه‌های لجن نیز پس از خشک کردن آن‌ها در دمای ۴۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت، نسبت به همگن کردن آن‌ها از طریق کوبیدن در هاون چینی و عبور دادن نمونه‌ها از الک با قطر منافذ ۱۰۰ میلی‌متر اقدام و نمونه‌های لجن در دمای ۴ درجه سلسیوس در بطری‌های پلی‌اتیلنی ذخیره شد. سپس نمونه‌ها تحت آزمون‌هایی نظیر اندازه‌گیری pH، غلظت فسفر، غلظت ازت و مواد آلی قرار گرفتند. اندازه‌گیری pH لجن با دستگاه pH متر دیجیتال Metrohm مدل ۸۲۷ و پس از تهیه رقت ۱ به ۱۰ (لجن به آب) صورت پذیرفت (Tu et al., 2012).

برای اندازه‌گیری غلظت فسفر در خاک و لجن دفعی از روش هضم استفاده شد. برای این کار ۵ گرم از خاک را در یک ارلن ریخته و ۱۰۰ میلی‌لیتر بی-کربنات سدیم ۰/۵ نرمال به آن اضافه شد. محلول حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دستگاه شیکر با سرعت ۱۸۰ دور در دقیقه قرار گرفت و با کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف شد. سپس ۲۰ میلی‌لیتر از عصاره به بالون ژوزه ۱۰۰ میلی‌لیتری انتقال یافت و توسط اسید سولفوریک ۱ نرمال (مرک، آلمان) به حجم ۸۰ میلی‌لیتر و با افزودن ۱۰ میلی‌لیتر محلول ۱ درصد مولیبدات آمونیوم (مرک، آلمان) و ۰/۵ میلی‌لیتر محلول کلرید قلع ۲ درصد (مرک، آلمان) حجم نهایی محلول به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسید. در نهایت غلظت فسفر در محلول با اسپکتروفتومتر (Jenway, UK) در طول موج ۶۶۰ نانومتر خوانده شد. برای تعیین غلظت

باغچه تهیه شد (Kalavrouziotis and Koukoulakis, 2012). برای کاشت گیاه تره، در ۱۸ گلدان پلاستیکی شامل ۹ گلدان اصلی (حاوی خاک تیمارشده با لجن دفعی) و ۹ گلدان شاهد (حاوی خاک فاقد لجن) هر کدام ۱۵ عدد بذر با خلوص ۹۹ درصد کشت داده شد. هم‌چنین به منظور کاشت گیاه نعناع، ریشه گیاه از مزارع سبزی‌کاری تهیه شد و به همان ترتیب بالا نسبت به اجرای آزمایش اقدام گردید (بهبهانی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۰).

پس از گذشت ۴۵ روز از کشت، نمونه‌برداری از گیاهان اقدام گرفت. برای این کار ابتدا گیاهان توسط قیچی پلاستیکی تمیز چیده شده و پس از انتقال به ظروف پلی‌اتیلنی برای تعیین غلظت عناصر سرب و کادمیوم تجمع‌یافته در بافت آن‌ها به آزمایشگاه منتقل شدند (بهبهانی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۰).

برای تعیین غلظت عناصر سرب و کادمیوم در نمونه‌های گیاهی مورد مطالعه، ابتدا نمونه‌ها با آب دوبار تقطیر کاملاً شسته شدند و به مدت ۴۸ ساعت در دستگاه آون قرار گرفتند. یک گرم از هر گیاه پس از انتقال به بوتله چینی، به مدت دو ساعت در کوره الکتریکی با دمای ۴۵۰ درجه سلسیوس قرار داده شد تا به خاکستر تبدیل شود. خاکسترها با ۱ تا ۳ میلی‌لیتر آب مرطوب شد و روی هیتر حرارت داده شدند. پس از افزودن ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۶ مولار به خاکسترها، دوباره بر روی هیتر حرارت داده شدند. سپس خاکستر باقی‌مانده در ۱۰ تا ۳۰ میلی‌لیتر از اسید نیتریک ۰/۱ نرمال حل شد و با شیشه ساعت روی بوتله‌ها به مدت دو ساعت پوشانده شد. پس از هم‌زدن محلول، نمونه‌ها از داخل بوتله‌ها به بطری‌های پلی‌اتیلنی که قبلاً شسته شده بودند منتقل و غلظت عناصر

برای تعیین غلظت عناصر سرب و کادمیوم در لجن دفعی، ۲/۵ گرم نمونه لجن با ۵۰ میلی‌لیتر تیزاب سلطانی به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق هضم و محلول حاصل در دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس به مدت ۲ ساعت در شرایط رفلاکس باز قرار داده شد. پس از سرد شدن، باقی‌مانده محلول در ۲۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۱۰ درصد حل شد. سپس محلول توسط کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ صاف و در بالن ۱۰۰ میلی‌لیتری با آب دوبار تقطیر به حجم رسانده و غلظت عناصر مدنظر توسط دستگاه نشر اتمی مدل ES-۷۱۰ (Varian, Australia) خوانده شد (Tu et al., 2012). برای تعیین غلظت فلزات سنگین در خاک تیمار شاهد، پس از همگن و الک کردن نمونه‌ها، مقدار ۲ گرم از خاک در سه تکرار، به فلاسک‌های درب‌دار منتقل و به آن ۱۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۴ نرمال اضافه شد. فلاسک‌ها به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۸۰ درجه سلسیوس در حمام آب گرم قرار گرفت و پس از صاف کردن محلول، غلظت عناصر مورد ارزیابی با دستگاه نشر اتمی خوانده شد (Black, 1985; Soltanpour et al., 1998; Paramasivam et al., 2006; Kalavrouziotis and Koukoulakis, 2012).

در این مطالعه از طرح آزمایش فاکتوریل در قالب بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار استفاده شد. برای کاشت بذر و یا ریشه گیاهان نیز از گلدان‌های پلاستیکی استوانه‌ای به قطر ۲۵ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر استفاده شد. برای آماده‌سازی خاک تیمار اصلی، خاک بعد از ۲ بار صاف شدن با الک به قطر منافذ ۲ میلی‌متر، با لجن دفعی مخلوط شد. هم‌چنین خاک تیمار شاهد نیز به نسبت ۲:۱ از ماسه، کود برگ‌گی و خاک

## یافته‌ها

نتایج مربوط به برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک و لجن فاضلاب و همچنین میانگین غلظت تجمع یافته فلزات سنگین در خاک، لجن و نمونه‌های گیاهی به ترتیب در جداول (۱) و (۲) ارائه شده است.

جدول (۱) - برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک و لجن فاضلاب

پارامتر	واحد	خاک	لجن
pH	-	۷/۴	۶/۳
ماده آلی	%	۰/۲	۰/۳۶
فسفر کل	%	۰/۴۸	۱/۷۶
ازت کل	%	۰/۰۶	۱/۹۷

جدول (۲) - غلظت تجمع یافته (میانگین و انحراف معیار)\* فلزات سنگین در خاک، لجن و نمونه‌های گیاهی

عنصر	خاک	لجن	نمونه (mg/kg)	
			تره اصلی	تره شاهد
سرب	۰/۲۲±۰/۰۴ <sup>a</sup>	۰/۲۶±۰/۰۷ <sup>a</sup>	۰/۵۵±۰/۱۶ <sup>b</sup>	۰/۲۶±۰/۰۸ <sup>a</sup>
کادمیوم	۰/۰۳±۰/۰۰۱ <sup>a</sup>	۰/۰۴±۰/۰۰۱ <sup>a</sup>	۰/۲۶±۰/۰۰۵ <sup>d</sup>	۰/۰۸۳±۰/۰۰۳ <sup>b</sup>

\* میانگین غلظت ارائه شده مربوط به میانگین ۳ تکرار می‌باشد.

\*\* حروف a, b, c, d ... در هر ردیف، بیانگر تفاوت معنی‌دار آماری ( $p < 0.05$ ) بین میانگین غلظت تجمع یافته عناصر سنگین در تیمارهای مورد مطالعه بر اساس نتایج آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه (آزمون دانکن) می‌باشد.

بین میانگین غلظت این عنصر در تیمارهای تره شاهد و اصلی و نعناع اصلی با سایر نمونه‌ها یا تیمارها تفاوت معنی‌دار آماری وجود دارد ( $p < 0.05$ ).

نتایج مقایسه میانگین غلظت تجمع یافته عناصر در خاک، لجن، تیمارهای تره و نعناع اصلی و شاهد با رهنمود EPA (جدول ۳) بیانگر آن است که میانگین غلظت عناصر سرب و کادمیوم در تمام تیمارها تفاوت معنی‌دار با حد مجاز دارد ( $p < 0.05$ ) و به جز در مورد میانگین غلظت عنصر کادمیوم در تیمارهای تره و

مورد ارزیابی در آن‌ها بر حسب ppm به وسیله دستگاه نشر اتمی خوانده شد (Horwitz, 2000; Kim et al., 2007).

به منظور پردازش آماری داده‌ها از ویرایش ۱۸ نرم افزار SPSS استفاده شد. بدین ترتیب که ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون آماری کولموگروف-اسمیرنوف تعیین و سپس از آزمون‌های آنالیز واریانس یک‌طرفه (چند دامنه‌ای دانکن) برای مقایسه میانگین غلظت عناصر مورد ارزیابی بین تیمارهای اصلی و شاهد و از آزمون آماری One Sample t-Test نیز برای مقایسه میانگین غلظت عناصر مورد ارزیابی در تیمارهای اصلی و شاهد با مقادیر استاندارد استفاده شد.

نتایج ارائه شده در جدول (۲) بیانگر آن است که بین میانگین غلظت عنصر سرب در نمونه‌های خاک و لجن با تیمارهای تره شاهد و نعناع شاهد تفاوت معنی‌دار آماری وجود نداشت ولی بین میانگین غلظت این عنصر در تیمارهای تره اصلی و نعناع اصلی با سایر نمونه‌ها یا تیمارها تفاوت معنی‌دار آماری وجود دارد ( $p < 0.05$ ). هم‌چنین بین میانگین غلظت تجمع یافته عنصر کادمیوم در نمونه‌های خاک و لجن با تیمار نعناع شاهد تفاوت معنی‌دار آماری مشاهده نشد، ولی

نعناع کشت شده توسط لجن فاضلاب که بیش تر از رهنمود EPA بود، در سایر موارد میانگین غلظت عناصر سرب و کادمیوم در همه نمونه‌ها و تیمارها کم تر از حد مجاز برآورد گردید.

جدول (۳) - غلظت مجاز تجمع عناصر سرب و کادمیوم در خاک، لجن و بافت گیاهی (Guerra et al., 2012)

نمونه	غلظت (ppm)	
	سرب	کادمیوم
خاک	۱/۰	۷/۰
لجن	۱۰۰/۰	۱/۲۵
بافت گیاه	۵/۰	۰/۱

### بحث و نتیجه گیری

مطالعه خصوصیات فیزیکی لجن فاضلاب تصفیه خانه شهرک قدس تهران بیان گر pH اسیدی لجن می باشد (جدول ۱) که این موضوع را می توان با تولید اسیدهای آلی حاصل از تخمیر مواد آلی مرتبط دانست (بهبهانی نیا و همکاران، ۱۳۹۰). نتایج آزمون تحلیل واریانس یک طرفه نشان داد که میانگین غلظت عناصر سرب و کادمیوم در تیمارهای اصلی تره و نعناع بیش از تیمار شاهد می باشد و در این رابطه بین تیمارهای اصلی و شاهد تفاوت معنی دار آماری ( $p < 0/05$ ) وجود داشت (جدول ۲). این موضوع بیان گر قابلیت انباشت و تحرک عناصر موجود در لجن در اندام گونه‌های گیاهی مورد مطالعه می باشد (Tu et al., 2012). لذا به منظور استفاده از لجن به عنوان کودی ارزان قیمت و غنی از مواد مغذی در مزارع کشاورزی، می بایست نسبت به اعمال مدیریت اصولی از جمله تصفیه مجدد لجن دفعی در تصفیه خانه‌ها اقدام کرد.

نتایج نشان داد که مقایسه میانگین صرفاً میانگین غلظت عنصر کادمیوم در تیمارهای تره و نعناع اصلی بیش تر از رهنمود EPA می باشد (جدول ۳). بدین ترتیب می توان نتیجه گرفت که اثر لجن دفعی بر جذب عنصر سرب توسط تره و نعناع معنی دار نبوده است. بهبهانی نیا و همکاران (۱۳۹۰) غلظت تجمع یافته عناصر سرب و کادمیوم را در گونه‌های تیمار شده با لجن دفعی بررسی کرده و به نتایج مشابهی دست یافتند. از طرفی یافته‌های چند پژوهش با نتایج این پژوهش مغایرت دارد. تقوی و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی تاثیر آبیاری با فاضلاب صنعتی بر تجمع عناصر سرب، نیکل و روی در گونه مرتعی *Hordeum morinum* عنوان کردند که میانگین غلظت تجمع یافته هر سه عنصر در نمونه‌ها بیش تر از رهنمود FAO می باشد. کرمی و همکاران (۱۳۸۶) طی پژوهش خود نتیجه گرفتند که استفاده از لجن فاضلاب اثری معنی دار بر غلظت تجمع یافته کادمیوم در ریشه و ساقه و سرب در دانه گندم دارد. رحیمی آلاشتی و همکاران (۱۳۹۰ الف) به این نتیجه رسیدند که مصرف ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار برای مدت ۳ سال، غلظت تجمع یافته عناصر سرب و کادمیوم در ریشه و اندام هوایی کاهو و تربچه را به طور قابل توجه افزایش می دهد. از طرفی نتایج این پژوهش نشان داد که اثر لجن دفعی بر جذب عنصر کادمیوم در گیاهان تره و نعناع معنی دار می باشد، که با یافته‌های کرمی و همکاران (۱۳۸۶) و بهبهانی نیا و همکاران (۱۳۹۰) مطابقت دارد.

آنتولین و همکاران (۲۰۰۵) با ارزیابی ویژگی‌های رویشی گیاه جو در خاک تیمار شده با لجن فاضلاب، نتیجه گرفتند که در صورت استفاده طولانی مدت از

تجمع یافته سرب و کروم در ریشه و اندام هوایی چمن گندمی رونده و شبدر برسیم تأثیر معنی دار دارد. کلاوروزیوتیس و کوکولاکیس (۲۰۱۲) با بررسی فاکتور تجمع (Concentration Factor) فلزات سنگین در گیاه کلم کشت شده در خاک تحت تیمار فاضلاب شهری عنوان کردند که فاکتور تجمع برای عناصر روی، کبالت و نیکل در ساقه گیاه به ترتیب برابر با ۲/۹۶، ۰/۸۵ و ۰/۹۲ و برای عنصر سرب در برگ کلم برابر با ۱۱/۷۸ می باشد. نجفی و همکاران (۱۳۹۰) نتیجه گرفتند که با کاربرد لجن فاضلاب، نرخ جذب و غلظت تجمع یافته عناصر آهن، منگنز، روی، سرب و مس در بخش هوایی آفتابگردان افزایش می یابد. تو و همکاران (۲۰۱۲) عنوان کردند که غلظت عناصر مس، روی، کروم و نیکل در لجن فاضلاب کم تر از استاندارد چین می باشد و لذا استفاده از لجن فاضلاب به عنوان کود در کشاورزی خطری را متوجه مصرف کنندگان محصولات نمی کند. حسین پور و قاجار سپانلو (۱۳۹۲) با بررسی اثرات تلفیقی لجن فاضلاب شهری و کودهای شیمیایی بر غلظت عناصر کم مصرف در گیاه تربچه نتیجه گرفتند که بیشینه میانگین غلظت تجمع یافته عناصر آهن و منگنز در ریشه و عنصر مس در اندام هوایی تربچه مربوط به کاربرد متوالی لجن و کود شیمیایی می باشد.

به طور کلی می توان نتیجه گرفت که استفاده از لجن فاضلاب به عنوان کود در کشاورزی و یا عامل بهبود دهنده خاک به ویژه در طولانی مدت، می تواند بر حسب ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک و لجن، باعث تجمع فلزات سنگین در خاک و به تبع آن بافت گیاهان شده و از طرفی با افزایش تحرک پذیری عناصر، اثرات بهداشتی نامطلوب برای مصرف کنندگان

لجن فاضلاب به عنوان کود، تجمع فلزات سنگین در دانه جو قابل ملاحظه می باشد. داتا و یانگ (۲۰۰۵) با بررسی تجمع برخی فلزات سنگین در گیاه اسفناج کشت شده در خاک تحت تیمار طولانی مدت با لجن فاضلاب، نتیجه گرفتند که افزایش مواد آلی و pH خاک با کاهش تحرک پذیری عناصر در خاک، باعث کاهش مخاطره برای مصرف کنندگان می شود. گریو و همکاران (۲۰۰۵) نتیجه گرفتند که میانگین غلظت تجمع یافته عناصر مس، نیکل، روی، کادمیوم و کروم در دانه های باقلا کشت شده در خاک تحت تیمار لجن فاضلاب فاقد مخاطرات محیط زیستی می باشد. پراماسیوم و همکاران (۲۰۰۶) عنوان کردند که نرخ جذب فلزات سنگین توسط اندام های گیاهی سورگوم سودانی با افزایش کاربرد لجن فاضلاب به عنوان بهبود دهنده خاک رابطه مستقیم دارد. کاسادو-ولا و همکاران (۲۰۰۷) نتیجه گرفتند که میوه فلفل تحت تیمار لجن فاضلاب در شرایط گلخانه در مقایسه با محیط مزرعه، ۶۰ درصد رشد بیش تر داشته است و از طرفی جذب عنصر سرب در میوه فلفل تحت تیمار لجن بیش تر از سایر عناصر می باشد. کیم و همکاران (۲۰۰۷) نتیجه گرفتند که غلظت تجمع یافته مولیبدن در دانه های سویا تحت تیمار لجن فاضلاب، ۵ برابر تیمار شاهد می باشد. کرمی و همکاران (۱۳۸۷) عنوان کردند که لجن فاضلاب بر غلظت تجمع یافته روی و مس در اندام هوایی و دانه گندم اثر معنی دار دارد. مرادمند و همکاران (۲۰۰۹) نتیجه گرفتند که آبیاری با پساب تصفیه شده شهر کرد تأثیری بر تجمع عنصر نیکل در خاک و اندام فلفل سبز ندارد. رحیمی آلاشتی و همکاران (۱۳۹۰ ب) نتیجه گرفتند که استفاده از لجن فاضلاب در طی دوره زمانی ۳ ساله، بر غلظت

به‌دنبال داشته باشد. لذا می‌بایست در خصوص کاهش مخاطرات بهداشتی کاربرد طولانی‌مدت لجن فاضلاب به‌عنوان کود از طریق اعمال تمهیداتی مانند تدوین استانداردهای محیط‌زیستی، اجرای برنامه پایش و کنترل لجن در تصفیه‌خانه‌ها و استفاده از لجن دفعی تصفیه‌خانه‌ها برای احیای اراضی بایر و یا استفاده در جنگل‌کاری اطراف شهرها اقدام کرد.

## منابع

- بهبهانی‌نیا، آریتا؛ میرباقری، سیداحمد و آزادی، امین (۱۳۹۰). تاثیر استفاده از پساب و لجن در آبیاری گیاهان بر میزان غلظت فلزات سنگین گیاهان. فصلنامه گیاه و زیست بوم، شماره ۲۸، صفحات: ۷۰-۵۹.
- حسین پور، رحیمه و قاجار سپانلو، مهدی (۱۳۹۲). اثرات تلفیقی لجن فاضلاب شهری و کودهای شیمیایی بر غلظت عناصر کم مصرف در خاک و تربچه (*Raphanus sativus*). مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، دوره ۲۷، شماره ۳، صفحات: ۳۷۳-۳۸۵.
- رحیمی‌آلاشتی، سپیده؛ بهمنیار، محمدعلی و قاجار سپانلو، مهدی (۱۳۹۰ الف). نقش لجن فاضلاب بر میزان pH، O.C و EC خاک و تجمع سرب و کادمیم در خاک و گیاه کاهو و تربچه. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، دوره ۱۸، شماره ۳، صفحات: ۱۴۷-۱۳۳.
- رحیمی‌آلاشتی، سپیده؛ بهمنیار، محمدعلی و قاجار سپانلو، مهدی (۱۳۹۰ ب). بررسی اثرات باقی‌مانده و تجمع لجن فاضلاب بر غلظت سرب و کروم در اندام‌های گیاهی چمن گندمی رونده (*Agropyrum repen L.*) و شبدر برسی (*Trifolium alexandrinum L.*). مجله علمی پژوهشی مرتع، سال پنجم، شماره ۱، صفحات: ۶۹-۵۸.
- فرزادکیا، مهدی (۱۳۸۱). بررسی وضعیت تثبیت و قابلیت استفاده مجدد لجن در چهار تصفیه‌خانه کوچک فاضلاب شهر تهران. مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی همدان، شماره ۲۴، صفحات: ۶۲-۵۵.
- کرمی، مهین؛ رضایی‌نژاد، یحیی؛ افیونی، مجید و شریعتمداری، حسین (۱۳۸۶). اثرات تجمع و باقی‌مانده لجن فاضلاب شهری بر غلظت عناصر سرب و کادمیم در خاک و گیاه گندم. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی (علوم آب و خاک)، دوره ۱۱، شماره ۱، صفحات: ۹۵-۷۹.
- کرمی، مهین؛ افیونی، مجید؛ رضایی‌نژاد، یحیی و خوشگفتارمنش، امیرحسین (۱۳۸۷). اثرات تجمع و باقی‌مانده لجن فاضلاب شهری بر غلظت روی و مس در خاک و گیاه گندم. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی (علوم آب و خاک)، شماره ۴۶، صفحات: ۶۵۴-۶۳۹.



● نجفی، نصرت اله؛ مردمی، سنیه و اوستان، شاهین (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)، شماره ۵۸، صفحات: ۱۵۷-۱۳۹.

- Antolín, M.C., Pascual, I., García, C., Polo, A. and Sánchez-Díaz, M. (2005). Growth, yield and solute content of barley in soils treated with sewage sludge under semiarid Mediterranean conditions. *Field Crops Research*, 94: 224-237.
- Black, C.A. (1985). *Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy Monograph. 9.* ASA, Medison, WI.
- Cai, Q.Y., Mo, C.H., Wu, Q.T., Zeng, Q.Y. and Katsoyiannis, A. (2007a). Occurrence of organic contaminants in sewage sludges from eleven wastewater treatment plants, China. *Chemosphere*, 68(9): 1751-1762.
- Cai, Q.Y., Mo, C.H., Wu, Q.T., Zeng, Q.Y. and Katsoyiannis, A. (2007b). Concentration and speciation of heavy metals in six different sewage sludgecomposts. *Journal of Hazardous Materials*, 147(3): 1063-1072.
- Casado-Vela, J., Sellés, S., Díaz-Crespo, D., Navarro-Pedreño, J., Mataix-Beneyto, J., and Gómez, I. (2007). Effect of composted sewage sludge application to soil on sweet pepper crop (*Capsicum annuum* var. *annuum*) grown under two exploitation regimes. *Waste Management*, 27: 1509-1518.
- Datta, S.P. and Young, S.D. (2005). Predicting metal uptake and risk to the human food chain from leaf vegetables grown on soils amended by long-term application of sewage sludge. *Water, Air, & Soil Pollution*, 163: 119-136.
- Doelsch, E., Deroche, B. and Van de Kerchove, V. (2006). Impact of sewage sludge spreading on heavy metal speciation in tropical soils (Reunion, Indian Ocean). *Chemosphere*, 65(2): 286-293.
- Garrido, S., Del Campo, G.M., Esteller, M.V., Vaca, R. and Lugo, J. (2005). Heavy metals in soil treated with sewage sludge composting, their effect on yield and uptake of broad bean seeds (*Vicia faba* L.). *Water, Air, & Soil Pollution*, 166: 303-319.
- Guerra, F., Trevizam, A.R., Muraoka, T., Chaves Marcante, N. and Canniatti-Brazaca, S.G. (2012). Heavy metals in vegetables and potential risk for human health. *Scientia Agricola*, 69(1): 54-60.
- Horwitz, W. (2000). Official methods of Analysis of AOAC, In: *Metals and other elements*, 17nd ed, AOAC International, 22-27.
- Kalavrouziotis, I.K. and Koukoulakis P.H. (2012). Soil pollution under the effect of treated municipal wastewater. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184: 6297-6305.
- Kim, B., McBride, M.B., Richards, B.K. and Steenhuis, T.S. (2007). The long-term effect of sludge application on Cu, Zn, and Mo behavior in soils and accumulation in soybean seeds. *Plant and Soil*, 299: 227-236.
- 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 Number 939*, U.S. Government Printing Office, Washington DC.
- Paramasivam, S., Sajwan, K.S. and Alva, A.K. (2006). Incinerated sewage sludge products as amendments for agricultural soils: Leaching and plant uptake of trace elements. *Water, Air, & Soil Pollution*, 171: 273-290.
- Singh, R.P. and Agrawal, M. (2010). Effect of different sewage sludge applications on growth and yield of *Vigna radiata* L. field crop: Metal uptake by plant. *Ecological Engineering*, 36(7): 969-972.
- Smith, S.R. (2000). Are controls on organic contaminants necessary to protect the environment when sewage sludge is used in agriculture?. *Progress in Environmental Science*, 2(2): 129-146.

- Soltanpour, P.N., Johnson, C.W., Workman, S.M., Jones, J.B. and Miller, R.O. (1998). Advances in ICP emission and ICP mass spectroscopy Adv. Agronomy, 64: 28-113.
- Tu, J., Zhao, Q., Wei, L. and Yang, Q. (2012). Heavy metal concentration and speciation of seven representative municipal sludges from wastewater treatment plants in Northeast China. Environmental Monitoring and Assessment, 184: 1645-1655.
- Walter, I., Mart Nez, F. and Cala, V. (2006). Heavy metal speciation and phytotoxic effects of three representative sewage sludges for agricultural uses. Environmental Pollution, 139(3): 507-514.
- Wong, J.W., Li, K., Fang, M. and Su, D.C. (2001). Toxicity evaluation of sewage sludges in Hong Kong. Environment International, 27(5): 373-380.

Archive of SID