

بررسی تاثیر آبیاری با استفاده از فاضلاب شهری بر تجمع فلزات سنگین در خاک

مسعود طبری^۱

masoudtabari@yahoo.com

آزاده صالحی^{۲*}

salehi.azadeh@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۸۷/۱۲/۱۸

تاریخ دریافت: ۸۷/۶/۱۵

چکیده

به منظور بررسی تاثیر آبیاری با فاضلاب شهری بر تجمع فلزات سنگین (آهن، منگنز، کروم، سرب و کادمیم)، لایه‌های خاک دو توده دست کاشت کاج تهران (*Pinus eldarica Medw.*) ۱- آبیاری شده با فاضلاب شهری و ۲- آبیاری شده با آب چاه، در حومه شهر تهران، مطالعه شد. در هر توده مورد مطالعه، پروفیل‌های خاک حفر و نمونه‌ها از عمق‌های ۰-۱۵، ۱۵-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری جمع‌آوری گردید. نمونه‌های آب (فاضلاب شهری و آب چاه) در طول ۶ ماه (از ابتدای تیر تا پایان آذرماه) با ۳ تکرار در هر ماه برداشت شد. نتایج نشان داد که فاضلاب شهری به طور معنی داری ($p < 0/01$) مقادیر بیشتری از فلزات سنگین آهن (*Fe*)، منگنز (*Mn*)، سرب (*Pb*) و کروم (*Cr*) را در مقایسه با آب چاه دارا می‌باشد. سطح این فلزات در فاضلاب شهری بیش از حد مجاز توصیه شده توسط WHO برای آبیاری اراضی بود. غلظت این فلزات سنگین در خاک آبیاری شده با فاضلاب شهری حدود ۱/۵ برابر آن‌ها در خاک آبیاری شده با آب چاه و در هر دو توده در لایه سطحی (عمق ۰-۱۵ سانتی‌متری) بیشتر از لایه‌های زیرین بود. غلظت فلزات سنگین خاک، به استثنای *Pb*، زیر حد بحرانی بود. هیچ غلظتی از کادمیم (*Cd*) در نمونه‌های آب و خاک مشاهده نشد. بر اساس نتایج تحقیق حاضر، با توجه به بالا بودن سطح فلزات سنگین فاضلاب شهری، استفاده طولانی مدت از آن در امر آبیاری می‌تواند باعث افزایش بیش از حد مجاز فلزات سنگین در خاک شود. بنابراین مقرراتی باید در زمینه استفاده از فاضلاب شهری به عنوان آب آبیاری به منظور ۱- کنترل محتوای فلزات سنگینی که ممکن است به خاک اضافه شوند و ۲- کاهش خطر تاثیرات منفی روی سلامت اکوسیستم مورد توجه قرار گیرد.

کلمات کلیدی: آبیاری، فاضلاب شهری، فلزات سنگین، آلودگی خاک

۱- دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- عضو باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک * (مسئول مکاتبات)

مقدمه

بنابراین در صورت استفاده از فاضلاب باید مسائل همراه شده با کاربرد آن نیز شناخته و بررسی شود (۱۴). در ایران بخش بزرگی از آب مورد استفاده شهرهای بزرگ به فاضلاب‌های شهری تبدیل می‌شود (۱۵) که با توجه به کمبود منابع آب کشور، فاضلاب‌های شهری می‌توانند به عنوان منبع مهمی از آب برای توسعه فضای سبز و درختکاری‌های اطراف شهرها به‌کارگرفته شوند (۱۶). مطالعات متعددی از کشورهای مختلف آلودگی فلزات سنگین را در فاضلاب و در خاک آبیاری شده با آن گزارش کرده‌اند (۱۷-۱۹) با وجود این اطلاعات تجربی کمی از ایران در مورد آلودگی فلزات سنگین آب آبیاری و خاک در عرصه‌های جنگل‌کاری شده با درختان وجود دارد. مطالعه حاضر در سال ۱۳۸۵ بر روی خاک دو توده جنگل‌کاری شده کاج تهران (*Pinus eldarica Medw.*) در اراضی اطراف شهر تهران انجام یافت. یکی از دو توده مورد مطالعه با فاضلاب شهری و دیگری با آب چاه از زمان کاشت آبیاری شده بودند. هدف این پژوهش تعیین کمیت غلظت فلزات سنگین آهن، منگنز، کروم، سرب و کادمیم فاضلاب شهری و لایه‌های خاک تحت جنگل‌کاری کاج تهران آبیاری شده با آن بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

مکان تحقیق در ۵ کیلومتری جنوب شهر تهران (شهرری، ۳۷° ۳۵' عرض شمالی، ۲۳° ۵۱' طول شرقی، ارتفاع از سطح دریای آزاد ۱۰۰۵ متر) واقع شده است. متوسط درجه حرارت سالیانه ۱۳/۵ درجه سانتی‌گراد، متوسط بارندگی سالیانه ۲۳۲/۴ میلی‌متر، میانگین دمای سردترین ماه سال (دی) ۵/۵ درجه سانتی‌گراد، میانگین دمای گرم‌ترین ماه سال (مرداد) ۳۱ درجه سانتی‌گراد، حداکثر دمای مطلق (تیر) ۴۲/۶، حداقل دمای مطلق (بهمن) ۸/۶-، حداکثر بارندگی ماهیانه (اسفند) ۴۱/۳ میلی‌متر، حداقل بارندگی ماهیانه (مرداد) ۰/۹ میلی‌متر می‌باشد. براساس جدول تقسیمات اقلیمی آمبرژه، منطقه دارای

استفاده از فاضلاب‌های شهری و صنعتی در آبیاری اراضی مناطق حومه شهری در بسیاری از نقاط جهان به امری معمول و متعارف تبدیل شده است (۱). فاضلاب‌ها می‌توانند برای احیای مناطق تخریب شده و رویش پوشش‌های گیاهی استفاده شوند (۲). انواع فاضلاب‌ها شامل تصفیه شده و تصفیه نشده، رواناب‌های حاصل از بارندگی (۳) و فاضلاب‌های صنعتی و خانگی (۴) می‌توانند به عنوان آب مورد نیاز پارک‌های شهری و جنگلی حاشیه شهرها و مجتمع‌های صنعتی به کار روند (۵). در این صورت، گونه‌های درختی نیز قادرند با استفاده از فاضلاب و جذب فلزات سنگین از طریق سیستم‌های ریشه‌ای توسعه یافته (۶) سمیت خاک را کاهش داده و نقش مهمی در حفاظت محیط زیست ایفا نمایند (۷).

از طرف دیگر، فاضلاب‌ها اغلب دارای مقادیر قابل توجهی فلزات سنگین و سمی می‌باشند (۸ و ۹) که نوع و مقدار آن‌ها از مکانی به مکان دیگر و حتی در یک مکان خاص، در طول زمان متفاوت است (۱۰). منابع مهم فلزات سنگین فاضلاب، سیالات خروجی صنعتی و واحدهای تولیدی می‌باشد. فلزات سنگین از نظر زیستی تجزیه ناپذیر بوده و به سهولت در سطوح سمی تجمع پیدا کرده و به شدت در محیط زیست ماندگار می‌گردند (۱۱). استفاده طولانی مدت از فاضلاب در آبیاری اراضی اغلب به افزایش سطح فلزات سنگین خاک منجر می‌شود (۱۲). زمانی که ظرفیت خاک برای نگه داشتن فلزات سنگین (به دلیل افزایش سطح آن‌ها در خاک) کاهش یابد، فلزات سنگین به سمت آب‌های زیرزمینی یا به صورت محلول‌های قابل استفاده برای جذب گیاهی آزاد و منتشر می‌شوند (۱۱).

در حقیقت مساله اساسی استفاده از فاضلاب در امر آبیاری، حضور فلزات سنگین در فاضلاب، رسوب آن‌ها در خاک و در نهایت جذب آن‌ها توسط گیاه می‌باشد (۱۰). غلظت بالای فلزات سنگین در گیاه می‌تواند جابه‌جایی و تعادل عناصر اساسی گیاه را از طریق جذب رقابتی تحت تاثیر قرار دهد (۱۳).

کل با استفاده از روش کج‌دال (۳۰) و غلظت فلزات سنگین ذکر شده بعد از هضم نمونه‌های خاک در محلول $HCl-3:1$ HNO_3 غلیظ، با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد (۳۱).

تجزیه و تحلیل آماری

برای تجزیه و تحلیل اطلاعات حاصل از مراحل مختلف این تحقیق از نرم افزار آماری SPSS استفاده شد. در ابتدا توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون Shapiro-Wilk با توزیع نرمال بررسی و با توجه به نرمال بودن داده‌ها، برای مقایسه ویژگی‌های مورد بررسی نمونه‌های آب (فاضلاب شهری و آب چاه) و نمونه‌های خاک دو توده تحت تیمار از آزمون T غیر جفتی استفاده گردید. بررسی تغییرات عمقی فلزات سنگین در پروفیل خاک در هر یک از دو توده مورد بررسی با استفاده از آزمون Duncan انجام یافت (۳۲).

نتایج و بحث

کیفیت فاضلاب شهری و آب چاه

مشخصه‌های اندازه‌گیری شده در فاضلاب شهری و آب چاه به همراه استاندارد جهانی WHO (۳۳) جهت بررسی کیفیت آب آبیاری در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، پارامترهای اندازه‌گیری شده در فاضلاب شهری به طور معنی‌داری ($p < 0/01$) بیشتر از آب چاه می‌باشد. اسیدیته (pH) و هدایت الکتریکی (EC) دو ویژگی مهم آب آبیاری هستند که می‌توانند ویژگی‌های خاک و رشد محصولات آبیاری شده را تحت تاثیر قرار دهند. pH نمونه‌های فاضلاب شهری و آب چاه در ماه‌های مختلف به ترتیب از ۷/۵۱ تا ۷/۷۵ و ۶/۶۹ تا ۷/۶۲ در نوسان بود که با توجه به حد قابل تحمل pH آب آبیاری (۶/۵-۸/۵)، تمام نمونه‌های آب (فاضلاب شهری و آب چاه) در محدوده‌های مجاز قرار دارد. EC فاضلاب شهری نیز از ۱/۷۸ تا ۲/۱۲ دسی‌زیمنس بر متر در تغییر بود که بر اساس استاندارد WHO، آب مورد استفاده در این مطالعه از نظر شوری نیز کمتر از حد بحرانی است. در

اقلیم نیمه‌خشک با زمستان‌های نیمه سرد و ۷ ماه فصل خشک است.

نمونه‌برداری آب و خاک

در هر یک از دو توده مورد بررسی (آبیاری شده با فاضلاب شهری و آب چاه)، چهار قطعه نمونه 30×30 متر به صورت تصادفی - سیستماتیک انتخاب شد (۲۰). در هر یک از قطعات نمونه، چهار پروفیل خاک حفر و نمونه‌های خاک از سه عمق ۱۵-، ۳۰-، ۶۰- و ۳۰ سانتی‌متری برداشت شد (۲۱). مجموعاً ۴۸ نمونه خاک در هر توده تحت تیمار از سه عمق ذکر شده به دست آمد. نمونه‌های خاک هم افق هر قطعه نمونه، جهت تقلیل تعداد نمونه‌ها برای آنالیزهای شیمیایی با هم مخلوط شدند (۲۲). بنابراین ۳ نمونه نماینده از ۳ عمق در هر قطعه نمونه به دست آمد. نمونه‌برداری از فاضلاب شهری و آب چاه از ابتدای تیر تا اواخر آذر به مدت ۶ ماه به صورت روزانه (با انتخاب ۳ روز در هر ماه) و ۳ بار در روز (ایجاد یک نمونه همگن در طول روز) انجام یافت.

تجزیه شیمیایی نمونه‌های آب و خاک

نمونه‌های آب (فاضلاب شهری و آب چاه) پس از برداشت در بطری‌های پلاستیکی به آزمایشگاه منتقل، از کاغذ صافی ۴۲ میلی‌متری عبور و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد (کاهش تجزیه میکروبی) نگهداری شدند (۲۱). pH و EC نمونه‌های آب به روش ارائه شده توسط OMA (۲۳) و غلظت فلزات سنگین (آهن، منگنز، کروم، سرب و کادمیم) نمونه‌های آب با استفاده از روش تیزاب سلطانی Jackson (۲۴) همراه با اندازه‌گیری غلظت با استفاده از دستگاه جذب اتمی تعیین شد. نمونه‌های خاک در هوای آزاد خشک، خرد و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. ویژگی‌های خاک شامل: بافت خاک به روش هیدرومتر بایکاس (۲۵)، اسیدیته و هدایت الکتریکی به ترتیب با استفاده از pH و EC متر در یک محلول ۱:۲ خاک و آب (۲۶)، کربن آلی خاک به روش سرد Walkley-Black (۲۷)، آهک ($CaCO_3$) به روش تیتراسیون (۲۸)، فسفر قابل جذب به روش Olsen (۲۹)، ازت

مقادیر توصیه شده بین المللی توسط WHO برای استفاده در آبیاری اراضی بود که این غلظت‌ها می‌توانند برای خاک و گیاه سمی باشند. فلز سنگین کادمیم (Cd) در نمونه‌های آب مشاهده نگردید.

مطالعه حاضر، غلظت فلزات سنگین Fe، Mn، Cr و Pb در نمونه‌های فاضلاب شهری به ترتیب ۸/۶۷، ۹/۸۲، ۲/۴ و ۳/۲ بار بیشتر از مقادیر آن‌ها در آب چاه بود. غلظت این فلزات در فاضلاب شهری و همچنین غلظت Pb در آب چاه بیشتر از

جدول ۱- مقایسه پارامترهای اندازه‌گیری شده در فاضلاب شهری و آب چاه با استفاده از آزمون تی غیر جفتی

Cd	Pb	Cr	Mn	Fe	EC	pH	نمونه‌ها
----- میلی‌گرم بر لیتر (mg l ⁻¹) -----					dS m ⁻¹		
nd	^a ۰/۱۰۶ (۰/۰۶۳)	^a ۰/۱۰۴ (۰/۰۰۵)	^a ۵/۰۱ (۰/۱۱)	^a ۶/۳۳ (۰/۱۲)	^a ۱/۹۱ (۰/۰۲)	^a ۷/۶۳ (۰/۰۱)	فاضلاب شهری
nd	^b ۰/۰۳۳ (۰/۰۲۶)	^b ۰/۰۴۴ (۰/۰۰۲)	^b ۰/۵۱ (۰/۰۹)	^b ۰/۷۳ (۰/۰۱)	^b ۰/۵۹۰ (۰/۰۰۸)	^b ۷/۳۲ (۰/۰۵)	آب چاه
-----	۰/۰۱	۰/۰۵	۱	۳	۳	۸/۵ - ۶/۵	WHO*

ارزش‌های داخل جدول میانگین ۱۸ تکرار (۳روز * ۶ ماه) \pm انحراف معیار در داخل پرانتز می‌باشد. حروف انگلیسی متفاوت در هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی‌دار ($p < 0.01$) بین میانگین گروه‌های مورد بررسی است؛ nd: مشاهده نشد؛ * Hach (۳۳).

مشخصات خاک

(۳۶) با بررسی خاک‌های آبیاری شده با فاضلاب شهری و تحت کشت گونه‌های درختی به نتایج مشابهی دست یافتند. تفاوت در pH و EC آب آبیاری و تأثیر آن بر خاک می‌تواند عامل اصلی اختلاف این دو ویژگی خاک بین دو توده تحت تیمار باشد (۳۷). بعد از pH، ماده آلی مهم‌ترین شاخص کیفیت خاک است که نقش مهمی در چرخه عناصر غذایی خاک ایفا می‌کند (۱۰). میزان ماده آلی خاک توده تحت تیمار فاضلاب از ۱/۱۷ تا ۱/۲۹ درصد در نوسان بود در حالی که این مقدار در توده آبیاری شده با آب چاه بین ۰/۸۸ تا ۱/۱۴ درصد متغیر بود. Hati و همکاران (۲۶) و Ramirez-Fuente و همکاران (۳۸) گزارش کردند که افزایش سطح ماده آلی خاک می‌تواند به علت کاربرد فاضلاب شهری باشد.

مشخصات خاک دو توده مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد کاربرد فاضلاب شهری ویژگی‌هایی از خاک نظیر pH، EC، ماده آلی و کربنات کلسیم خاک را در مقایسه با خاک منطقه کنترل (آبیاری شده با آب چاه) افزایش داده است. در واقع مناسب بودن خاک برای دریافت فاضلاب بدون ایجاد تغییرات شدید، به عواملی چون: ظرفیت پلایش و تصفیه، قابلیت نفوذپذیری، ظرفیت‌های تبادل کاتیونی، EC، pH، ماده آلی، عناصر معدنی خاک و ... وابسته می‌باشد (۳۴).

در تحقیق حاضر، بافت خاک هر دو توده مورد بررسی مشابه و لومی-رسی بود. pH و EC خاک توده آبیاری شده با فاضلاب شهری به طور معنی‌داری ($p < 0.01$) بیشتر از مقادیر متناظر آن در خاک توده آبیاری شده با آب چاه بود. در همین راستا Singh و Bhati (۳۵) و Stewart و همکاران

جدول ۲- مقایسه پارامترهای اندازه‌گیری شده در خاک دو توده مورد مطالعه با استفاده از آزمون تی غیر جفتی

آهک	ماده آلی	کربن آلی	EC	pH	بافت	مشخصات بافت خاک (%)			نمونه‌ها
						Sand	Silt	Clay	
----- درصد -----									
^a ۱۸/۹۴ (۰/۷۳)	^a ۱/۱۹ (۰/۰۵)	^a ۰/۶۹۵ (۰/۰۳۳)	^a ۱/۳۳ (۰/۰۴)	^a ۸/۰۹ (۰/۰۵)	لومی-رسی	۳۳/۳۸	۳۴/۱۲	۳۲/۵	خاک توده تحت تیمار فاضلاب شهری
^b ۱۶/۰۷ (۰/۵۱)	^b ۰/۸۹۶ (۰/۰۸۶)	^b ۰/۵۲۱ (۰/۰۵۰)	^b ۰/۸۱۰ (۰/۰۳۶)	^b ۷/۷۹ (۰/۱۲۹)	لومی-رسی	۳۵/۴۸	۳۶	۲۸/۵۲	خاک توده تحت تیمار آب چاه

ارزش‌های داخل جدول میانگین ۴ تکرار \pm انحراف معیار در داخل پرانتز می‌باشد؛ حروف انگلیسی متفاوت در هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی‌دار ($p < 0.01$) بین میانگین گروه‌های مورد بررسی است.

فلزات سنگین خاک

افزایش قابل ملاحظه فلزات سنگین خاک شود (۱۸، ۴۰، ۴۱). افزایش سطح فلزات سنگین خاک در اثر کاربرد فاضلاب، شدیداً pH، ظرفیت تبادل کاتیونی، مواد آلی، پویایی و تحرک عناصر معدنی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۱). تأثیر آبیاری با فاضلاب روی تجمع فلزات سنگین خاک، بستگی به عوامل متعددی چون غلظت فلزات سنگین موجود در فاضلاب، طول مدت آبیاری، pH، بافت و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک دارد (۴۲). در واقع ۱۰ تا ۵۰ سال وقت لازم است تا سطح فلزات سنگین خاک آبیاری شده با فاضلاب به بیش از حد مجاز برسد (۴۳). به طور مثال نتایج مطالعات Rattan و همکاران (۱۰) نشان داد که آبیاری با فاضلاب به مدت ۵ سال فقط غلظت آهن موجود در خاک، به مدت ۱۰ سال غلظت فلزات سنگین روی، آهن، نیکل و سرب و به مدت ۲۰ سال غلظت فلزات سنگین آهن، روی، مس، منگنز، نیکل و سرب خاک را افزایش می‌دهد.

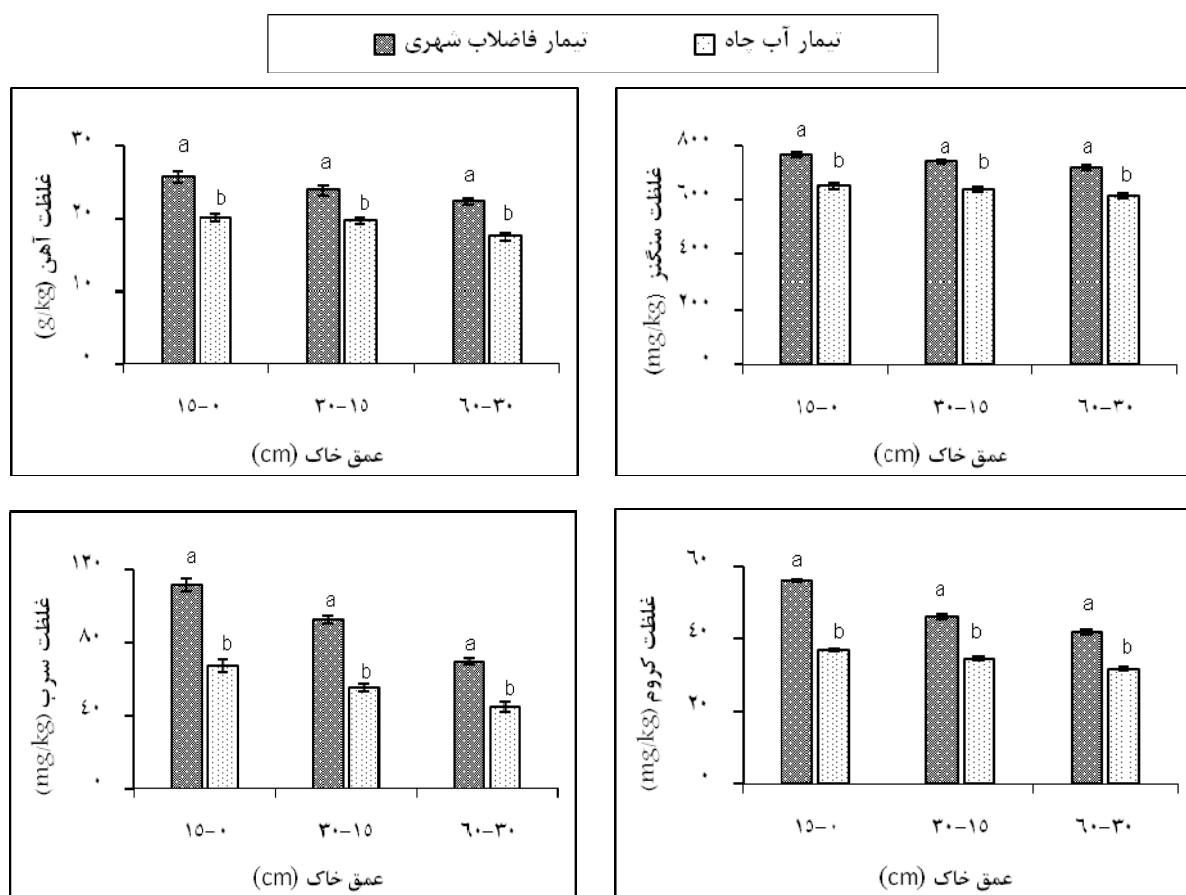
غلظت فلزات سنگین آهن، منگنز، کروم و سرب (فلز سنگین کادمیم در نمونه‌های خاک مشاهده نشد) در خاک توده آبیاری شده با فاضلاب شهری به طور معنی‌داری بیشتر از خاک توده آبیاری شده با آب چاه است (جدول ۳ و نمودار ۱). با توجه به مقادیر متوسط فلزات سنگین در خاک (EPA، ۳۹)، فقط مقدار سرب خاک هر دو توده از مقدار استاندارد ارایه شده بیشتر و غلظت سایر فلزات سنگین مورد مطالعه مطابق با مقادیر استاندارد ارایه شده در خاک می‌باشد (جدول ۳). با توجه به بالا بودن غلظت فلز سنگین سرب در تمام نمونه‌های آب و خاک، شاید بتوان پیش‌بینی کرد که این فلز سنگین علاوه بر فاضلاب شهری، احتمالاً از منبع دیگری (مثلاً آلودگی هوا) نیز وارد آب و خاک منطقه مورد مطالعه شده است.

غلظت بالای فلزات سنگین در فاضلاب همراه با استفاده طولانی مدت فاضلاب در آبیاری اراضی می‌تواند سبب

جدول ۳- مقایسه سطح فلزات سنگین خاک دو توده مورد مطالعه (عمق ۶۰-۰ سانتی متری) با استفاده از آزمون تی غیر جفتی

فلزات سنگین	خاک توده تحت تیمار فاضلاب شهری	خاک توده تحت تیمار آب چاه	t	df	P	مقدار متوسط در خاک (EPA)
آهن (gr/kg)	$^{a}23/43 \pm 0/30$	$^{b}18/43 \pm 0/55$	۱۶/۸۰	۶	**۰/۰۰۰	۵-۵۰
منگنز (mg/kg)	$^{a}740/83 \pm 8/71$	$^{b}628/80 \pm 10/76$	۱۶/۱۷	۶	**۰/۰۰۰	۲۰۰-۱۰۰۰۰
کروم (mg/kg)	$^{a}48/13 \pm 0/50$	$^{b}33/95 \pm 0/98$	۲۵/۴۹	۶	**۰/۰۰۰	۵۰۰
سرب (mg/kg)	$^{a}90/24 \pm 1/49$	$^{b}55/73 \pm 4/29$	۱۵/۱۶	۶	**۰/۰۰۰	۴۰
کادمیم (mg/kg)	nd	nd	--	--	--	----

ارزش‌های داخل جدول میانگین ۴ تکرار \pm انحراف معیار می‌باشد؛ حروف انگلیسی متفاوت در هر ردیف نشان دهنده تفاوت معنی‌دار بین میانگین گروه‌های مورد بررسی است؛ ** تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱؛ nd. مشاهده نشد.



همکاران (۲) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. غلظت کمتر فلزات سنگین در عمق‌های پایین‌تر خاک، به علت پویایی کم این فلزات و در نتیجه حرکت ضعیف آن‌ها به سمت لایه‌های پایینی خاک (۴۵) و آبیاری سطحی فاضلاب شهری می‌باشد. با توجه به این‌که بافت خاک هر دو توده لومی-رسی (بافت نیمه سنگین) است و از طرفی چون هر چه بافت خاک سنگین‌تر

بررسی تغییرات عمقی فلزات سنگین در پروفیل خاک در هر یک از دو توده مورد بررسی، نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار آماری است (جدول ۴)، به طوری که غلظت فلزات سنگین Fe، Mn، Cr و Pb خاک در هر دو توده، در لایه سطحی (۰-۱۵ سانتی متری) بیشتر از لایه‌های عمقی می‌باشد (نمودار ۲). در همین راستا Aghabarati و همکاران (۴۴) و Madejo'n و

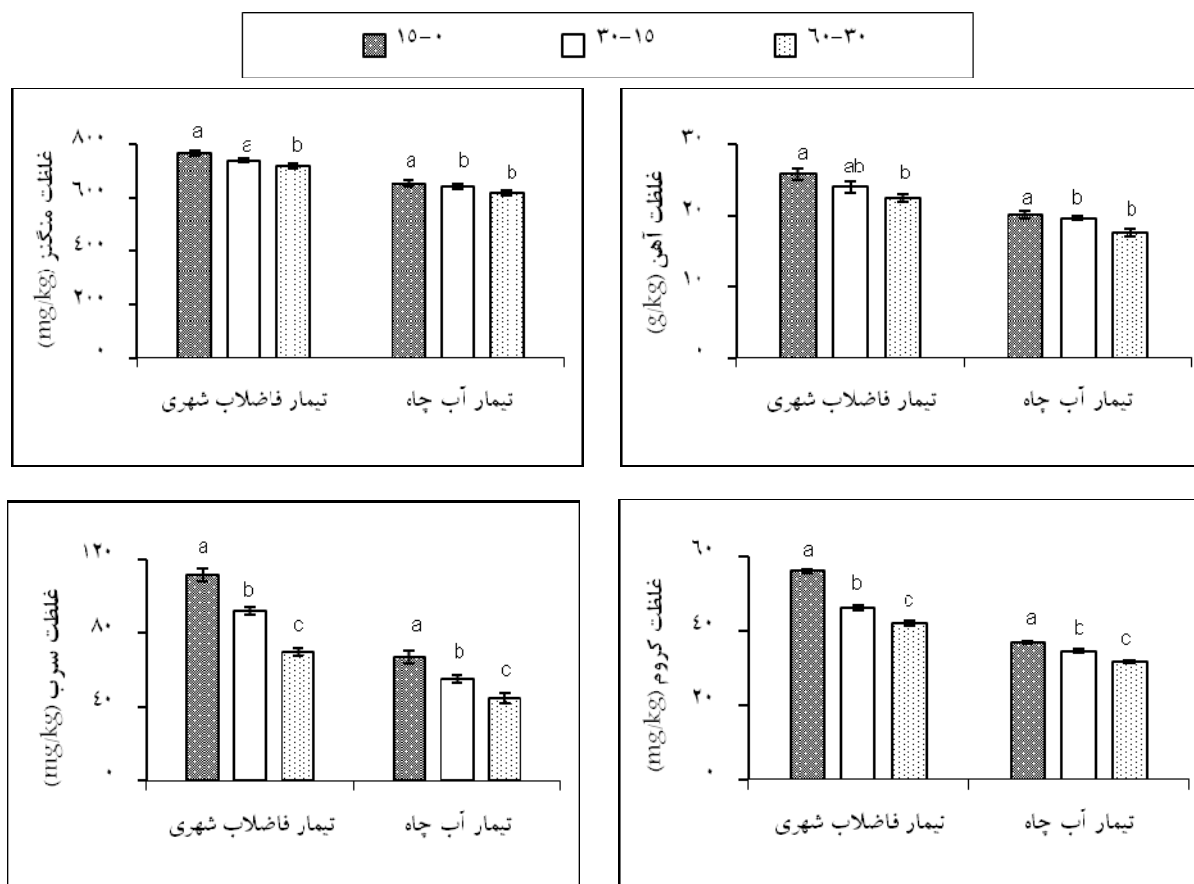
(Cu, Zn) توسط Bhati و Singh (۳۵) گزارش شده است که این روند معکوس می‌تواند به دلیل تفاوت در بافت خاک (بافت شنی) و درصد پایین کربن آلی خاک در مطالعه یاد شده باشد.

باشد میزان نفوذپذیری فلزات سنگین در خاک کاهش می‌یابد، احتمال انتقال فلزات سنگین به لایه‌های زیرین خاک کم و این فلزات بیشتر در لایه‌های بالایی خاک انباشته می‌شوند. با وجود این، روند معکوسی در مورد برخی از فلزات سنگین (Mn, Fe)،

جدول ۴- بررسی معنی داری اثر عمق در پروفیل خاک بر غلظت فلزات سنگین خاک دو توده تحت تیمار

فلزات سنگین	تیمار	F	df	P
آهن (Fe)	فاضلاب شهری	۹/۵۴	۲	**۰/۰۰۶
	آب چاه	۶/۰۴	۲	*۰/۰۲
منگنز (Mn)	فاضلاب شهری	۱۷/۸۱	۲	*۰/۰۱
	آب چاه	۲۲/۵۶	۲	**۰/۰۰۰
کروم (Cr)	فاضلاب شهری	۲۸/۷۲	۲	**۰/۰۰۰
	آب چاه	۲۴/۴۲	۲	**۰/۰۰۰
سرب (Pb)	فاضلاب شهری	۲۹/۲۸	۲	**۰/۰۰۰
	آب چاه	۱۵/۴۲	۲	**۰/۰۰۱

** تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱ * تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵



نمودار ۲- مقایسه تغییرات عمقی فلزات سنگین در خاک آبیاری شده با فاضلاب شهری و آب چاه با استفاده از آزمون دانکن (حروف انگلیسی متفاوت در هر تیمار نشان دهنده تفاوت معنی دار آماری بین میانگین گروه‌های مورد بررسی می‌باشد).

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

- application of sewage sludge. *Waste Management*, 28 (2): 347-358.
2. Madejo'n, P., Marañón, T., Murillo, J.M., 2006. Biomonitoring of trace elements in the leaves and fruits of wild olive and holm oak trees. *Science of the Total Environment*, 355: 187-203.
 3. Shereif, M.M., Easa El-S, M., El-Samra, M.I., Mancy, K.H., 1995. A demonstration of waste water treatment for reuse applications in fish production and irrigation in Suez. *Egypt. Water Science and Technology*, 32: 137-144.
 4. Anderson, J.M., 1996. Current water recycling initiatives in Australia: Scenarios for the 21st Century. *Water Science Technology*, 33: 37-43.
 5. Al-Jamal, M.S., Sammis, T.W., Mexal, J.G., Picchioni, G.A., Zachritz, W.H., 2000. A growth irrigation scheduling model for wastewater use in forest production. *Agricultural Water Management*, 56: 57-79.
 6. Karpiscak, M.M., Gerba, C.P., Watt, P.M., Foster, K.E., Falabi, J.A., 1996. Multi-species plant systems for wastewater quality improvement and habitat enhancement. *International association on water quality. Water Science and Technology*, 33: 231-236.
 7. Stewart, H.T.L., Hopmans, P., Flinn, D.W., Hillman, T.J., 1990. Nutrient accumulation in trees and soil following irrigation with municipal effluent in Australia. *Environmental Pollution*, 63: 155-177.
 8. Brar, M.S., Mahli, S.S., Singh, A.P., Arora, C.L., Gill, K.S., 2000. Sewer water irrigation effects on some
- در مطالعه حاضر، غلظت فلزات سنگین آهن (Fe)، منگنز (Mn)، سرب (Pb) و کروم (Cr) فاضلاب شهری بیش از حد مجاز برای آبیاری اراضی با توجه به استاندارد ارایه شده توسط WHO بود. کاربرد فاضلاب شهری به عنوان آب آبیاری افزایش pH، EC، ماده آلی و فلزات سنگین (Fe، Mn، Cr، Pb) خاک را به همراه داشت. مقایسه سطح فلزات سنگین مورد مطالعه با مقادیر استاندارد آن‌ها در خاک نشان داد که غلظت این فلزات به جز سرب به محدوده خطرناکی برای خاک نرسیده است. ولیکن با توجه به بالا بودن سطح فلزات سنگین در فاضلاب شهری در کل از یافته‌های تحقیق حاضر می‌توان جمع‌بندی کرد که استفاده طولانی مدت از فاضلاب شهری به عنوان آب آبیاری می‌تواند سبب تجمع و افزایش بیش از سطح مجاز فلزات سنگین در خاک و نهایتاً موجب تخریب محیط خاک و منابع آبی شود. بنابراین با توجه به ماهیت دوگانه فاضلاب شامل نقش مثبت آن به عنوان یک منبع تامین آب و نقش منفی آن به عنوان یک آلاینده، استفاده از آن در امر آبیاری باید بر پایه یک مدیریت صحیح، تطبیق خصوصیات فیزیکی- شیمیایی و حتی میکروبی آن با استانداردهای ارایه شده بین‌المللی و در نهایت براساس ویژگی‌های آب، خاک، گیاه و محیط هر محل صورت گیرد. در واقع: ۱- با ممانعت از ورود پساب‌های صنعتی حاوی فلزات سنگین و سمی به فاضلاب‌های شهری، ۲- انجام عمل پیش تصفیه روی فاضلاب قبل از ورود آن به منطقه جهت حذف بخش عمده‌ای از مواد جامد معلق در آن و ۳- کنترل و نظارت دقیق روی ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی فاضلاب مورد استفاده می‌توان از فاضلاب شهری جهت انجام پروژه‌های جنگل‌کاری و فضای سبز در حاشیه شهرها استفاده کرد. اما استفاده از فاضلاب خام و تصفیه نشده می‌تواند در درازمدت خطرات جدی در اکوسیستم ایجاد کند.
- منابع
1. Singh, R.P., Agrawal, M., 2008. Potential benefits and risks of land

- Chemistry of the Earth, 29: 1101-1108.
۱۵. تجریشی، م. ۱۳۷۷. نگرشی جدید و جامع به مشکل فاضلاب شهر تهران. آب و فاضلاب، شماره ۲۸، ص ۳۰-۳۷.
16. Kalavrouziotisa, I.K., Apostolopoulos, C.A., 2007. An integrated environmental plan for the reuse of treated waste water effluents from WWTP in urban areas. *Building and Environment*, 42: 1862-1868.
 17. Mapanda, F., Mangwayana, E.N., Nyamangara, J., Giller, K.E., 2005. The effect of long-term irrigation using waste water on heavy metal contents of soils under vegetables in Harare, Zimbabwe. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 107 (2-3): 151-165.
 18. Nan, Z.Li., Zhang, J., Cheng, G., 2002. Cadmium and zinc interaction and their transfer in soil-Crop system under actual field conditions. *Science of the Total Environment*, 285 (1-3): 187-195.
 19. Singh, K.P., Mohon, D., Sinha, S., Dalwani, R., 2004. Impact assessment of treated/untreated waste water toxicants discharge by sewage treatment plants on health, agricultural, and environmental quality in waste water disposal area. *Chemosphere*, 55: 227-255.
 20. Jayaraman, K., 2000. *A Statistical Manual for Forestry Research*. FORESPA Publication., 240 pp.
 21. Yadav, R.K., Goyal, B., Sharma, R.K., Dubey, S.K., Minhas, P.S., 2002. Post-irrigation impact of domestic sewage effluent on composition of soils, crops and ground water-A case study. potentially toxic trace elements in soil and Potato plants in Northwestern India. *Canadian Journal of Soil Science*, 80: 465-471.
 9. Tabari, M., Salehi, A., Ali-Arab, A.R., 2008. Effects of waste water application on heavy metals (Mn, Fe, Cr and Cd) contamination in a black locust stand in semi-arid zone of Iran. *Research Journal of Environmental Science*, 7 (4): 382-388.
 10. Rattan, R.K., Datta, S.P., Chhonkar, P.K., Suribabu, K., Singh, A.K., 2005. Long-term impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater-A case study. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 109: 310-322.
 11. Sharma, R.K., Agrawal, M., Marshall, F., 2007. Heavy metal contamination of soil and vegetables in suburban areas of Varanasi, India. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 66 (2): 258-266.
 12. Larchevêque, M., Ballini, C., Korboulewsky, N., Montès, N., 2006. The use of compost in afforestation of mediterranean areas: Effects on soil properties and young tree seedlings. *Science of the Total Environment*, 369: 220-230.
 13. Schat, H., Ten Bookum, W.M., 1992. Metal specificity of metal tolerance syndromes in higher plants. In: Proter, J.A., Baker, J.M., Reeves, R.D.(Eds.), *The Ecology of Ultramafic (serpentine) Oils*, Intercept Andover, MA, pp: 337-352.
 14. Emongor, V.E., Ramolemana, G.M., 2004. Treated sewage effluent (water) potential to be used for horticultural production in Botswana. *Physics and*

- trees. Waste Management, 27 (11): 1494-1500.
32. Lindaman, H.R., 1992. Analysis of variance in experimental Design. Springer-Verlag, New York.
33. Hach, C., 2002. Water Analysis Handbook, Loveland, Colorado, USA, 2002, pp. 61-62.
34. Ivan, F.S., Earl, E.A., 1972. Soil Limitations for Disposal of Municipal Wastewaters. Michigan State University Research Report, 195, 54.
35. Singh, G., Bhati, M., 2005. Growth of *Dalbergia sissoo* in desert regions of western India using municipal effluent and the subsequent changes in soil and plant chemistry. Bioresource Technology, 96 (9): 1019-1028.
36. Stewart, H.T.L., Allender, E., Sandell, P., Kube, P., 1986. Irrigation of tree plantations with recycled water-I. Research Developments and Case Studies. Australian Forest, 49 (2): 81-88.
37. Bhati, M., Singh, G., 2003. Growth and mineral accumulation in *Eucalyptus camaldulensis* seedlings irrigated with mixed industrial effluents. Bioresource Technology, 88 (3): 221-228.
38. Ramirez-Fuentes, E., Lucho-Constantino, C., Escamilla-Silva, E., Dendooven, L., 2002. Characteristics and carbon and nitrogen dynamics in soil irrigated with waste water for different lengths of time. Bioresource Technology, 85: 179-187.
39. EPA: www.EPA.org
۴۰. موحدیان، ح، بینا، ب. و وحید دستجردی، م. ۱۳۸۱. تاثیر استفاده از پساب تصفیه خانه فاضلاب شمال اصفهان بر تجمع فلزات سنگین سرب، نیکل و کادمیم Environment International, 28: 481-486.
۲۲. حبیبی کاسب، ح. ۱۳۷۱. مبانی خاکشناسی جنگل. انتشارات دانشگاه تهران، ۴۲۴ ص.
23. OMA, 1990. Official methods of analysis, 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia, USA.
24. Jackson, M.L., 1973. Soil chemical analysis. Prentice Hall of India Private Ltd, New Delhi.
25. Bouyoucos, G.J., 1965. Hydrometer method for making particle size analysis of soils. Agronomy Journal, 54: 464-465.
26. Hati, K.M., Biswas, A.K., Bandyopadhyay, K.K., Misra, A.K., 2007. Soil properties and crop yields on a vertisol in India with application of distillery effluent. Soil & Tillage Research, 92 (1-2): 60-68.
27. Nelson, D.W., Sommers, L.E., 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Bigham, J.M. (Ed.), Methods of Soil Analysis: Part 3. Chemical Methods. SSSA, Madison, pp: 961-1010.
۲۸. زرین کفش، م. ۱۳۷۲. حاصلخیزی خاک و تولید. انتشارات دانشگاه تهران. ۳۲۰ ص.
29. Olsen, S.R., Cola, C.V., Watanabe, F.S., Dean, L.A., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate, In: USDA Circ. 939, USDA, Washington, DC.
30. Bremner, J.M., 1996. Nitrogen-total. In: Bigham, J.M. (Ed.), Methods of Soil Analysis: Part 3. Chemical Methods. SSSA, pp. 1085-1121.
31. Gasco, G., Lobo, M.C., 2007. Composition of Spanish sewage sludge and effects on treated soil and olive

- with treated urban effluent in Australia. *Environmental Pollution*, 94 (3): 317-323.
44. Aghabarati, A., Hosseini, S.M., Maralian, H., 2008. Heavy metal contamination of soil and olive trees (*Olea europaea* L.) in suburban areas of Tehran, Iran. *Research Journal of Environmental Science*, 2(5): 323-329.
۴۵. افیونی، م.، رضایی نژاد، ی. و خیامباشی، ب. ۱۳۷۷. اثر لجن فاضلاب بر عملکرد و جذب فلزات سنگین به وسیله کاهو و اسفناج. *علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، شماره اول، ص ۳۰-۱۹.
- در خاک و محصولات آبیاری شده با آن. پژوهش در علوم پزشکی، شماره ۲، ص ۱۱۷-۱۲۲.
41. Toze, S., 2006. Reuse of effluent water-benefits and risks. *Agricultural water Management*, 80: 147-159.
۴۲. هودجی، م. و جلالیان، ا. ۱۳۸۳. پراکنش آهن، روی و سرب در خاک و محصولات کشاورزی در منطقه استقرار مجتمع فولاد مبارکه. *محیط شناسی*. شماره ۳۶، ص ۱۵-۲۶.
43. Smith, C.J., Hopmans, P., Cook, F.J., 1996. Accumulation of Cr, Pb, Cu, Ni, Zn and Cd in soil following irrigation