نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد چهارم، شماره سوم، ۱۳۹۳
http://ejsms.gau.ac.ir

تأثیر درازمدت روش‌های مختلف آبیاری درختان با پساب بر تجمع فلزات سنگین در خاک

سیدحسن طباطبائی[۱]، پیام نجفی[۲] و *هاجر طاهری‌سودجانی[۳]

[۱]دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد، [۲]دانشیار گروه مهندسی خاک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خوراسگان، [۳]دانشجوی دکتری گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ دریافت: ۹۲/٤/۲۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۹/۵

چکیده

نیاز روزافزون به منابع آب در مناطق مختلف جهان، استفاده از پساب‌ها را ضروری می‌سازد. هنگام استفاده از پساب‌ها باید به سلامت خاک توجه شود. در این پژوهش که طی سال‌های ۸۵-۱۳۸۲ در محدوده فضای سبز شرکت سهامی ذوب‌آهن اصفهان انجام گرفت، تأثیر آبیاری با پساب شهری و صنعتی به‌مدت ۳ سال بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک با استفاده از ۵ روش آبیاری مختلف یعنی آبیاری سطحی (FI)، آبیاری قطره‌ای سطحی (SDI)، آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در عمق ۳۰ سانتی‌متر ($SDI_{۳۰}$)، آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در عمق ٦۰ سانتی‌متر ($SDI_{٦۰}$) و روش آبیاری بابلر (BI) بررسی شد. نمونه‌های خاک از عمق‌های ۳۰-۰، ٦۰-۳۰ و ۹۰-٦۰ سانتی‌متر به‌منظور اندازه‌گیری فلزات سنگین جمع‌آوری شد. غلظت کل فلزات سنگین سرب (Pb)، کادمیوم (Cd)، کروم (Cr)، نیکل (Ni)، مس (Cu)، روی (Zn)، منگنز (Mn) در نمونه‌های خاک با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد غلظت فلزات سنگین در پساب شهری و صنعتی در طول مدت آزمایش در محدوده مجاز قرار داشت. فلزات سنگین خاک حداقل در طول دوره پژوهش عامل محدودکننده نبود و همچنین غلظت فلزات سنگین در محل تزریق پساب بیش‌تر بوده و در مجموع تیمار $SDI_{٦۰}$ بیش‌ترین و تیمار BI کم‌ترین میزان فلزات سنگین را داشتند.

واژه‌های کلیدی: پساب شهری، پساب صنعتی، خاک، روش آبیاری، فلزات سنگین

* مسئول مکاتبه: hajar_taheri2001@yahoo.com

مقدمه

استفاده از پساب‌ها در کشاورزی به‌عنوان منبعی سرشار از عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، به‌طور گسترده در مناطقی که با کمبود آب شیرین مواجه هستند، پذیرفته شده است (ناداو و همکاران، ٢٠١٢). پساب‌های شهری و صنعتی می‌توانند برای آبیاری پارک‌های شهری و مناطق جنگلی حاشیه شهرها مورد استفاده قرار گیرند (آل‌جمال و همکاران، ٢٠٠٠) و ضمن کمک به حفاظت محیط زیست سبب بازسازی مناظر شهری شوند (پدرو، ٢٠١١). هنگام کاربرد پساب در مصارفی مانند آبیاری باید به سلامت خاک و گیاه توجه شود (لارینسون و همکاران، ٢٠١١). در ارتباط با اثر پساب بر ویژگی‌های خاک پژوهش‌های زیادی صورت گرفته است. فلزات سنگین موجود در پساب‌ها بیش‌تر ناشی از ورود پساب‌های کارخانجات صنعتی مختلف می‌باشد. بررسی ورود فلزات سنگین به خاک از نظر تجمع سمی در خاک، جذب توسط گیاهان و آلودگی‌های آب‌های زیرزمینی دارای اهمیت است. این عناصر به‌دنبال تجزیه مواد آلی پساب یا لجن پساب، آزاد شده و به‌علت حرکت کند در خاک و محدودیت جذب آن‌ها توسط گیاه در لایه‌های سطحی خاک تجمع می‌یابند (شووال، ١٩٨٦). استریک و ریشتر (١٩٩٧) گزارش کردند که حرکت فلزات سنگین در خاک آبیاری شده با پساب بسیار کند بوده و بیش از ٩٠ درصد کادمیوم، نیکل و سرب در عمق ١٥-١٠ سانتی‌متری خاک تجمع یافته‌اند. سینگ و همکاران (٢٠٠٩) گزارش کردند آبیاری با پساب شهری بر مقدار تجمع فلزات سنگین در خاک تأثیرگذار است. نفوذ پساب شهری در خاک باعث افزایش غلظت کل و قابل استفاده فلزات سنگین می‌شود با توجه به این‌که پساب‌ها دارای نمک‌ها و فلزات سنگین بیش‌تری از منابع مرسوم مانند رودخانه‌ها، سفره‌های آبی و حوضه‌های آبخیز هستند، بنابراین ممکن است اثرات نامطلوبی بر خاک داشته باشد (لارینسون و همکاران، ٢٠١١). طبری و صالحی (٢٠١١) گزارش کردند که آبیاری با پساب شهری میزان فلزات سنگین خاک را تا ١/٥ برابر افزایش داد که میزان این افزایش در سطح خاک بیش‌تر از لایه‌های زیرین بود.

وقتی منبع آب آبیاری، پساب فاضلاب باشد، آن‌گاه نگرانی‌هایی از بابت آلودگی محصولات برداشتی، تماس کارگران مزارع با عوامل بیماری‌زا و تنش‌های زیست‌محیطی در سطح مزرعه وجود دارد. در این شرایط توجه به روش‌های آبیاری در کنار در نظر گرفتن استانداردهای زیست‌محیطی بسیار دارای اهمیت است (نجفی و همکاران، ٢٠٠٥؛ کاپرا و اسکیلون، ٢٠٠٤؛ کوادیر و همکاران، ٢٠١٠). هنگام استفاده از آبیاری قطره‌ای (DI) و به‌طور عمده آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (SDI) هیچ تماسی بین کارگران و قسمت‌های بالای گیاه با پساب وجود ندارد، بنابراین مشکلات کم‌تری برای

سلامت محصول و کارگران در این زمینه ایجاد خواهد شد (ارون و همکاران، ۱۹۹۹؛ نجفی، ۲۰۰۵؛ کوادیر و همکاران، ۲۰۱۰). کاپرا و سیکولون (۲۰۰۷) بیان کردند استفاده دوباره از پساب به روش آبیاری قطره‌ای مؤثرترین و کارآمدترین راه برای مقابله با کمبود آب برای محصولات کشاورزی و مقابله با آلودگی محیط زیست می‌باشد. عابدی‌کوپایی و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که اثر دو روش آبیاری سطحی و بارانی بر افزایش میزان فلزات سنگین در خاک معنی‌دار نبود.

با توجه به این‌که استفاده از پساب‌ها در زمین‌های کشاورزی در نزدیکی تصفیه‌خانه‌ها رواج یافته است اما اطلاعات کمی در ایران در ارتباط با اثر آلودگی فلزات سنگین در خاک در عرصه‌های جنگل‌کاری و همچنین اثر سیستم‌های مختلف آبیاری با پساب بر روی تجمع فلزات سنگین در خاک در دسترس است؛ بنابراین این پژوهش با هدف بررسی اثر روش‌های مختلف آبیاری با پساب شهری و صنعتی مجموعه کارخانه ذوب آهن اصفهان بر تجمع فلزات سنگین در خاک صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش طی سال‌های ۸۵-۱۳۸۲ در محدوده فضای سبز ذوب‌آهن اصفهان به مختصات جغرافیایی، طول ٤٨ درجه و ١٥ دقیقه و عرض ۳۰ درجه و ۲۲ دقیقه انجام گرفت. اراضی به‌نحوی انتخاب شد که به خط لوله فاضلاب صنعتی و همچنین به خط لوله انتقال پساب شهری ذوب‌آهن اصفهان دسترسی داشته باشد. به این منظور دو قطعه زمین هر یک به وسعت ٦٨٤٠ مترمربع، انتخاب شد. زمین مورد مطالعه پیش از این تحت کشت و آبیاری نبوده است. ویژگی‌های خاک و پساب استفاده شده به‌ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ آمده است.

بافت خاک به روش هیدرومتر، قابلیت هدایت الکتریکی توسط هدایت‌سنج، pH در عصاره اشباع و با استفاده از pH متر (متر اهم مدل ٢٦٢ تمام خودکار)، کربنات کلسیم معادل با روش تیتراسیون، کلسیم و منیزیم خاک با استفاده از تیتراسیون با EDTA، سدیم توسط فلیم‌فتومتر و غلظت کل فلزات سنگین سرب، کادمیوم، کروم، مس، منگنز، آهن با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند (پیج، ۱۹۸۲).

شوری پساب توسط هدایت‌سنج، pH توسط pH متر (متر اهم مدل ٢٦٢ تمام خودکار)، کل ذرات معلق به روش فیلتر و کاغذ صافی، کلسیم و منیزیم با استفاده از تیتراسیون با EDTA، سدیم توسط فلیم‌فتومتر، فسفر توسط روش اولسن، پتاسیم توسط جانشینی پتاسیم توسط آمونیوم، سدیم با فلیم‌فتومتر، کربنات و بیکربنات با تیتراسیون با اسیدکلریدریک، کلر با روش تیتراسیون و نیترات، آمونیاک، نیتریت با دستگاه کجدال اندازه‌گیری شدند (پیج، ۱۹۸۲).

جدول ١- ویژگی‌های خاک تا عمق ٩٠ سانتی‌متر.

عمق (سانتی‌متر)	بافت خاک	EC (دسی‌زیمنس بر متر)	SAR	pH	$CaCO_3$ (میلی‌گرم بر لیتر)	Pb (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	Cd (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	Cr (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	Cu (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	Zn (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	Mn (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	Fe (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
٠-٣٠	SCL	٠/١	١/٢٥	٧/٩	٥١	٣/٩	٠/٠٢	٠/٠١	٠/٥	٠/٤	١٢	٣/٠٤
٣٠-٦٠	SCL	٠/٢	٢/٧٥	٨/١	٤٦	٣/٥	٠/٠٢	٠/٠٢	٠/٤	٠/٢٥	٩	٢/٠٤
٦٠-٩٠	SCL	٠/٣	١/٧٥	٧/٧	٦٥	٢	٠/٠٢	٠/٠٥	٠/٣٥	٠/٤	٨/٩	٢/٠٤

جدول ۲- میانگین ویژگی‌های پساب در طول مدت آزمایش.

واحد	EC	pH	TSS	SAR_{adj}	SI	SAR_{iw}	Na	Ca	Mg
	(دسی‌زیمنس بر متر)	–	میلی‌گرم بر لیتر		–		میلی‌اکی‌والان بر لیتر		
شهری	۲/۲	۸/۱	۱٦٤	۱٦/۱	۱/۲	۷/۳	۱۰/۳	۲/۷	۱/۳
صنعتی	۲	۸/۲	۲٤	۱٦/۰	۱/۲	۷/۳	۱٦/۰	٦/٤	۳/۲

ادامه جدول ۲- میانگین ویژگی‌های پساب در طول مدت آزمایش.

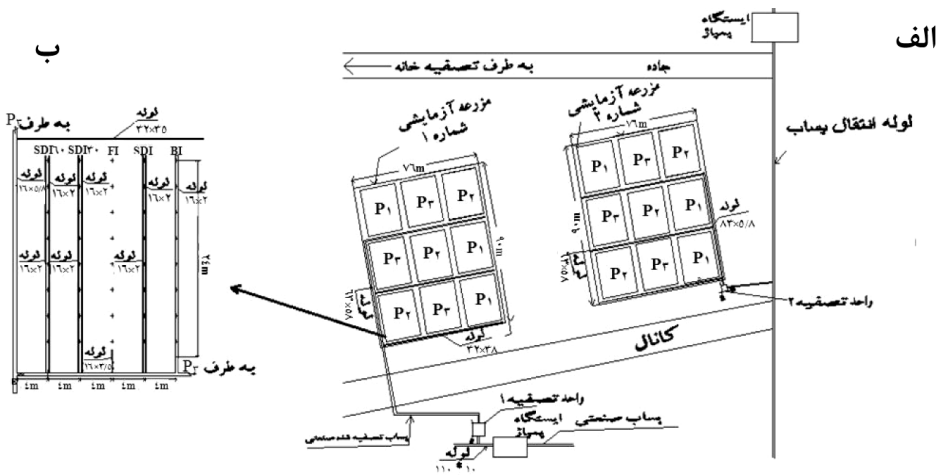
واحد	SO_4^{-2}	CO_3^{-2}	HCO_3^-	Cl^-	$N\text{-}NO_3$	$N\text{-}NH_3$	Norg	$N\text{-}NO_2$
	میلی‌اکی‌والان بر لیتر				میلی‌گرم بر لیتر	میلی‌گرم بر کیلوگرم	میلی‌گرم بر لیتر	
شهری	۳/۱	۰/٤	٤/٦	۷/۳	۱۳/۳	٤/۷	۲۹/۵	۰/۸
صنعتی	۱٦/٦	۰	۲/۲	۱۲/۳	٤/۲	۵/٦	۸/۵	۰/۰۰۱

به‌منظور آماده‌سازی زمین ابتدا علف‌های هرز در محوطه تحت مطالعه حذف شد. براساس نقشه طراحی (شکل ۱)، فاضلاب صنعتی پس از پمپاژ توسط پمپ خانه مرکزی به‌وسیله یک انشعاب با لوله ۱۱۰ میلی‌متر به واحد تصفیه SDI انتقال و از آن‌جا به‌وسیله یک خط لوله ٦۳ میلی‌متر به قطعه زمین انتخابی منتقل شد. پساب شهری نیز از طریق یک لوله ۱۱۰ میلی‌متر به واحد تصفیه SDI طراحی شده در ضلع جنوبی قطعه زمین انتقال یافت و سپس به‌وسیله یک لوله ٦۳ میلی‌متر به قطعه انتخابی انتقال داده شد (شکل ۱).

برای دست‌یابی به اهداف این پژوهش، یک طرح اسپلیت اسپلیت پلات (Split-Split-Plot design) در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی طراحی گردید. تیمارهای آبیاری شامل آبیاری جویچه‌ای (FI)، آبیاری قطره‌ای سطحی (SDI)، آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در عمق ۳۰ سانتی‌متر ($SDI_{۳۰}$)، آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در عمق ٦۰ سانتی‌متر ($SDI_{٦۰}$) و آبیاری بابلر (BI) بودند. همه تیمارهای بالا در قطعات مجزا برای پساب شهری و صنعتی تکرار گردید. برای هر قطعه ۵ تیمار که با ۹ تکرار، ۳٦۰ عدد درخت و در مجموع ۷۲۰ درخت برای دو قطعه منظور شد.

برای اجرای خطوط لوله اصلی (لوله‌های ٦۳ میلی‌متر و ۳۲ میلی‌متر) ترانشه‌هایی به عمق ۵۰ سانتی‌متر حفر گردید و لوله‌ها نصب گردیدند. همچنین برای تیمارهای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به عمق‌های ۳۰ و ٦۰ سانتی‌متر ترانشه‌هایی حفر گردید و لوله‌های فرعی (Lateral) با

قطر ١٦ میلی‌متر به فاصله ٥٠ سانتی‌متر از یکدیگر و در هر خط به فاصله هر ٣ متر یک قطره‌چکان منظور شد. به این ترتیب برای هر درخت ٢ دیریپر با دبی ٤ لیتر در ساعت به فاصله ٥٠ سانتی‌متر از یکدیگر نصب گردید که متناسب با تیمار در نظر گرفته در عمق خاک نصب گردیدند. برای تیمار آبیاری بابلر برای هر درخت یک عدد بابلر پایه کوتاه با دبی حداکثر ٨ لیتر در ساعت منظور شد. علاوه بر این تیمار آبیاری جویچه‌ای به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد که از طریق یک عدد شیر در ابتدای هر ردیف آبیاری انجام شد. به‌منظور جلوگیری از گرفتگی دیریپرهای داخل خط زیرسطحی به شعاع ٥ سانتی‌متر فیلتر شنی منظور شد (شکل ١). همچنین برای خطوط اصلی لوله‌ها نیز تا عمق ٦٠ سانتی‌متر ترانشه‌کشی انجام شد.



شکل ١- الف) پلان عمومی محل اجرای طرح و ب) شماتیک نحوه آرایش لوله‌ها در قطعه $P_٢$ در شکل فوق $P_١$ درخت کاج، $P_٢$ درخت سرو نقره‌ای، $P_٣$ درخت انگور می‌باشد.

مطابق قطعات نام‌برده برای هر یک از درختان به عمق ٨٠ و شعاع ٦٠ سانتی‌متر گودبرداری انجام شد. همه نهال‌ها (نهال‌های دوساله کاج و سرو نقره‌ای و انگور) از گلخانه به مزرعه انتقال یافت و در محل‌های طراحی شده کشت گردید. پس از کاشت نهال‌ها، به‌منظور استقرار گیاهان و همچنین مشخص شدن میزان نشست خاک، اولین آبیاری به‌صورت سطحی انجام شد.

در ابتدای دوره رشد گیاهان از خاک اولیه در نقاط مختلف نمونه‌برداری شد. همچنین در پایان طرح (۳ سال بعد) از محل تیمارها تا عمق ۹۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری انجام شد. تعداد ۷۲۰ نمونه برداشت شد و نمونه‌های خاک هوا خشک، کوبیده و در الک ۲ میلی‌متری بر طبق روش استاندارد عبور داده، مخلوط گردیده و برای تجزیه شیمیایی آماده گردید (کلوت، ۱۹۸٦).

غلظت کل فلزات سنگین سرب، نیکل، کادمیوم، روی، کروم و منگنز در عصاره خاک با استفاده از دستگاه جذب اتمی و استفاده از استانداردهای تهیه شده تعیین و بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک خاک محاسبه و گزارش گردید (پیج، ۱۹۸۲).

برای تجزیه و تحلیل و پردازش داده‌ها از برنامه آماری SPSS استفاده گردید. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

بررسی میزان فلزات سنگین در پساب شهری و صنعتی غیر سمی ذوب‌آهن اصفهان: در جدول ۳ مقادیر فلزات سنگین در پساب شهری و صنعتی به همراه استاندارد Rowe (رائو و عبدالمجید، ۱۹۹۵) نشان داده شده است. با توجه به جدول غلظت همه فلزات سنگین به غیر از عنصر کادمیوم در پساب صنعتی در محدوده مجاز قرار دارد البته مقادیر منگنز و آهن در خاک پساب صنعتی بیش‌تر از پساب شهری است که با توجه به فقیر بودن خاک‌های این منطقه می‌تواند سبب تقویت این خاک‌ها شود.

جدول ۳- غلظت فلزات سنگین در پساب شهری و صنعتی غیرسمی ذوب‌آهن اصفهان بر حسب میلی‌گرم بر لیتر.

پارامتر	پساب شهری		پساب صنعتی		استاندارد Rowe (رائو و عبدالمجید، ۱۹۹۵)
	میانگین	دامنه تغییرات	میانگین	دامنه تغییرات	
Fe	ne	ne	۰/۰٤	۰/۰۱-۰/۰٦	۵
Mn	۰/۱۱	۰/۰۳-۰/۱٦	۰/۱	۰/۰۳-۰/۱۱	۰/۲
Cu	ne	ne	ne	ne	۰/۲
Zn	ne	ne	ne	ne	۰/۲
Cr	۰/۰۲	۰/۰۱-۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۱-۰/۰۳	۰/۱
Pb	۰/٤	۰/۲-۰/٦	۰/٤۱	۰/۱۷-۰/٦٦	۵
Cd	۰/۰۱	۰/۰۱-۰/۰۱	۰/۰۱۵	۰/۰۱-۰/۰۲	۰/۰۱

ne: غیرقابل قرائت در محدوده اندازه‌گیری دستگاه.

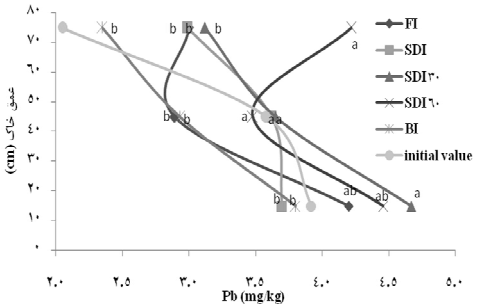
تغییرات سرب در خاک: حد معمول سرب در خاک بین ٢٠٠-٢ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (پدررو، ٢٠١١). با توجه به شکل‌های ٢ و ٣ اعمال تیمارها باعث افزایش سرب به‌ویژه در خاک سطحی شد اما این افزایش از مقادیر آستانه بسیار کم‌تر است. براساس شکل ٢ در لایه سطحی بیش‌ترین مقدار سرب در تیمار SDI_{30} مشاهده شد که با SDI و BI اختلاف معنی‌دار داشت. در لایه ٣٠ تا ٦٠ بیش‌ترین میزان سرب در تیمارهای SDI، SDI_{30} و SDI_{60} مشاهده شد و در لایه آخر، بیش‌ترین مقدار با اختلاف معنی‌دار در سطح ٥ درصد در SDI_{60} مشاهده شد. در تیمارهای آبیاری پایلوت صنعتی BI در لایه اول با اختلاف معنی‌دار با تیمارهای SDI و SDI_{60} بیش‌ترین میزان سرب را داشته در حالی‌که در لایه ٦٠-٣٠ سانتی‌متر SDI_{60} با اختلاف معنی‌دار با سایر تیمارها دارای بیش‌ترین مقدار سرب است. فلور و همکاران (١٩٧٧) گزارش کردند که در خاک‌های آبیاری شده با پساب مقادیر قابل‌توجهی از فلزات سنگین در این خاک‌ها، مربوط به استفاده از فاضلاب‌های صنعتی می‌باشد که بیش‌ترین تجمع فلزات در لایه‌های سطحی خاک صورت می‌گیرد. پدررو (٢٠٠٩) با کاربرد پساب به‌مدت یک‌سال برای آبیاری درختان مرکبات افزایش غیرمعنی‌دار در میزان سرب خاک را گزارش داد.

تغییرات کادمیوم در خاک: حد معمول کادمیوم در خاک بین ٧-٠/٠١ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (پدررو، ٢٠١١). در شکل‌های ٤ و ٥ میزان کادمیوم قابل‌جذب موجود در خاک پایلوت‌ها قبل و بعد از اعمال تیمارها را نشان داده شد. براساس این شکل اولاً اعمال تیمارها باعث افزایش کادمیوم شده است اما این افزایش با مقادیر آستانه مجاز بسیار فاصله داشت. بررسی آماری و مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ٥ درصد میان تیمارها وجود نداشت. در مجموع در هر دو پایلوت مورد مطالعه میزان کادمیوم در روش آبیاری FI و BI کم‌تر از روش آبیاری قطره‌ای بود اما اختلاف معنی‌دار نشد. عابدی‌کوپایی و همکاران (٢٠٠٦) گزارش کردند که کاربرد پساب برای آبیاری باعث افزایش میزان کادمیوم خاک شد اما این افزایش معنی‌دار نبود. پدررو (٢٠٠٩) با کاربرد پساب به‌مدت یک‌سال برای آبیاری درختان مرکبات کاهش کادمیوم خاک را گزارش کرد. طبری و صالحی (٢٠١١) بر اثر کاربرد پساب شهری تغییری در میزان کادمیوم خاک گزارش نکردند.

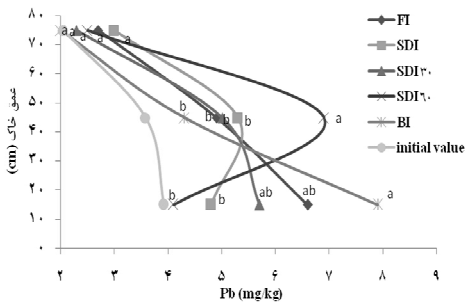
تغییرات کروم در خاک: براساس شکل‌های ٦ و ٧ اعمال تیمارهای مورد مطالعه باعث افزایش کروم در خاک شد. میزان مجاز کروم ٥-٠ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (پدررو، ٢٠١١). با توجه به شکل‌ها

مقادیر کروم در پایلوت‌ها بسیار کم‌تر از سطوح مجاز توصیه شده در خاک است. همچنین مقادیر موجود در دو پایلوت شهری و صنعتی تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند. براساس شکل ٦ در دو لایه اول بین مقادیر ٥ تیمار اختلاف معنی‌دار وجود نداشت ولی همین بررسی در لایه ٩٠-٦٠ سانتی‌متر اختلاف معنی‌دار بین $SDI_{٦٠}$ با سایر تیمارها نشان داد که علت این امر را می‌توان به محل تزریق پساب نسبت داد. ولی از آن‌جایی‌که این مقادیر از ٠/١ نیز کم‌تر است، اختلاف‌های هر چند معنی‌دار است ولی قابل صرف‌نظر کردن است. براساس شکل ٧ در پایلوت صنعتی بین تیمارها اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. به‌علاوه تغییرات در خاک روند مشخصی را نشان نمی‌دهد. به‌طور میانگین میزان جذب کروم در خاک نسبت به ابتدای دوره در عمق ٣٠-٠، ٦٠-٣٠ و ٩٠-٦٠ به‌ترتیب ٤٧٧، ١٧٣ و ٨ درصد افزایش داشته است. پدررو (٢٠٠٩) با کاربرد پساب به‌مدت یک‌سال برای آبیاری درختان مرکبات افزایش کروم خاک را گزارش کرد. طبری و صالحی (١٣٩٠) نیز در اثر کاربرد پساب شهری افزایش کروم خاک به‌خصوص در لایه سطحی را گزارش کردند.

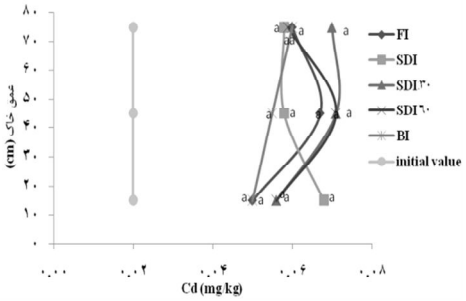
تغییرات نیکل در خاک: میزان مجاز نیکل در خاک ١٠-٠ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (پدررو، ٢٠١١). با توجه به شکل‌های ٨ و ٩ مقادیر نیکل در پایلوت‌ها بسیار کم‌تر از سطوح مجاز توصیه شده در خاک است. همچنین مقادیر نیکل موجود در دو پایلوت شهری و صنعتی تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند. براساس شکل ٨ در لایه اول بین مقادیر ٥ تیمار اختلاف قابل‌توجهی وجود نداشت. ولی همین بررسی در لایه ٦٠-٣٠ سانتی‌متر اختلاف معنی‌دار بین $SDI_{٦٠}$ با تیمارهای BI و FI نشان داد. همچنین در لایه ٩٠-٦٠ سانتی‌متر BI کم‌ترین مقدار را نشان داده است و از نظر مقایسه میانگین‌ها با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار دارد. با توجه به شکل ٩ در لایه سطحی پایلوت صنعتی بین تیمارهای آبیاری اختلاف معنی‌دار وجود نداشت ولی در لایه ٦٠-٣٠ سانتی‌متر تیمارهای $SDI_{٦٠}$ و BI با اختلاف معنی‌دار کم‌ترین مقدار را دارند که با توجه به قرار گرفتن قطره‌چکان در عمق ٦٠ سانتی‌متری در تیمار $SDI_{٦٠}$ و حرکت عمقی کم در BI قابل توجیه است. عابدی‌کوپایی و همکاران (٢٠٠٦) گزارش کردند که کاربرد پساب برای آبیاری باعث افزایش میزان نیکل خاک شد اما این افزایش معنی‌دار نبود. پدررو (٢٠٠٩) با کاربرد پساب به‌مدت یک‌سال برای آبیاری درختان مرکبات کاهش میزان نیکل خاک را گزارش کرد اما این تغییر معنی‌دار نبود.



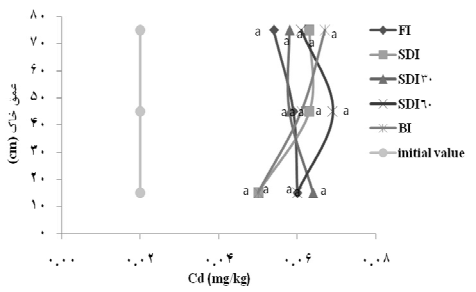
شکل ٢- مقایسه میزان سرب موجود در خاک تیمارهای آبیاری پایلوت شهری.



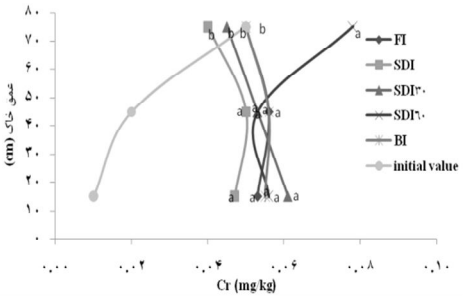
شکل ٣- مقایسه میزان سرب موجود در خاک تیمارهای آبیاری پایلوت‌صنعتی.



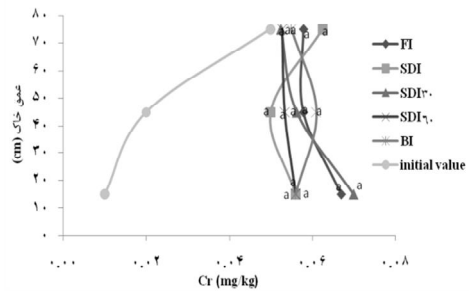
شکل ٤- مقایسه میزان کادمیوم موجود در خاک تیمارهای آبیاری پایلوت شهری.



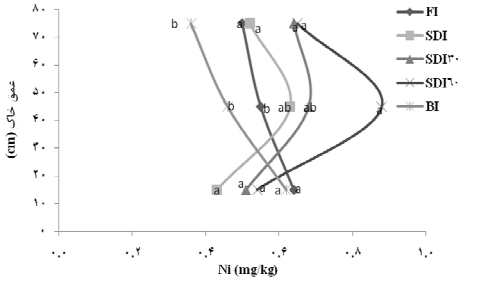
شکل ٥- مقایسه میزان کادمیوم موجود در خاک تیمارهای آبیاری پایلوت صنعتی.



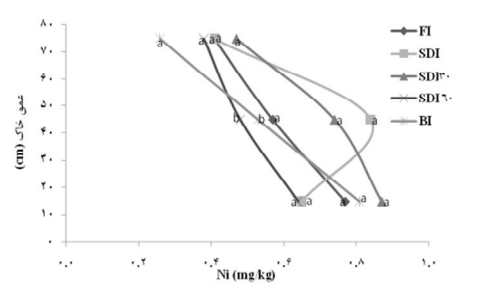
شکل ٦- مقایسه میزان کروم موجود در خاک تیمارهای آبیاری پایلوت شهری.



شکل ٧- مقایسه میزان کروم موجود در خاک تیمارهای آبیاری پایلوت صنعتی.



شکل ۸- مقایسه میزان نیکل موجود در خاک تیمارهای آبیاری پایلوت شهری.



شکل ۹- مقایسه میزان نیکل موجود در خاک تیمارهای آبیاری پایلوت صنعتی.

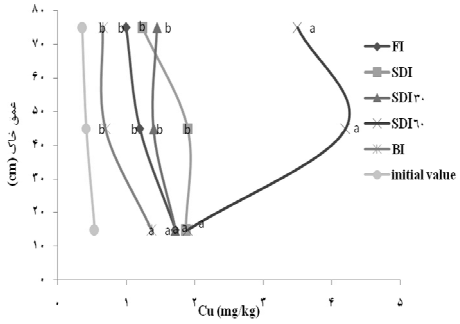
FI: آبیاری جویچه‌ای، SDI: آبیاری قطره‌ای سطحی، $SDI_{۳۰}$: آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در عمق ۳۰ سانتی‌متر، $SDI_{۶۰}$: آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در عمق ۶۰ سانتی‌متر و BI: آبیاری بابلر.

تغییرات مس در خاک: میزان مجاز مس ۱۰-۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (پدررو، ۲۰۱۱). نتایج آنالیز خاک نشان داد که میزان مس قابل‌جذب با مقادیر اولیه خاک تفاوت قابل‌توجهی داشت. این تفاوت در لایه سطحی به‌شدت بیش‌تری نمود داشت. در پایلوت صنعتی میزان مس لایه سطحی به‌طور متوسط در حدود ۲ برابر این مقدار در پایلوت شهری است. در لایه ۶۰-۳۰ سانتی‌متر با مقادیر کم‌تری همین روند تداوم یافته است. در لایه ۹۰-۶۰ سانتی‌متر مقدار این پارامتر در پایلوت صنعتی به‌شدت نسبت به دو لایه قبلی کاهش یافته و به مقادیر اولیه نزدیک شد که این پدیده نشان می‌دهد در این پایلوت Cu تا لایه سوم حرکت نداشته است. در مورد پایلوت شهری تغییرات در ۳ لایه تقریباً ثابت است و در هر ۳ لایه اختلاف با خاک اولیه زیاد است. ولی در هر صورت این مقادیر در هر دو پایلوت، پایین‌تر از حد مجاز و حتی پایین‌تر از حدود معمول آن در خاک است (شکل‌های ۱۰ و ۱۱). در هر دو پایلوت در لایه سطحی بین تیمارهای آبیاری اختلاف معنی‌دار وجود ندارد ولی در لایه ۶۰-۳۰ سانتی‌متر تیمارهای $SDI_{۶۰}$ بیش‌ترین و BI و FI با اختلاف معنی‌دار کم‌ترین مقدار مس را داشته‌اند که با توجه به قرار گرفتن قطره‌چکان در عمق ۶۰ سانتی‌متری در تیمار $SDI_{۶۰}$ و حرکت عمقی کم در BI قابل توجیه است. عابدی‌کوپایی و همکاران (۲۰۰۶) و صابر (۱۹۸۶) گزارش کردند که کاربرد پساب برای آبیاری سطحی میزان مس خاک شد اما این افزایش معنی‌دار نبود و همچنین بیان کردند که توزیع مس در خاک یکنواخت می‌باشد.

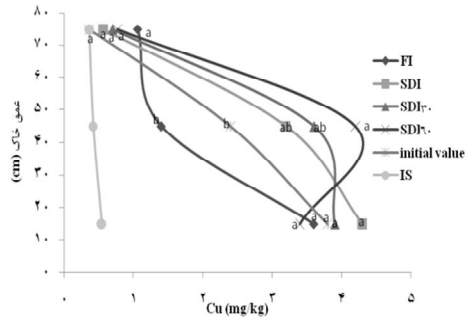
روی (Zn): میزان روی مجاز در خاک ۲۰-۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (پدررو، ۲۰۱۱). در مورد عنصر روی نیز هر چند که میزان روی موجود در پساب شهری و صنعتی در نمونه‌های برداشت شده ناچیز مشاهده شد ولی نتایج آنالیز خاک نشان داد که میزان روی قابل‌جذب با مقادیر اولیه خاک تفاوت قابل‌توجهی داشت. این تفاوت در لایه سطحی به‌شدت بیش‌تری نمود دارد. همچنین در این لایه خاک پایلوت صنعتی میزان Zn به‌طور متوسط در حدود ۲ برابر این مقدار در خاک پایلوت شهری است (مشابه همان روندی که در مورد Cu مشاهده شد). مقادیر روی در هر دو پایلوت، پایین‌تر از حد مجاز و حتی پایین‌تر از حدود معمول آن در خاک است. تحلیل وضعیت حرکت عنصر روی در خاک پایلوت شهری مشابه تحلیل سایر فلزات سنگین است با تفاوت که در پایلوت شهری حرکت روی در تیمار $SDI_{٦٠}$ با اختلاف معنی‌دار در لایه سوم به حداکثر مقدار می‌رسد در حالی‌که در پایلوت صنعتی این پدیده در لایه دوم مشاهده شده است (شکل‌های ۱۲ و ۱۳). این پدیده احتمالاً به‌شدت کم‌تر دبی در پایلوت شهری نسبت به صنعتی مرتبط است. عابدی‌کوپایی و همکاران (٢٠٠٦) و پدررو (۲۰۰۹) گزارش کردند که کاربرد پساب با آبیاری سطحی باعث افزایش میزان روی خاک شد اما این افزایش معنی‌دار نبود. همچنین بیان کردند میزان روی با افزایش عمق خاک کاهش یافت. بول و همکاران (١٩٨٦) نیز گزارش کردند استفاده از پساب به‌مدت ١٦ سال باعث افزایش روی تا حد سمی در خاک شد. پدررو (۲۰۰۹) با کاربرد پساب به‌مدت یک‌سال برای آبیاری درختان مرکبات افزایش معنی‌داری در میزان روی در خاک را گزارش کرد.

منگنز (Mn): میزان منگنز قابل‌جذب در خاک پایلوت شهری و صنعتی هر چند نسبت به خاک اولیه افزایش قابل‌توجه داشت اما با توجه به این‌که میزان منگنز مجاز در خاک ۱۷۰۰-۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (پدررو، ۲۰۱۱) بنابراین این افزایش هم‌چنان از سطوح معمول و مجاز این عنصر در خاک زراعی کم‌تر و افزایش بیش‌تر از این نیز در حاصلخیزی و افزایش عناصر ماکرو مورد نیاز گیاهان مورد مطالعه مؤثر است. نتایج نشان داد که به‌طور متوسط خاک اولیه حدود ۹ میلی‌گرم در کیلوگرم منگنز داشته است در حالی‌که در آبیاری با پساب شهری و صنعتی در طول مدت پژوهش میزان این عنصر را به‌ترتیب به ١٨/٦ و ٢٠/٣ میلی‌گرم بر کیلوگرم رسانده است. براساس شکل‌های ١٤ و ١٥ در خاک سطحی میزان جذب منگنز در پایلوت صنعتی بیش‌تر از پایلوت شهری بوده و در عمق خاک عکس این روند مشاهده شد. تحلیل وضعیت حرکت عنصر منگنز در خاک پایلوت شهری مشابه تحلیل سایر فلزات سنگین است. پایلوت شهری حرکت منگنز در تیمار SDI با اختلاف معنی‌دار در

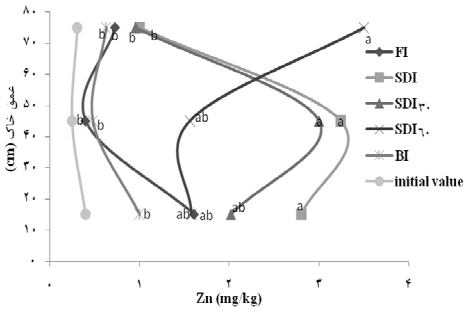
لایه اول به حداکثر مقدار رسید و با افزایش عمق کاهش یافت که این روند در پایلوت صنعتی نیز تقریباً مشابه بود. در هر دو پایلوت مورد مطالعه در تیمار SDI۶۰ بیش‌ترین میزان منگنز در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متری مشاهده شد در حالی‌که در سایر تیمارها بیش‌ترین میزان منگنز در عمق سطحی بود که با افزایش عمق خاک از میزان آن کاسته شد. عابدی‌کوپایی و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که کاربرد پساب برای آبیاری باعث افزایش معنی‌دار میزان منگنز خاک شد و با افزایش عمق خاک میزان منگنز کاهش یافت. پدررو (۲۰۰۹) با کاربرد پساب به‌مدت یک‌سال برای آبیاری درختان مرکبات افزایش منگنز خاک را گزارش کرد، اما این افزایش معنی‌دار نبود.



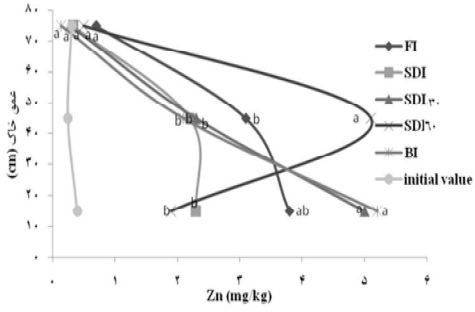
شکل ۱۰- مقایسه میزان مس موجود در خاک تیمارهای آبیاری پایلوت شهری.



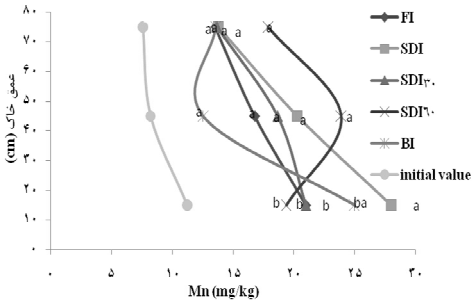
شکل ۱۱- مقایسه میزان مس موجود در خاک تیمارهای آبیاری پایلوت صنعتی.



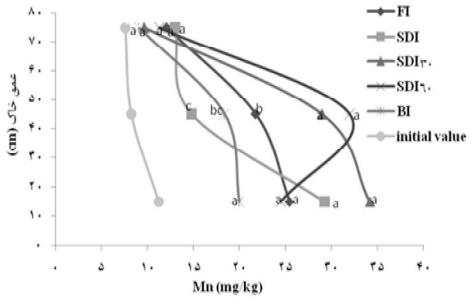
شکل ۱۲- مقایسه میزان روی موجود در خاک تیمارهای آبیاری پایلوت شهری.



شکل ۱۳- مقایسه میزان روی موجود در خاک تیمارهای آبیاری پایلوت شهری.



شکل ١٤- مقایسه میزان منگنز موجود در خاک تیمارهای آبیاری پایلوت شهری.



شکل ١٥- مقایسه میزان منگنز موجود در خاک تیمارهای آبیاری پایلوت صنعتی.

FI: آبیاری جویچه‌ای، SDI: آبیاری قطره‌ای سطحی، SDI_{30}: آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در عمق ٣٠ سانتی‌متر، SDI_{60}: آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در عمق ٦٠ سانتی‌متر و BI: آبیاری بابلر.

لازم به ذکر است که در این مقاله اثرات ناشی از نوع درختان بر مقدار تجمع فلزات سنگین دیده نشده است و مقادیر ذکر شده میانگین مقادیر مشاهداتی در خاک هر سه نوع درخت است. البته همان‌گونه که در نتایج مشاهده می‌شود تجمع فلزات سنگین پس از ٣ سال کاربرد در هیچ‌کدام از تیمارها به حد بحرانی نرسیده است ولی در جهت اطمینان برای کاربرد بلندمدت پساب و جلوگیری از ورود فلزات سنگین به اراضی توصیه می‌شود با اعمال تصفیه‌خانه کارا از ورود برخی عناصر به‌خصوص کادمیوم و منگنز به سیستم آبیاری جلوگیری شود.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج به‌دست آمده از این پژوهش به‌شرح زیر خلاصه می‌شود:

غلظت همه فلزات سنگین به غیر از عنصر کادمیوم در پساب صنعتی در محدوده مجاز قرار دارد البته مقادیر منگنز و آهن در خاک پساب صنعتی بیش‌تر از پساب شهری است که با توجه به فقیر بودن خاک‌های این منطقه کاربرد پساب می‌تواند سبب تقویت این خاک‌ها شود.

با توجه به نتایج خاک در مجموع فلزات سنگین یک عامل محدودکننده حداقل در طول دوره پژوهش به حساب نمی‌آیند و فقط میزان کادمیوم در پساب صنعتی از میزان مجاز بیش‌تر است. در

بیش‌تر موارد غلظت فلزات سنگین خاک پایلوت صنعتی بیش‌تر از پایلوت شهری است. به‌عبارت دیگر حرکت فلزات سنگین در پایلوت شهری بیش‌تر از پایلوت صنعتی مشهود است.

در بیش‌تر موارد تجمع فلزات سنگین در سطح خاک در پایلوت صنعتی بیش از پایلوت شهری بوده است و غلظت فلزات سنگین در محل تزریق پساب بیش‌تر بوده که علت این امر را می‌توان به پویایی کم این فلزات و حرکت ضعیف آن‌ها به‌سمت لایه‌های پایین‌تر دانست.

در تیمارهای مورد مطالعه غلظت فلزات سنگین در مجموع در تیمار SDI۶۰ بیش‌ترین و در تیمار BI کم‌ترین میزان بوده است.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از حمایت‌های مالی شرکت ذوب‌آهن اصفهان که هزینه انجام این پژوهش را پرداخت نمودند تشکر نمایند. همچنین از دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان که در انجام این پژوهش ما را یاری نمودند نیز سپاسگزاری می‌گردد.

منابع

1.Abedi-Koupai, J., Mostafazadeh-Fard, B., Afyuni, M., and Bagheri, M.R. 2006. Effect of treated wastewater on soil chemical and physical properties in an arid region. Plant Soil Environ. 52: 8. 335-344.
2.Al-Jamal, M.S., Sammis, T.W., Mexal, J.G., Picchioni, G.A., and Zachritz, W.H. 2000. A growth irrigation scheduling model for wastewater use in forest production. Agricultural Water Management. 56: 57-79.
3.Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. 1982. Methods of Soil Analysis. Part 2. America Society of Agronomy. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin USA. Pp: 449-479.
4.Boll, R., Dernbach, H., and Kayser, R. 1986: Aspects of land disposal of wastewater as perienced in Germany. Water Sci. Technol. 18: 383-390.
5.Capra, A., and Scicolone, B. 2004. Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation. Agricultural Water Management. 68: 135-149.
6.Capra, A., and Scicolone, B. 2007. Recycling of poor quality urban wastewater by drip irrigation systems. J. Clean. Prod. 15: 1529-1534.
7.Flores, L, Blas, G., Hernandez, G., and Arcala, R. 1997. Distribution and sequential extraction of some heavy metals from soils irrigated with waste water from Mexico City. J. Water, Air and Soil Poll. 98: 105-117.

8.Kloke, A., Sauerbeck, D.R., and Vetter, H. 1984. The contamination of soils and plants with heavy metals and the transtrial food chains, P 113-141. In: Nriagu, J.O. (Ed.), Changing metal cycles and human Health. Berlin, Springer Verlag.
9.Laurenson, S., Bolan, N.S., Smith, E., and Mccarthy, M. 2011. Review: Use of recycled wastewater for irrigating grapevines. Austr. J. Grape Wine Res. 18: 1-10.
10.Najafi, P., Mousavi, S.F., and Feizi, M. 2005. Effect of application of municipal wastewater effluent irrigation in different ways apples ground. J. Agric. Sci. Natur. Resour. 12: 1. 61-70.
11.Najafi, P. 2005. Effects of using subsurface drip irrigation and treated municipal wastewater in irrigation of tomato. Pak. J. Biol. Sci. 9: 14. 2672-2676.
12.Nadav, I., Arye, G., Tarchitzky, J., and Chen, Y. 2012. Enhanced infiltration regime for treated-wastewater purification in soil aquifer treatment (SAT). J. Hydrol. 421: 275-283.
13.Oron, G., Campos, C., Gillerman, L., and Salgot, M. 1999. Wastewater treatment, renovation and reuse for agricultural irrigation in small communities. J. Agric. Water Manage. 38: 3. 223-234.
14.Pedrero, F., Kalavrouziotis, L., Alarcón, J., Koukoulakis, P., and Asano, T. 2011. Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture-Review of some practices in Spain and Greece. Agricultural Water Management. 97: 1233-1241.
15.Pedrero, F., and Alarcón, J. 2009. Effects of treated wastewater irrigation on lemon trees. J. Desalination. 246: 631-639.
16.Qadir, M., Wichelns, D., Raschid-Sally, L., McCornick, P.G., Drechsel, P., Bahri, A., and Minhas, P.S. 2010.The challenges of wastewater irrigation in developing countries. Agricultural Water Management. 97: 561-568.
17.Rowe, D.R., and Abdel-Magid, J.M. 1995. Handbook of wastewater reclamation and reuse. Lewis Publisher by CRC Press Inc. 195p.
18.Saber, M.S.M. 1986. Prolong effect of land disposal of human waste on soil conditions. Water Science and Technology. 18: 7. 371-374.
19.Singh, A., Sharma, R.J., Agrawal, M., and Marshall, F. 2009. Effects of Wastewater Irrigation on Physicochemical Properties of Soil and Availability of Heavy Metals in Soil and Vegetables. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 40: 22. 3469-3490.
20.Streck, T., and Richter, J. 1997: Heavy metal displacement in a sandy soil at the field scale: I. Measurements and parameterization of sorption. J. Environ. Qual. 26: 49-56.
21.Shuval, H.I., Adin, A., Fattal, B., Rawitz, E., and Yekutiel, P. 1986. Wastewater Irrigation in Developing Countries: Health Effects and Technical Solutions (World Bank Technical Paper), 325p.
22.Tabari, M., and Salehi, A. 2011. Effect of treated Municipal wastewater on heavy metals in soils. J. Environ. Sci. Technol. 13: 4. 49-59.

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 4(3), 2014
http://ejsms.gau.ac.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Long-term effects of different irrigation methods with wastewater on heavy metals accumulation in soil

S.H. Tabatabaei[1], P. Najafi[2] and *H. Taheri-Sodejani[3]
[1]Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Shahrekord University,
[2]Associate Prof., Dept. of Soil Engineering, Islamic Azad University, Khorasgan Branch,
[3]Ph.D. Student, Dept. of Irrigation and Drainage, Isfahan University of Technology
Received: 07/20/2013; Accepted: 11/26/2013

Abstract

Demand for water resources in different parts of the world, necessitates the use of wastewater. In using wastewater the soil health must be considered. This study was carried out at Green Space Zob Ahan in the years 2001 to 2004. In this study, the effects of urban and industrial wastewater irrigation on some chemical properties of soil for three years by using five different irrigation treatments were examined. The treatments were as following: surface irrigation (FI), surface drip irrigation (SDI), subsurface drip irrigation in 30 cm depth (SDI_{30}), Sub surface drip irrigation in 60 cm depth (SDI_{60}) and Bubbler irrigation (BI). At the end of the experiments, solid samples were taken of the soil of zero to 30, 30 to 60 and 60 to 90 cm depth in order to measure the heavy metal. Lead (Pb), cadmium (Cd), chromium (Cr), nickel (Ni), copper (Cu), zinc (Zn) and manganese (Mn) were measured using atomic absorption in soil samples. Results showed that the concentration of heavy metals in urban and industrial wastewater is in an allowable range and heavy elements of soil are not a limiting factor. And also concentration of heavy metals was higher in the zone of wastewater injection and as whole treatments SDI_{60} and BI respectively had the highest and least amounts of heavy metals.

Keywords: Heavy metal, Industrial wastewater, Irrigation methods, Soil, Urban wastewater

* Corresponding Authors; Email: hajar_taheri2001@yahoo.com