مجله مهندسی بهداشت محیط، زمستان ۱۴۰۰، سال ۹، شماره ۲: ۱۵۷-۱۷۲

بررسی اثر پساب شهری بر میزان انباشت فلزات سنگین کادمیوم و سرب در خاک و گیاه ذرت

آمنه طهماسبی [۱]، فاضل امیری [۲*]

[۱] گروه محیط زیست، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران

[۲] گروه منابع طبیعی و محیط زیست، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱۰/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۳۰

چکیده

زمینه و هدف: استفاده از پساب به عنوان یک منبع آب تجدید پذیر برای آبیاری گیاهان راهکاری مطمئن و مؤثر می‌باشد. در مقابل انباشت عناصر سنگین در خاک و گیاهان، یکی از نگرانی‌های کاربرد پساب‌ها در کشاورزی می‌باشد. این تحقیق به منظور بررسی اثر پساب شهری بر مهم‌ترین شاخص‌های فیزیولوژیکی مربوط به رشد گیاه ذرت (سینگل کراس ۷۰۴) و میزان انباشت فلزات سنگین سرب و کادمیوم در خاک در یک مزرعه در منطقه بوشیگان شهرستان دشتستان، بوشهر به صورت گلدانی انجام شد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در ٤ تیمار، پساب تصفیه‌خانه، پساب رقیق شده با آب شرب (۱/۲)، آبیاری یک در میان با پساب و آب شرب و تیمار آب شرب (شاهد)، در۳ تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. میزان سرب و کادمیوم در خاک و گیاه توسط دستگاه ICP اندازه‌گیری شد. میزان اسیدیته و قابلیت هدایت الکتریکی (EC) خاک و وزن تر و خشک اندام‌های ذرت اندازه‌گیری شد. میانگین‌ها با استفاده از تحلیل واریانس یک طرفه (ANOVA) مقایسه شد و برای تعیین تفاوت بین گروه ها از آزمون دانکن (Duncan) استفاده شد ($p <$۰/۰۵).

یافته‌ها: نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که آبیاری با پساب EC خاک را ۱/۱ ($ds.m^{-1}$) افزایش داد، کادمیوم خاک ۰/۰۳ ($mg.kg^{-1}$) و سرب ۰/۰۲ ($mg.kg^{-1}$) افزایش نشان داد. رقیق کردن پساب باعث کاهش اثرات منفی پساب بر خاک شد. بالاترین افزایش وزن تر به میزان ۱۵۰۰ گرم مربوط به تیمار آبیاری با پساب رقیق شده بود. بیش‌ترین افزایش وزن خشک با ٦۰۰ گرم تیمار آبیاری با پساب رقیق شده مشاهده شد. کم‌ترین افزایش وزن تر کل به میزان ۱۱۰۰ گرم و افزایش وزن خشک کل با ٤۰۰ گرم در تیمار پساب مشاهده شد. میزان تجمع سرب و کادمیوم در اندام‌های ذرت به ترتیب دانه (۰/٦ سرب، ۰/۵ کادمیوم) ($mg.kg^{-1}$)< ساقه (۰/۹ سرب، ۰/۸ کادمیوم) ($mg.kg^{-1}$)<ریشه (۱/۹ سرب، ۰/۹۵ کادمیوم) ($mg.kg^{-1}$) بود. بالاترین میزان تجمع سرب و کادمیوم در خاک مربوط به تیمار پساب و کم‌ترین میزان مربوط به تیمار آب شرب بود.

نتیجه‌گیری: هرچه سطوح کادمیوم خاک بیش‌تر شد غلظت و محتوای کادمیوم در ریشه و اندام هوایی افزایش نشان داد. گیاه ذرت توانایی بالایی در جذب و انتقال کادمیوم و سرب دارد. با توجه به الگوی تجمع عناصر سنگین سرب و کادمیوم در ریشه گیاه ذرت، این گیاه می‌تواند در جهت انباشت فلزات سنگین در مزارع آبیاری شده با پساب مورد استفاده قرار گیرد. پیشنهاد می‌شود که ارزیابی اثرات درازمدت پساب تصفیه شده شهری بر غلظت عناصر سنگین کادمیوم و سرب در خاک و گیاه ذرت و بر خواص خاک بررسی شود، هر چند که بایستی اذعان داشت که بر اساس توصیه های فنی کاربرد پساب تصفیه شده قابل توصیه نمی باشد ولی در موارد ضروری رقیق کردن پساب با کاهش اثرات مخرب و تأمین عناصر ضروری جهت رشد گیاه ذرت می‌توانند به عنوان یک تیمار شاخص در آبیاری مزارع با احتیاط می تواند استفاده شود. همچنین، به منظور استفاده از پساب در کشت ذرت، در عین افزایش رشد و عملکرد، ارزیابی خطر استفاده از پساب در کشت ذرت از نظر زیست محیطی مورد ارزیابی قرار گیرد.

کلمات کلیدی: فلزات سنگین، فاضلاب شهری، ضریب انتقال زیستی، آلودگی خاک

***نویسنده مسئول:** گروه منابع طبیعی و محیط زیست، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران

ایمیل: ***Fazel.Amiri@iau.ac.ir*** – شماره تماس: ۰۹۱۷۷۷۹۸۲۰۰

مقدمه

استفاده از پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در کشاورزی و صنعت مزایای متعددی از قبیل فراهم نمودن یک منبع آب ارزان و دائمی، کاهش هزینه‌های تصفیه، آزادسازی بخشی از منابع آب با کیفیت خوب برای سایر مصارف و کاهش اثرات زیست محیطی دفع پساب به منابع آبی را به دنبال دارد[۱]. استفاده از فاضلاب شهری که زمانی به عنوان یک منبع آلودگی تلقی می‌گردید، هم اکنون به عنوان منبعی سرشار از عناصر کودی مورد نیاز گیاه از سابقه طولانی برخوردار است[۲،۳]. چنین به نظر می‌رسد که بتوان از پساب تصفیه شدهٔ شهری و یا خانگی برای آبیاری زراعی، گیاهان به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک که با کمبود شدید آب رو به رو هستند، استفاده کرد [٤]. کاربرد پساب تصفیه شده جهت آبیاری علاوه بر تأمین آب می‌تواند منبع غذایی خوبی برای گیاهان و تقویت خاک گردد، بنابراین می‌تو اند جایگزین یا سبب صرفه جویی در مصرف کودهای شیمیایی و افزایش عملکرد گیاهان گرد. گاهی افزایش عملکرد در اثر کاربرد پساب چندین برابر عملکرد هنگام آبیاری با آب چاه است[۵].

نتایج مطالعه ای که به منظور بررسی اثرات پساب شهری بر عملکرد ذرت شیرین انجام شد، نشان داد که اثر آبیاری با پساب بر صفات مورفولوژیک گیاه معنی‌دار بود به‌طوری که وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، ارتفاع اندام هوایی و زیرزمینی و تعداد برگ روند کاهشی داشتند و همچنین آبیاری با پساب سطوح کادمیوم خاک بیش‌تر شد. غلظت و محتوای کادمیوم در ریشه واندام هوایی در آبیاری با آب چاه کاهش نشان داد[٦]. در تحقیقی نشان داده شد که کاربرد پساب صنایع فلزی برای آبیاری برنج و سبزیجات موجب افزایش کروم در اندام‌های این گیاهان به مقدار ۲/۸ برابر بیش از حد مجاز است. همچنین اندازه‌گیری ضریب انتقال عناصرسنگین از ریشه به بخش هوایی نشان داد که روند این ضریب برای فلزات مختلف به صورت سرب<کروم< کادمیوم است[۷]. در تحقیقی که در مکزیک در منطقه‌ای که بیش از ۸۰ سال با پساب آبیاری می‌شود، انجام شد. نتایج این مطالعه نشان داد، کاربرد طولانی مدت پساب موجب افزایش مقدار قابل جذب عناصر سنگین در خاک شد و ترتیب افزایش تجمع عناصر به صورت Pb> Ni> Cd> Cr بود. مقدار هیچ یک از عناصر یاد شده براساس استانداردهای کشور مکزیک از حد مجاز تجاوز نکرد[۸]. در بررسی توانایی گیاه لویی در پالایش لجن‌های ناشی از پساب، در محیط گلخانه ای و به صورت گلدانی میزان تجمع فلزات سنگین، میزان رشد، وزن تر و خشک گیاه لویی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که گیاه لویی قابلیت جذب و انباشت عناصر سنگین را دارد. میان وزن خشک گیاهی و راندمان حذف رابطه مستقیمی وجود داشت و بیش‌ترین میزان جذب فلزات سنگین در ریشه و ریزوم گیاه لویی مشاهده شد[۹]. در مطالعه‌ای که به بررسی انباشت فلزات سنگین سرب، روی، نیکل و کادمیوم به وسیله سه گیاه لویی، اویارسلام و اختر، جهت تصفیه پساب انجام شد. نتایج نشان دهنده قابلیت بیش‌تر گیاه لویی برای حذف فلزات سنگین از پساب نسبت به دو گیاه دیگر بود به گونه‌ای که در بالاترین غلظت، میانگین حذف فلزات سنگین گیاه لویی، اویارسلام و اختر به ترتیب ۹۵، ۸۵ و ۷۰ درصد تعیین شد. میان وزن خشک گیاهی و راندمان حذف گونه‌ها رابطه مستقیمی وجود داشت. نتایج به دست آمده نشان داد که از بین سه گونه مورد استفاده در این مطالعه، گیاه آبزی لویی بیش‌ترین رشد و بالاترین کارایی را در تصفیه پساب از خود نشان داد[۱۰]. ارزیابی غلظت فلزات سنگین کادمیوم، مس و سرب در سه رقم کاهو تولید شده در سه مزرعه در کلان شهر بلو هوریزونته، برزیل و خاک بررسی گردید. نمونه‌های کاهو و خاک به ترتیب با طیف سنجی جرمی پلاسما (ICP-MS) و کوره گرافیت طیف سنجی جذب اتمی (AAS-GF) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و ضرایب انتقال این عناصر در کاهو و خاک محاسبه شد. بیشترین تجمع فلزات سنگین در

خاک و کاهو را به ترتیب مس، سرب و کادمیوم داشت. بیشترین ضرایب انتقال را کادمیوم داشت[11].

ذرت یکی از گیاهان با ارزش است که تنوع، سازگاری بالا و ارزش غذایی فراونش آن را در ردیف مهم‌ترین گیاهان زراعی جهان قرار داده است. این محصول ارزشمند با توجه به دوره رویش کوتاه، تولید بالای ماده خشک، عملکرد بالا و ارزش غذایی مطلوب نسبت به دیگر محصولات مهم‌ترین محصول زراعی بعد از گندم و برنج در کشور است[12]. به طور کلی اهمیت این گیاه در تغذیه انسان، دام و طیور و مصارف صنعتی از یک سو و محدودیت منابع از سوی دیگر، باعث شده است محققان به دنبال روش‌های مختلف مدیریتی به جهت افزایش بهره وری آب برای تولید این محصول استراتژیک باشند[13].

نوآوری این تحقیق؛ استفاده از پساب به عنوان آب آبیاری در کشت گیاه ذرت؛ اثر پساب مورد استفاده در آبیاری بر رشد و عملکرد ذرت گیاه ذرت (سینگل کراس ۷۰٤) به صورت گلدانی؛ اثر پساب بر مقادیر فلزات سنگین سرب و کادمیوم مورد بررسی در خاک و گیاه ذرت، است.

مواد و روش‌ها

محل انجام مطالعه

این مطالعه در یک مزرعه ذرت در اطراف شهرستان دشتستان در بخش بوشکان، استان بوشهر در موقعیت جغرافیایی طول جغرافیایی ۵۰ درجه ۲۵ دقیقه تا ۵۱ درجه ۵۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۸ درجه ۳۰ دقیقه تا ۲۸ درجه ۵۵ دقیقه شمالی در سال ۱۳۹۸ انجام شد. پس از استقرار گیاهچه‌های ذرت رقم ۷۰٤ در گلدان‌ها و اعمال تیمارهای آبیاری اجرا شد.

آماده‌سازی و کاشت نمونه‌ها

برای اینکه کاشت در محیط طبیعی و تقریباً مشابه شرایط مزرعه باشد، از خاک مزرعه جهت بستر کشت و پر کردن گلدان‌ها استفاده شد. قبل از پرکردن گلدان‌ها از خاک مورد استفاده نمونه‌برداری شد و به آزمایشگاه ارسال شد[14]. پس از تهیه بذرهای گیاه ذرت (رقم ۷۰٤)، در هر گلدان ٤ عدد بذر در نظر گرفته شد. بذرها در ۱۲ عدد گلدان ۱۰ کیلوگرمی پر شده با خاک مزرعه کشت گردید. پس از سبز شدن بذرهای کاشته شده ذرت در گلدان گیاهچه‌ای سالم و یکدست جدا نموده و گیاهچه‌های ضعیف و اضافی از گلدان‌ها حذف شد، به‌طوری که در هر گلدان یک گیاهچه سالم و قوی جهت اعمال تیمارهای این مطالعه حفظ شد (شکل ۱).

شکل ۱: استقرار گیاهچه‌های ذرت در گلدان

اعمال تیمارهای آزمایش

۲۰ روز پس از کاشت و نگهداری گیاهچه‌های ذرت در گلدان، تیمارهای مربوط به آب آبیاری در این مطالعه بر روی گلدان‌ها اعمال شد. دور آبیاری در این مطالعه با توجه به مشخصات خاک مورد استفاده و نیاز آبی گیاه ذرت هر ٤ روز یک بار در نظر گرفته شد. تیمارهای آبیاری در این مطالعه شامل تیمار پساب تصفیه خانه شهری (T1)، تیمار رقیق شده با آب شرب (۱/۲) (T2)، تیمار آبیاری یک در میان با پساب و آب شرب (در این تیمار در یک دور آبیاری از پساب و دور

آبیاری بعدی از آب شرب استفاده شد) (T3) و تیمار آب شرب (T4) است.

نمونه برداری

جهت بررسی از کلیه اندام‌های بوته ذرت کل ریشه، ساقه برگدار و بلال ذرت نمونه برداشت شد. پارامترهای فیزیکی (وزن تر و وزن خشک ریشه، ساقه و دانه) و شیمیایی (قابلیت هدایت الکتریکی، اسیدیته و غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم در خاک و گیاه) اندازه‌گیری شد. پس از اتمام دوره ۱۲۰ روزه آزمایش از خاک و گیاه جهت بررسی اثرات تیمارهای آبیاری از خاک و گیاه در هر گلدان نمونه برداری شد.

آنالیز پارامترهای خاک

برای اندازه‌گیری پارامترهای خاک از نمونه‌های خاک گلدان‌ها در ٤ بازه زمانی ۳۰، ٦۰، ۹۰ و ۱۲۰ روز از خاک گلدان‌ها نمونه برداری شد (در هر نمونه برداری ۱۰۰گرم خاک گلدان برداشت شد). برای اندازه‌گیری قابلیت هدایت الکتریکی (EC) و اسیدیته pH مقدار ۱۰۰ گرم از خاک هر گلدان را در یک بشر ریخته و کم کم به آن آب مقطر اضافه شد تا گل اشباع بدست آمد. برای عصاره‌گیری گل اشباع با استفاده از موتور خلاء (قیف بوخنر) عصاره گل گرفته شد. سپس الکترود دستگاه EC متر مدل متروهوم (Metrohm) را داخل عصاره قرار داده و میزان EC و دما قرائت گردید، سپس الکترود دستگاه pH متر (مدل متروهوم) را داخل عصاره قرار داده و میزان اسیدیته قرائت گردید. بافت خاک به روش هیدرومتری تعیین شد. میزان غلظت فلزات کادمیوم و سرب با استفاده از دستگاه طیف سنج جرمی پلاسمای جفت شده القایی سری ICPMS 2030 شد[۱۵].

آنالیز پارامترهای گیاه

جهت انجام آنالیزهای مربوط به گیاه ذرت پس از پایان دوره آزمایش، نمونه‌ها از گلدان خارج شدند و پس از جدا کردن ریشه، ساقه و دانه‌ها، اتیکت‌های مربوط به هر تیمار نصب شد و قسمت‌های مجزای گیاه شامل حجم ریشه، ساقه و دانه هر بوته ذرت برداشت به صورت مجزا جهت اندازه‌گیری وزن تر، با آب دیونیزه شستشو شدند و برای ۲ دقیقه بین دو کاغذ خشک کن قرار گرفتند. سپس نمونه‌ها توزین شدند تا وزن تر آن‌ها به دست آید. برای تعیین وزن خشک نمونه‌های گیاهی در آون در دمای ٦٥ درجه سانتی‌گراد به مدت ٢٤ ساعت حرارت داده شدند تا کاملاً خشک و سپس با ترازو توزین شدند. جهت اندازه‌گیری سرب و کادمیوم نمونه‌های گیاه با آب دیونیزه شستشو، در آون در دمای ٦٥ درجه سانتی‌گراد خشک و به‌طور کامل خرد شدند[۱٦]. مقدار ۰/۵ گرم از هر نمونه را در بوته چینی با ۱۵ میلی‌لیتر، HNO3 HClO4 -(۱: ۳ حجمی) مخلوط و در دمای اتاق گذاشته شدند. سپس دما به ۱٤۰ تا ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد رسانده شد تا هضم کامل گردد. محلول هضم شده، جهت بررسی میزان کادمیوم و سرب توسط گیاه، به وسیله دستگاه ICP اندازه‌گیری شد[۱۵]. به منظور تعیین میزان واقعی جذب عناصر سنگین کادمیوم و سرب توسط انـدام ذرت ضریب انتقال عناصر محاسبه گردید. ضریب انتقال زیستی عبارت از نسبت غلظت کادمیوم و سرب در ریشه، ساقه و دانه ذرت به غلظت کادمیوم و سرب در خاک است. برای تعیین هر ضریب انتقال، از رابطه ۱ استفاده شد.

$$TF=Mpc/Msc \qquad (۱)$$

در این رابطه؛ TF فاکتور یا ضریب انتقال زیستی، Mpc غلظت کادمیوم و سرب در ذرت و Msc غلظت کادمیوم و سرب در خاک است[۱۱].

آنالیزهای آماری

این پژوهش با ٤ تیمار، پساب تصفیه خانه، تیمار رقیق شده با آب شرب (۱/۲)، تیمار آبیاری یک در میان با پساب و آب شرب و تیمار آب شرب در ۳ تکرار و ۱۲ گلدان پلاستیکی در قالب طرح کاملا تصادفی انجام شد. در این مطالعه آزمون نرمال بودن با استفاده از دستور کلوموگروف–اسمیرنوف در سطح احتمال ۰/۰۵ ارزیابی گردید و برای کلیه داده‌ها چون مقدار احتمال بیشتر از ۰/۰۵ بود توزیع داده ها نرمال می‌باشد. تجزیه واریانس یک طرفه (ANOVA) داده‌های مربوط به صفاتی از قبیل اسیدیته و قابلیت هدایت الکتریکی خاک، صفات رویشی گیاه ذرت و غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم در خاک و گیاه ذرت، به کمک نرم افزار سیستم پردازش SAS®9.1 و مقایسه میانگین‌ها به کمک آزمون چند دامنه‌ای دانکن (Duncan) در سطح پنج درصد انجام شد.

یافته‌ها

قبل از پرکردن گلدان‌ها از خاک مورد استفاده نمونه‌برداری شد. نتایج نشان داد که بافت خاک مورد استفاده، لوم رسی، اسیدیته (pH=۸/۱)، و دارای هدایت الکتریکی ٤/۱ $dS.m^{-1}$ است. غلظت کادمیوم ۰/۰٦ $mg.kg^{-1}$ و غلظت سرب ۰/۰۳ $mg.kg^{-1}$ خاک تعیین شد (جدول ۱). قبل از اعمال تیمارهای آبیاری از آب نمونه‌برداری شد. ویژگی‌های آب آبیاری مورد استفاده نشان داده که میزان اسیدیته آب ۷/۹ و هدایت الکتریکی آب ۱/۳ $dS.m^{-1}$ است. غلظت کادمیوم آب ۰/۰۰۹ $mg.L^{-1}$ و غلظت سرب ۰/۰۳ $mg.L^{-1}$ است. میزان pH پساب مورد استفاده در این مطالعه ۷/۱ و هدایت الکتریکی آن ٤/٦ $dS.m^{-1}$ بود. غلظت کادمیوم ۰/۰۹ $mg.L^{-1}$ و غلظت سرب ۰/۸ $mg.L^{-1}$ بود. میزان EC پساب بیش‌تر از آب شرب مورد استفاده است. غلظت کادمیوم در پساب از حد مجـاز ایران و فـائو بیش‌تر است (جدول ۲).

نتایج تجزیه واریانس اثرات آبیاری بر خاک در سطح ۵ درصـد نشان داد که مقادیر مختلف عناصر سنگین سرب و کادمیوم در خاک فاقد تفاوت معنی‌دار است. مقادیر EC و pH در خاک دارای تفاوت معنی‌دار است (جـدول ۳).

جدول ۱: ویژگی‌های خاک مورد استفاده

نمونه	pH	EC ($dS.m^{-1}$)	بافت خاک	غلظت کادمیوم ($mg.kg^{-1}$)	غلظت سرب ($mg.kg^{-1}$)
خاک مورد استفاده	۸/۱	٤/۱	لوم رسی	۰/۰٦	۰/۰۸

جدول ۲: ویژگی‌های آب آبیاری مورد استفاده

پارامتر	آب شرب	واحد	پساب	واحد	استاندارد ایران	استاندارد فائو
pH	۷/۹	–	۷/۱	–	–	–
EC	۱/۳	$dS.m^{-1}$	٤/٦	$dS.m^{-1}$	–	–
غلظت کادمیوم	۰/۰۰۹	$mg.L^{-1}$	۰/۰۹	$mg.L^{-1}$	۰/۰۵ *	۰/۰۱
غلظت سرب	۰/۰۳	$mg.L^{-1}$	۰/۸	$mg.L^{-1}$	۱	۵

* نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار، در سطح ۵٪ است.

جدول ۳: تجزیه واریانس اثر تیمار آبیاری بر ویژگی‌های خاک

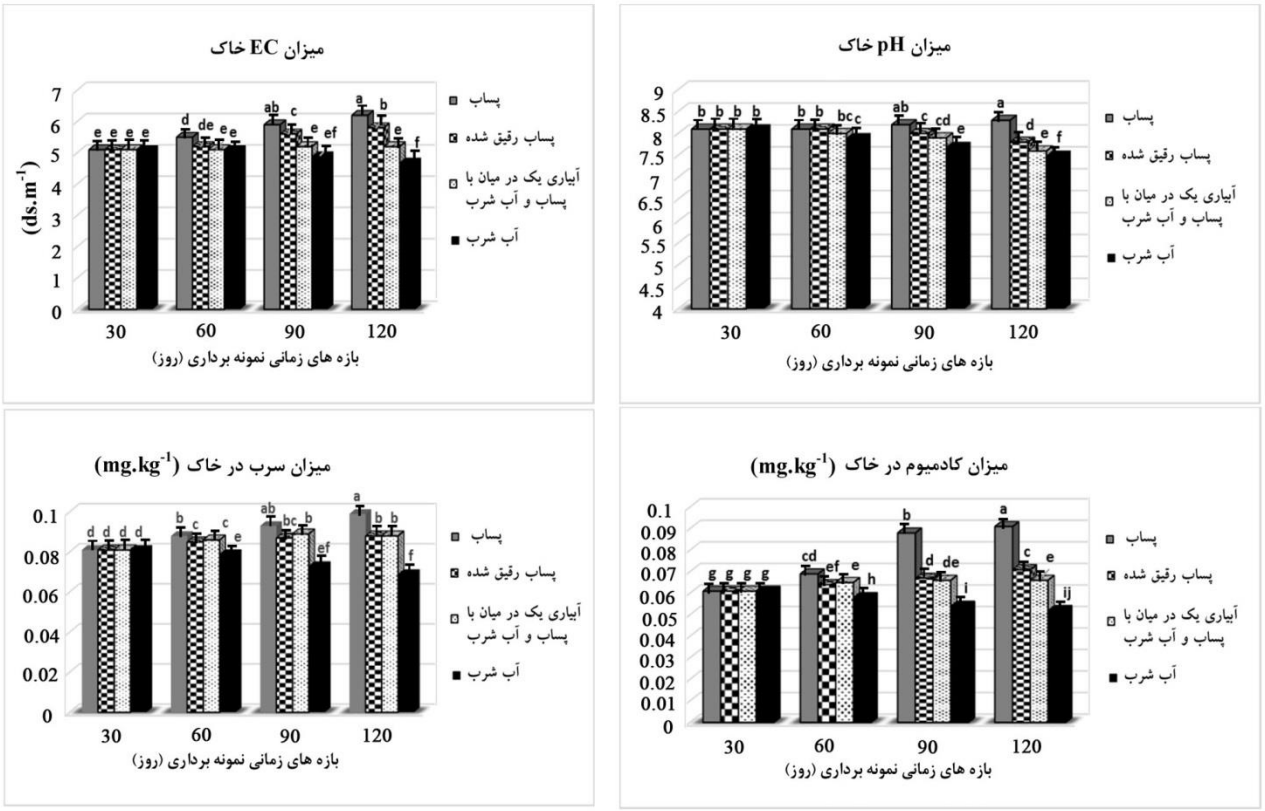
منابع تغییر	درجه آزادی	pH	EC ($dS.m^{-1}$)	غلظت کادمیوم ($mg.kg^{-1}$)	غلظت سرب ($mg.kg^{-1}$)
تیمار	۳	۸/۲*	۵/۱*	۳/۶۵ *	۱/۸۷ *
خطا	٦				
کل	۱۱				

* نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار، در سطح ۵٪ است.

نتایج تاثیر آبیاری بر اسیدیته خاک نشان داد که در بازه‌های زمانی ٦۰، ۹۰ و ۱۲۰روز نسبت به بازه زمانی ۳۰ روز تفاوت معنی‌داری در اسیدیته خاک مشاهده شد ($p<۰/۰۵$). بیش‌ترین اثر در میزان تغییرات pH خاک، در بازه زمانی ۱۲۰ روز مشاهده شد. در میان بازه‌های زمانی ۳۰ و ٦۰ روز تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در بین تیمارهای آبیاری اعمال شده، از لحاظ اسیدیته خاک تفاوت معنی‌دار بود. بالاترین میزان pH خاک در تیمار آبیاری با پساب در بازه‌های زمانی ۹۰ و ۱۲۰ روز مشاهده شد. با رقیق کردن پساب و آبیاری یک در میان مشاهده شد که از میزان pH خاک نسبت به تیمار پساب به‌طور معنی‌داری کاسته شد. کم‌ترین میزان اسیدیته خاک مربوط به آبیاری با آب شرب در بازه زمانی ۱۲۰ روز است (نمودار ۱). نتایج نشان داد که تیمار آبیاری با پساب به‌طور معنی‌داری نسبت به دیگر تیمارهای آبیاری، قابلیت هدایت الکتریکی اولیه خاک EC را افزایش داد. در بین بازه‌های زمانی ۳۰، ٦۰، ۹۰ و ۱۲۰روز نمونه برداری تفاوت معنی‌دار در قابلیت هدایت الکتریکی خاک مشاهده شد. با رقیق کردن غلظت پساب و کاربرد آبیاری یک در میان قابلیت هدایت الکتریکی خاک گلدان‌ها نیز نسبت به تیمار پساب کاهش یافت. کم‌ترین قابلیت هدایت الکتریکی مربوط به تیمار آبیاری با آب شرب در بازه زمانی ۱۲۰ روز مشاهده شد. مقادیر کادمیوم خاک تحت تأثیر تیمارهای آبیاری در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری داشت. استفاده از منابع مختلف آبیاری در بازه‌های زمانی متفاوت، تأثیر معنی‌داری بر غلظت کادمیوم در خاک داشته است. بیش‌ترین و کم‌ترین میزان کادمیوم در خاک مربوط به آبیاری با پساب بود. تیمارهای پساب رقیق شده و آبیاری یک در میان نیز در بازه‌های زمانی ٦۰، ۹۰ و ۱۲۰ روز نسبت به زمان ۳۰ روز به‌طور معنی‌داری غلظت کادمیوم خاک را افزایش دادند. کم‌ترین میزان غظت کادمیوم در خاک مربوط به تیمار آب شرب بود، به‌طوری که با گذشت زمان و در بازه‌های زمانی کاهش غلظت کادمیوم خاک گلدان نسبت به زمان ۳۰ روز مشاهده شد. از نظر میزان غلظت کادمیوم خاک گلدان‌ها در این مطالعه در بازه‌های زمانی ۳۰، ٦۰، ۹۰ و ۱۲۰ روز در طی نمونه برداری، تفاوت معنی‌دار مشاهده شد. نتایج نشان داد که مقادیر سرب خاک گلدان در این مطالعه تحت تأثیر تیمارهای آبیاری قرار گرفت. بیش‌ترین و کم‌ترین میزان سرب در خاک به ترتیب مربوط به تیمارهای پساب و آبیاری با آب شرب بود. در بین تیمارهای پساب رقیق شده و آبیاری یک در میان در میزان غلظت سرب در خاک گلدان‌ها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. از نظر میزان غلظت سرب خاک گلدان‌ها در این مطالعه در بازه‌های زمانی ۳۰، ٦۰، ۹۰ و ۱۲۰ روز در طی نمونه برداری، تفاوت معنی‌دار مشاهده شد. کم‌ترین میزان غظت سرب در خاک مربوط به تیمار آب شرب بود، به‌طوری که با گذشت زمان و در بازه‌های زمانی کاهش غلظت سرب خاک گلدان نسبت به زمان صفر مشاهده شد (نمودار ۱).

جدول ٤: تجزیه واریانس اثر آبیاری بر ویژگی‌های گیاه ذرت

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن تر	وزن خشک	غلظت کادمیوم ($mg.kg^{-1}$)	غلظت سرب ($mg.kg^{-1}$)
تیمار	۳	۱۰۰۱/۲ *	۲۵۷/۳ *	۲/۰۸*	۰/۹۸ *
خطا	٦				
کل	۱۱				



ستون‌های دارای حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار ($p< ۰/۰۵$) می‌باشند.

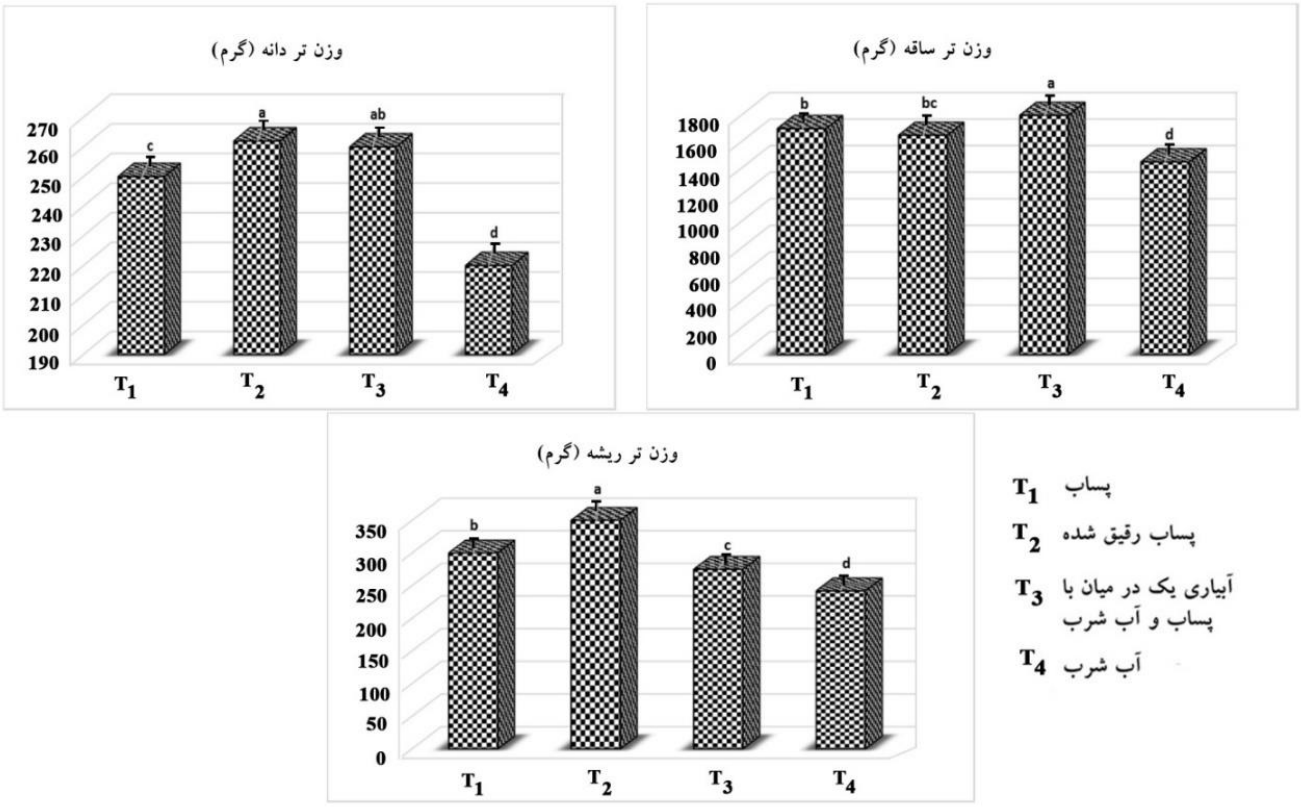
ns و * به ترتیب نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵٪ است.

نمودار ۱: مقایسه اثرات آبیاری بر pH، EC، کادمیوم و سرب در خاک

نتایج اثر آبیاری بر میزان عناصر سنگین سرب و کادمیوم و وزن تر و خشگ گیاه ذرت در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ٤).

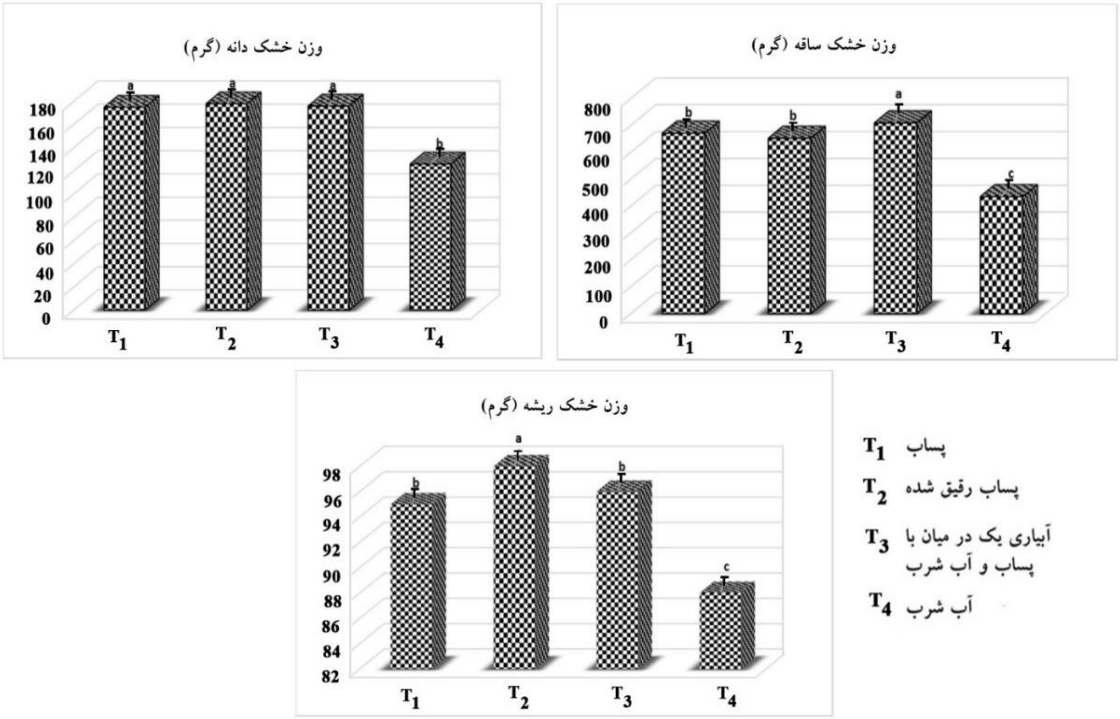
نتایج مقایسه اثرات تیمار آبیاری بر وزن تر ساقه، دانه و ریشه نشان داد که بالاترین وزن تر ساقه مربوط به تیمار آبیاری یک در میان می‌باشد. در مقابل کم‌ترین میزان وزن تر ساقه مربوط به تیمار آبیاری با آب شرب بود. در بین

تیمارهای آبیاری با پساب و پساب رقیق شده در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، در مقابل در بین این دو تیمار و تیمار آبیاری با آب شرب تفاوت معنی‌دار در وزن تر ساقه مشاهده شد. بالاترین وزن تر دانه ذرت مربوط به تیمار آبیاری با پساب رقیق شده و آبیاری یک در میان بود، در مقابل کم‌ترین میزان وزن تر دانه ذرت نیز در آبیاری با آب شرب مشاهده شد. از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در بین تیمارهای آبیاری با پساب رقیق شده و تیمار آبیاری یک در میان مشاهده نشد. نتایج نشان داد که وزن تر ریشه در میان تیمارهای آبیاری تفاوت معنی‌دار داشت. بالاترین وزن تر ریشه‌های ذرت مربوط به تیمار پساب رقیق شده بود، و کم‌ترین میزان وزن تر ریشه ذرت مربوط به تیمار آبیاری با آب شرب بود. در میان تیمارهای آبیاری با پساب و تیمار آبیاری یک در میان نیز تفاوت معنی‌داری در وزن تر ریشه گیاه ذرت مشاهده شد (نمودار ۲).



ستون‌های دارای حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار ($p< ۰/۰۵$) می‌باشند

نمودار ۲: مقایسه اثرات تیمار آبیاری بر وزن تر ساقه، دانه و ریشه



ستون‌های دارای حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار ($p< ۰/۰۵$) می‌باشند.

نمودار ۳: مقایسه اثرات تیمار آبیاری بر وزن خشک ساقه، دانه و ریشه

نتایج اثرات آبیاری بر وزن خشک ساقه نشان داد که بالاترین وزن خشک ساقه مربوط به تیمار آبیاری یک در میان بود. در مقابل کم‌ترین میزان وزن خشک ساقه مربوط به تیمار آبیاری با آب شرب بود. از نظر آماری در بین تیمارهای آبیاری با پساب رقیق شده و پساب در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، در مقابل در بین تیمار آبیاری یک در میان و تیمار آبیاری با آب شرب تفاوت معنی‌دار در وزن خشک ساقه مشاهده شد. در میان تیمارهای آبیاری یک در میان، پساب و پساب رقیق شده از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در وزن خشک دانه ذرت مشاهده نشد. در مقابل تفاوت بین تیمارهای آبیاری یک در میان، پساب و پساب رقیق شده نسبت به تیمار آبیاری با آب شرب تفاوت معنی‌دار در وزن خشک دانه ذرت و کم‌ترین میزان وزن خشک دانه ذرت در آبیاری با آب شرب مشاهده شد. در میان تیمارهای آبیاری یک در میان و پساب و پساب رقیق شده در وزن خشک ریشه از نظر آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ($p< ۰/۰۵$). در میان تیمارهای آبیاری یک در میان و پساب و تیمار آبیاری با آب شرب تفاوت معنی‌داری در وزن خشک ریشه گیاه ذرت مشاهده شد. در بین تیمارها بالاترین وزن خشک ریشه مربوط به تیمار آبیاری با پساب رقیق شده بود، در مقابل کم‌ترین میزان وزن خشک ریشه نیز مربوط به تیمار آبیاری با آب شرب بود (نمودار ۳).

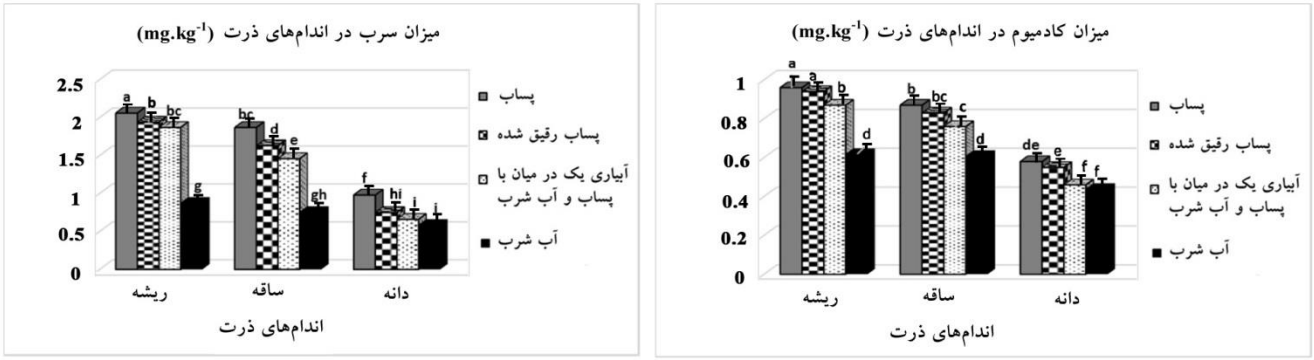
کم‌ترین میزان تجمع کادمیوم مربوط به دانه‌های ذرت و بالاترین میزان تجمع کادمیوم مربوط به ریشه‌های ذرت می‌باشد. میزان کادمیوم در تیمار آبیاری با پساب به‌طور معنی‌داری نسبت به دیگر تیمارها تفاوت نشان داد (نمودار ٤). در مقابل کم‌ترین میزان تجمع کادمیوم مربوط به دانه ذرت در شرایط آبیاری با آب چاه بود. در میان میوه و ساقه نیزاز نظر

تجمع کادمیوم تحت تأثیر منابع مختلف آبیاری تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. مقایسه نتایج حاصل از اندازه‌گیری میانگین غلظت مقادیر کادمیوم در ساقه ذرت نشان داد که تفاوت معنی‌داری در میان تیمارهای آبیاری پساب و پساب رقیق شده مشاهده نشد. بیش‌ترین غلظت کادمیوم در ساقه ذرت مربوط به تیمار آبیاری با پساب بود، و در مقابل کم‌ترین میزان غلظت کادمیوم در ساقه ذرت مربوط به تیمار آبیاری با آب شرب بود. در میان تیمارهای آبیاری با پساب و تیمار آبیاری پساب رقیق شده تفاوت معنی‌داری در میزان کادمیوم در دانه ذرت مشاهده نشد. در بین تیمارهای آبیاری با تیمار آب شرب و آبیاری یک در میان تفاوت معنی‌داری در میزان کادمیوم در دانه ذرت مشاهده نشد. کم‌ترین میزان کادمیوم در دانه ذرت مربوط به تیمار آبیاری با آب شرب بود. بالاترین میزان کادمیوم در ریشه ذرت مربوط به تیمار آبیاری با پساب بود، در مقابل کم‌ترین میزان کادمیوم در ریشه ذرت نیز در آبیاری با آب شرب مشاهده شد. از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در بین تیمارهای آبیاری با پساب و تیمار پساب رقیق شده مشاهده نشد. در بین تیمارهای آبیاری با تیمار رقیق شده، پساب و آبیاری یک در میان تیمار آبیاری با آب شرب در میزان کادمیوم در ریشه ذرت تفاوت معنی‌دار مشاهده شد (نمودار ٤). اندام‌های ذرت تحت شرایط آبیاری با منابع مختلف آبیاری، از نظر تجمع فلز سنگین سرب تفاوت معنی‌داری را نشان دادند. کم‌ترین میزان تجمع سرب در دانه‌های ذرت مشاهده شد و بالاترین میزان تجمع سرب نیز در ریشه‌های ذرت مشاهده شد. منابع مختلف آبیاری نیز بر میزان تجمع سرب در اندام‌های ذرت اثر معنی‌دار داشت. بالاترین میزان تجمع سرب مربوط به ریشه تحت تأثیر آبیاری با پساب بود. کم‌ترین میزان تجمع سرب نیز مربوط به دانه ذرت تحت تأثیر آبیاری با آب شرب بود. ساقه‌های ذرت نیز نسبت به دانه‌های ذرت تحت شرایط آبیاری با پساب رقیق شده و پساب تفاوت معنی‌داری نشان دادند. مقایسه نتایج حاصل از اندازه‌گیری میانگین غلظت مقادیر سرب در ساقه ذرت نشان داد که تفاوت معنی‌داری در میان تیمارهای آبیاری با پساب و پساب رقیق شده مشاهده شد. بیش‌ترین غلظت سرب در ساقه ذرت مربوط به تیمار آبیاری با پساب بود، و در مقابل کم‌ترین میزان غلظت سرب در ساقه ذرت مربوط به تیمار آبیاری با آب شرب بود. در میان تیمارهای آبیاری با پساب رقیق شده و آبیاری با آب شرب تفاوت معنی‌دار مشاهده شد (نمودار ٤). در میان تیمارهای آبیاری با پساب و تیمار آبیاری با آب شرب در میزان سرب در دانه ذرت دارای تفاوت معنی‌دار بود. در بین تیمارهای آبیاری با تیمار پساب رقیق شده و آبیاری با تیمار پساب تفاوت معنی‌دار در میزان سرب در دانه ذرت مشاهده شد. کم‌ترین میزان سرب در دانه ذرت مربوط به تیمار آبیاری با آب شرب بود. بالاترین میزان سرب در ریشه ذرت مربوط به تیمار آبیاری با پساب بود، در مقابل کم‌ترین میزان سرب در ریشه ذرت نیز در آبیاری با آب شرب مشاهده شد. از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در بین تیمارهای آبیاری با پساب رقیق شده و تیمار آبیاری یک در میان مشاهده نشد. در بین تیمارهای آبیاری با تیمار رقیق شده و آبیاری با تیمار پساب در میزان سرب در ریشه ذرت تفاوت معنی‌دار مشاهده شد (نمودار ٤).

جدول ۵: مقایسه میانگین ضریب انتقال فلز سنگین کادمیوم و سرب از خاک به گیاه ذرت

فلز سنگین	پساب	پساب رقیق شده	آبیاری یک در میان	آب شرب
کادمیوم	۰/٤٦۳ [a]	۰/٤٥٤ [a]	۰/۳۲۲ [b]	۰/۲۱۰ [c]
سرب	۰/۰۵۷ [d]	۰/۰۵۱ [d]	۰/۰٤۳ [e]	۰/۰۲۹ [f]

سطرهای‌دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ است.



ستون‌های دارای حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار ($p< ۰/۰۵$) می‌باشند.

نمودار ٤: مقایسه تجمع کادمیوم و سرب در اندام‌های ذرت تحت تیمارهای مختلف آبیاری

بیش‌ترین ضریب انتقال از خاک به اندام گیاه ذرت مربوط به تیمار پساب و در مقابل کم‌ترین میزان مربوط به تیمار آبیاری با آب شرب بود. ترتیب بزرگی میزان ضریب انتقال کادمیوم به گیاه ذرت، در تیمارهای آبیاری به صورت آب شرب< آبیاری یک در میان< پساب رقیق شده<پساب بود. در بین تیمارهای آبیاری با پساب و پساب رقیق شده با تیمارهای آبیاری یک در میان و آبیاری با آب شرب، تفاوت معنی‌دار در رابطه با ضریب انتقال کادمیوم از خاک بـه گیاه ذرت مشاهده شد (جدول ۵). اثر تیمارهـای آبیـاری بـر ضـریب انتقـال سـرب از خـاک بـه گیاه ذرت معنـی دار بوده و بیشترین ضریب انتقال سرب از خاک به گیاه ذرت در تیمار آبیاری با پساب و کمترین آن در تیمار آبیاری با آب شرب مشاهده گردیـد. بین تیمارهای آبیاری با پساب و آبیاری با آب شرب از نظـر ضـریب انتقال سرب از خاک به گیاه ذرت تفاوت معنی‌دار وجود داشـت. ترتیـب بزرگی میزان ضریب انتقال فلز سـرب از خـاک بـه گیاه ذرت به ترتیب آب شرب< آبیاری یک در میان< پساب رقیق شده<پساب بود (جدول ۵).

بحث

نتایج این مطالعه نشان داد که آبیاری با پساب باعث افزایش فلزات سنگین سرب و کادمیوم و افزایش قابلیت هدایت الکتریکی در خاک گلدان می‌شود، ولی رقیق کردن پساب و کاربرد آبیاری یک در میان پساب با آب شرب اثرات زیان بار پساب بر تجمع فلزات سنگین و شوری خاک را کاهش می‌دهد. که نتایج این تحقیق با یافته‌های مطالعات مشابه مبنی بر افزایش غلظت فلزات سنگین خاک در طول آبیاری با فاضلاب مطابقت دارد. مقایسه فلزات سنگین سرب موجود در نمونه خاک شاهد (مربوط به قبل از انجام آزمایش) و خاک آبیاری شده با پساب نشان داد که غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم در خاک آبیاری شده با پساب بیش‌تر از نمونه خاک شاهد بود که این موضوع با نتایج مبنی بر افزایش غلظت فلزات سنگین خاک در طول آبیاری با پساب مطابقت دارد [۱۷-۱۹]. با توجه به این که مقدار فلزات سنگین کادمیوم و سرب در پساب بیش‌تر از آب شرب و پساب رقیق شده بود، کاربرد پساب برای آبیاری خاک گلدان‌ها، موجب افزایش تجمع این عناصر در خاک گلدان گردید. با درنظر گرفتن پویایی کم عناصر سنگین در این تحقیق مشاهده گردید که مقدار کادمیوم و سرب در خاک در اثر گذشت زمان در بازه‌های زمانی ٦٠، ۹۰ و ۱۲۰ روز به ترتیب افزایش یافت. عناصر سنگین در خاک تحرک کمی دارند و اغلب توسط کلوئیدهای خاک تثبیت می‌شوند یا به صورت ترکیبات

مختلف رسوب می‌کنند، به همین دلیل قابلیت تحرک و انتقال آن‌ها در خاک کم می‌شود. خصوصیات خاک در جذب عناصر سنگین در خاک نقش دارند. خاک مورد مطالعه دارای pH بالا و همچنین مقدار رس نسبتاً بالا بود که این عوامل به شدت بر قابلیت تحرک عناصرسنگین و جذب فلزات سنگین در خاک اثرگذار هستند. که این یافته با نتایج مطالعه مشابه مطابقت دارد[۲۰].

نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که اختلاف آماری معنی داری بین تیمارهای مورد مطالعه از نظر صفات وزن تر و خشک ساقه، ریشه و دانه‌های ذرت در سطح ۵ درصد وجود داشت. وزن تر و خشک ریشه، ساقه و دانه‌های ذرت نسبت به آبیاری با پساب رقیق شده و آبیاری یک در میان، روند رو به کاهش داشت. نتایج نشان داد که حجم ریشه‌ها با افزایش استفاده از فاضلاب افزایش یافت که این امر به جهت وجود مواد آلی موجود در فاضلاب است که سبب افزایش فعالیت ریشه و حجم بیش‌تر آن شده است[۲۱،۲۲].

با توجه به نتایج به دست آمده در این مطالعه مشاهده شد که میزان تجمع فلزات سنگین در اندام‌های ذرت متفاوت می‌باشد کم‌ترین میزان تجمع فلزات سنگین مربوط به دانه‌های ذرت و بالاترین میزان تجمع فلزات سنگین در ریشه مشاهده شد. با توجه به نتایج به دست آمده هرچه سطح کادمیوم و سرب در خاک تحت تأثیر آبیاری با پساب بیش‌تر شد، غلظت و محتوای کادمیوم و سرب در ریشه و اندام هوایی نیز افزایش نشان داد، به‌طوری که این افزایش در ریشه نسبت به اندام هوایی چشمگیر بود. به دلیل اینکه انتقال یک ماده از قسمتی از گیاه به قسمت دیگر تنها ۱۰ درصد می‌باشد، بنابراین تجمع در اندام‌های جوان‌تر و اندام‌هایی که در انتهای دوره رشدی گیاه پدیدار می‌گردند، مثل دانه‌ها بسیار کم‌تر از ریشه‌ها می‌باشد. با توجه به نتایج به دست آمده مشاهده شد که آبیاری با پساب باعث افزایش تجمع فلزات سنگین سرب و کادمیوم در ریشه و اندام هوایی شد. به‌طوری که این افزایش در ریشه نسبت به اندام هوایی چشمگیر بود. در گزارشات مختلف در رابطه با مقایسه جذب و انتقال فلزات سنگین، گیاهان مختلف پاسخ‌های متفاوتی در جذب فلزات سنگین از خود نشان می‌دهند. به‌طوری که غلظت این عناصر در ریشه به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از اندام هوایی است، که احتمالاً این نتایج تحرک کم این فلزات را در گیاه نشان می‌دهد، که این یافته‌ها با نتایج مشابه مطابقت دارد[۲۳]. بالاتر بودن غلظت عناصرسنگین در ریشه نسبت به اندام هوایی با نتایج مشابه که به ترتیب نشان دادند غلظت روی، کادمیوم و سرب در ریشه نسبت به اندام هوایی بیش‌تر است مطابقت داشت[۲۴]. بررسی اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر تجمع فلزات سنگین سرب و کادمیوم در ریشه ذرت گواه از وجود اختلاف آماری معنی‌داری بین تیمار از نظر تجمع فلزات سنگین کادمیوم و سرب بود که احتمالاً علت آن وجود مقادیر بالای این عناصردر آب آبیاری و تجمع این عناصر در محیط ریشه می‌باشد، این نتایج با یافته‌های مشابه مطابقت دارد[۱۷]. سرب توسط ریشه‌های گیاه جذب و به بخش‌های بیرونی ریشه و اندامک‌های سلولی متصل می‌شود و مقدار انتقال آن به سمت اندام‌های هوایی محدود می‌باشد. به همین دلیل بیش‌ترین مقدار تجمع در ریشه هاو کمترین مقدار در دانه مشاهده می‌گردد[۲۵]، که با نتایج این تحقیق که تجمع عنصر سرب در ریشه‌ها است، مطابقت دارد.

استفاده از پساب باعث تجمع عناصر سرب و کادمیوم در ساقه‌های ذرت تحت آبیاری شد. که با نتایج مشابه مطابقت دارد[۲۶]. هر چند غلظت عناصر سنگین در پساب ممکن است کم و ناچیز باشد، تجمع آن‌ها در خاک می‌تواند سبب افزایش غلظت عناصر سنگین در گیاهان کشت شده در این خاک‌ها شود. گرچه برخی از فلزات سنگین برای رشد گیاه لازم هستند غلظت بیش از حد آن‌ها می‌تواند برای گیاه مشکل زا باشد. استفاده از پساب در کوتاه مدت ممکن است سمیتی در گیاه ایجاد نکند اما مصرف طولانی مدت فاضلاب‌ها یا به

عبارتی ورود کنترل نشده عناصر سنگین به خاک‌ها سبب افزایش غلظت این عناصر در خاک شده گیاهان کشت شده در این خاک‌ها این عناصر راجذب کرده، به آسانی وارد زنجیره غذایی می‌شوند[۲۷].

در تحقیقی نشان داد که ضریب انتقال عناصر سنگین نظیر کادمیوم و سرب در اراضی آبیاری شده با فاضلاب، بیشتر از اراضی آبیاری شده با آب معمولی می‌باشد[۲۸]. براساس نتایج تجزیه گیاه نشان دادند که لجن فاضلاب شهری به صورت کود مصرفی، اثر معنی‌داری در سطح یک‌درصد بر غلظت سرب و نیکل در اندام هوایی و همچنین شاخص جذب سرب و نیکل در خاک رسی داشت. همچنین کاربرد کود، ضریب انتقال سرب و نیکل را به‌طور معنی‌داری در خاک رسی افزایش داد. مقایسه مقدار ضریب انتقال از خاک به اندام های هوایی نشان داد که بیشترین میزان آن به ترتیب مربوط به کادمیوم و سرب می‌باشد. این نتایج مشابه نتایج کار ترابیان و مهجوری در بررسی جذب عناصر سنگین به وسیله سبزی‌های برگی می‌باشد.

طبق نتایج حاصل به کمک فرایند جذب و انباشت فلزات سنگین سرب و کادمیوم طی دوره رشد در گیاه ذرت، فلزات سنگین رسوب کرده در خاک تحت تأثیر آبیاری با پساب به‌طور معنی‌داری از خاک جذب می‌شود. همان گونه که ملاحظه می‌شود گونه ذرت، پتانسیل خوبی برای جذب و انباشت فلزات سنگین سرب و کادمیوم از خود نشان داد، به‌طوری که با افزایش غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم تحت تأثیر آبیاری با پساب، افزایش میزان جذب و انباشت مشاهده شد. با توجه به نتایج، گیاه ذرت در برداشت جذب و انباشت فلزات سنگین سرب و کادمیوم، در کاهش این عنصر از خاک تحت تأثیر آبیاری با پساب نقش مؤثرتری داشت. در این مطالعه مشاهده شد که تجمع کادمیوم و سرب در دانه‌ها و اندام ذرت کم‌تر از حد استاندارد (کادمیوم $mg.kg^{-1}$ ۱، سرب $mg.kg^{-1}$ ۲) سمیت این عناصر برای مصرف کننده بود. با توجه به نتایج این آزمایش می‌توان گفت که رقم ۷۰٤ ذرت یک گیاه دومنظوره است که هم برای تغذیه انسان و هم می‌تواند به عنوان ذرت علوفه ای مورد استفاده قرار گیرد و ضمناً به علت مقاوم بودن و داشتن ریشه‌های زیاد وعمقی‌تر نسبت به گیاهان انبوه ساز می‌توان برای پاکسازی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین نیز از آن استفاده نمود. همچنین می‌توان با انتقال عوامل مقاومت آن به گیاهان غیر اقتصادی با بیوماس زیاد، گیاهان ترانسژن ایجاد و در پاکسازی خاک‌های آلوده از آن‌ها استفاده کرد.

رقیق کردن پساب و کاربرد یک در میان آن با آب شرب موجب کاهش مقدار عناصر کادمیوم و سرب در آب آبیاری گردید. کاربرد این آب در آبیاری موجب کاهش مقدار عناصر مذکور در خاک و گیاه شد. در نتیجه رشد گیاه در اثر آبیاری بهتر شد و عملکرد بالاتری نسبت به آبیاری با آب شرب و پساب داشت. مقدار افزایش فلزات سنگین سرب و کادمیوم در اثر گذشت زمان در خاک افزایش یافت. علیرغم افزایش مشاهده شده، مقدار تجمع هیچ یک از عناصر مذکور در خاک به حد سمیت نرسید. با افزایش مقدار عناصر سنگین در خاک، جذب این عناصر توسط ذرت نیز افزایش یافت. به علت تحرک کم عناصر سنگین در گیاه، تجمع عناصر در ریشه بیش از سایر اندام‌ها بود. با توجه به حدود استاندارد تجمع کادمیوم و سرب در دانه و ساقه ذرت کم‌تر از حد مجاز بود. آبیاری با پساب، باعث افزایش غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم در خاک تحت آبیاری با پساب می‌شود. نتایج این تحقیق به یک فصل رشد محدود است و با ادامه کاربرد پساب شهری ممکن است غلظت سرب و کادمیوم در خاک و سپس در گیاه افزایش یافته از حد استاندارد تجاوز کند. به ویژه در مورد کادمیوم که به نظر می رسد تمایل کمی به افزایش نسبت به خاک اولیه و اندام ذرت نشان داده است.

نتیجه‌گیری

فلزات سنگین در قسمت‌های خوراکی به ترتیب کادمیوم > سرب است. مصرف پساب شهری باعث افزایش غلظت سرب و کادمیوم در خاک و گیاه ذرت از حد مجاز و استاندارد نشد. نتایج نشان داد که پساب حاوی مواد مغذی برای ذرت است، پس با کاهش مصرف کود شیمیایی، برای سلامتی مصرف کننده مهم است. انتخاب تیمار مناسب آبیاری با پساب می تواند به طور قابل توجهی خطر سلامتی برای انسان را کاهش دهد.

همچنین نتایج تحقیق حاضر داد که آبیاری با پساب رقیق شده و آبیاری یک در میان با آب شرب روش مناسبی جهت آبیاری گیاه ذرت به وسیلهٔ پساب می‌باشد. زیرا در این شرایط منبع آب و مواد غذایی موجود در پساب رقیق شده در اختیار ریشه قرار می‌گیرد و اثرات سمی از تجمع فلزات سنگین نسبت به کاربرد پساب بسیار کم‌تر می‌شود و باعث می‌شود که گیاه بتواند به‌طور مؤثری آب و مواد غذایی را جذب نماید و شاخص‌های رشدی و عملکرد بالاتری را تولید نموده و با فتوسنتز بیش‌تری که انجام می‌دهد، سرعت رشد محصول بیش‌تری را حاصل نماید و در نهایت ماده خشک بیش‌تری را تولید نماید. از مزایای دیگر رقیق کردن پساب و آبیاری یک در میان پساب با آب شرب علاوه بر عملکرد بیش‌تر می‌توان به کنترل تجمع فلزات سنگین در خاک و گیاه به دلیل کاهش غلظت این عناصر اشاره نمود. پس می‌توان با اعمال مدیریت صحیح علاوه بر استفاده بهینه از این منبع، از آلودگی خاک به فلزات سنگین و انتقال آن به زنجیره‌های غذایی ممانعت کرد. بنابراین لازم است در این منطقه با توجه به موقعیت جغرافیایی و قرار گرفتن استان بوشهر در منطقه خشک به پساب خروجی از این تصفیه خانه‌ها به عنوان یک منبع مهم آب نگریسته شود. ادامه این تحقیق برای ارزیابی اثرات درازمدت پساب تصفیه شده شهری بر غلظت عناصر سنگین در خاک و گیاه و بر خواص خاک توصیه می‌شود، هر چند که بایستی اذعان داشت که بر اساس توصیه های فنی کاربرد پساب تصفیه شده قابل توصیه نمی باشد ولی در موارد ضروری با احتیاط می تواند استفاده شود، همچنین تحقیق اثرات این پساب روی سبزی‌ها و گیاهان خوراکی دیگر نیز مطلوب خواهد بود.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از سرکار خانم دکتر طباطبایی عضو هیات علمی گروه محیط زیست واحد بوشهر که ما را در انجام آنالیزهای آزمایشگاهی این تحقیق یاری نمودند، صمیمانه تشکر می نمایم. این مقاله حاصل (بخشی از) پایان‌نامه با عنوان مطالعه اثر پساب شهری بر میزان انباشت فلزات سنگین کادمیوم و سرب در خاک و رشد گیاه ذرت در مقطع (کارشناسی ارشد) است که با حمایت دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر اجرا شده است.

References

1. Alinezhad Jahromi H, Mohammadkhani AR, Salehi MH. The Effect of Using Urban Wastewater of ShahreKord on Growth, Yield and Accumulation of Lead and Cadmium in Medicinal Plant Lemon Balm (Melissa officinalis). Water Soil Res 2012;16(60):173-85 [In Persian].

2. Liberti L, Notarnicola M. Advanced treatment and disinfection for municipal wastewater reuse in agriculture. Water Sci Technol 1999;40(4):235-45.

3. Pedrero F, Kalavrouziotis I, Alarcón JJ, Koukoulakis P, Asano T. Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture-Review of some practices in Spain and Greece. Agric Water Manag 2010;97(9):1233-41.

4. Afkhami M, Amiri F, Tabatabaie T. Effect of irrigation with treated wastewater on lead and cadmium accumulations in soil and sweet pepper (Capsicum annuum) plant. Iranian Journal of Health and Environment (IJHSE) 2021;14(1):99-114 [In Persian].

5. Sayadmanesh SM, Bahmanyar M, Ghajarsepanlu M. The effect of application of industrial effluent in irrigation of rice on accumulation of heavy metals in soil and the crop. Int J water wastewater treat 2014;25(3):13-20 [In Persian].

6. Oktem A, Oktem A, Emeklier H. Effect of nitrogen on yield and some quality parameters of sweet corn. Commun Soil Sci Plant Anal 2010;41(7):832-47.

7. Cao H, Chen J, Zhang J, Zhang H, Qiao L, Men Y. Heavy metals in rice and garden vegetables and their potential health risks to inhabitants in the vicinity of an industrial zone in Jiangsu, China. Res J Environ Sci 2010;22(11):1792-99.

8. Flores-Magdaleno H, Mancilla-Villa OR, Mejia-Saenz E, Olmedo-Bolantilde MDC, Bautista-Olivas AL. Heavy metals in agricultural soils and irrigation wastewater of Mixquiahuala, Hidalgo, Mexico. Afr J Agric Res 2011;6(24):5505-11.

9. Wu M. Potential of Typha as Plant Candidates for Sludge Treatment Wetlands. J Bio 2014;3(1):21-33.

10. Phewnil O, Chunkao K, Pattamapitoon T, Intaraksa A, Chueawong O, Chantrasoon C, et al. Choosing aquatic plant species for high wastewater treatment efficiency through small wetland. Mod Appl Sci 2014;8(4):187-94.

11. Dala-Paula BM, Custódio FB, Knupp EAN, Palmieri HEL, Silva JBB, Glória MBA. Cadmium, copper and lead levels in different cultivars of lettuce and soil from urban agriculture. Environ Pollut 2018;242:383-89.

12. Tabatabaei SA, Shakeri E, Nasiri H. Effect of Different Method Irrigation and Manure on Reduce Water Use in the Planting Grain Maize cv. KSC704. Iranian Journal of Field Crops Research. 2014;12(4):766-75.

13. Aulakh GS, Vashist KK, Mahal S. Effect of different irrigation regimes and nitrogen levels on growth parameters and yield of late kharif sown maize (*Zea mays* L.). Crop Res 2013;45(1-3):96-105.

14. Atamaleki A, Naimi N, Fakhri Y, Sharifi MH, Nosrati H, Fallah S. Investigation of heavy metals in mint plants irrigated by wastewater: a systematic review and meta-analysis. Iranian Journal of Health and Environment (IJHSE) 2020;12(4):679-94 [In Persian].

15. Muchuweti M, Birkett JW, Chinyanga E, Zvauya R, Scrimshaw MD, Lester JN. Heavy metal content of vegetables irrigated with mixtures of wastewater and sewage sludge in Zimbabwe: Implications for human health. Agric Ecosyst Environ 2006;112(1):41-48.

16. Pan X-D, Tang J, Chen Q, Wu P-G, Han J-L. Evaluation of direct sampling method for trace elements analysis in Chinese rice wine by ICP–OES. Eur Food Res Technol 2013;236(3):531-35.

17. Harati M, Rastegar MT, Foghi B. Effect of urban wastewater usage and problems of accumulation of heavy metals in agricultural lands (south of Tehran). Afr J Agric Res 2011;6(14):3224-31.

18. Sharma S, Prasad F. Accumulation of lead and cadmium in soil and vegetable crops along major highways in Agra (India). J Chem 2010;7(4):1174-83.

19. Masoudi SN, Sepanlou MG, Bahmanya M. Distribution of lead, cadmium, copper and zinc in roadside soil of Sari-Ghaemshahr road, Iran. Afr J Agric Res 2012;7(2):198-204.

20. Mireles A, Solís C, Andrade E, Lagunas-Solar M, Piña C, Flocchini RG. Heavy metal accumulation in plants and soil irrigated with wastewater from Mexico city. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. 2004;219-220:187-90.

21. Lubello C, Gori R, Nicese FP, Ferrini F. Municipal-treated wastewater reuse for plant nurseries irrigation. Water Res 2004;38(12):2939-47.

22. Herpin U, Gloaguen TV, da Fonseca AF, Montes CR, Mendonça FC, Piveli RP, et al. Chemical effects on the soil–plant system in a secondary treated wastewater irrigated coffee plantation-A pilot field study in Brazil. Agric Water Manag 2007;89(1):105-15.

23. Tang Y-T, Qiu R-L, Zeng X-W, Ying R-R, Yu F-M, Zhou X-Y. Lead, zinc, cadmium hyperaccumulation and growth stimulation in Arabis paniculata Franch. Environ Exp Bot 2009;66(1):126-34.

24. Tanhan P, Kruatrachue M, Pokethitiyook P, Chaiyarat R. Uptake and accumulation of cadmium, lead and zinc by Siam weed [Chromolaena odorata (L.) King & Robinson]. Chemosphere 2007;68(2):323-29.

25. Wang Q, Yang Z. Industrial water pollution, water environment treatment, and health risks in China. Environ Pollut 2016;218:358-65.

26. Daneshvar M, Fattahi F, Rahmani HR, Sanavy SAM, Masoud S. Effect of municipal wastewater irrigation and well water on plant and soil characteristics. Not Sci Biol 2020;12(2):409-19.

27. Wang M, Webber M, Finlayson B, Barnett J. Rural industries and water pollution in China. J Environ Manage 2008;86(4):648-59.

28. Udom BE, Mbagwu JSC, Adesodun JK, Agbim NN. Distributions of zinc, copper, cadmium and lead in a tropical ultisol after long-term disposal of sewage sludge. Environ Int 2004;30(4):467-70.

Journal of Environmental Health Engineering, February 2022; Vol. 9, No. 2: 157-172

Effect of Municipal Wastewater on the Accumulation of Heavy Metals Cadmium and Lead in Soil and Corn

Ameneh Tahmasbi [1], Fazel Amiri [2*]

[1]Department of Environment, Branch Bushehr, Islamic Azad University, Bushehr, Iran.
[2]Department of Natural Resources and Environment, Branch Bushehr, Islamic Azad University, Bushehr, Iran. Corresponding author e-mail address:. Tel: +989177798200, Fax: (+98)-7733337503.

E-mail: Fazel.Amiri@iau.ac.ir

Received: 1 January. 2022; Accepted: 19 April. 2022

ABSTRACT

Background and Objective: Using wastewater as a renewable water source to irrigate plants is a safe and effective solution. In contrast, the accumulation of heavy elements in soil and plants is one of the concerns of the use of wastewater in agriculture. This study was conducted to investigate the effects of urban wastewater use on the most important physiological parameters related to the growth of corn (*Zea mays* L., KSC 704) and the accumulation of heavy metals lead and cadmium in the soil in a field Bushkan area of Dashtestan, Bushehr in a pot.

Materials and Methods: This study was performed in 4 treatments: wastewater of the treatment plant, wastewater diluted with drinking water (1/2), Irrigation one on one with wastewater and drinking water and drinking water treatment, in 3 replications in a completely randomized design. Lead (Pb) and cadmium (Cd) content in soil and plants were measured by ICP. pH and Electrical conductivity (EC) of soil and wet and dry weight of the Corn organs were measured. The means were compared using one-way analysis of variance (ANOVA), and the Duncan test was used to determine the differences between groups ($p < 0.05$).

Results: The results of this study showed that irrigation with EC wastewater increased the soil by 1.1 (ds.m-1), also increased soil cadmium by 0.03 ($mg.kg^{-1}$) and lead by 0.02 ($mg.kg^{-1}$). Dilution of the wastewater reduced the negative effects of the wastewater on the soil. The highest wet weight added of 1500 g was related to irrigation treatment with diluted wastewater. The highest dry weight added was observed with 600 g of irrigation treatment with diluted wastewater. The lowest total wet weight added of 1100 g and total dry weight added of 400 g were observed in the wastewater treatment. The accumulation of lead and cadmium in the corn seed was (0.6 lead, 0.5 cadmium) <stem (0.9 lead, 0.8 cadmium) <root (lead 1.9, 0.95 cadmium), respectively. The highest accumulation of lead and cadmium was related to wastewater treatment and the lowest was related to drinking water treatment.

Conclusion: The higher the cadmium levels in the soil, the higher the concentration and content of cadmium in the roots and shoots. The results showed that the corn plant has a high ability to absorb and transport cadmium and lead. Due to the pattern of accumulation of heavy elements of lead and cadmium in the roots of corn, this plant can be used for accumulation of fields irrigated with wastewater. The continuation of this study is recommended to evaluate the long-term effects of municipal treated wastewater on the concentration of heavy elements in soil and plants, and soil properties, although it should be noted that based on technical recommendations, the use of treated wastewater are not recommended, however, in necessary cases, diluting of wastewater by reducing the destructive effects and providing the necessary elements for the growth of the Corn can be used as an indicator treatment in irrigation. Also, it is suggested that in order to use the wastewater in corn cultivation, while increasing growth and yield, the risk of using the wastewater in corn cultivation should be evaluated from an environmental point of view.

Key words: Heavy metals, Municipal wastewater, Biotransmission coefficient, Soil pollution