مدیریت آب و آبیاری

دوره ۶ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۵

صفحه‌های ۱۱۵-۱۰۱

تجزیه و تحلیل غلظت فلزات سنگین در خاک آبیاری شده با پساب شهری در کشت فلفل دلمه‌ای

عباس ملکی*[۱]، اکرم حسین نژاد [۲]، افسانه عالی نژادیان بیدآبادی[۳]

۱. عباس ملکی، استادیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران.
۲. اکرم حسین نژاد، کارشناس ارشد مهندسی آب- زهکشی، انشکده کشاورزی دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران.
۳. افسانه عالی نژادیان بیدآبادی استادیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران.

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۲/۰۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۳/۱۹

چکیده

با توجه به بحران آب در کشور، استفاده از آب‌های نامتعارف از جمله پساب‌ها، با اعمال مدیریت صحیح امری ضروری است. بدین منظور این پژوهش با هدف تأثیر آبیاری با پساب شهری خرم‌آباد بر غلظت برخی فلزات سنگین (سرب، کادمیم، مس، آهن و روی) در فلفل دلمه‌ای و خاک، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شش تیمار شامل ۱۰۰ درصد پساب (T_1)، ۷۵ درصد پساب + ۲۵ درصد آب چاه (T_2)، ۵۰ درصد پساب +۵۰ درصد آب چاه (T_3)، ۲۵ درصد آب چاه + ۷۵ درصد پساب (T_4)، ۱۰۰ درصد آب چاه (T_5) و ۱۰۰ درصد آب چاه با کود شیمیایی (T_6) در سه تکرار در گلخانهٔ تحقیقاتی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه لرستان اجرا شد. نتایج آبیاری با پساب در سطح ۱ درصد بیانگر عدم تفاوت معنادار بر غلظت سرب و کادمیم و تأثیر معناداری بر غلظت مس، روی و آهن در خاک است. همچنین، در میوهٔ فلفل دلمه‌ای به‌استثنای غلظت آهن که در سطح ۱ درصد معنادار شد، در غلظت سرب، کادمیم، مس و روی تفاوت معناداری مشاهده نشد. علاوه‌بر آن، یافته‌ها نشان داد که با مصرف پساب شهری خرم‌آباد غلظت عناصر سنگین در خاک و گیاه از حد مجاز و استاندارد افزایش نیافت که این مورد از جنبهٔ سلامتی برای مصرف‌کنندگان اهمیت دارد. از طرفی، با مصرف پساب حاوی عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان می‌توان با مدیریت صحیح در منطقهٔ مورد مطالعه استفاده از کود شیمیایی را کاهش داد.

کلیدواژه‌ها: آب‌های نامتعارف، آهن، پساب شهری خرم‌آباد، روی، کادمیم، مس.

* نویسنده مسئول Email: dr.maleki38@yahoo.com

مقدمه

استفاده از آب‌های نامتعارف مانند فاضلاب تصفیه‌شده و تصفیه‌نشده برای آبیاری به‌خصوص در اراضی کشاورزی با توجه به توسعهٔ شهرنشینی در جهان رو به افزایش است. از مزایای استفاده از این آب‌ها می‌توان به جایگزینی آن‌ها به‌جای آب با کیفیت بالا (امکان ذخیرهٔ آب با کیفیت بهتر برای مصرف بشر)، وفور مقدار و تولید آن در اکثر نقاط جهان، کاهش مصرف کود مورد نیاز گیاهان (به‌دلیل سرشار بودن این آب‌ها از مواد غذایی) و کاهش تخلیه و دفع پساب و فاضلاب در اطراف شهرها اشاره کرد (۲۵). با این حال، مدیریت نادرست و کاربرد غیراصولی این آب‌ها به‌دلیل احتمال داشتن منابع آلودگی فلزات سنگین و میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا برای استفاده در خاک‌ها در تولید محصولات کشاورزی، به‌ویژه محصولاتی که به‌صورت تازه‌خوری مصرف می‌شود (سبزی‌ها)، بسیار زیان‌آور است و آثار منفی مؤثری بر سلامتی بشر و کیفیت محیط‌زیست به‌همراه دارد (۳۹). بدین سبب، ارزیابی کارآمد آثار محیط‌زیستی کاربرد آب‌های نامتعارف از جمله پساب‌ها در کشاورزی لازم و ضروری است (۱۸، ۳۹).

سبزی‌ها به‌علت داشتن کربوهیدرات، پروتئین، ویتامین، مواد معدنی و عناصر کمیاب بخش مهمی از رژیم غذایی انسان را تشکیل می‌دهد. همچنین، عامل خنثی‌کنندهٔ مواد اسیدی تشکیل‌شده در طول هضم مواد غذایی و بسیار مفید است (۴۰). برخی مصرف‌کنندگان، سبزی‌های غیرآسیب‌دیده با برگ بزرگ و سبز را از ویژگی‌های خوب سبزی‌ها می‌دانند، در حالی که همیشه شکل ظاهری و مورفولوژیکی آن بیانگر ایمن‌بودن از آلودگی نیست. رونق جمعیت و شهرنشینی، تقاضای مصرف سبزی‌ها را برای ساکنان شهرها و حوالی آن‌ها افزایش داده است، به‌طوری که در کشاورزی شهری به‌دلیل کمبود آب شیرین، استفاده از پساب به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک رایج شده است که در نهایت این عمل به تجمع بالقوهٔ فلزات سنگین سمی در خاک، جذب آن‌ها در گیاهان و ورود به زنجیرهٔ غذایی و یا رسیدن به آب‌های زیرزمینی منجر می‌شود (۴۱). در خاک‌های کشاورزی وجود فلزات سنگین سمّی نگرانی‌های زیادی را به‌دنبال خواهد داشت چرا که این فلزات به‌شکل حل‌شده به محلول خاک منتقل و در نهایت به آب‌های زیرزمینی آبشویی می‌شود. این فلزات، همچنین از نظر زیستی تجزیه‌ناپذیر است و در محیط‌زیست به‌شدت به‌صورت ماندگار باقی می‌ماند (۱۴). تجمع فلزات سنگین در خاک‌ها از راه‌های مختلف مانند کاربرد کودهای شیمیایی، مکمل‌های آلی، آبیاری با پساب و فعالیت‌های صنعتی- شهری رخ می‌دهد (۳۲). حرکت این فلزات در خاک به‌خصوصیات خاک مانند واکنش خاک (pH)، بافت خاک، مواد آلی، کربنات‌ها، فسفات و رس خاک بستگی دارد (۳۱).

طبق نظر محققان، فاضلاب تصفیه‌شده نسبت به فاضلاب خام آثار مخرب فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی کمتری بر میوه و سبزی‌ها خواهد گذاشت (۲۲). در بررسی اثر آبیاری با پساب بر جذب فلزات سنگین در سبزی‌های برگی در اراضی جنوب تهران محققان دریافتند که غلظت برخی فلزات سنگین در گیاهان زیر کشت، بیش از حد مجاز به‌دست آمد. برای مثال، مقدار کروم و کادمیم تجمع‌یافته **در** گیاهان تحت آزمایش برای انسان و گیاه بیش از مقدار مجاز آن مشاهده شد (۲). در تحقیق انجام‌شده در شهر ساری، استفاده از پساب شهری برای آبیاری قسمتی از زمین‌های کشاورزی سبب افزایش سرب در اسفناج و برنج شد (۱). همچنین، در بررسی اثر سطوح مختلف آبیاری با پساب خانگی بر عملکرد و کیفیت کاهو، نتایج بیانگر این بود که بیشترین عملکرد برگ کاهو در تیمار ۱۰۰ درصد پساب به‌دست آمد. براساس نتایج دیگر پژوهشگران، کاربرد پساب، مقدار نیتروژن کل، فسفر

قابل‌جذب بر محلول و عناصر سنگین خاک را افزایش داد، ولی این افزایش زیر مرز استانداردهای بین المللی بود (۱۱). در پژوهشی اثر آبیاری با پساب شهری بر توزیع نیکل در خاک و اندام فلفل سبز بررسی شد. یافته ها نشان داد آبیاری با فاضلاب تصفیه شدهٔ شهرکرد تأثیری بر غلظت نیکل در خاک و اندام فلفل سبز نشان نداد (۱۲).

در ارزیابی غلظت مختلف فلزات سنگین آهن، منگنز، مس و روی در سبزی‌های آبیاری‌شده با پساب نتایج نشان داد که بیشترین تجمع مقدار آهن و منگنز در نعناع و اسفناج و بیشترین غلظت مس و روی در هویج مشاهده شد، هر چند مقادیر این عناصر زیر حد مجاز بود (۱۹). نتایج پژوهش دیگر دربارهٔ سبزی‌های تربچه، شاهی، شوید، اسفناج و بادمجان آبیاری شده با پساب نشان داد که غلظت سرب در تمام سبزی‌ها بیش از حد مجاز بود، در حالی که آلودگی کادمیم در این سبزی‌ها وجود نداشت. همچنین، نتایج نشان داد که غلظت روی در کرفس، نعناع، اسفناج و فلفل سبز بیش از حد مجاز بود و در سبزی‌ها تجمع مس مشاهده نشد. با این‌حال، داده‌ها نشان داد که این مقدار جذب بالای فلزات کمتر از بیشترین حد مقدار جذب مجاز روزانه بود، ولی با مصرف طولانی‌مدت این‌گونه سبزی‌ها احتمال خطر سلامتی برای افراد وجود دارد (۲۰).

در اکثر مطالعات، به اثر کاربرد لجن فاضلاب در سبزی‌ها نسبت به پساب بیشتر توجه شده است (۳۶). به‌همین دلیل در این زمینه به بررسی‌های بیشتری نیاز است تا به مزیت و محدودیت استفاده از پساب در آبیاری در مناطق مختلف بیشتر توجه شود. از طرف دیگر، جذب فلزات سنگین از خاک از گیاهی به گیاه دیگر و از مکانی به مکان دیگر متفاوت است (۳۵)، بنابراین ضرورت دارد به استفاده از پساب‌ها در ارتباط با افزایش غلظت عناصر سنگین از جمله سرب، کادمیم، روی، مس و آهن در خاک و گیاهان مختلف بیشتر توجه شود. لذا، این پژوهش با هدف بررسی برخی فلزات سنگین در خاک و گیاه فلفل دلمه‌ای که به‌صورت تازه خوری مصرف می‌شود، تحت آبیاری با پساب شهری خرم‌آباد در گلخانهٔ تحقیقاتی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه لرستان اجرا شد.

مواد و روش‌ها

مکان و روش تحقیق

تحقیق حاضر به‌صورت گلدانی در گلخانهٔ تحقیقاتی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه لرستان صورت پذیرفت. پساب مورد استفاده برای آبیاری از تصفیه‌خانهٔ شهری واقع در جنوب شهر خرم‌آباد تهیه شد. آب‌وهوای منطقهٔ مورد مطالعه طبق طبقه‌بندی آمبرژه نیمه‌خشک معتدله، بارش سالیانهٔ آن ۵۲۴ میلی‌متر، حداکثر درجه حرارت مطلق ۴۴ و حداقل درجهٔ مطلق آن ۷/۶- درجهٔ سانتی‌گراد است. آزمایش در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با شش تیمار و سه تکرار شامل T_1: ۱۰۰ درصد پساب، T_2: ۷۵ درصد پساب + ۲۵ درصد آب چاه، T_3: ۵۰ درصد پساب + ۵۰ درصد آب چاه، T_4: ۲۵ درصد پساب + ۷۵ درصد آب چاه، T_5: ۱۰۰ درصد آب چاه، و T_6: ۱۰۰ درصد آب چاه + کود شیمیایی انجام شد. خاک مورد استفاده از اراضی دانشکده نمونه‌برداری شد. پس از تهیه و آماده‌سازی گلدان‌ها، یک نشا از گیاه فلفل دلمه‌ایی در هر گلدان کشت شد. از زمان انتقال و کاشت نشاها، میزان آب آبیاری با تعیین رطوبت وزنی خاک گلدان قبل از هر آبیاری و تفاوت آن با رطوبت ظرفیت مزرعه محاسبه شد. برای تعیین دور آبیاری، آب مصرفی گیاه (میزان تبخیر و تعرق واقعی گیاه) با استفاده از نرم‌افزار کراپ وات محاسبه شد و با تقسیم عمق آب آبیاری به آب مصرفی گیاه به‌دست آمد.

ویژگی های فیزیکی- شیمیایی خاک محل آزمایش و پساب مورد استفاده

به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی- شیمیایی خاک منطقه، قبل از کاشت، نمونه‌برداری از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری به‌صورت تصادفی به‌عمل آمد و نمونه‌ها برای آنالیزهای شیمیایی و فیزیکی به آزمایشگاه خاک منتقل و با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی مرسوم پارامترهای مورد نظر در خاک تعیین شد. واکنش خاک و شوری خاک در عصارهٔ گل اشباع به‌ترتیب به کمک دستگاه pH متر و EC متر، میزان مواد آلی خاک بر اساس روش اکسایش، میزان فسفر قابل‌جذب بر اساس روش اولسن و به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر، میزان پتاسیم قابل‌جذب بر اساس روش آمونیم استات و به کمک دستگاه شعله‌سنجی و بافت خاک بر اساس روش هیدرومتری اندازه‌گیری شد (۳) (جدول ۱). همچنین، نتایج تجزیهٔ برخی پارامترهای شیمیایی آب چاه و پساب در طول دورهٔ رشد در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی و غلظت فلزات سنگین قابل‌جذب در نمونهٔ خاک مورد آزمایش

هدایت الکتریکی (dSm^{-1})	واکنش خاک (pH)	نیتروژن (٪)	فسفر قابل‌جذب (p.p.m)	پتاسیم قابل‌جذب (p.p.m)	روی (p.p.m)	آهن (p.p.m)	سرب (p.p.m)	کادمیم (p.p.m)	مس (p.p.m)	بافت خاک
۰/۵	۷/۴۲	۰/۰۷	۲۰/۰۸	۱۸۰	۰/۸۷۲	۴/۹۵	۰/۹۹۸	۰/۰۷۴	۲/۲۴	لوم

جدول ۲. برخی خصوصیات شیمیایی آب چاه و پساب شهری و مقادیر استاندارد آن‌ها

خصوصیات شیمیایی	pH	EC (dS/m)	BOD_5 (mg/l)	COD (mg/l)	Cu (p.p.m)	Fe (p.p.m)	Zn (p.p.m)	Cd (p.p.m)	Pb (p.p.m)
میانگین (پساب)	۷/۵۴	۰/۶۴۹	۴۰/۲۲	۵۸/۹۳	۰/۰۲۱	۰/۰۵۴	۰/۰۲۹	۰/۰۳۵	۰/۰۴۴
ماکزیمم (پساب)	۸	۰/۸۲۶	۴۹	۸۰	۰/۰۳۳	۰/۰۷۴	۰/۰۶۲	۰/۰۳۷	۰/۰۴۸
مینیمم (پساب)	۶/۸	۰/۴۳۲	۱۰	۱۴	۰/۰۱۲	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۳۳	۰/۰۴۱
آب چاه	۷/۵۴	۰/۶۶۷	–	–	–	–	–	–	–
مقدار استاندارد †	۸/۵-۶	–	۱۰۰	۲۰۰	۰/۲	۲	۲	۰/۱	۱

† استانداردهای توصیه‌شدهٔ سازمان حفاظت محیط زیست ایران (۶)

آماده‌سازی نمونه‌های خاک، گیاه و آنالیز فلزات سنگین در آن‌ها

در انتهای دورهٔ رشد، نمونه‌های گیاهی تمام گلدان‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه، نخست به دو بخش ریشه و اندام هوایی تفکیک و هر یک از بخش‌ها به‌خوبی با آب معمولی و سپس با اسید کلریدریک ۰/۰۰۵ درصد شستشو و مجدداً با آب معمولی و آب مقطر شسته شد. نمونه‌ها برای خشک‌شدن در آون تهویه‌دار در ۶۵ درجهٔ سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن خشک ثابت قرار داده و پس از آن آسیاب شد. به‌طور مشابه، میوه‌های برداشت‌شده در طول میوه‌دهی گیاه نیز به‌همان طریق شستشو، خشک و آسیاب شد.

برای اندازه‌گیری عناصر سنگین نمونه‌های گیاهی از روش عصاره گیری به روش خاکستر خشک استفاده شد. یک گرم از هر نمونه میوه و اندام هوایی آسیاب‌شده با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین و به درون بوته‌های چینی انتقال داده شد و در دمای ۵۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد و مدت دو ساعت در کورهٔ الکتریکی خاکستر شد. پس از این مرحله، ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک دو نرمال به نمونه‌ها اضافه شد. محلول مورد نظر روی اجاق برقی حرارت داده شد. سپس، به کمک آب مقطر گرم و با استفاده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ به درون بالن ژوژه ۱۰۰ میلی‌لیتر صاف شد. غلظت عناصر سنگین نمونه‌های گیاهی در عصارهٔ مورد نیاز با دستگاه جذب اتمی GBC932plus قرائت شد. برای اندازه‌گیری غلظت قابل عصاره‌گیری عناصر سنگین در خاک گلدان‌ها، ۱۰ گرم خاک هواخشک و عبور داده‌شده از الک ۲ میلی‌متری با استفاده از ۲۰ میلی‌لیتر دی‌اتیلن تری آمین پنتا استیک اسید (DTPA) ۰/۰۰۵م نرمال عصاره‌گیری شد (۲۹).

آنالیز آماری

برای مقایسهٔ میانگین‌ها از آزمون کمترین اختلاف معنادار (LSD) به کمک نرم‌افزار SAS V_9 و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل استفاده شد.

نتایج و بحث

به‌منظور بررسی اثر پساب شهری بر غلظت فلزات سنگین (سرب، کادمیم، مس، آهن و روی) خاک و میوهٔ فلفل دلمه‌ای، بعد از برداشت محصول اندازه‌گیری‌های لازم صورت گرفت. در ادامه نتایج حاصل از آن‌ها ارائه خواهد شد.

تأثیر پساب بر غلظت فلزات سنگین در خاک

نتایج تجزیهٔ واریانس در جدول ۳ نشان می دهد که مقادیر مختلف عناصر سنگین سرب و کادمیم فاقد تفاوت معنادار و عناصر مس، آهن و روی در سطح ۱ درصد معنادار است.

جدول ۳. نتایج تجزیهٔ واریانس کاربرد پساب بر غلظت فلزات سنگین در خاک

منابع تغییر	درجهٔ آزادی	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)
تکرار	۲	۰/۶۹^{ns†}	۰/۸۲^{ns}	۰/۳^{ns}	۱/۳۸^{ns}	۰/۰۹^{ns}
تیمار	۵	۰/۹۷^{ns}	۴/۲۵^{ns}	۱۱/۰۵**†	۱۳/۳۱**	۸/۹۳**
خطا	۱۰					
کل	۱۷					

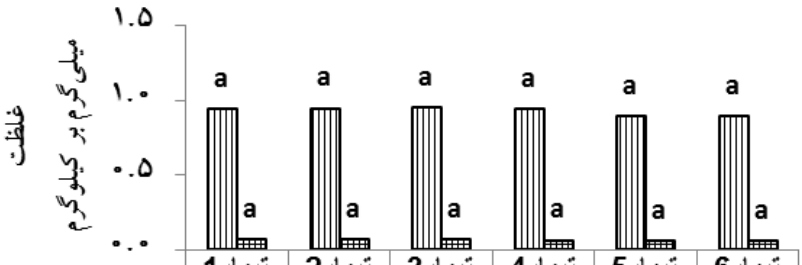
†ns و** به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ عدم تفاوت معنادار و تفاوت معنادار در سطح ۱ درصد است.

بررسی میزان غلظت سرب و کادمیم در خاک

با توجه به نتایج به‌دست آمده ملاحظه می‌شود که مقادیر سرب خاک در تمام تیمارها در سطح ۱ درصد تفاوت معناداری نشان نمی‌دهد (شکل ۱). بیشترین و کمترین میزان سرب به‌ترتیب در تیمار ۵۰ درصد پساب + ۵۰ درصد آب و آب چاه به میزان ۰/۹۵۳ و ۰/۹۰۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد که کمتر از مقدار مجاز است (۲ میلی‌گرم در کیلوگرم). مقدار سرب خاک آبیاری‌شده با پساب شهری نسبت به خاک آبیاری‌شده با آب چاه، افزایش ۵ درصدی نشان می‌دهد. علت آن را می‌توان به

غلظت کم سرب در پساب مورد استفاده (حداکثر ۰/۰۴۸ گرم در کیلوگرم)، همچنین دورهٔ کوتاه استفاده از پساب (یک فصل رشد) در خاک دانست که با نتایج بررسی اثر آبیاری با پساب شهری شهرکرد بر غلظت سرب در خاک و اندام فلفل سبز همخوانی دارد که نشان از عدم تأثیر پساب بر غلظت سرب در خاک وگیاه فلفل است.و غلظت سرب خاک در همهٔ تیمارها در حد مجاز بود (۱۲). همچنین، برخی پژوهشگران بیان کردند که ممکن است خطر آلودگی فلزات سنگین به‌ویژه سرب پس از ورود به خاک به‌دلیل تشکیل ترکیبات نامحلول نظیر کربنات و سولفات کاهش یابد (۱۵). در اینجا، هر چند غلظت فلزات سنگین در پساب کم و ناچیز است، مصرف مداوم آن در درازمدت ممکن است سبب افزایش غلظت این فلزات در خاک و گیاهان شود. بررسی‌ها نشان داده است که آبیاری طولانی‌مدت اراضی جنوب تهران با پساب شهری باعث افزایش فلز سنگین سرب در اراضی و گیاهان تحت آبیاری با فاضلاب نسبت به اراضی و گیاهان تحت آبیاری با آب قنات شده است (۱۵).

در تیمارها، بین مقادیر کادمیم خاک در سطح ۱ درصد تفاوت معناداری مشاهده نشد (شکل ۱). به‌عبارتی، استفاده از مقادیر مختلف پساب در آبیاری تأثیر معناداری بر غلظت کادمیم در خاک نداشته است. بیشترین میزان کادمیم در تیمار ۱۰۰ درصد پساب به میزان ۰/۰۷۷ و کمترین آن در تیمار ۱۰۰ درصد آب چاه به میزان ۰/۰۶۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. در حقیقت، با کاهش مقدار پساب در آب آبیاری مقدار کادمیم خاک کاهش یافته است. همچنین، در اثر آبیاری مستمر با پساب شهری در طول دورهٔ رشد، میزان کادمیم موجود در خاک افزایش قابل‌توجهی نشان نداده است ($T_1 \rangle T_2 \rangle T_3 \rangle T_4 \rangle T_6 = T_5$) (شکل ۱) که ممکن است به‌علت غلظت کم کادمیم در پساب مورد استفاده باشد (۰/۰۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم). نتایج تحقیقی نشان داد آبیاری با پساب شهری باعث افزایش غلظت کادمیم، نسبت به خاک آبیاری‌شده با آب چاه شده است (۲۱). در پژوهشی دیگر، در فلفل سبز و گوجه‌فرنگی غلظت کادمیم بیشتری در تیمارهای آبیاری‌شده با پساب نسبت به تیمارهای آبیاری‌شده با آب چاه مشاهده شد، هر چند غلظت آن از حد مجاز کمتر بود (۲۷) که با نتایج این تحقیق همخوانی نشان داد.



	تیمار1	تیمار2	تیمار3	تیمار4	تیمار5	تیمار6
سرب	۰.۹۵۰	۰.۹۵۲	۰.۹۵۳	۰.۹۴۸	۰.۹۰۱	۰.۹۰۲
کادمیوم	۰.۰۷۷	۰.۰۷۵	۰.۰۷۳	۰.۰۷۱	۰.۰۶۸	۰.۰۶۸

†تیمار ۱ (T_1) ، تیمار ۲ (T_2)، تیمار۳ (T_3)، تیمار ۴ (T_4)، تیمار ۵ (T_5)، تیمار ۶ (T_6)

شکل ۱. مقادیر متوسط غلظت سرب و کادمیم خاک در تیمارهای مختلف

در مطالعهٔ دیگری در استفاده از پساب شهری تغییر محسوسی در میزان کادمیم خاک گزارش نشد (۱۰). پژوهشگران در بررسی تأثیر آبیاری با پساب بر ویژگی‌های خاک گزارش کردند در تیمارهایی که با درصد پساب بیشتری آبیاری شد، هرچند غلظت فلزات سنگین در سطح ۵ درصد معنادار نبود، غلظت آن‌ها افزایش نشان داد (۴). با توجه به نتایج به‌دست آمده، به‌نظر می‌رسد هر گونه تغییر در غلظت فلزات خاک تابعی از غلظت آن فلز در پساب، میزان کاربرد پساب و جذب آن در گیاه باشد.

بررسی میزان غلظت مس، آهن و روی در خاک

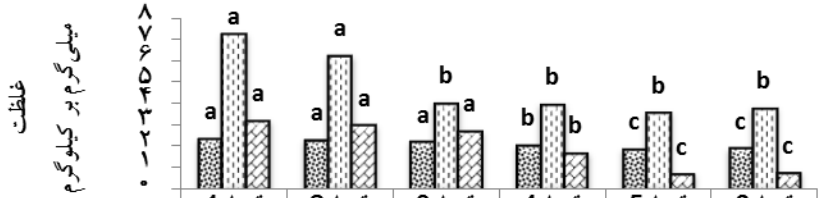
مقایسهٔ میانگین مقدار مس خاک در تمام تیمارها در سطح ۱ درصد دارای تفاوت معناداری است. بیشترین میزان مس در تیمار ۱۰۰ درصد پساب ۲/۳۷ و کمترین آن در تیمارهای ۱۰۰ درصد آب چاه ۱/۸۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد استفاده از پساب به میزان ۱۰۰ تا ۵۰ درصد تأثیر یکسانی در مقدار غلظت مس خاک داشته است و تیمارهای ۲۵ درصد پساب + ۷۵ درصد آب چاه و آب چاه تفاوت معناداری در مقدار مس خاک بروز نداده است (T_1›T_2›T_3›T_4›T_6›T_5) (شکل ۲). مس از عناصر مهم در رشدونمو گیاه است و در فعالیت‌های آنزیمی گیاه نقش اساسی دارد. در تحقیق حاضر، در تیمارهای دریافت‌کنندهٔ پساب علاوه‌بر تأمین مس مورد نیاز گیاه، در برخی تیمارها (۱۰۰ و ۷۵ درصد پساب) موجب افزایش غلظت مس در خاک شده است (غلظت مس خاک قبل از کشت ۲/۲۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم). همچنین، در تیمار ۵۰ درصد پساب مس مورد نیاز با مصرف پساب تأمین شده است، اما در تیمارهایی که پساب دریافت نکرده‌اند (T_5 و T_6) غلظت مس خاک به‌علت مصرف گیاه کاهش نشان داده است. در پژوهشی گزارش شد آبیاری گیاهان چغندرقند، ذرت و آفتابگردان با پساب شهری تصفیه‌خانهٔ شاهین‌شهر اصفهان باعث افزایش غلظت مس خاک شد (۱۶) که با تحقیق حاضر همخوانی نشان داد.

مقادیر میانگین غلظت فلز آهن در خاک نشان می‌دهد در بین تیمارهای ۱۰۰ درصد پساب و ۷۵ درصد پساب + ۲۵ درصد آب چاه، تفاوت معنادار دیده نشد، ولی بین این تیمارها با سایر تیمارها در سطح ۱ درصد تفاوت معناداری مشاهده شد (شکل ۲)، به‌طوری که در تیمار ۱۰۰ درصد پساب، میزان آهن موجود در خاک بیش از دو برابر آهن خاک آبیاری‌شده با آب چاه است و بیشترین و کمترین میزان آهن خاک نیز در همین تیمارها به‌ترتیب ۷/۲۸ و ۳/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد (T_1 و T_5) (شکل ۲). نتایج تحقیق نشان می‌دهد با افزایش مقدار پساب مورد استفاده، میزان غلظت آهن در خاک بیشتر شده است (T_1›T_2›T_3›T_4›T_6›T_5). افزایش مقدار آهن قابل‌جذب در خاک نواحی خشک اهمیت زیادی دارد، به‌گونه‌ای که کمبود آهن مشکل اساسی تغذیهٔ گیاه در این خاک‌هاست، چرا که گیاه در pH بالا و زیادی کربنات کلسیم این خاک‌ها، نمی‌تواند نیاز خود را از خاک جذب کند.

تحقیقی نشان داد که حلالیت آهن به‌ازای هر واحد کاهش pH خاک هزار برابر افزایش خواهد یافت (۲۸). در پژوهش حاضر، احتمالاً استفاده از پساب توانسته است با کاهش pH خاک (pH خاک قبل از کاشت ۷/۴ و بعد از اتمام آزمایش ۶/۶) حلالیت آهن را افزایش دهد و باعث افزایش غلظت آهن در تیمارهای دریافت‌کنندهٔ پساب شود. خاطر نشان می‌شود تیمارهای با درصد پساب بیشتر، غلظت آهن بیشتری دارد. در تحقیقی، در کشت گیاه سورگوم با استفاده از سطوح مختلف پساب شهری، غلظت آهن و روی در خاک به‌طور معناداری افزایش یافت (۲۴). در مطالعه‌ای تیمارهای آبیاری با سطوح مختلف پساب، تأثیر معناداری در افزایش آهن و روی در خاک نشان داد

(۱۶). در نتایج پژوهشی که گیاهان علوفه‌ایی بـه مـدت دو تا ده سال با پساب شهری آبیاری شدند، مشـخص گردیـد که افزایش غلظت آهن در خاک رخ داده است کـه بـا ایـن پژوهش همخوانی دارد (۳۴).

تأثیر تیمارهای آبیاری بـا سـطوح مختلـف پسـاب بـر غلظت فلز روی در خاک نشان از تفاوت معنادار در سـطح ۱ درصد بین تیمارهاست. در بـین تیمارهـای ۱۰۰ درصـد پساب، ۷۵ درصد پساب + ۲۵ درصد آب چاه و ۵۰ درصد پساب + ۵۰ درصد آب چاه تفاوت معناداری ملاحظه نشد (شکل ۲). دو تیمار ۱۰۰ درصد آب چاه و ۱۰۰ درصد آب چاه + کود شـیمیایی نیـز تفـاوت معنـاداری نشـان نـداد و اختلاف معنادار تیمار ۲۵ درصـد پسـاب + ۷۵ درصـد آب چاه با سایر تیمارها مشاهده شد. بیشترین و کمترین مقـدار غلظت روی در خاک به‌ترتیب در تیمار ۱۰۰ درصد پساب (T_1) بـه مقـدار ۳/۲۱ و ۱۰۰ درصـد آب چـاه (T_5) ۰/۷۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد (T_1›T_2›T_3›T_4›T_6›T_5). از طرفی، نتایج آنالیز خاک بیـانگر آن اسـت کـه میـزان روی قابل‌جذب با مقادیر اولیهٔ آن در خاک قبل از کشت تفـاوت قابل‌توجهی دارد (۰//۸۷ میلی‌گرم در گیلـوگرم). در واقـع، در تیمارهای دریافت‌کنندهٔ آب چاه به‌دلیل عدم اسـتفاده از کـود حـاوی عنصـر روی، گیـاه از روی موجـود از خـاک استفاده کرده و میزان روی در این تیمارهـا کمتـر از مقـدار اولیهٔ آن در خاک است. همان‌طور کـه مشـاهده مـی‌شـود، مقادیر روی موجود در خاک آبیاری شده با پسـاب شـهری بیش از خاکی است که با آب چاه آبیاری شده است (شکل ۲). به‌عبارتی، استفاده از پساب توانسته است علاوه‌بر تأمین نیاز گیاه به فلز روی، باعث افزایش غلظت ایـن عنصـر در خاک شود. با توجه به اینکه عنصـر روی از عناصـر مـورد نیاز برای رشد گیاهان اسـت، در ایـن پـژوهش اسـتفاده از پساب توانسته است دسترسی گیاه به این عنصر را مهیاکنـد که در نهایـت کـاهش مصـرف کـود شـیمیایی را بـه‌دنبـال خواهد داشت. احتمـالاً کـاهش۱/۲ واحـد pH خـاک (pH خـاک قبـل از کاشـت ۷/۴ و بعـد از اتمـام آزمـایش ۶/۶) به‌دلیل مصرف پساب منجر به افزایش مقـدار آهـن و روی قابل‌جذب در خاک شده است. محققان در مطالعـات خـود با افزایش مقدار پساب در آب آبیاری افزایش عنصـر روی در خـاک را گـزارش کردنـد (۳۳). در پـژوهش دیگـری، کاربرد پساب بـه مـدت یـک سـال بـرای آبیـاری درختـان مرکبات افـزایش معنـادار میـزان غلظـت روی در خـاک را نشان داد (۳۷). در تحقیق آبیاری با پساب، نشـان داده شـد تجمع فلز سـنگین روی در خـاک آبیـاری‌شـده بـا پسـاب شهری بیش از خاک آبیاری‌شده با آب چاه بـه‌دسـت آمـد (۹) که با نتایج حاصل از این پژوهش همخوانی نشان نداد.



	تیمار1	تیمار2	تیمار3	تیمار4	تیمار5	تیمار6
مس	۲.۳۷	۲.۲۹	۲.۲۲	۲.۰۸	۱.۸۸	۱.۹۱
آهن	۷.۲۸	۶.۲۶	۴.۰۴	۳.۹۹	۳.۶۰	۳.۸۲
روی	۳.۲۱	۲.۹۹	۲.۷۲	۱.۷۰	۰.۷۱	۰.۷۷

†تیمار ۱ (T_1)، تیمار ۲ (T_2)، تیمار ۳ (T_3)، تیمار ۴ (T_4)، تیمار ۵ (T_5)، تیمار ۶ (T_6)

شکل ۲. مقادیر متوسط غلظت مس، آهن و روی خاک در تیمارهای مختلف

تأثیر پساب بر غلظت فلزات سنگین در میوهٔ فلفل دلمه‌ایی

طبق جدول ۴، نتایج تجزیهٔ واریانس نشان می‌دهد که مقادیر مختلف عناصر سنگین در تمام تیمارها به جز آهن در سطح ۱ درصد فاقد تفاوت معنادار است.

جدول ۴. نتایج تجزیهٔ واریانس کاربرد پساب بر فلزات سنگین در میوهٔ فلفل دلمه‌ایی

منابع متغیر	درجهٔ آزادی	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)
تکرار	۲					
تیمار	۵	۰/۶^{ns†}	۱/۴۶^{ns}	۰/۰۶^{ns}	۱/۷۷^{ns}	۰/۲۱^{ns}
خطا	۱۰	۱/۲۵^{ns}	۲/۲۰^{ns}	۱/۲۲^{ns}	۱۹/۰۹**†	۲/۱^{ns}
کل	۱۷					

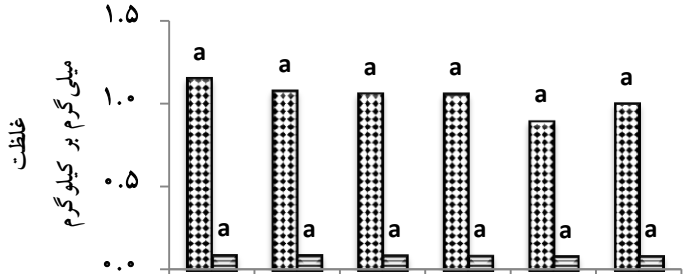
†ns و ** به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ عدم وجود تفاوت معنادار و معناداری در سطح ۱ درصد است.

بررسی غلظت سرب و کادمیوم در میوه‌ی فلفل دلمه‌ای

مقایسهٔ نتایج حاصل از اندازه‌گیری میانگین غلظت مقادیر سرب در میوهٔ فلفل دلمه‌ایی نشان داد که تیمارهای مختلف در سطح ۱ درصد فاقد تفاوت معنادار است (شکل ۳). بیشترین میزان غلظت سرب در تیمار ۱۰۰ درصد پساب با ۱/۱۵ و کمترین آن در تیمار ۱۰۰ درصد آب چاه با ۰/۸۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. بر اساس نتایج به‌دست آمده در تمام نمونه‌ها، میزان جذب سرب کمتر از حد مجاز (۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به‌دست آمده است. در حقیقت، غلظت سرب موجود در میوهٔ فلفل دلمه‌ایی تحت تأثیر آبیاری با پساب قرارنگرفته است (شکل ۳). احتمالاً، به‌دلیل غلظت کم سرب در پساب (۰/۰۴۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) یا تجمع ناچیز سرب در خاک آبیاری‌شده با پساب (حداکثر ۰/۰۹۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) این نتیجه حاصل شده است. بر اساس نتایج تحقیقات، سرب به‌راحتی به‌وسیلهٔ ریشه‌های گیاه جذب می‌شود، ولی انتقال آن به اندام هوایی محدود است (۱۷). سرب جذب‌شده در گیاه به بخش‌های بیرونی ریشه، آپوپلاست و دیوارهٔ سلولی متصل می‌شود و کمتر در اختیار اندام هوایی قرارمی‌گیرد (۱۴). در این تحقیق، احتمالاً به‌دلایل مذکور در میوهٔ فلفل دلمه‌ای غلظت سرب ناچیز است. در پژوهشی، اثر آبیاری با پساب شهری بر توزیع سرب در اندام فلفل سبز نشان داد، اگرچه غلظت سرب در میوهٔ فلفل سبز در اثر افزایش درصد پساب اندکی افزایش نشان داده است، این اختلاف معنادار نیست (۱۲) که با پژوهش حاضر مطابقت دارد.

کادمیم از فلزات سنگینی است که حتی مقدار کم آن در گیاه باعث مشکلاتی در سلامتی می‌شود. نتایج حاصل از اندازه‌گیری میانگین کادمیم در میوهٔ فلفل دلمه‌ایی بیانگر عدم تفاوت معنادار در سطح ۱ درصد بین تیمارهاست. بیشترین و کمترین میزان کادمیم در تیمار ۱۰۰ درصد پساب و ۱۰۰ درصد آب چاه به‌ترتیب ۰/۰۸۳ و ۰/۰۷۶میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد که نشان‌دهندهٔ تفاوت ۶ درصدی بین آن‌هاست (شکل ۳). محققان مختلف حد مجاز کادمیم در گیاهان را بین ۰/۱ تا ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک گیاه اعلام کرده‌اند (۷). میزان آن در گیاه مورد آزمایش در حد مجاز بود و خطری برای مصرف‌کننده نشان نداد.

در پژوهش حاضر مقدار کادمیم در میوهٔ گیاه در اکثر تیمارها ناچیز است که یا به‌دلیل ناچیزبودن میزان کادمیم در پساب یا تشکیل ترکیبات غیرآلی کریستاله از فلزات سنگین افزوده‌شده به خاک است که از جذب زیاد فلزات سنگین در گیاه جلوگیری می‌کند (۱۷). علاوه‌بر آن، عامل دیگری که احتمالاً در این خصوص مؤثر بوده این است که بخشی از کادمیم ممکن است با مواد آلی محلول در خاک پیوند تشکیل داده باشد، ولی پایداری پیوند کم و کادمیم نتوانسته است به گیاه انتقال یابد. محققان در ارزیابی برخی عناصر سنگین در اسفناج پس از آبیاری با درجات مختلف پساب خانگی نشان دادند میزان کادمیم در بافت گیاهان تحت آزمایش به میزان اندک و در محدودهٔ مجاز مطابق استاندارد جهانی است (۱۳) که با این تحقیق همخوانی دارد. یافته‌های پژوهشی دیگر، بیانگر عدم تفاوت معنادار بین تیمارهای دریافت‌کنندهٔ پساب با تیمارهای دریافت‌کنندهٔ آب چاه است (۵) که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد.



	تیمار۱	تیمار۲	تیمار۳	تیمار۴	تیمار۵	تیمار۶
سرب	۱.۱۵	۱.۰۸	۱.۰۶	۱.۰۶	۰.۸۹	۱.۰۰
کادمیوم	۰.۰۸۳	۰.۰۸۲	۰.۰۸۱	۰.۰۸۰	۰.۰۷۶	۰.۰۷۸

†تیمار ۱ (T_1)، تیمار ۲ (T_2)، تیمار ۳ (T_3)، تیمار ۴ (T_4)، تیمار ۵ (T_5)، تیمار ۶ (T_6)

شکل ۳. مقادیر متوسط غلظت سرب و کادمیم میوهٔ فلفل دلمه‌ای در تیمارهای مختلف

بررسی غلظت مس، آهن و روی (فلزات سنگین ضروری برای رشد) در میوهٔ فلفل دلمه‌ای

از مقایسهٔ میانگین غلظت مس در میوهٔ فلفل دلمه‌ای ملاحظه شد که در سطح ۱ درصد تفاوت معناداری بین تیمارهای مورد بررسی وجود ندارد (شکل ۴). بیشترین و کمترین میزان مس به‌ترتیب در تیمار ۱۰۰ درصد پساب و ۱۰۰ درصد آب چاه به مقدار ۰/۶۶ و ۰/۴۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. در تحقیقی گزارش شد با توجه به اینکه توانایی جذب ریزمغذی‌ها مانند مس در خاک‌های آهکی و اسیدیتهٔ بالا در نواحی خشک پایین است، توصیه می‌شود کودهای آلی برای افزایش این عناصر به خاک اضافه شود (۳۰). در این تحقیق ممکن است کاربرد پساب به‌عنوان کود حاوی مواد آلی در افزایش جذب این عنصر در گیاه مؤثر بوده باشد و آبیاری با پساب احتمالاً برای جذب مس در گیاه نسبت به تیمار آب چاه شرایط مطلوبی ایجاد کرده است. در میوهٔ گیاه مورد مطالعه میزان غلظت مس حداکثر به مقدار ۰/۶۶ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک گیاه رسید که در محدودهٔ مجاز قراردارد و در این زمینه هیچ‌گونه مشکلی برای مصرف‌کننده وجود ندارد. در

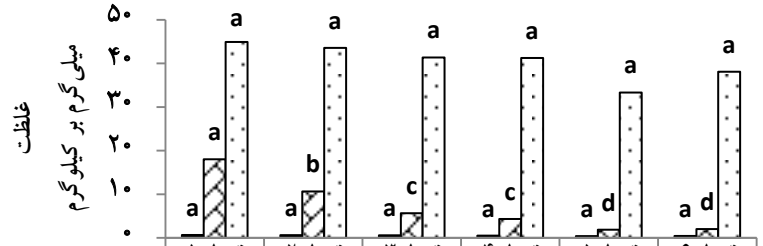
پژوهشی، در اسفناج آبیاری‌شده با پساب، تجمع بیشتری از عناصر آهن، مس و روی در مقایسه با اسفناج آبیاری‌شده با آب رودخانه مشاهده شد (۱۹). مطالعه‌ای در زمینهٔ استفاده از پساب در فلفل سبز حاکی از تجمع بیشتر غلظت مس در تیمارهای دریافت‌کنندهٔ پساب نسبت به آب معمولی است (۲۶) که با یافته‌های پژوهش حاضر همخوانی دارد.

بررسی مقادیر غلظت فلز آهن در آبیاری با سطوح مختلف پساب شهری در میوهٔ فلفل دلمه‌ایی نشان‌دهندهٔ آن است که میانگین غلظت آهن در تیمارهای مختلف در سطح ۱ درصد دارای تفاوت معناداری است و به‌شدت تحت تأثیر تیمارهای آبیاری قرارگرفته است (شکل ۴)، به‌طوری که بین تیمار ۱۰۰ درصد پساب با تیمارهای دیگر و تیمار ۷۵ درصد پساب + ۲۵ درصد آب چاه با تیمارهای دیگر تفاوت معناداری مشاهده می‌شود. بین تیمارهای ۵۰ درصد پساب + ۵۰ درصد آب چاه و ۲۵ درصد پساب + ۷۵ درصد آب چاه، همچنین تیمار آب چاه و تیمار ۱۰۰ درصد آب چاه + کود شیمیایی تفاوت معناداری دیده نشد. بیشترین و کمترین میزان غلظت آهن به‌ترتیب در تیمارهای ۱۰۰ درصد پساب و آب چاه به‌دست آمد (شکل۴). غلظت این فلز در تمامی تیمارهای آبیاری با پساب در مقایسه با آب معمولی بیشتر بود، به‌طوری که غلظت آهن در تیمار ۱۰۰ درصد پساب حدود ده برابر غلظت آهن در تیمار آبیاری‌شده با آب چاه است. هرچه درصد پساب مورد استفاده بیشتر شده است، مقدار آهن در میوهٔ فلفل دلمه‌ای افزایش یافته است و بیشتر بودن غلظت فلز آهن در پساب احتمالاً دلیل این امر است. کمبود آهن در اکثر نواحی جهان بر رشد گیاهان تأثیر دارد و یکی از اهداف کاربرد پساب شهری در کشاورزی تأمین بخشی از مواد غذایی گیاه از جمله آهن است که با مصرف پساب تأمین می‌شود (۳۸).

ارزیابی غلظت مختلف فلزات سنگین آهن، مس و روی در سبزی‌های آبیاری‌شده با پساب نشان داد که بیشترین تجمع مقدار آهن در نعناع و اسفناج و بیشترین غلظت مس و روی در هویج مشاهده شد (۱۹). در این تحقیق استفاده از پساب تا حدودی توانسته آهن مورد نیاز گیاه را فراهم کند که سبب کاهش کاربرد کود شیمیایی در خاک می‌شود. پژوهشگران بین افزایش غلظت عناصر سنگین در گیاه همراه با افزایش آن‌ها در خاک و منبع آب آبیاری ارتباط مستقیمی گزارش کردند (۳۹). در پژوهشی، نتایج هشت سال تأثیر آبیاری با پساب شهری بر تجمع فلزات سنگین در خاک و گیاه نشان داد که مقدار آهن در میوهٔ گوجه‌فرنگی به‌طور معناداری افزایش نشان داده است (۲۳) که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد.

مقایسهٔ میانگین غلظت فلز روی در میوهٔ فلفل دلمه‌ایی در تیمارهای مختلف پساب شهری نشان داد در سطح ۱ درصد فاقد تفاوت معنادار است (شکل ۴). در تیمارهای آبیاری‌شده با پساب شهری هر چند افزایشی در مقادیر میانگین غلظت فلز روی مشاهده شد، این افزایش معنادار نبود. بیشترین میزان روی در تیمار ۱۰۰ درصد پساب با ۴۴/۹۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کمترین میزان آن در تیمار ۱۰۰ درصد آب چاه با ۳۳/۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. نکتهٔ مهم در این تحقیق افزایش قابل‌توجه غلظت روی در میوهٔ فلفل دلمه‌ای در تیمارهای حاوی پساب نسبت به آب چاه و احتمالاً تأمین فلز روی مورد نیاز گیاه از طریق مصرف پساب است. افزایش جذب روی در این تیمارها نسبت به آبیاری با آب چاه، احتمالاً به‌دلیل ایجاد شرایط بهینهٔ جذب مانند اسیدیتهٔ مناسب، شستشوی کربنات و جزآن در اثر اعمال آبیاری با آب چاه به‌صورت مخلوط با پساب شهری بوده است (۲۳). در تحقیقی، با استفاده از پساب به‌عنوان منبع آب آبیاری، مشاهده شد که میزان غلظت فلز سنگین روی در برگ درختان آبیاری‌شده با پساب شهری به‌طور معناداری از آب چاه بیشتر است.

غلظت این فلز در برگ درختان اقاقیا به‌مرز زیان‌آوری برای گیاه نرسیده بود (۹). همچنین، یافته‌های پژوهشی بیانگر این بود که در میوهٔ گرمک، آبیاری با پساب در مقایسه با آبیاری با آب چاه، باعث افزایش غلظت عناصر آهن، روی و مس شد، ولی این افزایش معنادار نبود (۸) و با نتایج تحقیق حاضر همخوانی نشان داد.



	تیمار۱	تیمار۲	تیمار۳	تیمار۴	تیمار۵	تیمار۶
مس	۰.۶۶	۰.۶۳	۰.۶۰	۰.۵۲	۰.۴۳	۰.۴۶
آهن	۱۸.۰۲	۱۰.۶۵	۵.۶۸	۴.۳۳	۱.۸۷	۲.۰۴
روی	۴۴.۹۴	۴۳.۵۶	۴۱.۳۵	۴۱.۲۵	۳۳.۳۳	۳۸.۱۱

†تیمار ۱ (T_1)، تیمار ۲ (T_2)، تیمار ۳ (T_3)، تیمار ۴ (T_4)، تیمار ۵ (T_5)، تیمار ۶ (T_6)

شکل ۴. مقادیر متوسط غلظت مس، آهن و روی میوهٔ فلفل دلمه‌ای در تیمارهای مختلف

نتیجه‌گیری

از پساب شهری حاصل از تصفیه‌خانهٔ فاضلاب شهر خرم‌آباد با رعایت شرایط اصولی می‌توان به‌عنوان منبع آب برای آبیاری و تولید محصولات کشاورزی در منطقه استفاده کرد. یافته‌های تحقیق حاضر بیانگر این است که کاربرد پساب شهری از نظر تجمع فلزات سنگین سرب، کادمیم، مس، آهن و روی در خاک و میوهٔ فلفل دلمه‌ای مشکلی ایجاد نکرده است و مقادیر فلزات مذکور در خاک و گیاه فلفل از حد مجاز کمتر است. پساب مورد استفاده، از طرف دیگر، توانسته است با تأمین عناصر غذایی مفید و مورد نیاز گیاه از جمله آهن، مس و روی با کاهش مصرف کود شیمیایی از نظر محیط‌زیستی بسیار مهم باشد.

پیشنهادها

با توجه به اینکه در این تحقیق آبیاری با سطوح مختلف پساب در کوتاه‌مدت و در یک دورهٔ رشد انجام شده است، لازم است، به‌دلیل ایجاد خطرات احتمالی مانند آلودگی شیمیایی و میکروبی خاک، گیاه و حتی منابع آب (به‌ویژه منابع آب زیرزمینی) که ممکن است در کاربرد درازمدت از پساب رخ دهد، دقت ویژه‌ای در استفاده از آن مبذول گردد و بررسی‌های بیشتر و کامل‌تری در استفادهٔ درازمدت از پساب برای محصولات مختلف کشاورزی انجام پذیرد.

منابع

۱. بهمنیار م.ع. (۱۳۸۵) تأثیر مصرف فاضلاب در آبیاری گیاهان زراعی بر میزان برخی از عناصر سنگین خاک و گیاهان. محیط‌شناسی. ۴۴: ۱۹-۲۶.

۲. ترابیان ع. و مهجوری م. (۱۳۸۱) بررسی اثر آبیاری با فاضلاب روی جذب فلزات سنگین به‌وسیلهٔ سبزی‌های برگی جنوب تهران. علوم خاک و آب. ۱۶(۲): ۱۸۸-۱۹۷.

۳. تـوللی ح. و سـمنانی ا. (۱۳۸۱) روش‌هـای تجزیـهٔ خاک‌ها، گیاهان، آب‌ها و کودهـا. انتشـارات دانشـگاه شهید چمران اهواز. ۲۱۹ ص.

۴. ذوالفقـاران ا. و حقـایقی مقـدم س.ا. (۱۳۸۷) تـأثیر پساب خانگی بر عملکرد کلزا و ویژگی‌های خاک در آبیـاری سـطحی. مجموعـه مقـالات دومـین سـمینار راهکارهـای بهبـود و اصـلاح سـامانه‌هـای آبیـاری سطحی، کرج، ایران.

۵. رجبی سرخنی م. و قائمی ع.ا. (۱۳۹۱) بررسی اثـرات کاربرد تصفیه‌شده و کودهای شیمیایی بر عملکرد کلـم بروکلی. مدیریت آب و آبیاری. ۲(۲): ۱۳-۲۴.

۶. سازمان حفاظت محیط زیست ایـران (۱۳۹۱) قـوانین، مقررات، ضوابط و استانداردهای محیط‌زیست انسانی. انتشارات حک، ۳۳۶ ص.

۷. سماوات س.، بای بوردی ا.، ملکـوتی م.ج. و تهرانـی م.م. (۱۳۸۴) حد مجاز کادمیم در کودهـای شـیمیایی، محصولات زراعی و باغی. نشـریهٔ فنـی شـمارهٔ ۴۳۷. مؤسسهٔ تحقیقات خاک و آب، انتشارات سنا، ۲۰ ص.

۸. شایان جزی م. (۱۳۸۹) بررسی تأثیر آبیاری بـا پسـاب بر برخی خواص فیزیکی و شـیمیایی خـاک. دانشـگاه صنعتی شاهرود. شاهرود. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد.

۹. صـالحی آ.، طبـری م.، محمـدی م. و علـی عـرب ع. (۱۳۸۷) تجمـع فلـزات سـنگین Ni، Cu، Zn و Pb در خاک و بـرگ اقاقیـا، تحـت تـأثیر فاضـلاب شـهری. پژوهش و سازندگی. ۲۱(۳): ۹۲-۱۰۰.

۱۰. طبری م. و صالحی آ. (۱۳۹۰) بررسی تـأثیر آبیـاری بـا استفاده از فاضلاب شهری بر تجمع فلـزات سـنگین در خاک. علوم و تکنولوژی محیط‌زیست. ۱۳(۴): ۴۹-۵۹.

۱۱. عرفـانی آگـاه ع. (۱۳۷۸) بررسـی کـارایی فاضـلاب تصـفیه‌شـدهٔ خـانگی در آبیـاری زراعـت کـاهو و گوجه‌فرنگـی. مجموعـه مقـالات همـایش جنبـه‌هـای زیست‌محیطـی اسـتفاده از پسـاب در آبیـاری، وزارت نیرو، کمیتهٔ ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران، ایران.

۱۲. مرادمند م. و بیگی هرچگانی ح. (۱۳۸۸) اثـر آبیـاری بـا پساب تصفیه‌شدهٔ شهری بر توزیع سرب و نیکل در اندام فلفل سبز و خاک. پژوهش آب ایران. ۳(۵): ۶۳-۷۰.

۱۳. مظفـری ح.، شـیرانی‌راد ا.ح. و دانشـیان ج. (۱۳۹۲) ارزیابی مقدار برخی از عناصر معدنی و فلزات سنگین در کلزا، یونجه و اسفناج پـس از آبیـاری بـا درجـات مختلف پساب خانگی. علوم غـذایی و تغذیـه. ۱۰(۴): ۴۵-۵۴.

۱۴. ملاحسینی ح. و بغوری ا. (۱۳۸۵) بررسی خصوصیات شیمیایی خاک‌های زراعی تحت آبیـاری بـا فاضـلاب شهری. مجموعه مقالات همایش خاک، محـیط‌زیسـت و توسعهٔ پایـدار، پـردیس کشـاورزی و منـابع طبیعـی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۱۵. وارسته خانلری ز. و جلالی م. (۱۳۸۴) حرکت کـادمیم، روی و سـرب در اثـر کـاربرد آب فاضـلاب در خـاک. مجموعه مقالات نهمـین کنگـرهٔ علـوم خـاک، پـردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

16. 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. 8: 335-344.

17. Agraval S.K. (2002) Pollution management: water pollution A.P.H. publication New Delhi. 384 p.

18. Alghobar M.A. and Suresha S. (2015) Evaluation of Nutrients and Trace Metals and Their Enrichment Factors in Soil and Sugarcane Crop Irrigated with Wastewater. Geoscience and Environment Protection. 3:46-56.

19. Arora M., Kiran B., Rani S. and Mittal N. (2008) Heavy metal accumulation in vegetables irrigated with water from different sources. Food Chemistry. 111: 811-15.

20. Bigdeli M. and Seilsepar M. (2008) Investigation of Metals Accumulation in Some Vegetables Irrigated with Waste Water in Shahr Rey-Iran and Toxicological Implications. American-Eurasian Agricultural & Environmental Sciences. 4(1): 86-92.

21. Chen Z.F., Zhao Y., Zhu Y., Yang X., Qiao J., Tianc Q. and Zhang Q. (2009) Health risks of heavy metals in sewage–irrigated soils and edible seeds in Langfang of Hebei provance, China. Science Food Agriculture. 90: 314-320.

22. Emongor V.E. and Ramolemana G.M. (2004) Treated sewage effluent (water) potential to be used for horticultural production in Botswana. Physics and Chemistry of the Earth. 29(15-18): 1101-1108.

23. Feizi M. and Rastghalam Z.S. (2002) The effect of treated wastewater irrigation on accumulation of heavy metals in selected plants. Proceeding The 1th International and The 4th National Congress on Recycling of Organic Waste in Agriculture, Isfahan, Iran.

24. Galavi M., Jalali A., Ramroodi M., Mousavi R.S. and Galavi H. (2010) Effects of Treated Municipal Wastewater on Soil Chemical Properties and Heavy Metal Uptake by Sorghum (*Sorghum Bicolor* L.). Agricultural Science. 2(3): 235-241.

25. García-Delgado C., Eymar E., Contreras J.I. and Segura M.L. (2012) Effects of fertigation with purified urban wastewater on soil and pepper plant (*Capsicum annuum* L.) production, fruit quality and pollutant contents. Spanish Agricultural Research. 10(1): 209-221.

26. Gebrekidan A., Weldegebriel Y., Hadera A. and Bruggen B.V.D. (2013) Toxicological assessment of heavy metals accumulated in vegetables and fruits grown in Ginfel river near Sheba Tannery, Tigray, Northern Ethiopia. Ecotoxicotology and Environmental Safety. 95: 171-178.

27. Likuku A.S. and Obuseng G. (2015) Health Risk Assessment of heavy metals via dietary intake of vegetables irrigated with treated wastewater around gaborone, Botswana. Proceeding International Conference on Plant, Marine and Environmental Sciences (PMES-2015), Kuala Lumpur (Malaysia).

28. Lindsay W.L. (1979) Chemical Equilibria in soil. John Wiley and Sons, New York, 449 p.

29. Lindsay W.L. and Norvell W.A. (1978) Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Science Society of America. 42: 421-428.

30. Luo Y.M. and Christie P. (1998) Bioavailability of copper and zinc in soil treated with alkaline stabilized sewage sludge. Environmental Quality. 27: 335-342.

31. Marcussen H., Holm P.E., Strobel B.W. and Hansen H.C.B. (2009) Nickel Sorption to Goethite and Montmorillonite in Presence of Citrate. Environmental Science and Technology. 43: 1122-1127.

32. Modaihsh A.S., AL-Swailem M.S. and Mahjoub M.O. (2004) Heavy metals content of commercial inorganic fertilizers used in the Kingdom of Saudi Arabia. Agricultural and Marine Sciences. 9(1): 21-25.

33. Mojiri A. (2011) Effects of Municipal Wastewater on Physical and Chemical Properties of Saline Soil. Biology Environment Science. 5(14): 71-76.

34. Munir J., Rusan M. and Rousan L. (2007) Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. Desalination. 215: 143-52.

35. Nabulo G., Origa H.O. Nasinyama G.W. and Cole D. (2008) Assessment of Zn, Cu, Pb, and Ni contamination in wetland soils and plants in the lake basin. Environmental Science Technology. 5 (1): 65-74.

36. Ngole V.M. (2005) An assessment of sewage sludge properties and their agronomic effects on selected soil types in Botswana: A green house study. University of Botswana, Department of Environmental Science, Ph.D. Dissertation.

37. Pedrero F. and Alarcon J.J. (2009) Effects of treated wastewater irrigation on lemon trees. Desalination. 246: 631-39.

38. Sharma R.K., Agrawal M. and Marshal F. (2007) Heavy metal contamination of soil and vegetables in suburban areas of Varanasi, india. Ecotoxicology and Environmental Safety. 66(2): 258-66.

39. Singh G. and 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: 1019-1028.

40. Suruchi and Khanna P. (2011) Assessment of heavy metal contamination in different vegetables grown in and around urban areas. Research Environmental Toxicology. 5(3): 162-179.

41. Ugbaje S.U. and Agbenin J.O. (2012) Suitability of urban wastes for crop production in Zaria, Northern Nigeria: bioavailability and geochemical fractions of potentially toxic elements. International Environmental Studies. 69(1): 121-133.