



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 پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۳/۱۹

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۲/۰۹

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 (T₁)، ۷۵ درصد پساب + ۲۵ درصد آب چاه (T₂)، ۵۰ درصد پساب + ۵۰ درصد آب چاه (T₃)، ۲۵ درصد آب چاه + ۷۵ درصد پساب (T₄)، ۱۰۰ درصد آب چاه (T₅) و ۱۰۰ درصد آب چاه با کود شیمیایی (T₆) در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده 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 میوه فلفل دلمه‌ای به‌استثنای غلظت آهن که در سطح ۱ درصد معنادار شد، در غلظت سرب، کادمیم، مس و روی تفاوت معناداری مشاهده نشد. علاوه بر 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 جنبه سلامتی برای مصرف‌کنندگان اهمیت دارد. از طرفی، با مصرف پساب حاوی عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان می‌توان با مدیریت صحیح در منطقه مورد مطالعه استفاده از کود شیمیایی را کاهش داد.

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

مقدمه

شده است که در نهایت این عمل به تجمع بالقوه فلزات سنگین سمی در خاک، جذب آن‌ها در گیاهان و ورود به زنجیره غذایی و یا رسیدن به آب‌های زیرزمینی منجر می‌شود (۴۱). در خاک‌های کشاورزی وجود فلزات سنگین سمی نگرانی‌های زیادی را به دنبال خواهد داشت چرا که این فلزات به شکل حل شده به محلول خاک منتقل و در نهایت به آب‌های زیرزمینی آشوبی می‌شود. این فلزات، همچنین از نظر زیستی تجزیه‌ناپذیر است و در محیط‌زیست به شدت به صورت 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 به خصوصیات 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 به دست 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 به دست آمد. براساس نتایج دیگر پژوهشگران، کاربرد پساب، مقدار نیتروژن کل، فسفر

استفاده از آب‌های نامتعارف مانند فاضلاب تصفیه‌شده و تصفیه‌نشده برای آبیاری به خصوص در اراضی کشاورزی با توجه به توسعه شهرنشینی در جهان رو به افزایش است. از مزایای استفاده از این آب‌ها می‌توان به جایگزینی آن‌ها به جای آب با کیفیت بالا (امکان ذخیره آب با کیفیت بهتر برای مصرف بشر)، وفور مقدار و تولید آن در اکثر نقاط جهان، کاهش مصرف کود مورد نیاز گیاهان (به دلیل 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 به دلیل احتمال داشتن منابع آلودگی فلزات سنگین و میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا برای استفاده در خاک‌ها در تولید محصولات کشاورزی، به‌ویژه محصولاتی که به صورت تازه خوری مصرف می‌شود (سبزی‌ها)، بسیار زیان‌آور است و آثار منفی مؤثری بر سلامتی بشر و کیفیت محیط‌زیست به همراه دارد (۳۹). بدین سبب، ارزیابی کارآمد آثار محیط‌زیستی کاربرد آب‌های نامتعارف از جمله پساب‌ها در کشاورزی لازم و ضروری است (۱۸، ۳۹).

سبزی‌ها به علت داشتن کربوهیدرات، پروتئین، ویتامین، مواد معدنی و عناصر کمیاب بخش مهمی از رژیم غذایی انسان را تشکیل می‌دهد. همچنین، عامل خشی‌کننده 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 ایمن بودن 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 به دلیل کمبود آب شیرین، استفاده از پساب به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک رایج

مدیریت آب و آبیاری

هدف بررسی برخی فلزات سنگین در خاک و گیاه فلفل دلمه‌ای که به صورت تازه خوری مصرف می‌شود، تحت آبیاری با پساب شهری خرم‌آباد در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان اجرا شد.

مواد و روش‌ها

مکان و روش تحقیق

تحقیق حاضر به صورت گلدانی در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان صورت پذیرفت. پساب مورد استفاده برای آبیاری از تصفیه‌خانه شهری واقع در جنوب شهر خرم‌آباد تهیه شد. آب‌وهوای منطقه مورد مطالعه طبق طبقه‌بندی آمبرژه نیمه‌خشک معتدله، بارش سالیانه آن ۵۲۴ میلی‌متر، حداکثر درجه حرارت مطلق ۴۴ و حداقل درجه مطلق آن ۷/۶- درجه سانتی‌گراد است. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شش تیمار و سه تکرار شامل T₁: ۱۰۰ درصد پساب، T₂: ۷۵ درصد پساب + ۲۵ درصد آب چاه، T₃: ۵۰ درصد پساب + ۵۰ درصد آب چاه، T₄: ۲۵ درصد پساب + ۷۵ درصد آب چاه، T₅: ۱۰۰ درصد آب چاه، و T₆: 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 دلمه‌ای 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 به دست آمد.

قابل جذب بر محلول و عناصر سنگین خاک را افزایش داد، ولی این افزایش زیر مرز استانداردهای بین‌المللی بود (۱۱). در پژوهشی اثر آبیاری با پساب شهری بر توزیع نیکل در خاک و اندام فلفل سبز بررسی شد. یافته‌ها نشان داد آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده 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 نعنای 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 درباره 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، نعنای، اسفناج و فلفل سبز بیش از حد مجاز بود و در سبزی‌ها تجمع مس مشاهده نشد. با این حال، داده‌ها نشان داد که این مقدار جذب بالای فلزات کمتر از بیشترین حد مقدار جذب مجاز روزانه بود، ولی با مصرف طولانی مدت این گونه 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). به همین 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

مدیریت آب و آبیاری

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

میزان مواد آلی خاک بر اساس روش اکسایش، میزان فسفر قابل جذب بر اساس روش اولسن و به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر، میزان پتاسیم قابل جذب بر اساس روش آمونیم استات و به کمک دستگاه شعله سنجی و بافت خاک بر اساس روش هیدرومتری اندازه گیری شد (۳) (جدول ۱). همچنین، نتایج تجزیه برخی پارامترهای شیمیایی آب چاه و پساب در طول دوره رشد در جدول ۲ ارائه شده است.

به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی - شیمیایی خاک منطقه، قبل از کاشت، نمونه برداری از عمق ۰-۳۰ سانتی متری به صورت تصادفی به عمل آمد و نمونه ها برای آنالیزهای شیمیایی و فیزیکی به آزمایشگاه خاک منتقل و با استفاده از روش های آزمایشگاهی مرسوم پارامترهای مورد نظر در خاک تعیین شد. واکنش خاک و شوری خاک در عصاره گل اشباع به ترتیب به کمک دستگاه pH متر و EC متر،

جدول ۱. برخی ویژگی های فیزیکی - شیمیایی و غلظت فلزات سنگین قابل جذب در نمونه خاک مورد آزمایش

هدایت الکتریکی (dSm ⁻¹)	واکنش خاک (pH)	نیترژن (%)	فسفر قابل جذب (p.p.m)	پتاسیم قابل جذب (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

Pb (p.p.m)	Cd (p.p.m)	Zn (p.p.m)	Fe (p.p.m)	Cu (p.p.m)	COD (mg/l)	BOD ₅ (mg/l)	EC (dS/m)	pH	خصوصیات شیمیایی
۰/۰۴۴	۰/۰۳۵	۰/۰۲۹	۰/۰۵۴	۰/۰۲۱	۵۸/۹۳	۴۰/۲۲	۰/۶۴۹	۷/۵۴	میانگین (پساب)
۰/۰۴۸	۰/۰۳۷	۰/۰۶۲	۰/۰۷۴	۰/۰۳۳	۸۰	۴۹	۰/۸۲۶	۸	ماکزیمم (پساب)
۰/۰۴۱	۰/۰۳۳	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۱۲	۱۴	۱۰	۰/۴۳۲	۶/۸	مینیمم (پساب)
-	-	-	-	-	-	-	۰/۶۶۷	۷/۵۴	آب چاه
۱	۰/۱	۲	۲	۰/۲	۲۰۰	۱۰۰	-	-۸/۵	مقدار استاندارد [†]

[†] استانداردهای توصیه شده سازمان حفاظت محیط زیست ایران (۶)

با آب معمولی و آب مقطر شسته شد. نمونه ها برای خشک شدن در آون تهویه دار در ۶۵ درجه سانتی گراد تا رسیدن به وزن خشک ثابت قرار داده و پس از آن آسیاب شد. به طور مشابه، میوه های برداشت شده در طول میوه دهی گیاه نیز به همان طریق شستشو، خشک و آسیاب شد.

آماده سازی نمونه های خاک، گیاه و آنالیز فلزات سنگین در آنها

در انتهای دوره رشد، نمونه های گیاهی تمام گلدان ها پس از انتقال به آزمایشگاه، نخست به دو بخش ریشه و اندام هوایی تفکیک و هر یک از بخش ها به خوبی با آب معمولی و سپس با اسید کلریدریک ۰/۰۰۵ درصد شستشو و مجدداً

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۶ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۵

آنالیز آماری

برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون کمترین اختلاف معنادار (LSD) به کمک نرم‌افزار SAS V9 و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل استفاده شد.

نتایج و بحث

به منظور بررسی اثر پساب شهری بر غلظت فلزات سنگین (سرب، کادمیم، مس، آهن و روی) خاک و میوه 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 تجزیه واریانس در جدول ۳ نشان می‌دهد 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 تجزیه واریانس کاربرد پساب بر غلظت فلزات سنگین در خاک

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

ns† و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم تفاوت معنادار و تفاوت معنادار در سطح ۱ درصد است.

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 آبیاری شده با پساب شهری نسبت به خاک آبیاری شده با آب چاه، افزایش ۵ درصدی نشان می‌دهد. علت آن را می‌توان به

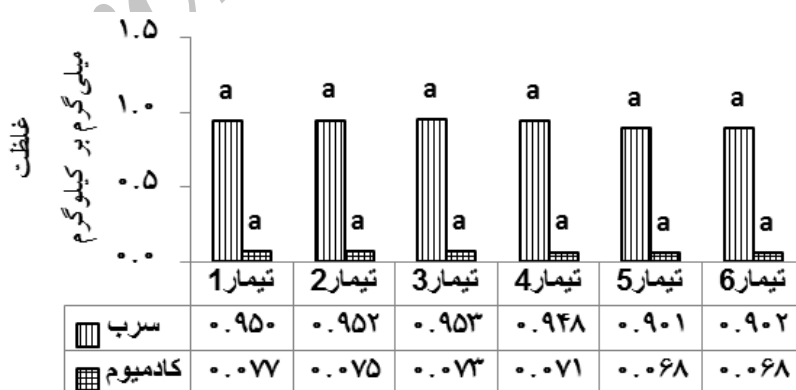
بررسی میزان غلظت سرب و کادمیم در خاک

با توجه به نتایج به دست 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 به ترتیب در تیمار ۵۰ درصد پساب + ۵۰

مدیریت آب و آبیاری

تفاوت معناداری مشاهده نشد (شکل ۱). به عبارتی، 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 میلی گرم بر کیلوگرم به دست 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 دوره رشد، میزان کادمیم موجود در خاک افزایش قابل توجهی نشان نداده است ($T_1 > T_2 > T_3 > T_4 > T_5 = T_6$) (شکل ۱) که ممکن است به علت غلظت کم کادمیم در پساب مورد استفاده باشد (۰/۰۳۵ میلی گرم بر کیلوگرم). نتایج تحقیقی نشان داد آبیاری با پساب شهری باعث افزایش غلظت کادمیم، نسبت به خاک آبیاری شده با آب چاه شده است (۲۱). در پژوهشی دیگر، در فلفل سبز و گوجه فرنگی غلظت کادمیم بیشتری در تیمارهای آبیاری شده با پساب نسبت به تیمارهای آبیاری شده با آب چاه مشاهده شد، هر چند غلظت آن از حد مجاز کمتر بود (۲۷) که با نتایج این تحقیق همخوانی نشان داد.

غلظت کم سرب در پساب مورد استفاده (حداکثر ۰/۰۴۸ گرم در کیلوگرم)، همچنین دوره 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 و گیاه فلفل است. و غلظت سرب خاک در همه تیمارها در حد مجاز بود (۱۲). همچنین، برخی پژوهشگران بیان کردند که ممکن است خطر آلودگی فلزات سنگین به ویژه سرب پس از ورود به خاک به دلیل 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 طولانی مدت 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 فاضلاب شده است (۱۵). در تیمارها، بین مقادیر کادمیم خاک در سطح ۱ درصد



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

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۶ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۵

با پساب شهری تصفیه‌خانه شاهین شهر 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)، به طوری که در تیمار ۱۰۰ درصد پساب، میزان آهن موجود در خاک بیش از دو برابر آهن خاک آبیاری شده با آب چاه است و بیشترین و کمترین میزان آهن خاک نیز در همین تیمارها به ترتیب ۷/۲۸ و ۳/۶ میلی گرم بر کیلوگرم به دست آمد (T₅ و T₁) (شکل ۲). نتایج تحقیق نشان می‌دهد با افزایش مقدار پساب مورد استفاده، میزان غلظت آهن در خاک بیشتر شده است (T₁ > T₂ > T₃ > T₄ > T₆ > T₅). افزایش مقدار آهن قابل جذب در خاک نواحی خشک اهمیت زیادی دارد، به گونه‌ای که کمبود آهن مشکل اساسی تغذیه 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 به‌زای 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 دریافت‌کننده 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

در مطالعه 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 به دست آمده، به نظر می‌رسد هر گونه تغییر در غلظت فلزات خاک تابعی از غلظت آن فلز در پساب، میزان کاربرد پساب و جذب آن در گیاه باشد.

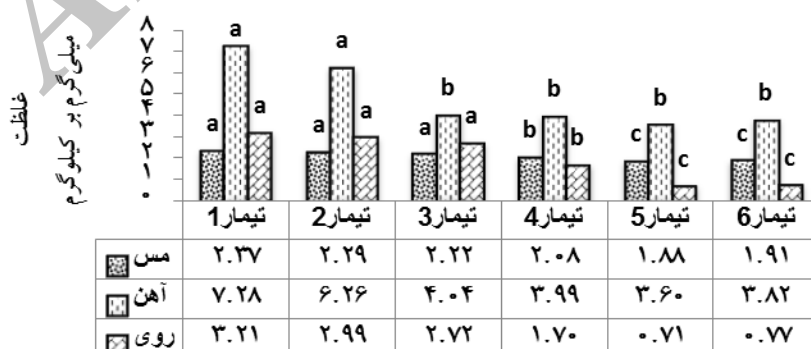
بررسی میزان غلظت مس، آهن و روی در خاک

مقایسه 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 میلی گرم بر کیلوگرم به دست آمد. نتایج به دست 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 (T₁ > T₂ > T₃ > T₄ > T₆ > T₅) (شکل ۲). مس از عناصر مهم در رشد و نمو گیاه است و در فعالیت‌های آنزیمی گیاه نقش اساسی دارد. در تحقیق حاضر، در تیمارهای دریافت‌کننده پساب علاوه بر 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 میلی گرم بر کیلوگرم). همچنین، در تیمار ۵۰ درصد پساب مس مورد نیاز با مصرف پساب تأمین شده است، اما در تیمارهایی که پساب دریافت نکرده‌اند (T₆ و T₅) غلظت مس خاک به‌علت مصرف گیاه کاهش نشان داده است. در پژوهشی گزارش شد آبیاری گیاهان چغندر قند، ذرت و آفتابگردان

اولیه آن در خاک است. همان طور که مشاهده می شود، مقادیر روی موجود در خاک آبیاری شده با پساب شهری بیش از حاکی است که با آب چاه آبیاری شده است (شکل ۲). به عبارتی، استفاده از پساب توانسته است علاوه بر تأمین نیاز گیاه به فلز روی، باعث افزایش غلظت این عنصر در خاک شود. با توجه به اینکه عنصر روی از عناصر مورد نیاز برای رشد گیاهان است، در این پژوهش استفاده از پساب توانسته است دسترسی گیاه به این عنصر را مهیا کند که در نهایت کاهش مصرف کود شیمیایی را به دنبال خواهد داشت. احتمالاً کاهش ۱/۲ واحد pH خاک (pH خاک قبل از کاشت ۷/۴ و بعد از اتمام آزمایش ۶/۶) به دلیل مصرف پساب منجر به افزایش مقدار آهن و روی قابل جذب در خاک شده است. محققان در مطالعات خود با افزایش مقدار پساب در آب آبیاری افزایش عنصر روی در خاک را گزارش کردند (۳۳). در پژوهش دیگری، کاربرد پساب به مدت یک سال برای آبیاری درختان مرکبات افزایش معنادار میزان غلظت روی در خاک را نشان داد (۳۷). در تحقیق آبیاری با پساب، نشان داده شد تجمع فلز سنگین روی در خاک آبیاری شده با پساب شهری بیش از خاک آبیاری شده با آب چاه به دست آمد (۹) که با نتایج حاصل از این پژوهش همخوانی نشان نداد.

(۱۶). در نتایج پژوهشی که گیاهان علوفه‌ای به مدت دو تا ده سال با پساب شهری آبیاری شدند، مشخص گردید که افزایش غلظت آهن در خاک رخ داده است که با این پژوهش همخوانی دارد (۳۴).

تأثیر تیمارهای آبیاری با سطوح مختلف پساب بر غلظت فلز روی در خاک نشان از تفاوت معنادار در سطح ۱ درصد بین تیمارهاست. در بین تیمارهای ۱۰۰ درصد 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 شیمیایی نیز تفاوت معناداری نشان نداد و اختلاف معنادار تیمار ۲۵ درصد پساب + ۷۵ درصد آب چاه با سایر تیمارها مشاهده شد. بیشترین و کمترین مقدار غلظت روی در خاک به ترتیب در تیمار ۱۰۰ درصد پساب (T_1) به مقدار ۳/۲۱ و ۱۰۰ درصد آب چاه (T_5) ۰/۷۱ میلی گرم بر کیلوگرم به دست آمد ($T_1 > T_2 > T_3 > T_4 > T_6 > T_5$). از طرفی، نتایج آنالیز خاک بیانگر آن است که میزان روی قابل جذب با مقادیر اولیه آن در خاک قبل از کشت تفاوت قابل توجهی دارد (۰/۸۷ میلی گرم در کیلوگرم). در واقع، در تیمارهای دریافت کننده آب چاه به دلیل عدم استفاده از کود حاوی عنصر روی، گیاه از روی موجود از خاک استفاده کرده و میزان روی در این تیمارها کمتر از مقدار



† 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

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۶ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۵

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

مقادیر مختلف عناصر سنگین در تمام تیمارها به جز آهن در سطح ۱ درصد فاقد تفاوت معنادار است.

تأثیر پساب بر غلظت فلزات سنگین در میوه فلفل دلمه‌ای

طبق جدول ۴، نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس کاربرد پساب بر فلزات سنگین در میوه فلفل دلمه‌ای

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

ns† و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنادار و معناداری در سطح ۱ درصد است.

متصل می‌شود و کمتر در اختیار اندام هوایی قرار می‌گیرد (۱۴). در این تحقیق، احتمالاً به دلایل مذکور در میوه 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 میوه 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 میوه فلفل دلمه‌ای بیانگر عدم تفاوت معنادار در سطح ۱ درصد بین تیمارهاست. بیشترین و کمترین میزان کادمیم در تیمار ۱۰۰ درصد پساب و ۰/۰۸۳ درصد آب چاه به ترتیب ۰/۰۷۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد که نشان‌دهنده 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.

بررسی غلظت سرب و کادمیم در میوه فلفل دلمه‌ای

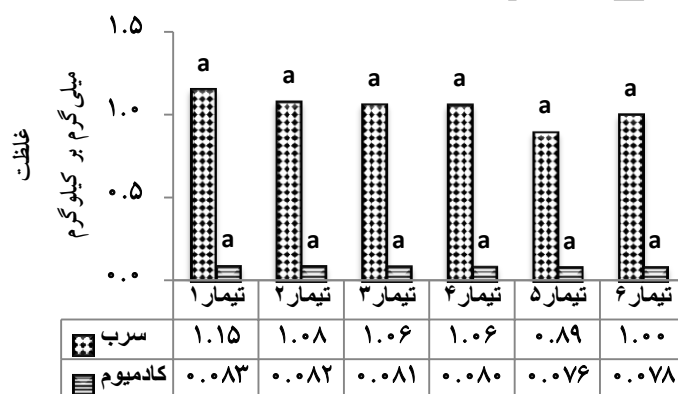
مقایسه نتایج حاصل از اندازه‌گیری میانگین غلظت مقادیر سرب در میوه فلفل دلمه‌ای نشان داد که تیمارهای مختلف در سطح ۱ درصد فاقد تفاوت معنادار است (شکل ۳). بیشترین میزان غلظت سرب در تیمار ۱۰۰ درصد پساب با ۱/۱۵ و کمترین آن در تیمار ۱۰۰ درصد آب چاه با ۰/۸۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد. بر اساس نتایج به دست آمده در تمام نمونه‌ها، میزان جذب سرب کمتر از حد مجاز (۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به دست آمده است. در حقیقت، غلظت سرب موجود در میوه فلفل دلمه‌ای تحت تأثیر آبیاری با پساب قرار نگرفته است (شکل ۳). احتمالاً، به دلیل غلظت کم سرب در پساب (۰/۰۴۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) یا تجمع ناچیز سرب در خاک آبیاری شده با پساب (حداکثر ۰/۰۹۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) این نتیجه حاصل شده است. بر اساس نتایج تحقیقات، سرب به راحتی به وسیله ریشه‌های گیاه جذب می‌شود، ولی انتقال آن به اندام هوایی محدود است (۱۷). سرب جذب شده در گیاه به بخش‌های بیرونی ریشه، اپوپلاست و دیواره سلولی

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۶ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۵

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 محدوده مجاز مطابق استاندارد جهانی است (۱۳) که با این تحقیق همخوانی دارد. یافته‌های پژوهشی دیگر، بیانگر عدم تفاوت معنادار بین تیمارهای دریافت‌کننده پساب با تیمارهای دریافت‌کننده آب چاه است (۵) که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد.

در پژوهش حاضر مقدار کادمیم در میوه گیاه در اکثر تیمارها ناچیز است که یا به دلیل ناچیز بودن میزان کادمیم در پساب یا تشکیل ترکیبات غیرآلی کریستاله از فلزات سنگین افزوده شده به خاک است که از جذب زیاد فلزات سنگین در گیاه جلوگیری می‌کند (۱۷). علاوه بر 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 توانسته است به گیاه انتقال یابد. محققان در ارزیابی برخی



† تیمار ۱ (T₁)، تیمار ۲ (T₂)، تیمار ۳ (T₃)، تیمار ۴ (T₄)، تیمار ۵ (T₅)، تیمار ۶ (T₆)

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

می‌شود کودهای آلی برای افزایش این عناصر به خاک اضافه شود (۳۰). در این تحقیق ممکن است کاربرد پساب به عنوان 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 میوه گیاه مورد مطالعه میزان غلظت مس حداکثر به مقدار ۰/۶۶ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک گیاه رسید که در محدوده مجاز قرار دارد و در این زمینه هیچ‌گونه مشکلی برای مصرف‌کننده وجود ندارد. در

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

از مقایسه میانگین غلظت مس در میوه فلفل دلمه‌ای ملاحظه شد که در سطح ۱ درصد تفاوت معناداری بین تیمارهای مورد بررسی وجود ندارد (شکل ۴). بیشترین و کمترین میزان مس به ترتیب در تیمار ۱۰۰ درصد پساب و ۱۰۰ درصد آب چاه به مقدار ۰/۶۶ و ۰/۴۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد. در تحقیقی گزارش شد با توجه به اینکه توانایی جذب ریزمغذی‌ها مانند مس در خاک‌های آهکی و اسیدیته بالا در نواحی خشک پایین است، توصیه

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۶ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۵

روی در سبزی‌های آبیاری‌شده با پساب نشان داد که بیشترین تجمع مقدار آهن در نعنای 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 میوه گوجه‌فرنگی به‌طور معناداری افزایش نشان داده است (۲۳) که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد.

مقایسه میانگین غلظت فلز روی در میوه فلفل دلمه‌ای 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. نکته مهم در این تحقیق افزایش قابل‌توجه غلظت روی در میوه 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 بهینه جذب مانند اسیدیته 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.

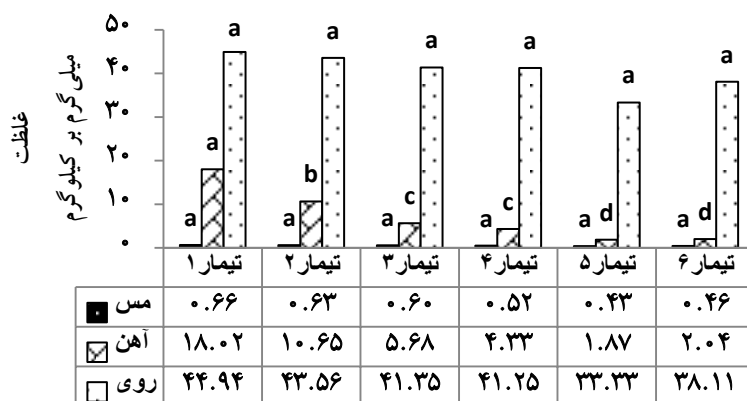
پژوهشی، در اسفناج آبیاری‌شده با پساب، تجمع بیشتری از عناصر آهن، مس و روی در مقایسه با اسفناج آبیاری‌شده با آب رودخانه مشاهده شد (۱۹). مطالعه‌ای در زمینه استفاده از پساب در فلفل سبز حاکی از تجمع بیشتر غلظت مس در تیمارهای دریافت‌کننده پساب نسبت به آب معمولی است (۲۶) که با یافته‌های پژوهش حاضر همخوانی دارد.

بررسی مقادیر غلظت فلز آهن در آبیاری با سطوح مختلف پساب شهری در میوه فلفل دلمه‌ای نشان‌دهنده آن است که میانگین غلظت آهن در تیمارهای مختلف در سطح ۱ درصد دارای تفاوت معناداری است و به‌شدت تحت تأثیر تیمارهای آبیاری قرار گرفته 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 (شکل ۴). 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 میوه 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

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.

غلظت این فلز در برگ درختان افاقیا به مرز زیان آوری برای گیاه نرسیده بود (۹). همچنین، یافته‌های پژوهشی بیانگر این بود که در میوه گرمک، آبیاری با پساب در مقایسه با



†تیمار ۱ (T₁)، تیمار ۲ (T₂)، تیمار ۳ (T₃)، تیمار ۴ (T₄)، تیمار ۵ (T₅)، تیمار ۶ (T₆)

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

لازم است، به دلیل 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 استفاده 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 به‌وسیله سبزی‌های برگ‌ی جنوب تهران. علوم خاک و آب. ۱۶(۲): ۱۸۸-۱۹۷.

نتیجه‌گیری

از پساب شهری حاصل از تصفیه‌خانه 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 میوه 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 دوره رشد انجام شده است،

مدیریت آب و آبیاری

۳. توللی ح. و سمنانی ا. (۱۳۸۱) روش‌های تجزیه خاک‌ها، گیاهان، آب‌ها و کودها. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز. ۲۱۹ ص.
۴. ذوالفقاران ا. و حقایقی مقدم س.ا. (۱۳۸۷) تأثیر پساب خانگی بر عملکرد کلزا و ویژگی‌های خاک در آبیاری سطحی. مجموعه مقالات دومین سمینار راهکارهای بهبود و اصلاح سامانه‌های آبیاری سطحی، کرج، ایران.
۵. رجبی سرخنی م. و قائمی ع.ا. (۱۳۹۱) بررسی اثرات کاربرد تصفیه‌شده و کودهای شیمیایی بر عملکرد کلم بروکلی. مدیریت آب و آبیاری. ۲(۲): ۱۳-۲۴.
۶. سازمان حفاظت محیط زیست ایران (۱۳۹۱) قوانین، مقررات، ضوابط و استانداردهای محیط‌زیست انسانی. انتشارات حک، ۳۳۶ ص.
۷. سماوات س.، بای بوردی ا.، ملکوتی م.ج. و تهرانی م.م. (۱۳۸۴) حد مجاز کادمیم در کودهای شیمیایی، محصولات زراعی و باغی. نشریه فنی شماره ۴۳۷. مؤسسه تحقیقات خاک و آب، انتشارات سنا، ۲۰ ص.
۸. شایان جزی م. (۱۳۸۹) بررسی تأثیر آبیاری با پساب بر برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک. دانشگاه صنعتی شاهرود. شاهرود. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد.
۹. صالحی آ.، طبری م.، محمدی م. و علی عرب ع. (۱۳۸۷) تجمع فلزات سنگین Cu, Ni, Zn و Pb در خاک و برگ افاقیا، تحت تأثیر فاضلاب شهری. پژوهش و سازندگی. ۲۱(۳): ۹۲-۱۰۰.
۱۰. طبری م. و صالحی آ. (۱۳۹۰) بررسی تأثیر آبیاری با استفاده از فاضلاب شهری بر تجمع فلزات سنگین در خاک. علوم و تکنولوژی محیط‌زیست. ۱۳(۴): ۴۹-۵۹.
۱۱. عرفانی آگاه ع. (۱۳۷۸) بررسی کارایی فاضلاب تصفیه‌شده خانگی در آبیاری زراعت کاهو و گوجه‌فرنگی. مجموعه مقالات همایش جنبه‌های زیست‌محیطی استفاده از پساب در آبیاری، وزارت نیرو، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران، ایران.
۱۲. مرادمند م. و بیگی هرچگانی ح. (۱۳۸۸) اثر آبیاری با پساب تصفیه‌شده شهری بر توزیع سرب و نیکل در اندام فلفل سبز و خاک. پژوهش آب ایران. ۳(۵): ۶۳-۷۰.
۱۳. مظفری ح.، شیرانی‌راد ا.ح. و دانشیان ج. (۱۳۹۲) ارزیابی مقدار برخی از عناصر معدنی و فلزات سنگین در کلزا، یونجه و اسفناج پس از آبیاری با درجات مختلف پساب خانگی. علوم غذایی و تغذیه. ۱۰(۴): ۴۵-۵۴.
۱۴. ملاحسینی ح. و بغوری ا. (۱۳۸۵) بررسی خصوصیات شیمیایی خاک‌های زراعی تحت آبیاری با فاضلاب شهری. مجموعه مقالات همایش خاک، محیط‌زیست و توسعه پایدار، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.
۱۵. وارسته خانلری ز. و جلالی م. (۱۳۸۴) حرکت کادمیم، روی و سرب در اثر کاربرد آب فاضلاب در خاک. مجموعه مقالات نهمین کنگره علوم خاک، پردیس 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. Agrawal 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. *Ecotoxicology 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.