

اثر آبیاری با پساب تصفیه شده شهری بر توزیع سرب و نیکل در اندام فلفل سبز و خاک

مریم مرادمند^۱* و حبیب‌اله بیگی هرچگانی^۲

چکیده

در دهه‌های اخیر در ایران که از جمله کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان به شمار می‌آید، استفاده از پساب تصفیه شده شهری در بخش کشاورزی مورد توجه قرار گرفته است. ورود پساب به خاک می‌تواند باعث انباشته شدن بیش از حد فلزات سنگین در خاک شود. آلودگی خاک به این عناصر موجب جذب به وسیله گیاه و ورود آن‌ها به زنجیره غذایی می‌شود. در این پژوهش سعی شده است تا توزیع دو فلز سنگین سرب و نیکل حاصل از مصرف پساب در اندام‌های مختلف گیاه فلفل سبز بررسی شود. به این منظور آزمایش گلدانی در چهارچوب طرح کاملاً تصادفی انجام شد و آبیاری با درصدهای مختلف پساب در آب آبیاری (۰، ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪) صورت گرفت. نتایج نشان داد آبیاری با پساب تصفیه شده شهرکرد تأثیری بر غلظت سرب و نیکل در خاک و اندام فلفل سبز نداشت. در خاک کلیه تیمارها غلظت سرب و نیکل در محدوده غلظت مجاز در خاک بود. غلظت سرب و نیکل در خاک پیش از کشت تقریباً برابر بود اما در پایان فصل رشد غلظت سرب در اندام فلفل سبز ۱/۵ تا ۲ برابر غلظت نیکل بود. بیشترین غلظت سرب و نیکل در ریشه و کمترین غلظت در میوه فلفل سبز دیده شد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، پساب شهری، شهرکرد، فلزات سنگین و گیاه فلفل.

ارجاع: مرادمند م. و بیگی هرچگانی. ح. ا. ۱۳۸۸. اثر آبیاری با پساب تصفیه شده شهری بر توزیع سرب و نیکل در اندام فلفل سبز و خاک. مجله پژوهش آب ایران. ۳(۵):۶۳-۷۰.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد

۲- استادیار گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد

*نویسنده مسئول: moradmandfr@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۰۵/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۱۲/۴

مقدمه

حجم آب‌های نامتعارف از جمله پساب شهری و صنعتی در ایران بر اساس آمار سال ۱۳۷۵ برابر، ۳/۳۶ میلیارد مترمکعب در سال بوده است که از آن ۲/۵ میلیارد مترمکعب پساب شهری بوده است. حجم این پساب‌ها در سال ۱۳۸۰ به ۴/۵ میلیارد مترمکعب در سال رسیده و پیش‌بینی می‌شود که در سال ۱۳۹۰ به ۷ میلیارد متر مکعب در سال برسد (رنگ‌زن ۱۳۸۵). کاربرد مجدد فاضلاب‌ها و پساب حاصل از تصفیه آن‌ها در کشاورزی به علت نیاز روز افزون به آب به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک نظیر ایران روز به روز بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد. کاربرد پساب از جنبه زراعی و محیطی حائز اهمیت است زیرا پساب اول اینکه مواد آلی را برای خاک مهیا می‌کند و دوم اینکه سبب ورود عناصر غذایی موردنیاز گیاه به خاک می‌شود. با وجود این در استفاده پساب در کشاورزی باید به میزان فلزات سنگین موجود در آن توجه داشت.

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. اگرچه برخی از فلزات سنگین برای رشد گیاه لازم هستند، غلظت بیش از حد آن‌ها می‌تواند برای گیاه و جانور مشکل‌زا باشد. استفاده از پساب در کوتاه مدت ممکن است سمیتی در گیاه ایجاد نکند. ولی 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 را جذب کرده، به آسانی وارد زنجیره غذایی می‌شوند (آگاروال ۲۰۰۲). برای مثال بررسی‌ها نشان داده که آبیاری طولانی مدت اراضی جنوب تهران با پساب شهری باعث افزایش غلظت فلزات سنگین سرب، روی و مس در اراضی و گیاهان تحت آبیاری با فاضلاب نسبت به اراضی و گیاهان شاهد تحت آبیاری با قنات شده است (ملاحسینی ۱۳۸۴). تحقیقات نشان داده در خاک‌های متأثر از پساب شهری، میزان سرب خاک ممکن است تا ۱/۵ برابر خاک‌های غیر آلوده برسد (آگاروال، ۲۰۰۲). بهمنیار (۱۳۸۴) گزارش کرد در اراضی قسمت مرکزی استان مازندران که تحت تأثیر پساب شهری قرار داشته‌اند میزان نیکل حداقل دو برابر افزایش یافت.

میزان جذب هر فلز سنگین از خاک به وسیله گیاه، تابع نوع خاک و ویژگی‌های آن، نوع فلز سنگین و شکل‌های آن و نوع گیاه است. میزان جذب سرب در گیاهان مختلف دارای محدوده‌های متفاوتی است. اثر سوء فلزات سنگین مانند سرب بر سلامت انسان به اثبات رسیده است (آگاروال ۲۰۰۲). در صورتی که سرب از راه دستگاه گوارش وارد بدن انسان شود در روده به صورت قابل جذب در خون درمی‌آید. ورود سرب به خون با اثرات مختلفی از جمله جلوگیری از تولید هم^۱ در خون و آسیب‌های ذهنی به ویژه در کودکان همراه است (عرفان‌منش ۱۳۸۱).

فلزاتی مانند کادمیوم (Cd)، آرسنیک (As)، کروم (Cr)، سرب (Pb)، نیکل (Ni) و سلنیوم (Se) به طور معمول در خاک کشاورزی یافت نمی‌شود و در غلظت زیاد برای گیاهان سمی هستند (توکر، ۲۰۰۳). درجه سمیت نیکل در گیاهان هشت برابر روی است (سالاردینی، ۱۳۷۲). میزان نیکل در گیاه آلوده ۱۰۰-۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (آگاروال، ۲۰۰۲). نیکل در اعمال متابولیکی گیاهان به صورت اوره‌آز در متابولیسم‌های هیدروژناز دخالت دارد (ورما، ۲۰۰۷). نیکل از نظر خواص شیمیایی و فیزیولوژیکی به کبالت نزدیک است. نیکل به راحتی جذب گیاه شده و همانند کبالت می‌تواند جایگزین فلزات سنگین در مراکز فیزیولوژیکی مهم شود (سالاردینی ۱۳۷۲). بنابراین به دلیل سمیت زیاد، رعایت احتیاط در کاربرد آن ضرورت دارد. مقداری از نیکل که روزانه از طریق تغذیه وارد بدن انسان می‌شود حدود ۵۰۰-۴۰۰ میکروگرم است (آگاروال ۲۰۰۲). بنابراین ضرورت دارد استفاده مجدد از پساب‌ها درباره افزایش غلظت فلزات سنگین از جمله سرب و نیکل در خاک بیشتر مورد توجه قرار گیرد. در این تحقیق افزایش غلظت سرب و نیکل در خاک به دنبال آبیاری با پساب تصفیه‌شده شهری شهرکرد بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۵ تیمار شامل آب چاه (T0)، آب چاه ۷۵٪+ فاضلاب تصفیه‌شده شهرکرد ۲۵٪ (T25)، آب چاه ۵۰٪+ فاضلاب تصفیه‌شده شهرکرد ۵۰٪ (T50)، آب چاه ۲۵٪+ فاضلاب تصفیه‌شده شهرکرد ۷۵٪

آب معمولی و آب مقطر شستشو داده شدند. نمونه‌ها در آن تهویه‌دار در ۶۵ درجه‌ی سلسیوس به مدت دو روز خشک شده، پس از آن آسیاب شدند. به طور مشابه، میوه‌های برداشت شده در طول میوه‌دهی گیاه شستشو، خشک و آسیاب شدند. برای اندازه‌گیری سرب و نیکل نمونه‌های گیاهی از روش عصاره‌گیری به روش خاکستر خشک استفاده شد (وسترمن، ۱۹۹۰): یک گرم از هر نمونه ریشه، میوه و اندام هوایی آسیاب شده با دقت ۰/۰۱ گرم توزین و به درون بوته‌های چینی انتقال داده شد. نمونه‌ها در کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس و به مدت دو ساعت خاکستر شدند. پس از آن ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال به نمونه‌ها اضافه و محلول موردنظر روی اجاق برقی حرارت داده شد. سپس به کمک آب مقطر گرم و با استفاده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ به درون بالن ژوژه‌های ۱۰۰ میلی‌لیتر صاف شدند. غلظت سرب و نیکل نمونه‌های گیاهی در عصاره موردنظر به وسیله دستگاه جذب اتمی GBC 932 plus قرائت شد.

برای اندازه‌گیری غلظت قابل عصاره‌گیری سرب و نیکل، خاک هر گلدان، هوا خشک و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. سپس ۱۰ گرم خاک با استفاده از ۲۰ میلی‌لیتر دی‌اتیلن‌تری آمین پنتا استیک اسید^۲ ۰/۰۰۵ نرمال عصاره‌گیری شد. غلظت عناصر در عصاره‌های حاصل به وسیله دستگاه جذب اتمی قرائت شد (لیندسی، ۱۹۷۸). ترکیب شیمیایی آب چاه و پساب در طول فصل رشد اندازه‌گیری شدند. تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار STATISTICA 6.0 و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD انجام شد.

نتایج و بحث

غلظت سرب و نیکل قابل عصاره‌گیری با DTPA در خاک تحت تأثیر آبیاری با پساب قرار نگرفت (شکل‌های ۱ و ۲) ولی تمایل مختصری به افزایش در آن‌ها دیده شد. کلیه تیمارها غلظت سرب بسیار کمتر از حداکثر غلظت مجاز سرب در خاک (۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) و غلظت نیکل در محدوده غلظت مجاز نیکل در خاک (۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) است. غلظت سرب و نیکل در خاک هیچ‌یک از تیمارها، نسبت به غلظت سرب و نیکل خاک اولیه (جدول ۱) تفاوتی نداشتند ($p > 0.05$).

(T75) و فاضلاب تصفیه‌شده شهرکرد (T100) در ۴ تکرار در گلخانه دانشگاه شهرکرد به صورت گلدانی انجام شد. در هر گلدان ۳ نشا از گیاه فلفل سبز قلمی^۱ کشت شد. برخی از ویژگی‌های مخلوط خاک گلدان پیش از اعمال تیمارها و ترکیب شیمیایی آب چاه و پساب به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ آمده است.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های خاک گلدان پیش از اعمال تیمار

وزن مخصوص ظاهری (gr/cm ³)	بافت	(mg/kg)		EC (ds/m)	pH
		سرب	نیکل		
۰/۹۱	لوم-رسی	۱/۸۵	۰/۸۸	۳/۵	۸

جدول ۲- میانگین ترکیب شیمیایی آب چاه و پساب

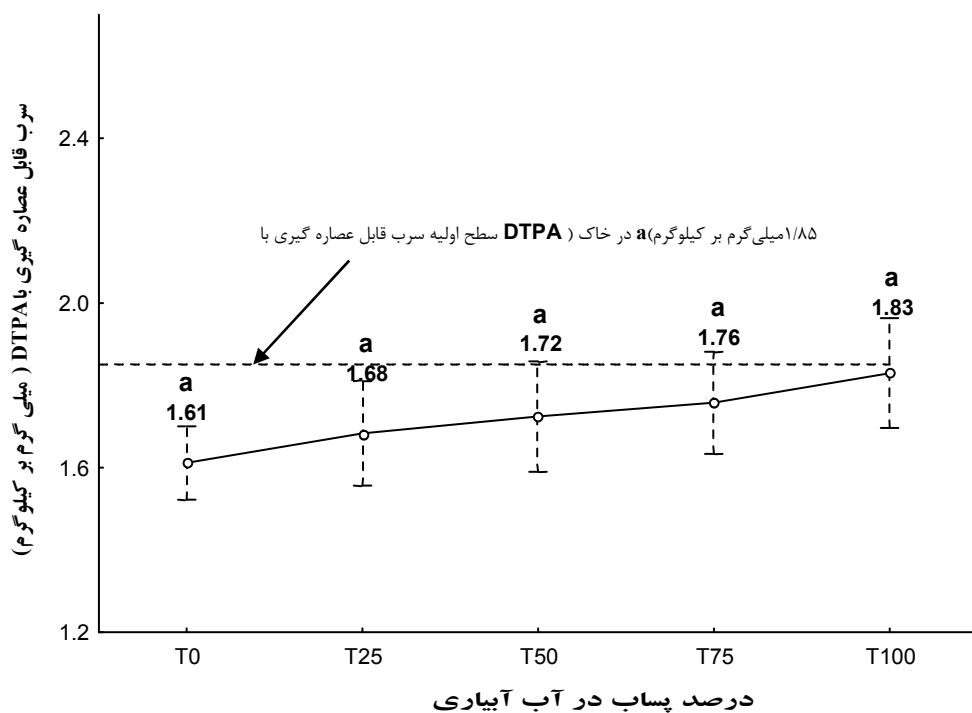
پساب	نیکل	سرب	TDS (mg/l)	واکنش	EC (ds/m)
۰/۰۲	۰/۱۸	۸۰۱	۷/۷۸	۱/۱۵	
۰	۰/۰۸	۲۴۳	۷/۸۵	۰/۳۸	

با توجه به اطلاعات موجود در جدول ۱ بافت خاک گلدان پیش از اعمال تیمارها لوم-رسی بوده است که یک خاک مناسب برای کشت فلفل سبز است (مبلی ۱۳۷۷). غلظت عناصر سنگین سرب و نیکل کمتر از مقادیر مجاز در خاک یعنی به ترتیب ۱۰۰ و ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. با توجه به اطلاعات موجود در جدول ۲ غلظت فلزات سنگین در پساب چند برابر غلظت نظیر آن‌ها در آب چاه است. غلظت سرب در خاک گلدان (جدول ۱)، پساب و آب چاه بیشتر از غلظت نیکل بوده است (جدول ۲). همچنین هدایت الکتریکی و جامدات کل محلول در پساب چندین برابر مقدار آن‌ها در آب چاه است.

دور آبیاری و مقدار آب آبیاری از زمان انتقال نشاها به گلدان‌ها تا پایان دوره رشد فلفل سبز با توزین گلدان‌ها و محاسبه مقدار آب از دست‌رفته (حدود ۵۰ درصد از آب قابل استفاده) مشخص شد. در انتهای فصل رشد نمونه‌های گیاهی پس از انتقال به آزمایشگاه، ابتدا به دو بخش ریشه و اندام هوایی تقسیم شدند. هر یک از نمونه‌ها به خوبی با آب معمولی و بعد با اسید کلریدریک ۰/۱ مول و سپس دوباره با

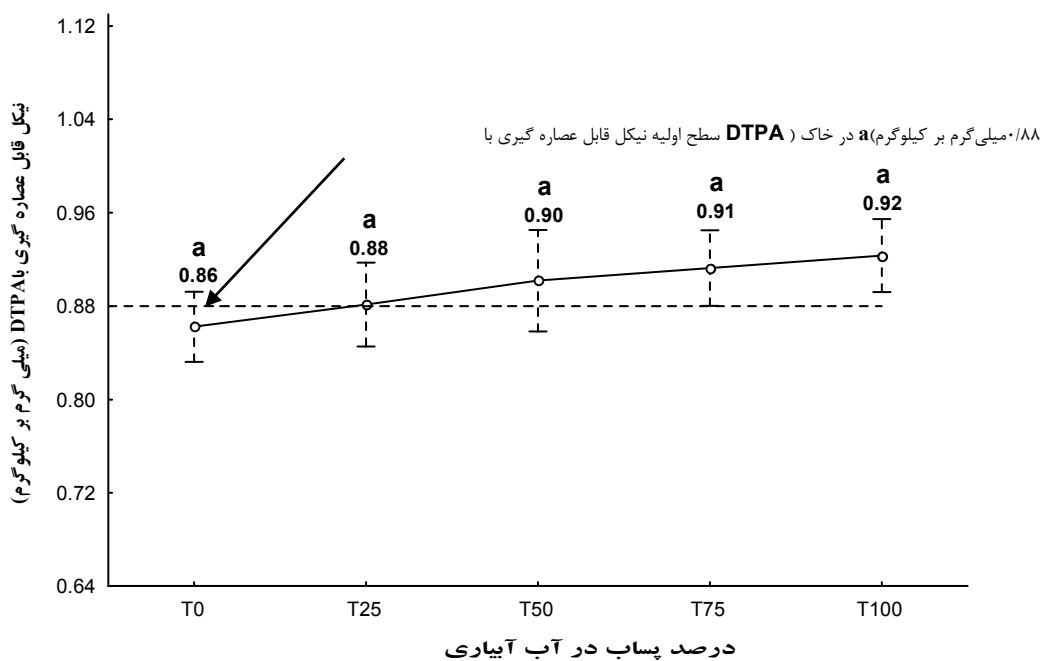
2-DTPA

1- Capsicum annum Var robustin



شکل ۱- تأثیر آب آبیاری با درصد مختلف پساب بر غلظت سرب خاک

میله های خطا، ± خطای استاندارد را نشان می دهند (n=۴). در ضمن میانگین های مشخص شده با حروف یکسان در سطح ۹۵ درصد متفاوت نیستند.



شکل ۲- تأثیر آب آبیاری با درصد مختلف پساب بر غلظت نیکل خاک

میله های خطا، ± خطای استاندارد را نشان می دهند (n=۴). در ضمن میانگین های مشخص شده با حروف یکسان در سطح ۹۵ درصد متفاوت نیستند.

جدول ۳- میانگین غلظت عناصر سنگین نیکل و سرب (میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک) در اندام‌های فلفل سبز تحت آبیاری با پساب (n=15)

عنصر	اندام	
	میوه	ریشه
نیکل	۱/۶۷	۲/۸۲
سرب	۲/۲۳	۷/۸۲

اگرچه غلظت نیکل و سرب در میوه فلفل سبز در اثر افزایش درصد پساب اندکی افزایش نشان دادند ولی این اختلاف‌ها معنی‌دار نبودند ($p > 0.05$). در اندام هوایی و ریشه فلفل سبز نیز اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد ($p > 0.05$). با توجه به اعداد جدول ۳ مشاهده می‌شود که بیشترین غلظت نیکل در ریشه با میانگین ۴/۸۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک و کمترین غلظت نیکل در میوه با میانگین ۱/۶۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک است. همچنین بیشترین مقدار سرب در ریشه فلفل سبز با میانگین ۷/۸۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک و کمترین غلظت سرب در میوه فلفل سبز با میانگین ۲/۲۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک دیده می‌شود (جدول ۳).

نیکل از نظر خواص شیمیایی و فیزیولوژیکی به کبالت نزدیک است. نیکل به راحتی جذب گیاه شده و همانند کبالت می‌تواند جایگزین فلزات سنگین در مراکز فیزیولوژیکی مهم شود (سالاردینی، ۱۳۷۲). بنابراین به دلیل سمیت زیاد، رعایت احتیاط در کاربرد آن ضرورت دارد (آگاروال، ۲۰۰۲). غلظت نیکل و سرب در فلفل سبز در محدوده‌ای است که انتظار می‌رود برای گیاه مشکل ایجاد نکند. حداکثر مقدار مجاز سرب در گیاه برای انسان ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم است (آگاروال ۲۰۰۲) و در تمام تیمارها در میوه که مصرف خوراکی برای انسان دارد غلظت سرب کمتر از ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. میرلز (۲۰۰۴) پس از آبیاری یونجه و جو دو سر با پساب، گزارش کرد نیکل در ریشه‌ها نسبت به ساقه و برگ‌ها غلظت بیشتری داشته است. آگاروال (۲۰۰۲) گزارش کرد غلظت آرسنیک در گیاه فلفل کشت شده در خاک‌های آلوده به ترکیبات آرسنیک به ترتیب در ریشه، ساقه، برگ و سپس میوه بیشترین مقدار را داشت. برخی از محققین نشان دادند مصرف فاضلاب خام شهری تأثیری بر غلظت نیکل در دانه و کاه جو نداشت. به نظر می‌رسد ساز و کارهایی در ریشه گیاه

پژوهش‌ها نشان داده در خاک‌های متأثر از پساب شهری، میزان سرب در خاک ۱/۳ تا ۱/۷ برابر خاک‌های غیر آلوده بوده است (آگاروال ۲۰۰۲). موحدیان (۱۳۷۸) گزارش کرد پس از مصرف طولانی مدت پساب شهری تصفیه‌شده در شمال اصفهان میانگین غلظت سرب در خاک از مقدار زمینه‌ای آن بیشتر شد اما غلظت نیکل در خاک کمتر از حدود زمینه‌ای آن شد. ملاحسینی (۱۳۸۵) نشان داد آبیاری با پساب شهری به مدت طولانی غلظت نیکل در خاک را از حدود زمینه‌ای آن کاهش داد در صورتی که غلظت سرب را به چندین برابر حدود زمینه‌ای آن در خاک افزایش داد.

از اثرات سوء دفع فاضلاب در زمین، تجمع فلزاتی نظیر کروم، نیکل و کادمیوم است که در وهله نخست خاک را آلوده خواهد ساخت (رحمانی، ۱۳۸۴). بهمنیار (۱۳۸۴) گزارش کرد در اراضی قسمت مرکزی استان مازندران که تحت تأثیر پساب شهری قرار داشته‌اند میزان نیکل حداقل دو برابر افزایش یافت.

در این تحقیق پساب اثری بر غلظت سرب و نیکل در خاک نداشت (شکل‌های ۱ و ۲). ممکن است علت آن غلظت کم سرب و نیکل در پساب (جدول ۲) و یا مدت کوتاه آبیاری با پساب (یک فصل رشد) باشد. همچنین برخی از محققین نشان دادند که احتمالاً خطر آلودگی فلزات سنگین به ویژه سرب پس از وارد شدن به خاک به علت تشکیل ترکیبات نامحلول نظیر کربنات و سولفات کاهش می‌یابد (وارسته خانلری، ۱۳۸۴).

استفاده از پساب اثری روی غلظت نیکل و سرب در بافت فلفل سبز نداشت ($p > 0.05$). میانگین عناصر نیکل و سرب در اندام‌های فلفل سبز تحت آبیاری با پساب در جدول ۳ دیده می‌شود. غلظت سرب در میوه، ریشه و اندام هوایی فلفل سبز ۱/۵ تا ۲ برابر غلظت نیکل در اندام نظیر در فلفل سبز بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های نیکل و سرب در میوه، ریشه و اندام هوایی با آزمون t (درجه آزادی ۴) تفاوت معنی‌داری بین دو عنصر نیکل و سرب نشان داد ($p < 0.01$).

(۲۰۰۸) گزارش کردند خاک‌های آبیاری شده با پساب در پکن در چین حاوی ترکیبات فلزات سنگین هستند. همچنین غلظت فلزات سنگین در گیاهان کشت شده در خاک‌های آبیاری شده با پساب نسبت به گیاهان رشد یافته در خاک شاهد به طور معنی‌داری بیشتر بودند ($P < 0.001$) و از حدود مجاز تعیین شده از طرف سازمان حفاظت محیط زیست در چین و سازمان بهداشت جهانی زیادتر بودند.

بر خلاف آن موحدیان (۱۳۷۸) در بررسی اثر مصرف پساب شهری تصفیه‌شده بر گندم و ذرت گزارش کرد غلظت نیکل در بافت گیاهی کمتر از محدوده طبیعی بود. برکی (۱۳۸۰) نیز گزارش کرد آبیاری با پساب و آب معمولی هیچ‌گونه اثر سویی از لحاظ بهداشتی و آلودگی عناصر سنگین (سرب و کادمیوم) بر خاک و گیاه نداشت. نتایج به دست آمده در مورد گیاه فلفل سبز نیز افزایش معنی‌داری در غلظت نیکل و سرب نشان نداد که احتمالاً به غلظت کم نیکل و سرب در پساب شهرکرد (جدول ۲) و یا دوره کوتاه آبیاری با پساب مربوط است. هرچند غلظت بالای سدیم موجود در پساب جاننشینی آن در محل جذب سطحی ذرات جامد خاک می‌تواند سبب افزایش غلظت عناصر سنگین در محلول خاک شود. همچنین غلظت زیاد کلر در پساب که سبب ایجاد کمپلکس‌های کلر با عناصر سنگین می‌شود می‌تواند سبب افزایش قابلیت جذب آن‌ها برای گیاه شود. در مقابل برخی محققین نشان دادند که تشکیل ترکیبات غیرآلی کریستاله از فلزات سنگین افزوده شده به خاک یا تشکیل کمپلکس، از جذب زیاد فلزات سنگین به وسیله گیاه مانع می‌کند (آگاروال، ۲۰۰۲).

غلظت سرب و نیکل در خاک پیش از کشت به طور تقریبی برابر بود (جدول ۱) اما پس از اعمال تیمارهای آبیاری و در پایان فصل رشد غلظت سرب در میوه، ریشه و اندام هوایی فلفل سبز ۱/۵ تا ۲ برابر غلظت نیکل بود (جدول ۳). به نظر می‌رسد غلظت بیشتر سرب نسبت به نیکل در آب چاه و پساب (جدول ۲) دلیل احتمالی این اختلاف باشد. البته همان‌گونه که در سایر منابع علمی (آگاروال، ۲۰۰۲) آمده است بسته به گونه گیاه و نوع فلز سنگین غلظت آن در بافت‌های گیاهی متفاوت است. فلزات میل ترکیبی متفاوتی برای جذب به وسیله گیاه نشان می‌دهند. در گیاه فلفل سبز

سبب شده وجود دارد که از انتقال این عناصر به اندام‌های هوایی مانع به عمل می‌آورد (آگاروال، ۲۰۰۲).

ملاحسینی و همکاران (۱۳۸۴) در بررسی تجمع برخی عناصر سنگین در اندام‌های ذرت علوفه‌ای تحت آبیاری با پساب ملاحظه کردند که با افزایش نسبت مصرف فاضلاب به آب چاه غلظت سرب در گیاه ذرت افزایش یافت و بیشترین تجمع آن در ریشه بود. براساس نتایج تحقیقات، سرب به راحتی به وسیله ریشه‌های گیاه جذب شده ولی انتقال آن به اندام هوایی محدود است (آگاروال، ۲۰۰۲). سرب جذب شده به وسیله گیاه به بخش‌های بیرونی ریشه، به آپوپلاست و دیواره سلولی متصل شده، کمتر در اختیار اندام هوایی قرار می‌گیرد (ملاحسینی، ۱۳۸۴). این امر به خوبی می‌تواند سلول را از اثرات سمی آن حفظ کند (سالاردینی، ۱۳۷۲). بنابراین، در ظاهر غلظت کمتر نیکل و سرب در اندام هوایی و میوه نسبت به ریشه (جدول ۳) احتمالاً به علت عدم انتقال آن از ریشه به اندام هوایی است. پژوهشگران در آزمایش خود با کشت سویا گزارش کردند که همراه با افزایش پساب مصرفی مقدار عناصر سنگین در گیاه با ضرایب مختلف افزایش می‌یابد (آگاروال، ۲۰۰۲). بهمنیار (۱۳۸۴) نشان داد پس از آبیاری برنج و اسفناج با پساب شهری و صنعتی استان مازندران، میزان نیکل در ریشه برنج چندان تجمع نیافته، میزان سرب نسبت به شاهد ۴۲ درصد افزایش یافته است، اما در ریشه اسفناج در همان شرایط غلظت نیکل نسبت به شاهد ۶ برابر و سرب بیش از ۴ برابر نسبت به شاهد افزایش نشان می‌دهد. نیکل تجمع یافته در اندام هوایی اسفناج نسبت به شاهد تغییر چندانی نداشته است و سرب در برگ اسفناج افزایشی بیش از ۳ برابر را نشان داد ولی در اندام هوایی برنج نیکل ۲۷ درصد و سرب ۵۰ درصد نسبت به شاهد افزایش یافته است.

رنگ‌زن (۱۳۸۵) گزارش کرد با وجود غلظت کمتر از حد مجاز عناصر سنگین در پساب شهری، غلظت این عناصر در گیاه نسبت به شاهد افزایش نشان می‌دهد. آبیاری برنج با آب رودخانه‌ای که متأثر از فاضلاب شهری و صنعتی بود موجب افزایش تجمع نیکل در اندام هوایی گیاه برنج شد (شیرین‌فکر، ۱۳۸۰). مقدار تجمع سرب در گیاه ذرت برای تیمارهای آبیاری شده با فاضلاب به مدت ۶ سال از نظر سرب حدود سه برابر شد (ترابیان، ۱۳۸۱). خان و همکاران

۷- شیرین فکر ا. کاووسی م. و محبوب خمایی ع. ۱۳۸۰. روند تغییرات غلظت فلزات سنگین در برنج با توجه به فاصله از منابع آلودگی. مجموعه مقالات هفتمین کنگره علوم خاک ایران.

۸- عرفان منش م. و افیونی م. ۱۳۸۱. آلودگی محیط زیست: آب، خاک و هوا، انتشارات ارکان، ۳۳۰ ص.

۹- مبللی م. و پیراسته ب. ۱۳۷۷. تولید سبزی. چاپ دوم. ۸۷۷ صفحه.

۱۰- ملاحسینی ح. هراتی م. اکبری غ. حریری ن. عبادی ت. فوقی ب. و بغوری الف. ۱۳۸۴. تجمع فلزات سنگین در اندام‌های ذرت علوفه‌ای تحت آبیاری با فاضلاب، مجموعه مقالات نهمین کنگره علوم خاک ایران.

۱۱- ملا حسینی، ح. و بغوری الف. ۱۳۸۵. بررسی خصوصیات شیمیایی خاک‌های زراعی تحت آبیاری با فاضلاب شهری. مجموعه مقالات همایش خاک، محیط زیست و توسعه پایدار.

۱۲- موحدیان ح. بینا ب. و وحیدستجردی م. ۱۳۷۸. تأثیر استفاده از پساب تصفیه خانه فاضلاب شمال اصفهان بر تجمع فلزات سنگین سرب، نیکل و کادمیوم در خاک و محصولات آبیاری شده با آن. پژوهش در علوم پزشکی. ۱۱۷: (۲) ۱۲۱-۱۱۷.

۱۳- وارسته خانلری ز. و جلالی م. ۱۳۸۴. روی و سرب در اثر کاربرد آب فاضلاب در خاک، حرکت کادمیوم. مجموعه مقالات نهمین کنگره علوم خاک ایران.

14- Agarwal S. K. 2002. Pollution management: water pollution. A.P.H. publ New Delhi. 384pp.

15- Khan S. Cao Q. Zheng Y. M. Huang Y. Z. and Y. G. Zhu. 2008. Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China. Environ Pollut., 152:686-692.

16- Lindsay W. L. and W.A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil testing for Zinc, Iron, Manganese and Copper, SSSAJ 42:421-428.

17- Mireles A. Solis, C. Andras, E. Lagunas-Solar, M. Pina, C. and R. G. Flocchini. 2004. Heavy metal accumulation in plant and soil irrigated with wastewater from Mexico City. Nuclear Instrumenta and Methods in Physics Reaserch, 187-190.

18- Tucker R. Hardy D. H. and C. E. Stokes. 2003. Heavy metals in North Carolina soils, occurrence and significance, N.C. Department of Agriculture and Consumer Services, Agronomic division, Raleigh. www.ncagr.com/agronomi.

نیز نتایج غلظت بیشتر سرب نسبت به نیکل را در اندام مختلف نشان داد.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق به یک فصل رشد محدود است و با ادامه کاربرد پساب شهری شهرکرد ممکن است غلظت سرب و نیکل در خاک و سپس در گیاه افزایش یافته، از حد استاندارد تجاوز کند. به ویژه در مورد نیکل که به نظر می‌رسد تمایل کمی به افزایش نسبت به خاک اولیه نشان داده است. از این رو ادامه این تحقیق برای ارزیابی اثرات دراز مدت پساب تصفیه شده شهری شهرکرد بر غلظت عناصر سنگین در خاک و گیاه و بر خواص خاک توصیه می‌شود. همچنین تحقیق اثرات این پساب روی سبزی‌ها و گیاهان خوراکی دیگر نیز مطلوب خواهد بود.

منابع

۱- برکی ح. و رضوانی ع. ۱۳۸۰. بررسی اثرات آب آبیاری حاصل از فاضلاب‌های خانگی تصفیه شده بر کیفیت و کمیت محصول ارزن علوفه‌ای. مجله بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب. ۴۵۵-۴۶۸.

۲- بهمنیار م. ع. شهبابی م. و بحرالعلومی م. ج. ۱۳۸۴. تأثیر آبیاری با پساب شهری و صنعتی استان مازندران بر تجمع برخی از عناصر سنگین در گیاهان برنج و اسفناج. مجموعه مقالات نهمین کنگره علوم خاک ایران.

۳- ترابیان ع. و مهجوری م. ۱۳۸۱. بررسی اثر آبیاری با فاضلاب روی جذب فلزات سنگین به وسیله سبزی‌های برگی جنوب تهران. مجله علوم خاک و آب، ۱۶: (۲) ۱۸۹-۱۹۶.

۴- رحمانی ح. ر. ۱۳۸۴. بررسی کیفیت پساب‌های فاضلاب شهری و صنعتی و اثرات آن‌ها بر خاک و آب و گیاه در ایران. مجموعه مقالات نهمین کنگره علوم خاک ایران.

۵- رنگ‌زن ن. پاینده خ. و لندی ا. ۱۳۸۵. بررسی کیفیت پساب بر انباشت عناصر سنگین در دو گیاه سورگوم و شبدر. موعه مقالات نهمین کنگره علوم خاک ایران.

۶- سالاردینی ع. و مجتهدی م. ۱۳۷۲. اصول تغذیه گیاه. جلد دوم. مرکز نشر دانشگاهی.

- 19- Verma P. George K. V. Singh H. V. and R. N. Singh. 2007. Modeling cadmium accumulation in radish, carrot, spinach and cabbage. *Applied Mathematical Modeling*, 31:1652–1661.
- 20- Westerman R.L. 1990. *Soil testing and plant analysis*, SSSA, Madison, Wisconsin, USA