مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره چهاردهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۰، صفحات ۹۹ تا ۱۱۴

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir
مقاله پژوهشی

اثر آبیاری با پساب تصفیه شده شهری بر انباشت سرب و کادمیوم در خاک و گیاه فلفل دلمه‌ای

ملیحه افخمی[۱]، فاضل امیری[۲*]، طیبه طباطبایی[۱]
۱- گروه محیط زیست، دانشکده فنی و مهندسی، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران
۲- گروه منابع طبیعی و محیط زیست، دانشکده فنی و مهندسی، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۱۸
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۰۳/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۰
تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۰۳/۳۱

واژگان کلیدی: آبیاری، انباشت فلزات سنگین، پساب شهری، فلفل دلمه‌ای

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
famiri@iaubushehr.ac.ir

چکیده

زمینه و هدف: کمبود آب در مناطق خشک و نیمه خشک یکی از مهمترین عوامل محدودکننده تولید محصولات کشاورزی محسوب می‌شود. از این‌رو، استفاده از منابع آب غیرمتعارف نظیر فاضلاب تصفیه شده شهری در این مناطق مورد توجه قرار گرفته است. ورود پساب به خاک ممکن است باعث انباشته شدن فلزات سنگین در خاک شود. آلودگی خاک به این فلزات موجب جذب به‌وسیله گیاه و ورود آنها به زنجیره غذایی گردد. در این پژوهش گلخانه‌ای، تغییرات غلظت فلزات سنگین سرب (Pb) و کادمیوم (Cd) حاصل از مصرف پساب شهری در خاک و گیاه فلفل دلمه‌ای (Capsicum annuum) مورد بررسی قرار گرفت.

روش بررسی: آزمایش گلدانی در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار و تیمارهای آبیاری شامل آب چاه، پساب تصفیه شده و پساب رقیق شده فاضلاب انجام گرفت. برای ارزیابی اثرات تیمارهای مختلف آبیاری بر خاک، پارامترهای اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (EC)، غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم در خاک مورد بررسی قرار گرفت. همچنین، برای اثرات تیمارهای آبیاری بر گیاه فلفل دلمه‌ای، پارامترهایی وزن زیست توده، وزن تر و خشک و غلظت سرب و کادمیوم (در شاخه، میوه و ریشه) اندازه‌گیری شد. مقدار سرب و کادمیوم در فلفل با ICP-OES اندازه گیری شد. میانگین‌ها با استفاده از تحلیل واریانس یک طرفه (ANOVA) مقایسه شد و برای تعیین تفاوت بین گروه‌ها از آزمون دانکن (Duncan) استفاده شد ($p<۰/۰۵$). همچنین از آزمون t مستقل (Independent t-test) برای بررسی تفاوت غلظت سرب و کادمیوم در خاک و آب استفاده شد ($p<۰/۰۵$).

یافته‌ها: نتایج تجزیه شیمیایی خاک و اندام فلفل نشان داد آبیاری با پساب سبب افزایش معنی‌دار غلظت سرب و کادمیوم در خاک و در شاخه، میوه و ریشه فلفل نشد. غلظت سرب و کادمیوم در خاک و در شاخه، میوه و ریشه فلفل در محدوه غلظت مجاز و استاندارد بود. تفاوت غلظت سرب و کادمیوم در خاک پیش از کشت معنی‌دار نبود، اما در پایان دوره مطالعه، غلظت سرب در فلفل بیشتر از غلظت کادمیوم بود. استفاده از پساب باعث افزایش وزن تر و خشک در ریشه، شاخه و میوه فلفل شد.

نتیجه‌گیری: آبیاری با پساب بر افزایش غلظت سرب و کادمیوم در ریشه و اندام هوایی گیاه فلفل مؤثر نبود ($p<۰/۰۵$). نتایج این مطالعه محدود به یک فصل رشد است و با ادامه کاربرد فاضلاب شهری، غلظت سرب و کادمیوم در خاک و سپس در گیاه ممکن است از حد استاندارد تجاوز کند. به‌ویژه در مورد سرب که به نظر می‌رسد تمایل کمی به افزایش نسبت به خاک اولیه و اندام فلفل نشان داده است. از این‌رو، ادامه این تحقیق برای ارزیابی اثرات درازمدت پساب تصفیه شده شهری بوشهر بر غلظت عناصر سنگین در خاک و گیاه و بر خواص خاک توصیه می‌شود، هر چند که بایستی اذعان داشت که براساس توصیه‌های فنی کاربرد پساب تصفیه شده قابل توصیه نیست ولی در موارد ضروری با احتیاط می‌تواند استفاده شود.

Please cite this article as: Afkhami M, Amiri F, Tabatabaie T. Effect of irrigation with treated wastewater on lead and cadmium accumulations in soil and sweet pepper plant. Iranian Journal of Health and Environment. 2021;14(1):99-114.

Copyright © 2021 Iranian Association of Environmental Health, and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-17]

مقدمه

امروزه بحران کم آبی، باعث استفاده مجدد از فاضلاب در بخش کشاورزی شده است. وجود آلاینده‌هایی همچون فلزات سنگین در فاضلاب، منجر به تجمع آنها در سبزیجات شده که سرانجام به مصرف کننده منتقل و اثرات جبران ناپذیری بر سلامت وی به دنبال خواهد داشت (۱). از پساب تصفیه شده شهری برای آبیاری زراعی، گیاهان به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک که با کمبود شدید آب رو به رو هستند، می‌توان استفاده کرد. کاربرد پساب تصفیه شده جهت آبیاری علاوه بر تامین آب می‌تواند منبع غذایی خوبی برای گیاهان و تقویت خاک گردد، بنابراین می‌تواند جایگزین یا سبب صرفه جویی در مصرف کودهای شیمیایی و افزایش عملکرد گیاهان گردد (۲-۴). اصلی‌ترین عامل ایجاد نگرانی در آبیاری زمین با فاضلاب شهری حضور فلزات سنگین از جمله آرسنیک، کادمیوم، سرب، نیکل، مس و کروم در آب است. غلظت بالای این فلزات سنگین می‌تواند سبب آلودگی خاک، گیاه، آب‌های زیرزمینی و چرخه غذایی انسانی گردد. در نتیجه تخلیه حجم زیادی از فاضلاب‌های حاوی فلزات سنگین، این فلزات وارد محیط شده و اثرات مخربی برای محیط زیست دارند (۵). فاضلاب شهری حاوی فلزات سنگینی همچون کادمیوم، کروم، مس، نیکل و روی هستند به خاطر حلالیت بالای آنها در محیط آبی این فلزات سنگین می‌توانند در بدن موجودات زنده جذب شوند، بعد از این‌که آنها وارد زنجیره غذایی شدند غلظت‌های بالای آنها در بدن انسان که در بالای زنجیره غذایی قرار دارد تجمع پیدا می‌کند اگر غلظت فلزات سنگین بیش از حد مجاز اعلام شده همراه با غذا وارد بدن انسان شود می‌تواند باعث اختلال جدی در سلامت انسان شود (۶).

تاکنون مطالعات مختلفی درباره تاثیر آبیاری با فاضلاب بر تغییرات فلزات سنگین در خاک و گیاه انجام شده است. برای نمونه، Sobhanardakani و همکار (۷) در مطالعه‌ای غلظت تجمع یافته عناصر سرب، کادمیوم، کروم و نیکل در گونه‌های کلم پیچ، کلم قرمز و کلم بروکلی عرضه شده در بازار مصرف شهر همدان را بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که میانگین غلظت عناصر سرب و کادمیوم در تمام نمونه‌های کلم و میانگین غلظت عنصر کروم در نمونه‌های کلم قرمز و بروکلی بیش از حد استاندارد است. لذا این گونه‌ها فاقد شرایط مصرف توسط شهروندان بوده و باید نسبت به مدیریت شرایط کشت آنها تدابیر لازم اتخاذ گردد. Farmanifard و همکاران (۸) تجمع فلزات سنگین شامل مس، آهن، روی، کادمیم و منگنز را در اندام‌های مختلف (ریشه، اندام هوایی، میوه یا دانه) ذرت، جو، بامیه و جعفری در شرایط واقعی تحت آبیاری با دو تیمار فاضلاب تصفیه شده شهری خروجی تصفیه خانه کرمانشاه و آب چاه موجود در اراضی همان منطقه مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که اثر آبیاری با پساب بر تجمع فلزات سنگین در تمامی محصولات در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. همچنین، تجمع آهن، روی و کادمیم در اندام‌های محصولات مورد بررسی تحت تیمار پساب بیش از تیمارهای آب چاه و از نظر آماری نیز معنی‌دار بود و در بیشتر موارد بالاتر از حدود استانداردها نیز قرار داشت، ولی از نظر تجمع مس و منگنز، علی‌رغم مشاهده اختلاف معنی‌دار آماری و مقداری بین تیمارهای مختلف، میزان تجمع این دو فلز در اندام‌های مختلف محصولات در اکثر موارد پایین‌تر از حدود مجاز قرار داشت. علاوه بر این، تجمع فلزات مختلف در ریشه بیش از اندام‌های دیگر به‌دست آمد.

Al-Lahham و همکاران (۹) در پژوهشی تاثیر آبیاری با پساب شهری بر گیاه گوجه فرنگی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج به‌دست آمده از این مطالعه نشان داد که حضور فلزات سنگین در پساب باعث آلودگی خاک به این فلزات شده بود، در نتیجه فلزات سنگین از خاك به میوه‌های گوجه فرنگی انتقال یافته است. غلظت فلزات سنگین در میوه‌های گوجه فرنگی اندازه‌گیری شده در این مطالعه پایین‌تر از مقدار ارائه شده توسط استاندارد جهانی بود. Munir و همکاران (۱۰) با بررسی اثر آبیاری با پساب بر گیاهان علوفه‌ای در اردن به مدت ۵ و ۱۰ سال دریافتند

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-17]

که وزن گیاه جو با کاربرد پساب افزایش یافته و پساب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را نیز فراهم نموده است. Heidarpour و همکاران (۱۱) تاثیر فاضلاب تصفیه شده روی خصوصیات شیمیایی خاک با استفاده از دو روش آبیاری سطحی و آبیاری قطره‌ای تراوا را مطالعه کردند. نتایج این محققان حاکی از افزایش هدایت الکتریکی در لایه بالایی خاک توسط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بوده که این امر ممکن است از رشد و نمو گیاه جلوگیری نماید. آبیاری با فاضلاب به‌طور معنی‌داری مقدار پتاسیم خاک را افزایش داد چرا که مقدار پتاسیم در فاضلاب سه برابر آب زیرزمینی بود. حال آنکه میزان فسفر و نیتروژن کل تحت تاثیر منبع آب مورد استفاده قرار نگرفت.Klay و همکاران (۱۲) تاثیر فاضلاب خام و تصفیه شده را بر ویژگی‌های خاک مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که اثر آبیاری با فاضلاب تصفیه شده بر محتوای فلزات سنگین به‌خصوص برای سرب و کادمیوم با دوره آبیاری افزایش یافته است. غلظت فلزات سنگین در خاک نشان داد که تحرک و جذب سطحی آنها وابسته به محتوی (مقدار) فلزی فاضلاب تصفیه شده، حرکات کربن آلی، درصد بخش رس و زمان آبیاری است. آبیاری با فاضلاب تصفیه شده می‌تواند شوری و محتوی فلزات سنگین خاک را افزایش دهد. نتیجه مطالعه Cao و همکاران (۱۳) در کاربرد پساب صنایع فلزی برای آبیاری برنج و سبزیجات نشان داد که افزایش کروم در اندام‌های این گیاهان به مقدار ۲/۸ برابر بیش از حد مجاز گردید. همچنین اندازه‌گیری ضریب انتقال عناصر سنگین از ریشه به بخش هوایی نشان داد که روند این ضریب برای فلزات مختلف به‌صورت سرب، کروم، کادمیوم است. Khurana و همکار (۱۴) به بررسی اثر آبیاری با پساب صنعتی بر مقدار عناصر سنگین در گیاهان ذرت و کلزا پرداختند. مقدار کادمیوم تجمع یافته در ذرت و کلزای آبیاری شده با پساب ۳/۵-۲ برابر بیشتر از گیاهان شاهد بود. مقدار نیکل تجمع یافته در گیاهان تحت اثر پساب ۱۳۶- ۰/۱۶ افزایش نشان داد. توزیع عناصر مورد بررسی در گیاهان یکنواخت نبود. به جز در مواردی چند، در اغلب موارد تجمع عناصر سنگین در ریشه بیشتر از اندام هوایی بود. Marofi و همکاران (۱۵) با کاربرد پساب خام و تصفیه شده روی سیب زمینی در شرایط گلخانه، نشان دادند که اثر تیمارهای آبیاری بر ضریب انتقال فلزات سنگین از خاک به اندام هوایی و غده‌های سیب زمینی معنی‌دار است. Rezvani Ghalhari و همکاران (۱۶) به بررسی غلظت مواجهه با سرب، نیکل، کروم، آرسنیک و کادمیوم در سبزی‌های پرمصرف شهرستان کاشان پرداخت. نتایج این مطالعه نشان داد که سرب بیشترین غلظت را در بین فلزات سنگین در سبزی جعفری، گشنیز و ریحان را دارد و در سبزی تره فلز سنگین کروم است. بیشترین مقدار ضریب خطرپذیری فلزات سنگین سرب، کروم و سرب به ترتیب برای سبزی ریحان، تره و جعفری مشاهده شد. به‌طورکلی غلظت دو فلز سنگین کروم و سرب در نمونه‌های مورد بررسی بیشتر از حد مجاز WHO/FAO بود. بنابراین ضرورت دارد استفاده مجدد از پساب‌ها درباره افزایش غلظت فلزات سنگین از جمله سرب و کادمیوم در خاک تحت تیمارهای مختلف آبیاری (آب چاه، پساب تصفیه شده و پساب رقیق شده) در گونه‌های کشاورزی پرمصرف (گونه‌های فلفل (Capsicum annuum var. annuum) گونه تجاری است و تولید آن در سراسر جهان سالانه به بیش از ۲۴ میلیون تن می‌رسد (۱۷) بیشتر مورد توجه قرار گیرد. در این تحقیق افزایش تاثیر پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهر بوشهر بر غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم در فلفل دلمه‌ای و خاک است.

مواد و روش‌ها

_ محل انجام مطالعه

این مطالعه در یک گلخانه تجاری در حاشیه شهر بوشهر در موقعیت جغرافیایی ۲۷ درجه و ۱۴ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۵۸ دقیقه طول شرقی در ارتفاع ۱۸ m از سطح دریا اجرا شد. گلخانه از نوع تونلی با پوشش پلاستیک و اسکلت فلزی با ارتفاع ۸ m و عرض ۱۶ m است. آب مورد استفاده در این گلخانه از یک حلقه چاه تامین می‌شود، که

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-17]

پس از نمک‌زدایی توسط دستگاه آب شیرین کن به صورت قطره‌ای، برای آبیاری گلخانه مورد استفاده قرار می گیرد.

_آماده‌سازی و کاشت نمونه‌ها

بذرهای فلفل دلمه‌ای (Capsicum annuum var. robustin)، در سینی کاشت که حاوی مخلوط خاک پیت (۸۰ درصد) و پرلیت (۲۰ درصد) بود در شرایط گلخانه در حرارت ۲۲ °C تا ۲۵ °C کشت شد (شکل ۱). پس از ۴۵ روز در اواسط دی ماه زمانی که نشاءها ۳-۴ برگی شدند برای هر تیمار آبیاری ۴۰ تکرار بنابراین به ۱۲۰ گلدان در گلخانه منتقل شدند. ترکیب خاک گلدان‌های اصلی شامل خاک لوم + کود حیوانی به نسبت ۳ به ۱ که قبل از انتقال نشاءها آماده شده بود. نشاءهای یک دست پس از خارج شدن از سینی‌های نشاء در گلدان‌های آماده شده کاشته شد. پس از کاشت نشاءها مراقبت‌های لازم جهت استقرار مناسب نشاء در گلدان‌ها انجام گرفت.

شکل ۱- تیمار نمونه‌ها در سینی کاشت گلخانه

_ اعمال تیمارهای آزمایش

در ابتدای بهمن ماه پس از اطمینان از استقرار مناسب نشاءهای گونه در گلدان‌ها، تیمارهای مربوط به آب آبیاری اعمال شد. تیمارهای آبیاری در این مطالعه شامل آب چاه، پساب تصفیه شده و پساب رقیق شده (۱/۲ آب مقطر) در قالب طرح کاملا تصادفی به مدت ۱۲۰ روز بود. پس از اتمام دوره ۱۲۰ روزه آزمایش از خاک و گیاه جهت بررسی اثرات تیمارهای آبیاری از هر گلدان نمونه‌برداری شد.

_ پارامترهای مورد مطالعه

جهت بررسی اثرات آبیاری با پساب تصفیه شده بر خاک، پارامترهای اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (EC)، غلظت فلزات سنگین سرب (Pb) و کادمیوم (Cd) در خاک مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. همچنین جهت بررسی اثرات آبیاری با پساب تصفیه شده بر رشد و نمو گیاه فلفل، پارامترهای وزن زیست توده، وزن تر (ریشه و شاخه به‌صورت مجزا)، وزن خشک (ریشه و شاخه به‌صورت مجزا)، غلظت سرب (در شاخه، میوه و ریشه) و غلظت کادمیوم (در شاخه، میوه و ریشه) اندازه‌گیری شد.

_ آنالیز پارامترهای خاک

برای اندازه‌گیری پارامترهای خاک از نمونه‌های خاک گلدان‌ها در ابتدا و انتهای دوره آزمایش نمونه‌برداری شد. هدایت الکتریکی (EC) با استفاده از دستگاه EC متر اندازه گیری شد. اسیدیته pH با استفاده از دستگاه pH

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-17]

متر اندازه‌گیری شد. میزان غلظت فلزات کادمیوم و سرب با استفاده از دستگاه ICP-OES تعیین شد (۱۸).

_ آنالیز پارامترهای گیاه

برای تعیین وزن تر نمونه‌های گیاهی پس از برداشت نمونه‌های ریشه، شاخه، و میوه با آب دیونیزه شستشو شدند و برای ۲ min بین دو کاغذ خشک کن قرار گرفتند. سپس نمونه‌ها توزین شدند تا وزن تر آنها به‌دست آید. شاخص تولید زیتوده گیاهی از معادله ۱ محاسبه گردید.

$$\text{Biomass production } (B_p) = (FW_2 - FW_1)/\Delta t \quad (۱)$$

در این معادله؛ FW_1 و FW_2 وزن تر خالص گیاه (g) زمان‌های ۱ و ۲ (day) است و Δt اختلاف بین زمان‌های ۱ و ۲ (زمان ۱: وزن نشاء زمان قبل از کاشت در گلدان؛ زمان ۲: وزن گیاه فلفل در زمان برداشت از گلدان در انتهای دوره آزمایش) است. برای تعیین وزن خشک نمونه‌های گیاهی در آون در دمای ۶۵ °C به مدت ۲۴ h حرارت داده شدند تا کاملا خشک و سپس با ترازو توزین شدند. جهت اندازه‌گیری سرب و کادمیوم نمونه‌های گیاه با آب دیونیزه شستشو، در آون در دمای ۶۵ °C خشک و به‌طور کامل خرد شدند. مقدار ۰/۵ g از هر نمونه را در بوته چینی با ۱۵ mL، HNO_3 - $HClO_4$ (۱:۳ حجمی) مخلوط و در دمای اتاق گذاشته شدند. سپس دما به ۱۴۰ °C تا ۱۸۰ °C رسانده شد تا هضم کامل گردد. محلول هضم شده، جهت بررسی میزان کادمیوم و سرب توسط گیاه، به‌وسیله دستگاه ICP-OES اندازه‌گیری شد (۱۸).

_ آنالیزهای آماری

برای تجزیه و تحلیل آماری، از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف جهت بررسی نرمال بودن داده‌ها و آزمون لون برای بررسی همگن بودن داده‌ها استفاده شد. با استفاده از آزمون تجزیه واریانس یک طرفه (ANOVA)، مقایسه میانگین‌ها انجام شد و در صورت معنی‌دار بودن اختلافات، از آزمون دانکن (Duncan) استفاده گردید. همچنین از آزمون تی مستقل (Independent t-test) به منظور بررسی اختلاف غلظت فلزات سنگین خاک و آب استفاده شد. کلیه آنالیزهای آماری در سطح اطمینان ۹۵ درصد و با استفاده از نرم‌افزار SPSS24 صورت گرفت.

یافته‌ها

قبل از پر کردن گلدان‌ها از خاک مورد استفاده نمونه‌برداری شد. نتایج نشان داد که بافت خاک مورد استفاده، لوم شنی، اسیدیته خنثی (pH=۷/۷)، و دارای هدایت الکتریکی ۴/۲ $dS.m^{-1}$ است. غلظت کادمیوم ۰/۰۲ $mg.kg^{-1}$ و غلظت سرب ۰/۰۳ $mg.kg^{-1}$ است (جدول ۱).

جدول ۱- ویژگی‌های خاک مورد استفاده

نمونه	pH	EC	بافت خاک	غلظت کادمیوم ($mg.kg^{-1}$)	غلظت سرب ($mg.kg^{-1}$)
خاک مورد استفاده	۷/۷	٤/۲	لوم شنی	۰/۰۲	۰/۰۳

قبل از اعمال تیمارهای آبیاری از آب نمونه‌برداری شد. ویژگی‌های آب آبیاری مورد استفاده نشان داده که میزان اسیدیته آب خنثی و دارای شوری کمی است. همچنین دارای ۰/۰۱ $mg.L^{-1}$ کادمیوم و ۰/۰۸ $mg.L^{-1}$، سرب بود. میانگین برخی از پارامترهای پساب تصفیه شده نشان می‌دهد که شوری پساب پایین بوده و دارای ۰/۰۶ $mg.L^{-1}$ کادمیوم و ۰/۲ $mg.L^{-1}$ سرب است، مقادیر pH و EC پساب بیشتر از آب چاه است. غلظت کادمیوم در پساب از حد مجاز ایران و فائو بیشتر است (جدول ۲).

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-17]

جدول ۲- ویژگی‌های آب آبیاری مورد استفاده

پارامتر	واحد	آب چاه	پساب تصفیه شده	استاندارد ایران	استاندارد فائو
pH	–	۷/۷	۷/۹	–	–
EC	$dS.m^{-1}$	۲/۱	۳/۲	–	–
غلظت کادمیوم	$mg.L^{-1}$	۰/۰۱	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۱
غلظت سرب	$mg.L^{-1}$	۰/۰۸	۰/۲	۱	۵

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

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر آبیاری بر ویژگی‌های خاک

منابع تغییر	درجه آزادی	pH	EC	غلظت کادمیوم ($mg.kg^{-1}$)	غلظت سرب ($mg.kg^{-1}$)
تیمار	۲	۷/۱ ns	٤/۳*	٤/۱۵ ns	۰/۹٦ ns
خطا	٤				
کل	۸				

ns و *: به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.

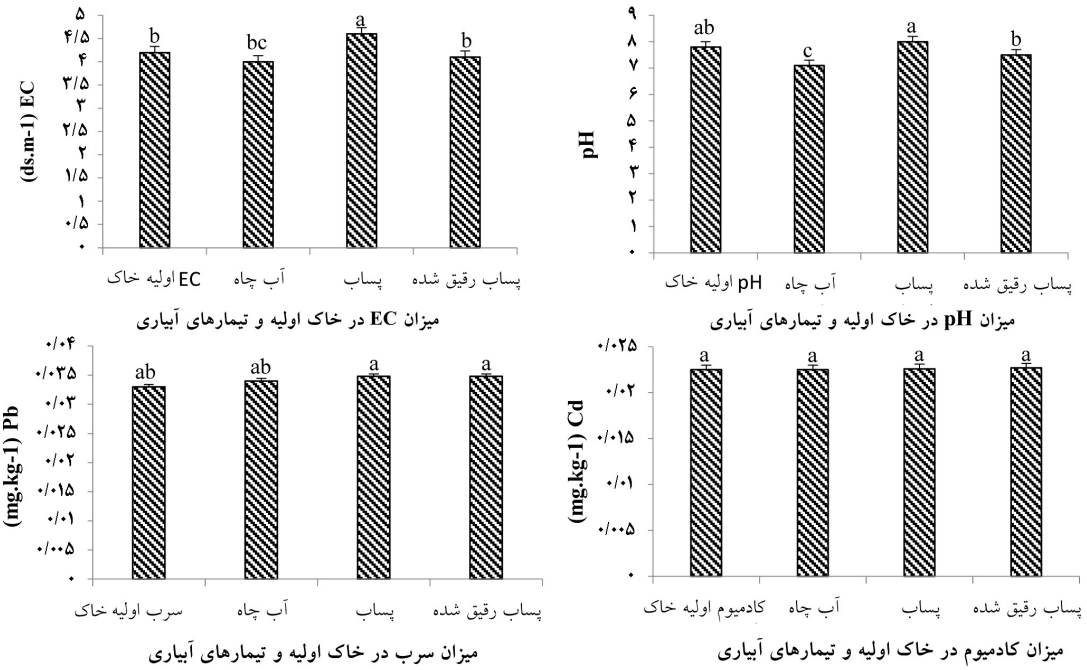
در بین تیمارهای آبیاری اعمال شده، از لحاظ اسیدیته خاک تفاوت معنی‌دار مشاهده شد ($p<۰/۰۵$). نتایج تاثیر آبیاری بر اسیدیته خاک نشان داد که تیمارهای آبیاری پساب تصفیه شده و پساب رقیق شده تفاوت معنی‌داری در اسیدیته خاک نسبت به اسیدیته اولیه خاک گلدان قبل از اعمال تیمارهای آبیاری، ندارند. اما تفاوت در تیمار آبیاری با آب چاه نسبت به اسیدیته اولیه خاک گلدان قبل از اعمال تیمارهای آبیاری معنی‌دار است. در تیمار آبیاری با آب چاه کمترین میزان اسیدیته خاک مشاهده شد (نمودار ۱).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر منابع مختلف آبیاری بر هدایت الکتریکی خاک مورد استفاده در گلدان‌های مورد استفاده نشان داد که در سطح ۵ درصد تیمار آبیاری با پساب تصفیه شده به‌طور معنی‌داری نسبت به دیگر تیمارهای آبیاری و هدایت الکتریکی اولیه خاک قبل از اعمال تیمارها افزایش داشت. در تیمار آبیاری با آب چاه و پساب رقیق شده تفاوت معنی‌داری در هدایت الکتریکی خاک نسبت به هدایت الکتریکی اولیه خاک گلدان قبل از اعمال تیمارهای آبیاری، دیده نشد (نمودار ۱).

نتایج نشان داد که در تمام تیمارهای آبیاری و مقادیر مختلف پساب تاثیر معنی‌داری بر غلظت کادمیوم در خاک نداشت ($p<۰/۰۵$). بیشترین و کمترین میزان کادمیوم در خاک به‌ترتیب مربوط به تیمارهای پساب تصفیه شده و آبیاری با آب چاه است. نتایج تاثیر آبیاری بر تجمع سرب در خاک نشان داد که مقادیر سرب خاک در تمام تیمارها در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-17]

ندارد. بیشترین و کمترین میزان سرب در خاک به ترتیب مربوط به تیمارهای پساب تصفیه شده و آبیاری با آب چاه بود (نمودار ۱). با توجه به شدت کم آلودگی پساب مورد مطالعه با فلزات سنگین سرب و کادمیوم و دوره کوتاه آبیاری با پساب در یک فصل کاشت آلودگی ناچیز خاک در معرض پساب دور از انتظار نبود. استفاده از منابع مختلف آبیاری و مقادیر مختلف پساب تاثیر معنی‌داری بر غلظت کادمیوم سرب در خاک نداشته است (نمودار ۱).



نمودار ۱- مقایسه میانگین اثرات آبیاری بر اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (EC)، تجمع کادمیوم و سرب در خاک (ستون‌های دارای حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار است (p<۰/۰۵))

نتایج تجزیه واریانس نشان داد (جدول ۴) که غلظت سرب و کادمیوم تحت تاثیر آبیاری بر وزن تر و خشک گیاه فاقد تفاوت معنی‌دار است (p<۰/۰۵).

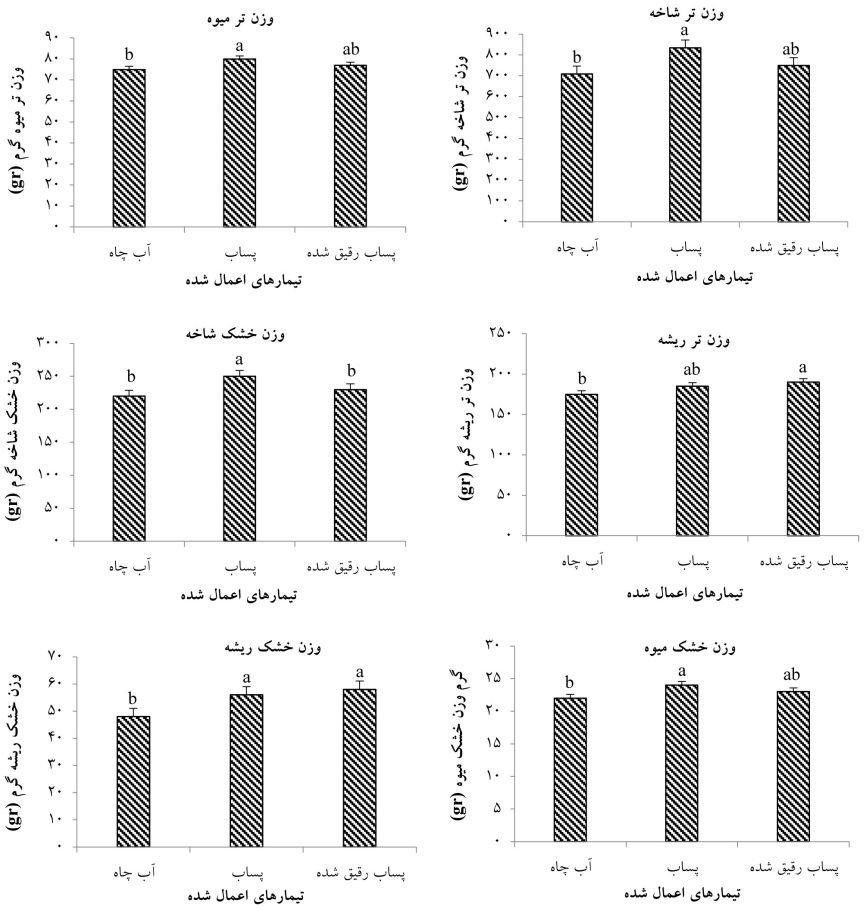
جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثر آبیاری بر غلظت سرب و کادمیوم در وزن تر و خشک گیاه

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن تر	وزن خشک	غلظت کادمیوم ($mg.L^{-1}$)	غلظت سرب ($mg.L^{-1}$)
تیمار	۲	۱۰۰۱/۲*	۲۵۷/۳*	۱/۰۲ ns	۰/۷ ns
خطا	٤	۹۵٦/۲*	۲۵۱/۲*	۲/۲۰ ns	۱/۲۵ ns
کل	۸				

ns و*: به‌ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-17]

نتایج بررسی تاثیر آبیاری بر وزن تر گیاه نشان داد که بالاترین وزن تر شاخه مربوط به تیمار آبیاری با پساب تصفیه شده است. کمترین میزان وزن تر شاخه مربوط به تیمار آبیاری با آب چاه است. از نظر آماری در بین تیمارهای آبیاری با پساب تصفیه شده و پساب رقیق شده در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در بین این دو تیمار و تیمار آبیاری با آب چاه تفاوت معنی‌دار در وزن تر شاخه مشاهده شد (نمودار ۲). بالاترین وزن تر میوه مربوط به تیمار آبیاری با پساب بود، در مقابل کمترین میزان وزن تر میوه نیز در آبیاری با آب چاه مشاهده شد. از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در بین تیمارهای آبیاری با پساب رقیق شده و تیمار آبیاری با آب چاه مشاهده نشد. در بین تیمارهای آبیاری با تیمار رقیق شده و آبیاری با تیمار پساب تصفیه شده تفاوت معنی‌داری در وزن تر میوه‌های فلفل دلمه‌ای مشاهده نشد (نمودار ۲). مقایسه میانگین تاثیر آبیاری بر وزن تر ریشه نشان داد که تفاوت معنی‌داری در میان تیمارهای آبیاری با پساب تصفیه شده و پساب رقیق شده مشاهده نشد. در میان تیمارهای آبیاری با پساب تصفیه شده و تیمار آبیاری با آب چاه نیز تفاوت معنی‌داری در وزن تر ریشه گیاه فلفل دلمه‌ای مشاهده نشد. کمترین میزان وزن تر ریشه مربوط به تیمار آبیاری با آب چاه بود، در مقابل بالاترین وزن تر ریشه مربوط به تیمار آبیاری با پساب رقیق شده بود (نمودار ۲).



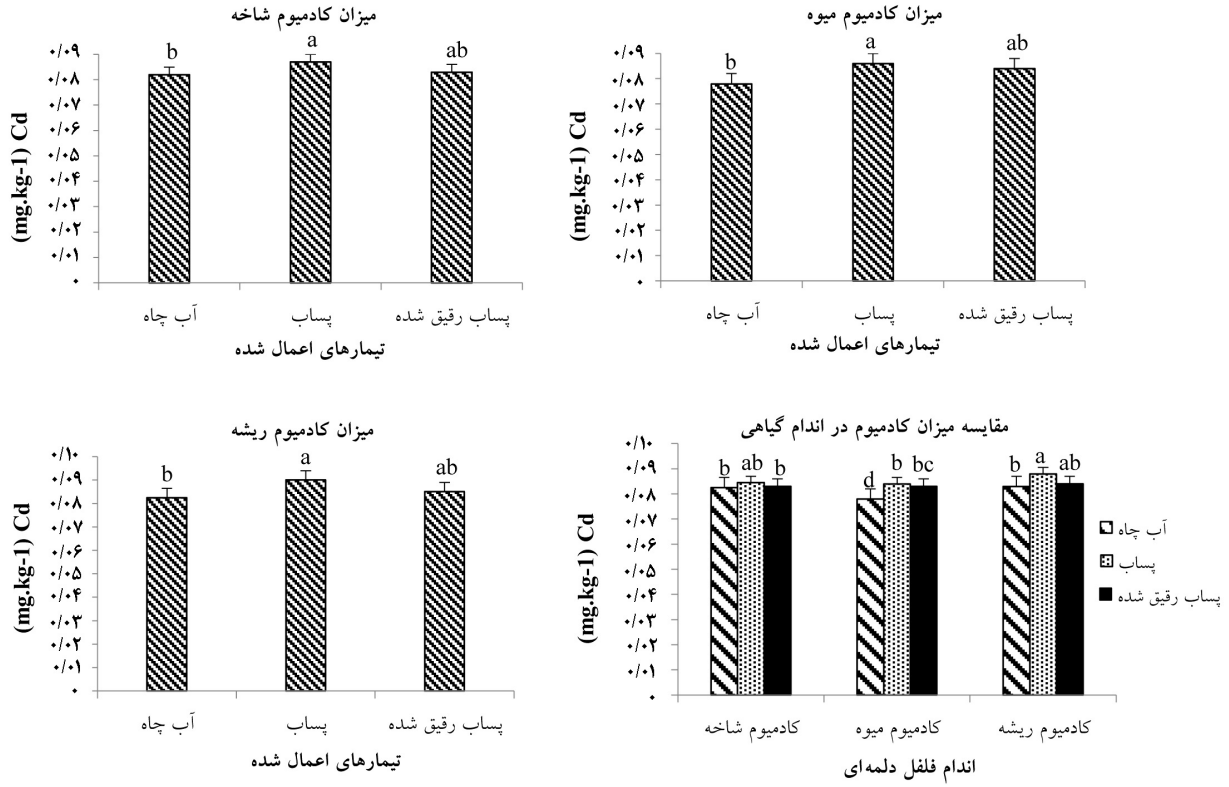
نمودار ۲- مقایسه میانگین اثرات آبیاری بر وزن تر شاخه، وزن تر میوه، وزن تر ریشه، وزن خشک شاخه، وزن خشک میوه و وزن خشک ریشه (ستون‌های دارای حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار است (p<۰/۰۵))

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-17]

نتایج تاثیر آبیاری بر وزن خشک گیاه نشان داد که بالاترین وزن خشک شاخه مربوط به تیمار آبیاری با پساب تصفیه شده است. در مقابل کمترین میزان وزن خشک شاخه مربوط به تیمار آبیاری با آب چاه بود. از نظر آماری در بین تیمارهای آبیاری با پساب تصفیه شده و پساب رقیق شده در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری مشاهده شد، در مقابل در بین تیمار پساب رقیق شده و تیمار آبیاری با آب چاه تفاوت معنی‌دار در وزن خشک شاخه مشاهده نشد. بالاترین وزن خشک میوه مربوط به تیمار آبیاری با پساب بود، در مقابل کمترین میزان وزن خشک میوه نیز در آبیاری با آب چاه مشاهده شد (نمودار ۲). از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در بین تیمارهای آبیاری با پساب رقیق شده و تیمار آبیاری با آب چاه مشاهده نشد. در بین تیمارهای آبیاری با تیمار رقیق شده و آبیاری با تیمار پساب تصفیه شده تفاوت معنی‌داری در وزن خشک میوه‌های فلفل دلمه‌ای مشاهده نشد (نمودار ۲). تفاوت معنی‌داری در میان تیمارهای آبیاری با پساب تصفیه شده و پساب رقیق شده در وزن خشک ریشه مشاهده نشد. در میان تیمارهای آبیاری با پساب تصفیه شده و تیمار آبیاری با آب چاه تفاوت معنی‌داری در وزن خشک ریشه گیاه فلفل دلمه‌ای مشاهده شد. در بین تیمارهای آبیاری با تیمار رقیق شده و آبیاری با تیمار پساب تصفیه شده تفاوت معنی‌داری در وزن خشک ریشه فلفل دلمه‌ای مشاهده نشد. کمترین میزان وزن خشک ریشه مربوط به تیمار آبیاری با آب چاه بود (نمودار ۲). جهت بررسی تاثیر آبیاری بر تجمع فلزات سنگین سرب و کادمیوم در گیاه فلفل دلمه‌ای، پس از برداشت گیاه از گلدان و انتقال گیاه به آزمایشگاه اندام‌های ریشه، شاخه و میوه‌های فلفل تفکیک شد. میزان سرب و کادمیوم در ریشه، شاخه و میوه‌های فلفل دلمه‌ای به صورت جداگانه اندازه‌گیری شد.

کمترین میزان تجمع کادمیوم مربوط به میوه‌های فلفل دلمه‌ای و بالاترین میزان تجمع کادمیوم مربوط به ریشه‌های فلفل دلمه‌ای است. میزان کادمیوم در تیمار آبیاری با پساب تصفیه شده به‌طور معنی‌داری نسبت به دیگر تیمارها تفاوت نشان داد. در مقابل کمترین میزان تجمع کادمیوم مربوط به میوه فلفل دلمه‌ای در شرایط آبیاری با آب چاه بود. در میان میوه و شاخه از نظر تجمع کادمیوم تحت تاثیر منابع مختلف آبیاری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. مقایسه نتایج حاصل از اندازه‌گیری میانگین غلظت مقادیر کادمیوم در شاخه فلفل دلمه‌ای نشان داد که تفاوت معنی‌داری در میان تیمارهای آبیاری اعمال شده مشاهده نشد. بیشترین غلظت کادمیوم در شاخه فلفل دلمه‌ای مربوط به تیمار آبیاری با پساب تصفیه شده بود، و کمترین میزان غلظت کادمیوم در شاخه فلفل دلمه‌ای مربوط به تیمار آبیاری با آب چاه است. در میان تیمارهای آبیاری با پساب تصفیه شده و تیمار آبیاری با آب چاه تفاوت معنی‌داری در میزان کادمیوم در میوه فلفل دلمه‌ای مشاهده شد. در بین تیمارهای آبیاری با تیمار رقیق شده و آبیاری با تیمار پساب تصفیه شده تفاوت معنی‌داری در میزان کادمیوم در میوه فلفل دلمه‌ای مشاهده نشد. کمترین میزان کادمیوم در میوه فلفل مربوط به تیمار آبیاری با آب چاه بود. بالاترین میزان کادمیوم در ریشه فلفل دلمه‌ای مربوط به تیمار آبیاری با پساب بود، و کمترین میزان کادمیوم در ریشه فلفل دلمه‌ای نیز در آبیاری با آب چاه مشاهده شد. از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در بین تیمارهای آبیاری با پساب رقیق شده و تیمار آبیاری با آب چاه مشاهده نشد. در بین تیمارهای آبیاری با تیمار رقیق شده و آبیاری با تیمار پساب تصفیه شده تفاوت معنی‌داری در میزان کادمیوم در ریشه فلفل دلمه‌ای مشاهده نشد (نمودار ۳).

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-17]

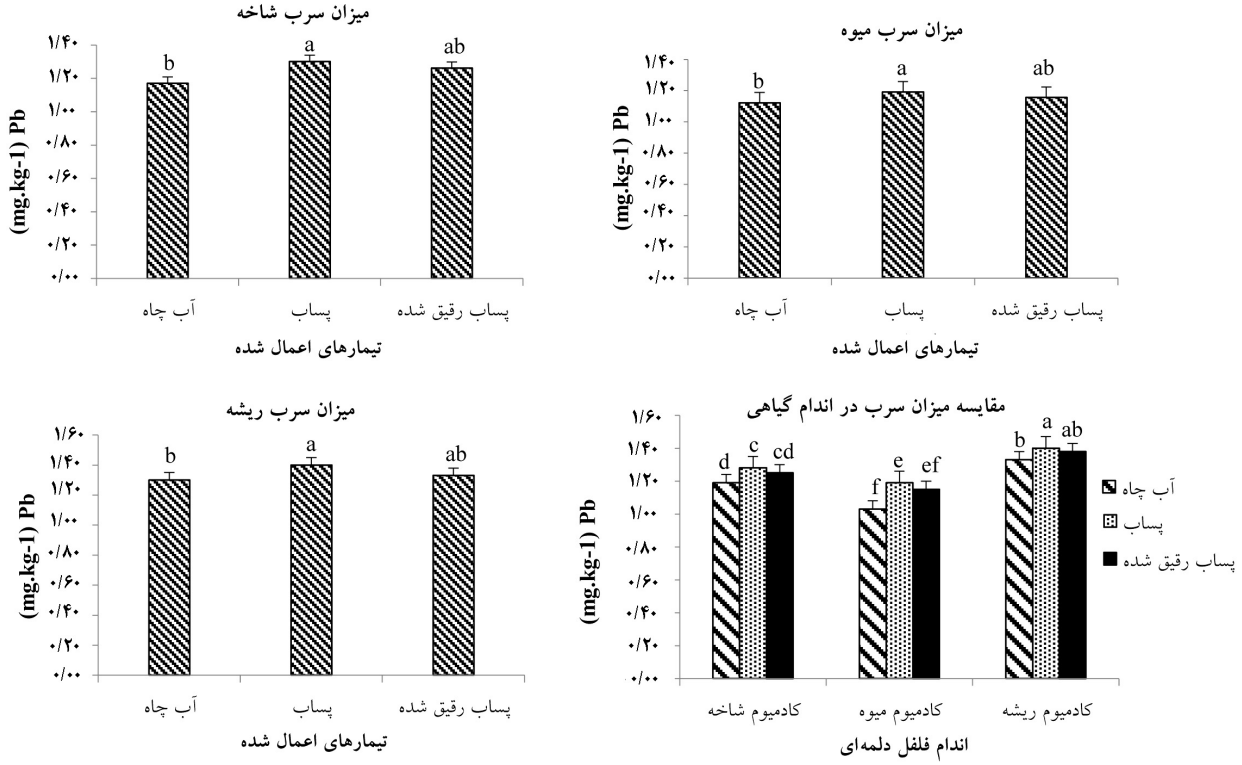


نمودار ۳- مقایسه میانگین اثرات آبیاری بر تجمع کادمیوم در شاخه، میوه و ریشه فلفل دلمه‌ای (ستون‌های دارای حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار است ($p<۰/۰۵$))

نتایج نشان داد که اندام‌های فلفل دلمه‌ای تحت شرایط آبیاری با تیمارهای مختلف آبیاری، از نظر تجمع سرب تفاوت معنی‌داری را نشان دادند. کمترین میزان تجمع سرب در میوه و بالاترین میزان تجمع سرب نیز در ریشه مشاهده شد. منابع مختلف آبیاری نیز بر میزان تجمع سرب در اندام‌های فلفل دلمه اثر معنی‌دار داشت. بالاترین میزان تجمع سرب مربوط به ریشه تحت تاثیر آبیاری با پساب تصفیه شده بود. کمترین میزان تجمع سرب نیز مربوط به میوه فلفل دلمه‌ای تحت تاثیر آبیاری با آب چاه بود. شاخه‌های فلفل دلمه‌ای نیز نسبت به میوه‌های فلفل دلمه‌ای تحت شرایط آبیاری با پساب رقیق شده و پساب تصفیه شده تفاوت معنی‌داری نشان دادند. مقایسه نتایج حاصل از اندازه‌گیری میانگین غلظت مقادیر سرب در شاخه فلفل دلمه‌ای نشان داد که تفاوت معنی‌داری در میان تیمارهای آبیاری با پساب رقیق شده و پساب تصفیه شده مشاهده نشد. بیشترین غلظت سرب در شاخه فلفل دلمه‌ای مربوط به تیمار آبیاری با پساب تصفیه شده بود، و در مقابل کمترین میزان غلظت سرب در شاخه فلفل دلمه‌ای مربوط به تیمار آبیاری با آب چاه بود. تفاوت معنی‌داری در میان تیمارهای آبیاری با پساب رقیق شده و آبیاری با آب چاه مشاهده نشد. در میان تیمارهای آبیاری با پساب تصفیه شده و تیمار آبیاری با آب چاه در میزان سرب در میوه فلفل دلمه‌ای تفاوت معنی‌دار بود. در بین تیمارهای آبیاری با تیمار پساب رقیق شده و آبیاری با تیمار پساب تصفیه شده تفاوت معنی‌داری در میزان تجمع سرب در میوه مشاهده نشد. کمترین میزان سرب در میوه مربوط به تیمار آبیاری با آب چاه بود. بالاترین میزان سرب

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-17]

در ریشه فلفل دلمه‌ای مربوط به تیمار آبیاری با پساب بود، و کمترین میزان سرب در ریشه فلفل دلمه‌ای نیز در آبیاری با آب چاه مشاهده شد. از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در بین تیمارهای آبیاری با پساب رقیق شده و تیمار آبیاری با آب چاه مشاهده نشد. در بین تیمارهای آبیاری با تیمار رقیق شده و آبیاری با تیمار پساب تصفیه شده تفاوت معنی‌داری در میزان سرب در ریشه فلفل دلمه‌ای مشاهده نشد (نمودار ۴).



نمودار ۴- مقایسه میانگین اثرات آبیاری بر تجمع سرب در شاخه، میوه و ریشه فلفل دلمه‌ای (ستون‌های دارای حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار است (p<۰/۰۵))

بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که محدودیتی برای استفاده از پساب تصفیه شده و ترکیب پساب تصفیه شده و آب چاه جهت آبیاری با توجه به پارامترهای مورد بررسی وجود ندارد که با نتایج دیگر پژوهشگران در مورد تایید استفاده از پساب تصفیه شده در آبیاری محصولات ذرت، جو، بامیه و جعفری در اراضی کشاورزی کرمانشاه (۱۹)، گیاهان صنعتی و علوفه ای در اراضی کشاورزی شهرکرد (۲۰) و جو در اراضی کشاورزی شهر یزد (۲۱) همخوانی دارد. اما آبیاری با پساب و ترکیب آب چاه و پساب تصفیه نشده در این منطقه می‌تواند در درازمدت باعث بروز مشکلاتی در خاک و محصولات کشاورزی شود که با مطالعه تاثیر آبیاری با پساب آلوده در فرامان کرمانشاه بر تجمع برخی فلزات سنگین در خاک و محصولات زراعی گندم و جعفری همسو است (۲۲).

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-17]

در این مطالعه به دلیل پایین بودن غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم در پساب میزان pH خاک نیز تغییر چندانی نداشت، از طرفی بیشتر فلزات سنگین جذب ریشه‌ها شد. آبیاری کوتاه مدت با پساب و نزدیک بودن مقادیر pH پساب و خاک و همچنین ظرفیت بافری خاک‌ها در اثر وجود کربنات کلسیم، باعث مقاومت خاک در مقابل کاهش pH در اثر آبیاری با پساب می‌شود (۲۳). تاثیر آبیاری با پساب بر pH خاک بسته به ویژگی‌های پساب مصرفی و نوع خاک دارد. Adrover و همکاران (۲۴) نشان دادند که آبیاری با پساب سبب کاهش ۰/۶ واحدی pH خاک شد.

در تیمار آبیاری با آب چاه و پساب رقیق شده تفاوت معنی‌داری در هدایت الکتریکی خاک نسبت به هدایت الکتریکی اولیه خاک گلدان قبل از اعمال تیمارهای آبیاری، دیده نشد. براساس این یافته‌ها می‌توان نتیجه گرفت کیفیت پساب تصفیه شده جهت آبیاری برای گلدان‌های فلفل دلمه‌ای از نظر شوری دارای محدودیت بوده و باعث افزایش غلظت املاح خاک‌ها شده است. Sou Dakouré و همکاران (۲۵) نیز گزارش کردند شوری خاک به واسطه آبیاری با پساب افزایش یافت. آبیاری با پساب شهری در مدت طولانی ممکن است سبب افزایش شوری خاک و تجمع سدیم گردد. هنگامی که میزان کل املاح موجود در پساب خیلی زیاد باشد تجمع نمک در ناحیه ریشه و پدیده شور شدن خاک اتفاق می‌افتد. Ndiaye و همکاران (۲۶) کاربرد آبیاری با پساب و آب چاه بر خاک با بافت شنی لومی را مطالعه کردند، در هر دو تیمار EC خاک افزایش یافت، ولی مشاهده شد که این افزایش باعث ایجاد شوری و قلیائیت خاک نشد. این درحالی است که Qian و همکار (۲۷) گزارش کردند که استفاده از پساب تصفیه شده شهری در دراز مدت می‌تواند سبب افزایش میزان شوری و تجمع سدیم در خاک شود.

بیشترین و کمترین میزان کادمیوم در خاک به ترتیب مربوط به تیمارهای پساب تصفیه شده و آبیاری با آب چاه بود. مقدار کادمیوم و سرب خاک آبیاری شده با پساب شهری نسبت به خاک آبیاری شده با آب چاه افزایش نشان داد. علت آن را می‌توان به غلظت کم سرب و کادمیوم در پساب مورد استفاده، همچنین دوره کوتاه استفاده از پساب (یک فصل رشد) در خاک دانست که با نتایج بررسی فاضلاب شهری شهرکرد بر رشد، عملکرد و تجمع سرب و کادمیم در گیاه دارویی بادرنجبویه (۱)، همخوانی دارد که نشان از عدم تاثیر پساب بر غلظت سرب و کادمیوم در خاک است. همچنین نتیجه مطالعه Joneidi Jafari و همکاران (۲۸) نشان داد که ممکن است خطر آلودگی با فلزات سنگین پس از ورود به خاک به دلیل تشکیل ترکیبات نامحلول نظیر کربنات و سولفات کاهش یابد. در این مطالعه هرچند غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم در پساب ناچیز است، مصرف مداوم آن در دراز مدت ممکن است سبب افزایش این فلزات سنگین در خاک شود.

یکی از اثرات مثبت آبیاری با پساب، تاثیر آن بر زیست توده میکروبی خاک و فعالیت‌های هم زیستی میکروب‌ها است که می‌تواند سبب تجزیه مواد آلی قابل تجزیه و آزاد شدن عناصر غذایی گردد، این افزایش در میزان مواد غذایی باعث افزایش عملکرد و رشد بهتر گیاه می‌شود. بنابراین، پساب فاضلاب شهری مواد غذایی مورد نیاز گیاهان را جهت افزایش عملکرد تامین می‌کند (۲۹، ۳۰). لذا، گیاهان تحت تاثیر آبیاری با پساب در مقایسه با گیاهان آبیاری شده با آب چاه می‌توانند رشد بیشتری داشته است. کمترین میزان تجمع کادمیوم در میوه و بالاترین میزان تجمع کادمیوم در ریشه مشاهده شد. میزان کادمیوم در تیمار آبیاری با پساب تصفیه شده به‌طور معنی‌داری نسبت به دیگر تیمارها تفاوت نشان داد. در مقابل کمترین میزان تجمع کادمیوم مربوط به میوه فلفل دلمه‌ای در شرایط آبیاری با آب چاه بود. در میان میوه و شاخه از نظر تجمع کادمیوم تحت تاثیر منابع مختلف آبیاری تفاوت

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-17]

معنی‌داری مشاهده نشد. کادمیم از فلزات سنگینی است که حتی مقدار کم آن بروز باعث مشکلاتی در سلامتی می‌شود. 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 (۳۱). علاوه بر آن، عامل دیگری که احتمالا در این خصوص مؤثر بوده این است که بخشی از کادمیم ممکن است با مواد آلی محلول در خاک پیوند تشکیل داده، ولی پایداری پیوند کم و کادمیم نتوانسته است به گیاه انتقال یابد. Moradinasab و همکاران (۲۳) دریافتند که تفاوت بین تیمارهای دریافت کننده پساب با تیمارهای دریافت کننده آب چاه معنی‌دار نیست، که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد. کمترین میزان تجمع سرب در میوه‌های فلفل دلمه‌ای مشاهده شد و بالاترین میزان تجمع سرب نیز در ریشه‌های فلفل دلمه‌ای مشاهده شد. منابع مختلف آبیاری نیز بر میزان تجمع سرب در اندام‌های فلفل دلمه اثر معنی‌دار داشت. بالاترین میزان تجمع سرب مربوط به ریشه تحت تاثیر آبیاری با پساب تصفیه شده بود. کمترین میزان تجمع سرب نیز مربوط به میوه فلفل دلمه‌ای تحت تاثیر آبیاری با آب چاه بود. شاخه‌های فلفل دلمه‌ای نیز نسبت به میوه‌های فلفل دلمه‌ای تحت شرایط آبیاری با پساب رقیق شده و پساب تصفیه شده تفاوت معنی‌داری نشان دادند. براساس نتایج به‌دست آمده در تمام نمونه‌ها، میزان جذب سرب کمتر از حد مجاز (۲ mg/kg) به‌دست آمده است. درحقیقت، غلظت سرب موجود در میوه فلفل دلمه‌ای تحت تاثیر آبیاری با پساب قرار نگرفته است. احتمالا، به دلیل غلظت کم سرب در پساب یا تجمع ناچیز سرب در خاک آبیاری شده با پساب این نتیجه حاصل شده است. براساس نتیجه مطالعه Wang و همکاران (۳۱) سرب به راحتی به وسیله ریشه‌های گیاه جذب می‌شود، ولی انتقال آن به اندام هوایی محدود است. سرب جذب شده در گیاه به بخش‌های بیرونی ریشه، آپوپلاست و دیواره سلولی متصل می‌شود و کمتر در اختیار اندام هوایی قرار می‌گیرد. در این تحقیق، احتمالا به دلیل مذکور غلظت سرب در ریشه بالاتر از دیگر اندام‌ها است.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق به یک فصل رشد محدود است و با ادامه کاربرد پساب شهری بوشهر ممکن است غلظت سرب و کادمیوم در خاک و سپس در گیاه افزایش یافته از حد استاندارد تجاوز کند. به ویژه در مورد سرب که به نظر می‌رسد تمایل کمی به افزایش نسبت به خاک اولیه و اندام فلفل دلمه‌ای نشان داده است. از این‌رو، ادامه این تحقیق برای ارزیابی اثرات درازمدت پساب تصفیه شده شهری بوشهر بر غلظت عناصر سنگین در خاک و گیاه و بر خواص خاک توصیه می‌شود، هر چند که بایستی اذعان داشت که براساس توصیه‌های فنی کاربرد پساب تصفیه شده قابل توصیه نیست ولی در موارد ضروری با احتیاط می‌تواند استفاده شود، همچنین تحقیق اثرات این پساب روی سبزی‌ها و گیاهان خوراکی دیگر نیز مطلوب خواهد بود.

ملاحظات اخلاقی

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

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل (بخشی از) پایان‌نامه با عنوان "مطالعه اثر آبیاری با پساب تصفیه شده شهری بر غلظت سرب و کادمیوم در خاک و فلفل دلمه‌ای گلخانه‌ای" در مقطع (کارشناسی ارشد) است که با حمایت دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر اجرا شده است.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-17]

References

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

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

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

4. Sayadmanesh SM, Bahmanyar M, Ghajarsepanlu M. The effect of application of industrial effluent in irrigation of rice on accumulation of heavy metals in soil and the crop. Journal of Water and Wastewater. 2014;25(3):13-20 (in Persian).

5. Mizyed NR. Challenges to treated wastewater reuse in arid and semi-arid areas. Environmental Science & Policy. 2013;25:186-95.

6. Malik RN, Husain SZ, Nazir I. Heavy metal contamination and accumulation in soil and wild plant species from industrial area of Islamabad, Pakistan. Pakistan Journal of Botani. 2010;42(1):291-301.

7. Sobhanardakani S, Jafari SM. Analysis of Pb, Cd, Cr and Ni concentrations in types of cabbage marketed in Hamedan city. Journal of Food Hygiene. 2015;4(16):45-89 (in Persian).

8. Farmanifard M, Ghamarnia H, Pirsaheb M, Fatahi N. Investigation of heavy metal accumulation on different crop under irrigation with Kermanshah treated municipal wastewater. Journal of Water and Irrigation Management. 2017;6(2):347-65 (in Persian).

9. Al-Lahham O, El Assi NM, Fayyad M. Translocation of heavy metals to tomato (Solanum lycopersicom L.) fruit irrigated with treated wastewater. Scientia Horticulturae. 2007;113(3):250-54.

10. Munir MR, Hinnawi S, Rousan L. Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. Desalination. 2007;215(1):143-52.

11. Heidarpour M, Mostafazadeh-Fard B, Abedi Koupai J, Malekian R. The effects of treated wastewater on soil chemical properties using subsurface and surface irrigation methods. Agricultural Water Management. 2007;90(1):87-94 (in Persian).

12. Klay S, Charef A, Ayed L, Houman B, Rezgui F. Effect of irrigation with treated wastewater on geochemical properties (saltiness, C, N and heavy metals) of isohumic soils (Zaouit Sousse perimeter, Oriental Tunisia). Desalination. 2010;253(1):180-87.

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

14. Khurana M, Aulakh M, editors. Influence of wastewater application and fertilizer use on the quality of irrigation water, soil and food crops: case studies from Northwestern India. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World; 1–6 August 2010; Brisbane, Australia.

15. Marofi S, Parsafar N, Rahim GH, Dashti F, Marofi H. The effects of wastewater reuse on potato growth properties under greenhouse lysimeteric condition. International Journal of Environmental Science and Technology. 2013;10(1):133-40.

16. Rezvani Ghalhari M, Asgari Tarazooj F, Miranzadeh MB, Mostafai Gh, Kalteh S. Assessing the concentration and potential health risk of selected heavy metals (lead, nickel, chromium, arsenic and cadmium) in widely consumed vegetables in Kashan, Iran. Iranian Journal of Health and Environment. 2020;13(3):495-508. (in Persian).

17. Casado-Vela J, Sellés S, Díaz-Crespo C, Navarro-Pedreño J, Mataix-Beneyto J, Gómez I. Effect of composted sewage sludge application to soil on sweet pepper crop (Capsicum annuum var. annuum) grown under two exploitation regimes. Waste Management. 2007;27(11):1509-18.

18. Pan X-D, Tang J, Chen Q, Wu P-G, Han J-L.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-17]

Evaluation of direct sampling method for trace elements analysis in Chinese rice wine by ICP–OES. European Food Research and Technology. 2013;236(3):531-35.

19. Farmanifard M, Ghamarnia H, Pirsaheb M, Fatahi N. Investigation of heavy metal accumulation on different crop under irrigation with Kermanshah treated municipal wastewater. Journal of Water and Irrigation Management. 2016;6(2):347-65 (in Persian).

20. Al-Baji M, Asgari A. Investigation of the possibility of using of wastewater for agriculture (Case study: Shahrekord's municipal sewage treatment plant). Journal of Water and Soil Conservation. 2017;24(2): 303-308 (in Persian).

21. Yazdani AA, Saffari M, Ranjbar GH. Effects of irrigation with treated wastewater on yield and grain heavy metals content of barley (Hordeum vulgare L.) genotypes. Iranian Society of Crops and Plant Breeding Sciences. 2018;19(4): 284-96 (in Persian).

22. Mirzaei-Takhtgahi H, Ghamarnia H. Assessment of irrigation effects with pollutted water on heavy metals accumulation in wheat and parsley. Journal of Water and Irrigation Management. 2016;6(2):315-30 (in Persian).

23. Moradinasab V, Shirvani M, Shamsaee M, Babaee MR. Assessing Some Chemical and Biological Quality Attributes of Soils Irrigated with Groundwater and Treated Industrial Wastewater in Greenspace of Mobarake Steel Complex. Journal of Water and Soil Science. 2016;19(74):101-11 (in Persian).

24. Adrover M, Farrús E, Moyà G, Vadell J. Chemical properties and biological activity in soils of Mallorca following twenty years of treated wastewater irrigation. Journal of Environmental Management. 2012;95:S188-S92.

25. Sou Dakouré MY, Mermoud A, Yacouba H, Boivin P. Impacts of irrigation with industrial treated wastewater on soil properties. Geoderma. 2013;200-201:31-39.

26. Ndiaye E, Sandeno J, McGrath D, Dick R. Integrative biological indicators for detecting change in soil quality. American Journal of Alternative Agriculture. 2000;15(1):26-36.

27. Qian Y, Mecham B. Long-term effects of recycled wastewater irrigation on soil chemical properties on golf course fairways. Agronomy Journal. 2005;97(3):717-21.

28. Joneidi Jafari A, Rastegar A, Farzadkia M, Rezaee Kalantary R, Rezaee Gozalabad Z. Survey of the effects of soil type on the leaching and adsorption of heavy metals (chromium, lead and cadmium) after compost application on the soils. Iranian Journal of Health and Environment. 2014;6(4):523-34 (in Persian).

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

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

31. Wang Q, Yang Z. Industrial water pollution, water environment treatment, and health risks in China. Environmental Pollution. 2016;218:358-65.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-17]

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir

Orginal Article

Effect of irrigation with treated wastewater on lead and cadmium accumulations in soil and sweet pepper plant

Maliha Afkhami[1], Fazel Amiri[2,*], Tayebeh Tabatabaie[1]

1- Department of Environment, Faculty of Engineering, Branch Bushehr, Islamic Azad University, Bushehr, Iran
2- Department of Natural Resources and Environment, Faculty of Engineering, Branch Bushehr, Islamic Azad University, Bushehr, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 8 March 2021
Revised: 26 May 2021
Accepted: 31 May 2021
Published: 21 June 2021

Keywords: Irrigation, Accumulations heavy metals, Urban wastewater, Sweet pepper

***Corresponding Author:**
famiri@iaubushehr.ac.ir

ABSTRACT

Background and Objective: Limited water resources in arid and semi-arid regions are one of the major limiting factors in agricultural production. Thus, unconventional water resources, such as urban treated wastewater, may be used for irrigation. Application of wastewater to the soil may cause accumulation of heavy metals (HMs). Soil pollution causes uptake of these metals by plants and their entrance to the food chain. In the present greenhouse research, concentration variations of HMs (lead (Pb) and cadmium (Cd)) in soil and sweet pepper (Capsicum annuum) plant were investigated.

Materials and Methods: The experiment was conducted as a completely randomized design with three replications and irrigation with different wastewater treated (well water, wastewater treatment and diluted wastewater). To evaluate the effects of different irrigation treatments on soil, parameters of acidity (pH), electrical conductivity (EC), the concentration of heavy metals Pb and Cd in soil were studied. Additionally, for the effects of irrigation treatments on sweet pepper plant, parameters of biomass weight, fresh and dry weight and Pb and Cd concentrations (in branches, fruits and roots) were measured. The amount of Pb and Cd in the pepper were measured by ICP-OES. The obtained average concentrations were compared using one-way analysis of variance (ANOVA), and the Duncan test was used to determine the differences between groups ($p < 0.05$). The independent t-test was also used to investigate the difference in concentrations of Pb and Cd in soil and water ($p < 0.05$).

Results: The results of chemical analysis of soil and pepper showed that irrigation with wastewater did not cause a significant increase in the concentration of Pb and Cd in the soil and in the branches, fruits and roots of the pepper. The concentration of Pb and Cd in the soil and in the branches, fruits and roots of the pepper was within the allowable and standard concentration range. The difference in lead and cadmium concentrations in the soil before planting was not significant; however, at the end of the study period, the Pb concentration in pepper was higher than the Cd concentration. The use of wastewater increased the fresh and dry weight of branches, fruits and roots of the pepper.

Conclusion: The results showed that Pb and Cd concentration in roots and aerial parts of pepper plant was not increased significantly as a result of wastewater irrigation ($p < 0.05$). The results of this study are limited to one growing season and by the continued use of municipal wastewater, the concentration of Pb and Cd in the soil and then in the plant may exceed the standard. Especially in the case of Pb, which seems to have shown a slight tendency to increase relative to the primary soil and the pepper. Therefore, the continuation of this study is recommended to evaluate the long-term effects of Bushehr municipal treated wastewater on the concentration of heavy elements in soil and plants, and soil properties. Overall, it should be acknowledged that based on technical recommendations, the use of treated wastewater are not recommended.

Please cite this article as: Afkhami M, Amiri F, Tabatabaie T. Effect of irrigation with treated wastewater on lead and cadmium accumulations in soil and sweet pepper plant. Iranian Journal of Health and Environment. 2021;14(1):99-114.

Copyright © 2021 Iranian Association of Environmental Health, and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-17]