مجله مهندسی بهداشت محیط، پاییز ۱۴۰۰، سال ۹، شماره ۱: ۵۹-۷۲

بررسی اثر کاربرد کودهای آلی و شیمیایی بر جذب عناصر پر مصرف و فلزات سنگین در سبزیجات (مورد مطالعه؛ گونه شاهی: *Lepidium sativum*)

مریم یونسیان[۱]، مهرداد چراغی*[۲]، سهیل سبحان اردکانی[۳]، بهاره لرستانی[۲]، هاجر مریخ‌پور[۴]

[۱]دانشجوی دکتری تخصصی محیط‌زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

[۲]دکترای تخصصی علوم محیط‌زیست، دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

[۳] دکترای تخصصی علوم محیط‌زیست، استاد گروه محیط‌زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

[۴] دکترای تخصصی علوم خاک، استادیار گروه فضای سبز، دانشکده کشاورزی و منابع‌طبیعی، دانشگاه سیدجمال‌الدین اسدآبادی، اسدآباد، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۴/۳۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۱۷

چکیده

زمینه و هدف : استفاده طولانی‌مدت از لجن فاضلاب و کود منجر به تجمع عناصر سنگین در خاک می شود که این موضوع ممکن است موجب جذب بیش‌تر از حد این عناصر توسط گیاه و به‌تبع آن ورود این عناصر سمی به زنجیر غذایی انسان و حیوان شود. لذا، این تحقیق با هدف بررسی جذب فلزات سنگین و عناصر پرمصرف در سبزی شاهی کشت شده در خاک‌های تحت تیمارهای مختلف کود و لجن انجام شد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش تو صیفی، در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در محیط و شرایط گلخانه انجام شد. تیمارهای مورد ارزیابی شامل تیمار با کود شیمیایی (دی آمونیوم فسفات)، کمپوست لجن هاضم بی‌هوازی، کمپوست لجن بدون عمل هضم و لجن خام در مقادیر وزنی ۲۸، ۵۷ و ۱۱۵ گرم و تیمار شاهد بود. غلظت عناصر سرب، کادمیوم، جیوه و آرسنیک و عناصر پر مصرف شامل فسفر، ازت و کربن در برگ سبزی شاهی به‌روش طیف‌سنجی نوری پلاسمای جفت‌شده القایی خوانده شد و داده‌ها با استفاده از نسخه ۲۱ نرم‌افزار آماری SPSS پردازش شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که بیشینه میانگین غلظت آرسنیک و ازت (میلی‌گرم در کیلوگرم) در سبزی شاهی به ترتیب با مقادیر ۰/۵۹۲ و ۱۰/۲ و بیشینه میانگین غلظت کادمیوم، جیوه، سرب و عناصر کربن و فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم) در سبزی شاهی به‌ترتیب با ۰/۹۵۶، ۰/۷۰۱، ۱/۲۵، ۹۸/۵ و ۱۰/۳ در هر دو مورد به تیمار ۱۱۵ گرم کود دی آمونیوم فسفات مربوط بود. نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان داد که بین تیمار کود، لجن و شاهد و بین مقادیر ۲۸، ۵۷ و ۱۱۵ گرم تیمار کود و لجن در سبزی شاهی از نظر غلظت فلزات سنگین و عناصر پر مصرف تفاوت معنی‌دار آماری وجود داشت ($p < ۰/۰۵۰$).

نتیجه‌گیری: از آن‌جا که افزایش مقدار مصرف کود و لجن به خاک منجر به افزایش غلظت فلزات سنگین و عناصر پرمصرف در سبزی شاهی شده است، لذا، می‌بایست در استفاده از کود و لجن در زمین‌های کشاورزی دقت نظر صورت گیرد. همچنین، مشخص شد که بیشینه جذب فلزات سنگین و عناصر پرمصرف در سبزی شاهی به‌ترتیب مربوط به تیمار لجن خام و کود دی آمونیوم فسفات بود که نشان‌دهنده کیفیت بهتر کود کمپوست نسبت به کود شیمیایی و لجن خام است.

کلمات کلیدی: کود آلی، کود شیمیایی، فلزات سنگین، عناصر پرمصرف، سبزی شاهی

***نویسنده مسئول:** دکترای تخصصی علوم محیط‌زیست، دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

ایمیل: cheraghi@iauh.ac.ir – شماره تماس: ۰۸۱۳۴۴۸۱۶۶۳

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/jehe.9.1.59]

مقدمه

امروزه در کشاورزی مدرن برای جلوگیری از مصرف بیش‌تر از حد کودهای شیمیایی و حل مشکلات ناشی از آلودگی محیط‌زیست، علاوه بر زمان مناسب مصرف کود، مصرف تلفیقی کودهای آلی و کودهای شیمیایی نیز مد نظر است[1]. نتایج تحقیقات نشان داده است که کودهای آلی با اثر مثبت و معنی‌دار بر روی جذب عناصر غذایی، بهبود حاصل‌خیزی خاک و کاهش اتلاف کود، به افزایش عملکرد محصولات زراعی منجر می‌شود[2,3].

هرچند، میزان دسترسی گیاهان به عناصر غذایی مورد نیاز تحت تاثیر نوع خاک، شرایط آب و هوایی، گونه و رقم گیاهی متغیر است[4]، ولی ازت، فسفر و پتاسیم از مهم‌ترین عناصری هستند که رشد گیاه را از جنبه‌های مختلف تحت تأثیر قرار داده و برای دست‌یابی به عملکرد مطلوب غلات و سبزیجات به وفور مورد استفاده قرار می‌گیرند[5]. لذا، مصرف کودهای شیمیایی در چند دهه گذشته به‌دلیل غنی بودن آن‌ها از عناصر پرمصرف، قیمت مناسب و در دسترس بودن افزایش قابل توجهی داشته است[6].

لجن فاضلاب، ترکیب جامدی است که در فرآیند حذف آلاینده‌های معلق و محلول از فاضلاب در تصفیه خانه‌های فاضلاب به‌دست می‌آید[7] و حاوی عناصر پرمصرف شامل ازت، فسفر و پتاسیم و عناصر کم مصرف شامل آهن، روی، مس و منگنز بوده که علاوه بر بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک به افزایش غلظت عناصر غذایی ضروری پرمصرف و کم مصرف ضروری برای رشد گیاه در خاک نیز منجر می‌شود[8,9]. در میان عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، عناصر کم مصرف هر چند در مقادیر کم مورد نیاز هستند، اما فقدان آن‌ها می‌تواند مشکلات جدی هم در تولید محصول و هم برای سلامتی انسان و حیوان ایجاد کند[10]. در سال‌های اخیر کاربرد لجن فاضلاب در کشاورزی، از یک‌طرف به‌عنوان کود آلی (غنی از کربن) و سرشار از عناصر غذایی مختلف مثل ازت و فسفر و از طرف دیگر، به‌عنوان یک روش به‌نسبت ایمن برای مدیریت پسماند حاصل از تصفیه فاضلاب‌های شهری مورد توجه قرار گرفته است[11]. این در حالی است که، کاربرد لجن فاضلاب در زمین‌های کشاورزی برای بهبود کیفیت خاک نگرانی‌هایی را به‌همراه داشته است، زیرا ممکن است حاوی مقادیر مختلف ترکیبات مضر و فلزات سمی باشند[12]. اگرچه وجود برخی از فلزات سنگین برای رشد گیاهان لازم هستند، ولی باید توجه داشت که غلظت‌های بیش‌تر از حد آستانه این عناصر، به‌واسطه قابلیت تجمع آن‌ها در بافت‌های مختلف بدن می‌تواند برای حیات گیاهی و جانوری بسیار خطرناک باشد[13]. البته باید توجه داشت که مصرف لجن فاضلاب در برخی موارد در برطرف کردن نیاز گیاهان به عناصر کم مصرف بسیار مؤثرتر از سایر منابع عمل کرده است، برای مثال، رفع کمبود روی در ذرت به وسیله لجن فاضلاب بسیار مؤثرتر از مصرف سولفات روی بوده است[9].

تاکنون، به‌جز پژوهش‌های مختلفی که در خصوص بررسی اثر مصرف لجن فاضلاب بر غلظت عناصر غذایی در خاک و گیاه انجام شده است[14-17]، چندین پژوهش نیز در خصوص اثر مصرف لجن فاضلاب بر شاخص‌های رشد گیاهان انجام شده است. به‌عنوان مثال، Angin و Yaghanoglu (۲۰۱۱) با بررسی تأثیر لجن فاضلاب بر عملکرد گیاه جو گزارش کردند که کاربرد لجن نه تنها ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک را بهبود بخشیده است، بلکه منجر به افزایش عملکرد دانه جو نیز شده است[18]. Saadat و همکاران (۲۰۱۲) نیز با کاربرد لجن فاضلاب، افزایش معنی‌دار ماده آلی خاک، عملکرد، غلظت ازت و فسفر را در ذرت گزارش کردند[19]. با توجه به آلودگی و تخریب محیط‌زیست حاصل از استفاده مستمر کودهای شیمیایی، این تحقیق با هدف بررسی اثر کاربرد کودهای آلی و شیمیایی بر جذب عناصر پر مصرف و فلزات سنگین در گونه شاهی (*Lepidium sativum*) در سال ۱۳۹۷انجام یافت.

مواد و روش‌ها

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/jehe.9.1.59]

این پژوهش توصیفی، در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار و در محیط و شرایط گلخانه (تنظیم شرایط دمایی و رطوبت) انجام شد. تیمارهای مورد مطلعه شامل تیمار شاهد (نمونه خاک) (T1)، کود شیمیایی دی آمونیوم فسفات (T2)، کمپوست لجن هاضم بی‌هوازی (T3)، کمپوست لجن بدون عمل هضم (T4) و لجن خام (T5) بود. نمونه‌های کمپوست نیز که به‌روش ویندرو (Windrow) از لجن تصفیه‌خانه فاضلاب شهری سرکان شهرستان تویسرکان تولید شده بودند، تهیه شد. برای اجرای پژوهش، در ابتدا نمونه‌های لجن به‌روش ثقلی آب‌گیری شدند. سپس، با استفاده از مواد حجیم‌کننده، نسبت کربن به ازت و تخلخل آن تنظیم شد[۲۰]. پس از آن، سه نمونه از هر کدام از تیمارهای لجن خام، کمپوست لجن و کود دی آمونیوم فسفات به‌صورت تصادفی در سه تکرار برداشته شدند. برای تعیین برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک نیز، نسبت به برداشت نمونه‌های خاک سطحی از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری و انتقال آن‌ها به آزمایشگاه اقدام شد. pH نمونه‌های خاک در گل اشباع و قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع با استفاده از دستگاه‌های هدایت‌سنج الکتریکی JENWAY 4310 و pHمتر METROHM 632 اندازه گیری شد[۲۱]. فسفر قابل دسترس خاک، لجن و کود به‌روش اولسن و همکاران[۲۲]، پتاسیم کل خاک به‌روش استات آمونیوم[۲۳]. کربن آلی خاک، لجن و کود با استفاده از روش واکلی و بلک[۲۴] و ازت کل خاک، لجن و کود به وسیله دستگاه کجلدال[۲۵] اندازه گیری شد. برای تعیین غلظت کل فلزات سنگین در لجن از روش هضم اسیدی[۲۰] استفاده شد، به این صورت‌که، به یک گرم نمونه خاک خشک، پنج میلی‌لیتر اسید نیتریک و ۱۵ میلی‌لیتر اسید هیدروکلریک اضافه شد. سپس، نمونه به‌مدت ۳۰ دقیقه در دمای محیط قرار گرفت و بعد از آن دمای محلول به‌وسیله هیتر به ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد رسانیده شد. پس از صاف کردن محلول توسط صافی واتمن ٤٢ و رساندن حجم آن به ۵۰ میلی‌لیتر، غلظت فلزات سنگین به‌روش طیف‌سنجی نوری پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP-OES) با استفاده از دستگاه نشر اتمی Varian کالیبره مدل 710–ES خوانده شد. در این پژوهش، برای بررسی اثر لجن فاضلاب و کودشیمیایی بر جذب عناصر پر مصرف و فلزات سنگین در گیاه شاهی، پس از کشت ۱۵ عدد بذر شاهی در گلدان‌های پلاستیکی حاوی سه کیلوگرم خاک، مقادیر ۲۸، ۵۷ و ۱۱۵ گرم در کیلوگرم کود به هر گلدان اضافه شد. لازم به‌توضیح است که در طول دوره رشد رطوبت گلدان‌ها با توزین روزانه در حدود رطوبت گنجایش زراعی نگه داشته شد و وجین علف‌های هرز نیز به‌صورت دستی انجام شد. همچنین، دمای متوسط شبانه ۲۲ و دمای متوسط روزانه در سطح ۳۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد. پس از اتمام دوره رشد (۳۰ روز) گیاهان رشدیافته برداشت و به آزمایشگاه منتقل شدند. پس از اندازه‌گیری وزن تر گیاهان، نمونه‌ها با آب دوبار تقطیر شده شسته شدند و به مدت ٢٤ ساعت در دمای محیط خشک شدند. سپس، نمونه‌ها به دستگاه آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد منتقل و وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد. برای تعیین غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های گیاهی از روش هضم خشک استفاده شد[۲۱]. بدین منظور، ۰/۵۰۰ گرم نمونه خشک گیاهی به بوته چینی منتقل و دمای آن به‌تدریج و در طی دو ساعت در کوره الکتریکی به ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد رسانیده شد و به‌مدت چهار ساعت در این دما نگهداری شد. پس از مشاهده خاکستر سفید رنگ و سرد شدن نمونه‌ها، ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک دو نرمال به آن افزوده و محلول حاصل به‌مدت ۳۰ دقیقه بر روی هیتر قرار گرفت و در مرحله بعد حجم آن به ۲۵ رسانیده شد. در نهایت، غلظت فلزات سنگین به‌روش ICP-OES با استفاده از دستگاه نشر اتمی خوانده شد. در این مطالعه، حد تشخیص دستگاه (LOD) برای عناصر سرب، آرسنیک، کادمیوم و جیوه به‌ترتیب برابر با ۰/۰۰۸، ۰/۱۰۳، ۰/۰۱۰ و ۰/۰۰۱ به‌دست آمد. تعیین درصد کربن آلی نمونه گیاه به‌روش اصلاح شده واکلی و بلک[۲۳]، درصد ازت به‌روش کجلدال[۲٤] و میزان فسفر نیز به‌روش اولسن

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/jehe.9.1.59]

و همکاران[۲۱] اندازه‌گیری شد. پردازش آماری داده‌ها نیز توسط نسخه ۲۱ نرم‌افزار آماری SPSS انجام شد. بدین صورت‌که، نرمال بودن توزیع داده‌ها توسط آزمون کولموگروف–اسمیرنف و مقایسه میانگین‌ها نیز توسط آنالیز واریانس دوطرفه و آزمون LSD در سطح احتمال ٪۵ انجام شد.

خطر غیر سرطان‌زایی ناشی از ورود عناصر سنگین به بدن با استفاده از مدل ارائه شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (رابطه‌های ۱ تا ۳) محاسبه شد[۲۶]. بدین صورت‌که، مقادیر دریافت روزانه فلزات سنگین از طریق مصرف شاهی توسط رابطه ۱ محاسبه شد[۲۸،۲۷].

رابطه(۱)

$$DIM = \frac{C_{Vegetale} \times C_{Factor} \times D_{F00d\ Intake}}{B_{Average\ Weight}}$$

در رابطه ۱: DIM بیان‌گر مقدار جذب روزانه فلز بر حسب میکروگرم در کیلوگرم در روز، $C_{Vegetable}$ نشان‌دهنده غلظت فلزات سنگین در وزن تر سبزی شاهی بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم، C_{Factor} نشان‌دهنده عامل تبدیل وزن سبزیجات تازه خشک (۰/۰۸۵)، $D_{Food\ Intake}$ بیان‌گر مصرف روزانه شاهی برای افراد بالغ (۰/۳٤٥ کیلوگرم به ازای هر فرد در هر روز) و برای کودکان (۰/۲۳۲ کیلوگرم به ازای هر فرد در هر روز) است و $B_{Average\ Weight}$ نیز بیان‌گر میانگین وزن بدن است که برای افراد بالغ ۵۵/۹ و برای کودکان ۳۲/۷ کیلوگرم لحاظ شد.

رابطه (۲)

$$HQ = \frac{DIM}{RfD}$$

در رابطه ۲: RfD نشان‌دهنده غلظت مرجع عناصر کادمیوم، سرب، آرسنیک و جیوه و به‌ترتیب برابر با ۱/۰۰، ٤/۰۰، ۰/۳۰۰ و ۰/۷۰۰ میکروگرم در کیلوگرم وزن بدن در روز است[۳۱-۲۹]. ضریب خطرپذیری (HQ) بزرگ‌تر از یک، نشان دهنده خطر فزاینده آن عنصر برای سلامتی انسان است.

رابطه (۳)

$$HI = \sum THQ$$

در رابطه ۳: THQ نشان‌دهنده جمع HQ برای محتوی عناصر در سبزی شاهی است. اگر مقدار خطر سلامتی کل کوچک‌تر از یک باشد، فرد از لحاظ احتمال خطرپذیری به بیماری‌های غیر سرطانی در محدوده امن قرار دارد، و اگر خطر سلامتی کل بزرگ‌تر از یک باشد، فرد احتمالاً تحت تاثیر خطر غیر سرطان‌زایی قرار خواهد گرفت[۳۳،۳۲].

نتایج

مقادیر فلزات سنگین و عناصر پرمصرف در کود شمیایی، کمپوست و لجن خام در جدول ۱ آورده شده است. نتایج نشان داد که بیشینه غلظت سرب، کادمیوم، جیوه، فسفر، ازت و کربن به کود دی آمونیوم فسفات، بیشینه غلظت آرسنیک به لجن خام و کمینه غلظت فلزات سنگین و عناصر کمیاب به کمپوست لجن هاضم بی هوازی تعلق داشت. نتایج آنالیز شیمیایی خاک در جدول ۲ نشان داده شده است. بر این اساس، بافت خاک شامل ٪٤١ شن، ٪٤٣ سیلت و ٪١٦ رس بود. از طرفی، نتایج نشان داد که خاک مورد مطالعه از نظر محتوی عناصر غذایی از جمله فسفر، ازت، پتاسیم و ماده آلی فقیر است. میانگین غلظت فلزات سنگین، عناصر پرمصرف در سبزی شاهی و وزن خشک و تر سبزی شاهی در سطوح مختلف از کود و لجن (۲۸ گرم، ۵۷ گرم و ۱۱۵ گرم) در جدول ۳ آورده شده است. نتایج نشان داد که بیشینه غلظت عناصر آرسنیک، کادمیوم، جیوه، سرب و عناصر پر مصرف کربن، ازت و فسفر به تیمار ۱۱۵ گرم از کود و لجن و کمینه غلظت این عناصر نیز به تیمار ۲۸ گرم از کود و لجن تعلق داشت. علاوه بر آن، بیشینه مقدار آرسنیک و جیوه به تیمارهای ۲۸ گرم، ۵۷ گرم و ۱۱۵ گرم لجن خام و کمینه مقدار این عناصر نیز به تیمار شاهد تعلق داشت. از طرفی،

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/jehe.9.1.59]

بیشینه مقدار کادمیوم به تیمارهای ۲۸ گرم و ۵۷ گرم لجن خام و ۱۱۵ گرم کود دی آمونیوم فسفات و کمینه مقدار این عنصر نیز به تیمار شاهد مربوط بود. در حالی‌که، بیشینه مقدار سرب به تیمارهای ۲۸ گرم، ۵۷ گرم و ۱۱۵ گرم کود دی آمونیوم فسفات و کمینه مقدار این عنصر نیز به تیمار شاهد تعلق داشت. از دیگر سو، بیشینه مقدار کربن به تیمارهای ۲۸ گرم و ۱۱۵ گرم کود دی آمونیوم فسفات و تیمار ۵۷ گرم کمپوست لجن هاضم بی‌هوازی و کمینه مقدار آن نیز به تیمار شاهد اختصاص داشت. بیشینه مقدار ازت به ترتیب به تیمارهای ۲۸ گرم، ۵۷ گرم و ۱۱۵ گرم تیمار شاهد، کود دی آمونیوم فسفات و لجن خام و کمینه مقدار آن نیز به تیمارهای ۲۸ گرم و ۵۷ گرم کمپوست لجن هاضم بی‌هوازی و تیمار ۱۱۵ گرم نمونه شاهد تعلق داشت. همچنین، بیشینه مقدار فسفر به تیمارهای ۲۸ گرم و ۱۱۵ گرم تیمار کود دی آمونیوم فسفات و تیمار ۵۷ گرم لجن خام و کمینه مقدار این عنصر نیز به تیمار شاهد مربوط بود. به‌علاوه، بیشینه وزن خشک گیاه به‌ترتیب به تیمارهای ۲۸ گرم، ۵۷ گرم و ۱۱۵ گرم کود دی آمونیوم فسفات، کمپوست لجن هاضم بی‌هوازی و لجن خام و کمینه مقدار آن مربوط به تیمار شاهد بود.

جدول ۱: میانگین غلظت فلزات سنگین و عناصر پرمصرف در کود شیمیایی، لجن و کمپوست

تیمار	سرب (mg/kg)	آرسنیک (mg/kg)	کادمیوم (mg/kg)	جیوه (mg/kg)	فسفر (٪)	ازت (٪)	کربن (٪)
لجن خام	۱/۱±۲۳/۳۱	۰/۰±۷۲۳/۰۱۲	۱/۰±۲۰/۰۱	۰/۰±٦٨٧/۰۱۳	۱٤/۰±۲/۰۱۵	۱۵/۰±۲/۰۰۱	۰±۱۲۳/۰۳۲
کمپوست لجن هاضم بی‌هوازی	۰/۱±۵۳۲/۲۸	۰/۰±۳۰۰/۰۱٤	۰/۰±۸۳۰/۰٤	۰/۰±۳۱۵/۰۱۹	۱۰/۰±۱/۰۰۲	۱۱/۰±۵/۰۱٦	۰±۱۱۰/۰۲۱
کمپوست بدون عملیات هضم	۰/۱±۷۳٤/۰۲	۰/۰±٤۲۰/۰۱۷	۰/۰±۹۲۱/۰۱۳	۰/۰±۵۲۳/۰۱۲	۱۲/۰±۱/۰۱٤	۱۳/۰±۹/۰۱۱	۰±۱۳۲/۰۱۸
کود دی آمونیوم فسفات	۱/۱±۵۰/۲۱	۰/۰±۳۱۰/۰۱۵	۱/۰±۳۰/۰۲٤	۰/۰±۹۳۲/۰۱۵	۲۱/۰±۲/۰٦۷	۲۳/۰±۷/۰۱۵	۰±۱۲۸/۰۵٤

جدول ۲: خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد ارزیابی

pH	EC (dSm^{-1})	کربن آلی (٪)	ازت کل (٪)	فسفر(٪)	پتاسیم کل (mg/kg)	بافت	سرب (mg/kg)	آرسنیک (mg/kg)	کادمیوم (mg/kg)	جیوه (mg/kg)
۷/٦۰	۲۵/۰	۰/۹۷۰	۰/۱۲۰	٦/۰۰	۲۵۲	لومی	ناچیز	ناچیز	ناچیز	ناچیز

جدول۳ : میانگین غلظت فلزات سنگین (mg/kg)، عناصر پرمصرف (٪)، وزن خشک و تر (گرم) در سبزی شاهی تیمار شده با کود و لجن و در نمونه شاهد

تیمار		پارامتر	۲۸ گرم	۵۷ گرم	۱۱۵ گرم
کمپوست لجن هاضم بی‌هوازی		آرسنیک	۰/۰±۱۳۹/۰۰۲	۰/۰±۲۰۷/۰۳۸	۰/۰±۲۵۹/۰۰۶
		کادمیوم	۰/۰±۱۹۲/۰۰۲۱	۰/۰±۲۶۱/۰۰۱۵	۰/۰±۳۵۷/۰۰۵۹
		جیوه	۰/۰±۱۷۷/۰۰۱	۰/۰±۲۲۲/۰۰۲	۰/۰±۲۸۹/۰۰۸۹
		سرب	۰/۰±۳۲۱/۰۰۱	۰/۰±۳۸۷/۰۰۰۶	۰/۰±۴۴۳/۰۰۱

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/jehe.9.1.59]

تیمار	پارامتر	۲۸ گرم	۵۷ گرم	۱۱۵ گرم
کمپوست بدون عملیات هضم	کربن	۸۸/۱±۷/۹۱	۹۵/۱±۰/۹۱	۹۷/۱±۷/۰۴
	ازت	۵/۰±۰۰/۵۷۷	۶/۰±۵۶/۱۴۷	۸/۰±۵۲/۳۱۴
	فسفر	۴/۰±۴۵/۳	۵/۰±۵۱/۲۹۵	۷/۰±۲۵/۲۱
	وزن خشک	۱/۰±۷۳/۲۳	۲/۰±۰۱/۱۲	۲/۰±۰۷/۱۹
	وزن تر	۹/۱±۷۱/۱۱	۱۱/۱±۴/۱۵	۱۱/۱±۷/۲۱
	آرسنیک	۰/۰±۲۵۹/۰۰۱	۰/۰±۲۹۷/۰۰۲	۰/۰±۳۹۲/۰۰۱
	کادمیوم	۰/۰±۲۵/۰۰۴۶	۰/۰±۳۵۹/۰۰۴	۰/۰±۴۴۵/۰۰۱
	جیوه	۰/۰±۲۲۶/۰۰۱۵	۰/۰±۳۴۳/۰۰۸	۰/۰±۴۰۰/۰۰۷
	سرب	۰/۰±۴۶۵/۰۰۱۵	۰/۰±۵۱۷/۰۱۱	۰/۰±۶۹۰/۰۰۳۵
لجن خام	کربن	۸۳/۱±۹/۶۷	۹۴/۰±۹/۳۳	۹۵/۱±۱۵/۰۹
	ازت	۶/۰±۰۷/۷۶۴	۷/۰±۱۸/۰۴۷	۸/۰±۷۴/۷۴۶
	فسفر	۵/۰±۶۶/۳۲	۶/۰±۷۳/۵۱	۸/۰±۶۸/۴۸
	وزن خشک	۱/۰±۴۴/۱۳	۱/۰±۶۴/۱۹	۱/۰±۶۸/۳۲
	وزن تر	۸/۱±۹۳/۴۴	۹/۱±۶۷/۲۳	۱۰/۱±۴/۱۸
	آرسنیک	۰/۰±۴۲۹/۰۰۰۶	۰/۰±۴۹۲/۰۰۱۵	۰/۰±۵۹۲/۰۰۱
	کادمیوم	۰/۰±۷۵۳/۰۰۲۱	۰/۰±۸۲۳/۰۰۳۲	۰/۰±۹۵۴/۰۰۴۶
	جیوه	۰/۰±۳۹۳/۰۰۳۲	۰/۰±۴۲۹/۰۰۲۵	۰/۰±۵۴۵/۰۲۶
	سرب	۰/۰±۶۷۸/۰۰۲۱	۰/۰±۷۵۱/۰۰۱	۰/۰±۸۸۵/۰۰۷
کود دی آمونیوم فسفات	کربن	۷۹/۱±۵/۵۵	۸۶/۱±۷/۵۷	۹۱/۰±۶/۸۳۶
	ازت	۷/۰±۳۱/۰۹۳	۸/۰±۷۴/۳۹۰	۱۰/۰±۲/۲۰۲
	فسفر	۶/۰±۹۰/۵۱	۷/۰±۸۷/۵۲	۱۰/۰±۰/۵۲
	وزن خشک	۱/۰±۲۸/۰۸	۱/۰±۳۵/۰۲۱	۱/۰±۴۵/۰۵
	وزن تر	۹/۱±۳۳/۳۴	۱۰/۱±۵/۷۶	۱۲/۱±۴/۶۵
	آرسنیک	۰/۰±۱۲۰/۰۰۱	۰/۰±۱۲۲/۰۰۲۱	۰/۰±۱۲۴/۰۰۲
	کادمیوم	۰/۰±۶۶۸/۰۰۱۲	۰/۰±۷۵۲/۰۰۰۶	۰/۰±۹۵۶/۰۰۷۲
	جیوه	۰/۰±۳۰۵/۰۰۱	۰/۰±۳۹۸/۰۰۱	۰/۰±۷۰۱/۰۰۱۷
	سرب	۰/۰±۸۱۲/۰۰۱۷	۰/۰±۸۳۲/۰۰۰۶	۱/۰±۲۵/۰۳۴
	کربن	۸۹/۱±۱/۲۶	۸۹/۳±۴/۲۶	۹۸/۱±۵/۰۲
	ازت	۷/۰±۳۸/۵۲۲	۸/۰±۸۸/۳۴۲	۹/۰±۵۷/۲
	فسفر	۶/۰±۹۳/۳	۸/۰±۳۶/۱۵	۱۰/۰±۳/۲۴
	وزن خشک	۱/۰±۳۷/۳۲	۱/۰±۵۰/۸۹	۱/۰±۵۴/۳۲
	وزن تر	۱۰/۱±۵/۱۴	۱۰/۱±۹/۲۶	۱۱/۱±۰/۲۱

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/jehe.9.1.59]

تیمار	پارامتر	۲۸ گرم	۵۷ گرم	۱۱۵ گرم
نمونه شاهد	آرسنیک	۰/۰±۰۵۷/۰۰۱	۰/۰±۰۵۷/۰۰۱	۰/۰±۰۵۷/۰۰۱
	کادمیوم	۰/۰±۱۰۷/۰۰۰۶	۰/۰±۱۰۷/۰۰۰۶	۰/۰±۱۰۷/۰۰۰۶
	جیوه	۰/۰±۱۲۶/۰۰۱	۰/۰±۱۲۶/۰۰۱	۰/۰±۱۲۶/۰۰۱
	سرب	۰/۰±۱۵۳/۰۳۲	۰/۰±۱۵۳/۰۳۲	۰/۰±۱۵۳/۰۳۲
	کربن	۷۹/۱±۶/۹۱	۷۹/۱±۶/۹۱	۷۹/۱±۶/۹۱
	ازت	۷/۰±۶۲/۵۴۳	۷/۰±۶۲/۵۴۳	۷/۰±۶۲/۵۴۳
	فسفر	۳/۰±۶۴/۴۳	۳/۰±۶۴/۴۳	۳/۰±۶۴/۴۳
	وزن خشک	۱/۰±۰۷/۱۱	۱/۰±۰۷/۱۱	۱/۰±۰۷/۱۱
	وزن تر	۸/۱±۶۱/۲۳	۸/۱±۶۱/۲۳	۸/۱±۶۱/۲۳

نتایج تجزیه واریانس اثر دو فاکتور (نوع تیمار کودی و مقدار تیمار کودی خاک) و اثر متقابل دو فاکتور بر جذب فلزات سنگین، عناصر پرمصرف و وزن خشک و وزن تر سبزی شاهی در جدول ٤ آورده شده است. نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌دار آماری بین میانگین غلظت فلزات سنگین، عناصر پرمصرف، وزن تر و وزن خشک در سبزی شاهی تیمار شده با کودهای مختلف و شاهد وجود داشته است ($p < ۰/۰۵۰$)، به‌طوری‌که، میانگین غلظت عناصر آرسنیک، کادمیوم، سرب، جیوه، فسفر، مقدار وزن خشک و وزن تر در تیمارهای کمپوست لجن هاضم بی‌هوازی، کمپوست بدون عملیات هضم، لجن خام، کود دی آمونیوم فسفات هر یک در گروه‌های مجزا، میانگین غلظت ازت کمپوست بدون عملیات هضم و نمونه شاهد در یک گروه و کمپوست لجن هاضم بی‌هوازی، لجن خام، کود اوره دی‌فسفات در یک گروه مجزا، میانگین غلظت کربن در لجن خام و کود دی آمونیوم فسفات در یک گروه و در تیمارهای کمپوست لجن هاضم بی‌هوازی، کمپوست بدون عملیات هضم و شاهد هر یک در گروه‌های مجزا قرار گرفته‌اند. همچنین، نتایج تجزیه واریانس بیان‌گر آن بود که تفاوت معنی‌دار آماری ($p < ۰/۰۵۰$) بین میانگین غلظت فلزات سنگین، عناصر پرمصرف، وزن خشک و وزن تر در سبزی شاهی در مقادیر ۲۸، ۵۷ و ۱۱۵ گرم از کود مصرفی وجود داشته است. به‌طوری‌که، میانگین غلظت هر یک از عناصر سرب، کادمیوم، جیوه و آرسنیک، عناصر پرمصرف فسفر، ازت و کربن، وزن خشک و وزن تر در مقادیر ۲۸، ۵۷ و ۱۱۵ گرم از کود مصرفی هر یک در گروه‌های مجزا قرار گرفتند.

نتایج برآورد میانگین جذب روزانه عناصر و شاخص خطر سلامتی کل ناشی از مصرف سبزی شاهی برای کودکان و بزرگسالان در جدول ۵ نشان داده شده است.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/jehe.9.1.59]

جدول ٤: نتایج مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین، عناصر پرمصرف، وزن تر و وزن خشک در سبزی شاهی تیمار شده با کود، تیمار شده با مقادیر کود و اثر متقابل تیمار با کود و مقدار کود

منبع تغییرات	متغیر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	سطح معنی‌داری
	آرسنیک	۱/۱۲	٤	۰/۲۸۱	٥٨٤٥٤	۰/۰۰۰
	فسفر	۱۳۹	٤	۳٤/۸	۳۱۸	۰/۰۰۰
	ازت	۲۷/۰	٤	٦/۷٤	٥٥/۰	۰/۰۰۰
	کربن	۱۰۰۰	٤	۲٥۰	۱۳۷	۰/۰۰۰
اثر تیمار کود	سرب	۳/۷۰	٤	۰/۹۱۹	۱۰۰۱۷	۰/۰۰۰
	جیوه	۰/۷۸۳	٤	۰/۱۹٦	۳۲۱۹	۰/۰۰۰
	کادمیوم	۳/۸٥	٤	۰/۹٦۱	۸٤۰۱۱	۰/۰۰۰
	وزن خشک	۳/٦۲	٤	۰/۹۰٤	۹۰۳۹	۰/۰۰۰
	وزن تر	٤٤/۱	٤	۱۱/۰	۱۱۰۲۲۳	۰/۰۰۰
	آرسنیک	۰/۰٥۳	۲	۰/۰۲۷	٥٥۲۲	۰/۰۰۰
	فسفر	۲٥/۳	۲	۱۲/۷	۱۱٦	۰/۰۰۰
	ازت	۲٥/۸	۲	۱۲/۹	۱۰٥	۰/۰۰۰
	کربن	٤۳۳	۲	۲۱۷	۱۱۹	۰/۰۰۰
اثر مقدار کود	سرب	۰/۱۱٦	۲	۰/۰٥۸	٦۳۲	۰/۰۰۰
	جیوه	۰/۰٦۱	۲	۰/۰۳۰	٥۰۱	۰/۰۰۰
	کادمیوم	۰/۰۹۲	۲	۰/۰٤٦	٤۰۳٤	۰/۰۰۰
	وزن خشک	۰/۲۷۲	۲	۰/۱۳٦	۱۳٥۸	۰/۰۰۰
	وزن تر	۲٥/۱	۲	۱۲/٦	۱۲٥٤۷٦	۰/۰۰۰
	آرسنیک	۰/۰۳۷	۸	۰/۰۰٥	۹٥٥	۰/۰۰۰
	فسفر	۱٥/٥	۸	۱/۹٤	۱۷/۸	۰/۰۰۰
	ازت	۱٦/۷	۸	۲/۰۸	۱۷/۰	۰/۰۰۰
	کربن	۱٥۷	۸	۱۹/۷	۱۰/۸	۰/۰۰۰
اثر متقابل تیمار و مقدار کود	سرب	۰/۰٦۳	۸	۰/۰۰۸	۸٦/۳	۰/۰۰۰
	جیوه	۰/۰٤۹	۸	۰/۰۰٦	۱۰۰	۰/۰۰۰
	کادمیوم	۰/۰٦٦	۸	۰/۰۰۸	۷۱۷	۰/۰۰۰
	وزن خشک	۰/۱۱۳	۸	۰/۰۱٤	۱٤۲	۰/۰۰۰
	وزن تر	۱٦/۳	۸	۲/۰٤	۲۰۳۸۷	۰/۰۰۰
	آرسنیک	۰/۰۰۰	۳۰	۰/۰۰۰		
	فسفر	۳/۲۸	۳۰	۰/۱۰۹		
	ازت	۳/٦۷	۳۰	۰/۱۲۲		
	کربن	٥٤/٥٦	۳۰	۱/۸۲		
خطا	سرب	۰/۰۰۳	۳۰	۰/۰۰۰		
	جیوه	۰/۰۰۲	۳۰	۰/۰۰۰		
	کادمیوم	۰/۰۰۰	۳۰	۰/۰۰۰		
	وزن خشک	۰/۰۰۳	۳۰	۰/۰۰۰		
	وزن تر	۰/۰۰۳	۳۰	۰/۰۰۰		

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/jehe.9.1.59]

جدول ۵: نتایج برآورد میانگین جذب روزانه عناصر و شاخص خطر سلامتی کل ناشی از مصرف سبزی شاهی برای کودکان و بزرگسالان

شاخص	سن	سرب	کادمیوم	آرسنیک	جیوه
جذب روزانه	کودکان	$۳/٤٤\times۱۰^{-٤}$	$۲/٥٦\times۱۰^{-٤}$	$۲/۰٥\times۱۰^{-٤}$	$۲/۰۳\times۱۰^{-٤}$
	بزرگسالان	$۲/۹۹\times۱۰^{-٤}$	$۲/۹٤\times۱۰^{-٤}$	$۱/۷۸\times۱۰^{-٤}$	$۱/۷٦\times۱۰^{-٤}$
HQ	کودکان	$۸/٦۰\times۱۰^{-٥}$	$۲/٥٦\times۱۰^{-٤}$	$٦/۸۳\times۱۰^{-٤}$	$۲/۹۰\times۱۰^{-٤}$
	بزرگسالان	$۷/٥۰\times۱۰^{-٥}$	$۲/۹٤\times۱۰^{-٤}$	$٥/۹۳\times۱۰^{-٤}$	$۲/٥۱\times۱۰^{-٤}$

بر اساس نتایج مندرج در جدول ۵، شاخص خطر غیرسرطان‌زایی برای همه عناصر کوچک‌تر از یک است. از طرفی، شاخص خطرپذیری (HI) برای کودکان و بزرگسالان به‌ترتیب برابر با $۱/۳۱\times۱۰^{-۳}$ و $۱/۲۱\times۱۰^{-۳}$ بود.

بحث

نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌دار آماری ($p < ۰/۰۵۰$) بین میانگین مقادیر فلزات سنگین، عناصر پر مصرف، وزن خشک و وزن تر سبزی شاهی بین تیمارهای ۲۸، ۵۷ و ۱۱۵ گرم کود، لجن و شاهد وجود داشت. نتایج مطالعه نیک قدمی و همکاران (۲۰۲۰) نیز نشان داد که کاربرد سطوح مختلف لجن فاضلاب تاثیر معنی‌داری بر غلظت فلزات سرب، کادمیوم و وزن خشک در دو گیاه تربچه و ریحان داشته است ($p < ۰/۰۵۰$)، به‌طوری‌که، با افزایش لجن فاضلاب، غلظت فلزات و وزن خشک در ریشه و اندام هوایی دو گیاه نسبت به تیمار شاهد افزایش یافته است[۳۵]. تغییر وزن خشک گیاه را می‌توان با بالا بودن میزان مواد آلی در لجن و کود و نقش مثبت لجن و کود در افزایش غلظت برخ ی عناصر غذایی همچون ازت، فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز، منیزیمو بهبود شرایط فیزیکی خاک از طریق افزایش پایداری خاکدانه‌ها مرتبط دانست[۳٦]. کومار و چوپرا (۲۰۱٦)[۳۷] گزارش کردند که لجن فاضلاب باعث عملکرد مطلوب گیاه بادمجان شده است و بیشینه کارایی لجن به تیمار ٪۵۰ لجن فاضلاب مربوط بود. نتایج نشان داد که با افزودن کود کمپوست لجن هاضم بی‌هوازی، کمپوست بدون عملیات هضم، لجن خام و کود دی آمونیوم فسفات به خاک از ۲۸ گرم به ۱۱۵ گرم، میانگین غلظت عناصر آرسنیک، کادمیوم، جیوه، سرب و عناصر پر مصرف کربن، ازت و فسفر در برگ سبزی شاهی افزایش پیدا کرده است که دلیل آن را می‌توان با معدنی شدن مواد آلی کود، آزادسازی به‌صورت گونه‌های قابل استفاده زیستی و جذب فلزات سنگین و عناصر پر مصرف توسط خاک و انتقال آن از طریق ریشه گیاه به برگ سبزی شاهی مرتبط دانست. برخی از مطالعات نیز علت افزایش جذب عناصر کم‌مصرف در اندام‌های گیاهی با کاربرد لجن را با افزایش مقدار کل و قابل عصاره‌گیری با DTPA عناصر کم‌مصرف خاک مرتبط مرتبط دانسته‌اند[۳۸-٤۱]. نتایج مطالعه بهبهانی‌نیا و همکاران (۲۰۱۱) [٤۲] نیز نشان داد که استفاده از تیمار لجن به‌علت بالا بودن غلظت بعضی از عناصر در آن موجب افزایش غلظت فلزات سنگین در گیاهان مورد بررسی شده بود. نتایج این مطالعه نشان داد که بین تیمارهای کود، لجن و شاهد از حیث میانگین غلظت فلزات سنگین و عناصر پر مصرف در سبزی شاهی تفاوت معنی‌دار آماری ($p < ۰/۰۵۰$) وجود داشته است. از طرفی، بیشینه میانگین غلظت آرسنیک به تیمار لجن خام، بیشینه میانگین غلظت سرب به تیمار کود دی آمونیوم فسفات، بیشینه میانگین غلظت کربن به تیمارهای کود دی آمونیوم فسفات و تیمار لجن هاضم بی‌هوازی، بیشینه میانگین غلظت کادمیوم، ازت و فسفر به تیمارهای کود دی آمونیوم فسفات و لجن خام و کمینه میانگین غلظت عناصر سرب، کادمیوم، جیوه و آرسنیک و عناصر پر مصرف فسفر، ازت و کربن نیز به تیمار شاهد تعلق داشت که نشان‌دهنده تاثیر

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/jehe.9.1.59]

قابل توجه تیمارهای کود و لجن بر غلظت فلزات سنگین و عناصر پرمصرف در سبزی شاهی است.

کودهای N-P-K، کودهای فعالی هستند که به‌سهولت عناصر مغذی را برای گیاه تامین می‌کنند و کود کمپوست لجن نیز ضمن تامین یک محتوی درخور از همه عناصر غذایی در خاک، اسیدیته خاک را نیز کاهش می‌دهد[۴۳]. لذا، بیشینه محتوی فلزات سنگین و عناصر پرمصرف در سبزی شاهی تحت تیمار کود دی آمونیوم فسفات نسبت به سایر کودهای زیستی را می‌توان با این موضوع مرتبط دانست. نتایج نشان داد که میانگین غلظت عناصر سرب، کادمیوم، جیوه و آرسنیک در سبزی کشت شده تحت تیمارهای کود کمپوست لجن هاضم بی‌هوازی، کمپوست بدون عملیات هضم، لجن خام و کود دی آمونیوم فسفات از حد بیشینه رواداری سازمان بهداشت جهانی[۴۴] (میلی‌گرم در کیلوگرم) برابر با ۰/۱۰۰ برای آرسنیک، ۰/۲۰۰ برای کادمیوم، ۰/۱۰۰ برای جیوه و ۰/۳۰۰ برای سرب بزرگ‌تر بود. از طرفی، در نمونه شاهد میانگین غلظت عناصر آرسنیک، کادمیوم و سرب کوچک‌تر و میانگین غلظت عنصر جیوه نیز بزرگ‌تر از حد استاندارد بود. لذا، می‌توان اذعان داشت که مصرف سبزی شاهی کشت‌شده در تیمارهای کود و لجن برای سلامتی افراد مضر است. نتایج مطالعه بهبهانی‌نیا و همکاران (۲۰۱۱) [۴۵] نشان داد که استفاده از لجن تصفیه‌خانه سبب افزایش غلظت فلزات سنگین به ویژه نیکل، سرب و آهن در اسفناج، یونجه و تربچه شده است که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد. نتایج مطالعه حسین‌پور و قاجار سپانلو (۲۰۱۳)[۹] حاکی از آن بود که با کاربرد جداگانه لجن فاضلاب و یا در تلفیق با کود N-P-K در مقادیر و دفعات مختلف غلظت برخی عناصر غذایی کم‌مصرف در اندام هوایی و ریشه گیاه تربچه را به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد و کود شیمیایی افزایش داده است. یافته‌های تحقیقات نشان می‌دهد که با مصرف کودهای آلی، فراهمی عناصر غذایی از جمله عناصر غذایی کم مصرف به‌واسطه سازوکارهای مختلف افزایش می‌یابد. کاربرد لجن فاضلاب در خاک، کمپلکس‌های آلی محلول با فلزات تولید می‌کند که این کمپلکس‌ها بسیار متحرک بوده و در مقایسه با یون‌های فلزی آزاد به‌سهولت توسط گیاهان جذب می‌شوند[۴۶]. نتایج پژوهشی که با هدف بررسی تجمع عناصر سرب و کادمیوم در بافت گونه‌های تره (*Allium ampeloprasum persicum*) و نعناع (*Mentha piperita*) تیمارشده با لجن فاضلاب تصفیه‌خانه شهرک قدس تهران انجام یافت، نشان داد که استفاده از لجن فاضلاب تاثیری در جذب سرب توسط گیاهان مورد مطالعه نداشته است، ولی در مورد غلظت تجمع‌یافته کادمیوم در گونه‌های تره و نعناع مقادیر جذب بیش‌تر از حد مجاز بوده است[۶].

نتایج مطالعه نشان داد که بیشینه میزان جذب روزانه فلزات سنگین ناشی از مصرف شاهی برای کودکان و بزرگسالان به‌ترتیب با $۳/٤٤\times۱۰^{-٤}$ و $۲/۹۹\times۱۰^{-٤}$، به فلز سرب مربوط بوده است. از طرفی، مقادیر شاخص HQ کوچک‌تر از یک بود که نشان‌دهنده عدم وجود خطر ناشی از مصرف سبزی شاهی آلوده به فلزات سنگین برای مصرف‌کنندگان است. نتایج همچنین نشان داد که شاخص خطر سلامتی کل کوچک‌تر از یک بود، لذا مصرف کنندگان از لحاظ احتمال خطرپذیری غیرسرطان‌زایی در محدوده امن قرار دارند. در تحقیقی که توسط هارمانسکو و همکاران (۲۰۱۱)[۴۷] بر روی سبزیجات صورت گرفت، شاخص خطر و سلامت برای فلزات کادمیوم، نیکل و روی کوچک‌تر از یک گزارش شد. همچنین، در تحقیقی که توسط وانگ و همکاران (۲۰۱۰)[۴۸] با مطالعه بر روی خاک و سبزیجات آبیاری‌شده با فاضلاب در کشور چین گزارش کردند که شاخص خطر برای فلزات کادمیوم و نیکل کوچک‌تر از یک بوده است. هوگت و همکاران (۲۰۰۸)[۴۹] نیز با مطلعه بر روی سبزیجات آبیاری‌شده با فاضلاب در کشور اسپانیا، گزارش کردند که شاخص خطر و سلامت برای فلزات کادمیوم و نیکل کوچک‌تر از یک بوده است. باباکبری ساری و همکاران (۱۳۹۸)[۵۰] نیز در پژوهشی که بر روی خطر فلزات

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/jehe.9.1.59]

سنگین ناشی از مصرف سبزیجات در شهرستان ورامین انجام دادند، مقادیر شاخص خطرپذیری برای فلزات روی، مس، سرب، کادمیوم، کبالت، کروم و نیکل در هر دو گروه سنی کودکان و بزرگسالان را کوچک‌تر از یک گزارش کردند.

نتیجه گیری

نتایج بررسی غلظت عناصر سرب، کادمیوم، جیوه، آرسنیک و عناصر پرمصرف فسفر، ازت و کربن در سبزی شاهی تیمار شده با کود کمپوست لجن هاضم بی‌هوازی، کمپوست بدون عملیات هضم، لجن خام و کود اوره دی‌فسفات و در نمونه شاهد نشان داد که تفاوت معنی‌دار آماری ($p < ۰/۰۵۰$) بین تیمار کودی و نمونه شاهد وجود دارد، به‌طوری‌که، میانگین غلظت فلزات سنگین و عناصر پرمصرف در سبزی شاهی کشت‌شده تحت تیمار کود و لجن نسبت به نمونه شاهد بیش‌تر بود. همچنین، نتیجه گرفته شد که با افزایش مقدار تیمار کود و لجن خاک از ۲۸ گرم به ۱۱۵ گرم، مقادیر فلزات سنگین و عناصر پرمصرف در سبزی شاهی افزایش یافت و بیشینه جذب در سبزی شاهی مربوط به تیمار لجن خام و کود دی آمونیوم فسفات بود که از کیفیت بهتر کود کمپوست نسبت به کود شیمیایی و لجن خام حکایت دارد. بنابراین، استفاده از کود کمپوست، لجن و کود شیمیایی در مزرعه باید از هر لحاظ بررسی شود و با توجه به محتوی بالای عناصر کم‌مصرف در لجن، کمپوست و کود شیمیایی مصرف آن‌ها باید بر اساس خصوصیات خاک و گونه گیاهی مورد نظر کنترل شود. از طرفی، برای تعیین مقادیر استفاده از لجن، کود شیمیایی و کود کمپوست در زمین‌های کشاورزی توجه به ترکیب شیمیایی آن‌ها توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از رساله دکتری تخصصی محیط‌زیست مصوب دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان با کد ۱۷۱۴۸۰۰۶۹۰۷۶۴۲۱۱۶۲۲۹۲۵۰۶ است. بدین وسیله نویسندگان از معاونت محترم پژوهش و فن‌آوری دانشگاه برای فراهم کردن امکانات اجرای مطالعه، تشکر و قدردانی می‌کنند.

References

1. Seyed sharifi R, Heydari Siah Khalky MS. [The effect of biological fertilizers on growth indices and the part of transmission process of dry matter in wheat grain yield]. J Plant Res 2015; 28(2): 326-43 (In Persian).
2. Ming-gang XU, Dong-chu LI, Ju-mei LI, et al. Effects of organic manure application with chemical fertilizers on nutrient absorption and yield of rice in Hunan of Southern China. Agric Sci China 2008; 7(10): 1245-52.
3. Yazdanpanah A, Motalebifard R. [The effects of poultry manure and potassium fertilizer on yield and nitrogen, phosphorus, potassium, zinc and copper uptake of potato]. Soil Appl Res 2016; 4(2): 60-71 (In Persian).
4. Aulakh MS, Manchanda JS, Garg AK, et al. Crop production and nutrient use efficiency of conservation agriculture for soybean–wheat rotation in the Indo-Gangetic Plains of Northwestern India. Soil Till Res 2012; 120: 50-60.
5. Abbasi M, Najafi N, Aliasgharzad N, et al. [Effects of soil water conditions, sewage sludge, poultry manure and chemical fertilizers on the growth characteristics and water use efficiency of rice plant in a calcareous soil]. J Water Soil Knowl 2012; 23(1): 189-208 (In Persian).
6. Sobhanardakani S, Habibi M, Behbahaninia A. [Accumulation of Pb and Cd in tissue of leek (*Allium ampeloprasum persicum*) and peppermint (*Mentha piperita*) treated with sewage sludge of Qods town's treatment plant, Tehran]. J Food Hyg 2015; 5: 21-30 (In Persian).
7. Bolan NS, Duraisamy V. Role of inorganic and organic soil amendments on immobilisation and phytoavailability of heavy metals: a review involving specific case studies. Soil Res 2003; 41(3): 533-55.
8. Baran A, Cyci G, Kutuk C, et al. The effect of grape marc as growing medium on growth of hypostases plant. Biores Technol 2001; 78: 103-06.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/jehe.9.1.59]

9 . Hosein Pour R, Ghajar Sepanlo M. [Combined effects of municipal sewage sludge and chemical fertilizers on concentration of trace elements in soil and radish (*Raphanus sativus*)]. J Soil Res 2013; 3: 373-85 (In Persian).

10 .Gupta UC, Kening WU, Siyuan L. Micronutrients in soils, crops, and livestock. Earth Sci Front 2008; 15(5): 110-25.

11 .Casado-Vela J, Sellés S, Díaz-Crespo C, et al. Effect of composted sewage sludge application to soil on sweet pepper crop (*Capsicum annuum var. annuum*) grown under two exploitation regimes. Waste Manage 2007; 27(11): 1509-18.

12 .Hoshyar P, Baghaei AH. [The effect of urban sewage sludge application on cadmium uptake in maize in a loamy soil]. J Soil Res 2016; 31(2): 303-14 (In Persian).

13 .Babaakbari Sari M, Shakuri M, Hasani A. [Evaluation of heavy metals risk indices due to vegetable consumption in Varamin]. J Soil Manage Sustain Prod 2018; 9(1): 119-23 (In Persian).

14 .Rezaenejad Y, Afyuni M. [Effect of organic matter on soil chemical properties and corn yield and elemental uptake]. J Sci Technol Agric Nat Res 2001; 4(4): 19-29 (In Persian).

15 .Al Zoubi MM, Arslan A, Abdelgawad G, et al. The effect of sewage sludge on productivity of a crop rotation of wheat, maize and vetch and heavy metals accumulation in soil and plant in Aleppo Governorate. J Agric Environ Sci 2008; 3(4): 618-25.

16 .Wang X, Chen T, Yinghua G, et al. Studies on land application of sewage sludge and its limiting factors. J Hazard Mater 2008; 160(2-3): 554-58.

17 .Khorshid M, Hosseinpur AS, Oustan Sh, et al. [Impacts of sewage sludge on phosphorus sorption characteristics and its availability in some calcareous soils]. J Crop Prod Process 2009; 12(46): 791-802 (In Persian).

18 .Angin I, Yaghanoglu A. Effects of sewage sludge application on some physical and chemical properties of a soil affected by wind erosion. J Agric Sci Technol 2011; 13(5): 757-68.

19 .Saadat K., Baranimotlagh M, Dordipour E, et al. [Influence of sewage sludge on some soil properties, yield and concentration of lead and cadmium in roots and shoots of Maize]. Electron J soil Manage Sustain Prod 2012; 2(2): 27-48 (In Persian).

20 .Salami Naserian E, Cheraghi M, Lorestani B, et al. Qualitative investigation of sewage sludge composting: Effect of aerobic/ anaerobic pretreatments. Arab J Geosci 2021; 14: 836.

21 .Davodpour R, Sobhanardakani S, Cheraghi M, et al. Honeybees (*Apis mellifera* L.) as a potential bioindicator for detection of toxic and essential elements in the environment (Case study: Markazi Province, Iran). Arch Environ Contam Toxicol 2019; 77(3): 344-58.

22 .Black CA. Methods of Soil Analysis. Part1 chemical and biological properties. Soil Science Society of America, Madison. Wisconsin 1982. pp. 4013-4430.

23 .Chapman HD. Cation exchange capacity. In: C.A. Black C.A. (ed.), Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin 1965. pp. 891-901.

24 .Walkley A, Black IA. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci1934; 37: 29-38.

25 .Bremner JM, Mulvaney CS. Nitrogen-total, Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy. Book Series: Agronomy Monographs 1982; 31: 595-624.

26 .USEPA, IRIS 2006. United States, Environmental Protection Agency. Integrated Risk Information System Program. 43p.

27 .Cherfi A, Abdoun S, Gaci O. Food survey: levels and potential health risks of chromium, lead, zinc and copper content in fruits and vegetables consumed in Algeria. Food Chem Toxicol 2014; 70: 48-53.

28 .Cui YJ, Zhu YG, Zhai RH, et al. Transfer of metals from soil to vegetables in an area near a smelter in Nanning, China. Environ Int 2004; 30(6): 785-91.

29 .Xue ZJ, Liu SQ, Liu YL, et al. Health risk assessment of heavy metals for edible parts of vegetables grown in sewage-irrigated soils in suburbs of Baoding City China. Environ Monit Assess 2011; 11(4): 2204-06.

30 .Sobhanardakani S. Potential health risk assessment of heavy metals via consumption of caviar of Persian sturgeon. Mar Pollut Bull 2017; 123(1-2): 34-8.

31 .Sobhanardakani S, Tayebi L, Hosseini SV. Health risk assessment of arsenic and heavy metals (Cd, Cu, Co, Pb, and Sn) through consumption of Caviar of *Acipenser persicus* from Southern Caspian Sea. Environ Sci Pollut Res 2018; 25(3): 2664-71.

32 .USEPA. Human Health Risk Assessment. In Regional Screening Level-Summary Table; United States Environmental Protection Agency: Washington, DC, USA, 2018.

33 .Sobhanardakani S. Human health risk assessment of Cd, Cu, Pb and Zn through consumption of raw and pasteurized cow's milk. Iran J Publ Health 2018; 47(8): 1172-80.

34 .Selahvarzi S, Sobhanardakani S. Analysis and health risk assessment of toxic (Cd and Pb) and essential (Cu and Zn) elements through consumption of potato (*Solanum tuberosum*) cultivated in Iran. Int J Environ Anal Chem 2020; doi: 10.1080/03067319.2020.1807974.

35 .Nik Ghadami M, Fotovat A, Khorasani R. [Effect of different levels of sewage sludge on concentrations of zinc, copper, cadmium and lead in radish and basil plants and some soil chemical properties]. J Soil Manage Sustain Prod 2020; 10(3): 115-34 (In Persian).

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/jehe.9.1.59]

36 .Berrow ML, Stein WM. Extraction of metals from soils and sewage sludges by refluxing with aqua regia. Analyst 1983; 108: 277-85.

37 .Kumar V, Chopra AK. Agronomical performance of high yielding cultivar of eggplant (*Solanum melongena L.*) grown in sewage sludge amended soil. Res Agric 2016; 1(1): 1-24.

38 .Karami M, Rezaei Nezhad Y, Afyuni M, et al. [Cumulative and residual effects of municipal sewage sludge on lead and cadmium concentrations in soil and wheat plants]. J Agric Sci Technol Nat Res 2007; 11(1): 79-94 (In Persian).

39 .Khodivi B. [Effect of organic fertilizers on chemical forms of heavy metals in soil and adsorption of these elements by wheat]. Master's thesis. Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology 2003 (In Persian).

40 .Morera MT, Echeverria J, Garrido J. Bioavailability of heavy metals in soils amended with sewage sludge. Can J Soil Sci 2002; 82: 433-8.

41 .McGrath SP, Zhao FJ, Dunham SJ, et al. Long-term changes in the extractability and bioavailability of zinc and cadmium after sludge application. J Environ Qual 2000; 29: 875-83.

42 .Behbahani Nia A, Mirbagheri SA, Azadi A. [The effect of effluent and sludge in plants irrigation on heavy metals concentration of plants]. J Plant Ecosys 2011; 7(28): 59-70 (In Persian).

43 .Wei YJ, Liu Y. Effects of sewage sludge compost application on crops and cropland in a 3-year field study. Chemosphere 2005; 9(59): 1257-65.

44 .World Health Organization. The world health report 2002, reducing risks, promoting healthy life. Geneva: World Health Organization; 2002. Technical Report.

45 .Behbahaninia A, Mirbagheri SA, Khorasani N, et al. Heavy metal contamination of municipal effluent in soil and plants. J Food, Agric Environ 2009; 7(3-4): 851-6.

46 .Perez-Murcia MD, Moral R, Moreno-Caselles J, et al. Use of composted sewage sludge in growth media for broccoli. Biores Technol 2006; 97: 123-30.

47 .Harmanescu M, Alda LM, Bordean DM, et al. Heavy metals health risk assessment for population via consumption of vegetables grown in old mining area a case study Banata county Romania. Chem Cent J 2011; 5(54):1-10.

48 .Wang Y, Qiao M, Liu YY. Health risk assessment of heavy metals in soils and vegetables and potential risk for human health. Sci Agr 2010; 69(1): 54-60.

49 .Huguet NF, Cid R, Schuhmacher M, et al. Risk assessment of metals from consuming vegetables fruits and rice grown on soils irrigated with waters of the Ebro River in Catalonia Spain. Biol Trace Elem Res 2008; 123: 66-79.

50 .Baba Akbari Sari M, Shakuri M, Hasani A. [Evaluation of heavy metals risk indices due to vegetable consumption in Varamin]. J Soil Manage Sustain Prod 2019; 9(1): 119-33 (In Persian

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/jehe.9.1.59]

Journal of Environmental Health Engineering, December 2021; Vol. 9, No. 1: 59-72

Assessing the effects of bio-organic and chemical fertilizers application on absorption of macronutrients and heavy metals in vegetables (Case study: *Lepidium sativum*)

M. Younesian[1], M. Cheraghi[2*], S. Sobhanardakani[3], B. Lorestani[2] and H. Merrikhpour[4]

[1] PhD. Candidate in Environmental Science, Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran.

[2] Ph.D. in Environmental Science, Associate Professor of Environmental Science, Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran

[3] Ph.D. in Environmental Science, Professor of Environmental Science, Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran.

[4] Ph.D. in Soil Science, Assistant Professor of Soil Science, Department of Green Space, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Sayyed Jamaleddin Asadabadi University, Asadabad, Iran

****E-mail: cheraghi@iauh.ac.ir***

Received: 22 July. 2021; Accepted: 9 October. 2021

ABSTRACT

Background & Objective: Long-term used of sewage sludge and fertilizer causes accumulation of heavy metals in the soil, which may lead to excessive absorption of these elements by plants and consequently entering these toxic metals into the human and animal food chain. Therefore, this study was conducted to investigate the effects of bio-organic and chemical fertilizers application on the absorption of macronutrients and heavy metals in *Lepidium sativum*.

Materials & Methods: In this descriptive study, the experiment was carried out in a completely randomized design with three replications in the environment and greenhouse conditions. Fertilizer treatments included chemical fertilizer treatment (diammonium phosphate), anaerobically digested sludge compost, sludge compost without digestion and raw sludge at the weight of 28, 57 and 115 g and control treatment. Finally, the concentrations of heavy metals Pb, Cd, Hg and As and macronutrients including phosphorus, nitrogen and carbon in the leaf of *L. sativum* were measured using ICP-OES. All statistical analysis was performed using SPSS version 21.

Results: The results showed that the maximum mean concentrations of As and nitrogen in *L. sativum* vegetables were 0.592 and 10.2 mg/kg in 115 g raw sludge treatment, the maximum mean concentration of Cd, Hg, Pb, carbon and phosphorus elements in *L. sativum* were 0.956, 0.701, 1.25, 98.5 and 10.3 mg/kg, respectively in 115 g treatment raw diammonium phosphate fertilizer. The results of variance analysis showed that there was a significant difference between fertilizer, sludge and control treatment and there was a significant difference between amounts 28, 57 and 115 g from fertilizer treatment in *L. sativum* in terms of concentration of heavy metals and macronutrients ($p < 0.050$).

Conclusion: In conclusion, it was concluded that increasing the amount of fertilizer and sludge in the soil leads to an increase in the concentration of heavy metals and macro nutrients in *L. sativum*. Therefore, in the use of fertilizers and sludge for agricultural lands, it is necessary to pay attention to this issue. It was also found that the highest uptake of heavy metals and macronutrients in *L. sativum* was related to raw sludge treatment and diammonium phosphate fertilizer, which is indicating better quality of compost with respect to chemical fertilizer and raw sludge.

Keywords: Bio-organic fertilizer, Chemical fertilizer, Heavy metals, Macronutrient, *Lepidium sativum*.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/jehe.9.1.59]