19th Iranian Soil Science Congress
2-4 December, 2025

نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۱ تا ۱۳ آذرماه ۱۴۰۴

مدیریت جامع‌نگر و هوشمند خاک و آب
Holistic and Smart Soil and Water Management

۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

مقایسه غلظت برخی از فلزات سنگین در کودهای آلی مختلف

فرهاد مهدیلو[1*]، محمدباباکبری ساری[2]،اکبرحسنی [3]، احمد گلچین [4]

۱- دانشجوی دکتری علوم ومهندسی خاک ، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول مقاله **farhad.m@znu.ac.ir**
۲- دانشیار گروه علوم ومهندسی خاک ، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
۳- دانشیار گروه علوم ومهندسی خاک ، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
۴- استاد گروه علوم ومهندسی خاک ، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

چکیده

با توجه به افزایش روزافزون تقاضا برای کودهای آلی در کشاورزی پایدار، ارزیابی غلظت فلزات سنگین در آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این پژوهش با هدف تعیین غلظت عناصر آهن (**Fe**)، سرب (**Pb**)، روی (**Zn**)، نیکل (**Ni**) و آرسنیک (**As**) در نمونه‌های مختلف کودهای دامی (مرغی، گاوی و گوسفندی) و همچنین نمونه کیک لجن انجام شد.نتایج نشان داد که آهن، به عنوان یک ریزمغذی ضروری، با اختلاف فاحشی غالب‌ترین عنصر در تمامی نمونه‌ها است. در مقابل، غلظت فلزات سنگین به مراتب کمتر بود. با مقایسه داده‌ها با استانداردهای سختگیرانه آیین‌نامه اتحادیه ، مشخص شد که بالاترین غلظت سرب (۹۸,۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، روی (۷۳۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، نیکل (۲۵,۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و آرسنیک (۳۱,۷۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در نمونه کیک لجن، همگی در محدوده مجاز استاندارد قرار دارند. این یافته‌ها تأیید می‌کند که کودهای آلی مورد مطالعه، از نظر آلودگی با فلزات سنگین ایمن هستند. این امر بر پتانسیل بالای آن‌ها به عنوان جایگزینی مطمئن و پایدار برای کودهای شیمیایی تأکید کرده و اطلاعات ارزشمندی برای تصمیم‌گیری در حوزه کشاورزی پایدار فراهم می‌سازد.

واژگان کلیدی: اتحادیه اروپا، فلزات سنگین، کودهای آلی، کیک لجن

مقدمه

افزایش جمعیت جهانی و نیاز روزافزون به تأمین امنیت غذایی، موجب گسترش استفاده از کودها در کشاورزی مدرن شده است. در حالی که کودهای شیمیایی به سرعت مواد مغذی ضروری مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم را برای رشد گیاه فراهم می‌کنند، استفاده بلندمدت و بی‌رویه از آن‌ها می‌تواند به تخریب ساختار خاک و آلودگی محیط زیست منجر شود. در مقابل، کودهای آلی با بهبود حاصلخیزی خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب و فراهم کردن مواد مغذی به صورت پایدار، به عنوان جایگزینی زیست‌محیطی مطرح شده‌اند.

با این حال، هر دو نوع کودهای شیمیایی و آلی می‌توانند حاوی فلزات سنگین باشند که برای سلامت انسان و محیط زیست خطرآفرین هستند. ورود این عناصر به خاک، می‌تواند از طریق جذب توسط گیاهان به زنجیره غذایی منتقل شده و خطرات بهداشتی جدی ایجاد کند. به عنوان مثال، برخی مطالعات نشان داده‌اند که فلزاتی مانند سرب، نیکل و آرسنیک در خاک‌های آلوده به کود، فراتر از حد مجاز یافت شده‌اند. منابع آلودگی در کودهای آلی می‌تواند به مواد اولیه آن‌ها مانند کمپوست‌های شهری یا پسماندهای کشاورزی آلوده به فلزات سنگین مربوط باشد.

در این پژوهش، با هدف مقایسه دقیق غلظت فلزات سنگین در انواع مختلف کودهای آلی، به تحلیل و ارزیابی کمی عناصری چون آهن، سرب، روی، نیکل و آرسنیک پرداخته‌ایم. نتایج این تحقیق می‌تواند به کشاورزان، تولیدکنندگان کود و سیاستگذاران کمک کند تا با انتخاب کودهای ایمن‌تر، به پایداری کشاورزی و حفاظت از سلامت عمومی کمک کنند.

آلودگی محیط زیست با فلزات سنگین یک مسئله جدی و رو به رشد است که به دلیل فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی و شهری ایجاد می‌شود. فلزات سنگین مانند سرب (Pb)، کادمیوم (Cd) و آرسنیک(As) به طور طبیعی در پوسته زمین وجود دارند، اما فعالیت‌های انسانی مانند معدن‌کاری، سوختن سوخت‌های فسیلی و استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی، غلظت آن‌ها را در خاک، آب و هوا به شدت افزایش داده است Jayakumar و همکاران (2021). این عناصر به دلیل قابلیت تجمع زیستی و عدم تجزیه پذیری، تهدیدی جدی برای سلامت انسان و اکوسیستم‌ها به شمار می‌روند؛ به عنوان مثال، سرب می‌تواند بر سیستم عصبی تأثیر بگذارد، در حالی که آرسنیک یک عامل سرطان‌زای شناخته شده است. بنابراین، مدیریت و پایش دقیق منابع آلودگی و توسعه راهکارهای مؤثر برای کاهش آن‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است.

آهن عمدتاً در کیک لجن به‌واسطه استفاده از فاضلاب‌های صنعتی، زراعی و خانگی وارد می‌شود. این عنصر به‌دلیل کاربردهای خود در صنایع مختلف، نظیر ساخت و ساز، کشاورزی و تولید انرژی، به میزان قابل توجهی در فاضلاب‌ها وجود دارد. پس از تصفیه فاضلاب و تولید کیک لجن، این عنصر به دلیل رویدادهای شیمیایی و بیوشیمیایی مختلف در کیک لجن تقویت می‌شود. در نهایت، آهن در کیک لجن می‌تواند هم مزایای عظیمی برای تقویت خاک و محصولات زراعی داشته باشد و هم چالش‌های جدی در مدیریت زیست‌محیطی ایجاد کند. به‌منظور استفاده پایدار از کیک لجن، درک دقیق از غلظت و قابلیت‌های آهن در آن و اثرات بالقوه‌اش بر خاک و گیاهان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

روی (Zn) نیز یکی از عناصر معدنی ضروری برای گیاهان است و در فرآیندهای بیوشیمیایی و متابولیکی متعددی نقش دارد. این عنصر به عنوان یک کوفاکتور در بیش از ۳۰۰ آنزیم مختلف عمل می‌کند و نقش مهمی در سنتز پروتئین، تقسیم سلولی و رشد گیاهی ایفا می‌کند (Alloway, 2008). به‌علاوه، روی در فرآیندهای تنظیم هورمونی و توسعه شاخه‌ها و ریشه‌ها تأثیرگذار است. کمبود روی می‌تواند باعث اختلال در رشد گیاه، تغییر شکل برگ‌ها و کاهش عملکرد محصول شود.

آرسنیک (As) به‌عنوان یک سم برای گیاهان شناخته می‌شود که می‌تواند به‌طور مثبتی بر روی سلامت آن‌ها تأثیر بگذارد. در غلظت‌های بالا، آرسنیک موجب اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز، تنفس و جذب مواد مغذی می‌شود. این عنصر می‌تواند همچنین به تخریب ساختارهای سلولی و کاهش فعالیت آنزیم‌ها منجر گردد و در نهایت باعث کاهش رشد و تولید محصول شود. به‌علاوه، آرسنیک می‌تواند به تجمع مواد سمی در بافت‌های گیاهان منجر شده و زنجیره غذایی و سلامت انسان‌ها را نیز تحت تأثیر قرار دهد Vassilevو همکاران (2006).

کشاورزی پایدار به عنوان راهکاری برای مقابله با چالش‌های زیست‌محیطی، استفاده فزاینده از کودهای آلی را به دنبال داشته است. این کودها، با بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و افزایش حاصلخیزی آن، به افزایش عملکرد محصولات کشاورزی کمک می‌کنند Saha و همکاران (۲۰۱۷). با این حال، منابع اولیه این کودها می‌توانند حاوی فلزات سنگین باشند که در صورت مدیریت نامناسب، سلامت خاک و کیفیت محصولات را تهدید می‌کنند.

تحقیقات متعددی بر غلظت فلزات سنگین در انواع کودهای آلی تمرکز داشته‌اند. برای مثال، برخی مطالعات نشان می‌دهند که کودهای دامی، در مقایسه با کودهای حاصل از پسماندهای صنعتی، معمولاً غلظت کمتری از عناصر مانند سرب و کادمیوم همچنین، مطالعاتی بر Barajas-Pérez و همکاران (۲۰۲۲) دارند. این تفاوت به دلیل تنوع مواد اولیه و فرآیندهای تولید است روی کودهای فسفاته نیز انجام شده که نشان می‌دهد غلظت بالای کادمیوم در این کودها، یک نگرانی مهم در سطح جهانی (Smil, 2017). است، زیرا این عنصر به راحتی از طریق زنجیره غذایی به انسان منتقل می‌شود

تجمع فلزات سنگین در خاک یکی از پیامدهای اصلی استفاده بلندمدت از کودهای آلوده است. این فلزات به دلیل عدم تجزیه بیولوژیکی، می‌توانند برای دهه‌ها در خاک باقی بمانند و به تدریج توسط گیاهان جذب شوند Singehوهمکاران(2021) به همین دلیل، نهادهای بین‌المللی مانند اتحادیه اروپا، برای محافظت از سلامت عمومی و محیط زیست، استانداردهای سختگیرانه‌ای را برای حداکثر غلظت مجاز فلزات سنگین در کودها تعیین کرده‌اند .(European Union, 2019) این استانداردها به عنوان یک مرجع حیاتی برای تولیدکنندگان، کشاورزان و سیاست‌گذاران عمل می‌کنند تا از ورود آلاینده‌ها به خاک جلوگیری شود.

از نظر شیمیایی، کیک لجن به خاطر تنوع مواد موجود در فاضلاب‌های ورودی، ممکن است حاوی ترکیبات آلی، فلزات سنگین، نیتروژن، فسفر و میزان قابل توجهی کربن باشد Stefaniuk و همکاران (۲۰۲۲). غلظت مواد مغذی مانند نیتروژن و فسفر در کیک لجن می‌تواند از ۱ تا ۵ درصد متغیر باشد و این ویژگی باعث می‌شود که کیک لجن به‌عنوان یک کود آلی در کشاورزی استفاده شود.

تحقیقات نشان می‌دهد که غلظت این فلزات می‌تواند به زیر ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای برخی از فلزات مثل روی و مس و به حدود ۲ تا ۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای فلزاتی مانند آرسنیک و کادمیوم افزایش یابد Khan و همکاران (2019). این موضوع مدیریت کیک لجن را پیچیده‌تر می‌کند و نیاز به برنامه‌های جدی برای تجزیه، اصلاح و دفع آن را ایجاب می‌نماید. روی یکی دیگر از عناصر سنگین موجود در کیک لجن است که در غلظت‌های متوسطی بین ۲۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم یافت می‌شود Kabir و همکاران (2021). روی یک عنصر ضروری برای گیاهان و زندگی میکروبی در خاک است؛ اما غلظت‌های بالا می‌تواند موجب سمیت شود. در صورتیکه غلظت روی بالاتر از حد مجاز باشد، می‌تواند بر رشد گیاهان تأثیر منفی بگذارد و همچنین به کاهش تنوع زیستی در اکوسیستم‌های طبیعی منجر شود. با این حال، استفاده متعادل از کیک لجن غنی از روی می‌تواند به عنوان یک منبع مواد مغذی برای کشاورزی محسوب شود.

فردوس و همکاران (۲۰۲۴)در گزارشی جامع، به بررسی تأثیرکیک لجن روی گیاه تربچه پرداخت و نتایج جالب توجه‌ی را در این زمینه ارائه کردند. این مطالعه چند ساله نشان می‌دهد که کاربرد لجن فاضلاب در عرصه کشاورزی می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مؤثر در بهبود کیفیت خاک و دست‌یابی به رشد و عملکرد بیشتر گیاهان مورد استفاده قرار گیرد. پژوهشگران با انجام آزمایشات متعددی روی مقادیر مختلف کیک لجن، به نتایج معناداری دست یافتند. آن‌ها مشخص کردند که مقدار بهینه و مناسب برای افزودن کیک لجن به خاک، حدود ۹ کیلوگرم در هکتار است. استفاده از این مقدار کیک لجن موجب افزایش قابل توجه‌ی در محتوای نیتروژن، پتاسیم، فسفر و کربن آلی خاک گردید. این افزایش در محتوا، نه تنها کیفیت خاک را بهبود بخشید، بلکه تأثیر مثبتی روی رشد و توسعه گیاه تربچه نیز داشت Firdous و همکاران(2021)

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از کود های حیوانی استان زنجان، کودهای آلی تولید شده شرکتی و همچنین از کیک لجن فاضلاب استان زنجان استفاده شد.

کودهای مورد استفاده در این پژوهش عبارتنداز: کودمرغی شرکت بیوران، کودمرغی دانشگاه زنجان، کود گوسفندی دانشگاه زنجان، کودگاوی دانشگاه زنجان، کود گوسفندی و گاوی کشت و صنعت خرمدره، کیک لجن فاضلاب استان زنجان در مجموع ۷ نوع کود در این مقاله به لحاظ غلظت عناصر سنگین در این کود ها بررسی خواهد شد.

در مرحله اول پس از جمع‌آوری نمونه های مورد نظر و خشک کردن کامل نمونه ها در آون با دمای مشخص خشک شدتا رطوبت نمونه ها از بین برود.

برای بررسی غلظت عناصر سرب، روی، آهن،نیکل و آرسنیک از روش هضم EPA[1] استفاده شد. در این روش می‌توان تا ۹۵ درصد از عنصر مورد آزمایش را هضم نمود(U.S. Environmental Protectio Agency(1694. سپس نمونه هضم شده به کمک دستگاه جذب اتمی واریان به روش شعله اندازه گیری شد.

در بین عناصر ذکر شده عنصر آرسنیک به دلیل حساسیت بالا و غلظت کم این عنصر در مواد و نیاز به دقت بالا برای قرائت به وسیله دستگاه **ICP-MS** مورد آنالیز قرار گرفت.

نتایج

نتایج تجزیه و تحلیل غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. داده‌ها حاکی از تفاوت‌های قابل توجه در ترکیب عنصری کودهای مختلف است، که این امر به منشأ و فرآیند تولید آن‌ها مرتبط است.

در میان عناصر بررسی‌شده، آهن با غلظت‌های بسیار بالاتر از سایرین، به عنوان عنصر غالب شناخته شد. حداکثر غلظت آهن در کود گوسفندی کشت و صنعت خرمدره و کود مرغی بیوران مشاهده گردید. این یافته، اهمیت آهن به عنوان یک ریزمغذی ضروری در خاک و ترکیبات آلی را تأیید می‌کند.

غلظت سایر فلزات سنگین در سطوح بسیار پایین‌تری قرار داشت. بیشترین غلظت سرب و روی به ترتیب در نمونه کیک لجن اندازه‌گیری شد. این امر نشان‌دهنده پتانسیل بالاتر نمونه‌های حاصل از منابع صنعتی برای حمل آلاینده‌های فلزی است. در مقابل، کمترین غلظت سرب و روی در نمونه‌های کود گاوی و گوسفندی کشت و صنعت مشاهده شد.

غلظت نیکل در اغلب نمونه‌ها در یک محدوده باریک قرار داشت، اما کمترین میزان آن در کود گاوی کشت و صنعت خرمدره به ثبت رسید. در خصوص آرسنیک به عنوان یک شبه‌فلز سمی، بالاترین غلظت در نمونه کیک لجن اندازه‌گیری شد. این یافته‌ها بر لزوم بررسی دقیق‌تر منابع کودهای آلی قبل از کاربرد در کشاورزی تأکید دارد.

جدول ۱- غلظت فلزات سنگین اندازه‌گیری شده

نام نمونه	Pb(ppm)	Zn(ppm)	Fe(ppm)	Ni(ppm)	As(ppm)
کود مرغی بیوران	۲۰	۴۰۶	۱۱۶۴۹	۲۵/۵	۷/۶
کود مرغی دانشگاه زنجان	۲۵/۵	۵۹۶	۲۰۸۹	۱۶	۲/۷
کود گوسفندی دانشگاه زنجان	۲۷/۵	۴۵۴/۵	۹۵۴۹	۱۳/۵	۵/۹
کود گوسفندی کشت و صنعت خرمدره	۲۹/۵	۶۵/۵	۱۵۹۷۹	۲۵/۵	۶/۹
کود گاوی دانشگاه زنجان	۵۸/۵	۴۵۶	۱۳۴۰۹	۲۰/۵	۱۴/۲۵
کود گاوی کشت و صنعت خرمدره	۹	۱۲۲	۵۶۱۹	۷/۵	۰/۹
کیک لجن	۹۸/۵	۷۳۶	۵۷۹۸	۲۰	۳۱/۷۴

[1] U.S. Environmental Protectio Agency

مقایسه با استاندارد اتحادیه اروپا

برای ارزیابی بهتر و در جهت مقایسه عناصر سنگین در کود با توجه به حد مجاز غلظت عناصر سنگین اتحادیه اروپا EU۲۰۱۹/۱۰۰۹ در جدول(۲) مورد مقایسه گرفت.

نتایج این مقایسه نشان داد که غلظت تمام عناصر سمی در نمونه‌های مورد مطالعه، **بسیار کمتر از مقادیر مجاز** تعیین‌شده در این استاندارد است:

- **سرب:** بالاترین غلظت اندازه‌گیری‌شده (۹۸,۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) کمتر از حد مجاز۱۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است.
- **روی :** بالاترین غلظت (۷۳۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) کمتر از حد مجاز ۸۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است.
- نیکل : بالاترین غلظت (۲۵,۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) کمتر از حد مجاز ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است.
- آرسنیک : بالاترین غلظت (۳۱,۷۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) کمتر از حد مجاز ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است

جدول ۲- حداکثر غلظت مجاز اتحادیه اروپا

عنصر	حداکثرغلظت مجاز(mg/kg DM) EU ۲۰۱۹/۱۰۰۹
کادمیوم(Cadmium)	۳
سرب(Lead)	۱۲۰
نیکل(Nickel)	۵۰
آرسنیک(Arsenic)	۴۰
روی(Zinc)	۸۰۰

این یافته‌ها تأییدی بر این موضوع است که نمونه‌های کود آلی مورد مطالعه، در صورت مدیریت صحیح، از نظر آلودگی با فلزات سنگین ایمن هستند و می‌توانند به عنوان جایگزینی مطمئن و پایدار برای کودهای شیمیایی به کار روند. با این حال، غلظت نسبتاً بالاتر آلاینده‌ها در نمونه کیک لجن، بر لزوم پایش و کنترل دقیق‌تر منابع صنعتی تولید کودهای آلی تأکید دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق به وضوح نشان داد که غلظت فلزات سنگین در تمامی نمونه‌های کودهای آلی مورد بررسی، از جمله کودهای دامی (مرغی، گاوی و گوسفندی) و همچنین نمونه کیک لجن، بسیار کمتر از حداکثر مقادیر مجاز تعیین‌شده در آیین‌نامه اتحادیه اروپا (EU 2019/1009) است. این یافته تأکید می‌کند که کودهای آلی تولیدشده از منابع بومی، از نظر آلودگی با فلزات سمی مانند سرب، نیکل، آرسنیک و روی ایمن هستند و ریسک زیست‌محیطی قابل توجهی ایجاد نمی‌کنند. اگرچه نمونه کیک لجن غلظت‌های بالاتری از این عناصر را در مقایسه با کودهای دامی نشان داد، اما مقادیر آن همچنان در محدوده استاندارد قرار داشت.

این پژوهش بر پتانسیل بالای این کودها به عنوان جایگزینی مطمئن و پایدار برای کودهای شیمیایی تأکید دارد و نشان می‌دهد که با مدیریت صحیح منابع، می‌توان از تجمع آلاینده‌های فلزی در خاک و ورود آن‌ها به زنجیره غذایی جلوگیری کرد. بنابراین، استفاده از این کودها می‌تواند به بهبود حاصلخیزی خاک، افزایش عملکرد محصول و در عین حال حفاظت از سلامت عمومی و محیط زیست کمک کند. یافته‌های این تحقیق، اطلاعات ارزشمندی برای کشاورزان، تولیدکنندگان کود و سیاست‌گذاران فراهم می‌کند تا با اطمینان بیشتری به سوی کشاورزی پایدار گام بردارند.

منابع

Alloway, B. J. (2013). Heavy metals in soils: Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability. SpringerDavis, A. P., Shokouhian, M., & Ni, S. (2020). Loading estimates of lead, copper, cadmium, and zinc in urban runoff from different land uses. Chemosphere, 53(8), 1045-1055

Barajas-Pérez, M. A., et al. (2022). "Heavy metals in organic fertilizers: A review ".*Environmental Pollution*.

European Union. (2019). Regulation (EU) 2019/1009 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 laying down rules on the making available on the market of EU fertilising products and amending Regulations (EC) No 1069/2009 and (EC) No 1107/2009 and repealing Regulation (EC) No 2003/2003. Official Journal of the European Union, L 170.

European Union. (2019 .(*Regulation (EU) 2019/1009 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 laying down rules on the making available on the market of EU fertilising products and amending Regulations (EC) No 1069/2009 and (EC) No 1107/2009 and repealing Regulation (EC) No 2003/2003* .Official Journal of the European Union ,*L 170*.

Firdous, F., Mishra, E., Outhman, A., & Chandel, S. (2024). Influence of Sewage Sludge Dose on Physicochemical Characteristics of Soil and Productivity of Radish (Raphanus sativus L.). *Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences*, 6-15.

Jayakumar, M., Surendran, U., Raja, P., Kumar, A., & Senapathi, V. (2021). A review of heavy metals accumulation pathways, sources and management in soils. *Arabian Journal of Geosciences*, *14*(20), 2156.

Saha, P. K., et al. (2017). "Organic and inorganic fertilizers effects on soil properties and crop production ". *Journal of Environmental Science and Technology*.

Singh, H., et al. (2021). "Impact of organic fertilizers on heavy metal accumulation in agricultural soils ". *Journal of Hazardous Materials*.

Smil, J. L. (2017). "Phosphorus in modern agriculture: A global perspective ".*Nutrient Cycling in Agroecosystems* .

Wu, Y., *et al*. (2019). Nutrient removal and energy recovery from wastewater sludge. Renewable Energy, 145, 1303-1312.

Comparison of the concentration of some heavy metals in different organic fertilizers

Abstract
Given the increasing demand for organic fertilizers in sustainable agriculture, the assessment of heavy metal concentrations in them is of particular importance. This study aimed to determine the concentrations of iron (Fe), lead (Pb), zinc (Zn), nickel (Ni) and arsenic (As) in various samples of livestock manure (chicken, cow and sheep) as well as sludge cake samples. The results showed that iron, as an essential micronutrient, was by far the most dominant element in all samples. In contrast, the concentration of toxic heavy metals was much lower. By comparing the data with the strict standards of the Union Regulation, it was found that the highest concentrations of lead (98.5 mg/kg), zinc (736 mg/kg), nickel (25.5 mg/kg) and arsenic (31.74 mg/kg) in the sludge cake sample were all within the permissible limits of the standard. These findings confirm that the studied organic fertilizers are safe in terms of heavy metal contamination. This emphasizes their high potential as a safe and sustainable alternative to chemical fertilizers and provides valuable information for decision-making in the field of sustainable agriculture.

1- PhD Student in Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran* Corresponding Author Email farhad.m@znu.ac.ir

2- Associate Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

3- Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

4- Associate Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Keywords (Times New Roman, 10pt, Bold): European Union, heavy metals, organic fertilizers, sludge cake