اثر لجن فاضلاب بر عملکرد و جذب فلزات سنگین به وسیله کاهو و اسفناج

مجید افیونی*، یحیی رضایی نژاد* و بابک خیامباشی**

چکیده

لجن فاضلاب[1] منبعی غنی از عناصر غذایی گیاه به شمار می‌رود و به همین علت به عنوان یک کود ارزان قیمت مورد توجه کشاورزان قرار گرفته است. اما وجود فلزات سمی در لجن فاضلاب و امکان جذب این عناصر توسط گیاه و ورود آنها به زنجیره غذایی انسان و حیوان نباید از نظر دور بماند. هدف از انجام این تحقیق تعیین میزان جذب فلزات سنگین توسط گیاه در زمینهای تیمار شده با لجن فاضلاب و تعیین اثر تجمعی و باقیمانده لجن فاضلاب بر جذب این عناصر به وسیله گیاه می‌باشد. این مطالعه در مزرعه، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، دوگیاه (کاهو، Lactuca sativa L. و اسفناج Spinacia oleracea L.) و سه سطح لجن فاضلاب (صفر، ۲۲/۵ و ۴۵ تن در هکتار) انجام گرفت. برای تعیین اثر باقیمانده و تجمعی لجن بر جذب فلزات به‌وسیله گیاه، هرکرت به دو قسمت تقسیم گردید. در یک قسمت بدون افزودن لجن و در قسمت دیگر با افزودن مجدد لجن به مقدار تیمارهای ذکر شده در بالا، اقدام به کشت گیاهان گردید. در هر مرحله غلظت کل و غلظت قابل عصاره‌گیری عناصر سنگین به‌وسیله EDTA[2] در خاک تعیین گردید. غلظت فلزات سنگین در اندام هوایی و ریشه گیاهان جداگانه اندازه‌گیری شد.

غلظت کل مس، روی و سرب با افزایش سطح لجن فاضلاب در خاک افزایش یافت، اما این افزایشها معنی‌دار نبودند. اضافه کردن لجن فاضلاب باعث افزایش معنی‌دار غلظت قابل عصاره‌گیری مس، روی و سرب به‌وسیله EDTA در خاک و جذب این فلزات توسط گیاه گردید. اما اثر باقیمانده و تجمعی لجن بر غلظت قابل عصاره‌گیری و جذب فلزات درگیاهان معنی‌دار نبود. عملکرد هر دوگیاه با افزایش لجن به‌صورت معنی‌دار افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی - *لجن فاضلاب، فلزات سنگین، قابلیت جذب، کاهو، اسفناج*

مقدمه

ارزش لجن فاضلاب به عنوان کود در تحقیقات متعدد در کشورهای مختلف نشان داده شده است (۳، ۴، ۵ و ۲۰). لجن فاضلاب یک منبع غنی ازت، فسفر، و عناصر کم‌مصرف مانند آهن، روی و مس برای گیاه به‌شمار می‌رود (۲و۱۳) . به دلیل وجود عناصر غذایی مورد نیاز گیاه مانند ازت و فسفر، لجن‌فاضلاب به عنوان کودی ارزان قیمت مورد توجه کشاورزان قرار گرفته است (۱۲ و ۲۴). در جهان سالانه حدود ۳۰ میلیون تن لجن فاضلاب تولید می‌شود که بیش از ۷۰ درصد آن

* استادیار گروه خاک شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

** دانشجوی سابق کارشناسی ارشد خاک شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۱- Sewage sludge ۲- Ethylenediaminetetraacetic acid

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-30]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1377.2.1.2.1]

به‌عنوان کود به زمینهای کشاورزی اضافه می‌گردد (۱۴). لجن فاضلاب همچنین به علت دارابودن درصد مواد آلی نسبتاً زیاد بر هدایت هیدرولیکی، پایداری خاکدانه‌ها، تهویه و رطوبت خاک تأثیر مطلوب دارد (۵، ۱۱ و ۲۴).

لجن فاضلاب دارای مقادیر زیادی از عناصر سنگین نظیر کادمیوم، سرب، نیکل و دیگر فلزات سمی می‌باشد. هنگامی که لجن فاضلاب به زمین اضافه می‌شود، گیاه همراه با عناصر غذایی ضروری این عناصر را نیز جذب می‌کند. تحقیقات نشان داده که استفاده دراز مدت از لجن فاضلاب موجب تجمع عناصری مانند کادمیوم، سرب و دیگر فلزات سنگین در خاک می‌شود، که این امر ممکن است موجب جذب بیش از حد این عناصر توسط گیاه و در نتیجه وارد شدن این فلزات سمی به زنجیره غذایی انسان و حیوان شود (۷، ۸، ۱۰، ۱۴، ۱۵ و ۱۶). چینی و همکاران (۸)، در تحقیقی که به مدت شش سال به طول انجامید، گزارش کردند که بیش از ۹۰ درصد از فلزات سنگین اضافه شده همراه با لجن فاضلاب در عمق ۱۵ سانتیمتری خاک باقی می‌ماند و با افزایش سطح لجن اضافه شده به خاک، جذب کادمیوم و روی توسط گیاه افزایش می‌یابد. اپستاین و همکاران (۹) نیز، در تحقیقی که به مدت چهار سال به طول انجامید، گزارش کردند که مقدار جذب مس، روی و کادمیوم توسط گیاهان با افزایش سطح لجن فاضلاب اضافه شده به خاک افزایش می‌یابد.

جذب فلزات سنگین توسط گیاه و ورود آنها به زنجیره غذایی انسان و حیوان ممکن است باعث بیماریهای متعددی در آنها شود. برای مثال، بروز بیماریهای متعدد ناشی از مصرف زیادکادمیوم درگیاه برنج (که با پساب فاضلاب آبیاری شده بود) را در کشاورزان ژاپن می‌توان نام برد (۲۱). برای پیشگیری از جذب بیش از حد فلزات سمی توسط گیاه و ورود این فلزات به زنجیره غذایی انسان و دام، برخی از کشورها قوانینی برای اضافه کردن لجن فاضلاب به زمینهای کشاورزی وضع کرده‌اند (۷ و ۲۳). برای مثال، سازمان حفاظت محیط زیست امریکا[1] حد مجاز فلزات کادمیوم، سرب، روی و مس را در لجن فاضلاب که به عنوان کود در زمینهای کشاورزی مصرف می‌شود، به ترتیب ۸۵، ۸۴۰، ۷۵۰ و ۴۳۰۰ میلی‌گرم درکیلوگرم تعیین کرده است (۷). در ایران به علت نبودن سیستم گسترده تصفیه فاضلاب، هنوز لجن فاضلاب به مقدار زیاد تولید نمی‌شود. اما با توسعه این سیستم‌ها در شهرهای مختلف، در آینده نه‌چندان دور مقدار لجن فاضلاب تولید شده افزایش خواهد یافت.

در شهر اصفهان چهار تصفیه خانه فاضلاب فعالیت می‌کنند که سالانه مقادیر زیادی لجن فاضلاب تولید می‌نمایند. این لجن به خاطر ارزانی قیمت توسط کشاورزان به صورت گسترده‌ای خریداری شده و به عنوان کود استفاده می‌شود. اما تحقیقی در مورد میزان آلودگی زمینهای کشاورزی اصفهان با فلزات سنگین ناشی از لجن فاضلاب صورت نگرفته است. همچنین اطلاعی از میزان جذب این فلزات توسط گیاهان در این اراضی موجود نیست. هدف از اجرای این طرح تعیین مقدار جذب فلزات سنگین توسط گیاه و عملکرد گیاه در زمینهای تیمار شده با لجن فاضلاب و همچنین تعیین اثر باقیمانده و تجمعی استفاده از لجن فاضلاب بر جذب فلزات به وسیله گیاه و انباشت آنها در خاک می‌باشد. در این تحقیق از دو گیاه اسفناج و کاهو استفاده شده است. تحقیقات متعدد نشان داده که این دو گیاه قادرند مقدار زیادی از فلزات سنگین نظیر کادمیوم و سرب را بدون کاهش محصول و یا نشان دادن آثار مسمومیت جذب نمایند (۱۸ و ۲۱). دلیل دیگر استفاده از این دو گیاه، نقش مهم آنها در رژیم غذایی مردم ایران می‌باشد.

مواد و روشها

این طرح به صورت بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار، دو گیاه و سه سطح لجن فاضلاب درکرتهایی به ابعاد ۶×۴ متر، در مزرعه تحقیقاتی لورک واقع در نجف آباد، متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان اجرا گردید. خاک مزرعه دارای pH برابر ۷/۵ (در آب) و EC برابر ۱/۸ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد و به

۱- USEPA

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-30]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1377.2.1.2.1]

صورت تیپیک‌هاپل آرجید، فاین لومی - میکسد، ترمیک[1] طبقه‌بندی شده است. سطوح لجن فاضلاب شامل شاهد (بدون لجن فاضلاب)، ۲۲/۵ تن در هکتار (سطح ۱) و ۴۵ تن در هکتار (سطح ۲) بود. برای بررسی اثر باقیمانده و تجمعی لجن بر جذب فلزات به وسیله گیاه و تجمع فلزات سنگین در خاک، لجن فاضلاب برای هر دو سطح یکبار در سال ۱۳۷۴ و یکبار در سال ۱۳۷۵ به خاک اضافه گردید، که به ترتیب به آنها مرحله اول و مرحله دوم گفته می‌شود. برای اضافه کردن لجن فاضلاب در مرحله دوم، هر یک از کرتهای اولیه به دو کرت به ابعاد ۴×۴ و ۴×۲ متر تقسیم شد و سپس به کرت بزرگتر تیمار لجن فاضلاب، در هر دو سطح ۲۲/۵ و ۴۵ تن در هکتار، برای بار دوم اضافه گردید و در کرت کوچکتر لجن فاضلاب اضافه نشد. لجن فاضلاب پس از اضافه شدن در کرتها تا عمق ۳۰ سانتیمتری با خاک مخلوط گردید.

کشت گیاهان به صورت ردیفی و با فاصله ۳۰ سانتیمتر بین ردیفها انجام شد. آبیاری به صورت کرتی و با آب چاه مزرعه لورک صورت گرفت. هدایت الکتریکی و pH آب آبیاری به ترتیب برابر ۱/۱ دسی‌زیمنس برمتر و ۷/۴ بود. در طول دوره رشد گیاهان، علفهای هرز به وسیله علف‌کشها و با دست کنترل شدند. نمونه برداری از اسفناج ۷۰ روز و از کاهو ۹۰ روز بعد از کاشت انجام گرفت. پس از برداشت نمونه‌های گیاهی، آنها را با آب مقطر شستشو داده و سپس اندام هوایی و ریشه از هم تفکیک شدند. در این مرحله عملکرد تر گیاه با توزین بخش هوایی تعیین شد. سپس نمونه‌ها در دمای ۶۵ درجه سانتیگراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. پس از خشک شدن، نمونه‌ها به صورت پودر درآمد تا غلظت فلزات جذب شده توسط گیاه در آنها تعیین گردد.

برای تعیین غلظت مس، روی، سرب و کادمیوم در گیاه، از روش اکسیداسیون تر با مخلوط اسیدنیتریک و پرکلریک به نسبت ۲:۱ استفاده شد (۲). برای تعیین غلظت فلزات و خواص شیمیایی خاک، نمونه‌برداری از خاک در دو مرحله صورت گرفت. مرحله اول به منظور تعیین مقدار اولیه فلزات در خاک قبل از افزودن لجن فاضلاب و مرحله دوم همزمان با برداشت گیاهان مورد آزمایش انجام گرفت. در هر دو مرحله، نمونه‌های خاک از دو عمق ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتیمتری از هر کرت برداشته شد. از هر دو عمق فوق در هر کرت ۵ نمونه تصادفی برداشته شد و پس از مخلوط کردن نمونه‌ها یک نمونه برای انجام آزمایش تهیه گردید. نمونه‌های خاک پس از انتقال به آزمایشگاه، در هوا خشک، کوبیده و از الک ۲ میلیمتری عبور داده شد.

هدایت الکتریکی و pH نمونه‌های خاک در کل اشباع به وسیله روشهای معمول اندازه‌گیری شد. مقدار ماده آلی خاک به وسیله روش واکلی و بلاک[2] تعیین گردید. برای تعیین غلظت کل فلزات در خاک، از روش اکسیداسیون به وسیله اسیدنیتریک ۴ مولار استفاده شد. برای تعیین مقدار قابل جذب فلزات، به ۱۰ گرم نمونه خاک ۲۵ میلی‌لیتر محلول ۰/۰۰۵ مولار EDTA اضافه گردید و به مدت ۱۶ ساعت در دستگاه تکان دهنده قرار داده شد (۱و۲). پس از صاف کردن مخلوط با کاغذ صافی واتمن ۴۲، غلظت فلزات در محلول صاف شده به وسیله دستگاه جذب اتمی[3] تعیین گردید. خواص شیمیایی و غلظت فلزات در لجن فاضلاب، با همان روشهایی که برای نمونه‌های خاک به کار رفت تعیین شد. آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام گرفت (۲۲).

نتایج و بحث

خواص لجن فاضلاب

بعضی از ویژگیهای شیمیایی لجن فاضلاب در جدول ۱ نشان داده شده است. مقدار ماده آلی نسبتاً زیاد آن می‌تواند اثر مطلوبی بر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک گذارد و این مخصوصاً برای خاکهای ایران که با کمبود مواد آلی مواجه هستند حائز اهمیت می‌باشد. تحقیقات نشان می‌دهد که اضافه کردن لجن فاضلاب باعث بهبود خواص هیدرولیکی، کاهش

۱- Typic Haplargid, fine-loamy, mixed, thermic

۲- Walkly and Black

۳- Atomic Absorbtion Spectrophotometer (Perkin-Elmer 3030)

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-30]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1377.2.1.2.1]

جدول ۱ - برخی از خواص شیمیایی لجن فاضلاب استفاده شده

پارامتر	مقدار	
pH	۶/۴	
هدایت الکتریکی	۱۰/۲	دسی‌زیمنس برمتر در عصاره ۲:۱ (لجن:آب)
ماده آلی	۳۱	درصد
فسفر	۳	درصد
نیتروژن	۲/۶	درصد
سدیم	۳۸۰	میلی‌گرم در لیتر*
پتاسیم	۲۵۸	〃 〃
کلسیم	۸۴۶	〃 〃
منیزیم	۳۳۰	〃 〃
روی	۷۸۸	میلی‌گرم در کیلوگرم لجن**
مس	۵۹۶	〃 〃 〃 〃
سرب	۴۲۹	〃 〃 〃 〃
کادمیوم	۳/۴	〃 〃 〃 〃
آهن	۱۳۶۰۰	〃 〃 〃 〃
نیکل	۴۷	〃 〃 〃 〃

*- محلول، عصاره‌گیری شده با آب مقطر به نسبت ۲:۱ (لجن : آب)

**- غلظت کل، عصاره‌گیری شده با اسید نیتریک ۴ مولار

وزن مخصوص ظاهری و تحکیم دانه‌بندی خاک می‌شود (۵،۹و۱۱).

هدایت الکتریکی نسبتاً بالای لجن فاضلاب بیانگر وجود املاح زیاد در آن است. املاح موجود در لجن فاضلاب عمدتاً نمکهای سدیمی می‌باشد که یا در تهیه غذا به کار رفته و یا در ترکیب شوینده‌ها و پاک‌کننده‌ها وجود دارد. استفاده بی‌رویه از لجن فاضلاب در زمینهای زراعی ممکن است سبب افزایش هدایت الکتریکی خاک گردد. لجن فاضلاب دارای pH نسبتاً اسیدی است. وجود اسیدهای آلی در لجن باعث کاهش pH آن می‌گردد. هدایت الکتریکی بیش از ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر و pH اسیدی برای لجن فاضلاب در سایر تحقیقات نیز گزارش شده است (۲۳و۲۵).

لجن به ترتیب دارای ۲/۶ و ۳ درصد ازت و فسفر کل است. بنابراین با اضافه کردن ۲۲/۵ و ۴۵ تن لجن در هکتار به ترتیب حدود ۵۸۵ و ۱۱۷۰ کیلوگرم ازت و ۶۷۵ و ۱۳۵۰ کیلوگرم فسفر در هکتار به زمین اضافه می‌شود. البته لازم به ذکر است که بخش عمدهٔ ازت و فسفر موجود در لجن فاضلاب به صورت آلی بوده و قبل از این‌که قابل جذب گیاه شود باید از طریق فرایندهای زیستی به ازت و فسفر معدنی تبدیل شود.

گیاهان در خاکهای آهکی اغلب دارای کمبود آهن و روی

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-30]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1377.2.1.2.1]

جدول ۲ - غلظت کل فلزات (میلی‌گرم در کیلوگرم) در عمقهای ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتیمتری خاک، برای تیمارهای مختلف لجن فاضلاب (تن در هکتار)

	شاهد	سطح ۱		سطح ۲	
	۰	[1]۲۲/۵	[2]۲۲/۵+۲۲/۵	[1]۴۵	[2]۴۵+۴۵
	۱۵-۰ سانتیمتری				
مس	۲۴/۵a*	۲۹/۵a	۳۰/۵a	۳۳/۲a	۳۹/۳b
روی	۴۱/۷a	۴۵/۰a	۴۳/۸a	۴۵/۵a	۵۲/۱b
سرب	۳۱/۳a	۳۳/۰a	۳۵/۷a	۳۴/۳a	۳۶/۲a
کادمیوم	۱/۸a	۱/۸a	۱/۹a	۱/۸a	۱/۹a
	۳۰-۱۵ سانتیمتری				
مس	۲۴/۳a	۲۶/۸a	۲۹/۰a	۳۰/۵a	۳۱/۳a
روی	۳۷/۵a	۴۳/۸a	۴۴/۰a	۴۱/۷a	۴۵/۸a
سرب	۳۱/۴a	۳۲/۲a	۳۲/۷a	۳۳/۸a	۳۴/۰a
کادمیوم	۱/۱a	۱/۸a	۱/۸a	۱/۸a	۱/۹a

۱- در مرحلهٔ اول در سال ۱۳۷۴، لجن فاضلاب در دو سطح ۲۲/۵ و ۴۵ تن در هکتار به زمین اضافه شد.

۲- در مرحلهٔ دوم در سال ۱۳۷۵، لجن فاضلاب به مقدار ۲۲/۵ و ۴۵ تن در هکتار به دو سوم سطح کرتها اضافه شد.

*- اعداد هر ردیف که دارای حرف مشابه نیستند، دارای اختلاف معنی‌دار ($p>0/05$) هستند.

می‌باشند که این کمبودها در مورد خاکهای آهکی اصفهان نیز گزارش شده است (۱۹). با اضافه کردن ۲۲/۵ و ۴۵ تن در هکتار لجن فاضلاب به ترتیب حدود ۱۸ و ۳۶ کیلوگرم روی و ۳۰۶ و ۶۱۲ کیلوگرم آهن در هکتار به خاک اضافه می‌گردد. بخشی از آهن و روی در لجن فاضلاب در ترکیبات آلی وجود دارد. این فلزات با تجزیه مواد آلی در لجن تدریجاً وارد محلول خاک شده و جذب گیاه می‌شوند. لجن فاضلاب همچنین دارای مقادیر زیادی از عناصر غذایی دیگر نظیر مس و پتاسیم می‌باشد.

غلظت عناصر غذایی در این لجن مشابه دامنه غلظتهایی است که در منابع گزارش شده است (۱۷و۲۵).

غلظت سرب و کادمیوم در لجن فاضلاب مورد استفاده در این تحقیق از حد مجاز بسیار پایین‌تر است. حد مجاز سرب و کادمیوم در لجن فاضلاب در آمریکا به ترتیب ۸۴۰ و ۸۵ و در اروپا ۱۲۰۰ و ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم تعیین شده است (۱۴و۲۳). احتمالاً به علت ماهیت شهری فاضلاب اصفهان، غلظت این دو عنصر در لجن آن نسبتاً کم است.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-30]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1377.2.1.2.1]

غلظت کل فلزات

غلظت کل فلزات مس، روی، سرب و کادمیوم در خاک (عصاره‌گیری شده با اسید نیتریک ۴ مولار) در جدول ۲ نشان داده شده است. غلظت کل تمام فلزات به جز کادمیوم، در هر دو عمق ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتیمتری خاک، با اضافه‌کردن میزان لجن فاضلاب روند افزایشی نشان می‌دهد. اما این افزایشها فقط در عمق ۱۵-۰ سانتیمتری و در تیمار ۴۵+۴۵ تن لجن فاضلاب در هکتار برای مس و روی معنی‌دار می‌باشد. غلظت کل فلزات در عمق ۱۵-۰ سانتیمتری، در مرحله اول و دوم برای دو سطح ۱ و ۲، با اضافه‌کردن لجن فاضلاب روند افزایشی نشان داد اما این اختلافات معنی‌دار نبود. غلظت کمتر فلزات در عمق ۳۰-۱۵ سانتیمتری در مقایسه با ۱۵-۰ سانتیمتری، به‌خاطر پویایی کم این فلزات در خاک و همچنین عدم مخلوط شدن لجن فاضلاب در این عمق می‌باشد. در این تحقیق غلظت کل مس، روی، سرب و کادمیوم از حد بحرانی گزارش شده برای این عناصر در خاک بسیار کمتر است. چینی (۷) غلظت کل بحرانی برای مس، روی، سرب و کادمیوم در خاک را به ترتیب ۱۰۰، ۴۰۰، ۲۰۰ و ۸ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش کرده است (۷).

غلظت فلزات قابل عصاره‌گیری با EDTA

غلظت فلزات عصاره‌گیری شده به وسیله EDTA در جدول ۳ نشان داده شده‌است که از این پس به آنها غلظت قابل جذب گفته می‌شود. افزایش میزان لجن فاضلاب به خاک باعث افزایش معنی‌دار غلظت قابل جذب همه فلزات به جز کادمیوم در هر دو عمق خاک گردید و بیشترین افزایش به ترتیب برای مس و روی بود. این عناصر مورد نیاز گیاه می‌باشند و خاکهای آهکی اغلب با کمبود آنها مواجهند. این نتایج نشان می‌دهد که لجن فاضلاب منبع خوبی برای تأمین این عناصر غذایی گیاه است. نتایج مشابهی توسط دیگر محققین برای روی، مس، آهن و منگنز گزارش شده است (۱،۲و۸).

افزایش غلظت سرب قابل جذب با میزان لجن اضافه شده فقط در عمق ۱۵-۰ سانتیمتری معنی‌دار بوده است (جدول ۳). افزایش سرب قابل جذب گیاه یکی از عوامل محدودکننده استفاده از لجن فاضلاب به عنوان کود به‌شمار می‌رود (۱۳). در این تحقیق به علت این‌که لجن فاضلاب منشأ شهری دارد و مقدار فاضلاب صنعتی تخلیه شده به آن کم است لذا میزان سرب آن در مقایسه با لجنهای صنعتی نسبتاً کم می‌باشد (۲۵). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که غلظت سرب و همچنین کادمیوم در این لجن فاضلاب عامل محدودکننده‌ای از نظر زیست محیطی به شمار نمی‌رود.

اختلاف معنی‌دار در غلظت مس و روی قابل جذب و افزایش میزان سرب قابل جذب، یک سال پس از کاربرد لجن فاضلاب در هر دو سطح ۱ و ۲، بیانگر آزاد شدن تدریجی این فلزات از شکل آلی می‌باشد. این موضوع مخصوصاً برای عناصر غذایی مورد نیاز گیاه مانند مس، روی، آهن، فسفر و ازت حائز اهمیت است. این نتایج نشان می‌دهد که با یک‌بار اضافه کردن لجن فاضلاب می‌توان حداقل برای مدت یک سال نیاز گیاه را به عناصر غذایی تأمین کرد. نتایج مشابهی در مورد اثر باقیمانده و تجمعی لجن بر مقدار عناصر قابل جذب در خاک توسط دیگران گزارش شده است (۱،۲،۸و۹).

جذب فلزات به‌وسیله گیاه

همان گونه که در قسمت قبل اشاره شد، اضافه کردن لجن فاضلاب به خاک باعث افزایش غلظت فلزات قابل جذب گیاه می‌شود (جدول ۳). بنابراین انتظار می‌رود که غلظت این فلزات در گیاه نیز با اضافه کردن لجن فاضلاب به خاک افزایش یابد. جدولهای ۴ و ۵ غلظت فلزات را در اندام هوایی و ریشه گیاهان کاهو و اسفناج نشان می‌دهند. افزایش مقدار لجن فاضلاب اضافه شده به خاک باعث افزایش معنی‌دار غلظت مس، روی و سرب در اندام هوایی کاهو گردید. غلظت روی و سرب نیز در گیاه اسفناج با افزایش سطوح لجن فاضلاب در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. نتایج مشابهی توسط محققین دیگر گزارش شده است (۱۳و۱۸).

غلظت فلزات به جز کادمیوم در اندام هوایی گیاه کاهو بین

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-30]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1377.2.1.2.1]

جدول ۳ - غلظت فلزات در عصاره EDTA (میلی‌گرم در کیلوگرم) در عمقهای ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتیمتری خاک، برای تیمارهای مختلف لجن فاضلاب (تن در هکتار)

	شاهد	سطح ۱		سطح ۲	
	۰	[1]۲۲/۵	[2]۲۲/۵+۲۲/۵	[1]۴۵	[2]۴۵+۴۵
	۱۵-۰ سانتیمتری				
مس	۱/۳a*	۲/۹b	۴/۱c	۵/۱d	۷/۱e
روی	۱/۱a	۴/۲b	۵/۰b	۶/۷c	۱۱/۸d
سرب	۲/۱a	۲/۸b	۳/۰b	۳/۴c	۳/۹c
کادمیوم	ND**	ND	ND	ND	ND
	۳۰-۱۵ سانتیمتری				
مس	۱/۳a	۲/۴b	۳/۱c	۳/۴c	۶/۸d
روی	۱/۱a	۲/۳b	۳/۵c	۴/۱c	۴/۸d
سرب	۲/۰a	۲/۵a	۲/۶a	۲/۷a	۳/۱a
کادمیوم	ND	ND	ND	ND	ND

۱- در مرحلهٔ اول در سال ۱۳۷۴، لجن فاضلاب در دو سطح ۲۲/۵ و ۴۵ تن در هکتار در سال ۱۳۷۴ به زمین اضافه شد.

۲- در مرحلهٔ دوم در سال ۱۳۷۵، لجن فاضلاب به مقدار ۲۲/۵ و ۴۵ تن در هکتار به دو سوم سطح کرتها اضافه شد.

*- اعداد هر ردیف که دارای حرف مشابه نیستند، دارای اختلاف معنی‌دار ($p>0/05$) هستند.

**- ND = غلظت پایین‌تر از حد تشخیص دستگاه جذب اتمی

مرحله اول و دوم در هر دو سطح روند افزایشی نشان می‌دهد. این افزایشها برای مس در سطح ۲ و برای روی در هر دو سطح ۱ و ۲ معنی‌دار بود. در مورد گیاه اسفناج، غلظت فلزات در اندام هوایی گیاه بین مراحل اول و دوم، برای روی در سطح ۲ و برای سرب در هر دو سطح ۱ و ۲ افزایش معنی‌دار داشت.

جدولهای ۴ و ۵ همچنین اثر لجن فاضلاب را بر غلظت فلزات در ریشه گیاهان مورد آزمایش نشان می‌دهند. غلظت فلزات به جز کادمیوم در ریشه کاهو نیز مانند اندام هوایی آن با افزایش سطح لجن فاضلاب افزایش یافت. ولی در ریشه افزایش غلظت مس و روی بین مراحل اول و دوم، برای هر دو سطح لجن معنی‌دار بود. غلظت فلزات به جز کادمیوم در ریشه گیاه اسفناج نیز با افزایش سطح لجن فاضلاب افزایش یافت و این

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-30]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1377.2.1.2.1]

جدول ۴ - اثر تیمارهای لجن فاضلاب (تن در هکتار) بر غلظت فلزات (میلی‌گرم در کیلوگرم) در اندام هوایی و ریشه گیاه کاهو

	شاهد	سطح ۱		سطح ۲	
	۰	[1]۲۲/۵	[2]۲۲/۵+۲۲/۵	[1]۴۵	[2]۴۵+۴۵
	اندام هوایی				
مس	۸/۸a*	۱۰/۳b	۱۰/۸b	۱۰/۵b	۱۷/۵c
روی	۳۳/۰a	۴۵/۰b	۵۰/۰c	۵۰/۰c	۵۸/۰d
سرب	۶/۳a	۷/۹b	۷/۵b	۸/۹c	۹/۶d
کادمیوم	۱/۰a	۱/۲a	۱/۱a	۱/۳a	۱/۴a
	ریشه				
مس	۹/۲a	۱۳/۴b	۱۸/۴c	۱۳/۳b	۱۹/۵c
روی	۳۳/۰b	۳۰/۰a	۴۵/۰d	۳۶/۰c	۴۰/۰d
سرب	۴/۵a	۷/۶b	۸/۷b	۷/۱b	۷/۶b
کادمیوم	۱/۰a	۱/۲a	۱/۲a	۱/۱a	۱/۲a

۱- در مرحلهٔ اول در سال ۱۳۷۴، لجن فاضلاب در هر دو سطح ۲۲/۵ و ۴۵ تن در هکتار به زمین اضافه شد.

۲- در مرحلهٔ دوم در سال ۱۳۷۵، لجن فاضلاب به مقدار ۲۲/۵ و ۴۵ تن در هکتار به دو سوم سطح کرتها اضافه شد.

*- اعداد هر ردیف که دارای حرف مشابه نیستند دارای اختلاف معنی‌دار ($p>0/05$) هستند.

افزایشها فقط برای مس و روی معنی‌دار بود.

مقایسه غلظت فلزات در اندام هوایی و ریشه گیاهان، بسته به عنصر و گیاه روند خاصی را نشان می‌دهد. در گیاه کاهو، به جز برای فلز روی اختلاف چندانی بین غلظت فلزات در اندام هوایی و ریشه این گیاه وجود ندارد. اندام هوایی کاهو در تمام تیمارها دارای غلظت بیشتر عنصر روی نسبت به ریشه این گیاه بود (جدول ۴). در تمام تیمارها غلظت مس در ریشه کاهو بیش از اندام هوایی این گیاه بود. در گیاه اسفناج غلظت مس و روی در اندام هوایی بیش از غلظت این عناصر در ریشه این گیاه بود (جدول ۵). غلظت سرب و کادمیوم در اندام هوایی و ریشه اسفناج نیز روند مشخصی را نشان نمی‌دهد.

غلظت فلزات در گیاهان از حد سمی آنها که در منابع گزارش شده است بسیار پایین‌تر بود. دامنه غلظت سمی برای مس، روی، سرب و کادمیوم به ترتیب ۱۰۰-۲۰ ، ۴۰۰-۱۰۰ ، ۳۰۰-۳۰ و ۳۰-۵ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد (۷). نتایج حاصله در این مطالعه نشان می‌دهد که حتی با اضافه کردن ۹۰

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-30]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1377.2.1.2.1]

جدول ۵ - اثر تیمارهای لجن فاضلاب (تن در هکتار) بر غلظت فلزات (میلی‌گرم در کیلوگرم) در اندام هوایی و ریشه گیاه اسفناج

	شاهد	سطح ۱		سطح ۲	
	۰	[1]۲۲/۵	[2]۲۲/۵+۲۲/۵	[1]۴۵	[2]۴۵+۴۵
	اندام هوایی				
مس	۱۰/۴a*	۱۰/۳a	۱۰/۰a	۱۱/۲a	۱۱/۴a
روی	۴۲/۰a	۴۳/۰a	۴۵/۰a	۴۸/۰b	۵۸/۰c
سرب	۶/۱a	۶/۸a	۸/۴b	۸/۰b	۹/۶c
کادمیوم	۱/۳a	۱/۳a	۱/۳a	۱/۴a	۱/۴a
	ریشه				
مس	۷/۰a	۶/۷a	۸/۲a	۶/۸a	۸/۵a
روی	۱۸/۳a	۲۵/۰b	۲۵/۵b	۲۵/۰b	۲۸/۳c
سرب	۷/۷a	۶/۳a	۹/۰b	۶/۳a	۹/۶c
کادمیوم	۱/۰a	۱/۱a	۱/۰a	۱/۰a	۱/۱a

۱- در مرحلهٔ اول در سال ۱۳۷۴، لجن فاضلاب در دو سطح ۲۲/۵ و ۴۵ تن در هکتار به زمین اضافه شد.

۲- در مرحلهٔ دوم در سال ۱۳۷۵، لجن فاضلاب به مقدار ۲۲/۵ و ۴۵ تن در هکتار به دو سوم سطح کرتها اضافه شد.

*- اعداد هر ردیف که دارای حرف مشابه نیستند، دارای اختلاف معنی‌دار ($p>0/05$) هستند.

تن لجن فاضلاب در هکتار غلظت فلزات سنگین در گیاهان فاصله زیادی تا حد سمی آنها دارد. از دلایل جذب کم فلزات به‌وسیله گیاه، آهکی بودن خاک و غلظت کم این عناصر در لجن فاضلاب را می‌توان نام برد (۲).

عملکرد

با افزایش سطح لجن فاضلاب، عملکرد کاهو و اسفناج به صورت معنی‌دار (در سطح ۱٪) افزایش یافت (جدول ۶). افزایش عملکرد احتمالاً بیش از هر فاکتور دیگر به میزان ازت و فسفر موجود درلجن فاضلاب مربوط می‌شود (جدول ۱). همچنین وجود درصد مواد آلی زیاد در لجن فاضلاب، احتمالاً باعث بهبود شرایط فیزیکی خاک برای رشد بهتر گیاهان شده است.

عملکرد کاهو و اسفناج برای مراحل اول و دوم، در هر دو سطح ۲۲/۵ و ۴۵ تن در هکتار، با افزایش سطح لجن فاضلاب افزایش یافت، اما این افزایشها معنی‌دار نبود. این نتایج نشان می‌دهد که اضافه کردن لجن فاضلاب لااقل برای دو کاشت گیاه

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-30]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1377.2.1.2.1]

جدول ۶ - اثر سطوح مختلف لجن فاضلاب (تن برهکتار) بر عملکرد ترکاهو و اسفناج

	شاهد	سطح ۱		سطح ۲	
	۰	[1]۲۲/۵	[2]۲۲/۵+۲۲/۵	[1]۴۵	[2]۴۵+۴۵
کاهو	۱۳۳۴a*	۲۴۵۰b	۲۶۶۹b	۳۲۱۵c	۳۳۳۵c
اسفناج	۲۶۰۴a	۳۹۰۲b	۴۴۳۶bc	۴۶۲۶c	۴۷۱۲c

۱- در مرحلهٔ اول در سال ۱۳۷۴، لجن فاضلاب در هر دو سطح ۲۲/۵ و ۴۵ تن در هکتار به زمین اضافه شد.

۲- در مرحلهٔ دوم در سال ۱۳۷۵، لجن فاضلاب به مقدار ۲۲/۵ و ۴۵ تن در هکتار به دو سوم سطح کرتها اضافه شد.

*- اعداد هر ردیف که دارای حرف مشابه نیستند دارای اختلاف معنی‌دار ($p>0/01$) هستند.

کافی است و نیاز نیست که هر سال لجن فاضلاب اضافه گردد. افزایش عملکرد در اثر تیمار لجن فاضلاب به وسیله محققین دیگر نیز گزارش شده است (۱،۲و۴).

سپاسگزاری

بدین وسیله از دانشگاه صنعتی اصفهان برای تأمین هزینه‌های این طرح و از آقایان دکتر موسوی و دکتر کلباسی برای پیشنهادهای ارزنده ایشان تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع مورد استفاده

۱- افیونی، م. و ف. نوربخش ۱۳۷۵. قابلیت جذب برخی عناصر سنگین در خاکهای آهکی تیمار شده با لجن فاضلاب به وسیله گیاه سورگوم، مجله آب و فاضلاب، شماره ۲۰، ص ۹-۴.

2- Afyuni, M. 1987. Extractability of Fe, Zn, and Cd in sludge amended calcareous soils. M.S. Thesis. New Mexico State Univ., Las Cruces, N.M.

3- Andrew, M. J. 1984. Land application of sewage sludge with regard to cropping systems and pollution potentials. J. Environ. Qual. 13: 441-448.

4- Baker, E. G. and P. J. Mathews. 1983. Metals in sewage sludge and their potential effects in agriculture. Water Sci. Res. 15: 209-225.

5- Bauer, A. and A. L. Black. 1992. Organic carbon effect on available water capacity of three soil texture groups. Soil Sci. Soc. Am. J. 56: 248-254.

6- Bierman, P. M. and C. J. Rose. 1994. Phosphate and trace metal availability from sewage sludge incinerator ash. J. Environ. Qual. 23: 822-830.

7- Chaney, R. L. 1989. Scientific analysis of proposed sludge rule. Biocycle, 30: 80-85.

8- Chaney, R. L., T. B. Munns, and H. M. Cathey. 1980. Composted digested sewage sludge compost in supplying nutrients for soilless potting media. J. Am. Soc. Hort. Sci. 105: 485-492.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-30]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1377.2.1.2.1]

9- Epstein, E., J. M. Taylor, and R. L. Chaney. 1976. Effects of sewage sludge and sludge compost applied to soil on some soil physical and chemical properties. J. Environ. Qual. 5: 422-427.

10- Fujii, R. and R. B. Cory. 1986. Estimation of isotopically exchangeable Cd and Zn in soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 50: 306-308.

11- Glauser, R., H. E. Doner, and E. A. Poul. 1988. Soil aggregate stability as a function of particle size in sludge treated soils. Soil Sci. 146: 37-43.

12. Gouin, F. R. 1985. Growth of hardy chrysanthemums in containers of media amended with composted municipal sewage sludge. J. Environ. Hort. 3: 53-55.

13- Handreck, K. A. 1994. Effect of pH on the uptake of Cd, Cu, and Zn from soilless media containing sewage sludge. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 25: 1913-1927.

14- Hassan Dar, G. and M. M. Mishra. 1994. Influence of Cd on carbon and nitrogen mineralization in sewage sludge amended soils. Environ. Poll. 84: 285-290.

15- John, M. K., C. J. Van Laer, and H. M. Chuah. 1982. Factors affecting plant uptake of phytotoxic levels of Cd added to soil. Environ. Sci. Tech. 6:1005-1009.

16- Jones, R. L., T. D. Hinesly, and E. L. Ziegler. 1985. Cadmium content of soybean grown in sewage sludge amended soils. J. Environ. Qual. 14: 351-353.

17- Kirchmann, H. 1994. Animal and municipal organic waste and waste water quality. p. 163-233. In: R. Lal and B. A. Stewart (eds.) Soil Processes and Water Quality. Lewis Pub., Ann Arbor, MI.

18- Kim, S. J. 1988. Relative concentration of Cd and Zn in tissue of selected food plants grown on sludge treated soils. J. Environ. Qual. 17: 568-575.

19- Lindsay, W. L. and W. L. Norvell. 1978. Development of a soil test for Zn, Fe, Mn, and Cu. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 42: 421-428.

20- McCasline, B. D. and G. A. O'Connor. 1982. Potential fertilizer value of sewage sludge on a calcareous soil. New Mexico State Univ. Agri. Exp. .t. Bull. 692.

21- Pierzynski, G. M., J. T. Sims, and G. F. Vance. 1993. Soils and Environmental Quality. Lewis Pub., Ann Arbor, MI.

22- SAS "SAS User's Guide: Statistics". 1985. 5th Ed., Cary, North Carolina. SAS Institute, Inc.

23- Singh, B. R. and E. Steinnes. 1994. Soil and water contamination by heavy metals. p. 233-271. In: R. Lal and B. A. Stewart (eds.) Soil Processes and Water Quality. Lewis Pub. Ann Arbor, MI.

24- Smith, S. R. 1992. Sewage sludge and refuse composts as peat alternatives for conditioning impoverished soils. J. Hort. Sci. 67: 703-716.

25- Sommers, L. E. 1977. Chemical composition of sewage sludge and analysis of their potential use as fertilizers. J. Environ. Qual. 6: 225-231.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-30]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1377.2.1.2.1]