

## Production and Characterization of Liquid Fertilizer from Urban Sewage Biological Sludge

### ABSTRACT

**Background and purpose:** Currently, various methods are employed for sewage sludge disposal, such as drying, burning, and land application. However, each of these methods possesses inherent vulnerabilities. Sewage sludge management is challenging not only due to its high production levels but also because of the elevated concentrations of heavy metals and pathogens it contains. Extensive research has demonstrated that converting sewage sludge into organic fertilizers, including liquid fertilizer, offers numerous advantages. These advantages include reduced heavy metal content, compatibility with irrigation systems, enhanced plant absorption rates, and increased growth efficiency. Therefore, the objective of this study was to investigate the properties of sewage sludge and the liquid fertilizer derived from it.

**Materials and Methods:** In this study, biological sludge was processed into liquid fertilizer using a 0.25 molar solution. The biological sludge and liquid fertilizer were characterized by conducting tests to determine the concentration of heavy metals (Zn, Pb, Cd, Cr, Ni, Fe, and Cu), total nitrogen, total phosphorus, soluble potassium, total sodium concentration, electrical conductivity, and pH.

**Results:** The results indicated that the total nitrogen and soluble potassium concentrations decreased as the extraction of organic matter from the sludge increased. Conversely, the phosphorus content, total sodium concentration, electrical conductivity, and pH exhibited an upward trend.

**Conclusion:** The findings of this study demonstrate that liquid fertilizer derived from sewage sludge possesses favorable characteristics, making it suitable for use as a soil modifier in the agricultural sector.

**Keywords:** Liquid fertilizer, Sewage sludge, Waste management and recovery

### Maryam Namdari

M.Sc. in Pollution Environmental Science,  
Faculty of Natural Resource Isfahan University  
of Technology, Iran \*(Corresponding Author).

### Mohammad Reza Atabaki

\* M.Sc. in Pollution Environmental Science,  
Faculty of Natural Resource Isfahan University  
of Technology, Iran.

m\_namdari22@yahoo.com

Received:2023/01/21

Accepted: 2023/04/04

**Document Type:** Research article

Doi:10.22038/jreh.2023.66549.1528

► **Citation:** Namdari M, Atabaki MR. Production and characterization of liquid fertilizer from urban sewage biological sludge. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Summer 2023; 9(2): 160-168.

## تولید و مشخصه‌یابی کود مایع از لجن بیولوژیک فاضلاب شهری

### مریم نامداری

\* کارشناس ارشد آلودگی‌های محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.  
(نویسنده مسئول):

m\_namdari22@yahoo.com

### محمدرضا اتابکی

کارشناس ارشد آلودگی‌های محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۱۵

نوع مقاله: پژوهشی

## چکیده

**زمینه و هدف:** امروزه روش‌های دفع لجن فاضلاب شامل خشک شدن، سوزاندن و استفاده در زمین است، اما هر یک از این روش‌ها آسیب‌پذیری خود را دارد. مدیریت لجن فاضلاب نه تنها به دلیل مقادیر بالای تولید، بلکه به خاطر غلظت بالای فلزات سنگین و عوامل بیماری‌زا در آن دشوار است. تحقیقات نشان داده تبدیل لجن فاضلاب به کودهای آلی از جمله کود مایع آلی به‌خاطر مزیت‌های فراوانی که دارد (از جمله میزان فلزات سنگین کمتر، قابلیت استفاده آسان همراه با سیستم آبیاری، قابلیت جذب سریع‌تر به‌وسیله گیاهان و افزایش بازدهی رشد آن‌ها و غیره) بسیار مورد توجه قرار گرفته است. مطالعه حاضر با هدف بررسی ویژگی‌های لجن بیولوژیک فاضلاب و کود مایع آلی حاصل از آن انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** در این پژوهش لجن بیولوژیک با استفاده از محلول سود ۰/۲۵ مولار طی سه مرحله استخراج به کود مایع تبدیل شد. مشخصه‌یابی لجن و کود مایع تولیدی با انجام آزمایش‌های تعیین غلظت فلزات سنگین (روی، سرب، کادمیوم، کروم، نیکل، آهن و مس)، درصد نیتروژن کل، فسفر قابل جذب، پتاسیم محلول، غلظت سدیم کل، میزان هدایت الکتریکی و pH انجام شد.

**یافته‌ها:** بر اساس نتایج، میزان نیتروژن کل، پتاسیم محلول و غلظت فلزات سنگین با افزایش مراحل استخراج کود مایع آلی از لجن کاهش یافت، در صورتی که میزان فسفر قابل جذب، میزان سدیم کل، هدایت الکتریکی و pH افزایش یافت.

**نتیجه‌گیری:** کود مایع حاصل از لجن فاضلاب به دلیل ویژگی‌هایی که دارد می‌تواند به‌عنوان اصلاح کننده خاک در بخش کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد.

**کلید واژه‌ها:** کود مایع، لجن فاضلاب، مدیریت و بازیابی پسماند

## مقدمه

لجن فاضلاب<sup>۱</sup>، محصول اجتناب‌ناپذیر تصفیه‌خانه است که اگر به‌درستی دفع نشود، یک منبع آلودگی جدی است (۱). افزایش سریع جمعیت جهان، همچنین افزایش تعداد لوازم خانگی متصل به فاضلاب منجر به افزایش تدریجی حجم لجن فاضلاب تولید شده طی فرآیند تصفیه فاضلاب می‌شود و به‌دنبال آن، قوانین سخت‌گیرانه برای تصفیه پساب فاضلاب وضع شده است (۲).

فرآیند لجن فعال، یک روش بیولوژیک هوازی برای تصفیه فاضلاب و شامل زندگی میکروارگانیسم‌ها به همراه ماده آلی در یک محیط غنی از اکسیژن است (۳). واحد بیولوژیک مهم در این روند، مخازن هوادهی هستند که پساب فاضلاب را از مخازن رسوب اولیه دریافت می‌کنند، علاوه بر این بخشی از توده بیولوژیک (لجن فعال) از مخزن ته‌نشینی ثانویه به مخازن هوادهی بازگشت داده می‌شود. به‌منظور برقراری شرایط هوازی محیط، هوا یا اکسیژن فشرده به درون مخزن تزریق می‌شود، این عمل علاوه بر هوادهی سیستم باعث آمیختگی کامل مواد نیز می‌گردد، پس از ۶-۸ ساعت هم‌زدن فاضلاب (که اکنون به آن مایع مخلوط شده<sup>۲</sup> می‌گویند)، فاضلاب به سمت مخازن ته‌نشینی ثانویه هدایت می‌شود، در این قسمت مواد جامد (لاشه‌های باکتری‌ها) در اثر ته‌نشینی از بخش مایع فاضلاب جدا می‌شوند، بخشی از مواد ته‌نشین کرده تحت عنوان لجن فعال به مخازن هوادهی بازگشت داده شده و بقیه پس از فرآوری و تثبیت از سیستم دفع می‌شوند (۴).

در حال حاضر رایج‌ترین روش‌های دفع لجن فاضلاب، دفن پس از خشک شدن، سوزاندن و استفاده در زمین می‌باشد، اما هر یک از این روش‌ها آسیب‌پذیری خود را دارد (۱).

مصرف طولانی‌مدت لجن فاضلاب در خاک پس از ۴۰ سال، منجر به افزایش غلظت روی به ۶۱۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم، سرب به ۲۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، کادمیوم به ۳۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم و مس به ۴۷۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم در مقایسه با عدم استفاده

لجن می‌گردد. غلظت این فلزات در سطوح مشاهده شده، عوارض جانبی دائمی بر کیفیت خاک و تولید محصولات کشاورزی داشته است. کاهش در سطوح زیست توده میکروبی خاک و مهار تثبیت نیتروژن از عوارض جانبی مرتبط با چنین غلظت‌های فلزات سنگین است (۵).

وجود فلزات در شرایط طبیعی خاک معمولاً از حد نیاز کمتر است و به این دلیل خطر افزودن فلزات به خاک از طریق لجن فاضلاب‌ها از خطر کمی برخوردار است. به‌علت افزایش غلظت فلزات روی، نیکل، سرب و مس در اثر کاربرد لجن در خاک، تولید در اغلب محصولات به‌صورت معنی‌داری افزایش می‌یابد. در خاک‌های لومی آهک‌دار و خاک‌های رسی، وقتی لجن به‌صورت مایع استفاده شود و هم‌چنین در خاک‌های لومی شنی و رسی وقتی که لجن به‌صورت بستر خشک استفاده شود، کاهش عملکرد محصول مشاهده می‌شود. علت این کاهش عملکرد، احتمالاً به افزایش بیش از حد نیتروژن خاک مرتبط است (۶).

تصفیه بیولوژیکی فاضلاب عبارت است از تغییر فرم آلاینده‌های آلی محلول و معلق به فرم توده باکتریایی (بیومس) و آزادسازی گازهایی نظیر  $CO_2$ ،  $CH_4$ ،  $SO_2$ . فرآیند لجن فعال به‌طور گسترده‌ای در جهان به‌منظور تصفیه فاضلاب‌های شهری و پساب‌های صنعتی استفاده شده است و تقریباً در تمام کشورهای جهان از استقبال بیشتری در مقایسه با فرآیندهایی نظیر فیلم ثابت<sup>۳</sup> برخوردار است و می‌تواند در عمل تصفیه، بازده بهتری تا ۱۰ برابر و در واحد حجم راکتور از خود نشان دهد. ولی در مقابل، هزینه‌های سنگین بهره‌برداری را در پی یکی از مشکلات لجن فعال دارد (۷).

کود مایع آلی حاوی مواد آلی، اسید هیومیک، اسید فولویک، مواد معدنی مورد نیاز گیاهان، مانند نیترات، فسفات و آمونیاک می‌باشند. کود مایع آلی در واقع محلولی از اسید فولویک و اسید هیومیک هر دو با هم است. به‌دلیل مایع بودن این کودهای آلی

1. Sewage Sludge

2. Mixed liquor

3. Fixed film

• لجن فاضلاب با مقادیر بالایی از مواد آلی و عناصر غذایی مطابق کودهای مورد استفاده به‌عنوان کود کشاورزی و برای افزایش تولید بیومس می‌باشد (۱۰)، اما تبدیل لجن فاضلاب به کود مایع آلی از مزیت‌های زیادی برخوردار است که جامبالدورج و همکاران نشان دادند استفاده از کود مایع حاصل از لجن با غلظت‌های مناسب هم باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی و هم افزایش رشد گیاه می‌شود (۱۱). مطالعه حاضر با هدف تولید کود مایع آلی از لجن بیولوژیک و مشخصه‌یابی آن انجام شد.

## روش کار

### مواد و تجهیزات مورد استفاده

در این تحقیق، نمونه لجن بیولوژیک طی فرآیند هضم به وسیله سود به کود مایع آلی تبدیل شد. پارامترهای غلظت فلزات سنگین به‌وسیله دستگاه جذب اتمی مدل AAAnalyst ۷۰۰ (کارخانه سازنده Pekin Elmer)، نیتروژن کل (دستگاه اندازه‌گیری نیتروژن مدل UDK-129)، پتاسیم محلول به‌وسیله دستگاه فلیم فوتومتر مدل PFP7 (کارخانه سازنده Jenway)، غلظت سدیم دستگاه فلیم فوتومتر مدل PFP7، میزان pH به‌وسیله دستگاه pH متر مدل Research pH meter ۳۳۳۰ (کارخانه سازنده Jenway) و میزان هدایت الکتریکی به‌وسیله دستگاه EC متر مدل Conductivity meter ۴۳۱۰ (کارخانه سازنده Jenway) اندازه‌گیری شد.

### نمونه برداری لجن فاضلاب

لجن فاضلاب از واحد تصفیه‌خانه فاضلاب شهری واقع در استان چهارمحال و بختیاری، شهرستان شهرکرد به‌دست آمد. ۱۰ کیلوگرم لجن فاضلاب نیمه‌خشک در ظرف پلاستیکی مخصوص از محل دپوی لجن در واحد تصفیه‌خانه برداشته شد. در این واحد فاضلاب شهری، تصفیه فاضلاب توسط سیستم لجن فعال و از طریق تجزیه هوازی انجام می‌شود. لجن آنگیری شده در هوای آزاد به مدت ۷۲ ساعت قرار داده شد تا کاملاً خشک شود، سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه

استفاده و کاربرد آن‌ها در مزرعه کاری آسان است و به راحتی می‌توان آن‌ها را به آب آبیاری اضافه کرد و یا اینکه با استفاده از سیستم‌های افشانه‌ای از آن‌ها استفاده نمود. ممکن است تصور شود که کودهای مایع آلی با آبیاری شسته شده و از دسترس گیاهان خارج می‌شوند، اما به دلیل اینکه می‌توانند در شرایط محیطی، با خاک اتصالاتی برقرار کنند به راحتی شسته نشده و از دسترس گیاهان خارج نمی‌شوند. از طرف دیگر، هم از طریق برگ و هم از طریق ریشه قابلیت جذب دارند که سرعت تأثیرگذاری آن‌ها را افزایش می‌دهد. برای تولید کود مایع می‌توان از پسماندهایی که حاوی مواد آلی هستند مانند پسماندهای مواد غذایی از جمله ضایعات ماهی، لجن و کمپوست و غیره استفاده کرد (۸).

تولید کود مایع از لجن خشک مزیت‌های زیادی دارد. از مزیت‌های کود مایع می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (۸ و ۹):

- این کودها را می‌توان به‌صورت محلول پاشی همانند کودهای معدنی برای گیاهان استفاده کرد؛ زیرا علاوه بر افزایش سرعت رشد میزان اثربخشی کود را هم افزایش می‌دهد و همچنین عناصری که در خاک‌های آهکی رسوب می‌کنند به راحتی جذب گیاه می‌شوند.
- قابلیت استفاده آسان همراه با سیستم آبیاری.
- قابلیت جذب سریع‌تر توسط گیاهان و افزایش بازدهی رشد آن‌ها.
- تبدیل عناصر مغذی به شکل قابل جذب هم برای گیاه و هم برای ریز جانداران.
- قابلیت رقابت با میکروب‌های بیماری‌زا.
- قابلیت تشکیل کلات توسط هومات موجود در کود مایع آلی با عناصر میکرو مانند آهن و روی و غیره که میزان جذب آن‌ها در گیاه به میزان زیادی افزایش می‌دهد.
- قابلیت اضافه کردن اسیدهای آمینه مورد نیاز گیاهان.
- افزایش تمایل کشاورزان به استفاده از کودهای آلی به جای کودهای معدنی.
- امکان توزیع هم‌زمان کود و سم در کود مایع آلی.

منتقل شده و به وسیله دستگاه خردکن آسیاب شد. نمونه‌های خرد شده به منظور همگن شدن اندازه ذرات از الک ۰/۵ میلی‌متر برای کود مایع عبور داده و استفاده شدند. خواص لجن بیولوژیک در جدول ۱ و غلظت فلزات سنگین در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۱. ویژگی‌های لجن بیولوژیک

پارامتر	واحد	مقدار
میزان رطوبت	درصد	۸
میزان خاکستر	درصد (بر مبنای ماده خشک)	۲۳/۷/±۰/۴۲
pH	-	۷/۰۹±۰/۲۳
هدایت الکتریکی (EC)	دسی زیمنس بر متر	۳/۳۷±۰/۰۴
میزان سدیم (Na)	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۸۵۶/۲۵±۱۳۴/۲۴

جدول ۲. غلظت فلزات سنگین در لجن بیولوژیک (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

فلزات	لجن بیولوژیک
کادمیوم (Cd)	۱/۲۰۸±۰/۰۸
کروم (Cr)	۴۳/۲۵۸±۳/۷۴
نیکل (Ni)	۷۳/۸۱۶±۷/۷۶
سرب (Pb)	۵۵/۰۳۳±۸/۹۰
روی (Zn)	۸۷۲/۳۳±۵۷/۲۴
مس (Cu)	۱۲۸/۰۳±۲۸/۸۹

### تولید کود مایع

به منظور تولید کود مایع از لجن، ۵۰۰ میلی‌لیتر محلول سود (NaOH) ۰/۲۵ مولار بر روی ۵۰ گرم نمونه لجن ریخته و به مدت ۲۴ ساعت بر روی شیکر قرار داده شد. سپس با دور ۴۰۰۰ به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید. بعد از سانتریفیوژ کردن نمونه، بخش‌های مایع داخل ظروف سانتریفیوژ (کود مایع) از جامدات باقی‌مانده در ته ظرف سانتریفیوژ جدا گردید. آزمایش فوق بر روی جامدات باقی‌مانده ۲ بار دیگر تکرار شد؛ بدین ترتیب که مواد جامد باقی‌مانده به داخل ارلن مایر ۵۰۰ میلی‌لیتر منتقل و ۵۰۰ میلی‌لیتر محلول سود ۰/۲۵ مولار بر روی آنها ریخته و به مدت ۲۴ ساعت بر روی شیکر قرار گرفت و سپس با دور ۴۰۰۰ به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید. در این مرحله نیز کود مایع حاصل

جدا شده و یک‌بار دیگر تمام مراحل بیان شده، بر روی جامدات باقی‌مانده حاصل از مرحله دوم انجام گرفت. در واقع در پایان آزمایش، ۳ کود مایع از سه بار هضم نمونه‌ها با محلول سود ایجاد شده است (۱۲). لازم به ذکر است که کودهای مایع حاصل از هر مرحله به‌طور جداگانه نگهداری و با هم مخلوط نشد و بر روی هر کدام از کودهای مایع حاصل، آنالیزهای مربوطه انجام گرفت.

### مشخصه‌یابی کود مایع تولید شده از لجن

#### غلظت فلزات سنگین

بر اساس استاندارد ASTM D ۱۹۷۱-۰۲، غلظت فلزات سنگین کود مایع آلی ساخته شده از لجن بیولوژیک در مراحل ۱ تا ۳ استخراج، اندازه‌گیری شد. ۱۰ میلی‌لیتر از هر سه مرحله کود مایع را پس از حرارت دادن، جامدات باقی را با اسید نیتریک و اسید کلریدریک به نسبت ۱:۳ به وسیله دستگاه جذب اتمی مدل Perkin Elmer A Analyst ۷۰۰ اندازه‌گیری گردید (۱۳). در این مطالعه غلظت فلزات سنگین روی، سرب، کادمیوم، کروم، نیکل، آهن و مس اندازه‌گیری شد.

#### تعیین نیتروژن کل

میزان نیتروژن کل کود مایع لجن بیولوژیک به روش کج‌لدال اندازه‌گیری گردید (۱۴)؛ بدین صورت که ۵ میلی‌لیتر از کود مایع استخراج شده در هر مرحله با استفاده از اسید سولفوریک ۹۸٪ در حضور کاتالیزور و به مدت ۱ ساعت در دمای ۴۲۰ درجه سانتی‌گراد هضم شده و سپس با دستگاه کج‌لدال و تیتراسیون نمونه با اسیدسولفوریک میزان نیتروژن آن اندازه‌گیری گردید. مقدار نیتروژن کل از فرمول زیر محاسبه شد.

$$\%N = (V-B) \times N \times 14 / 1000 \times 100 / V$$

$$\%N = \text{درصد نیتروژن کل}$$

$$V = \text{حجم اسید مصرف شده برای تیتراسیون نمونه (میلی‌لیتر)}$$

$$B = \text{حجم اسید مصرف شده برای تیتراسیون نمونه شاهد}$$

$$N = \text{نرمالیت اسید (میلی‌لیتر)}$$

$$N = \text{نرمالیت اسید}$$

$$V = \text{حجم نمونه (میلی‌لیتر)}$$

### تعیین فسفر قابل جذب

میزان فسفر قابل جذب نمونه لجن بیولوژیک و کود مایع حاصل از آن به روش السن انجام گردید (۱۵)؛ بدین صورت که ۱ میلی‌لیتر از هر کود مایع تولید شده در مراحل ۱ تا ۳ استخراج، پس از رقیق‌سازی و تشکیل کمپلکس آنتیمونی فسفومولیدات در مجاورت اسیدآسکوربیک توسط اسپکتروفتومتر در طول موج ۸۸۰ نانومتر قرائت شد.

### تعیین پتاسیم محلول

به‌منظور تعیین میزان پتاسیم محلول، ۵ میلی‌لیتر از هر کود مایع در مراحل ۱ تا ۳ استخراج، با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر مدل PFP7 اندازه‌گیری شد (۸).

### تعیین غلظت سدیم

برای غلظت سدیم کل کود مایع، ۵ میلی‌لیتر از هر کود مایع در مراحل ۱ تا ۳ استخراج، با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری شد (۸).

### میزان pH

به‌منظور اندازه‌گیری pH کود مایع در مراحل ۱ تا ۳ استخراج، از روش استاندارد ASTM D ۴۹۸۰-۸۹ استفاده گردید (۱۶).

### میزان هدایت الکتریکی

میزان هدایت الکتریکی کود مایع آلی در مراحل ۱ تا ۳ استخراج، با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج مدل ۴۳۱۰ اندازه‌گیری گردید (۱۵).

### یافته‌ها

#### مشخصه‌یابی کود مایع تولید شده از لجن

#### غلظت فلزات سنگین

غلظت فلزات سنگین کادمیوم، کرم، نیکل، سرب، روی، مس و آهن کود مایع لجن بیولوژیک فاضلاب در جدول ۳ نشان داده شده است. با توجه به نتایج، میزان فلزات سنگین کود مایع لجن از میزان فلزات سنگین لجن بسیار کمتر بود. بیشترین مقدار کاهش غلظت فلزات در مرحله اول استخراج، کود مایع اتفاق افتاده بود.

جدول ۳. غلظت فلزات سنگین کود مایع لجن بیولوژیک (میلی‌گرم بر لیتر)

فلزات	کود مایع ۱	کود مایع ۲	کود مایع ۳	میانگین کود مایع لجن	غلظت فلزات طبق گزارش سازمان غذا و کشاورزی
کادمیوم	۰/۰۱۳±۰/۰۱	۰/۰۱±۰/۰۰۲	۰/۰۲±۰/۰۱۲	۰/۰۱۸±۰/۰۰۶	۱۵-۰
کروم	۰/۷۶±۰/۲۸	۰/۱۷±۰/۰۲	۰/۱۰±۰/۰۲	۰/۳۴±۰/۳۶	۸۳-۰/۷۵
نیکل	۱/۵۷±۰/۳۲	۱/۳۳±۰/۶۳	۱/۳۲±۰/۰۴	۱/۴۱±۰/۱۴	۴۳-۳۲
سرب	۰/۳۰±۰/۱۲	۰/۰۳±۰/۰۱۱	۰/۰۲±۰/۰۰	۰/۱۲±۰/۱۶	۱۱۰-۲/۵
روی	۴/۱۸±۰/۲۷	۱/۷۴±۰/۱۶	۰/۷۵±۰/۰۵	۲/۲۲±۱/۷۶	-
مس	۱/۶۲±۰/۱۵	۰/۸۷±۰/۱	۰/۲۵±۰/۰۰	۰/۹۱±۰/۶۹	۳۳۰-۴/۵
آهن	۲۱/۹۱±۲/۹۵	۸/۸۲±۱/۱۹	۳/۳۹±۱/۲۱	۱۱/۳۷±۹/۵۲	-

### میزان نیتروژن کل، فسفر قابل جذب و پتاسیم محلول

نیتروژن کل و پتاسیم محلول از لجن در اولین استخراج حاصل گردید.

میزان فسفر قابل جذب در کودهای مایع لجن با افزایش تعداد استخراج افزایش یافت. با بیشتر شدن تکرار مراحل استخراج مواد آلی، استخراج فسفر قابل جذب از نمونه لجن در سومین مرحله استخراج حاصل گردید.

میزان نیتروژن کل، فسفر قابل جذب و پتاسیم محلول کود مایع آلی حاصل از لجن در جدول ۴ نشان داده شده است. بر اساس نتایج، با افزایش تعداد استخراج، میزان نیتروژن کل و میزان پتاسیم محلول کودهای مرحله ۱ تا ۳ کاهش یافت. در واقع با بیشتر شدن تکرار مراحل استخراج مواد آلی، استخراج نیتروژن کل و پتاسیم محلول از نمونه لجن کاهش یافت و بیشترین مقدار استخراج

جدول ۴. میزان نیتروژن کل، فسفر قابل جذب و پتاسیم محلول کود مایع لجن

پارامتر	واحد	کود مایع ۱	کود مایع ۲	کود مایع ۳	میانگین کود مایع لجن
نیتروژن کل	درصد	۰/۲۹۴±۰/۰۱	۰/۰۸۶±۰/۰۰۵	۰/۰۲۰±۰/۰۰۴	۰/۱۳۳±۰/۰۱۴
فسفر قابل جذب	میلی گرم بر لیتر	۱۰۶/۹۶۵±۱۴/۸۵	۱۰۷/۵۰۱±۴/۸۰	۱۴۴/۲۲±۸/۹۰	۱۱۹/۵۶۳±۲۱/۳۶
پتاسیم محلول	میلی گرم بر لیتر	۱۷۰/۹۵۱±۲/۱۲	۶۴/۸۶۷±۱/۴۱	۵۳/۳۷±۰/۸۱	۹۶/۳۹۶±۶۴/۸۲

### غلظت سدیم، میزان pH و میزان هدایت الکتریکی

هیدروکسید پتاسیم ۰/۲۵ مولار به جای سود ۰/۲۵ مولار استفاده نمود. اگرچه با استفاده از هیدروکسید پتاسیم ۰/۲۵ مولار، میزان استخراج مواد آلی کاهش می یابد، اما منجر به افزایش pH و هدایت الکتریکی کود مایع نمی شود. همچنین پتاسیم عنصری مفید و ضروری برای رشد گیاهان است (۸).

میزان سدیم کل در کودهای مایع لجن با افزایش تعداد استخراج افزایش یافت. با بیشتر شدن مراحل استخراج، میزان سدیم نمونه لجن افزایش یافت و بیشترین میزان سدیم در سومین مرحله استخراج حاصل گردید.

غلظت سدیم، میزان pH و میزان هدایت الکتریکی کود مایع لجن در جدول ۵ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود، میزان pH و هدایت الکتریکی کود مایع بالا بود. در واقع در مرحله دوم و سوم استخراج کود مایع، افزایش مقدار سود منجر به افزایش pH و هدایت الکتریکی کود مایع لجن گردید. می توان این طور بیان نمود که استفاده از سود ۰/۲۵ مولار در تولید کود مایع از لجن، از طرفی منجر به افزایش استخراج مواد آلی و از طرف دیگر منجر به افزایش pH و هدایت الکتریکی کود مایع می شود. برای جلوگیری از افزایش pH و هدایت الکتریکی کود مایع می توان از

جدول ۵. غلظت سدیم کل، میزان pH و میزان هدایت الکتریکی (EC) کود مایع لجن

پارامتر	واحد	کود مایع ۱	کود مایع ۲	کود مایع ۳	میانگین کود مایع لجن
pH	-	۱۲/۲۲±۰/۰۸	۱۲/۸۱±۰/۰۱	۱۲/۹۵±۰/۰۳	۱۲/۶۶±۰/۰۳۸
هدایت الکتریکی	دسی زیمنس بر متر	۱۱/۸±۰/۸۲	۳۳/۳±۰/۵۱	۴۴/۱±۱/۲۱	۲۹/۷۳±۱۶/۴۴
سدیم کل	میلی گرم بر لیتر	۳۸۹/۱۱۶±۱۲/۱۱	۴۹۶/۳۸۳±۳۴/۶۸	۵۲۹/۶۶±۳۴/۹۳	۴۷۱/۷۱۹±۷۳/۴۴

### بحث

و هیدروکسید پتاسیم (KOH) بر لجن فعال مورد آزمایش قرار گرفت و به این نتیجه رسیدند که NaOH نسبت به 2(OH)Ca و KOH بسیار مناسب تر است. اگر سود ۰/۰۵ مولار استفاده شود، ۶۰-۷۱٪ مواد آلی لجن در ۳۰ دقیقه اول به صورت محلول درآمده و می توان آن ها را استخراج کرد (۱۷).

لین و همکاران و راجان و همکاران نشان دادند انجام فرآیندهای قلیایی بر لجن فعال با استفاده از سود، میزان اکسیژن خواهی شیمیایی (COD) و جامدات فرار لجن را کاهش و قابلیت حل شدن لجن را تا ۴۶٪ افزایش می دهد (۱۸ و ۱۹).

غلظت فلزات کود مایع آلی لجن فاضلاب کمتر از مقادیر گزارش شده به وسیله سازمان محیط زیست آمریکا (U.S. EPA, 1999) بود. میزان نیتروژن کل، پتاسیم محلول، غلظت فلزات سنگین در کود مایع با افزایش مراحل استخراج کود مایع آلی از لجن کاهش یافت؛ در صورتی که میزان فسفر قابل جذب، سدیم کل، pH و هدایت الکتریکی افزایش یافت.

در پژوهش لی و همکاران که در مورد اثرات روش شیمیایی استفاده از محلول های قلیایی بر لجن فعال انجام شد، تأثیر مواد قلیایی مانند سود (NaOH)، هیدروکسید کلسیم 2(OH)Ca

بر اساس نتایج حاصل از تبدیل لجن به کود مایع، میزان نیتروژن کل، پتاسیم محلول، غلظت فلزات سنگین با افزایش مراحل استخراج کود مایع آلی از لجن کاهش یافت، در صورتی که میزان فسفر قابل جذب، میزان سدیم کل و هدایت الکتریکی افزایش یافت. همچنین بررسی مقادیر pH کود مایع در هر مرحله نشان داد که با افزایش استخراج کود ماهیت کودهای حاصل به سمت قلیایی شدن رفته است. مطابق با غلظت فلزات سنگین در کودهای آلی طبق گزارش سازمان غذا و کشاورزی کالیفرنیا (۱۹۹۹)، غلظت فلزات کود مایع آلی حاصل از لجن بیولوژیک، کمتر از مقادیر گزارش شده بود. از کود مایع حاصل به دلیل ویژگی‌های که دارد (مشروط به تعدیل pH، هدایت الکتریکی و پارامترهایی که در حین استخراج بیش از حد مجاز افزایش یافته‌اند)، می‌توان به‌عنوان یک اصلاح کننده خاک در بخش کشاورزی استفاده کرد.

#### ملاحظات اخلاقی

نویسندگان تمام نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. همچنین هرگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کنند.

#### تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل پایان‌نامه کارشناسی ارشد با عنوان "تولید کود مایع و زغال زیستی از لجن بیولوژیک تصفیه‌خانه فاضلاب شهری و اثر آنها بر رشد گیاه ذرت" با کد ۱۰۷۴۶ رشته محیط زیست دانشگاه صنعتی اصفهان می‌باشد. بدین وسیله از تمامی کسانی که ما را در انجام این مطالعه یاری نمودند، تشکر و قدردانی می‌شود.

همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده شد، مطابق با غلظت فلزات سنگین در کودهای آلی طبق گزارش سازمان غذا و کشاورزی کالیفرنیا (۲۰۰۰)، غلظت فلزات کود مایع آلی حاصل از لجن بیولوژیک، کمتر از مقادیر گزارش شده بود (۲۰).

ژو و همکاران با تبدیل پسماندهای غذایی خانگی شهری به کمپوست و استفاده از شیرابه آن به‌عنوان کود مایع آلی نشان دادند که شیرابه استخراج شده حاوی مواد آلی است و میزان فلزات سنگین آن به مقدار زیادی کاهش پیدا کرده است (۲۱).

در این پژوهش میزان فسفر قابل جذب در کودهای مایع لجن با افزایش تعداد استخراج افزایش یافت. با بیشتر شدن تکرار مراحل استخراج مواد آلی، استخراج فسفر قابل جذب از نمونه لجن در سومین مرحله استخراج حاصل گردید. نتایج حاصل از استخراج فسفر از کود مایع با نتایج حاصل از استخراج فسفر از کود مایع لجن در مطالعه سعیدی همسو نبود، چون در نتایج حاصل از مطالعه سعیدی بیشترین میزان استخراج فسفر در مرحله اول استخراج بود. حضور فسفر به‌عنوان عنصر مورد نیاز گیاهان، یک مزیت مثبت برای کود مایع لجن است (۸).

جامبالدورج و همکاران میزان فسفر کود مایع حاصل از لجن بیولوژیک را در محدوده ۲۵۱-۵۳۹ میلی‌گرم بر لیتر گزارش کردند. نتایج این پژوهش برای میزان فسفر کود مایع لجن، کمتر از مقدار ذکر شده توسط جامبالدورج و همکاران بود (۱۱).

در پژوهش جامبالدورج و همکاران، کود مایع تولید شده از لجن فاضلاب، دارای pH برابر ۵/۱۷ و مقدار نیتروژن ۸۱۰۰-۱۳۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، فسفر ۲۵۱-۵۳۹ میلی‌گرم بر لیتر و پتاسیم ۵۲۴-۸۰۶۰ میلی‌گرم بر لیتر بود که به دلیل pH کم، می‌توان این کود مایع را مستقیماً برای خاک و گیاه استفاده نمود (۱۱).

#### نتیجه‌گیری

وجود مقادیر زیاد لجن فاضلاب، مشکلات متعددی برای بشر و محیط زیست به همراه دارد. استفاده مستقیم از لجن فاضلاب در کشاورزی به دلیل وجود مقادیر زیاد فلزات سنگین در آن باعث آلوده شدن خاک و ایجاد سمیت برای گیاه و انسان می‌شود.



## References

1. Song X, Xue X, Chen D, He P, Dai X. Application of biochar from sewage sludge to plant cultivation: Influence of pyrolysis temperature and biochar-to-soil ratio on yield and heavy metal accumulation. *Chemosphere*. 2014;109:213-20.
2. Agrafioti E, Bouras G, Kalderis D, Diamadopoulos E. Biochar production by sewage sludge pyrolysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 2013;101:72-8.
3. Norimand k, Nezhad S. Activated sludge process and its strategic foundations. Ameh Tehran. 2000;in Persian.
4. Erfanmanesh M, Afuni A. Environmental pollution (water, soil and air). Arkan Danesh. 2014;in Persian.
5. Udom BE, Mbagewu JSC, Adesodun Jk, Agbim NN. Distributions of zinc, copper, cadmium and lead in a tropical ultisol after long-term disposal of sewage sludge. *Environment International* 2004;30(4):467-70.
6. Abedi MJ, Najafi P. Use of treated wastewater in agriculture. Iran: National Irrigation and Drainage Committee Of Iran; 2001.
7. Low EW, Chase HA. Reducing production of excess biomass during wastewater treatment. *Water research*. 1999;33(5):1119-32.
8. Saeidi H. Production of organic liquid fertilizer from urban sewage sludge and compost [dissertation]. Isfahan University of Technology. 2013;in Persian.
9. Nouri j. Environmental Biotechnology. Jafar Nouri 1994.
10. Zare M, Charm M, Moallemi N. Effect of Treated Urban Sewage Sludge on Soil Essential Nutrients, Soil Chemical Properties and Physiological Properties of Olive Tree. *Journal of Agriculture Engineering*. 2014;37(2). in Persian.
11. Jambaldorj G, Takahashi M, Yoshikawa K, editors. Liquid fertilizer production from sewage sludge by hydrothermal treatment. *Proceedings of International Symposium on EcoTopia Science*; 2007.
12. Sladký Z. The effect of extracted humus substances on growth of tomato plants. *Biologia Plantarum*. 1959;1(2):142-50.
13. ASTM D, 1971-02. Standard Practices for Digestion of Water Samples for Determination of Metals by Flame Automatic Absorption, Graphite Furnace Atomic Absorption. *Plasma Emission Spectroscopy, or Plasma Mass Spectrometry*. 2003.
14. Klute A. *Methods of soil analysis, part I, physical and mineralogical methods*. USA: USA: Wisconsin; 1986.
15. Rezvanipur H, Dinani ZR. Chemical analysis of water and soil (with environmental and health vision). Iran, Isfahan: Isfahan University of Technology. 2014;in Persian.
16. ASTM D, 4980-89. Standard test methods for screening of pH in waste. In: editor. ^editors. ed. 1989.
17. Li H, Jin Y, Mahar R, Wang Z, Nie Y. Effects and model of alkaline waste activated sludge treatment. *Bioresource technology*. 2008;99(11):5140-4.
18. Lin J-G, Chang C-N, Chang S-C. Enhancement of anaerobic digestion of waste activated sludge by alkaline solubilization. *Bioresource technology*. 1997;62(3):85-90.
19. Rajan R, Lin J-G, Ray BT. Low-level chemical pretreatment for enhanced sludge solubilization. *Research Journal of the Water Pollution Control Federation*. 1989:1678-83.
20. Agency, USE. *Background Report on Fertilizer Use, Contaminants and Regulations*. Washington. DIANE 2000.
21. Zhou C, Wang R, Zhang Y. Fertilizer efficiency and environmental risk of irrigating Impatiens with composting leachate in decentralized solid waste management. *Waste Management*. 2010;30(6):1000-5.