بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده منابع طبیعی

تولیدکود مایع آلی از لجن فاضلاب شهری و کمپوست

پایان نامه کارشناسی ارشد آلودگی محیط زیست

هاجر سعیدی

استاد راهنما

دکتر نوراله میرغفاری

۱۳۹۲

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده منابع طبیعی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته محیط زیست خانم هاجر سعیدی

تحت عنوان

تولیدکود مایع آلی از لجن فاضلاب شهری و کمپوست

در تاریخ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان نامه دکتر نورالله میرغفاری

۲- استاد مشاور پایان نامه دکتر محسن سلیمانی

۳- استاد داور دکتر حسین شریعتمداری

۴- استاد داور دکتر علی لطفی

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده دکتر محمد رضا وهابی

بسمه تعالی

من علمنی حرفاً فقد سیرنی عبداً

هر کس به من کلمه ای بیاموزد مرا یک عمر بنده خویش ساخته است

امام علی (ع)

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند. و سلام و درود بر حضرت محمّد (ص) و خاندان پاک او، طاهران معصوم، هم آنان که وجودمان وامدار وجودشان است؛ و نفرین پیوسته بر دشمنان ایشان تا روز رستاخیز...

به مصداق «من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق » بسی شایسته است از اساتید بزرگوار آقایان دکتر نورالله میرغفاری و دکتر محسن سلیمانی به خاطر سعه صدر و رهنمودهای دلسوزانه شان که در تهیه این پژوهش مرا مورد لطف خود قرار دادند و راهنمایی های لازم را نمودند تشکر و قدردانی نمایم.

همچنین ازآقایان مهندس تقی پور مسئول آزمایشگاه آلودگی محیط زیست و مهندس مختاری مسئول آزمایشگاه آب و خاک دانشکده منابع طبیعی به خاطر راهنمایی هایشان کمال تشکر را دارم.

در پایان از پدر و مادر مهربانم که مسیر علم و دانش را بر من آموختند و همسرم که در تمام سختی های این راه تکیه گاه من بود سپاسگذاری می نمایم.

موفقیت همگان را از درگاه خداوند خواهانم.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع
این پایان نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی
اصفهان است

تقدیم به

پدرم به استواری کوه

مادرم به زلالی چشمه

همسرم به صمیمیت باران

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست جداول	هشت
فهرست اشکال	نه
فهرست نمودار ها	ده
چکیده فارسی	۱
فصل اول: مقدمه و هدف	۲
فصل دوم: بررسی منابع	۴
۲-۱ خصوصیات فاضلاب	۴
۲- ۲ تصفیه فاضلاب	۴
۲-۳ مراحل تصفیه فاضلاب	۵
۲-۳-۱ تصفیه اولیه	۵
۲-۳-۲ تصفیه ثانویه	۵
۲-۳-۳ تصفیه پیشرفته	۶
۲-۴ لجن فاضلاب	۶
۲-۴-۱ تصفیه لجن فاضلاب	۷
۲-۴-۲ کاربرد لجن فاضلاب	۷
۲-۴-۳ اثر لجن فاضلاب بر غلظت عناصر سنگین در خاک	۷
۲-۴-۴ میزان نیتروژن لجن فاضلاب	۹
۲-۴-۵ میزان فسفر لجن فاضلاب	۹
۲-۴-۶ میزان پتاسیم لجن فاضلاب	۹
۲-۴-۷ اثر غلظت سدیم و هدایت الکتریکی لجن بر خاک	۱۰
۲-۵ کمپوست پسماندهای آلی	۱۱
۲-۵-۱ اصول فرآیند کمپوست	۱۲
۲-۵-۲ پارامترهای فرآیند کمپوست	۱۳
۲-۵-۳ مزایای کمپوست پسماندهای آلی	۱۴
۲-۵-۴ اثر کمپوست بر غلظت عناصر سنگین در خاک	۱۵
۲-۶ مواد آلی	۱۷
۲-۶-۱ مواد غیرهیومیکی	۱۷
۲-۶-۲ مواد هیومیکی	۱۷
۲-۶-۳ کاربرد مواد هیومیکی	۱۹
۲-۶-۴ مزایای وجود اسیدهیومیک و واسیدفولویک در خاک	۲۱
۲-۷ روش‌های استخراج اسیدهیومیک	۲۲
۲-۸ آنالیز عنصری اسیدهیومیک لجن	۲۳
۲-۹ کود مایع آلی	۲۴
۲-۹-۱ مزیت‌های استفاده از کود مایع آلی حاصل از کمپوست و لجن	۲۵
۲-۱۰ مطالعات انجام‌شده در زمینه تولیدکودمایع و استخراج اسیدهیومیک	۲۵
فصل سوم: مواد و روش	۳۱
۳-۱ نمونه‌برداری و آماده سازی نمونه لجن و کمپوست	۳۱
۳-۲ مشخصه یابی لجن و کمپوست	۳۱
۳-۲-۱ غلظت فلزات سنگین	۳۱
۳-۲-۲ درصد نیتروژن کل	۳۲
۳-۲-۳ فسفر قابل جذب	۳۲
۳-۲-۴ پتاسیم تبادلی و محلول	۳۳

۳-۲-۵ غلظت سدیم ۳۳
۳-۲-۶ میزان هدایت الکتریکی ۳۳
۳-۲-۷ آنالیز عنصری ۳۳
۳-۳ تولید کود مایع ۳۴
۳-۴ مشخصه یابی کود مایع لجن و کمپوست ۳۵
۳-۴-۱ غلظت فلزات سنگین ۳۵
۳-۴-۲ درصد نیتروژن کل ۳۵
۳-۴-۳ فسفر قابل جذب ۳۶
۳-۴-۴ پتاسیم محلول ۳۶
۳-۴-۵ میزان هدایت الکتریکی ۳۶
۳-۵ استخراج اسیدهیومیک از لجن و کمپوست ۳۷
۳-۵-۱ تأثیر عامل استخراج و تعداد استخراج بر مقدار اسیدهیومیک لجن ۳۹
۳-۶ مشخصه یابی اسیدهیومیک لجن و کمپوست ۳۹
۳-۶-۱ غلظت فلزات سنگین ۳۹
۳-۶-۲ غلظت فلزات سنگین مواد جامد باقی‌مانده از استخراج اسیدهیومیک ۳۹
۳-۶-۳ درصد نیتروژن کل ۴۰
۳-۶-۴ فسفر قابل جذب ۴۰
۳-۶-۵ پتاسیم محلول ۴۱
۳-۶-۶ میزان هدایت الکتریکی ۴۱
۳-۶-۷ نمودار طیفی مادون‌قرمز(FT-IR) ۴۱
۳-۶-۸ آنالیز عنصری ۴۱
۳-۶-۹ میزان جذب نور اسیدهیومیک در طول موج های مختلف ۴۱
۳-۷ محاسبه موازنه جرمی فلزات سنگین لجن و کمپوست ۴۲
فصل چهارم: نتایج و بحث ۴۳
۴-۱ مشخصات لجن و کمپوست ۴۳
۴-۱-۱ غلظت فلزات سنگین ۴۳
۴-۱-۲ میزان عناصر مغذی ۴۶
۴-۱-۳ غلظت سدیم و هدایت الکتریکی ۴۷
۴-۲ مشخصات کود مایع لجن و کمپوست ۴۷
۴-۲-۱ غلظت فلزات سنگین ۴۷
۴-۲-۲ درصد نیتروژن کل ۴۸
۴-۲-۳ غلظت فسفر قابل جذب ۴۹
۳-۴-۴ غلظت پتاسیم محلول ۴۹
۴-۲-۵ میزان هدایت الکتریکی ۵۰
۴-۳ مشخصات اسیدهیومیک لجن و کمپوست ۵۱
۴-۳-۱ تأثیر عامل استخراج و تعداد استخراج بر مقدار اسیدهیومیک ۵۱
۴-۳-۲ غلظت فلزات سنگین ۵۲
۴-۳-۳ غلظت فلزات سنگین مواد جامد باقی‌مانده از تولید کود مایع و استخراج اسیدهیومیک ۵۴
۴-۳-۴ میزان عناصر مغذی ۵۵
۴-۳-۵ هدایت الکتریکی (EC) ۵۵

۴-۳-۶ آنالیز عنصری ۵۶
۴-۳-۷ طیف مادون‌قرمز (FT-IR) ۵۷
۴-۳-۸ میزان جذب نور اسیدهیومیک لجن و کمپوست در طول موج های مختلف و نسبت (E_3/E_5) و (E_4/E_6) ۵۹
۴-۴ موازنه جرمی فلزات سنگین لجن و کمپوست ۶۰
فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۶۲
۵-۱ نتیجه‌گیری ۶۲
۵-۲ پیشنهادها ۶۴

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱ حد مجاز غلظت فلزات سنگین در لجن مورد استفاده در کشاورزی ۸
جدول ۲-۲ حد مجاز غلظت فلزات سنگین در خاک بعد از استفاده از لجن فاضلاب ۸
جدول ۲-۳ گروه‌بندی شوری خاک ۱۰
جدول ۲-۴ مواد تشکیل‌دهنده کمپوست تکامل‌یافته ۱۱
جدول ۲-۵ استانداردهای ارائه شده برای کمپوست توسط سازمان بهداشت جهانی, سازمان محیط‌زیست آمریکا و ایران ۱۶
جدول ۲-۶ حد مجاز غلظت فلزات سنگین کمپوست در کشورهای اروپایی بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم ۱۶
جدول ۲-۷ غلظت فلزات سنگین در کودهای آلی طبق سازمان محیط‌زیست آمریکا و سازمان غذا و کشاورزی کالیفرنیا ۲۴
جدول۴-۱ غلظت فلزات سنگین لجن و کمپوست مورد استفاده (میلی‌گرم در کیلوگرم) ۴۴
جدول ۴-۲ میزان عناصر مغذی لجن و کمپوست ۴۶
جدول ۴-۳ غلظت سدیم(میلی گرم بر لیتر) و میزان هدایت الکتریکی (EC) (دسی زیمنس بر متر) لجن و کمپوست ۴۷
جدول۴-۴ غلظت فلزات سنگین کود مایع لجن (میلی‌گرم در لیتر) ۴۷
جدول ۴-۵ غلظت فلزات سنگین کود مایع کمپوست (میلی‌گرم در لیتر) ۴۸
جدول ۴- ۶ میزان نیتروژن کل کود مایع لجن و کمپوست در مراحل مختلف استخراج (درصد) ۴۸
جدول۴-۷ غلظت فسفر قابل‌جذب کود مایع لجن و کمپوست در مراحل مختلف استخراج (میلی‌گرم در لیتر) ۴۹
جدول ۴- ۸ غلظت پتاسیم کود مایع لجن و کمپوست در مراحل مختلف استخراج (میلی‌گرم بر لیتر) ۵۰
جدول ۴- ۹ میزان هدایت الکتریکی (EC) (دسی زیمنس بر متر)کود مایع لجن و کمپوست ۵۱
جدول ۴-۱۰ تأثیر دو محلول سود و هیدروکسید پتاسیم و تعداد استخراج, در بازده استخراج اسیدهیومیک از لجن ۵۱
جدول ۴-۱۱ غلظت فلزات سنگین اسیدهیومیک لجن و کمپوست (میلی‌گرم در کیلوگرم) ۵۲
جدول ۴-۱۲ غلظت فلزات سنگین مواد جامد باقی‌مانده از تولید کود مایع لجن و کمپوست (میلی‌گرم بر کیلوگرم) ۵۴
جدول ۴-۱۳ میزان عناصر مغذی اسیدهیومیک لجن و کمپوست ۵۵
جدول ۴-۱۴ میزان هدایت الکتریکی (EC) (دسی زیمنس بر متر) اسیدهیومیک لجن و کمپوست ۵۵
جدول۴-۱۵ آنالیز عنصری لجن، کمپوست و اسیدهیومیک استخراج شده از آن ها ۵۶
جدول۴-۱۶ برخی پیک‌های جذبی گروه های عاملی مختلف در ناحیه مادون‌قرمز ۵۷
جدول ۴-۱۷ میزان جذب نور و نسبت (E_3/E_5) و (E_4/E_6) اسیدهیومیک لجن و کمپوست ۶۰
جدول ۴-۱۸ موازنه جرمی فلزات سنگین(میلی گرم) در کود مایع و اسیدهیومیک استخراج شده از لجن ۶۱
جدول ۴-۱۹ موازنه جرمی فلزات سنگین(میلی گرم) در کود مایع و اسیدهیومیک استخراج شده از کمپوست ۶۱

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱ نمونه ساختاری اسیدفولویک (۱۹۷۷)..... ۱۸
شکل ۲-۲ نمونه ساختاری اسیدهیومیک توسط استیون سون..... ۱۸
شکل ۲-۳ طرح شماتیک اجزاء تشکیل‌دهنده مواد آلی..... ۱۹
شکل ۲-۴ تغییرات H/C در طی فرآیند هیومیک سازی..... ۲۳
شکل ۲-۵ تغییرات درصد کربن در طی فرآیند هیومیک سازی..... ۲۳
شکل ۲-۶ تغییرات O/C در طی فرآیند هیومیک سازی..... ۲۴
شکل ۲-۷ تغییرات N/C در طی فرآیند هیومیک سازی..... ۲۴
شکل ۳-۱ مراحل تولید کود مایع از نمونه لجن و کمپوست..... ۳۴
شکل ۳-۲ مراحل استخراج اسیدهیومیک از لجن و کمپوست..... ۳۸
شکل۴-۱ طیف مادون قرمز (FT-IR) اسیدهیومیک لجن..... ۵۷
شکل ۴-۲ طیف مادون قرمز(FT-IR) اسیدهیومیک کمپوست..... ۵۸

فهرست نمودارها

عنوان **صفحه**

نمودار ۴-۱ مقایسه غلظت فلزات سنگین لجن مورد استفاده با استاندارد ارائه شده طبق دستورالعمل جامعه اروپا..... ۴۵
نمودار ۴-۲ مقایسه غلظت فلزات سنگین کمپوست مورد استفاده با استاندارد ارائه شده توسطسازمان بهداشت جهانی..... ۴۵
نمودار ۴-۳ مقایسه غلظت فلزات سنگین کمپوست مورد استفاده با استاندارد ارائه شده توسط سازمان محیط زیست آمریکا..... ۴۵
نمودار ۴-۴ مقایسه غلظت فلزات سنگین کمپوست مورد استفاده با استاندارد ارائه شده توسط ایران برای کمپوست درجه یک..... ۴۵
نمودار ۴-۵ مقایسه غلظت فلزات سنگین کمپوست مورد استفاده با استاندارد ارائه شده توسط ایران برای کمپوست درجه دو..... ۴۵
نمودار ۴-۶ مقایسه غلظت فلزات سنگین لجن مورد استفاده با کمپوست مورد استفاده..... ۴۶
نمودار ۴-۷ مقایسه غلظت فلزات سنگین لجن و اسیدهیومیک استخراج شده از لجن..... ۵۳
نمودار ۴-۸ مقایسه غلظت فلزات سنگین کمپوست و اسیدهیومیک استخراج شده از کمپوست..... ۵۳

چکیده

هدف از این پژوهش تولید کود مایع از لجن و کمپوست با حداقل غلظت فلزات سنگین در کود مایع تولید شده می باشد. با تولید چنین کود مایعی لجن‌های فاضلاب تولید شده در طی فرآیند تصفیه فاضلاب شهری مورد استفاده قرارگرفته و از تجمع و دفن آن ها در زمین جلوگیری می‌گردد. برای دستیابی به این هدف، امکان تولید کود مایع از لجن و کمپوست و استخراج اسیدهیومیک به روش شیمیایی مورد بررسی قرار گرفت. کود مایع واسیدهیومیک از لجن و کمپوست با استفاده از سود ۰/۲۵ مولار و هیدروکلریدریک اسید ۶ مولار، استخراج گردید.مشخصه یابی لجن،کمپوست،کود مایع و اسیدهیومیک استخراج شده از جمله غلظت فلزات سنگین، آنالیز عنصری (CHNOS)، درصد نیتروژن، فسفر قابل‌جذب، پتاسیم و هدایت الکتریکی، ویژگی‌های طیفی مادون قرمز(FT-IR)، نسبت جذب نور در طول موج ۳۵۰ نانومتر به طول موج ۵۵۰ نانومتر (E_3/E_5) و نسبت جذب نور در طول موج ۴۶۵ نانومتر به طول موج ۶۶۵ نانومتر(E_4/E_6) تعیین گردید.نتایج نشان داد۱۳/۱۴ درصد وزنی اسیدهیومیک با سه بار استخراج از لجن و ۶/۴ درصد وزنی اسیدهیومیک با سه بار استخراج از کمپوست به دست آمد. تولید کود مایع از لجن به روش شیمیایی و با محلول سود ۰/۲۵ مولار، منجر به کاهش چشمگیر غلظت فلزات سنگین در اسیدهیومیک و کود مایع لجن شده بود ولی غلظت فلزات سنگین اسیدهیومیک استخراج شده از کمپوست در مقایسه با کمپوست کاهش نیافته بود.میزان فسفر، ازت و پتاسیم کود مایع تولیدی در حد کودهای آلی مایع بود. نسبت کربن به نیتروژن، طیف مادون‌قرمز(FT-IR) و جذب نور در ناحیه طول موج‌های مرئی اسیدهیومیک لجن و کمپوست با هم هماهنگی داشته ونشان داد که اسیدهیومیک لجن و کمپوست ساختار آلیفاتیک دارند و در نتیجه ورود به خاک، نسبت به ترکیبات آروماتیک سریع تر بوسیله میکروارگانیسم ها تجزیه شده و در دسترس گیاهان قرار می‌گیرند.اسیدهیومیک کمپوست نسبت به اسیدهیومیک لجن دارای ساختار آلیفاتیک بیشتر بود ومی‌تواند بیانگر زمان کم فرآیند هوموسی شدن کمپوست باشد و یا به عبارتی ممکن است کمپوست مورد استفاده کاملاً رسیده نباشد. نتیجه‌گیری کلی این پژوهش نشان می‌دهد که تولید کود مایع و استخراج اسیدهیومیک از لجن، روشی کارآمد برای تولید کود مایعی با میزان مواد آلی بالا و غلظت فلزات سنگین پایین است.

کلمات کلیدی: لجن،کمپوست، کودمایع، اسیدهیومیک

فصل اول

مقدمه و هدف

در جهان امروز مواد زائد یک آلاینده زیست‌محیطی شناخته‌شده‌اند. چند دهه‌ای است که با رخدادهای بزرگ فرآیندهای صنعتی در پهنه گیتی، مواد زائد نیز به همراه آلودگی‌های روزافزون خاک، آب و هوا، زنجیره زیست‌محیطی و زیستگاه آدمیان را به سختی با تهدید ناخواسته‌ای روبرو نموده است[۱۱]. از جمله این مواد زائد، فاضلاب‌های شهری هستند که اگر تصفیه نشوند باعث آلوده شدن محیط‌زیست می‌شود و تأثیر بدی در کیفیت جریانات سطحی و زیرزمینی می‌گذارند. تصفیه فاضلاب شهرها، ضمن حفظ محیط‌زیست، باعث بهره‌برداری از فاضلاب و استحصال و بازیافت آب مصرف‌شده می‌شود. فرآیند لجن فعال[1] به طور گسترده‌ای جهت تصفیه فاضلاب[2] شهری و صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از معایب عمده فرآیندهای هوازی تصفیه فاضلاب، تولید نسبتاً زیاد لجن مازاد بیولوژیک است. تقریباً نیمی از بار آلی فاضلاب در جریان تصفیه بیولوژیکی هوازی به لجن بیولوژیک (زیست توده)[3] تبدیل می‌شود[۵۹].

از آنجایی که نیمی از هزینه عملیاتی یک تصفیه‌خانه فاضلاب مربوط به تصفیه لجن است، استفاده مجدد از لجن تصفیه شده علاوه بر فواید بی‌شمار، می‌تواند بخشی از هزینه‌ها را جبران نماید. مسئله مهم، مدیریت بهینه و هماهنگ برای دفع لجن تولیدی است زیرا آلودگی ناشی از آن ها نباید به محیط‌های دیگر مانند آب، هوا و خاک وارد شود[۱۴]. از مهم‌ترین روش‌های استفاده مجدد و دفع لجن، می‌توان مصارف کشاورزی لجن، احیاء زمین، دفن بهداشتی، دفع سطحی در زمین، سوزاندن و دفع در دریا را نام برد. لجن فاضلاب به دلیل داشتن ماده آلی و عناصر مغذی مورد نیاز گیاه می‌تواند به عنوان کود در اراضی کشاورزی استفاده شود. مواد آلی موجود در لجن فاضلاب، سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک از جمله هدایت الکتریکی، پایداری خاک دانه‌ها، تهویه و افزایش رطوبت خاک شده و از این طریق سبب بهبود رشد و افزایش عملکرد محصولات زراعی می‌شود[۳۸]. از دیگر منابعی که می‌توان برای احیای مواد آلی خاک در کشاورزی استفاده نمود کمپوست است.

نکته مهمی که در کاربرد لجن فاضلاب و کمپوست در کشاورزی باید به آن توجه داشت، غلظت نسبتاً بالای برخی عناصر سنگین مانند سرب، کادمیوم و نیکل در این ضایعات است. تجمع بعضی فلزات نظیر روی، سرب،

---

[1] Waste Activated Sludge (WAS)
[2] Waste water treatment
[3] Biomass

کادمیوم و غیره در خاک که بر اثر استفاده از لجن فاضلاب وکمپوست رخ می‌دهد، از مهم‌ترین موارد آلوده‌کننده‌های خاک می‌باشند. اگر چه تأمین رشد گیاه از وظایف اصلی خاک است، ولی هنگامی‌که این ماده حیات‌بخش به هر دلیل آلوده شود، دیگر قادر به ایفای نقش‌های خود نخواهد بود. اضافه کردن لجن فاضلاب و کمپوست به خاک‌هایی با حاصلخیزی کم، به دلیل وجود فلزاتی مانند مس و روی می‌تواند در تأمین کوتاه مدت این فلزات در خاک مفید باشد، با این وجود کاربرد طولانی مدت مصرف لجن فاضلاب و کمپوست در کشاورزی، ممکن است باعث آلودگی خاک و جذب عناصر سمی توسط گیاه شود[۳۰]. بر اساس گزارش آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا مصرف لجن فاضلاب باعث افزایش غلظت سرب، جیوه، نیکل، سلنیوم و کادمیوم تا ۱۰۰ برابر غلظت پایه این عناصر در خاک می‌شود[۶۰،۷۸]؛ بنابراین کمپوست و لجن فاضلاب از طرفی حاوی مواد آلی و ترکیبات معدنی مورد نیاز گیاهان و از طرفی دیگر حاوی فلزات سنگین هستند که کاربرد آن ها را در کشاورزی محدود می‌کند.

بررسی روش‌هایی برای کاهش میزان لجن‌های تولید شده در طی فرآیند تصفیه فاضلاب‌های شهری و نیز تبدیل این لجن ها به مواد مفید و مورد نیاز جامعه بسیار حایز اهمیت است. می‌توان با استفاده از روش‌های شیمیایی، کمپوست و لجن فاضلاب را به کود مایع آلی[1] تبدیل کرد که طی این فرآیند، از جهتی مواد موثر آلی کمپوست و لجن فاضلاب استخراج گردیده و از جهت دیگر مواد زائد جامد مانند فلزات سنگین آن ها جداسازی و میزان آن در کود مایع کاهش می‌یابد. علاوه بر امکان تولید کود مایع از لجن و کمپوست، از پساندهایی که حاوی مواد آلی باشند مانند پساندهای مواد غذایی منجمله ضایعات ماهی نیز می‌توان برای تولید کود مایع استفاده کرد. داأُ و همکاران (۲۰۰۲) با استفاده از راکتور ۵ لیتری ضایعات ماهی را به روش زیستی به کود مایع تبدیل کرده‌اند[۳۷]. کودهای آلی مایع همانند سایر کودهای مورد استفاده در کشاورزی حاوی مواد آلی (اسیدهیومیک، اسید فولویک و غیره) و مواد معدنی مورد نیاز گیاهان مانند نیترات، فسفات و آمونیاک می‌باشند و نیز مزیت‌هایی را نسبت به سایر کودهای جامد مصرفی در کشاورزی دارند. به دلیل مایع بودن این کودها توزیع آن‌ها در زمین کاری آسان است و به راحتی می‌توان آن ها را به آب آبیاری اضافه کرد و یا این که با استفاده از سیستم‌های افشانه‌ای از آن ها استفاده نمود. از طرف دیگر کودهای مایع آلی هم از طریق برگ و هم از طریق ریشه قابلیت جذب دارند که سرعت تأثیرگذاری آن ها را افزایش می‌دهد.

فرضیه این پژوهش را می توان به صورت زیر بیان نمود .

به دلیل وجود مواد آلی کمپوست و لجن امکان تولید کود مایع از لجن و کمپوست مورد بررسی قرار می گیرد.

اهدف این پژوهش شامل موارد زیر می باشد.

۱. مشخصه یابی لجن و کمپوست مورد استفاده.
۲. بررسی امکان تولید کود آلی مایع از لجن و کمپوست به منظور استفاده از لجن های فاضلاب تولید شده در طی فرآیند تصفیه فاضلاب شهری و جلوگیری از تجمع و دفن آن ها در زمین و به حداقل رساندن غلظت فلزات سنگین در کود آلی مایع تولید شده نسبت به لجن و کمپوست مورد استفاده.
۳. مشخصه یابی کود مایع تولید شده از لجن و کمپوست.
۴. استخراج اسیدهیومیک کودمایع لجن و کمپوست و مشخصه یابی اسیدهیومیک لجن و کمپوست.

---

[1] Liquid fertilizer

فصل دوم
بررسی منابع

۲-۱ خصوصیات فاضلاب

فاضلاب شهری عمدتاً شامل فاضلاب خانگی و بخشی از آن متعلق به واحدهای صنعتی است که به داخل شبکه‌های فاضلاب عمومی تخلیه می‌شود. آب‌ها عمدتاً (۹۹/۹ درصد) فاضلاب را تشکیل می‌دهند و ۰/۱ درصد مابقی، مواد خارجی است که شامل مواد آلی و معدنی معلق و یا محلول در فاضلاب است. از جمله مواد آلی موجود در فاضلاب کربوهیدرات‌ها، لیگنین ها، چربی‌ها، قلیاها، مواد پاک‌کننده صنعتی، پروتئین‌ها و محصولات حاصل از تجزیه آن‌ها و نیز سایر ترکیبات شیمیایی آلی طبیعی و مصنوعی حاصل از فرایندهای صنعتی هستند[۱۵].

۲- ۲ تصفیه فاضلاب

تصفیه فاضلاب امکان بهره‌برداری از پساب را بدون آنکه از لحاظ بهداشتی و زیست‌محیطی نگرانی وجود داشته باشد، فراهم می‌آورد. برای آن که بتوان از پساب مجدداً استفاده نمود، باید طی مراحلی مورد تصفیه قرار گیرد. تصفیه‌خانه فاضلاب باید به گونه‌ای طراحی شود که پساب حاصل از لحاظ میکروبیولوژی، شیمیایی و فیزیکی مطابق استانداردهای موجود باشد. از سوی دیگر از نظر بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری دارای کمترین هزینه اولیه و جاری باشد[۱۵].

۲-۳ مراحل تصفیه فاضلاب

تصفیه فاضلاب شامل عملیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی است که منجر به حذف محلول‌ها و مواد آلی و بعضی از مواد مغذی از فاضلاب می‌گردد و شامل تصفیه اولیه، ثانویه و پیشرفته است. در بعضی از کشورها گندزدایی جهت حذف پاتوژن ها به عنوان آخرین مرحله تصفیه انجام می‌شود[۱۵].

۲-۳-۱ تصفیه اولیه

هدف از تصفیه اولیه حذف مواد درشت است که غالباً در فاضلاب خام یافت می‌شود. خارج کردن این مواد برای بهبود عملیات تصفیه و مراقبت از تأسیسات تصفیه‌خانه الزامی است. این فرآیند به طور طبیعی شامل یک سری مراحل است.

۱. غربال کردن: اشیاء شناور بزرگ توسط عبور دادن آب آلوده از غربال ها، برداشته و زدوده می‌شود. تعدادی از گیاهان به عنوان تجزیه کننده مورد استفاده قرار می‌گیرند که مواد را غربال می‌کنند و سپس خرده‌ها و باقی‌مانده‌های مواد در آب از مخزن جمع‌آوری و خارج می‌گردند.

۲. برداشتن سنگ‌ریزه: سنگ، سنگ‌ریزه، خاکسترها و سنگ‌های کوچک در ته ظرف ته نشین می‌شوند.

۳. خارج نمودن رسوبات: بعد از زدوده شدن سنگریزه‌ها از فاضلاب، جامدات معلق در آن باقی می مانند. جامدات معلق در صورتی که سرعت جریان فاضلاب کم شود، ته نشین خواهند شد. این امر در یک مخزن رسوب‌گیری کامل می‌شود. جامدات معلق که به حالت رسوب خارج‌شده‌اند، لجن خام نامیده می‌شوند و برای مصرف جمع‌آوری می‌شوند. حدود ۲۵ تا ۵۰ درصد از نیاز بیوشیمیایی اکسیژن[1] واردشده، ۵۰ تا ۷۰ درصد کل مواد معلق (نامحلول) و ۶۵ درصد از روغن و چربی موجود در پساب طی این مرحله از عملیات آماده سازی از پساب جدا می‌شوند. قسمتی از ازت آلی، فسفر آلی و فلزات سنگین همراه با مواد جامد به غیر از اجزاء محلول و مواد کلوئیدی نیز طی عملیات رسوب‌گیری خارج می‌شود. به پساب حاصل در اولین واحدهای رسوب‌گیر پساب اولیه گویند[۶].

۲-۳-۲ تصفیه ثانویه

هدف از تصفیه ثانویه، اصلاح بیشتر پساب اولیه از جهت حذف باقی‌مانده‌های مواد آلی و مواد معلق است. در بیشتر حالات، تصفیه ثانویه به دنبال تصفیه اولیه و به منظور حذف بیولوژیکی نمک‌های محلول و کلوئیدی آلی از طریق استفاده از فرآیندهای بیولوژیکی هوازی است. فرآیند تصفیه بیولوژیکی هوازی با حضور اکسیژن به وسیله میکروارگانیسم‌های هوازی خصوصاً باکتری‌ها اجرا می‌شود. مواد آلی موجود در فاضلاب دگرگون شده و به این ترتیب باعث تولید بیشتر محصولات غیر آلی و نهایی خصوصاً دی اکسید کربن، آمونیاک و آب می‌شوند. از جمله فرآیندهای بیولوژیکی هوازی که در تصفیه ثانویه مورد استفاده قرار می‌گیرند، می‌توان به فرآیند لجن فعال[2]، صافی چکنده[3]، کانال اکسیداسیون[4] و تماس دهنده‌های بیولوژیکی دوار[5] اشاره نمود[۶].

---

[1] Biochemical Oxigen Demand (BOD)
[2] Activated Sludge
[3] Trickling Filters
[4] Oxidation Ditche
[5] Rotating Biological Contactor

فرآیند لجن فعال یک روش بیولوژیک هوازی برای تصفیه فاضلاب است و شامل زندگی میکروارگانیسم ها به همراه ماده آلی در یک محیط غنی از اکسیژن است. طی این فرآیند در یک مخزن هوازی، فاضلاب در مجاورت هوا قرارگرفته تا اکسیژن آن به صورت محلول در فاضلاب در آمده، موجب زندگی و تولیدمثل باکتری ها گردد. فاضلاب پس از دریافت اکسیژن در استخر هوادهی و کاهش BOD_5 آن، وارد استخرهای ته نشینی شده، ذرات معلق که روی آن ها باکتری‌های هوازی قرارگرفته‌اند باهم لخته‌هایی را تشکیل داده و به نام لجن فعال در استخر ته نشینی ثانویه، ته نشین می‌شوند. عملیات حذف آلاینده‌ها توسط این فرآیند شامل مراحل:

۱. استفاده میکروارگانیسم ها از مواد آلی پیچیده، به عنوان ماده غذایی و در نتیجه تولید میکروارگانیسم های بیشتر
۲. تولید گاز دی اکسید کربن که در جو پراکنده می گردد.
۳. تولید آب که به همراه جریان فاضلاب تصفیه‌شده خارج می گردد.
۴. تولید انرژی که میکرب ها برای ادامه زندگی خود به آن احتیاج داشته و آن را مصرف می کنند.
۵. حذف میکروارگانیسم های اضافی از فرآیند (مواد آلی موجود در فاضلاب به میکروارگانیسم ها تبدیل‌شده و پس از ته نشینی از فاضلاب خارج می گردند). اعمال سیستم لجن فعال می‌تواند ۹۰ درصد جامدات معلق و BOD_5 را برطرف سازد. در فرآیند لجن فعال سرعت عمل باکتری به وسیله هوای رسیده به لجن مملو از باکتری نسبت به روش مهار ابتدایی بیشتر می‌شود[۲۰].

۲-۳-۳ تصفیه پیشرفته

تصفیه پیشرفته هنگامی به کار می رود که مواد تشکیل‌دهنده خاصی که باید از پساب حذف شوند، در اثر تصفیه ثانویه نتوانند حذف شوند. فرآیند تصفیه پیشرفته جهت حذف نیتروژن، فسفر، مواد معلق اضافه، مواد آلی سخت و نمک‌های محلول به کار می رود[۱۵].

۲-۴ لجن فاضلاب

در یک تصفیه‌خانه دارای فرآیند ثانویه، لجن اولیه ناشی از ته نشینی اولیه و لجن ثانویه و بیولوژیکی ناشی از رسوب سازی فرآیند بیولوژیکی است. خصوصیات لجن ثانویه بستگی به نوع فرآیند بیولوژیکی داشته و غالباً با لجن اولیه قبل از تصفیه مخلوط شده و به مصرف می‌رسد. لجن فاضلاب دارای باکتری ها، ویروس ها و جانوران تک سلولی است که می‌تواند از این لحاظ سلامتی انسان ها، حیوانات و گیاهان را به خطر اندازد. به غیر از موارد فوق، لجن فاضلاب همچنین دارای عناصر مفیدی نظیر نیتروژن، فسفر و مواد آلی است. نیتروژن قابل‌دسترس بیشتر به تصفیه لجن، مایع تصفیه نشده لجن و لجن‌های خشک تصفیه‌شده که به آرامی نیتروژن برای محصولات آزاد می کنند، بستگی دارد[۱۵].

اجزاء آلی موجود در لجن فاضلاب دارای انواع مختلف و مهمی از نظر ترکیب شیمیایی می‌باشند که از جمله آن ها می‌توان به PCB[2]، PAH[1]، فنل ها و اسیدهای آلی اشاره کرد. این مواد اثرات زیادی در حرکت و انتقال عناصر سمی داشته و در مقدار، نوع و شکل‌های قابل‌دسترسی این عناصر، اثرات قابل‌توجهی دارند[۴۷].

---

[1] Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH)
[2] Poly Chlorinated Biphenyls (PCB)

۲-۴-۱ تصفیه لجن فاضلاب

روش های مربوط به تصفیه لجن تا حدی شامل جدا کردن آب از لجن است. لذا انتخاب روش یا روش‌های فرآیند تصفیه لجن بستگی به نحوه‌ی دفع مناسب با شرایط خاص لجن و تصفیه‌خانه دارد. هر نوع لجن بسته به پمپ زنی، شرایط شیمیایی و فیلترگذاری دارای خواص مختلفی است؛ بنابراین انتخاب نوع تصفیه عمدتاً از نظر شرایط اقتصادی بستگی به نوع لجن دارد. از جمله فرآیندهای تصفیه لجن در انگلستان می‌توان به پاستوریزه سازی، هضم هوازی، کمپوست، تثبیت آهک در شیرابه لجن، انبار شیرابه و آبگیری و ذخیره اشاره نمود[۶,۱۵].

۲-۴-۲ کاربرد لجن فاضلاب

غلظت عناصر سمی بالقوه[1] شامل روی، مس، نیکل، کروم، کادمیوم، سرب در خاک‌های قابل کشت نبایستی از حد متعارف تجاوز نماید. حد مجاز غلظت فلزات سنگین در لجن مورد استفاده در کشاورزی طبق دستورالعمل جامعه اروپا 86/27/EEC در جدول ۲-۱ و حداکثر غلظت فلزات سنگین در خاک بعد از استفاده از لجن فاضلاب طبق دستور UK (۱۹۸۹) و 86/278/EEC در جدول ۲-۲ ارائه‌شده است. برای روی، مس و نیکل خاک، حداکثر غلظت مجاز با پ هاش خاک تغییر می‌کند، چرا که خسارت وارده از طریق عناصر سمی در خاک‌های اسیدی بیشتر است؛ بنابراین حداکثر غلظت فلزات سنگین در خاک پس از استفاده از لجن فاضلاب، نبایستی از حد متعارف در جدول ۲-۲ تجاوز نماید[۱۵].

۲-۴-۳ اثر لجن فاضلاب بر غلظت عناصر سنگین در خاک

تجمع بعضی فلزات نظیر روی، سرب، کادمیوم و غیره در خاک که بر اثر استفاده از پساب فاضلاب برای آبیاری رخ می‌دهد، از مهم‌ترین آلوده‌کننده‌های خاک می‌باشند. اگر چه تأمین رشد گیاه از وظایف اصلی خاک است، ولی هنگامی که این ماده حیات‌بخش به هر دلیل آلوده شود، دیگر قادر به ایفای نقش‌های خود نخواهد بود؛ بنابراین اگر یکی از استعدادهای خاک بیش از حد به کار گرفته شود کار ویژه آن بخش دچار اختلال شده و بین این دو وظیفه اصلی، تأمین عناصر غذایی برای رشد گیاه و پالایندگی، برخورد پیش خواهد آمد[۵]. در میان فلزات سنگین، کادمیوم و سرب مهم‌ترین تهدیدکننده زنجیره غذایی به شمار می روند. این فلزات دارای اثر بیولوژیکی مفید نیستند و اگر غلظت این عناصر در حد آسیب‌رسانی هم نباشد، توسط گیاهان جذب‌شده و در بافت‌های گیاهی تجمع می‌یابند که در نهایت برای مصرف‌کنندگان این گیاهان مضر خواهد بود[۵۷]. برخی از محققین گزارش کرده‌اند که در غلظت بالای عناصر سنگین، عملکرد گیاهی کاهش می‌یابد، اما مشکل اصلی، انتقال غلظت‌های بالای عناصر سنگین به وسیله گیاه روییده شده در خاک‌های آلوده، به انسان و حیوانات است[۵۵].

یودوم و همکاران(۲۰۰۳)با مطالعه توزیع مس، روی، کادمیوم و سرب در خاک پس از مصرف طولانی مدت لجن فاضلاب (دوره ۴۰ ساله)، به این نتیجه رسیده‌اند که مصرف طولانی مدت لجن فاضلاب در خاک پس از ۴۰ سال، منجر به افزایش غلظت روی به ۶۱۱ درصد، سرب به ۲۳۰ درصد، کادمیوم به ۳۹ درصد و مس به ۴۷۹ درصد، در مقایسه با عدم استفاده لجن می‌گردد. غلظت این فلزات در سطوح مشاهده شده، عوارض جانبی دائمی بر روی کیفیت خاک و تولید محصولات کشاورزی داشته است.کاهش در سطوح زیست توده میکربی خاک و مهار تثبیت نیتروژن از عوارض جانبی مرتبط با چنین غلظت‌های فلزات سنگین است [۸۰] . خیام باشی(۱۳۷۶) با مطالعه اثر لجن فاضلاب بر دو نوع گیاه کاهو و اسفناج و زائری(۱۳۸۰) با مطالعه اثر لجن فاضلاب بر خواص فیزیکی خاک نشان

[1] Potentially Toxic Elements (P.T.E)

دادند که اضافه کردن لجن فاضلاب به خاک، غلظت قابل‌جذب عناصر کمیاب آهن، مس، روی و منگنز و میزان غلظت فلزات سنگین سرب، نیکل، کبالت و کادمیوم را افزایش می‌دهد. واثقی(۱۳۸۰) نیز با مطالعه اثر لجن فاضلاب بر گیاهان اسفناج، کاهو و لوبیا سبز نشان داد که لجن فاضلاب حاوی مقادیر زیادی فلزات سنگین شامل سرب، کادمیوم، نیکل و کبالت بوده و باعث افزایش معنی‌دار غلظت قابل‌جذب این عناصر در خاک می‌گردد و جذب این فلزات سنگین توسط گیاهان در خاک‌های اسیدی به دلیل حلالیت بالای این فلزات در این خاک ها نسبت به خاک‌های غیر اسیدی، بیشتر است[۵،۸،۲۱].

جدول ۲-۱ حد مجاز غلظت فلزات سنگین در لجن مورد استفاده در کشاورزی[۳۶]

عناصر	حد مجاز غلظت فلزات سنگین (میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک)
کادمیوم(Cd)	۲۰-۴۰
مس(Cu)	۱۰۰۰-۱۷۵۰
نیکل(Ni)	۳۰۰-۴۰۰
سرب(Pb)	۷۵۰-۱۲۰۰
روی(Zn)	۲۵۰۰-۴۰۰۰
جیوه(Hg)	۱۶-۲۵
کرم(Cr)	-

جدول۲-۲ حد مجاز غلظت فلزات سنگین در خاک بعد از استفاده از لجن فاضلاب[۶۱]

فلزات سنگین	حد مجاز غلظت فلزات سنگین در خاک طبق UK (میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک)				حد مجاز غلظت فلزات سنگین در خاک طبق 86/278/EEC (میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک)
-	pH < ۰/۷	pH ۰/۷<۰/۰ ۶	pH ۶<۰/۶ ۵/	pH ۵/۵ >۰/۵	۶ < pH <۷
روی	۴۰۰	۳۰۰	۲۵۰	۲۰۰	۱۵۰-۳۰۰
مس	۲۰۰	۱۳۵	۱۰۰	۸۰	۵۰-۱۴۰
نیکل	۱۱۰	۷۵	۶۰	۵۰	۳۰-۷۵
کادمیوم	۳	۳	۳	۳	۱-۳
سرب	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۵۰-۳۰۰
جیوه	۱	۱	۱	۱	۱-۱/۵
کروم	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	-
مولیبدن	۴	-	-	-	-
سلنیوم	۳	-	-	-	-
آرسنیک	۵۰	-	-	-	-
فلورید	۵۰۰	-	-	-	-