کمپوست کردن لجن فاضلاب بدون اضافه کردن عوامل حجیم کننده*

ترجمه : عبدالرحیم پرورش*

چکیده

کمپوست کردن لجن خام از چندین دههٔ قبل با استفاده از مواد حجیم کننده و رطوبت‌گیر نظیر کاه، کاغذ، علف و یا زباله‌های شهری انجام شده است.

در چند سال اخیر، کمپوست کردن لجن تصفیه نشدهٔ فاضلاب بدون استفاده از مواد حجیم کنندهٔ فوق الذکر، به طور موفقیت آمیزی صورت گرفته است.

سودمندی این فرایند در رابطه با صرفه‌جویی در هزینه‌های ساختمانی، تدارکات، حمل و نقل و توزیع می‌باشد. بعلاوه، مواد مغذی به مقدار بسیار کم کاهش می‌یابد، وبه همراه آن، مواد آلی و مواد فرار و رطوبت موجود نیز تقلیل خواهد یافت.

کمپوست تولید شده از جمله تولیداتی است که تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به منظور بهره‌وری بهتر از زمینهای کشاورزی تولید می‌نمایند، که در صورت تغییر قوانین و مقررات موجود راجع به مصرف لجن و فرآورده‌های جانبی آن، پیش‌بینی می‌شود که کمپوست تولیدی برای سایرمصارف ازقبیل باغداری و گلکاری نیز قابل عرضه باشد.

شیوهٔ کمپوست کردن لجن آبگیری شده، بدون استفاده از مواد حجیم کننده، هم اکنون به صورت طرح در تصفیه خانهٔ فاضلاب نیوودرلس‌هیل[1] درکنت شرقی[2] انگلستان، با ظرفیت ۸۰۰۰ تن در سال و با صرف مبلغ ۳ میلیون پوند توسط شرکت ساترن واتر[3] صورت گرفته است.

مقدمه

شرکت خدماتی ساترن‌واتر انگلیس همانند تعدادی از شرکت‌های بزرگ آب انگلیس پیش‌بینی نموده است که در سال ۱۹۹۸ با مشکلات زیادی در رابطه با تصفیه و دفع، یا بازیافت لجن اضافی تصفیه خانه‌های شهری مواجه خواهد بود.

لجن تولیدی شرکت مزبور به طور معمول بالغ بر ۶۲۰۰۰ تن برحسب وزن خشک در سال ۱۹۹۸ برآورد می‌گردد که این مقدار در سال ۲۰۰۱ به بیش از دوبرابر افزایش خواهد یافت و دفع این مقدار لجن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار خواهد بود.

قبل از سال ۱۹۹۳ در همین راستا، یک گروه تحقیقاتی موضوعات زیر را در رابطه با بازیافت لجن فاضلاب مورد

---

*- عضو هیأت علمی دانشکده بهداشت - دانشگاه اصفهان

1- New Weatherless Hill

2- East Kent

3- Southern Water

مطالعه قرارداده است:

۱ـ آیا بازیافت لجن فاضلاب سوددهی دارد؟

۲ـ فروش محصولات در حال و آینده مطمئن می‌باشد؟

۳ـ کیفیت محصولات و خدمات راچگونه بایستی بهبود داد؟

۴ـ هزینه‌های اضافی هر واحد محصول را چگونه می‌توان کاهش داد؟

اما استراتژی شرکت ساترن‌واتر در مورد لجن فاضلاب براین فرض استوار است که لجن فاضلاب یک محصول زائد نیست، بلکه یک مادهٔ خام برای تولیدیک سری فرآورده‌های بیولوژیکی قابل مصرف درکشاورزی می‌باشد.

عواملی که در مصرف این فرآورده‌ها یا به عبارت دیگر استفاده مجدد[1] لجن فاضلاب دخالت دارند عبارتند از:

۱ـ امکان دفن لجن در بستر دریاها و اقیانوسها.

۲ـ امکان دفن تحت فشار لجن در زمین.

۳ـ وجود مقررات در زمینهٔ مدیریت مواد زائد جامد.

۴ـ چگونگی استفاده از لجن براساس مقررات کشاورزی.

۵ـ لزوم پیروی از سیاست حفظ آب‌های زیرزمینی.

۶ـ حساسیت سازمانهای ذیربط نسبت به افزایش یا کمبود نیترات در نواحی مختلف.

۷ـ نظارت و کنترل شدید بر افزایش ازت محیط توسط سازمانهای مختلف.

۸ـ امکان طراحی و تهیه وسائل و امکانات مورد نیاز،

۹ـ مقبولیت عمومی و نیاز مصرف کنندگان به این فرآورده‌ها.

۱۰ـ پذیرش توصیه‌های کمیته‌های محلی درتولید فرآورده های حاصل ازلجن فاضلاب.

محاسبهٔ ارزش درآمد خالص (NPV)[2] موجود و ارزیابی احتمال خطرات ۱۰ فرآورده حاصل ازلجن، امکان طبقه‌بندی فرایندهای مربوطه را فراهم ساخته است. سه فرایند ۵، ۶، ۷ که درجدول ۱ آمده از نظر هزینه‌ها و خطرات در حد متوسط قرار دارند.

هر چند هدف این است که کلیهٔ فرآورده‌های لجن در مرحلهٔ اول برای مصارف کشاورزی بازیافت و مورد استفادهٔ مجدد قرار گیرند، اما سایر مصرف کنندگان (خریداران) نیز پیوسته مد نظر قرار خواهند بود. باید توجه نمود که براساس

1- Reuse

2- Net Present Value

جدول ۱ - محصولات طبقه بندی شده - هزینه‌ها و خطرات احتمالی

شماره	محصول	هزینه	احتمال خطر
۱	لجن خام	۱	۱۰
۲	لجن مایع خام(لجن آبگیری نشده)	۲	۹
۳	لجن مایع هضم شده	۳	۸
۴	لجن خام خشک شده به وسیله حرارت	۴	۷
۵	لجن هضم شده	۵	۶
۶	لجن کمپوست شده بدون استفاده از مواد حجیم کننده	۶	۵
۷	لجن هضم شده و خشک شده به وسیله حرارت	۷	۴
۸	لجن کمپوست شده با استفاده از مواد حجیم کننده	۸	۳
۹	لجن تثبیت شده از طریق شیمیایی	۹	۲
۱۰	سوزاندن لجن	۱۰	۱

قوانین بسیاری ازکشورها، مصرف مواد زائد خانگی تصفیه نشده ممنوع می‌باشد.

کمپوست کردن لجن بدون استفاده از انواع مواد حجیم کننده (علف یا مواد زائد شهری، کاه، کاغذ یا خرده‌های چوب) در جهان توسعه نسبی یافته است. این شیوه کمپوست کردن لجن (بدون اضافه کردن مواد حجیم کننده) پس از تحقیقات پروفسور وولفگانگ بادر[1] در آزمایشگاه تکنولوژی تحقیقات کشاورزی فدرال شروع گردید و سپس به سفارش اداره بهداشت محیط فدرال، در مقیاس بزرگ طراحی و باکمک مدیریت تحقیقات تکنولوژی فدرال در تصفیه خانهٔ فاضلاب مارک تردوایتز[2] به مرحلهٔ اجرا در آمد.

فوائد عمدهٔ کمپوست کردن لجن بدون استفاده از مواد حجیم کننده به شرح زیر می‌باشد:

۱-کمتر شدن هزینه‌های سرمایه‌ای: کوچکتر شدن طرح و محل انبار کردن لجن.

۲-کاهش هزینه‌های مالیاتی: نه از عایدات اصلی، بلکه کاهش هزینه‌های مالیاتی نیروی انسانی مربوط به حمل و نقل، آماده‌سازی و انبارکردن و شاید کارهای مقدماتی برای مهیّا کردن مواد حجیم کنندهٔ لجن .

۳-کاهش هزینه‌های حمل و نقل برای محصول نهایی: به علت حجم کمتر.

۴- تضمین تثبیت بیشتر محصول: نه تنوع در مواد حجیم کننده.

۵- عدم نیاز به یک منبع مناسب مواد حجیم کننده در مدت اجرای طرح.

محاسبهٔ ارزش درآمد خالص (NPV) بر مبنای طرح پایلوت، مجموع هزینه‌ها را حداقل ۱۵ تا ۲۰درصد کمتر از هزینه‌های مربوط به هضم لجن و خشک کردن آن نشان می‌دهد.

تاریخچه کمپوست کردن لجن

بیش از دو دهه است که شرکت ساترن‌واتر انواع مختلف فرایندهای کمپوست کردن لجن را مورد آزمایش و تجربه قرار داده است که خلاصهٔ آنها چنین می باشد:

۱- در سال‌های ۷۹-۱۹۷۸، در تصفیه خانه فاضلاب آشفورد[3] در شهر کنت، هوموس تصفیه نشده با لجن هضم شدهٔ آبگیری شده، در کپه‌ای به ارتفاع ۵-۴ متر، مخلوط و تلنبار گردید. هر سه ماه یک مرتبه این مواد به وسیلهٔ ماشین زیر و رو شد. پس از ۱۲ ماه، ماده‌ای شبیه خاک و به رنگ قهوه‌ای متمایل به سیاه حاصل گردید که به نظر می‌رسید برای سبزی‌کاری، باغبانی و مصرف در باغچهٔ خانه‌ها قابل استفاده باشد.

۲- در سالهای ۸۰-۱۹۷۹، کشاورزان محلّی به علت مشکلات محیطی کاه حاصل از دروی غلات، آن را می‌سوزاندند. به همین سبب کمپوست کردن مخلوط لجن و کاه مورد توجه قرار گرفت و کشاورزان لجن فاضلاب را با کاه مخلوط و در زمین‌های خود کمپوست نمودند. این‌کار خود سبب ایدهٔ جدیدی شد که به تدریج توسعه یافت.

۳- در سالهای ۸۳-۱۹۸۲، یک پروژهٔ مشترک به وسیلهٔ دانشگاه لندن-کالج وای[4]، در تصفیه خانهٔ فاضلاب شهر آشفورد کنت به مرحلهٔ اجرا درآمد. در این پروژه، مخلوط لجن فاضلاب با کاه در یک کپهٔ ثابت کمپوست گردید. هوادهی از طریق یک سیستم هوای فشرده صورت می‌گرفت.

۴- در سالهای ۸۴-۱۹۸۳، نتایج تجربیات موفقی که حاصل شده بود سبب گردید تا طرح کوچکی در مقیاس پایلوت در تصفیه خانه فورشام[5] ساخته شود. هوای فشردهٔ مورد نیاز برای تهویهٔ این طرح، براساس درجه حرارت توده کمپوست کنترل و تنظیم می‌گردید. اگرچه وسائل آماده‌سازی اختصاصی در دسترس بود، امّا معلوم شد که یک کود پخش کن معمولی برای زیر رو کردن و خرد کردن مواد کمپوست شونده و تولید یک محصول ترد و شکننده و خیلی تثبیت شده، بی‌نهایت مؤثر است. زباله های شهری نیز به طور موفقیت آمیز در این محل کمپوست گردید.

۵ - در سال های ۱۹۸۹-۱۹۸۴ ، طرح کمپوست کردن لجن تصفیه نشدهٔ فاضلاب، در تصفیه خانهٔ فاضلاب کانتر بری[6] زیرنظر دانشگاه لندن -کالج وای، و با ظرفیت ۸۰۰۰ متر مکعب

1- Wolfgong Baader
2- Mark Tred Witz
3- Ashford
4- Wye college
5- Faver Sham
6- Canterbury

لجن طراحی وبه مرحلهٔ اجرا در آمد تا مشکل ایجاد بو در محل راکمترکند (لجن خام قبل از حمل به زمینهای کشاورزی ، به مدت ۹ ماه یا بیشتر انبار شده بود). این شیوه اهداف وسیع تری داشت و به عنوان یک روش تصفیهٔ لجن نیز مطرح گردید.

دراین طرح لجن خام به میزان ۱۰٪ وزن مرطوب به وسیلهٔ یک دستگاه کود پخش کن باکاه مخلوط شده و در ویندروها[1] جایگزین می گردید. هوای فشرده برای حداقل چهار هفته در کپه‌ها دمیده شده و در درجهٔ حرارت بین ۶۰-۵۰ درجه سانتی‌گراد باقی می ماند. مخلوط برای حداقل ۳ ماه دیگر نیز در کپه‌های کمپوست تلنبار ونگهداری می‌شد تا تجزیه و تثبیت موادآلی و رسیدن کمپوست بیشتر ممکن گردد. محصول به دست آمده روانهٔ بازار کشاورزی یا بازارهای مناسب دیگر می گردید. این طرح به علت به وجود آمدن شرایط هضم بیهوازی و مشکل ایجادبو تعطیل گردید .

۶ - در سال ۱۹۹۱، طرح مشابهی در تصفیه خانهٔ فاضلاب پترزفیلد (هامپشایر[2]) ساخته شد تا ۲۴۰۰ متر مکعب لجن خام تولیدی سالیانه راکمپوست نماید . مقدارکاهی که اضافه می‌شد نسبت به طرح کانتربری کمتر بود . طرح در منطقهٔ دور دستی به اجرا در آمد، لذا ایجاد بوی بد مشکلی ایجاد نمی کرد.به علاوه بوزدائی توسط یک بیوفیلتر در یک فضای بسته صورت می‌گرفت.

۷ - در سال ۱۹۹۳ ، تجربیات مجدداً در تصفیه خانهٔ فاضلاب پترزفیلد شروع گردید. مواد زائدفساد پذیر خانگی که در پروژهٔ باز یافت جداسازی شده بود، باکاه به میزان ۳٪ بر حسب وزن مرطوب مخلوط می‌شد، سپس با همان شیوهٔ قبلی به لجن خام اضافه می گردید. لازم به ذکر است که به جای کاه از مواد زائد باغ ها و پارک ها نیز استفاده می‌شد. در پایان این سال، مشخص گردید که از نظر اقتصادی بایستی قیمت محصول افزایش یابد، این بالابردن قیمت مستلزم صرف هزینه‌هایی برای اصلاح کیفیت محصول نهایی بود، لذا این پروژه نیز تعطیل گردید. در خلال همین سال نیز کارهای عملی دیگردر تصفیه خانهٔ فاضلاب آیلسفورد[3] باکمک مالی سوار آلمان نیزصورت گرفت. بدین ترتیب که از یک خشک‌کن با درجه حرارت پایین برای خشک کردن نسبی لجن فاضلاب استفاده گردید. قسمتی از این مواد خشک شده به طور سنجیده و با دقت، در طول ماههای زمستان و فوریه ۱۹۹۴ در فضای آزاد تلنبار گردید تا فرایند کمپوست را تحمل نماید.

فرایند فال[4]

قالبهای درست شده از لجن فاضلاب که در شکلهای مکعب، گلوله ای و اکثراً مکعب مستطیل درست می‌شد، تقریباًدارای ۵۰٪ مواد جامد خشک[5]، ۲۰۰-۷۰ میلی‌متر طول و ۴۵ میلی‌متر ضخامت با سوراخ ۱۰ میلی‌متری در وسط بود. محتویات این قالبهای مکعب مستطیلی شامل مخلوط مواد زائد حیوانی و مواد زائد کف اصطبل بود. این مواد در جعبه‌های گرم مجهز به پستانک های تهویه درکف ، قرار داده می‌شد. به طور تقریبی یک سوم جعبه هاراهر روز پر می کردند تا فشردگی حفظ شود. وقتی جعبه ها پرمی شدند برای ۷-۵ روز به حال خود می‌ماندند تا درجه حرارت به ۷۵-۷۲ درجهٔ سانتی‌گراد برسد. هوا با فشارکم در جعبه‌ها دمیده می‌شد تا رطوبت و مقدار آمونیاک باقیمانده حذف شوند. درپایان کار، مواد باقیمانده تلنبار و سپس خرد و غربال می‌گردید و اگر ضرورت داشت با اضافه کردن آهک به صورت گلوله در می آمد. این محصول به عنوان حاصلخیز کنندهٔ عمومی (کود) درکشاورزی مصرف می‌شد و یا از طریق سوپر مارکت‌ها و مراکز باغبانی به بازار عرضه می‌گردید.

فرایند سوار فال[6]

لجن آبگیری شده با ۲۸-۲۵٪ مواد جامد خشک، با استفاده از خشک‌کن (با درجه حرارت پایین) سِوار[7] به لجن با۹۴-۹۰٪ مواد جامد خشک می‌رسید. این مواد، نرم شده و مجدداً با لجن بیشترآبگیری شده و با مواد جامد خشک تقریباً ۵۰٪ مخلوط می گردید. مخلوط حاصل به صورت مکعب مستطیل‌هایی قالب‌گیری شده و همانند فرایند قبل در داخل

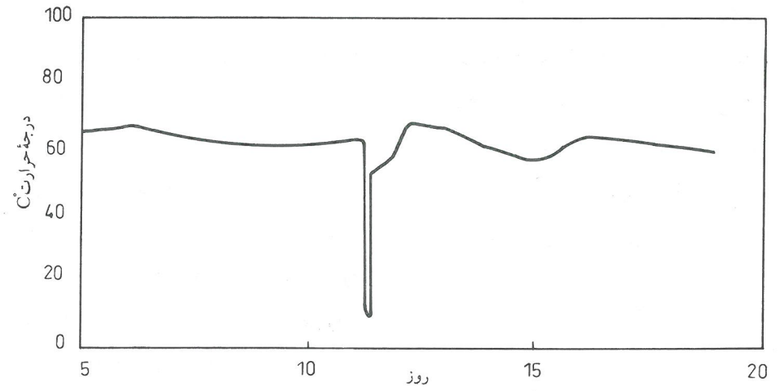
1- Windrows
2- Peters field (Hampshire)
3- Aylesford
4- FAL
5- Dry Solid
6- Sevar FAL Process
7- Sevar

جعبه‌های داغ قرار می‌گرفت. وقتی مواد اضافی آنها حذف می‌شد، خرد می‌گردید و قبل از آنکه برای رسیدن انبار شود، به روش ویندرو، بیشتر کمپوست می‌گردید.

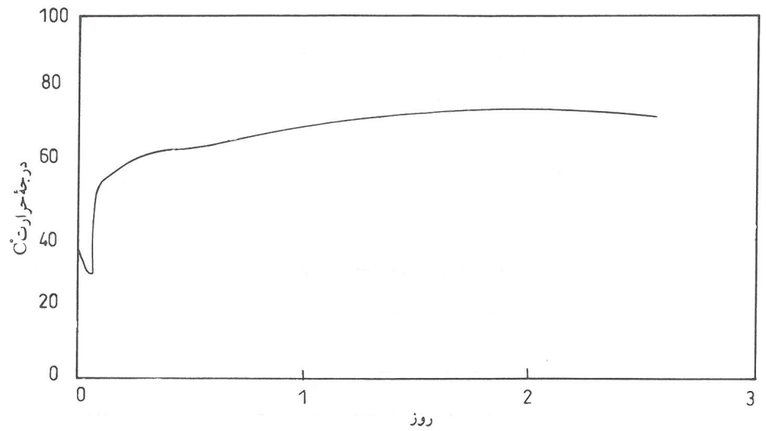
تجربیات تصفیه خانهٔ فاضلاب هورشام[1]

شرکت خدماتی آب جنوب (ساترن واتر) پس ازکسب مجوز لازم توانست طرح قالبی کردن مواد زائد را به صورت عاریتی و با وسائل یکسان در تصفیه‌خانهٔ هورشام و در طول ژوئیه واوت ۱۹۹۴ به انجام برساند. ابزار و وسائل مورد استفاده دقیق و فرایند کاملاً تحت نظر سوار صورت گرفت. با این وجود، مشکلات بزرگی به وجود آمد، از جمله لجن خشک شده به علت وجود فیبر بالا ، قابل نرم کردن نبود. این مشکل در آلمان وجود نداشت، زیرا جداسازی زباله های خانگی در منبع تولید صورت می‌گرفت و لجن به منظور کاهش فیبر موجود بیشتر هضم می‌شد. در ابتدا، فرایند فقط تا حدودی تغییر داده شد و لجن آب‌گیری شده با مواد جامد خشک ۵۰٪ مصرف گردید. این محصول به طور رضایت‌بخشی به شکل قالب (نظیرقالب آجر) در آمد، اما در مرحله حرارت دیدن در جعبه‌های داغ با شکست مواجه گردید و بر خلاف پیش بینی، درجهٔ حرارت پس از ۸ روز فقط به ۴۶ درجه سانتی‌گراد رسیدو حجم قابل ملاحظه‌ای از بخار آب روی سرپوش جعبه که تقریباً به کلی مسدود شده بود، کندانسه شد. قالب های لجن پس از تخلیه منقبض شده و برای شکستن خیلی سخت بودند. کمپوست لجن‌های قالبی که به صورت کپه درآمدند صورت نگرفت و حتی تجزیه پس از چند ماه نیز میسر نگردید. نتیجهٔ به دست آمده از این تجربه نشان دادکه کاهش زیاد رطوبت در مراحل اولیه سبب عدم موفقیت این طرح گردید. تجربهٔ فوق مجدداً تکرار شد، با این تفاوت که لجن حرارت دیده مستقیماً از خشک‌کن بر داشته شد، بدون آن‌که به صورت قالب در آید. وضعیت هوادهی کلاً به همان صورت بود. درجه حرارت پس از ۶ روز به ۷۰ درجه سانتی‌گراد صعود کرد و برای بیش از ۶ روز باقی ماند. بخار آب خیلی کمتر از شیوهٔ قالبی کردن لجن از دست رفت. لازم به یادآوری است که لایه‌ای باضخامت ۱۵۰-۱۰۰ میلی متر ازمواد لجنی در اطراف و در ته جعبه ، وباهمان خشکی شیوهٔ قبل ایجاد می‌گردید. با این وجود، بوی آمونیاک استشمام می‌شد و فرایند جاذب مگس خانگی بود. پس از ۱۲ روز، جعبه ها خالی شدند و به صورت کپهٔ ثابت در آمدندکه با زیر ورو کردن یک مرتبه در روز، درجه حرارت حتی پس از ۵ هفته بین ۶۰-۵۸ درجه سانتی‌گراد باقی ماند (شکل ۱) و برای حفظ رطوبت ،مقادیرقابل ملاحظه ای آب اضافه گردید. محصول بدست آمده از جعبه سیاه به رنگ قهوه‌ای و بوی آن چندان مشمئزکننده نبود، اما هنوز بوی لجن از آن استشمام می‌شد. رشد قارچ سطحی در تمام چرخهٔ تکمیل قابل تشخیص بود. پس از ۱۰ هفته که از عمر فرایند گذشت، محصول به دست آمده دارای رنگ روشن و حالت‌ترد و شکننده و بابوی شبیه خاک بود.

1- Hor Sham



شکل ۱ - تغییرات درجهٔ حرارت در یک‌متری عمق تودهٔ کمپوست



شکل ۲- تغییرات درجهٔ حرارت در یک‌متری عمق تودهٔ کمپوست

این تجربه مجدداً برروی مقداری از مواد لجنی حرارت دیده ورسیده‌تر (مانده تر) اما با تلقیح بیولوژیکی صورت گرفت. درجه حرارت پس از ۲ روز به ۶۸ درجه سانتی‌گراد صعود نمود و قارچ ها پس از ۴ ساعت قابل رؤیت شدند. محتوای جعبه به آرامی تصفیه شده و پس از ۳ روز ، به بالاترین حد رسیدگی کمپوست رسید. نتایج حاصل ازاین تجربیات مبنای طرح فرایند پیوسته شد (شکل ۲).

تجربیات تکمیلی به صورت پر کردن جعبه های داغ با مخلوط مواد نسبتاً خشک شده و لجن قالبی، لجن قالبی فشرده و سرانجام لجن نسبتاً خشک شده انجام گردید. شرایط هوادهی نیز متغیر وکنترل شده بود. به همین دلیل نتایج متفاوتی به هنگام تکرار تجربیات به دست آمد.

کپه‌های[1] ایجاد شده، به وسیله بیل لودر زیر و رو می‌شد. زیرو روکردن کپه‌های کوچک به وسیله دست صورت می‌گرفت. تنها روش موفقیت آمیز که برای کمپوست کردن لجن قالبی پیدا شد ، نرم کردن این مواد در یک خرد کنندهٔ صنعتی بود. گرد و غبار ایجاد شده شرایط و محیط کار را نا خوشایند می‌کرد و درزگیری نکردن مجرای تخلیه به صورتی بود که بایستی مواد در یک کیسه پلی اتیلنی یا کیسهٔ کنفی جمع آوری شوند. خیس بودن مواد نرم شده نیز ایجاد مشکل می‌نمود. هم چنین، یکباره خیس شدن مواد در اثر بارندگی، سبب اشباع مواد گردیده و اصلاح آن رادشوار و پر خرج می‌ساخت و اگر به حال خود گذاشته می‌شد به آرامی به حالت بیهوازی در آمده و بوی ناخوشایند ایجاد می‌گردید.

نتیجه گیری

نتایج به دست آمده از تجربیات مختلف به صورت زیر خلاصه می‌گردد:

۱ - فرایند سِوارفال به علت وجود فیبر زیاد در لجن تغذیه‌ای با شکست روبرو گردید.

۲ - کمپوست کردن قالبهای درست شده از لجن فاضلاب با ۵۰٪ یا بیشتر مواد جامد خشک ،به نظر مشکوک می‌رسد.

۳ - فرایند اصلاح شده‌ای که فقط لجن نیمه خشک رامصرف کرده بود، محصول باکیفیت خوب و بدون بو تولید نمود.

۴ - اضافه کردن مواد تلقیح بیولوژیکی ، فعل و انفعال میکروبی را سریعاً افزایش می‌دادکه این افزایش هم در حین‌قالبی کردن لجن و هم به صورت جزئی در لجن آب‌گیری شده صورت می‌گرفت.

۵ - مرحله اول کمپوست کردن، در صورت فشرده بودن مواد و حداقل هوادهی، سریعاً انجام می‌شود.

قالبهای تشکیل شده از محصول نارس نیروی کششی کمی دارند. وقتی قالبها مستقیماً از مواد موجود در جعبه داغ درست

1- Piles

شده باشند، سریعاً توسط رطوبت هوا و تشکیل قارچها تجزیه می گردند. در طول تجربیات بعدی، وسائل کنترل درجهٔ حرارت هم به روش دیجیتال وهم به صورت گرافیکی اندازه گیری گردیده است که در جدول ۲ و شکل های ۱ و ۲ داده شده است. درجه حرارت به وسیلهٔ یک ترمومتر یک متری کمپوست اندازه گیری شده است که به طور عمقی از طریق سوراخهای ایجاد شده وارد تودهٔ کمپوست می شوند. نتایج نمونه‌برداری درعمق های مختلف وپس ازرسیدن درجه حرارت تودهٔ کمپوست به بالاترین سطح خود در جدول (۳) نشان داده شده‌است.

جدول ۲- نتایج دمای ثبت شده در عمق یک متری در وسط جعبه‌های داغ.

درجه حرارت جعبهٔ داغ با وسائل الکترونیکی در تصفیه خانه هورشام اندازه گیری شده است.

درجه‌حرارت C°	زمان	تاریخ	درجه حرارت C°	زمان	تاریخ	درجه حرارت C°	زمان	تاریخ
۶۹/۱	۱/۰۰	۹۴/۱۰/۲۷	۷۲/۳	۰/۴۵	۹۴/۱۰/۲۳	۴۰/۶	۱۸/۲۰	۹۴/۱۰/۲۱
۶۸/۲	۸/۰۰		۷۲/۹	۳/۰۵		۳۷/۷	۱۸/۳۵	
۶۷/۵	۱۳		۷۳/۶	۵/۴۰		۳۲/۴	۱۹/۲۰	
۶۷	۱۷		۷۳/۹	۸/۴۵		۳۰/۵	۲۰/۰۵	
۶۶/۵	۲۰/۳۰		۷۴/۵	۱۳/۰۵		۵۰/۲	۲۰/۲۰	
۶۵/۷	۱/۳۰	۹۴/۱۰/۲۸	۷۴/۷	۱۶/۰۵		۵۵/۲	۲۰/۵۰	
۶۵	۶/۰۰		۷۴/۶	۱۷/۳۵		۵۷/۲	۲۱/۵۰	
۶۴/۸	۱۱/۳۰		۷۴/۵	۱۹/۰۵		۵۸/۹	۲۲/۵۰	
۶۵	۱۴/۵۰		۷۴	۲۲/۵۰		۶۰/۶	۲۳/۵۰	
۶۵	۲۱					۶۲/۸	۱/۳۵	۹۴/۱۰/۲۲
۶۴/۹	۱/۳۰	۹۴/۱۰/۲۹	۷۳/۵	۱/۲۰	۹۴/۱۰۲۴	۶۴	۳/۳۵	
۶۴/۷	۷/۰۰		۷۲/۹	۳/۵۰		۶۴/۵	۵/۲۰	
۶۴/۴	۱۵		۷۲	۷/۳۰		۶۴/۸	۶/۵۰	
۶۴/۲	۲۳		۷۱/۷	۸/۲۰		۶۵/۷	۹/۲۰	
۶۴/۱	۶/۰۰	۹۴/۱۰/۳۰	۶۸/۸	۱۱	۹۴/۱۰/۲۵	۶۶/۹	۱۱/۵۰	
۶۴/۴	۱۲		۶۸/۸	۱۴		۶۸	۱۳/۴۵	
۶۴/۶	۱۶		۶۹/۱	۱۸/۳۰		۶۹	۱۵/۲۰	
۶۵	۲۱		۶۹/۶	۲۳/۳۰		۶۹/۹	۱۶/۰۵	
۶۵/۲	۱/۰۰	۹۴/۱۰/۳۱	۷۰	۲/۱۵	۹۴/۱۰/۲۶	۷۰/۹	۱۹/۵۰	
۶۵/۶	۷/۰۰		۷۰/۷	۹/۳۰		۷۱/۶	۲۱/۵۰	
۶۵/۶	۱۰/۰۰		۷۰/۸	۱۲/۱۵				
۶۵/۶	۱۵/۴۵		۷۰/۵	۱۷				
(تخلیه جعبه)			۶۹/۷	۲۲/۳۰				

جدول ۳- نتایج نمونه برداری در عمق ۱۰۰۰-۱۰۰ میلی‌متر

درجه‌حرارت C°	عمق (میلی متر)
۴۰	۱۰۰
۴۵/۵	۲۰۰
۵۵	۳۰۰
۶۱	۴۰۰
۶۵	۵۰۰
۶۷/۷	۶۰۰
۶۹/۵	۷۰۰
۷۰/۵	۸۰۰
۷۱	۹۰۰
۷۱	۱۰۰۰

مواد جامد خشک لجن که به مصرف خوراک دستگاه رسیده است با استفاده از دستگاه رطوبت سنج سارتوریوس نشان داده شده است.

نمونه‌ها از مراحل مختلف فرایند از جمله آب کندانسه شدهٔ خشک کن برداشته و سپس به وسیله ساترن ساینس [1] آنالیز شد. نتایج نمونه‌ها در جداول ۴ و ۵ نشان داده شده است.

لازم به یادآوری است که پاستوریزه کردن لجن در طول مرحلهٔ جعبهٔ داغ حاصل می‌شود و آلودگی کمی در حین دومین فاز زیرورو کردن صورت می گیرد. مواد مغذی کمی در حین فرایند از دست می‌رود، لذا لازم است از درجهٔ حرارت پایین تری در طول فرایند خشک کردن استفاده گردد.

تجربیات به دست آمده

یک سری مطالعات بر روی رشد گیاهان مختلف شامل، حنای گینهٔ جدید، کاج کوتاه، بوتهٔ گل سرخ، گوجه فرنگی و جو زمستانه که ازکمپوست لجن استفاده نموده‌اند به وسیلهٔ مراکز تحقیقات کشاورزی انگلیس در حال انجام است. مطالعه بر روی جو زمستانی نشان دادکه مخلوط متعادل کمپوست با خاک شنی برای مصرف در مزارع کشت غلات قابل استفاده بوده است. برای محصولات سیفی کاری و باغبانی، مخلوط کمپوست با ذغال سنگ نارس (تورب) و جوی کمپوست شده به نسبت صفر تا ۸۰٪ حجمی مخلوط مورد استفاده قرار گرفته ومطلوب گزارش گردیده‌است.

تحقیقات در مورد ترکیب کمپوست، رشد و نمو گیاه و کیفیت آن (شادابی و....)، مواد مغذی و عناصر بالقوه سمی [2] و قابلیت نگهداری و حفظ آب درحال بررسی وانجام می‌باشد. علاوه برمواردفوق تجربیات جامع تر برروی ازت در دسترس (موجود) خاک کشاورزی پس از یک دورهٔ ۶ ماهه، و مقایسه نتایج حاصل با نتایج حاصل از اضافه کردن لجن هضم شده نیز صورت گرفته است. به دنبال نتایج تجربی، امید می‌رود تا در سال های آتی، طرح و تجربیات حاصل از کشت محصولات کشاورزی که ازلجن کمپوست شدهٔ فاضلاب استفاده می نمایند، کامل گردد.

آنچه در آینده بایستی انجام شود

تجربیات موفقیت آمیز در هورشام سبب شد که سوار، تیلبوری داگلاس و براکت درخواست نمایندکه یک طرح تحقیق در مقیاس کامل [3] و به صورت کاری جدید در ساترن واتر و درلیس هیل نزدیک رامس گیت، شهرکنت، پیشنهاد گردد. در

1- Southern Science
2- (PTE) Potentially Toxic Element
3- Full Scale

جدول ۴- تجزیهٔ نمونه های لجن در مراحل مختلف تهیهٔ کمپوست ازلجن درتصفیه خانه فاضلاب هورشام

عنوان	واحد	موادموجوددر خشک‌کن	موادموجوددر جعبه‌داغ	موادموجوددر کپه‌ثابت	کمپوست‌رسیده ۹ماهه
		مقادیر			
مواد آلی و فرار در ۵۰۰°C	٪	۷۶/۷	۷۷	۵۴	۴۳
مواد جامد در ۱۰۵°C	٪	۲/۸۶	۵۰/۵	۶۰/۵	۵۸
سولفور کل بر حسب S	٪	–	–	–	۱/۰۴
ازت کل بر حسب N	٪وزن خشک	۳/۱۶	–	۲/۹۳	۳/۵
فسفر کل بر حسب P	٪وزن خشک	۱/۵۰	–	۳/۴	۱/۵
pH	واحد pH	۶/۵۷	۶/۶۸	۷/۰۶	۷/۲
کادمیم	mg/kg وزن خشک	۱/۴۸	–	۱/۸	۲/۸
کرم	" "	۳۹/۴	–	۵۳	۵۷
مس	" "	۸۵۱	–	۷۵۶	۷۳۳
سرب	" "	۱۴۷	–	۲۴۰	۲۵۶
نیکل	" "	۶۹	–	۸۸	۱۴۸
روی	" "	۶۰۲	–	۷۰۰	۱۰۶۲
جیوه	" "	۴/۳	–	–	۶/۲
آرسنیک	" "	۴/۵	–	۵/۲	۵
مولبدن	" "	۳	–	۴/۹	۴/۴
سلنیوم	" "	۰/۱۹	–	۱/۸	۱/۵
فلوراید	" "	۶۷	–	۱۳۰	۱۳۸
پتاسیم کل بر حسب K	" "	۱۵۹۹	–	–	۳۴۸۳
منگنز	" "	–	–	–	۶۱۲
کلسیم	" "	–	–	–	۵۴۳۸۸
منیزیوم	" "	–	–	۲۸۵۰	۲۵۸۰
آهن	" "	–	–	–	۱۰۸۶۳
بُر	" "	–	–	–	۵۱
بُر محلول در آب داغ	" "	–	–	–	۲۰
ازت‌آمونیا کی‌کل	" "	–	–	–	۳۲۵۲
مس به دست آمده با EDTA	" "	–	–	–	۳۱۶
نیکل به دست آمده با EDTA	" "	–	–	–	۲۲
روی به دست آمده با EDTA	" "	–	–	–	۶۳۴
سرب به دست آمده با EDTA	" "	–	–	–	۱۱۱
کادمیم به دست آمده با EDTA	" "	–	–	–	۱/۷۵
منیزیوم‌قابل استخراج با آب	" "	–	–	–	۲۳۰
سولفات قابل استخراج با آب	" "	–	–	–	۱۸۲۸۱
ازت آمونیا کی قابل استخراج با آب	" "	–	–	–	۱۷۶۰
نیترات‌به‌صورت ازت‌قابل‌استخراج‌باآب	" "	–	–	–	۲۵۹
پتاسیم‌قابل‌استخراج‌باآب (K)	" "	–	–	–	۱۲۱۹
فسفر قابل استخراج با آب (P)	" "	–	–	–	۱۲۸
قابلیت هدایت الکتریکی	Usim/cm	–	–	–	۱۱۶۵
دانسیتهٔ حجمی	g/cm3	–	–	–	۰/۵۶
خاکستر کل	٪	–	–	–	۴۶
سالمونلا	حضور/عدم‌حضور	–	–	۰	حضوردر۲۵ گرم
اشریشیا کلی	تعدادردرهرگرم	–	–	۱	>۱۱۰۰
استرپتوکوکسی	تعدادردرهرگرم	–	–	۱	<۱۰

جدول ۵- نتایج حاصل‌ازمقایسهٔ‌آب مصرفی شهروآب حاصل ازکندانسهٔ‌بخارات‌خشک کن لجن(با درجه حرارت‌کم) در فرایند سِوار

Q2(۹۰٪ جریان)	PH	SS	BOD	COD	NH4-N	PO4
آب شهر	۶/۹	۲/۱	۴/۹	۱۴	۰/۴۲	۰/۰۴
پساب نهائی	۷/۰۳	۱	۸/۳	۳۴	۰/۳۶	۰/۰۳
Q3(۱۰٪ جریان)						
آب شهر	۶/۹	۲/۳	۲/۵	۹/۵	۰/۱۹	۰/۰۴
پساب نهائی	۷	۱/۲	۲/۴	۲۰	۲۰	۰/۰۳

طرح کمپوست به مقیاس تجارتی، اطاقک (سلول) کمپوست کردن به صورت دو تایی ودر دو طبقه درست شده است. کف این اطاقکها به صورت چند تکه‌ای و قابل چرخش حول یک محور می باشند. در طبقه بالایی، درجه حرارت برای حداقل ۲ روز به حدود ۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد می‌رسد. هوای فشرده برای آماده سازی فرایند مواد مورد نیاز نمی‌باشد، اما اگر هوا مورد نیاز باشد، سیستم هوادهی خودکار نصب شده است. پس از ۶-۵ روز باقیماندن مواد در سلول، یک انتقال ثابت و پیوسته به طبقه پایینی از طریق کف های چرخان صورت می گیرد. در طبقهٔ پایینی حرارت مواد مجدداً به ۶۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد که همزمان رشد اولین قارچها نیز رخ می دهد. این عمل تولید بوی مواد را بلوکه می کند . کمی بیش از ۶-۵ روز مواد از این طبقه تخلیه می گردند. عمل تخلیه، مجدداً توسط کف های چرخان انجام می‌شود. جداکردن گاز به وسیله یک صافی صورت می‌گیرد. لجنی که به تازگی کمپوست شده است از طبقات اطاقک به قسمت اصلی یعنی محل ویندرو انتقال داده می‌شود. با دقت لازم، درجهٔ حرارت و رطوبت کنترل می‌شود و محصول پس از یک مدت زمان ۱۲ هفته‌ای یا بیشتر، تثبیت می‌گردد و قبل از توزیع انبار می‌شود. پروژه فوق از نوامبر ۱۹۹۵ به‌کار افتاده است و نظارت مداوم در طول ۱۲ماه اول صورت خواهدگرفت تا اطلاعات بیشتری در مورد بهبود فرایند به دست آید و برای مقایسهٔ در آمد حقیقی ، هزینه‌های پروژه به طور تئوری داده‌پردازی گردد.

✶ Pullin, C.J. (1995). " Composting Wastewater Sludges Without the Addition of Bulking Agents ", 3RD International Conference on Water and Wastewater Treatment, London.

منابع و مراجع

1- Carroll, A., Caunt , and Gcunliffe, P. (1993). " *Composting Sewage Sludge* ", J. IWEM, No.7.

2- Baader, W. (1992). " *Biological Sludge Drying* ", Seminar Antwerp Royal Flemish Ery , Associates.

3- Baader, W. " *Method For Production of Fertilizer from Animal Excrements* ". Patent No. DE 27 , 05 , 098 , C2 .

4- Baader, W., Schuhardt, F., and Sonnenbery, H. (1991). " *Construction and Testing of a Pilot Plant for Composting Dewatered Sewage Sludge Extruded into Briquetts, without Using Additional Materials* ", Institute of Technology (FAL), Report M 172, Feb.