



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی



## بررسی امکان تولید کمپوست از لجن آبگیری شده تصفیه خانه فاضلاب یزد به روش ویندرو با تیمارهای مختلف

مهدی مختاری<sup>۱</sup>، اکبر صالحی وزیری<sup>۲</sup>، طاهره زارعی<sup>۱</sup>، ماهرخ جلیلی<sup>۱\*</sup>

۱- (نویسنده مسئول): گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران  
۲- گروه مهندسی بهداشت محیط، ناظر و بهره بردار تصفیه خانه فاضلاب شهری یزد، یزد، ایران

### چکیده

زمینه و هدف: لجن آبگیری شده فاضلاب نوعی محصول فرعی در فرایند تصفیه فاضلاب است که در صورت عدم مدیریت مناسب می‌تواند مشکلات بهداشتی و زیست محیطی ایجاد کند. مطالعه حاضر با هدف تعیین قابلیت کمپوست شدن لجن آبگیری شده تصفیه خانه فاضلاب شهری یزد به روش ویندرو با تیمارهای مختلف انجام شد.

روش بررسی: در این مطالعه، لجن آبگیری شده فاضلاب با دو تیمار پسماند کشاورزی (کاه) و پسماند سبز (باغبانی) به ترتیب با نسبت وزنی ۱:۲۰ و ۱:۱۰ (پسماند کشاورزی: لجن آبگیری شده و پسماند سبز: لجن آبگیری شده) برای رسیدن به نسبت C/N:۲۰ مخلوط و ویندروهایی به طول ۲ m، عرض ۷۵ cm و ارتفاع ۱/۵ m ساخته شد. فرایند کمپوست‌سازی از طریق اندازه‌گیری پارامترهای دما، رطوبت، جامدات فرار، خاکستر، pH، EC، کربن آلی و برآورد نسبت C/N کنترل و در نهایت با مقادیر استاندارد اعلام شده توسط موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران مقایسه گردید.

یافته‌ها: پس از گذشت ۱۰۰ روز از شروع فرایند کمپوست‌سازی نسبت C/N در تیمار پسماند سبز به ۱۳/۰۸±۶/۲۵ و در تیمار پسماند کشاورزی به ۱۵/۴۶±۵/۳۵ رسید. مقدار جامدات فرار در تیمار پسماند سبز ۱۹/۸±۱۴/۰۱ درصد و در تیمار پسماند کشاورزی ۲۰/۷۱±۱۶/۰۶ درصد کاهش یافت. میزان EC در هر دو تیمار روند افزایشی داشت.

نتیجه‌گیری: کمپوست‌سازی منجر به بهبود شاخص‌های کود آلی در لجن آبگیری فاضلاب با هر دو تیمار شد. به هر حال ویندرو حاوی پسماند سبز از لحاظ زمانی زودتر از ویندرو حاوی پسماند کشاورزی به استانداردهای تعیین شده کمپوست رسیده، رسید.

### اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۱/۳۰  
تاریخ ویرایش: ۹۵/۰۴/۲۰  
تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۴/۲۸  
تاریخ انتشار: ۹۵/۱۲/۱۶

واژگان کلیدی: کمپوست، لجن آبگیری شده یزد، عوامل حجیم کننده، پسماند سبز، پسماند کشاورزی

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:  
nedajalili52@gmail.com

## مقدمه

لجن فاضلاب جزء مواد زائد جامد باقیمانده حاصل از تصفیه فاضلاب خانگی است (۱). نظر به آنکه حجم لجن تولید شده در تصفیه خانه‌ها به طور عام زیاد بوده و مصرف مشخصی نیز برای آنها تعریف نشده است، بحث مشکل انباشت لجن در محوطه تصفیه‌خانه‌ها مطرح است همچنین محدودیت‌های نگهداری اهمیت بسیاری دارد، از اینرو مدیریت صحیح لجن تولیدی در تصفیه‌خانه‌ها امری ضروریست (۲). دفع این مواد به نحوی که هم به بهداشت عمومی آسیب نرساند و هم مشکلات زیست محیطی ایجاد نکند، به برنامه‌ریزی و تلاش فراوان نیاز دارد. به عبارت دیگر رها کردن لجن در محیط زیست به دلیل وجود مواد فسادپذیر، میکروب‌های بیماری‌زای موجود در آن، به اشاعه بیماری‌های عفونی و تخریب محیط زیست می‌انجامد (۳). سالیان زیادی است که از لجن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری به منظور بهبود شرایط و حاصلخیزی زمین‌های کشاورزی استفاده می‌شود (۴). اما به جنبه‌های زیست محیطی آن توجه کافی نشده است (۵). لجن تصفیه‌خانه فاضلاب قبل از استفاده روی زمین باید مراحل مختلف پردازش را طی کند تا عاری از مواد خطرناک برای محیط زیست شود. فرایندهای مورد استفاده برای تصفیه لجن، خصوصیات آن را تغییر داده و برای دفع قابل قبول می‌سازد (۱). کاربرد مستقیم لجن فاضلاب در کشاورزی به علت حضور پاتوژن‌ها، تخمیر نامناسب پسماند آلی و وجود فلزات سنگین، آلاینده‌های آلی و معدنی در لجن، موجب اثرات نامطلوب زیست محیطی و بهداشتی می‌گردد (۶، ۷). لذا مهمترین مرحله پردازش لجن فاضلاب تثبیت آن است (۵). لجن تولیدی از تصفیه فرایند کمپوست لجن فاضلاب نسبت به سایر مواد زائد متفاوت است زیرا وجود مقدار زیاد آب موجود در لجن فاضلاب تشکیل ویندرو اولیه کمپوست را با مشکل مواجه می‌کند که می‌توان با افزودن عوامل حجیم کننده، اختلاط مکانیکی و شرایط هوایی، این مشکل را برطرف نمود (۸). کمپوست‌سازی از لجن فاضلاب با استفاده از این عوامل پایداری مواد آلی، کاهش پاتوژن‌ها و انگل‌ها را تشدید نموده و کیفیت کود آلی نهایی به عنوان سبک کننده خاک را افزایش می‌دهد (۹-۱۱). قابلیت دسترسی میکروارگانیسم‌ها به آب و اکسیژن مستقیماً با

تخلخل کل و تخلخل پر شده با هوا (Air-filled porosity (AFP)) ارتباط دارد. بنابراین استفاده از عوامل حجیم کننده در کمپوست‌سازی لجن فاضلاب مورد نیاز است زیرا تخلخل پر شده یا هوای لجن بسیار پایین است (۱۲). از جمله مطالعات انجام شده در این زمینه می‌توان به مطالعه Farzadkia و همکاران که کمپوست تولیدی در دو کارخانه کمپوست خمین و تهران را از نظر کیفی بررسی و مقایسه کردند، نتایج این تحقیق نشان داد هر دو نمونه کمپوست قابلیت کاربرد در خاک‌های ضعیف به عنوان عامل اصلاح کننده را دارند (۱۳) و نتایج مطالعه Jaafarzadeh Haghghifard و همکاران که کمپوست همزمان پسماند فضای سبز و لجن آبگیری شده تصفیه‌خانه فاضلاب غرب اهواز را مورد بررسی قرار دادند، نشان داد پارامترهای مورد بررسی این تحقیق در سطح رده اول استانداردهای ایران و از لحاظ کیفیت میکروبی در سطح A استانداردهای USEPA و ایران است و با اطمینان می‌توان آن را در زمین‌های کشاورزی و فضای سبز مورد استفاده قرار داد (۱۴). همچنین در مطالعه Alidadi و همکاران از عوامل حجیم کننده در تولید کمپوست از لجن تصفیه خانه فاضلاب استفاده گردید، نتایج نشان داد با افزودن ماده حجیم کننده (خاک اره) می‌توان فرایند کمپوست لجن را بهتر پیش برد (۵). لذا هدف از این مطالعه بررسی امکان تولید کمپوست از لجن آبگیری شده تصفیه خانه فاضلاب یزد به روش ویندرو با تیمارهای پسماند سبز (باغبانی) و کشاورزی (کاه) به عنوان روشی جهت بازیافت لجن فاضلاب شهری و کاهش اثرات مضر بهداشتی و زیست محیطی آن بود.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش یک مطالعه تجربی بوده که در تصفیه‌خانه فاضلاب شهر یزد، به مدت ۱۰۰ روز در فصل بهار (اواخر ماه خرداد) و تابستان (ماه‌های تیر، مرداد و شهریور) صورت گرفت. به لجن تولیدی در تصفیه خانه (Sequencing batch reactor (SBR)) فاضلاب شهری یزد، پس از عبور از هاضم هوایی، طی دو مرحله پلیمر اضافه گردید و سپس از واحد فیلتر پرس عبور داده شد. لجن خروجی از واحد فیلتر پرس حاوی ۲۰-۱۵ درصد رطوبت بود که بدلیل پایین بودن درصد رطوبت، لجن آبگیری شده نامیده می‌شود که در این مطالعه مورد استفاده

جدول ۱- مشخصات لجن آبیگری شده فاضلاب شهری و تیمارهای مورد استفاده در فرایند کمپوست سازی

مشخصات تیمار پسماند کشاورزی (کاه)		مشخصات تیمار پسماند سبز (باغبانی)		مشخصات لجن آبیگری شده فاضلاب		پارامترها
حداکثر	حداقل	میانگین ± انحراف معیار	حداکثر	حداقل	میانگین ± انحراف معیار	
۸	۲	۴/۵±۲/۶۴	۱۰	۵	۷/۶۶±۲/۵۱	رطوبت (درصد)
۶	۵/۲۴	۵/۶۶±۰/۳۵	۶/۵	۵/۵	۵/۹۷±۰/۴۱	pH
۲/۴	۱/۵	۱/۹۱±۰/۳۸	۱/۵	۰/۴	۰/۹۵±۰/۴۵	EC (mmhos/cm)
۴۵/۲	۳۸	۴۰/۸۷±۱۰۵/۳۱	۴۷/۵	۲۹	۳۹/۵۹±۰/۳۸	کربن آلی (درصد)
۸۱/۲	۶۴/۸	۷۳/۵۷±۶/۹۷	۸۵/۴	۵۱/۲	۷۱/۲۷±۱۵/۰۲	جامدات فرار (درصد)
۱۸/۸	۳۵/۲	۲۶/۴۳±۷/۱۷	۱۴/۶	۴۸/۸	۲۸/۷۳±۱۴/۵۹	خاکستر (درصد)
۱۱۶/۶	۱۶۸/۴۲	۲۵۰±۴/۰۸	۳۲/۰۸	۵۷/۶۹	۶۰±۳/۲۱	نسبت C/N
۰/۳۸	۰/۲۲	۰/۱۶±۱/۳۴	۱/۵	۰/۵۶	۰/۶۵±۱/۳۹	ازت کجذلال (درصد)

زمین به طول ۲m، ارتفاع ۱/۵ m و عرض ۷۵ cm (حجم ویندروها ۲/۲۵m<sup>۳</sup>) ساخته شدند.

نمونه برداری از ویندروها به روش (Test) TMECC Methods for the Examination of Composting and Compost) که نمونه گیری مرکب کمپوست است پس از هر بار زیرورو کردن توسط کارگران به صورت مرتب هر هفته یکبار صورت گرفت (۱۵).

بدین صورت که پس از هر بار زیرورو شدن مناسب ویندروها، از هر ویندرو دو نمونه (در کل ۴ نمونه ۲ نمونه از ویندرو با تیمار پسماند سبز و ۲ نمونه از ویندرو با تیمار پسماند کشاورزی) به وزن kg ابرداشته و در کیسه پلاستیکی تیره رنگ به آزمایشگاه منتقل گردید و پارامترهای دما، رطوبت، جامدات فرار، خاکستر، pH، EC، کربن آلی و نسبت C/N با ۴ بار تکرار برای هر پارامتر مورد بررسی قرار گرفت. آزمون تعیین درصد کربن، درصد نیتروژن و نسبت C/N براساس استاندارد ملی شماره ۱۳۳۲۰ انجام شد (۱۶). میزان pH براساس استاندارد ملی شماره ۶۸۳۱ انجام گرفت (۱۷، ۱۸). درصد رطوبت و جامدات کل کمپوست از طریق خشک کردن نمونه‌ها در دمای °C ۱۰۵-۱۰۳ (۱۹) و جامدات معدنی و فرار توسط قرار دادن نمونه کمپوست خشک شده در کوره و دمای °C ۵۵۰ بدست آمد (۲۰). جهت تعیین درصد ازت به روش هضم کجذلال، ابتدا نمونه در هاضم هضم شده (به ۲g از نمونه برداشت شده از توده‌ها اسید سالیسیلیک و

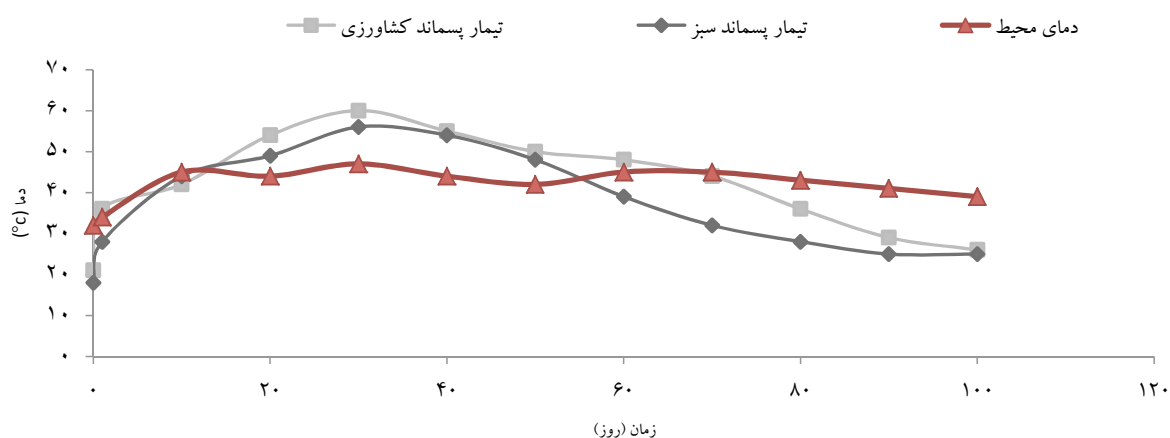
قرار گرفته است. مشخصات لجن آبیگری شده در جدول ۱ آورده شده است. تیمارهای پسماند سبز، از برگ درختان بید موجود در محوطه تصفیه‌خانه تهیه و پسماند کشاورزی (کاه) خریداری و آزمایشات لازم بر روی لجن و تیمارها انجام شد و در نهایت به نسبت وزنی ۱۰:۱ (پسماند سبز: لجن آبیگری شده) و ۲۰:۱ (پسماند کشاورزی: لجن آبیگری شده)، جهت دستیابی به نسبت کربن به ازت بهینه (C/N:۲۰) و به عنوان عامل حجیم کننده با لجن آبیگری شده ترکیب گردیدند، پس از ترکیب تیمارها با لجن آبیگری شده با توجه به پایین بودن درصد رطوبت در لجن و تیمارها، مقداری آب توسط آبیاش به هر دو ویندرو افزوده شد، سپس مقداری از نمونه به آزمایشگاه منتقل و درصد رطوبت در تیمار پسماند کشاورزی ۵۸ درصد و در تیمار پسماند سبز ۶۵ درصد برآورد گردید که برای شروع فرایند کمپوست سازی مناسب بود. با توجه به بالا بودن دما در فصل تابستان در شهر یزد و افزایش سرعت تبخیر هر ۲ روز یکبار رطوبت ویندروها اندازه گیری و در صورت لزوم ویندروها آبپاشی شدند، به طوری که رطوبت روزانه تامین گردید.

وزن نهایی ویندرو ساخته شده با تیمار پسماند سبز به ۱۱۸۳kg (۱۰۰۰ kg) لجن آبیگری شده با ۱۸۳ kg از پسماند سبز) و تیمار پسماند کشاورزی به ۱۰۴۴ kg (۱۰۰۰ kg) لجن آبیگری شده با ۴۴ kg از پسماند کشاورزی) رسید. ویندروها جهت مدیریت شیرابه تولیدی در قسمت شیب دار

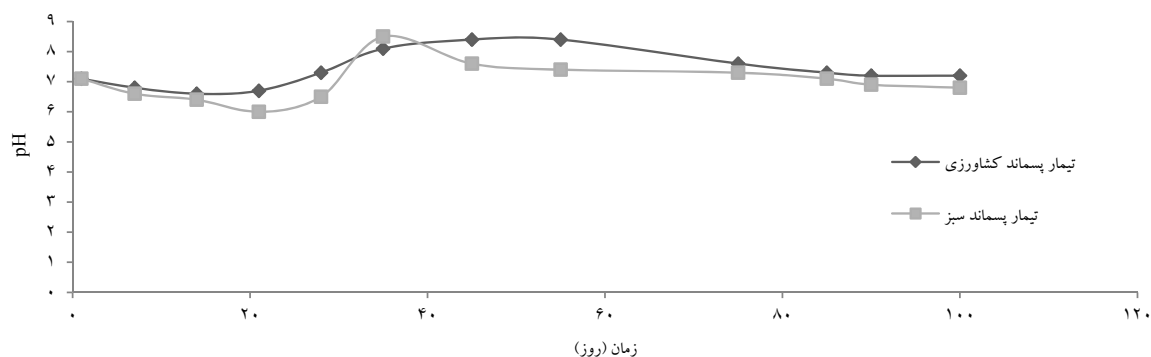
### یافته‌ها

نتایج آنالیزهای شیمیایی حاصل از آزمایشات طی فرایند کمپوست‌سازی در جداول و اشکال زیر درج شده است. بیشینه دما در ویندرو با تیمار پسماند کشاورزی  $56^{\circ}\text{C}$  و با تیمار پسماند سبز  $60^{\circ}\text{C}$  بود (نمودار ۱). در انت های ۱۰۰ روز دمای توده به دمای محیط رسید که نشان‌دهنده کاهش فعالیت بیولوژیک و مواد قابل تجزیه بیولوژیک است. میزان pH در هر دو تیمار به مرور زمان به طور معنی‌داری کاهش ( $P < 0/007$ ) و مجدداً افزایش یافته است (نمودار ۲). همچنین نتایج نشان داد که روند تغییرات هدایت الکتریکی با وجود نوسانات طی فرایند کمپوست‌سازی به روش ویندرو در هر دو تیمار به طور کلی افزایش داشته است ( $P < 0/001$ ) (نمودار ۳).

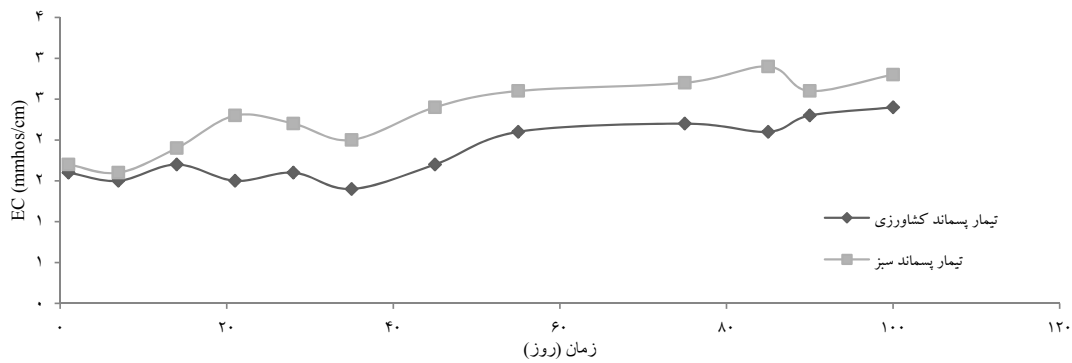
اسیدسولفوریک اضافه نموده و به مدت ۴۰ min همزده شدند سپس تیوسولفات سدیم و سولفات پتاسیم اضافه شد و نمونه‌های هضم شده توسط اسپکتروفتومتر DR۶۰۰۰ قرائت گردید. برای محاسبه درصد کربن آلی از عدد بدست آمده برای جامدات فرار استفاده می‌شود. بدین صورت که درصد کربن آلی از تقسیم درصد جامدات فرار بر عدد ۱/۸ بدست می‌آید. داده‌های بدست آمده در نرم افزار Excel ثبت و نمودارهای مربوطه رسم شد. در تحلیل آماری نتایج بدست آمده از نمونه‌برداری‌های انجام شده از نرم افزار SPSS16 با کاربرد روش تحلیل واریانس یک‌طرفه استفاده شده است. سطح معنی‌داری موردنظر برای تمامی آزمون‌ها ( $P < 0/05$ ) بود. همچنین مشخصات کود نهایی هر یک از بسترها با استاندارد ملی موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران مقایسه و کیفیت محصول نهایی تعیین گردید.



نمودار ۱- روند تغییرات دمایی طی فرایند کمپوست‌سازی



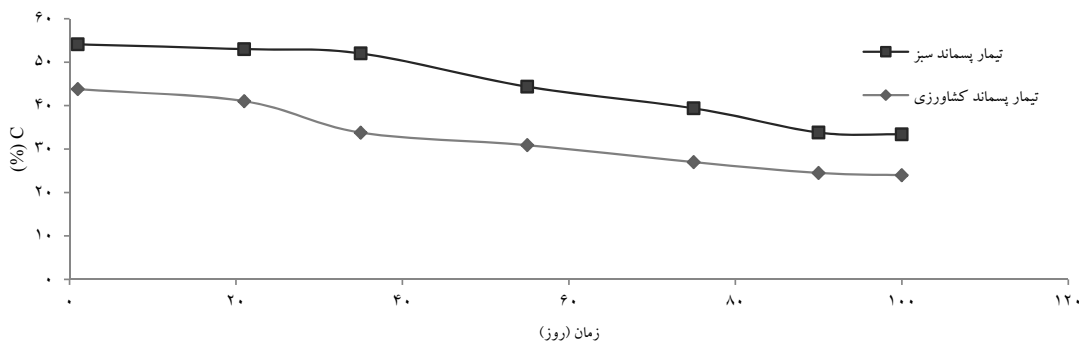
نمودار ۲- روند تغییرات pH طی فرایند کمپوست‌سازی



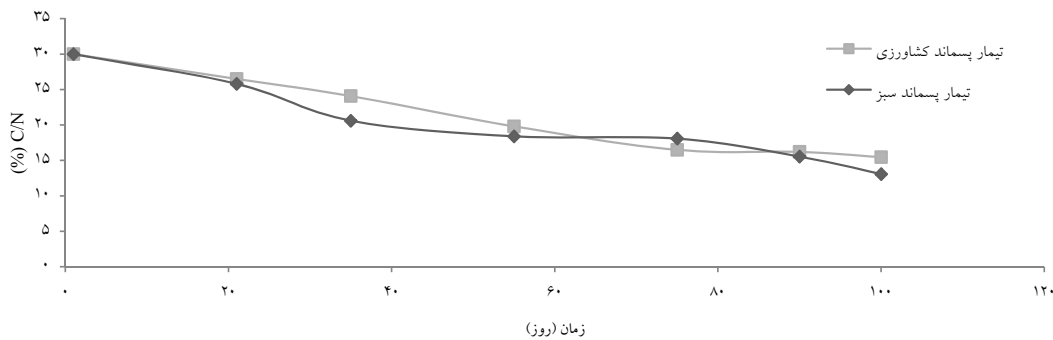
نمودار ۳- روند تغییرات EC طی فرایند کمپوست‌سازی

تیمار پسماند کشاورزی به ۱۵/۴۶ درصد و در تیمار پسماند سبز به ۱۳/۰۸ درصد رسید (نمودار ۵). ویندرو حاوی تیمار پسماند سبز (باغبانی)، براساس علائم کمی و کیفی، زودتر از ویندرو حاوی تیمار پسماند کشاورزی به سطح استانداردهای کمپوست رسیده، رسید.

میزان کربن آلی در هر دو تیمار به طور معنی‌داری کاهش نشان داد ( $P < 0/006$ ) و همواره درصد کربن در تیمار پسماند کشاورزی بیشتر از پسماند سبز بود (نمودار ۴). براساس نتایج آزمایشات، طی فرایند کمپوست‌سازی به روش ویندرو در هر دو تیمار نسبت C/N به طور معنی‌داری افزایش یافته است ( $P < 0/001$ ) و در انتهای ۱۰۰ روز در



نمودار ۴- روند تغییرات کربن آلی طی فرایند کمپوست‌سازی



نمودار ۵- روند تغییرات نسبت C/N طی فرایند کمپوست‌سازی

جدول ۲- میانگین، انحراف معیار و P-value پارامترهای فیزیکی و شیمیایی طی فرایند کمپوست‌سازی

P-value	میزان تغییرات پارامترهای مورد سنجش طی فرایند کمپوست‌سازی با تیمار پسماند سبز				میزان تغییرات پارامترهای مورد سنجش طی فرایند کمپوست‌سازی با تیمار پسماند کشاورزی				پارامترها
	کمپوست رسیده	حداکثر	حداقل	میانگین ± انحراف معیار	کمپوست رسیده	حداکثر	حداقل	میانگین ± انحراف معیار	
P<۰/۰۵	۶/۸	۸/۵	۶	۷/۰۱±۰/۶۵	۷/۲	۸/۴	۶/۶	۷/۳۹±۰/۶۱	pH
P<۰/۰۵	۲/۹	۲/۹	۱/۶	۲/۳±۰/۴۳	۲/۳	۲/۴	۱/۴	۱/۸۴±۰/۳۵	EC (mmhos/cm)
P<۰/۰۵	۲۴	۵۴/۸	۳۳/۴	۴۴/۲۹±۸/۹۸	۳۳/۴	۴۳/۸	۲۴	۳۲/۱۴±۷/۸۵	کربن آلی (درصد)
P<۰/۰۵	۱۳/۰۸	۳۰	۱۳/۰۸	۲۰/۷۸±۶/۲۵	۱۵/۴۶	۳۰	۱۵/۴۶	۲۰/۶۵±۵/۳۵	نسبت C/N
P<۰/۰۵	۵۵/۴	۵۵/۴	۲۱/۱۶	۴۲/۰۴±۱۳/۸۸	۳۸/۹۱	۳۸/۹۱	۲/۶	۲۰/۲±۱۵/۹۹	خاکستر (درصد)
P<۰/۰۵	۴۳/۸	۷۸/۹۴	۴۳/۸	۵۷/۸۴±۱۴/۰۱	۶۰/۷۵	۹۷/۴	۶۰/۷۵	۷۹/۸۳±۱۶/۰۶	جامدات فرار (درصد)
P<۰/۰۵	۴۵/۹	۷۰	۴۵/۹	۵۵/۷۴±۹/۴۵	۴۵/۱	۶۹/۴	۴۵/۱	۵۳/۷۷±۸/۶۰	جامدات کل (درصد)

سبز قابل توجه است. این میزان افزایش دما به مدت ۲۴ h سبب نابودی پاتوژن‌های موجود در لجن می‌گردد. میزان کاهش جامدات فرار در ویندرو حاوی تیمار پسماند کشاورزی بیشتر از تیمار پسماند سبز بود ( $P<۰/۰۰۱$ ). این امر به دلیل تجزیه مواد آلی توسط میکروارگانیسم‌هاست، طبق رهنمود حفاظت محیط زیست کشور آمریکا وقتی مقدار کاهش جامدات فرار در کمپوست به ۳۸ درصد برسد آن کمپوست رسیده است. در نتیجه کمپوست تولیدی از لجن آبیگری شده با دو تیمار پسماند کشاورزی و سبز پس از گذشت ۱۰۰ روز به حالت رسیدن، رسیده است. با یافته‌های Alidadi و همکار (۵) که ۲۸/۸ درصد کاهش در پایان ۱۰۰ روز، همچنین Jaafarzadeh Haghifard و همکاران (۱۴) که شاهد یک روند کاهشی در میزان کربن آلی و جامدات فرار بودند، Wang و همکاران (۲۲) میزان کربوهیدرات، چربی و اسیدهای آمینه را از روش رنگ آمیزی طی کمپوست‌سازی بررسی کردند که روند کاهشی داشته و در نهایت بیانگر کاهش در میزان کربن و مواد آلی بود و در مطالعه Gao و همکاران (۲۳) که میزان مواد آلی به دلیل معدنی شدن مواد و تولید مواد هیومیکی کاهش یافته بود، مطابقت داشت. کاهش pH طی فرایند می‌تواند به دلیل تولید  $CO_2$  و اسیدهای آلی توسط میکروارگانیسم‌هاست (۲۴). تفاوت در تغییرات pH در دو

میزان تغییرات پارامترهای مورد سنجش طی فرایند کمپوست‌سازی و کمپوست رسیده با هر دو تیمار پسماند کشاورزی و پسماند سبز در جدول ۲ آورده شده است.

## بحث

در انتخاب فرایند کودسازی، شرط مهم و اساسی، میزان درصد مواد آلی است (۲۱). با توجه به این که تقریباً بیش از ۷۰/۲۶±۸/۰۶ درصد بافت لجن آبیگری شده فاضلاب شهری یزد را مواد آلی تشکیل داده و میزان تخلخل پر شده از هوا در بافت لجن بسیار کم است، کمپوست‌سازی به روش ویندرو و استفاده از عوامل حجیم‌کننده مانند پسماندهای کشاورزی و سبزی می‌تواند یکی از روش‌های مدیریتی جدید و کارآمد جهت بازیافت و استفاده مجدد از لجن آبیگری شده فاضلاب شهری باشد.

بالا بودن دما در فصل تابستان در شهر یزد و اندازه‌گیری دمای ویندروها در ساعات اوج گرما (جهت بررسی بیشینه دمای ویندرو طی فرایند کمپوست‌سازی برای نابودی میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا) و همچنین انرژی و حرارت تولیدی توسط میکروارگانیسم‌های تجزیه‌کننده مواد آلی موجود در ویندرو، رسیدن به دمای  $60^{\circ}C$  در ویندرو حاوی تیمار پسماند کشاورزی و دمای  $56^{\circ}C$  در ویندرو حاوی پسماند

نسبت C/N از ۲۴ به ۱۵ رسید که حداکثر درصد کاهش این نسبت در بین روزهای ۲۰-۰ اتفاق افتاد (۵) و نتایج Yousefi و همکاران که بهینه این نسبت در کمپوست رسیده ۱۶ درصد تعیین شد (۲۹)، مطابقت داشت. با توجه به مطالعه Gao و همکاران در طی فرایند کربن به دی اکسید و هوموس تبدیل شده در حالی که منبع نیتروژن به طور جزئی در قالب گاز منتشر شده یا از طریق نیتریفیکاسیون به نیتريت‌ها و نیتريت‌ها تبدیل و توسط موجودات زنده جذب می‌شوند در نهایت نسبت C/N کاهش می‌یابد. کاهش ازت در کمپوست پسته برنج کمتر از کمپوست ساقه ذرت بود (۲۳). با توجه به اینکه هدف از این مطالعه صرفاً بررسی امکان تولید کمپوست و تثبیت هرچه بیشتر لجن آبیگری شده تصفیه خانه فاضلاب یزد به روش ویندرو با تیمارهای مختلف بود لذا در این مطالعه به پارامترهای پایه (دما، رطوبت، جامدات فرار، خاکستر، pH، EC، کربن آلی و برآورد نسبت C/N) جهت بررسی تثبیت لجن کمپوست و رسیدگی کمپوست پرداخته شده است. محدوده برخی از استانداردهای مورد بررسی در این مطالعه در جدول ۳ آورده شده است.

از جمله مشکلات موجود در تولید کمپوست از لجن آبیگری شده حفظ رطوبت در ویندروها بود زیرا بدلیل بالا بودن دما در فصل تابستان رطوبت ویندروها به سرعت تبخیر شده و باید توسط آب‌پاشی کنترل می‌گردید. همچنین بدلیل وجود لارو حشرات در لجن و خروج حشرات از لارو در هفته‌های اول تعداد حشرات به طور قابل ملاحظه‌ای در محوطه کمپوست‌سازی افزایش یافت. با توجه به پارامترهای اندازه‌گیری شده طی فرایند مشاهده شد

تیمار به علت وجود لیگنین در بافت کاه است که به کندی توسط باکتری‌ها تجزیه شده و زمان بیشتری برای تجزیه نیاز دارد. در مطالعه Gunadi و همکاران در سال ۲۰۰۲، یکی دیگر از دلایل کاهش pH، تبدیل بیولوژیکی مواد آلی به انواع مواد حد واسط و معدنی شدن شدید نیتروژن به نیتريت، نیتريت و فسفر به ارتوفسفات ذکر شد (۲۵). نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان داد، تغییرات pH طی فرایند در هر دو تیمار، اختلاف معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ دارد (P=۰/۰۰۷) و میزان نهایی آن در رده یک و دو استاندارد ملی ایران قرار داشت. این نتایج با یافته‌های Rama و همکاران (۲۶) و یافته‌های Jaafarzadeh Haghhighifard و همکاران که pH تا روز ۱۵ روند افزایشی ناشی از پدیده آمونیفیکاسیون و معدنی‌سازی مواد نیتروژنه آلی در اثر فعالیت‌های میکروبی داشت و سپس کاهش یافت (۱۴) و این میزان کاهش ناشی از پدیده نیتریفیکاسیون و تشکیل گاز آمونوم و انتشار آن به اتمسفر و نهایتاً رها شدن یون‌های هیدروژن است (۲۷)، مطابقت داشت.

تجزیه و تحلیل آماری هدایت الکتریکی در دو تیمار اختلاف معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ نشان داد (P=۰/۰۰۱). میزان نهایی آن در هر دو تیمار در رده یک استاندارد ملی ایران قرار داشت و با یافته‌های Sadeh و همکاران (۲۸) مطابقت داشت. طی فرایند کمپوست‌سازی نسبت C/N روند کاهشی داشته و در پایان ۱۰۰ روز در تیمار پسماند کشاورزی در رده دو استاندارد ملی USEPA و ایران بود. میزان این نسبت در تیمار پسماند سبز در رده یک استاندارد ملی ایران قرار داشت. نتایج فوق با یافته‌های Alidadi و همکاران که پس از گذشت ۱۰۰ روز

جدول ۳- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کمپوست

موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران		نوع ویژگی
حدود قابل قبول رده "دو"	حدود قابل قبول رده "یک"	
حداقل ۱۵ درصد	حداقل ۲۵ درصد	کربن آلی (براساس وزن ماده خشک)
۱-۱۵	۲-۱۵	نسبت (C/N)
حداکثر ۱۴ ds/m	حداکثر ۸ ds/m	هدایت الکتریکی (محلول ۱ درصد ماده خشک)
۶-۸	۶-۸	pH (محلول ۱ درصد ماده خشک)



حاضر پسماند سبز این درختان در محوطه سوزانده می شود و مشکلاتی از جمله آلودگی هوا را در پی دارد، می توان بیان کرد که تیمار برگ درختان از نظر سهولت دسترسی، گزینه مناسب تری نسبت به پسماند کشاورزی باشد. با توجه به بالا بودن درصد مواد آلی فرار در لجن آبیگری شده فاضلاب، هضم آن توسط هاضم بی هوازی پیشنهاد می گردد. همچنین با توجه به بالا بودن میزان تولید شیرابه در فرایند کمپوست سازی به روش ویندرو پیشنهاد می گردد میزان فلزات سنگین و آلودگی های میکروبی در شیرابه مورد بررسی قرار گیرد.

### تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از طرح تحقیقاتی با عنوان "بررسی امکان تولید کمپوست از لجن تغلیظ شده تصفیه خانه فاضلاب یزد به روش ویندرو با تیمارهای مختلف" مصوب دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد در سال ۹۴ با کد ۴۱۹۹ است که با حمایت دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد اجرا شده است. بدین وسیله از همکاری مدیریت، ناظر و بهره بردار و کارکنان محترم تصفیه خانه فاضلاب شهر یزد و تمام افرادی که در انجام این مطالعه یاری نمودند، تشکر و قدردانی می گردد.

### منابع

1. Bina B, Movehedian Attar H, Amini AA. Evaluation of Potentially Harmful Substances in Dried Sludge of Isfahan Wastewater Treatment Plants. *Journal of Water and Wastewater*. 2004;15(1):34-42 (in Persian).
2. Maghsoodloo B, Ghaneia MT, Abdollahi T. Benefit from the TOPSIS and AHP models to optimize decision-making process reuse of sludge municipal wastewater treatment plants (Case Study: Wastewater Treatment in Ardabil). Sixteenth National Conference on Environmental Health; 2013; Tabriz University of Medical Science, Tabriz (in Persian).
3. Parvaresh A, Movehedian H, Bazrafshan E. Additional fixation of South of Isfahans Refinery dewatered sludge using aerobic compost by adding the bulk materials. *Research in Medical Sciences*. 2001;6(4):287-91 (in Persian).

که ویندرو ساخته شده با تیمار پسماند سبز (باغبانی) نخستین بستری بود که به استانداردهای تعیین شده توسط موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران رسید در نتیجه فرایند قبل از ۱۰۰ روز به اتمام رسید اما ویندرو حاوی تیمار پسماند کشاورزی (کاه) در پایان ۱۰۰ روز به استانداردهای موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران رسید.

### نتیجه گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که از لجن آبیگری شده تصفیه خانه یزد با دو تیمار مورد نظر (پسماند سبز (برگ درختان) و پسماند کشاورزی (کاه)) می توان کمپوست (کود آلی) منطبق با استاندارد موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران موجود تولید کرد، که از نظر ویژگی های فیزیکی و شیمیایی در محدوده این استاندارد قرار داشته باشد. لذا می توان نتیجه گرفت که هر دو تیمار به عنوان عامل حجیم کننده می توانند قابلیت کمپوست شدن را در لجن آبیگری شده ایجاد کنند و محصول نهایی نیز استانداردهای موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران کمپوست را داشته باشند. با توجه به این که در محوطه تصفیه خانه اقدام به کاشت درختان متفاوت (از جمله انار، پسته و ...) نموده اند و در حال

4. Lu L-A, Kumar M, Tsai J-C, Lin J-G. High-rate composting of barley dregs with sewage sludge in a pilot scale bioreactor. *Bioresource Technology*. 2008;99(7):2210-17.
5. Alidadi H, Najafpoor AA. Determining the compost maturity time in biosolids of municipal wastewater treatment plant. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*. 2011;21(85):85-90 (in Persian).
6. Wei Y-S, Fan Y-B, Wang M-J. A cost analysis of sewage sludge composting for small and mid-scale municipal wastewater treatment plants. *Resources, Conservation and Recycling*. 2001;33(3):203-16.
7. Jouraiphy A, Amir S, El Gharous M, Revel J-C, Hafidi M. Chemical and spectroscopic analysis of organic matter transformation during composting of sewage sludge and green plant waste. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2005;56(2):101-108.



8. Alidadi H, Parvaresh A, Poormoghaddas H, Shahmansouri M. Use of riched compost as a bulking agent in the sludge composting process. *Journal of Research in Agricultural Science*. 2007;3(1):109-16 (in Persian).
9. D'Imporzano G, Crivelli F, Adani F. Biological compost stability influences odor molecules production measured by electronic nose during food-waste high-rate composting. *Science of the Total Environment*. 2008;402(2):278-84.
10. Kato K, Miura N. Effect of matured compost as a bulking and inoculating agent on the microbial community and maturity of cattle manure compost. *Bioresource Technology*. 2008;99(9):3372-80.
11. Rihani M, Malamis D, Bihaoui B, Etahiri S, Loizidou M, Assobhei O. In-vessel treatment of urban primary sludge by aerobic composting. *Bioresource Technology*. 2010;101(15):5988-95.
12. Ruggieri L, Artola A, Gea T, Sánchez A. Biodegradation of animal fats in a co-composting process with wastewater sludge. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2008;62(3):297-303.
13. Farzadkia M, Salehi S, Ameri A, Jafari AJ, Nabizadeh R. Study on the quality and comparing of the compost produced by Khomain and Tehran Compost Factories. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2009;2(3):160-69 (in Persian).
14. Jaafarzadeh Haghhighifard N, Abbasi N, Aalivar Babadi M, Bohrani R, Mirzayi Zadeh H. Co-compost green waste and dehydrated sludge, wastewater treatment plant at West Ahvaz. *Journal of Soil and Water Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources*. 2015;19(71):205-16 (in Persian).
15. Gerngross C, Farland M, Thompson W. Compost sampling guideline dairy compost utilization. Washington DC: Environmental Protection Agency; 2006.
16. WEF, APHA, AWWA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th ed. Washington DC: American Public Health Association; 1995.
17. Rezayi M, Monavari SM, Omrani GA. Comparison of the two methods of composting and waste disposal in the city Khomeini emphasis on the economic and environmental considerations. *Journal of Environmental Science and Technology*. 2013;15(1):111-20 (in Persian).
18. Raanai A, Mokhtari M, Alidadi H, Ehrampoosh MH. Investigation on chemical properties and the maturation degree of vermicompost obtained from button mushroom production process waste. *Tolooebehdasht*. 2016;14(6):176-82 (in Persian).
19. Amouei A, Asgharni HA, Khodadi A. Study of compost quality from rural solid wastes (Babol, Iran). *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*. 2010;19(74):55-61 (in Persian).
20. Beirouti Z, Pourzamani H, Majd S, Vahdatpoor A, Jafari M. A review of compost quality standards and guidelines. *Journal of Health Systems Research*. 2010;6(4):809-20 (in Persian).
21. Shaker Ardekani A. Solutions of use of pistachio processing waste. 6th Conference of Iranian Agricultural Economics; 2007; Mashhad (in Persian).
22. Wang K, He C, You S, Liu W, Wang W, Zhang R, et al. Transformation of organic matters in animal wastes during composting. *Journal of Hazardous Materials*. 2015;300:745-53.
23. Gao H, Zhou C, Wang R, Li X. Comparison and Evaluation of Co-composting Corn Stalk or Rice Husk with Swine Waste in China. *Waste and Biomass Valorization*. 2015;6(5):699-710.
24. Gunadi B, Blount C, Edwards CA. The growth and fecundity of *Eisenia fetida* (Savigny) in cattle solids pre-composted for different periods. *Pedobiologia*. 2002;46(1):15-23.
25. Wani KA, Mamta, Rao RJ. Bioconversion of garden waste, kitchen waste and cow dung into value-added products using earthworm *Eisenia fetida*. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2013;20(2):149-54.
26. Rama L, Vasanthy M. Market Waste Management using Compost Technology. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*. 2014;4(4):57-61.
27. Wong J, Mak K, Chan N, Lam A, Fang M, Zhou L, et al. Co-composting of soybean residues and leaves in Hong Kong. *Bioresource Technology*. 2001;76(2):99-106.
28. Sadeh Y, Poulsen TG, Bester K. Modeling organic micro pollutant degradation kinetics during sewage sludge composting. *Waste Management*. 2014;34(11):2007-13
29. Yousefi J, Youesi H. Composting of municipal waste and sawdust to retain moisture and prevent loss of nitrogen from the compost pile. *Journal of Environmental Science and Technology*. 2014;15(4):75-84 (in Persian).



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



## An Investigation on Feasibility of Composting of Yazd WWT Dewatered Sludge with Windrow Method Using Different Treatments

M Mokhtari<sup>1</sup>, A Salehi Vaziri<sup>2</sup>, T Zareyi<sup>1</sup>, M Jalili<sup>1,\*</sup>

1. Department of Environmental Health, School of Public Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran  
2. Wastewater Treatment Plant of Yazd, Environmental Science and Technology Research Center, Yazd, Iran

### ARTICLE INFORMATION:

**Received:** 18 April 2016  
**Revised:** 10 July 2016  
**Accepted:** 18 July 2016  
**Published:** 6 March 2017

**Key words:** Compost, Dewatered sludge of Yazd, Bulking agents, Green waste, Agricultural waste

### \*Corresponding Author:

nedajalili52@gmail.com

### ABSTRACT

**Background and Objective:** Dewatered sewage sludge is a by-product of wastewater treatment process which can cause health and environmental problems if not properly managed. The aim of this study was to determine the feasibility of composting of Yazd WWT dewatered sludge with windrow method using different treatments.

**Materials and Methods:** In this study, the dewatered sewage sludge was mixed with two treatments of agricultural wastes (straw) and green waste (leaves), respectively. The mixture was done based on weight ratio of 20:1 and 10:1 (agricultural waste: dewatered sludge, and green waste: dewatered sludge) to achieve a ratio of C/N:20. The windrows were built with a length of 2 m, width of 75 cm and height of 1.5 m. Composting process was controlled by measuring the temperature, humidity, volatile solids, ash, pH, EC, organic carbon and estimating the C/N ratio. The results were compared with those of the Institute of Standards and Industrial Research of Iran.

**Results:** After 100 days of composting, C/N ratio was  $13.08 \pm 6.25$  in the treatment with green waste and reached to  $15.46 \pm 5.35$  in the treatment with agricultural waste. The amount of volatile solids decreased to  $19.8 \pm 14.01\%$  and  $20.71 \pm 16.06\%$  in the treatments with green waste and agricultural waste, respectively. The amount of EC had an increasing trend in both treatments.

**Conclusion:** composting with both treatments was led to an improvement in indicators of organic fertilizers in dewatered sewage. However, the windrow containing green waste reached to the mature compost standards sooner than the windrow containing agricultural waste.