دانش شهر ۵۸۰

مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران

امکان‌سنجی فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی استفاده از فناوری کمپوستر خانگی در فرایند مدیریت پسماند شهر تهران

بسم الله الرحمن الرحيم

مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران

امکان‌سنجی فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی استفاده از فناوری کمپوستر خانگی در فرایند مدیریت پسماند شهر تهران

دانش شهر ۵۸۰

معاونت مطالعات شهرسازی، حمل و نقل و ترافیک

گروه مطالعات خدمات شهری

نویسندگان: سارا قبادی، فرهاد خسروانی
ناظر علمی: سعید مرادی‌کیا

حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران است ضمناً متن (PDF) از سایت ذیل و یا اسکن کد تصویری قابل دریافت است.
نشانی: تهران، خیابان شریعتی، پل رومی، خیابان شهید اکبری، نبش خیابان شهید آقابزرگی، شمارهٔ ۳۲، کدپستی ۱۹۶۴۶۳۵۶۱۱، امور مخاطبان: ۳ -۲۲۳۹۲۰۸۰
info.rpc@tehran.ir rpc.tehran.ir

دانش شهر ۵۸۰

امکان‌سنجی فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی استفاده از فناوری کمپوستر خانگی در فرایند مدیریت پسماند شهر تهران

نویسندگان: سارا قبادی، فرهاد خسروانی
ناظر علمی: سعید مرادی‌کیا

بهار ۱۴۰۱

فهرست مطالب

سخن نخست ۷
بخش اول: کلیات ۹
۱ـ ۱. مقدمه ۹
۱ـ ۲. بیان مسئله و ضرورت پژوهش ۱۳
۱ـ ۳. روش‌شناسی ۱۶
بخش دوم: بررسی تجربیات کشورهای مختلف در زمینهٔ تولید کمپوست ۱۷
۲ـ ۱. تجربیات کشورهای مختلف در زمینهٔ تولید کمپوست از پسماند آلی فسادپذیر ۱۷
۲ـ ۱ـ ۱. مقدمه ۱۷
۲ـ ۱ـ ۲. سابقهٔ تولید کمپوست از پسماند آلی فسادپذیر در شهر اوتارپارا هند ۱۷
۲ـ ۱ـ ۳. برنامهٔ کمپوست‌سازی 'REVITALIZA' در شهر پونته‌درا اسپانیا ۱۸
۲ـ ۱ـ ۴. پروژهٔ به‌کارگیری مخازن کمپوستر خانگی بکاشی در کاخیکا (GCP) ۲۳
۲ـ ۱ـ ۵. تجربهٔ مدیریت پسماندهای جامد شهری (MSW) در کشور سریلانکا با هدف تولید و به‌کارگیری کمپوست در بخش کشاورزی ۲۸
۲ـ ۲. بررسی تجارب کشورهای مختلف در زمینهٔ تولید کمپوست با فناوری کمپوستر ۳۳
۲ـ ۲ـ ۱. مقدمه ۳۳
۲ـ ۲ـ ۲. سابقهٔ اجرایی فناوری کمپوستر در کشور فیلیپین ۳۳
۲ـ ۲ـ ۳. سابقهٔ اجرایی فناوری کمپوستر در شهر جیانگ‌سو چین ۳۴
۲ـ ۲ـ ۴. سابقهٔ اجرایی فناوری کمپوستر در کشور اندونزی ۳۴
۲ـ ۲ـ ۵. نتایج بررسی پنج کارخانهٔ تولید کمپوست در آسیا ۳۵
۲ـ ۲ـ ۶. سابقهٔ اجرایی فناوری کمپوستر در پایگاه نظامی فورت هود آمریکا ۳۶
۲ـ ۲ـ ۷. سابقهٔ اجرایی فناوری کمپوستر در پروژهٔ پسماند صفر دانشگاه جرج واشنگتن ۳۸
۲ـ ۲ـ ۸. سابقهٔ اجرایی فناوری کمپوستر در شهر کَلکَتّه هند ۳۸
۲ـ ۲ـ ۹. سابقهٔ اجرایی فناوری کمپوستر در شهر بنگلور هند ۳۹
۲ـ ۲ـ ۱۰. سابقهٔ اجرایی فناوری کمپوستر در ایران ۴۱
۲ـ ۳. مقایسهٔ دو سیستم متفاوت تولید کمپوست: به‌کارگیری فناوری کمپوستر در مبدأ تولید پسماند و تولید

کمپوست از پسماندهای جامد شهری در مقیاس بزرگ و به‌شیوهٔ مرسوم ۴۶
۲ـ ۳ـ ۱. فناوری کمپوستر ۴۶
۲ـ ۳ـ ۲. کمپوست تولیدشده از پسماند جامد شهری به شیوهٔ مرسوم ۴۷
۲ـ ۴. جمع‌بندی ۵۰
بخش سوم: امکان‌سنجی توسعهٔ فناوری کمپوستر ۵۳
۳ـ ۱. مقدمه ۵۳
۳ـ ۲. قوت‌ها و فرصت‌های اجرا و توسعهٔ فناوری کمپوستر در شهر تهران ۵۳
۳ـ ۲ـ ۱. مدیریت بهینهٔ پسماند جامد شهری و توسعهٔ اقتصادی ۵۶
۳ـ ۲ـ ۲. مدیریت یکپارچهٔ مواد مغذی و توسعهٔ کشاورزی ارگانیک و پایدار ۵۶
۳ـ ۲ـ ۳. توسعهٔ کشاورزی شهری و فضای سبز شهری ۵۶
۳ـ ۲ـ ۴. کاهش معضلات زیست‌محیطی ۵۷
۳ـ ۲ـ ۵. بهبود آگاهی اجتماعی و مسئولیت‌پذیری اجتماعی شهروندان ۵۷
۳ـ ۳. موانع و محدودیت‌های اجرا و توسعهٔ فناوری کمپوستر ۵۷
۳ـ ۳ـ ۱. موانع و محدودیت‌هایی که ابتدا مانع از اجرا و توسعهٔ فناوری کمپوستر می‌شوند ۵۹
۳ـ ۴. امکان‌سنجی اجرا و توسعهٔ فناوری کمپوستر در شهر تهران ۵۹
۳ـ ۴ـ ۱. الزامات قانونی ۶۲
۳ـ ۴ـ ۲. بسترسازی ۶۲
۳ـ ۴ـ ۳. الزامات زیرساختی ۶۲
۳ـ ۴. جمع‌بندی ۶۳
بخش چهارم: امکان‌سنجی اقتصادی به کارگیری فناوری کمپوستر ۶۴
۴ـ ۱. مقدمه ۶۴
۴ـ ۲. روش تحلیل هزینه‌ـ فایده ۶۴
۴ـ ۲ـ ۱. روش محاسبهٔ بازگشت سرمایه ۶۴
۴ـ ۲ـ ۲. شاخص ارزش خالص فعلی (NPV) ۶۵
۴ـ ۲ـ ۳. نرخ بازده داخلی (IRR) ۶۵
۴ـ ۲ـ ۴. شاخص سودآوری (PI) ۶۵
۴ـ ۳. اطلاعات اولیه ۶۵
۴ـ ۳ـ ۱. نوع دستگاه کمپوستر و مشخصات فنی آن ۶۵
۴ـ ۳ـ ۲. کل پسماند خروجی مجتمع به تفکیک ۶۶
۴ـ ۳ـ ۳. قیمت فروش کود تولیدی و پسماند خشک مجتمع ۶۷
۴ـ ۳ـ ۴. برآورد هزینه‌های انرژی مصرفی ۶۷
۴ـ ۳ـ ۵. سرمایه‌گذاری مورد نیاز و منابع تأمین آن ۶۸
۴ـ ۳ـ ۶. هزینهٔ مواد اولیه مصرفی ۶۸
۴ـ ۳ـ ۷. هزینهٔ تعمیر و نگهداری ۶۸
۴ـ ۳ـ ۸. حقوق و دستمزد ۶۸

۴ـ ۴. شاخص‌های اقتصادی طرح ۶۸
۴ـ ۴ـ ۱. صورت جریان‌های نقدی برای ۱۰ سال آتی ۶۹
۴ـ ۴ـ ۲. شاخص‌های اقتصادی طرح ۷۰
۴ـ ۶. جمع‌بندی ۷۲
بخش پنجم: پیشنهادها ۷۳
منابع ۷۷
تقدیر و تشکر از ۸۱

سخن نخست

افزایش جمعیت، همراه با تقاضای روزافزون برای تأمین غذا، منجر به تولید مقدار قابل توجهی از پسماندهای آلی فسادپذیر در سراسر جهان شده است. پردازش چنین حجم قابل توجهی از پسماند، نگرانی‌هایی را برای برنامه‌ریزان محیط زیست، سیاست‌گذاران و محققان در زمینهٔ حفظ پایداری ایجاد کرده است. بسیاری از دولت‌ها کمپوست‌سازی را به‌عنوان فرایندی که به آن‌ها کمک می‌کند تا حجم پسماندهای آلی را کاهش دهند و از این راه مواد مغذی را بازیافت کنند و به چرخهٔ تولید بازگردانند، ترویج می‌کنند.

بر اساس آنالیز فیزیکی صورت‌گرفته در شهریور و مهر ۱۳۹۸ و همچنین، فروردین ۱۴۰۰ در ذیل طرح جامع مدیریت پسماند شهر تهران، بیش از ۶۰ درصد از پسماندهای تولیدی شهر تهران را پسماندهای فسادپذیر (تر) تشکیل می‌دهد. مدیریت این پسماندها از دیدگاه زیست‌محیطی اهمیت قابل توجهی دارد، چرا که این نوع پسماندها به‌علت ماهیت شیمیایی و ساختاری، به‌راحتی تجزیه شده و در صورت مدیریت غیراصولی، از پتانسیل بالایی برای تولید شیرابه و گازهای گلخانه‌ای برخوردارند. در این ارتباط، با توجه به مشکلات زیست‌محیطی ناشی از دفن بیش از چهار دهه پسماندهای مخلوط شهری تهران در سایت‌های آرادکوه و آبعلی، سازمان مدیریت پسماند (بازیافت و تبدیل مواد) از اواسط دههٔ ۱۳۸۰، ضمن توسعهٔ خطوط پردازش، نسبت به توسعهٔ روش دفع اقدام کرد. بر این اساس، ظرفیت واحدهای پردازش پسماندهای مخلوط تا ۷۵۰۰ تن در روز افزایش و دو سایت به وسعت ۴۰ هکتار برای تولید کمپوست به روش ویندرو نیز راه‌اندازی شد. بر این اساس، روزانه به‌طور متوسط حدود ۵۵۰۰ تا ۶ هزار تن پسماند جمع‌آوری‌شده از سطح شهر تهران در واحدهای پردازش جداسازی شده و در نهایت، ۲۵۰۰ تا ۳ هزار تن پسماند فسادپذیر از طریق تسمه نقاله به سایت کمپوست منتقل می‌شوند.

مطالعات طرح جامع مدیریت پسماند که توسط مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران تهیه و تدوین شد و به مصوبهٔ شمارهٔ ۲۷۶۵ شورای اسلامی شهر در تاریخ ۲۲ فروردین‌ماه ۱۴۰۰ منتج شد، نشان می‌دهد به دلایل متعددی ازجمله تجهیزات فرسوده، بازده متوسط سیستم‌های جداسازی و ورود میزان زیادی از ناخالصی از جمله خرده‌شیشه به توده‌های کمپوست، هوادهی نامناسب توده‌های کمپوست و تثبیت ناکامل در انتهای فرایند، وجود پیمانکاران مختلف برای تولید کمپوست و کنترل کیفی ضعیف و غیر یکپارچه مواد ورودی، منجر به تولید کمپوست با کیفیت پایین و نامرغوب شده است.

بنابراین، در این شرایط با بهره‌گیری از فناوری‌های جدید باهدف مدیریت پسماند در مبدأ وکاهش حجم پسماندهای شهری واردشده به مخازن سطح شهر، می‌توان علاوه بر کاهش هزینه‌های جابه‌جایی و حمل پسماند (به علت تردد کمتر خودروها) تا حد زیادی نیز مشکلات زیست‌محیطی ناشی از خودروهای استفاده‌شده (ریزش پسماند و شیرابه، دود خروجی، آلودگی صوتی، وقوع تصادف‌ها و...) و نیز دفن پسماند را کاهش داد. با استناد به طرح جامع مدیریت پسماند شهر تهران، جمع‌آوری و حمل‌ونقل پسماندها ۷۰ـ ۸۰ درصد و گاهی در کشور ما تا ۹۰ درصد هزینه‌های سیستم مدیریت پسماند را به خود اختصاص می‌دهد. بنابراین، به‌کارگیری فناوری کمپوستر خانگی در فرایند مدیریت پسماند کلان‌شهر تهران ضمن پایدارسازی پسماند آلی فسادپذیر، بسیاری از هزینه‌های مدیریت پسماند که بیشتر توسط شهرداری‌ها صرف تقویت و بهبود ناوگان جمع‌آوری و حمل و انتقال پسماند می‌شود را تعدیل می‌کند.

فناوری کمپوستر به‌منظور کاهش زمان مورد نیاز برای تولید کمپوست باکیفیت ایجاد شده است. این فناوری هم در مقیاس صنعتی و بزرگ برای پسماندهای شهری و هم در مقیاس کوچک (دستگاه‌های کمپوستر خانگی) برای

پسماندهای خانگی و رستوران‌ها توسعه یافته و این فناوری به‌ویژه برای تبدیل پسماندهای آشپزخانه و پسماند سبزیجات مناسب است. بنابراین، بسیاری از کشورهای پیشرو در تولید کمپوست، کمپوست‌سازی در مبدأ و به‌صورت غیرمتمرکز را در دستور کار خود قرار داده‌اند.

هدف این جستار پژوهشی، ارائهٔ تجارب مفید کشورهای مختلف در زمینهٔ به‌کارگیری فناوری کمپوستر در مدیریت بهینهٔ پسماند فسادپذیر در مبدأ و همچنین، امکان‌سنجی توسعهٔ این فناوری در شهر تهران است. امید است اطلاعات حاصل موجب ارتقای دانش شود و گامی در راستای مدیریت بهینهٔ پسماند و تحقق رهیافت تهران؛ کلان‌شهر الگوی جهان اسلام باشد.

محمد منان رئیسی

رییس مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران

بخش اول: کلیات

۱ـ ۱. مقدمه

افزایش رشد اقتصادی و شهرنشینی سریع به‌طور مستقیم منجر به افزایش تولید سرانهٔ پسماند می‌شود (Ven-kiteela, 2020). مدیریت مطلوب پسماندهای شهری و صنعتی با توجه به حجم زیاد تولید روزانهٔ آن‌ها در تمامی کشورها اهمیت ویژه‌ای به‌خصوص از دیدگاه زیست‌محیطی و بهداشتی دارد و برای پایداری و عملکرد مناسب جوامع نیاز به اقدام فوری دارد. بانک جهانی در سال ۲۰۱۷ میزان تولید پسماند در جهان را ۱/۳ میلیارد تن در سال (۱/۲ کیلوگرم به‌ازای هر فرد در روز) تخمین زده و پیش‌بینی کرده که این میزان تا سال ۲۰۲۵ میلادی به ۲/۲ میلیارد تن در سال افزایش یابد (Hoque and Rahman, 2020).

با توجه به محدودیت مکان‌های مناسب دفع انواع پسماند و از سویی، اثرات نامطلوب دفن پسماند و سایر روش‌های حذف و یا کنترل پسماند بر سلامت عمومی و محیط زیست، حرکت در جهت مدیریت بهینهٔ پسماندها با نگاهی به توسعهٔ پایدار از اهداف اصلی جوامع توسعه‌یافته و در حال توسعه است (Ye et al., 2020).

در همین ارتباط براساس آمار منتشرشده از سوی وزارت کشور، به‌طور میانگین ۷۴ درصد از پسماندهای تولیدی در کشور (معادل ۱۰/۵۰۰ تن در روز) دفن می‌شود. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از این میزان دفن، حدود ۶ میلیون تن معادل دی‌اکسید کربن بوده و میزان شیرابهٔ حاصل از آن حدود ۱/۱۰۰ متر مکعب است.

در این میان، میانگین پسماند مخلوط تولیدی در شهر تهران براساس میانگین ۱۰ ساله (۱۳۸۸ـ ۱۳۹۷) مناطق ۲۲ گانهٔ شهر تهران ۶/۱۷۳ تن در روز است. همچنین، با توجه به آمار سرشماری نفوس و مسکن و میزان رشد جمعیت، سرانه تولید پسماند جامد شهری تهران ۱/۰۲۱ گرم در سال ۱۳۹۵ محاسبه شده است. به‌رغم تمامی اقدامات صورت‌گرفته در خصوص تفکیک و بازیافت پسماندها و مشارکت شهروندان تهرانی، باز هم مقدار قابل توجهی از پسماند تولیدی شهر تهران در مجتمع آرادکوه دفن می‌شود. البته، باید به این نکته توجه داشت که دلیل اصلی دفن برخی از انواع پسماندها را باید در عدم قابلیت بازیافت آن‌ها، آلودگی بیش از حد و... و برخی دیگر را در عدم توانایی پذیرش روزانهٔ آن‌ها توسط واحدهای پردازش در نظر گرفت.

براساس گزارش دومین دورهٔ نمونه‌برداری پسماند شهر تهران که در قالب طرح جامع مدیریت پسماند انجام شد، میزان پسماند تر، خشک ارزشمند و خشک غیر ارزشمند در مجتمع آرادکوه به‌ترتیب برابر ۶۵/۶، ۱۷/۳ و ۱۷/۱ درصد به دست آمده است. بنابراین، مدیریت پسماندهای تر (فسادپذیر) از دیدگاه زیست‌محیطی اهمیت قابل توجهی دارد. این نوع پسماندها به‌راحتی تجزیه شده و از پتانسیل بالایی برای تولید شیرابه و انتشار گازهای گلخانه‌ای (به‌طور عمده، شامل متان و دی‌اکسید کربن)، آلودگی خاک و... برخوردارند.

در همین راستا، بسیاری از صاحب‌نظران عرصهٔ مدیریت پسماندهای جامد شهری بر این اعتقادند که در کنار تفکیک پسماند خشک و تر در مبدأ تولید، آبگیری و خشک کردن پسماندهای تر در مبدأ از تأثیری به‌سزا در سایر مراحل بعدی مدیریت پسماند (جمع‌آوری، ایستگاه‌های انتقال و پردازش) برخوردار است. راهکارهای متعددی برای کاهش رطوبت پسماند تر در مبدأ وجود دارد از جمله، آبگیری پسماندهای تر، قبل از انداختن آن‌ها در مخزن پسماند تر، نگهداری پسماندهای تر پس از آبگیری در سبدهای کوچکی برای مدتی تا خشک شدن کامل پسماندهای تر، تخلیه و نظافت کامل ظرف‌های غذا قبل از شست‌وشوی آن‌ها به‌منظور جلوگیری از خیس شدن مواد غذایی، استفاده

از دستگاه‌های خردکن پسماند تر زیرسینکی، استفاده از دستگاه‌های خشک‌کن کوچک برقی برای خشک کردن تدریجی پسماندهای تر و استفاده از باقی‌ماندهٔ آن‌ها به‌عنوان کود، اصلاح الگوی مصرف شهروندان، استفاده از کرم‌های ورمی برای تولید ورمی کمپوست از پسماندهای تر در منازل ویلایی و بزرگ و مجتمع‌های مسکونی، دفن پسماندهای تر در باغچه‌ها در منازل بزرگ ویلایی و حیاط‌دار، تغییر و اصلاح نوع کشاورزی و باغداری به گونه‌ای که از گونه‌ها و واریته‌هایی استفاده شود که نخست دوام طبیعی و ماندگاری بیشتری دارند و دوم، از ضایعات کمتری (همچون ساقهٔ سبزیجات) هنگام فرآوری برخوردارند. همچنین، مواد غذایی به‌خصوص سبزیجات، صیفی‌جات و حبوبات به‌صورت پاک‌شده و فرآوری‌شده در اختیار مصرف‌کننده قرار بگیرد، چرا که در این صورت تنها پسماند تولیدشده، مواد حاصل از بسته‌بندی این مواد است که در صورت تفکیک مناسب، می‌توان آن را به چرخهٔ تولید و استفادهٔ مجدد بازگرداند. توجه هر چه بیشتر به افزایش درصد و اجرای صحیح تفکیک پسماندها در مبدأ و مشارکت شهروندان در این خصوص و همچنین، استفاده از کمپوسترهای خانگی و جلوگیری از ورود پسماندهای تر به مخازن.

در حال حاضر، پردازش و دفع این پسماندها به چهار شیوه صورت می‌گیرد: ۱. دفن به‌عنوان پوشش در محل‌های لندفیل؛ ۲. سوزاندن؛ ۳. هضم بی‌هوازی؛ ۴. کمپوست (شکل ۱ـ ۱).

شکل ۱ـ ۱. شیوه‌های رایج پردازش و دفع پسماند آلی: a. دفن به‌عنوان پوشش در محل‌های لندفیل؛ b. سوزاندن؛ c. هضم بی‌هوازی؛ d. کمپوست

از میان این راهکارها، از بهترین روش‌های مدیریت پسماندهای تر فسادپذیر و خنثی‌سازی اثرات نامطلوب آن‌ها تبدیل آن‌ها به کمپوست است که این روند از تأثیرگذاری زیادی در مدیریت بهینه این نوع پسماند برخوردار بوده و علاوه بر کاهش مشکلات بهداشتی و زیست‌محیطی، نقش مهمی در تولید مواد آلی و جایگزینی کودهای پرمخاطرهٔ شیمیایی و نیز رهایی اکوسیستم‌های آبی و خاکی از آلودگی پسماندهای تولیدی دارد. همچنین، این راهکار علاوه بر کمک به حفظ منابع طبیعی موجود، موجب به دست آمدن سود اقتصادی هم می‌شود (Muscolo et al., 2018).

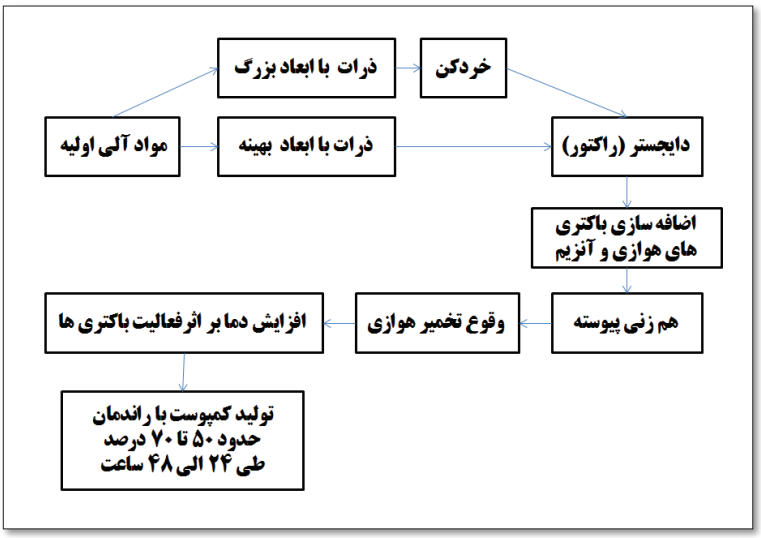
در واقع، کمپوست تبدیل کنترل‌شدهٔ پسماند آلی فسادپذیر به محصولات پایدار با کمک میکروارگانیسم‌ها است. منظور از کود کمپوست، کودی است که بر اثر تجزیهٔ مواد آلی به‌دلیل فعالیت بیولوژیکی میکروارگانیسم‌های مختلف در محیط هوازی یا بی‌هوازی تولید شده است. بعد از فرایند کمپوستینگ مواد آلی تثبیت می‌شود و محصول نهایی عاری از عوامل بیماری‌زا و تخم گیاهان است. کمپوست مکملی بسیار سودمند برای بهبودی و بهسازی و تقویت خاک است. ترکیبات تولیدشده در این فرایند به‌آسانی برای گیاهان قابل جذب است و جایگزینی مناسب برای کودهای شیمیایی در کشاورزی به‌شمار می‌آید (Ayilara et al., 2020).

با توجه به اهمیت موضوع، در سال‌های اخیر در بهبود روش‌ها و فناوری‌های تولید کمپوست از پسماندهای آلی

فسادپذیر فعالیت‌های علمی و عملی فراوانی به‌طور گسترده در جریان است تا بتوان با آثار سوء و مخرب پسماندها و ضایعات ناشی از شیوهٔ زندگی امروز انسان روی کرهٔ خاکی مقابله کرد.

فرایند تولید کمپوست به روش معمول و سنتی از یک دورهٔ زمانی ۴ تا ۶ ماهه برخوردار است که این امر معمولاً با مشکلات مختلفی از جمله کمبود زمین مناسب و زمان فرایند طولانی و معضلات زیست‌محیطی مواجه بوده است.

با گذشت زمان و براساس پیشرفت‌های صورت‌گرفته، فرایندهای تولید کمپوست نیز توسعه یافته و با استفاده فناوری‌های جدید، زمان تولید کمپوست از مواد آلی اولیه به ۱ تا ۳ ماه کاهش یافت که از این روش در حال حاضر در مجتمع آرادکوه استفاده می‌شود. این روش نیز به نوبهٔ خود با مشکلات مختلفی همراه است. بنابراین، بسیاری از محققان بر آن شدند تا فرایند تخریب مواد آلی و تولید کمپوست را با انجام تغییراتی در فرایندهای موجود اصلاح کنند و علاوه بر کاهش زمان حداکثری فرایند، بر کیفیت کود آلی تولیدشده نیز بیفزایند. در این میان، موفقیت‌هایی نیز حاصل شده که سال ۲۰۰۰ میلادی را می‌توان به‌عنوان زمان شکوفایی این فرایند جدید یا Rapid Composting در نظر گرفت. منظور از Rapid Composting، تولید کمپوست از انواع پسماندهای آلی طی ۲۴ تا ۴۸ ساعت در داخل راکتور (دایجستر) و با اضافه‌سازی باکتری‌های هوازی و آنزیم‌های خاص آزمایشگاهی است (شکل ۱ـ ۲).



شکل ۱ـ ۲. فرایند کلی Rapid Composting

فناوری Rapid Composting به‌منظور نیاز به کاهش زمان برای تولید کمپوست با کیفیت، ایجاد شده است. این فناوری هم در مقیاس صنعتی و بزرگ برای پسماندهای شهری و هم در مقیاس کوچک (دستگاه‌های کمپوستر خانگی) برای پسماندهای خانگی و رستوران‌ها توسعه یافته و این فناوری به‌ویژه برای تبدیل پسماندهای آشپزخانه و پسماند سبزیجات مناسب است (تصاویر ۱ـ ۳ و ۱ـ ۴).

شکل ۱ـ ۳. دستگاه کمپوستر صنعتی

شکل ۱ـ ۴. دستگاه کمپوستر خانگی

از مزایای این فناوری کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای (دی‌اکسیدکربن و متان)، تفکیک حداکثری پسماند در مبدأ، تبدیل پسماندهای آلی فسادپذیر به کمپوست طی ۲۴ ساعت، کاهش بسیاری از هزینه‌های مربوط به جمع‌آوری،

حمل، دفع و پردازش پسماند، حذف ۱۰۰ درصد شیرابه و کمک به حفظ محیط زیست است.

در این فناوری از میکروارگانیسم‌هایی که از توانایی تجزیهٔ هر چه سریع‌تر مواد آلی در شرایط هوازی برخوردارند، استفاده می‌شود. از آنزیم‌ها و باکتری‌های مفید به‌منظور تسریع فرایند هضم استفاده می‌شود. با استفاده از این فناوری می‌توان پسماندهایی که به دلایلی همچون میزان زیاد روغن و نمک در فرایندهای عادی تولید کمپوست با مشکل مواجه‌اند را نیز به کمپوست تبدیل کرد.

در حال حاضر، شرکت‌های مختلفی دستگاه‌های تولید کمپوست سریع را به بازار ارائه کرده‌اند از جمله آن‌ها می‌توان به شرکت Totally Green، شرکت Biomax، شرکت Power Knot، شرکت Vulcanes و... اشاره کرد. کمپوسترهای تولیدی این شرکت‌ها با وجود تفاوت‌هایی که در عملکرد دارند، ولی در خصوص تبدیل پسماند آلی فسادپذیر به کمپوست طی ۲۴ ساعت با یکدیگر مشابهت دارند.

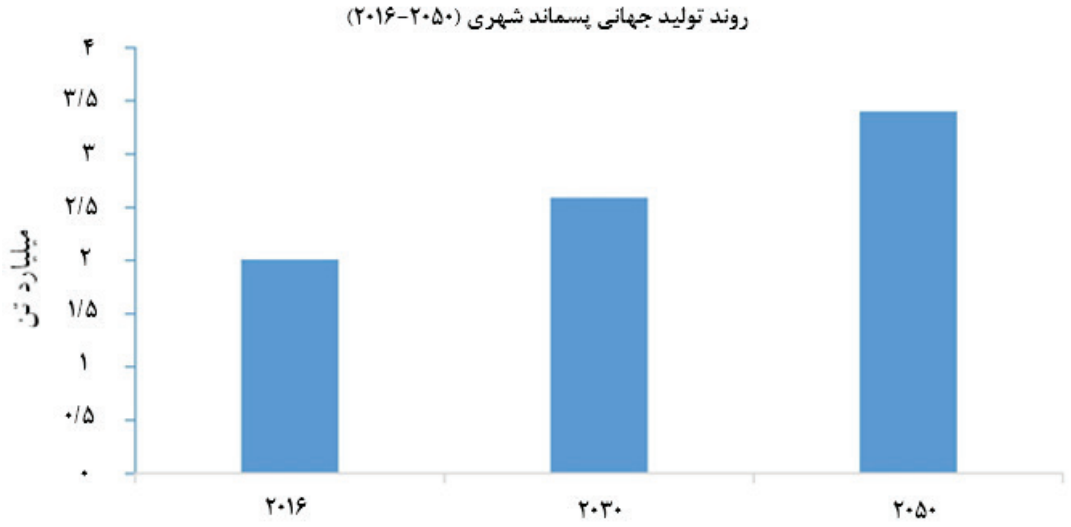
در ایران نیز دستگاه‌های کمپوستر در ابعاد و ظرفیت‌های مختلف با موارد مصرف خانگی، نیمه‌صنعتی و صنعتی توسط چند شرکت تولید و قابل دسترس هستند. این شرکت‌ها عبارت‌اند از:

«شرکت ستارهٔ آریا نوین آیلین»، این شرکت مخترع دستگاه کمپوستر استارکلین است و در راستای بازیافت پسماندهای تر فعالیت خود را از سال ۱۳۹۴ آغاز کرد و در زمینهٔ طراحی و تولید دستگاه‌های کمپوستر در ابعاد خانگی تا صنعتی برای نصب در مبدأ تولید پسماند فعالیت می‌کند. «شرکت پارس کمپوست»، این شرکت در سال ۱۳۸۸ تأسیس شد و هم‌اکنون در زمینهٔ تولید کمپوست بلوک قارچ دکمه‌ای و خاک پوششی پرورش قارچ و همچنین، تولید دستگاه‌های کمپوستر فعالیت دارد. «شرکت آریا پرتو» در حال حاضر ماشین‌آلات و تجهیزات مورد نیاز برای تهیهٔ کودهای آلی از جمله ورمی‌کمپوست، کود کمپوست غنی‌شدهٔ گیاهی و کودهای مرغی، دامی و... را تولید می‌کند. «شرکت کاسپین سبز هامون شمال»، این شرکت در سال ۱۳۹۷ با محوریت طراحی و اجرای سامانه‌های پیشرفتهٔ آب و فاضلاب با فناوری نانو تأسیس شد و در زمینهٔ تولید دستگاه‌های کمپوستر نیز فعالیت دارد.

۱ـ ۲. بیان مسئله و ضرورت پژوهش

افزایش رشد اقتصادی و شهرنشینی سریع، با افزایش تولید سرانهٔ پسماند ارتباط مستقیم دارد (Venkiteela, 2020). افزایش جمعیت، توسعهٔ بی‌رویه و غیراصولی شهرها، نامناسب بودن الگوهای رایج مصرف و بسیاری از عوامل دیگر، باعث بروز معضلات زیادی در جوامع انسانی به‌خصوص کشورهای در حال توسعه شده است. از جملهٔ این مسائل می‌توان به افزایش مصرف و در نتیجه، تولید مواد زائد جامدی که موجب پدید آمدن معضلات بهداشتی و زیست‌محیطی شدیدی به‌ویژه در کلان‌شهرها شده‌اند، اشاره کرد. این در حالی است که میزان رشد سالیانهٔ جمعیت جهانی حدود ۲ درصد تخمین زده شده و این میزان رشد جمعیت، تقاضا و مصرف هر چه بیشتر در کشورهای مختلف دنیا را در پی خواهد داشت.

بررسی‌ها نشان می‌دهد تولید سالانهٔ پسماند جامد شهری جهانی، حدود ۲/۰۱ میلیارد تن است که تقریباً ۳۳ درصد از آن به روش بهداشتی مدیریت نمی‌شود (Wang et al., 2020). انتظار می‌رود که تولید پسماندهای جهانی تا سال ۲۰۵۰ به ۳/۴ میلیارد تن برسد (Hoque and Rahman, 2020) (شکل ۱ـ ۵).



شکل ۱ــ ۵. روند تولید جهانی پسماند شهری از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۵۰ میلادی (بر حسب میلیارد تن)
منبع: (Hoque and Rahman, 2020)

همچنین، میزان تولید پسماند در کشورهای کم‌درآمد و در حال توسعه در مقایسه با کشورهای با درآمد زیاد و توسعه‌یافته بسیار افزایش یافته است (Ye et al., 2020). چرا که کشورهای با درآمد زیاد فقط ۱۶ درصد از جمعیت جهان را تشکیل داده و به‌طور متوسط سالانه ۶۸۳ میلیون تن پسماند تولید می‌کنند، یعنی ۳۴ درصد از کل پسماندهای جهانی. از طرفی، در کشورهای توسعه‌یافته با به‌کارگیری تکنولوژی‌های جدید از پسماند به‌عنوان منبع تولید انرژی، گرما، سوخت و کمپوست استفاده می‌کنند. در حالی که در کشورهای در حال توسعه جمع‌آوری، انتقال و دفن پسماند شهری همچنان یک چالش بزرگ محسوب می‌شود (Tayeh et al., 2020).

از این‌رو، نیاز به دفع و پردازش پسماند جامد شهری (MSW) در سطح جهانی و به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه به‌طور جدی اهمیت پیدا می‌کند (Moya et al., 2017). مدیریت پسماند جامد شهری به‌طور عمده بر سطح استاندارد زندگی جوامع مانند پاکیزگی، بهداشت و بهره‌وری تأثیر می‌گذارد. راهکارهای بسیاری برای بازیافت و مرتب‌سازی این پسماندها در سطح فردی، جامعه و دولت اتخاذشده، اما هنوز مقادیر زیادی از پسماندهای مخلوط صنعتی و خانگی در حال دور ریخته شدن است (Bahcelioglu et al., 2020 Ugwu et AL., 2020.).

روش‌های پردازش پسماند شامل تبدیل پسماند به محصولات دیگر (WtP) یا تبدیل پسماند به انرژی (WtE) است. تکنیک‌های WtP شامل روش‌هایی مانند هضم بی‌هوازی، تبدیل هوازی و تخمیر است و تکنیک‌های WtE متشکل از تولید الکتریسیته از بیوگاز و پردازش‌های ترموشیمیایی مانند پسماندسوز، گازی‌سازها و پیرولیز است (Chhabra et al., 2019).

در همین ارتباط، تولید کمپوست، یکی از قدیمی‌ترین و آسان‌ترین روش‌ها در ارتباط با پایدار سازی پسماند آلی فسادپذیر است که در گروه تکنیک‌های WtP جای می‌گیرد. در واقع، کمپوست تبدیل کنترل‌شدهٔ پسماند آلی فسادپذیر به محصولات پایدار با کمک میکروارگانیسم‌ها است (Ayilara et al., 2020).

فرایند تولید کمپوست در مقایسه با سایر فناوری‌های تبدیل پسماند ساده‌تر است و به هزینهٔ کمتری نیاز دارد. مادهٔ اولیهٔ تولید کمپوست، بخش آلی فسادپذیر پسماند جامد شهری شامل پسماند خانگی و پسماندهای مشابه از پارک‌ها،

دفاتر و ادارات دولتی، رستوران‌ها، هتل‌ها و پسماند باغ‌ها است (Ayilara et al., 2020).

از فواید تبدیل پسماند آلی فسادپذیر به کمپوست، می‌توان به افزایش حاصل‌خیزی، سلامت و تأمین مواد مغذی خاک و در نتیجهٔ آن افزایش محصولات کشاورزی، بهبود بخشیدن به گوناگونی زیستی خاک، کاهش خطرات زیست‌محیطی و ایجاد محیط زیست بهتر اشاره کرد. همچنین، کمپوست پاتوژن‌ها را از بین می‌برد، حجم پسماند را کاهش داده و آمونیاک ناپایدار را به فرم نیتروژن آلی پایدار تبدیل می‌کند (Chhabra et al., 2019).

از طرفی، روش‌های نامناسب مدیریت پسماند جامد (از جمله عدم تفکیک در مبدأ) بزرگ‌ترین محدودیت در تولید کمپوست باکیفیت است. عدم تفکیک مناسب پسماندها از یکدیگر در مبدأ باعث می‌شود ترکیبات مختلف پسماند (زیست‌فروپاش و غیر زیست‌فروپاش) با یکدیگر ترکیب و کمپوست نامرغوبی تولیدشده که از مطلوبیت فروش مناسبی در بازار برخوردار نیست (Sarkar et al., 2016; Ramachandra et al., 2018). در همین ارتباط، درخور یادآوری است که سازمان مدیریت پسماند شهرداری تهران به‌منظور کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی حاصل از دفع پسماندهای جامد شهری، در مجتمع آرادکوه فناوری تولید کمپوست به روش هوازی را به کار گرفته است. مدیریت بهینهٔ پسماندهای تر در سایت‌های هوادهی مجتمع آرادکوه باعث شده تا علاوه بر کاهش قابل توجه شیرابهٔ تولیدی در مجتمع، تا حد زیادی از تولید و رهاسازی گاز گلخانه‌ای متان و تولید شیرابه کاسته شود.

در ادامه، مهم‌ترین مزایا و معایب فرایند تولید کمپوست (هوادهی پسماندهای تر) در مجتمع آرادکوه به‌صورت خلاصه ارائه می‌شود:

- کاهش تولید شیرابه به‌واسطهٔ تبخیر رطوبت موجود در پسماندهای تر
- حذف تولید گاز متان به‌واسطهٔ هوازی بودن شرایط تولید کمپوست
- کاهش ۵۵ درصدی وزن پسماندهای تر به‌واسطهٔ تبخیر رطوبت
- از میان رفتن عوامل بیماری‌زا موجود در پسماندهای تر و کمپوست تولیدی
- امکان تولید کود ارزشمند کمپوست

از مهم‌ترین محدودیت‌های فرایند هوادهی پسماندهای تر در مجتمع نیز می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- زمان ماند نسبتاً طولانی (به‌طور متوسط ۸ هفته)
- وابستگی فرایند به شرایط آب‌وهوایی
- حضور پرندگان مختلف در محل سایت به‌واسطهٔ وفور مواد غذایی
- افزایش قابل توجه تکثیر مگس در فصل‌های گرم سال
- وابستگی فرایند به نظارت و کنترل دائمی آزمایشگاه کنترل کیفیت
- هزینه‌های تحمیلی ناشی از تعمیر و نگهداری دستگاه‌های همزن

بنابراین، با توجه به محدودیت‌های یادشده در فرایند هوادهی پسماندهای تر در مجتمع آرادکوه، تلاش برای افزایش کمی و کیفی تفکیک پسماند آلی فسادپذیر در مبدأ تولید و تبدیل سریع آن به کمپوست با دستگاه‌های کمپوست‌ساز پیشنهاد می‌شود که ضمن حفظ کیفیت کمپوست تولیدشده، می‌تواند در کاهش هزینه‌های جمع‌آوری و حمل‌ونقل پسماند و مدیریت بهینهٔ پسماند شهر تهران نقش مهمی داشته باشد. با توجه به شرایط فعلی و واقعیات موجود در

عرصهٔ مدیریت پسماند شهر تهران و عدم امکان پیاده‌سازی کامل و منطقی تفکیک پسماند در مبدأ در شهر تهران و سهولت بیشتر نظارت بر هتل‌ها و مسافرخانه‌ها، رستوران‌ها، کارخانه‌های صنایع غذایی، تره‌بار، پادگان‌ها، پالایشگاه‌ها، پتروشیمی‌ها، دانشگاه‌ها و مدارس، امکان به‌کارگیری از این فناوری در این محل‌ها وجود دارد و پس از آن، می‌توان امیدوار به توسعهٔ هر چه بیشتر این فناوری در منازل و مجتمع‌های مسکونی و افزایش کمی و کیفی تفکیک پسماند در مبدأ بود. در این پژوهش ضمن مقایسهٔ شیوه‌های تولید کمپوست و همچنین، تجربیات کشورهای دیگر در زمینهٔ مدیریت بهینهٔ پسماند آلی فسادپذیر و معرفی قوت‌ها و ضعف‌های آن‌ها، امکان اجرا و توسعهٔ فناوری کمپوستر در فرایند مدیریت پسماند شهر تهران از جنبه‌های فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی بررسی شده و در پایان نیز مزیت نسبی یک پروژهٔ به‌کارگیری فناوری کمپوستر در شهر تهران به‌منظور بررسی توجیه اقتصادی و مالی آن ارزیابی شد.

۱ـ۳. روش‌شناسی

آنچه یک تحقیق و نتایج حاصل از آن را معتبر می‌سازد، به‌کارگیری مناسب‌ترین روش برای انجام آن است. به‌کارگیری روش مناسب به‌معنای جستن حداکثری از رویکردها، مدل‌ها، روش‌ها و ابزارهای متنوع و تمایز کاربرد به‌جا و نابجای آن‌ها است.

این دانش شهر به‌لحاظ موضوعی به امکان‌سنجی فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی استفاده از فناوری کمپوستر خانگی در فرایند مدیریت پسماند شهر تهران می‌پردازد. این پژوهش به‌لحاظ ماهیت از نوع کاربردی است به این دلیل که نتایج آن می‌تواند توسعهٔ هر چه بیشتر فناوری کمپوستر را میسر کند. همچنین، از نظر پارادایمی از نوع پژوهش‌های کمی‌ـ کیفی بوده، و از نظر طرح پژوهش و میزان کنترل متغیرها از نوع غیر آزمایشی است. شایان یادآوری است که تحقیق حاضر در سه فاز انجام شد. در فاز نخست به‌منظور بررسی تجربیات کشورهای مختلف در زمینهٔ به‌کارگیری فناوری کمپوستر از روش‌های مطالعهٔ کتابخانه‌ای با بررسی مدارک، مستندات و سوابق علمی مرتبط با این موضوع از طریق مطالعهٔ کتاب‌ها، مقالات و همچنین، جست‌وجو در منابع اینترنتی و سایت‌های معتبر بهره گرفته شد.

فاز دوم تحقیق با هدف امکان‌سنجی فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی استفاده از فناوری کمپوستر در فرایند مدیریت پسماند شهر تهران انجام شد، دستیابی به اطلاعات مورد نیاز در این بخش، با استفاده از مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته به‌صورت ملاقات حضوری و همچنین، گفت‌وگوی تلفنی حاصل شد. برای این منظور، با استفاده از روش نمونه‌گیری هدفمند با تکنیک نمونهٔ بارز با ۱۶ نفر از متخصصان و کارشناسان سازمان مدیریت پسماند شهر تهران و کارشناسان مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران و همچنین، تولیدکنندگان دستگاه‌های کمپوستر و استفاده‌کنندگان این دستگاه‌ها مصاحبه شد. مبنای نمونه‌گیری در این تحقیق، افزایش حجم نمونه تا زمان رسیدن به اشباع تئوریک بود. در فاز سوم تحقیق با این هدف که برای ترویج استفاده از این فناوری در بین مردم ابتدا باید یک توجیه اقتصادی برای انجام آن ارائه داد که بتوان با استفاده از این توجیه اقتصادی به مردم تضمین داد که با به‌کارگیری فناوری کمپوستر، سود و صرفهٔ اقتصادی عایدشان می‌شود با استفاده از روش تحلیل هزینه‌ـ فایده ، مزیت نسبی یک پروژهٔ به‌کارگیری فناوری کمپوستر ارزیابی شد. در این بخش نسبت‌های صورت جریان‌های نقدی و شاخص‌های مالی مورد نظر با بهره‌گیری از نرم‌افزار اکسل محاسبه شد.

بخش دوم: بررسی تجربیات کشورهای مختلف در زمینهٔ تولید کمپوست

۲ـ ۱. تجربیات کشورهای مختلف در زمینهٔ تولید کمپوست از پسماند آلی فسادپذیر

۲ـ ۱ـ ۱. مقدمه

در این بخش مروری داریم بر تجربیات موفق کشورهای مختلف در زمینهٔ مدیریت پسماند آلی فسادپذیر. هدف از ارائهٔ این بخش، بررسی قوت‌ها و ضعف‌های پروژه‌های مختلف تولید کمپوست، چگونگی برنامه‌ریزی برای اجرا و توسعه، جلب مشارکت مردم، تأمین مالی پروژه و دلایل اصلی پایداری واحدهای تولیدکنندهٔ کمپوست است.

۲ـ ۱ـ ۲. سابقهٔ تولید کمپوست از پسماند آلی فسادپذیر در شهر اوتارپارا هند

اوتارپارا نیز شهر کوچکی در بنگال غربی است که به‌دلیل تفکیک پسماند از مبدأ توانسته در زمینهٔ مدیریت پسماند شهری بسیار موفق عمل کند، چرا که تمام پسماندهای موجود در اوتارپارا در مبدأ به دسته‌های زیست‌فروپاش و غیر زیست‌فروپاش تقسیم می‌شوند. در این شهر پیش‌تر توده‌هایی از پسماند انباشته‌شده در سطح شهر وجود داشت. با این‌حال، تأسیس یک مرکز تولید کمپوست از پسماندهای آلی تفکیک‌شده از مبدأ، در این شهر موفقیت چشمگیری به همراه داشته است، به‌گونه‌ای که امروزه، تأسیسات کمپوست اوتارپارا روزانه حدود ۱۲ـ ۱۴ تن پسماند آلی فسادپذیر دریافت و از این مقدار پسماند، روزانه ۳ تا ۴ تن کمپوست تولید می‌کند (Rao, 2016).

شکل ۲ـ ۱. تولید کمپوست از پسماندهای آلی فسادپذیر. کارخانهٔ کمپوست اوتارپارا، منطقهٔ هوگلی، کشور هند

همچنین، در این شهر برای توسعهٔ مدیریت پایدار پسماند و استفاده از کودهای غنی از مواد مغذی حاصل از فرایندهای تولید کمپوست، دو کارآفرین زن اهل کلکته، یک شرکت اجتماعی به نام Mana Organics ایجاد کرده‌اند تا حاصل‌خیزی خاک را با تولید کمپوست حاصل از مواد آلی و عاری از مواد شیمیایی بهبود ببخشند. این شرکت تا کنون توانسته است خاک مزارع زیادی که به‌دلیل عدم حاصل‌خیزی، عملکرد سطح پایینی داشتند را با

استفاده از کمپوست آلی اصلاح و تقویت کند. همچنین، این شرکت توانسته در زمینهٔ آگاهی‌رسانی به کشاورزان برای تولید کمپوست از پسماندهای کشاورزی بسیار موفق عمل کند.

هر چند که مدیریت اصولی پسماند در کشور هند راهی طولانی در پیش دارد، ولی در این میان آنچه که اهمیت دارد، مشارکت عمومی مردم در تفکیک پسماند از مبدأ است که پیش از این نسبت به تفکیک پسماند بی‌توجه بودند. با این‌حال، تغییرات رفتاری از زمانی آغاز شد که مردم این کشور شروع به دیدن و تجربهٔ مناظر ناخوشایند، بوی تعفن و مسائل بهداشتی کردند که به‌دلیل حجم فزایندهٔ پسماند جامد شهری و بدون اعمال مدیریت صحیح و کارآمد رها شده بود. علاوه بر این، آگاهی از خطرات بهداشتی مرتبط با مدیریت غیراصولی پسماندهای جامد شهری در این کشور افزایش یافته است و شهرهایی مانند آلاپوزا، تیروواناتاپورام، میسورو، پانجیم و پانچگانی در حال پیشرفت به سمت رویکرد پسماند صفر و تبدیل شدن به شهرهای خودپایدار هستند، که این امر متأثر از تغییر دیدگاه عموم مردم است. بررسی‌های انجام‌شده در این خصوص نشان داد با افزایش آگاهی مردم کشور هند از مشکلات مربوط به مدیریت پسماندها بر میزان مسئولیت‌پذیری و تلاش آن‌ها برای مشارکت در فعالیت‌های مدیریت پسماندها (همچون تفکیک در مبدأ) افزوده می‌شود (Hettiarachchi et al., 2020).

۲ـ۱ـ۳. برنامهٔ کمپوست‌سازی 'REVITALIZA' در شهر پونته‌درا اسپانیا

مدیریت پسماندهای شهری در سراسر اتحادیهٔ اروپا به‌طور قابل توجهی با یکدیگر متفاوت است. به‌عنوان مثال، در حالی که آلمان ۲ درصد پسماندهای شهری خود را به محل لندفیل‌ها ارسال کرده و ۶۶ درصد از کل پسماندهای شهری را بازیافت و کمپوست می‌کند، کشورهایی مانند یونان، قبرس و مالت بیش از ۸۰ درصد پسماندهای شهری خود را روانهٔ لندفیل می‌کنند. در همین زمینه، شهر پونته‌درا اسپانیا توانسته با اجرای طرح کمپوست «REVITALIZA» در مدیریت پسماند این شهر موفق عمل کند (Mato et al., 2019).

شکل ۲ـ۲. موقعیت اسپانیا در قارهٔ اروپا و منطقهٔ مطالعه‌شدهٔ پونته‌درا در اسپانیا با رنگ نارنجی مشخص شده است
منبع: (Mato et al., 2019)

۲ـ ۱ـ ۳ـ ۱. طرح کمپوست: «REVITALIZA»

رویتالیزا یک مدل از مدیریت پسماند شهری را ارائه می‌کند که تا حد امکان بر تفکیک بخش آلی فسادپذیر پسماند شهری در جایی نزدیک به نقطهٔ تولید آن متمرکز است. در این پروژه سه خط تولید کمپوست وجود دارد: ۱. کمپوست‌سازی خانگی؛ ۲. کمپوست‌سازی در اماکن عمومی؛ ۳. کارخانه‌های کوچک‌مقیاس تولید کمپوست. دو خط اول کمپوست‌سازی به‌عنوان کمپوست‌سازی محلی تعریف می‌شوند، یعنی تولید کمپوست در منطقه‌ای نزدیک به محلی که تولیدکنندگان پسماند زندگی می‌کنند و نیازی به جمع‌آوری و انتقال پسماند به مراکز دیگر برای بازیافت وجود ندارد و خط سوم یعنی کارخانه‌های تولیدکنندهٔ کمپوست که در شهرداری‌های هر منطقه وجود داشته و نیاز است که پسماند آلی تفکیک‌شده از مراکزی که امکان پردازش پسماند در محل وجود ندارد، جمع‌آوری شده و به این واحدها منتقل شوند.

برای اجرای پروژهٔ رویتالیزا اولویت‌هایی تعریف شد که از جملهٔ آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- طراحی یک مدل مدیریتی که امکان تکرار و تطبیق آن در شهرداری‌های مختلف شهر فراهم باشد.
- اولویت دادن به بازیافت بخش آلی پسماند در نزدیکی نقطهٔ تولید و در نتیجه، کاهش هزینه‌های جمع‌آوری و حمل‌ونقل پسماند که شهرداری‌ها هر روز متقبل می‌شوند.
- تشویق مشارکت شهروندان در مدیریت پسماند.
- آموزش پرسنل واجد شرایط در مدیریت پسماند به‌ویژه در فرایند کمپوست‌سازی برای دستیابی به اولویت اصلی پروژه یعنی آگاه‌سازی و آموزش شهروندان.
- استفاده از کمپوست به‌عنوان اصلاح‌کنندهٔ خاک و بازگرداندن مواد آلی به چرخهٔ تولید مواد غذایی.

۲ـ ۱ـ ۳ـ ۲. کمپوست‌سازی خانگی

با توجه به اولویت طرح در به حداقل رساندن جمع‌آوری و حمل‌ونقل پسماند آلی فسادپذیر و تبدیل آن به کمپوست در محل تولید، در لاین اول کمپوست‌سازی، شورای شهر پونته‌درا دستگاه‌های کمپوستر با ظرفیت ۳۰۰ لیتر را در خانه‌های دارای باغ یا فضای باز به صورت رایگان مستقر کرد (شکل ۲ـ ۲). ضمن اینکه مدیریت پسماندهای آلی و مسئولیت فرایند تولید کمپوست به عهدهٔ خانواده بوده و آن‌ها می‌توانند از کمپوست به‌دست‌آمده بهره‌مند شوند. مواد مورد نیاز برای فرایند کمپوست‌سازی باید شامل مخلوطی از پسماند آلی فسادپذیر مانند بقایای مواد غذایی و سایر مواد آلی مانند چمن، بقایای هرس درختان و برگ و نیز یک عامل با پایهٔ کربن است که با حجم‌دهی به سیستم، ساختار هوادهی لازم برای فرایند کمپوست را فراهم می‌کند که می‌توان آن را از طریق خرد کردن بقایای هرس درختان تأمین کرد و یا در صورت نیاز توسط شهرداری در اختیار افراد قرار می‌گیرد (شکل ۲ـ ۳). روش استفاده‌شده در کمپوسترهای خانگی همان‌طور که در تصویر (۲-۳) ملاحظه می‌شود، شامل لایه‌های متناوب مواد غذایی و پسماندهای آشپزخانه با عامل حجیم‌کننده است.

شکل ۲ـ ۳. (a) مخزن ثابت کمپوستر خانگی با هواکش تعبیه‌شده روی درب، (b) لایه‌های متناوب مواد در فرایند کمپوست‌سازی (c) اضافه کردن پسماندهای آلی به کمپوستر و اندازه‌گیری دما
منبع: (Mato et al., 2019).

شکل ۲ـ ۴. تراشه‌های چوبی استفاده‌شده در فرایند تولید کمپوست خانگی با هدف فراهم آوردن امکان هوادهی بهتر

رویتالیزا از طریق انجمن‌هایی آموزش اولیه و پیگیری فرایند را از طریق بازدید از کمپوسترهای خانگی انجام می‌دهد. در سال اول، حداقل سه بازدید برای بررسی پیشرفت فرایند و همچنین، اندازه‌گیری دما، کنترل رطوبت، سطح پر شدن مخزن، حوادث احتمالی و غیره انجام می‌شود. علاوه بر این، همواره امکان برقرای تماس تلفنی، ایمیل و راه‌های ارتباطی دیگر برای دریافت هرگونه راهنمایی و مشاوره وجود دارد.

۲ـ ۱ـ ۳ـ ۳. کمپوست‌سازی در اماکن عمومی

کمپوست‌سازی در اماکن عمومی یک اصل اساسی و اولویت استراتژیک رویتالیزا است. برای این منظور، مراکز عمومی تولید کمپوست (CCC) در محله‌های مسکونی مشخص و یا در اماکن عمومی مانند فروشگاه‌های مواد غذایی، بازارها، بارها، رستوران‌ها، هتل‌ها، دانشگاه‌ها، مراکز دولتی و غیره راه‌اندازی می‌شوند. این تشکیلات کمپوست‌سازی با ظرفیت پذیرش بیش از ۳۰ تن پسماند آلی در سال، مشمول قوانین خاصی خواهند بود که بیشتر شامل مجوزهای زیست‌محیطی است. یک مرکز عمومی تولید کمپوست همان‌طور که در شکل ۲ـ ۵ مشاهده می‌شود، از تعدادی واحدهای ۱ متر مکعبی تشکیل شده و هر مرکز به‌منظور تکمیل فرایند تولید کمپوست باید حداقل و حداکثر دارای ۳ و ۱۰ واحد باشد. همچنین، این واحدها حداکثر در فاصلهٔ ۱۵۰ متری از مراکز تولیدکنندهٔ پسماند قرار می‌گیرند، چرا که اگر فاصلهٔ این واحدها از این مراکز بیشتر از ۱۵۰ متر باشد، امکان تخلیهٔ پسماند توسط افراد در اماکن دیگر افزایش می‌یابد.

۲ـ ۱ـ ۳ـ ۴. الزامات ساخت و راه‌اندازی مراکز عمومی تولید کمپوست

زمین باید یا دارایی عمومی شهرداری بوده یا توسط مالک و با رضایت او در اختیار شهرداری قرار گرفته باشد. حداکثر شیب زمین نیز ۳ درصد باشد. پایه شامل یک لایهٔ زیرین شن درشت، یک لایه شن ریز و قطعات بتنی است که باعث افزایش استحکام سکویی می‌شود که کمپوستر روی آن قرار گرفته است. همچنین، CCC باید دارای یک منبع آب برای آبیاری واحدها باشد. همانند روش کمپوست‌سازی خانگی، در این روش نیز پسماندهای غذا و آشپزخانه باید با عامل حجیم‌کننده مخلوط شوند. این ماده توسط شهرداری و از فعالیت‌های باغبانی که شامل هرس، چمن‌زنی باغ‌ها، پارک‌ها و سایر فضاهای عمومی، با اندازه‌های بهینه تأمین می‌شود و در جعبه‌ها یا کیسه‌هایی در کنار واحدهای CCC برای استفاده قرار داده می‌شود (شکل ۲ـ ۵).

شکل ۲ـ ۵. (a) مرکز کمپوست‌سازی در اماکن عمومی با شش واحد و کیسه‌هایی از عامل حجیم‌کننده و (b) کمپوست تولیدشده
منبع: (Mato et al., 2019)

تمامی افرادی که از این واحدها استفاده می‌کنند، تحت پوشش آموزش‌های اولیه پیرامون تفکیک و قرار دادن صحیح پسماندهای آلی فسادپذیر در مخازن قرار گرفته‌اند. همچنین، یک مربی به‌صورت روزانه در محل حضور داشته که ضمن بررسی فرایند کمپوست‌سازی، پاسخ‌گوی سؤال‌های افراد نیز هست. در این مراکز حداقل ۳ مخزن برای تکمیل فرایند تولید کمپوست ضروری است، مخزن اول برای ریختن پسماندهای آلی در نظر گرفته شده که محتویات این مخزن پس از گذشت ۴ هفته و پر شدن حجم مخزن، همان‌طور که در شکل ۲ـ ۶ قابل مشاهده است به مخزن دوم منتقل می‌شوند، در این مرحله دمای زیاد نشان‌دهندهٔ روند صحیح فرایند تجزیهٔ مواد است. در ادامه، به‌منظور همگن‌سازی مواد تجزیه‌شدهٔ جدید با موادی که پیش‌تر تجزیه شده‌اند و افزایش کارایی فرایند تولید کمپوست، مواد از مخزن دوم به مخزن سوم منتقل و پس از غربالگری، همان‌طور که در تصویر مشاهده می‌شود فرایند تولید کمپوست تکمیل می‌شود. همچنی،ن در تمام مراحل دما، رطوبت، میزان عامل حجیم‌کننده، سطح پر شدن مخازن و.. کنترل می‌شود. درخور یادآوری است که در این پروژه، ۲۲۱ مخزن در ۴۶ مرکز عمومی فقط در سال ۲۰۱۶ نصب و راه‌اندازی شد. همچنین، در این واحدها کمپوست تولیدشده در اختیار افراد مشارکت‌کننده قرار داده می‌شود که از آن برای توسعهٔ فضای سبز شهری و همچنین، در محوطهٔ محل زندگی خود استفاده کنند.

شکل ۲ـ ۶. فرایند تولید کمپوست. (a) قرار دادن پسماندهای آلی در مخزن اول، (b) انتقال مواد از مخزن اول به مخزن دوم برای ادامه فرایند کمپوست، (c) غربالگری کمپوست و (d) جزئیات فیزیکی کمپوست
منبع:.(Mato et al., 2019)

۲ـ ۱ـ ۳ـ ۵. کارخانهٔ کمپوست‌سازی کوچک‌مقیاس

در این پروژه برای مدیریت اصولی پسماندهای آلی که به هر دلیلی در واحدهای دیگر امکان بازیافت را نداشتند، تشکیلاتی با ظرفیت پذیرش ۱ـ ۳۰ هزار تن پسماند آلی تفکیک‌شدهٔ خالص در سال راه‌اندازی شده است. برای بهره‌برداری از این واحدها نیز تلاش شد تا در نزدیک‌ترین محل به مکان‌های تولید پسماند با حداقل نیاز به حمل

پسماند قرار گیرند. ضمن اینکه مقرر است پسماند در ساعت‌های اولیهٔ تولید و پیش از شروع به فرایند تجزیه و تولید شیرابه به این واحدها منتقل شود.

۲ـ۱ـ ۳ـ ۶. پیشرفت REVITALIZA

در مجموع، ۳۷ شهرداری به این پروژه پیوستند که ۶۰/۷ درصد از کل شهرداری‌ها و ۵۰/۴ درصد از کل جمعیت استان را تشکیل می‌دهد. مسئولان این پروژه به‌طور منظم در رسانه‌های محلی و منطقه‌ای حضور می‌یابند و در نشریات مختلف در مورد رویدادها و فعالیت‌های این پروژه و چگونگی پیشرفت آن گزارش می‌دهند. نشریات این امکان را فراهم می‌کنند که طرح نه‌تنها در سطوح محلی و منطقه‌ای، بلکه در سطوح ملی و بین‌المللی معرفی شده و الگویی برای سایر مناطق شود. در مجموع، طرح رویتالیزا همواره بر ایجاد واحدهای کوچک و غیرمتمرکز تولید کمپوست و در نزدیک‌ترین فاصله به مکان‌های تولید پسماند تأکید دارد. اولویت دادن به آموزش و افزایش آگاهی شهروندان نیز از دلایل اصلی موفقیت و توسعهٔ این طرح بود که سبب افزایش پذیرش شهروندان و استقبال شهروندان از طرح مورد نظر شد (Mato et al., 2019).

۲ـ۱ـ ۴. پروژهٔ به‌کارگیری مخازن کمپوستر خانگی بکاشی در کاخیکا (GCP)

کاخیکا یک سکونتگاه مسکونی در ساواناى کلمبیا است که با به‌کارگیری مخازن کمپوستر خانگی توانسته در مدیریت پسماند این منطقه بسیار موفق عمل کند. دو دلیل اصلی موفقیت این پروژه و سازگاری آن با منطقهٔ مورد نظر، طراحی مناسب مخازن کمپوستر با توجه به حجم پسماند تولیدی خانگی و دیگری به‌کارگیری روش بکاشی است.

شرکت خدمات بهداشتی (EPC) که وابسته به شهرداری است مسئولیت خدمات بهداشتی کاخیکا را به عهده دارد و تا سال ۲۰۱۴ توانسته ۱۰۰ درصد جمعیت این منطقه (بیش از ۵۰ هزار نفر تا سال ۲۰۱۴) را تحت پوشش قرار دهد. این شرکت با برنامهٔ مخازن سبز (GCP) توانسته راهکاری مبتکرانه برای تولید کمپوست خانگی ارائه دهد.

تلاش برای بازیافت پسماندهای آلی در کاخیکا از سال ۲۰۰۵ با یک پروژهٔ آزمایشی تولید کمپوست توسط شهرداری آغاز شد. شهرداری کاخیکا، شرکت (EPC) و برخی از ساکنان باانگیزه، یک کمپین کوچک تفکیک پسماند آلی را برای انجام یک پروژهٔ آزمایشی تولید کمپوست آغاز کردند. در این طرح آزمایشی شرکت‌کنندگان توانستند ۲ تن پسماند آلی فسادپذیر را جمع‌آوری و آن را به کمپوست تبدیل کنند. در نهایت، کمپوست تولیدشده میان افراد مشارکت‌کننده توزیع شد.

این طرح آزمایشی به شهرداری کاخیکا اجازه داد تا داده‌ها، تجربیات و توجیحات مناسبی را برای اجرای پروژه در مقیاس بزرگ‌تر تا رسیدن به وضعیت امروزی این منطقه را به‌دست آورد. براساس این تجربه، شهرداری کاخیکا به‌طور رسمی، قانون تفکیک پسماند از مبدأ را تصویب و اقدامات لازم برای آموزش و آگاه‌سازی شهروندان در این خصوص با تمرکز بر مدیریت پسماندهای آلی را از سال ۲۰۰۵ آغاز کرد. این برنامه ابتدا فقط بر برخی از مناطق منتخب تمرکز داشت، بین سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۸ با برنامه‌ریزی دقیق و مشارکت ذی‌نفعان (شهرداری کاخیکا، شهروندان، سازمان مدیریت پسماند منطقه، سازمان محیط زیست و شرکت EPC) توسعه یافت.

برای عملیاتی کردن این پروژه در مقیاس بزرگ، شهرداری کاخیکا شهروندان را براساس ویژگی‌های اجتماعی و

اقتصادی به ۶ گروه طبقه‌بندی و اقدام به توزیع مخازن ساخته‌شده برای تولید کمپوست کرد. در این پروژه برای طبقات ۳ تا ۶ این مخازن به‌صورت رایگان توزیع شد و به طبقات ۱ و ۲ و سایر مصرف‌کنندگان نیز فروخته شد. در سال‌های بعد، این برنامه گسترش یافت و مناطق بیشتری را پوشش داد. بین سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۴، تعداد مخازن کمپوستر توزیع‌شده ۱۴،۴۰۸ بود که از این تعداد فقط ۱۰۰۰ مورد جایگزین موارد پیشین شده بود و بقیه بین شهروندان و اماکن جدید توزیع شد و این پروژه دیگر محدود به خانوارها نبوده و بخش صنعت، مراکز دولتی، مؤسسه‌های آموزشی و... را نیز تحت پوشش داشت. از طرفی، بسته به نیاز، محفظه‌های کمپوستر در ۳ اندازهٔ ۱۰، ۲۰ و ۳۰ لیتری ساخته شد. دفعات جمع‌آوری پسماندها در کاخیکا هفته‌ای یک بار بود. به این‌ترتیب، مردم باید پسماندهای آلی را با ماده‌ای به نام بوکاشی مخلوط کنند (مخلوطی از میکروارگانیسم‌های مؤثر و سبوس گندم). بوکاشی هنگامی که با پسماندهای آلی مخلوط می‌شود، ضمن تجزیهٔ پسماند همچنین از انتشار بوهای زننده در محیط نیز جلوگیری می‌کند. به این‌منظور، شهرداری تقریباً هر ۲ ماه یک بسته ۱/۵کیلوگرمی بوکاشی را به‌صورت رایگان به همهٔ شرکت‌کنندگان تحویل می‌دهد.

شهرداری کاخیکا با حمایت و سرمایه‌گذاری مالی سبب شد که این پروژه به‌طور مداوم و طی زمان رشد کند، که منجر به بهبود خدمات، توسعهٔ پروژه و پوشش کامل مناطق شهری و روستایی شد. بودجهٔ ویژهٔ این پروژه برای دورهٔ ۲۰۱۶ـ ۲۰۱۹ سالیانه حدود ۳۶۴ هزار دلار بود که بخش عمده‌ای از آن را شهرداری از طریق فروش این فناوری به ۲ طبقهٔ اجتماعی تأمین و صرف موارد زیر کرد:

- مواد اولیه و فضای کاری برای تولید بوکاشی
- هزینهٔ مخازن سبزرنگ
- کمپین‌های افزایش آگاهی و تبلیغات برای برنامه
- آموزش و استخدام مربیان برای کمپین‌های آگاهی‌رسانی و ظرفیت‌سازی (Hettiarachchi et al., 2020).

در این پروژه توجه ویژه‌ای به آموزش دانش‌آموزان به چشم می‌خورد که کودکان را قادر سازد ا «پیام بازیافت پسماندهای آلی» را برای آموزش خانواده‌های خود به خانه ببرند. در این راستا، برخی پروژه‌های کمپوست‌سازی و کشاورزی در مدارس و توجه به اصل یادگیری از طریق عمل سبب شد که تفکیک پسماند در بین دانش‌آموزان محبوب و بااهمیت شود و آگاهی آن‌ها نسبت به مسائل زیست‌محیطی و مدیریت پایدار پسماند ارتقا یابد. اهمیت و توجه پروژه نسبت به تربیت و آموزش نسل بعدی در تعداد مدارس و مهدکودک‌هایی که تحت پوشش پروژه بوده‌اند، بسیار مشهود است.

در این پروژه کمپوست تولیدشده و جمع‌آوری‌شده، توسط EPS به یک شرکت کلمبیایی به نام IBICOL SAS تحویل داده می‌شود که این شرکت نیز در زمینهٔ کشاورزی و دامداری ارگانیک و پایدار با یک شرکت در ایالات متحده تحت عنوان Bio Systems-Midwest روابط تجاری دارد. بنابراین، EPS از این طریق توانسته است بخشی از تأمین مالی پروژه را انجام دهد.

شکل ۲ـ ۷. مزرعهٔ ارگانیک شرکت IBICOL SAS
منبع: (Hettiarachchi et al., 2020)

همچنین، کاخیکا از طریق مدیریت پسماند آلی فسادپذیر توانسته است به لحاظ اقتصادی در بسیاری از هزینه‌ها صرفه‌جویی کند، کاهش حجم پسماندی که به محل لندفیل منتقل می‌شود، به‌طور مستقیم سبب کاهش هزینه‌های شهرداری شده، اما در این فرایند هزینه‌های دیگری نیز به طور غیرمستقیم کاهش یافته است از جمله هزینه‌های حمل‌ونقل، سوخت، رانندگان، تعمیر و نگهداری خودرو، عوارض حمل‌ونقل، تعویض لاستیک و غیره.(Hettiarachchi et al., 2020)

۲ـ ۱ـ ۴ـ ۱. تهدیدهای پروژه

در حال حاضر، شهرداری کاخیکا سالانه حدود ۳۶۴ هزار دلار صرف تأمین هزینه‌های این فرایند کرده که این خود خطر بزرگی را از نظر حفظ ثبات مالی آن ایجاد می‌کند. به این معنا که هر گونه مسئلهٔ مالی می‌تواند ادامهٔ برنامه را به خطر بیندازد. از طرفی، حمایت شهرداری ممکن است به‌دلیل تغییر در اولویت‌های سیاسی دست‌خوش تغییر شود و این حمایت ثبات نداشته باشد. همچنین، شهردار منطقه هر ۴ سال یک بار تغییر می‌کند که در نتیجهٔ آن، کارمندان تغییر می‌کنند و اولویت‌های کاری جدیدی تعریف می‌شود. بنابراین، همیشه نگرانی وجود دارد که شهردار جدید این فرایند را حمایت نکرده و برنامه را متوقف و یا کمک‌های مالی را محدود کند.

پیشنهادهایی برای ثبات مالی این فرایند مطرح شده است از جمله دریافت هزینه از مردم برای جمع‌آوری پسماند در یک قبض جداگانه و یا تعریف این هزینه در قبوض آب یا برق مصرفی آن‌ها که از این طریق این فرایند بتواند به پایداری مالی برسد.

نگرانی دیگر در خصوص پایداری این فرایند، افزایش رشد سریع جمعیت در کاخیکا است که با افزایش تولید پسماند و نیاز به مربیان بیشتر برای آموزش شهروندان و کاهش مراجعهٔ حضوری خانه‌به‌خانه ممکن است بر این

پروژه تأثیر منفی داشته باشد. این سیستم در حال حاضر نیروی انسانی زیادی را دارد که حفظ آن با توجه به میزان رشد جمعیت این منطقه (از سال ۲۰۰۵ بیش از ۳۳ درصد رشد داشته است) چالش‌برانگیز خواهد بود. برای رفع این مشکل، ارائهٔ آموزش به شهروندان برای تحویل به‌موقع پسماندهای آلی خود به مراکزی که شهرداری تعیین می‌کند، بسیار مؤثر خواهد بود.

نگرانی دیگر وابستگی برنامهٔ [1] (GCP) به شرکت‌های خارجی برای فروش کمپوست است که در صورت عدم همکاری آن‌ها، این برنامه با مشکل مواجه خواهد شد (Hettiarachchi et al., 2020).

۲ـ ۱ـ ۴ـ ۲. قوت‌های پروژه

از مهم‌ترین قوت‌های پروژهٔ به‌کارگیری مخازن کمپوستر خانگی بکاشی در کاخیکا که سبب موفقیت آن شد، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- برای موفقیت برنامهٔ (GCP) از یک برنامه‌ریزی قوی و چندرشته‌ای استفاده شد. هماهنگی بین ذی‌نفعان مانند شهرداری، شرکت خدمات بهداشتی کاخیکا (EPC)، مدارس، دانشگاه‌ها، اماکن عمومی، سازمان‌های غیردولتی و مقامات محیط زیست منطقه‌ای برای جمع‌آوری دیدگاه‌ها و توصیه‌های مختلف اساسی بود که در نهایت، پایه‌های پروژه را تقویت کرد.
- تصمیم برای اجرای پروژهٔ پایلوت تولید کمپوست قابل تحسین بود، چرا که به کاخیکا کمک کرد تا قبل از راه‌اندازی پروژهٔ بزرگ‌مقیاس و طولانی‌مدت، تجربیات دست اول ارزشمندی به دست آورد.
- افزایش آگاهی عمومی در خصوص تفکیک پسماند از مبدأ و فرایند تولید کمپوست با استفاده از کانال‌های متعدد انجام شد. این امر با آموزش مردم و تأثیر مثبت بر رفتار آن‌ها برای مدیریت صحیح پسماند و جلب پذیرش عمومی به برنامه کمک زیادی کرد. تلاش‌هایی که برای آموزش نسل آینده از طریق مشارکت مدارس و دانشگاه‌ها در این برنامه انجام شد، بی‌تردید سرمایه‌گذاری ارزشمندی برای آینده بود.
- پروژهٔ کاخیکا نمونه‌ای از هماهنگی و مشارکت بخش خصوصی و دولتی [2] بود که سبب هم‌افزایی نتایج مثبت و تقویت پروژه شد.
- معمولاً انتقال فناوری از کشورهای توسعه‌یافته به کشورهای در حال توسعه بیشتر به‌دلیل پیچیدگی فناوری یا عدم ظرفیت‌سازی طبق برنامه پیش نمی‌رود و با شکست مواجه می‌شود. انطباق فناوری با نیازها و شرایط محلی، بخش کلیدی موفقیت پروژه‌های مدیریت پسماند کاخیکا و پایداری آن بود که مورد پذیرش عموم مردم قرار گرفت.
- به‌کارگیری مدیریت یکپارچه بر مبنای «تفکر سیستمی» [3] یا «تفکر نکسوس» در این برنامه توانست به جای توجه به یک بعد، شمار زیادی از مسائل زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی را هم‌زمان مورد توجه قرار دهد. در این پروژه، توزیع بوکاشی به‌عنوان یک سرویس درب منزل توسط پرسنل آموزش‌دیده انجام می‌شد. GCP از این به‌عنوان یک فرصت آموزشی حضوری برای پاسخ به هر سؤالی که شرکت‌کنندگان ممکن است در فرایند استفاده با آن مواجه شوند، استفاده می‌کند. ضمن اینکه با این مراجعه حضوری از عملکرد

1. Cajicá's Green Containers Program
2. private- public partnership (PPP)
3. " Nexus thinking "

صحیح دستگاه اطمینان حاصل می‌شود و مردم نیز به اهمیت پروژه آگاهی پیدا می‌کنند و به همکاری ترغیب می‌شوند.

- یکی از جنبه‌های منحصربه‌فرد موفقیت کاخیکا، تعهد شهرداری نسبت به افزایش آگاهی مردم در خصوص تفکیک پسماند آلی و پذیرش این فناوری به‌صورت عمومی بود. شهرداری برای رسیدن به این هدف ابزارها و روش‌های مختلفی را به‌کار گرفت مانند طراحی بازی‌ها، مسابقات، بروشورها، فیلم‌ها و کارگاه‌های آموزشی، که محتوای همهٔ آن‌ها یک پیام واحد را در برداشت و آن «اهمیت تفکیک پسماند از مبدأ بود». شکل ۲ـ ۸ یک نمونه از بروشوری است که شهرداری برای آموزش دستورالعمل استفاده از کمپوستر خانگی در بین شهروندان توزیع کرد. همچنین شکل ۲ـ ۹ نمونه‌ای از مخازن استفاده‌شده برای پروژهٔ به‌کارگیری کمپوستر خانگی بکاشی در کاخیکا را نشان می‌دهد (Hettiarachchi et al., 2018).

شکل ۲ـ ۸. بروشور آموزشی طراحی‌شده توسط شهرداری کاخیکا در خصوص شیوهٔ استفاده از مخازن کمپوستر خانگی
منبع: (Hettiarachchi et al., 2020)

شکل ۲ـ ۹. نمونه‌ای از مخازن استفاده‌شده برای پروژهٔ به‌کارگیری کمپوستر خانگی بکاشی در کاخیکا

۲ـ ۱ـ ۵. تجربهٔ مدیریت پسماندهای جامد شهری (MSW) در کشور سریلانکا با هدف تولید و به‌کارگیری کمپوست در بخش کشاورزی

شواهد تاریخی نشان می‌دهد کشاورزان سریلانکا به‌طور سنتی از نهاده‌های ارگانیک مانند کودهای حیوانی، بقایای محصول و کودهای سبز و تکنیک‌های کشاورزی بیودینامیکی، تناوب محصول، تغییر الگوی کشت و تنوع محصول به‌عنوان اقداماتی برای مدیریت حاصل‌خیزی خاک استفاده می‌کردند. استعمار توسط پرتغالی‌ها و هلندی‌ها و به‌دنبال آن، انگلیسی‌ها از اواسط قرن شانزدهم تا اواسط قرن نوزدهم به‌تدریج الگوی کاربری زمین را در این کشور تغییر داد و بیشتر شیوهٔ سنتی و سیستم‌های کشاورزی معیشتی را به مزارع تجاری مبتنی بر صادرات تغییر داد (Mapa, 2003).

پیشرفت در علم پویایی مواد مغذی خاک و نقش متقابل خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک در عملکرد گیاهان، سبب تغییر در الگوی مدیریت مواد مغذی در سراسر جهان در دههٔ ۱۹۸۰ از تزریق نهاده‌های خارجی به سمت حاصل‌خیزی یکپارچهٔ خاک و در نتیجه، تولید کمپوست شد. در همین ارتباط تکنیک‌ها، میزان استفاده از کمپوست و مزایای استفاده از کمپوست به‌طور گسترده‌ای مورد بررسی قرار گرفت. بنابراین، در بسیاری از نقاط جهان، از جمله سریلانکا، در اواخر دههٔ ۱۹۹۰، میزان استفاده از کمپوست به‌عنوان کود در تولید برخی از محصولات کشاورزی افزایش یافت.

با این‌حال، تقاضا برای استفاده از کودهای آلی به دلایلی از جمله عدم دسترسی، انگیزهٔ ضعیف برای تولید کمپوست در مزرعه و مسائل مربوط به زمان تولید و مواد و منابع مورد نیاز برای تولید کمپوست، در بین کشاورزان آن‌طور که انتظار می‌رفت، محقق نشد. بنابراین، کارخانه‌های تولیدکنندهٔ کمپوست در مقیاس بزرگ در این کشور بسیار محدود بود و بیشتر تولیدکنندگان در مقیاس کوچک فعالیت داشتند، چرا که از کمپوست در این کشور در مقیاس تجاری در بخش کشاورزی استفاده نمی‌شد. بنابراین، در این کشور برنامه‌هایی تحت حمایت دولت، برای رواج تولید کمپوست

در مقیاس‌های مختلف و ترویج کشاورزی ارگانیک و مدیریت یکپارچهٔ مواد مغذی گیاهی آغاز شد (Samarasinha et al., 2015).

برنامه‌های دولتی مانند «پیلیسارو»[1] در سال ۲۰۰۸ توسط وزارت محیط زیست و انرژی‌های تجدیدپذیر سریلانکا با هدف بازیافت پسماندهای آلی تجزیه‌پذیر در مقیاس خانگی و شهری اجرا شد (Basnayake and Visvanathan, 2014).

برنامهٔ پیلیسارو همچنین تفکیک پسماندها را به دسته‌های مختلف تجزیه‌پذیر، کاغذ، پلاستیک/پلی اتیلن، شیشه و فلز ترویج کرد. از طریق این برنامه، شهروندان ملزم به تفکیک پسماند و تولید کمپوست از پسماند فسادپذیر شدند. به این‌منظور، در آغاز پروژه تقریباً ۱۸ هزار سطل کمپوست بین مردم در مناطق شهری و حومهٔ شهر با هدف کاهش بارگیری توزیع شد. در ادامه، سازمان‌های غیردولتی نیز سطل‌های کمپوست را بین خانوارها توزیع کردند و تا سال ۲۰۱۱ نزدیک به ۷۰ هزار سطل توزیع یا به شهروندان فروخته شد. ضمن ترویج تولید کمپوست در سطح خانگی، برنامهٔ پیلیسارو بازیافت پسماندهای جامد شهری و کمپوست‌سازی در مقیاس تجاری را نیز با همکاری شرکت‌های خصوصی در دستور کار خود قرار داد. بر این اساس، ۱۰۰ ایستگاه تولید کمپوست نیز تا سال ۲۰۱۱ ایجاد شد.

در ادامهٔ این برنامه توسط برنامهٔ «Api wawamu rata nagamu» (یعنی بیایید کشور را توسعه دهیم) توسط وزارت کشاورزی سریلانکا به‌عنوان بخشی از سیاست توسعهٔ سریلانکا از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۵ ارتقا پیدا کرد. این برنامهٔ کشاورزی و باغبانی خانگی[2] را با استفاده از مفاهیم کشاورزی ارگانیک و مدیریت یکپارچهٔ مواد مغذی گیاه با استفاده از کمپوست را در بین مردم ترویج داد. با این‌حال، هدف کلی کاهش واردات کود به کشور به دلایل متعددی محقق نشد. همچنین، در این پروژه ساختار بازاریابی مناسبی برای کمپوست تولیدی تعریف نشده بود. بنابراین، کمپوست‌سازی به جای آنکه فعالیتی درآمدزا باشد، به یک فرایند هزینه‌بر تبدیل شد (Samarasinha et al., 2015).

علاوه بر این، عدم تفکیک اصولی پسماند، سبب نیاز به نیروی کار مضاعف برای تولید کمپوست و همچنین، کاهش کیفیت کمپوست شد. همچنین، به‌دلایلی از جمله انتشار بوی بد حاصل از تجزیهٔ پسماند، مخلوط شیرابه‌ای که هنگام تولید کمپوست به آب‌های سطحی و زیرزمینی وارد می‌شد و افزایش تراکم حیوانات وحشی (به‌عنوان مثال، سگ‌های ولگرد، کلاغ، مگس و غیره)، واحدهای تولید کمپوست مورد استقبال مردم قرار نگرفت. در برخی مناطق و حتی در برخی از مناطق پرجمعیت، اعتراض‌ها علیه واحدهای تولید کمپوست شکل گرفت. در نتیجه، مردم در بسیاری از موارد انگیزه‌ای برای توسعه و تولید کمپوست به‌عنوان یک کسب‌وکار نداشتند و از کمپوست تولیدشده به‌طور مؤثر استفاده نشد (Premachandra 2006؛ Samarasinha et al., 2015).

بنابراین، از سال ۲۰۱۵ دولت سیاست‌هایی را در حمایت از مصرف کودهای آلی و حذف تدریجی استفاده از کودهای شیمیایی و مواد شیمیایی زراعی در دستور کار قرار داد. اگرچه این امر منجر به کاهش چشمگیر واردات و استفاده از کودهای شیمیایی شد، اما هدف ترویج و استفادهٔ گسترده از کمپوست برآورده نشد. ولی به‌طور کلی از سال ۲۰۱۷ میلادی انگیزه‌ای قوی در زمینهٔ تفکیک پسماندها قبل از دفع در این کشور شکل گرفته و در بسیاری از مناطق نیز موفقیت‌آمیز بوده است. همچنین، تفکیک پسماندها به کاهش نیاز به نیروی کار و بهبود کارایی آماده‌سازی

1. 'Pilisaru'
2. Home gardening

کمپوست کمک کرده است (Samarasinha et al., 2015).

در ادامه، با افزایش دسترسی به کمپوست تولیدشده توسط واحدهای مختلف و همچنین، در مقیاس‌های مختلف تولیدی در بازار، نیاز به کنترل کیفیت برجسته شد. استانداردهای کمپوست تولیدشده از MSW و پسماندهای کشاورزی توسط مؤسسهٔ استاندارد سریلانکا معرفی شده و استانداردهای بسته‌بندی و علامت‌گذاری نیز ایجاد شد.

با توجه به اینکه ترکیب پسماند جامد شهری بسیار متنوع است، نیاز زیادی به توجه به مجموعه استانداردها برای اطمینان از کیفیت و ایمنی کمپوست تولیدی وجود دارد. در جدول ۲ـ ۱ به مجموعه استانداردهایی که توسط مؤسسهٔ استاندارد سریلانکا ارائه شده است، می‌پردازیم (Hettiarachchi et al., 2020).

جدول ۲ـ ۱. استاندارد کمپوست تولیدشده از MSW و پسماندهای کشاورزی

پارامتر	مقادیر آستانه
الزامات فیزیکی	
رطوبت (٪)	۲۵> وزن خشک
رنگ	قهوه ای/خاکستری تا سیاه تیره
حفظ کیفیت	باید بتواند در شرایط بسته‌بندی تجویزشده در دمای اتاق به مدت ۱۲ ماه کیفیتش را حفظ کند
بو	بوی نامطبوعی نخواهد داشت
محتوای شن و ماسه (٪)	۱۰> وزن خشک
ذرات بزرگ‌تر از ۴ میلی‌متر (٪)	۲> وزن خشک
الزامات شیمیایی	
pH	۸/۵ـ ۶/۵
کل محتویات مواد مغذی (٪)	
کربن آلی	۲۰<
نیتروژن	۱<
فسفر به عنوان P_2O_5	۰/۵<
پتاسیم به شکل K_2O	۱<
منیزیم به شکل MgO	۰/۵<
کلسیم به شکل CaO	۰/۷<
نسبت C به N	۲۵ـ ۱۰
فلزات سنگین (ppm)	
Cd	۱۰<
Cr	۱۰۰۰<
Cu	۴۰۰<

Pb	<۲۵۰
Hg	<۰۲
Ni	<۱۰۰
Zn	<۱۰۰۰
الزامات بیولوژیکی	
بذر علف‌های هرز	<۱۶ بذر در هر متر مربع
الزامات میکروبیولوژیکی	
کلی‌فرم[1] در هر گرم	مجاز
سالمونلا[2] در هر ۲۵ گرم	مجاز

منبع: مؤسسهٔ استاندارد سریلانکا به نقل از (Hettiarachchi et al., 2020).

در ادامه، دو مرکز تولید کمپوست موفق در کشور سریلانکا معرفی می‌شود. این مراکز تولید کمپوست از پسماند جامد شهری را به عهده دارند.

۲ـ ۱ـ ۵ـ ۱. مرکز تولید کمپوست بالانگودا[3]

این مرکز با حمایت‌های مالی بانک جهانی، دولت محلی و سازمان محیط زیست تأسیس شد. تا کنون کمپوست تولیدشده در این مرکز با موفقیت به بازار عرضه شده است، اگرچه در این زمینه همواره نیاز به بهبود و ارتقای کیفیت است و مهم‌ترین چالش این مرکز این است که پسماند مخلوط را برای تولید کمپوست دریافت می‌کند.

برخی از ویژگی‌های کلیدی که باعث ایجاد موفقیت در تأسیسات کمپوست بالانگودا شد در ادامه ارائه می‌شود:

- استفاده از پسماندهای آلی فسادپذیری که در مراحل اولیهٔ تجزیه هستند. در این مرکز جمع‌آوری پسماند به‌طور روزانه و در ساعت‌های اولیه صبح انجام می‌شد.
- مشارکت ذی‌نفعان کلیدی در فرایند تولید کمپوست. شهرداری، مدارس هر منطقه را در این پروژه درگیر کرد و برنامه‌های ویژه‌ای را با مشارکت ذی‌نفعان کلیدی هر منطقه برای تفکیک پسماند و کاهش میزان پسماند تولیدی و بازیافت هر چه بیشتر پسماند انجام داد. در نتیجه، میزان پسماند تولیدشده به‌میزان قابل توجهی کاهش یافته و مردم طبق دستورالعمل به فرایند تفکیک پسماند و تولید کمپوست کمک می‌کردند که سبب کاهش نیاز به نیروی کار شد.
- اخذ مالیات از اشخاصی که پسماندهای مخلوط تولید می‌کردند.
- استفاده از نیروی کار ماهر و آموزش‌دیده در واحدهای تولید کمپوست. کارگران ملزم به داشتن گواهینامه از مؤسسهٔ ملی آموزش حرفه‌ای بودند. این امر باعث به رسمیت شناختن این حرفه توسط اجتماع و حفظ شأن و منزلت اجتماعی کارگران شد.
- افزودن بیوچار[4] برای بهبود کیفیت کمپوست تولیدی.

1. Faecal Coliforms
2. Salmonella
3. Balangoda

۴. بیوچار، به انگلیسی :(Biochar) زغال تهیه شده از زیست‌توده‌های گیاهی و ضایعات کشاورزی است که به عنوان کود استفاده می‌شود.

- آزمایش منظم کیفیت کمپوست.

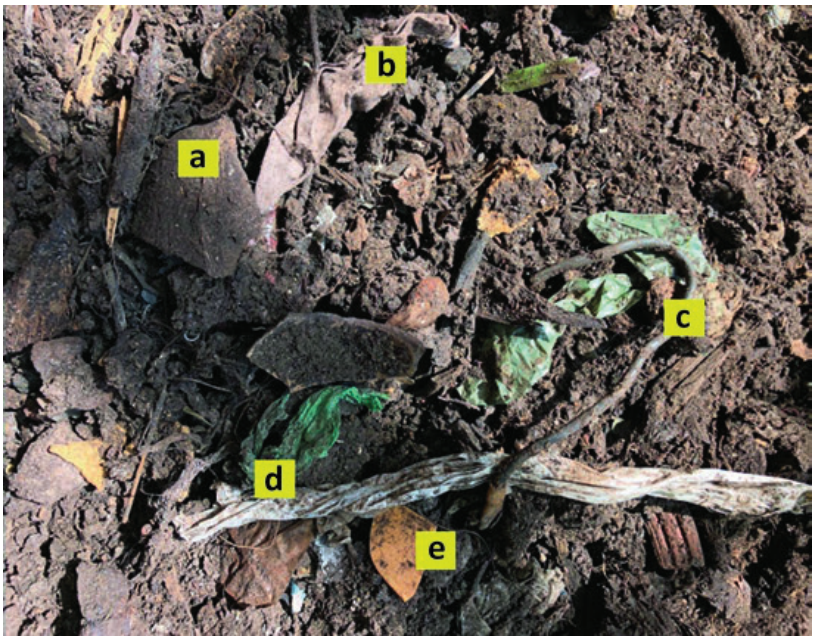
- مدیریت کیفیت و کمیت شیرابهٔ آزادشده به محیط. مرکز از شیرابهٔ تصفیه‌شده برای سیستم استفاده می‌کند و بقیهٔ شیرابه‌های تولیدشده قبل از رهاسازی تصفیه می‌شوند.

- انجام اقدامات برای اطمینان از ایمنی کارگران. این مرکز تجهیزات ایمنی را برای پوشیدن هنگام تولید کمپوست فراهم کرده و به‌طور منظم وضعیت بهداشتی و سلامت کارگران را بررسی می‌کنند.(Hettiarachchi et al., 2020)

۲ـ ۱ـ ۵ـ ۲. مرکز کمپوست ولایگاما[1]

این مرکز با بودجهٔ دولت و چند سازمان غیردولتی تأسیس شد. این مرکز نیز از استراتژی‌های مرکز بالانگودا استفاده می‌کند. هر دو مرکز کمپوست‌سازی در بالانگودا و ولایگاما مورد استقبال مردم آن مناطق قرار گرفت. این مراکز درآمد ایجاد کردند که به بهبود امکانات زیرساختی در مناطق مربوطه کمک کرد و تأثیر مثبتی بر رفاه اجتماعی و اقتصادی مردم منطقه داشت (Sinnathamby et al., 2016 ؛Samarasinha et al., 2015).

مهم‌ترین چالش این مراکز تولید کمپوست، عدم تفکیک پسماند و دریافت پسماندهای مخلوط شهری است. علاوه بر پسماندهای خطرناک مانند باتری، لوازم الکترونیکی کوچک و پسماندهای بیمارستانی که می‌تواند آلودگی‌های مخربی را به‌همراه داشته باشد، مواد تجزیه‌ناپذیر مانند پلاستیک، پارچه و پلی‌اتیلن نیز به‌مقدار زیادی در پسماندهای جامد شهری وجود دارند (شکل ۲ـ ۱۰). که این بخش تجزیه‌ناپذیر فضای زیادی را در این واحدهای تولید کمپوست اشغال می‌کند (Arachchi, 2016 ؛ Hamer, 2003).



شکل ۲ـ ۱۰. نمونه‌ای از کمپوست حاصل از پسماند جامد شهری قبل از الک کردن در مرکز کمپوست ولایگاما. این کمپوست شامل مواد تجزیه‌ناپذیر a. بخش‌هایی از میوه‌ها که تجزیهٔ آن‌ها سخت است. b. پارچه. c. سیم. d. پلاستیک. e. چرم و غیره است که بعد از الک کردن جدا می‌شوند
منبع: (Hettiarachchi et al., 2020)

1. Weligama

۲ـ ۲. بررسی تجارب کشورهای مختلف در زمینهٔ تولید کمپوست با فناوری کمپوستر

۲ـ ۲ـ ۱. مقدمه

فناوری یا تکنولوژی، مجموعه‌ای از تکنیک‌ها، مهارت‌ها، روش‌ها و فرایندهایی است که در تولید کالاها یا خدمات و یا تحقق اهداف مانند تحقیقات علمی استفاده می‌شود. فناوری می‌تواند دانش تکنیک‌ها، فرایندها و مواردی از این دست بوده، یا می‌تواند در ماشین‌ها تعبیه شود تا بدون اطلاع دقیق از عملکرد آن‌ها، امکان کار را فراهم آورد. در این بخش منظور از فناوری کمپوستر، به‌کارگیری هر روشی است که به‌موجب آن بتوان پسماند آلی فسادپذیر را در سریع‌ترین زمان ممکن در مبدأ تولید، پردازش و به کمپوست تبدیل کرد. در این بخش با وجود محدودیت مطالعات در این حوزه، تلاش شد تا تجارب کشورهای دیگر در خصوص تولید کمپوست از پسماندهای آلی از واحدهای کوچک تا واحدهای بزرگ تجاری بررسی شود.

۲ـ ۲ـ ۲. سابقهٔ اجرایی فناوری کمپوستر در کشور فیلیپین

اقتصاد کشور فیلیپین مبتنی بر کشاورزی است. بیشتر جمعیت این کشور در مناطق روستایی زندگی کرده و ۵۰ درصد نیروی کار این کشور در بخش کشاورزی مشغول به کار هستند. تولید کودهای آلی در این کشور از سال ۱۹۷۴ آغاز شد، ولی در سال ۱۹۷۸ کل فروش کودهای آلی در این کشور کمتر از یک درصد بوده و در سال ۱۹۹۲ این میزان فروش به ۱/۳۴ درصد افزایش یافت. از سال ۱۹۹۳ در این کشور ۲۶ شرکت مجاز به تولیدکنندهٔ کودهای آلی بودند، ولی این آمار از سال ۱۹۹۶ با به‌کارگیری فناوری کمپوستر در این کشور افزایش یافته است. در فیلیپین زمین‌های کشاورزی به‌دلیل کشت برنج حاصل‌خیزی خود را از دست داده و خاک این زمین‌ها تخریب شده و کمبود روی و گوگرد سبب شده که در این کشور فناوری کمپوستر به‌منظور تولید کود آلی با کیفیت برای استفاده در بخش کشاورزی به‌کار گرفته شود.

فناوری کمپوستر و چگونگی استفاده از آن از طریق یک برنامهٔ ملی به کشاورزان منتقل شده است که ضمن تولید کودهای آلی با کیفیت خوب و قیمت مناسب، سبب افزایش درآمد حاصل از مزرعه شده و با افزایش تولید برنج سبب توسعهٔ کشاورزی در این کشور شده است. به طوری که طی سال‌های ۱۹۹۶ تا ۱۹۹۲ نسبت هزینه‌ـ سودمندی محاسبه‌شده برای این فناوری ۷/۷ بوده و این مهم سرمایه‌گذاری ۲/۳۶ میلیون دلاری دولت در این فناوری سود ۱۸/۲ میلیون دلار آمریکا را به‌همراه داشته است. علاوه بر این، چون واحدهای تولیدکنندهٔ کمپوست در مناطق روستایی مستقر شده بود، سبب ایجاد اشتغال در مناطقی شد که پیش از این از مشکل بیکاری رنج می‌بردند. از طرفی، به‌دلیل پردازش پسماندهای کشاورزی سبب کاهش آلودگی زیست‌محیطی در این مناطق شد. بنابراین، فناوری کمپوستر در بخش کشاورزی این کشور به‌خوبی نتیجه داده و مطالعات خاک در این کشور نشان داده به‌دلیل مصرف زیاد کود ازت در گذشته که سبب عدم تعادل مواد غذایی مغذی در خاک شده، استفاده از کمپوست تولیدی حاصل از این فناوری توانسته تعادل مواد مغذی را به حالت عادی در خاک برگرداند (Hettiarachchi et al., 2020).

۲ـ ۲ـ ۳. سابقهٔ اجرایی فناوری کمپوستر در شهر جیانگ‌سو[1] چین

در دهه‌های اخیر به‌دلیل رونق صنعت دام در چین واحدهای دامی بزرگی با بیش از ۱۰ هزار رأس خوک و یا ۵ هزار رأس گاو ایجاد شده‌اند. در نتیجه، مقدار زیادی فضولات دامی تولید می‌شود که در صورت عدم پردازش، یک آلاینده با حجم بسیار زیاد بوده و منجر به بروز مسائل زیست‌محیطی خواهد شد. از طرفی، این مادهٔ تولیدی می‌تواند به عنوان یک منبع کامل برای تهیهٔ کودهای آلی مطرح باشد. در همین میان، در کشور چین نیاز صنعت تولید کمپوست طی دهه‌های گذشته به‌دلیل رونق صنعت دام به‌سرعت در حال رشد بوده است. به‌عنوان مثال، در شهر جیانگ‌سو چین با بیش از ۱۰۰ واحد تولید کمپوست با به‌کارگیری فناوری کمپوست‌سازی سریع، سالانه بیش از دو میلیون تن کود آلی تجاری از فضولات حیوانی و سایر پسماندهای کشاورزی تولید می‌شود. از طرفی، به‌منظور تشویق کشاورزان به جایگزینی کودهای آلی با کودهای شیمیایی، دولت چین قیمت کودهای آلی را کاهش می‌دهد و از سوی دیگر، به واحدهای تولید کمپوست یارانه پرداخت می‌کند. از این‌رو، سیاست‌های دولت چین نقش مهمی در تقویت تولید کودهای آلی توسط کارخانه‌های کمپوست‌سازی و استفاده از کودهای آلی توسط کشاورزان داشته است (Guanghui et al., 2016).

۲ـ ۲ـ ۴. سابقهٔ اجرایی فناوری کمپوستر در کشور اندونزی

کشور اندونزی در پروژهٔ توسعهٔ خط لولهٔ گاز به‌منظور مدیریت یکپارچل پسماندهای پلاستیک، فلز، چوب و همچنین، پنج تن پسماند غذایی تولیدشده در روز در یک کارخانهٔ تولید گاز مایع در Tanguhh با شرکت‌های Tidy Planet و UNTHA UK برای تولید کمپوست از باقی‌ماندهٔ مواد غذایی با به‌کارگیری فناوری کمپوستر همکاری کرده است. این پروژه نه‌تنها به مدیریت یکپارچهٔ پسماند کمک کرد و مقادیر زیادی از مواد زائد غذایی را به کمپوست تبدیل کرده، بلکه برای افراد محلی نیز سبب کارآفرینی و ایجاد اشتغال شده است.

1. Jiangsu

شکل ۲ـ ۱۱. دستگاه کمپوستر استفاده‌شده در پروژهٔ توسعهٔ خط لولهٔ گاز کشور اندونزی

۲ـ ۲ـ ۵. نتایج بررسی پنج کارخانهٔ تولید کمپوست در آسیا

تجزیه‌وتحلیل هزینه‌ـ فایده[1] (CBA)، با استفاده از داده‌های جمع‌آوری‌شده از پنج کارخانهٔ کمپوست در آسیا، از جمله سورابایا، بالی و بیکاسی در اندونزی، پکن در چین و ماتاله در سریلانکا انجام شد. نتایج نشان داد کارخانه‌های کمپوست مقیاس متوسط در مقایسه با کارخانه‌های کمپوست‌سازی بزرگ‌مقیاس و کوچک‌مقیاس قابلیت اقتصادی مطلوب‌تری دارند، چرا که این کارخانه‌ها در مقایسه با کارخانه‌های بزرگ‌مقیاس، کنترل بیشتری بر ضایعات و پسماند ورودی و همچنین، کیفیت کمپوست تولیدشده دارند و همین‌طور در مقایسه با کارخانه‌های کوچک‌مقیاس مطلوبیت دارند، به این علت که فرصت‌های درآمدزایی بیشتری دارند و می‌توانند از امتیازهایی همچون اعتبار کربن[2] برخوردار شوند. اعتبار کربن بخشی از برنامهٔ به‌اصطلاح «محدودیت و تجارت»[3] است که به شرکت‌های تولیدکنندهٔ گازهای گلخانه‌ای اعتباراتی تعلق می‌گیرد که به آن‌ها اجازه دهد تا حد معینی به فعالیت خود ادامه دهند. این محدودیت به‌صورت دوره‌ای کاهش می‌یابد. در همین حال، این شرکت ممکن است اعتبارات غیرضروری را به شرکت دیگری که به آن‌ها نیاز دارد، بفروشد. بنابراین، شرکت‌های خصوصی انگیزهٔ مضاعفی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای دارند، چرا که در صورت فراتر رفتن از سقف تولید کربن، جریمه خواهند شد. دوم، آن‌ها می‌توانند با صرفه‌جویی و فروش مجدد برخی از اعتبارات انتشار گازهای گلخانه‌ای، درآمد کسب کنند (Pandyaswargo and Premakumara,

1. Cost–benefit analysis (CBA)
2. Carbon credit

اعتبار کربن واژه‌ای عمومی در صنعت است که نشان‌دهندهٔ هر نوع مجوز یا گواهی قابل معامله برای خروج یک تن دی‌اکسید کربن یا هر نوع گاز گلخانه‌ای دیگر است، که حجمی معادل یک تن دی‌اکسید کربن را داشته باشد.

3. Cap and trade

۲۰۱۴). بنابراین، تولیدکنندگان کمپوست در مقیاس کوچک در چارچوب پیمان‌نامهٔ تغییر اقلیم سازمان ملل[1] (UNFCCC) واجد شرایط دریافت اعتبار کربن نیستند، بنابراین برای راه‌اندازی و تداوم عملکرد، فقط به حمایت دولت و شهرداری وابسته هستند (Yenneti and Premakumara 2011; Zurbruegg et al. 2012).

۲ـ ۲ـ ۶. سابقهٔ اجرایی فناوری کمپوستر در پایگاه نظامی فورت هود[2] آمریکا

فورت هود بزرگ‌ترین پایگاه نظامی ایالات متحدهٔ آمریکا در جهان است. این پایگاه در ۹۷ کیلومتری شهر آستین، مرکز ایالت تگزاس واقع شده و میزبان بیش از ۵۰ هزار کادر و عضو نیروهای نظامی ایالات متحدهٔ آمریکا است.

ارتش آمریکا در این پایگاه از دستگاه کمپوستر (ORCA)[3] برای امحای پسماندهای تهماندهٔ غذایی دو سالن رستوران خود استفاده کرده است. شایان یادآوری است هر یک از این سالن‌های رستوران طی شبانه‌روز ۱۵۰۰ وعده غذایی را سرو می‌کنند.

شکل ۲ـ ۱۲. رونمایی از دستگاه کمپوستر در پایگاه نظامی فورت هود آمریکا

نکتهٔ جالب در این مرکز این است که این دستگاه علاوه بر تولید سریع کمپوست محلولی خاکستری و غنی از مواد غذایی را تولید می‌کند که می‌توان از آن یا به عنوان کود استفاده کرده و یا آن را بدون مشکلی در شبکهٔ فاضلاب شهری تخلیه کرد.

این دستگاه از یک موتور با توان ۰/۵ اسب بخار (۳۷۳ وات) بهره برده و میزان برق مصرفی آن برای دفع ۵۴۴ کیلوگرم پسماند طی مدت ۲۴ تا ۴۸ ساعت ۰/۷ کیلووات ساعت است.

1. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)
2. Fort Hood
3. Organic Refuse Conversion Alternative containers

شکل ۲ــ ۱۳. دستگاه کمپوستر استفاده‌شده در پایگاه نظامی فورت هود آمریکا

دفع سریع پسماندها در محل آشپزخانه باعث شده تا هزینه‌های پایگاه فورت هود در خصوص موضوع انتقال پسماند تا حد زیادی کاهش یافته و این پایگاه را در دستیابی به هدف «پسماند صفر» یاری خواهد رساند.

شکل ۲ــ ۱۴. استفاده از دستگاه کمپوستر در پایگاه نظامی فورت هود آمریکا

۲ـ ۲ـ ۷. سابقهٔ اجرایی فناوری کمپوستر در پروژهٔ پسماند صفر دانشگاه جرج واشنگتن[1]

پروژهٔ پسماند صفر دانشگاه جرج واشنگتن به سرپرستی کریس فرگوسن به‌منظور دستیابی به هدف بلندمدت «دانشگاه پایدار» در سال ۲۰۱۳ اجرا شد. در این پروژه فناوری کمپوستر به‌منظور تولید کمپوست از پسماند مواد غذایی آشپزخانهٔ دانشگاه به‌کار گرفته شد.

این فناوری توسط تیم پروژه در یک مهمانی پسماند صفر که در آن همهٔ غذاها و اقلام قابلیت تبدیل به کمپوست داشتند به دانشجویان معرفی شد. همچنین، برای تشویق دانشجویان به همکاری در این پروژه، مشوق‌هایی از جمله اقامت رایگان در اقامتگاه‌های دانشگاه در ازای مشارکت داوطلبانه تعریف شد.

پنج ماه بعد، تیم پروژه موفق شد ماهانه چهار تن پسماند را به کمپوست تبدیل و از دفن آن‌ها در محل‌های لندفیل جلوگیری کند. همچنین، این پروژه با تبدیل پسماند به کمپوست پایدار، کاهش هزینه‌های مرتبط با مدیریت پسماند را برای دانشگاه به‌همراه داشته است. هم‌اکنون این پروژه در بخش‌های دیگر دانشگاه نیز گسترش یافته و مدیریت و بازیافت پسماندهای خشک را نیز عهده‌دار است.

شکل ۲ـ ۱۵. سرپرستان تیم پروژهٔ پسماند صفر دانشگاه جرج واشنگتن

۲ـ ۲ـ ۸. سابقهٔ اجرایی فناوری کمپوستر در شهر کَلکَتّه[2] هند

کلکته پایتخت ایالت بنگال غربی در کشور هند است. طبق گزارش انجمن محیط زیست جنوب آسیا، کلکته روزانه ۴ هزار تن پسماند تولید می‌کند که ۳۷ درصد آن قابلیت تبدیل شدن به کمپوست را دارد (Dutta, 2018). مشکل عمده‌ای که شهرداری کلکته برای دفع پسماندها با آن مواجه است، در دسترس نبودن زمین است. فقط لندفیل این

1. George Washington University Zero Waste Project
2. Kolkata

شهر در منطقهٔ «داپا»[1] است که ظرفیت آن طی ۳۰ سال گذشته بیش از حد اشباع شده است. داپا به‌تنهایی ۷۵۰۰ متر مکعب گاز گلخانه‌ای در ساعت تولید می‌کند (Hettiarachchi et al., 2020).

با در نظر گرفتن مشکل عظیم مدیریت پسماند در این شهر، بسیاری از مجتمع‌های مسکونی نصب ماشین‌آلات تولید کمپوست را در محل خود برای پردازش پسماندهای خانگی آغاز کرده‌اند. در همین ارتباط، شهرداری کلکته نیز تأسیسات کمپوست را در مناطق تولیگانگ[2]، مادیامگرام[3] و راجارهات[4] نصب کرده است. این مناطق از جمله پرجمعیت‌ترین مناطق در شهر کلکته بوده و همچنین، با سرعت زیادی در حال توسعه هستند. بیش از ۱۱۰۰ آپارتمان در جنوب شهر کلکته نیز به این جنبش ملحق شده و تصمیم گرفته‌اند تا به‌زودی این مکانیسم را در مجتمع‌های مسکونی خود پیاده کنند (Desai, 2018). تلاش‌های صورت‌گرفته نشان می‌دهد شهر کلکته به‌تدریج در حال گام برداشتن به‌سمت شهری پاک است، اما در عین حال، برای غلبه بر مشکلات فزایندهٔ این شهر باید با سرعت بیشتری بر معضلات مربوط به مدیریت پسماندها غلبه کند.

شکل ۲ـ ۱۶. نمونه‌ای از دستگاه‌های کمپوستر استفاده‌شده در شهر کلکته ـ هند

۲ـ ۲ـ ۹. سابقهٔ اجرایی فناوری کمپوستر در شهر بنگلور[5] هند

بنگلور مرکز استان کارناتاکا و شهری در کشور هند است که با وسعت ۷۴۱ کیلومتر مربع و جمعیتی بیش از ۶ میلیون و ۲۰۰ هزار نفر هفدهمین شهر پرجمعیت دنیا به حساب می‌آید. در سال‌های اخیر شهرنشینی و رشد سریع جمعیت معضلات بسیاری برای این شهر به همراه داشته که از جمله آن مدیریت پسماند بوده، به گونه‌ای که این امر در سپتامبر ۲۰۱۲ منجر به تعطیلی ۶ محل از ۷ محل دفن پسماند در این شهر شد. دلیل اصلی این مسئله، نبود زیرساخت‌های لازم برای پردازش پسماند در این شهر بود. در دسترس نبودن محل دفن، سبب متوقف شدن جمع‌آوری پسماند، انباشته شدن پسماند در سطح شهر و مسائل مرتبط با آن شد. برای حل این معضل، با مداخلهٔ دیوان عالی کارناتاکا بلافاصله چند مرکز پردازش پسماند جامد شهری به‌صورت غیر متمرکز با کمک یک کمیتهٔ متخصص راه‌اندازی شد.

1. “Dhapa”
2. Tollygunge
3. Madyamgram
4. Rajarhat
5. Bangalore

در ادامه نیز قوانین جدیدی تصویب شد از جمله در سال ۲۰۱۶ تفکیک پسماند از مبدأ در این شهر الزامی شد، همچنین ۶ مرکز پردازش پسماند آلی با به‌کارگیری فناوری کمپوستر در این شهر نیز راه‌اندازی شده که پسماندهای آلی فسادپذیر را به‌صورت خالص از رستوران‌ها، هتل‌ها و بازارهای میوه دریافت و آن را به کود کمپوست تبدیل می‌کنند. از جملهٔ این مراکز کارخانهٔ تولید کمپوست جایاناگار[1] است که بسیار موفق بوده و توانسته به‌عنوان الگویی برای سایر مراکز عمل کند.

به‌طور کلی، هدف از این اقدامات، منحرف کردن مسیر جریان پسماند از محل‌های دفن به مراکز پردازش و دستیابی به حداکثر ارزش اقتصادی از آن‌ها و رسیدن به هدف اصلی یعنی ایجاد شهری پاک است. در این راستا، همواره تمرکز اصلی بخش مدیریت پسماند شهر بنگلور بر «تفکیک پسماند از مبدأ تولید»، «تمرکززدایی» و «به‌کارگیری فناوری‌های نوین در مدیریت و پردازش پسماند» بوده و در این خصوص نیز توانسته است به موفقیت‌هایی دست یابد.

شکل ۲ـ ۱۷. مرکز تولید کمپوست جایاناگار بنگلور ـ هند

شکل ۲ـ ۱۸. به‌کارگیری فناوری کمپوستر در مرکز جایاناگار بنگلور ـ هند

1. Jayanagar

۲ـ ۲ـ ۱۰. سابقهٔ اجرایی فناوری کمپوستر در ایران

در کشور ما نیز فناوری کمپوستر از نیمهٔ اول دههٔ ۱۳۹۰ به کار گرفته شد. از جمله محل‌هایی که در آن‌ها این فناوری به اجرا درآمده می‌توان به این موارد اشاره کرد: مرکز آموزش‌های سازمان مدیریت پسماند شهرداری تهران (نیمهٔ دوم دههٔ ۱۳۹۰)، منطقهٔ ۲۲ شهرداری تهران (نیمهٔ اول دههٔ ۱۳۹۰)، شهرک نظامی سپاه پاسداران واقع در منطقهٔ ۱۳ تهران (سال ۱۳۹۳ـ ۱۳۹۴)، شهرک نظامی نیروی هوایی ارتش واقع در منطقهٔ ۹ تهران (سال ۱۳۹۳ـ ۱۳۹۴)، شهرداری منطقهٔ ۲۲ شهر تهران (سال ۱۳۹۳) و مجتمع آموزشی صبا (سال ۱۳۹۶ـ ۱۳۹۷).

شکل ۲ـ ۱۹. به‌کارگیری فناوری کمپوستر در مرکز آموزش‌های سازمان مدیریت پسماند شهرداری تهران

شکل ۲ـ ۲۰. پروژهٔ به‌کارگیری فناوری کمپوستر در منطقهٔ ۲۲ شهرداری تهران

۲ـ ۲ـ ۱۰ـ ۱. پروژهٔ پسماند صفر مجتمع آموزشی صبا

فناوری کمپوستر در پروژهٔ پسماند صفر مجتمع آموزشی صبا از سال تحصیلی ۱۳۹۶ـ ۱۳۹۷ به کار گرفته شد، در ابتدای شروع این پروژه به کلیهٔ کادر فعال از جمله کادر اجرایی و مدیران، کادر آموزشی، کادر خدمات و آشپزخانه و

اولیای دانش‌آموزان با برگزاری ۱۳ کارگاه آموزشی و با بهره‌گیری از دانش و تخصص کارشناسان مجرب آموزش‌های لازم داده شد (تصاویر ۲ـ ۲۱ و ۲ـ ۲۲).

شکل ۲ـ ۲۱. برگزاری کارگاه برای آموزش کلیهٔ پرسنل مجتمع آموزشی صبا توسط کارشناسان مجرب

شکل ۲ـ ۲۲. آموزش اولیای دانش‌آموزان مجتمع آموزشی صبا

سپس، کلیهٔ دانش‌آموزان مجتمع در مقاطع پیش دبستانی، ابتدایی، متوسطهٔ اول و متوسطهٔ دوم تحت آموزش مدیریت پسماند قرار گرفتند (تصویر ۲ـ ۲۳).

شکل ۲ـ ۲۳. آموزش دانش‌آموزان کلیهٔ مقاطع تحصیلی

شکل ۲ـ ۲۴. دستگاه کمپوستر استفاده‌شده در مجتمع آموزشی صبا (دستگاه استارکلین ۰۵ـ□□)

نتایج نشان داد در سه‌ماههٔ اول شروع این پروژه ۲۲۰ کیلوگرم کمپوست، ۱۰۶/۳ کیلوگرم در بطری و ۴۳۴/۱ کیلوگرم پسماند خشک مخلوط حاصل شد. همچنین، دستاوردهای دیگر این پروژه به‌شرح زیر است:

- تفکیک حداکثری پسماند
- کاهش حداکثری تولید شیرابه
- کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای
- کاهش حداقل ۸۰ درصد از هزینه‌های مربوط به حمل پسماند از مبدأ
- افزایش چندبرابری در ارزش پسماند خشک
- بازیافت کامل پسماند خشک
- جلوگیری از انتشار گاز متان و گازهای سمی متصاعدشده از پسماند
- بازچرخش روزانه یک هزار لیتر آب خاکستری در سرویس‌های بهداشتی مدرسه
- بازچرخش روزانه ۵۰۰ لیتر آب خاکستری در دستگاه‌های تصفیهٔ آب
- بازیافت روزانه ۱۰ کیلوگرم پسماند تر در دستگاه کمپوستر و تولید ۲/۵ کیلوگرم کمپوست طبیعی.

شکل ۲ـ ۲۵. اولین کمپوست تولیدشده در مجتمع آموزشی صبا در پروژهٔ پسماند صفر

۲ـ ۲ـ ۱۰ـ ۲. پروژهٔ به‌کارگیری فناوری کمپوستر در شهرداری منطقهٔ ۲۲ تهران

پروژه‌ای با هدف ارزیابی عملکرد زیست‌محیطی دستگاه کمپوستر در تبدیل پسماندهای تر از مبدأ به کود کمپوست و تجزیهٔ شیمیایی و میکروبی کود تولیدشده و مقایسهٔ آن با استانداردهای مرجع در سال ۱۳۹۳ در تهران انجام گرفت. برای این منظور، یک دستگاه کمپوستر با ظرفیت تبدیل ۵ـ ۱۰ کیلوگرم پسماند تر در شهرداری منطقهٔ ۲۲ تهران نصب شده و سپس، میکروارگانیسم به مخزن دستگاه اضافه شده و روزانه پسماندهای تر درون آن ریخته و بعد از ۲۴ ساعت کمپوست برداشت می‌شد. نتایج آزمایش کمپوست تولیدی به لحاظ ویژگی‌های شیمیایی و میکروبی نشان داد غلظت فلزات سنگین و تعداد باکتری‌های سالمونلا و کلی‌فرم‌های مدفوعی کمپوست خروجی دستگاه کمتر از حد مجاز بود و با استانداردهای مرجع کاملاً مطابقت داشت. سایر ویژگی‌های شیمیایی کمپوست نیز مطلوب بود که نشان‌دهندهٔ تولید کود آلی با کیفیت است و استفاده از آن می‌تواند سبب بهبود حاصل‌خیزی خاک‌ها شود. همچنین، نتایج نشان داد دستگاه کمپوستر مورد استفاده به‌خوبی و در زمان کوتاه بدون تولید شیرابه و بوی نامطبوع و بدون هیچ‌گونه آلودگی محیط زیستی، ضمن تبدیل پسماندهای تر به کود کمپوست، سبب تفکیک کامل پسماند تر و خشک در مبدأ تولید شد.

شکل ۲ـ ۲۶. به‌کارگیری فناوری کمپوستر در شهرداری منطقهٔ ۲۲ تهران ـ سولهٔ بازیافت شهرداری منطقهٔ ۲۲

۲ـ ۳. مقایسهٔ دو سیستم متفاوت تولید کمپوست: به‌کارگیری فناوری کمپوستر در مبدأ تولید پسماند و تولید کمپوست از پسماندهای جامد شهری در مقیاس بزرگ و به‌شیوهٔ مرسوم

۲ـ ۳ـ ۱. فناوری کمپوستر

مواد آلی فسادپذیر بخش مهمی از پسماندهای جامد شهری است که در کشورهایی با سطح درآمد متفاوت از ۲۵ تا ۷۰ درصد متغیر است. تولید کمپوست از این نوع پسماند می‌تواند یک گزینهٔ مناسب برای مدیریت پایدار پسماند با تبدیل آن به کود با ارزش افزوده باشد.

به خلاف کودهای شیمیایی، که خاک را برای کوتاه‌مدت غنی می‌کنند، کمپوست سبب حفظ مواد مغذی خاک در طولانی‌مدت می‌شود، به‌گونه‌ای که مواد مغذی موجود در کمپوست به‌آرامی و با سرعتی نزدیک به سرعت جذب مواد مغذی توسط گیاه در خاک آزاد می‌شود، البته با توجه به نوع کمپوست سهم آن در تأمین مواد مغذی خاک متفاوت است (Agegnehu et al., 2015).

فرایند کمپوست‌سازی سریع، به لحاظ زمان و مکان فشرده است و به مدیریت کارآمد پسماند و تولید کمپوست ارزشمند کمک می‌کند و سبب حل مشکلات زیست‌محیطی مربوط به دفن پسماند و سوزاندن آن شده و در عین حال، با تولید خاک با کیفیت خوب و مدیریت بهینهٔ پسماند می‌تواند برای شهرداری‌ها، بخش کشاورزی و محیط زیست مثمر ثمر باشد (Khot and Deshmukh., 2021).

با این‌وجود، این شیوهٔ تولید کمپوست نیز محدودیت‌هایی دارد که عبارت‌اند از:

- تأمین سرمایه مورد نیاز خرید دستگاه کمپوستر به‌دلیل زیاد بودن هزینهٔ اولیه؛
- وابستگی خریداران دستگاه‌های کمپوستر به آنزیم‌ها و باکتری‌های انحصاری تولیدشده توسط شرکت‌های فروشنده؛
- ظرفیت‌های نسبتاً محدود؛
- حساسیت فرایند به وجود ناخالصی در مواد آلی اولیه ورودی (به‌خصوص چربی، مواد شیمیایی و سمی).

در ادامه، مهم‌ترین ویژگی‌های تولید کمپوست با استفاده از فناوری کمپوستر ارائه خواهد شد:

زمان فناوری: ۲۴ تا ۴۸ ساعت.

- محل انجام فرایند: راکتورهای کاملاً عایق (دایجستر).
- نوع فرایند: هضم (تخمیر) هوازی.
- مواد افزودنی: آنزیم‌ها و باکتری‌های خاص تولیدی آزمایشگاهی.
- مواد ورودی: انواع پسماند آلی خالص (گیاهی، شهری، صنعتی).
- انواع پسماندهای گیاهی: پسماندهای کشاورزی، پسماندهای باغبانی و هرس.
- انواع پسماندهای شهری: تنها پسماندهای مواد غذایی و لجن فاضلاب شهری.
- انواع پسماندهای صنعتی: پسماندهای ناشی از صنایع فرآوری مواد غذایی و صنایع تبدیل شیمیایی مانند صنایع نیشکر.
- درجه حرارت فرایند: درنهایت، ۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد.
- وابستگی به نیروی انسانی: فرایندها در بسیاری مواد به‌صورت خودکار مدیریت و راهبری می‌شود.
- ظرفیت‌های موجود: دارای انواع خانگی، نیمه‌صنعتی و صنعتی.

- راندمان تولید: حدود ۷۰ درصد.
- بهترین حالت ترکیبی مواد ورودی: ۷۰ درصد مواد آلی گیاهی و ۳۰ درصد مواد آلی جانوری.
- بوی کود تولیدی: بوی مساعدی شبیه به بوی الکل دارد.
- رنگ کود تولیدی: قهوه‌ای.
- میزان نیتروژن کود تولیدی: نسبت به کودهای معمول و سنتی میزان نیتروژن بیشتری دارد.
- محصولات جانبی: در برخی از فرایندها امکان تولید مایعی خاکستری رنگ از پسماندهای آلی ورودی وجود دارد که یا می‌توان از آن به‌عنوان کود مایع در باغبانی و توسعه فضای سبز استفاده کرد و یا آن را به سیستم فاضلاب شهری تخلیه کرد.
- فضای مورد نیاز: نسبت به سیستم‌های معمول تولید کمپوست به فضای بسیار محدودتری نیاز دارد.
- میزان نیاز به آب: در برخی فرایندها به ورود پیوسته آب به راکتور نیاز است.

۲ـ ۳ـ ۲. کمپوست تولیدشده از پسماند جامد شهری به شیوهٔ مرسوم

از کمپوست به‌عنوان کود آلی با هدف اصلاح خاک و بهبود حاصل‌خیزی طولانی‌مدت خاک با تأمین مواد مغذی خاک استفاده می‌شود. باید توجه داشت که همین امر در مورد آلاینده‌های موجود در کمپوست صادق است و برخی از آلاینده‌هایی که از طریق کمپوست به خاک وارد می‌شوند، می‌توانند از طریق زنجیرهٔ غذایی انتقال یابند و یا برای مدت طولانی در خاک باقی بمانند، بنابراین کنترل کیفیت کمپوست بسیار ضروری است. علاوه بر اجزای شیمیایی، کمپوست همچنین دارای ارگانیسم‌هایی (مانند باکتری، قارچ، ارکی‌باکتری‌ها[1]، پروتوزوئا[2]، مژک‌داران[3]، کرم‌خاکی و غیره) است. بنابراین، در حالی که کمپوست چرخهٔ مواد مغذی را بهبود داده و برای رشد محصول مفید است، از طرفی برخی از ترکیبات آلی و معدنی آزادشده از طریق کمپوست در خاک می‌توانند با ایجاد آلودگی، تهدیدی برای زنجیرهٔ غذایی و همچنین کیفیت کلی محیط ایجاد کنند (Smith, 2018).

عملیات تولید کمپوست در مقیاس بزرگ همواره با نگرانی‌هایی در ارتباط با امکان‌پذیری اقتصادی، فنی و زیست‌محیطی مواجه است که با توجه به‌شیوه‌های مختلف، عملکرد متفاوتی دارد. در ادامه، به برخی از مهم‌ترین معایب واحدهای تولید کمپوست از پسماندهای جامد شهری در مقیاس بزرگ و به شیوهٔ ویندرو می‌پردازیم:

- روباز بودن فرایند و انتشار بو و ذرات به محیط سبب اعتراض‌های محلی می‌شود. بنابراین، تولید کمپوست در فضای باز نیازمند ضوابطی همچون فاصله با مناطق مسکونی، جهت باد، نبودن آب‌های زیرزمینی، خاک پوششی مناسب و... است.
- عدم جمع‌آوری پسماند در مراحل اولیهٔ تجزیهٔ منجر به مشکلاتی در تفکیک و جابه‌جایی پسماند جامد می‌شود.
- به‌دلیل مشکلاتی از جمله تأخیر در جمع‌آوری پسماند ممکن است تا زمان جمع‌آوری پسماند، هضم بی‌هوازی آغاز شود.

1. Archaea
2. Protozoans
3. Ciliates

- پسماندها در زمان کمپوست، گاهی اوقات رشد میکروارگانیسم‌های مضر را افزایش داده و باعث ایجاد ذرات معلق زیستی و مواد شیمیایی فرار می‌شود که استنشاق آن می‌تواند برای کارگران مضر باشد.
- اغلب پسماندهای تر جمع‌آوری‌شده دارای رطوبت بیشتری نسبت به‌میزان مطلوب رطوبت برای کمپوست هستند. این امر منجر به تولید شیرابه طی فرایند کمپوست می‌شود که مشکلات زیادی مانند آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی، انتشار بوی نامطبوع، هجوم حشرات و حیوانات و همچنین، مسائل بهداشتی برای کارگران می‌شود.
- بی‌ثباتی در کیفیت کمپوست تولیدشده، نگرانی‌ها در مورد ایمن بودن مواد اولیه و محصول تولیدشده، نیروی کار مورد نیاز برای تفکیک و جداسازی مواد تجزیه‌ناپذیر از پسماندهای آلی فسادپذیر، زیرساخت‌های ویژهٔ مورد نیاز، چالش‌هایی هستند که تولیدکنندگان کمپوست از پسماندهای مخلوط و از طرفی، مرطوب با آن مواجه‌اند.
- هوادهی ناکافی پسماندهای تر برای تجزیه و تبدیل به کمپوست، تولید گازهای آمونیاک و سولفید هیدروژن[1] را به‌همراه دارد که سبب انتشار بوی بسیار نامطبوعی شده و بسیار سمی و خطرناک است.
- کند بودن فرایند به دلیل هوادهی کم و در نتیجه، نیاز به زمین زیاد جهت تأمین زمان ماند.
- بازچرخانی شیرابه‌ها در سیستم پردازش و بازیافت پسماند سبب انتشار بوی نامطبوع شدیدی شده که مسائل زیست‌محیطی بسیاری را به همراه دارد.
- بالا بودن درصد خاکستر در کمپوست تولیدی به دلیل افزودن خاک طی عملیات عمل‌آوری.
- عمل‌آوری نامناسب کمپوست درشت تولیدی به‌دلیل کمبود فضا.
- دپوی غیراصولی کمپوست درشت‌دانه و مشکلات ناشی از آن (جاری شدن شیرابه، آتش‌سوزی و غیره)
- سیستم پالایش با عملکرد سطح پایین.
- تبدیل پسماند تر به کود نیازمند تفکیک درست پسماند از مبدأ است. فقط در صورتی که این مسیر به‌درستی طی شود، می‌توان از کود آلی به‌دست‌آمده برای بخش کشاورزی استفاده کرد.
- نیاز به تعمیر و نگهداری پیوسته.
- احتمال بروز سوانح برای نیروی انسانی.
- ازکارافتادگی کل خط در هنگام بروز مشکل فنی برای قسمتی خاص.
- جمع‌آوری و سازماندهی بخش تجزیه‌ناپذیر بسیار زمان‌بر است و همچنین، فضای زیادی را در واحدهای تولید کمپوست اشغال می‌کند.

۲ـ ۳ـ ۲ـ ۱. نگرانی‌های نوظهور نسبت به آلاینده‌ها

استفاده از کمپوست می‌تواند تأثیرات مثبت و یا منفی طولانی‌مدت بر بافت خاک در پی داشته باشد. بنابراین، نگرانی‌های ایمنی مربوط به کمپوست باید از حمل‌ونقل مواد اولیه گرفته تا تولید کمپوست تا پیامدهای استفادهٔ نهایی از محصول به‌طور کلی مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد. از طرفی، برخی از آلاینده‌های موجود در پسماند اولیه مانند عوامل بیماری‌زا میکروبی و انگل‌ها می‌توانند از طریق حیواناتی مانند مگس و سگ از محل‌های تولید کمپوست به محیط پیرامون انتشار پیدا کنند.

۱. سولفید هیدروژن (H_2S)، بدون رنگ، آتشگیر، سمی و خورنده است و بویی شبیه تخم‌مرغ گندیده دارد. سمیت این گاز مشابه کربن منوکسید است و اجازهٔ تنفس به سلول‌ها نمی‌دهد.

زیست‌آیروسل‌ها[1] و ذرات فرار از طریق باد از محل‌های تولید کمپوست در محیط اطراف منتشر می‌شوند. علاوه بر این، شیرابه‌ای که از تودهٔ کمپوست، در فرایند تولید خارج می‌شود می‌تواند آب‌های سطحی و زیرزمینی را آلوده کند و ممکن است اثرات جدی بهداشتی را بر افرادی که در محل و خارج از محل تولید کمپوست کار می‌کنند، ایجاد کند (Samarasinha et al., 2015).

بنابراین، با توجه به موارد یادشده در بسیاری از کشورها مقرراتی برای اطمینان از کیفیت کمپوست از لحاظ ترکیبات آلی و معدنی وضع شده و در حال اجراست. همچنین، پارامترهای شیمیایی و فیزیکی کمپوست عرضه‌شده به بازار نیز تحت نظارت است. با این‌حال، همواره محدودیت‌هایی مربوط به ظرفیت نهادهای نظارتی برای بررسی و اطمینان از کیفیت محصول وجود دارد.

از طرفی، اگرچه سیاست‌گذاران و عموم مردم از اهمیت برخی از پارامترها در کمپوست تولیدشده برای حفظ سلامت انسان و کیفیت محیط مطلع هستند، ولی مواردی از آلاینده‌های نوظهور در کمپوست مشاهده شد که نسبت به آن‌ها اطلاعات محدودی در اختیار است (Hettiarachchi et al., 2020).

اکثر استانداردهای کیفی موجود، در حال حاضر حداکثر مقدار مجاز عناصر سمی بالقوه را مورد بررسی قرار می‌دهند. با این‌حال، توجه کمی به آلاینده‌های آلی[2] موجود در کمپوست وجود دارد. تنوع گستردهٔ مواد اولیهٔ موجود در پسماندهای جامد شهری، تغییرات مداوم در ساختار و طبیعت شیمیایی آن‌ها به دلیل تجزیهٔ بیولوژیکی، عدم شناخت متابولیت‌های واسطه و مشکلات تکنولوژیکی در شناسایی این ترکیبات و متابولیت‌های واسطه‌ای آن‌ها، آلاینده‌های آلی را به یک زمینه پیچیده برای توسعهٔ استانداردهای کیفیت تبدیل می‌کند. آلاینده‌های آلی معمولاً در کمپوست حاصل از پسماندهای جامد شهری یافت می‌شوند. زیست‌آیروسل‌ها و ترکیبات فرار به‌طور کلی آلی هستند. علاوه بر این، میکرو و نانو پلاستیک‌ها و همچنین، عوامل مقاومت ضدمیکروبی[3] را می‌توان آلاینده‌های نوظهوری در نظر گرفت که می‌توانند از طریق کمپوست به محیط وارد و به زنجیرهٔ غذایی منتقل شوند و سلامت انسان و حیوانات را تهدید کنند.(Hettiarachchi et al., 2020)

۲ـ ۳ـ ۲ـ ۲. آلاینده‌های آلی و زیست‌آئروسل‌ها

با وجود این واقعیت که نهادهای علمی همواره نگرانی خود را از عدم نظارت دقیق بر ترکیبات کمپوست و همچنین، تأسیسات تولید کمپوست ابراز داشته‌اند، اطلاعات بسیار محدودی در مورد آلاینده‌های آلی و زیست‌آیروسل‌های موجود در کمپوست حاصل از پسماند جامد شهری موجود است. ساماراسینها و همکاران بر اهمیت مطالعه تأثیرات آئروسل‌های زیستی (چه بر پایهٔ مواد شیمیایی و چه بر پایهٔ مواد آلی) که طی فرایند تولید کمپوست به محیط زیست منتشر می‌شوند، بر سلامت کارگران در تأسیسات کمپوست و همچنین، محیط زیست تأکید کردند (Samarasinha et al., 2015). فیشر و پیرسون نیز در تحقیقات خود نشان دادند شواهد قابل ملاحظه‌ای در مورد نگرانی‌های ایمنی و خطرات سلامتی مرتبط با آلاینده‌های آلی و زیست‌آیروسل‌ها در کمپوست و طی فرایند تولید و اثرات آن بر کارگران و استفاده‌کنندگان از این فرآورده وجود دارد (Fischer et al., 1999; Pearson et al., 2015).

1. Bio-aerosols
2. Organic
3. Antimicrobial resistance determinants

۲ـ ۳ـ ۲ـ ۳. میکروپلاستیک‌ها و نانوپلاستیک‌ها

بیشتر مطالعات مربوط به میکروپلاستیک و نانوپلاستیک محدود به اکوسیستم‌های آبی است و تنها تعداد کمی از آن‌ها روی محیط خاک تمرکز دارند. اگرچه کشف میکروپلاستیک‌ها و نانوپلاستیک‌ها موضوعی جدید است، اما این مواد از اوایل دهۀ ۱۹۰۰ با تولید تجاری و استفاده از پلاستیک در سراسر جهان وارد اکوسیستم‌های زمین شده‌اند.

میکروپلاستیک‌ها و نانوپلاستیک‌های موجود در کمپوست حاصل از پسماندهای جامد شهری، تا حدی از لوازم آرایشی منشأ گرفته و پلاستیک‌های بزرگ‌تر، از جمله الیاف پلی‌استر، از پارچه، کیسه‌های پلاستیکی، قوطی‌های پلاستیکی و قطعات لوازم الکترونیکی منشأ می‌گیرند (Galloway, 2015).

در پژوهشی وجود میکروپلاستیک‌ها در کمپوست مبتنی بر پسماندهای جامد شهری تشخیص داده شد. همچنین، بررسی‌ها در این خصوص نشان داد میکروپلاستیک‌ها و نانوپلاستیک‌ها هنگامی که به خاک اضافه شوند، می‌توانند روی ریزجانوران و شبکۀ غذایی خاک تأثیر بگذارند (Hettiarachchi et al., 2020). میکروپلاستیک‌هایی که در فرایند تولید کمپوست به وجود آمده‌اند، در بافت‌های گیاه تجمع می‌یابند. بنابراین، از آنجا که میکروپلاستیک‌ها و نانوپلاستیک‌ها می‌توانند در داخل بدن موجودات زنده تجمع یابند، بنابراین برای سلامت انسان و حیوانات خطرناک‌اند. با این‌وجود به‌دلیل جدید بودن این مطالعات هنوز شواهد بالینی مستقیمی در این خصوص وجود ندارد. با این‌حال، تأثیرات بالقوۀ میکروپلاستیک‌ها و نانوپلاستیک‌ها بر اختلالات مربوط به پاسخ سیستم ایمنی و سرطان اثبات شده، بنابراین نیاز است مطالعات جامعی در مورد وجود ریزپلاستیک‌ها در کمپوست حاصل از پسماندهای جامد شهری و پیامدهای احتمالی آن‌ها انجام گیرد (Kelly, 2017 and Wright).

۲ـ ٤. جمع‌بندی

کمپوست یک کود آلی پذیرفته‌شده در سراسر جهان است که با استفاده از طیف گسترده‌ای از مواد اولیه در مقیاس خانگی تا تجاری تولید می‌شود. با افزایش جمعیت و تغییرات در الگوی مصرف مواد غذایی و روی آوردن به رژیم غذایی غنی از سبزیجات و گوشت، مقدار پسماندهای آلی در محیط‌های شهری و حومه شهر رو به افزایش است.

بسیاری از دولت‌ها کمپوست‌سازی را به‌عنوان فرایندی که به آن‌ها کمک می‌کند تا حجم پسماندهای آلی را کاهش دهند و از این راه مواد مغذی را بازیافت کنند و به زمین‌های زراعی بازگردانند، ترویج می‌کنند، چرا که کمپوست از مخلوطی از اشکال پیچیدۀ مواد مغذی و میکروارگانیسم‌ها تشکیل شده است که پس از اضافه شدن به خاک، سبب تأمین مواد مغذی خاک می‌شود و در نهایت، حاصل‌خیزی خاک را بهبود می‌بخشد. بنابراین، استفاده از کمپوست در خاک‌هایی که حاصل‌خیزی آن کاهش یافته برای بهبود عملکرد آن توصیه می‌شود (Hettiarachchi et al., 2020).

بنابراین، این کود در کشاورزی ارگانیک و در سیستم‌های مدیریت یکپارچۀ مواد مغذی بسیار محبوب است. با این‌حال، استفادۀ طولانی‌مدت از کمپوست در مقادیر زیاد و یا استفاده از کمپوست بی‌کیفیت در خاک می‌تواند کیفیت خاک را تضعیف کرده و ایمنی مواد غذایی را تهدید کند (Deportes et al., 1995; Garcia-Gil et al., 2000; Smith, 2009). در حال حاضر، چندین نوع کمپوست در حال تولید است که از نظر ترکیب مواد اولیه و روش‌های تولید با یکدیگر متفاوت‌اند. به‌عنوان مثال، در صورتی که هدف از تولید کمپوست، دست‌یابی به یک منبع

مواد مغذی برای جایگزینی با کودهای شیمیایی باشد، تولید کمپوست از فضولات حیوانی که به‌راحتی قابل تجزیه و غنی از مواد مغذی بوده، بسیار مناسب است (Gil et al., 2000 -Garcia). از طرفی، اگر هدف بهبود حاصل‌خیزی خاک در درازمدت باشد، از کمپوستی استفاده می‌شود که بیوچار[1] مانند کربن سخت به آن اضافه شده باشد (-Ageg nehu et al., 2015). در این میان، کمپوست تولیدی از پسماندهای جامد شهری معمولاً به‌عنوان روشی برای کاهش و بازیافت پسماند شناخته شده و محصول تولیدی برای اهدافی از جمله احیای محیط زیست و یا دفن در لندفیل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (Hurst et al., 2005). کمپوستی که با استفاده از پسماندهای جامد شهری تولید می‌شوند، با خطر داشتن آلاینده‌های سمی، اگر با هدف استفاده در لندفیل‌ها تولید شود، چون این آلاینده‌ها به محیط‌هایی محدود می‌شوند که ارتباط مستقیمی با زنجیرهٔ غذایی انسان ندارند، بی‌خطر است. این در حالی است که اگر از کمپوست حاصل از پسماندهای جامد شهری در مزارع برای کشت محصولات استفاده شود، باید با حساسیت زیادی پارامترهای مربوط به استاندارد کیفی و ایمنی کمپوست تولیدی ارزیابی شود، چرا که تجمع عناصر سمی مانند سرب و Cd در خاکی که در آن به صورت طولانی‌مدت کمپوست تولیدشده از پسماندهای جامد شهری استفاده شده بود، در چندین مطالعه گزارش شده است (Smith, 2009). همچنین، آلودگی مواد غذایی با عناصر سمی بالقوه و پاتوژن‌ها و عوامل بیماری‌زای انسانی به‌دلیل کاربرد کمپوست حاصل از پسماندهای جامد شهری در تولید محصولات غذایی در چند مورد گزارش شده است (Deportes et al., 1995; Johannessen et al., 2004; Maffei et al., 2013). بنابراین، نگرانی‌های مربوط به کیفیت و ایمنی کمپوست بستگی زیادی به ماهیت مواد اولیه‌ای دارد که برای تولید کمپوست مورد استفاده قرار می‌گیرد و همچنین، اهدافی که از قبل برای تولید کمپوست در نظر گرفته شده‌اند (Agegnehu et al., 2015).

برای حل این مشکل، در بسیاری از کشورهای پیشرو در تولید کمپوست، کمپوست‌سازی در مبدأ و به صورت غیرمتمرکز را در دستور کار خود قرار داده‌اند، زیرا مدیریت واحدهای کوچک‌تر نسبتاً آسان‌تر از واحدهای بزرگ‌تر بوده و از طرفی، هزینهٔ اولیه کمتر در خصوص استفاده از این فناوری به پایداری مالی واحدهای تولیدکننده کمک خواهد کرد. بررسی تجارب کشورهای دیگر به‌خصوص هند، سریلانکا، اسپانیا، کلمبیا و ژاپن و... نشان می‌دهد واحدهای تولید کمپوست در مقیاس بزرگ عموماً به سرمایه‌گذاری اولیه هنگفتی نیاز دارند و بازیابی و بازگشت مقادیر سرمایه‌گذاری‌شده در این واحدها دشوار است. بنابراین، خسارت‌های واردشده ممکن است منجر به تعطیلی واحدهای تولیدکنندهٔ کمپوست شود و از طرفی، کنترل کیفیت کمپوست تولیدشده هم به‌دلیل حجم زیاد پسماند اولیه ممکن است با دقت کمتری انجام گیرد. بنابراین، راه‌اندازی واحدهای کمپوست غیرمتمرکز کوچک‌مقیاس و در مجاورت مکان‌های تولیدکنندهٔ پسماند همواره نتایج مثبت بیشتری به همراه داشته و معمولاً با پایداری مالی همراه بوده است (Smith, 2009; Garcia et al., 2000; Hurst et al., 2005). در این راستا و به‌منظور کمینه‌سازی اثرات سوء بهداشتی و زیست‌محیطی سیستم مدیریت پسماند شهری که بنا به مادهٔ سوم مصوبهٔ شورای اسلامی شهر تهران (فروردین ۱۴۰۰) به‌عنوان چهارمین هدف از اهداف کلان دومین طرح جامع مدیریت پسماند شهر تهران است، با پیروی از راهبردهای استانداردسازی فرایندها و روش‌های جاری عملیات سیستم مدیریت پسماند و همچنین، زمینه‌سازی و بسترسازی قانونی، فنی و اجرایی برای کاهش میزان تولید و افزایش تفکیک، پردازش و بازیافت پسماند،

۱. بیوچار، به انگلیسی :(Biochar) زغال تهیه‌شده از زیست‌توده‌های گیاهی و ضایعات کشاورزی است که به عنوان کود استفاده می‌شود.

به‌منظور اجرای سیاست‌های کاهش انتشار آلاینده‌های ناشی از عملیات تولید کمپوست در حد مجاز و بهبود راندمان خطوط پردازش و کمپوست در محل دفع پسماند، براساس مادۀ ۴ پیوست دوم از مصوبۀ طرح جامع مدیریت پسماند شهر تهران مصوب فروردین ۱۴۰۰ شهرداری تهران مکلف به اجرای برنامۀ عملیاتی بهسازی و بهینه‌سازی کمی و کیفی سایت پردازش و دفع آرادکوه بوده و در این راستا، اصلاح فرایند تولید کمپوست در اولویت برنامه‌های ارائه‌شده توسط مشاور طرح جامع قرار گرفته است.

به‌طور کلی، برای حل مسائل فعلی مدیریت پسماند شهر تهران، باید در گام نخست تفکیک پسماند خشک و تر و جداسازی پسماندهای خطرناک و جزء ویژه از پسماندهای عادی در محل تولید به‌منظور افزایش عملکرد سایت هوادهی مجتمع آرادکوه در اولویت قرار گیرد. سپس، لزوم پرداختن به مدیریت بهینۀ پسماند آلی فسادپذیر در مبدأ تولید و با حداقل جابه‌جایی پسماند تر و اتلاف زمان مورد توجه قرار گیرد. بنابراین، تجارب موفق کشورهای دیگر در زمینۀ به‌کارگیری فناوری کمپوستر با هدف کاهش حجم پسماند، احیای خاک و کاهش آلودگی شیمیایی خاک و کاهش بسیاری از هزینه‌های عملیاتی و غیرعملیاتی نشان می‌دهد این فناوری می‌تواند با بسترسازی مناسب و با بهره‌گیری از الزامات قانونی و زیرساختی مورد نیاز در فرایند مدیریت پسماند شهر تهران به‌کار گرفته شود که در بخش بعد به‌تفصیل به این موارد می‌پردازیم.

بخش سوم: امکان‌سنجی توسعهٔ فناوری کمپوستر

۳ـ ۱. مقدمه

امکان‌سنجی[1] یک تجزیه‌وتحلیل است که کلیهٔ فاکتورهای مربوط به پروژه را شامل می‌شود؛ از جمله ملاحظات اقتصادی، فنی، حقوقی و برنامه‌ریزی. مدیران پروژه می‌توانند با بهره‌گیری از مطالعات امکان‌سنجی، جوانب و منافع انجام یک پروژه را قبل سرمایه‌گذاری تشخیص دهند. در واقع، امکان‌سنجی به انجام مطالعات اولیه پیش از انجام عملیات واقعی گفته می‌شود که برای حصول اطمینان از موفقیت یک پروژه انجام می‌پذیرد. به‌بیان دیگر، امکان‌سنجی عبارت است از: بررسی مطلوبیت یا امکان‌پذیری پیاده‌سازی یک سیستم مدیریتی یا فرایندی، با در نظر گرفتن مزایا و معایب، هزینه و منفعت آن سیستم. امکان‌سنجی یا مطالعات امکان‌سنجی[2]، ارزیابی و تجزیه‌وتحلیل پتانسیل یک پروژهٔ پیشنهادی است و براساس تحقیقات و مطالعاتی پایه‌ریزی شده که روند تصمیم‌گیری را پشتیبانی و دربارهٔ اجرایی شدن موضوعات بحث می‌کند.

در این تحقیق منظور از امکان‌سنجی، بررسی امکان‌پذیری اجرا و توسعهٔ فناوری کمپوستر خانگی در شهر تهران است. برای جمع‌آوری اطلاعات از تکنیک مصاحبه استفاده شد. مصاحبه‌شوندگان از میان کارشناسان و متخصصان مرکز مطالعات شهرداری و سازمان مدیریت پسماند شهرداری تهران، تولیدکنندگان دستگاه‌های کمپوستر و استفاده‌کنندگان از این فناوری انتخاب شدند. اطلاعات جمع‌آوری‌شده به روش تحلیل محتوای متعارف (رایج) و استفاده از روش کدگذاری مرسوم باز[3] و محوری[4] تفسیر شدند.

در روند مصاحبه، ۳ سؤال محوری به‌شرح زیر مطرح شد:

- قوت‌ها و فرصت‌های اجرا و توسعهٔ فناوری کمپوستر در شهر تهران کدام‌اند؟
- موانع و محدودیت‌های اجرا و توسعهٔ فناوری کمپوستر در شهر تهران چیست؟
- الزامات اجرا و توسعهٔ فناوری کمپوستر در شهر تهران کدام است؟

در این بخش، پس از دریافت پاسخ‌ها، به‌منظور تحلیل پاسخ‌های دریافت‌شده مربوط به هر سؤال، کدگذاری در دو مرحلهٔ باز و محوری صورت گرفت. در مرحلهٔ نخست کدگذاری، یعنی کدگذاری باز، مفاهیم کلی استخراج شده و در مرحلهٔ دوم کدگذاری، یعنی کدگذاری محوری، مفاهیم مشابه در قالب مقوله‌های عمده دسته‌بندی شدند. هدف از این بخش، ارائه و تشریح یافته‌های عمده یا مقوله‌های استخراج‌شده از مصاحبه‌های صورت‌گرفته، به‌منظور سنجش امکان اجرا و توسعهٔ فناوری کمپوستر در شهر تهران است.

۳ـ ۲. قوت‌ها و فرصت‌های اجرا و توسعهٔ فناوری کمپوستر در شهر تهران

اجرا و توسعهٔ فناوری کمپوستر و مدیریت بهینه پسماند تر در مبدأ قوت‌ها و فرصت‌های بی‌شماری در شهر تهران به‌همراه دارد. در جدول ۳ـ ۱ مفاهیم دریافت‌شده از مصاحبه با کارشناسان و سایر افراد مورد مطالعه استخراج و ارائه شده است. با بررسی داده‌های به‌دست‌آمده در مرحلهٔ کدگذاری باز ۳۰ مفهوم و ۵ مقوله به‌شرح زیر استخراج شدند

1. Feasibility
2. Feasibility Studies
3. Open Coding
4. Axial Coding

جدول ۳ـ ۱. قوت‌ها و فرصت‌های اجرا و توسعهٔ فناوری کمپوستر در شهر تهران (امکان‌سنجی)

عبارت	مفهوم
افزایش روزافزون پسماندهای شهری و صنعتی و رها کردن آن‌ها در زمین‌های اطراف شهرها، رودخانه‌ها، جنگل‌ها و مزارع سبب آلودگی اکوسیستم آبی‌ـ خاکی می‌شود.	به‌کارگیری فناوری کمپوستر با کاهش حجم پسماند تر فسادپذیر، سبب کاهش مشکلات زیست‌محیطی می‌شود.
پسماندهای تر فسادپذیر با رطوبت و حرارت مناسب از عوامل اصلی و مولد بسیاری از بیماری‌های انسان و حیوان است که سبب به‌خطر انداختن زندگی انسان‌ها، حیوانات و گیاهان می‌شوند.	تبدیل پسماند آلی فسادپذیر به کمپوست می‌تواند راه‌حلی مناسب برای کاهش مشکلات بهداشتی است.
عدم تفکیک پسماند در مبدأ سبب عدم اعمال مدیریت صحیح در جمع‌آوری و دفع پسماند می‌شود.	به‌کارگیری فناوری کمپوستر سبب کاهش فشار بر دولت در مدیریت پیچیده پسماندهای شهری و جلوگیری از دفع ناامن پسماند می‌شود.
در شهر تهران روزانه حدود ۶،۱۷۳ تن پسماند تولید می‌شود که از این میزان، با توجه به آنالیز انجام‌شده، حدود ۶۰ درصد پسماند تر فسادپذیر است.	تولید کمپوست از پسماند شهری، روشی سودمند برای رهایی از حجم بسیار زیاد پسماندهای تولیدشده و بازیافت مواد مغذی و برگرداندن این مواد به چرخه تولید مواد غذایی است.
استفاده از فناوری کمپوستر سبب تفکیک پسماند در مبدأ می‌شود که این امر کمک شایانی به بازیافت پسماند خشک می‌کند.	به‌کارگیری فناوری کمپوستر سبب کمک به تفکیک و بازیافت پسماند خشک و افزایش ارزش پسماند خشک به‌دلیل عدم اختلاط آن با زبالهٔ تر و در نتیجه، برگشت پسماند خشک به چرخهٔ تولید می‌شود.
به طور تقریبی هر تن پسماند مخلوط ۸۰ لیتر شیرابه تولید می‌کند[1].	به‌کارگیری فناوری کمپوستر حذف تولید شیرابه و کمک به حفظ محیط زیست را به‌دنبال دارد.
عدم مدیریت بهینهٔ پسماند، انتشار گازهای گلخانه‌ای (به‌ویژه دی‌اکسیدکربن و متان) را به همراه دارد.	به‌کارگیری فناوری کمپوستر سبب کاهش تولید و انتشار گازهای گلخانه‌ای (دی‌اکسیدکربن و متان) می‌شود.
فرایند کمپوست‌سازی آمونیاک ناپایدار را به فرم نیتروژن آلی پایدار تبدیل می‌کند.	فرایند کمپوست‌سازی آمونیاک‌های ناپایدار را به فرم نیتروژن آلی پایدار تبدیل می‌کند.
یکی دیگر از مزایا و آثار مثبت دستگاه کمپوستر علاوه بر کنترل مواد زائد، تولید کود آلی است	تولید کود آلی با کیفیت بالا
به‌کارگیری فناوری کمپوستر کشاورزی و باغبانی خانگی[2] را در بین مردم افزایش می‌دهد.	به‌کارگیری فناوری کمپوستر سبب توسعهٔ کشاورزی شهری و باغبانی خانگی و همچنین، فضای سبز شهری می‌شود.
تأمین بخش مهمی از کود مورد نیاز برای استفاده در بخش کشاورزی.	کاهش واردات کود به کشور
بازگشت پسماندهای آلی فسادپذیر به چرخهٔ تولید مواد غذایی به اهداف توسعهٔ پایدار کمک می‌کند.	توسعهٔ پایدار
تولید کمپوست با کیفیت سبب کاهش نیاز به استفاده از کودهای شیمیایی در بخش کشاورزی می‌شود	کاهش استفاده از کودهای شیمیایی در بخش کشاورزی و توسعهٔ کشاورزی ارگانیک
تولید کمپوست با کیفیت و استفاده در زمین‌های زراعی	تأثیر مثبت بر کیفیت خاک و در نتیجه محصولات کشاورزی
چون فرایند تولید کمپوست ترموفیلیک است، میکروارگانیسم‌های پاتوژن آن نیز از بین خواهند رفت.	کمپوست تولیدشده از طریق فناوری کمپوستر می‌تواند مجموعهٔ کاملی از عناصر غذایی را برای گیاهان فراهم کند که عاری از هر گونه عوامل بیماری‌زا است
استفادهٔ کمپوست در زمین‌های کشاورزی که به‌دلیل کشت فراوان حاصل‌خیزی خود را از دست داده و خاک این زمین‌ها تخریب شده سبب برگرداندن تعادل مواد مغذی در خاک می‌شود.	استفاده از کمپوست می‌تواند تعادل مواد مغذی را به خاک برگرداند
از آنجا که بخش عمده‌ای از خاک‌های ایران جزء خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب شده، بنابراین مقدار مواد آلی آن‌ها کمتر از یک درصد است. از طرفی، استفاده بیش از حد از کودهای دارای منشأ شیمیایی که حاوی عناصر سنگین نظیر کادمیوم، سرب و روی می‌باشند، خسارات زیادی را به محیط زیست و خاک زمین‌های کشاورزی وارد کرده است.	بهبود کیفیت خاک‌های زراعی و افزایش حاصل‌خیزی زمین‌های کشاورزی همچنین جایگزینی این کودها با کودهای شیمیایی از فرسایش و تخریب خاک جلوگیری کرده. از کمپوست به‌عنوان کود آلی می‌توان برای بهبود کربن آلی خاک و افزایش بهره‌وری در تولید محصولات کشاورزی استفاده کرد

۱. در دومین طرح جامع مدیریت پسماند شهر تهران به‌ازای هر تن پسماند مخلوط، حدود ۸ درصد تولید شیرابه برآورد شد.

2. Home gardening

به خلاف کودهای شیمیایی، که خاک را برای کوتاه‌مدت غنی می‌کنند، کمپوست سبب حفظ مواد مغذی خاک در طولانی‌مدت می شود به‌گونه‌ای که مواد مغذی موجود در کمپوست به‌آرامی و با سرعتی نزدیک به سرعت جذب مواد مغذی توسط گیاه در خاک آزاد می‌شود البته با توجه به نوع کمپوست سهم آن در تأمین مواد مغذی خاک متفاوت است.	افزودن کمپوست ارگانیک با کیفیت خوب، باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب و تأمین مواد مغذی خاک و همچنین، ایجاد مقاومت گیاهان در برابر آفات و بیماری‌ها و افزایش تاب‌آوری اکوسیستم خاک می‌شود
باعث بهبودی ساختمان خاک شده و عملیات شخم را آسان‌تر می‌کند، همچنین قابلیت ذخیرهٔ آب در خاک را افزایش می‌دهد.	بهبود و احیا ساختار خاک و پایداری خاک‌های مولد
به‌کارگیری فناوری کمپوستر به‌سبب تولید کود آلی توسعهٔ کشاورزی ارگانیک می‌شود.	ترویج کشاورزی ارگانیک و مدیریت یکپارچهٔ مواد مغذی گیاهی
کاهش وزن و هزینهٔ حمل‌ونقل پسماند تر تولیدشده در تهران در صورت استفاده از فناوری کمپوستر	کاهش وزن پسماند و در نتیجه کاهش بسیاری از هزینه‌های مربوط به جمع‌آوری، بارگیری و حمل، دفع و پردازش پسماند
در نتیجهٔ کاهش بارگیری پسماند، هزینه‌های دیگری نیز به طور غیرمستقیم کاهش می‌یابد	هزینه‌های دیگری نیز به طور غیرمستقیم کاهش می‌یابد از جمله هزینه‌های سوخت، رانندگان، تعمیر و نگهداری خودرو، عوارض حمل‌ونقل، تعویض لاستیک، تصادف و غیره
فروش کود تولیدشده سبب ایجاد درآمد می‌شود.	تأمین درآمد پایدار، پایداری در زنجیرهٔ تولید مواد غذایی، از مزایای فناوری کمپوستر است
این شیوه در مقایسه با شیوه‌های دیگر تولید کمپوست مثل سیستم‌های ویندرو زمان بسیار کمتری برای تجزیه پسماند مورد نیاز است و در ۲۴ ساعت ۸۰ـ ۹۰ درصد فرایند کمپوست انجام می‌گیرد در حالی‌که در شیوه‌های سنتی ۳۵ـ ۴۵ روز زمان نیاز است تا ۸۰ـ ۹۰ درصد تجزیهٔ پسماند انجام شود.	صرفه‌جویی هنگام تجزیهٔ پسماند
این فناوری سبب تشویق مردم به مشارکت هر چه بیشتر در تفکیک پسماند از مبدأ می‌شوند.	ترویج فرهنگ مشارکت مردم در تفکیک پسماند از مبدأ و تقویت حس مسئولیت اجتماعی
کاهش هزینه‌های حمل و دفع پسماند و کاهش بارگیری پسماند	حفظ سرمایهٔ ملی و کمک به اقتصاد کشور
با پردازش در محل حمل‌ونقل کاهش و در نتیجه، ترافیک شهری، آلودگی هوا، صوتی و بصری به‌طور قابل توجه کاهش می‌یابد.	کاهش آلودگی‌های صوتی و بصری ناشی از حمل پسماند
این فناوری همچنین می‌تواند سبب ایجاد کارآفرینی شود.	کارآفرینی و ایجاد شغل در جامعه
به‌کارگیری فناوری کمپوستر به‌سبب کاهش حجم پسماندها سبب کاهش فشار بر محل‌های دفن زباله و افزایش عمر آن‌ها می‌شود.	تبدیل پسماندهای آلی به کود کمپوست سبب افزایش عمر لندفیل می‌شود
به‌کارگیری فناوری کمپوستر سبب اصلاح الگوی مصرف افراد می‌شود.	اصلاح الگوی مصرف و کاهش تولید پسماند

در جدول ۳ـ ۲، ۵ مقولهٔ عمده به تفکیک کدها و مفاهیم اولیه آورده شده‌اند.

جدول ۳ـ ۲. مقوله‌های مربوط به قوت‌ها و فرصت‌های اجرا و توسعهٔ فناوری کمپوستر در شهر تهران

مقوله‌ها	مفاهیم
مدیریت بهینهٔ پسماند جامد شهری و توسعهٔ اقتصادی	کاهش وزن پسماند و در نتیجه کاهش بسیاری از هزینه‌های مربوط به جمع‌آوری، بارگیری و حمل، دفع و پردازش پسماند، هزینه‌های دیگری نیز به طور غیرمستقیم کاهش می‌یابد از جمله هزینه‌های سوخت، رانندگان، تعمیر و نگهداری خودرو، عوارض حمل‌ونقل، تعویض لاستیک، تصادف و غیره، تأمین درآمد پایدار، پایداری در زنجیره تولید مواد غذایی، از مزایای فناوری کمپوستر است. حفظ سرمایهٔ ملی و کمک به اقتصاد کشور، کارآفرینی و ایجاد شغل در جامعه، کاهش واردات کود به کشور، توسعهٔ پایدار.

مدیریت یکپارچهٔ مواد مغذی و توسعهٔ کشاورزی ارگانیک و پایدار	تولید کود آلی با کیفیت بالا، کاهش استفاده از کودهای شیمیایی در بخش کشاورزی و توسعهٔ کشاورزی ارگانیک، تأثیر مثبت بر کیفیت خاک و در نتیجه محصولات کشاورزی، کمپوست تولیدشده از طریق فناوری کمپوستر می‌تواند مجموعه کاملی از عناصر غذایی را برای گیاهان فراهم کند که عاری از هر گونه عوامل بیماری‌زا است. استفاده از کمپوست می‌تواند تعادل مواد مغذی را به خاک برگرداند. بهبود کیفیت خاک‌های زراعی و افزایش حاصل‌خیزی زمین‌های کشاورزی همچنین جایگزینی این کودها با کودهای شیمیایی از فرسایش و تخریب خاک جلوگیری کرده. از کمپوست به‌عنوان کود آلی می‌توان برای بهبود کربن آلی خاک و افزایش بهره‌وری در تولید محصولات کشاورزی استفاده کرد. افزودن کمپوست ارگانیک با کیفیت خوب، باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب و تأمین مواد مغذی خاک و همچنین، ایجاد مقاومت گیاهان در برابر آفات و بیماری‌ها و افزایش تاب‌آوری اکوسیستم خاک می‌گردد، بهبود و احیا ساختار خاک و پایداری خاک‌های مولد، ترویج کشاورزی ارگانیک و مدیریت یکپارچه مواد مغذی گیاهی
توسعهٔ کشاورزی شهری و فضای سبز شهری	به‌کارگیری فناوری کمپوستر سبب توسعهٔ کشاورزی شهری و باغبانی خانگی و همچنین، فضای سبز شهری می‌شود.
کاهش معضلات زیست‌محیطی	به‌کارگیری فناوری کمپوستر با کاهش حجم پسماند تر فسادپذیر، سبب کاهش مشکلات زیست‌محیطی می‌گردد. به‌کارگیری فناوری کمپوستر حذف ۱۰۰ درصدی تولید شیرابه و کمک به حفظ محیط زیست را به‌دنبال دارد. به‌کارگیری فناوری کمپوستر بطور تقریبی سبب کاهش تولید و انتشار گازهای گلخانه‌ای (دی‌اکسیدکربن و متان) می‌شود. فرایند کمپوست‌سازی آمونیاک‌های ناپایدار را به فرم نیتروژن آلی پایدار تبدیل می‌کند. تبدیل پسماندهای آلی به کود کمپوست سبب افزایش عمر لندفیل می‌شود.
بهبود آگاهی اجتماعی و مسئولیت‌پذیری اجتماعی شهروندان	ترویج فرهنگ مشارکت مردم در تفکیک پسماند از مبدأ و تقویت حس مسئولیت اجتماعی، اصلاح الگوی مصرف و کاهش تولید زباله

در مرحلهٔ کدگذاری محوری مربوط به قوت‌ها و فرصت‌های به‌کارگیری فناوری کمپوستر ۵ مقولهٔ عمده استخراج شد. در اینجا به‌اختصار به هر یک از مقولات در قالب کدگذاری محوری پرداخته می‌شود.

۳ـ ۲ـ ۱. مدیریت بهینهٔ پسماند جامد شهری و توسعهٔ اقتصادی

یکی از مزایا و فرصت‌های ناشی از اجرا و توسعهٔ فناوری کمپوستر مدیریت و پردازش پسماند آلی فسادپذیر و تفکیک هم‌زمان پسماند خشک در مبدأ تولید است که این امر سبب مدیریت بهینهٔ پسماند جامد شهری می‌شود و به‌موجب آن بسیاری از هزینه‌های مربوط به جمع‌آوری، بارگیری و حمل، دفع و پردازش پسماند و بسیاری از هزینه‌های غیرمستقیم دیگر نیز کاهش می‌یابد.

۳ـ ۲ـ ۲. مدیریت یکپارچهٔ مواد مغذی و توسعهٔ کشاورزی ارگانیک و پایدار

مقولهٔ دیگری که از مصاحبه‌ها استخراج شد مدیریت یکپارچه مواد مغذی و توسعهٔ کشاورزی ارگانیک و پایدار است. تولید کود آلی با کیفیت بالا سبب کاهش استفاده از کودهای شیمیایی در بخش کشاورزی و موجب توسعهٔ کشاورزی ارگانیک خواهد شد. همچنین، با مدیریت یکپارچه مواد مغذی، توسعهٔ پایدار را به همراه خواهد داشت.

۳ـ ۲ـ ۳. توسعهٔ کشاورزی شهری و فضای سبز شهری

از دیگر جنبه‌های مثبت اجرا و توسعهٔ فناوری کمپوستر به‌ویژه در بخش خانگی، توسعهٔ کشاورزی شهری و فضای سبز شهری به‌واسطهٔ تولید کمپوست است چرا که افراد علاقه‌مند به استفاده از کمپوست تولیدی شده و همین امر می‌تواند راهکاری مؤثر برای مقابله با چالش‌های روزافزون شهرنشینی باشد.

۳ـ ۲ـ ۴. کاهش معضلات زیست‌محیطی

به‌کارگیری فناوری کمپوستر و مدیریت بهینه پسماند آلی فسادپذیر در مبدأ تولید سبب کاهش فشار بر محیط زیست و در نتیجه، کاهش بسیاری از معضلات زیست‌محیطی شده که در حال حاضر به‌واسطهٔ عدم مدیریت بهینه پسماند جامد شهری بر محیط زیست تحمیل می‌شود و از مهم‌ترین آن‌ها حذف تولید شیرابه و کاهش ۷۰ درصدی تولید گازهای گلخانه‌ای است.

۳ـ ۲ـ ۵. بهبود آگاهی اجتماعی و مسئولیت‌پذیری اجتماعی شهروندان

مقولهٔ دیگری که از مصاحبه‌ها استخراج شد بهبود آگاهی اجتماعی و مسئولیت‌پذیری اجتماعی شهروندان به‌واسطهٔ استفاده از فناوری کمپوستر است، چرا که به‌کارگیری این فناوری سبب ترویج فرهنگ مشارکت مردم در تفکیک پسماند از مبدأ و تقویت حس مسئولیت اجتماعی، اصلاح الگوی مصرف و کاهش تولید پسماند توسط افراد خواهد شد.

۳ـ ۳. موانع و محدودیت‌های اجرا و توسعهٔ فناوری کمپوستر

مشکلات و محدودیت‌هایی که مانع از اجرا و توسعهٔ فناوری کمپوستر می‌شوند دامنه گسترده‌ای دارند. در جدول ۳ـ ۳ مفاهیم دریافت شده از مصاحبه با کارشناسان و سایر افراد مورد مطالعه استخراج و ارائه شده است. با بررسی داده‌های به‌دست‌آمده در مرحلهٔ کدگذاری باز ۱۹ مفهوم و ۲ مقوله به‌شرح زیر استخراج شدند.

جدول ۳ـ ۳. موانع و محدودیت‌های اجرا و توسعهٔ فناوری کمپوستر در شهر تهران

عبارت	مفهوم
زیاد بودن هزینهٔ اولیه خرید دستگاه کمپوستر.	تأمین سرمایه مورد نیاز خرید دستگاه کمپوستر به‌دلیل زیاد بودن هزینه اولیه
نیاز به یک بستر با منشأ ارگانیک برای تکمیل فرایند تجزیهٔ مواد آلی فسادپذیر.	پیش نیاز فرایند تولید کمپوست با فناوری کمپوستر در دسترس بودن یک بستر با منشأ ارگانیک[1] است که سبب وابستگی فرایند به شرکت‌های تولیدکنندهٔ میکروارگانیسم‌های مورد نیاز می‌شود
عملکرد صحیح و رشد و تکثیر میکروارگانیسم‌ها تابعی از چهار فاکتور است، رطوبت، کربن، نیتروژن و اکسیژن.	کنترل عملکرد میکروارگانیسم‌ها در طی فرایند تولید کمپوست
دشواری تغییر در عادت‌های رفتاری مردی که تا کنون هیچ‌گونه مسئولیتی در قبال پسماند تولیدی خود نداشته‌اند.	مقاومت مردم در برابر تغییر عادت‌های رفتاریشان
در برابر پذیرش فناوری همواره مقاومت بویژه توسط مسئولان با سوابق کاری بالا وجود دارد که به شیوه‌های معمول مدیریت پسماند عادت کرده‌اند.	مقاومت برخی از مسئولان در برابر تغییر و پذیرش فناوری کمپوستر و به رسمیت نشناختن آن
ناآگاهی مردم از وجود فناوری کمپوستر، چرا که برخی از افراد با وجود دارا بودن دغدغه زیست‌محیطی و امکانات مالی هنوز از وجود این فناوری مطلع نیستند.	ضعف در سیستم اطلاع‌رسانی و تبلیغات برای معرفی فناوری کمپوستر
تلاش‌های انجام‌شده در گذشته برای رواج تولید و استفاده از کمپوست به‌دلیل عدم مشارکت گروه‌های ذی‌نفع اصلی در توسعهٔ پروژه و فرایند تصمیم‌گیری، به نتایج مورد انتظار نرسیده است.	عدم مشارکت گروه‌های ذی‌نفع اصلی در توسعهٔ فناوری کمپوستر
دشوار بودن ایجاد همکاری در بین سازمان های ذیربط	دشواری مدیریت تعاملات میان سازمان‌ها
پایداری مالی پروژه‌های تولید کمپوست وابستگی زیادی به حمایت‌های دولت دارد و در صورت برداشتن یا حذف حمایت‌ها پروژه با مشکل مواجه خواهد شد و احتمالاً متوقف می‌شود	ناپایداری فعالیت واحدهای تولیدکنندهٔ کمپوست به‌علت عدم ثبات مالی این واحدها در صورت عدم حمایت دولت

1. Organic

شکاف دانش مربوط به آلاینده‌های نوظهور و کنترل کیفیت کمپوست تولیدی به صورت انبوه در سیستم ویندرو. شناخت خلأهای دانش در ارتباط با جنبه‌های ایمنی و کیفیت فرایند تولید کمپوست و خود محصول نهایی برای ارتقای تولید و استفاده از محصول نهایی بسیار مهم است.	لزوم به‌دست آوردن حمایت از جامعهٔ علمی چرا که مطالعات در این حوزه بسیار محدود است.
بین ذی‌نفعان تولید کمپوست هماهنگی مناسبی وجود ندارد.	عدم همکاری و مشارکت نهادهای ذی‌نفع با یکدیگر برای توسعه تولید کمپوست
ذی‌نفعان تولید کمپوست به‌لحاظ مالی پروژه‌های تولید کمپوست را حمایت نمی‌کنند.	عدم حمایت مالی در توسعهٔ فناوری کمپوستر از سوی نهادهای ذی‌نفع
نبود انگیزه برای تولید کمپوست به‌دلیل عدم حمایت از تولیدکنندگان.	انگیزهٔ ضعیف برای تولید کمپوست به دلیل عدم حمایت از تولیدکنندگان
پایین بودن سطح روحیه کار مشارکتی در بین مردم.	نبود روحیهٔ کار مشارکتی در بین مردم
نبود تقاضا برای استفاده از کمپوست در بخش کشاورزی.	نبود تقاضا برای استفاده گسترده از کمپوست در بخش کشاورزی
تبلیغات و بازاریابی مناسبی برای استفاده از کودهای تولیدی در بخش کشاورزی وجود ندارد.	نبود بازاریابی مناسب برای استفاده از کمپوست تولیدی
نبود الزامات قانونی مشخص برای بازیافت پسماندهای آلی فسادپذیر در مبدأ.	نبود الزامات قانونی مشخص برای بازیافت پسماندهای آلی فسادپذیر در مبدأ
در صورت استفادهٔ گسترده از کمپوست در بخش کشاورزی و فضای سبز شهری باید امکان تولید و عرضه مداوم آن در بازار فراهم باشد.	عرضه مداوم و بدون وقفهٔ کمپوست برای جواب‌گویی به نیاز بازار در تمام طول سال
تضمین کنترل کیفیت کمپوست و اطمینان از این که کمپوست عاری از هر گونه آلودگی است	آلودگی احتمالی کمپوست

در جدول ۳ـ ۴. ۲ مقولهٔ عمده به تفکیک کدها و مفاهیم اولیه آورده شده‌اند.

جدول ۳ـ ۴. مقوله‌های مربوط به موانع و محدودیت‌های اجرا و توسعهٔ فناوری کمپوستر در شهر تهران

مقوله‌ها	مفاهیم
موانع و محدودیت‌هایی که ابتدا مانع از اجرا و توسعهٔ فناوری کمپوستر می‌شوند	تأمین سرمایه مورد نیاز خرید دستگاه کمپوستر به‌دلیل زیاد بودن هزینهٔ اولیه، وابستگی فرایند به شرکت‌های تولیدکنندهٔ بستر آلی، کنترل عملکرد میکروارگانیسم‌ها در طی فرایند تولید کمپوست، نبود روحیهٔ کار مشارکتی در بین افراد، مقاومت مردم در برابر تغییر عادات رفتاریشان، مقاومت برخی از مسئولان در برابر تغییر و پذیرش فناوری کمپوستر و به رسمیت نشناختن آن، نبود انگیزه در افراد برای مشارکت در مدیریت بهینه پسماند شهری، نبود الزامات قانونی، عدم حمایت مالی در توسعهٔ فناوری کمپوستر از سوی نهادهای ذی‌نفع، عدم همکاری و مشارکت نهادهای ذی‌نفع با یکدیگر در جهت توسعه تولید کمپوست، دشواری مدیریت تعاملات میان سازمان‌ها، ضعف در سیستم اطلاع‌رسانی و تبلیغات برای معرفی فناوری کمپوستر.
موانع و محدودیت‌هایی که مانع از پایداری فعالیت افراد و واحدهای تولیدکنندهٔ کمپوست می‌شوند	ناپایداری فعالیت واحدهای تولیدکنندهٔ کمپوست به‌علت عدم ثبات مالی این واحدها در صورت عدم حمایت دولت، نبود تقاضا برای استفاده گسترده از کمپوست در بخش کشاورزی، نبود بازاریابی مناسب برای استفاده از کمپوست تولیدی، عرضه مداوم و بدون وقفه کمپوست برای جواب‌گویی به نیاز بازار در تمام طول سال، وابستگی تولیدکنندگان کمپوست به شرکت‌های تأمین‌کنندهٔ میکروارگانیسم‌های مورد نیاز برای تکمیل فرایند تولید کمپوست، عدم نظارت مداوم و رسیدگی به واحدهای تولیدکنندهٔ کمپوست و اطمینان از عملکرد صحیح آن‌ها، آلودگی احتمالی کمپوست.

در مرحلهٔ کدگذاری محوری مربوط به موانع و محدودیت‌های به‌کارگیری فناوری کمپوستر ۲ مقوله استخراج شد. در اینجا به‌اختصار به هر یک از مقولات در قالب کدگذاری محوری پرداخته می‌شود.

۳ـ ۳ـ ۱. موانع و محدودیت‌هایی که ابتدا مانع از اجرا و توسعهٔ فناوری کمپوستر می‌شوند

از محدودیت‌های فناوری کمپوستر که ابتدا مانع از به‌کارگیری گسترده آن توسط افراد می‌شوند پیش‌تر نیز به برخی از آن‌ها اشاره شد ـ تأمین سرمایهٔ اولیه برای خرید دستگاه کمپوستر در شرایط اقتصادی فعلی، وابستگی خریداران دستگاه‌های کمپوستر به میکروارگانیسم‌های تولیدشده توسط شرکت‌های فروشنده، ظرفیت‌های نسبتاً محدود دستگاه‌ها، حساسیت فرایند به وجود ناخالصی در مواد آلی اولیه ورودی (به‌خصوص چربی، مواد شیمیایی و سمی)، تأمین رطوبت به منظور عملکرد صحیح میکروارگانیسم‌ها است.

علاوه بر این، همواره بر سر راه پذیرش فناوری جدید و به‌کارگیری آن موانع و مشکلات بسیاری وجود دارد. در ارتباط با فناوری کمپوستر این موانع بسیار پیچیده‌تر است، به این علت که مردم به سیستم فعلی مدیریت پسماند عادت کرده‌اند که در این سیستم مسئولیتی در قبال پسماند تولیدی خود و سرنوشت آن نداشته و بنابراین، در این خصوص تمایلی به تغییر عادات رفتاری خود ندارند. ضمن اینکه تولید کمپوست از مبدأ، نه‌تنها برای آن‌ها سودآور نیست، بلکه با توجه به شرایط فعلی کشور و مسائل اقتصادی موجود حتی برای آن‌ها یک فعالیت اضافه محسوب می‌شود. بنابراین، در این شرایط نیاز است که دولت شرایطی را فراهم آورد که براساس آن مردم به مشارکت در فرایند مدیریت پسماند تشویق شده و در این خصوص متحمل هزینه اضافی نشوند، ولی در این میان مشکل موجود در اینجاست که بسیاری از مسئولان نیز از سیستم فعلی مدیریت پسماند و عملکرد آن رضایت داشته و فناوری‌های جدیدی که در طی چندین سال در کشورهای دیگر نتایج مثبتی به‌همراه داشته را به رسمیت نشناخته و در برابر پذیرش آن مقاومت می‌کنند. بنابراین، ضروری است که ابتدا این موانع در سازمان‌ها برطرف شود و پس از رسیدن به درک مشترک و اجماع‌نظر در خصوص به‌کارگیری این فناوری در فرایند مدیریت پسماند شهر تهران و مدیریت تعاملات میان سازمان‌های ذی‌ربط در این خصوص، به توسعه و پذیرش آن توسط مردم نیز امیدوار بود.

۳ـ ۳ـ ۲. موانع و محدودیت‌هایی که مانع از پایداری فعالیت افراد و واحدهای تولیدکنندهٔ کمپوست می‌شوند

تجارب بسیاری از کشورها در خصوص تولید کمپوست و حتی پروژه‌های مشابه داخل کشور نشان می‌دهد که همواره تهدیدهای بسیاری بر سر راه ادامهٔ فعالیت افراد و یا واحدهای تولیدکنندهٔ کمپوست وجود دارد. چرا که این واحدها برای ادامه فعالیت خود به حمایت‌های مالی دولت و یا در مقیاس بزرگ‌تر به حمایت سازمان‌های بین‌المللی وابسته‌اند. بنابراین، بدون ارائهٔ حمایت مالی نمی‌توان امیدوار به ادامه فعالیت این واحدها بود. از طرفی، برای اطمینان از عملکرد صحیح واحدها و تولیدکنندگان نوپا نیاز است که توسط افراد آموزش‌دیده و متخصص، رسیدگی و نظارت مداومی بر این مراکز وجود داشته باشد، که این پیگیری ضمن برطرف کردن مشکلات احتمالی، سبب ایجاد انگیزه در افراد مشارکت‌کننده نیز می‌شود.

۳ـ ٤. امکان‌سنجی اجرا و توسعهٔ فناوری کمپوستر در شهر تهران

امکان‌سنجی، به‌معنای بررسی و تجزیه‌وتحلیل شانس موفقیت یک پروژه یا کسب‌وکار است. به‌بیان دیگر، هدف از مطالعات امکان‌سنجی تعیین میزان امکان‌پذیری و اجرایی بودن یک پروژه و ثمربخشی آن است. به‌منظور امکان‌سنجی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی اجرا و توسعهٔ فناوری کمپوستر در شهر تهران در این پژوهش سؤالی با عنوان «الزامات اجرا و توسعهٔ فناوری کمپوستر در شهر تهران چیست؟» از تعدادی از کارشناسان در قالب فن مصاحبه پرسیده شد.

با بررسی اطلاعات به‌دست‌آمده و کدگذاری داده‌ها در مرحلهٔ کدگذاری باز ۲۲ مفهوم و ۳ مقولهٔ عمده به‌شرح زیر استخراج شد.

جدول ۳ـ ۵. الزامات اجرا و توسعهٔ فناوری کمپوستر در شهر تهران

عبارت	مفهوم
برای تعیین شیوهٔ تأمین هزینهٔ اولیه خرید دستگاه کمپوستر برنامه‌ریزی دقیقی صورت گیرد.	نحوه تأمین سرمایه مورد نیاز خرید دستگاه کمپوستر به‌دلیل زیاد بودن هزینه اولیه مشخص باشد.
تولید کمپوست در مقیاس بزرگ و تجاری اغلب منجر به تولید کمپوست بی‌کیفیت می‌شود، چون حجم زیادی از پسماندهای مخلوط را دریافت می‌کنند که ممکن است حاوی آلاینده‌ها باشند این درحالی است که کمپوست تولیدشده باید عاری از هر گونه آلاینده از جمله پلاستیک، فلزات سنگین، شیشه و مواد غیر قابل تجزیه بی‌اثر باشد.	لزوم برنامه‌ریزی دقیق جهت مدیریت پسماند آلی فسادپذیر به صورت غیرمتمرکز و تبدیل آن به کمپوست در مجاورت محل‌های تولیدکنندهٔ این پسماندها برای حفظ کیفیت کمپوست و جلوگیری از هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم جابه‌جایی این نوع پسماند.
نیاز به یک بستر با منشأ ارگانیک برای تکمیل فرایند تجزیهٔ مواد آلی فسادپذیر.	پیش‌نیاز فرایند تولید کمپوست با فناوری کمپوستر در دسترس بودن یک بستر با منشأ ارگانیک است که باید از شیوهٔ تأمین آن اطمینان حاصل شود.
برنامه‌ریزی برای تربیت مربیان آموزش‌دیده برای ارائهٔ مشاوره به مردم	نیاز به تربیت نیروی آموزش‌دیده و متخصص برای ارائهٔ مشاوره و آموزش به مردم،
تلاش برای جلب همکاری و مشارکت مردم در تفکیک پسماند از مبدأ و تولید کمپوست	تلاش برای جلب همکاری و مشارکت مردم در تفکیک پسماند از مبدأ و تولید کمپوست
تلاش برای تغییر عادت‌های رفتاری مردمی که تا امروز هیچ مسئولیتی در قبال پسماند تولیدی خود نداشته‌اند	آموزش و فرهنگ‌سازی برای تغییر عادت‌های رفتاری مردم
بازدید مداوم از واحدهای تولیدکنندهٔ کمپوست برای اطمینان از روند صحیح فرایند و کنترل کیفی کمپوست تولیدشده و ایجاد انگیزه در افراد مشارکت‌کننده	بازدید مداوم از واحدهای تولیدکنندهٔ کمپوست
ناآگاهی مردم از وجود فناوری کمپوستر، چرا که برخی از افراد با وجود دارا بودن دغدغه زیست‌محیطی و امکانات مالی هنوز از وجود این فناوری مطلع نیستند.	اطلاع‌رسانی و تبلیغات در جهت معرفی فناوری کمپوستر
تلاش‌های انجام‌شده در گذشته برای رواج تولید و استفاده از کمپوست به‌دلیل عدم مشارکت گروه‌های ذی‌نفع اصلی در توسعه پروژه و فرایند تصمیم‌گیری، به نتایج مورد انتظار نرسیده است.	عدم مشارکت گروه‌های ذی‌نفع اصلی در توسعهٔ فناوری کمپوستر
لزوم همکاری و تعامل در بین سازمان‌های ذی‌ربط	مدیریت تعاملات میان سازمان‌ها
برنامه‌ریزی دقیق و داشتن تفکر سیستمی قبل از اجرای هر پروژه مدیریت پسماند به منظور بررسی همهٔ جوانب پروژه	برنامه‌ریزی دقیق و داشتن تفکر سیستمی قبل از اجرای پروژه
پایداری مالی پروژه‌های تولید کمپوست وابستگی زیادی به حمایت‌های دولت دارد و در صورت برداشتن یا حذف حمایت‌ها پروژه با مشکل مواجه خواهد شد و احتمالاً متوقف می‌شود	استفاده از تمامی ظرفیت‌های موجود دولتی و خصوصی برای حفظ ثبات و پایداری مالی واحدهای تولیدکنندهٔ کمپوست
شکاف دانش مربوط به آلاینده‌های نوظهور و کنترل کیفیت کمپوست تولیدی به صورت انبوه در سیستم ویندرو. شناخت خلأهای دانش در ارتباط با جنبه‌های ایمنی و کیفیت فرایند تولید کمپوست و خود محصول نهایی برای ارتقای تولید و استفاده از محصول نهایی بسیار مهم است.	لزوم به دست آوردن حمایت از جامعه علمی چرا که مطالعات در این حوزه بسیار محدود است.
با هدف قرار دادن دانش‌آموزان و برگزاری کارگاه‌های آموزش و مسابقات با محتوای مدیریت بهینهٔ پسماند از مبدأ می‌توان خانواده‌های این دانش‌آموزان را نیز درگیر مدیریت بهینهٔ پسماند کرد.	اولویت دادن به آموزش در مدارس و سرمایه‌گذاری روی نسل آینده.
کیفیت و ایمنی کمپوست بستگی زیادی به ماهیت مواد اولیه‌ای دارد که برای تولید کمپوست مورد استفاده قرار می‌گیرد و همچنین، اهدافی که از قبل برای تولید کمپوست در نظر گرفته شده.	هدف از تولید کمپوست و موارد استفاده آن از قبل مشخص شود.
سازمان حفاظت محیط زیست باید نقش مؤثری در تضمین کیفیت و ایمنی محیط زیست در ارتباط با تأسیسات تولید کمپوست داشته باشد. همچنین، مؤسسهٔ استاندارد و مرجع امور مصرف‌کنندگان نیز باید بر کیفیت کمپوست تولیدی نظارت داشته باشد. بنابراین، ایمنی کمپوست تولیدی در مجتمع آرادکوه با توجه به استانداردهای تعریف‌شده به‌لحاظ عاری بودن از ریزآلاینده‌ها باید مورد بررسی قرار گیرد، چرا که کمپوست حاصل از پسماند جامد شهری اگر با هدف استفاده در بخش کشاورزی و تولید مواد غذایی استفاده شود با خطر ایمنی همراه است.	لزوم نظارت و کنترل بیشتر بر کیفیت و ایمنی کمپوست حاصل از پسماندهای جامد شهری محدود کردن تولید این نوع کمپوست به‌دلیل وجود آلاینده‌های شیمیایی. همچنین، در صورت ایمن بودن کمپوست باید با خاک منطقه‌ای که قرار هست در آنجا مورد استفاده قرار گیرد، سازگار باشد.

بین ذی‌نفعان تولید کمپوست برای حفاظت از محیط زیست در برابر انتشار آلاینده‌های حاصل از تولید کمپوست و استفاده از کمپوست در کشاورزی هماهنگی مناسبی وجود داشته باشد.	همکاری و مشارکت نهادهای ذی‌نفع با یکدیگر در جهت توسعهٔ تولید کمپوست
ذی‌نفعان تولید کمپوست به‌لحاظ مالی پروژه‌های تولید کمپوست را حمایت نمی‌کنند.	حمایت مالی در توسعهٔ فناوری کمپوستر از سوی نهادهای ذی‌نفع
نبود انگیزه برای تولید کمپوست به دلیل عدم حمایت دولت، چراکه در شرایط اقتصادی فعلی نمی‌توان مردم را ملزم به پرداخت هزینه برای تأمین تجهیزات مورد نیاز برای تولید کمپوست کرد.	حمایت دولت از بخش خانگی که در شرایط اقتصادی فعلی متحمل هزینهٔ اضافه نشوند
با توجه به هزینه‌بر بودن خرید دستگاه‌های کمپوستر با ظرفیت کمتر به‌صرفه‌تر است که از دستگاه‌ها با ظرفیت بیشتر و به صورت مشارکتی استفاده شود، ولی به دلیل پایین بودن سطح روحیهٔ کار مشارکتی در بین مردم معمولاً پروژه‌های مشارکتی محدود است.	ایجاد حس مسئولیت اجتماعی و روحیهٔ کار مشارکتی در بین مردم
فراهم کردن بستر لازم برای استفاده از کمپوست تولیدی در بخش کشاورزی	لزوم تأمین بازار برای کمپوست تولیدی
الزامات قانونی برای استفاده از این فناوری در اماکن خاص، به‌عنوان مثال در ترمینال‌ها، رستوران‌ها، هتل‌ها و مدارس که امکان کنترل و نظارت بیشتری وجود دارد	الزامات قانونی در اماکن خاص برای به‌کارگیری این فناوری

بعد از انجام عملیات اولیهٔ کدگذاری باز، در مرحله دوم کدگذاری ۳ مقوله استخراج شد که در جدول ۳ـ ۶ به تفکیک کدها و مفاهیم اولیه آورده شده‌اند.

جدول ۳ـ ۶. مقوله‌های مربوط به الزامات اجرا و توسعهٔ فناوری کمپوستر در شهر تهران

مقوله‌ها	مفاهیم
الزامات قانونی	حمایت مالی از واحدهای تولیدکنندهٔ کمپوست از پسماندهای آلی فسادپذیر از سوی نهادهای ذی‌ربط به‌منظور ثبات و پایداری این واحدها، همکاری و مشارکت سازمان های ذی‌ربط با یکدیگر در جهت توسعه تولید کمپوست و استفاده از آن در بخش کشاورزی و فضای سبز شهری، مدیریت تعاملات میان سازمان‌ها، مشارکت گروه‌های ذی‌نفع اصلی در توسعهٔ فناوری کمپوستر، الزامات قانونی در اماکن خاص برای به‌کارگیری این فناوری.
بسترسازی	آموزش و آگاه‌سازی مردم در خصوص لزوم مشارکت آن‌ها در فرایند مدیریت پسماند و اهمیت این همکاری، فرهنگ‌سازی در جامعه در خصوص تفکیک پسماند و عدم تولید پسماند مخلوط، ایجاد حس مسئولیت اجتماعی در شهروندان با تبلیغات گسترده، آموزش و فرهنگ‌سازی برای تغییر عادت‌های رفتاری مردم، اطلاع‌رسانی و تبلیغات به منظور معرفی فناوری کمپوستر، لزوم به‌دست آوردن حمایت از جامعه علمی، چرا که مطالعات در این حوزه بسیار محدود است، اولویت دادن به آموزش در مدارس و سرمایه‌گذاری روی نسل آینده.
الزامات زیرساختی	تجهیزات و تأسیسات تولید کمپوست که بومی‌سازی شده و مورد پذیرش عموم مردم باشد، برنامه‌ریزی دقیق و داشتن تفکر سیستمی قبل از اجرای هر پروژه مدیریت پسماند به منظور بررسی همهٔ جوانب پروژه، لزوم برنامه‌ریزی دقیق برای مدیریت پسماند آلی فسادپذیر به صورت غیرمتمرکز و تبدیل آن به کمپوست در مجاورت محل‌های تولیدکنندهٔ این پسماندها برای حفظ کیفیت کمپوست و جلوگیری از هزینه‌های مستقیم و غیر مستقیم جابه‌جایی این نوع پسماند، نحوه تأمین سرمایه مورد نیاز برای خرید دستگاه کمپوستر، مشخص کردن هدف از تولید کمپوست و موارد استفاده از کمپوست تولیدی، برنامه‌ریزی دقیق برای چگونگی حمایت از واحدهای کوچک تولیدکنندهٔ کمپوست برای رسیدن به پایداری مالی، تربیت نیروی آموزش‌دیده و متخصص برای ارائه مشاوره به مردم، بازدید مداوم از واحدهای تولیدکنندهٔ کمپوست برای اطمینان از روند صحیح فرایند و کنترل کیفی کمپوست تولیدشده، اطمینان از شیوهٔ تأمین بستر آلی مورد نیاز برای فرایند تولید کمپوست، تأمین بازار فروش کمپوست تولیدی با فراهم کردن بستر مناسب برای استفاده از کمپوست در بخش کشاورزی و توسعهٔ فضای سبز شهری، اطمینان از کیفیت و ایمن بودن کمپوست تولید شده و سازگار بودن با خاک منطقه‌ای که مورد استفاده قرار می‌گیرد. لزوم توجه به مواد اولیه‌ای که برای تولید کمپوست استفاده می‌شوند و محدود کردن تولید کمپوست از پسماند جامد شهری به‌دلیل وجود آلاینده‌های شیمیایی.

مرحلهٔ کدگذاری محوری مربوط به الزامات به‌کارگیری فناوری کمپوستر ۳ مقوله استخراج شد. در اینجا به‌اختصار به هر یک از مقولات در قالب کدگذاری محوری پرداخته می‌شود.

۳ـ ۴ـ ۱. الزامات قانونی

پایه و اساس استقرار صحیح استانداردهای مورد نیاز در هر زمینه‌ای شناسایی و پیاده‌سازی کامل الزامات قانونی مرتبط با آن زمینه است. الزامات قانونی دستورالعمل‌ها و قوانین و مقرراتی هستند که توسط سازمان‌های قانون‌گذار ملی و محلی تعریف و تدوین می‌شوند. پیش از آغاز فعالیت‌های مربوط به توسعهٔ فناوری کمپوستر باید از سوی سازمان‌های ذی‌ربط قوانین و ضوابطی تدوین شود. به‌عنوان مثال در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری‌های دولتی باید قوانینی برای پشتیبانی و حمایت از اجرا و توسعهٔ این فناوری تدوین شده و بودجه و تسهیلات مورد نیاز نیز تعریف شود. از سوی دیگر، قوانین مشخص و دقیقی نیز برای گروه‌های هدف که این فناوری در اختیارشان قرار می‌گیرد و به این منظور تسهیلات خاصی را دریافت می‌کنند تدوین شود تا از این طریق بتوان به اهداف تعریف شده دست یافت و از شکست پروژه و اتلاف هزینه جلوگیری کرد.

۳ـ ۴ـ ۲. بسترسازی

مقصود از «بسترسازی» فراهم کردن زمینهٔ مناسب برای اجرای طرح یا پروژه است. یکی از الزامات اساسی در اجرای طرح‌ها و پروژه‌های اجتماعی، وجود حمایت و مشارکت مردمی در اجرای برنامه‌ها از نخستین تا واپسین مراحل است. حمایت مردمی در اجرای پروژه‌ها به‌نوعی محرک و پشتوانه‌ای برای رسیدن به نتایج قابل قبول و تکرار موفقیت در زمینه‌های مشابه است. مردم باید نسبت به ماهیت و اهداف طرح‌ها آگاهی و شناخت کافی داشته و همچنین، نسبت به مثبت بودن نتایج اقدامات و نیز قابلیت اجرای طرح‌ها توجیه شوند. آموزش، فرهنگ‌سازی و انجام تبلیغات از طریق رسانه‌های مختلف از جمله اقدامات مؤثری است که می‌تواند به آگاهی و افزایش دانش شهروندان و ترغیب و تشویق آنان به انجام مشارکت منجر شود. در ارتباط با به‌کارگیری فناوری کمپوستر می‌توان با ارائهٔ آموزش‌های لازم در خصوص لزوم مشارکت مردم در مدیریت پسماند و لزوم بازیافت پسماند تر فسادپذیر در محل تولید، شهروندان را به مشارکت در فرایند تولید کمپوست و به‌کارگیری فناوری کمپوستر خانگی تشویق کرد.

۳ـ ۴ـ ۳. الزامات زیرساختی

زیرساخت به مجموعه امکانات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری گفته می‌شود که بدون وجود آن‌ها نمی‌توان خدمات، کالا و یا به‌طور کلی محصول باکیفیتی را عرضه و یا ارائه کرد. وجود زیرساخت مناسب در هر زمینه‌ای سبب می‌شود تا محصول ارائه‌شده روی آن بستر، از بهره‌وری بالاتری برخوردار شود. برای توسعهٔ فناوری کمپوستر نیز نیاز است زیرساخت‌های مناسب مورد نیاز فراهم شود. به‌عنوان مثال، تجهیزات و تأسیسات تولید کمپوست که بومی‌سازی شده و مورد پذیرش عموم مردم باشد، تربیت نیروی آموزش دیده و متخصص برای ارائه مشاوره به مردم، بازدید مداوم از واحدهای تولیدکنندهٔ کمپوست برای اطمینان از روند صحیح فرایند و کنترل کیفی کمپوست تولید شده و آموزش افراد در خصوص نحوه استفاده و مواردی که باید برای تکمیل فرایند کمپوست‌سازی رعایت کنند از زیرساخت‌های توسعهٔ فناوری کمپوستر محسوب می‌شود.

۳ـ ٤. جمع‌بندی

این بخش با هدف امکان‌سنجی اجرا و توسعهٔ فناوری کمپوستر در شهر تهران صورت پذیرفت. ابتدا قوت‌ها و فرصت‌های توسعهٔ فناوری کمپوستر در شهر تهران بررسی شد، چرا که شناسایی قوت‌ها و تقویت آن‌ها، امکان برنامه‌ریزی واقع‌بینانه برای توسعه این فناوری را فراهم خواهد کرد. همچنین، شناسایی فرصت‌ها سبب می‌شود که فناوری کمپوستر با بهره‌گیری از فرصت‌های پیش رو بتواند در راستای بهره‌وری و موفقیت هر چه بیشتر عمل کند و قادر به بقا و تداوم کار خود باشد. در این بخش، با طبقه‌بندی مفاهیم، ۵ مقوله عمده شامل مدیریت بهینهٔ پسماند جامد شهری و توسعهٔ اقتصادی، مدیریت یکپارچه مواد مغذی و توسعهٔ کشاورزی ارگانیک و پایدار، توسعهٔ کشاورزی شهری و فضای سبز شهری، کاهش معضلات زیست‌محیطی و بهبود آگاهی اجتماعی و مسئولیت‌پذیری اجتماعی شهروندان به‌دست آمد که نشان‌دهندهٔ فرصت‌هایی است که توسعهٔ فناوری کمپوستر به‌همراه خواهد داشت. از طرفی، مشخص کردن ضعف‌های فناوری کمپوستر از آن نظر حائز اهمیت است که می‌توان برای برطرف کردن موانع موجود بر سر راه توسعهٔ این فناوری، اقدامات مناسب را به‌عمل آورده و با تعدیل این موانع، کارآیی این فناوری را افزایش داده و در نتیجه منجر به توان تولید بالا شد. ضمن اینکه شناسایی تهدیدهای موجود در زمینه فناوری کمپوستر از این نظر حائز اهمیت است که موجب انجام اقدامات پیشگیرانه برای جلوگیری از بروز این تهدیدها خواهد شد. در این بخش موانع و محدودیت‌های توسعهٔ فناوری کمپوستر در شهر تهران در قالب دو مقولهٔ عمده طبقه‌بندی شدند که شامل موانع و مشکلاتی است که ابتدا مانع از به‌کارگیری فناوری کمپوستر می‌شوند که مهم‌ترین آن‌ها از نظر کارشناسان، نبود درک مشترک و اجماع نظر در خصوص به‌کارگیری این فناوری در فرایند مدیریت پسماند شهر تهران در بین مسئولان است. همچنین، موانع و مشکلاتی که مانع از پایداری فعالیت افراد و واحدهای تولیدکنندهٔ کمپوست می‌شوند که به‌زعم مصاحبه‌شوندگان نبود ثبات مالی و نبود انگیزه به‌علت عدم پشتیبانی و پیگیری شرایط این واحدها توسط سازمان‌های دولتی از دلایل اصلی ناپایداری این واحدها است. در پایان این بخش نیز الزامات توسعهٔ فناوری کمپوستر در شهر تهران مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این بخش در قالب سه مقوله عمده تحت عنوان الزامات قانونی، بسترسازی و الزامات زیرساختی طبقه‌بندی شد. الزامات قانونی شامل فراهم‌سازی شرایط حقوقی است که طی آن وظایف و مسئولیت‌های تمام افراد و سازمان‌های درگیر در اجرای طرح‌ها به‌وضوح مشخص شده است. افراد مورد مصاحبه در رابطه با الزامات قانونی به‌لزوم حمایت مالی دولت و سازمان‌های ذی‌ربط برای توسعهٔ این فناوری و تدوین قوانین مشخص برای الزام برخی از اماکن در به‌کارگیری این فناوری تأکید داشتند. همان‌طور که پیش‌تر نیز اشاره شد، منظور از بسترسازی، فراهم کردن زمینه‌های مناسب برای شروع هر کاری است. به‌زعم افراد مورد مصاحبه برای توسعهٔ فناوری کمپوستر در شهر تهران، این بسترسازی‌ها شامل تشویق و ترغیب شهروندان به مشارکت از طریق فرهنگ‌سازی، آموزش و تبلیغات گسترده است. در این بخش همچنین زیرساخت‌های مورد نیاز برای توسعهٔ فناوری کمپوستر نیز شناسایی شد که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از: تجهیزات و تأسیسات مناسب برای تولید کمپوست که بومی‌سازی شده و مورد پذیرش عموم مردم باشد، تربیت نیروی آموزش دیده و متخصص برای ارائهٔ مشاوره به مردم، بازدید مداوم از واحدهای تولیدکننده کمپوست برای اطمینان از روند صحیح فرایند و کنترل کیفی کمپوست تولید شده و آموزش افراد در خصوص نحوه استفاده و مواردی که باید برای تکمیل فرایند کمپوست‌سازی رعایت کنند.

بخش چهارم: امکان‌سنجی اقتصادی به‌کارگیری فناوری کمپوستر

٤ـ ١. مقدمه

در این فاز از پژوهش با این هدف که برای ترویج استفاده از فناوری کمپوستر در بین مردم ابتدا باید یک توجیه اقتصادی برای انجام آن ارائه داد تا که بتوان با استفاده از این توجیه اقتصادی به آن‌ها اطمینان داد که با به‌کارگیری این فناوری، سود و صرفهٔ اقتصادی عایدشان می‌شود، با استفاده از روش تحلیل هزینه‌ـ فایده[1]، مزیت نسبی یک پروژه به‌کارگیری فناوری کمپوستر با ظرفیت پردازش روزانه یک هزار کیلوگرم پسماند تر در یک مجتمع مسکونی با جمعیت ۲ هزار نفری در شهر تهران ارزیابی شد.

٤ـ ٢. روش تحلیل هزینه‌ـ فایده

تحلیل هزینه‌ـ فایده روشی برای ارزیابی مزیت نسبی پروژه‌های سرمایه‌گذاری برحسب تخصیص بهینه و کارآمد منابع است. هدف تحلیل هزینه‌ـ فایده بهبود کارایی منابع در جهت رفاه اقتصادی است. به‌عبارت دیگر هدف از ارزیابی، کمک به انتخاب بهترین نوع تصمیم‌گیری برای استفاده بهینه و مطلوب از منابع است (Weick, 1993). تحلیل هزینه‌ـ فایده را می‌توان نسبت سودهای تنزیل‌شده به هزینه‌های تنزیل‌شده در یک سرمایه‌گذاری با ارجاع به یک لحظه زمانی معین تعریف کرد. چون زمان حال نقطهٔ زمانی مناسبی برای ارجاع است، تحلیل هزینه‌ـ فایده را اغلب برمبنای ارزش فعلی سودها و ارزش فعلی هزینه‌ها محاسبه می‌کنند. این روش تحلیلی کمک می‌کند تا تصمیم مناسب برای ایجاد حداکثر منافع در مقابل حداقل هزینه مشخص شود. شایان یادآوری است تحلیل هزینه‌ـ فایده نمی‌تواند مبنای تصمیم‌گیری باشد، اما می‌توان از آن به‌عنوان یک ابزار کمکی ارزشمند در سیاست‌گذاری‌ها بهره برد. شاخص‌های مالی مورد استفاده به‌منظور بررسی توجیه اقتصادی این طرح شامل ارزش خالص فعلی[2] (NPV)، بازگشت سرمایه[3]، نرخ بازده داخلی[4] (IRR) و شاخص سودآوری[5] (PI) است.

۴ـ ۲ـ ۱. روش محاسبهٔ بازگشت سرمایه[6]

در روش دوره برگشت سرمایه، مدت زمانی مورد محاسبه قرار می‌گیرد که طی آن، سود خالص حاصل از اجرای طرح، کل هزینه سرمایه‌گذاری را جبران کند. بنابراین، دورهٔ برگشت برابر با تعداد سال‌هایی است که طی آن، کل سود به‌دست‌آمده با مقدار سرمایه‌گذاری برابر می‌شود. باید توجه داشت که نمی‌توان سودآوری مالی را براساس روش دورهٔ برگشت سرمایه‌گذاری تعیین کرد، زیرا این ضابطه به سودآوری ارتباطی نداشته و فقط بیانگر مدت برگشت سرمایه‌گذاری است.

1. Cost- Benefit Analysis
2. Net Present Value
3. Payback Period
4. Internal Rate of Return
5. Profitability Index
6. Payback Period Method

۴ـ ۲ـ ۲. شاخص ارزش خالص فعلی (NPV)

یکی از شاخص‌های مهم ارزیابی طرح‌ها و پروژه‌ها، روش ارزش خالص فعلی است که به‌منظور ارزیابی اقتصادی مورد استفاده قرار می‌گیرد. عملکرد این تابع بدین صورت است که این شاخص براساس فایده خالص تفاضلی یا جریان نقدی تفاضلی محاسبه می‌شود. در صورت مثبت بودن ارزش خالص فعلی، پروژه سودده بوده و سرمایه‌گذار می‌تواند با بررسی سایر فاکتورها از جمله ریسک پروژه در آن سرمایه‌گذاری کند، ولی در صورت منفی شدن آن، پروژه زیان‌ده بوده و برای سرمایه‌گذاری مناسب نیست.

۴ـ ۲ـ ۳. نرخ بازده داخلی (IRR)

نرخ بازده داخلی یک معیار بسیار مهم در علوم مالی برای سنجش جنبه‌های ارزش‌گذاری و بررسی کیفیت مالی پروژه‌ها، یا هر سرمایه‌گذاری دارای جریانات نقدی منظم است. در واقع نرخی است که ارزش جریان‌های نقدی ورودی و خروجی را برابر هم قرار می‌دهد. به‌عبارت دیگر IRR نرخی است که در آن NPV پروژه برابر صفر خواهد شد. به‌عبارت دیگر، درآمدهای تنزیل‌شده طی دورهٔ بازگشت سرمایه با هزینه‌های تنزیل شده در همین دوره برابر قرار داده شده و بر این اساس، میزان بازگشت نامعلوم، تعیین می‌شود. اگر این میزان بازگشت از نرخ بهره بانکی (در ایران ۲۰ درصد) بیشتر باشد، طرح سودآور و قابل اجرا بوده و اگر میزان بازگشت محاسبه‌شده کمتر از نرخ بهره واقعی باشد، طرح زیان‌ده و غیرقابل اجرا است.

۴ـ ۲ـ ۴. شاخص سودآوری (PI)

شاخص سودآوری یا شاخص سوددهی یک طرح سرمایه‌گذاری، نرخی است که از تقسیم ارزش خالص فعلی جریان‌های نقدی ورودی بر ارزش فعلی هزینه سرمایه‌گذاری به‌دست می‌آید. شاخص سودآوری یا PI ارتباط بین هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عواید آتی طرح را نشان می‌دهد.

٤ـ ۳. اطلاعات اولیه

۴ـ ۳ـ ۱. نوع دستگاه کمپوستر و مشخصات فنی آن

در این پژوهش توجیه اقتصادی پروژه بر مبنای دستگاه کمپوستر استارکلین مدل ABC- ۱۰۰۰ ارزیابی شد که در ادامه، تصویر و مشخصات آن ارائه می‌شود.

شکل ۴ـ ۱. دستگاه کمپوستر استارکلین 1000 -ABC

جدول ۴ـ ۱. مشخصات فنی دستگاه کمپوستر استارکلین مدل 1000 -ABC

مدل		1000 -ABC
ظرفیت پردازش روزانه		۱۰۰۰ کیلوگرم
روش فرایند		روش تجزیهٔ اسیدول کمپوستینگ (دمای زیاد و تجزیه اسیدی از طریق باکتری‌های خاکی)
مکان نصب		در فضای باز یا بسته
ابعاد	طول	۴،۵۹۰ میلی‌متر
	عرض	۱،۷۹۰ میلی‌متر
	ارتفاع	۲،۶۰۰ میلی‌متر
وزن		۶،۵۰۰ کیلوگرم
قدرت برق		سه فازـ ۳۸۰ ولت
مصرف برق		۲۸ کیلو وات ساعت
سیستم بوگیر		روش بوزدایی میکروبی کمپلکس
لوازم جانبی		کیسه‌های باکتری، بالابر

۴ـ ۳ـ ۲. کل پسماند خروجی مجتمع به تفکیک

کل پسماند خروجی مجتمع، اجزای مختلف آن و میزان کود تولیدی در صورت نصب دستگاه کمپوستر در جدول ۴ـ ۲ ارائه شده است.

جدول ۴ـ ۲. کل پسماند خروجی مجتمع، اجزاء مختلف آن و میزان کود تولیدی در صورت نصب دستگاه کمپوستر

	پسماند خروجی مجتمع مسکونی (کیلوگرم) *	۳۰ درصد پسماند خشک ارزشمند (کیلوگرم)	۱۰ درصد زائدات	۶۰ درصد پسماند تر (کیلوگرم)	کود حاصله (کیلوگرم)*
روز	۱،۸۰۰	۵۴۰	۱۸۰	۱،۰۸۰	۲۵۰
ماه	۵۴،۰۰۰	۱۶،۴۷۰	۵۴۹۰	۳۲،۹۴۰	۷،۶۲۵
سال	۶۵۷،۰۰۰	۱۹۷،۶۴۰	۶۵۸۸۰	۳۹۵،۲۸۰	۹۱،۵۰۰

* سرانهٔ تولید پسماند در شهر تهران ۹۰۰ گرم در روز، در نظر گرفته شده است.

* نسبت کود حاصل از پسماند تر بین ۲۰ تا ۲۵ درصد برآورد میگردد.

۴ـ ۳ـ ۳. قیمت فروش کود تولیدی و پسماند خشک مجتمع

قیمت فروش محصولات تولیدی براساس قیمت‌های قابل رقابت در شرایط فعلی بازار و با افزایش ۱۵ درصد در سال‌های آتی در نظر گرفته شده است.

جدول ۴ـ ۳. درآمد ناشی از فروش پسماند خشک و کود حاصله

	پسماند خشک (هر کیلوگرم ۳۰،۰۰۰ ریال)	فروش کود (هر کیلوگرم ۲۰،۰۰۰ ریال)	جمع کل درآمد به ریال (پسماندخشک+ کود)
روز	۱۶،۲۰۰،۰۰۰	۵،۰۰۰،۰۰۰	۲۱،۲۰۰،۰۰۰
ماه	۴۹۴،۱۰۰،۰۰۰	۱۵۲،۵۰۰،۰۰۰	۶۴۶،۶۰۰،۰۰۰
سال	۵،۹۲۹،۲۰۰،۰۰۰	۱،۸۳۰،۰۰۰،۰۰۰	۷،۷۵۹،۲۰۰،۰۰۰

* میزان رشد سالانه فروش محصول در طرح ۱۵ درصد در نظر گرفته شده و با این فرض که قیمت فروش محصول ۱۵ درصد تغییر کند توجیه اقتصادی طرح بررسی شده است.

۴ـ ۳ـ ۴. برآورد هزینه‌های انرژی مصرفی

هزینه‌های برق مصرفی دستگاه به‌شرح زیر محاسبه شده است.

جدول ۴ـ ۴. برآورد هزینه‌های برق مصرفی دستگاه

	متوسط انرژی مصرفی (کیلو وات ساعت)	قیمت پایه هر کیلو وات ساعت (ریال)*	هزینه کل (ریال)
روز	۳۳۶	۴،۰۲۰	۱،۳۵۰،۷۲۰
ماه	۱۰،۲۴۸	۴،۰۲۰	۴۱،۱۹۶،۹۶۰
سال	۱۲۲،۹۷۶	۴،۰۲۰	۴۹۴،۳۶۳،۵۲۰

* تعرفهٔ مناطق عادی، برای متوسط انرژی مصرفی بالای ۶۰۰ کیلو وات ساعت در ماه

* میزان رشد سالانهٔ هزینهٔ انرژی مصرفی در طرح ۱۰ درصد در نظر گرفته شده است و با این فرض که قیمت انرژی مصرفی ۱۰ درصد تغییر کند توجیه اقتصادی طرح بررسی شده است.

۴ـ ۳ـ ۵. سرمایه‌گذاری مورد نیاز و منابع تأمین آن

سرمایه‌گذاری مورد نیاز و منابع تأمین آن به‌شرح زیر است:

جدول ۴ـ ۵. هزینهٔ اولیهٔ خرید دستگاه کمپوستر و شیوهٔ پرداخت آن

هزینهٔ خرید و نصب دستگاه کمپوستر با ظرفیت پردازش ۱۰۰۰ کیلوگرم در روز (ریال)	
۲۲،۵۰۰،۰۰۰،۰۰۰	
۸۰ درصد تسهیلات با نرخ بهره ۱۰ درصد با شرایط بازپرداخت ۳۰ ماهه و تنفس ۶ ماهه*	۲۰ درصد نقد (ریال)
۱۸،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰	۴،۵۰۰،۰۰۰،۰۰۰

* برای خرید دستگاه‌های کمپوستر با هزینه بیش از ۵،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ ریال، توسط صندوق ملی محیط زیست تسهیلات با نرخ بهره ۱۰ درصد تا ۸۰ درصد مبلغ خرید دستگاه، پرداخت می‌شود.

۴ـ ۳ـ ۶. هزینهٔ مواد اولیه مصرفی

مقدار مواد اولیهٔ مصرفی با توجه به مصرف استاندارد و نرخ مواد اولیه مصرفی، مطابق قرارداد با شرکت تأمین‌کنندهٔ این مواد به این صورت است. مواد اولیه که همان میکروارگانیسم‌های مورد نیاز برای تکمیل فرایند کمپوست‌سازی است در صورت مصرف استاندارد تا سه سال به‌همراه دستگاه تأمین شده و پس از آن هر سال ۲۰ بسته ۲ لیتری نیاز است که هزینهٔ هر بسته در زمان تدوین این گزارش ۱،۵۰۰،۰۰۰ ریال بوده است. همچنین، برای هر سال ۱۰ درصد نرخ رشد هزینه تعریف شده است.

۴ـ ۳ـ ۷. هزینهٔ تعمیر و نگهداری

در اولین سال بهره‌برداری برای ماشین‌آلات و تجهیزات معادل ۲ درصد بهای تمام شده آن‌ها و در سال‌های بعد یک درصد افزایش در هر سال در نظر گرفته شده است.

۴ـ ۳ـ ۸. حقوق و دستمزد

در این پروژه با توجه به اینکه برای پردازش پسماندها به یک دستگاه کمپوستر نیاز است، بنابراینف برای اپراتور دستگاه می‌توان از سرایدار یا نفرات خدماتی مجتمع استفاده کرد.

٤ـ ٤. شاخص‌های اقتصادی طرح

به‌منظور بررسی توجیه اقتصادی طرح، از شاخص‌های مالی ارزش خالص فعلی (NPV)، بازگشت سرمایه و نرخ بازده داخلی (IRR) استفاده شد.

جدول ۴ـ ۶. اطلاعات اولیه برای محاسبهٔ شاخص‌های مالی طرح

اطلاعات اولیه برای محاسبهٔ شاخص‌های مالی			
٪۱۰	نرخ تنزیل	۲۲،۵۰۰،۰۰۰،۰۰۰	مبلغ سرمایه‌گذاری اولیه (ریال)
٪۱۰	نرخ رشد هزینه	۹۱،۵۰۰	مقدار فروش سال اول کود کیلوگرم
٪۱۵	نرخ رشد قیمت	۲۰،۰۰۰	قیمت سال اول فروش کود
٪۲	تعمیر و نگهداری ماشین‌آلات	۱۹۷،۶۴۰	مقدار فروش پسماند خشک سال اول
		۳۰،۰۰۰	قیمت سال اول پسماند خشک
		۱۲۲،۹۷۶	میزان برق مصرفی سالانه (کیلو وات ساعت)
		۴،۰۲۰	هزینه برق مصرفی، هر کیلو وات ساعت (ریال)

۴ـ ۴ـ ۱. صورت جریان‌های نقدی برای ۱۰ سال آتی

جدول ۴ـ ۷. صورت جریانات نقدی برای ۱۰ سال آتی

موارد محاسبه‌ای / سال‌ها	سال ۱	سال ۲	سال ۳	سال ۴	سال ۵
مقادیر فروش کود (کیلوگرم)	۹۱،۵۰۰	۹۱،۵۰۰	۹۱،۵۰۰	۹۱،۵۰۰	۹۱،۵۰۰
قیمت هر واحد محصول کود (ریال)	۲۰،۰۰۰	۲۳،۰۰۰	۲۶،۴۵۰	۳۰،۴۱۸	۳۴،۹۸۰
درآمد فروش کود (ریال)	۱،۸۳۰،۰۰۰،۰۰۰	۲،۱۰۴،۵۰۰،۰۰۰	۲،۴۲۰،۱۷۵،۰۰۰	۲،۷۸۳،۲۰۱،۲۵۰	۳،۲۰۰،۶۸۱،۴۳۸
مقادیر فروش پسماند خشک (کیلوگرم)	۱۹۷،۶۴۰	۱۹۷،۶۴۰	۱۹۷،۶۴۰	۱۹۷،۶۴۰	۱۹۷،۶۴۰
قیمت پسماند خشک (ریال)	۳۰،۰۰۰	۳۴،۵۰۰	۳۹،۶۷۵	۴۵،۶۲۶	۵۲،۴۷۰
درآمد فروش پسماند خشک (ریال)	۵،۹۲۹،۲۰۰،۰۰۰	۶،۸۱۸،۵۸۰،۰۰۰	۷،۸۴۱،۳۶۷،۰۰۰	۹،۰۱۷،۵۲۲،۶۴۰	۱۰،۳۷۰،۱۷۰،۸۰۰
تسهیلات	۱۸،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰	-	-	-	-
جمع ورودی‌ها	۲۵,۷۵۹,۲۰۰,۰۰۰	۸،۹۲۳،۰۸۰،۰۰۰	۱۰،۲۶۱،۵۴۲،۰۰۰	۱۱،۸۰۰،۷۲۳،۸۹۰	۱۳،۵۷۰،۸۵۲،۲۳۸
پرداخت اصل تسهیلات	۳،۶۰۰،۰۰۰،۶۰۰	۷،۱۹۹،۹۹۹،۷۰۰	۷،۱۹۹،۹۹۹،۷۰۰	-	-
پرداخت فرع تسهیلات	۴۸۳،۶۳۲،۲۹۸	۹۶۷،۲۶۴،۵۹۶	۹۶۷،۲۶۴،۵۹۶	-	-
هزینه برق مصرفی به ازای هر KW	۴،۰۲۰	۴،۴۲۲	۴،۸۶۴	۵،۳۵۰	۵،۸۸۵
هزینه برق مصرفی (ریال)	۴۹۴،۳۶۳،۵۲۰	۵۴۳،۷۹۹،۸۷۲	۵۹۸،۱۵۵،۲۶۴	۶۵۷،۹۲۱،۶۰۰	۷۲۳،۷۱۳،۷۶۰
هزینه تعمیر و نگهداری	۴۵۰،۰۰۰،۰۰۰	۴۵۴،۵۰۰،۰۰۰	۴۵۹،۰۴۵،۰۰۰	۴۶۳،۶۳۵،۴۵۰	۴۶۸،۲۷۱،۸۰۵
هزینه مواد مصرفی	-	-	-	۳۰،۰۰۰،۰۰۰	۳۳،۰۰۰،۰۰۰
جمع خروجی‌ها	۵،۰۲۷،۹۹۶،۴۱۸	۹،۱۶۵،۵۶۴،۱۶۸	۹،۲۲۴،۴۶۴،۵۶۰	۱،۱۵۱،۵۵۷،۰۵۰	۱۲۲۴۹۸۵۵۶۵
سود (خالص جریانات نقدی)یا cf	۲۰،۷۳۱،۲۰۳،۵۸۲	(۲۴۲،۴۸۴،۱۶۸)	۱،۰۳۷،۰۷۷،۴۴۰	۱۰،۶۴۹،۱۶۶،۸۴۰	۱۲،۳۴۵،۸۶۶،۶۷۳
خالص جریان نقدی تجمعی	۲۰،۷۳۱،۲۰۳،۵۸۲	۲۰،۴۸۸،۷۱۹،۴۱۴	۲۱،۵۲۵،۷۹۶،۸۵۴	۳۲،۱۷۴،۹۶۳،۶۹۴	۴۴،۵۲۰،۸۳۰،۳۶۷
خالص ارزش فعلی	۱۸،۸۴۶،۵۴۸،۷۱۱	(۲۰۰،۴۰۰،۱۳۹)	۷۷۹،۱۷۱،۶۳۰	۷،۲۷۳،۵۲۴،۲۴۰	۷،۶۶۵،۸۱۱،۸۶۹
خالص ارزش فعلی تجمعی	۱۸،۸۴۶،۵۴۸،۷۱۱	۱۸،۶۴۶،۱۴۸،۵۷۲	۱۹،۴۲۵،۳۲۰،۲۰۳	۲۶،۶۹۸،۸۴۴،۴۴۳	۳۴،۳۶۴،۶۵۶،۳۱۱

موارد محاسبه‌ای / سال‌ها	سال ۶	سال ۷	سال ۸	سال ۹	سال ۱۰
مقادیر فروش کود (کیلوگرم)	۹۱،۵۰۰	۹۱،۵۰۰	۹۱،۵۰۰	۹۱،۵۰۰	۹۱،۵۰۰
قیمت هر واحد محصول کود (ریال)	۴۰،۲۲۷	۴۶،۲۶۱	۵۳،۲۰۰	۶۱،۱۸۰	۷۰،۳۵۸
درآمد فروش کود (ریال)	۳،۶۸۰،۷۸۳،۶۵۳	۴،۲۳۲،۹۰۱،۲۰۱	۴،۸۶۷،۸۳۶،۳۸۱	۵،۵۹۸،۰۱۱،۳۸	۶،۴۳۷،۷۱۳،۶۱۴
مقادیر فروش پسماند خشک (کیلوگرم)	۱۹۷،۶۴۰	۱۹۷،۶۴۰	۱۹۷،۶۴۰	۱۹۷،۶۴۰	۱۹۷،۶۴۰
قیمت پسماند خشک (ریال)	۶۰،۳۴۰	۶۹،۳۹۱	۷۹،۸۰۰	۹۱،۷۷۰	۱۰۵،۵۳۵
درآمد فروش پسماند خشک (ریال)	۱۱،۹۲۵،۵۹۷،۶۰۰	۱۳،۷۱۴،۴۳۷،۲۴۰	۱۵،۷۷۱،۶۷۲،۰۰۰	۱۸،۱۳۷،۴۲۲،۸۰۰	۵۰،۸۵۷،۹۳۷،۴۰۰
تسهیلات	-	-	-	-	-
جمع ورودی‌ها	۱۵،۶۰۶،۳۸۱،۲۵۳	۱۷،۹۴۷،۳۳۸،۴۴۱	۲۰،۶۳۹،۵۰۸،۳۸۱	۲۳،۷۳۵،۴۳۴،۶۳۸	۲۷،۲۹۵،۶۵۱،۰۱۴
پرداخت اصل تسهیلات	-	-	-	-	-
پرداخت فرع تسهیلات	-	-	-	-	-
هزینهٔ برق مصرفی به ازای هر KW	۶،۴۷۴	۵،۸۸۵	۷،۱۲۱	۷،۸۳۳	۸،۶۱۷
هزینهٔ برق مصرفی (ریال)	۷۹۶،۱۴۶،۶۲۴	۸۷۵،۷۱۲،۰۹۶	۹۶۳،۲۷۱،۰۰۸	۱،۰۵۹،۶۸۴،۱۹۲	۱،۱۶۵،۵۶۶،۵۲۸
هزینهٔ تعمیر و نگهداری	۴۷۲،۹۵۴،۵۲۲	۴۷۷،۶۸۴،۰۶۷	۴۸۲،۴۶۰،۹۰۸	۴۸۷،۲۸۵،۵۱۷	۴۹۲،۱۵۸،۳۷۲
هزینهٔ مواد مصرفی	۳۶،۳۰۰،۰۰۰	۳۹،۹۳۰،۰۰۰	۴۳،۹۲۳،۰۰۰	۴۸،۳۱۵،۳۰۰	۵۳،۱۴۶،۸۳۰
جمع خروجی‌ها	۱،۳۰۵،۴۰۱،۱۴۶	۱،۳۹۳،۳۲۶،۱۶۳	۱،۴۸۹،۶۵۴،۹۱۶	۱،۵۹۵،۲۸۵،۰۰۹	۱،۷۱۰،۸۷۱،۷۳۰
سود (خالص جریانات نقدی)یا **cf**	۱۴،۳۰۰،۹۸۰،۱۰۷	۱۶،۵۵۴،۰۱۲،۲۷۸	۱۹،۱۴۹،۸۵۳،۴۶۵	۲۲،۱۴۰،۱۴۹،۶۲۹	۲۵،۵۸۴،۷۷۹،۲۸۴
خالص جریان نقدی تجمعی	۵۸،۸۲۱،۸۱۰،۴۷۴	۷۵،۳۷۵،۸۲۲،۷۵۲	۹۴،۵۲۵،۶۷۶،۲۱۷	۱۱۶،۶۶۵،۸۲۵،۸۴۶	۱۴۲،۲۵۰،۶۰۵،۱۳۱
خالص ارزش فعلی	۸،۰۷۲،۵۳۰،۴۴۵	۸،۴۹۴،۸۲۵،۷۹۰	۸،۹۳۳،۵۴۷،۹۷۱	۹،۳۸۹،۵۸۴،۷۲۸	۹،۸۶۴،۰۳۹،۹۶۵
خالص ارزش فعلی تجمعی	۴۲،۴۳۷،۱۸۶،۷۵۶	۵۰،۹۳۲،۰۱۲،۵۴۶	۵۹،۸۶۵،۵۶۰،۵۱۷	۶۹،۲۵۵،۱۴۵،۲۴۵	۷۹،۱۱۹،۱۸۵،۲۱۰

۴ـ ۴ـ ۲. شاخص‌های اقتصادی طرح

شاخص‌های مالی مورد استفاده به‌منظور بررسی توجیه اقتصادی این طرح شامل، ارزش خالص فعلی (NPV)، بازگشت سرمایه، نرخ بازده داخلی (IRR) و شاخص سودآوری (PI) است.

جدول ۴ـ ۸. شاخص‌های مالی طرح

دورهٔ بازگشت سرمایه براساس ارزش فعلی- سال	۳ سال و ۵ ماه
نرخ بازده داخلی (IRR)- درصد	۴۸/۲۰ درصد
خالص ارزش فعلی (NPV)- ریال	۵۶،۶۱۹،۱۸۵،۲۱۰
شاخص سودآوری (Profitability Index)	۳/۵۲

همان‌طور که جدول ۴ـ ۸ نشان می‌دهد، در این طرح توجیهی، شاخص سودآوری، یعنی عواید حاصل از این سرمایه‌گذاری، به‌ازای هر یک ریال سرمایه‌گذاری، معادل ۳/۵۲ ریال است. همچنین، دورهٔ بازگشت سرمایه و به‌عبارتی، زمان لازم برای جبران هزینه‌های سرمایه‌گذاری سه سال و پنج ماه محاسبه شد. مثبت بودن شاخص ارزش خالص فعلی نیز نشان داد که پروژه سودده بوده و سرمایه‌گذار می‌تواند با بررسی سایر فاکتورها از جمله ریسک پروژه در آن سرمایه‌گذاری کند. نرخ بازده داخلی نیز شاخص دیگری بود که برای ارزیابی این طرح توجیهی استفاده و مقدار آن ۴۸/۲۰ درصد محاسبه شد که این عدد معادل نرخ سودی است که سرمایه‌گذار می‌تواند با سرمایه‌گذاری در این پروژه به‌دست آورد. در مجموع محاسبه شاخص‌های مالی نشان داد که این طرح سودده بوده و از توجیه اقتصادی و مالی مناسبی برخوردار است، بنابراین بر این اساس این پروژه ارزش سرمایه‌گذاری دارد.

۴ـ ۵. برآورد هزینه‌های اقتصادی‌ـ اجتماعی و زیست‌محیطی ناشی از عدم مدیریت بهینه پسماندها

در حال حاضر، با توجه به مشکلات موجود در اقتصاد کلان کشور، هزینه‌های مدیریت پسماند اعم از جمع‌آوری، حمل، پردازش و دفع افزایش یافته است. بهای خدمات مدیریت پسماند عادی برای هر یک کیلوگرم پسماند در شهر تهران طبق مصوبه «چگونگی محاسبه واخذ بهای خدمات مدیریت پسماند» در سال ۱۴۰۰، مبلغ ۲،۴۳۲ ریال (۱،۶۵۰ ریال جمع‌آوری و حمل، ۷۸۲ ریال دفع) محاسبه شده است. از طرفی، این هزینه‌ها در شرایطی انجام می‌شود که بخش زیادی از پسماندهای شهر تهران بدون پردازش دفع می‌شوند و در حال حاضر نیز روش دفع پسماند در تهران، دفن در زمین است و تحقیقات نشان داده است که دفن پسماند در محل دفن کهریزک فاقد معیارهای اساسی لازم برای دفن بهداشتی پسماند است و تولید گازهای گلخانه‌ای و شیرابه حاصل از این دفن غیراصولی نیز به‌عنوان آلاینده‌های هوا، خاک و آب، هزینه‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی فراوانی را به دولت و شهروندان تحمیل می‌کند[۱].

با نگاهی به آمار منتشرشده در خصوص میانگین پسماند مخلوط تولیدی در شهر تهران (۶،۱۷۳ تن در روز[۲]) و با احتساب تولید حدود ۸۰ لیتر شیرابه به‌ازای هر تن پسماند مخلوط[۳] و هزینه امحای آن در شهر تهران، که حدود ۷۰۰ ریال به‌ازای امحای هر لیتر شیرابه برآورد شده است[۴] می‌توان به بخشی از این هزینه‌ها پی برد.

همچنین، به‌منظور برآورد خسارت‌های اجتماعی و اقتصادی و زیست‌محیطی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز بانک جهانی قیمت کربن را بر مبنای ارزش (tCO2e) (تن معادل کربن دی‌اکسید) ارزیابی کرده است. با توجه به این‌که هر گاز گلخانه‌ای پتانسیل گرمایشی متفاوتی دارد، بنابراین معادل کربن دی‌اکسید یا CO2e[۵] سنجه‌ای است که از سوی هیئت بین دولتی سازمان ملل متحد در مورد تغییرات آب و هوا (IPCC)[۶] به‌منظور مقایسهٔ انتشار گازهای گلخانه‌ای مختلف براساس قابلیت گرمایش جهانی آن‌ها تعیین گردید. بر این اساس، مقدار انتشار یک گاز گلخانه‌ای براساس معادل کربن دی اکسید را می‌توان از حاصل‌ضرب مقدار آن گاز در قابلیت گرمایش جهانی آن

۱. طرح جامع مدیریت پسماند شهر تهران. مرحله دوم- تبیین و تحلیل وضعیت موجود مدیریت پسماند در شهر تهران به تفکیک مناطق. جلد چهارم- مطالعات اقتصادی اثرگذار بر مدیریت پسماند. اسفند ۱۳۹۸.

۲. آمار ۱۰ ساله پسماند شهر تهران (۹۷-۸۸). مرحله دوم، جلد دوم: بررسی و تحلیل عناصر موظف سیستم مدیریت پسماند شهر تهران از تولید تا دفع. مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران.

۳. با استناد به دومین طرح جامع مدیریت پسماند شهر تهران که به‌ازای هر تن پسماند مخلوط، حدود ۸ درصد شیرابه تولیدی برآورد شد.

۴. با توجه به قرارداد جدید سازمان مدیریت پسماند با پیمانکار واحد تصفیه خانه شیرابه، هزینه امحاء یک متر مکعب شیرابه ورودی (معادل ۱۰۰۰ لیتر) در حدود ۷۰۰،۰۰۰ ریال محاسبه شده است.

5. Carbon dioxide equivalent (CO2e)

6. United Nations' Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

به‌دست آورد. در این ارتباط، گزارش کمیسیون عالی قیمت کربن[1]، همسو با اهداف توافق پاریس[2] ـ ذیل چارچوب پیمان‌نامه سازمان ملل در تغییر اقلیم (UNFCCC) در رابطه با کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ـ محدوده قیمت کربن را حداقل ۴۰ تا ۸۰ دلار آمریکا به‌ازای هر تن معادل کربن دی‌اکسید تا سال ۲۰۲۰ و ۵۰ تا ۱۰۰ دلار آمریکا به‌ازای هر تن معادل کربن دی‌اکسید تا سال ۲۰۳۰ محاسبه کرده است[3]، که با توجه به حجم گازهای گلخانه‌ای تولید و منتشر شده در ازای عدم مدیریت بهینه پسماند این هزینه‌ها به محیط زیست، مردم و دولت‌ها تحمیل می‌شود. از طرفی، هزینه‌های ترافیک شهری، آلودگی هوا، کاهش کیفیت پسماند خشک و آسیب‌های وارد شده به سلامت انسان نیز بسیار زیاد و نامشخص است.

٤ـ٦. جمع‌بندی

در این بخش مزیت نسبی پروژه به‌کارگیری یک دستگاه کمپوستر استارکلین مدل ABC- ۱۰۰۰ با ظرفیت پردازش روزانه یک هزار کیلوگرم پسماند تر در یک مجتمع مسکونی با جمعیت ۲ هزار نفر در شهر تهران ارزیابی شد. با تعریف صورت جریان‌های نقدی برای یک سال و پیش‌بینی آن برای ۱۰ سال آتی، شاخص‌های مالی محاسبه شد که مجموع آن‌ها نشان داد این طرح سودده بوده و از توجیه اقتصادی و مالی مناسبی برخوردار است، بنابراین بر این اساس این پروژه ارزش سرمایه‌گذاری دارد.

به‌طور کلی نرخ بازده داخلی مناسب و نرخ بازگشت سرمایه مناسب در کنار مزایا و منافعی که به‌کارگیری این فناوری به‌طور مستقیم و غیرمستقیم به‌همراه دارد از جمله اشتغال‌زایی، و تأمین نیاز داخلی کشور، بازیافت پسماند و جلوگیری از اثرات زیست‌محیطی مخرب آن، به حداقل رساندن دفن پسماند و حذف آن در آینده و جلوگیری از هدر رفتن سرمایه‌های ملی و کمک به اقتصاد کلان کشور و مزایای بی‌شمار دیگر، لزوم سرمایه‌گذاری و تلاش برای توسعهٔ این فناوری را نشان می‌دهد.

1. Report of the High-Level Commission on Carbon Prices

این کمیسیون وابسته به بانک جهانی است.

۲. توافق پاریس (فرانسوی: Accord de Paris)، که با نام پیمان پاریس نیز شناخته می‌شود، ذیل چارچوب پیمان‌نامهٔ سازمان ملل در تغییر اقلیم (UNFCCC) در رابطه با کاستن از انتشار گازهای گلخانه‌ای، سازگاری و امور مالی است که از سال ۲۰۲۰ شروع می‌شود. متن توافق از سوی نمایندگان ۱۹۵ کشور در کنفرانس تغییر اقلیم ۲۰۱۵ سازمان ملل متحد در پاریس مذاکره و با اجماع در ۱۲ دسامبر ۲۰۱۵ تصویب شد.

3. https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/what-carbon-pricing

بخش پنجم: پیشنهادها

اولین گام برای توسعهٔ فناوری کمپوستر تلاش برای رسیدن به درک مشترک و اجماع نظر در خصوص به‌کارگیری این فناوری در فرایند مدیریت پسماند شهر تهران در بین مسئولین است. وقتی اجماع نظر صورت بگیرد، تمام امکانات برای برنامه‌ریزی در خصوص اجرا و توسعه این فناوری همسو و هم‌جهت شده و از امکانات به شکل مؤثرتری استفاده می‌شود. در غیر این صورت، اقلیت مخالف هم می‌تواند در توسعهٔ این فناوری مانع ایجاد کند و موجب شود امکانات و منابع مختلف برای خنثی کردن نظر دیگران مورد استفاده قرار گیرد. پیشنهاد می‌شود بین سازمان‌های ذی‌ربط در خصوص اولویت و ضرورت به‌کارگیری این فناوری هماهنگی صورت گیرد. تنها در این شرایط می‌توان به توسعهٔ فناوری و پذیرش آن توسط مردم نیز امیدوار بود.

یکی از الزامات اساسی در اجرای طرح‌ها و پروژه‌های اجتماعی، وجود حمایت و مشارکت مردمی در اجرای برنامه‌ها از نخستین تا واپسین مراحل است. حمایت مردمی در اجرای پروژه‌ها به‌نوعی محرک و پشتوانه‌ای برای رسیدن به نتایج قابل قبول و تکرار موفقیت در زمینه‌های مشابه است. مردم باید نسبت به ماهیت و اهداف طرح‌ها آگاهی و شناخت کافی داشته و همچنین نسبت به مثبت بودن نتایج اقدامات و نیز قابلیت اجرای طرح‌ها توجیه شوند. آموزش، فرهنگ‌سازی و انجام تبلیغات از طریق رسانه‌های مختلف از جمله اقدامات مؤثری هستند که می‌توانند منجر به آگاهی و افزایش دانش شهروندان و ترغیب و تشویق آنان به انجام مشارکت شوند. در ارتباط با به‌کارگیری فناوری کمپوستر پیشنهاد می‌شود با ارائه آموزش‌های لازم در خصوص لزوم مشارکت مردم در مدیریت پسماند و لزوم بازیافت پسماند تر فسادپذیر در محل تولید، ضمن بهبود آگاهی اجتماعی، شهروندان را به مشارکت در فرایند تولید کمپوست و به‌کارگیری فناوری کمپوستر تشویق کرد.

برای پذیرش این فناوری توسط مردم، پیشنهاد می‌شود از تجربیات موفق پروژه‌های مشابه در زمینه مدیریت پایدار پسماند در کشورهای دیگر بهره گرفته شده و الگوهای موفق به مردم معرفی گردد تا به این ترتیب، آن‌ها نیز به مشارکت در فرایند مدیریت پسماند و به‌کارگیری فناوری کمپوستر تشویق شوند. در داخل کشور نیز ـ همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد ـ مراکزی وجود دارد که در زمینهٔ مدیریت پسماند موفق عمل کرده‌اند. به‌عنوان مثال، می‌توان از مرکز آموزش دخترانه صبا در شهر تهران به‌عنوان تجربه‌ای موفق در خصوص استفاده از فناوری کمپوستر خانگی نام برد. لذا پیشنهاد می‌شود با طراحی برنامه‌های آموزشی و برگزاری کارگاه‌های علمی و مسابقات با محوریت مدیریت پسماند در مدارس، آن‌ها را به استفاده از این فناوری تشویق کرد. ضمن این‌که ارائه آموزش به دانش‌آموزان، خود نوعی سرمایه‌گذاری بر روی نسل جدید خواهد بود. رسانه‌های اجتماعی و نشریات نیز با معرفی واحدهای تولیدکنندهٔ کمپوست و روند پیشرفت آن‌ها می‌توانند نقش مهمی در آموزش و فرهنگ‌سازی در زمینه مدیریت بهینهٔ پسماند شهری داشته باشند.

موفقیت یا شکست مدیریت پسماند با فناوری کمپوستر ارتباط مستقیمی با برنامه‌ریزی و چگونگی اجرای آن دارد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که یک طرح پایلوت با به‌کارگیری فناوری کمپوستر و با بررسی همه جوانب آن در شهر تهران اجرا شود. شایان یادآوری است که از نتایج حاصل‌شده می‌توان به شکل ارزشمندی برای افزایش اثربخشی فرایند تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌ها برای اجرای طرح‌های در مقیاس بزرگتر در شهر تهران بهره برد. پیشنهاد می‌شود که برای فرهنگ‌سازی و ایجاد انگیزه این طرح پایلوت در رستوران‌های تحت پوشش شهرداری و سازمان‌های

وابسته به شهرداری تهران و همچنین ساختمان‌های اداری مناطق ۲۲ گانه، هتل‌ها و مال‌های بزرگ اجرا شود.

همچنین طبق نتایج این تحقیق پیشنهاد می‌شود زیرساخت‌های مورد نیاز برای توسعهٔ فناوری کمپوستر نیز فراهم شود که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به: تجهیزات و تأسیسات مناسب برای تولید کمپوست که بومی‌سازی شده و مورد پذیرش عموم مردم باشد، تربیت نیروی آموزش‌دیده و متخصص برای ارائهٔ مشاوره به مردم، بازدید مداوم از واحدهای تولیدکنندهٔ کمپوست برای اطمینان از روند صحیح فرایند و کنترل کیفی کمپوست تولیدشده و آموزش تخصصی گروه‌های مخاطب مختلف پیرامون نحوه تولید و استفاده مناسب از این فناوری اشاره کرد.

پیشنهاد می‌شود درخصوص قوانین و معافیت‌های بهای خدمات مدیریت پسماند، به‌منظور تدوین سازوکار نیرومند تشویقی و تنبیهی در زمینهٔ تولید پسماند بازنگری صورت گیرد، چرا که با استفاده از قوانین تشویقی می‌توان شهروندان را به مشارکت مثبت تشویق و ترغیب و با بهره‌گیری از قوانین بازدارنده برای کاهش حجم و میزان تولید پسماند توسط خانوارها و مراکز تولیدی و خدماتی اقدام نمود. به‌عنوان مثال، در حال حاضر اگر خانواری تمام پسماندهای خود را تفکیک، بازیافت و استفادهٔ مجدد کند مشمول معافیت از پرداخت بهای خدمات مدیریت پسماند نمی‌گردد، همچنین اگر خانواری پسماندهای خود را تفکیک و جمع‌آوری کرده و به شهرداری یا پیمانکاران بازیافت تحویل دهد نیز از تخفیف یا معافیت از پرداخت بهای خدمات مدیریت پسماند برخوردار نخواهد بود. بنابراین، اصلاح قوانین موجود و وضع مقررات جدید در بخش‌های دارای خلأ قانونی می‌تواند در روند مدیریت پسماند و ایجاد انگیزه در افراد و تشویق آن‌ها به مشارکت در این امر نقش بسزایی ایفا کند.

فقدان سازوکارهای کنترل‌کننده به اعضای جامعه این اختیار را می‌دهد که بدون هیچ‌گونه محدودیتی به تولید پسماند مبادرت کنند. علاوه بر این، عدم تفکیک پسماند توسط افراد و انتقال پسماند مخلوط به مخازن سطح شهر یکی از معضلات اصلی مدیریت بهینه پسماند است. بنابراین، اتخاذ تدابیری برای کنترل میزان تولید پسماند توسط افراد و همچنین اجباری نمودن تفکیک پسماندها در محل تولید، اقدام مؤثری برای مدیریت پسماند خواهد بود. از طرفی، این امر خود مستلزم فراهم بودن بسترها و امکانات کافی و مناسب برای تفکیک است. پیشنهاد می‌شود این طرح زیست محیطی ابتدا در فضاهای اداری و عمومی نظیر ادارات، سازمان‌ها، مراکز آموزشی و تفریحی و اماکن دولتی و غیره ـ که امکان نظارت بیشتری بر آن‌ها وجود دارد ـ به اجرا گذاشته شده و در مراحل بعد به بخش خانگی نیز اشاعه داده شود.

بررسی تجربیات کشورهای موفق نشان می‌دهد تولید کمپوست در مقیاس انبوه و به‌شیوهٔ سنتی و در واحدهای دور از مراکز تولیدکننده پسماند، به‌دلیل زمان‌بر بودن و نیاز به فضای گسترده و عدم رعایت تمامی استانداردهای کیفی، چندان به‌صرفه نیست و این روش‌ها خود نیز زمینه آسیب به محیط زیست را فراهم می‌آورند. بنابراین، تلاش کشورهای پیشرو در زمینه تولید کمپوست به جابه‌جایی حداقلی پسماند و بازیافت آن به‌صورت غیرمتمرکز در واحدهای کوچک‌مقیاس و در مجاورت مراکز تولید کمپوست است. چرا که کیفیت کمپوست تولیدی به‌شدت تحت‌تأثیر مقیاس عملکرد و ماهیت مواد اولیه مورد استفاده قرار دارد. بنابراین برای حفظ کیفیت کمپوست پیشنهاد می‌شود ضمن بازیافت پسماند در مبدأ تلاش شود که از پسماندهای آلی فسادپذیری که در مراحل اولیه تجزیه هستند استفاده شود، چرا که در صورت تأخیر در پردازش به‌موقع پسماند فرایند هضم بی‌هوازی آغاز شده و از طرفی، رطوبت پسماند بیش از رطوبت مطلوب برای تولید کمپوست خواهد بود، از طرفی با راه‌اندازی این واحدهای محلی

غیرمتمرکز، بسیاری از هزینه‌های مستقیم جابه‌جایی و حمل پسماند و همچنین هزینه‌های غیرمستقیم نیز حذف می‌شود. با استناد به طرح جامع مدیریت پسماند شهر تهران، هزینه کل مدیریت پسماند در سال ۱۳۹۷ در شهر تهران، ۳،۳۴۱،۱۵۹ میلیون ریال محاسبه شده که از این میزان ۷۰ـ ۸۰ درصد و گاهی در کشور ما تا ۹۰ درصد صرف جمع‌آوری و حمل‌ونقل پسماندها می‌شود[1] که از مهم‌ترین دلایل این موضوع می‌توان به کارگر بودن و نیازمندی این مرحله به ماشین‌آلات را نام برد. از طرفی، این هزینه‌ها در شرایطی انجام می‌شود که بخش زیادی از پسماندهای شهر تهران بدون پردازش دفع می‌شوند.

صندوق ملی محیط زیست هم‌اکنون برای به‌کارگیری فناوری کمپوستر به ارزش بیش از ۵ میلیارد ریال تسهیلات کم‌بهره اعطا می‌کند. پیشنهاد می‌شود که این تسهیلات برای خرید دستگاه‌های کمپوستر خانگی نیز ارائه شده تا استفاده از این دستگاه‌ها برای موارد مصرف خانگی نیز از توجیه اقتصادی برخوردار شود. از طرفی، دورهٔ بازپرداخت طولانی‌تر این تسهیلات می‌تواند به‌موجب کاهش زمان برگشت سرمایه، برای توسعهٔ این فناوری انگیزه‌ای قوی ایجاد کند. در این ارتباط نیز پیشنهاد می‌گردد بانک شهر با اعطای تسهیلات برای خرید دستگاه‌های کمپوستر به ارزش کمتر از ۵ میلیارد ریال ضمن تکمیل طرح حمایتی صندوق ملی محیط زیست گامی در راستای توسعه این فناوری و حمایت از واحدهای کوچک تولیدکننده بردارد.

تحقیقات انجام‌شده نشان می‌دهد کمپوست حاصل از پسماند مخلوط شهری با خطر داشتن آلاینده‌های سمی، اگر با هدف استفاده به‌عنوان پوشش در لندفیل تولید شود، چون این آلاینده‌ها به محیط‌هایی محدود می‌شوند که ارتباط مستقیمی با زنجیره غذایی انسان ندارند، بی‌خطر است. از طرفی، اگر از این نوع کمپوست در مزارع برای کشت محصولات استفاده شود باید با حساسیت بیشتری کیفیت و ایمنی کمپوست تولیدی به لحاظ آلاینده‌های آلی و زیست‌آئروسل‌ها از جمله ترکیبات فرار و آنتی‌بیوتیک‌ها[2] و همچنین، میکروپلاستیک‌ها و نانوپلاستیک‌ها و عوامل مقاومت ضدمیکروبی که از جمله آلاینده‌های نوظهور بوده و هنوز آن‌طور که باید مورد توجه سیاست‌گذاران و نهادهای نظارتی قرار نگرفته‌اند، ارزیابی شود. بنابراین، پیشنهاد می‌شود نسبت به تدوین استانداردهای جدید در خصوص آلاینده‌های نوظهور اقدام شود.

استفادهٔ بیش از حد از کودهای دارای منشأ شیمیایی خسارات زیادی را به محیط‌زیست و خاک زمین‌های کشاورزی وارد کرده است. مصرف بی‌رویه این کودها موجب تجمع آلاینده‌ها در خاک، منابع آب و افزایش آن‌ها در گیاهان و زنجیرهٔ غذایی انسان و حیوانات شده است. جایگزینی کودهایی با منشأ آلی با کودهای شیمیایی نه‌تنها سبب افزایش تولید محصولات کشاورزی شده، بلکه از فرسایش و تخریب خاک جلوگیری نموده و نیل به توسعهٔ پایدار را ممکن می‌سازد. بنابراین پیشنهاد می‌شود واحدهای تولید کمپوست کوچک‌مقیاس از مواد آلی با خلوص بالا در مناطق نزدیک به مراکز تولید پسماند به‌عنوان مثال میادین میوه و تره‌بار یا در مناطق روستایی برای پردازش پسماند حاصل از محصولات کشاورزی راه‌اندازی شود و دولت با اتخاذ برخی از استراتژی‌ها به بهبود عملکرد اقتصادی این واحدها کمک کند. برای مثال و در این خصوص، می‌توان به توافق بین کارخانهٔ تولید کمپوست و وزارت کشاورزی اشاره کرد که مقدار قابل توجهی از کمپوست تولید شده در مزارع مورد استفاده قرار گیرد و از طرفی پسماند محصولات

---

۱. طرح جامع مدیریت پسماند شهر تهران، مرحلهٔ دوم- تبیین و تحلیل وضعیت موجود مدیریت پسماند در شهر تهران به تفکیک مناطق. جلد چهارم- مطالعات اقتصادی اثرگذار بر مدیریت پسماند. اسفند ۱۳۹۸.

2. Antibiotics

کشاورزی نیز در تولید مجدد کمپوست استفاده شود. همچنین، مشوق‌ها و یارانه‌ها، بازاریابی کمپوست و قیمت فروش آن می‌تواند بر تولید این فرآورده پایدار تأثیرگذار باشد.

با توجه به این حقیقت که ارائهٔ یارانه به بخش کود آلی خود یکی از الزامات موفقیت ورود فناوری کمپوستر به کشور است لذا در این بخش پیشنهاد می‌شود زمان ارائه این مکاتبه به قبل از اجرای فناوری کمپوستر در کشور موکول شود. در این راستا مکاتباتی با نهادهای مرتبطی چون کمیسیون کشاورزی مجلس شورای اسلامی صورت پذیرد تا نسبت به کاهش یارانه‌های تعلق گرفته به کودهای شیمیایی و انتقال آن به این نوع از کودهای آلی رایزنی شود. شایان ذکر است در صورت دستیابی به این مهم تمایل بخش خصوصی برای سرمایه‌گذاری در این زمینه به واسطه کاهش زمان برگشت سرمایه افزایش خواهد یافت.

اطلاع‌رسانی مؤثر و آگاه‌سازی کشاورزان از مزایای استفاده از کمپوست آلی در اصلاح و تقویت خاک مزارع کشاورزی، که این امر می‌تواند با همکاری وزارت جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و دانشکده‌های کشاورزی محقق شود.

پیشنهاد می‌گردد از تجربیات بین‌المللی موفق در حوزه فناوری کمپوستر خانگی استفاده شود. به‌عنوان مثال پروژه کاخیکا در کشور کلمبیا که برای توسعه این فناوری و تأمین هزینه مالی پروژه علاوه بر حمایت‌های مالی دولت، با طبقه‌بندی شهروندان براساس ویژگی‌های اقتصادی و اجتماعی (فرهنگ مصرفی، سطوح متفاوت درآمدی و غیره) شهرداری کاخیکا توانست با فروش مخازن کمپوستر به برخی از طبقات هزینه تأمین آن را برای طبقات دیگر فراهم آورد.

در حال حاضر خیلی از مراکز تولید کننده پسماند با مقدار بالا، اقدام به فروش پسماند خشک به پیمانکاران می‌کنند و پسماند تر خود را به هر میزان در مخازن سطح شهر رها می‌کنند، پیشنهاد می‌شود دولت قوانینی وضع نماید که به‌موجب آن تولید پسماند این مراکز را کنترل کند. تعیین میزان تولید پسماند براساس نوع فعالیت گام مؤثری در جهت کاهش تولید پسماند است. در شرایطی که افراد بدانند که با توجه به حوزه فعالیت خود مجاز به تولید حد مشخصی از پسماند خواهند بود و در صورت تجاوز از آن موظف به پرداخت جریمه هستند، بی‌تردید میزان تولید پسماند را محدود می‌کنند.

پیشنهاد می‌شود مقرراتی وضع شود که به‌موجب آن، امکان فروش پسماند خشک توسط مراکز تولید کننده پسماند، تنها درصورت مدیریت پسماند تر و بازیافت آن در خود مجموعه میسر باشد. در این راستا همکاری دولت با شرکت‌های تولیدکننده دستگاه‌های کمپوستر می‌تواند بسیار مؤثر باشد، چرا که برخی از این شرکت‌ها طبق بررسی‌های صورت گرفته علاوه بر تأمین تجهیزات مورد نیاز برای تولید کمپوست امکان خرید پسماند خشک و کمپوست حاصل از پسماند تر را نیز دارند و در ازای همکاری مداوم حاضر به تأمین بستر آلی مورد نیاز برای فرایند تولید کمپوست و تعمیر و نگهداری تأسیسات تولید کمپوست به‌صورت رایگان نیز هستند، بنابراین از این ظرفیت می‌توان برای پشتیبانی فنی و ارائه آموزش به افراد و همچنین نظارت بر واحدهای تولیدکنندهٔ کمپوست استفاده کرد.

منابع

۱. اطلاعات دریافتی از سازمان مدیریت پسماند شهرداری تهران.

۲. سازمان مدیریت پسماند شهرداری تهران. معاونت برنامه‌ریزی و توسعهٔ شهری. واحد آمار.

۳. سند آسیب‌شناسی کلان‌شهرها در بخش محیط زیست شهری- بخش مدیریت پسماندها- وزارت کشور- سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور- آبان ۱۳۹۳.

۴. طرح جامع مدیریت پسماند شهر تهران. مرحله دوم- تبیین و تحلیل وضعیت موجود مدیریت پسماند در شهر تهران به تفکیک مناطق. جلد چهارم- مطالعات اقتصادی اثرگذار بر مدیریت پسماند. اسفند ۱۳۹۸.

۵. گزارش عملیات نمونه‌برداری نوبت اول و دوم. شهریور و مهر ۱۳۹۸ و فروردین ۱۴۰۰. مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران.

1. Ayilara MS, Olanrewaju OS, Babalola OO, Odeyemi O. (2020). Waste Management through Composting: Challenges and Potentials. Sustainability. 12(11):4456. https://doi.org/10.3390/su12114456
2. Agegnehu, G., Bass, A. M., Nelson, P. N., Muirhead, B., Wright, G., & Bird, M. I. (2015). Biochar and biochar- compost as soil amendments: Effects on peanut yield, soil properties and greenhouse gas emissions in tropical North Queensland Australia. Agriculture, Ecosystems & Environment, 213, 7285 -.
3. Arachchi, K. H. M. (2016). Present status of solid waste management and challenges for change. Colombo: National solid waste management program in Sri Lanka. Central Environmental Authority.
4. Basnayake, B. F. A., & Visvanathan, C. (2014). Solid waste management in Sri Lanka. In Municipal solid waste management in Asia and the Pacific Islands (pp. 299–316). Singapore: Springer.
5. Bahçelioğlu, E.S. Buğdaycı, N.B. Doğan, N. Şimşek, S.Ö.(2020). Kaya, E. Alp Integrated solid waste management strategy of a large campus: A comprehensive study on METU campus, Turkey J. Clean. Prod., 121715 (2020)
6. Chhabra, V., Bhattacharya, S., and Shastri, Y. (2019). Pyrolysis of mixed municipal solid waste: characterisation, interaction effect and kinetic modelling using the thermogravimetric approach. Waste management, 90: 152167 -.
7. Déportes, I., Benoit- Guyod, J. L., & Zmirou, D. (1995). Hazard to man and the environment posed by the use of urban waste compost: A review. Science of the Total Environment, 172(2–3), 197–222.
8. Fischer, G., Schwalbe, R., Möller, M., Ostrowski, R., & Dott, W. (1999). Species- specific pro-

duction of Microbial Volatile Organic Compounds (MVOC) by airborne fungi from a compost facility. Chemosphere, 39(5), 795–810.

9. Guanghui, Y, Wei, R and Qirong, S. (2016). Compost Process and Organic Fertilizers Application in China, Organic Fertilizers - From Basic Concepts to Applied Outcomes, Marcelo L. Larramendy and Sonia Soloneski, IntechOpen, DOI: 10.5772/62324. Available from: https://www.intechopen.com/books/organic- fertilizers- from- basic- concepts- to- applied outcomes/compost- process- and- organic- fertilizers- application- in- china
10. Galloway, T. S. (2015). Micro- and nano- plastics and human health. In Marine anthropogenic litter (pp. 347–370). Berlin: Springer.
11. Garcıa- Gil, J. C., Plaza, C., Soler- Rovira, P., & Polo, A. (2000). Long- term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass. Soil Biology and Biochemistry, 32(13), 1907–1913.
12. Gillingham, K. 2019. For deep greenhouse gas emission reductions, a long- term perspective on costs is essential. FINANCE & DEVELOPMENT. December 2019.
13. Hamer, G. (2003). Solid waste treatment and disposal: Effects on public health and environmental safety. Biotechnology Advances, 22(1–2), 71–79.
14. Hurst, C., Longhurst, P., Pollard, S., Smith, R., Jefferson, B., & Gronow, J. (2005). Assessment of municipal waste compost as a daily cover material for odour control at landfill sites. Environmental Pollution, 135(1), 171–177.
15. Hoque, M.M., Rahman. M.T.U. (2020). Landfill area estimation based on solid waste collection prediction using ANN model and final waste disposal options J. Clean. Prod., 256 (2020), Article 120387
16. Johannessen, G. S., Froseth, R. B., Solemdal, L., Jarp, J., Wasteson, Y., & Rorvik, L. M. (2004). Influence of bovine manure as fertilizer on the bacteriological quality of organic iceberg lettuce. Journal of Applied Microbiology, 96(4), 787–794.
17. Khot P., Deshmukh S. (2021). REVIEW ON RAPID COMPOSTING TECHNIQUES FOR MUNICIPAL SOLID WASTE. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). Volume: 08 Issue: 04 | Apr 2021
18. Lim, L. Y., Lee, C. T., Bong, C. P. C., Lim, J. S., and Klemeš, J.J. (2019). Environmental and economic feasibility of an integrated community composting plant and organic farm in Malaysia. Journal of Environmental Management, 244: 431439 -.
19. Moya, D., Aldás, C., Jaramillo, D., Játiva, E., and Kaparaju, P. (2017). Waste- to- energy technolo-

gies: an opportunity of energy recovery from municipal solid waste, using Quito- Ecuador as case study. Energy Procedia, 134: 327336 -.

20. Muscolo, A., Papalia, T., Settineri, G., Mallamaci, C., and Jeske- Kaczanowska, A. (2018). Are raw materials or composting conditions and time that most influence the maturity and/or quality of composts? Comparison of obtained composts on soil properties. Journal of cleaner production, 195: 93101 -.
21. Maffei, D. F., Silveira, F. A. N., & Mortatti Catanozi, M. P. L. (2013). Microbiological quality of organic and conventional vegetables sold in Brazil. Food Control, 29(1), 226–230.
22. Mato, Salustiano & Pérez- Losada, Carlos & Martínez- Abraldes, María & Villar, Iria. (2019). Towards the Recycling of Bio- Waste: The Case of Pontevedra, Spain (REVITALIZA). 10.5772/intechopen.83576.
23. Mapa, R. B. (2003). Sustainable soil management in the 21st century. Tropical Agricultural Research and Extension, 6, 44–48.
24. Pearson, C., Littlewood, E., Douglas, P., Robertson, S., Gant, T. W., & Hansell, A. L. (2015). Exposures and health outcomes in relation to bioaerosol emissions from composting facilities: A systematic review of occupational and community studies. Journal of Toxicology and Environmental Health Part B, 18(1), 43–69.
25. Premachandra, H. S. (2006). Household waste composting & MSW recycling in Sri Lanka. In Asia 3R conference, Tokyo.
26. Ramachandra, T.V., Bharath, H. A., Kulkarni, G., and Han, S. S. (2018). Municipal solid waste: Generation, composition and GHG emissions in Bangalore, India. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82: 11221136 -.
27. Samarasinha, G. G. D. L. W., Bandara, M. A. C. S., & Karunarathna, A. K. (2015). Municipal solid waste composting: Potentials and constraints (HARTI research report No: 174). Colombo: Hector Kobbekaduwa Agrarian Research and Training Institute.
28. Sinnathamby, V., Paul, J. G., Dasanayaka, S. W. S. B., Gunawardena, S. H. P., & Fernando, S. (2016). Factors affecting sustainability of municipal solid waste composting projects in Sri Lanka. 1st International Conference in Technology Management (iNCOTeM) (p. 98).
29. Smith, S. R. (2009). A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge. Environment International, 35(1), 142–156.
30. Smith, M. (2018). Do microplastic residuals in municipal compost bioaccumulate in plant tissue?

M.Sc. Thesis. Faculty of Social and Applied Sciences, Royal Roads University, British Columbia, Canada.

31. Sarkar, S., Pal, S., and Chanda, S. (2016). Optimization of a vegetable waste composting process with a significant thermophilic phase. Procedia Environmental Sciences, 35: 435440 -.
32. Tayeh, H. Azaizeh, Y. Gerchman. (2020). Circular economy in olive oil production–olive mill solid waste to ethanol and heavy metal sorbent using microwave pretreatment Waste Manag., 113 (2020), pp. 321328 -
33. Ugwu. C.O., Ozoegwu, C.G., Ozor. P.A. (2020). Solid waste quantification and characterization in university of Nigeria, Nsukka campus, and recommendations for sustainable management Heliyon, 6 (2020), Article e04255
34. Venkiteela. L.K. (2020). Status and challenges of solid waste management in Tirupati city Mater. Today Proc.
35. Wang. S., Yan. W. Zhao. F. (2020). Recovery of solid waste as functional heterogeneous catalysts for organic pollutant removal and biodiesel production Chem. Eng. J. (2020), p. 126104
36. Weerahewa, J., Kodithuwakku, S. S., & Ariyawardana, A. (2010). The fertilizer subsidy program in Sri Lanka. In Food policy for developing countries: Case studies. Ithaca/New York: Cornell University.
37. Wijetunga, C. S., & Saito, K. (2017). Evaluating the fertilizer subsidy reforms in the rice production sector in Sri Lanka: A simulation analysis. Advances in Management and Applied Economics, 7(1), 31–51.
38. Wright, S. L., & Kelly, F. J. (2017). Plastic and human health: A micro issue? Environmental Science & Technology, 51(12), 6634–6647.
39. Ye. Q., Anwar. M.A., Zhou. R., Asmi. F, I. (2020). Ahmad China's green future and household solid waste: Challenges and prospects Waste Manag., 105 (2020), pp. 328338 -
40. Yenneti K, Premakumara DGJ (2011) Carbon finance and decentralised composting projects. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Kitakyushu
41. Zurbruegg C, Gfrerer M, Ashadi H, Werener B, David K (2012) Determinants of sustainability in solid waste management—the Gianyar waste recovery project in Indonesia. Waste Manag 32:2126–2133.

تقدیر و تشکر از

جناب آقای دکتر سعید مرادی‌کیا، داور محترم علمی که در تمامی مراحل تهیه این گزارش تیم تحقیق را یاری نمودند.

جناب آقای حمید عباسعلی‌زاده، مدیرعامل محترم شرکت ستاره آریا نوین آیلین که در دستیابی به اطلاعات مورد نیاز با تیم تحقیق همکاری داشتند.

از کارآمدترین روش‌های مدیریت پسماندهای تر فسادپذیر و خنثی‌سازی اثرات نامطلوب آن، تبدیل آن‌ها به کمپوست در مبدأ تولید است؛ این روند نقش بسیار مهمی در مدیریت بهینهٔ این نوع پسماند دارد. دانش شهر حاضر با هدف امکان‌سنجی استفاده از فناوری کمپوستر خانگی در فرایند مدیریت پسماند شهر تهران در پنج بخش تدوین و ارائه شده است. در بخش نخست، کلیات مرتبط با فناوری کمپوستر و همچنین، روش انجام پژوهش بیان شده است؛ در بخش دوم به بررسی تجربیات کشورهای مختلف در زمینهٔ فناوری کمپوستر پرداخته شده و در بخش سوم امکان‌سنجی استفاده از فناوری کمپوستر در شهر تهران بررسی شده است. در بخش چهارم مزیت نسبی یک پروژه به‌کارگیری فناوری کمپوستر ارزیابی شده و در نهایت، در بخش پنجم راهکارها و پیشنهادهایی برای توسعهٔ فناوری کمپوستر در شهر تهران ارائه شده است.

«به منظور حفاظت از محیط‌زیست، گزارش صرفاً به تعداد محدود چاپ شده است. فایل الکترونیکی از سایت مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران و یا اسکن کد تصویری قابل دریافت است»

rpc.tehran.ir

مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران