

شناسایی و سطح بندی فناوری های نوین تولید کود آلی از پسماند جامد شهری

آرمان شاهنظری^{*۱}

*۱ - گروه بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

نوع مقاله: پژوهشی تاریخ دریافت: تیر ۱۴۰۰ تاریخ پذیرش: مهر ۱۴۰۰

چکیده

امروزه در کلانشهرها مدیریت اصولی و بهداشتی پسماندها یکی از مهم ترین مسائل مربوط به حوزه مدیریت شهری می باشد. با رشد علم و فناوری مشخص شده است که بازیافت کردن مواد زائد یکی از مناسب ترین گزینه ها در دفع پسماند می باشد. از طرفی مقدار قابل توجهی از پسماندهای جامد شهری از نوع پسماند آلی هستند. در صورت تبدیل این پسماندها به کود آلی که هم به حفظ محیط زیست کمک می کنند و هم باعث اشتغال زایی می شوند، از محصول نهایی تولید شده که در واقع همان کود کمپوست است می توان در کشاورزی به منظور بهبود بافت خاک، افزایش ظرفیت نگهداری و افزایش مواد آلی خاک بهره گرفت و هم از آن به عنوان جایگزینی مناسب به جای کودهای شیمیایی استفاده نمود. با توجه به اهمیت موضوع، این پژوهش به ارزیابی رایج ترین فناوری های تولید کود از پسماند جامد شهری پرداخته است. فناوری های مورد نظر در این پژوهش عبارتند از روش ورمی کمپوست، کمپوست ویندرو (پشته ای) و کمپوست راکتوری. به منظور بررسی جامع این فناوری ها از دو روش VIKOR و روش مجموع ساده وزنی (SAW) استفاده گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که در بین فناوری های منتخب، فناوری ورمی کمپوست بیشترین امتیاز را در هر دو روش مدل تصمیم گیری چند معیاره به دست آورده و به عنوان بهترین گزینه برای تولید کود از پسماند جامد شهری انتخاب می شود. پس از آن نیز فناوری کمپوست راکتوری و کمپوست ویندرو در رتبه های دوم و سوم قرار گرفتند.

واژه های کلیدی: کمپوستینگ، روش SAW، روش VIKOR، مدیریت پسماند.

مقدمه

امروزه رشد و افزایش جمعیت توأم با تولید انواع مختلف پسماند می‌باشد که در صورت عدم مدیریت مناسب این پسماندها موجب ایجاد مسائل و معضلات زیست‌محیطی می‌شود. مقدار قابل ملاحظه‌ای از پسماندهای تولید شده در دنیا، از نوع پسماند آلی (تر) می‌باشد؛ که ماهیت اصلی این نوع پسماندها، رطوبت بالا و فسادپذیر بودن است. این ویژگی شرایط لازم برای تبدیل این پسماندها به کود آلی را فراهم می‌کند (بیزه، ۱۳۹۳).

تولید کود آلی طی فرایند کمپوستینگ در قیاس با سایر سیستم‌های مدیریت و دفع پسماند، اقتصادی‌تر بوده و مفیدترین راه برای استفاده مجدد از مواد اولیه می‌باشد. در طی دهه‌های اخیر در دنیا فناوری‌های گوناگونی برای تبدیل پسماند آلی به کود به‌وجود آمده و مورد استفاده قرار می‌گیرد. فرایند کمپوستینگ یک فرایند طبیعی، هوازی و پویاست که توسط ریزجاندارانی مانند باکتری‌ها، قارچ‌ها و... انجام می‌شود (کامیابی و نوروزی‌فرد، ۱۳۹۴). اما قبل از احداث یک کارخانه تولید کود آلی لازم است تا یک مدیر پارامترهای مختلفی را مد نظر قرار دهد تا کمترین آسیب را به محیط‌زیست وارد شود. به همین علت تصمیم‌گیری در خصوص انتخاب و احداث یک فناوری مناسب دفع پسماند یک عمل چند بعدی است و باید علاوه بر بعد زیست‌محیطی فاکتورهای دیگری را هم مورد بررسی قرار داد. در این پژوهش سه نوع از رایج‌ترین روش‌های تولید کود آلی از پسماند که شامل روش ویندرو، روش راکتوری و روش ورمی‌کمپوست می‌باشد، مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفته است.

در ادامه به بررسی تحقیقات مشابهی که در این حوزه انجام شده است، پرداخته می‌شود.

شارما و راوال (۲۰۲۱) از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) برای انتخاب سیستم مناسب برای تصفیه فاضلاب در کشور هند استفاده کردند. برای این منظور سه معیار اصلی شامل اقتصادی، فنی و بهداشتی و زیست‌محیطی

برای سه نوع سیستم تصفیه فاضلاب یعنی حوضچه تثبیت، روش تریکلینگ و فرایند لجن فعال در نظر گرفته شد. نتایج تجزیه و تحلیل این مطالعه نشان داد که روش حوضچه تثبیت زباله بالاترین امتیاز را در بین سایر سیستم‌ها به‌دست آورده و به عنوان سیستم مناسب برای تصفیه فاضلاب انتخاب گردید (Sharma & Rawal., 2021).

یونس ستار و همکاران (۲۰۲۰) از روش آنالیز تصمیم‌گیری چند معیاره برای انتخاب فناوری مناسب کمپوستینگ در شهر ماکاسار در کشور اندونزی بهره گرفتند. آن‌ها برای انجام این تحقیق از چهار معیار اصلی یعنی فنی، اقتصادی، محیط‌زیستی و اجتماعی استفاده کردند. در این تحقیق سه نوع فناوری کمپوستینگ در نظر گرفته شد که عبارتند از کمپوستر معمولی، کمپوستر هالوی و کمپوستر خانگی. در نهایت مشخص شد در بین فناوری‌های منتخب، روش کمپوستینگ معمولی بهترین فناوری برای پردازش پسماندهای آلی در شهر ساحلی ماساکار است (Yunus Sattar et al., 2020).

شاهنظری (۱۳۹۹) در پژوهشی به بررسی فناوری‌های حرارتی استحصال انرژی از زباله جامد شهری پرداخت. او در این پژوهش از مدل^۱ VIKOR و بر اساس سه پارامتر فنی، اقتصادی و محیط‌زیستی استفاده کرد. نتایج پژوهش او نشان داد که از بین فناوری‌های حرارتی منتخب، فناوری پلاسما بیشترین امتیاز را داشته و پس از آن نیز به ترتیب فناوری‌های گازیفیکاسیون، زباله‌سوز و پیرولیز در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند (شاهنظری، ۱۳۹۹).

صفریان و همکاران (۲۰۱۹) به اولویت‌بندی فناوری‌های تولید بیواتانول از پسماندهای کشاورزی پرداختند. از مدل تصمیم‌گیری چند معیاره برای اولویت‌بندی استفاده شد. در این تحقیق از هفت معیار پایداری شامل هزینه کل، سود، نرخ سوخت‌های فسیلی، بهره‌وری مصرف انرژی، انتشار گازهای گلخانه‌ای، کاربری زمین و عملکرد تولید در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که تولید بیواتانول از نیشکر بالاترین امتیاز را دارد. جو و توت‌فرنگی به علت تولید زیاد

¹ ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (from Serbian)

اطلاعات موجود تقریباً هیچ مدل جامع و کاملی برای بررسی سیستم‌های مختلف تولید کود از پسماند وجود ندارد. طبق بررسی‌های صورت گرفته مشخص شد که روش تصمیم‌گیری چند معیاره می‌تواند به‌عنوان یک روش علمی، دقیق و کاربردی برای انجام یک فرایند مدلسازی کامل انتخاب شود. بنابراین هدف اصلی این پژوهش ایجاد یک مدل جامع با توجه به معیارهای گوناگونی که باید قبل از احداث یک کارخانه تولید کود در نظر گرفت؛ با استفاده از بهترین و کاربردی‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره بوده و هم‌چنین شناسایی مهم‌ترین معیارهایی که برای انتخاب تکنولوژی مناسب نیاز است و پس از آن رتبه‌بندی رایج‌ترین تکنولوژی‌های تولید کود آلی پرداخته می‌شود.

مواد و روش‌ها

از آنجایی که پژوهش حاضر به منظور سطح‌بندی فناوری‌های تولید کود آلی می‌باشد، به همین منظور از پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره یعنی روش VIKOR و روش مجموع ساده وزنی SAW^2 استفاده گردید. برای انجام محاسبات از نرم‌افزار MATLAB استفاده شد. با توجه به هدف پژوهش، این تحقیق از نوع کاربردی محسوب می‌شود.

در این مطالعه سه روش رایج تولید کود آلی در نظر گرفته شد که شامل روش ویندرو، راکتوری و ورمی‌کمپوست می‌باشد. روش ویندرو یعنی تولید کود در توده‌های طولی که به شکل مکانیکی و با یک برنامه زمان‌بندی شده هوادهی می‌شوند. در روش راکتوری توده‌های مواد زائد در درون ظروف خاص و محفظه‌هایی قرار می‌گیرند و بدین شکل کمپوست تولید می‌شود. اما در فرایند ورمی‌کمپوست از گونه‌های خاصی از کرم‌های خاکی برای تبدیل پسماند آلی به کود آلی استفاده می‌گردد (هاشمی‌مجد، ۱۳۹۲).

در ابتدا معیارهای مؤثر در انتخاب بهترین سیستم تولید کود پس از بررسی منابع معتبر تعیین شدند. پس از آن پرسشنامه مربوط به روش تصمیم‌گیری چند معیاره تهیه

گازهای گلخانه‌ای و عملکرد پایین تولید دارای پایین‌ترین رتبه می‌باشند. هم‌چنین گلابی و سیب نیز در بین این سناریوها دارای موقعیت متوسط میانی است (Safarian *et al.*, 2019).

زینی و همکاران (۲۰۱۵) به انتخاب بهترین تکنولوژی فرایند کمپوستینگ پرداختند. آن‌ها در این مطالعه از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP^۱) استفاده کردند؛ هم‌چنین در این مطالعه از دو روش کمپوستینگ یعنی روش ویندرو برگردان و روش راکتوری بر اساس چهار معیار اجتماعی، فنی، اقتصادی، محیط‌زیستی بهره گرفتند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که به ترتیب معیار فنی، محیط زیستی، اقتصادی و اجتماعی به عنوان مهم‌ترین معیارها در انتخاب بهترین فناوری تولید کود کمپوست می‌باشد و در نهایت روش ویندرو برگردان به عنوان مناسب‌ترین تکنولوژی کمپوستینگ معرفی و انتخاب گردید (Zaini *et al.*, 2015).

داوودی‌نژاد و بی‌پروا (۱۳۹۴) از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای رتبه‌بندی سیستم‌های تولید انرژی از فرایندهای تصفیه فاضلاب استفاده کردند. آن‌ها برای انجام این مطالعه از چهار معیار فنی، اقتصادی، مدیریتی و محیط زیستی برای سه نوع فرایند پیل سوخت میکروبی، تصفیه بی‌هوازی و تصفیه ریزجلبکی بهره بردند. در نهایت نتیجه این مطالعه نشان داد که در بین فرایندهای مذکور، روش تصفیه بی‌هوازی به عنوان فرایند مناسب مشخص شد و روش‌های ریزجلبکی و پیل سوخت میکروبی در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (داوودی‌نژاد و بی‌پروا، ۱۳۹۴).

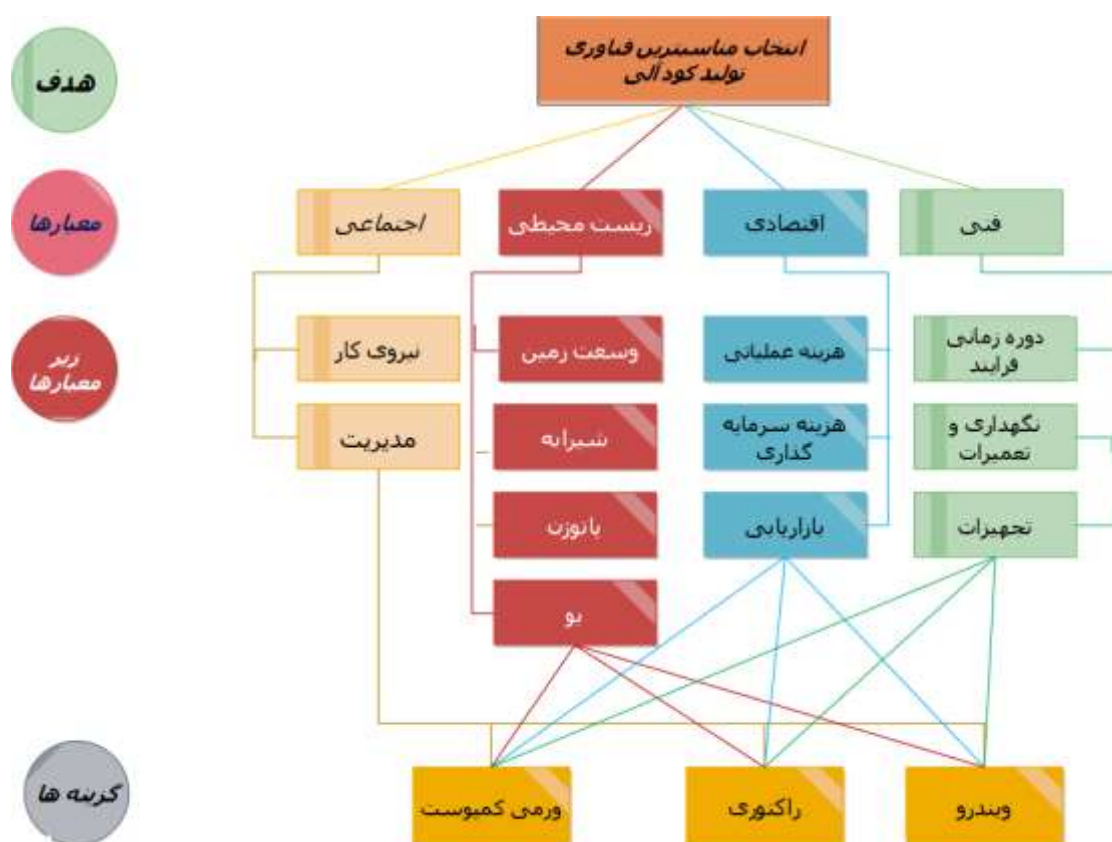
در طی چند سال گذشته فرایند تولید کود آلی از پسماند جامد شهری خیلی مورد توجه محققان، مدیران و سیاست‌گذاران بخش مدیریت شهری به منظور مدیریت هرچه بهتر پسماند قرار گرفته است. اما قبل از احداث یک کارخانه تولید کود آلی لازم است پارامترهای گوناگونی مد نظر قرار گرفته و ارزیابی شوند. از آنجایی که هرکدام از فناوری‌های تولید کود دارای مزایا و معایبی می‌باشند لازم است یک بررسی جامع در این مورد انجام شود. اما طبق

^۲ Simple Additive Weighing

^۱ Analytical Hierarchy Process

زیر معیار در نظر گرفته شد. برای معیار فنی، زیرمعیارهای دوره زمانی فرایند، نگهداری و تعمیرات و تجهیزات؛ برای معیار اقتصادی، هزینه سرمایه‌گذاری، هزینه عملیاتی و بازاریابی محصول نهایی (کود آلی)؛ برای معیار محیط زیستی، وسعت زمین مورد نیاز، شیرابه تولید شده، پاتوژن (عوامل بیماری‌زا) و بو؛ برای معیار اجتماعی، نیروی کار مورد نیاز و مدیریت به‌عنوان زیرمعیار تعیین و انتخاب شدند.

تا به وسیله کارشناسان این امر تکمیل گردد. معیارهای مدنظر در این پژوهش به شکل درخت سلسله مراتبی در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۱ پیداست، هدف اصلی این پژوهش انتخاب فناوری مناسب برای تولید کود از زباله است؛ برای همین منظور چهار معیار فنی، اقتصادی، محیط‌زیستی و اجتماعی به عنوان معیارهای اصلی انتخاب شدند، اما برای افزایش دقت در انتخاب فناوری برای هر کدام از معیارهای اصلی یک سری



شکل ۱- درخت سلسله مراتبی پژوهش حاضر

مراتبی فراهم می‌کند و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسأله دارد. این فرایند گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها را دارد. علاوه بر این، بر مبنای مقایسه زوجی بنا نهاده شده که قضاوت و محاسبات را تسهیل نموده و میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد که از مزایای ممتاز این

پس از مشخص شدن معیارهای اصلی و زیرمعیارها، از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به منظور محاسبه وزن‌ها استفاده گردید. برای محاسبات در این روش از نرم افزار Expert Choice استفاده شد. این روش یکی از کامل‌ترین و جامع‌ترین روش‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه و متفاوت می‌باشد؛ زیرا این سیستم امکان فرموله کردن مسأله را به شکل سلسله

ایده آل مثبت و R_j بیان کننده فاصله گزینه Z_j از راه حل ایده آل منفی می باشد. بدین ترتیب بهترین گزینه بر اساس مقدار S_j و بدترین گزینه نیز بر اساس مقدار R_j خواهد بود.

➤ محاسبه مقدار VIKOR یا مقدار Q_i

$$Q_i = V \left[\frac{S_j - S^*}{S^- - S^*} \right] + (1 - V) \left[\frac{R_j - R^*}{R^- - R^*} \right] \quad (5)$$

در رابطه

(۵) مقدار V همواره مقدار ثابتی بوده و مقدار آن برابر 0.5 می باشد (Chen & Wang., 2009). هم چنین مقادیر S^* و R^* به ترتیب برابر حداقل S_j ، R_j و مقادیر S^- و R^- به ترتیب برابر با حداکثر S_j ، R_j می باشند.

روش مجموع ساده وزنی (SAW)

این روش یکی از پرکاربردترین روش های موجود در روش تصمیم گیری چند شاخصه است. در این روش برای هر گزینه امتیازی حساب شده و گزینه ها بر اساس این امتیازات رتبه بندی می گردند (رضوی و همکاران، ۱۳۹۳). با مفروض بودن وزن معیارها w بهترین و مناسب ترین گزینه A^* به شکل زیر محاسبه می شود (اصغریور، ۱۳۸۳؛ شاهنظری و همکاران، ۱۳۹۶):

$$A^* = \max \frac{\sum W_i r_{ij}}{\sum W_i} \quad (6)$$

که در این رابطه W_i وزن نهایی معیار i ام، r_{ij} وزن نسبی گزینه i ام می باشد (رضوی و همکاران، ۱۳۹۳). هم چنین $\sum W_i = 1$ باشد، در این صورت داریم:

$$A^* = \max \sum W_i r_{ij} \quad (7)$$

از آن جایی که مقیاس اندازه گیری معیارها و گزینه های منتخب جهت تصمیم گیری یکسان نیستند، باید از مقادیر بی مقیاس شده در محاسبه امتیازات استفاده کرد تا این که فرض جمع پذیری برآورده شود. در روش مجموع ساده وزنی به جهت بی مقیاس سازی ماتریس تصمیم گیری از روش خطی استفاده گردید. تبدیل امتیازات گزینه ها در

روش در تصمیم گیری چند معیاره است (شاهنظری، ۱۳۹۹).

روش VIKOR: روش تصمیم گیری چند معیاره را می توان برای ارزیابی گزینه های گوناگون با توجه به معیارهای متعدد و مختلف مورد استفاده قرار داد. در این تحقیق جهت رتبه بندی فناوری های تولید کود از پسماند جامد شهری، از پرکاربردترین روش های تصمیم گیری چند معیاره یعنی روش VIKOR و روش مجموع ساده وزنی SAW استفاده گردیدند.

روش VIKOR برای تصمیم گیری چند معیاره در سیستم های پیچیده طراحی شده است. این روش بر روی رتبه بندی و انتخاب بهترین گزینه با معیارهای متفاوت تمرکز دارد و بر اساس نزدیکی به گزینه ایده آل انجام می شود. واژه VIKOR مخفف یک عبارت صربستانی (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Multi- Solution) است که معادل انگلیسی آن (Resenje criteria optimization and compromise) می باشد.

مراحل روش VIKOR به شرح زیر می باشد (Opricovic & Tzeng., 2004):

➤ تشکیل ماتریس تصمیم گیری اطلاعات جمع آوری شده

➤ محاسبه مقادیر نرمال شده داده ها و وزن معیارها

➤ محاسبه بیشترین و کمترین مقدار برای هر کدام از معیارهای منتخب در این تحقیق.

$$f_j^* = \max f_{ij}, i = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

$$f_j^- = \min f_{ij}, j = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

➤ محاسبه فاصله گزینه ها از راه حل ایده آل

$$S_j = \sum_{i=1}^n \frac{w_i (f_j^* - f_{ij})}{(f_j^* - f_j^-)} \quad (3)$$

$$R_j = \max \left[\frac{w_i (f_j^* - f_{ij})}{(f_j^* - f_j^-)} \right] \quad (4)$$

در این روابط، S_j بیان کننده فاصله گزینه Z_j از راه حل

معیارهای تصمیم‌گیری به مقادیر بی‌مقیاس شده امتیاز هر گزینه به شکل زیر به دست می‌آید (رضوی و همکاران، ۱۳۹۳).

$$F = \sum W_i r_{ij} \quad (8)$$

در این روش، تلاش در جهت برآورد تابع مطلوبیت به ازای هر گزینه است تا این که گزینه‌ای با بیشترین مطلوبیت برگزیده شود. فرض اصلی در این نوع مدل رتبه‌بندی دلالت بر مستقل و مجزا بودن تأثیر هر یک از معیارها از یکدیگر است که در این صورت با محاسبه کردن وزن معیارها، می‌توان ارجحیت گزینه‌ها را بررسی و تعیین نمود (پیشگر و همکاران، ۱۳۹۲).

نتایج

از آن جایی که بخش قابل توجهی از پسماندهای جامد شهری از نوع آلی می‌باشند، بنابراین تولید کود آلی از این مواد می‌تواند یکی از گزینه‌های مناسب در دفع مواد زائد

محسوب شود. در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه شیوه‌های مختلفی برای تولید کود وجود دارند که هر کدام دارای ویژگی‌های مثبت و منفی می‌باشند. پس لزوم توجه به ابعاد مختلف قبل از احداث این کارخانه‌ها امری ضروری است.

در این پژوهش سعی شده تا رایج‌ترین روش‌های تولید کود انتخاب و مورد ارزیابی قرار گیرد که عبارتند از روش کمپوست ویندرو (پشته‌ای)، کمپوست راکتوری و ورمی-کمپوست. برای ارزیابی این فناوری‌ها از چهار معیار اصلی فنی، محیط‌زیستی، اقتصادی و اجتماعی استفاده گردید. پرسشنامه توسط ۹ نفر از کارشناسان حوزه مدیریت شهری و مراکز علمی و دانشگاهی در داخل و خارج از کشور تکمیل گردید. در ابتدا و قبل از انجام محاسبات ماتریس مقایسات زوجی تشکیل شد که مقادیر آن در جدول ۱ نشان داده شده است. این ماتریس که در واقع همان ماتریس تصمیم‌گیری است، از طریق تکمیل پرسشنامه به دست می‌آید.

جدول ۱- مقادیر ماتریس تصمیم‌گیری (ماتریس مقایسات زوجی)

شیرابه	وسعت زمین	بو	پاتوژن	مدیریت	نیروی کار	بازاریابی	هزینه احداث	هزینه عملیاتی	زمان فرایند	تجهیزات	تعمیر و نگهداری
۲/۸۳	۲/۷۳	۲/۶	۲/۴	۲/۷۵	۲/۲۱	۲/۴۴	۲/۵۴	۲/۷	۲/۷۸	۲/۴۵	۲/۴
۰/۳۵	۰/۳۲	۰/۳۳	۰/۴۴	۰/۳۷	۰/۳۲	۰/۴۷	۰/۳۹	۰/۴۲	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۹
۰/۹۸	۱/۱۳	۱/۱۵	۰/۹۴	۰/۹۶	۱/۳۸	۰/۸۶	۱	۰/۸۷	۰/۶۸	۱/۰۵	۱/۰۵

معیارهای اصلی	وزن‌ها
فنی	۰/۰۸۳
اقتصادی	۰/۱۵۵
زیست‌محیطی	۰/۵۳۹
اجتماعی	۰/۲۲۳

پس از مشخص شدن ماتریس تصمیم‌گیری، وزن هر کدام از معیارها و زیرمعیارها به دست آمد. برای محاسبه وزن از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP^۱) و در نرم‌افزار Expert choice استفاده شد. در جداول ۲ و ۳ وزن معیارهای اصلی و زیرمعیارها نشان داده شده است.

جدول ۳- وزن‌های به دست آمده برای زیرمعیارها

زیرمعیارها	وزن‌ها

جدول ۲- وزن‌های به دست آمده برای معیارهای اصلی

^۱ Analytical Hierarchy Process

جدول ۴- مقادیر محاسبه شده برای S_j				
رتبه	مقدار S_j	فناوری		
۱	۰	ورمی کمپوست	نگهداری و تعمیرات	۰/۲۵۹
۲	۲/۷۹	راکتوری	تجهیزات	۰/۱۰۳
۳	۳/۹	ویندرو	دوره زمانی	۰/۶۳۸
			هزینه عملیاتی	۰/۲۴۹
			هزینه سرمایه‌گذاری	۰/۱۱۳
			بازاریابی محصول نهایی	۰/۶۳۷
			پاتوژن	۰/۱۳۳
			بوهای نامطلوب	۰/۰۸۰
			وسعت زمین	۰/۴۷۰
			شیرابه	۰/۳۱۷

جدول ۵- مقادیر محاسبه شده برای R_j		
رتبه	مقدار R_j	فناوری
۱	۰	ورمی کمپوست
۲	۰/۵۷	راکتوری
۳	۰/۷۳	ویندرو

جدول ۶- مقادیر محاسبه شده برای Q_i		
رتبه	مقدار Q_i	فناوری
۱	۰	ورمی کمپوست
۲	۰/۷۴۸	راکتوری
۳	۱	ویندرو

با توجه به محاسبات انجام شده و نتایج آن بر اساس هر سه پارامتر S_j ، Q_i و R_j رتبه‌بندی فناوری‌های مد نظر تولید کود انجام شد. اما طبق اصول روش VIKOR به منظور رتبه‌بندی و انتخاب گزینه‌ها از مقدار Q_i برای این امر استفاده می‌گردد. در این روش هر چه مقدار Q_i گزینه‌ای کمتر باشد، گزینه مطلوب‌تری است. پس در اینجا مقدار Q_i برای فناوری ورمی کمپوست کمترین مقدار را دارد و به‌عنوان گزینه مطلوب برای تولید کود از پسماند جامد شهری انتخاب می‌گردد و بعد از آن به ترتیب روش کمپوست راکتوری و ویندرو در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند. اما در این پژوهش به منظور کسب اطمینان از نتایج حاصل از روش VIKOR بار دیگر محاسبات با روش SAW انجام گرفت. نتایج محاسبات روش مجموع ساده وزنی (SAW) در جدول ۷ نشان داده شده است.

جدول ۷- نتایج حاصل از روش SAW		
رتبه	امتیاز	فناوری
۱	۰/۶۵۱	ورمی کمپوست

وزن‌ها در واقع بیانگر میزان اهمیت نسبی معیارها هستند. در جدول ۱ که وزن معیارهای اصلی است، مشخص گردید که معیار محیط‌زیستی اهمیت بیشتری نسبت به سایر معیارها دارد. پس از آن نیز به ترتیب معیارهای اجتماعی، اقتصادی و فنی قرار دارند. یعنی در انتخاب فناوری تولید کود آلی باید به ترتیب به معیارهای محیط‌زیستی، اجتماعی، اقتصادی و فنی مورد توجه اساسی قرار گیرد. اما در مطالعه زینی و همکاران (۲۰۱۵) نشان داده شد که مهم‌ترین معیارهای اصلی در انتخاب فناوری کمپوست‌سازی به ترتیب فنی، محیط‌زیستی، اجتماعی و اقتصادی می‌باشد و در مطالعه ستار یونس و همکاران (۲۰۲۰) مهم‌ترین معیارها اجتماعی، محیط‌زیستی، فنی و اقتصادی است.

جدول ۲ که وزن زیرمعیارهای هر معیار را نشان می‌دهد، مشخص شد که در بین زیرمعیارهای موجود برای معیار فنی به ترتیب دوره زمانی انجام فرایند، نگهداری و تعمیرات و تجهیزات و برای زیرمعیارهای اقتصادی به ترتیب بازاریابی محصول نهایی، هزینه عملیاتی و هزینه سرمایه‌گذاری و برای زیرمعیارهای محیط‌زیستی وسعت زمین مورد نیاز، شیرابه تولید شده در طی فرایند، پاتوژن و بوهای نامطلوب و در بین زیرمعیارهای فاکتور اجتماعی نیز نیروی کار و مدیریت به ترتیب دارای اهمیت نسبی می‌باشند.

برای به‌دست آوردن نتایج روش VIKOR باید سه پارامتر S_j ، Q_i و R_j محاسبه شود. مقادیر به‌دست آمده برای این سه پارامتر در جداول ۴، ۵ و ۶ نشان داده شده است.

راکتوری	۰/۲۵۵	۲
ویندرو	۰/۰۹۳	۳

منابع

۱. اصغرپور، م. ۱۳۸۳. تصمیم‌گیری‌های چند معیاره، انتشارات دانشگاه تهران.
۲. بیزه، م. ۱۳۹۳. ارزیابی فنی و اقتصادی تولید کود ورمیکمپوست به روش جریان پیوسته. پایان نامه کارشناسی ارشد مکانیزاسیون کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
۳. پیشگر کومله، س، ح، کیهانی، ع، مستوفی سرکاری، م، ر، جعفری، ع. ۱۳۹۲. انتخاب مناسب‌ترین سامانه برداشت ذرت بذری بر مبنای مدل‌های TOPSIS و SAW، مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، جلد ۱۴، شماره ۲، صفحات ۸۱ تا ۹۲.
۴. داوودی نژاد، م. بی پروا، پ. ۱۳۹۴. اولویت بندی فناوری‌های تولید انرژی از فرایندهای تصفیه فاضلاب به روش تحلیل سلسله مراتبی، نشریه انرژی ایران، شماره ۳.
۵. رضوی، س، ح، هاشمی، س، عموزاد مهدیرچی، ح. ۱۳۹۳. تصمیم‌گیری چند شاخصه در شرایط اطمینان و عدم اطمینان، تهران، انتشارات ترمه.
۶. شاهنظری، آ. ۱۳۹۹. ارزیابی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی نیروگاه‌های حرارتی در مدیریت پسماند. مجله علمی مهندسی مکانیک. سال ۲۹، شماره ۱۳۲، صفحات ۹ تا ۱۳.
۷. شاهنظری، آ. روحانی، ع. آق‌خانی، م. ابراهیمی نیک، م. ۱۳۹۶. رتبه‌بندی فرایندهای حرارتی تولید انرژی از زباله با استفاده از روش مجموع ساده وزنی (SAW). اولین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی در علوم و مهندسی.
۸. شاهنظری، آ. ۱۳۹۹. اولویت‌بندی فناوری‌های بازیابی انرژی از زباله جامد شهری (مطالعه موردی شهر مشهد). فصلنامه پژوهش و فناوری محیط‌زیست دوره ۵، شماره ۷، صفحات ۶۷ تا ۷۶.
۹. کامیابی، س. نوروزی‌فرد، ه. ۱۳۹۴. بررسی روش‌های رایج تولید کمپوست از پسماندهای عادی. کنفرانس ملی مدیریت کلانشهر با رویکرد محیط زیست

همان‌گونه که در جدول ۷ مشخص است فناوری ورمی کمپوست بیشترین امتیاز را در بین سایر گزینه‌ها به خود اختصاص داده و به همین دلیل به عنوان بهترین روش کودسازی از پسماند شناخته می‌شود. پس از آن روش‌های راکتوری و ویندرو در رتبه‌های دوم و سوم قرار می‌گیرند. در نهایت نتیجه روش مجموع ساده وزنی (SAW) بیانگر صحت و سقم محاسبات روش VIKOR بوده و فناوری ورمی کمپوست را به عنوان مناسب‌ترین گزینه برای تولید کود و دفع بهتر پسماند آلی معرفی می‌کند.

بحث

مقدار قابل توجهی از پسماندهای تولیدی در دنیا از نوع آلی می‌باشد. عدم مدیریت درست این پسماندها منجر به تولید شیرابه، ایجاد بوهای نامطلوب، زشت نمودن مناظر طبیعی، ایجاد محل مناسب برای رشد و تکثیر جانوران موذی که به تبع آن سبب آلودگی آب‌های سطحی و زیر زمینی، هوا و خاک می‌شود. تولید کود یک روش کاربردی برای پردازش و دفع این نوع از پسماندها می‌باشد. در این پژوهش فناوری‌های رایج تولید کود از پسماند مورد ارزیابی قرار گرفت و برای ارزیابی گزینه‌ها از دو روش رایج در تصمیم‌گیری چند معیاره یعنی روش VIKOR و SAW استفاده گردید. هدف اصلی این تحقیق در وهله اول معرفی روش‌های رایج کودسازی از پسماند جامد شهری بوده و پس از آن یک بررسی جامع و کامل برای شناسایی معیارهای لازم برای احداث و بهره‌گیری از این کارخانه‌ها و انتخاب فناوری برتر برای کودسازی می‌باشد. نتایج این مطالعه نشان داد که مهم‌ترین معیارها برای ارزیابی این سیستم‌ها به ترتیب محیط‌زیستی، اجتماعی، اقتصادی و فنی بوده و مناسب‌ترین فناوری برای کودسازی نیز به ترتیب روش ورمی کمپوست، کمپوست راکتوری و کمپوست ویندرو (پشته‌ای) هستند.

۱۰. هاشمی مجد، ک. ۱۳۹۲. تولید کمپوست و ورمی-کمپوست از ضایعات آلی. انتشارات آبیژ
14. **Sharma A. and Rawal N., 2021.** The Selection of Wastewater Treatment Units Based on Analytical Hierarchical Process. In: Pathak K.K., Bandara J.M.S.J., Agrawal R. (eds) Recent Trends in Civil Engineering. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 77. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-5195-6_73
 15. **Yunus, Sattar., Muis, R., Anggraini, N., and Ariani, F., 2020.** A Multi-Criteria Decision Analysis for Selecting Waste Composting Technology in Makassar, Indonesia. Journal of Southwest Jiaotong University, 55(4). <https://doi.org/10.35741/issn.0258-2724.55.4.1>
 16. **Zaini, N. S. M., Basri, N. E. A., Zain, S. M., and Saad, N. F. M. 2015.** Selecting the best composting technology using analytical hierarchy process (AHP). Jurnal Teknologi, 77(1). <https://doi.org/10.11113/jt.v77.3180>
 11. **Chen, L. Y., and Wang, T. C., 2009.** Optimizing partners' choice in IS/IT outsourcing projects: The strategic decision of fuzzy VIKOR. International Journal of Production Economics, 120(1), 233-242. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2008.07.022>
 12. **Opricovic, S. and Tzeng, G. H., 2004.** Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. European journal of operational research, 156(2), 445-455. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00020-1](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00020-1)
 13. **Safarian, S., Sattari, S., Unnthorsson, R. et al., 2019.** Prioritization of Bioethanol Production Systems from Agricultural and Waste Agricultural Biomass Using Multi-criteria Decision Making. Biophys Econ Resour Qual 4, 4 2019. <https://doi.org/10.1007/s41247-019-0052-0>

Identification and Leveling of New Technologies for Organic Fertilizer Production from Municipal Solid Waste

Arman Shahnazari^{1*}

^{1*}- Department of Biosystem, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

Abstract

Today, in metropolitan areas, principled and hygienic waste management is one of the most important issues in the field of urban management. With the growth of science and technology, it has become clear that waste recycling is one of the most appropriate options in waste disposal. On the other hand, a significant amount of municipal solid waste is organic waste. If this waste is converted into organic fertilizer, which both helps to preserve the environment and creates employment, the final product, which is compost fertilizer, can be used in agriculture to improve texture. Soil is used to increase storage capacity and increase soil organic matter and is also used as a suitable alternative to chemical fertilizers. Due to the importance of this research, it has evaluated the most common technologies for fertilizer production from municipal solid waste. The technologies considered in this research are the vermicomposting method, Windrow composting, and in-vessel composting. To comprehensively study these technologies, two methods, VIKOR and simple additive weighting (SAW) were used. The results of this study showed that among the selected technologies, vermicomposting technology obtained the highest score in both methods of multi-criteria decision making model and was selected as the best option for fertilizer production from municipal solid waste. In-vessel composting technology and Windrow composting came in second and third, respectively.

Key words: Composting, SAW Method, VIKOR Method, Waste Management.