مطلوبیت سنجی تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ با در نظر گرفتن عوامل پایداری با رویکرد چند معیاره

فاطمه ساری خانی[1]؛ دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

محمد فتاحی؛ استادیار، گروه صنایع، دانشکده مدیریت، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

رضا شیخ؛ دانشیار، گروه مدیریت، دانشکده مدیریت، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

چکیده

هدف: روزانه مقادیر زیادی از زباله‌های جامد شهری از منازل مسکونی و فعالیت‌های تجاری تولید می‌شود که تهدید بزرگی برای جوامع مدرن محسوب می‌شود. مدیریت پایداری زباله‌های جامد یکی از مهم‌ترین چالش‌های مدیریت شهری می‌باشد که باید معیارهای اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی مربوط به بازیافت زباله را به طور هم‌زمان در نظر بگیرد.

روش‌شناسی: در این پژوهش، مطلوبیت سنجی تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ بر اساس شاخص‌های پایداری به صورت یک مسئله تصمیم‌گیری چند معیاره بررسی می‌شود. بر همین اساس، روش ویکور فازی برای رتبه‌بندی تکنولوژی‌های بازیافت و روش UTASTAR برای سنجش مطلوبیت گزینه‌های انتخاب شده استفاده شده است.

یافته‌ها: در نتیجه این مطالعه به یک معیار مطلوبیت نهایی برای هر یک از تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ منجر می‌شود که مقایسه‌ی کمّی آن‌ها را از جنبه توسعه پایدار تسهیل می‌کند.

نتیجه‌گیری: نتیجه تحقیق نشان می‌دهد که تکنولوژی بی‌هوازی با بالاترین امتیاز در ویکور فازی و بیشترین مطلوبیت افزوده در روش UTASTAR به عنوان بهترین تکنولوژی برای بازیافت کاغذ انتخاب شده است.

واژه‌های کلیدی: پایداری؛ بازیافت کاغذ؛ روش ویکور فازی؛ روش UTASTAR

۱. نشانی الکترونیک نویسنده مسئول (fateme.sarikhani1988@yahoo.com)

[Downloaded from somjournal.ir on 2026-01-29]

مقدمه

یکی از مهم‌ترین مسائل در حفاظت از محیط‌زیست و حفاظت از منابع طبیعی مدیریت زباله است. زباله‌های جامد شهری (MSW)[1]، زباله‌های جامد تولید شده توسط خانوارها، ادارات، مغازه‌ها، هتل‌ها و رستوران‌ها هستند. مقدار کل MSW تولید شده در سراسر جهان در سال ۲۰۱۲ به میزان ۳،۵۳۲،۲۵۵ تن در روز بود و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۵ به ۶،۰۶۹،۷۰۵ تن در روز افزایش یابد (هورنوِگ و بِهادا تاتا[2] ۲۰۱۲). مدیریت زباله‌های جامد شهری (MSW) یک وظیفه چالشی مهم برای جوامع شهری در سراسر جهان، به ویژه در مناطق روبه رشد است. این چالش با افزایش نرخ تولید زباله، کاهش ظرفیت دفن زباله، افزایش نگرانی‌های زیست‌محیطی و شرایط مختلف قانونی و سیاسی تشدید می‌شود (وانگ و همکاران[3] ۲۰۱۲). مقدار رو به رشد زباله، نگرانی‌های زیست‌محیطی و منابع محدود، برخی از عوامل مؤثر در تدوین قوانین و مقررات مربوط به بازیافت زباله در بسیاری از کشورها هستند. همه این موارد باعث افزایش توجه به استراتژی‌های بازیافت بهینه و پایدار (MSW) شده است (گواَو و هوآنگ[4] ۲۰۰۹).

پایداری یکی از مهم‌ترین مسائلی است که باید در سیستم‌های بازیافت زباله به درستی مورد توجه قرار گیرد (آساسِی و همکاران[5] ۲۰۰۹). در بررسی ادبیات نشان داده شده است که اکثر مطالعات بر جنبه‌های اقتصادی سیستم مدیریت زباله تمرکز دارند و جنبه‌های مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی را نادیده می‌گیرند. بر مبنای توصیه سازمان ملل متحد (۲۰۱۴) که پایداری تنها زمانی می‌تواند حاصل شود که؛ جنبه‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی به طور هم‌زمان در نظر گرفته شوند.

آیرس[6](۱۹۸۹) پیشنهاد کرد اقتصاد صنعتی باید از راه‌های بهتری برای تبدیل زباله از یک صنعت به ورودی در صنعت دیگر استفاده کند. این به معنای وابستگی متقابل بین صنایع است که در آن خروجی یک صنعت می‌تواند ورودی صنعت دیگری باشد. این چرخه وابستگی یا استفاده مجدد از مواد به طور کلی اشاره به بازیافت دارد و هدف آن حذف و یا کاهش ضایعات است. بازیافت گزینه بهتری برای کاهش ضایعات کاغذ و پلاستیک فراهم می‌کند. این پژوهش به طور خاص، بر بازیافت کاغذ متمرکز گردیده است. مطالعاتی از جمله (اشمیت و همکاران[7] ۲۰۰۷؛ لوریسِن و همکاران[8] ۲۰۱۰) به بررسی گسترش سیستم اثرات استفاده نکردن از چوب پرداخته‌اند، به معنای این‌که بازیافت کاغذ به صورت ضمنی باعث می‌شود تقاضا برای کاغذ استفاده نشده و بکر کاهش پیدا کند و این موضوع باعث می‌شود تقاضا برای زمین به منظور کاشت درخت یا چوب کاهش پیدا کند (اشمیت و همکاران، ۲۰۰۷). بنابراین، چوبی که برای تولید کاغذ بکر مورد استفاده قرار نمی‌گیرد، به عنوان جایگزینی برای

1. Municipal Solid Waste
2. Hoornweg and Bhada-Tata
3.Wang et al
4. Guo and Huang
5. Asase et al
6. Ayres
7. Schmidt et al
8. Laurijsen et al

[Downloaded from somjournal.ir on 2026-01-29]

سوخت‌های فسیلی برای تولید انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این تغییر باعث صرفه‌جویی از ۱۱۰۰ تا ۴۴۰۰ کیلوگرم CO_2 در هر تن می‌شود (لوریسِن و همکاران، ۲۰۱۰).

به طورکلی هدف این پژوهش مطلوبیت سنجی تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ با در نظر گرفتن شاخص‌های پایداری است. مکان مورد مطالعه شهر تهران می‌باشد، چرا که تهران به عنوان پرجمعیت‌ترین شهر ایران دارای بیشترین زباله‌های تولیدی می‌باشد. مطلوبیت سنجی تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ به عنوان یک مسئله تصمیم-گیری چندمنظوره پیچیده می‌باشد که نیاز به بررسی گزینه‌ها و معیارهای کمّی و کیفی متناقض دارد. با توجه به این نکته که مزیّت ویکور فازی بر سایر تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمنظوره این است که می‌تواند با معیارهای متضاد مقابله کند، مستقل از واحد معیارها عمل کند و راه حل سازش را بر اساس نزدیک بودن به راه‌حل ایدئال می‌سازد. بر این اساس ویکور فازی برای تعیین اولویت و رتبه‌بندی تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ مورد استفاده قرار گرفته است، سپس از روش UTASTAR برای سنجش مطلوبیت گزینه‌های انتخاب شده استفاده شده است. در این پژوهش برای در نظر گرفتن ابعاد پایداری، داده‌های معیارهای اقتصادی و زیست‌محیطی از شهرداری تهران به دست آمده است و از نوع هزینه می‌باشند که معیار اقتصادی شامل ۲ زیر معیار؛ هزینه‌های سرمایه‌گذاری و درآمد و معیار زیست‌محیطی؛ شامل هزینه‌های زیست‌محیطی ناشی از انتشار گازهای آلاینده محیطزیست می‌باشد. هم-چنین با استفاده از روش S-LCA که روشی شناخته شده برای استخراج معیارهای اجتماعی می‌باشد، مهم‌ترین معیارهای اجتماعی در انتخاب تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ به دست آمده‌اند که شامل: ایجاد فرصت‌های شغلی، پذیرش اجتماعی، امنیت کارگران، تراکنش سالیانه و کیفیت محصولات می‌باشد.

ادبیات و پیشینه‌ی پژوهش

۱- پایداری

مفهوم به حداقل رساندن زباله و در نتیجه افزایش طول عمر مواد اولیه در قالب گزارش سازمان ملل متحد در سال ۱۹۸۷ منتشر شده است. گزارش سازمان ملل متحد یادآور می‌شود که "چالشی که همه با آن مواجه هستیم دستیابی به یک اقتصاد جهانی پایدار است". کمیسیون جهانی محیط زیست (WCED)[1]توسعه پایدار را این‌گونه تعریف می‌کند: "نیازهای نسل حاضر را برآورده کنید، بدون این که توانایی نسل‌های آینده برای برآوردن نیازهایشان به خطر بیافتد" (دبلیو سی ای دی، ۱۹۸۷). به منظور پایداری جامعه‌ایی مانند یک شهر، باید عوامل اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی برای داشتن هماهنگی در تعادل باشند.

۱-۱- روش‌های ارزیابی اقتصادی

ارزیابی اقتصادی با محاسبه سود یا هزینه یک سیستم انجام می‌شود. مدل‌های ریاضی را می‌توان برای به حداکثر رساندن سود کلی (اِن جی و همکاران،[2] ۲۰۱۴) یا به حداقل رساندن هزینه‌های کلی یک سیستم مدیریت زباله انجام داد. در این مدل‌ها، عوامل زیر معمولا در نظر گرفته می‌شود: سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه‌های عملیاتی،

1. World Commission on Environment and Development
2. Ng et el

[Downloaded from somjournal.ir on 2026-01-29]

هزینه‌های حمل و نقل، هزینه نگهداری و درآمد. ارزیابی اقتصادی سیستم مدیریت زباله با استفاده از روش‌های تحلیلی مانند روش‌های تجزیه تحلیل هزینه- منفعت CBA[1] (وِنگ و فوجیوارا[2]،۲۰۱۱) و روش‌های هزینه‌های چرخه عمر (LCC)[3](وون و لو[4]،۲۰۱۶) مورد استفاده قرار گرفته است.

۲-۱- روش‌های ارزیابی زیست‌محیطی

ارزیابی چرخه زندگی (LCA)[5]یک رویکرد سیستماتیک برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی محصولات، تسهیلات و خدمات در یک زنجیره است. (اُتمَن و همکاران[6]،۲۰۱۳) روش LCA را مورد استفاده قرار دادند و گزینه‌ای که بیشترین سازگاری با محیطزیست دارد را برای سیستم مدیریت (MSW) برگزیدند. ارزیابی چرخه زندگی (LCA), مطالعاتی را در جهت ارتقاء حمایت‌های آگاهانه و علمی جهت تصمیم‌گیری‌های زیست‌محیطی پایدار، برای کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی در مدیریت زباله انجام می‌دهد (جی آر سی[7]،۲۰۱۱). هم‌چنین در برخی از مطالعات هزینه‌های زیست‌محیطی نیز مورد توجه قرار گرفته است. هزینه‌های زیست‌محیطی انتشار گاز CO_2 توسط صدیقی و احمدی جاوید (۲۰۱۵) و هزینه‌های زیست‌محیطی انتشار گازهای CO_2، SO_2 , NO_X و Hg در به حداقل رساندن هزینه‌های تولید برق در نظر گرفته شده است.

۳-۱- روش‌های ارزیابی اجتماعی

اندازه‌گیری و کنترل ویژگی‌های چندگانه یک سیستم اجتماعی نیاز به بررسی ذینفعان با پیش‌زمینه‌های متنوع دارد (حسینی جو و همکاران، ۲۰۱۴). تعدادی از دستورالعمل‌ها و استانداردها برای ساده‌سازی اندازه‌گیری و اجرای مسئولیت اجتماعی شامل راهنمایی برای ارزیابی چرخه زندگی اجتماعی محصولات (یو اِن ایی پی/ اِس ای تی اِی سی[8]،۲۰۰۹)، دستورالعمل‌های گزارش‌گری پایداری (جی آر آی[9]،۲۰۱۱) و راهنمایی در مورد مسئولیت اجتماعی- ایزو ۲۶۰۰۰ (ایزو[10]،۲۰۱۰) وجود دارد. این دستورالعمل‌ها یک چارچوب جامع برای مسئولیت اجتماعی از جمله: حقوق بشر، شیوه‌های کار، شیوه‌های عملی عادلانه، مسائل مربوط به مصرف کننده و... ارائه می‌دهند. (یو اِن ایی پی/ اِس ای تی اِی سی، ۲۰۰۹) مسائل اجتماعی را در (LCA) تلفیق کرده و اولین دستورالعمل برای ارزیابی چرخه زندگی اجتماعی را با عنوان (S-LCA)[11]معرفی کرده است. روش S-LCA معرفی شده شامل چهار مرحله اصلی: تعریف هدف و دامنه، تجزیه و تحلیل موجودی چرخه زندگی، ارزیابی تأثیر چرخه زندگی و تفسیر چرخه زندگی می‌باشد.

1. Cost- Benefit Analysis
2. weng and Fujiwara
3. Life Cycle Costing
4. Woon and LO
5. Life Cycle Assessment
6. Othman et al
7. Joint Research Center (JRC)
8. UNEP/SETAC
9. GRI
1 . ISO 0
1 . Social life Cycle Assessment 1

[Downloaded from somjournal.ir on 2026-01-29]

۲- مرور ادبیات

توسط چندین محقق، شاخص‌های پایداری در سیستم‌های زباله‌های جامد مورد استفاده قرار گرفته است. یک هدف گسترده برای مدیریت زباله این است که فرایند پایدار داشته باشد (کمیسیون اروپا[1] ۲۰۰۸). پایداری شامل سه بعد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی می‌باشد (کُنتوس[2] ۲۰۰۵). بهینه سازی چندهدفه برای جریان زباله‌های جامد و توسعه استراتژی‌های پایدار از لحاظ زیست‌محیطی را مورد استفاده قرار دادند (مینچیاردی و همکاران[3] ۲۰۰۸). یک رویکرد یکپارچه در مدیریت زباله برای کشورهای آسیایی را توسعه بخشیدند (شِکدار[4] ۲۰۰۹). یک ارزیابی برای رشد پایدار سیستم مدیریت زباله‌های جامد در بخش شبه جزیره ستوبال پرتغال انجام دادند (پیرِس و همکاران[5] ۲۰۱۱). آن‌ها با استفاده از چهار معیار اصلی، ۱۴ زیر معیار و ۵ گزینه از طریق فرایند تجزیه و تحلیل شبکه (ANP) بر اساس TOPSIS استفاده کردند. در مطالعه دیگر (اسکندری و همکاران، ۲۰۱۲) بهترین مکان برای دفع زباله‌های جامد را از لحاظ دیدگاه‌های زیست محیطی، اقتصادی و فرهنگی برای بخش مرودشت ایران انتخاب کردند. در مطالعه دیگری که توسط هنان و همکاران[6] (۲۰۱۲) انجام شد، از تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره برای ارزیابی مدیریت کاغذ زباله در جزیره وایت در انگلستان استفاده کردند. در این مطالعه، هفت گزینه بازیافت و دفع را با توجه به معیارهای زیست‌محیطی و اجتماعی ارزیابی کردند. در ادبیات، مطالعات متعددی برای نشان دادن رابطه مدیریت زباله‌های جامد و مصرف و تولید انرژی وجود دارد. تکنیک‌های متوالی چندمعیاره را برای هضم بی‌هوازی به منظور بازیافت انرژی از ضایعات جامد، استفاده کردند. نتایج از طریق تجزیه و تحلیل حساسیت ارزیابی می‌شوند (کاراگیانیدیس و پِرکولیدیس[7] ۲۰۰۹). تکنولوژی‌های دفع حرارتی برای تولید انرژی از زباله را توضیح دادند (تِزکاکار و کَن[8] ۲۰۱۱).

از سوی دیگر، تکنیک ویکور فازی برای حل مسائل مختلف MCDM در سال‌های اخیر توسعه داده شده است. از تکنیک ویکور فازی و تکنیک NGT برای ارزیابی و انتخاب برنامه توسعه تامین‌کنندگان سبز استفاده کرده‌اند (آواستی و کنان[9] ۲۰۱۶). یک مدل اولویت‌بندی ریسک را بر مبنای نظریه مجموعه فازی و روش ویکور برای مقابله با مشکلات ارزیابی ریسک در حالت شکست و تجزیه و تحلیل اثرات آن (FMEA) پیشنهاد کردند (لیو و همکاران[10] ۲۰۱۲). از روش ویکور فازی برای مسائل تصمیم‌گیری فازی و برای حل مسئله انتخاب پیمانکار با معیارهای چندگانه تحت محیط عدم اطمینان استفاده کردند (وحدانی و همکاران، ۲۰۱۳). تکنیک UTA اولویت و ترجیحات تصمیم‌گیرندگان را در مورد گزینه‌ها در نظر می‌گیرد و از مدل برنامه‌ریزی خطی برای به دست آوردن تابع مطلوبیت با حداقل انحراف از ترجیحات استفاده می‌کند. در ادبیات، تکنیک UTA برای

1. European commission
2. Kontos et al
3. Minciardi et al
4. Shekdar
5. Pires et al
6. Hanan et al
7. Karagiannidis and Perkoulidis
8. Tezçakar and can
9. Awasthi, A. and Kannan
1 . Liu et al 0

[Downloaded from somjournal.ir on 2026-01-29]

مسائل مختلف مورد استفاده قرارگرفته است، مانند انتخاب پیمانکار (هاتوش و اسکیتمور[1] ۱۹۹۸)، انتخاب یک سیستم مدیریت برنامه‌ریزی فاضلاب (خولقی و آگریک[2] ۲۰۰۱)، انتخاب محل کارخانه (کیومار و همکاران[3] ۲۰۱۰)، مدیریت زیست‌محیطی (دیاکولاکی و همکاران[4] ۱۹۹۹).

به طور خلاصه می‌توان نتیجه گرفت مطلوبیت سنجی تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ مورد بررسی قرار نگرفته است و همچنین اکثر مطالعات بر جنبه‌های اقتصادی سیستم مدیریت زباله تمرکز دارند و جنبه‌های مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی کم‌تر مدنظر قرار گرفته شده است.

۳- تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ

هدف از استراتژی‌های بازیافت کاغذ روش‌هایی برای جلوگیری از دفن کاغذ زباله و استفاده مجدد از زباله‌های تولید شده می‌باشد و این استراتژی‌ها افزایش اثرات اجتماعی و اقتصادی و کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی را به دنبال خواهد داشت. این‌کار موجب جلوگیری از هدر رفت منابع نیز خواهد شد. ذکر این نکته نیز قابل توجه است که با تولید برق از کاغذ زباله که به عنوان جایگزینی برای سوخت‌های فسیلی استفاده می‌شود، نه تنها باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود بلکه با توجه به کمبود منابع در کشورمان ایران، این مسئله اهمیت فوق‌العاده‌ای پیدا می‌کند و هم‌چنین استفاده مجدد از کاغذ بازیافتی، باعث می‌شود نیاز به کاغذ بکر کاهش پیدا کند که این امر خود منافع بی‌شماری را از لحاظ اقتصادی و زیست‌محیطی به دنبال خواهد داشت. با استفاده از تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ، سه نوع محصول تولیدی؛ برق، کاغذ بازیافتی و کود تولید خواهد شد. به طور کلی تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ عبارت‌اند از:

۳-۱ تسهیلات بازیافت مواد (MRF)[5]

این تکنولوژی مواد قابل بازیافت را از منبع زباله‌های جامد شهری بازیافت می‌کند. در واقع این تکنولوژی، کاغذ زباله را تفکیک، آماده‌سازی و بازیافت می‌کند تا به دست صنایع دیگر و مصرف کنندگان نهایی برساند و این امر باعث می‌شود که از کاغذ بکر استفاده کمتری شود.

۳-۲ عملیات حرارتی پیشرفته[6](ATT)

این فن‌آوری برای تولید انرژی (به صورت گرما، برق یا سوخت) طراحی شده است و می‌توانند به جلوگیری از دفن (MSW) کمک کند. تکنولوژی تجهیزات حرارتی پیشرفته در درجه اول از تجزیه در اثر حرارت و یا فرآیند تبدیل به گاز زباله‌های جامد شهری (MSW) استفاده می‌کند.

1. Hatush and Skitmore
2. Kholghi and Agric
3. Kumar et al
4. Diakoulaki et al
5. Materials Recovery Facility
6. Advanced Thermal Treatment

[Downloaded from somjournal.ir on 2026-01-29]

۳-۳- تسهیلات بی‌هوازی (AD)[1]

هضم بی‌هوازی مجموعه‌ای از فرآیندهای است که در آن میکروارگانیسم‌ها در اثر فقدان اکسیژن مواد زیست تجزیه‌پذیر را تجزیه می‌کنند. هضم بی‌هوازی به عنوان منبع انرژی تجدیدپذیر به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. این فرایند بیوگاز را تولید می‌کند که شامل متان، دی اکسیدکربن و سایر گازهای آلاینده است. بیوگاز می‌تواند به طور مستقیم به عنوان سوخت، در موتورهای ترکیبی حرارتی و گاز استفاده شود و یا به کیفیت گاز طبیعی بیومتان ارتقا یافته شود. متان و انرژی تولید شده در تسهیلات هضم بی‌هوازی می‌توانند برای جایگزینی انرژی حاصل از سوخت‌های فسیلی استفاده شوند و بنابراین انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش می‌دهند. متان در بیوگاز می‌تواند برای تولید گرما و برق، معمولا با یک موتور متناوب یا میکروتوربینی سوزانده شود، اغلب در یک توافق همگرا که در آن، برق و حرارت تولید شده برای گرم کردن حفاری‌ها یا گرمایش ساختمان‌ها استفاده می‌شود.

۴-۳- تسهیلات سوزاندن[2]

سوزاندن یک فرایند تصفیه زباله است که شامل احتراق مواد آلی موجود در مواد زباله است. سوزاندن و دیگر سیستم‌های تصفیه زباله با درجه حرارت بالا به عنوان "عملیات حرارتی" توصیف می‌شوند. در برخی موارد، گرما تولید شده توسط سوزاندن می‌تواند برای تولید برق استفاده شود. سوزاندن با بازیافت انرژی یکی از تکنولوژی‌های چندگانه تبدیل زباله به انرژی (WtE) مانند گازسیون (تبدیل به گاز)، تغییر شیمیایی در اثر حرارت و هضم بی‌هوازی است.

۵-۳- تسهیلات کمپوست (تهیه کود)[3]

فرایند کمپوست کردن، فرایند تبدیل زباله‌های زیست محیطی برای اصلاح خاک گیاهی است و به عنوان خاک غنی شده در کشاورزی و باغبانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در کمپوست سازی فرآیندهای تجزیه طبیعی را برای شکستن زباله‌ها، سرعت می‌بخشد.

روش پژوهش

هدف از این تحقیق مطلوبیت سنجی تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ بر اساس شاخص‌های پایداری می‌باشد. بر همین اساس، برای ارزیابی و اولویت‌بندی تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ، تکنیک تصمیم‌گیری ویکور فازی با در نظر گرفتن معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در نتیجه یک مدل سلسله مراتبی MCDM مبتنی بر نظریه مجموعه فازی خواهیم داشت و روش VIKOR(VIsekriterijumska optimizacija i KOmpromisno Resenje) برای اولویت‌بندی تکنولوژی بازیافت کاغذ مورد استفاده قرار می‌گیرد. مزیت ویکور بر سایر تکنیک‌های تصمیم گیری چندمنظوره این است که می‌تواند با معیارهای متضاد مقابله کند، مستقل از واحد معیارها عمل کند و راه حل سازش را بر اساس نزدیک

1. Anaerobic Digester
2. Incinerator Facility
3. Composting facilities

[Downloaded from somjournal.ir on 2026-01-29]

بودن به راه حل ایدئال می‌سازد (اوپریکوویک[1]، ۱۹۹۸). سپس، از تکنیک UTASTAR برای مطلوبیت سنجی تکنولوژی‌های انتخاب شده استفاده شده است. روش UTA (UTility Additive) از تکنیک‌های برنامه‌نویسی خطی به منظور بهینه‌سازی توابع ارزش افزوده / مطلوبیت افزوده استفاده می‌کند، به طوری که این توابع تا حد امکان با ترجیحات تصمیم گیرندگان (اصل استنتاج) سازگار باشد.

تکنیک ویکور فازی:

ویکور یک روش رتبه‌بندی سازش است که توسط اوپریکوویک در سال ۱۹۹۸ معرفی شده است. تکنیک ویکور فازی شامل ارزیابی فازی معیارها و گزینه‌ها در ویکور می‌باشد. ارزیابی زبان‌شناسی برای سنجش معیارها و رتبه‌بندی گزینه‌ها استفاده می‌شود. اصطلاحات زبان‌شناسی (سنجش کلامی) عبارت است از: کلمات یا عبارات زبانی که منعکس کننده دیدگاه ذهنی متخصصین در مورد معیارها و گزینه‌ها می‌باشد. ارزیابی زبان‌شناسی توسط پنل خبرگان برای پردازش بیشتر از طریق ویکور فازی، در مرحله بعد به اعداد فازی تبدیل می‌شود که ما از اعداد فازی مثلثی استفاده کرده‌ایم. مراحل مختلف تکنیک ویکور فازی به شرح زیر ارائه می‌شود:

جدول ۱: مقیاس متغیرهای زبانی برای رتبه‌بندی گزینه‌ها (آواستی[2]، ۲۰۱۰)

اعداد فازی مثلثی	اصطلاحات زبانی
(۱،۱،۳)	خیلی کم (VP)
(۳،۵،۱)	کم (P)
(۳،۵،۷)	متوسط (F)
(۵،۷،۹)	خوب (G)
(۷،۹،۹)	خیلی خوب (VG)

جدول ۲: مقیاس متغیرهای زبانی برای اهمیت معیارها (آواستی، ۲۰۱۰)

اعداد فازی مثلثی	اصطلاحات زبانی
(۱،۱،۳)	خیلی پایین (VL)
(۳،۵،۱)	پایین (L)
(۳،۵،۷)	متوسط (M)
(۵،۷،۹)	بالا (H)
(۷،۹،۹)	خیلی بالا (VH)

1. Opricovic
2. Awasthi

[Downloaded from somjournal.ir on 2026-01-29]

گام اول: دی‌فازی کردن، عناصر ماتریس تصمیم‌گیری فازی برای وزن معیارها و گزینه‌ها به مقادیر قطعی می‌باشد. یک عدد فازی $\tilde{a}=(a_1, a_2, a_3)$ می‌تواند از طریق رابطه (۱) به یک عدد قطعی تبدیل شود:

$$a = \frac{a_1 + 4a_2 + a_3}{6} \quad (1)$$

گام دوم: تعیین نقطه ایدئال مثبت f_j^* و نقطه ایدئال منفی f_j^- برای همه معیارها $j = 1,2,\dots,n$ و گزینه‌ها $i = 1,2,..,m$ مطابق رابطه (۲) تعیین می‌شود:

$$f_j^* = \max_i\{x_{ij}\}\,;\ f_j^- = \min_i\{x_{ij}\} \quad \text{(معیار هزینه)} \qquad \text{(معیار سود)} \quad (2)$$
$$f_j^* = min_i\{x_{ij}\}\,;\ f_j^- = \max_i\{x_{ij}\}$$

گام سوم: مقادیر S_i و R_i با توجه به روابط (۳) محاسبه می‌شود. (توجه داریم که S_i مجموع فاصله و R_i حداکثر فاصله هر گزینه از ایدئال به ازای تمامی معیارها می‌باشد).

$$S_i = \sum_{j=1}^{n} w_j \frac{f_j^* - x_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \quad R_i = max_j\ w_j \frac{f_j^* - x_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \quad (3)$$

گام چهارم: مقدار Q_i مطابق رابطه (۴) محاسبه می‌شود. در این رابطه v که به آن شاخص ویکور گفته می‌شود، عددی بین ۰ و ۱ است و اهمیت هر یک از اجزای رابطه Q_i را نشان می‌دهد و معمولا ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود.

$$Q_i = v\frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} + (1 - v)\frac{R_i - R^*}{R^- - R^*} \quad (4)$$

در جایی که مطابق رابطه (۵) داشته باشیم:

$$S^* = min_i\, S_i;\quad S^- = max_i\, S_i; \quad (5)$$
$$R^* = min_i\, R_i;\quad R^- = max_i\, R_i;$$

v وزنی برای استراتژی ماکزیمم مطلوبیت گروه و $1 - v$ وزنی برای پشیمانی فردی می‌باشد.

گام پنجم: گزینه‌ها بر اساس مقادیر S و R و Q به ترتیب صعودی، مرتب‌سازی و رتبه‌بندی می‌شوند.

گام ششم: پیشنهاد یک راه‌حل سازش، گزینه $(A^{(1)})$که بهترین رتبه‌بندی را بر اساس اندازه Q (مینیمم) کسب کرده است، اگر دو شرط زیر را برآورده کند:

C1: مزیت قابل قبول؛ که طبق رابطه (۶) محاسبه می‌شود:

$$Q(A^{(2)}) - Q(A^{(1)}) \geq DQ \quad (6)$$

در جایی که $A^{(2)}$ گزینه‌ای با رتبه دوم در لیست رتبه‌بندی Q است و M تعداد کل گزینه‌ها می‌باشد. توجه داریم که DQ طبق رابطه (۷) محاسبه می‌شود:

$$DQ = 1/M - 1 \quad (7)$$

[Downloaded from somjournal.ir on 2026-01-29]

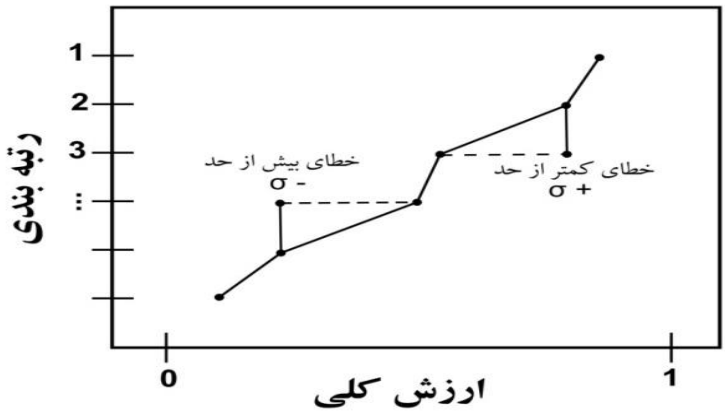
C2: ثبات قابل قبول در تصمیم‌گیری؛ گزینه $A^{(1)}$ باید همچنین بهترین رتبه را توسط S یا / و R کسب کند. راه‌حل سازش پایدار در فرآیند تصمیم گیری که می‌تواند استراتژی حداکثر مطلوبیت گروه باشد (زمانی‌که $v > 0/5$ مورد نیاز است) یا " با توافق $v \approx 0/5$ "، یا با "رای مخالف $v < 0/5$ ". توجه داریم که v وزنی برای استراتژی ماکزیمم مطلوبیت گروه است. اگر یکی از شرایط برآورده نشود، مجموعه‌ای از راه‌حل‌های سازش پیشنهاد می‌شود که شامل:

- گزینه‌های $A^{(1)}$ و $A^{(2)}$اگر فقط شرط C2 را برآورده نکند؛
- گزینه‌های $A^{(1)}, A^{(2)}, \dots, A^{(M)}$ اگر شرط ۱ را برآورده نکند، $A^{(M)}$ توسط رابطه زیر تعیین می‌شود، $Q(A^{(M)}) - Q(A^{(1)}) < DQ$ برای M ماکزیمم (موقعیت این گزینه‌ها در نزدیکی هم هستند).

تکنیک یو تی ای استار:

تکنیک UTA (UTilités Additives) اولین بار توسط جاکوت- لاگرز و سیسکوس[1] در سال ۱۹۸۲ معرفی گردید. هدف آن یافتن یک یا چند تابع ارزش افزایشی (functions additive utility) از مجموعه‌ی مرجع رتبه-بندی شده‌ی A_R می‌باشد. در این روش از تکنیک‌های برنامه‌ریزی خطی ویژه‌ای برای ارزیابی مجموعه رتبه‌بندی شده استفاده می‌گردد.

تکنیک UTASTARاولین بار توسط سیسکوس و یاناکوپولوس[2] در سال ۱۹۸۵ پیشنهاد گردید و بهبود یافته مدل UTA می‌باشد. در روش UTA تنها یک خطا برای مینیمم شدن معرفی شده است، سیسکوس و یاناکوپولوس (۱۹۸۵) برای بهبود فرمول بیان شده از دو تابع خطای مثبت استفاده نموده‌اند:



شکل۱: منحنی رگرسیون ترتیبی (رتبه بندی در مقابل ارزش کل)

1. Jacquet-Lagrèze and Siskos
2. Siskos and Yannacopoulos

[Downloaded from somjournal.ir on 2026-01-29]

هر معیار یک تابع ارزش واقعی غیرکاهشی می‌باشد که در مجموعه Aتعریف شده است و مجموعه A از طریق رابطه (۸) نشان داده شده است:

$$g_i: A \rightarrow [g_{i^*}, g_i^*] \subset i \,/\, a \rightarrow g(a) \in i \qquad (8)$$

در جایی که $[g_{i^*}, g_i^*]$ مقیاس ارزیابی معیارها، g_{i^*} و g_i^* به ترتیب بدترین و بهترین سطح معیارها هستند، $g_i(a)$ ارزیابی یا اقدام عملکرد aدر معیار i می‌باشد و $g(a)$ بردار عملکرد a در معیار n است. ؛ بنابراین، داشتن یک رتبه‌بندی اولیه برای مجموعه‌ای از اقدامات، تنظیم توابع مطلوبیت بر اساس معیارهای چندگانه مدنظر می‌باشد، طوری که ساختار حاصل از آن به همان اندازه با ساختار اولیه سازگار باشد. تکنیک UTASTAR یک تابع ارزش افزایشی بدون وزن است که از رابطه (۹) به دست می‌آید:

$$u(g) = \sum_{i=1}^{n} u_i(g_i) \qquad (9)$$

با توجه به محدودیت‌های نرمالایز شده (۱۰):

$$\sum_{i=1}^{n} u_i(g_i^*) = 1 \quad u_i(g_{i^*}) = 0, \forall i = 1,2,\dots,n; \qquad (10)$$

ارزش هر پیشنهاد $a \in A_R$ با توجه به مدل افزایشی و بر مبنای شرایط ترجیحات به صورت رابطه (۱۱) بیان می‌شود:

$$u'[g(a)] = \sum_{i=1}^{n} u_i[g_i(a)] - \sigma^+(a) + \sigma^-(a) \quad \forall a \in A_R \qquad (11)$$

که $\sigma(a)$ خطای بالقوه‌ی نسبی $u'[g(a)]$ می‌باشد. علاوه بر این، به منظور تخمین توابع ارزش حاشیه‌ای مربوطه، (جاکوت- لاگرز و سیسکوس، ۱۹۸۲), پیشنهاد استفاده از درون‌یابی خطی را دادند. برای هر معیار، فاصله $[g_{i^*}, g_i^*]$, به $(\alpha_i - 1)$فاصله برابر تقسیم می‌شود و در نتیجه نقاط انتهایی g_i^jبا استفاده از رابطه (۱۲) به دست می‌آید:

$$g_i^j = g_{i^*} + \frac{J-1}{\alpha_i - 1}(g_i^* - g_{i^*}) \;\; \forall j = 1,2,\dots,\alpha_j \qquad (12)$$

ارزش حاشیه‌ای فعالیت a توسط یک درون‌یابی خطی تقریب زده می‌شود و در نتیجه برای $g_i(a) \in [g_i^j, g_i^{j+1}]$ طبق رابطه (۱۳) خواهیم داشت:

$$u_i[g_i(a)] = u_i(g_i^j) + \frac{g_i(a) - g_i^j}{g_i^{j+1} - g_i^j}\left[u_i(g_i^{j+1}) - u_i(g_i^j)\right] \qquad (13)$$

مجموعه فعالیت‌های مرجع $A_R = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ دوباره بر مبنای بهترین رتبه به بدترین رتبه مرتب نموده به گونه‌ای که a_1 در ابتدای رتبه‌بندی و a_m به دنبال آن قرار می‌گیرد. برای هر جفت فعالیت‌های متوالی

[Downloaded from somjournal.ir on 2026-01-29]

(a_k, a_{k+1}) که هر یک بر دیگری برتری داشته باشد (preference) یا برتری نداشته باشد (indifference) به توجه به رابطه (۱۴) بررسی می‌شود:

$$a_1: the\ best\ , a_m: the\ orst\ \mathrm{A}_R = \{a_1, a_2, \dots, a_m\} \quad , \quad \begin{cases} a_k > a_{k+1} \leftrightarrow preference \\ a_k \sim a_{k+1} \leftrightarrow indifference \end{cases} \qquad (14)$$

بنابراین اگر رابطه (۱۵) را داشته باشیم:

$$\Delta(a_k, a_{k+1}) = u'[g(a_k)] - u'[g(a_{k+1})] \qquad (15)$$

یکی از حالات (۱۶) پیش می‌آید:

$$\begin{cases} \Delta(a_k, a_{k+1}) \geq \delta \leftrightarrow a_k > a_{k+1} \\ \Delta(a_k, a_{k+1}) = 0 \leftrightarrow a_k \sim a_{k+1} \end{cases} \qquad (16)$$

به طوری که δیک عدد مثبت بسیار کوچک است و حاصل اختلاف دو عضو پی در پی مجموعه‌ی A_R می‌باشد. یکی دیگر از اصلاحات مهم، مربوط به محدودیت‌های یکنواختی معیارها است که از طریق تحول متغیرها مطابق رابطه (۱۷) مورد توجه قرار گرفته است:

$$w_{\mathrm{ij}} = \mathrm{u_i}(\mathrm{g_i^{j+1}}) - \mathrm{u_i}(\mathrm{g_i^j}) \geq 0 \quad \forall \mathrm{i} = 1,2, \dots, \mathrm{n\ and}\ \mathrm{j} = 1,2, \dots, \alpha_\mathrm{i} - 1 \qquad (17)$$

بنابراین شرایط یکنواختی، می‌تواند به وسیله محدودیت‌های غیرمنفی برای متغیرها $w_{\mathrm{ij}}(\mathrm{for\ s_i} = 0)$ جایگزین شود. در نتیجه، الگوریتم UTASTAR می‌تواند در گام‌های زیر خلاصه شود:

مرحله اول: محاسبه ارزش کلی گزینه‌های مرجع؛

$\mathrm{u}[\mathrm{g}(\mathrm{a_k})], \mathrm{k} = 1,2, \dots, \mathrm{m}$, در ابتدا بر اساس ارزش‌های حاشیه‌ای $u_i(g_i)$ و سپس بر حسب متغیرهای w_{ij} با توجه به فرمول (۱۸) محاسبه می‌شود:

$$\begin{cases} u_i(g_i^1) = 0 \qquad \forall i = 1,2, \dots, n \\ u_i(g_i^j) = \sum_{\mathrm{t}=1}^{\mathrm{j}-1} \mathrm{w_{it}} \quad \forall i = 1,2, \dots, n\ and\ j = 2,3, \dots, \alpha_\mathrm{i} - 1 \end{cases} \qquad (18)$$

مرحله دوم: معرفی دو تابع خطا σ^+ و σ^- برای مجموعه A_R با نوشتن برای هر جفت گزینه متوالی که بر اساس رتبه‌بندی اولیه تعیین شده است و با استفاده از رابطه (۱۹) نشان داده می‌شود:

[Downloaded from somjournal.ir on 2026-01-29]

$$\Delta(a_k, a_{k+1}) = u[g(a_k)] - \sigma^+(a_k) + \sigma^-(a_k) - u[g(a_{k+1})] + \sigma^+(a_{k+1}) - \sigma^-(a_{k+1}) \quad (19)$$

مرحله سوم: حل برنامه خطی مطابق رابطه (۲۰): (δ که یک عدد مثبت کوچک است).

$$\begin{cases} [min]Z = \sum_{k=1}^{m}[\sigma^+(a_k) + \sigma^-(a_k)] \\ \text{subject to:} \\ \Delta(a_k, a_{k+1}) \geq \delta \; if \; a_k > a_{k+1} \\ \Delta(a_k, a_{k+1}) = 0 \; if \; a_k \sim a_{k+1} \\ \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{\alpha_i - 1} w_{ij} = 1 \\ w_{ij} \geq 0, \sigma^+(a_k) \geq 0, \sigma^-(a_k) \geq 0 \quad \forall\, i, j, k \end{cases} \quad (20)$$

مرحله چهارم: در این مرحله به بررسی جواب‌های چندگانه یا نزدیک به بهینه با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی (آنالایز پایداری) پرداخته می‌شود. در صورت غیرمنحصر به فرد بودن جواب یعنی اگر پاسخ بهینه یگانه‌ای وجود نداشته باشد، بایستی میانگین جواب‌های نزدیک به بهینه را با استفاده از تابع هدف زیر و اضافه نمودن محدودیت جدید، بهینه کرد. چند ضلعی محدودیت‌های LP توسط محدودیت جدید، مطابق رابطه (۲۱) و (۲۲) محدود می‌شود:

$$= \sum_{j=1}^{\alpha_i - 1} w_{ij} \quad \forall i = 1,2,\dots,n u_i(g_i^*) \quad (21)$$

$$\sum_{k=1}^{m}[\sigma^+(a_k) + \sigma^-(a_k)] \leq z^* + \varepsilon \quad (22)$$

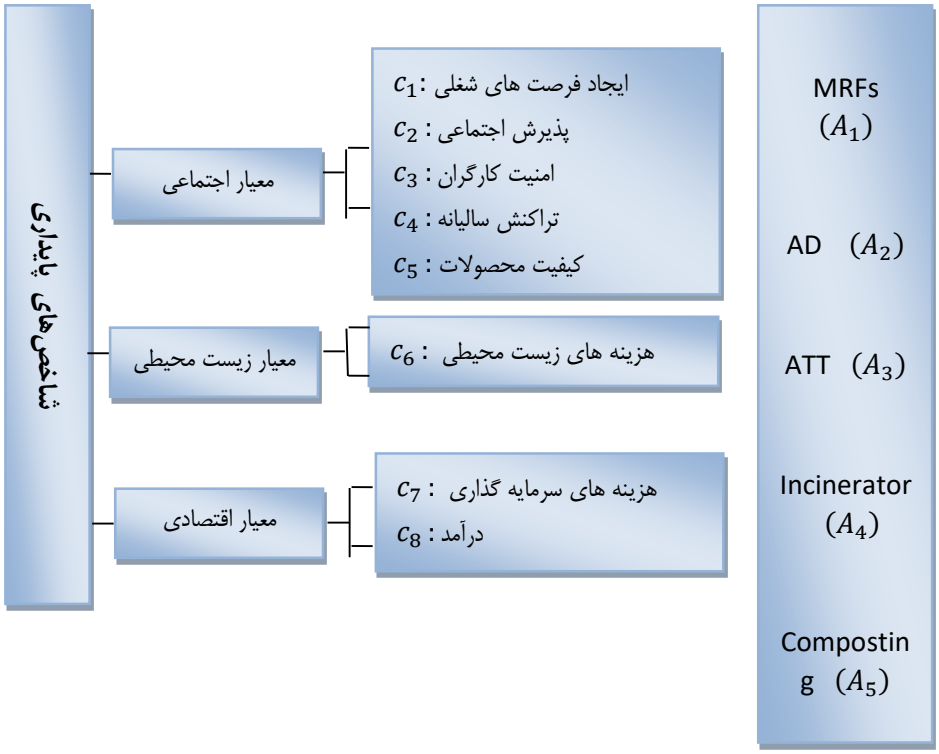
z^* برابر با ارزش بهینه در LP مرحله‌ی قبل است و ε مقدار مثبت خیلی کوچک می‌باشد.

یافته‌های پژوهش

مطلوبیت سنجی تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ (مطالعه موردی تهران)

هدف این پژوهش مطلوبیت سنجی تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ با در نظر گرفتن شاخص‌های پایداری است. برای این منظور رتبه‌بندی تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ، با استفاده از تکنیک ویکور فازی انجام می‌شود و سپس از تکنیک UTASTAR برای مطلوبیت‌سنجی گزینه‌های انتخاب شده، استفاده می‌شود. مکان مورد مطالعه شهر تهران می‌باشد، چرا که تهران به عنوان پرجمعیت‌ترین شهر ایران دارای بیشترین زباله‌های تولیدی می‌باشد.

[Downloaded from somjournal.ir on 2026-01-29]



شکل۲: چارچوبی برای مطلوبیت سنجی تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ با در نظر گرفتن شاخص‌های پایداری

بیان این نکته نیز حائز اهمیت می‌باشد که معیار اجتماعی بر اساس متغیرهای زبانی و معیارهـای اقتصـادی و زیست‌محیطی بر اساس مقیاس‌های کمّی جمع‌آوری شده است. داده‌های معیارهای اقتصادی و زیست‌محیطـی از شهرداری تهران به دست آمده است و از نوع هزینه می‌باشند، به این معنا که هـر چـه ارزش آن‌هـا کمتـر باشـد، گزینه بهتری خواهند بود. معیار اجتماعی از نوع سود می‌باشد، به این معنا که هرچه ارزش بالاتری داشـته باشـند، گزینه بهتری خواهد بود. از گروهی متشکل از پنج نفر متخصص خواسته شد تا نظرات خود را راجع بـه شـاخص-های پایداری بدهند. سنجش کلامی متخصصین با توجه به جدول ۲ برای وزن‌دهی معیارها، مـورد اسـتفاده قـرار گرفته است. همچنین تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ توسط گروه خبرگان مورد بررسی قرار گرفت که هر گزینه بـر اساس شاخص‌های پایداری ارزیابی شده است و آن‌ها نظرات خود را با توجه به جدول ۱ تکمیل کرده‌اند. جدول ۳ رتبه‌بندی زبانی خبرگان را ارائه می‌دهد.

[Downloaded from somjournal.ir on 2026-01-29]

جدول ۳: سنجش کلامی و رتبه‌بندی فازی تجمعی معیارها

معیارها	سنجش کلامی					امتیاز فازی تجمعی	امتیاز قطعی	وزن نرمالایز شده
	خبره ۱	خبره۲	خبره۳	خبره۴	خبره۵			
ایجاد فرصت‌های شغلی (c_1)	H	H	M	H	VH	(۳،۷،۹)	۶/۶۶۷	./۱۲۴
پذیرش اجتماعی (c_2)	M	H	H	M	VH	(۶،۳/۹،۶)	۶/۴	./۱۲۰
امنیت کارگران (c_3)	M	M	H	M	H	(۵،۳/۹،۸)	۵/۸۶۷	./۱۰۹
تراکنش سالیانه (c_4)	M	H	H	VH	H	(۳،۷،۹)	۶/۶۶۷	./۱۲۴
کیفیت محصولات (c_5)	M	L	M	M	H	(۱،۵،۹)	۵	./۰۹۳
هزینه‌های زیست-محیطی (c_6)	H	H	VH	VH	VH	(۸،۵/۹،۲)	۷/۸	./۱۴۵
هزینه‌های سرمایه-گذاری (c_7)	H	H	H	VH	VH	(۷،۵/۹،۸)	۷/۵۳۳	./۱۴۰
درآمد (c_8)	H	H	VH	VH	VH	(۸،۵/۹،۲)	۷/۸	./۱۴۵

وزن فازی تجمعی ($\widetilde{w}_j$) هر معیار j (جدول ۳) به روش زیر به دست آمده است. به طور مثال، برای معیار C_1 یعنی معیار ایجاد فرصت‌های شغلی (اصطلاحات زبانی= (H,H,M,H,VH)) می‌باشد. وزن فازی تجمعی به شرح زیر است $\widetilde{w}_j = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3})$:

$$w_{j1} = \min_k\{w_{jk1}\}, \quad {}_{j2} = \frac{1}{k}\sum_{k=1}^{k} w_{jk2}, \; w_{j3} = \max_k\{w_{jk3}\}, for\ i = 1,2,..,m\ ; j = 1,2,\dots,n$$

$$w_{j1} = \min_k(5,5,3,5,7), w_{j2} = \frac{1}{5}(7,7,5,7,9), w_{j3} = \max_k(9,9,7,9,9) =$$
$$\widetilde{w}_j = (3,7,9)$$

وزن فازی تجمعی $\widetilde{w}_j$ با استفاده از رابطه (۱) به عدد قطعی w_j تبدیل می‌شود. به طور مثال برای معیار C_1 (ایجاد فرصت‌های شغلی)، $\widetilde{w}_j = (3و7و9)$، $w_j = \frac{3+(4*7)+9}{6} = 6/667$ می‌باشد. به همین ترتیب وزن ، جمع بقیه معیارها نیز محاسبه می‌شود. نتایج حاصل از وزن‌های تجمعی بقیه معیارها در ستون آخر جدول ۳ ارائه شده است. همانند مرحله قبل این بار سنجش کلامی تیم خبرگان در مورد تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ با در نظر گرفتن شاخص‌های پایداری انجام شده است. در ادامه سنجش کلامی به اعداد فازی مثلثی تبدیل می‌شود و

[Downloaded from somjournal.ir on 2026-01-29]

سپس رتبه‌بندی تجمعی به همان شیوه‌ای که قبلاً برای معیارها توضیح داده شد. محاسبه می‌شود. در جدول۴ ماتریس تصمیم فازی تجمعی برای تکنولوژی‌ها ارائه شده است. رتبه‌بندی فازی تجمعی برای تکنولوژی‌ها با در نظر گرفتن رابطه (۱) به رتبه‌بندی با اعداد قطعی تبدیل می‌شوند.

جدول ۴: ماتریس تصمیم فازی تجمعی تکنولوژی‌ها با در نظر گرفتن معیار اجتماعی

تکنولوژی‌ها / معیارها	MRFs	ATT	AD	Incinerator	COMPOSTING
ایجاد فرصت‌های شغلی (c_1)	(۷،۹،۹)	(۳،۷،۹)	(۳،۷،۹)	(۵،۷،۹)	(۵،۳/۹،۸)
پذیرش اجتماعی (c_2)	(۷،۵/۹،۸)	(۱،۵،۹)	(۷،۵/۹،۴)	(۱،۳،۷)	(۳،۱/۷،۴)
امنیت کارگران (c_3)	(۱،۵،۹)	(۳،۷،۹)	(۳،۷،۹)	(۸،۵/۹،۲)	(۴،۱/۷،۲)
تراکنش سالیانه (c_4)	(۶،۳/۹،۲)	(۷،۵/۹،۴)	(۳،۷،۹)	(۵،۷،۹)	(۵،۷،۹)
کیفیت محصولات(c_5)	(۶،۳/۹،۲)	(۸،۵/۹،۲)	(۸،۵/۹،۲)	(۷،۵/۹،۸)	(۵،۳/۹،۴)

همان‌طور که قبلاً نیز بیان شد، معیارهای اقتصادی و زیست‌محیطی از نوع غیرفازی می‌باشند. بعد از اینکه زیر معیارهای اجتماعی با در نظر گرفتن رابطه (۱) دی فازی شدند به همراه معیارهای اقتصادی و زیست‌محیطی برای مراحل بعدی ویکور فازی در نظر گرفته می‌شوند. جدول ۵ اطلاعات مربوط به معیارهای اقتصادی و زیست-محیطی را که از مطالعات قبلی استخراج شده است، نشان می‌دهد.

جدول۵: اطلاعات مربوط به معیارهای اقتصادی و زیست‌محیطی

تکنولوژی‌ها / معیارها	MRFs	ATT	AD	Incinerator	COMPOSTING
هزینه‌های زیست محیطی(c_6)	۰	۵۲/۶۳۵	۴۰/۱۹۰	۱۴۶/۷۱۹	۱۳۶/۴۶۴
هزینه‌های سرمایه‌گذاری(c_7)	۵/۲	۳۱/۵	۱۹/۵	۲۹/۲	۱/۵
درآمد(c_8)	۶۳/۵	۱۰۶/۵	۸۳/۵۵	۹۷/۳۵	۴۲/۳

بر این اساس، نقطه ایدئال مثبت f_j^* و نقطه ایدئال منفی f_j^- معیارها با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود. در جدول۶ رتبه‌بندی قطعی تجمعی را ارائه می‌دهد و سپس نتایج f_j^* و f_j^- را برای معیارها نشان می‌دهد. در

[Downloaded from somjournal.ir on 2026-01-29]

ادامه، در جدول۷ مقادیر S_i, R_i و Q_i تکنولوژی‌ها با استفاده از روابط (۳) و (۴) محاسبه می‌شود. مقدار $S^* = .145$ $R^- = .089$ $R^* = .747$ $S^- = .373$ با استفاده از رابطه ۵ محاسبه شده است.

جدول ۶: رتبه‌بندی قطعی و نقطه ایدئال مثبت f_j^* و نقطه ایدئال منفی f_j^- همه معیارها							
معیارها	رتبه بندی قطعی					f_j^*	f_j^-
	MRFs	ATT	AD	Incinerator	COMPOSTING		
(c_1)	۸/۶۶۷	۶/۶۶۷	۶/۶۶۷	۷	۵/۸۶۷	۸/۶۶۷	۵/۸۶۷
(c_2)	۷/۵۳۳	۵	۷/۲۶۷	۳/۳۳۳	۳/۶	۷/۵۳۳	۳/۳۳۳
(c_3)	۵	۶/۶۶۷	۶/۶۶۷	۷/۸	۴/۱۳۳	۷/۸	۴/۱۳۳
(c_4)	۶/۱۳۳	۷/۲۶۷	۶/۶۶۷	۷	۷	۷/۲۶۷	۶/۱۳۳
(c_5)	۶/۱۳۳	۷/۸	۷/۸	۷/۵۳۳	۵/۶	۷/۸	۵/۶
(c_6)	۰	۵۲/۶۳۵	۴۰/۱۹۰	۱۴۶/۷۱۹	۱۳۶/۴۶۴	۰	۱۴۶/۷۱۹
(c_7)	۵/۲	۳۱/۵	۱۹/۵	۲۹/۲	۱/۵	۱/۵	۳۱/۵
(c_8)	۶۳/۵	۱۰۶/۵	۸۳/۵۵	۹۷/۳۵	۴۲/۳	۱۰۶/۵	۴۲/۳

جدول ۷: مقادیر S_i, R_i و Q_i تکنولوژی‌ها					
	MRFs	**ATT**	**AD**	**Incinerator**	**COMPOSTING**
S_i	./۳۹۱	./۳۸۷	./۳۷۳	./۵۲۹	./۷۴۷
R_i	./۱۲۴	./۱۴۰	./۰۸۹	./۱۴۵	./۱۴۵
Q_i	./۳۳۷	./۴۷۴	۰	./۷۰۹	۱

در جدول ۸ رتبه‌بندی تکنولوژی‌ها را بر اساس مقادیر R_i S_i و Q_i به ترتیب صعودی نشان می‌دهد.

جدول۸: رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس مقادیر S_i, R_i و Q_i به ترتیب صعودی					
S_i	AD	ATT	MRFs	Incinerator	COMPOSTING
R_i	AD	MRFs	ATT	Incinerator	COMPOSTING
Q_i	AD	MRFs	ATT	Incinerator	COMPOSTING

از نتایج جدول ۸ می‌توان مشاهده کرد که تکنولوژی AD بهترین رتبه‌بندی را بر اساس مقادیر Q_i (مینیمم) کسب کرده است.

[Downloaded from somjournal.ir on 2026-01-29]

اکنون دو شرط ویکور فازی را بررسی می‌کنیم. با استفاده از رابطه ۷, $DQ = 1/5 - 1 = 1/4 = 0/25$ می‌باشد. با استفاده از رابطه ۶, $Q(MRFs) - Q(AD) = 0/337 - 0 = 0/337 > 0/25$ از این رو شرط ۱ برآورده می‌شود. شرط ۲ نیز برآورده می‌شود, به این دلیل که AD توانسته است, علاوه بر،بهترین رتبه در مقدار Q رتبه بندی بهترین تکنولوژی را در مقدار R و S کسب کند.

رتبه‌بندی نهایی $AD >$ MRFs > ATT > Incinerator > $COMPOSTING$ به این صورت گزارش می‌شود. در ادامه مقاله از تکنیک ASTAR،U برای سنجش مطلوبیت تکنولوژی‌های انتخاب شده استفاده شده است. در جدول ۹ اطلاعات لازم برای شروع UTASTAR با توجه به شاخص‌های پایداری و آنچه که در مراحل قبل مورد استفاده قرار گرفته است درج شده است، و همچنین در آخر جدول رتبه‌بندی ویکور فازی را نشان می‌دهد.

جدول۹: ارزش معیارها و رتبه‌بندی بر اساس ویکور فازی

معیارها / تکنولوژی‌ها	(c_1)	(c_2)	(c_3)	(c_4)	(c_5)	(c_6)	(c_7)	(c_8)	رتبه-بندی
AD	۶/۶۶۷	۷/۲۶۷	۶/۶۶۷	۶/۶۶۷	۷/۸	۴۰/۱۹۰	۱۹/۵	۸۳/۵۵	۱
MRFs	۸/۶۶۷	۷/۵۳۳	۵	۶/۱۳۳	۶/۱۳۳	۰	۵/۲	۶۳/۵	۲
ATT	۶/۶۶۷	۵	۶/۶۶۷	۷/۲۶۷	۷/۸	۵۲/۶۳۵	۳۱/۵	۱۰۶/۵	۳
Incinerator	۷	۳/۳۳۳	۷/۸	۷	۷/۵۳۳	۱۴۶/۷۱۹	۲۹/۲	۹۷/۳۵	۴
COMPOSTING	۵/۸۶۷	۳/۶	۴/۱۳۳	۷	۵/۶	۱۳۶/۴۶۴	۱/۵	۴۲/۳	۵

اولین مرحله در UTASTAR، همان‌طور که در مراحل قبل توضیح داده شده است، شامل ایجاد مطلوبیت صریح و روشن هر پنج تکنولوژی می‌باشد. به همین دلیل بازه‌های زیر برای معیارها انتخاب شده است:

$[g_{1^*}, g_1^*]$= 5/867, 6/800, 7/734, 8/667

$[g_{2^*}, g_2^*]$= 3/333, 4/733, 6/133, 7/533

$[g_{3^*}, g_3^*]$= 4/133, 5/355, 6/578, 7/8

$[g_{4^*}, g_4^*]$= 6/133, 6/511, 6/889, 7/267

$[g_{5^*}, g_5^*]$= 5/6, 6/333, 7/067, 7/8

$[g_{6^*}, g_6^*]$= 146/719, 97/813, 48/906, 0

$[g_{7^*}, g_7^*]$= 31/5, 21/5, 11/5, 1/5

$[g_{8^*}, g_8^*]$= 42/3, 63/7, 85/1, 106/5

درون‌یابی خطی برای معیارها با توجه به فرمول (۱۲) استفاده شده است و سپس مطلوبیت کلی هر گزینه به صورت زیر محاسبه می‌شود:

[Downloaded from somjournal.ir on 2026-01-29]

$$
\begin{aligned}
u[\mathrm{g(AD)}] = {} & 0/143u_1(5/867) + 0/857u_1(6/800) + 0/19u_2(6/133) \\
& + 0/81u_2(7/533) + 0/927u_3(6/578) + 0/073u_3(7/8) \\
& + 0/587u_4(6/511) + 0/413u_4(6/889) + u_5(7/8) \\
& + 0/822u_6(48/906) + 0/178u_6(0) + 0/8u_7(21/5) + 0/2u_7(11/5) \\
& + 0/072u_8(63/7) + 0/928u_8(85/1) \\
& = 0/857u_1(6/800) + 0/19u_2(6/133) + 0/81u_2(7/533) \\
& + 0/927u_3(6/578) + 0/073u_3(7/8) + 0/587u_4(6/511) \\
& + 0/413u_4(6/889) + u_5(7/8) + 0/822u_6(48/906) + 0/178u_6(0) \\
& + 0/8u_7(21/5) + 0/2u_7(11/5) + 0/072u_8(63/7) + 0/928u_8(85/1)
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
u[\mathrm{g(MRFs)}] = {} & u_1(8/667) + u_2(7/533) + 0/291u_3(4/133) + 0/709u_3(5/355) \\
& + u_4(6/133) + 0/273u_5(5/6) + 0/727u_5(6/333) + u_6(0) \\
& + 0/37u_7(11/5) + 0/63u_7(1/5) + 0/009u_8(42/3) \\
& + 0/991u_8(63/7) \\
& = u_1(8/667) + u_2(7/533) + 0/709u_3(5/355) + 0/727u_5(6/333) \\
& + u_6(0) + 0/37u_7(11/5) + 0/63u_7(1/5) + 0/991u_8(63/7)
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
u[\mathrm{g(ATT)}] = {} & 0/143u_1(5/867) + 0/857u_1(6/800) + 0/809u_2(4/733) \\
& + 0/191u_2(6/133) + 0/927u_3(6/578) + 0/073u_3(7/8) \\
& + u_4(7/267) + u_5(7/8) + 0/076u_6(97/813) + 0/924u_6(48/906) \\
& + u_7(31/5) + u_8(106/5) \\
& = 0/857u_1(6/800) + 0/809u_2(4/733) + 0/191u_2(6/133) \\
& + 0/927u_3(6/578) + 0/073u_3(7/8) + u_4(7/267) + u_5(7/8) \\
& + 0/076u_6(97/813) + 0/924u_6(48/906) + u_8(106/5)
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
& u[\mathrm{g(Incinerator)}] \\
& = 0/786u_1(6/800) + 0/214u_1(7/734) + u_2(3/333) + u_3(7/8) \\
& + 0/706u_4(6/889) + 0/294u_4(7/267) + 0/364u_5(7/067) \\
& + 0/636u_5(7/8) + u_6(146/719) + 0/77u_7(31/5) + 0/23u_7(21/5) \\
& + 0/428u_8(85/1) + 0/572u_8(106/5) \\
& = 0/786u_1(6/800) + 0/214u_1(7/734) + u_3(7/8) \\
& + 0/706u_4(6/889) + 0/294u_4(7/267) + 0/364u_5(7/067) \\
& + 0/636u_5(7/8) + 0/23u_7(21/5) + 0/428u_8(85/1) \\
& + 0/572u_8(106/5)
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
& u[\mathrm{g(Composting)}] \\
& = u_1(5/867) + 0/809u_2(3/333) + 0/191u_2(4/733) + u_3(4/133) \\
& + 0/706u_4(6/889) + 0/294u_4(7/267) + u_5(5/6) \\
& + 0/790u_6(146/719) + 0/210u_6(97/813) + u_7(1/5) + u_8(42/3) \\
& = 0/191u_2(4/733) + 0/706u_4(6/889) + 0/294u_4(7/267) \\
& + 0/210u_6(97/813) + u_7(1/5)
\end{aligned}
$$

در جایی که شرایط نرمال‌سازی زیر برای توابع ارزش حاشیه‌ای استفاده شده است:

[Downloaded from somjournal.ir on 2026-01-29]

$$u_1(5/867) = u_2(3/333) = u_3(4/133) = u_4(6/133) = u_5(5/6) = u_6(146/719) = u_7(31/5) = u_8(42/3) = 0$$

همچنین، بر اساس فرمول (۱۸) مطلوبیت کلی گزینه‌ها بر حسب متغیر w_{ij} بیان می‌شود:

$$u[\mathrm{g(AD)}] = 0/857w_{11} + w_{21} + w_{22} + 0/81w_{23} + w_{31} + w_{32} + 0/073w_{33} + w_{41} + 0/413w_{42} + w_{51} + w_{52} + w_{53} + w_{61} + w_{62} + 0/178w_{63} + w_{71} + 0/2w_{72} + w_{81} + 0/928w_{82}$$

$$u[\mathrm{g(MRFs)}] = w_{11} + w_{12} + w_{13} + w_{21} + w_{22} + w_{23} + 0/709w_{31} + 0/727w_{51} + w_{61} + w_{62} + w_{63} + w_{71} + w_{72} + 0/63w_{73} + 0/991w_{81}$$

$$u[\mathrm{g(ATT)}] = 0/857w_{11} + w_{21} + 0/191w_{22} + w_{31} + w_{32} + 0/073w_{33} + w_{41} + w_{42} + w_{43} + w_{51} + w_{52} + w_{53} + w_{61} + 0/924w_{62} + w_{81} + w_{82} + w_{83}$$

$$u[\mathrm{g(Incinerator)}] = w_{11} + 0/214w_{12} + w_{31} + w_{32} + w_{33} + w_{41} + w_{42} + 0/294w_{43} + w_{51} + w_{52} + 0/636w_{53} + 0/23w_{71} + w_{81} + w_{82} + 0/572w_{83}$$

$$u[\mathrm{g(Composting)}] = 0/191w_{21} + w_{41} + w_{42} + 0/294w_{43} + 0/210w_{61} + w_{71} + w_{72} + w_{73}$$

با در نظر گرفتن الگوریتم UTASTAR، برای هر جفت گزینه متوالی با توجه به رتبه‌بندی اولیه و با استفاده از رابطه (۱۹) عبارات زیر به‌دست آمده است:

$$\Delta(\mathrm{AD, MRFs}) = -0/143w_{11} - w_{12} - w_{13} - 0/19w_{23} + 0/291w_{31} + w_{32} + 0/073w_{33} + w_{41} + 0/413w_{42} + 0/273w_{51} + w_{52} + w_{53} - 0/822w_{63} - 0/8w_{72} - 0/63w_{73} + 0/009w_{81} + 0/928w_{82} - \sigma^+(\mathrm{AD}) + \sigma^-(\mathrm{AD}) + \sigma^+(\mathrm{MRFs}) - \sigma^-(\mathrm{MRFs})$$

$$\Delta(\mathrm{MRFs, ATT}) = 0/143w_{11} + w_{12} + w_{13} + 0/809w_{22} + w_{23} - 0/291w_{31} - w_{32} - 0/073w_{33} - w_{41} - w_{42} - w_{43} - 0/273w_{51} - w_{52} - w_{53} + 0/076w_{62} + w_{63} + w_{71} + w_{72} + 0/63w_{73} - 0/009w_{81} - w_{82} - w_{83} - \sigma^+(\mathrm{MRFs}) + \sigma^-(\mathrm{MRFs}) + \sigma^+(\mathrm{ATT}) - \sigma^-(\mathrm{ATT})$$

$$\Delta(\mathrm{ATT, Incinerator}) = -0/143w_{11} - 0/214w_{12} + w_{21} + 0/191w_{22} - 0/927w_{33} + 0/706w_{43} + 0/364w_{53} + w_{61} + 0/924w_{62} - 0/23w_{71} + 0/428w_{83} - \sigma^+(\mathrm{ATT}) + \sigma^-(\mathrm{ATT}) + \sigma^+(\mathrm{Incinerator}) - \sigma^-(\mathrm{Incinerator})$$

$$\Delta(\mathrm{Incinerator, Composting}) = w_{11} + 0/214w_{12} - 0/191w_{21} + w_{31} + w_{32} + w_{33} + w_{51} + w_{52} + 0/636w_{53} - 0/210w_{61} - 0/77w_{71} - w_{72} - w_{73} + w_{81} + w_{82} + 0/572w_{83} - \sigma^+(\mathrm{Incinerator}) + \sigma^-(\mathrm{Incinerator}) + \sigma^+(\mathrm{Composting}) - \sigma^-(\mathrm{Composting})$$

بر اساس بیان فوق، یک برنامه خطی با توجه به رابطه(۲۰) با در نظر گرفتن $\delta = 0/05$ فرموله شده است. این برنامه خطی در لینگو حل شده است و نتایج زیر به دست آمده است:

$$Z^* = 0, \mathrm{W}_{53} = 0/042, \mathrm{W}_{81} = 0/8, \mathrm{W}_{62} = 0/060, \mathrm{W}_{71} = 0/095$$

[Downloaded from somjournal.ir on 2026-01-29]

از آن‌جایی که $z^* = 0$ است، برنامه‌ریزی خطی دارای جواب بهینه چندگانه می‌باشد. بنابراین در مرحله تجزیه و تحلیل پس بهینگی، راه‌حل‌های بیشتر را جستجو می‌کند، که هدف آن حداکثر کردن وزن‌های هر معیار است. علاوه بر این:

$$z^* = 0 \Leftrightarrow \sigma^+(a_k) = \sigma^-(a_k) = 0 \ \ \forall k$$

در نهایت مطلوبیت‌ها برای هر تکنولوژی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$u[g(AD)] = 0/886$
$u[g(MRFs)] = 0/823$
$u[g(ATT)] = 0/672$
$u[g(Incinerator)] = 0/506$
$u[g(Composting)] = 0/105$

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش به منظور مطلوبیت سنجی تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ از تکنیک ویکور فازی برای رتبه‌بندی و تکنیکUTASTAR برای سنجش مطلوبیت تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ با در نظر گرفتن معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی برای رسیدن به پایداری مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت تکنولوژی بی-هوازی (AD) با کسب بهترین رتبه در اولویت‌بندی ویکور و کسب بالاترین مطلوبیت افزوده در تکنیک UTASTAR به عنوان بهترین تکنولوژی برای بازیافت کاغذ پیشنهاد شده است. یکی از موارد مهم برای پیشرفت و توسعه این تحقیق، تغییر در نحوه ارزیابی پایداری در سیستم زباله است که استفاده از روش‌های دیگر تصمیم‌گیری می‌تواند در تحقیقات آتی مورد توجه قرار گیرد. یکی دیگر از محورهای مناسب برای تحقیقات آتی، طراحی شبکه پایدار بازیافت کاغذ است که می‌تواند بهترین مکان برای احداث مراکز تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ و سطح ظرفیت مورد استفاده تکنولوژی‌ها را تعیین کند. از سویی دیگر به شهرداری تهران پیشنهاد می‌شود به جای امحای کاغذ زباله از تکنولوژی بی‌هوازی با هدف تولید برق و صرفه جویی در منابع استفاده نمایند. با تولید برق از کاغذ زباله که به عنوان جایگزینی برای سوخت‌های فسیلی استفاده می‌شود، نه تنها باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود بلکه با توجه به کمبود منابع در کشورمان ایران، این مسئله اهمیت فوق‌العاده‌ای پیدا می‌کند.

منابع

Asase, M., Yanful, E.K., Mensah, M., Stanford, J., Amponsah, S., 2009. Comparison of municipal solid waste management systems in Canada and Ghana: a case study of the cities of London, Ontario, and Kumasi, Ghana. Waste Management. 29, 2779-2786.

Awasthi A., Chauhan S.S, Goyal S.K. (2010), A fuzzy multicriteria approach for evaluating environmental performance of suppliers, International Journal of Production Economics, 126(2), 370-378

[Downloaded from somjournal.ir on 2026-01-29]

Awasthi, A. and Kannan, G., 2016. Green supplier development program selection using NGT and VIKOR under fuzzy environment. *Computers & Industrial Engineering*, *91*, pp.100-108.

Ayres, R. U. (1989). Industrial metabolism. *Technology and environment*, *1989*, 23-49.

Diakoulaki, D., Zopounidis, C., Mavrotas, G., & Doumpos, M. (1999). The use of a preference disaggregation method in energy analysis and policy making. *Energy*, *24*(2), 157-166.

Eskandari, M., Homaee, M., & Mahmodi, S. (2012). An integrated multi criteria approach for landfill siting in a conflicting environmental, economical and socio-cultural area. *Waste Management*, *32*(8), 1528-1538.

European Commission, 2008. Directive 2008/98/EC on Waste and Repealing Certain Directives. European Commission, Brussels, Belgium.

GRI, 2011. Sustinability Reporting Guidelines, version 3.1. Global Reporting Initiative, the Netherlands.

Guo, P., & Huang, G. H. (2009). Inexact fuzzy-stochastic mixed-integer programming approach for long-term planning of waste management–Part A: Methodology. *Journal of Environmental Management*, *91*(2), 461-470.

Hanan, D., Burnley, S., & Cooke, D. (2013). A multi-criteria decision analysis assessment of waste paper management options. *Waste management*, *33*(3), 566-573.

Hatush, Z., & Skitmore, M. (1998). Contractor selection using multicriteria utility theory: an additive model. *Building and environment*, *33*(2-3), 105-115.

Hoornweg, D., & Bhada-Tata, P. (2012). *What a waste: a global review of solid waste management* (Vol. 15, p. 116). World Bank, Washington, DC.

Hosseinijou, S.A., Mansour, S., Akbarpour-Shirazi, M., 2014. Social life cycle assessment for material selection: a case study of building materials. International Journal of Life Cycle Assessment. 19, 620- 645.

ISO, 2010. Final Draft International Standard ISO/FDIS 26000:2010(E), Guidance on Social Responsibility. International Organisation for Standardization, Geneva, Switzerland.

Jacquet- Lagrèze, E. and Y. Siskos (1982). Assessing a set of additive utility functions for multicriteria decision making: The UTA method, *European Journal of Operational Research*, 10 (2), 151–164.

Joint Research Center (JRC), 2011. Supporting Environmentally Sound Decisions for Waste Management. A Technical Guide to Life Cycle Thinking (LCT) and Life Cycle Assessment (LCA) for Waste Experts and LCA Practitioners. Luxembourg. Available from: http://lct.jrc.ec.europa.eu/pdf-directory/ReqNo-JRC65850-LBNA-24916-EN-.pdf.

Karagiannidis, A., & Perkoulidis, G. (2009). A multi-criteria ranking of different technologies for the anaerobic digestion for energy recovery of the organic fraction of municipal solid wastes. *Bioresource technology*, *100*(8), 2355-2360.

Kholghi, M. (2001). Multi-criterion decision-making tools for wastewater planning management. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *3*(4), 281-286.

[Downloaded from somjournal.ir on 2026-01-29]

Kontos, D., Komilis, D.P., Halvadakis, C.P., 2005. Siting MSW landfills with a spatial multiple criteria analysis methodology. Waste Management 25, 818–832.

Kumar, R., Athawale, V. M., & Chakraborty, S. (2010). Facility Location Selection Using the UTA Method. *IUP Journal of Operations Management*, *9*(4).

Laurijssen, J., Marsidi, M., Westenbroek, A., Worrell, E., & Faaij, A. (2010). Paper and biomass for energy: The impact of paper recycling on energy and CO2 emissions. *Resources, Conservation and Recycling*, *54*(12), 1208-1218.

Liu, H. C., Liu, L., Liu, N., & Mao, L. X. (2012). Risk evaluation in failure mode and effects analysis with extended VIKOR method under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, *39*(17), 12926-12934.

Minciardi, R., Paolucci, M., Robba, M., & Sacile, R. (2008). Multi-objective optimization of solid waste flows: Environmentally sustainable strategies for municipalities.*Waste Management*, *28*(11), 2202-2212.

Ng, W.P.Q., Lam, H.L., Varbanov, P.S., Klemes, J.J., 2014. Waste-to-Energy (WTE) network synthesis for Municipal Solid Waste (MSW). Energy Conversion and Management. 85: 866-874.

Opricovic S. (1998), Multicriteria Optimization in Civil Engineering (in Serbian),Faculty of Civil Engineering, Belgrade, -302 p. ISBN 86-80049-82-4.

Othman, S. N., Noor, Z. Z., Abba, A. H., Yusuf, R. O., & Hassan, M. A. A. (2013). Review on life cycle assessment of integrated solid waste management in some Asian countries.*Journal of Cleaner Production*, *41*, 251-262.

Pires, A., Martinho, G., & Chang, N. B. (2011). Solid waste management in European countries: A review of systems analysis techniques. *Journal of environmental management*,*92*(4), 1033-1050.

Schmidt, J. H., Holm, P., Merrild, A., & Christensen, P. (2007). Life cycle assessment of the waste hierarchy–A Danish case study on waste paper. *Waste management*, *27*(11), 1519-1530.

Seddighi, A.H., Ahmadi-Javid, A., 2015a. Integrated multi-period power generation and transmission expansion planning with sustainability aspects in a stochastic environment. Energy. 85, 9-18.

Seddighi, A.H., Ahmadi-Javid, A., 2015b. A sustainable risk-averse approach to power generation planning with disruption risk and social responsibility considerations. Journal of Cleaner Production.105, 116-133.

Shekdar, A., 2009. Sustainable solid waste management: an integrated approach for Asian countries. Waste Management (29), 1438-1448.

Siskos, Y. and D. Yannacopoulos (1985). UTASTAR: An ordinal regression method for building additive value functions, *Investigacao Operacional*, 5 (1), 39–53.

Tezçakar, M., Can, O., 2011. Atıktan enerji eldesinde termal bertaraf teknolojileri. Recydia A.Ş., 1-6

UNEP/SETAC, 2009. Guidelines for social life cycle assessment of products. United Nations Environment Programme and the Society of Environmental Toxicology and Chemistry. Belgium.

[Downloaded from somjournal.ir on 2026-01-29]

Vahdani B, Mousavi SM, Hashemi H, Mousakhani M, Tavakkoli- Moghaddam R (2013) A new compromise solution method for fuzzy group decision-making problems with an application to the contractor selection. Eng Appl Artif Intell 26:779–788

Wang S, Huang GH, Yang BT (2012) An interval-valued fuzzystochastic programming approach and its application to municipal solid waste management. Environ Model Softw 29:24–36

WCED, 1987. Our common future. World Commission on Environment and Development. Oxford–New York, Oxford University Press.

Weng, Y. C., & Fujiwara, T. (2011). Examining the effectiveness of municipal solid waste management systems: an integrated cost–benefit analysis perspective with a financial cost modeling in Taiwan. *Waste management*, *31*(6), 1393-1406.

Woon, K.S., Lo, I.M.C., 2016. An integrated life cycle costing and human health impact analysis of municipal solid waste management options in Hong Kong using modified eco efficiency indicator. Resources, Conservation and Recycling. 107, 104-114.

[Downloaded from somjournal.ir on 2026-01-29]

Utility Assessment of Paper Recycling Technologies in Terms of Sustainability Dimensions with a Multi-Criteria Decision-Making Approach

Fatemeh Sarikhani, Graduate of M.Sc, Department of Industrial Management, Faculty of Industrial Engineering and Management, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran
Mohammad Fattahy, Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Engineering and Management, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran
Reza Sheikh, Associate Professor, Department of Management, Faculty of Industrial Engineering and Management, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

Abstract

Objective: A large amount of Municipal Solid Waste (MSW) is daily produced by residential places and commercial activities which is a major threat to modern societies. The sustainable management of solid waste is one of the most important urban management challenges that should simultaneously take into account the economic, environmental, and social criteria related to waste recycling.

Methodology: In this study, utility assessment of paper recycling technologies based on sustainability criteria was examined as a multi-criteria decision-making problem. Accordingly, the fuzzy Vikor method was used to rank the recycling technologies, and then the UTASTAR method was utilized to measure the utility of the selected options.

Results: As a result, this study led to a final utility criterion for each of the paper recycling technologies that facilitates their quantitative comparison in terms of sustainable development.

Conclusion: Finally, anaerobic digester technology was selected as the best paper recycling technology with the highest score in the fuzzy Vikor rankings and the highest added utility based on the UTASTAR method.

Keywords: Sustainability, Recycling Waste Paper, Vikor Fuzzy Method, UTASTAR method.

[Downloaded from somjournal.ir on 2026-01-29]