بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی

طراحی پایدارشبکه بازیافت کاغذ

نگارنده: فاطمه ساری‌خانی

استاد راهنما

دکتر محمد فتاحی

استاد مشاور

دکتر رضا شیخ

بهمن ۱۳۹۷

تقدیم به پدر و مادرم عزیزم...

که لحظات ناب باور بودن، لذت و غرور دانستن، جسارت خواستن، عظمت رسیدن و تمام تجربه‌های یکتا و زیبای زندگیم، مدیون حضور سبز آن‌ها است.

نام بعضی نفرات رزق روحم شده است، جراتم می بخشد، روشنم می دارد...

پیشکش به آنان که چگونه اندیشیدن را به من آموختند، تا بیاموزم.

استادان عزیزم جناب آقای دکتر قناحی و جناب آقای دکتر شیخ، که در تهیه این تحقیق، هدایت و راهنمایی این جانب را برعهده داشته اند و همواره با نظرات سازنده خود، گره از کارهای فروبسته این پژوهش گشوده اند.

فاطمه ساری خانی

بهمن ۱۳۹۷

تعهدنامه

اینجانب **فاطمه ساری‌خانی** دانشجوی کارشناسی ارشد رشته **مدیریت صنعتی دانکشده مهندسی صنایع و مدیریت** دانشگاه صنعتی شاهرود, نویسنده پایان‌نامه با عنوان **" طراحی پایدار شبکه‌ی بازیافت کاغذ "**, تحت راهنمایی **دکتر محمد فتاحی** متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های دیگر پژوهش‌گران, به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب این پایان‌نامه, تاکنون توسط خود, یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ‌جا ارایه نشده است.
- حقوق معنوی این اثر, به دانشگاه صنعتی شاهرود تعلق دارد, و مقالات مستخرج با نام "دانشگاه صنعتی شاهرود" یا "Shahrood University of Technology" به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آوردن نتایج اصلی پایان‌نامه تاثیرگذار بوده‌اند, در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در تمام مراحل انجام این پایان‌نامه, در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است, ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در تمام مراحل انجام این پایان‌نامه, در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته (یا استفاده شده است), اصل رازداری و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

فاطمه ساری‌خانی

بهمن ۱۳۹۷

مالکیت نتایج و حق نشر

- تمام حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج, کتاب, برنامه‌های رایانه‌ای, نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی, در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در این پایان‌نامه بدون ذکر منبع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

روزانه مقادیر زیادی از زباله‌های جامد شهری (MSW)[1] از منازل مسکونی و فعالیت‌های تجاری تولید می‌شود, که تهدید بزرگی برای جامعه مدرن محسوب می‌شود، به ویژه برای شهرهای بزرگ با ایجاد مسائل زیست محیطی مانند انتشار گازهای گلخانه‌ای، نشت شیرآبه و آلودگی منابع آب, هوا و خاک همراه است. به عنوان یکی از دغدغه‌های مدیران جهت کاهش اثرات زیست محیطی و افزایش اثرات اجتماعی, دانشمندان مطالعاتی را با تمرکز بر معیار اجتماعی انجام داده‌اند, اما در نظر گرفتن پایداری موضوعی است که در این تحقیق به آن توجه شده است. پایداری یکی از مهم‌ترین مسائلی است, که باید در سیستم‌های بازیافت به درستی مورد توجه قرارگیرد. سازمان ملل متحد راه رسیدن به توسعه پایدار را این‌گونه بیان کرده است؛ معیارهای اقتصادی، زیست - محیطی و اجتماعی باید به طور هم‌زمان درنظر گرفته شود. با استفاده از مدیریت زنجیره تامین و فناوری سبز, می‌توان تاثیرات منفی زیست‌محیطی را کاهش داده و به استفاده مطلوب از منابع و انرژی دست یافت. سبز کردن زنجیره تامین فرآیند در نظر گرفتن معیارها و ملاحظات زیست-محیطی در سرتاسر زنجیره تامین است. در این پایان‌نامه, یک رویکرد سیستماتیک با هدف ارائه مدلی برای طراحی یکپارچه شبکه پایدار چند محصولی و تک دوره‌ای بازیافت کاغذ می‌باشد که در آن ابعاد توسعه پایدار به طور هم‌زمان در نظر گرفته شده است. تمام فعالیت‌های مربوط به جمع‌آوری کاغذ زباله و انتقال به مراکز بازیافت و تولید محصولات بازیافتی در این شبکه در نظر گرفته شده است. برای رسیدن به این منظور ابتدا تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ با استفاده از معیار اجتماعی مورد سنجش قرار گرفته‌اند. انتخاب تکنولوژی مناسب بازیافت کاغذ به عنوان یک مساله تصمیم‌گیری چند منظوره پیچیده[2] (MCDM) می‌باشد, که نیاز به بررسی گزینه‌ها و معیارهای کمی و کیفی متناقض دارد. تسهیلات بازیافت مواد, عملیات حرارتی پیشرفته, تسهیلات بی-هوازی, تسهیلات سوزاندن و تهیه کود, تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ می‌باشند, که توسط گروهی از خبرگان مورد بررسی قرارگرفته‌اند و هرگزینه بر اساس معیار و زیرمعیارهای اجتماعی ارزیابی می‌شود. برای انتخاب بهترین تکنولوژی بازیافت، روش ویکور فازی برای تعیین اولویت و رتبه-بندی گزینه‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. سپس از روش UTASTAR برای سنجش مطلوبیت گزینه‌های انتخاب شده استفاده شده است. در ادامه این پژوهش یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط[3] چندهدفه, برای رسیدن به پایداری شبکه طراحی شده است. در نهایت با توجه به

[1] . Municipal Solid Waste
[2] .Multi-criteria decision-making
[3] . MIP

ساختار مدل ارائه شده, این مدل برای شهر تهران پیاده سازی شده است و هم‌چنین تجزیه و تحلیل نتایج نتایج مدل نیز انجام گرفته است.

کلمات کلیدی: پایداری, زنجیره تامین سبز, بازیافت کاغذ زباله, روش ویکور فازی, تکنیک UTASTAR, مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط.

فهرست مقالات مستخرج از پایان‌نامه

"رتبه‌بندی و سنجش مطلوبیت تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ با استفاده از تکنیک ویکور-فازی و UTASTAR" , دوازدهمین کنفرانس بین‌المللی مدیریت استراتژیک تهران.

فهرست مطالب

فهرست جداول

فهرست شکل‌ها

فصل اول

کلیات تحقیق

۱.۱ هدف

با توجه به رشد روزافزون جمعیت و با توجه به این که جهان امروز با مسائلی همچون گرم‌شدن کره زمین, افزایش مقادیر گازهای گلخانه‌ایی, تولید مقادیر زیادی زباله‌های جامد شهری (MSW) و انواع آلودگی‌ها و... مواجه است و این مسائل به طور بالقوه می‌تواند به آسیب محیط زندگی بشر منجر شود, لذا حفظ محیط‌زیست و استراتژی‌های مربوط به آن در اولویت برنامه هر سازمانی قرار دارد. سازمان‌ها از یک طرف باید به سوددهی و مزیت رقابتی و از طرف دیگر به از بین بردن یا حداقل رساندن ضایعات (تولید گازهای گلخانه‌ایی, زباله‌های جامدو ...) و کاهش مصرف انرژی توجه کنند. به عبارت دیگر, وظیفه مدیریت زنجیره تامین را می‌توان این‌گونه برشمرد: " بیشینه کردن ارزش‌افزوده و کاهش هزینه کل در طول فرایندهای تجاری با تمرکز بر سرعت و پاسخ به نیاز بازار".

به طور خلاصه در طراحی شبکه‌های زنجیره تامین, لحاظ کردن هم‌زمان اهداف اقتصادی, اجتماعی و زیست‌محیطی منجر به ایجاد زنجیره تامین سبز می‌شود و این همان مفهوم پایداری است. پایداری یکی از مهمترین مسائلی است که باید در سیستم‌های بازیافت زباله به درستی مورد توجه قرار گیرد[1].

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". برای رسیدن به توسعه پایدار باید بهبود اقتصادی، زیست‌محیطی و بهبود اجتماعی را به طور هم‌زمان در نظر گرفت.

از طرفی روزانه مقادیر زیادی از زباله‌های جامد شهری (MSW) از منازل مسکونی و فعالیت‌های تجاری تولید می‌شود که تهدید بزرگی برای جامعه مدرن محسوب می‌شود، به ویژه برای شهرهای بزرگ با ایجاد مسائل زیست‌محیطی مانند انتشار گازهای گلخانه‌ای، نشت شیرآبه و آلودگی منابع آب, هوا و خاک همراه است. به همین دلیل مدیران علاقه‌مند به مدیریت (MSW) برای کاهش اثرات زیست‌محیطی و افزایش اثرات اجتماعی هستند. یکی از مهم‌ترین مسائل در حفاظت از محیط‌زیست و حفاظت از منابع طبیعی مدیریت زباله است. مدیریت زباله‌های جامد شهری (MSW) یک وظیفه چالشی مهم برای جوامع شهری در سراسر جهان, به ویژه در مناطق رو به رشد است. این چالش با افزایش نرخ تولید زباله، کاهش ظرفیت دفن زباله، افزایش نگرانی‌های زیست‌محیطی و شرایط مختلف قانونی و سیاسی تشدید می شود[2]. مقدار رو به رشد زباله، نگرانی‌های زیست‌محیطی و منابع محدود, برخی از عوامل موثر در تدوین قوانین و مقررات مربوط به بازیافت زباله در بسیاری ازکشورها هستند. همه این موارد باعث افزایش توجه به استراتژی‌های بازیافت بهینه و پایدار (MSW) شده

است[3]. کشورها می‌توانند مواد قابل بازیافت را از طریق طراحی بهینه و سیستم بازیافت (MSW) پایدار, تاثیرات زیست‌محیطی را کاهش داده و آثار اجتماعی را افزایش دهند.

(آیرس[4], ۱۹۸۹) [4] 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 را فراهم می‌کند. در برخورد با مبحث بازیافت کاغذ به دو سوال کلیدی پاسخ داده خواهد شد:

۱. در بازیافت کاغذ از چه تکنولوژی و با چه سطح ظرفیتی استفاده شود, تا بتواند اهداف مدل را به حداکثر برساند؟

۲. بهینه ترین مکان برای احداث مراکز تسهیلات بازیافت کاغذ, از طریق طراحی شبکه پایدار بازیافت کاغذ کدام است؟ که این طراحی شبکه اهداف زیست محیطی, اقتصادی و اجتماعی را در نظر می‌گیرد.

۲.۱ بیان مساله

این تحقیق به ارائه یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای اولویت‌بندی و رتبه‌بندی تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ و به دنبال آن سنجش مطلوبیت تکنولوژی‌های رتبه‌بندی شده می‌پردازد. در ادامه تحقیق یک مدل ریاضی شبکه پایدار بازیافت کاغذ بیان شده است که در مدل مذکور مراکز بازیافت که تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ در آن‌جا احداث خواهند شد و مراکز جمع‌آوری کاغذ زباله در-نظر گرفته شده است, در این طراحی شبکه اهداف اقتصادی, اجتماعی و زیست‌محیطی در نظر گرفته شده است.

[4] .Ayres

۳.۱ مفروضات مساله

در این پایان‌نامه, یک شبکه متشکل از چندین مراکز جمع‌آوری کاغذ زباله و مراکز بازیافت به منظور به کارگیری تسهیلات بازیافت کاغذ در نظر گرفته شده است. افق برنامه‌ریزی یک دوره‌ای است. پنج نوع تکنولوژی برای بازیافت کاغذ و سه نوع محصول حاصل از بازیافت کاغذ در طول شبکه خواهیم داشت.

۴.۱ کاربرد تحقیق

با توجه به رشد روزافزون زباله و به تبع آن تهدیدی که برای جامعه مدرن از نظر مسائل اجتماعی, زیست‌محیطی و منابع محدود و حتی محدودیت مکان مناسب برای دفع زباله ایجاد می‌کند, اهمیت مساله را مشهود می‌کند, که تا چه میزان توجه به استراتژی‌های بازیافت بهینه و پایدار حائز اهمیت می‌باشد. هدف از استراتژی‌های بازیافت زباله, راه‌هایی برای جلوگیری از دفن 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. همان‌طور که بیان شد, هدف این تحقیق ارائه مدلی برای شبکه پایدار بازیافت کاغذ می‌باشد. تمام فعالیت‌های مربوط به جمع‌آوری کاغذ زباله و انتقال به مراکز بازیافت و تولید محصولات بازیافتی در این شبکه در نظر گرفته شده است.

۵.۱ روش کار و تحقیق

در این پایان‌نامه, ابتدا از روش LCA برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ایی و روش S-LCA برای ارزیابی اثرات اجتماعی با استفاده از مقالات معتبر در انتشارات بین‌المللی, کتاب‌های مرتبط و سایت‌های علمی معتبر استفاده شده است. و در ادامه تحقیق اولویت‌بندی و رتبه‌بندی تکنولوژی‌هایی بازیافت کاغذ با استفاده از تکنیک ویکور فازی و سنجش مطلوبیت تکنولوژی‌های مذکور با استفاده از تکنیک UTASTAR انجام شده است. در ادامه این پژوهش یک مدل شبکه پایدار بازیافت کاغذ با هدف بهینه‌سازی برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط چندهدفه برای رسیدن به پایداری شبکه طراحی شده است. در نهایت با توجه به ساختار مدل ارائه شده, این مدل برای شهر تهران پیاده‌سازی شده است و تجزیه و تحلیل نتایج مدل نیز انجام گرفته است.

۶.۱ ساختار تحقیق

فصل‌های بعدی این پایان‌نامه به شرح زیر بیان خواهد شد:

در فصل دوم, تعاریفی از موضوعات مطرح شده در تحقیق و مروری بر ادبیات موضوع انجام می-گیرد.

در فصل سوم, تکنیک ویکورفازی و تکنیک UTASTAR به شرح و تفصیل بیان خواهد شد و با تعریف متغیرها و پارامترهای مساله, مدل‌سازی شبکه بازیافت کاغذ انجام می‌گیرد. مدل و محدودیت‌های آن به تفصیل, بسط داده خواهند شد.

در فصل چهارم, طبق داده‌های به دست آمده از منابع معتبر, یک مدل ارائه می‌شود و در ادامه به تحلیل نتایج حاصل از مدل پرداخته می‌شود.

در فصل پنجم, نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی ارائه خواهد شد.

فصل دوم

تعاریف بنیادین و مرور ادبیات تحقیق

۱.۲ مقدمه

یکی از چالش‌های مهم مدیریت زنجیره تامین, در رابطه با هماهنگ‌سازی جریان مواد بین چندین تسهیل و در درون تسهیلات شبکه زنجیره تامین است. برای رسیدن به این مفهوم, در این فصل ابتدا تعاریفی مرتبط با زنجیره تامین, مدیریت زنجیره تامین سبز و مولفه‌های آن بیان خواهد شد. از طرفی, مدیریت زباله‌های جامد شهری (MSW) یکی دیگر از مباحث مهمی است که در این فصل به آن اشاره می‌شود. این چالش با افزایش نرخ تولید زباله، کاهش ظرفیت دفن زباله، افزایش نگرانی‌های زیست‌محیطی و شرایط مختلف قانونی و سیاسی تشدید می‌شود و همین امر باعث توجه به این حوزه می‌شود. در ادامه این فصل به مفهوم پایداری, روش‌های توسعه پایدار برای مدیریت (MSW), اهمیت بازیافت کاغذ و معرفی تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ پرداخته خواهد شد. مطالعات زیادی در مورد مدیریت زباله, شاخص‌های پایداری, رابطه مدیریت زباله با تولید انرژی, روش ویکور فازی و تکنیک UTASTAR و همچنین در مورد طراحی شبکه‌های بازیافت زباله وجود دارد. در ادامه این فصل, مرور جامعی بر ادبیات تحقیق صورت می‌گیرد.

۲.۲ مدیریت زنجیره تامین

مدیریت زنجیره تامین, فرآیند برنامه‌ریزی, اجرا و کنترل کلیه عملیات مرتبط با زنجیره تامین در بهینه‌ترین حالت ممکن می‌باشد. وظیفه مدیریت زنجیره تامین, مدیریت و هماهنگ‌سازی جریان‌های مختلف درون آن می‌باشد. برای مدیریت زنجیره تامین تعاریف متعددی بیان شده است. به عنوان مثال می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. یک زنجیره تامین از تعدادی اجزای متفاوت (به عنوان مثال تامین‌کننده مواد اولیه, تولید کننده, حمل کننده, خرده فروشان و...) تشکیل شده است که مسئولیت آن‌ها تبدیل مواد اولیه به محصول نهایی و قرار دادن آن در اختیار مشتری نهایی می‌باشد[5]. این کار با هدف برآورده کردن نیاز مشتری در زمان مناسب, مکان مناسب و با کمترین هزینه انجام می‌شود. در اصل کلیه قدم‌ها از تدارکات مواد اولیه تا تحویل محصول نهایی در زنجیره تامین در نظر گرفته می‌شود. با این تعریف تامین‌کنندگان مواد اولیه, تولیدکنندگان, خرده فروشان و مشتری نهایی به یکدیگر متصل می‌شوند. بنابراین, می‌توان زنجیره‌تامین را به صورت گروهی

از شرکت‌ها در نظر گرفت که در تبدیل مواد اولیه به محصول نهایی و تحویل آن به مشتری نهایی نقش دارند.

۲. همچنین (چُپرا و میندِل[5],۲۰۱۰)[6] اذعان می‌دارند که زنجیره تامین دربردارنده تمام بخش‌هایی است که به صورت مستقیم یا غیرمستقیم برای برآورده کردن خواسته‌های مشتری فعالیت می‌کنند. این تعریف دربردارنده چند نکته است:

- ✓ زنجیره تامین دربرگیرنده چند جزء مختلف است که ماهیت عملیاتی آن‌ها لزوما ماهیت حقوقی ندارد (ممکن است مالک چند جزء از عملیات زنجیره تامین یکی باشد).
- ✓ یک زنجیره تامین حول خواسته مشتری شکل می‌گیرد. در حقیقت چیزی که زنجیره‌تامین را به وجود می‌آورد (و به تبع آن استراتژی و ساختار آن را شکل می‌دهد و نوع فعالیت‌ها و نحوه انجام آن‌ها را مشخص می‌کند) آن خواسته‌ای از مشتری است که انتخاب می‌شود تا زنجیره تامین به آن پاسخ دهد.
- ✓ درست است که خواسته‌های مشتری برای تک‌تک اعضای زنجیره‌تامین اهمیت دارد, اما نمی‌توان گفت که همه آن‌ها فقط به خواسته مشتری جواب می‌دهند. بسیاری از اعضای زنجیره‌ها در چند زنجیره‌تامین مشترک‌اند و فعالیت‌هایی را انجام می‌دهند که به خواسته مشتری یک زنجیره‌تامین خاص مستقیما ارتباط ندارد. به عنوان مثال خدمات حمل و نقل یا بیمه. اگر چه بدون این اجزاء ارتباطات بین اعضای زنجیره برقرار نمی‌شود, اما برای مشتری به عنوان یک مصرف کننده اهمیتی ندارد که تلویزیون او را کدام کشتی حمل کرده است, مهم آن است که ویژگی‌های فنی و کیفی خاصی را داشته باشد.
- ✓ مشتری خواسته‌های مختلفی دارد. بر مبنای این خواسته‌ها می‌توان بازار را بخش‌بندی کرد. معمولا هر زنجیره تامین قرار است که به خواسته‌های بخش خاصی از بازار پاسخ دهد. این مساله را می‌توان در طراحی ساختار زنجیره تامین مشاهده کرد.

توسعه روزافزون فضای رقابتی و جهانی شدن بازار محصولات موجب شده است که سازمان‌ها در جهت بقای خود, تلاش چشم‌گیری را در راستای بهینه‌سازی زنجیره تامین خود به کار گیرند تا توان پاسخ‌گویی به نیازهای متنوع مشتریان را در حداقل زمان و با صرف حداقل هزینه داشته باشند.

مدیریت زنجیره تامین, مدیریت همه فرآیندهای ساخت و تامین از مواد اولیه تا مشتری نهایی می‌باشد که کل زنجیره ارزش از استخراج مواد تا پایان عمر مفید محصول را در برمی‌گیرد. برخی

[5] .Chopra and Meindel

فراتر رفته و بازیافت اولیه را نیز در محدوده مدیریت زنجیره تامین می‌دانند. مفهوم مدیریت زنجیره تامین با کنترل مواد و تولید تفاوت دارد. برای توضیح بیشتر می‌توان به چند جنبه که از منظر این موارد, مدیریت زنجیره‌تامین به میزان چشم‌گیری از کنترل مواد و تولید به شیوه سنتی متفاوت است, اشاره کرد:

i. مدیریت زنجیره‌تامین به جای محول ساختن مسئولیت‌های مجزای حوزه‌های کارکردی به بخش‌های مختلف, زنجیره تامین را به منزله یک هویت واحد می‌بینند.

ii. مدیریت زنجیره تامین به تصمیم‌گیری استراتژیک نیازمند است. تدارک یک هدف مشترک از تمامی وظایف عملی زنجیره‌تامین است و به خاطر تاثیر بر روی هزینه‌ها و نیز سهم بازار از اهمیت خاصی برخوردار است.

iii. مدیریت زنجیره تامین نیازمند رویکرد جدیدی به سیستم‌ها است: یکپارچگی عنصر اساسی است. مدیریت زنجیره تامین شامل مفاهیم زیادی می‌شود که از این میان می‌توان به مدیریت موجودی, طراحی شبکه زنجیره تامین, بازاریابی, مدیریت ریسک و ... اشاره کرد.

در نهایت مدیریت زنجیره تامین عبارت است از: فرآیند برنامه‌ریزی, اجرا و کنترل کلیه عملیات مرتبط با زنجیره تامین در بهینه‌ترین حالت ممکن. مدیریت زنجیره تامین دربرگیرنده تمامی جابجایی‌ها و ذخیره مواد اولیه, موجودی در حین کار و محصول تمام شده از نقطه شروع اولیه تا نقطه پایان مصرف می‌باشد. وظیفه مدیریت زنجیره تامین, مدیریت و هماهنگ‌سازی جریان‌های مختلف درون آن می‌باشد. یکی از چالش‌های مهم مدیریتی در این زمینه, در رابطه با هماهنگ‌سازی جریان مواد بین چندین تسهیل و در درون تسهیلات شبکه زنجیره تامین است. به منظور نیل به این مهم, استفاده از تکنولوژی‌ها و ابزارهایی جهت درگیری مواد در مسیر طی شده از مبداء به مقصد و ثبت اطلاعات در هر مرحله مورد نیاز است. در کنار جریان کالا دو جریان دیگر, یکی جریان اطلاعات و دیگری جریان منابع مالی و نیز اعتبارات نیز حضور دارند. امروزه حوزه‌های مختلفی از زنجیره تامین مورد مطالعه قرار می‌گیرند, از جمله این حوزه‌ها می‌توان به شبیه‌سازی زنجیره تامین, مدیریت ریسک زنجیره تامین, رهگیری در زنجیره تامین, مهندسی مجدد زنجیره تامین, برنامه‌ریزی تولید پیشرفته زنجیره تامین, مدیریت پروژه‌های زنجیره تامین, مدیریت توزیع و شبکه‌های تامین, مدیریت زنجیره تامین سبز, مدیریت ناوگان توزیع, مدیریت منابع انسانی, مدیریت اطلاعات, سامانه اطلاعاتی زنجیره تامین و ... اشاره کرد.

۳.۲ تاریخچه مدیریت زنجیره تامین سبز

مدیریت زنجیره تامین سبز توسط انجمن پژوهش صنعتی دانشگاه ایالتی میشیگان در سال ۱۹۹۶ معرفی شد, که در واقع مدل مدیریت نوینی برای حفاظت از محیط زیست است. مدیریت زنجیره تامین سبز از منظر چرخه عمر محصول شامل تمامی مراحل از مواد اولیه, طراحی و ساخت محصول, فروش محصول و حمل و نقل, استفاده از محصول و بازیافت محصولات می‌باشد. با استفاده از مدیریت زنجیره تامین و فناوری سبز, شرکت می‌تواند تاثیرات منفی زیست‌محیطی را کاهش داده و به استفاده مطلوب از منابع و انرژی دست یابد[7]. سبز کردن زنجیره تامین فرآیند در نظر گرفتن معیارها یا ملاحظات زیست‌محیطی در سرتاسر زنجیره تامین است. مدیریت زنجیره تامین سبز, یکپارچه کردن مدیریت زنجیره تامین با الزامات زیست‌محیطی در تمام مراحل طراحی محصول, انتخاب و تامین مواد اولیه, تولید و ساخت, فرآیندهای توزیع و انتقال, تحویل به مشتری و بالاخره پس از مصرف, مدیریت بازیافت و مصرف مجدد به منظور بیشینه کردن میزان بهره‌وری مصرف انرژی و منابع همراه با بهبود عملکرد کل زنجیره تامین است[7]. در بررسی اثرات زیست‌محیطی فعالیت‌های زنجیره تامین به تحلیل اثرات محصولات بر محیط زیست به کمک رویکردی کلی نگر (شامل تحلیل دوره عمر محصول از آغاز تا پایان عمر آن) پرداخته می-شود.

۴.۲ برخی از مولفه‌های زنجیره تامین سبز

۱.۴.۲ طراحی سبز

طراحی سبز به این معنی است که شرکت باید شرح کامل زیست‌محیطی, سلامت انسان و ایمنی محصول را در روند کسب مواد اولیه, تولید و توزیع در نظر بگیرد و هدف آن جلوگیری از آلودگی در منبع است. در این میان باید به اثرات مختلف ساخت, فروش, بازیابی و استفاده مجدد از منظر توسعه پایدار توجه نموده و از سه گزینه اقتصاد بازیافت (کاهش, استفاده مجدد و بازیافت) به عنوان اصلی برای توسعه زنجیره تامین استفاده نماید[8].

۲.۴.۲ مواد سبز

مواد سبز به موادی اشاره دارد که در فرآیند تولید, منابع و انرژی کمتر مصرف نموده و سر و صدای کمتر ایجاد می‌نماید, غیر رسمی بوده و موجب نابودی محیطزیست نمی‌شود. بنابراین,

شرکت‌ها باید در کنار حفظ عملکرد اصلی محصولات, از مواد سبز برای رسیدن به اهداف زیست-محیطی و بالا بردن بازده اقتصادی و کاهش هزینه‌ها استفاده نمایند. در روند انتخاب مواد, باید مواد به سهولت بازیابی و مستقل از محیط انتخاب شوند.

۳.۴.۲ تولید سبز

تولید سبز به عنوان تولید پاک نیز شناخته شده است. در مراحل مختلف توسعه و یا درکشورهای مختلف, نام‌های تولید سبز متفاوت است. اما معنای اصلی آن استفاده از استراتژی‌های دفاع از آلودگی برای کاهش آلودگی محیط زیست و با دیدگاه افزایش راندمان تولید و کاهش مخاطرات انسانی و زیست‌محیطی می‌باشد.

۴.۴.۲ بازیافت سبز

بازیافت سبز به معنی بازیافت محصول و یا محصولات زائد شرکت است, که ممکن است نقص داشته باشد. دور نگه‌داشتن فرآیند تولید از هدر رفتن منابع و آلودگی کمتر و اجتناب از آسیب رساندن به محیط و جامعه در طول فرآیند, از اهداف بازیافت سبز می‌باشد. بازیافت نقش مهمی در چرخه عمر محصول بازی می‌کند. روش‌های متفاوت بازیافت ممکن است چرخه حیات را به یک دایره تبدیل کند. بازیافت ضایعات محصول می‌تواند میزان مصرف منابع را کاهش دهد.

۵.۲ زباله‌های جامد شهری (MSW)

یکی از مهم‌ترین مسائل در حفاظت از محیط‌زیست و حفاظت از منابع طبیعی مدیریت زباله است. زباله‌های جامد شهری (MSW) زباله‌های جامد تولید شده توسط خانوارها, ادارات, مغازه‌ها, هتل‌ها و رستوران‌ها هستند. مقدار کل (MSW) تولید شده در سراسر جهان درسال 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[9]. مدیریت زباله‌های جامد شهری (MSW) یک فرآیند پیچیده شامل مسیرهای جمع‌آوری زباله‌ها، مکان‌های ایستگاه انتقال [10], استراتژی‌های بازیافت، محل تسهیلات بازیافت و بازیافت انرژی است. به منظور طراحی و پیاده‌سازی یک (MSW) مناسب، تصمیم‌گیران باید اهداف محلی و منطقه‌ای را در تمام یا برخی از این مراحل تعیین کرده و سپس استراتژی را بر این اساس

برنامه‌ریزی کنند. اما اکثر مطالعات در مورد استراتژی‌های (MSW) به دلیل دامنه اثرات زیست-محیطی و مالی, تنها بر دو مرحله اصلی, استراتژی بازیافت زباله و محل تسهیلات بازیافت متمرکز شده است. مدیریت زباله‌های جامد شهری (MSW) یک وظیفه چالشی مهم برای جوامع شهری در سراسر جهان, به ویژه در مناطق روبه‌رشد 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[۶], ۲۰۱۲)[2]. مقدار رو به رشد زباله، نگرانی‌های زیست‌محیطی و منابع محدود, برخی از عوامل موثر در تدوین قوانین و مقررات مربوط به بازیافت زباله در بسیاری ازکشورها هستند. همه این موارد باعث افزایش توجه به استراتژی‌های بازیافت بهینه و پایدار (MSW) شده است [3].

پایداری یکی از مهم‌ترین مسائلی است که باید در سیستم‌های بازیافت زباله به درستی مورد توجه قرار گیرد (آساس و همکاران[۷], ۲۰۰۹)[1]. در بسیاری از کشورها، اکثر (MSW) دفن یا تخلیه می‌شوند [11] و تاسیسات دفع زباله مانند کمپوست و زباله‌سوز به ندرت مورد استفاده قرار می‌گیرد [12]. کشورها می‌توانند مواد قابل بازیافت را از طریق طراحی بهینه و سیستم بازیافت (MSW) پایدار, تاثیرات زیست‌محیطی را کاهش داده و آثار اجتماعی را افزایش دهند.

۶.۲ پایداری

مفهوم به حداقل رساندن زباله و در نتیجه افزایش طول عمر مواد اولیه در قالب گزارش سازمان ملل‌متحد در سال ۱۹۸۷ منتشر شده است. گزارش سازمان ملل‌متحد یادآور می‌شود که "چالشی که همه با آن مواجه هستیم دستیابی به یک اقتصاد جهانی پایدار است". کمیسیون جهانی محیط‌زیست (WCED)[۸] توسعه پایدار را این‌گونه تعریف می‌کند:

" نیازهای نسل حاضر را برآورده کنید, بدون این که توانایی نسل‌های آینده برای برآوردن نیازهایشان به خطر بیافتد " (WCED, ۱۹۸۷) [13].

[6] .Wang et al
[7] .Asase et al
[8] . World Commission on Environment and Development

به منظور پایداری جامعه‌ایی مانند یک شهر، باید عوامل اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی برای داشتن هماهنگی در تعادل باشند. (سازمان ملل متحد UN، ۲۰۱۴) [14].

سه جنبه مربوط به پایداری، یعنی اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی، در این بخش مورد بررسی قرار گرفته است.

۱.۶.۲ روش‌های ارزیابی اقتصادی

ارزیابی اقتصادی با محاسبه سود یا هزینه یک سیستم انجام می‌شود. مدل‌های ریاضی را می‌توان برای به حداکثر رساندن سود کلی [15] یا به حداقل رساندن هزینه‌های کلی یک سیستم مدیریت زباله انجام داد. در این مدل‌ها، عوامل زیر در نظر گرفته می‌شود: سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه‌های عملیاتی، 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[۹] [16] و روش‌های هزینه‌های چرخه عمر (LCC)[۱۰] [17] مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲.۶.۲ روش‌های ارزیابی زیست‌محیطی

ارزیابی چرخه زندگی (LCA)[۱۱] یک رویکرد سیستماتیک برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی محصولات، تسهیلات و خدمات در یک زنجیره است. (اُتمَن و همکاران[۱۲]،۲۰۱۳) [18] روش LCA را مورد استفاده قرار دادند و گزینه‌ایی که بیشترین سازگاری با محیط زیست دارد, را برای سیستم مدیریت (MSW) برگزیدند. ارزیابی چرخه زندگی (LCA), مطالعاتی در جهت ارتقا حمایت‌های آگاهانه و علمی جهت تصمیم‌گیری زیست‌محیطی پایدار, برای کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی در مدیریت زباله انجام می‌دهد [19]. چندین مطالعه LCA در مورد سیستم‌های مدیریت زباله جامد شهری (MSW) منتشر شده است. [20], [21], [22], [23], [24], [25] اثرات زیست‌محیطی دو زباله سوز را در چین, مورد ارزیابی قرار دادند.

همان‌طور که اغلب هزینه‌بر بودن و زمان‌بر بودن در اجرا و پیاده سازی LCA در قالب اصلی قرار دارد [26], تعدادی از روش‌های ساده و استاندارد شده توسعه یافته است. نمونه‌هایی شامل روش-های ECO-indicator 99 [27] و CML2001 [28] توسعه یافته است. (پارکِرز و

---

[9] . Cost- Benefit Analysis
[10] . Life Cycle Costing
[11] . Life Cycle Assessment
[12] .Othman et al

همکاران[13]،۲۰۱۵)[29] از نرم‌افزار GaBi برای ارزیابی اثرات انتشار گازهای گلخانه‌ایی تکنولوژی-های مختلف بازیافت MSW در پارک المپیک لندن استفاده کردند. (ریپا و همکاران[14]، ۲۰۱۷) [30] از نرم‌افزار SimaPro برای تجزیه وتحلیل اثرات زیست‌محیطی مکانیکی و رفتار بیولوژیکی عملیات (MBT) درکارخانه‌ایی در Mertesdorf آلمان استفاده کردند.

برخی از آن‌ها مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ایی را به هوا, زمین و آب برای به دست آوردن تاثیرات زیست‌محیطی در مدل‌های خود, در نظر گرفته‌اند. [31] به حداقل رساندن انتشار گاز CO_2 و (چانگ و همکاران[15]، ۲۰۱۲) [32] به حداقل رساندن انتشار گازهای CO_2 و CH_4 را در مدل-های خود در نظر گرفته‌اند.

در برخی از مطالعات هزینه‌های زیست‌محیطی نیز مورد توجه قرار گرفته است. هزینه‌های زیست-محیطی انتشار گاز CO_2 [33] و هزینه‌های زیست‌محیطی انتشار گازهای CO_2، SO_2 ، NO_X و Hg [34] در به حداقل رساندن هزینه‌های تولید برق در نظر گرفته شده است.

۳.۶.۲ روش‌های ارزیابی اجتماعی

اندازه‌گیری و کنترل ویژگی‌های چندگانه یک سیستم اجتماعی نیاز به بررسی ذینفعان با پیش زمینه‌های متنوع دارد [35]. تعدادی از دستورالعمل‌ها و استانداردها برای ساده‌سازی اندازه‌گیری و اجرای مسئولیت اجتماعی از جمله؛ راهنمایی برای ارزیابی چرخه زندگی اجتماعی محصولات [36]، دستورالعمل‌های گزارش‌گری پایداری [37]، راهنمایی در مورد مسئولیت اجتماعی-ایزو ۲۶۰۰۰[38]، پاسخگویی اجتماعی۸۰۰۰ [39] و قرارداد جهانی [40] وجود دارد. این دستورالعمل‌ها یک چارچوب جامع برای مسئولیت اجتماعی ارائه می‌دهند از جمله: حقوق بشر، شیوه‌های کار، شیوه‌های عملی عادلانه، مسائل مربوط به مصرف کننده و...

به منظور محاسبه نمره اجتماعی تسهیلات، روش (S-LCA)[16] توسط [36] گسترش یافته است. [36] مسائل اجتماعی را در LCA تلفیق کرده و اولین دستورالعمل برای ارزیابی چرخه زندگی اجتماعی با عنوان (S-LCA) معرفی کرده است.

[13] .Parkers et al
[14] .Ripa et al
[15] .Change et al
[16] .Social life Cycle Assessment

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.

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. همان‌طور که بیان شد؛ به طور خاص، پایداری در بهینه سازی سیستم مدیریت زباله مورد توجه قرار نگرفته است، با وجود توصیه سازمان ملل‌متحد (۲۰۱۴) که پایداری تنها زمانی می‌تواند حاصل شود که؛ جنبه‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی به طور هم‌زمان در نظر گرفته شوند.

۷.۲ بازیافت زباله- بازیافت کاغذ

جوامع صنعتی به طور فزاینده‌ای با مشکلات بازیافت پایدار زباله مواجه هستند. (آیرس[۱۷], ۱۹۸۹) [4] 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. با این حال، پیچیدگی‌های ذاتی اولویت‌های مختلف بازیافت کاغذ باطله مانند: ترکیب زباله (یا جداسازی در منبع)، مقدار بازیافت زباله و کل هزینه تدارکات معکوس مرتبط, ممکن است باعث ایجاد مشکلات زیادی در تصمیم‌گیری شود.

تصور می‌شود که در بازیافت زباله, مقادیر قابل توجهی صرفه‌جویی در انتشار گازهای گلخانه‌ایی (GHG), در شیوه‌های مدیریت زباله اتفاق می‌افتد [41]. بنابراین، اهداف بازیافت توسط مجموعه-ایی از سیاست‌های زباله تنظیم شده است؛ (به عنوان مثال، دستورالعمل 2004/12/EC). بر اساس این مفهوم؛ نرخ جمع‌آوری را افزایش دهید, نرخ بازیافت افزایش خواهد یافت و در نتیجه افزایش صرفه‌جویی در GHG خواهیم داشت. بازیافت ممکن است تا حد زیادی توسط اهداف دولتی به منظور انحراف زباله از دفن زباله‌ها, هدایت شود و همراه با سیاست‌های تشویقی باشد. این پویایی جالبی را به وجود می‌آورد و حتی در دوران رکود، عرضه مواد بازیافتی به رغم کمبود تقاضا، به

[17] .Ayres

بازار ادامه خواهد داشت [42]. بنابراین، عرضه و تقاضای زباله می‌تواند در عدم تعادل باشد و در برخی موارد صادرات زباله می‌تواند به عنوان مکانیسم قابل توجهی برای چنین عدم تعادلی مورد استفاده قرار گیرد [43].

مکانیسم بیان شده در سیستم بازیافت کاغذ این‌گونه بیان می‌شود, به عنوان مثال، تقاضای چینی‌ها برای محصولات کاغذی از سال ۱۹۹۵ , تقریبا ۱۰٪ در سال افزایش یافته است [44], این افزایش تقاضا بیشتر از نیمی از تقاضای جهانی می‌باشد [45]. در مقابل، در سال‌های اخیر، در اروپا و آمریکای شمالی، تولید و مصرف محصولات کاغذی کاهش یافته است، در حالی که جمع-آوری ضایعات کاغذ افزایش یافته است [44].

از این‌رو، از یک سو چین به شدت وابسته به واردات فیبر برای تولید پالپ کافی برای تولید کاغذ است [46] و از سوی دیگر، عرضه بیش از حد ضایعات کاغذ در اروپا و آمریکای شمالی وجود دارد که منجر به بزرگ شدن جریان صادرات ضایعات کاغذ, به سوی آسیا شده است [46]. این ممکن است باعث عدم تعادل احتمالی اقتصادی و همین‌طور عدم تعادل زیست‌محیطی شود [47], [48], [49] و در این صورت پیامدهای آن باید در نظر گرفته شود. بنابراین، ضروری است که چگونگی مصرف زباله و مواد خام اولیه مناسب را در یک تصویر اقتصادی بزرگتر در نظر بگیریم[50], این نشان می‌دهد که مکانیزم‌های بازار باید در مقادیر GHG حاصل از بازیافت و در هنگام ساخت سیاست‌های زباله گنجانده شود.

پیش‌بینی شده است که تقاضای چین برای کاغذ بازیافت شده احتمالا در آینده ۵۰٪ افزایش خواهد یافت و تقریبا به ۳۹ میلیون تن خواهد رسید [51]. بنابراین، در آینده با مجموعه‌های پیشرفته و زباله‌های بیشتر که به بازارهای بین المللی وارد می‌شود, انتظار می‌رود حجم تجارت کاغذ بازیافت شده افزایش یابد. سایر مطالعات [52], [53], [54], [55] به بررسی گسترش سیستم اثرات استفاده نکردن از چوب پرداخته‌اند, به این معنا که 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 [52]. بنابراین، چوبی که برای تولید کاغذ بکر مورد استفاده قرار نمی‌گیرد, به عنوان جایگزینی برای سوخت‌های فسیلی برای تولید انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرد, این تغییر باعث صرفه‌جویی از ۱۱۰۰ تا ۴۴۰۰ کیلوگرم CO_2 در هر تن می‌شود [54], [55`].

۸.۲ 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 مساله اهمیت فوق‌العاده‌ایی پیدا می-کند 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:

۱.۸.۲ تسهیلات بازیافت مواد (MRF) [۱۸]

یک کارخانه تخصصی است که مواد قابل بازیافت را دریافت می‌کند, سپس برای بازیافت و توزیع به مصرف‌کنندگان نهایی, تفکیک و آماده‌سازی می‌کند. به بیان دیگر, 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.

به طورکلی، سه نوع مختلف, تسهیلات بازیافت مواد تمیز, کثیف و مرطوب وجود دارد:

۱.۱.۸.۲ تسهیلات بازیافت مواد تمیز:

تسهیلات تمیز: یک MRF تمیز, مواد قابل بازیافت را از منابع زباله‌های جامد شهری که توسط منابع مسکونی یا تجاری تولید شده و قبلا مراحل تفکیک و جداسازی روی آن‌ها انجام شده است, را دریافت و سپس بازیافت می‌کند. انواع MRF های تمیز وجود دارند. رایج‌ترین آن‌ها یک جریان منفرد است که در آن همه مواد قابل بازیافت به صورت مخلوط هستند یا MRFهای جریان

[18] . Materials Recovery Facility

دوگانه که در آن مواد قابل بازیافت از منبع جدا شده است و در جریان مخلوط کانتینری تحویل داده می‌شود (معمولا شیشه، فلزات آهنی، آلومینیوم و دیگر فلزات غیرآهنی و پلاستیک و جریان کاغذ مخلوط شامل؛ جعبه مقوایی موجدار، روزنامه‌ها، مجلات وکاغذ ادارات), این مواد بر اساس مشخصات طبقه‌بندی می‌شوند، سپس به ترتیب، پر شده، خرد شده، فشرده شده و یا به صورت‌های دیگر برای حمل و نقل به بازار عرضه می‌شوند.

۲.۱.۸.۲ تسهیلات تصویه زباله‌های مخلوط (**MWPF**)[۱۹] یا زباله‌های کثیف:

یک سیستم تصویه زباله مخلوط، گاهی اوقات به عنوان MRF کثیف شناخته می‌شود. این تسهیلات جریان زباله جامد مخلوط را می‌پذیرند و سپس به جداسازی مواد بازیافتی تعیین شده از طریق ترکیبی از مرتب‌سازی دستی و مکانیکی اقدام می‌کنند. مواد قابل بازیافت مرتب شده, ممکن است برای برآورده شدن مشخصات فنی مورد نظر در بازارهای نهایی, تحت پردازش بیشتری قرار گیرند. در حالی که باقی‌مانده مواد به تسهیلات انهدام زباله مانند دفن زباله فرستاده می‌شوند. درصد مواد باقیمانده (مواد غیر قابل بازیافت) از یک MRF تمیز که به درستی کار می‌کند و توسط یک برنامه عمومی موثر و آموزشی پشتیبانی شده است, نباید بیش از ۱۰ درصد از وزن کل جریان مواد تحویل داده شده باشد و در بسیاری از موارد این مقدار به میزان قابل توجهی می‌تواند کمتر از ۵ درصد باشد. یک MRF کثیف بین ۵٪ تا ۴۵٪ از مواد ورودی را به عنوان مواد قابل بازیافت بازسازی می‌کند، سپس باقیمانده تخلیه می‌شود و یا در غیر این صورت دفع می‌شوند. یک MRF کثیف می‌تواند نرخ بازیافت بیشتری نسبت به یک MRF تمیز داشته باشد، زیرا تضمین می‌کند که ۱۰۰٪ جریان پسماند (زباله) تحت فرآیند مرتب‌سازی قرار می‌گیرد و می‌تواند تعداد بیشتری از مواد را برای بازیافت هدف قرار دهد و معمولا می‌توان با مرتب‌سازی در منبع اصلاح شوند. با این حال، فرآیند MRF کثیف باعث آلودگی بیشتر مواد قابل بازیافت، به ویژه کاغذ می‌شود. علاوه بر این، تسهیلاتی که ضایعات جامد را می‌پذیرد، معمولا برای ساختن سایت بسیار دشوارتر و گرانتر هستند و هزینه‌های عملیاتی بالاتری دارند.

۳.۱.۸.۲ تسهیلات بازیافت مواد (**MRF**) مرطوب یا خیس:

در سال ۲۰۰۴، ماشین‌های جدید فن‌آوری‌های عملیات بیولوژیکی (زیستی) شروع به استفاده از MRF های مرطوب کردند. این تسهیلات ترکیب MRF کثیف با آب، را که متراکم شده‌اند، دریافت می‌کند و سپس فرایند جدا کردن و تمیز کردن جریان خروجی را انجام می‌دهد.

۲.۸.۲ عملیات حرارتی پیشرفته (ATT) [۲۰]

یک گزینه فنی جایگزین, به عنوان بخشی از استراتژی یکپارچه کنترل زباله می‌باشد. قابلیت بازیافت مواد و انرژی و کاهش مقدار (MSW) که نیاز به دفن زباله دارد, را دارا می‌باشد. این فن‌آوری برای

[19] . Mixed-Waste Processing facility
[20] . Advanced Thermal Treatment

بازیابی انرژی (به صورت گرما، برق یا سوخت) طراحی شده است و می‌تواند به جلوگیری از دفن (MSW) کمک کند. تکنولوژی تجهیزات حرارتی پیشرفته در درجه اول از تجزیه در اثر حرارت و یا فرایند تبدیل به گاز زباله‌های جامد شهری (MSW) استفاده می‌کند. فرایند تبدیل به گاز یا تجزیه در اثر حرارت مواد جامد, مفهوم جدیدی نیست. این مواد به طور گسترده‌ای برای تولید سوخت‌هایی مانند زغال چوب، زغال کک (زغال سنگ سوخته) و یا گاز مولد مورد استفاده قرار گرفته‌اند. زغال چوب و زغال کک (زغال سنگ سوخته) به ترتیب از تولید چوب و زغال سنگ تولید می‌شوند و گاز مولد یک گاز قابل احتراق است که از طریق تبدیل شدن به گاز کک در حضور هوا و بخار تولید می-شود. تنها در سال‌های اخیر این نوع تغییر شیمیایی در اثر حرارت و تبدیل شدن به گاز به صورت تجاری به منظور تصویه (MSW) مورد استفاده قرار گرفته است. توسعه فن‌آوری‌های غیر شیمیایی در اثر حرارت و تبدیل شدن به گاز در دوران اولیه خود در انگلستان مورد استفاده قرار گرفته است اما بعد از آن کارخانه‌هایی در مقیاس بزرگ در اروپا، شمال امریکا و ژاپن ساخته شده‌اند. در این‌جا تفاوت‌هایی بین عملیات حرارتی پیشرفته و (سوزاندن, تغییر شیمیایی (تجزیه) در اثر حرارت و تبدیل شدن به گاز) بیان می‌شود:

۱.۲.۸.۲ تفاوت بین عملیات حرارتی پیشرفته و سوزاندن:

تفاوت‌های مختلفی بین تکنولوژی‌های عملیات حرارتی پیشرفته و سوزاندن سنتی بیان شده است. یک تمایز این است که این تسهیلات برای عملیات بازیافت (MSW) با برخی از فرآیندهای ATT با مقیاس کوچکتر نسبت به سوزاندن معمولی به بازار عرضه می‌شوند. تفاوت در مقیاس و اندازه آن باعث می‌شود که بتوانند برای تولید گرما و برق, آسان‌تر به بازارهای محلی راه پیدا کنند, در حالی که کارخانه‌های سوزاندن عموما عملیات متمرکز دارند. طراحی مدولار عملیات ATT اجازه می‌دهد تا درجه انعطاف‌پذیری بیشتری از نظر موقعیتی و مکانی داشته باشند.

سوزاندن معمولا شامل احتراق (مواد خام یا باقی‌مانده) (MSW) است. برای احتراق، مقدار کافی اکسیژن لازم است تا به طورکامل اکسیداسیون سوخت انجام شود. به طور معمول، احتراق کارخانه سوزاندن در درجه حرارت بیش از ۸۵۰ درجه سانتیگراد انجام می‌شود و زباله به دی‌اکسیدکربن و آب تبدیل می‌شود.

۲.۲.۸.۲ تفاوت بین عملیات حرارتی پیشرفته و تغییر شیمیایی (تجزیه) در اثر حرارت:

در مقایسه با احتراق (سوزاندن)؛ تجزیه در اثر حرارت, تجزیه حرارتی یک ماده در غیاب اکسیژن می-باشد. این فرآیند نیاز به یک منبع گرمای خارجی برای حفظ دمای مورد نیاز خود دارد. به طور

معمول، در طول تغییر شیمیای موادی مانند (MSW) درجه حرارت نسبتا پایین بین ۳۰۰ تا ۸۵۰ درجه سانتیگراد استفاده می‌کنند. محصولات تولید شده در اثر تجزیه در اثر حرارت, یک باقی‌مانده جامد و گروهی از گازها می‌باشند. باقی‌مانده جامد یک ترکیبی از مواد غیر قابل احتراق و کربن است. مجموعه گازها, ترکیبی از گازها شامل (اجزای قابل احتراق شامل مونوکسیدکربن، هیدروژن، متان و طیف گسترده VOCs) می‌باشد. بخشی از این‌ها می‌تواند تغلیظ و فشرده شده و برای تولید روغن، موم و قیر استفاده شود. این گاز به طور معمول دارای مقدار گرمایشی خالصی (NCV) بین ۱۰ تا ۲۰ MJ/Nm^3 می‌باشد.

۳.۲.۸.۲ تفاوت بین عملیات حرارتی پیشرفته و تبدیل شدن به گاز:

تبدیل شدن به گاز می‌تواند بین تغییر شیمیایی در اثر حرارت و احتراق(سوزاندن) در نظر گرفته شود, که در آن اکسیداسیون جزئی از یک ماده است. به این معنی که اکسیژن اضافه شده است, اما مقادیر آن کافی نیست که اجازه دهد سوخت کاملا اکسید شود و احتراق کامل رخ دهد. دمای مورد استفاده معمولا بیش‌تر از ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد است. این فرایند عمدتا گرمازا است، اما برای ایجاد و حفظ فرایند تبدیل شدن به گاز لازم است, گرما باشد. محصول اصلی گازها ترکیبی شامل؛ مونوکسیدکربن، هیدروژن و متان است. به طور معمول، گاز تولید شده از فرایند تبدیل شدن به گاز دارای مقدار گرمایشی خالص (NCV) بین۴ تا ۱۰ MJ/Nm^3 خواهد بود.

شکل(۱.۲): تسهیلات ATT

۳.۸.۲ تسهیلات بی هوازی (AD)[۲۱]

هضم بی‌هوازی مجموعه‌ای از فرآیندهایی است که در آن میکروارگانیسم‌ها در اثر فقدان اکسیژن مواد زیست تجزیه‌پذیر را تجزیه می‌کنند. این فرآیند برای اهداف صنعتی یا اهداف خانگی برای مدیریت زباله یا تولید سوخت استفاده می‌شود. تسهیلات بی‌هوازی, منبع گاز متان مرسوم است که توسط آلساندرو ولتا در سال ۱۷۷۶ کشف شد. هضم بی‌هوازی, به عنوان بخشی از فرآیند برای تصویه زباله‌های قابل تجزیه (زیست تجزیه‌پذیر) و رسوبات فاضلاب استفاده می‌شود. هضم بی-هوازی به عنوان بخشی از یک سیستم مدیریت زباله یکپارچه باعث کاهش انتشار گازهای زباله به جو می‌شود. 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 گازی استفاده شود و یا به کیفیت گاز طبیعی بیومتان ارتقا یافته شود. هضم بی‌هوازی, به ویژه برای مواد آلی مناسب است و معمولا برای پساب صنعتی، فاضلاب و تصویه رسوبات فاضلاب استفاده می‌شود. هضم بی‌هوازی، یک فرایند ساده است، که می‌تواند مقدار زیادی از مواد آلی را که در غیر این صورت ممکن است در دریاها تخلیه شوند، همراه زباله‌ها دفن شوند و یا در زباله-سوزها سوزانده شوند، را کاهش دهد.

فشار از طرف قوانین مرتبط با محیط‌زیست در مورد روش‌های دفع زباله‌های جامد در کشورهای توسعه یافته، استفاده از هضم بی‌هوازی را به عنوان فرایندی برای کاهش حجم ضایعات و تولید فرآورده‌های جانبی مفید افزایش داده است. اگر زباله‌هایی فسادپذیری که در مخلوط‌های بی-هوازی مورد استفاده قرار می‌گیرند, در فرآیند دفن زباله دفع‌شوند، به طور طبیعی و اغلب بی-هوازی تجزیه می‌شوند. در این حالت، گاز در نهایت به (اتمسفر) فضا می‌رود. همان‌طور که اثر متان حدود ۲۰ برابر بیشتر از یک گاز گلخانه‌ای مثل دی‌اکسیدکربن است، تاثیرات منفی محیط-زیستی زیادی به همراه دارد. در کشورهایی که ضایعات خانگی را جمع‌آوری می‌کنند، استفاده از تسهیلات هضم بی‌هوازی محلی می‌تواند میزان زباله‌ایی که نیاز به حمل و نقل به محل دفن زباله‌های متمرکز و یا تسهیلات سوزاندن دارند، را کاهش دهد. این کاهش بار بر روی حمل و نقل, نیز باعث کاهش انتشار کربن از وسایل نقلیه می‌شود. اگر تسهیلات هضم بی‌هوازی محلی در

[21] . Anaerobic Digester

یک شبکه توزیع برق تعبیه شده باشند، می‌توانند به کاهش اتلافات الکتریکی مرتبط با حمل و نقل برق بر روی یک شبکه محلی کمک کنند.

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. برق اضافی را می‌توان به تامین‌کنندگان فروخت یا در شبکه محلی گذاشت. برق تولید شده توسط هضم بی‌هوازی به عنوان انرژی تجدیدپذیر محسوب می‌شود.

۴.۸.۲ تسهیلات سوزاندن[۲۲]

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. سوزاندن, مواد زباله را به خاکستر، گاز دودکش و گرما تبدیل می کند. خاکستر عمدتا توسط اجزای غیرآلی زباله تشکیل شده و ممکن است به صورت توده‌های جامد یا ذرات جامد که توسط گاز دودکش حمل می‌شوند، باشد. گازهای دودکش باید قبل از اینکه در جو پراکنده شوند، از آلودگی‌های گاز و ذرات, پاک شوند. 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 بی-هوازی است.

سوزاندن حجم زباله‌های اصلی جامد را به میزان ۸۰-۸۵ درصد و ظرفیت (حجم) ۹۵ -۹۶ درصد کاهش می‌دهد. این به این معنی است که در حالی که سوزاندن به طور کامل جایگزین محل دفن زباله نیست، اما حجم لازم برای دفع زباله را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد.

سوزاندن دارای مزایای ویژه‌ای برای تصویه برخی از انواع ضایعات از قبیل زباله‌های بالینی و برخی از زباله‌های خطرناک است که در آن بیماری‌ها و سموم با درجه حرارت بالا تخریب می‌شوند.

احتراق زباله به ویژه در کشورهایی مانند ژاپن که سرزمین منابع نادر و کمیاب است، محبوب است. دانمارک و سوئد، با استفاده از انرژی تولید شده از احتراق برای بیش از یک قرن، در تسهیلات ترکیبی حرارتی و برق محلی متداول که از طرح‌های گرمایش مرکزی حمایت می‌کنند، استفاده می‌کنند.

[22]. Incinerator Facility

در سال ۲۰۰۵، سوزاندن زباله‌ها 4/8 % از مصرف برق و ۱۳/۷% کل مصرف گرمای داخلی در دانمارک را تولید کرد. تعدادی از کشورهای اروپایی دیگر به شدت به سوزاندن زباله‌های شهری، به ویژه لوکزامبورگ، هلند، آلمان و فرانسه وابسته‌اند.

گرمای تولید شده توسط یک کوره زباله (احتراق) می‌تواند برای تولید بخار استفاده شود، که پس از آن می‌تواند برای حرکت توربین برای تولید برق استفاده شود. مقدار معمولی انرژی خالص که می‌تواند در هر تن زباله‌های شهری تولید شود، حدود 2/3MWh مگاوات ساعت برق و ۲ MWh مگاوات ساعت حرارت منطقه‌ای است.

بنابراین، در حال سوزاندن حدود ۶۰۰ تن زباله در روز حدود MWh ۴۰۰ مگاوات ساعت انرژی الکتریکی (برق) در روز (۱۷ مگاوات برق به طور مداوم برای ۲۴ ساعت) و ۱۲۰۰ مگاوات ساعت انرژی گرمایی منطقه در هر روز تولید خواهد کرد.

شکل۲.۲: تسهیلات سوزاندن Spittelau در وین, اتریش

۵.۸.۲ تسهیلات کمپوست کردن (تهیه کود)[۲۳]

فرآیند کمپوست کردن, فرآیند تبدیل زباله‌های زیست‌محیطی برای اصلاح خاک گیاهی است و به عنوان خاک غنی شده در کشاورزی و باغبانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. کمپوست سازی فرآیندهای تجزیه طبیعی برای شکستن زباله‌ها, را سرعت می‌بخشد. به منظور ایجاد این میکروارگانیسم‌ها نیاز به مقدار مناسب هوا، آب و مواد مغذی می‌باشد. در طی فرایند تجزیه، مواد آلی به ترکیبات شیمیایی ساده که گیاهان می‌توانند, استفاده کنند, بازگردانده می‌شوند. گرما، بخارآب و دی‌اکسیدکربن در طول فرآیند آزاد می‌شوند. انتشار گرما باعث تخریب پاتوژن‌های مضر و دانه‌های علف‌های هرز در کود می‌شود. مواد خامی که می‌توانند برای کود استفاده شوند,

[23] . Composting facilities

عبارت‌اند از : بخشی از زباله‌های جامد شهری، زباله‌های باغ و برگ، بقایای محصولات کشاورزی و کود حیوانی، محصولات جنگلی و محصولات کاغذی و دیگر زباله‌های قابل تجزیه از صنعت و بخش‌های دیگر.

کیفیت تولید کود, بستگی به کنترل نوع زباله دارد تا آلودگی‌های احتمالی مانند فلزات سنگین و مواد آلی خطرناک را به حداقل برساند. این اقدامات کنترلی ممکن است شامل جمع‌آوری مواد مشکوک بالقوه, قبل از فرآیند کمپوست باشد. حفظ کنترل کیفیت کمپوست مهم است. کیفیت کمپوست تولید شده بر روی قابلیت فروش مواد تاثیر می‌گذارد و دارای توان بالقوه برای تاثیر-گذاری بر محیط‌زیست است. اساسا سه مرحله اساسی برای تهیه کود وجود دارد. مواد خام تهیه شود، فرایند کمپوست شدن صورت می‌گیرد و سپس محصول نهایی درجه‌بندی و برای فروش آماده می‌شود.

۹.۲ روش ویکور فازی

انتخاب تکنولوژی مناسب بازیافت کاغذ می‌تواند به عنوان یک مساله تصمیم‌گیری چند منظوره پیچیده (MCDM) باشد, که نیاز به بررسی گزینه‌ها و معیارهای کمی و کیفی متناقض دارد. هدف ما در این پژوهش این است که از روش ویکور فازی برای اولویت‌دهی و رتبه‌بندی تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ با توجه به معیارها و زیرمعیارهای اجتماعی استفاده کنیم. روش VIKOR(VIsekriterijumska optimizacija i KOmpromisno Resenje) برای اولویت‌بندی تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ مورد استفاده قرار می‌گیرد. در نتیجه یک مدل سلسله مراتبی (MCDM) مبتنی بر نظریه مجموعه فازی و روش VIKOR برای اولویت‌بندی و انتخاب بهترین روش بازیافت کاغذ پیشنهاد شده است. مزیت VIKOR بر سایر تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند منظوره این است که می‌تواند با معیارهای متضاد مقابله کند، مستقل از واحد معیارها عمل کند و راه حل‌های سازش را بر اساس نزدیک بودن به راه حل ایده آل می‌سازد (اوپریکوویک[۲۴], ۱۹۹۸) [56]. راه حل سازش به دست آمده, مطلوبیت گروهی حداکثر را برای "اکثریت" و حداقل پشیمانی فردی را برای "طرف مخالف" فراهم می‌کند (لیو و همکاران[۲۵], ۲۰۱۳) [57].

از سوی دیگر، با توجه به عدم اطمینان در اطلاعات و عدم آگاهی (ابهام) از احساسات و شناخت انسان، معمولا مقادیر دقیق عددی برای تعیین شاخص‌ها دشوار و نادرست است. ارزیابی گزینه‌ها با توجه به معیارهای ذهنی مختلف و وزن معیارها معمولا به وسیله سنجش کلامی توسط تصمیم‌گیرندگان بیان می‌شود [58], [59]. برای رسیدگی به اطلاعات مبهم در فرآیند تصمیم-

[24] . Opricovic
[25] . Liu et al

گیری، روش ویکور فازی برای حل مسائل مختلف (MCDM) در سال‌های اخیر توسعه داده شده است.

در نهایت تکنولوژی‌های مختلف بازیافت کاغذ با در نظر گرفتن معیارها و زیر معیارهای تعیین شده با استفاده از روش ویکور فازی, اولویت‌بندی و رتبه‌بندی می‌شوند. همان‌طور که بیان شد, سنجش کلامی خبرگان به صورت اعداد فازی بیان می‌شود, که برای ارزیابی و رتبه‌بندی گزینه‌ها و تعیین وزن برای معیارهای انتخاب شده, استفاده می‌شود.

۱۰.۲ روش UTASTAR

در این پژوهش از روش UTASTAR برای سنجش مطلوبیت گزینه‌های انتخاب شده استفاده شده است. روش(UTA (UTility Additive از تکنیک‌های برنامه‌نویسی خطی به منظور بهینه-سازی توابع ارزش افزوده / مطلوبیت افزوده استفاده می‌کند، به طوری که این توابع تا حد امکان با ترجیحات تصمیم‌گیرندگان (اصل استنتاج) سازگار باشد. هدف UTASTAR یافتن یک یا چند تابع ارزش افزایشی (additive utility functions) از مجموعه‌ی مرجع رتبه‌بندی شده‌ی A_R می-باشد. در این روش از تکنیک‌های برنامه‌ریزی خطی ویژه‌ای برای ارزیابی مجموعه رتبه‌بندی شده استفاده می‌گردد.

۱۱.۲ مرور ادبیات

۱.۱۱.۲ مرور ادبیات ارزیابی و تجزیه‌وتحلیل روش‌های مدیریت (MSW)

در بررسی ادبیات نشان داده شده است که بیشتر مطالعات بر مدیریت زباله‌های جامد شهری (MSW) متمرکز شده‌اند. بنابراین در این بخش به ادبیاتی که درباره کلیه زباله‌ها می‌باشد, می - پردازیم. مدیریت (MSW) یکی از اولویت‌های جوامع شهری در سراسر جهان است. در ادبیات، تعدادی از مطالعات در زمینه‌های مختلف برای ارزیابی و تجزیه و تحلیل روش‌های مدیریت (MSW) انجام شده است.

[۶۰] ارزیابی چرخه زندگی تکنولوژی‌های مختلف عملیات تصویه (MSW) به منظور بهبود اثرات زیست‌محیطی سیستم مدیریت زباله در لندن انجام داده است.

[۶۱] یک شبکه پردازش هزینه‌های کارآمد را برای بهینه‌سازی سیستم مدیریت (MSW) در منطقه اسکندر مالزی توسعه داده‌اند.

[۶۲] رفتار مراحل چندگانه دفن زباله‌های شهری را در کشورکره با استفاده از داده‌های اندازه-گیری شده‌ایی که از ابزارهای مختلفی که در محل دفن زباله نصب شده است، مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند.

[۶۳] ارزیابی زیست محیطی(جغرافیایی) و تحقیقات ژئوفیزیکی را بر روی تنها محل دفن زباله-های جامد شهری در شهر آدیس آبابا، اتیوپی، برای بررسی اثرات زیست‌محیطی و آسیب پذیری سیستم آب‌های زیر زمینی انجام داده‌اند.

[۶۴] یک مدل تک‌بعدی را برای حل مسائل مکانیکی و فرآیندهای تجزیه زیستی برای شبیه-سازی رفتار دفن زباله‌های جامد شهری توسعه داده‌اند.

[۶۵] نمونه‌های خاک را در اطراف یک زباله‌سوز در شنزن، چین به منظور بررسی سطح جیوه خاک و برآورد اثرات و ویژگی‌های هواشناسی و توپوگرافی بر توزیع Hg خاک مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند.

۲.۱۱.۲ مرور ادبیات شاخص‌های پایداری در مدیریت زباله

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[۲۶]، ۲۰۰۸)[۶۶].

پایداری بیش از پایداری زیست‌محیطی و اقتصادی است, همچنین شامل پایداری اجتماعی نیز می‌شود. بنابراین، نگرانی‌های جامعه در هنگام برنامه‌ریزی و اجرای استراتژی‌های مدیریت زباله باید مورد توجه قرار گیرد [۶۷], [۶۸].

یک سیستم مدیریت زباله جامد می‌تواند به عنوان یک برنامه مدیریت یکپارچه از طریق در نظر گرفتن مولفه‌های اقتصادی، سیاسی، زیست محیطی، اجتماعی, فرهنگی و فنی تعریف شود [۶۹].

[26] .European commission

[۷۰] بهینه‌سازی چند هدفه برای جریان زباله‌های جامد و توسعه استراتژی‌های پایدار از لحاظ زیست‌محیطی را مورد استفاده قرار دادند.

[۷۱] یک رویکرد یکپارچه در مدیریت زباله برای کشورهای آسیایی را توسعه بخشید.

[۷۲] چرخه پایدار زباله‌های جامد شهری را برای کشورهای در حال توسعه توضیح دادند.

[۷۳] یک ارزیابی برای رشد پایدار سیستم مدیریت زباله‌های جامد در بخش شبه جزیره ستوبال پرتغال انجام دادند. آن ها با استفاده از چهار معیار اصلی، ۱۴ زیرمعیار و ۵ گزینه از طریق فرایند تجزیه و تحلیل شبکه (ANP) و بر اساس TOPSIS استفاده کردند.

[۷۴] بهترین مکان برای دفع زباله‌های جامد را از لحاظ دیدگاه‌های زیست‌محیطی، اقتصادی و فرهنگی برای بخش مرودشت ایران انتخاب کردند.

در مطالعه دیگری که توسط (هنان و همکاران[۲۷], ۲۰۱۲)[۷۵] انجام شد، از تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره برای ارزیابی مدیریت کاغذ زباله در جزیره وایت ایسلند در UK (انگلستان) استفاده کردند. در مطالعه خود، هفت گزینه بازیافت و دفع را با توجه به معیارهای زیست‌محیطی و اجتماعی ارزیابی کردند.

۳.۱۱.۲ مرور ادبیات روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره(MCDM) برای مدیریت زباله

همچنین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) تبدیل به ابزار محبوبی برای استفاده در برنامه‌ریزی انرژی پایدار و تصمیم‌گیری‌های زیست‌محیطی شده است. روش‌های تصمیم‌گیری توسط تعدادی از محققان در زمینه مدیریت زباله‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. یکی دیگر از نکات مهم در بررسی ادبیات این است که بیشتر محققان بر ساختار چندوجهی این مساله تمرکز کرده‌اند.

(اوهمَن و همکاران[۲۸], ۲۰۰۷) [۷۶] از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای ارزیابی گزینه-های دفع زباله‌های جامد استفاده کردند.

(بالابان و باکی[۲۹], ۲۰۱۰) [۷۷] از روش ANP برای حذف زباله‌های جامد در ترابزون استفاده کردند. آن‌ها از ۵ معیار اصلی، ۱۶ زیرمعیار و ۳ گزینه برای رفع این مشکل استفاده کردند.

[27] . Hanan et al
[28] . Ohman et al

[۷۸] از یک رویکرد ارزیابی چندمعیاره مبتنی بر ریسک استفاده کردند تا گزینه‌های مدیریت زباله را در نظر بگیرند.

[۷۹], [۸۰] از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی برای ارزیابی دفع زباله‌های پزشکی استفاده کردند.

در مطالعه دیگری (بِلترَن و همکاران[۳۰], ۲۰۱۰) [۸۱] از روش ANP برای مساله انتخاب سایت برای تاسیسات زباله شهری در والِنسیا، اسپانیا استفاده کردند.

[۸۲] رویکرد ارزیابی زندگی را برای مدیریت زباله‌های جامد شهری یکپارچه و تولید انرژی پیشنهاد کردند.

[۸۳] از یک رویکرد چندهدفه و برنامه‌ریزی هدف فازی برای طراحی سیستم مدیریت زباله جامد در پالرمو ایتالیا استفاده کردند.

[۸۴] از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای انتخاب بین برنامه‌های مدیریت زباله برای پیاده سازی در بوستون، ایالات متحده استفاده کردند.

[۸۵] از ELECTRE برای انتخاب بین طرح‌های مدیریت زباله‌های جامد در فنلاند استفاده کردند.

محبوب‌ترین تکنیک MCDM یعنی AHP, به طور گسترده‌ای برای ارزیابی و انتخاب تکنولوژی‌ها در بخش انرژی تجدیدپذیر مورد استفاده قرار گرفته است [۸۶], [۸۷].

[۸۸] از روش ANP برای ارزیابی سه گزینه دفع زباله شامل: دفن زباله، کمپوست و سوزاندن برای کشور هند استفاده کردند.

۴.۱۱.۲ مرور ادبیات رابطه تولید انرژی با مدیریت زباله

در ادبیات، مطالعات متعددی برای نشان دادن رابطه مدیریت زباله‌های جامد و مصرف و تولید انرژی وجود دارد.

---

[29] . Balaban and Baki
[30] .Beltran et al

[۸۹] 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.

[۹۰] تولید بیوگاز از زباله‌های ارگانیک را ارزیابی کردند.

[۹۱] تکنولوژی‌های دفع حرارتی را برای تولید انرژی از زباله, توضیح دادند.

[۹۲] یک رویکردی را که رابطه بین سیستم‌های مدیریت زباله‌های جامد یکپارچه و اقدامات احتیاطی در مورد کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای نشان می‌دهد, را توسعه دادند. آن‌ها از این که این دو موضوع باید با توجه به تکامل و تغییرات آب و هوایی سازگار باشد و می‌تواند به بازیافت مجدد منابع کمک کند, حمایت کردند.

(یای[۳۱], ۲۰۱۵) [۹۳] در تحقیق خود, سیستم مدیریت زباله‌های جامد شهری را با استفاده ارزیابی چرخه زندگی (LCA) مورد مطالعه و بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که (LCA) می‌تواند یک ابزار مفید برای برنامه‌ریزی مدیریت زباله‌های جامد شهری باشد, زیرا به شهرداری‌ها اجازه می‌دهد تا به طور مستقیم, اثرات واقعی محیطزیستی تکنولوژی‌های مختلف و گزینه‌های تحت بررسی را با هم مقایسه کند.

۵.۱۱.۲ مرور ادبیات انتخاب سایت در مدیریت زباله

مساله انتخاب سایت، در ادبیات به صورت گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است و تعدادی از روش‌ها برای فرایند انتخاب محل دفن زباله توسعه داده شده است. به عنوان مثال، [۹۴] یک مدل که مکان‌های بهینه سایت‌های دفن زباله و همچنین مکان‌های ایستگاه‌های انتقال را تعیین می-کند, توسعه دادند. آن‌ها مدل خود را بر روی یک مساله که شامل ۱۴ منطقه و ۵ گزینه برای ایستگاه‌های انتقال و ۳ سایت دفن ضایعات بود, مورد استفاده قرار دادند.

در مطالعه دیگری که توسط (اِرکات و موران[۳۲], ۱۹۹۱) [۹۵] انجام شد، محققان یک روش مدل-سازی مبتنی بر AHP را برای تعیین مکان تسهیلات زباله استفاده کردند. آن‌ها همچنین کاربرد این مدل را در تجزیه و تحلیل محل دفن زباله برای شهر اِدمونتون، آلبرتا، کانادا نشان دادند.

[31] .Yay
[32] .Erkut and Moran

(رامو و کِنِدی[۳۳], ۱۹۹۴) [۹۶] یک الگوریتم اکتشافی برای یافتن محل دفن زباله‌های جامد را مورد استفاده قرار دادند.

[۹۷] از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در ترکیب با AHP برای تعیین زمین مناسب برای محل دفن زباله, استفاده کردند.

در یک مطالعه دیگر [۹۸]، از نظریه مجموعه فازی در ترکیب با (GIS) برای انتخاب سایت‌های دفن زباله در تایلند استفاده شده است.

(بابالولا و بوسو[۳۴], ۲۰۱۱) [۹۹] تلاش کردند محل مناسب دفع زباله‌ها را از طریق روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مانند ANP تعیین کنند.

(آیدی و همکاران[۳۵], ۲۰۱۳) [۱۰۰] از AHP فازی، ELECTRE و روش GIS برای انتخاب محل دفن زباله استفاده کردند.

(ماکان و همکاران[۳۶], ۲۰۱۲, ۲۰۱۳) [۱۰۱], [۱۰۲] روش PROMETHEE را برای انتخاب محل دفن زباله استفاده کردند.

روش‌های تحلیل سلسله مراتبی (AHP) با سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) را برای تعیین محل دفن زباله ترکیب کردند [۱۰۳], [۱۰۴], [۱۰۵].

روش PROMETHEE برای انتخاب سایت مورد استفاده قرار گرفته است [۱۰۶].

به تازگی خدیوی و فاطمی قومی در سال ۲۰۱۲ [۱۰۷] یک چارچوب تصمیم‌گیری ارائه دادند که با استفاده از ترکیب ANP و تجزیه و تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) برای ارزیابی مکان‌های تاسیسات زباله های جامد مورد استفاده قرار گرفته است.

با این حال، در بسیاری از موارد، داده‌های صحیح برای مدل‌سازی نمونه‌های واقعی ناکافی هستند و این از دلایل پیچیدگی مساله انتخاب سایت می‌باشد. در نتیجه، منطق فازی یا تئوری مجموعه

[33] .Ramu and Kennedy
[34] .Babalola and Busu
[35] . Aydi et al
[36] .Makan et al

فازی (زاده[37], ۱۹۶۵) [۱۰۸] توسط بسیاری از محققین مورد استفاده قرار گرفته است تا به ابهام مسائل مربوط به مدیریت زباله بپردازد.

به عنوان مثال، [۱۰۹] برای مساله انتخاب سایت در مبحث مدیریت زباله با استفاده از AHP و تکنیک برای ترجیح سفارشات با شباهت به راه حل ایده آل (TOPSIS) در محیط فازی تمرکز کردند.

[۱۱۰] فرآیند انتخاب محل‌های دفن زباله را با استفاده از روش VIKOR و ادغام با روش AHP فازی برای تعیین ضرایب وزنی معیارهای مورد ارزیابی, را مورد استفاده قرار دادند.

[۱۱۱] روشی برای محل دفن زباله، در ترکیب با GIS، منطق فازی و تکنیک‌های ارزیابی چند-معیاره را ارائه می‌دهند.

[۱۱۲], [۱۱۳] از MCDM برای انتخاب روش مناسب دفع زباله استفاده کرده‌اند. این روش در آخرین مرحله دفع MSW متمرکز شده است, روش پیشنهادی نشان می‌دهد که هر شهرداری باید مناسب‌ترین روش را برای مدیریت زباله‌های جامد انتخاب کند. مقایسه روش‌های دفع زباله-های جامد با استفاده از تکنولوژی‌های احتمالی نشان می‌دهد که احتراق RDF بهترین روش به عنوان یک گزینه برای مدیریت MSW در استانبول، ترکیه است.

با توجه به جنبه اقتصادی، [۱۱۴] یک مطالعه را برای مقایسه هزینه‌های مستقیم و مزایای سه سیستم مدیریت زباله، از جمله دفن زباله، زباله‌سوز و RDF انجام دادند. نتایج نشان داد که هزینه عملیاتی RDF بسیار کمتر از زباله‌سوز در منطقه Beroga و جزیره Labuan در مالزی بوده است.

۶.۱۱.۲ مرور ادبیات ویکور فازی

از سوی دیگر, روش FUZZY VIKOR برای حل مسائل مختلف MCDM در سال‌های اخیر توسعه پیدا کرده است.

[۱۱۵] از روش ویکور فازی و تکنیک NGT برای ارزیابی و انتخاب برنامه توسعه تامین‌کنندگان سبز استفاده کردند. استفاده از روش ویکور فازی بر اساس این مقاله صورت گرفته است.

[37] . Zadeh

[۱۱۶] یک مدل سلسله مراتبی MCDM را بر اساس نظریه مجموعه‌های فازی و روش VIKOR برای مقابله با مشکلات انتخاب تامین‌کننده در سیستم تامین پیشنهاد کردند.

[۱۱۷] یک مدل اولویت‌بندی ریسک را بر مبنای نظریه مجموعه فازی و روش VIKOR برای مقابله با مشکلات ارزیابی ریسک در حالت شکست و تجزیه و تحلیل اثرات آن (FMEA) پیشنهاد کردند.

[۵۹] از روش FUZZY VIKOR برای مسائل تصمیم‌گیری فازی و برای حل مساله انتخاب پیمانکار با معیارهای چندگانه تحت محیط عدم‌اطمینان استفاده کردند.

۷.۱۱.۲ مرور ادبیات روش UTA و UTASTAR

روش UTA اولویت و ترجیحات تصمیم‌گیرندگان را در مورد گزینه‌ها در نظر می‌گیرد و از مدل برنامه‌ریزی خطی برای به دست‌آوردن تابع مطلوبیت با حداقل انحراف از ترجیحات استفاده می‌کند.

روش(UTility Additive) UTA از تکنیک‌های برنامه‌نویسی خطی به منظور بهینه‌سازی توابع ارزش افزوده / مطلوبیت افزوده استفاده می‌کند، به طوری که این توابع تا حد امکان با ترجیحات تصمیم‌گیرندگان (اصل استنتاج) سازگار باشد. هدف UTASTAR یافتن یک یا چند تابع ارزش افزایشی (additive utility functions) از مجموعه‌ی مرجع رتبه‌بندی شده‌ی A_R می‌باشد. در این روش از تکنیک‌های برنامه‌ریزی خطی ویژه‌ای برای ارزیابی مجموعه رتبه‌بندی شده استفاده می‌گردد [۱۱۸].

در ادبیات، روش UTA برای مسائل مختلف مورد استفاده قرار گرفته است, مانند انتخاب پیمانکار [۱۱۹]، انتخاب یک سیستم مدیریت برنامه‌ریزی فاضلاب [۱۲۰]، انتخاب پروژه سرمایه‌گذاری جاده در بلژیک [۱۲۱]، ارزیابی کارکنان [۱۲۲], انتخاب محل کارخانه [۱۲۳]، انتخاب مواد [۱۲۴], انواع مختلفی از روش UTA در بسیاری از مشکلات تصمیم‌گیری مانند استراتژی فروش [۱۲۵]، پیش‌بینی شکست کسب و کار [۱۲۶]، مدیریت زیست‌محیطی [۱۲۷]، رضایت مشتری[۱۲۸]، اندازه گیری عملکرد استراتژیک در یک سازمان بهداشتی درمانی [۱۲۹] استفاده کرده‌اند.

جدول (۱.۲): موارد استفاده از UTA در مطالعات پیشین [۱۳۰]

زمینه کابرد	موضوع	مراجع
مدیریت مالی	تخمین ریسک سرمایه‌گذاری پیش‌بینی ارزیابی شکست سازمان	(Cosset, J.C. et al. 1992) (Zopounidis 1987) (Jacquet-Lagrèze and Siskos 1982)
بازاریابی	بازاریابی محصولات کشاورزی رفتار مصرف‌کننده رضایت مشتری	(Siskos, Matsatsinis et al. 2001) (Manouselis and Matsatsinis 2001) (Mihelis, G. et al. 2001)
مدیریت عمومی	ارزیابی مشاغل ارزیابی پروژه مدیریت محیط‌زیست	(Spyridakos, Siskos et al. 2000) (Beuthe, Eeckhoudt et al. 2000) (Hatzinakos, Yannacopoulos et al. 1991)

۸.۱۱.۲ مرور ادبیات بهینه سازی مدیریت زباله

اکثر ادبیات جاری در بهینه‌سازی سیستم مدیریت (MSW) بر جنبه‌های اقتصادی آن تمرکز دارد.

یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح چند دوره‌ایی برای طراحی شبکه بهینه پیشنهاد شده است. این مدل بهینه‌سازی شامل تصمیم‌گیری در مورد انتخاب تسهیلات، سطح ظرفیت و محل تسهیلات, تخصیص زباله‌های جامد به تسهیلات، حمل زباله در میان تسهیلات و توزیع مواد بازیافت شده می‌باشد [۱۳۱].

[۱۳۲] یک مدل MILP را برای پیدا کردن بهترین مکان برای ایستگاه جمع‌آوری (MSW), در بندرگاه سعید مصر معرفی کردند.

[۱۳۳] مساله مشابهی را مورد بررسی قرار دادند و یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی (NLP) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) را برای پیدا کردن مکان‌های بهینه ایستگاه‌های انتقال زباله در ناشیک, هند پیشنهاد کردند.

[۱۳۴] یک مدل برنامه‌ریزی خطی (LP) را برای به حداقل رساندن هزینه‌های مربوط به تخصیص زباله به تسهیلات تصویه زباله, در شمال لبنان و بمبئی، هند پیشنهاد کرد.

[۱۳۵] یک مدل MILP را برای تعیین محل تسهیلات، تخصیص زباله به تسهیلات و تعداد کامیون مورد نیاز برای حمل زباله در هنگ کنگ, پیشنهاد دادند.

به حداقل رساندن هزینه در مسائل تخصیص و افزایش ظرفیت تسهیلات، یکی دیگر از زمینه‌های تحقیقات است. [۳] این مساله را در یک محیط عدم قطعیت برای شهر رجینا، کانادا مطرح کردند و یک مدل MILP دو مرحله‌ای فازی را ارائه دادند.

[۱۳۶] یک مساله مشابه را برای مناطق شهری بژینگ, چین مورد مطالعه قرار دادند و یک مدل MILP با استفاده از پارامتر فاصله را ارائه دادند.

[۱۳۷] مساله را برای بهینه سازی انتخاب تسهیلات، مساله تخصیص و افزایش ظرفیت تسهیلات برای شهر چانگچون، چین گسترش دادند.

بهینه‌سازی مسیر وسایل نقلیه جمع‌آوری زباله, یکی دیگر از مشکلات موجود در ادبیات است. [۱۳۸] برنامه‌ریزی عدد صحیح (IP) و روش MILP را برای به حداقل رساندن فاصله وسایل نقلیه جمع‌آوری زباله ارائه دادند.

[۱۳۹] مدل MILP را برای به حداقل رساندن فاصله جمع‌آوری زباله و مسیر حمل و نقل در کلکته هند, گسترش دادند.

چندین مطالعه برای طراحی و بهینه‌سازی شبکه بازیافت MSW انجام شده است. به طور مثال [۱۴۰] مدل MILP چند هدفه را برای انتخاب نوع تسهیلات، مکان تسهیلات, توزیع زباله بین تسهیلات و محصولات بازیافت شده برای بخش مرکزی مکزیک ارائه دادند.

[۱۵] یک مدل MILP را پیشنهاد کردند, که شبکه تامین تبدیل زباله به انرژی (WTE) می‌باشد. مدل پیشنهادی بهترین تسهیلات WTE، مکان‌های تسهیلات و تخصیص بهینه زباله به تسهیلات را تعیین می‌کند.

جنبه‌های زیست‌محیطی در مدل‌های بهینه‌سازی به ندرت مورد توجه قرار گرفته است.

[۳۲] یک مدل LP چندهدفه را برای بهینه‌سازی مساله تخصیص زباله در شهرهای لوئیسبورگ، پنسیلوانیا، ایالات متحده آمریکا توسعه دادند و هدف آن‌ها به حداکثر رساندن سود خالص سیستم و تابع هدف زیست‌محیطی, با هدف به حداقل رساندن مقدار انتشار گازهای CH_4 و CO_2 بوده است.

[۱۴۱] مساله مشابهی را برای مقدونیه و تراکیه، یونان بررسی کردند.

[۶۱] مدل MILP را برای طراحی شبکه بازیافت در اسکندر، مالزی معرفی کردند. مدل پیشنهادی آن‌ها, توانایی به حداکثر رساندن سود در شبکه را دارد و میزان انتشار گاز CO_2 را با در نظرگرفتن محدودیت‌های زیست‌محیطی به حداقل می‌رساند، هم‌چنین بهترین ترکیب تسهیلات تصویه زباله، تولید محصولات بازیافتی و تخمین ظرفیت تسهیلات را تعیین می‌کند.

در بررسی ادبیات نشان داده شده است که اکثر مطالعات بر جنبه‌های اقتصادی سیستم مدیریت زباله تمرکز دارند, اما جنبه‌های مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی را نادیده می‌گیرند. به طور خاص، پایداری در بهینه‌سازی سیستم مدیریت زباله مورد توجه قرار نگرفته است، به رغم توصیه سازمان ملل متحد (۲۰۱۴) که پایداری تنها زمانی حاصل شود که جنبه‌های اقتصادی، زیست-محیطی و اجتماعی به طور هم‌زمان در نظر گرفته شوند.

فصل سوم

روش شناسی تحقیق

۱.۳ مقدمه

در این فصل تکنیک‌های ویکور فازی و UTASTAR به تفصیل و مرحله به مرحله بیان می‌شود.

در ادامه این فصل با هدف طراحی یکپارچه‌ی شبکه پایدار بازیافت کاغذ, تعیین ساختار شبکه و تصمیمات مربوط به آن که بتواند به طور هم‌زمان اهداف اقتصادی, اجتماعی و زیست‌محیطی را در نظر بگیرد, به صورت یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط[۳۸], ارائه شده است.

شبکه پایدار بازیافت کاغذ که شامل مراکز جمع‌آوری کاغذ زباله و مراکز بازیافت به منظور احداث تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ می‌باشد. برای مراکز بازیافت بایستی تصمیم گرفته شود که از چه تکنولوژی و با چه سطح ظرفیتی استفاده شود, که اهداف مدل را تأمین کند. در ادامه این فصل لیستی از پارامترها, متغیرها و در نهایت محدودیت‌ها و اهداف مساله به صورت ریاضی بیان خواهد شد.

۲.۳ روش حل

به منظور ارزیابی اثرات زیست محیطی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ایی از روش LCA استفاده شده است و به منظور ارزیابی اثرات اجتماعی و محاسبه نمره اجتماعی تسهیلات بازیافت کاغذ, روش S-LCA توسط (UNEP/SETAC , 2009) گسترش یافته است. شکل (۱.۳) جزئیات بیشتری از روش S-LCA را نشان می‌دهد که رویکردی شامل چهار مرحله اصلی می‌باشد:

گام اول: تعریف هدف و محدوده می‌باشد, هدف این است که نمره اجتماعی تسهیلات بازیافت کاغذ زباله ارزیابی شود (محدوده کل مراحل بازیافت کاغذ زباله است).

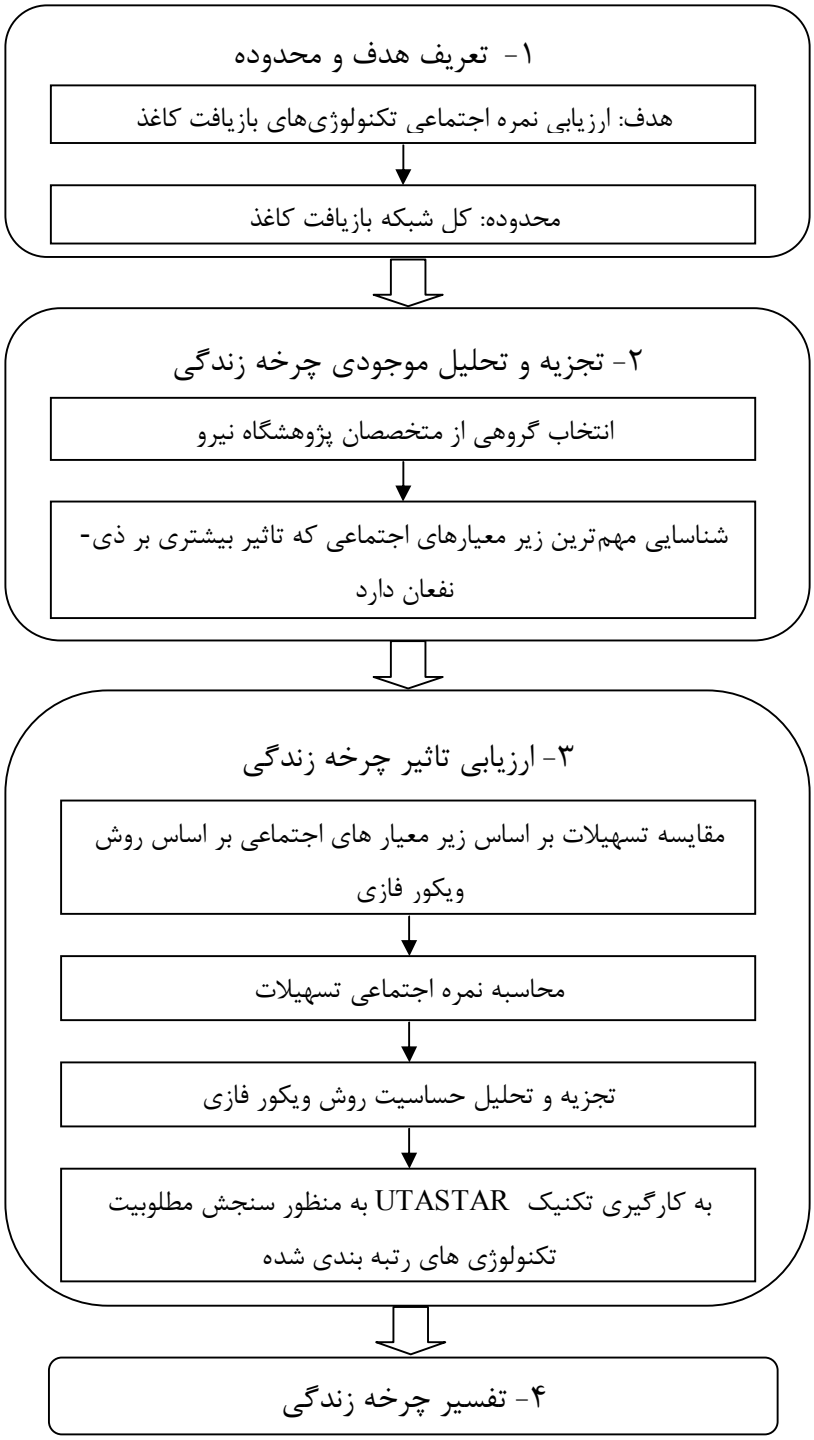
گام دوم: شاخص‌های معیار اجتماعی باید تعیین شود تا به هدف مورد نظر دست یابیم. برای این منظور, با گروهی متشکل از متخصصان پژوهشگاه نیرو مصاحبه شده است و هدف و دامنه توضیح داده شده است, بر اساس نظرات آن‌ها زیرشاخص‌های معیار اجتماعی مشخص شده است.

گام سوم: نمره اجتماعی تسهیلات بازیافت کاغذ با استفاده از روش ویکور فازی محاسبه شده است. نتایج محاسبات برای نمره اجتماعی تسهیلات و جزئیات آن در روش ویکور فازی به صورت کامل بیان خواهد شد.

---

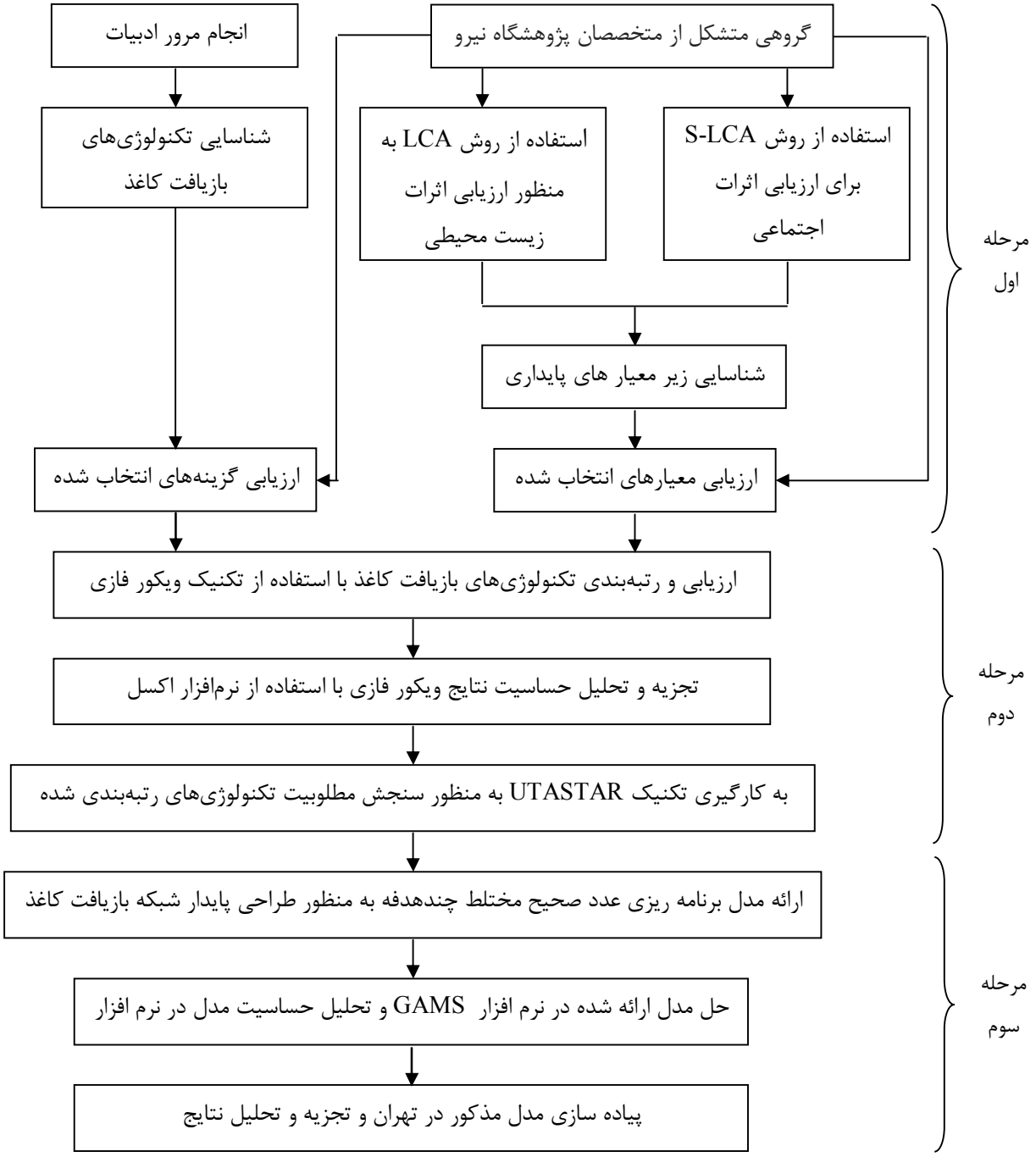
[38] . MIP

گام چهارم: تفسیر چرخه عمر می‌باشد, نتایج نهایی روش ویکور فازی نشان می‌دهد که عملیات حرارتی پیشرفته (ATT) و تسهیلات بی‌هوازی (AD) دارای اثرات مثبت اجتماعی بالاتری هستند و این در حالی است که فرایند تهیه کود-کمپوست کردن (COMPOSTING) و تسهیلات بازیافت مواد (MRFs) اثرات مثبت اجتماعی کمتری دارند.



شکل(۱.۳) : مراحل روش پیشنهادی برای محاسبه نمره اجتماعی تسهیلات

در شکل (۲.۳) نمایی از مراحل انجام این پایان‌نامه ارائه شده است.



شکل(۲.۳) : نمای کلی از مراحل انجام پایان‌نامه

شکل (۲.۳) شامل سه مرحله اصلی می‌باشد: مرحله اول شامل شناسایی تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ بر اساس مرور ادبیات و شناسایی زیر معیارهای پایداری و ارزیابی معیارها و گزینه‌های انتخاب شده می‌باشد.

مرحله دوم، شامل ارزیابی و رتبه‌بندی تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ با استفاده از تکنیک ویکور فازی و تجزیه و تحلیل حساسیت نتایج ویکور فازی به منظور تعیین حساسیت (یا نفوذ) پارامترهای مدل-سازی (وزن معیارها در این مطالعه) بر نتایج نهایی فرآیند تصمیم‌گیری می‌باشد و سپس از تکنیک UTASTAR به منظور سنجش مطلوبیت تکنولوژی‌های رتبه‌بندی شده استفاده شده است.
در مرحله سوم, مدل برنامه ریزی عدد صحیح مختلط چندهدفه به منظور طراحی پایدار شبکه بازیافت کاغذ ارائه شده است و مدل ارائه شده در نرم افزار GAMS حل شده است و تحلیل حساسیت مدل نیز در نرم افزار انجام گرفته است, سپس مدل مذکور در شهر تهران پیاده سازی شده است.

۳.۳ روش ویکورفازی

روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) به عنوان ابزار مدل‌سازی و روش‌شناختی برای مقابله با مشکلات تصمیم‌گیری‌های پیچیده مورد استفاده قرار می‌گیرد. همان‌طور که در فصول قبل نیز بیان شد, مزیت VIKOR 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 راه-حل ایده‌آل می‌سازد (اوپریکوویک[۳۹], ۱۹۹۸) [۵۶]. راه حل سازش به دست‌آمده, مطلوبیت گروهی حداکثر را برای "اکثریت" و حداقل پشیمانی فردی را برای "طرف مخالف" فراهم می‌کند (لیو و همکاران[۴۰], ۲۰۱۳) [۵۷]. برای انتخاب و اولویت‌بندی تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ، تکنیک تصمیم-گیری چندمنظوره VIKOR مورد استفاده قرار می‌گیرد.

اثبات شده است که منطق فازی یک روش مفید و کارآمد برای روش‌های MCDM در شرایطی که اطلاعات نامشخص یا ذهنی در بیان مفاهیم و قضاوت‌های طبیعی ما وجود دارد, می‌باشد. از آن‌جایی که [۱۴۲] تصمیم‌گیری در محیط فازی را پیشنهاد کرده‌اند، بسیاری از نظریه‌ها و برنامه‌های توسعه یافته برای مقابله با انواع مختلف روش‌های MCDM ارائه شده است. از آن‌جا که ارزیابی زبان‌شناسی (سنجش کلامی) برای سنجش معیارها و رتبه‌بندی گزینه‌ها استفاده می‌شود، آن‌ها برای انجام عملیات VIKOR به اعداد فازی مثلثی تبدیل می‌شوند، از این رو نام FUZZY VIKOR اطلاق می‌شود. اصطلاحات زبان‌شناسی (سنجش کلامی) عبارت است از کلمات یا عبارات کلامی که منعکس کننده دیدگاه ذهنی متخصصین در مورد معیارها و گزینه‌ها می‌باشد. این ارزیابی زبان‌شناسی توسط گروه

[39] . Opricovic
[40] . Liu et al

خبرگان برای پردازش بیشتر از طریق FUZZY VIKOR در مرحله بعد به اعداد فازی تبدیل می‌شود. ما از اعداد فازی مثلثی مطابق جدول‌های (۱.۳) و (۲.۳) استفاده کرده‌ایم؛ زیرا آن‌ها ارائه دهنده بهترین قضاوت‌های تصمیم‌گیرندگان می‌باشند (حداقل ارزش، محتمل‌ترین ارزش، حداکثر ارزش).

جدول(۱.۳) : مقیاس متغیرهای زبانی برای رتبه‌بندی گزینه‌ها (آواستی و همکاران[41], ۲۰۱۰)[۱۴۳]

اعداد فازی مثلثی	اصطلاحات زبانی
(1,1,3)	خیلی کم (VP)
(1,3,5)	کم (P)
(3,5,7)	متوسط (F)
(5,7,9)	خوب (G)
(7,9,9)	خیلی خوب (VG)

جدول(۲.۳) : مقیاس متغیرهای زبانی برای اهمیت معیارها (آواستی و همکاران, ۲۰۱۰)[۱۴۳]

اعداد فازی مثلثی	اصطلاحات زبانی
(1,1,3)	خیلی پایین (VL)
(1,3,5)	پایین (L)
(3,5,7)	متوسط (M)
(5,7,9)	بالا (H)
(7,9,9)	خیلی بالا (VH)

مراحل مختلف FUZZY VIKOR (اوپریکوویک, ۱۹۹۸) [۵۶] به شرح زیر ارائه می‌شود:

گام اول: دی‌فازی کردن عناصر ماتریس تصمیم‌گیری فازی برای وزن معیارها و گزینه‌ها به مقادیر قطعی. یک عدد فازی $\tilde{a} = (a_1, a_2, a_3)$ می‌تواند از طریق رابطه (۱.۳) به یک عدد قطعی تبدیل شود:

$$a = \frac{a_1 + 4a_2 + a_3}{6} \qquad (۱.۳)$$

گام دوم: نقطه ایده‌آل مثبت f_j^* و نقطه ایده‌آل منفی f_j^- برای همه معیارها $j = 1,2,\dots,n$ و گزینه‌ها $i = 1,2,..,m$ مطابق رابطه (۲.۳) تعیین می‌شود:

[41] .Awasthi et al

$$f_j^* = \max_i\{x_{ij}\}\,;\; f_j^- = \min_i\{x_{ij}\} \quad \text{(معیار سود)} \qquad (۲.۳)$$
$$f_j^* = min_i\{x_{ij}\}\,;\; f_j^- = \max_i\{x_{ij}\} \quad \text{(معیار هزینه)}$$

گام سوم: مقادیر S_i و R_i با توجه به رابطه (۳.۳) محاسبه می‌شود.

محاسبه اندازه فاصله S_i و R_i .(توجه داریم که S_i مجموع فاصله و R_i حداکثر فاصله هر گزینه از ایده‌آل به ازای تمامی معیارها می‌باشد).

$$S_i = \sum_{j=1}^{n} w_j \frac{f_j^* - x_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \qquad (۳.۳)$$

$$R_i = max_j\; w_j \frac{f_j^* - x_{ij}}{f_j^* - f_j^-}$$

گام چهارم: مقدار Q_i مطابق رابطه (۴.۳) 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.

$$Q_i = v\frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} + (1 - v)\frac{R_i - R^*}{R^- - R^*} \qquad (۴.۳)$$

در جایی که مطابق رابطه (۵.۳) داریم:

$$S^* = min_i\, S_i; \qquad (۵.۳)$$
$$S^- = max_i\, S_i;$$
$$R^* = min_i\, R_i;$$
$$R^- = max_i\, R_i;$$

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 می-شوند.

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 (۶.۳) محاسبه می‌شود:

$$Q\left(A^{(2)}\right) - Q\left(A^{(1)}\right) \geq DQ \qquad (۶.۳)$$

در جایی که $A^{(2)}$ گزینه‌ایی با رتبه دوم در لیست رتبه‌بندی Q است و M تعداد کل گزینه‌ها می‌باشد. توجه داریم که DQ طبق رابطه (۷.۳) محاسبه می‌شود:

$$DQ = 1/M - 1 \tag{۷.۳}$$

C2: ثبات قابل قبول در تصمیم گیری

گزینه $A^{(1)}$ باید همچنین بهترین رتبه را توسط S یا / و R کسب کند.

راه حل سازش پایدار در فرآیند تصمیم‌گیری، که می‌تواند استراتژی حداکثر مطلوبیت گروه باشد (زمانی که $v > 0.5$ 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, مجموعه‌ایی از راه حل‌های سازش پیشنهاد می‌شود, که شامل:

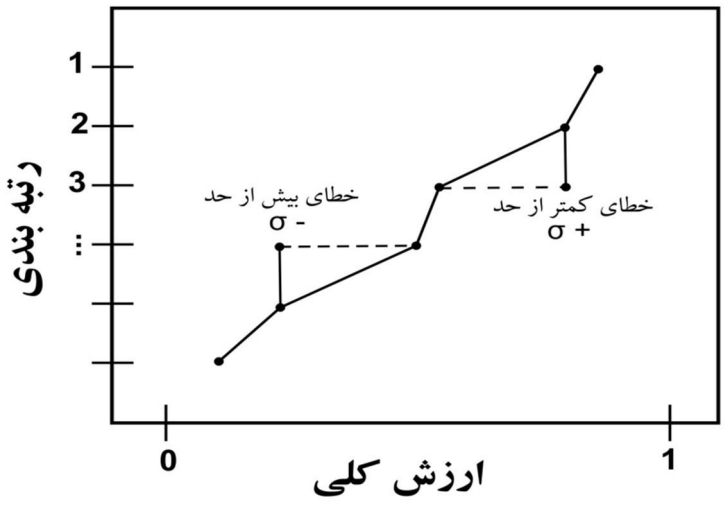
- گزینه‌های $A^{(1)}$ و $A^{(2)}$ اگر فقط شرط C2 را برآورده نکند؛
- گزینه‌های $A^{(1)}, A^{(2)}, \dots, A^{(M)}$ اگر شرط ۱ را برآورده نکند, $A^{(M)}$ توسط رابطه زیر تعیین می‌شود, $Q(A^{(M)}) - Q(A^{(1)}) < DQ$ برای M ماکزیمم (موقعیت این گزینه‌ها در نزدیکی هم هستند).

۴.۳ روش UTASTAR

روش UTA (UTilités Additives) اولین بار توسط (جاکوت- لاگرز و سیسکوس[۴۲], ۱۹۸۲) [۱۴۴] معرفی گردید.
هدف آن یافتن یک یا چند تابع ارزش افزایشی (additive utility functions) از مجموعه‌ی مرجع رتبه‌بندی شده‌ی A_R می‌باشد. در این روش از تکنیک‌های برنامه‌ریزی خطی ویژه‌ای برای ارزیابی مجموعه رتبه‌بندی شده استفاده می‌گردد.
روش UTASTAR اولین بار توسط (سیسکوس و یاناکوپولوس[۴۳], ۱۹۸۵) [۱۴۵] پیشنهاد گردید و بهبود یافته مدل UTA می‌باشد. در روش UTA تنها یک خطا برای مینیمم شدن معرفی شده است، درحالی که یک تابع خطا $\sigma(a)$ تمام نقاط پراکنده در اطراف نمودار هماهنگ شکل (۱.۳) را به طور دقیق حداقل نمی‌کند. زیرا نقاط سمت راست منحنی بایستی از مقدار مطلوبیت کم

[42] . Jacquet-Lagrèze and Siskos
[43] . Siskos and Yannacopoulos

شوند. در نتیجه سیسکوس و یاناکوپولوس (۱۹۸۵) برای بهبود فرمول بیان شده از دو تابع خطای مثبت استفاده نموده‌اند:



شکل(۳.۳) : منحنی رگرسیون ترتیبی (رتبه‌بندی در مقابل ارزش کل)

هر معیار یک تابع ارزش واقعی غیرکاهشی می‌باشد که در مجموعه A تعریف شده است و مجموعه A از طریق رابطه (۸.۳) نشان داده شده است:

$$g_i: A \rightarrow [g_{i^*}, g_i^*] \subset i \;/\; a \rightarrow g(a) \in i \qquad (۸.۳)$$

در جایی که $[g_{i^*}, g_i^*]$ مقیاس ارزیابی معیارها, g_{i^*} و g_i^* به ترتیب بدترین و بهترین سطح معیار-ها هستند, $g_i(a)$ ارزیابی یا اقدام عملکرد a در معیار i می‌باشد و $g(a)$ بردار عملکرد a در معیار n است. بنابراین, با داشتن یک رتبه‌بندی اولیه برای مجموعه‌ایی از اقدامات, مساله تنظیم توابع مطلوبیت بر اساس معیارهای چندگانه مدنظر می‌باشد, به طوری که ساختار حاصل از آن به همان اندازه با ساختار اولیه سازگار باشد.

روش UTASTAR یک تابع ارزش افزایشی بدون وزن است که از رابطه (۹.۳) به دست می‌آید,که در آن u_i ها، تابع‌های ارزش واقعی بدون کاهش می‌باشند، که به آن‌ها توابع مطلوبیت می‌گویند.

$$u(g) = \sum_{i=1}^{n} u_i(g_i) \qquad (۹.۳)$$

با توجه به محدودیت‌های نرمالایز شده (۱۰.۳):

$$\sum_{i=1}^{n} u_i(g_i^*) = 1 \qquad (۱۰.۳)$$

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

ارزش هر پیشنهاد $a \in A_R$ با توجه به مدل افزایشی و برمبنای شرایط ترجیحات به صورت رابطه (۱۱.۳) بیان می‌شود:

$$u'[g(a)] = \sum_{i=1}^{n} u_i[g_i(a)] - \sigma^+(a) + \sigma^-(a)\ \forall a \in A_R \qquad (۱۱.۳)$$

که $\sigma(a)$ خطای بلقوه‌ی نسبی $u'[g(a)]$ می‌باشد.

$$\sigma^+(a) : \text{overestimation error}\ ,\ \sigma^-(a) : \text{underestimation error}$$

علاوه براین, 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^j با استفاده از رابطه (۱۲.۳) به دست می‌آید:

$$g_i^j = g_{i^*} + \frac{J-1}{\alpha_i - 1}(g_i^* - g_{i^*}) \quad \forall\, j = 1,2,\dots,\alpha_j \qquad (۱۲.۳)$$

ارزش حاشیه‌ایی فعالیت a توسط یک درون‌یابی خطی تقریب‌زده می‌شود و در نتیجه برای $g_i(a) \in [g_i^j, g_i^{j+1}]$ طبق رابطه (۱۳.۳) خواهیم داشت:

$$u_i[g_i(a)] = u_i(g_i^j) + \frac{g_i(a) - g_i^j}{g_i^{j+1} - g_i^j}\left[u_i(g_i^{j+1}) - u_i(g_i^j)\right] \qquad (۱۳.۳)$$

مجموعه فعالیت‌های مرجع $A_R = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ دوباره بر مبنای بهترین رتبه به بدترین رتبه مرتب نموده به گونه‌ایی که a_1 در ابتدای رتبه‌بندی و a_m به دنبال آن قرار می‌گیرد. برای هر جفت فعالیت‌های متوالی (a_k, a_{k+1}) که هر یک بر دیگری برتری داشته باشد (preference) یا برتری نداشته باشد (indifference), با توجه به رابطه (۱۴.۳) بررسی می‌شود:

$$A_R = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}\ , a_1 : the\ best\ , a_m : the\ worst \qquad (۱۴.۳)$$
$$\begin{cases} a_k > a_{k+1} \leftrightarrow preference \\ a_k \sim a_{k+1} \leftrightarrow indifference \end{cases}$$

بنابراین اگر طبق رابطه (۱۵.۳) را داشته باشیم:

$$\Delta(a_k, a_{k+1}) = u'[g(a_k)] - u'[g(a_{k+1})] \qquad (۱۵.۳)$$

یکی از حالات (۱۶.۳) پیش می‌آید:

$$\begin{cases} \Delta(a_k, a_{k+1}) \geq \delta \leftrightarrow a_k > a_{k+1} \\ \Delta(a_k, a_{k+1}) = 0 \leftrightarrow a_k \sim a_{k+1} \end{cases} \qquad (۱۶.۳)$$

به طوری که δ یک عدد مثبت بسیارکوچک است و حاصل اختلاف دو عضو پی‌درپی مجموعه‌ی A_R می‌باشد.

یکی دیگر از اصلاحات مهم، مربوط به محدودیت‌های یکنواختی معیارها است که از طریق تحول متغیرها مطابق رابطه (۱۷.۳) مورد توجه قرار گرفته است:

$$w_{ij} = u_i(g_i^{j+1}) - u_i(g_i^j) \geq 0 \quad \forall i = 1,2,\dots,n \text{ and } j = 1,2,\dots,\alpha_i - 1 \qquad (۱۷.۳)$$

بنابراین شرایط یکنواختی, می‌تواند به وسیله محدودیت‌های غیرمنفی برای متغیرها $w_{ij}(\text{for } s_i = 0)$ جایگزین شود.

در نتیجه، الگوریتم UTASTAR می‌تواند در گام‌های زیر خلاصه شود:

مرحله اول: محاسبه ارزش کلی گزینه‌های مرجع؛

$u[g(a_k)], k = 1,2,\dots,m$, در ابتدا بر اساس ارزش‌های حاشیه‌ایی $u_i(g_i)$ و سپس بر حسب متغیرهای w_{ij} با توجه به فرمول‌های (۱۸.۳) محاسبه می‌شود:

$$\begin{cases} u_i(g_i^1) = 0 \quad \forall i = 1,2,\dots,n \\ u_i(g_i^j) = \sum_{t=1}^{j-1} w_{it} \quad \forall i = 1,2,\dots,n \ and \ j = 2,3,\dots,\alpha_i - 1 \end{cases} \tag{۱۸.۳}$$

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 فرمول (19.3) نشان داده می‌شود:

$$\Delta(a_k, a_{k+1}) = u[g(a_k)] - \sigma^+(a_k) + \sigma^-(a_k) - u[g(a_{k+1})] + \sigma^+(a_{k+1}) - \sigma^-(a_{k+1}) \tag{۱۹.۳}$$

مرحله سوم: حل برنامه‌ریزی خطی مطابق رابطه (۲۰.۳):

$$\begin{cases} [min]Z = \sum_{k=1}^{m} [\sigma^+(a_k) + \sigma^-(a_k)] \\ st: \\ \Delta(a_k, a_{k+1}) \geq \delta \ \ if \ a_k > a_{k+1} \\ \Delta(a_k, a_{k+1}) = 0 \ \ if \ \ a_k \sim a_{k+1} \\ \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{\alpha_i - 1} w_{ij} = 1 \\ w_{ij} \geq 0, \sigma^+(a_k) \geq 0, \sigma^-(a_k) \geq 0 \ \ \forall i,j,k \end{cases} \tag{۲۰.۳}$$

و δ که یک عدد مثبت کوچک است.

مرحله چهارم: در انتها به بررسی جواب‌های چندگانه یا نزدیک به بهینه با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی (آنالایز پایداری) پرداخته می‌شود. در صورت غیر منحصر به فرد بودن جواب یعنی اگر پاسخ بهینه یگانه‌ای وجود نداشته باشد, بایستی میانگین جواب های نزدیک به بهینه را با استفاده از تابع هدف زیر و اضافه نمودن محدودیت جدید، مطابق رابطه (۲۱.۳) بهینه کرد:

$$u_i(g_i^*) = \sum_{j=1}^{\alpha_i - 1} w_{ij} \quad \forall i = 1,2,\dots,n \tag{۲۱.۳}$$

چند ضلعی محدودیت‌های LP توسط محدودیت جدید (۲۲.۳), محدود می‌شود:

$$\sum_{k=1}^{m}[\sigma^{+}(a_k)+\sigma^{-}(a_k)] \leq z^{*}+\varepsilon \qquad (۲۲.۳)$$

z^{*} برابر با ارزش بهینه در LP مرحله ی قبل است وε مقدار مثبت خیلی کوچک می‌باشد.

۵.۳ معرفی مدل و مدل سازی

توسعه پایدار با رشد متوازن در سه بُعد اقتصادی, اجتماعی و زیست محیطی همراه است. با قرار دادن مفهوم زنجیره تامین در پارادایم توسعه پایدار, مفهوم جدیدی به نام زنجیره تامین پایدار به وجود می‌آید.

این مطالعه یک رویکرد سیستماتیک با هدف طراحی یکپارچه‌ی شبکه پایدار بازیافت کاغذ, تعیین ساختار شبکه و تصمیمات مربوط به آن است که بتواند برای رسیدن به پایداری شبکه, به طور هم‌زمان اهداف اقتصادی و اجتماعی را افزایش و هزینه‌های زیست‌محیطی را کاهش دهد.

مساله طراحی شبکه پایدار بازیافت کاغذ از یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط[۴۴] استفاده شده است, که شامل مراکز جمع‌آوری کاغذ زباله و مراکز بازیافت به منظور احداث تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ می‌باشد, که برای مراکز جمع‌آوری مکان‌های مشخصی در نظر گرفته شده است و مراکز بازیافت مکان‌یابی می‌شوند. برای مراکز بازیافت بایستی تصمیم گرفته شود که از چه تکنولوژی و با چه سطح ظرفیتی استفاده کنیم. تکنولوژی‌های به کار رفته در این مراکز از اهمیت زیادی برخوردار است, زیرا هرچه بازدهی آن‌ها بیشتر باشد به اهداف مدل نزدیک‌تر خواهیم شد. در مراکز بازیافت, سه نوع محصول تولیدی شامل؛ کاغذ بازیافتی, برق و کود تولید خواهند شد.

در ادامه لیستی از پارامترها, متغیرها و در نهایت محدودیت‌ها و اهداف مساله به صورت ریاضی بیان می‌شوند:

۱.۵.۳ نمادها و علائم

مجموعه‌ها:

[44] . MIP

I: مجموعه مراکز جمع‌آوری کاغذ زباله $(\forall i \in I)$

J: مجموعه نقاط ممکن برای مراکز بازیافت (مراکز احداث تکنولوژی) $(\forall j \in J)$

T: مجموعه تکنولوژی‌های ممکن در مراکز بازیافت $(\forall t \in T)$

L: مجموعه ظرفیت تکنولوژی‌های ممکن در مراکز بازیافت $(\forall l \in L)$

M: انواع محصولات حاصل از بازیافت $(\forall m \in M)$

E: گاز های گلخانه‌ایی منتشر شده $(\forall\, e \in E)$

پارامترها:

$\mathrm{Distance}_{JI}$: مسافت بین مراکز جمع آوری کاغذ زباله I تا مراکز بازیافت J بر حسب کیلومتر

α_{TM}: ضریب تبدیل کاغذ زباله به محصول تولیدی M توسط تکنولوژی T

CAP_{TL}: تکنولوژی T با سطح ظرفیت L

$\mathrm{Production_I}$: میزان تولید کاغذ زباله در مناطق ۲۲ گانه تهران

$\mathrm{Capital\ cost_{TL}}$: هزینه‌های سرمایه‌گذاری تکنولوژی T با سطح ظرفیت L

$\mathrm{R_{TM}}$: درآمد حاصل از تولید محصول بازیافتی M توسط تکنولوژی T

$\mathrm{Fixedcost_{IJ}}$: هزینه ثابت برای احداث نقاط ممکن برای مراکز بازیافت

$T_{\mathrm{transportation}}$: هزینه حمل‌ونقل

$Emissions_{\mathrm{TE}}$: میزان انتشار گازهای گلخانه‌ایی ناشی از تکنولوژی‌های بازیافت T

$\mathrm{TransportationE_E}$: میزان انتشار گازهای گلخانه‌ایی به ازای حمل‌ونقل

$\mathrm{Environmental\ Cost_E}$: هزینه انتشار گازهای گلخانه‌ایی

$social\ Score_{TL}$: نمره مطلوبیت معیار اجتماعی, تکنولوژی T با سطح ظرفیت L که با استفاده از تکنیک UTASTAR به دست آمده است.

متغیرهای باینری:

X_{JTL} : اگر تکنولوژی T با سطح ظرفیت L درمرکز بازیافت J احداث شود ۱ و در غیراین صورت ۰

Y_J : اگر مرکز بازیافت احداث شود ۱ و در غیر این صورت ۰

متغیرهای پیوسته مثبت:

Z_1 : تابع هدف اقتصادی

Z_2 : تابع هدف اجتماعی

Z_3 : تابع هدف زیست محیطی

f_{IJT} : میزان جریان کاغذ منتقل شده از مرکز جمع آوری I به مرکز بازیافت J برای تکنولوژی T

K_{JMT} : میزان کاغذ زباله‌ایی که در مرکز بازیافت J به محصول M با تکنولوژی T تبدیل می‌شود.

محدودیت‌ها:

$$\mathrm{Production_I} \geq \sum_{j\in J}\sum_{\mathrm{t}\in\mathrm{T}} f_{\mathrm{IJT}} \qquad (\forall \mathrm{i}) \tag{23.3}$$

محدودیت (23.3) بیان می‌کند که مجموع میزان جریان کاغذی که از مرکز جمع‌آوری I به مرکز بازیافت J برای تکنولوژی T ارسال می‌شود باید از میزان کاغذ زباله که در مراکز جمع‌آوری تولید می‌شود کمتر باشد.

$$\alpha_{TM} \times \sum_{i\in I} f_{\mathrm{IJT}} = K_{\mathrm{JMT}} \tag{24.3}$$

محدودیت (24.3) بیان می‌کند که ضریبی از مجموع جریان کاغذی که از مراکز جمع‌آوری به مراکز بازیافت ارسال می‌شود با محصولات تولید شده توسط تکنولوژی‌های که در مراکز بازیافت قرار دارد برابر است.

$$\sum_{\mathrm{i}\in\mathrm{I}} f_{\mathrm{IJT}} \leq \sum_{l\in L} X_{\mathrm{JTL}} \times CAP_{\mathrm{TL}} \tag{25.3}$$

محدودیت (25.3) بیان می‌کند که مجموع جریان کاغذ زباله‌ایی که از مراکز جمع‌آوری به مراکز بازیافت ارسال می‌شود بایستی از سطح ظرفیت تکنولوژی‌های مراکز بازیافت کمتر باشد.

$$\sum_{l \in L} X_{\mathrm{JTL}} \leq Y_J \tag{26.3}$$

محدودیت (26.3) بیان می‌کند که در صورتی تکنولوژی در مراکز بازیافت وجود دارد که مراکز بازیافت احداث شده باشد.

در مرحله بعد به شرح و تفسیر توابع هدف مدل پرداخته می‌شود. طبق آن‌چه که قبلا بیان شده است, مدل طراحی شده دارای سه تابع هدف اقتصادی, زیست‌محیطی و اجتماعی می‌باشد.

درآمد حاصل از محصولات بازیافتی از تکنولوژی‌های مراکز بازیافت:

$$Revenue = \sum_{j \in J} \sum_{m \in M} \sum_{t \in T} K_{\mathrm{JMT}} \times \mathrm{R}_{\mathrm{TM}} \tag{27.3}$$

هزینه حمل‌ونقل:

$$\mathrm{C}_{\mathrm{transportation}} = \sum_{\boldsymbol{i} \in \boldsymbol{I}} \sum_{\mathbf{j} \in \mathbf{J}} \sum_{\mathbf{t} \in \mathbf{T}} f_{\mathrm{IJT}} \times \mathrm{Distance}_{JI} \times T_{\mathrm{transportation}} \tag{28.3}$$

هزینه ثابت برای جایابی و احداث نقاط ممکن برای مراکز بازیافت:

$$C_{\mathrm{Location}} = \sum_{\mathbf{j} \in \mathbf{J}} Y_J \times \mathrm{Fixedcost}_{\mathrm{IJ}} \tag{29.3}$$

هزینه سرمایه‌گذاری برای خرید تکنولوژی در سطوح ظرفیتی مختلف:

$$C_{\mathrm{Capital\ cost}} = \sum_{\mathbf{j} \in \mathbf{J}} \sum_{\mathbf{t} \in \mathbf{T}} \sum_{\mathbf{l} \in \mathbf{L}} X_{\mathrm{JTL}} \times \mathrm{Capital\ cost}_{\mathrm{TL}} \tag{30.3}$$

۲.۵.۳ تابع هدف اقتصادی

$$Z_1 = Revenue - \mathrm{C}_{\mathrm{transportation}} - C_{\mathrm{Location}} - C_{\mathrm{Capital\ cost}} \tag{31.3}$$

۳.۵.۳ تابع هدف اجتماعی

$$Z_2 = \sum_{j\in J}\sum_{t\in T}\sum_{l\in L} X_{JTL} \times social\ Score_{TL} \geq 7 \tag{32.3}$$

هزینه انتشار گازهای گلخانه‌ایی ناشی از حمل‌ونقل:

$$C_{TransportationE} = \sum_{e\in E}\sum_{i\in I}\sum_{j\in J}\sum_{t\in T} f_{IJT} \times \text{ TransportationE}_E \times \text{ Environmental Cost}_E \tag{33.3}$$

هزینه انتشار گازهای گلخانه‌ایی ناشی از تکنولوژی‌ها در مراکز بازیافت:

$$C_{TechnologyE} = \sum_{i\in I}\sum_{j\in J}\sum_{t\in T} f_{IJT} \times: Emissions_{TE} \times \text{ Environmental Cost}_E \tag{34.3}$$

۴.۵.۳ تابع هدف زیست محیطی

$$Z_3 = C_{TransportationE} + C_{TechnologyE} \leq 5000000 \tag{35.3}$$

روابط (31.3), (32.3) و (35.3) به ترتیب تابع هدف اقتصادی, اجتماعی و زیست‌محیطی را نشان می‌دهد. مجموع کلیه هزینه‌های اقتصادی, تابع هدف اقتصادی را نتیجه می‌دهد. همچنین مجموع هزینه‌های زیست‌محیطی, تابع هدف زیست‌محیطی را نشان می‌دهد, که به صورت یک نا-مساوی ظاهر شده است. در واقع برای تابع هدف زیست‌محیطی یک کران بالا و همچنین برای تابع هدف اجتماعی یک کران پایین در نظر گرفته شده است.

در حل مدل طراحی شده, نکات زیر باید در نظر گرفته شود:

مسائل تصمیم‌گیری با اهداف چندگانه را می‌توان به صورت کلی به شکل زیر در نظر گرفت؛

مدل (۱)

$$max[f_1(x), f_2(x), \dots, f_K(x)]$$
$$st: \quad g_i(x) \leq 0 \qquad (i = 1,2,\dots,m)$$

این مساله شامل K تابع هدف می‌باشد که می‌باید ماکزیمم گردند. تعداد m محدودیت نیز وجود دارد و تعداد متغیرهای تصمیم‌گیری نیز برابر n می‌باشد. $f_j(x)$ ها یا $g_i(x)$ ها می‌توانند خطی یا غیرخطی باشند. برای حل این‌گونه مسائل دو نوع رویکرد اساسی وجود دارد, که در این‌جا به

روشی که در مدل حاضر استفاده شده است می‌پردازیم. رویکردی که در مدل حاضر از آن استفاده شده است ادغام تمام K تابع هدف در همدیگر و تبدیل آن به یک تابع هدف می‌باشد. در حقیقت یک تابع مطلوبیت ساخته می‌شود و مساله‌ی چند تابع هدفه, به یک مساله با یک تابع هدف تبدیل می‌گردد که به روش GLOBAL CRITERION مشهور است.

هر یک از توابع هدف مدل, به طور مستقل در نظر گرفته می‌شوند و بر روی محدودیت‌ها, بهینه می گردند؛

مدل (۲)

$$\max f_j(x)$$
$$st: \quad g_i(x) \le 0 \qquad (i = 1,2,\dots,m)$$

فرض کنید که جواب بهینه حاصل از هر مساله در مدل (۲) را f_j^* بنامیم و بردار بهینه آن را با X_j^* نشان دهیم. در این صورت تعداد k بردار بهینه خواهیم داشت. حال مدل (۳) تشکیل می‌شود:

مدل (۳)

$$min \sum_{j=1}^{k} \left[\frac{f_j^* - f_j}{f_j^*}\right]^P$$
$$st: \quad g_i(x) \le 0 \qquad (i = 1,2,\dots,m)$$

در حقیقت تابع هدف مدل (۳), مجموع انحرافات توابع هدف مدل (۱) نسبت به مقادیر بهینه‌شان می‌باشد. در برخی از مقالات P=1 و در برخی دیگر, P=2 در نظر گرفته شده است.

نکته دیگری که بیان آن حائز اهمیت است, در روش هدف محدود شده, تصمیم‌گیرنده می‌باید حداقل سطوح دسترسی قابل‌قبول خود را برای هر یک از توابع هدف تعریف نماید. بنابراین مساله به صورت زیر تبدیل می‌شود:

$$\max f_r(X)$$
$$st: \quad g_i(x) \le 0 \qquad (i = 1,2,\dots,m)$$
$$f_j(x) \ge L_j \qquad (j = 1,2,\dots,K); \quad j \ne r$$

ممکن است در حالتی دیگر, تصمیم‌گیرنده علاوه بر حداقل سطح دسترسی, حداکثر سطح دسترسی خود را نیز برای هر یک از توابع هدف تعریف نماید.

$$\max f_r(X)$$

$$st: \quad g_i(x) \leq 0 \qquad (i = 1,2,\dots,m)$$

$$f_j(x) \geq L_j \qquad (j = 1,2,\dots,K); \quad j \neq r$$

$$f_j(x) \leq H_j \qquad (j = 1,2,\dots,K); \quad j \neq r$$

با فرض توضیحات ارائه شده, در مدل حاضر سه تابع هدف اقتصادی, اجتماعی و زیست‌محیطی در یکدیگر ادغام شده و به یک مساله با یک تابع هدف اقتصادی تبدیل شده است.

در فصل بعدی به ارائه یک مدل واقعی در شهر تهران پرداخته می‌شود.

فصل چهارم

تجزیه و تحلیل داده ها

۱.۴ مقدمه

به منظور نشان‌دادن ویژگی‌های مدل و اجرایی کردن آن و همچنین تکنیک‌های تصمیم‌گیری ارائه شده, مدل‌های پیشنهاد شده برای حل یک مثال عددی به کار گرفته شده است. که در این مدل‌ها برای رسیدن به مفهوم پایداری و شبکه پایدار بازیافت کاغذ, ابتدا معیار اجتماعی و زیرمعیارهای آن با استفاده از تکنیک ویکور فازی رتبه‌بندی شده و سپس با استفاده از تکنیک UTASTAR سنجش مطلوبیت تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ انجام شده است و در نهایت نمره مطلوبیت اجتماعی تکنولوژی-های بازیافت کاغذ به همراه معیارهای اقتصادی و زیست‌محیطی که داده‌های آن از شهرداری تهران به‌دست آمده است, در طراحی شبکه بازیافت کاغذ در نظر گرفته شده است. مکان مورد مطالعه شهر تهران می‌باشد, چرا که تهران به عنوان پرجمعیت‌ترین شهر ایران دارای بیشترین زباله‌های تولیدی می‌باشد.

۲.۴ اولویت‌بندی و رتبه‌بندی تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ با استفاده از تکنیک ویکور فازی (مطالعه موردی: شهر تهران)

شهر تهران, پرجمعیت‌ترین شهر و پایتخت ایران، مرکز استان تهران است. با ۸،۶۹۳،۷۰۶ تن جمعیت، بیست‌وچهارمین شهر پرجمعیت جهان به‌شمار می‌رود. کلان‌شهر تهران نیز سومین کلان‌شهر پرجمعیت خاورمیانه است. از نظر اداری، تهران به ۲۲ منطقه و ۱۲۲ ناحیه شهری تقسیم شده است. با توجه به ویژگی‌های یاد شده, شهر تهران را به عنوان مطالعه موردی انتخاب کرده‌ایم.

از طرفی مقدار رو به رشد زباله، افزایش نگرانی‌های زیست‌محیطی و منابع محدود, برخی از عوامل موثر 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 زباله شده است. هدف از این پژوهش تمرکز بر شاخص‌های پایداری می‌باشد. برای رسیدن به این منظور, ابتدا معیارها و زیرمعیارهای اجتماعی با بررسی ادبیات استخراج شده است, سپس ارزیابی و اولویت‌بندی تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ با استفاده از روش ویکورفازی انجام شده است. در ادامه سنجش مطلوبیت تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ با استفاده از تکنیک UTASTAR صورت گرفته است. از گروهی متشکل از پنج نفر متخصص خواسته شد, تا نظرات خود را راجع به معیار اجتماعی بدهند. سنجش کلامی متخصصین با توجه به

جدول (۲.۳) برای وزن‌دهی معیارها, مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ توسط گروه خبرگان مورد بررسی قرار گرفت که هرگزینه بر اساس معیار اجتماعی ارزیابی شده است و آن‌ها نظرات خود را با توجه به جدول (۱.۳) تکمیل کرده‌اند. جدول (۱.۴) سنجش کلامی خبرگان را ارائه می‌دهد.

جدول(۱.۴): سنجش کلامی و رتبه‌بندی فازی تجمعی معیارها

معیارها	سنجش کلامی					امتیاز فازی تجمعی	امتیاز قطعی	وزن نرمالایز شده
	خبره۱	خبره۲	خبره۳	خبره۴	خبره ۵			
ایجاد فرصت‌های شغلی(c_1)	H	H	M	H	VH	(3,7,9)	6.667	0.218
پذیرش اجتماعی(c_2)	M	H	H	M	VH	(3,6.6,9)	6.4	0.209
امنیت کارگران(c_3)	M	M	H	M	H	(3,5.8,9)	5.867	0.192
تراکنش سالیانه (c_4)	M	H	H	VH	H	(3,7,9)	6.667	0.218
کیفیت محصولات(c_5)	M	L	M	M	H	(1,5,9)	5	0.163

وزن فازی تجمعی $(\widetilde{w_j})$ هر معیار j در جدول (۱.۴) 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, $\widetilde{w_j} = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3})$:

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

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

$$\widetilde{w_j} = (3,7,9)$$

وزن فازی تجمعی $\widetilde{w_j}$ با استفاده از رابطه (۱.۳) 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 تجمعی بقیه معیارها نیز محاسبه می‌شود. نتایج حاصل از وزن‌های تجمعی بقیه معیارها در ستون آخر جدول (۱.۴) ارائه شده است. همانند مرحله قبل, در جدول (۲.۴) این بار سنجش کلامی تیم خبرگان در مورد تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ با در نظر گرفتن معیار اجتماعی انجام شده است, در ادامه سنجش کلامی به اعداد فازی مثلثی تبدیل می‌شود و سپس رتبه‌بندی تجمعی به همان شیوه‌ای که قبلا برای معیارها توضیح داده شد, محاسبه می‌شود.

معیارها	MRFs					ATT					AD					Incinerator					COMPOSTING				
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
c_1	VG	VG	VG	VG	VG	G	G	F	G	VG	G	G	F	G	VG	G	G	G	G	G	G	F	F	F	G
c_2	VG	G	VG	G	G	P	P	P	G	VG	G	G	G	G	VG	Vp	P	P	F	P	VP	P	P	F	F
c_3	F	F	G	F	P	VG	G	G	G	F	VG	G	F	G	G	G	G	VG	VG	VG	F	P	F	P	F
c_4	F	G	F	G	G	G	G	G	G	VG	F	G	G	G	VG	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
c_5	G	F	F	G	G	G	G	VG	VG	VG	G	G	VG	VG	VG	G	G	G	VG	VG	F	F	F	G	F

جدول(۲.۴): سنجش کلامی تیم خبرگان در مورد تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ با در نظر گرفتن معیار اجتماعی

در جدول(۳.۴) ماتریس تصمیم فازی تجمعی برای تکنولوژی‌ها ارائه شده است. رتبه‌بندی فازی تجمعی برای تکنولوژی‌ها با در نظر گرفتن رابطه (۱.۳), به رتبه-بندی با اعداد قطعی تبدیل می‌شوند.

جدول(۳.۴): ماتریس تصمیم فازی تجمعی تکنولوژی‌ها با در نظر گرفتن معیار اجتماعی

تکنولوژی‌ها / معیارها	MRFs	ATT	AD	Incinerator	COMPOSTING
ایجاد فرصت‌های شغلی(c_1)	(7,9,9)	(3,7,9)	(3,7,9)	(5,7,9)	(3,5.8,9)
پذیرش اجتماعی(c_2)	(5,7.8,9)	(1,5,9)	(5,7.4,9)	(1,3,7)	(1,3.4,7)
امنیت کارگران(c_3)	(1,5,9)	(3,7,9)	(3,7,9)	(5,8.2,9)	(1,4.2,7)
تراکنش سالیانه (c_4)	(3,6.2,9)	(5,7.4,9)	(3,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)
کیفیت محصولات(c_5)	(3,6.2,9)	(5,8.2,9)	(5,8.2,9)	(5,7.8,9)	(3,5.4,9)

براین اساس, نقطه ایده‌آل مثبت f_j^* و نقطه ایده‌آل منفی f_j^- معیارها با استفاده از رابطه (۲.۳) محاسبه می‌شود. در جدول (۴.۴) رتبه‌بندی قطعی تجمعی را ارائه می‌دهد و سپس نتایج f_j^* و f_j^- را برای معیارها نشان می‌دهد.

جدول(۴.۴): رتبه‌بندی قطعی و نقطه ایده‌آل مثبت f_j^*ونقطه ایده‌آل منفی f_j^- معیار اجتماعی

معیارها	رتبه‌بندی قطعی					f_j^*	f_j^-
	MRFs	ATT	AD	Incinerator	COMPOSTING		
(c_1)	8.667	6.667	6.667	۷	5.867	8.667	5.867
(c_2)	7.533	5	7.267	۳.۳۳۳	3.6	7.533	۳.۳۳۳
(c_3)	5	6.667	6.667	7.8	4.133	7.8	4.133
(c_4)	6.133	7.267	6.667	7	7	7.267	6.133
(c_5)	6.133	7.8	7.8	7.533	5.6	7.8	5.6

در ادامه, در جدول (۵.۴) مقادیر S_i , R_i و Q_i تکنولوژی‌ها با استفاده از روابط (۳.۳) و (۴.۳) محاسبه می‌شود. مقدار $S^* = 0.341$, $S^- = 0.82$, $R^* = 0.156$, $R^- = 0.218$ با استفاده از رابطه (۵.۳) محاسبه شده است.

جدول (۵.۴): مقادیر S_i , R_i و Q_i تکنولوژی‌ها

	MRFs	ATT	AD	Incinerator	COMPOSTING
S_i	۰.۴۸۹	0.341	0.343	0.41	0.82
R_i	0.218	0.156	0.156	0.209	0.218
Q_i	0.654	0	0.002	0.499	1

در جدول(۶.۴) رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس مقادیر S_i , R_i و Q_i به ترتیب صعودی ارائه شده است.

جدول(۶.۴): رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس مقادیر S_i , R_i و Q_i به ترتیب صعودی

S_i	ATT	AD	Incinerator	MRFs	COMPOSTING
R_i	ATT	AD	Incinerator	MRFs	COMPOSTING
Q_i	ATT	AD	Incinerator	MRFs	COMPOSTING

از نتایج جدول (۶.۴) می‌توان مشاهده کرد که تکنولوژی ATT بهترین رتبه‌بندی را بر اساس مقادیر Q_i (مینیمم) کسب کرده است. اکنون دو شرط ویکور فازی را بررسی می‌کنیم. با استفاده از رابطه (۷.۳), $DQ = 1/5 - 1 = 1/4 = 0.25$ می‌باشد. و با استفاده از رابطه (۶.۳)؛

$Q(AD) - Q(ATT) = 0.002 - 0 = 0.002 < .25$ به دست می‌آید. از این رو شرط ۱ برآورده نمی‌شود. در نتیجه گزینه بعدی را بررسی می‌کنیم.

$Q(\text{Incinerator}) - Q(AD) = 0.499 - 0.002 = 0.497 \geq 0.25$ از این‌رو شرط ۱ در این مرحله برآورده می‌شود.

شرط ۲ برآورده می‌شود, به این دلیل که تکنولوژی ATT توانسته است, علاوه بر بهترین رتبه در مقدار Q, رتبه‌بندی بهترین تکنولوژی را در مقدار R و S کسب کند. در نهایت رتبه‌بندی نهایی به این شکل $\text{ATT} = AD > \text{Incinerator} > \text{MRFs} > COMPOSTING$ صورت گرفته است.

۱.۲.۴ تجزیه و تحلیل حساسیت

هدف از تحلیل حساسیت، تعیین حساسیت (یا نفوذ) پارامترهای مدل‌سازی (وزن معیارها در این مطالعه) بر نتایج نهایی فرآیند تصمیم‌گیری است. به منظور ارزیابی تاثیر وزن‌های معیار بر روی رتبه‌بندی حاصل از FUZZY VIKOR, آزمایش‌های زیر انجام شده است:

- در اولین مجموعه آزمایش، وزن هر معیار با حداکثر مقدار (۱) تنظیم شده است, یک‌به‌یک، معیارهای باقیمانده برابر با ۰ قرار داده شده است.
- در مجموعه دوم آزمایش، وزن‌های تصادفی به معیارها اختصاص داده می‌شود, وزن کل معیارها برابر با ۱ است.
- در مجموعه سوم آزمایش، مقدار مطلوبیت v بین ۰ و ۱ متغیر است. این کار با ۱۱ آزمایش انجام می‌شود. در مجموع ۱۷ آزمایش انجام شده است.

جدول(۷.۴), نتایج حاصل از تحلیل حساسیت بر اساس آزمایش‌های انجام شده را, نشان می‌دهد.

جدول(۷.۴): نتایج تجزیه و تحلیل حساسیت

آزمایش	وزن‌های معیارها	رتبه‌بندی گزینه‌ها
۱	$Wc_1 = 1,$ $Wc_2, c_3, c_4, c_5 = 0$	$\text{MRFs} > \text{Incinerator} > \text{ATT} > AD > COMPOSTING$
۲	$Wc_2 = 1,$ $Wc_1, c_3, c_4, c_5 = 0$	$\text{MRFs} = AD > \text{ATT} > COMPOSTING > \text{Incinerator}$
۳	$Wc_3 = 1,$ $Wc_1, c_2, c_4, c_5 = 0$	$\text{Incinerator} > \text{ATT} > AD > \text{MRFs} > COMPOSTING$
۴	$Wc_4 = 1,$ $Wc_1, c_2, c_3, c_5 = 0$	$\text{ATT} = \text{Incinerator} = COMPOSTING > AD > \text{MRFs}$
۵	$Wc_5 = 1,$ $Wc_1, c_2, c_3, c_4 = 0$	$\text{ATT} = AD = \text{Incinerator} > \text{MRFs} > COMPOSTING$
۶	ایجاد وزن‌های تصادفی	$\text{Incinerator} = \text{ATT} = AD > \text{MRFs} > COMPOSTING$

وزن‌های تصادفی انتخاب شده برای آزمایش ۶ عبارت‌اند از: 0.126, 0.264, 0.337, 0.075, ۰.198

بر اساس جدول (۷.۴), می‌توان مشاهده کرد که MRFs دو بار به عنوان رتبه اول, Incinerator ۴ بار به عنوان رتبه اول وAD ۳ بار به عنوان رتبه اول, ATT ۳ بار به عنوان رتبه اول و در نهایت $COMPOSTING$ یک بار به عنوان رتبه اول, رتبه‌بندی شده‌اند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که نتایج مدل به تغییر در وزن معیارها بسیار حساس است.

جدول (۸.۴) نتایج تحلیل حساسیت برای ۱۱ آزمایش با تغییر شاخص ویکور v بین ۰ و۱ را نشان می‌دهد.

جدول(۸.۴): نتایج تحلیل حساسیت برای مقادیر مختلف شاخص ویکور v

آزمایش	$(v, 1-v)$	MRFs	ATT	AD	Incinerator	$COMPOSTING$	$Q(A^{(2)}) - Q(A^{(1)})$	DQ	شرط۱	رتبه بندی گزینه‌ها
۱	(0,1)	۱	۰	۰	0.856	1	۰	$< .25$	برآورده نشد	$ATT = \text{AD} > \text{Incinerator} > \text{MRFs} > COMPOSTING$
۲	$(.1, .9)$	0.931	0	.0005	0.784	1	0.0005	$< .25$	برآورده نشد	$ATT = \text{AD} > \text{Incinerator} > \text{MRFs} > COMPOSTING$
۳	$(.2, .8)$	0.861	0	0.001	0.713	1	0.001	$< .25$	برآورده نشد	$ATT = \text{AD} > \text{Incinerator} > \text{MRFs} > COMPOSTING$
۴	$(.3, .7)$	0.792	0	0.002	0.642	1	0.002	$< .25$	برآورده نشد	$ATT = \text{AD} > \text{Incinerator} > \text{MRFs} > COMPOSTING$
۵	$(.4, .6)$	0.723	0	0.002	0.571	1	0.002	$< .25$	برآورده نشد	$ATT = \text{AD} > \text{Incinerator} > \text{MRFs} > COMPOSTING$
۶	$(.5, .5)$	0.653	0	0.003	0.499	1	0.003	$< .25$	برآورده نشد	$ATT = \text{AD} > \text{Incinerator} > \text{MRFs} > COMPOSTING$
۷	$(.6, .4)$	0.584	0	0.003	0.428	1	0.003	$< .25$	برآورده نشد	$ATT = \text{AD} > \text{Incinerator} > \text{MRFs} > COMPOSTING$
۸	$(.7, .3)$	0.515	0	0.004	0.357	1	0.004	$< .25$	برآورده نشد	$ATT = \text{AD} > \text{Incinerator} > \text{MRFs} > COMPOSTING$
۹	$(.8, .2)$	0.446	0	0.004	0.286	1	0.004	$< .25$	برآورده نشد	$ATT = \text{AD} > \text{Incinerator} > \text{MRFs} > COMPOSTING$
۱۰	$(.9, .1)$	0.376	0	0.005	0.215	1	0.005	$< .25$	برآورده نشد	$ATT = \text{AD} = \text{Incinerator} = \text{MRFs} > COMPOSTING$
۱۱	(1,0)	0.306	0	0.005	0.144	1	0.005	$< .25$	برآورده نشد	$ATT = \text{AD} = \text{Incinerator} = \text{MRFs} > COMPOSTING$

با توجه به جدول (۸.۴) مشاهده می‌شود که ATT و AD در ۱۱ آزمایش به عنوان بهترین گزینه ظاهر شده‌اند.

۳.۴ سنجش مطلوبیت تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ با استفاده از تکنیک UTASTAR

در ادامه این پژوهش, از روش UTASTAR برای سنجش مطلوبیت تکنولوژی‌های رتبه‌بندی شده, استفاده شده است. در جدول (۹.۴) اطلاعات لازم برای شروع UTASTAR با در نظر گرفتن معیار اجتماعی و آن‌چه که در مراحل قبل مورد استفاده قرار گرفته است, درج شده است و همچنین ستون آخر جدول رتبه‌بندی FUZZY VIKOR را نشان می‌دهد.

جدول (۹.۴): ارزش معیارها و رتبه‌بندی بر اساس ویکور فازی

معیارها / تکنولوژی‌ها	ایجاد فرصت‌های شغلی (c_1)	پذیرش اجتماعی (c_2)	امنیت کارگران (c_3)	تراکنش سالیانه (c_4)	کیفیت محصولات (c_5)	رتبه-بندی
ATT	6.667	۵	6.667	7.267	7.8	1
AD	6.667	۷.۲۶۷	6.667	۶.۶۶۷	7.8	2
Incinerator	۷	۳.۳۳۳	۷.۸	۷	7.533	3
MRFs	۸.۶۶۷	۷.۵۳۳	۵	۶.۱۳۳	6.133	4
COMPOSTING	5.867	3.6	4.133	7	5.6	5

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 از طریق درون‌یابی خطی برای معیارها طبق رابطه (۱۲.۳) انتخاب شده است.

$$[g_{1^*}, g_1^*] = 5.867, 6.800, 7.734, 8.667$$

$$[g_{2^*}, g_2^*] = 3.333, 4.733, 6.133, 7.533$$

$$[g_{3^*}, g_3^*] = 4.133, 5.355, 6.578, 7.8$$

$$[g_{4^*}, g_4^*] = 6.133, 6.511, 6.889, 7.267$$

$$[g_{5^*}, g_5^*] = 5.6, 6.333, 7.067, 7.8$$

سپس مطلوبیت کلی هر گزینه به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\begin{aligned} u[\mathrm{g(ATT)}] = {} & .143u_1(5.867) + .857u_1(6.800) + .809u_2(4.733) + .191u_2(6.133) \\ & + .927u_3(6.578) + .073u_3(7.8) + u_4(7.267) + u_5(7.8) \\ & = .857u_1(6.800) + .809u_2(4.733) + .191u_2(6.133) + .927u_3(6.578) \\ & + .073u_3(7.8) + u_4(7.267) + u_5(7.8) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u[\mathrm{g(AD)}] = {} & .143u_1(5.867) + .857u_1(6.800) + .19u_2(6.133) + .81u_2(7.533) \\ & + .927u_3(6.578) + .073u_3(7.8) + .587u_4(6.511) + .413u_4(6.889) \\ & + u_5(7.8) \\ & = .857u_1(6.800) + .19u_2(6.133) + .81u_2(7.533) + .927u_3(6.578) \\ & + .073u_3(7.8) + .587u_4(6.511) + .413u_4(6.889) + u_5(7.8) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & u[\mathrm{g(Incinerator)}] \\ & = .786u_1(6.800) + .214u_1(7.734) + u_2(3.333) + u_3(7.8) \\ & + .706u_4(6.889) + .294u_4(7.267) + .364u_5(7.067) + .636u_5(7.8) \\ & = .786u_1(6.800) + .214u_1(7.734) + u_3(7.8) + .706u_4(6.889) \\ & + .294u_4(7.267) + .364u_5(7.067) + .636u_5(7.8) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u[\mathrm{g(MRFs)}] = {} & u_1(8.667) + u_2(7.533) + .291u_3(4.133) + .709u_3(5.355) + u_4(6.133) \\ & + .273u_5(5.6) + .727u_5(6.333) \\ & = u_1(8.667) + u_2(7.533) + .709u_3(5.355) + .727u_5(6.333) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & u[\mathrm{g(Composting)}] \\ & = u_1(5.867) + .809u_2(3.333) + .191u_2(4.733) + u_3(4.133) \\ & + .706u_4(6.889) + .294u_4(7.267) + u_5(5.6) \\ & = .191u_2(4.733) + .706u_4(6.889) + .294u_4(7.267) \end{aligned}$$

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

$$\mathrm{u}_1(5.867) = \mathrm{u}_2(3.333) = \mathrm{u}_3(4.133) = \mathrm{u}_4(6.133) = \mathrm{u}_5(5.6) = 0.$$

همچنین, بر اساس فرمول (۱۸.۳) مطلوبیت کلی گزینه‌ها بر حسب متغیر w_{ij} بیان می‌شود:

$$\begin{aligned} u[\mathrm{g(ATT)}] = {} & .857w_{11} + w_{21} + .191w_{22} + w_{31} + w_{32} + .073w_{33} + w_{41} + w_{42} + w_{43} \\ & + w_{51} + w_{52} + w_{53} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u[\mathrm{g(AD)}] = {} & .857w_{11} + w_{21} + w_{22} + .81w_{23} + w_{31} + w_{32} + .073w_{33} + w_{41} + .413w_{42} \\ & + w_{51} + w_{52} + w_{53} \end{aligned}$$

$$u[\mathrm{g(Incinerator)}] = w_{11} + .214w_{12} + w_{31} + w_{32} + w_{33} + w_{41} + w_{42} + .294w_{43} + w_{51} + w_{52} + .636w_{53}$$

$$u[\mathrm{g(MRFs)}] = w_{11} + w_{12} + w_{13} + w_{21} + w_{22} + w_{23} + .709w_{31} + .727w_{51}$$

$$u[\mathrm{g(Composting)}] = .191w_{21} + w_{41} + w_{42} + .294w_{43}$$

با در نظر گرفتن الگوریتم UTASTAR، برای هر جفت گزینه متوالی با توجه به رتبه‌بندی اولیه و با استفاده از رابطه (۱۹.۳) عبارات زیر به‌دست آمده است:

$$\Delta(\mathrm{ATT, AD}) = -.809w_{22} - .81w_{23} + .587w_{42} + w_{43} - \sigma^{+}(\mathrm{ATT}) + \sigma^{-}(\mathrm{ATT}) + \sigma^{+}(\mathrm{AD}) - \sigma^{-}(\mathrm{AD})$$

$$\Delta(\mathrm{AD, Incinerator}) = -.143w_{11} - .214w_{12} + w_{21} + w_{22} + .81w_{23} - .927w_{33} - .587w_{42} - .294w_{43} + .364w_{53} - \sigma^{+}(\mathrm{AD}) + \sigma^{-}(\mathrm{AD}) + \sigma^{+}(\mathrm{Incinerator}) - \sigma^{-}(\mathrm{Incinerator})$$

$$\Delta(\mathrm{Incinerator, MRFs}) = -.786w_{12} - w_{13} - w_{21} - w_{22} - w_{23} + .291w_{31} + w_{32} + w_{33} + w_{41} + w_{42} + .294w_{43} + .273w_{51} + w_{52} + .636w_{53} - \sigma^{+}(\mathrm{Incinerator}) + \sigma^{-}(\mathrm{Incinerator}) + \sigma^{+}(\mathrm{MRFs}) - \sigma^{-}(\mathrm{MRFs})$$

$$\Delta(\mathrm{MRFs, Composting}) = w_{11} + w_{12} + w_{13} + .809w_{21} + w_{22} + w_{23} + .709w_{31} - w_{41} - w_{42} - .294w_{43} + .727w_{51} - \sigma^{+}(\mathrm{MRFs}) + \sigma^{-}(\mathrm{MRFs}) + \sigma^{+}(\mathrm{Composting}) - \sigma^{-}(\mathrm{Composting})$$

بر اساس بیان فوق, یک برنامه خطی با توجه به رابطه (۲۰.۳), با در نظر گرفتن $\delta = 0.05$ فرموله شده است, جدول (۱۰.۴) این برنامه‌ریزی خطی را نشان می‌دهد.

جدول (۱۰.۴): مدل فرموله شده در نرم افزار لینگو

w_{11}	w_{12}	w_{13}	w_{21}	w_{22}	w_{23}	w_{31}	w_{32}	w_{33}	w_{41}	w_{42}	w_{43}	w_{51}	w_{52}
0	0	0	0	-0.809	-0.81	0	0	0	0	0.587	1	0	0
-0.143	-0.214	0	1	1	0.81	0	0	-0.927	0	-0.587	-0.294	0	0
0	-0.786	-1	-1	-1	-1	0.291	1	1	1	1	0.294	0.273	1
1	1	1	0.809	1	1	0.709	0	0	-1	-1	-0.294	0.727	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

w_{53}	Variables σ^+ and σ^-										RHS	
0	-1	1	1	-1	0	0	0	0	0	0	=	0
0.364	0	0	-1	1	1	-1	0	0	0	0	≥	0.05
0.636	0	0	0	0	-1	1	1	-1	0	0	≥	0.05
0	0	0	0	0	0	0	-1	1	1	-1	≥	0.05
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	=	1
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	=	Z

این برنامه خطی در لینگو حل شده است و نتایج زیر به دست آمده است:

$$Z^* = 0, W_{21} = 0.05, W_{31} = 0.95$$

از آن‌جایی که $z^* = 0$ است برنامه‌ریزی خطی دارای جواب بهینه چندگانه می‌باشد. بنابراین در مرحله تجزیه و تحلیل پس‌بهینگی (مرحله چهارم الگوریتم UTASTAR), راه حل‌های بیشتر را جستجو می‌کند, که هدف آن حداکثر کردن وزن‌های هر معیار است. علاوه بر این:

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

جدول(۱۱.۴) فرمول برنامه‌ریزی خطی که باید در طی این مرحله حل شود را ارائه می‌دهد.

جدول(۱۱.۴): مدل تجزیه و تحلیل پس‌بهینگی در نرم افزار لینگو

w_{11}	w_{12}	w_{13}	w_{21}	w_{22}	w_{23}	w_{31}	w_{32}	w_{33}	w_{41}	w_{42}	w_{43}	w_{51}	w_{52}
0	0	0	0	-0.809	-0.81	0	0	0	0	0.587	1	0	0
-0.143	-0.214	0	1	1	0.81	0	0	-0.927	0	-0.587	-0.294	0	0
0	-0.786	-1	-1	-1	-1	0.291	1	1	1	1	0.294	0.273	1
1	1	1	0.809	1	1	0.709	0	0	-1	-1	-0.294	0.727	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

w_{53}		RHS
0	=	0
0.364	≤	0.05
0.636	≤	0.05
0	≤	0.05
1	=	1
0	$[\max] u_1 (g_1^*)$	
0	$[\max] u_2 (g_2^*)$	
0	$[\max] u_3 (g_3^*)$	
0	$[\max] u_4 (g_4^*)$	
1	$[\max] u_5 (g_5^*)$	

جواب‌های به دست‌آمده در تجزیه و تحلیل پس‌بهینگی در جدول (۱۲.۴) ارائه شده است. میانگین این جواب‌ها نیز هم‌چنین در ردیف آخر جدول (۱۲.۴) محاسبه شده است.

جدول(۱۲.۴): جواب‌های به‌دست آمده از مرحله تجزیه و تحلیل پس‌بهینگی

w_{11}	w_{12}	w_{13}	w_{21}	w_{22}	w_{23}	w_{31}	w_{32}	w_{33}
0.718	0	0	0.079	0	0	0	0	0
0	0	0	0.475	0	0	0	0	0.191
0	0	0	0.05	0	0	0.950	0	0
0.1	0	0	0	0	0.331	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.164	0	0`	0.121	0	0.066	0.19	0	0.038

	w_{41}	w_{42}	w_{43}	w_{51}	w_{52}	w_{53}
$[\max]u_1(g_1^*)$	0	0	0	0	0	0.203
$[\max]u_2(g_2^*)$	0.334	0	0	0	0	0
$[\max]u_3(g_3^*)$	0	0	0	0	0	0
$[\max]u_4(g_4^*)$	0.302	0	0.268	0	0	0
$[\max]u_5(g_5^*)$	0	0	0	0.863	0	0.137
Average	0.127	0	0.054	0.173	0	0.068

این راه حل نهایی مربوط به توابع ارزش حاشیه‌ای است که در جدول (۱۲.۴) ارائه شده است. هم‌چنین، مطلوبیت‌ها برای هر تکنولوژی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$u[\mathrm{g(ATT)}] = .876$

$u[\mathrm{g(AD)}] = .876$

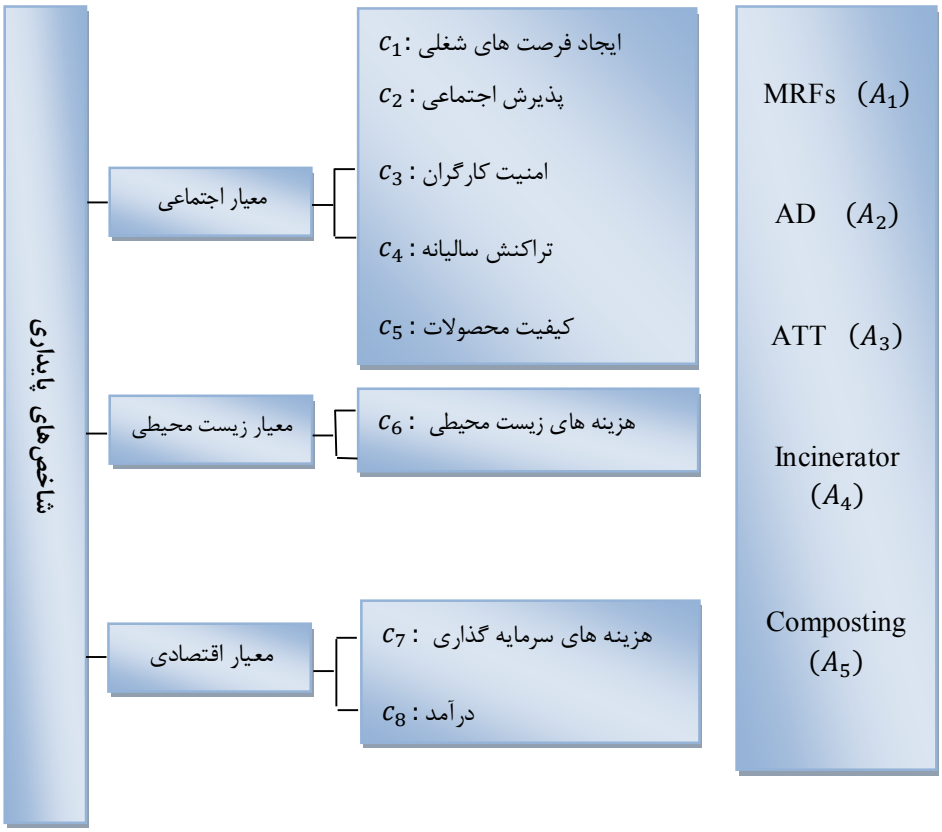
$u[\mathrm{g(Incinerator)}] = .751$

$u[\mathrm{g(MRFs)}] = .611$

$u[\mathrm{g(Composting)}] = .166$

همان‌طور که قبلا نیز بیان شد, امتیازهای اجتماعی تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ, به همراه داده‌هایی که از شهرداری تهران برای اهداف زیست‌محیطی و اقتصادی جمع‌آوری شده است, در فرآیند طراحی شبکه بازیافت کاغذ مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

اما به عنوان تحلیل حساسیت, به منظور سنجش پایداری تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ یک‌بار دیگر, این تکنولوژی‌ها با درنظر گرفتن هم‌زمان شاخص‌های پایداری یعنی در نظر گرفتن هم‌زمان معیارهای اجتماعی, اقتصادی و زیست‌محیطی با استفاده از روش ویکور فازی و سنجش کلامی خبرگان رتبه‌بندی شده است. سپس از روش UTASTAR برای سنجش مطلوبیت گزینه‌های انتخاب شده استفاده شده است. برای جلوگیری از تکرار روابط بیان شده, فقط خلاصه‌ایی از نتایج محاسبات در این قسمت بیان شده است.



شکل(۱.۴): چارچوبی برای ارزیابی و اولویت‌بندی تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ با در نظر گرفتن شاخص‌های پایداری

مطابق توضیحاتی که برای روش ویکور فازی بیان شد, این‌بار همان روش با درنظر گرفتن شاخص‌های پایداری انجام شده است و رتبه‌بندی نهایی روش ویکور فازی به قرار زیر است:

جدول (۱۳.۴): 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 (۱۳.۴) می‌توان مشاهده کرد که تکنولوژی AD بهترین رتبه‌بندی را بر اساس مقادیر Q_i (مینیمم) کسب کرده است. سپس دو شرط ویکور فازی بررسی می‌شود. در نهایت رتبه‌بندی نهایی به صورت روبه‌رو $AD > \text{MRFs} > \text{ATT} > \text{Incinerator} > COMPOSTING$ صورت گرفته است.

در ادامه به منظور سنجش مطلوبیت تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ بر اساس رتبه‌بندی ویکور فازی, از روش UTASTAR استفاده شده است.

در نهایت مطلوبیت‌ها برای هر تکنولوژی به صورت زیر به دست آمده است:

$u[\text{g(AD)}] = 0.886$
$u[\text{g(MRFs)}] = 0.823$
$u[\text{g(ATT)}] = 0.672$
$u[\text{g(Incinerator)}] = 0.506$
$u[\text{g(Composting)}] = 0.105$

۴.۴ ویژگی‌های شبکه بازیافت کاغذ

ساختار کلی شبکه پایدار بازیافت کاغذ از موجودیت‌های شبکه‌ایی زیر تشکیل شده است؛ مراکز جمع‌آوری کاغذ زباله و مراکز بازیافت که در آن تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ تاسیس خواهند شد. حال فرض شده است که مساله مورد نظر شامل ۲۲ مرکز جمع‌آوری کاغذ زباله می‌باشد که در مناطق ۲۲ گانه تهران در نظر گرفته شده‌اند و هم‌چنین ۱۰ مرکز بازیافت که با آنالیز موقعیت‌های شهری, مناطقی که امکان احداث تکنولوژی در آن‌ها وجود دارد, انتخاب شده است و هم‌چنین در جریان مدل مربوطه سه محصول تولیدی حاصل از بازیافت کاغذ شامل: برق, کاغذ بازیافتی و کود وجود دارد.

فاصله مراکز جمع‌آوری که در مناطق ۲۲ گانه تهران در نظر گرفته شده است, از مناطق انتخاب شده برای احداث مراکز بازیافت, با استفاده از نقشه تهران به دست آمده است و هم‌چنین میزان تولید کاغذ زباله بر اساس جمعیت این مناطق در نظر گرفته شده است و داده‌های موجود از شهرداری تهران به دست آمده است. هم‌چنین مکان هر مرکز بازیافت دارای هزینه ثابت مشخصی می‌باشد. در طی مراحل بازیافت کاغذ با استفاده از تکنولوژی‌های مربوطه, گازهای گلخانه‌ایی منتشر خواهد شد, که پنج نوع انتشار گازهای آلاینده شامل؛ $CO_2, SO_2, NO_X, Heavy\ metals$ و VOC در نظر گرفته شده است.

جدول (۱۴.۴) میزان انتشار گازهای گلخانه‌ایی عملیات بازیافت کاغذ توسط تکنولوژی های مربوطه و هم-چنین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از حمل و نقل و واحد هزینه‌های زیست‌محیطی را نشان می-دهد.

جدول (۱۴.۴): میزان انتشار گازهای گلخانه‌ایی از تکنولوژی‌های بازیافت و واحد هزینه‌های زیست‌محیطی

انواع آلاینده‌ها / تکنولوژی‌ها	CO_2	SO_2	NO_X	$Heavy\ metals$	VOC
MRFs	۰	۰	۰	۰	۰
Incinerator	۱۰۰۰	0.042	1.6	0.01253	0.008
AD	227	0.003	0.188	0.0027012	2.1
COMPOSTING	291	0	0	0.00265	24
ATT	438	0.052	0.78	0.0041359	0.011
حمل و نقل	1.17	0.00011	0.031	0	0.0051
واحد هزینه‌های زیست‌محیطی	0.023	6.6	5.7	9121	4.4

جدول (۱۵.۴) میزان تولید کاغذ زباله در مناطق ۲۲ گانه تهران را نشان می‌دهد که داده‌های موجود از شهرداری تهران به‌دست آمده است.

جدول (۱۵.۴): نرخ تولید کاغذ زباله (t/y)

مناطق	نرخ تولید کاغذ زباله (t/y)
1	22551.525
2	41685.555
3	17759.44
4	26704.86
5	39676.595
6	18386.875
7	10468.565
8	8952.72
9	6490.43
10	8422.01
11	10059.035
12	22080.31
13	6292.235
14	11061.69
15	18033.19
16	12695.065
17	10026.915
18	10771.15
19	7982.915
20	18071.15
21	7671.205
22	6490.795
جمع	342334.595

در جدول (۱۶.۴) میزان محصولات تولیدی حاصل از تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ و همین‌طور هزینه‌های زیست‌محیطی, هزینه‌های سرمایه‌گذاری, هزینه‌های عملیاتی و در نهایت درآمد حاصل از هر یک از تکنولوژی‌ها بیان شده است.

جدول (۱۶.۴): میزان محصولات تولیدی و هزینه‌های مربوط به تکنولوژی‌ها

تکنولوژی ها	MRFs			AD			ATT			Incinerator			COMPOSTING		
سطوح ظرفیت (t/d)	۲۰۰	۵۰۰	۸۰۰	۲۰۰	۵۰۰	۸۰۰	۲۰۰	۵۰۰	۸۰۰	۲۰۰	۵۰۰	۸۰۰	۲۰۰	۵۰۰	۸۰۰
هزینه سرمایه گذاری	۲.۶	۵.۷	۹.۶	۱۱	۱۹.۵	۳۴	۱۴.۵	۳۱.۵	۴۸	۱۵	۲۹.۲	۴۹.۲	۰.۵	۱.۱	۱۶
هزینه عملیاتی (t/d)	۱۶.۵			۵.۴			۷.۵			۷.۲			۲.۷		
هزینه زیست-محیطی	۰			۴۰.۱۹۰۰۴۵۲			۵۲.۶۳۵۱۴۳۹			۱۴۶.۷۱۸۵۳			۱۳۶.۴۶۳۶۵		
درآمد	۶۳.۵			۸۳.۵۵			۱۰۶.۵			۹۷.۳۵			۴۲.۳		
میزان محصول تولیدی از یک تن کاغذ	۰.۸			۵۹۳			۷۶۰			۶۹۷			۰.۹		

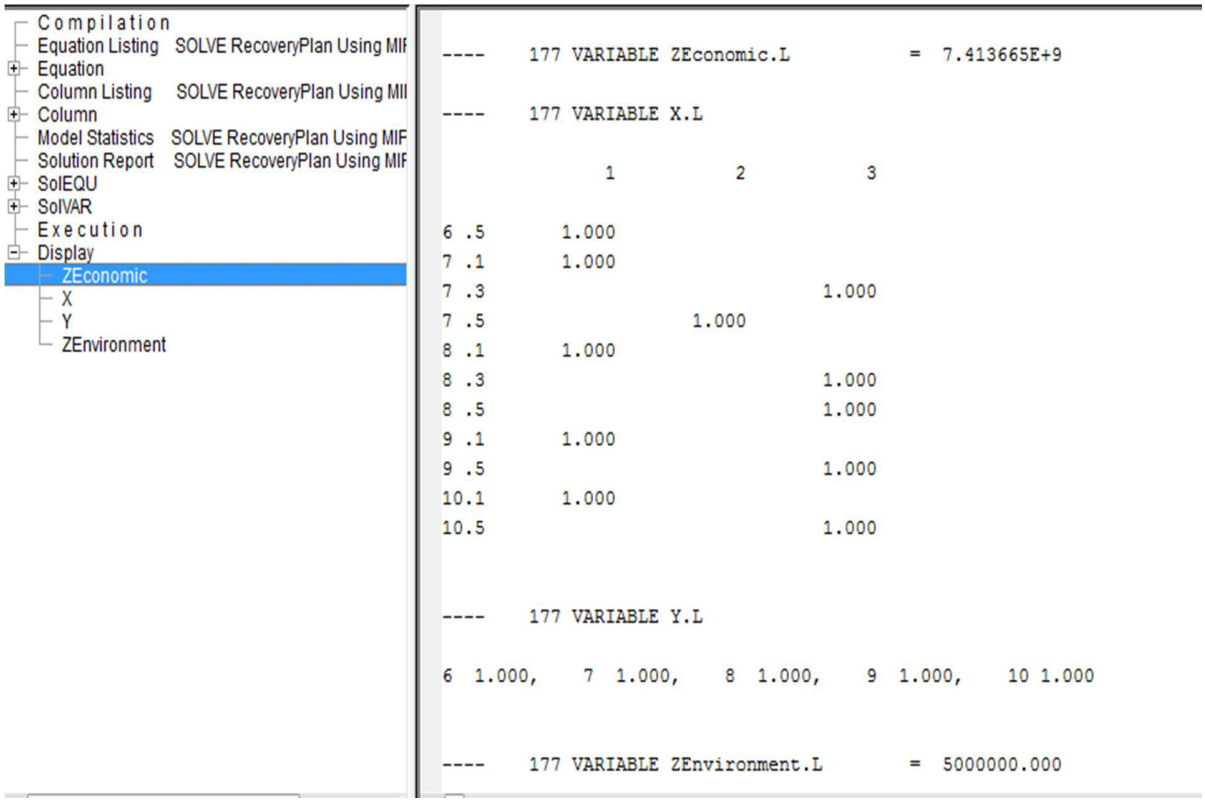
تکنولوژی‌ها نیز با حداکثر ظرفیت تولیدی مشخص می‌شود. در مراکز بازیافت با پنج نوع تکنولوژی که هر کدام دارای سه سطح ظرفیتی هستند, روبه‌رو هستیم, که مساله مهم جایابی تکنولوژی‌ها و تعیین سطح ظرفیت آن‌ها می‌باشد؛ یعنی مشخص شود چه تکنولوژی با چه سطح ظرفیتی انتخاب شود که از نظر معیارهای اقتصادی, اجتماعی و زیست‌محیطی مقرون به صرفه باشد. تمام محاسبات در نرم افزار GAMS24.1 برنامه نویسی شده و توسط نرم افزار حل شده است.

قسمتی از مدل که در نرم افزار GAMS24.1 برنامه نویسی شده است در شکل (۲.۴) نشان داده شده است.

```
Establish
Obj1
obj2
obj3
consocial1
consEnv
;



supplyEquation(i)..          productions(I)=g=Sum((J,T),F(I,J,T));
ProductEquation(J,T,M)..     Alpha(T,M)*Sum(I,F(I,J,T))=e=K(J,M,T);
CapEq(J,M,T)..               Sum(I,F(I,J,T))=l=Sum(L,X(J,T,L)*Capacitylevels(T,L));
Establish(J,T)..             Sum(L,X(J,T,L))=l=Y(J);

Obj1..                       ZEconomic=e=Sum((J,M,T),K(J,M,T)*Revenue(T,M))
                                    -Sum((I,J,T),F(I,J,T)*Distance(J,I)*Transportation)
                                    -Sum(J,Y(J)*FixedcostI(J)*1000000)
                                    -Sum((J,L,T),X(J,T,L)*Capitalcost(T,L)*2000000);

obj2..                       Zsocial=e=sum((J,L,T),X(J,T,L)*socialScore(T,L));
obj3..                       ZEnvironment=e=Sum(E,Sum((I,J,T),F(I,J,T)*TransportationE(E)*EnvironmentalCost(E))
                                       +Sum((I,J,T),F(I,J,T)*Emissions(T,E)*EnvironmentalCost(E)));
consocial1..                 Zsocial=g=esocial;
consEnv..                    ZEnvironment=l=eEnvironment;

model RecoveryPlan/all/;

solve RecoveryPlan using mip maximizing ZEconomic;
display ZEconomic.l,x.l,y.l,ZEnvironment.l;
```

شکل (۲.۴): نمایی از مدل در نرم افزار GAMS

هم‌چنین جواب نهایی مدل در نرم‌افزار GAMS24.1 در شکل (۳.۴) نشان داده شده است.

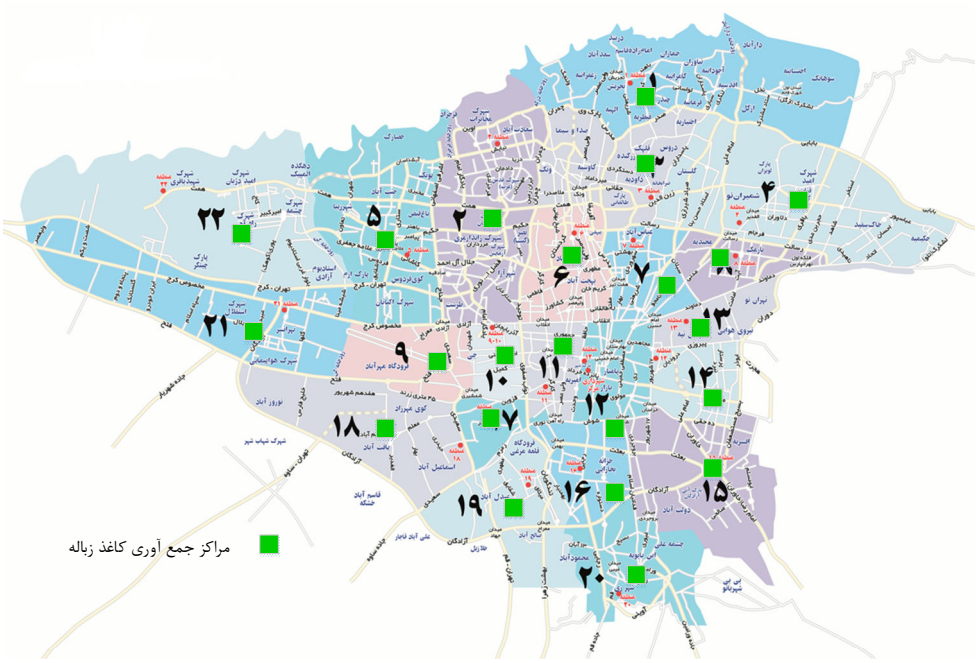


شکل (۳.۴): جواب نهایی مدل در نرم افزار GAMS

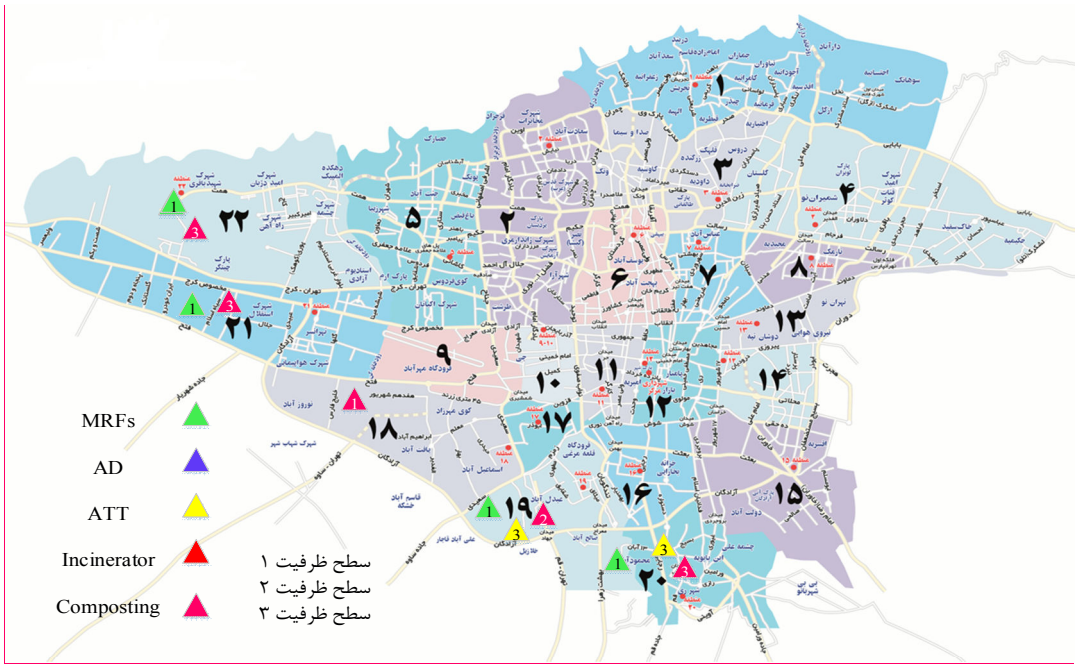
برای درک بهتر موضوع, محل این تسهیلات بر روی نقشه تهران نمایش داده شده است.

مکان مراکز جمع‌آوری کاغذ زباله در ۲۲ منطقه شهر تهران در نظر گرفته شده است و میزان تولید کاغذ زباله‌ها در این مناطق بر اساس جمعیت مناطق می‌باشد و همان‌طور که قبلا نیز بیان شد, داده‌های موجود از شهرداری تهران به دست آمده است. در شکل (۴.۴) مراکز جمع‌آوری کاغذ زباله نمایش داده شده است.

همین‌طور جواب حاصل از حل مدل در نرم‌افزار GAMS بر روی نقشه تهران نمایش داده شده است. شکل (۵.۴) مراکز تکنولوژی در مناطقی که جواب مدل مذکور می‌باشد, را نشان می‌دهد و هم‌چنین سطوح ظرفیت تکنولوژی‌ها نیز در این شکل نشان داده شده است.



شکل (۴.۴): مراکز جمع‌آوری کاغذ زباله



شکل (۵.۴): مراکز بازیافت برای احداث تکنولوژی‌های انتخاب شده و سطوح ظرفیت تکنولوژی‌ها

۵.۴ نتایج

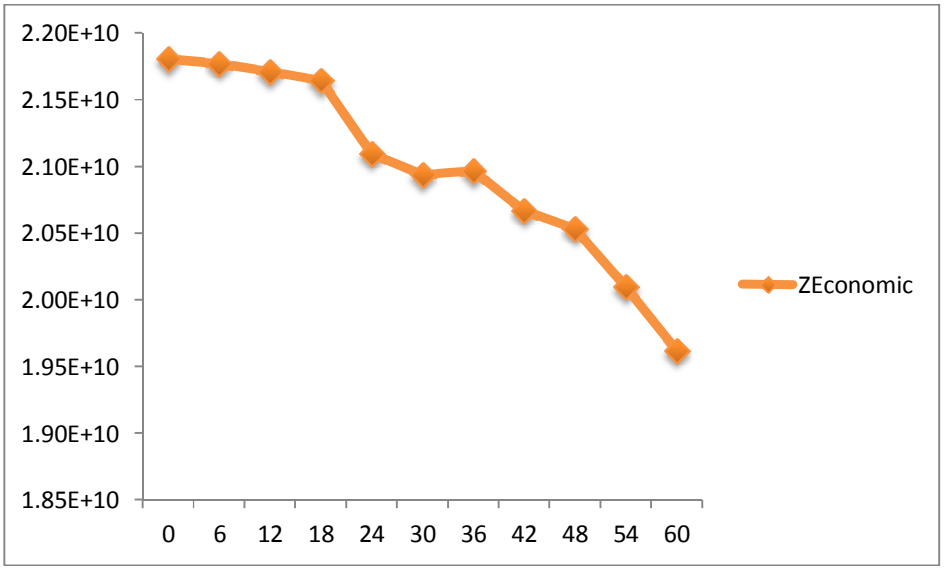
مدل پیشنهادی با در نظر گرفتن ۳ تابع هدف اقتصادی, اجتماعی و زیست‌محیطی حل شده است و همان‌طور که قبلا نیز بیان شد, این ۳ تابع هدف در یکدیگر ادغام شده و به یک مساله با یک تابع هدف اقتصادی تبدیل شده است. با وارد کردن داده‌های موجود در نرم‌افزار GAMS و با فرض ۲۲ مرکز جمع‌آوری کاغذ زباله, ۱۰ مرکز بازیافت که در آن تکنولوژی‌های بازیافت احداث خواهند شد, ۵ نوع گاز گلخانه‌ایی, ۵ نوع تکنولوژی بازیافت کاغذ با سه سطح ظرفیت, سه نوع محصول بازیافتی که شامل (برق, کاغذ بازیافتی, کود) می‌شود و دیگر داده‌های موجود, مدل در نرم‌افزار اجرا شده است.
با حل مدل تابع هدف اقتصادی 7413665000 به‌دست آمده است. مدل به گونه‌ای برنامه‌ریزی شده است که مشخص می‌شود, چه تکنولوژی با چه سطح ظرفیتی در کدام منطقه احداث شود که از نظر معیارهای اقتصادی, اجتماعی و زیست‌محیطی مقرون به صرفه باشد.

در نتیجه همان‌طور که در شکل (۵.۴) نشان داده شده است, در منطقه ۱۸ تکنولوژی COMPOSTING با سطح ظرفیت ۱, در منطقه ۱۹ تکنولوژی MRFs با سطح ظرفیت ۱, تکنولوژی ATT با سطح ظرفیت ۳ و تکنولوژی COMPOSTING با سطح ظرفیت ۲ احداث شده‌اند.
در منطقه ۲۰ تکنولوژی MRFs با سطح ظرفیت ۱و تکنولوژی ATT و COMPOSTING با سطح ظرفیت ۳ احداث شده‌اند.
در منطقه ۲۱و ۲۲ تکنولوژی MRFs با سطح ظرفیت ۱و تکنولوژی COMPOSTING با سطح ظرفیت ۳ احداث شده‌اند.
هم‌چنین در جریان حل مدل, برای روشن شدن این مفهوم که جریان کاغذ زباله هر یک از مناطق ۲۲ گانه تهران به کدامیک از مناطقی که تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ در آن‌ها احداث شده است فرستاده شود, که اهداف مدل را به حداکثر برساند, جواب‌های زیر در نتیجه حل مدل به‌دست آمده است:
جریان کاغذ زباله منطقه ۹ به مرکز بازیافت در منطقه ۱۹ برای استفاده در تکنولوژی ATT فرستاده می شود.
جریان کاغذ زباله منطقه ۱۰ به مرکز بازیافت در منطقه ۱۹ برای استفاده در تکنولوژی ATT فرستاده می شود.
جریان کاغذ زباله منطقه ۱۱ به مرکز بازیافت در منطقه ۱۹ برای استفاده در تکنولوژی ATT فرستاده می شود.

جریان کاغذ زباله منطقه ۱۲ به مرکز بازیافت در منطقه ۲۰ برای استفاده در تکنولوژی ATT فرستاده می شود.
جریان کاغذ زباله منطقه ۱۴ به مرکز بازیافت در منطقه ۲۰ برای استفاده در تکنولوژی ATT فرستاده می شود.
جریان کاغذ زباله منطقه ۱۵ به مرکز بازیافت در منطقه ۲۰ برای استفاده در تکنولوژی ATT فرستاده می شود.
جریان کاغذ زباله منطقه ۱۶ به مرکز بازیافت در منطقه ۲۰ برای استفاده در تکنولوژی ATT فرستاده می شود.
جریان کاغذ زباله منطقه ۱۷ به مرکز بازیافت در منطقه ۱۹ برای استفاده در تکنولوژی ATT فرستاده می شود.
جریان کاغذ زباله منطقه ۱۸ به مرکز بازیافت در منطقه ۱۹ برای استفاده در تکنولوژی ATT فرستاده می شود.
جریان کاغذ زباله منطقه ۱۹ به مرکز بازیافت در منطقه ۱۹ برای استفاده در تکنولوژی ATT فرستاده می شود.
جریان کاغذ زباله منطقه ۲۰ به مرکز بازیافت در منطقه ۲۰ برای استفاده در تکنولوژی ATT فرستاده می شود.
همان‌طور که مشاهده می‌شود زمانی که بخواهیم هزینه‌های زیست محیطی را پایین نگه داریم, در بعضی از مناطق اصلا عملیات بازیافت انجام نمی‌گیرد, یعنی جریان کاغذ زباله بعضی از مناطق مقرون به صرفه نیست که به مراکز بازیافت ارسال شود.

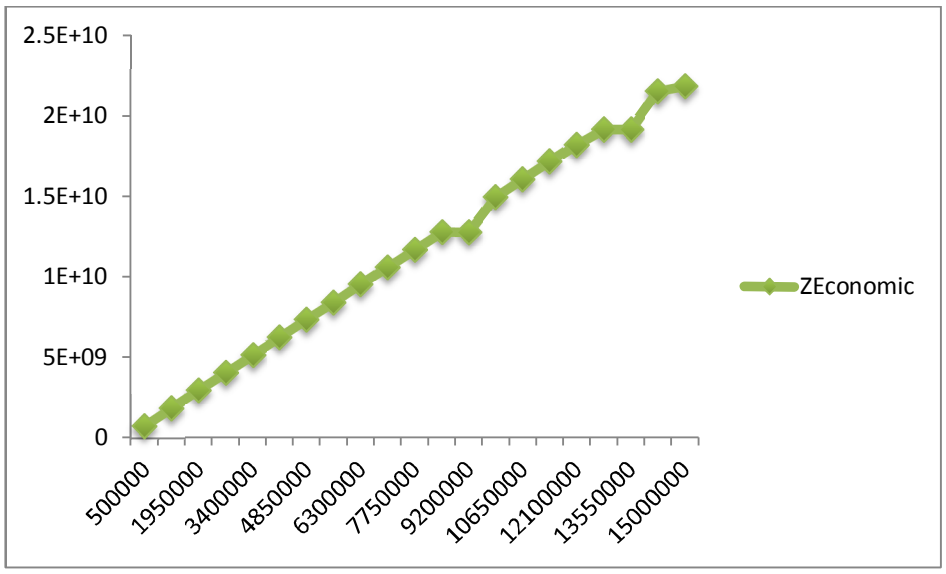
۶.۴ تحلیل حساسیت

به منظور بررسی حساسیت مدل برنامه‌ریزی شده, به تابع هدف اجتماعی که همان نمره اجتماعی تکنولوژی‌هایی می‌باشد, که با استفاده از روش UTASTAR محاسبه شده است و همچنین تحلیل حساسیت مدل به تابع هدف زیست‌محیطی, این مقادیر را کاهش و افزایش می‌دهیم. نمودارهای (۶.۴) و (۷.۴) چگونگی تغییرات تابع هدف اقتصادی را به تغییرات در تابع هدف اجتماعی و تابع هدف زیست‌محیطی گزارش می‌دهند.



شکل (۶.۴): نمودار تغییرات تابع هدف اقتصادی نسبت به تغییرات تابع هدف اجتماعی

همان‌طور که مشاهده می‌شود, تابع هدف اقتصادی به امتیازهای اجتماعی بسیار حساس بوده و با افزایش امتیازهای اجتماعی تابع هدف اقتصادی سیر نزولی دارد. به عبارت دیگر؛ به طور متوسط برای آن‌که امتیاز اجتماعی ۶ واحد افزایش یابد سود کمپانی ۱٪ کاهش می‌یابد.



شکل (۷.۴): نمودار تغییرات تابع هدف اقتصادی نسبت به تغییرات تابع هدف زیست‌محیطی

همان‌طور که مشاهده می‌شود, با تغییرات تابع هدف زیست‌محیطی, تابع هدف اقتصادی رو به افزایش است و در نگاه کلی می‌توان گفت نمودار سیر صعودی دارد. به عبارت دیگر؛ به طور متوسط برای آن‌که هزینه زیست محیطی۱۰٪ کاهش یابد, سود کمپانی ۱۰٪ کاهش می یابد.

فصل پنجم

نتایج و پیشنهادات

۱.۵ مقدمه

با توجه به رشد روزافزون زباله و به تبع آن تهدیدی که برای جامعه مدرن از نظر مسائل اجتماعی, زیست‌محیطی و منابع محدود و حتی محدودیت مکان مناسب برای دفع زباله ایجاد می‌کند, اهمیت مساله را مشهود می‌کند, که تا چه میزان توجه به استراتژی‌های بازیافت بهینه و پایدار حائز اهمیت می‌باشد. هدف از استراتژی‌های بازیافت زباله روش‌هایی برای جلوگیری از دفن 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. با ارائه یک شبکه یکپارچه نه تنها سود اقتصادی حاصل از بازیافت کاغذ منافعی را برای کشور به دنبال خواهد داشت, بلکه موجب جلوگیری از هدر رفت منابع شده و هم‌چنین آلودگی‌های زیست محیطی را نیز کاهش می‌دهد. در این پایان‌نامه به منظور طراحی یکپارچه شبکه پایدار چند محصولی و تک دوره‌ای بازیافت کاغذ که در آن ابعاد توسعه پایدار به طور هم‌زمان در نظر گرفته شده است, یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط چندهدفه به صورت قطعی توسعه داده شده است. که در ابتدا تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ با در نظر گرفتن معیار اجتماعی و با استفاده از روش ویکور فازی رتبه‌بندی شده و با استفاده از تکنیک UTASTAR سنجش مطلوبیت تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ انجام شده است. سپس در طراحی شبکه بازیافت کاغذ با استفاده از نمرات اجتماعی تکنولوژی‌ها و با در نظر گرفتن اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی به طراحی شبکه بازیافت کاغذ پرداخته شده است.

تابع هدف اول مدل بیشینه‌سازی اهداف اقتصادی می‌باشد, که در آن هزینه‌های اقتصادی شامل هزینه سرمایه‌گذاری برای خرید تکنولوژی در سطوح ظرفیتی مختلف, هزینه ثابت برای جایابی و احداث نقاط ممکن برای مراکز بازیافت و هزینه حمل‌ونقل, از درآمد حاصل از محصولات بازیافتی از تکنولوژی‌های مراکز بازیافت کسر شده است.

تابع هدف دوم آن کمینه‌سازی هزینه انتشار گازهای گلخانه‌ایی ناشی از تکنولوژی‌ها در مراکز بازیافت و هزینه انتشار گازهای گلخانه‌ایی ناشی از حمل‌ونقل می‌باشد.

تابع هدف سوم مدل با هدف بیشینه‌سازی نمرات اجتماعی تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ می‌باشد.

ذکر این نکته نیز قابل توجه است که با تولید برق از کاغذ زباله که به عنوان جایگزینی برای سوخت-های فسیلی استفاده می‌شود, نه تنها باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود بلکه با توجه به کمبود منابع در کشورمان ایران, این مساله اهمیت فوق‌العاده‌ایی پیدا می‌کند و هم‌چنین استفاده مجدد از کاغذ بازیافتی, باعث می‌شود نیاز به کاغذ بکر کاهش پیدا کند, که این امر خود منافع بی-شماری را از لحاظ اقتصادی و زیست‌محیطی به دنبال خواهد داشت.

۲.۵ نوآوری‌های مطرح شده

توانایی مدل طراحی شده, در توجه به ابعاد پایداری یعنی در نظر گرفتن اهداف اقتصادی, اجتماعی و زیست محیطی به صورت هم‌زمان می‌باشد, که درباره بازیافت کاغذ چنین مطالعاتی انجام نشده است و هم‌چنین طراحی شبکه بازیافت کاغذ تاکنون بررسی نشده است. در این پایان‌نامه, ابتدا از روش LCA برای ارزیابی اثرات زیست محیطی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ایی استفاده شده است. پنج نوع گاز گلخانه‌ایی شامل: $CO_2, SO_2, NO_X, Heavy\ metals$ و VOC که از تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ منتشر می‌شود و هم‌چنین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از حمل و نقل در مدل در نظر گفته شده است. هم‌چنین روش S-LCA به منظور ارزیابی اثرات اجتماعی, مورد استفاده قرار گرفته است. از جمله نتیجه-گیری‌های حاصل از این پایان‌نامه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. با هدف این‌که بررسی شود, مناسب‌ترین تکنولوژی برای بازیافت کاغذ بر اساس مدل به کار گرفته شده کدام است؟

مطالعه مورد نظر در شهر تهران انجام شده است و با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری مورد استفاده در این پایان‌نامه, این نتیجه به دست آمده است که؛ تکنولوژی‌های عملیات حرارتی پیشرفته (ATT) و تسهیلات بی‌هوازی (AD) با بالاترین امتیاز در رتبه‌بندی ویکور فازی و بیشترین مطلوبیت افزوده در روش UTASTAR به عنوان بهترین تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ انتخاب شده‌اند.

۲. با هدف بهینه‌سازی برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط چندهدفه برای رسیدن به پایداری شبکه, از طریق طراحی شبکه پایدار بازیافت کاغذ, بهینه‌ترین مکان برای احداث مراکز تسهیلات بازیافت کاغذ و سطح ظرفیت مورد استفاده تکنولوژی‌ها تعیین شده است, که در کدام منطقه چه تکنولوژی و با چه سطح ظرفیتی تاسیس شود, که اهداف مدل را به حداکثر برساند.

نتایج به این صورت گزارش می‌شود؛ در منطقه ۱۸ تکنولوژی COMPOSTING با سطح ظرفیت ۱, در منطقه ۱۹ تکنولوژی MRFs با سطح ظرفیت ۱, تکنولوژی ATT با سطح ظرفیت ۳ و تکنولوژی COMPOSTING با سطح ظرفیت ۲ احداث شده‌اند. در منطقه ۲۰ تکنولوژی MRFs با سطح ظرفیت ۱و تکنولوژی ATT و COMPOSTING با سطح ظرفیت ۳ احداث شده‌اند. در منطقه ۲۱و ۲۲ تکنولوژی MRFs با سطح ظرفیت ۱و تکنولوژی COMPO STING با سطح ظرفیت ۳ احداث شده‌اند.

هم‌چنین در جریان حل مدل, برای روشن شدن این مفهوم که جریان کاغذ زباله هر یک از مناطق ۲۲ گانه تهران به کدامیک از مناطقی که تکنولوژی‌های بازیافت کاغذ در آن‌ها احداث شده است فرستاده شود, که اهداف مدل را به حداکثر برساند, جواب‌های زیر در نتیجه حل مدل به‌دست آمده است:

جریان کاغذ زباله منطقه ۹ به مرکز بازیافت در منطقه ۱۹ برای استفاده در تکنولوژی ATT فرستاده می شود.

جریان کاغذ زباله منطقه ۱۰ به مرکز بازیافت در منطقه ۱۹ برای استفاده در تکنولوژی ATT فرستاده می شود.

جریان کاغذ زباله منطقه ۱۱ به مرکز بازیافت در منطقه ۱۹ برای استفاده در تکنولوژی ATT فرستاده می شود.

جریان کاغذ زباله منطقه ۱۲ به مرکز بازیافت در منطقه ۲۰ برای استفاده در تکنولوژی ATT فرستاده می شود.

جریان کاغذ زباله منطقه ۱۴ به مرکز بازیافت در منطقه ۲۰ برای استفاده در تکنولوژی ATT فرستاده می شود.

جریان کاغذ زباله منطقه ۱۵ به مرکز بازیافت در منطقه ۲۰ برای استفاده در تکنولوژی ATT فرستاده می شود.

جریان کاغذ زباله منطقه ۱۶ به مرکز بازیافت در منطقه ۲۰ برای استفاده در تکنولوژی ATT فرستاده می شود.

جریان کاغذ زباله منطقه ۱۷ به مرکز بازیافت در منطقه ۱۹ برای استفاده در تکنولوژی ATT فرستاده می شود.

جریان کاغذ زباله منطقه ۱۸ به مرکز بازیافت در منطقه ۱۹ برای استفاده در تکنولوژی ATT فرستاده می شود.

جریان کاغذ زباله منطقه ۱۹ به مرکز بازیافت در منطقه ۱۹ برای استفاده در تکنولوژی ATT فرستاده می شود.

جریان کاغذ زباله منطقه ۲۰ به مرکز بازیافت در منطقه ۲۰ برای استفاده در تکنولوژی ATT فرستاده می شود.

به عنوان نتایج مدل می‌توان بیان کرد:

- ✓ همان‌طور که مشاهده می‌شود زمانی که بخواهیم هزینه‌های زیست محیطی را پایین نگه داریم, در بعضی از مناطق اصلا عملیات بازیافت انجام نمی‌گیرد, یعنی جریان کاغذ زباله بعضی از مناطق مقرون به صرفه نیست که به مراکز بازیافت ارسال شود.

و با تحلیل حساسیت مدل برنامه ریزی شده, این نتیجه به‌دست آمده است که؛

- ✓ به طور متوسط برای آن‌که امتیاز اجتماعی ۶ واحد افزایش یابد سود کمپانی ۱٪ کاهش می-یابد.
- ✓ به طور متوسط برای آن‌که هزینه زیست محیطی۱۰٪ کاهش یابد, سود کمپانی ۱۰٪ کاهش می یابد.

۳.۵ پیشنهادات برای مطالعات آتی

همان‌طور که مشاهده شد, شبکه پایدار بازیافت کاغذ در تهران با نتایج فوق همراه بوده است و بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد, که برای کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی و افزایش اثرات اجتماعی و هم‌چنین افزایش اهداف اقتصادی, بازیافت کاغذ منافع زیادی را به دنبال خواهد داشت. در ادامه پیشنهادهایی مطرح می‌شود که می‌توانند در تحقیقات آتی مورد استفاده قرار گیرند:

۱. در این مدل, مساله برنامه‌ریزی شده به‌صورت تک دوره‌ای و چند محصوله بوده است, که می‌توان مطالعه را برای چندین دوره متوالی در یک شبکه تولید و بازیافت ارائه نمود.
۲. عدم قطعیت یکی از مسائل مهم در مدیریت زنجیره تامین است. بنابراین, در نظر گرفتن عدم قطعیت و پارامترهای تصادفی جالب توجه است. در این مدل تمامی پارامترها به صورت قطعی ارائه شده است.

مراجع

[1] 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.

[2] 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

[3] 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.

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

[5] Sarmah S.P., Acharya D., Goyal S.K.(2006),” Buyer vendor coordination models in supply chain management”, European Journal of Operational Research, 175 (1),PP 1–15

[6] Chopra S. Meindl P.(2010), Supply Chain Management, Pearson, 4th edition, 978-0-130608040-4

[7] Sarkis.J, Greening the supply chain. Berlin: Springer, 2006.

[8] LI Xiongyi, WANG Wei,”Research on Green Supply Chain Management”, School of Management Zhongyuan University of Technology, P.R.China, 450007

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

[10] Dewi, O. C., Koerner, I., & Harjoko, T. Y. (2010, November). A review on decision support models for regional sustainable waste management. In *The International Solid Waste Association World Conference*.

[11] Wolfsberger, T., Pinkel, M., Polansek, S., Sarc, R., Hermann, R., & Pomberger, R. (2016). Landfill mining: Development of a cost simulation model. *Waste Management & Research*, *34*(4), 356-367.

[12] Kanat, G. (2010). Municipal solid-waste management in Istanbul. *Waste management*, *30*(8-9), 1737-1745.

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

[14] UN, 2014. Prototype Global Sustainable Development Report. United Nations Department of Economic and Social Affairs, Division for Sustainable Development. New York.

[15] 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.

[16] 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.

[17] 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.

[18] 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.

[19] 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-N.pdf.

[20] Björklund, A., & Finnveden, G. (2005). Recycling revisited—life cycle comparisons of global warming impact and total energy use of waste management strategies. *Resources, Conservation and Recycling*, *44*(4), 309-317.

[21] Cleary, J. (2009). Life cycle assessments of municipal solid waste management systems: A comparative analysis of selected peer-reviewed literature. *Environment international*,*35*(8), 1256-1266.

[22] Rives, J., Rieradevall, J., & Gabarrell, X. (2010). LCA comparison of container systems in municipal solid waste management. *Waste Management*, *30*(6), 949-957.

[23] Lazarevic, D., Aoustin, E., Buclet, N., & Brandt, N. (2010). Plastic waste management in the context of a European recycling society: comparing results and uncertainties in a life cycle perspective. *Resources, Conservation and Recycling*,*55* (2), 246-259.

[24] Wang, L., Templer, R., & Murphy, R. J. (2012). A Life Cycle Assessment (LCA) comparison of three management options for waste papers: Bioethanol production, recycling and incineration with energy recovery. *Bioresource Technology*, *120*, 89-98.

[25] Chen, D., & Christensen, T. H. (2010). Life-cycle assessment (EASEWASTE) of two municipal solid waste incineration technologies in China. *Waste Management & Research*, *28*(6), 508-519.

[26] Dehghanian, F., & Mansour, S. (2009). Designing sustainable recovery network of end-of-life products using genetic algorithm.*Resources, Conservation and Recycling*, *53*(10), 559-570.

[27] Goedkoop, M., Spriensma, R., 2001. Eco-indicator 99: A Damage Oriented Method for Life Cycle Assessment, Methodology Report, third ed. PRé Consultants, Amersfoort, the Netherlands.

[28] Guinée, J. B., Gorrée, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., de Koning, A., ... & De Bruijn, H. (2001). Life cycle assessment; An operational guide to the ISO standards; Parts 1 and 2.*Ministry of housing, spatial planning and environment (VROM) and centre of environmental science (CML), Den Haag and Leiden, The Netherlands*.

[29] Parkes, O., Lettieri, P., & Bogle, I. D. L. (2015). Life cycle assessment of integrated waste management systems for alternative legacy scenarios of the London Olympic Park.*Waste management*, *40*, 157-166.

[30] Ripa, M., Fiorentino, G., Giani, H., Clausen, A., & Ulgiati, S. (2017). Refuse recovered biomass fuel from municipal solid waste. A life cycle assessment. *Applied energy*, *186*, 211-225.
[31] Gitizadeh, M., Kaji, M., & Aghaei, J. (2013). Risk based multiobjective generation expansion planning considering renewable energy sources. *Energy*, *50*, 74-82.
[32] Chang, N. B., Qi, C., Islam, K., & Hossain, F. (2012). Comparisons between global warming potential and cost–benefit criteria for optimal planning of a municipal solid waste management system. *Journal of Cleaner Production*, *20*(1), 1-13.
[33] 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.
[34] 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.
[35] 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.
[36] UNEP/SETAC, 2009. Guidelines for social life cycle assessment of products. United Nations Environment Programme and the Society of Environmental Toxicology and Chemistry. Belgium.
[37] GRI, 2011. Sustinability Reporting Guidelines, version 3.1. Global Reporting Initiative, the Netherlands.
[38] ISO, 2010. Final Draft International Standard ISO/FDIS 26000:2010(E), Guidance on Social Responsibility. International Organisation for Standardization, Geneva, Switzerland.
[39] SAI, 2014. Social Accountability 8000. Social Accountability International. New York.
[40] UNGC, 2007. An Inspirational Guide to Implementing the Global Compact. United Nation Global Compact. New York.
[41] Friedrich, E., & Trois, C. (2011). Quantification of greenhouse gas emissions from waste management processes for municipalities–A comparative review focusing on Africa. *Waste management*, *31*(7), 1585-1596.
[42] Angus, A., Casado, M.R., Fitzsimonsb, D., 2012. Exploring the usefulness of a simple linear regression model for understanding price movements of selected recycled materials in the UK. Resour. Conserv. Recy. 60, 10e19. http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.10.011.
[43] Stromberg, P. (2004). Market imperfections in recycling markets: conceptual issues and empirical study of price volatility in plastics. *Resources, conservation and recycling*,*41*(4), 339-364.
[44] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2012. Forestry Statistics (accessed June-November 2012). http://faostat.fao.org/site/626/ default.aspx#ancor.
[45] Waste & Resource Action Programme (WRAP), 2007. Assessment of the UK Export Market for Recovered Paper. Oxon. Available from: http://www2.wrap.org.uk/ downloads/International_Markets_Paper.e5faa744.3951.pdf.

[46] Nordic Energy Perspectives (NEP), March 2009. Wood markets and the Situation of the Forest Industry in the Nordic Countries. Norway. Available from: http:// www.nordicenergyperspectives.org/forest_industry_final_report.pdf.
[47] OECD, 2000. Organization for economic co-operation and development eenvironmentally sustainable transport: futures, strategies and best practices. In: Synthesis Report of the OECD Project on Environmentally Sustainable Transport (EST). International EST Conference 4th to 6th October 2000, Vienna, Austria.
[48] Rodrigue, J. P., Slack, B., & Comtois, C. (2001). GREEN LOGISTICS. IN: HANDBOOK OF LOGISTICS AND SUPPLY-CHAIN MANAGEMENT.
[49] Instituto Tecnol_ogico del Embalaje, Transporte y Logística (ITENE), 2008. Impactos ambientales derivados de las operaciones de transporte de papel para reciclar con destino a China. Valencia.
[50] Gardner, P. (2013). Extended producer responsibility for packaging and printed paper in the United States. *Journal of Industrial Ecology*, *17*(2), 170-171.
[51] Bureau of International Recycling (BIR), 2011. Annual Report 2011. Brussels. Available from: http://www.bir.org/publications/annual-reports/.
[52] 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.
[53] Merrild, H., Damgaard, A., & Christensen, T. H. (2008). Life cycle assessment of waste paper management: The importance of technology data and system boundaries in assessing recycling and incineration. *Resources, Conservation and Recycling*, *52*(12), 1391-1398.
[54] Merrild, H., Damgaard, A., & Christensen, T. H. (2009). Recycling of paper: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Management & Research*, *27*(8), 746-753.
[55] 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.
[56] Opricovic S. (1998), Multicriteria Optimization in Civil Engineering (in Serbian), Faculty of Civil Engineering, Belgrade, -302 p. ISBN 86-80049-82-4.
[57] Liu, H. C., Liu, L., & Wu, J. (2013a). Material selection using an interval 2-tuple linguistic VIKOR method considering subjective and objective weights. *Materials & Design (1980-2015)*, *52*, 158-167.
[58] Liu HC, You JX, Lin QL, Li H (2014b) Risk assessment in system FMEA combining fuzzy weighted average with fuzzy decision making trial and evaluation laboratory. Int J Comput Integr Manuf. doi:10.1080/0951192X.2014.900865
[59] 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
[60] Al-Salem SM, Evangelisti S, Lettieri P (2014) Life cycle assessment of alternative technologies for municipal solid waste and plastic solid waste management in the Greater London area. Chem Eng J 244:391–402
[61] Tan, S. T., Lee, C. T., Hashim, H., Ho, W. S., & Lim, J. S. (2014). Optimal process network for municipal solid waste management in Iskandar Malaysia. *Journal of Cleaner Production*, *71*, 48-58.

[62] Jang, Y. S. (2013). Field-monitored settlement and other behavior of a multi-stage municipal waste landfill, Korea.*Environmental earth sciences*, *69*(3), 987-997.
[63] Haile, T., & Abiye, T. A. (2012). Environmental impact and vulnerability of the surface and ground water system from municipal solid waste disposal site: Koshe, Addis Ababa.*Environmental earth sciences*, *67*(1), 71-80.
[64] Chen, K. S., Chen, R. H., & Liu, C. N. (2012). Modeling municipal solid waste landfill settlement. *Environmental earth sciences*, *66*(8), 2301-2309.
[65] Wang JJ, Zhao HW, Zhong XP, Kong SF, Liu YS, Zeng H (2011) Investigation of mercury levels in soil around a municipal solid waste incinerator in Shenzhen, China. Environ Earth Sci 64:1001–1010
[66] European Commission, 2008. Directive 2008/98/EC on Waste and Repealing Certain Directives. European Commission, Brussels, Belgium.
[67] Van de Klundert, A., Anschutz J., 2000. The sustainability of alliances between stakeholders in waste management. Global Development Research Center. <http://www.gdrc.org> (accessed 13.12.11).
[68] Kontos, D., Komilis, D.P., Halvadakis, C.P., 2005. Siting MSW landfills with a spatial multiple criteria analysis methodology. Waste Management 25, 818–832.
[69] Zurbrügg, C., Gfrerer, M., Ashadi, H., Brenner, W., & Küper, D. (2012). Determinants of sustainability in solid waste management–The Gianyar Waste Recovery Project in Indonesia. *Waste management*, *32*(11), 2126-2133.
[70] 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.
[71] Shekdar, A., 2009. Sustainable solid waste management: an integrated approach for Asian countries. Waste Management (29), 1438-1448.
[72] Troschinetz, A.M., Mihelcic, J.R., 2009. Sustainable recycling of municipal solid waste in developing countries. Waste Management (29) 915-923
[73] 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.
[74] 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.
[75] Hanan, D., Burnley, S., & Cooke, D. (2013). A multi-criteria decision analysis assessment of waste paper management options. *Waste management*, *33*(3), 566-573.
[76] Ohman, K. V. H., Hettiaratchi, J. A., Ruwanpura, J., Balakrishnan, J., & Achari, G. (2007). Development of a landfill model to prioritize design and operating objectives.*Environmental monitoring and assessment*, *135*(1-3), 85-97.
[77] Balaban, Y., & Birdoğan, B. A. K. İ. (2010). ANALİTİK AĞ SÜRECİ YAKLAŞIMIYLA EN UYGUN KATI ATIK BERTARAF SİSTEMİNİN BELİRLENMESİ: TRABZON İLİ ÖRNEĞİ. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, *24*(3), 183-197.
[78] Karmperis, A. C., Sotirchos, A., Aravossis, K., & Tatsiopoulos, I. P. (2012). Waste management project's alternatives: A risk-based multi-criteria assessment (RBMCA) approach. *Waste management*, *32*(1), 194-212.

[79] Dursun, M., Karsak, E.E., Karadayı, M.A., 2011a. Assessment of healthcare waste treatment alternatives using fuzzy multi- criteria decision making approaches. Resources, Conservation and Recycling (57), 98–107.
[80] Dursun, M., Karsak, E.E., Karadayı, M.A., 2011b. Fuzzy multi-criteria group decision making framework for evaluating health-care waste disposal alternatives. Expert Systems with Applications (38), 11453-11462.
[81] Aragonés-Beltrán, P., Pastor-Ferrando, J. P., García-García, F., & Pascual-Agulló, A. (2010). An analytic network process approach for siting a municipal solid waste plant in the metropolitan area of Valencia (Spain). *Journal of Environmental Management*, *91*(5), 1071-1086.
[82] Koroneos, C.J., Nanaki, E.A., 2012. Integrated solid waste management and energy production – a life cycle assessment approach: the case study of the city of Thessaloniki. Journal of Cleaner Production (27), 141-150
[83] Galante, G., Aiello, G., Enea, M., & Panascia, E. (2010). A multi-objective approach to solid waste management. *Waste Management*, *30*(8-9), 1720-1728.
[84] Contreras, F., Hanaki, K., Aramaki, T., & Connors, S. (2008). Application of analytical hierarchy process to analyze stakeholders preferences for municipal solid waste management plans, Boston, USA. *Resources, Conservation and Recycling*,*52*(7), 979-991.
[85] Hokkanen, J. and Salminen, P., 1997. Choosing a solid waste management system using multicriteria decision analysis.*European journal of operational research*, *98*(1), pp.19-36.
[86] Kahraman, C., Kaya, İ. and Cebi, S., 2009. A comparative analysis for multiattribute selection among renewable energy alternatives using fuzzy axiomatic design and fuzzy analytic hierarchy process. *Energy*, *34*(10), pp.1603-1616.
[87] Lee, A.H., Chen, H.H. and Kang, H.Y., 2009. Multi-criteria decision making on strategic selection of wind farms.*Renewable Energy*, *34*(1), pp.120-126.
[88] Khan S, Faisal MN (2008) An analytic network process model for municipal solid waste disposal options. Waste Manag 28:1500–1508
[89] 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.
[90] Sezer, K., Yıldız, Ş., Saltabaş, F., Balahorli, V., Yağmur, K., 2009. Organik atıklardan biyogaz üretimi (biyometanizasyon) projesi – İstanbul örneği, Yıldız Technical University Türkiye'de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu, 15-17 Haziran, 1-8
[91] Tezçakar, M., Can, O., 2011. Atıktan enerji eldesinde termal bertaraf teknolojileri. Recydia A.Ş., 1-6
[92] Menikpura, S. N. M., Sang-Arun, J., & Bengtsson, M. (2013). Integrated solid waste management: an approach for enhancing climate co-benefits through resource recovery.*Journal of Cleaner Production*, *58*, 34-42.
[93] Yay A.S.E., 2015. Application of life cycle assessment (LCA) for municipal solid waste management: a case study of Sakarya. Journal of Cleaner Production (94), 284-293
[94] Harvey, U. J., & O'Flaherty, T. G. (1973). An analysis of solid waste transportation and disposal alternatives. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, *11*(3), 187-200.

[95] Erkut, E., & Moran, S. R. (1991). Locating obnoxious facilities in the public sector: An application of the analytic hierarchy process to municipal landfill siting decisions. *Socio-economic planning sciences*, *25*(2), 89-102.
[96] Ramu NV, Kennedy WJ (1994) Heuristic algorithm to locate solidwaste disposal site. J Urban Plan Dev 120(1):14–21
[97] Siddiqui MZ, Everett JW, Vieux BE (1996) Landfill siting using geographic information systems: a demonstration. J Environ Eng 122(6):515–523
[98] Charnpratheep, K., Zhou, Q., & Garner, B. (1997). Preliminary landfill site screening using fuzzy geographical information systems. *Waste management & research*, *15*(2), 197-215.
[99] Babalola, A., & Busu, I. (2011). Selection of landfill sites for solid waste treatment in Damaturu Town-using GIS techniques.*Journal of Environmental Protection*, *2*(01), 1.
[100] Aydi A, ZairiM, Dhia HB (2013) Minimization of environmental risk of landfill site using fuzzy logic, analytical hierarchy process, and weighted linear combination methodology in a geographic information system environment. Environ Earth Sci 68(5):1375–1389
[101] Makan, A., Malamis, D., Assobhei, O., Loizidou, M., & Mountadar, M. (2012). Multi-criteria decision analysis for the selection of the most suitable landfill site: Case of Azemmour, Morocco. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, *7*(2), 96-109.
[102] Makan A, Malamis D, Assobhei O, Loizidou M, Mountadar M (2013) Multi-criteria decision aid approach for the selection of the best compromise management scheme for the treatment of municipal solid waste in Morocco. Int J Environ Waste Manag 12(3):300–317
[103] Şener, Ş., Şener, E., Nas, B., & Karagüzel, R. (2010). Combining AHP with GIS for landfill site selection: a case study in the Lake Beyşehir catchment area (Konya, Turkey). *Waste management*, *30*(11), 2037-2046.
[104] Wang G, Qin L, Li G, Chen L (2009a) Landfill site selection using spatial information technologies and AHP: a case study in Beijing, China. J Environ Manag 90:2414–2421
[105] Sumathi VR, Natesan U, Sarkar C (2008) GIS-based approach for optimized siting of municipal solid waste landfill. Waste Manag 28:2146–2160
[106] Queiruga D, Walther G, Gonza´lez-Benito J, Spengler T (2008) Evaluation of sites for the location of WEEE recycling plants in Spain. Waste Manag 28:181–190
[107] Khadivi MR, Fatemi Ghomi SMT (2012) Solid waste facilities location using of analytical network process and data envelopment analysis approaches. Waste Manag 32:1258–1265
[108] Zadeh LA (1965) Fuzzy sets. Inf Control 8:338–353
[109] Önüt, S., & Soner, S. (2008). Transshipment site selection using the AHP and TOPSIS approaches under fuzzy environment. *Waste Management*, *28*(9), 1552-1559.
[110] Milosevic I, Naunovic Z (2013). The application of a multi-parameter analysis in choosing the location of a new solid waste landfill in Serbia. Waste Manag Res 31:1019–1027
[111] Gemitzi, A., Tsihrintzis, V., & Voudrias, E. (2007). Petalas Ch., Stravodimos G. Combining geographic information system, multicriteria evaluation techniques and fuzzy logic in siting MSW landfills. *Environmental Geology*, *51*, 797-811.

[112] Ekmekçioğlu, M., Kaya, T., & Kahraman, C. (2010). Fuzzy multicriteria disposal method and site selection for municipal solid waste. *Waste management*, *30*(8-9), 1729-1736.
[113] Zhang, X., & Huang, G. (2014). Municipal solid waste management planning considering greenhouse gas emission trading under fuzzy environment. *Journal of environmental management*, *135*, 11-18.
[114] Hassan, M.N., et al., 2000. Solid waste management-what's the Malaysian position. In: Seminar of Waste to Energy.
[115] 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.
[116] Sanayei A, Farid Mousavi S, Yazdankhah A (2010) Group decision making process for supplier selection with VIKOR under fuzzy environment. Expert Syst Appl 37:24–30
[117] 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.
[118] Siskos, Y., Grigoroudis, E., & Matsatsinis, N. F. (2005). UTA methods. In *Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys* (pp. 297-334). Springer, New York, NY.
[119] Hatush, Z. and Skitmore, M., 1998. Contractor selection using multicriteria utility theory: an additive model. *Building and environment*, *33*(2-3), pp.105-115.
[120] Kholghi, M. (2018). Multi-criterion decision-making tools for wastewater planning management.
[121] Beuthe, M., & Scannella, G. (2001). Comparative analysis of UTA multicriteria methods. *European Journal of operational research*, *130*(2), 246-262.
[122] González-Araya, M.C., Rangel, L.A.D., Lins, M.P.E. and Gomes, L.F.A.M., 2002. Building the additive utility functions for CAD-UFRJ evaluation staff criteria. *Annals of Operations Research*, *116*(1-4), pp.271-288.
[123] Kumar, R., Athawale, V. M., & Chakraborty, S. (2010). Facility Location Selection Using the UTA Method. *IUP Journal of Operations Management*, *9*(4).
[124] Athawale, V.M., Kumar, R. and Chakraborty, S., 2011. Decision making for material selection using the UTA method.*The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *57*(1-4), p.11.
[125] Siskos, J., 1986. Evaluating a system of furniture retail outlets using an interactive ordinal regression method.*European Journal of Operational Research*, *23*(2), pp.179-193.
[126] Zopounidis, C., & Doumpos, M. (1999). Business failure prediction using the UTADIS multicriteria analysis method.*Journal of the Operational research Society*, *50*(11), 1138-1148.
[127] 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.
[128] Grigoroudis, E., Politis, Y. and Siskos, Y., 2002. Satisfaction benchmarking and customer classification: An application to the branches of a banking organization. *International transactions in operational research*, *9*(5), pp.599-618.

[129] Grigoroudis, E., Orfanoudaki, E. and Zopounidis, C., 2012. Strategic performance measurement in a healthcare organisation: A multiple criteria approach based on balanced scorecard. *Omega*, *40*(1), pp.104-119.
[130] Wisner, J. D., Tan, K. C., & Leong, G. K. (2014). *Principles of supply chain management: A balanced approach*. Cengage Learning.
[131] Harijani, A.M., Mansour, S., Karimi, B. and Lee, C.G., 2017. Multi-period sustainable and integrated recycling network for municipal solid waste–A case study in Tehran. *Journal of Cleaner Production*, *151*, pp.96-108.
[132] Badran, M. F., & El-Haggar, S. M. (2006). Optimization of municipal solid waste management in Port Said–Egypt. *Waste Management*, *26*(5), 534-545.
[133] Yadav, V., Karmakar, S., Dikshit, A.K., Vanjar, S., 2016. A feasibility study for the locations of waste transfer stations in urban centers: a case study on the city of Nashik, India. Journal of Cleaner Production. 126, 191-205.
[134] Rathi, S. (2007). Optimization model for integrated municipal solid waste management in Mumbai, India. *Environment and development economics*, *12*(1), 105-121.
[135] Lee, C. K. M., Yeung, C. L., Xiong, Z. R., & Chung, S. H. (2016). A mathematical model for municipal solid waste management–A case study in Hong Kong. *Waste management*, *58*, 430-441.
[136] Dai, C., Li, Y. P., & Huang, G. H. (2011). A two-stage support-vector-regression optimization model for municipal solid waste management–a case study of Beijing, China. *Journal of environmental management*, *92*(12), 3023-3037.
[137] Cui, L., Chen, L. R., Li, Y. P., Huang, G. H., Li, W., & Xie, Y. L. (2011). An interval-based regret-analysis method for identifying long-term municipal solid waste management policy under uncertainty. *Journal of environmental management*, *92*(6), 1484-1494.
[138] Son, L.H., Louati, A., 2016. Modeling municipal solid waste collection: A generalized vehicle routing model with multiple transfer stations, gather sites and inhomogeneous vehicles in time windows. Waste Management. 52, 34-49.
[139] Das, S., & Bhattacharyya, B. K. (2015). Optimization of municipal solid waste collection and transportation routes.*Waste Management*, *43*, 9-18.
[140] Santibanez-Aguilar, J.E., Ponce-Ortega, J.M., Betzabe ,G.J., Serna-Gonzalez, M., El Halwagi, M.M., 2013. Optimal planning for the sustainable utilization of municipal solid waste. Waste Management. 33, 2607-2622.
[141] Minoglou, M., Komilis, D., 2013. Optimizing the treatment and disposal of municipal solid wastes using Mathematical programming- A case study in a Greek region. Resources, Conservation and Recycling. 80, 46-57.
[142] Bellman, R. E., & Zadeh, L. A. (1970). Decision-making in a fuzzy environment. *Management science*, *17*(4), B-141.
[143] 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

[144] 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.

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

Abstract

The large amount of Municipal Solid Waste (MSW) produced from residential and commercial activities has posed a big threat to the modern society, especially to large cities by causing environmental issues such as greenhouse gas emission, leakage of leachate and contamination of air, soil and water resources. As one of the concerns of managers to mitigate the environmental impacts and to improve social impacts, Researchers have been conducting studies focusing on social criteria, but considering sustainability is a topic that has been addressed in this research.

The sustainability is one of the most important issues that should be properly addressed in waste management systems. Further, "sustainability" is a challenging issue in MSW management in which economic, environmental and social responsibility objectives should be considered.

Using supply chain management and green technology, we can reduce the negative environmental impacts and achieve optimum use of resources and energy. Greening the supply chain process is taking into account the environmental criteria and considerations throughout the supply chain. In this thesis, a systematic approach to aims to provide a model for the integrated design of the closed loop supply chain network of a multi-product, single-cycle loop, recycling waste paper will be investigated, simultaneously in which the dimensions of sustainable development are considered. All activities related to collecting waste paper and transferring to recycling centers and recycling products production are considered in this network. To achieve this aims, paper recycling technologies have been evaluated using social criteria. The tecnology suitable selection for recycling waste paper can be viewed as a complicated multi-criteria decision-making (MCDM) problem requiring consideration of multiple alternative solutions and conflicting quantitative and qualitative criteria. Materials Recovery Facility, Advanced Thermal Treatment, Anaerobic Digester, Incinerator Facility, Composting facilities are recycling waste paper technologies options were considered by the panel expert who evaluated each option against social criteria and subcriteria. For selecting the best recycling method, the (VIKOR) method is applied to determine the priority ranking of alternatives. We used the UTASTAR method to measure the utility of the selected options. In continued this research, a multi-objective mixed integer programming model is designed to achieve the sustainability of the supply chain network. Finally, considering the structure of the proposed model, we implemented this model for Tehran and analyzed the results.

Keyword: Sustainability, Green the supply chain, Closed loop supply chain, Recycling waste paper, Vikor fuzzy method, UTASTAR method, Mixed integer programming model.

Shahrood University of Technology

Faculty of Industrial Engineering and Management

M.Sc. Thesis in of Industrial Management

Sustainable design for paper recycling network

By: Fatemeh Sarikhani

Supervisor

Dr. Mohammd Fattahi

Advisor

Dr. Reza Sheikh

January 2019