سال ۲۹، شماره ۱۳۲، صفحات ۹–۱۳، نوع مقاله: ترویجی

مجله علمی مهندسی مکانیک

ISSN: 1605-9719

ارزیابی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی نیروگاه‌های حرارتی در مدیریت پسماند

آرمان شاهنظری

باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان واحد رودسر و املش

ashahnazari992@gmail.com

◄ چکیده

این پژوهش به معرفی و ارزیابی نیروگاه‌های حرارتی موجود در حوزه مدیریت پسماند از سه جنبه فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی می‌پردازد. معضلات ناشی از پردازش و دفع زباله‌های جامد شهری، صنعتی و حتی بیمارستانی به عنوان یکی از معضلات عمده و اساسی در جوامع بشری مطرح می‌باشد. همچنین با توجه به افزایش جمعیت و افزایش تقاضای انرژی و از طرفی رو به اتمام بودن سوخت‌های فسیلی و مشکلات زیست‌محیطی ناشی از استفاده از این نوع از سوخت‌ها، باعث گردیده تا توجه به انرژی‌های تجدیدپذیر بیش از پیش گردد. در این تحقیق ابتدا سیستم‌های حرارتی تولید کننده انرژی از پسماند مورد بررسی قرار گرفته و سپس به کمک روش VIKOR به انتخاب بهترین سیستم حرارتی در مدیریت پسماند می‌پردازد. روش جمع‌آوری داده‌ها از طریق بررسی منابع معتبر و همچنین از طریق پرسشنامه به‌دست آمد. نتایج این پژوهش نشان داد که نیروگاه پلاسما با امتیاز ۰/۲۵ مناسب‌ترین نیروگاه حرارتی در مدیریت پسماند از نظر سه معیار فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی می‌باشد. پس از آن نیروگاه‌های گازی‌سازی با امتیاز ۰/۲۶۸، زباله‌سوز با امتیاز ۰/۶۴۷ و پیرولیز با امتیاز ۱ در رده‌های دوم تا چهارم قرار گرفتند.

◄ واژگان کلیدی

نیروگاه حرارتی
انرژی تجدیدپذیر
سوخت فسیلی
مدیریت پسماند
روش VIKOR

◄ تاریخچه مقاله

تاریخ دریافت ۱۳۹۷/۰۴/۰۴
تاریخ پذیرش ۱۳۹۸/۱۱/۱۳

۱ مقدمه

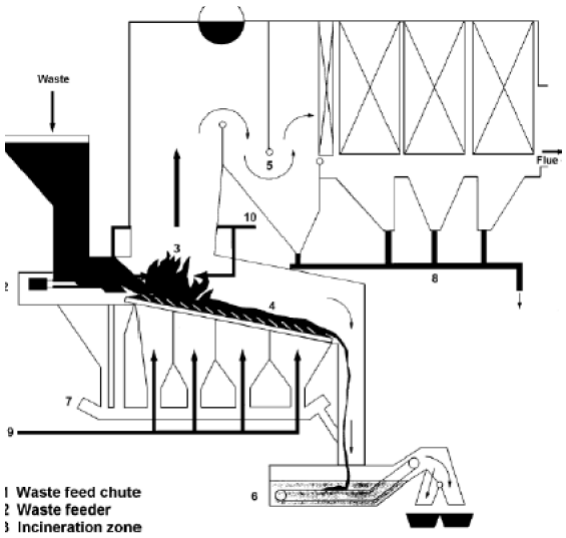
طبق تحقیقات انجام شده نرخ رشد جمعیت جهانی بطور سالانه تقریباً ٪۲ می‌باشد که این افزایش جمعیت منجر به افزایش تقاضا و همچنین افزایش مصرف انرژی می‌گردد. امروزه زیست‌ـتوده یکی از منابع اساسی و مهم در انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد که در سال ۲۰۱۰ تقریباً ٪۶ از کل انرژی اولیه جهان را تأمین کرده است [۱، ۲].

یکی از ترکیبات زیست‌توده[1]، پسماند می‌باشد. مدیریت پسماند در کشورهای مختلف ممکن است به عنوان معضلی اساسی مطرح باشد ولی در عین حال می‌تواند به عنوان منبع تولید انرژی نیز مورد استفاده قرار گیرد [۳]. امروزه از روش‌های مختلفی برای تولید انرژی از پسماند استفاده می‌شود که در دو گروه عمده روش‌های حرارتی[2] و بیولوژیکی[3] قرار می‌گیرند [۴].

در این تحقیق، هدف معرفی نیروگاه‌های حرارتی تولید انرژی از پسماند که شامل نیروگاه‌های زباله‌سوز، پیرولیز، گازی‌سازی و پلاسما می‌باشد و سپس انتخاب بهترین نیروگاه از سه منظر فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی می‌باشد که در ادامه به بررسی این قبیل نیروگاه‌ها پرداخته می‌شود.

۱.۱ زباله‌سوز

زباله‌سوز[4] یک فرآیند مخصوص جهت سوزاندن مواد قابل احتراق و تبدیل آنها به گاز و خاکستر (مواد باقیمانده) می‌باشد [۵]. در شکل ۱، یک شمای کلی از فرآیند زباله‌سوز نشان داده شده است.



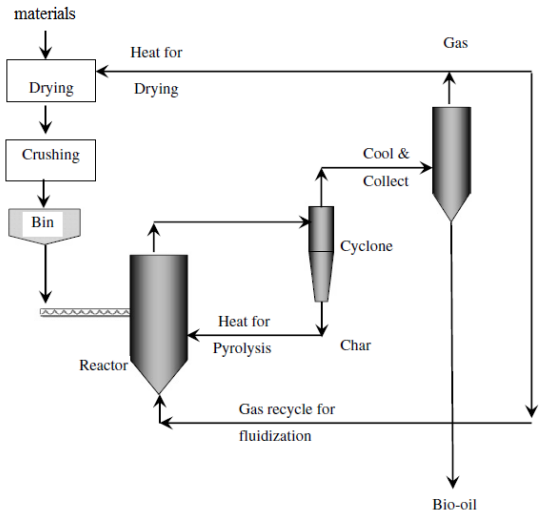
شکل ۱: طرحواره‌ای از فرآیند زباله‌سوز [۶].

اجزای اصلی در سیستم فرآیند زباله‌سوز عبارتند از سیستم تغذیه، محفظه تبدیل زباله، سیستم خروجی گاز و سیستم دفع مواد باقی مانده. همچنین در زباله‌سوزهای پیشرفته نیز از گریت‌های متحرک همراه با محفظه احتراق اولیه نیز استفاده می‌گردد [۷، ۸].

[1]biomass [2]thermal method [3]biological method [4]incinerator

۲.۱ پیرولیز

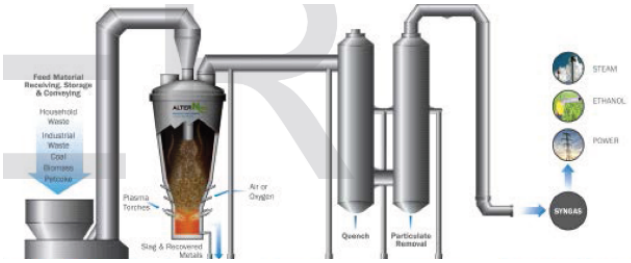
پیرولیز[5] یک فرآیند تجزیه حرارتی است که در آن مواد پلیمری با زنجیره طولانی از طریق حرارت و فشار به مولکول‌های کوچک‌تر تبدیل می‌شوند [۹]. این فرآیند در غیاب اکسیژن انجام می‌شود. محصولات این فرآیند در سه فاز جامد (زغال)، مایع (نفت زیستی[6]) و گاز (CH_4، H_2، CO_2، CO) می‌باشد که نفت زیستی به عنوان محصول مایع فرآیند پیرولیز مایعی به رنگ قهوه‌ای تیره و از ترکیبات اکسیژن‌دار تشکیل شده است [۱۰].



شکل ۲: فرآیند پیرولیز در راکتور بستر سیال [۱۱].

۳.۱ گازی‌سازی

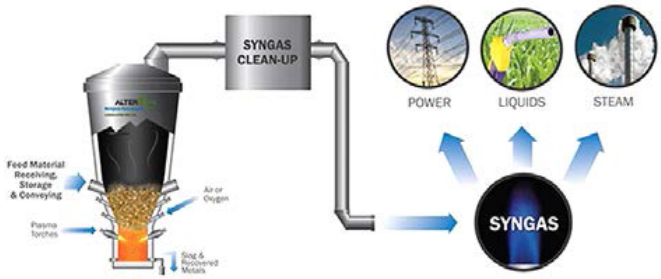
فرآیند گازی‌سازی[7] (گازیفیکاسیون) در واقع تغییر شکل‌یافته فرآیند پیرولیز است که همراه با مقدار کمی اکسیژن بوده و در این روش واکنش اکسیداسیون گرمای لازم و کافی جهت انجام فرآیند را به وجود می‌آورد. اکسیژن در این فرآیند به عنوان عامل گازساز محسوب می‌شود [۱۲].



شکل ۳: فرآیند گازی‌سازی [۱۳].

۴.۱ پلاسما

پلاسما[8] که حالت چهارم ماده نامیده می‌شود، مخلوطی از یون‌ها، الکترون‌ها و ذرات خنثی می‌باشد. این سیستم قادر به از بین بردن هر گونه پیوند شیمیایی است .گاز یونیزه شده‌ای که به علت تشکیل یک قوس الکتریکی پایدار بین آند و کاتد در مشعل پلاسما به وجود می‌آید. وقتی ذرات باردار، هم مثبت و هم منفی، به اندازه کافی تشکیل می‌شوند، گاز شروع به هدایت الکتریسیته می‌کند. زمانی که برخورد بین ذرات شارژ شده اتفاق می‌افتد گرما و قوس نور تولید می‌شود که به آن پلاسما می‌گویند [۱۴].



شکل ۴: فرآیند پلاسما [۱۵].

با توجه به مطالب مذکور و همچنین با وجود این که هر کدام از این نیروگاه‌ها دارای ویژگی‌های خاصی بوده و دارای مزیت‌ها و معایبی نیز می‌باشند، انتخاب یک نیروگاه جهت مدیریت پسماند و همچنین تولید انرژی از زباله نیازمند تحلیل‌های چند بعدی می‌باشد. در ادامه به نمونه‌هایی از کارهای انجام شده پرداخته می‌شود. دیمی و همکاران (۱۳۹۵) روش‌های نوین تبدیل توان به گاز را مورد بررسی قرار دادند. در این بررسی ابتدا روش‌های رایج برای ذخیره‌سازی انرژی معرفی شد و در مرحله بعد روش‌های نوین تبدیل توان به گاز که یکی از جدیدترین روش‌های ذخیره‌سازی انرژی است، مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج بررسی‌ها نشان داد که روش تبدیل توان به گاز علاوه‌بر بازدهی مناسب انرژی، دارای توانایی ذخیره‌سازی انرژی در تمام سطوح در مدت زمان طولانی می‌باشد. همچنین به جز ذخیره‌سازی انرژی می‌توان از یک واحد تولید متان به منظور تولید متان از هیدروژن بهره برد [۱۶].

نصرتی‌نیا و همکاران (۲۰۱۵) از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی–فازی به منظور انتخاب بهترین روش تولید بیوگاز در استان تهران استفاده کردند. برای انتخاب بهترین روش از معیارهای فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی بهره گرفتند. نتایج این مطالعه نشان داد که روش تبدیل به برق بهترین گزینه در بین سایر گزینه‌ها می‌باشد [۱۷].

هوشمند و همکاران (۱۳۹۴) به مدلسازی سیستم‌های تولید انرژی از زباله‌های شهری به کمک سیستم هیبریدی گازی‌سازی–پیل سوختی کربنات مذاب پرداختند. در این پژوهش از یک مدل ترمودینامیکی برای سیستم هیبریدی گازی‌سازی–پیل سوختی تحت شرایط زباله‌های شهری تهران استفاده گردید. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که تبدیل زباله شهر تهران به انرژی با استفاده از سیستم هیبریدی گازی‌سازی–پیل سوختی با بازدهی الکتریکی ۳۸٪ امکان‌پذیر می‌باشد [۲].

زینی و همکاران (۲۰۱۵) براساس چهار معیار فنی، اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی و با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی و به انتخاب بهترین روش تولید کمپوست در دانشگاه کبانگسانگ مالزی پرداختند. در این پژوهش از دو روش تولید کمپوست شامل روش پشته‌ای[9] و روش راکتوری کردند. نتایج تحقیق این پژوهشگران نشان داد که روش تولید کمپوست به

[5]pyrolusis [6]bio-oil [7]gasification [8]plasma [9]windrow

شکل ویندرو بهترین روش از نظر چهار معیار مذکور می‌باشد [۱۸].

لی و همکاران (۲۰۱۶) استفاده از فناوری حرارتی پلاسما برای پردازش مواد زائد جامد در چین را مورد بررسی قرار دادند. با توسعه اجتماعی و اقتصادی، چین شاهد افزایش سریع در تولید مواد زائد جامد و افزایش فشار ناشی از مدیریت این مواد است. امروزه مواد زائد در چین به طور عمده با ترکیب لندفیل، زباله سوزی و کمپوست کردن مدیریت می‌شود .همراه با روشهای مختلف پردازش، روش حرارتی پلاسما نیز پیشنهاد می‌شود. این روش مواد زائد جامد را به گاز مصنوعی[10] و خاکستر تبدیل می‌کند که این گازها برای تولید حرارت و الکتریسیته به کار میروند. آنها تحقیقات آزمایشگاهی فعلی و وضعیت توسعه صنعتی روش پلاسما برای پردازش مواد زائد جامد در چین و همچنین چالش‌های موجود را مورد بررسی قرار دادند [۱۹].

راهمن و همکاران (۲۰۱۷) به انتخاب تکنولوژی مناسب برای تبدیل پسماند به انرژی در شهر داکا پرداختند از مدل فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی برای انتخاب مناسب‌ترین روش برای تبدیل پسماند خانگی به انرژی در منطقه اردوگاهی میرپور– داکا استفاده شد . سه گزینه شامل هضم بی‌هوازی، پیرولیز و گازی‌سازی پلاسما و معیارهای فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی برای مقایسه انتخاب شدند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که تکنولوژی گازی‌سازی پلاسما مناسب‌ترین تکنولوژی تبدیل زباله به انرژی در منطقه مورد مطالعه است [۲۰].

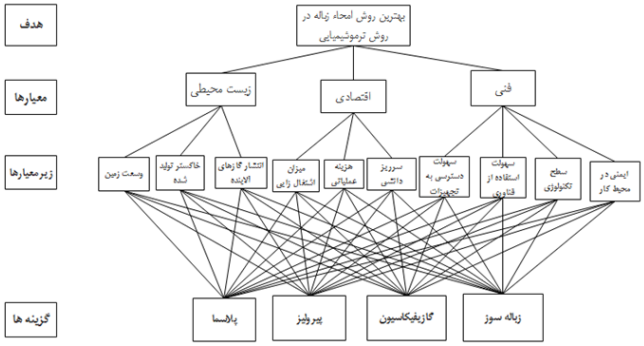
با توجه به مطالعات انجام‌شده، لزوم بررسی سیستم‌های حرارتی در مدیریت پسماند از جهات مختلف بر اساس روش‌های علمی لازم و ضروری به نظر می‌رسد.

۲ روش تحقیق

از آن‌جایی که مطالعه حاضر جهت معرفی و انتخاب مناسب‌ترین نیروگاه حرارتی به منظور تولید انرژی از پسماند می‌باشد، به همین منظور از یکی از پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره یعنی روش ویکور در نرم‌افزار Matlab استفاده شده است. با توجه به هدف مطالعه، این تحقیق از نوع کاربردی محسوب می‌شود.

این تحقیق در ابتدا به معرفی نیروگاه‌های حرارتی رایج در حوزه مدیریت پسماند پرداخته و در ادامه به انتخاب بهترین گزینه حرارتی بر اساس سه معیار اصلی شامل معیارهای فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی به جهت اهمیت موضوع انتخاب مناسب‌ترین نیروگاه و دقت بیشتر در این مورد برای هرکدام از معیارهای منتخب، زیر معیارهایی در نظر گرفته شده که در شکل ۵ نشان داده شده است، می‌پردازد. روش جمع‌آوری داده‌ها از طریق بررسی منابع اطلاعاتی معتبر و همچنین از طریق پرسش‌نامه به‌دست آمد.

در این تحقیق به منظور ارزیابی نیروگاه‌ها، ابتدا فاکتورهای مهم جهت انتخاب این قبیل نیروگاه‌ها را در نظر گرفته و برای این که انتخاب‌ها قابل اعتمادتر گردند، زیرمعیارهایی را از منابع معتبر استخراج کرده و برای انتخاب نیروگاه‌ها مد نظر قرار گرفتند. سپس پرسشنامه مناسب با روش ویکور که به شکل مقایسات زوجی می‌باشند، طراحی و تهیه گردید. پرسشنامه توسط ۱۸ نفر از خبرگان و کارشناسان داخل و خارج کشور تکمیل گردید.



شکل ۵: درخت سلسله‌مراتبی گزینه‌ها.

۱.۲ روش VIKOR

روش تصمیم‌گیری چند معیاره را می‌توان برای ارزیابی گزینه‌های گوناگون با توجه به معیارهای متعدد و مختلف مورد استفاده قرار داد. در این تحقیق جهت رتبه‌بندی نیروگاه‌های حرارتی از یکی از پرکاربردترین روش تصمیم‌گیری چند معیاره یعنی روش VIKOR استفاده گردید.

روش VIKOR برای بهینه‌سازی چند معیاره در سیستم‌های پیچیده طراحی شده است. این روش بر روی رتبه‌بندی و انتخاب بهترین گزینه با معیارهای متفاوت تمرکز دارد و بر اساس نزدیکی به گزینه ایده‌آل انجام می‌شود. مراحل روش VIKOR به شرح زیر می‌باشد [۲۱]:

۱. تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری اطلاعات جمع‌آوری شده

۲. محاسبه مقادیر نرمال شده داده‌ها و وزن شاخص‌ها

۳. محاسبه بیشترین و کمترین مقدار برای هر کدام از شاخص‌های منتخب در این تحقیق.

$$f_j^* = \max f_{ij}\,, \quad i = ۱, ۲, \ldots, m \qquad (۱)$$

$$f_j^- = \min f_{ij}\,, \quad j = ۱, ۲, \ldots, m \qquad (۲)$$

۴. محاسبه فاصله گزینه‌ها از راه‌حل ایده‌آل

$$S_j = \sum_{i=۱}^{n} \frac{w_i(f_j^* - f_{ij})}{f_j^* - f_j^-} \qquad (۳)$$

$$R_j = \max\left[\frac{w_i(f_j^* - f_{ij})}{f_j^* - f_j^-}\right] \qquad (۴)$$

در این روابط، S_j بیان کننده فاصله گزینه j ام از راه‌حل ایده‌آل مثبت و R_j بیان کننده فاصله گزینه jام از راه‌حل ایده‌آل منفی می‌باشد. بدین ترتیب بهترین گزینه بر اساس مقدار S_j و بدترین گزینه نیز بر اساس مقدار R_j خواهد بود.

۵. محاسبه مقدار VIKOR یا مقدار Q_i

$$Q_i = V\left[\frac{S_j - S^*}{S^- - S^*}\right] + (۱ - V)\left[\frac{R_j - R^*}{R^- - R^*}\right] \qquad (۵)$$

در رابطه (۵) مقدار V همواره مقدار ثابتی بوده و مقدار آن برابر ۰/۵ می‌باشد [۲۲]. همچنین مقادیر S^* و R^* به ترتیب برابر حداقل S_j، R_j و مقادیر S^- و R^- به ترتیب برابر با حداکثر S_j، R_j می‌باشند.

[10] syngas

۳ نتیجه‌گیری

امروزه نیروگاه‌های رایج حرارتی که در مدیریت پسماند شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد عبارتند از: نیروگاه‌های زباله‌سوز، پیرولیز، گازی‌سازی و پلاسما، که در کشورهای توسعه‌یافته از این نیروگاه‌ها به منظور تولید انرژی از پسماند مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در این تحقیق هدف اصلی ارزیابی این نیروگاه‌ها بر اساس معیارهای فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی می‌باشد. برای دقت بیشتر در خصوص انتخاب این نیروگاه‌ها، زیرمعیارهایی برای هر کدام از معیارها انتخاب گردید. جمع‌آوری داده‌ها از طریق مصاحبه به شکل حضوری و غیر حضوری و با پرسشنامه‌ای که مطابق با روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد، صورت پذیرفت. برای انجام این تحقیق از روش VIKOR استفاده گردید. به منظور انجام این روش بعد از تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری، وزن نسبی هر یک از شاخص‌های موجود در تحقیق، به کمک روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP[11]) و در نرم‌افزار Expert Choice انجام گرفت.

جدول ۱: وزن نرمال‌شده هریک از زیرمعیارها

زیر معیار	وزن نرمال	زیرمعیار	وزن نرمال
سطح تکنولوژی	۰/۱۹۳	انتشار گاز آلاینده	۰/۶۸۵
سهولت دسترسی به تجهیزات	۰/۲۸۶	خاکستر تولیدشده	۰/۱۹۵
سهولت استفاده از فناوری	۰/۲۰۲	وسعت زمین مورد استفاده	۰/۱۲۰
ایمنی در محیط کار	۰/۳۲۰	اشتغال زایی	۰/۲۷۱
هزینه عملیاتی	۰/۴۰۳	سرریز دانشی	۰/۳۲۵

نتایج بررسی‌ها نشان داد که در بین زیرمعیارهای موجود، زیرمعیارهای ایمنی در محیط کار، هزینه عملیاتی و انتشار گاز آلاینده که به ترتیب جز معیارهای فنی، اقتصادی و زیست‌ـمحیطی هستند، در بین سایر گزینه‌ها از اهمیت بیشتری در خصوص انتخاب نیروگاه‌های حرارتی برخوردارند.

همچنین نتایج حاصل از روش VIKOR که در نرم‌افزار Matlab محاسبه گردیده، برای سه پارامتر S_j، R_j و Q_i به ترتیب در جداول ۲، ۳ و ۴ نشان داده شده است.

جدول ۲: مقادیر محاسبه شده برای پارامتر S_j

رتبه	گزینه	امتیاز S_j
۱	پلاسما	۰/۸۲۸
۲	زباله سوز	۱/۴۰۲
۳	گازی سازی	۱/۶۲۸
۴	پیرولیز	۲/۳۱۹

جدول ۳: مقادیر محاسبه شده برای پارامتر R_j

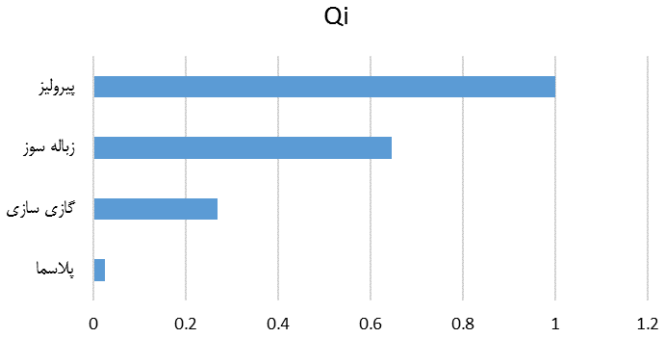
رتبه	گزینه	امتیاز R_j
۱	گازی سازی	۰/۲۸۳
۲	پلاسما	۰/۳
۳	زباله سوز	۰/۵۷۱
۴	پیرولیز	۰/۶

جدول ۴: مقادیر محاسبه شده برای پارامتر Q_i

رتبه	گزینه	امتیاز Q_i
۱	پلاسما	۰/۰ ۲۵
۲	گازی سازی	۰/۲۶۸
۳	زباله سوز	۰/۶۴۷
۴	پیرولیز	۱

با توجه به اصول روش VIKOR به منظور رتبه‌بندی و انتخاب گزینه‌ها از مقدار Q_i برای این امر استفاده می‌گردد.

مقدار Q_i محاسبه شده برای نیروگاه‌های حرارتی در جدول ۳ و همچنین نمودار آن در شکل ۶ نشان داده شده است. در این روش هر چه مقدار Q_i مقدار کمتری داشته باشد، گزینه مطلوب‌تری می‌باشد.



شکل ۶: نمودار امتیاز نهایی گزینه‌ها بر اساس مقدار VIKOR.

همان‌طور که در شکل ۶ نشان داده شده است، روش پیرولیز بیشترین و روش پلاسما کمترین مقدار Q_i را کسب کرده است، اما نتیجه در روش VIKOR بدین شکل است که گزینه مناسب کمترین مقدار Q_i را باید دارا باشد.

بر این اساس مناسب‌ترین نیروگاه حرارتی در روش VIKOR به ترتیب شامل نیروگاه‌های پلاسما، گازی‌سازی، زباله‌سوز و پیرولیز به‌دست آمد.

۴ جمع‌بندی

در بین نیروگاه‌های حرارتی در مدیریت پسماند در کشور ایران، تنها نیروگاه زباله‌سوز استفاده می‌شود و در واقع می‌توان این طور بیان کرد که سایر روش‌ها در کشور تقریباً ناشناخته است.

در این تحقیق تلاش گردید تا با معرفی سایر نیروگاه‌ها به ارزیابی این روش‌ها از جنبه‌های مختلف پرداخته شود که در نهایت نیروگاه پلاسما به عنوان بهترین گزینه در مدیریت پسماند مشخص شد.

مراجع

[1] www.bp.com/liveassets/bpinternet/globalbp/globalbpuk english/reportsandpublications/stati stical energy- review, May. 2012.

[۲] هوشمند، پیام، سیدین، فرید، و روشندل، رامین. مدلسازی سیستم تبدیل انرژی از پسماندهای شهری با بهره گیری از سیستم هیبریدی گازی‌سازی–پیل سوختی کربنات مذاب. *نشریه پژوهشی مهندسی مکانیک ایران*، ۱۶ (۴):۹۸–۱۲۲، ۲۰۱۵.

[11] analytical hierarchy process

[۳] عمرانی، قاسم‌علی. *مواد زائد جامد*. جلد ۱ & ۲. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی، ۱۳۸۸.

[4] Shakorfow, Abdelmalik M. Biomass. incineration, pyrolysis, combustion, and gasification. *International Journal of Science and Research*, 5(7):13–25, 2016.

[5] Assamoi, Bernadette and Lawryshyn, Yuri. The environmental comparison of landfilling vs. incineration of msw accounting for waste diversion. *Waste Management*, 32(5):1019 – 1030, 2012.

[6] Pan, Shu-Yuan, Du, Michael Alex, Huang, I-Te, Liu, I-Hung, Chang, E-E, and Chiang, Pen-Chi. Strategies on implementation of waste-to-energy (wte) supply chain for circular economy system: a review. *Journal of Cleaner Production*, 108:409 – 421, 2015.

[7] Boonpa, Siriporn and Sharp, Alice. Waste-to-energy policy in thailand. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 12(5):434–442, 2017.

[8] Vermeulen, Isabel, Caneghem], Jo [Van, Block, Chantal, Dewulf, Wim, and Vandecasteele, Carlo. Environmental impact of incineration of calorific industrial waste: Rotary kiln vs. cement kiln. *Waste Management*, 32(10):1853 – 1863, 2012.

[9] Dayana, Shafferina, Abnisa, Faisal, Ashri, Wan Mohd, and Aroua, Mohamed Kheireddine. A review on pyrolysis of plastic wastes. *Energy Conversion and Management*, 115:308 – 326, 2016.

[10] Heo, Hyeon Su, Park, Hyun Ju, Park, Young-Kwon, Ryu, Changkook, Suh, Dong Jin, Suh, Young-Woong, Yim, Jin-Heong, and Kim, Seung-Soo. Bio-oil production from fast pyrolysis of waste furniture sawdust in a fluidized bed. *Bioresource Technology*, 101(1, Supplement):S91 – S96, 2010. Supplement Issue on Recent Developments of Biomass Conversion Technologies.

[11] Asadullah, M., Rahman], M. [Anisur, Ali], M. [Mohsin, Motin], M. [Abdul, Sultan], M. [Borhanus, Alam], M. [Robiul, and Rahman], M. [Sahedur. Jute stick pyrolysis for bio-oil production in fluidized bed reactor. *Bioresource Technology*, 99(1):44 – 50, 2008.

[12] Lombardi, Lidia, Carnevale, Ennio, and Corti, Andrea. Analysis of energy recovery potential using innovative technologies of waste gasification. *Waste Management*, 32(4):640 – 652, 2012. Solid Waste Gasification.

[13] https://ecoandsustainable.files.wordpress.com /2014/08/waste-to-energy-gasification.png.

[14] Ducharme, Caroline. Technical and economic analysis of plasma-assisted waste-to-energy processes. *Research Paper I. School of Engineering and Applied Science, Columbia University*, 2010.

[15] http://www.westinghouse-plasma.com/waste to_ energy.

[۱۶] دیمی دشت‌بیاض، مهدی، ابراهیمی‌مقدم، امیر، پیش‌بین، سید ایمان، شیخانی، حمیده، و ابراهیمی مقدم، احمد. بررسی فناوری نوین تبدیل توان به گاز. *مجله علمی ترویجی انجمن مهندسان مکانیک ایران*، ۲۶(۲):۷–۱۷، ۲۰۱۷.

[17] Nosratinia, Maryam, Tofigh, Ali, and Adl, Mehrdad. A fuzzy analytic hierarchy process model for selecting the best biogas usage: Case study of tehran province, iran. *American Journal of Biomass and Bioenergy*, 01 2015.

[18] Zaini, Najah, Basri, Noor, Zain, Shahrom, and Mat Saad, Nur Fatin. Selecting the best composting technology using analytical hierarchy process (ahp). *Jurnal Teknologi*, 77, 10 2015.

[19] Li, Jun, Liu, Kou, Yan, Shengjun, Li, Yaojian, and Han, Dan. Application of thermal plasma technology for the treatment of solid wastes in china: An overview. *Waste Management*, 58:260 – 269, 2016.

[20] Rahman, S. M. Sayedur, Azeem, Abdullahil, and Ahammed, Faisal. Selection of an appropriate waste-to-energy conversion technology for dhaka city, bangladesh. *International Journal of Sustainable Engineering*, 10(2):99–104, 2017.

[21] Opricovic, Serafim and Tzeng, Gwo-Hshiung. Compromise solution by mcdm methods: A comparative analysis of vikor and topsis. *European Journal of Operational Research*, 156(2):445 – 455, 2004.

[22] Chen, Lisa Y. and Wang, Tien-Chin. Optimizing partners' choice in is/it outsourcing projects: The strategic decision of fuzzy vikor. *International Journal of Production Economics*, 120(1):233 – 242, 2009. Special Issue on Operations Strategy and Supply Chains Management.