

اولویت بندی فناوری‌های تبدیل پسماند شهری به سوخت‌زیستی در ایران

فرناز امین صالحی

استادیار مهندسی محیط زیست، مؤسسه آموزش عالی مهر البرز (نویسنده مسئول)

aminsalehi@mehralborz.ac.ir

عارف نوروز

کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست، مؤسسه آموزش عالی مهر البرز

norouzibaris@yahoo.com

کامبیز رضاپور

استادیار مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

rezapour@kiau.ac.ir

توسعه اقتصادی و افزایش تقاضا برای انرژی، استفاده از منابع انرژی بی خطر و تجدید پذیر را ضروری می‌نماید. پسماند جامد شهری به عنوان یکی از منابع زیست توده به طور قابل توجهی در ایجاد یک منبع انرژی تجدیدپذیر کمک می‌نماید. در حال حاضر در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران، روش‌های معمول دفع پسماند شهری منجر به بروز بسیاری از مشکلات زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی شده است و از این رو شناسایی راهکار بهینه برای مدیریت صحیح پسماند شهری از مهمترین اهداف کشورها می‌باشد. هدف از این تحقیق مقایسه فنی و اولویت‌بندی چهار فناوری تبدیل پسماند شهری به سوخت‌زیستی برای انتخاب بهترین کاربری آن در شرایط کشور ایران می‌باشد. روش مورد استفاده در این تحقیق تحلیل سلسله مراتبی است و نتیجه هر دو روش نشان می‌دهد که هضم بی هوازی در اولویت اول قرار دارد.

واژگان کلیدی: پسماند شهری، فناوری‌های تولید سوخت‌زیستی، تحلیل سلسله مرتبه‌ای

۱. مقدمه

محدودیت منابع سوخت‌های فسیلی چالش جوامع پیشرفته صنعتی را به همراه داشته است، از این رو محققان و اندیشمندان در پی راه کاری کارآمدتر در بهره‌برداری از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر به عنوان یک جایگزین مناسب برای منابع فسیلی هستند (کاپلان پرز و همکاران^۱، ۲۰۱۴). از مزایای کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد که امروزه مشکلات زیست‌محیطی بسیاری از جمله افزایش دمای زمین، تغییرات آب و هوایی، بالا آمدن سطح آب دریاها و وقوع طوفان‌ها را به همراه داشته است (جی کابز سان^۲، ۲۰۱۷). با به کارگیری این منابع پاک و تجدیدپذیر در تأمین بخشی از انرژی مصرفی جهان، کمک شایانی به حل مشکلات زیست‌محیطی، دستیابی به توسعه اقتصادی و اجتماعی خواهد شد. با توجه به برخورداری از پتانسیل مطلوب و مناسب انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور، توسعه منطقی این منابع ارزشمند و خدادادی موجه به نظر می‌رسد، چرا که از این طریق می‌توان در جهت اهداف توسعه پایدار نیز گام برداشت (مددی و همکاران^۳، ۲۰۱۷). در این میان منابع زیست‌توده نسبت به دیگر منابع تجدیدپذیر برتری دارد، زیرا به راحتی به سوخت‌های جامد، مایع و گاز مفید تبدیل می‌گردد، از جمله منابع بیوماس که امروزه دغدغه زیادی در شهرهای بزرگ ایجاد نموده است، پسماند شهری می‌باشد که تعیین بهترین راهکار برای مدیریت آن از سیاست‌های اصلی سازمان‌های ذیربط می‌باشد (سیکاروار و همکاران^۴، ۲۰۱۷؛ مولر^۵، ۲۰۱۴).

1. Capellan-Preze et al
2. Jacobson
3. Madadi et al.
4. Sikarwar et al.
5. Muller

گسترش وسعت شهرها و ازدیاد جمعیت در شهرهای بزرگ، ره آوردهای مختلفی از جمله تجمع پسماند شهری و به دنبال آن آلودگی روزافزون محیط زیست را در برداشته است، تا آنجا که همه ساله درصد قابل توجهی از بودجه شهرداری‌ها بخصوص شهرهای بزرگ و پر جمعیت، صرف جمع آوری و دفع پسماندهای حاصله می‌گردد (چن^۱، ۲۰۱۴). ایجاد سیستم مدیریت پسماند مناسب برای دفع پسماند شهری از جمله مواردی است که برای کنترل آلودگی ناشی از این حجم عظیم پسماند بسیار مؤثر خواهد بود. با توجه به اینکه بیش از ۷۰ درصد از پسماند شهری کشور را پسماندهای آلی به خود تخصیص می‌دهد، لذا استفاده از فناوری‌های تبدیل پسماند به سوخت زیستی می‌تواند راه کار مناسبی برای مدیریت این بخش از پسماند باشد. از مهمترین فناوری‌هایی که از نظر تجربی برای تبدیل پسماندهای آلی شهری به سوخت زیستی قابل استفاده می‌باشد، شامل هضم بی‌هوازی، تولید الکل، گازی کردن و پیرولیز می‌باشد. در این زمینه در جهان تحقیقاتی صورت گرفته است ولی به‌طور خاص این چهار فناوری همزمان در مورد تبدیل پسماند شهری به سوخت‌های زیستی مورد بررسی و مقایسه قرار نگرفته‌اند.

در سال ۲۰۱۸ در امریکا تحقیقی بر روی انواعی از پسماندهای آلی از جمله لجن فاضلاب، فضولات دامی، پسماندهای واحدهای پردازش مواد غذایی و پسماندهای روغنی و چربی‌ها انجام گردید. نتیجه تجزیه و تحلیل نشان داد که پتانسیل تولید سوخت روغنی به روش مایع سازی ۵/۹ میلیاردگالن در سال می‌باشد که با تصفیه نمودن آن، انواعی از سوخت‌های مایع بویژه گازوئیل و نفت سفید زیستی حاصل می‌گردد. نفت سفید حاصله ۲۳/۹٪ از نیاز نفت سفید آمریکا را می‌تواند تأمین نماید (اسکاگز^۲، ۲۰۱۸). در مقاله دیگری وضعیت فعلی فناوری هضم بی‌هوازی از دیدگاه‌های زیست محیطی، اقتصادی و قوانین مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که فاکتورهای مؤثر در رشد پیوسته این فناوری و تولید بیوگاز مقررات و عوامل

1. Chen et al.
2. Skaggs et al.

مشوق در کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته می‌باشد (واسکو کوری^۱، ۲۰۱۸). بررسی دیگری در سال ۲۰۱۷ در خصوص ارزیابی جایگزینی گاز طبیعی توسط بیوگاز از دیدگاه‌های فنی و اقتصادی انجام گردیده که به صورت یک مطالعه موردی در انگلستان می‌باشد (فوبارا و همکاران^۲، ۲۰۱۷). در سال ۲۰۱۲ نیز تحقیقی در خصوص مقایسه و رتبه بندی فناوری‌های تبدیل باگاس (یکی از زوائد صنعت نیشکر) به انرژی در ایران انجام گردید. از میان پنج فناوری مورد مقایسه که شامل هضم بی‌هوازی، تولید الکل، پیرولیز، گازی کردن و احتراق بوده است، فناوری هضم بی‌هوازی در اولویت قرار گرفت. همچنین به منظور ارزیابی اقتصادی کاربرد سوخت بیوگاز تولید از آن، نیروگاه تولید برق و حرارت بیوگاز سوز مورد بررسی قرار گرفت (صالحی و همکاران^۳، ۲۰۱۲). همچنین تحقیق دیگری در خصوص مطالعه امکان‌سنجی فنی و اقتصادی برای کاربرد فناوری تولید الکل به روش اسید غلیظ در ایران برای باگاس انجام گردید. نتایج این تحقیق با محاسبه پارامترهای اقتصادی چون مقدار نقطه سر به سر و زمان برگشت سرمایه، ارزش فعلی خالص، نرخ بازگشت داخلی نشان داده شده که اقتصادی می‌باشد (همان).

در این پژوهش هدف مقایسه و اولویت‌بندی چهار فناوری تبدیل پسماند شهری به سوخت‌زیستی از دیدگاه فنی و معرفی بهترین گزینه جهت کاربرد در کشور می‌باشد. بنابراین برای رسیدن به این هدف بررسی دقیقی بر روی فناوری‌ها از دیدگاه فنی انجام پذیرفت و براساس آن معیارهای اصلی برای مقایسه و ارزیابی فنی حاصل گردید. در این مرحله از روش‌های فراترکیبی و گروه متمرکز جهت تعیین معیارهای فنی برای مقایسه فناوری‌ها، استفاده گردید. همچنین با کمک روش دلفی این معیارها ارزیابی و نهایی شد. همچنین روش تحلیل سلسله مراتبی AHP به منظور مقایسه فناوری‌ها براساس معیارهای منتخب فنی و تصمیم‌گیری در

1. Vasco-Correa et al
2. Fubara et al.
3. Salehi et al.

خصوص فناوری منتخب به کار گرفته شد و نتیجه توسط نرم افزار Expert Choice نیز مورد تأیید قرار گرفت.

در این مقاله ضمن بیان مقدمه، به بررسی وضعیت کیفی و کمی پسماند شهری و وضعیت مدیریت پسماند در کشور پرداخته شده است. سپس چهار فناوری تبدیل پسماند به سوخت زیستی معرفی مختصری شده و در ادامه روش تحقیق و چگونگی تعیین معیارهای اصلی برای مقایسه این فناوری‌ها مطرح گردید. در انتها نیز داده‌های حاصله به دو روش تحلیل سلسله مراتبی و نرم افزار Expert Choice مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

۲. خصوصیات پسماندهای شهری ایران

در ایران با محاسبه متوسط ۷۱۰ گرم پسماند سرانه، هر روزه بالغ بر ۵۰.۰۰۰ تن مواد زائد جامد تولید می‌شود که در مقایسه با سایر کشورهای جهان با سرانه ۲۹۲ کیلوگرم در سال در حد متعادلی قرار گرفته است، لکن ازدیاد جمعیت، زندگی شهری و توسعه صنعتی به گونه‌ای است که موجبات ازدیاد مواد زائد جامد و بالطبع تغییرات فیزیکی - شیمیایی آن‌ها را به وجود می‌آورد به طوری که برنامه‌های جمع‌آوری و دفع پسماند موجود جوابگوی نیازهای این بخش از کار نخواهد بود (عمرانی، ۱۳۹۳).

ترکیبات و اجزاء پسماند جامد شهری در هر منطقه متفاوت بوده و تغییرات آن تابع عوامل متعدد از جمله فرهنگ مصرفی جامعه، شرایط اقتصادی، رژیم غذایی، فصل و شرایط آب‌وهوایی است و مقایسه آن در مناطق مختلف تغییرات قابل توجهی را نشان می‌دهد (کورتولوس^۱، ۲۰۱۶). همچنین سرانه تولید پسماند شهری به پارامترهای مختلف از جمله شرایط اقتصادی منطقه بستگی دارد. در جدول (۱) نرخ تولید پسماند در کلان شهرها و روستاها نشان داده شده است. با آنالیز ترکیبات پسماند جامد شهری در کشور مطابق جدول (۲) مشاهده

1. Kurtulus et al.

می‌شود که متوسط بخش پسماندهای تر شامل مواد غذایی، میوه، سبزیجات و سایر مواد آلی ۶۸/۹٪ می‌باشد. پس از آن پلاستیک، کاغذ، اجزاء بزرگ و فلزات، به ترتیب با ۹/۱۴، ۷/۲۵، ۴/۶ و ۳/۳۴ درصد در رده بعدی قرار گرفته و بخش باقی مانده را اجزاء پارچه، لاستیک، شیشه و چوب تشکیل می‌دهد.

جدول ۱. نرخ تولید پسماند در کشور (سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور، ۱۳۹۵)

میزان تولید	پسماند شهری
۷۱۰	میانگین تولید سرانه پسماند در کشور (نفر روز / گرم)
۴۹۰۰۰	تولید روزانه پسماند در کشور (روز / تن)
۱۸۰۰۰۰۰	تولید سالیانه پسماند در کشور (روز / تن)
۳۸۰۰۰	تولید روزانه پسماند در کلان شهرها (روز / تن)
٪ ۷۸	سهم کلان شهرها در تولید پسماند
۱۱۰۰۰	تولید پسماند در روستاها (روز / تن)
٪ ۲۲	سهم روستائیان در تولید پسماند

مأخذ: نتایج تحقیق

جدول ۲. ترکیب اصلی پسماند جامد شهری در کشور (سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور، ۱۳۹۵)

اجزاء پسماند	متوسط (%)	نرخ تغییر (%)
شیشه	۱/۹۱	۱/۰۵
فلزات	۳/۳۴	۱/۳۸
چوب	۱/۲۷	۰/۹
پسماند آلی و سبزیجات	۶۸/۹	۸/۸
کاغذ	۷/۲۵	۲/۳
پلاستیک	۹/۱۴	۳/۱
لاستیک	۲/۰۹	۱/۰۱
پارچه	۲/۳۷	۱/۰۹
اجزاء بزرگ	۴/۶	۲/۷
دانسیته	۲۵۳/۷۳	۵۲/۵

مأخذ: نتایج تحقیق

۳. وضعیت مدیریت پسماند در کشور

سالانه مقادیر چشمگیری از پسماند شهری در کشور بدون اینکه مورد پردازش قرار گیرد و مواد ارزشمند قابل بازیافت آن تفکیک گردد، به دفن گاه‌ها منتقل می‌شوند. نتیجه این عمل، چیزی نیست جز تولید آلاینده‌های خطرناک جامد، مایع و گاز که باعث آلودگی آب، هوا و خاک گشته که حذف این آلاینده‌ها نیز همراه با صرف هزینه بسیار بالایی می‌باشد. این درحالی است که پسماند شهری نه تنها از نظر بازیافت مواد، بلکه از دیدگاه تولید انرژی نیز از اهمیت و ارزش بالایی برخوردار می‌باشد. آمار و اطلاعات برگرفته از سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور نشان می‌دهد که وضعیت فعلی مدیریت پسماند در کشور بدین صورت است که حدود ۶۸٪ از پسماند به صورت غیربهداشتی و ۱۰٪ آن به صورت بهداشتی دفن شده و حدود ۲۲٪ نیز بازیافت می‌شود. این در حالی است که اهداف ۵ ساله مدیریت پسماند در کشور در جهت افزایش بازیافت پسماند و کاهش نرخ دفن پسماند مطابق جدول (۳) برنامه ریزی شده است.

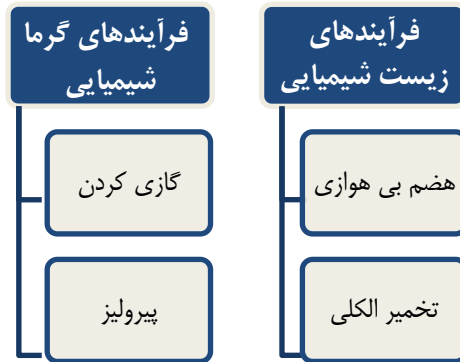
جدول ۳. اهداف ۵ ساله مدیریت پسماند در کشور (سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور، ۱۳۹۵)

نوع عملکرد	سهم
کاهش تولید پسماند	۱۰٪
تفکیک از مبدأ	۷۰٪
بازیافت	۸۰٪
دفن بهداشتی	۲۰٪
تعداد زباله سوزها در کلان شهرها	۸ واحد
تعداد زباله سوزها در شهرهای ساحلی	۷ واحد

مأخذ: نتایج تحقیق

۴. فناوری‌های تبدیل پسماند شهری به سوخت زیستی مورد مطالعه

در این مقاله چهار فناوری تبدیل پسماند به سوخت زیستی شامل فناوری هضم بی هوازی، تولید الکل، گازی کردن و پیرولیز مورد مقایسه قرار گرفته شده است. فرایندهای این فناوری‌ها در دو بخش گرما - شیمیایی و زیست - شیمیایی مطابق شکل (۱) قرار می‌گیرد.



شکل ۱. تقسیم بندی انواع فناوری‌های تبدیل پسماند به سوخت زیستی براساس نوع فرایند

فناوری‌های گرما-شیمیایی با گرما دادن به زواید زیستی در حضور یا عدم حضور عوامل کمکی، فرآورده‌های انرژی‌زا (سوخت‌های زیستی) تولید می‌نمایند. عوامل کمکی در این فناوری‌ها می‌تواند بخار، هوا، اکسیژن یا هیدروژن باشد. سوخت‌های زیستی حاصله می‌تواند به اشکال جامد، مایع یا گاز باشد. سوخت زیستی حاصل از فناوری گازی کردن به صورت گاز بوده و گاز مصنوعی نامیده می‌شود. همچنین در روش پیرولیز سوخت زیستی به هر سه فرم گاز، مایع و جامد تولید می‌گردد (رایت^۱، ۲۰۱۰). در فناوری‌های زیست شیمیایی، فرآورده‌های انرژی‌زا به وسیله عمل سوخت و ساز موجودات زنده پدید آمده و به خاطر داشتن ارزش

1. Wright

حرارتی بالا، به عنوان سوخت به کار می‌روند. گاز متان و الکل اتیلیک (اتانول) از مهمترین فرآورده‌های فناوری‌های هضم بی‌هوازی و اتانول به‌وسیله تخمیر الکلی هستند (گوران و همکاران^۱، ۲۰۱۸).

۵. روش تحقیق

به منظور شناخت هر چه بهتر فناوری‌های تبدیل پسماند به سوخت زیستی و به‌دست آوردن داده‌های مورد نیاز برای تجزیه و تحلیل، ابتدا مطالعه جامع و کامل کتابخانه‌ای به روش فراترکیبی، به منظور گردآوری فاکتورهای فنی لازم برای اولویت‌بندی فناوری‌های تبدیل پسماند به سوخت زیستی صورت پذیرفت. سپس با توجه به خصوصیات فنی و مکانیسم عمل فناوری‌ها، فاکتورهای مؤثر در این فرایندها و مشخصات آنها، تعیین و به‌صورت فهرستی و روائی نیمه‌ساختار یافته تهیه گردید. سپس به کمک گروهی از خبرگان به روش گروه کانونی روایی بودن این معیارها سنجیده شد و توسط نظر سنجی از متخصصان و کارشناسان خبره به روش دلفی ضمن تهیه روائی ساختار یافته و تعیین تمامی محورها و فاکتورهای پراهمیت، نتایج نهایی هرکدام از معیارها جهت ارزیابی‌های فنی به‌دست آمد که در انتها با توجه به معیارهای نهایی شده به روش AHP و با کمک نرم افزار Expert Choice اولویت‌بندی چهار فناوری منتخب انجام گرفت. روند انجام مراحل تحقیق در شکل (۲) نمایش داده شده است.

1. Guran et al.



شکل ۲. روند انجام مراحل تحقیق

۵-۱. شناسایی معیارها به روش فراترکیب

همان‌طور که گفته شد، در اولین گام با استفاده از روش فراترکیب معیارهای فنی تعیین گردید. نوبت و هیر، سه فاز اصلی، انتخاب مطالعات، ترکیب ترجمه‌ها و ارائه تلفیق را برای روش فراترکیبی معرفی نمودند. در حالی که باروس و ساندوسکی روشی هفت گامی را معرفی کرده‌اند. در این پژوهش، از روش هفت مرحله‌ای باروس و ساندوسکی استفاده شده است. این هفت مرحله شامل، تنظیم سؤال پژوهش، مرور ادبیات به شکل سیستماتیک، جستجو و انتخاب متون مناسب، استخراج اطلاعات متون، تجزیه و تحلیل و ترکیب یافته‌های کیفی، کنترل کیفیت و ارائه یافته‌ها می‌گردد (پترسون و همکاران^۱، ۲۰۰۱؛ زیمر^۲، ۲۰۰۶).

1. Paterson et al.
2. Zimmer

۵-۲. تعیین پارامترهای اصلی به روش گروه متمرکز (Focus Group)

جهت اطمینان از روایی بودن معیارهای فنی منتخب به روش فراترکیبی که در جدول (۴) آمده است، از روش گروه کانونی استفاده گردیده است که در این گروه از ۱۰ تن از کارشناسان و متخصصین رشته‌های متفاوت چون مهندسی برق، مهندسی مکانیک، مهندسی شیمی و مهندسی محیط زیست استفاده گردید.

جدول ۴. معیارها تعیین شده به روش فراترکیبی

ردیف	معیارها
۱	نیاز به پردازش مواد خام
۲	دما و فشار
۳	راهبری فرایند
۴	درجه پیچیدگی فرایند
۵	راندمان فرایند
۶	قابلیت حمل و نقل سوخت‌زیستی حاصله
۷	سازگاری با امکانات تبدیل و مصرف انرژی
۸	سازگاری با مواد خام و نیاز به ماده کمکی
۹	امکان بومی سازی فناوری

مأخذ: نتایج تحقیق

۶. تجزیه و تحلیل داده‌ها به روش تحلیل سلسله مراتبی AHP

فرایند تحلیل سلسله مراتبی در پنج مرحله اصلی شامل تشکیل درخت سلسله مراتبی، مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیارهای تحقیق، مقایسه زوجی معیارها نسبت به هم، عملیات محاسبه داده‌ها، تحلیل حساسیت و نرخ ناسازگاری ترسیم و اجرا گردیده است.

قبل از شروع مراحل مذکور، تصمیم‌گیری در خصوص نهایی نمودن معیارهای تأثیرگذار از میان معیارهایی که به روش فراترکیب و گروه متمرکز انتخاب شده‌اند و براساس آنها گزینه‌های

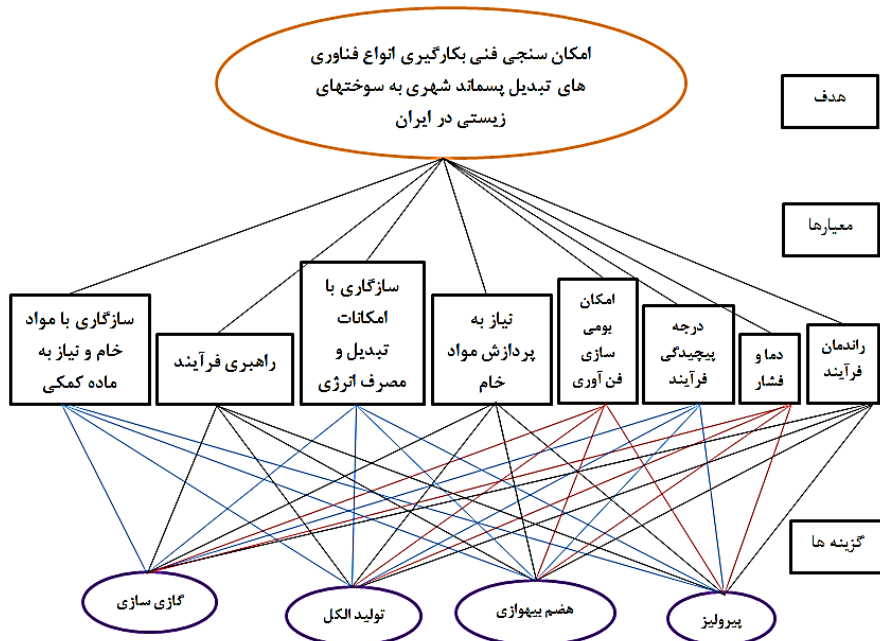
رقیب (فناوری‌های هضم بی‌هوازی، تخمیر الکلی، پیرولیز و گازی کردن) بایستی با همدیگر مقایسه شوند، انجام می‌پذیرد. تعیین این معیارها در تصمیمات انفرادی چندان مشکل نیست چرا که خود تصمیم‌گیرنده این عوامل را به شخصه تعیین می‌کند. در حالی که ممکن است این عوامل در تصمیم‌گیری‌های گروهی به دلیل اختلاف علائق و تخصص افراد متعدد باشد؛ در این مرحله استفاده از فنون معمول تصمیم‌گیری گروهی بسیار کارساز است که تکنیک متداول در روش تحلیل سلسله‌مراتبی تکنیک دلفی است.

پس از شناسایی فاکتورها و مؤلفه‌های مورد نیاز برای بررسی فنی فناوری‌ها، با بهره‌گیری از نظرات ۵ تن از افراد خبره، فاکتورهای مذکور امتیازدهی و وزن دهی گردید و با استفاده از پرسشنامه در روش دلفی، نظرات خبرگان حاصل شد. برای تهیه پرسشنامه در این مرحله از مقایسه زوجی گزینه‌ها و برای امتیاز دهی نیز شماره گذاری ۱ تا ۱۰ بترتیب اولویت استفاده شده است. در مرحله نخست با متوسط‌گیری شاخص‌ها عواملی که نمره کمتر از ۷ را احراز کرده بودند، یعنی معیار "قابلیت حمل و نقل سوخت‌زیستی حاصله" از لیست شاخص‌ها اصلی خارج می‌گردد (قدسی‌پور، ۱۳۹۵).

۶-۱. تشکیل درخت سلسله‌مراتب

در روش AHP بعد از تعیین معیارها، اولین قدم تشکیل درخت سلسله‌مراتب است که در این تحقیق مطابق شکل (۳) ترسیم شده است. درخت سلسله‌مراتب با توجه به مسأله تحت بررسی دارای سطوح متعدد است. این تحقیق شامل سه سطح بوده، که سطح اول هر درخت بیان‌کننده هدف تصمیم‌گیری، سطح آخر نیز بیان‌کننده گزینه‌هایی است که با همدیگر مقایسه می‌شوند و برای انتخاب در رقابت با همدیگر هستند و سطح (میانی) نشان‌دهنده فاکتورها (معیارهایی) است که ملاک مقایسه گزینه‌ها می‌باشد. هدف این تحقیق تعیین اولویت فناوری‌های تبدیل پسماند شهری به سوخت‌زیستی در کشور می‌باشد. گزینه‌ها شامل چهار فناوری متداول در جهان (هضم بی‌هوازی، تولید الکل، گازی کردن و پیرولیز) که برای تبدیل پسماند به سوخت‌زیستی قابل اجرا است. معیارها نیز که ۸ مورد بوده و شامل نیاز به پردازش مواد خام، دما و فشار، راهبری فرآیند،

درجه پیچیدگی فرآیند، راندمان فرآیند، سازگاری با امکانات تبدیل و مصرف انرژی، سازگاری با مواد خام و نیاز به ماده کمکی و امکان بومی سازی فناوری می‌شود. عملیات ریاضی AHP در قالب دو مرحله مقایسات زوجی گزینه‌ها نسبت به معیارها و مقایسات زوجی معیارها نسبت به هم ادامه می‌یابد.



شکل ۳. درخت سلسله مراتبی تحقیق

۲-۶. مقایسات زوجی گزینه‌ها نسبت به معیارها

جدول‌های مقایسه‌ای براساس درخت سلسله مراتب شکل (۳) از پایین به بالا تهیه می‌شوند، به عبارت دیگر، گزینه‌های رقیب در سطح ۳ باید به واسطه هر یک از عوامل (معیارها) در سطح ۲ مورد مقایسه دو به دو قرار گیرند. مقایسه دو به دو با استفاده از مقیاسی که از ترجیح یکسان تا بی‌اندازه مرجح، طراحی شده است انجام می‌گیرد.

در AHP عناصر هر سطح نسبت به یکدیگر به صورت زوجی (دوبه دویی) مقایسه شده و وزن دهی می‌شوند. مقایسه و وزن دهی به عناصر در یک ماتریس $K \times K$ ثبت می‌شود. در این

بررسی یک ماتریس 8×8 برای سطح ۲ و یک ماتریس 4×4 برای سطح ۳ مقایسه زوجی به صورت ارزش‌گذاری عنصر سطر نسبت به عنصر ستون صورت می‌گیرد و برای ارزش‌گذاری نیز معمولاً از یک مقیاس فاصله‌ای از ۱ تا ۹ استفاده می‌شود. هر چه مقدار ارزش داده شده بیشتر باشد نشان‌دهنده اهمیت و ارجحیت بیشتر عنصر سطر نسبت به عنصر ستونی است. به طوری که ارزش ۹ بیانگر کاملاً مهمتر و ارزش یک بیانگر با ارجحیت و اهمیت یکسان است. لازم به ذکر است که ماتریس مقایسه زوجی یک ماتریس معکوس است. هشت جدول مانند جدول ۵ جهت اخذ نظرات خبرگان به منظور مقایسات زوجی گزینه‌ها براساس معیارهای منتخب مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول ۵. مقایسه زوجی فناوری‌ها (گزینه‌ها) براساس معیار توسط خبرگان

گزینه	انتخاب اولویت‌های متوسط مقایسه زوجی فناوری‌ها (گزینه‌ها) براساس معیار توسط خبرگان														گزینه			
	بشکل کلی																	
پیرولیز بی‌هوازی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	پیرولیز
گازی کردن	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	پیرولیز
تولید الکل	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	پیرولیز
گازی کردن	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	هضم بی‌هوازی
تولید الکل	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	هضم بی‌هوازی
تولید الکل	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	گازی کردن

مأخذ: نتایج تحقیق

۳-۶. ماتریس مقایسات زوجی نظرات واحدی خبرگان

پس از مشخص شدن نتایج نظر سنجی، ماتریس مقایسات زوجی انواع فناوری‌های پیرولیز، هضم بی‌هوازی، گازی کردن و تولید الکل با توجه به معیارهای تأثیرگذار تهیه و تأثیر هر کدام از معیارهای مورد سنجش در هریک از فناوری‌ها اعمال می‌شود. تشکیل ماتریس و نتایج مقایسه زوجی سیستم‌ها در انواع معیارها در نظر سنجی هریک از خبرگان صورت پذیرفت که نتیجه

بررسی کلی تحت عنوان ماتریس میانگین از میان کلیه نظرها تشکیل می‌گردد. به‌طور نمونه برای دو معیار از میان هشت معیار، ماتریس میانگین در جدول ۶ آورده شده است.

جدول ۶. مقایسات زوجی نظرات واحدی خبرگان

نیاز به پردازش مواد خام	پیرولیز	هضم بی‌هوازی	گازی سازی	تولید الکل	دما و فشار	پیرولیز	هضم بی‌هوازی	گازی سازی	تولید الکل
پیرولیز	۱	۰/۳۳	۱	۰/۳۳	پیرولیز	۱	۷	۰/۲	۴
هضم بی‌هوازی	۳	۱	۳	۰/۵	هضم بی‌هوازی	۰/۱۴	۱	۰/۱۷	۰/۵
گازی سازی	۱	۰/۳۳	۱	۰/۳۳	گازی سازی	۵	۶	۱	۶
تولید الکل	۳	۲	۳	۱	تولید الکل	۰/۲۵	۲	۰/۱۷	۱

مأخذ: نتایج تحقیق

۶-۴. مرحله دوم مقایسات زوجی معیارها نسبت به همدیگر

در این مرحله هریک از معیارها نسبت به سایر معیار از لحاظ درجه اهمیت مورد مقایسه و نظر سنجی واقع گردیده‌اند. نتایج حاصله از این نظرسنجی گروهی بشرح جدول ۷ می‌باشد.

جدول ۷. مقایسات زوجی معیارها نسبت به همدیگر

معیار j	اولویت‌های میانگین منتخب گروهی									معیار i								
دما و فشار	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	نیاز به پردازش مواد خام
راهبری فرایند	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	
درجه پیچیدگی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	
راندمان فرایند	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	
سازگاری با امکانات تبدیل و مصرف انرژی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	
سازگاری با مواد خام و نیاز به ماده کمکی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	
امکان بومی سازی فناوری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	دما و فشار
راهبری فرایند	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	
درجه پیچیدگی فرایند	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	
راندمان فرایند	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	
سازگاری با امکانات تبدیل و مصرف انرژی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	
سازگاری با مواد خام و نیاز به ماده کمکی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	
امکان بومی سازی فناوری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	راهبری فرایند
درجه پیچیدگی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	

معیار j	اولویت‌های میانگین منتخب گروهی										معیار i							
راندمان فرایند	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	
سازگاری با امکانات تبدیل و مصرف انرژی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	
سازگاری با مواد خام و نیاز به ماده کمکی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	
امکان بومی سازی فناوری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	
راندمان فرایند	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	درجه پیچیدگی
سازگاری با امکانات تبدیل و مصرف انرژی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	
سازگاری با مواد خام و نیاز به ماده کمکی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	
امکان بومی سازی فناوری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	
سازگاری با امکانات تبدیل و مصرف انرژی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	راندمان فرایند
سازگاری با مواد خام و نیاز به ماده کمکی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	
امکان بومی سازی فناوری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	
سازگاری با مواد خام و نیاز به ماده کمکی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	سازگاری با امکانات تبدیل و مصرف انرژی
امکان بومی سازی فناوری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	
امکان بومی سازی فناوری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	سازگاری با مواد خام و نیاز به ماده کمکی

مأخذ: نتایج تحقیق

۵-۶. تشکیل ماتریس نظرات گروهی

با توجه به نتایج به دست آمده اقدام به تشکیل و ساختار ماتریس مقایسه معیارها نسبت به یکدیگر با اعمال نظرات کارشناسی خبرگان و اعمال ضریب اهمیت شناخت کارشناس از فناوری‌ها و معیارهای تأثیر گذار با توجه به گزینش و پرسش از خبرگان و سنجش تأثیر درجه اهمیت معیارها نسبت بهم صورت می‌گیرد. طبیعتاً این نتایج برگرفته از نظرسنجی‌های خبرگان این فن بوده و تأثیر متقابل هریک از معیارها نسبت به همدیگر مقایسه و امتیازدهی شده‌اند. با جمع‌بندی میانگین نتایج نظرات گروهی در هر شاخصه نسبت معیارهای تأثیرگذار مشخص و ماتریس داده‌ها در جدول ۸ نشان داده شده است.

۶-۶. عملیات ریاضی

در پی تشکیل ماتریس‌های میانگین مقایسات فرایندها با در نظر گرفتن معیارها نسبت به هم و ماتریس میانگین مقایسات معیارها، محاسبات ریاضی مقایسات زوجی با لحاظ جدول مقایسات از پایین به بالا تنظیم می‌شوند به عبارتی دیگر گزینه‌های رقیب در سطح ۳ باید به واسطه هریک از معیارها در سطح ۲ مورد مقایسه دو به دو قرار گیرند. ماتریس مقایسه‌ای یک ماتریس معکوس است.

جدول ۸. ماتریس نظرات گروهی مقایسه معیارها نسبت به همدیگر

مقایسه معیارها	معیار ۱	معیار ۲	معیار ۳	معیار ۴	معیار ۵	معیار ۶	معیار ۷	معیار ۸
نیاز به پردازش مواد خام	۱	۲	۰/۲۵	۰/۲	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۱۷	۰/۱۳
دما و فشار	۰/۵	۱	۰/۲	۰/۱۷	۰/۲	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۴
راهبری فرایند	۴	۵	۱	۰/۳۳	۰/۵	۱	۱	۰/۳۳
درجه پیچیدگی فرایند	۵	۶	۳	۱	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵
راندمان فرایند	۴	۵	۲	۲	۱	۳	۳	۲

مقایسه معیارها	معیار ۱	معیار ۲	معیار ۳	معیار ۴	معیار ۵	معیار ۶	معیار ۷	معیار ۸
سازگاری با امکانات تبدیل و مصرف انرژی	۴	۶	۱	۲	۰/۳	۱	۲	۰/۵
سازگاری با مواد خام و نیاز به ماده کمکی	۶	۶	۱	۲	۰/۳۳	۰/۵	۱	۰/۳۳
امکان بومی‌سازی فناوری	۸	۷	۳	۲	۰/۵	۳	۳	۱

مأخذ: نتایج تحقیق

گام اول: محاسبه واحد سازی نظرات خبرگان

- روش استفاده از میانگین هندسی

مقیاسات زوجی براساس نسبت آرایه می‌شود از نظر ریاضی بهترین گزینه میانگین هندسی (جدول ۹) است، از طرفی معکوس بودن ماتریس مقایسه‌ای بهترین توجیه بر این انتخاب است. ساتی و اکزل نشان دادند که این روش خاصیت معکوس بودن ماتریس را حفظ می‌کند.

$$\bar{a}_{ij} = \left(\prod_{k=1}^N a_{ij}^{(k)} \right)^{1/N} \quad (1)$$

رابطه ۱ با فرض یکسان بودن اهمیت نظر دهندگان اعمال می‌شود. در صورتی که صائب بودن نظرات از متخصصین با ضرایبی متفاوت مطرح شود رابطه ۱ به رابطه ۲ تبدیل خواهد شد. (تعداد خبره، $N=6$)

$$\bar{a}_{ij} = \left(\prod_{k=1}^L a_{ij}^{W_k} \right)^{1/N} \quad (2)$$

$$\sum_{K=1}^L W_k = N$$

W_k میزان اوزان نظرات متخصصین:

اوزان نظرات متخصصان و خبرگان براساس تجارب کاری و دانش فنی ارزیابی و نسبت دهی گردیده است.

جدول ۹. ماتریس مقایسه سیستمها از نظر گروه

معیار شماره ۱	تولید الکترولیت	تولید گاز	تولید الکترولیت	تولید الکترولیت
پیرولیز	۱	۰/۳	۰/۸۹	۰/۳۸
هضم بی‌هوازی	۳/۳	۱	۲/۳۳	۰/۸۹
گازی سازی	۱/۱۲	۰/۴۳	۱	۰/۳۶
تولید الکترولیت	۲/۶۴	۱/۱۲	۲/۷۵	۱
SUM:	۸/۰۶	۲/۸۵	۶/۹۸	۲/۶۳

مأخذ: نتایج تحقیق

گام دوم: استخراج اولویت‌ها از جداول مقایسات گروهی

بخش اول نرمال‌سازی شامل استخراج اولویت‌ها از جدول مقایسه گروهی: صرفاً جدول‌های مقایسه گروه‌ها در نظر گرفته می‌شود و از مفهوم نرمال‌سازی و میانگین موزون استفاده می‌گردد. جدول ۱۰ در بخش موردی "نیاز به پردازش مواد خام" در نظر گرفته شده است.

$$r_{ij} = \frac{\bar{a}_{ij}}{\sum_{k=1}^m \bar{a}_{ik}} \quad (3)$$

مثال = $\frac{1}{8.06} = 0.124$

جدول ۱۰. نرمال‌سازی به منظور استخراج اولویت‌ها از جدول مقایسه گروهی

معیار شماره ۱	پیرولیز	هضم بی‌هوازی	گازی سازی	تولید الکل
پیرولیز	۰/۱۲۴	۰/۱۰۶	۰/۱۲۸	۰/۱۴۴
هضم بی‌هوازی	۰/۴۱۰	۰/۳۵۰	۰/۳۳۵	۰/۳۳۸
گازی سازی	۰/۱۳۹	۰/۱۵۰	۰/۱۴۳	۰/۱۳۸
تولید الکل	۰/۳۲۷	۰/۳۹۳	۰/۳۹۴	۰/۳۸۰
SUM:	۱	۱	۱	۱

مأخذ: نتایج تحقیق

بخش دوم محاسبه میانگین موزون: در این بخش حاصل ضرب سطری تعداد سیستم‌ها به توان معکوس تعداد سیستم‌ها صورت گرفته و استخراج اولویت‌ها مطابق جدول ۱۱ نتایج بیان می‌گردد

تعداد سیستم $N=4$

روش محاسبه مطابق مثال زیر در ردیف اول جدول برای فناوری پیرولیز محاسبه شده که روش محاسبه میانگین موزون برای سایر فناوری‌ها به همین ترتیب خواهد بود.

$$\text{مثال} = (0.124 \times 0.106 \times 0.128 \times 0.144)^{\frac{1}{4}} = 0.1247$$

جدول ۱۱. استخراج اولویت‌ها

۰/۱۲۴۷

۰/۳۵۷۰

۰/۱۴۲۶

۰/۳۷۲۵

SUM: ۱

مأخذ: نتایج تحقیق

به ترتیب با اعمال روش فوق برای هفت معیار دیگر عمل نموده و نتایج مقایسات ماتریسی بشرح زیر ارائه می‌شود.

معیار ۲	پیرولیز	هضم بی‌هوازی	گازی سازی	تولید الکل
پیرولیز	۱	۵/۴۱	۰/۵	۳/۰۵
هضم بی‌هوازی	۰/۱۸	۱	۰/۲۶	۰/۶۶
گازی سازی	۱/۹۹	۳/۸۵	۱	۳/۶۱
تولید الکل	۰/۳۳	۱/۵۱	۰/۲۸	۱
SUM:	۳/۵۱	۱۱/۷۷	۲/۰۴	۸/۳۲

معیار ۲	پیرولیز	هضم بی‌هوازی	گازی سازی	تولید الکل	اولویت‌ها
پیرولیز	۰/۲۸۵	۰/۴۶۰	۰/۲۴۶	۰/۳۶۹	۰/۳۲۹۸
هضم بی‌هوازی	۰/۰۵۳	۰/۰۸۵	۰/۱۲۸	۰/۰۷۹	۰/۰۸۲۰
گازی سازی	۰/۵۶۹	۰/۳۲۷	۰/۴۹۱	۰/۴۳۹	۰/۴۴۵۹
تولید الکل	۰/۰۹۳	۰/۱۲۹	۰/۱۳۶	۰/۱۲۰	۰/۱۱۸۳
SUM:	۱	۱	۱	۱	۰/۹۸

معیار ۳	پیرولیز	هضم بی‌هوازی	گازی سازی	تولید الکل
پیرولیز	۱	۱/۱۳	۰/۶۶	۰/۸۱
هضم بی‌هوازی	۰/۸۸	۱	۰/۷۶	۱
گازی سازی	۱/۵۱	۱/۳۲	۱	۱/۲۳
تولید الکل	۱/۲۳	۱	۰/۸۱	۱
SUM:	۴/۶۲	۴/۴۵	۳/۲۳	۴/۰۵

اولویت ها	تولید الکل	سازگی سازی	بی هوازی هضم	پیرولیز	معیار ۳
۰/۲۱۸۱	۰/۲۰۱	۰/۲۰۵	۰/۲۵۴	۰/۲۱۶	پیرولیز
۰/۲۲۳۴	۰/۲۴۷	۰/۲۳۵	۰/۲۲۵	۰/۱۹۱	هضم بی هوازی
۰/۳۰۹۲	۰/۳۰۵	۰/۳۱۰	۰/۲۹۶	۰/۳۲۷	گازی سازی
۰/۲۴۶۷	۰/۲۴۷	۰/۲۵۱	۰/۲۲۵	۰/۲۶۶	تولید الکل
۱	۱	۱	۱	۱	SUM:

تولید الکل	سازگی سازی	بی هوازی هضم	پیرولیز	معیار ۴
۱/۵۴	۰/۷۸	۳/۶۲	۱	پیرولیز
۱/۲۶	۰/۲۸	۱	۰/۲۸	هضم بی هوازی
۳/۲۴	۱	۳/۶۰	۱/۲۸	گازی سازی
۱	۰/۳۱	۰/۷۹	۰/۶۵	تولید الکل
۷/۰۳	۲/۳۷	۹/۰۱	۳/۲۱	SUM:

اولویت ها	تولید الکل	سازگی سازی	بی هوازی هضم	پیرولیز	معیار ۴
۰/۳۰۸۰	۰/۲۱۸	۰/۳۲۹	۰/۴۰۲	۰/۳۱۱	پیرولیز
۰/۱۱۹۰	۰/۱۷۹	۰/۱۱۸	۰/۱۱۱	۰/۰۸۶	هضم بی هوازی
۰/۴۱۹۸	۰/۴۶۰	۰/۴۲۳	۰/۳۹۹	۰/۴۰۰	گازی سازی
۹/۱۳۴۹	۰/۱۴۲	۰/۱۳۱	۰/۰۸۸	۰/۲۰۳	تولید الکل
۰/۹۸	۱	۱	۱	۱	SUM:

معیار ۵	پیرولیز	بی‌هوازی هضم	گازی سازی	تولید الکل
پیرولیز	۱	۱/۱۷	۰/۴۳	۱/۵۵
هضم بی‌هوازی	۰/۸۵	۱	۰/۴۰	۰/۸۹
گازی سازی	۲/۳۳	۲/۵۲	۱	۲/۵۷
تولید الکل	۰/۶۴	۱/۱۲	۳	۱
SUM:	۴/۸۳	۵/۸۲	۲/۲۲	۶/۰۱

معیار ۵	پیرولیز	بی‌هوازی هضم	گازی سازی	تولید الکل	اولویت‌ها
پیرولیز	۰/۲۰۷	۰/۲۰۲	۰/۱۹۴	۰/۲۵۸	۰/۲۱۳۹
هضم بی‌هوازی	۰/۱۷۶	۰/۱۷۲	۰/۱۷۹	۰/۱۴۸	۰/۱۶۸۴
گازی سازی	۰/۴۸۳	۰/۴۳۳	۰/۴۵۱	۰/۴۲۷	۰/۴۴۸۲
تولید الکل	۰/۱۳۳	۰/۱۹۳	۰/۱۷۶	۰/۱۶۶	۰/۱۶۵۶
SUM:	۱	۱	۱	۱	۱

معیار ۶	پیرولیز	بی‌هوازی هضم	گازی سازی	تولید الکل
پیرولیز	۱	۰/۲۸	۰/۳۲	۰/۷۱
هضم بی‌هوازی	۳/۵۳	۱	۱/۱۲	۲/۷۵
گازی سازی	۳/۱۵	۰/۸۹	۱	۳/۳۶
تولید الکل	۱/۴۱	۰/۳۶	۰/۳۰	۱
SUM:	۹/۰۹	۲/۵۴	۲/۷۴	۷/۸۲

اولویت ها	تولید الکل	گازی سازی	بی‌هوازی هضم	پیرولیز	معیار ۶
۰/۱۰۶۶	۰/۰۹۰	۰/۱۱۶	۰/۱۱۲	۰/۱۱۰	پیرولیز
۰/۳۸۵۳	۰/۳۵۲	۰/۴۱۰	۰/۳۹۴	۰/۳۸۸	هضم بی‌هوازی
۰/۳۷۱۷	۰/۴۳۰	۰/۳۶۵	۰/۳۵۱	۰/۳۴۶	گازی سازی
۰/۱۳۲۷	۰/۱۲۸	۰/۱۰۹	۰/۱۴۳	۰/۱۵۶	تولید الکل
۱	۱	۱	۱	۱	SUM:

تولید الکل	گازی سازی	بی‌هوازی هضم	پیرولیز	معیار ۷
۱/۰۳	۱/۱۲	۲/۵۷	۱	پیرولیز
۱/۳۵	۰/۸۶	۱	۰/۳۹	هضم بی‌هوازی
۱	۱	۱/۱۶	۰/۸۹	گازی سازی
۱	۱	۰/۷۴	۰/۹۷	تولید الکل
۴/۴۸	۲/۹۸	۵/۴۸	۳/۲۵	SUM:

اولویت ها	تولید الکل	گازی سازی	بی‌هوازی هضم	پیرولیز	معیار ۷
۰/۳۱۲۹	۰/۲۳۵	۰/۲۸۲	۰/۴۶۹	۰/۳۰۸	پیرولیز
۰/۱۹۵۲	۰/۳۰۸	۰/۲۱۶	۰/۱۸۳	۰/۱۲۰	هضم بی‌هوازی
۰/۲۴۰۵	۰/۲۲۸	۰/۲۵۱	۰/۲۱۳	۰/۲۷۴	گازی سازی
۰/۲۱۹۵	۰/۲۲۸	۰/۲۵۱	۰/۱۳۵	۰/۲۹۸	تولید الکل
۰/۹۷	۱	۱	۱	۱	SUM:

معیار ۸	پیرولیز	هضم بی‌هوازی	گازی سازی	تولید الکل
پیرولیز	۱	۰/۲۱	۱/۱۲	۰/۳۹
هضم بی‌هوازی	۴/۶۸	۱	۴/۵۶	۱/۸۵
گازی سازی	۰/۸۹	۰/۲۲	۱	۰/۴۲
تولید الکل	۲/۵۶	۰/۵۴	۲/۳۷	۱
SUM:	۹/۱۳	۱/۹۷	۹/۰۵	۳/۶۶

معیار ۸	پیرولیز	هضم بی‌هوازی	گازی سازی	تولید الکل	اولویت‌ها
پیرولیز	۰/۱۱۰	۰/۱۰۸	۰/۱۲۴	۰/۱۰۷	۰/۱۱۱۹
هضم بی‌هوازی	۰/۵۱۳	۰/۵۰۷	۰/۵۰۴	۰/۵۰۵	۰/۵۰۷۰
گازی سازی	۰/۰۹۸	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۱۱۵	۰/۱۰۸۴
تولید الکل	۰/۲۸۰	۰/۲۷۴	۰/۲۶۱	۰/۲۷۳	۰/۲۷۲۱
SUM:	۱	۱	۱	۱	۱

– مقایسات معیارها (شاخص‌ها)

در قسمت مقایسات معیارها (شاخص‌ها) با اعمال ضریب اهمیت به نظرات خبرگان عمل نموده و نتایج آن بشرح جدول ۱۲ مطابق توضیحات ذکر شده جهت اعمال نظر واحد ارایه می‌گردد.

خبره	۱خ	۲خ	۳خ	۴خ	۵خ	۶خ
درجه اهمیت	۲	۲	۱	۲	۳	۳

$N = 6$ تعداد گروه خبره

تعداد گروه خبره (N) = ۶ نفر $= (1^2 \times 3^1 \times 5^1 \times 1^2 \times 1^3 \times 1^3)^{\frac{1}{6}} = 2.22$ مثال

جدول ۱۲. مقایسات معیارها (شاخص‌ها)

مقایسه معیارها	معیار ۱	معیار ۲	معیار ۳	معیار ۴	معیار ۵	معیار ۶	معیار ۷	معیار ۸
معیار ۱	۱	۲/۲۲	۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۱۰	۰/۰۵	۰/۰۳
معیار ۲	۰/۴۵	۱	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۲
معیار ۳	۱۲/۲۲	۲۰/۵۵	۱	۰/۱۷	۰/۳۰	۰/۵۰	۰/۶۵	۰/۱۰
معیار ۴	۲۲/۹۰	۳۹/۰۷	۵/۹۰	۱	۰/۶۷	۰/۳۶	۰/۳۹	۰/۵۹
معیار ۵	۱۴/۸۷	۲۴/۰۸	۳/۳۳	۱/۵۰	۱	۴/۹۳	۶/۰۴	۰/۹۲
معیار ۶	۱۰/۲۴	۲۹/۵۶	۲	۲/۷	۰/۲۰	۱	۲/۲۹	۰/۴۲
معیار ۷	۲۰/۰۷	۳۲/۶۴	۱/۵۴	۲/۵۵	۰/۱۷	۰/۴۴	۱	۰/۰۹
معیار ۸	۳۸/۳۲	۴۶/۲۳	۹/۹۵	۱/۶۹	۱/۰۹	۲/۳۹	۱۱/۴۹	۱
SUM1:	۱۲۰/۰۶	۱۹۵/۳۵	۲۳/۸۵	۹/۷۷	۳/۵۳	۹/۷۵	۲۱/۹۵	۳/۱۶

مأخذ: نتایج تحقیق

- محاسبات نرمال سازی و میانگین موزون

برای انتخاب بهترین گزینه از اولویت‌های گام دوم شروع و به جای گذاری در جدول ۱۳ پرداخته می‌شود. ارتباط بین فناوری‌ها و معیارها سنجیده شده و حاصل ستونی هر معیار نسبت به فناوری‌ها جمع می‌گردد.

جدول ۱۳. خلاصه محاسبات نرمال‌سازی و میانگین موزون برای انتخاب بهترین گزینه

	معیار ۱	معیار ۲	معیار ۳	معیار ۴	معیار ۵	معیار ۶	معیار ۷	معیار ۸
پیرولیز	۰/۱۲۵	۰/۳۳۰	۰/۲۱۸	۰/۳۰۸	۰/۲۱۴	۰/۱۰۷	۰/۳۱۳	۰/۱۱۲
هضم بی‌هوازی	۰/۳۵۷	۰/۰۸۲	۰/۲۲۳	۰/۱۱۹	۰/۱۶۸	۰/۳۸۵	۰/۱۹۵	۰/۵۰۷
گازی سازی	۰/۱۴۳	۰/۴۴۶	۰/۳۰۹	۰/۴۲۰	۰/۴۴۸	۰/۳۷۲	۰/۲۴۰	۰/۱۰۸
تولید الکل	۰/۳۷۳	۰/۱۱۸	۰/۲۴۷	۰/۱۳۵	۰/۱۶۶	۰/۱۳۳	۰/۲۱۹	۰/۲۷۲
SUM2:	۰/۹۹۷	۰/۹۷۶	۰/۹۹۷	۰/۹۸۲	۰/۹۹۶	۰/۹۹۶	۰/۹۶۸	۰/۹۹۹
SUM1:	۱۲۰/۰۶	۱۹۵/۳۵	۲۳/۸۵	۹/۷۷	۳/۵۳	۹/۷۵	۲۱/۹۵	۳/۱۶

$$SUM2 / SUM1 = 0.008 \quad 0.005 \quad 0.042 \quad 0.101 \quad 0.282 \quad 0.102 \quad 0.044 \quad 0.316$$

در مرحله بعدی با تقسیم حاصل جمع دوم بر روی جمع اول را به مقادیر اولویت‌ها تقسیم نموده و حاصل آن در جدول ۱۴ گردآوری می‌گردد:

$$\text{مثال} = \frac{0.008}{0.125} = 0.001$$

جدول ۱۴. تقسیم حاصل جمع دوم بر روی جمع اول را به مقادیر اولویت‌ها

پیرولیز	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۹	۰/۰۳۱	۰/۰۶	۰/۰۱۱	۰/۰۱۴	۰/۰۳۵	۰/۱۶۳
هضم بی‌هوازی	۰/۰۰۳	۰	۰/۰۰۹	۰/۰۱۲	۰/۰۴۷	۰/۰۳۹	۰/۰۰۹	۰/۱۶	۰/۲۸۰
گازی سازی	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۱۳	۰/۰۴۲	۰/۱۲۶	۰/۰۳۸	۰/۰۱۱	۰/۰۳۴	۰/۲۶۷
تولید الکل	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱۴	۰/۰۴۷	۰/۰۱۴	۰/۰۱	۰/۰۸۶	۰/۱۸۵

مأخذ: نتایج تحقیق

گام سوم : انتخاب بهترین گزینه

در انتها سطرهای جدول ۱۴ را جمع نموده و ماکزیمم به عنوان بهترین گزینه انتخاب می‌گردد. نتیجه محاسبات نشان می‌دهد که مطابق جدول ۱۵ هضم بی‌هوازی از نظر فنی برای مدیریت پسماندهای شهری در اولویت می‌باشد. در این محاسبات مشخص گردید که فناوری هضم بی‌هوازی برپایه محاسبات نرمال‌سازی و میانگین موزون برای انتخاب بهترین گزینه در رتبه نخست و فناوری گازی‌سازی در رتبه بعدی و فناوری‌های تولید الکل و پیرولیز در اولویت‌های سوم و چهارم در کشور قرار می‌گیرند.

جدول ۱۵. انتخاب ماکزیمم به عنوان بهترین گزینه

پیرولیز	۰/۱۶۳
هضم بی‌هوازی	۰/۲۸۰
گازی‌سازی	۰/۲۶۸
تولید الکل	۰/۱۸۳

Ok

مأخذ: نتایج تحقیق

گام چهارم : محاسبه نرخ سازگاری

نرخ سازگاری در روش AHP شاخصی است که سازگاری مقایسه‌ها را نشان می‌دهد. این نرخ گویای درجه صحت و دقت ارزش‌گذاری‌ها در مقایسات زوجی است، چنانچه نرخ مذکور برابر و کمتر از ۱/۰ باشد می‌توان ارزش‌گذاری‌ها و مقایسات را خوب و صحیح دانست، در غیر این صورت ارزش‌گذاری و مقایسات زوجی باید دوباره انجام گرفته یا اصلاح شود. در جدول‌های ۱۶ و ۱۷ جهت کنترل سازگاری محاسبات انجام شده و تست دقت محاسبه نرخ سازگاری در این مرحله انجام می‌شود.

الف) محاسبه بردار مجموع وزنی MSV

$$= 1 \times 0/125 + 0/303 \times 0/357 + 0/891 \times 0/143 + 0/379 \times 0/373 = 0/501$$

جدول ۱۶. محاسبه بردار مجموع وزنی MSV

معیار ۱ نیاز به پردازش مواد خام که شامل: (نیاز به خشک کردن، محدودیت اندازه)

اولویت‌ها تولید الکل اولویت‌ها گازی سازی اولویت‌ها هضم بی‌هوازی اولویت‌ها پیرولیز

۱	۰/۱۲۵	۳/۳۰۲	۰/۱۲۵	۱/۱۲۲	۰/۱۲۵	۲/۶۳۷	۰/۱۲۵
۰/۳۰۳	۰/۳۵۷	۱	۰/۳۵۷	۰/۴۲۸	۰/۳۵۷	۱/۱۲۲	۰/۳۵۷
۰/۸۹۱	۰/۱۴۳	۲/۳۳۵	۰/۱۴۳	۱	۰/۱۴۳	۲/۷۴۹	۰/۱۴۳
۰/۳۷۹	۰/۳۷۳	۰/۸۹۱	۰/۳۷۳	۰/۳۶۴	۰/۳۷۳	۱	۰/۳۷۳
	<u>۰/۵۰۱</u>		<u>۱/۴۳۴</u>		<u>۰/۵۷۱</u>		<u>۱/۴۹۴</u>

دما و فشار

معیار ۲

۱	۰/۳۳۰	۰/۱۸۵	۰/۳۳۰	۱/۹۹۵	۰/۳۳۰	۰/۳۲۸	۰/۳۳۰
۵/۴۱۵	۰/۰۸۲	۱	۰/۰۸۲	۳/۸۴۷	۰/۰۸۲	۱/۵۱۳	۰/۰۸۲
۰/۵۰۱	۰/۴۴۶	۰/۲۶۰	۰/۴۴۶	۱	۰/۴۴۶	۰/۲۷۷	۰/۴۴۶
۳/۰۵۳	۰/۱۱۸	۰/۶۶۱	۰/۱۱۸	۳/۶۰۸	۰/۱۱۸	۱	۰/۱۱۸
	<u>۱/۳۵۹</u>		<u>۰/۳۳۷</u>		<u>۱/۸۴۶</u>		<u>۰/۴۷۴</u>

راهبری فرایند که شامل: (کنترل فرایند، افزودن مواد کمکی، نیاز به پالایش و بهسازی

معیار ۳

سوخت‌زیستی حاصله)

۱	۰/۲۱۸	۰/۸۸۴	۰/۲۱۸	۱/۵۱۳	۰/۲۱۸	۱/۲۲۸	۰/۲۱۸
۱/۱۲۲	۰/۲۲۳	۱	۰/۲۲۳	۱/۳۱۸	۰/۲۲۳	۱	۰/۲۲۳
۰/۶۶۱	۰/۳۰۹	۰/۷۵۹	۰/۳۰۹	۱	۰/۳۰۹	۰/۸۱۲	۰/۳۰۹
۰/۸۱۴	۰/۲۴۷	۱	۰/۲۴۷	۱/۲۳۲	۰/۲۴۷	۱	۰/۲۴۷
	<u>۰/۸۷۶</u>		<u>۰/۸۹۷</u>		<u>۱/۲۳۸</u>		<u>۰/۹۸۹</u>

مأخذ: نتایج تحقیق

معیار ۴							
درجه پیچیدگی فرایند							
۱	۰/۳۰۸	۰/۲۷۶	۰/۳۰۸	۱/۲۸۵	۰/۳۰۸	۰/۶۵۱	۰/۳۰۸
۳/۶۲۵	۰/۱۱۹	۱	۰/۱۱۹	۳/۵۹۵	۰/۱۱۹	۰/۷۹۴	۰/۱۱۹
۰/۷۷۸	۰/۴۲۰	۰/۲۷۸	۰/۴۲۰	۱	۰/۴۲۰	۰/۳۰۹	۰/۴۲۰
۱/۵۳۶	۰/۱۳۵	۱/۲۶۰	۰/۱۳۵	۳/۲۳۸	۰/۱۳۵	۱	۰/۱۳۵
	<u>۱/۲۷۳</u>		<u>۰/۴۹۱</u>		<u>۱/۶۸۰</u>		<u>۰/۵۶۰</u>

معیار ۵							
راندمان فرایند							
۱	۰/۲۱۴	۰/۸۵۱	۰/۲۱۴	۲/۳۳۰	۰/۲۱۴	۰/۶۴۴	۰/۲۱۴
۱/۱۷۵	۰/۱۶۸	۱	۰/۱۶۸	۲/۵۲۰	۰/۱۶۸	۱/۱۲۲	۰/۱۶۸
۰/۴۲۹	۰/۴۴۸	۰/۳۹۷	۰/۴۴۸	۱	۰/۴۴۸	۰/۳۸۹	۰/۴۴۸
۱/۵۵۲	۰/۱۶۶	۰/۸۹۱	۰/۱۶۶	۲/۵۷۰	۰/۱۶۶	۱	۰/۱۶۶
	<u>۳/۵۰۷</u>		<u>۱</u>		<u>۰/۲۴۸</u>		<u>۰/۱۵۶</u>

معیار ۶							
سازگاری با امکانات تبدیل و مصرف انرژی که شامل: (تولید برق، مصارف خانگی)							
۱	۰/۱۰۷	۳/۵۲۵	۰/۱۰۷	۳/۱۴۷	۰/۱۰۷	۱/۴۱۴	۰/۱۰۷
۰/۲۸۴	۰/۳۸۵	۱	۰/۳۸۵	۰/۸۹۱	۰/۳۸۵	۰/۳۶۴	۰/۳۸۵
۰/۳۱۸	۰/۳۷۲	۱/۱۲۲	۰/۳۷۲	۱	۰/۳۷۲	۰/۲۹۸	۰/۳۷۲
۰/۷۰۷	۰/۱۳۳	۲/۷۴۹	۰/۱۳۳	۳/۳۶۰	۰/۱۳۳	۱	۰/۱۳۳
	<u>۰/۴۲۸</u>		<u>۱/۵۴۳</u>		<u>۱/۴۹۶</u>		<u>۰/۵۳۴</u>

سازگاری با مواد خام و نیاز به ماده کمکی که شامل: (حالت فیزیکی و شیمیایی، نوع ماده کمکی

معیار ۷							
(اصلی)							
۱	۰/۳۱۳	۰/۳۸۹	۰/۳۱۳	۰/۸۹۱	۰/۳۱۳	۰/۹۷۰	۰/۳۱۳
۲/۵۷۰	۰/۱۹۵	۱	۰/۱۹۵	۱/۱۶۵	۰/۱۹۵	۰/۷۴۲	۰/۱۹۵
۱/۱۲۲	۰/۲۴۰	۰/۸۵۸	۰/۲۴۰	۱	۰/۲۴۰	۱	۰/۲۴۰
۱/۰۳۱	۰/۲۱۹	۱/۳۴۸	۰/۲۱۹	۱	۰/۲۱۹	۱	۰/۲۱۹
	<u>۳/۵۰۷</u>		<u>۱</u>		<u>۰/۲۴۸</u>		<u>۰/۱۵۶</u>

مأخذ: نتایج تحقیق

امکان بومی سازی فناوری						معیار ۸	
۱	۰/۱۱۲	۴/۶۷۹	۰/۱۱۲	۰/۸۹۱	۰/۱۱۲	۲/۵۵۸	۰/۱۱۲
۰/۲۱۴	۰/۵۰۷	۱	۰/۵۰۷	۰/۲۱۹	۰/۵۰۷	۰/۵۴۱	۰/۵۰۷
۱/۱۲۲	۰/۱۰۸	۴/۵۶۱	۰/۱۰۸	۱	۰/۱۰۸	۲/۳۶۵	۰/۱۰۸
۰/۳۹۱	۰/۲۷۲	۱/۸۴۹	۰/۲۷۲	۰/۴۲۳	۰/۲۷۲	۱	۰/۲۷۲
	۰/۴۴۸		۲/۰۲۹		۰/۴۳۴		۱/۰۸۹

مأخذ: نتایج تحقیق

ب) محاسبه بردار سازگاری C.V

$$= \frac{0.501}{0.125} = 4.018$$

جدول ۱۷. محاسبه بردار سازگاری C.V

				معیار ۱
۰/۵۰۱	۱/۴۳۴	۰/۵۷۱	۱/۴۹۴	
۰/۱۲۵	۰/۳۵۷	۰/۱۴۳	۰/۳۷۳	sum
۴/۰۱۸	۴/۰۱۶	۴/۰۰۴	۴/۰۱۲	۱۶/۰۴۹
				معیار ۲
۱/۳۵۹	۰/۳۳۷	۱/۸۴۶	۰/۴۷۴	
۰/۳۳۰	۰/۰۸۲	۰/۴۴۶	۰/۱۱۸	sum
۴/۱۲۰	۴/۱۰۹	۴/۱۴۱	۴/۰۰۶	۱۶/۳۷۶
				معیار ۳
۰/۸۷۶	۰/۸۹۷	۱/۲۳۸	۰/۹۸۹	
۰/۲۱۸	۰/۲۲۳	۰/۳۰۹	۰/۲۴۷	sum
۴/۰۱۷	۴/۰۱۷	۴/۰۰۳	۴/۰۰۸	۱۶/۰۴۵

۰/۲۷۳	۰/۴۹۱	۱/۶۸۰	۰/۵۶۰	معیار ۴
۰/۳۰۸	۰/۱۱۹	۰/۴۲۰	۰/۱۳۵	sum
۴/۱۳۵	۴/۱۲۳	۴/۰۰۳	۴/۱۴۷	۱۶/۴۰۸
۳/۵۰۷	۱	۰/۲۴۸	۰/۱۵۶	معیار ۵
۰/۲۱۴	۰/۱۶۸	۰/۴۴۸	۰/۱۶۶	sum
۱۶/۳۹۴	۵/۹۳۶	۰/۵۵۳	۰/۹۴۴	۲۳/۸۲۷
۰/۴۲۸	۱/۵۴۳	۱/۴۹۶	۰/۵۳۴	معیار ۶
۰/۱۰۷	۰/۳۸۵	۰/۳۷۲	۰/۱۳۳	sum
۴/۰۱۴	۴/۰۰۵	۴/۰۲۶	۴/۰۲۶	۱۶/۰۷۰
۳/۵۰۷	۱	۰/۲۴۸	۰/۱۵۶	معیار ۷
۰/۳۱۳	۰/۱۹۵	۰/۲۴۰	۰/۲۱۹	sum
۱۱/۲۰۷	۵/۱۲۳	۱/۰۳۲	۰/۷۱۳	۱۸/۰۷۵
۰/۴۴۸	۲/۰۲۹	۰/۴۳۴	۱/۰۸۹	معیار ۸
۰/۱۱۲	۰/۵۰۷	۰/۱۰۸	۰/۲۷۲	sum
۴/۰۰۵	۴/۰۰۱	۴/۰۰۵	۴/۰۰۳	۱۶/۰۱۴

ج) محاسبه λ_{max}

λ_{max} باید به تعداد معیارهای مورد نظر محاسبه شود و بعد از محاسبه آنها رابطه CI، حاصل

می‌گردد و برابر است با میانگین C.V

$$\lambda_{max} = \frac{138.86}{32} = 4.34$$

گام پنجم: محاسبه شاخص سازگاری C.R

$$\lambda_{max} = 4.34, \quad N = 4$$

$$C.I = \frac{\lambda_{max} - N}{N} = \frac{4.34 - 4}{4} = 0.08$$

مقایسه با شاخص سازگاری تصادفی

جدول ۱۸. جدول شاخص سازگاری تصادفی (R.I)

n	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
R.I	۰	۰	۰/۵۸۰	۰/۹۰۰	۱/۱۲۰	۱/۲۴۰	۱/۳۲۰	۱/۴۱۰
n	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶
R.I	۱/۴۵	۱/۴۸	۱/۴۹	۱/۵۱	۱/۵۶	۱/۵۷	۱/۵۹

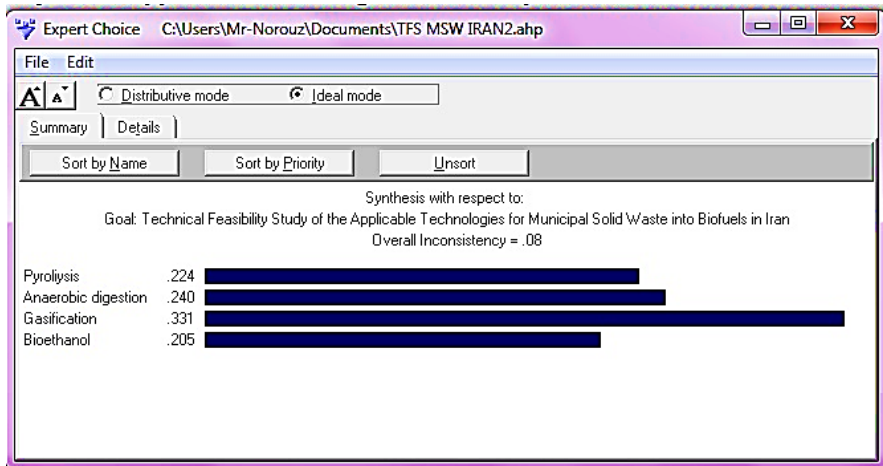
مأخذ: نتایج تحقیق

برای سنجش سازگاری، مقایسات دو به دو، شاخص C.R با استفاده از منطق ریاضی بردارهای ویژه و رابطه زیر محاسبه می‌شود. با توجه به اینکه این شاخص کمتر از ۰/۱ می‌باشد نتیجه می‌گیریم جدول ۱۸ مقایسه، سازگار است.

$$C.R = \frac{C.I}{R.I} = \frac{0.08}{0.9} = 0.094 \leq 0.1$$

۶-۷. تجزیه و تحلیل معیارها با استفاده از نرم افزار Expert Choice

نرم افزار Expert Choice نیز برای بررسی تأیید صحت نتیجه به دست آمده از تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی به کار گرفته می‌شود. بعد از مقایسه زوجی، محاسبه وزن نهایی هر گزینه انجام گردیده که نتیجه مؤید انتخاب فناوری هضم بی‌هوازی به عنوان اولویت اول همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده، می‌باشد.



شکل ۴. وزن نهایی محاسبه شده هر یک از گزینه‌ها در نرم افزار

شاخص سازگاری در بازه مورد نظر کمتر از ۰/۱ است. بنابراین سازگاری ماتریس مقایسات مورد تأیید بوده و قابل قبول می‌باشند و نشان دهنده این است که در ارزیابی‌ها و قضاوت‌های خبرگان تناقض وجود ندارد.

$$0.08 \leq 0.1$$

۷. نتیجه گیری

ایران با متوسط ۷۱۰ گرم پسماند سرانه، هر روزه بالغ بر ۵۰.۰۰۰ تن مواد زائد جامد تولید می‌شود، ضمن اینکه بخش چشمگیری از این پسماند یعنی بیش از ۷۰ درصد را پسماندهای آلی به خود اختصاص می‌دهند. متأسفانه سالیانه مقادیر چشمگیری از پسماند شهری بدون این که مورد پردازش قرار گیرد و مواد ارزشمند قابل بازیافت آن تفکیک گردد، به دفن گاه‌ها منتقل می‌شوند. نتیجه این عمل، چیزی نیست جز تولید آلاینده‌های خطرناک جامد، مایع و گاز که باعث آلودگی آب، هوا و خاک گشته که حذف این آلاینده‌ها نیز همراه با صرف هزینه بسیار بالایی می‌باشد. این در حالیست که بخش آلی پسماند شهری پتانسیل زیادی برای تولید سوخت زیستی و تأمین بخشی از انرژی مورد نیاز کشور را دارد. بنابراین به کارگیری فناوری‌های تبدیل پسماند

به سوخت‌زیستی مناسب در سیستم مدیریت پسماند کشور می‌تواند در این امر بسیار مفید باشد. در این تحقیق چهار فناوری هضم بی‌هوازی، تولید الکل، گازی کردن و پیرولیز جهت مقایسه فنی و اولویت‌بندی از نظر کاربرد در کشور انتخاب گردیدند. معیارهای مورد نیاز برای مقایسه فناوری‌های تبدیل پسماند به سوخت‌زیستی با استفاده از روش فراترکیبی تعیین گردید. سپس از تکنیک گروه‌کانونی جهت صحت‌گذاری و اثبات رویی بودن معیارها، استفاده شده است. سپس با تهیه پرسشنامه‌ای از معیارهای منتخب در دو روش قبل و ارسال آنها برای ۵ تن از خبرگان این فن به روش دلفی نظر خواهی نهایی صورت پذیرفت و سپس با به‌کارگیری روش تحلیل سلسله‌مراتبی AHP با انجام مقایسه زوجی و وزن دهی، چهار فناوری مذکور با توجه به معیارهای تعیین شده اولویت‌بندی شدند که روش هضم بی‌هوازی رتبه اول برای تبدیل پسماند شهری به سوخت‌زیستی در کشور کسب نمود. همچنین جهت تأیید نتایج روش تحلیل سلسله‌مراتبی از نرم‌افزار Expert Choice نیز استفاده گردید که نتیجه با روش تحلیل سلسله‌مراتبی مطابقت داشته است.

منابع

سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور (۱۳۹۵) اطلاعات از طریق مصاحبه از این سازمان اخذ گردیده است.

عمرانی، د. ق. (۱۳۹۳). محیط زیست شهری، دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی دانشگاه علوم پزشکی تهران.

قدسی‌پور، د. س. (۱۳۹۵). فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP). تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

Amin Salehi F., Abdoli M.A., Shokouhmand H. and H.R. Jafari (2012) Techno-economic Assessment for Energy Generation Using Bagasse: Case Study, International Journal of Energy Research, first published Online DOI: 10.1002/er.2907, March 2012, Vol.37, Issue 8, PP.982-990.

Amin Salehi F., Abdoli M.A., Shokouhmand H. and H.R. Jafari (2012) Techno-economic and Environmental Study for Bagasse Derived Ethanol: Case Study, International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering (IJTPE), Vol.4, No. 4, PP. 46-53.

- Capellan-Preze, I., Mediavilla, M., De Castro, C., Carpintero, O., Miguel, L.J.** (2014) Fossil Fuel Depletion and Socio-economic Scenarios: An Integrated Approach, Vol.77, PP.641-666.
- Chen P., Xie Q., Addy M., Zhou W., Liu Y., Wang Y., Li K. and R. Ruan** (2016) "Utilization of Municipal Solid and Liquid Wastes for Bio-energy and Bio-products Production", *Bio-resource Technology*, Vol. 215, PP. 163-172.
- Fubara T., Cecelja F. and A. Yang** (2017) Techno-economic Assessment of Natural Gas Displacement Potential of Bio-methane: A Case Study on Domestic Energy Supply in the UK , Chemical Engineering Research and Design, In Press.
- Guran S., Agblevor F.A. and M. Brennan-Tonetta** (2018) *Biofuels, Bio-Power and Bio-Products from Sustainable Biomass: Coupling Energy Crops and Organic Waste with Clean Energy Technologies*, Chapter 8, Published by John Wiley.
- Jacobson M.Z.** (2017) Roadmaps to Transition Countries to 100% Clean, Renewable Energy for All Purposes to Curtail Global Warming, Air Pollution, and Energy Risk, Earth's Future, Vol. 5, Issue 10, PP. 948-952.
- Kurtulus Ozcan H., Guvenc S.Y., Guvenc L. and G. Demir** (2016) "Municipal Solid Waste Characterization According to Different Income Levels: A Case Study", *Sustainability*, Vol. 8, pp. 1044.
- Madadi M., Hosieni S.M., Khalili I. and A. Abbas** (2017) "A Review on Renewable Energy Resources in Iran", Third International Conference on Sustainable Development, Strategies and Challenges With a Focus on Agriculture, Natural Resources, *Environment and Tourism*, 7-9 March 2017, Tabriz , Iran.
- Paterson B.L., Thome S.E., Canam C. and C. Jillings** (2001) Meta-Study of Qualitative Health Research: A Practical Guide to Meta –Analysis and Meta-Synthesis, Published by SAGE.
- Sikarwar V.S., Zhao M., Fennell P.S., Shah N. and E.J. Antony** (2017) "Progress in Biofuel Production from Gasification", *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol. 61, PP. 1889-248.
- Skaggs R.L., Coleman A.M., Seiple T.E. and A.R. Mibrandt** (2018) "Waste to Energy Biofuel Production Potential for Selected Feedstocks in the Conterminous United States", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 82, pp. 2640-2651.
- Vasco-Correa J., Khanal S., Manandhar A. and A. Shah** (2018) "Anaerobic Digestion for Bioenergy Production Global Status, Environmental and Techno-Economic Implications, and Government Policies", *Bio-resource Technology*, No.247, pp.1015-1026.
- Wright M.D.** (2010). "Techno-economic Analysis of Biomass Fast Pyrolysis to Transportation Fuels", *Fuel*, No.89, pp. S2-S10.
- Zimmer L.** (2006) "Qualitative Meta-synthesis: a Question of Dialoguing With Texts", *Journal of Advanced Nurs- ing*, No. 53, pp. 311-318.