ارائه یک مدل ترکیبی برای اولویت‌بندی سیستم‌های تولید همزمان برق، حرارت و برودت با در نظر گرفتن اهداف توسعه پایدار (مطالعه موردی: بیمارستان طالقانی تهران)

علیرضا تقی پور رضوان[۱]، میثم شاهجوئی[۲]

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۹/۲۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۱/۲۰

چکیده:

تولید انرژی مؤثر و منطقی و عرضه آن، یکی از فرض‌های اصلی توسعه پایدار است. سیستم‌های تولید همزمان برق، حرارت و برودت (CCHP) دارای مزایای زیست‌محیطی روشن با افزایش بهره‌وری انرژی، کاهش انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی و مصرف بهینه انرژی حرارتی حاصل از سوخت‌های فسیلی می‌باشد. با این حال، این سیستم‌ها هزینه سرمایه‌گذاری بالاتر و طراحی و تعمیر و نگهداری پیچیده‌تری نیز دارند. بنابراین، به‌منظور انتخاب بهترین سیستم CCHP، باید این سیستم‌ها از تمامی جنبه‌های فنی و توسعه پایدار مورد بررسی قرار گیرند. در این مقاله یک مدل ترکیبی با استفاده از روش فازی تاپسیس (FTOPSIS) و روش منطق دیجیتالی اصلاح‌شده (MDL) ارائه و برای انتخاب و ارزیابی انواع محرک‌های اولیه متداول (CCHP) به کار برده شده است. بدین منظور، نظریه مجموعه فازی، روش منطق دیجیتالی و مدل تصمیم‌گیری فازی (FMCDM) تشریح شده و در نهایت، انواع مختلفی از محرک‌های اولیه سیستم‌های CCHP، شامل موتور استرلینگ، توربین گاز، موتور پیستونی گازسوز و سلول سوختی اکسید جامد و میکرو توربین با توجه به اهداف توسعه پایدار بررسی و با یک سیستم تولید جداگانه مقایسه می‌شوند. برای انتخاب سیستم بهینه، مدل تصمیم‌گیری ارائه شده با استفاده از روش MDL- FTOPSIS در بیمارستان طالقانی تهران از جنبه‌های فنی، اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی پیاده‌سازی و اثربخشی آن مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که موتور پیستونی گازسوز بهترین انتخاب در میان گزینه‌های مورد بررسی است.

کلمات کلیدی:

سیستم‌های تولید همزمان برق، حرارت و برودت، محرک اولیه، فازی تاپسیس، روش منطق دیجیتالی اصلاح شده

۱) استادیار گروه مهندسی صنایع، واحد تهران مرکز، دانشگاه آزاد اسلامی (نویسنده مسئول) alirezatag@gmail.com

۲) دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت MBA – گرایش مدیریت عملیات دانشگاه سمنان shahjouei.meysam@gmail.com

مقدمه

در سال‌های اخیر، صرفه‌جویی در مصرف انرژی و توسعه پایدار، موضوع بسیاری از پژوهش‌ها در زمینه سیستم‌های انرژی و مسائل مربوط به محیط‌زیست بوده است. در کشور ایران به علت ارزان بودن انرژی و پایین بودن سهم هزینه‌های انرژی به سایر هزینه‌ها در سبد هزینه خانوار، تاکنون در خصوص چگونگی مصرف انرژی و راه‌های کاهش مصرف آن اقدامی اساسی انجام‌نشده است اما بتدریج که قیمت انرژی مصرفی به سطح قیمت‌های بین‌المللی می‌رسد و نسبت بالاتری را در هزینه خانواده پیدا می‌کند، مصرف و اتلاف بی‌رویه آن به سرمایه‌های ملی و چرخه اقتصادی کشور لطمه زده و محیط‌زیست را نیز در معرض خطر قرار می‌دهد. لذا یافتن راه‌کارهایی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی، بیمارستان‌ها و سایر مراکز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۱،۵]. از سوی دیگر، تداوم رشد مصرف انرژی در کشور به همراه بهره‌وری پایین تولید، انتقال و توزیع انرژی سبب گردیده است تا آینده نامطلوبی برای این بخش در حال وقوع باشد به‌گونه‌ای‌که حتی در صورت تحقق کلیه برنامه‌های توسعه بالادستی ظرف مدت ده سال آینده، مصرف انرژی از تولید انواع انرژی اولیه ازجمله نفت و گاز فراتر رفته و کشور به واردکننده انرژی تبدیل خواهد گردید [۴].

مدیریت کارایی انرژی به‌تنهایی و تحت تأثیر تعادل میان عرضه و تقاضای انرژی به وجود نخواهد آمد و لازم است دولت‌ها و مراجع سیاست‌گذار از راهکارهای مناسب برای نیل به آن استفاده کنند. به همین دلیل است که امکان استفاده از منابع انرژی جایگزین و روش‌های نوین تولید انرژی مورد توجه واقع شده است. بنابراین، ایجاد تعادل بین رشد اقتصادی، کیفیت زندگی و بهره‌برداری از منابع طبیعی یک ضرورت تلقی می‌شود. به‌منظور پاسخ به این نیاز، کمیسیون جهانی محیط‌زیست و توسعه در گزارش خود توسعه پایدار را توسعه‌ای تعریف کرده است که نیازهای مردم کنونی را بدون از بین بردن توانایی نسل‌های آینده در برآوردن نیازهایشان برطرف می‌نماید. درهمین راستا، از جمله راهکارهای در حال استفاده در کشورهایی که پیشرفت‌های بسیاری را در این زمینه برای آن جوامع به همراه آورده است، تولید همزمان برق و حرارت و برودت[1] (CCHP) در محل مصرف است.

سیستم‌های CCHP، سیستم‌هایی هستند که علاوه بر تولید برق، از حرارت اتلافی به‌منظور تأمین گرمایش و سرمایش و آب گرم مصرفی بهره می‌گیرند. این سیستم‌ها با توجه به کارایی بالا و منافع زیست‌محیطی، یک جایگزین جهانی برای حل مشکلات مربوط به انرژی مانند افزایش تقاضای و امنیت عرضه انرژی و مسائل زیست‌محیطی مانند انتشار آلاینده‌ها و تغییرات آب و هوایی می‌باشند [۲۷،۲۳،۱۹].

1) Combined Cooling Heating and Power (CCHP)

اجزای اصلی یک سیستم CCHP شامل یک واحد تولید برق (PGU)[۱]، (محرک اولیه)[۲]، مبدل‌های حرارتی برای هدف گرمایشی، سیستم خنک‌کننده، سیستم کنترل و منبع انرژی می‌باشد. محرک اصلی به‌طورمعمول می‌تواند یک توربین گاز[۳]، موتور رفت و برگشتی[۴]، موتور استرلینگ[۵]، توربین بخار[۶]، میکرو توربین[۷] و سلول‌های سوختی[۸] باشد [۲۹,۱۲].

از آنجایی‌که محرک اولیه اصلی‌ترین قسمت یک سیستم CCHP است، باید با دقت انتخاب شود تا عملکرد مطلوب و مورد انتظار از سیستم تضمین گردد. بدین منظور در مقاله حاضر سعی گردیده است تا یک رویکرد و مدل جامع برای انتخاب و اولویت‌بندی انواع محرک‌های اولیه مورد استفاده در سیستم‌های CCHP با توجه به معیارهای فنی و توسعه پایدار ارائه و برای یک بیمارستان در شهر تهران مورد بررسی قرار گیرد.

در سال‌های اخیر، پژوهش‌ها و مقاله‌های متعددی در مورد مقایسه بین فناوری‌های مختلف، مزایا و معایب آنها، چیدمان و طراحی مناسب تجهیزات به‌منظور بهبود راندمان و کاهش هزینه‌ها انجام گرفته است.

فناوری پیشنهادی برای انواع مختلف ساختمان‌های تجاری برای سناریوهای مختلف در مقاله [۴۱] مورد بررسی قرار گرفته است. مقاله‌های [۳۸,۲۰] با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)[۹] ترکیبی از فناوری‌های تولید پراکنده را مورد ارزیابی قرار داده که به شکل سیستم‌های مختلف انرژی برای بخش مسکونی استفاده می‌شود و مناسب‌ترین سیستم را با توجه به معیارهای مورد نظر معرفی کرده است.

مروری بر استفاده از روش‌های چند معیاره در سیستم‌های انرژی به‌عنوان روش تصمیم‌ساز مؤثر بر پایداری، در مقاله[۳۷] انجام گرفته است. کیونگ‌وو و همکاران[۳۷] به بررسی تأثیر نوع ساختمان (هتل، بیمارستان، مغازه و اداره) در پیاده‌سازی سیستم CCHP در شش منطقه آب و هوایی ژاپن با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره و معیارهای اقتصادی و زیست‌محیطی پرداختند و نتیجه گرفتند که سیستم‌های CCHP در هتل و بیمارستان عملکرد مطلوب‌تری دارند. همچنین توانایی صرفه‌جویی انرژی و کاهش اثرات زیست‌محیطی (CO_2) در مناطق معتدل کمتر از سایر نواحی آب‌وهوایی است.

---

1) power generation units
2) prime mover
3) gas turbine
4) reciprocating internal combustion engine
5) Stirling engine
6) steam turbine
7) Micro turbine
8) fuel cell
9) Analytic hierarchy process

در بیشتر مطالعه‌های صورت گرفته، ارزیابی سیستم CCHP بر تجزیه‌وتحلیل تک معیاره متمرکز شده است. معیارهای اقتصادی اغلب برای ارزیابی عملکرد سیستم CCHP استفاده شده است[۲۸,۲۵,۱۵,۱۴].

در برخی دیگر از تحقیقات به بررسی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای سیستم CCHP و ارزیابی فواید زیست‌محیطی آن پرداخته شده است [۲۶,۱۸]. در تحقیقی دیگر، چیکو و مانکارلا [۱۱] سیستم‌های CCHP و CHP را بر اساس معیار میزان CO_2 با یک نیروگاه معمولی با تولید جداگانه‌ای از سرمایش، گرمایش و قدرت مقایسه کردند.

در برخی از مطالعات، ارزیابی سیستم تولید همزمان بر مبنای چند معیار مختلف مورد توجه قرار گرفته است. وانگ و همکارانش[۳۶] به ارزیابی فنی و زیست‌محیطی سیستم تولید همزمان بر پایه محرک اولیه میکرو توربین گازی تحت دو راهبرد اصلی، برای یک هتل در شهر پکن پرداختند.

دسته‌ای دیگر از مطالعات، علاوه بر ارزیابی چند معیاره عملکرد سیستمCCHP، به انتخاب مناسب‌ترین گزینه با در نظر گرفتن تمام معیارهای ارزیابی پرداختند. پایلاوچیا و همکاران [۳۰] مدل‌های مختلفی از محرک‌های اولیه CHP شامل توربین گاز، توربین بخار، موتورهای احتراق داخلی و سیکل ترکیبی را با توجه به معیارهای اقتصادی، فنی و اجتماعی (هزینه سوخت، هزینه نصب، هزینه تعمیرات و نگهداری، بازدهی و ...) با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره مورد بررسی قرار دادند. مقاله [۳۵] نیز از روش مشابهی استفاده نموده است ولی چهار معیار فنی، اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی را لحاظ نموده و برای هر یک از معیارها چند شاخص ارزیابی مشخص کرده و آنها را برای فناوری‌های مورد استفاده اندازه‌گیری کرده است.

وانگ و همکاران [۳۴] یک مدل تصمیم‌گیری چند معیاره فازی را برای سیستم‌های CCHP ارائه و آن را برای یک ساختمان مسکونی در چین با توجه به محرک‌های اولیه موتور استرلینگ، موتور احتراق داخلی، توربین گاز و پیل سوختی در مقایسه با سیستم تولید جداگانه پیاده‌سازی کردند.

در مقاله[۲۲] یک مدل فازی برای انتخاب سیستم CCHP بر اساس منابع مختلف انرژی مانند سلول سوختی، سیستم CCHP با محرک اولیه موتور گازسوز، سیستم CCHP زیست‌توده و سیستم CCHP بر پایه سیکل ترکیبی ارائه و با استفاده از روش تجزیه و تحلیل خاکستری با یک سیستم تولید مجزا بر اساس معیارهای فنی، اقتصادی، اجتماعی و فنی برای یک ساختمان مسکونی در چین مورد بررسی و مقایسه قرار دادند.

همان‌طور که مرور ادبیات تحقیق نشان می‌دهد، در بیشتر مطالعات، ارزیابی سیستم CCHP بر تجزیه‌وتحلیل تک معیاره متمرکز شده است. از آنجا که ارزیابی سیستم‌های انرژی یک پروژه یکپارچه است، ارزیابی بر اساس یک معیار می‌تواند منجر به یک نتیجه غیرقابل‌اعتماد گردد. بنابراین، در این مقاله فناوری‌های مورد استفاده در سیستم‌های CCHP

با استفاده از معیارهای فنی و توسعه پایدار (اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی) ارزیابی و رتبه‌بندی می‌شوند. همچنین تاکنون از روش منطق دیجیتالی تعدیل شده[1] (MDL) در سیستم‌های انرژی استفاده نشده است.

از سوی دیگر، بر اساس بررسی‌های نگارنده، در کشور ایران مطالعه‌ای در زمینه ارزیابی چندمعیاره سیستم تولید همزمان برق، حرارت و برودت برای ساختمان‌های اداری و خدماتی و نیز تحقیقی که کلیه محرک‌های اولیه را با توجه به معیارهای توسعه پایدار مورد بررسی قرار دهد، گزارش نشده و اکثر بررسی‌های انجام شده در کشور، بر روی ساختمان‌های مسکونی و سیستم‌های مقیاس کوچک صورت گرفته است. بنابراین، در این پژوهش به ارزیابی و اولویت‌بندی محرک‌های اولیه سیستم CCHP با توجه به معیارهای توسعه پایدار با استفاده از روش ترکیبی MDL-FMCDM پرداخته‌شده است.

روش تحقیق (متدولوژی)

سؤال‌های تحقیق

همواره به کمک هر پژوهش، می‌توان به پرسش‌های متعددی پاسخ داد که این پرسش‌ها را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم کرد که شامل سؤال‌های اصلی و فرعی می‌باشد. در ادامه، سؤال یا سؤال‌های مربوط به هر بخش بیان گردیده است.

سؤال اصلی تحقیق:

- مناسب‌ترین و بهترین محرک اولیه با توجه به معیارهای فنی و توسعه پایدار کدام است؟

سؤال‌های فرعی:

- چه معیارهایی در انتخاب فناوری‌های مورد استفاده در سیستم‌های CCHP نقش دارند؟
- میزان اهمیت هر یک از معیارها به چه میزان است؟

روش گردآوری داده‌ها

در این پژوهش، پس از تعیین معیارها و گزینه‌های تصمیم‌گیری، به‌منظور گردآوری داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز از پرسشنامه استفاده گردیده است. به‌منظور شناسایی وزن و اهمیت معیارهای تصمیم‌گیری به روش MDL، پرسشنامه‌ای طراحی و تنظیم گردیده و از پاسخ‌دهندگان خواسته شده است تا به مقایسه این معیارها بپردازند و برتری هر معیار را در قیاس با دیگری ارزیابی کنند[۳۳]. در قسمت بعد، به منظور تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری فازی، معیارهای کیفی با نظرخواهی و پرسش از خبرگان و منابع و اطلاعات موجود در این زمینه با یکدیگر مورد مقایسه قرار می‌گیرند و برای معیارهای کمی از اطلاعات موجود در مقاله‌ها و پژوهش‌های موجود استفاده شده است.

1) Modified Digital logic

روش پیشنهادی

همان‌طور که پیش از این نیز عنوان گردیده است، در این مقاله ابتدا به شناسایی معیارهای مورد نیاز برای اولویت‌بندی محرک‌های اولیه متداول سیستم CCHP خواهیم پرداخت، سپس با استفاده از روش MDL وزن معیارهای مورد نظر تعیین و با کمک روش فازی تاپسیس محرک‌های اولیه متداول در سیستم‌های CCHP رتبه‌بندی می‌گردند.

روش منطق دیجیتالی تعدیل‌شده (MDL)

برای برنامه‌های کاربردی که در آن تعداد ویژگی‌های طراحی (معیارها) نسبتا زیاد است (مشابه مورد فعلی ۱۶ معیار)، تعیین وزن برای معیارهای چندگانه به‌طور همزمان ممکن است برای تصمیم‌گیرنده بسیار دشوار باشد. به‌عبارت‌دیگر، نقطه ضعف اصلی روش‌هایی نظیر AHP این است که در پر کردن ماتریس مقایسات زوجی بین دو عنصر، باید به امتیازاتی که به عناصر دیگر داده شده نیز توجه نمود. برای حل این مشکل، روش منطق دیجیتال[1] با پیشنهاد مقایسه دو به دو معیارها توسعه داده شد (که اساساً مشابه روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) می‌باشد).

در این روش، دو معیار در یک زمان با هم مقایسه می‌شوند و نمره باینری ۰ یا ۱ بسته به اولویت تصمیم‌گیرنده دریافت می‌کنند (۱ برای معیار مهم‌تر و ۰ برای معیار با اهمیت کمتر). دهقان- منشادی و همکاران[۱۳] روش منطق دیجیتالی اصلاح شده (MDL) را با تغییر طرح امتیازدهی باینری از {۰ و ۱} به یک طرح امتیازدهی دیجیتالی {۱، ۲ و ۳} ارائه کردند. به این صورت که برای معیار با اهمیت کمتر عدد (۱)، با اهمیت برابر عدد (۲) و برای اهمیت بیشتر عدد (۳) در نظر گرفته شد. مزیت این طرح امتیازدهی آن است که این امکان را به تصمیم‌گیرنده می‌دهد تا برای دو ویژگی وزن‌های یکسانی را در نظر بگیرد و بعلاوه، موجب عدم حذف معیار با کمترین اهمیت، از ماتریس تصمیم‌گیری می‌شود[۱۶،۱۰]. تعداد حالت‌های مقایسه در روش MDL با توجه به رابطه $N(N-1)/2$ به دست می‌آید که N تعداد معیارهای مورد مطالعه می‌باشد. پس از آنکه همه مقایسه‌های دو به دو انجام شد، وزن‌های MDL به صورت زیر قابل محاسبه هستند:

$$W_j = \frac{\sum_{k=1}^{n} C_{jk}}{\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{n} C_{jk}} \qquad \text{j and k} = \{1,\ldots,\text{n}\} \text{ and } \text{j} \neq \text{k} \qquad (۱)$$

اگر دو معیار j و k به یک اندازه مهم باشند، آنگاه $C_{jk} = C_{kj} = 2$، اگر که معیار k از معیار j مهم‌تر باشد $C_{jk} = 3$ و

1) Digital logic

$C_{kj}=1$ و اگر معیار k از معیار j از اهمیت کمتری برخوردار باشد آنگاه $C_{jk}=1$ و $C_{kj}=3$ خواهد بود.

درصورتی‌که چند تصمیم‌گیرنده استفاده شود نیز مشابه روش AHP، از میانگین‌گیری استفاده می‌شود.

نکته‌ای که در این میان وجود دارد، آن است که تا به حال از روش‌های DL و MDL در زمینه سیستم‌های انرژی، پژوهشی صورت نپذیرفته است و منطق دیجیتالی یا منطق دیجیتالی تعدیل شده، پیش‌تر در زمینه‌های فناوری اطلاعات [۳۲] ، انتخاب مواد برای طراحی مکانیک [۱۳] الکترونیک و مدارهای الکترونیکی [۳۳] ، صنایع هواپیمایی [۷] و علم شیمی [۳۹] ، استفاده شده است.

اعداد فازی و مجموعه‌های فازی[1]

عدم قطعیت[2] همیشه در دنیای واقعی وجود داشته و شرایط نامطمئن همواره در مراحل مختلف مطالعه و بررسی یک مساله وجود دارد. بنابراین، در بسیاری از موارد، تمام یا قسمتی از داده‌های یک مساله تصمیم‌گیری چند معیاره فازی هستند. در این صورت اگر مساله با استفاده از داده‌های قطعی مدل و فرموله شود، جواب درست و دقیقی حاصل نخواهد شد و در نتیجه گزینه ارجح انتخاب نخواهد شد. لذا در مدل‌های تصمیم‌گیری که داده‌های آن تصادفی یا فازی هستند باید عدم قطعیت را در مدل تصمیم‌گیری لحاظ کرد که این کار به‌وسیله نظریه مجموعه‌های فازی انجام می‌شود.

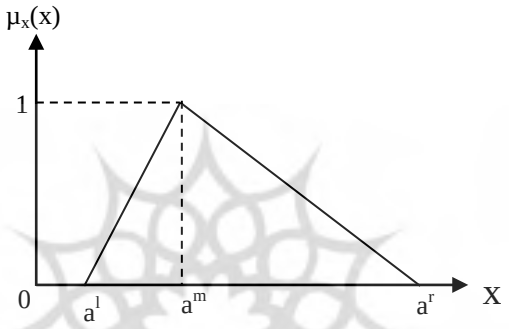
نظریه مجموعه‌های فازی توسط پروفسور لطفی‌زاده مطرح شد. این نظریه در شرایط ابهام و عدم اطمینان کاربرد دارد و قادر است بسیاری از مفاهیم و عبارات نادقیق را با زبان ریاضی بیان کند و زمینه را برای استدلال، استنتاج، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد [۴۲].

بر اساس این نظریه، یک عدد فازی، مجموعه فازی خاصی به‌صورت $\tilde{A}=x\in R/\mu_{\tilde{A}}(x)$ است که در آن، x مقادیر حقیقی عضو مجموعه R را می‌پذیرد و تابع عضویت آن به‌صورت $\mu_{\tilde{A}}(x)$ می‌باشد. بیشترین اعداد فازی مورد استفاده، اعداد فازی مثلثی[3] و ذوزنقه‌ای[4] هستند. اعداد فازی مثلثی، به دلیل محاسبات ساده‌تر، بیشتر به کار می‌روند. ازاین‌رو، در این تحقیق نیز از اعداد فازی مثلثی استفاده شده است. یک عدد فازی مثلثی A، عددی با تابع عضویت تکه‌ای خطی μA به صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود:

1) fuzzy set theory
2) Uncertainty
3) Triangular fuzzy number
4) Trapezoidal fuzzy number

$$\mu_x(x)=\begin{cases}(x-a^l)/(a^m-a^l), & a^l \le x < a^m\\ 1, & x=a^m\\ (a^r-x)/(a^r-a^m), & a^m < x \le a^r\\ 0, & otherwise\end{cases} \quad (۲)$$

که می‌تواند به صورت عدد فازی مثلثی (a^l, a^m, a^r) نشان داده شود. شکل (۱) این تابع عضویت را نمایش می‌دهد.



شکل ۱) نمایش عدد فازی مثلثی

تاپسیس فازی

تکنیک تاپسیس فازی، تعمیمی از تکنیک تاپسیس در محیط فازی است. این روش را هوانگ و یون[1] در سال ۱۹۸۱ مطرح کردند [۲۱]. از مزایای این روش نسبت به سایر روش‌های تصمیم‌گیری می توان به قابلیت انجام با تعداد زیاد گزینه و معیار (عدم محدودیت در تعداد گزینه و معیار)، توانایی کار با معیارهای مثبت و منفی، انجام‌پذیری با داشتن معیارهای کمی و کیفی، عدم نیاز به محاسبات پیچیده نسبت به سایر روش ها و اجرای راحت تر با وجود دقت در نتایج بدست آمده (سادگی اجرا و سرعت مناسب) اشاره کرد. منطق زیربنایی تاپسیس، تعریف راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی است. راه‌حل ایده‌آل مثبت[2]، معیارهای از نوع سود را حداکثر و معیارهای از نوع هزینه را حداقل می‌نماید. راه‌حل ایده‌آل منفی[3]، معیارهای از نوع هزینه را حداکثر و معیارهای از نوع سود را حداقل می‌کند. گزینه بهینه، نزدیک‌ترین گزینه به راه‌حل ایده‌آل مثبت و دورترین گزینه از راه‌حل ایده‌آل منفی است. به‌طور خلاصه، راه‌حل ایده‌آل مثبت، ترکیبی از بهترین ارزش‌های قابل دسترس معیارهاست درحالی‌که راه‌حل ایده‌آل منفی، شامل بدترین ارزش‌های قابل دسترس معیارهاست. برای ارزیابی گزینه‌ها، ابتدا باید یک مسأله FMCDM فرمول‌بندی شود. مساله FMCDM شامل مجموعه‌ای از m

1) Hwang & Yoon
2) fuzzy positive-ideal solution (FPIS)
3) fuzzy negative ideal-solution (FNIS)

گزینه است که در n شاخص و وزن‌های مربوطه ارزیابی می‌شوند. مساله می‌تواند به صورت زیر مدل‌سازی شود.

$$x=\left[x_{ij}\right]_{m*n}=\begin{array}{c} \\ A_1 \\ A_2 \\ . \\ . \\ . \\ A_m \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} C_1 & C_2 & . & . & . & C_n \end{array} \\ \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & . & . & . & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & . & . & . & x_{2n} \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ x_{m1} & x_{m2} & . & . & . & x_{mn} \end{bmatrix} \end{array} \qquad (۳)$$

و $W=[w_1,w_2,\ldots,w_n]$.

در اینجا $A_1,A_2,\ldots,A_m$ گزینه‌های ممکن و $C_1,C_2,\ldots,C_n$ معیارهایی هستند که به‌منظور ارزیابی گزینه‌ها در نظر گرفته شده‌اند. x_{ij} رتبه گزینه A_i در برابر معیار C_j و W_j وزن C_j می‌باشد. در فرایند ارزیابی، این وزن‌ها که درجه اهمیت معیارهای ارائه شده می باشد، توسط کارشناسان با استفاده از روش منطق دیجیتالی تعدیل شده به دست می‌آید.

مرحله بعد، مرحله بی مقیاس سازی[1] ماتریس تصمیم است. روش مورد استفاده در این پژوهش، روش نرمال سازی خطی می‌باشد. بدین منظور باید مقدار حداکثر هر ستون x_j^+ و مقدار حداقل هر ستون x_j^- را مشخص و با استفاده از روابط ذیل، مقادیر r_{ij} را که مقدار بی مقیاس شده x_{ij} می‌باشند، محاسبه نمود. زمانی که x_{ij} فازی باشد، r_{ij} نیز فازی خواهد بود. با فرض $x_{ij}=(a_{ij},b_{ij},c_{ij})$ ، $x_j^+=(a_j^+,b_j^+,c_j^+)$ و $x_j^-=(a_j^-,b_j^-,c_j^-)$ ، روابط زیر برای r_{ij} برقرار است:

اگر x_{ij} جنبه‌ی مثبت داشته باشد (مثل سود) آنگاه:

$$r_{ij}=\frac{x_{ij}}{x_j^+}=\left(\frac{a_{ij}}{c_j^+},\frac{b_{ij}}{b_j^+},\frac{c_{ij}}{c_j^+}\right) \qquad (۴)$$

اگر x_{ij} جنبه‌ی منفی داشته باشد (مثل هزینه) آنگاه:

$$r_{ij}=\frac{x_j^-}{x_{ij}}\left(\frac{c_j^-}{a_{ij}},\frac{b_j^-}{b_{ij}},\frac{c_j^-}{c_{ij}}\right) \qquad (۵)$$

گام سوم، محاسبه ماتریس بی مقیاس سازی شده موزون است. در این مرحله باید وزن شاخص‌های جدول تاپسیس فازی، با توجه به یکی از روش‌های موجود برای تعیین اوزان معیارهای تصمیم‌گیری تعیین شود. در این مقاله به‌منظور محاسبه وزن معیارها، روش MDL به کار گرفته شده است.

عناصر ماتریس بی مقیاس سازی شده موزون (v_{ij}) برای اعداد فازی مثلثی با استفاده از رابطه ذیل قابل محاسبه است:

1) Normalization

$$v_{ij} = r_{ij} \otimes w_j = (\frac{a_{ij}}{c_j^+}, \frac{b_{ij}}{b_j^+}, \frac{c_{ij}}{c_j^+}) \otimes (\alpha_j, \beta_j, \chi_j) = (\frac{a_{ij}}{c_j^+} \otimes \alpha_j, \frac{b_{ij}}{b_j^+} \otimes \beta_j, \frac{c_{ij}}{c_j^+} \otimes \chi_j) \quad (۶)$$

$$v_{ij} = r_{ij} \otimes w_j = (\frac{c_j^-}{a_{ij}}, \frac{b_j^-}{b_{ij}}, \frac{c_j^-}{c_{ij}}) \otimes (\alpha_j, \beta_j, \chi_j) = (\frac{c_j^-}{a_{ij}} \otimes \alpha_j, \frac{b_j^-}{b_{ij}} \otimes \beta_j, \frac{c_j^-}{c_{ij}} \otimes \chi_j) \quad (۷)$$

$(i = 1,2,...,m)$

علامت $\otimes$ نشان‌دهنده ضرب فازی است.

رابطه نخست وقتی است که معیار J ام دارای جنبه مثبت و رابطه دوم نیز وقتی که معیار J ام جنبه منفی داشته باشد، به کار می‌رود.

نتایج این محاسبات در ماتریسی تحت عنوان v به صورت زیر وارد می شود:

$$v = [v_{ij}]_{m*n} = \begin{array}{c} \\ A_1 \\ A_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ A_m \end{array} \begin{bmatrix} & & & & \\ v_{11} & v_{12} & \cdot & \cdot \cdot & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \cdot & \cdot \cdot & v_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \cdot & \cdot \\ v_{m1} & v_{m2} & \cdot & \cdot \cdot & v_{mn} \end{bmatrix} \quad (۸)$$

گام چهارم، به‌دست آوردن جواب ایده‌آل مثبت و جواب ایده‌آل منفی است که به ترتیب با $\tilde{v_j}^+$ و $\tilde{v_j}^-$ نمایش داده می‌شوند. در حالت فازی جهت مقایسه اعداد فازی و تعیین $\tilde{v_j}^+$ و $\tilde{v_j}^-$ از فرایندهای رتبه‌بندی اعداد فازی استفاده می‌شود. بر اساس این روش، رتبه عدد فازی برای معیارهای کیفی ($\tilde{v_{ij}}$) با ($M(\tilde{v_{ij}})$) نشان داده و به این صورت تعریف می‌شود:

$$M(\tilde{v_{ij}}) = \frac{-a_{ij} - a_{ij}.b_{ij} + b_{ij}.c_{ij} + c_{ij}^2}{3(c_{ij} - a_{ij})} \quad (۹)$$

پس از محاسبه $M(\tilde{v_{ij}})$ ها، به ازای هر ستون j، آن ($\tilde{v_{ij}}$) که دارای بیشترین میزان $M(\tilde{v_{ij}})$ می‌باشد، به عنوان $\tilde{v_j}^+$ و کمترین مقدار آن به عنوان $\tilde{v_j}^-$ تعیین می‌شود. برای اعداد فازی که هر سه پارامتر آن با هم برابر است (معیارهای کمی یا عددی) بزرگترین مقدار ($\tilde{v_{ij}}$) به عنوان $\tilde{v_j}^+$ و کمترین مقدار آن $\tilde{v_j}^-$ خواهد بود.

مرحله پنجم، محاسبه میزان فاصله هر گزینه نسبت به ایده‌آل مثبت و منفی (s_i^+ و s_i^-) می‌باشد. d_{ij}^- و d_{ij}^+ به ترتیب، نشان‌دهنده فاصله $\tilde{v_{ij}}$ از $\tilde{v_j}^- = (a_j^-, b_j^-, c_j^-)$ و $\tilde{v_j}^+ = (a_j^+, b_j^+, c_j^+)$ هستند که با استفاده از فرمول‌های (۱۰) و (۱۱) محاسبه می‌شوند:

$$d_{ij}^- = d(v_{ij}, v_j^-) = \sqrt{\frac{1}{3}[(a_{ij} - a_j^-)^2 + (b_{ij} - b_j^-)^2 + (c_{ij}^r - c_j^-)^2} \quad (i = 1,2,..., m), (j = 1,2,..., n) \quad (۱۰)$$

$$d_{ij}^{+} = d(v_{ij}, v_j^{+}) = \sqrt{\frac{1}{3}[(a_{ij} - a_j^{+})^2 + (b_{ij} - b_j^{+})^2 + (c_{ij} - c_j^{+})^2} \quad (\mathrm{i} = 1,2,...,\mathrm{m}), (\mathrm{j} = 1,2,...,\mathrm{n}) \qquad (۱۱)$$

d_{ij}^{-} و d_{ij}^{+} اعداد قطعی خواهند بود.

پس از آن، میزان فاصله هر گزینه نسبت به ایده‌آل مثبت و منفی (s_i^{+} و s_i^{-}) با توجه به روابط زیر به‌دست می‌آید:

فاصله گزینه i ام از ایده‌آل مثبت:

$$S_i^{+} = \sum_{j=1}^{n} d_{ij}^{+} \qquad (۱۲)$$

فاصله گزینه i ام از ایده‌آل منفی:

$$S_i^{-} = \sum_{j=1}^{n} d_{ij}^{-} \qquad (۱۳)$$

در گام بعد، ضریب نزدیکی[1] گزینه $\mathrm{A_i}$ که با $\mathrm{CC_i^{*}}$ نشان داده می‌شود، با استفاده از رابطه (۱۴) محاسبه می‌گردد.

$$CC_i^{*} = \frac{S_i^{-}}{S_i^{-} + S_i^{+}} \quad i = 1,2,...,m. \qquad (۱۴)$$

مرحله نهایی تکنیک تاپسیس فازی، رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس ترتیب نزولی (CC_i^{*}) خواهد بود.

مطالعه موردی: بیمارستان شهید طالقانی

بیمارستان‌ها با توجه به وجود مصارف بالای حرارتی و برودتی در کنار مصارف الکتریکی، عملکرد سیستم در ۲۴ ساعت شبانه‌روز، ثبات تقریبی بار در فصول مختلف سال و لزوم افزایش قابلیت اطمینان تأمین برق مورد نیاز هم در زمان عملکرد عادی و هم در زمان بروز سوانح طبیعی نظیر سیل و زلزله به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مراکز ارائه خدمات به آسیب‌دیدگان سوانح، مکان‌های مناسبی برای نصب سیستم CCHP می‌باشند [۶]. به همین جهت برای پیاده‌سازی مدل طراحی‌شده از نمونه بیمارستان آیت‌الله طالقانی استفاده شده است.

کل مساحت ساختمان بیمارستان ۳۳۶۲۱ مترمربع و ارتفاع هر طبقه آن در حدود ۳/۶ متر است. بنابراین، مجموع فضای گرمایشی در حدود ۱۲۱۰۳۵ مترمکعب می‌باشد. کل پنجره‌های نمای بیرونی ساختمان نیز برابر ۲۶۵۰ مترمربع است.

تعیین الگوی بار سیستم از ابتدایی‌ترین مراحل مطالعات احداث منابع تولید پراکنده است که در مولدهای تولید همزمان برق و حرارت برای بارهای الکتریکی، حرارتی و سرمایشی انجام می‌شود. در این قسمت با استفاده از اطلاعات دسته‌بندی شده از گزارش ممیزی انرژی انجام شده بیمارستان طالقانی تهران [۵] در سال‌های گذشته، بار سیستم در نرم‌افزار انرژی

1) Closeness Coefficient

پلاس[1] شبیه‌سازی شده و برآورد گردیده است. جدول (۱) مقادیر بار الکتریکی، گرمایشی و سرمایشی را در یک سال برای بیمارستان طالقانی نشان می‌دهد.

سیستم حرارت مرکزی ساختمان بیمارستان با گاز کار می‌کند و عمده بار حرارتی ساختمان مربوط به بویلرها در فصل سرد سال می‌باشد. دمای هوای مناسب برای انسان در محیط بیمارستان برای زمان‌های مختلف بین ۲۴ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد لحاظ شده است. همچنین شرایط محیطی برای انجام محاسبات، با توجه به گزارش‌های سالانه سازمان هواشناسی برای ایستگاه مهرآباد مبنای محاسبات قرار گرفته است.

جدول۱) بار الکتریکی، حرارتی و سرمایشی ساختمان برحسب کیلووات ساعت

بار الکتریکی (Kwh)	بار گرمایشی (Kwh)	بار سرمایشی (Kwh)
۳۷۳۴۰۶۷	۱۷۰۶۶۶۸	۹۰۷۸۷۳۳

گزینه‌های تحقیق

گزینه‌های این تحقیق، محرک‌های اولیه متداول سیستم‌های CCHP شامل موتور احتراق خارجی (موتور استرلینگ)(A1)، توربین احتراقی (توربین گاز)(A2)، موتور احتراق داخلی گازسوز (موتور رفت و برگشتی (پیستونی))(A3)، سلول سوختی اکسید جامد (SOFC)[2] (A4)، میکرو توربین (A5) و یک سیستم تولید مجزا برق، حرارت و برودت (A6) هستند که با توجه به معیارهای مختلف مورد ارزیابی و مقایسه قرار خواهند گرفت.

در مقاله‌های [۲۹,۲۴,۲] شرح کاملی از مشخصات فنی، اقتصادی، عملکردی، زیست‌محیطی و ... محرک‌های اولیه فوق ارائه شده است.

شناسایی معیارهای ارزیابی

در مقاله[۳۷] فهرست کاملی از معیارهای اصلی و زیرمعیارها برای تصمیم‌گیری در زمینه سیستم‌های انرژی ارائه شده است. معیارهای اصلی شامل معیارهای فنی (فناورانه)، اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی می‌باشد.

همچنین در مقاله‌های [۳۵,۳۴] پارامترهای ارزیابی متشکل از ۴ معیار اصلی فوق بوده و علاوه بر آن برای هر یک از معیارهای اصلی، تعدادی زیر معیار برای ارزیابی سیستم‌های CCHP ارائه شده است.

با توجه به مقالات فوق و نظرخواهی از خبرگان، ۴ معیار اصلی و ۱۶ زیرمعیار برای ارزیابی محرک‌های اولیه

1) EnergyPlus
2) Solid oxide fuel cell

سیستم‌های CCHP انتخاب شدند. در جدول (۲) معیارهای تحقیق و شرح مختصری از آنها آورده شده است.

جدول ۲) معیارها و زیرمعیارهای ارزیابی سیستم‌های CCHP

معیار		زیر معیار	شرح معیار	نوع شاخص
فنی C1	C11	بازدهی کلی	نسبت انرژی خروجی (برق، حرارت) به انرژی ورودی (سوخت)	+
	C12	نسبت توان به حرارت[1]	میزان برق تولیدی به حرارت	–
	C13	عملکرد در بار جزئی[2]	میزان بازدهی در بار کم	+
	C14	بلوغ فنی (قابلیت اطمینان)[3]	میزان گستردگی و توسعه فناوری در هر دو سطح ملی و بین‌المللی	+
اقتصادی C2	C21	هزینه سرمایه‌گذاری	هزینه‌های مربوط به: خرید تجهیزات مکانیکی، نصب و راه‌اندازی فناوری، ساخت‌وساز جاده‌ها وخدمات مهندسی، حفاری و	–
	C22	هزینه عملیاتی و نگهداری و تعمیرات	هزینه دستمزد کارکنان و منابع مالی صرف شده برای انرژی، محصولات و خدمات برای بهره‌برداری از سیستم انرژی و هزینه تعمیر و نگهداری	–
	C23	دوره بازگشت سرمایه	مدت‌زمانی که طول می‌کشد تا سرمایه‌گذاری اولیه در پروژه با عایدات آن برابر شود.	–
	C24	عمر سرویس	عمر مورد انتظار و یا دوره قابل‌قبول استفاده از خدمات سیستم انرژی	+
زیست محیطی C3	C31	میزان انتشار NO_x	تأثیری بر تغییرات آب و هوایی ندارد ولی از عناصر کلیدی در ایجاد مه دود (مه غلیظ) است و باعث باران اسیدی می‌شود.	–
	C32	میزان انتشار CO_2	شاخص‌ترین گاز گلخانه‌ای در جو زمین که اقدامات بین‌المللی برای کاهش آن صورت گرفته است.	–
	C33	میزان انتشار CO	منواکسید کربن از احتراق ناقص ترکیبات حاوی کربن تولید می‌شود و به اثر گلخانه‌ای و گرم شدن کره زمین کمک می‌کند.	–
	C34	سروصدا	آلودگی صوتی سیستم‌های انرژی که فعالیت یا تعادل زندگی انسان یا حیوان را مختل کند.	–
اجتماعی C4	C41	سهولت تعمیرات	امکان و راحتی نگهداری و تعمیرات (وجود دانش فنی و نیروی متخصص) در کشور	+
	C42	محدودیت واردات	امکان خرید، واردات و یا قابلیت تولید یا مونتاژ در کشور (شرایط خاص کشور)	–
	C43	ایمنی	میزان امنیت سیستم (اثرات سیستم‌های انرژی بر جامعه، مردم و غیره)	+
	C44	میزان فضا (زمین) مورد استفاده[4]	جا پای بوم‌شناختی، مقدار زمین و آبی است که فرد یا یک جمعیت انسانی، برای تأمین منابع مورد نیاز و پشتیبانی پایداری خود و نیز جذب ضایعات و با فناوری متداول به کار می‌برد.	–

1) Power to heat ratio (PHR)
2) Maturity
3) operation in partial load
4) footprint

پیاده‌سازی روش MDL – FTOPSIS و رتبه‌بندی گزینه‌ها

تعیین وزن هر معیار

پس از شناسایی معیارهای ارزیابی، به‌منظور استفاده از نظر همه تصمیم‌گیرندگان، از روش MDL بهره گرفته شده است. اطلاعات مورد نیاز برای حل مساله به کمک این روش از پرسشنامه استخراج می‌شود. این پرسشنامه شامل ۵ ماتریس مقایسه زوجی (یکی برای معیارهای اصلی و چهار ماتریس برای زیر معیارها) است.

فرد پاسخگو با توجه به معیارهای مطرح شده، آنها را دو به دو با یکدیگر مقایسه می‌کند و از این دو معیار به معیاری که ارزش بالاتری دارد، عدد ۳ و به معیار دیگر عدد ۱ را اختصاص می‌دهد و درصورتی‌که هر دو معیار دارای ارزش یکسان باشند، به هر دو عدد، امتیاز ۲ داده می‌شود. پس از دریافت پاسخنامه، از جمع اعدادی که در سطر مورد نظر آن معیار آورده شده است، امتیاز برای معیار موردنظر به دست می‌آید. مجموع امتیازهای معیارها، امتیاز کل آن معیار را نشان می‌دهد[۷].

در جدول (۳) وزن نرمال‌شده هر یک از معیارها و زیر معیارها با کمک روش MDL آورده شده است.

جدول ۳) وزن معیارها و زیرمعیارها با استفاده از روش MDL

معیار	وزن (۱)	زیر معیار	وزن (۲)	وزن کلی (۱) × (۲)
C1	۰/۲۷۶	C11	۰/۳۴۳	۰/۰۹۴
		C12	۰/۱۶۷	۰/۰۴۶
		C13	۰/۲۸۱	۰/۰۷۷
		C14	۰/۲۰۸	۰/۰۵۷
C2	۰/۳۵۴	C21	۰/۲۸۴	۰/۱
		C22	۰/۲۳۲	۰/۰۸۲
		C23	۰/۱۳۹	۰/۰۴۹
		C24	۰/۳۴۳	۰/۱۲۱
C3	۰/۲۴۵	C31	۰/۲۵	۰/۰۶۱۱
		C32	۰/۲۰۲	۰/۰۴۹۵
		C33	۰/۳۰۹	۰/۰۷۵۷
		C34	۰/۲۸۳	۰/۰۵۸
C4	۰/۱۲۵	C41	۰/۳۱۲	۰/۰۳۹
		C42	۰/۱۲۵	۰/۰۱۵
		C43	۰/۳۲۲	۰/۰۴
		C44	۰/۲۳۴	۰/۰۳

تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری و بی مقیاس سازی داده‌ها

همان‌طور که در بخش‌های قبلی عنوان شد، ماتریس تصمیم‌گیری فازی وضعیت هر یک از گزینه‌های ۶ گانه را نسبت به معیارهای ۱۶ گانه نشان می‌دهد.

اطلاعات مربوط به معیارهای گزینش در رابطه با هر گزینه از اسناد معتبر، نظرات خبرگان و اطلاعات موجود در مقالات و کتب و پژوهش‌های صورت گرفته[۳۵,۲۴,۹,۸,۲] ، جمع‌آوری شده است.

برخی از شاخص‌ها مانند ایمنی، میزان بلوغ فناوری و ... با مقادیر عددی و کمی قابل بیان نیست. لذا با توجه به نظر خبرگان و اطلاعات موجود در منابع مختلف از عبارات زبانی برای تشریح وضعیت این شاخص‌ها استفاده شده است. در ارزیابی کیفی گزینه‌ها در تکنیک تاپسیس فازی معمولا از مقیاس هفت‌درجه‌ای استفاده می‌شود. طیف هفت‌درجه‌ای پیشنهادی چن در ارزیابی گزینه برای تکنیک تاپسیس فازی به‌صورت جدول (۴) است:

جدول ٤) متغیرهای کلامی برای ارزیابی کیفی گزینه‌ها [۳]

عبارت کلامی	عدد فازی	علامت اختصاری
خیلی ضعیف[۱]	(۱ و ۰ و ۰)	VP (VL)
ضعیف	(۳ و ۱ و ۰)	P (L)
تا حدودی ضعیف	(۵ و ۳ و ۱)	MP (ML)
بی‌تفاوت[۱]	(۷ و ۵ و ۳)	F (M)
تا حدودی خوب[۱]	(۹ و ۷ و ۵)	MG (MH)
خوب	(۱۰ و ۹ و ۷)	G (H)
خیلی خوب	(۱۰ و ۱۰ و ۹)	VG (VH)

۱. ضعیف= کم - بی‌تفاوت= مناسب - خوب= زیاد

در ارتباط با معیارهای هزینه سرمایه‌گذاری، هزینه‌های تعمیرات و نگهداری و دوره بازگشت سرمایه، با توجه به شرایط خاص کشور ایران (تحریم و ...)، اطلاعات قابل اطمینانی در این زمینه وجود ندارد. بنابراین، عبارات زبانی برای بیان وضعیت گزینه‌های تحقیق در مورد این معیارها به کار رفته است. جدول (۵) ماتریس تصمیم‌گیری فازی برای ارزیابی محرک‌های اولیه را نشان می‌دهد.

در جدول‌های (۵ و ۶) برای مقادیر کمی، از یک عدد به‌جای عدد فازی مثلثی استفاده شده که بدان مفهوم است که هر سه عدد تشکیل دهنده عدد فازی مثلثی با هم برابر بوده‌اند.

پس از تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری، برای معیارهای دارای جنبه مثبت، بیشترین مقدار و برای معیارهای منفی کمترین مقادیر تعیین می‌شود (دو ستون آخر جدول ۵). سپس با استفاده از فرمول‌های (۴) و (۵) مقادیر بی‌مقیاس‌سازی شده محاسبه می‌شود. ماتریس تصمیم‌گیری بی‌مقیاس‌سازی شده در جدول (۶) آورده شده است.

جدول ۵) ماتریس تصمیم‌گیری یکپارچه

معیار اصلی	زیر معیار / گزینه	A1	A2	A3	A4	A5	A6	Max	Min
فنی	بازده کلی (٪)	۸۵	۸۷	۹۲	۹۰	۸۲	۵۲	۹۲	–
	بلوغ	F	G	VG	P	F	VG	(۹,۱۰,۱۰)	-
	نسبت توان به حرارت	۰/۳	۰/۸۵	۰/۸۵	۱/۵	۰/۶	۰/۳۳		۰/۳
	عملکرد در بار جزئی	G	p	G	G	F	F	(۷,۹,۱۰)	-
اقتصادی	هزینه سرمایه‌گذاری	G	F	MP	VG	MG	P	-	(۰,۱,۳)
	هزینه تعمیرات	MP	MP	F	VG	MG	MP	-	(۱,۳,۵)
	دوره بازگشت سرمایه	MP	F	P	VG	MG	F	-	(۰,۱,۳)
	عمر (سال)	۱۰	۲۰	۲۰	۱۰	۱۲	۲۰	۲۰	-
زیست‌محیطی	NO_X (g/kWh)	۰/۲۳	۰/۲۲۳	۰/۷	۰/۰۰۷	۰/۱۵	۳۰۲	-	۰/۰۰۷
	CO (g/kWh)	۰/۴۵	۰/۶	۰/۸	۰/۰۰۱	۰/۵۴	۴	-	۰/۰۰۱
	CO_2 (g/kWh)	۴۰۰	۵۸۹	۴۳۰	۳۶۲	۷۴۰	۷۰۰	-	۳۶۲
	سروصدا	MP	F	G	p	F	VP	-	(۰,۱,۱)
اجتماعی	میزان فضای مورد نیاز (m^2/kW)	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۶	-	۰/۰۲
	محدودیت واردات	F	MP	P	VG	G	P	-	(۰,۱,۳)
	سهولت تعمیرات	MG	G	VG	VP	p	G	(۹,۱۰,۱۰)	-
	ایمنی	G	G	G	VG	G	VG	(۹,۱۰,۱۰)	-

جدول ٦) ماتریس تصمیم‌گیری بی مقیاس سازی شده

زیر معیار	A1	A2	A3	A4	A5	A6
بازده کلی	۰/۹۲	۰/۹۵	۱	۰/۹۸	۰/۹۲۴	۰/۵۶
بلوغ	(۰/۳,۰/۵,۰/۷۸)	(۰/۷,۰/۹,۱/۱۱)	(۰/۹,۱,۱/۱۱)	(۰,۰/۱,۰/۳۳)	(۰/۳,۰/۵,۰/۷۷۸)	(۰/۹,۱,۱/۱۱)
نسبت توان به حرارت	۱	۰/۳۵۳	۰/۳۵۳	۰/۲	۰/۵	۰/۹۰۹
عملکرد در بار جزئی	(۰/۷,۱,۱/۴۳)	(۰,۰/۱۱,۰/۴۳)	(۰/۷,۱,۱/۴۲)	(۰/۷,۱,۱/۴۲)	(۰/۳,۰/۵۶,۱)	(۰/۳,۰/۵۶,۱)
هزینه سرمایه‌گذاری	(۰,۰/۱۱,۰/۴۳)	(۰,۰/۲,۱)	(۰,۰/۳۳,۱)	(۰,۰/۱,۰/۳۳)	(۰,۰/۱۴۲,۰/۶)	(۰,۱,۱)
هزینه تعمیرات	(۰/۲,۱,۱)	(۰/۲,۱,۵)	(۰/۱۴۳,۰/۶,۱/۶۷)	(۰/۱,۰/۳,۰/۵۵۶)	(۰/۱۱,۰/۴۳,۱)	(۰/۲,۱,۱)
دوره بازگشت سرمایه	(۰,۰/۳۳,۱)	(۰,۰/۲,۰/۴۳)	(۰,۱,۱)	(۰,۰/۱,۰/۳۳)	(۰,۰/۱۴۲,۰/۶)	(۰,۰/۲,۱)
عمر	۰/۵	۱	۱	۰/۵	۰/۶	۱
NO_X	۰/۰۳۰۴	۰/۰۳۱۴	۰/۰۱	۱	۰/۰۴۶۷	۲/۳۲E-۰۵
CO	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۱۲۵	۱	۰/۰۰۱۸۵	۰/۰۰۰۲۵
CO_2	۰/۹۰۵	۰/۶۱	۰/۸۴۲	۱	۰/۴۸۹	۰/۵۱۷
سروصدا	(۰,۰,۱)	(۰,۰,۰/۳۳)	(۰,۰,۰/۱۴۳)	(۰,۰,۱)	(۰,۰,۰/۳۳)	(۰,۱ ,۱)
میزان فضای مورد نیاز	۰/۶۶۷	۰/۶۶۷	۰/۴	۱	۰/۶۶۷	۰/۳۳
محدودیت واردات	(۰,۰,۰/۳۳)	(۰,۰,۱)	(۰,۱ ,۱)	(۰,۰,۰/۱۱)	(۰,۰,۰/۱۴۳)	(۰,۰,۱)
سهولت تعمیرات	(۰/۵,۰/۷,۱)	(۰/۷,۰/۹,۱/۱۱)	(۰/۹,۱,۱/۱۱)	(۰,۰,۰/۱۱)	(۰,۰/۱,۰/۳۳)	(۰/۷,۰/۹,۱/۱۱)
ایمنی	(۰/۷,۰/۹,۱/۱۱)	(۰/۷,۰/۹,۱/۱۱)	(۰/۷,۰/۹,۱/۱۱)	(۰/۹,۱,۱/۱۱)	(۰/۷,۰/۹,۱/۱۱)	(۰/۹,۱,۱/۱۱)

A1-A6 در جداول ۵ و ۶ نشانگر گزینه‌های تحقیق هستند.

ماتریس تصمیم‌گیری موزون

در مرحله بعد به‌منظور تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری موزون، وزن‌های بدست‌آمده به روش MDL (جدول ۳) در عناصر ماتریس تصمیم‌گیری بی مقیاس‌سازی شده (جدول ۶) ضرب می‌گردد. شایان ذکر است که به علت حجیم بودن محاسبات، از ذکر ماتریس نرمالیزه شده وزن‌دار صرف‌نظر شد. در گام بعدی با توجه به روابط (۸) و (۹) مقادیر ایده آل مثبت و منفی فازی تعیین می‌گردد (جدول ۷).

تعیین نقاط ایده‌آل مثبت و منفی، محاسبه شاخص شباهت و رتبه‌بندی

در دو مرحله پایانی، مجموعه نقاط ایده‌آل مثبت و منفی با بکارگیری فرمول‌های (۱۲) و (۱۳) به دست خواهند آمد. نقاط ایده‌آل مثبت، فاصله از ایده آل مثبت و نقاط ایده آل منفی، فاصله از ایده‌آل منفی را نشان می‌دهند. بنابراین، هر چه فاصله شاخص‌ها از ایده آل مثبت کمتر و از ایده آل منفی بیشتر باشد، از اولویت بالاتری برخوردار خواهند بود. ضریب نزدیکی نیز که از طریق فرمول (۱۴) محاسبه می‌شود، بیانگر درجه اهمیت شاخص‌هاست، بدین معنا که هرچه ضریب نزدیکی بیشتر باشد، متغیرها از رتبه بهتری برخوردار خواهند بود.

مجموعه نقاط ایده‌آل مثبت، منفی، ضریب نزدیکی (شاخص شباهت) و رتبه نهایی گزینه‌ها نیز در جدول (۸) آمده است. با عنایت به جدول (۸)، ملاحظه می‌شود موتور پیستونی (موتور گازسوز) بهترین انتخاب می‌باشد و بعد از آن توربین گاز، روش تولید مجزا (روش سنتی)، موتور استرلینگ، سلول سوختی و میکرو توربین به ترتیب در رتبه دوم تا ششم قرار دارند.

علاوه بر این، به‌منظور بررسی بیشتر می‌توان محرک‌های اولیه را بر اساس هر یک از معیارهای فنی، اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی به‌تنهایی مورد ارزیابی قرار داد. جدول (۹) نتایج رتبه‌بندی و شکل (۲) نمودار گرافیکی را جهت مقایسه برای هر یک از معیارها نشان می‌دهد.

با توجه به شکل (۲)، از منظر فنی، موتور پیستونی بهترین گزینه و سلول سوختی اکسید جامد بدترین انتخاب است که دلیل آن میزان بازدهی بالاتر و تثبیت بلوغ فناوری در موتورهای پیستونی نسبت به سایر گزینه‌ها می‌باشد.

از نظر اقتصادی، توربین گاز انتخاب بهینه و سلول سوختی بدترین و غیراقتصادی‌ترین طرح برای بیمارستان است.از دیدگاه زیست‌محیطی، پیل سوختی به دلیل کمترین میزان انتشار NO_X،CO، CO_2 و سروصدای پایین دارای بالاترین شاخص شباهت بوده و سایر محرک‌های اولیه فاصله زیادی با این گزینه دارند که این موضوع نشاندهنده ارجحیت کامل سلول سوختی اکسید جامد بر سایر فناوری‌های مورد بررسی دارد.

از دید اجتماعی، باز هم موتور پیستونی بهترین گزینه بوده که این نتیجه می‌تواند ناشی از ایمنی بالا، محدودیت پایین در واردات و سهولت تعمیرات در کشور باشد.

بررسی وزن‌های بدست آمده با توجه به نظر خبرگان نشان می‌دهد که معیار اقتصادی مهم‌ترین معیار و معیار اجتماعی کم‌اهمیت‌ترین معیار از میان معیارهای اصلی است. در میان معیارهای فرعی (زیر معیارها)، شاخص‌های دوره بازگشت سرمایه و هزینه سرمایه‌گذاری دارای بیشترین اهمیت و شاخص میزان فضای مورد استفاده دارای کمترین اهمیت می‌باشد. همچنین اگر وزن‌ها از منظر تک‌تک معیارهای اصلی مورد بررسی قرار گیرند، زیر معیار بازدهی کلی از نظر فنی، دوره بازگشت سرمایه از دید اقتصادی، CO_2 از منظر زیست‌محیطی و ایمنی و محدودیت واردات از دیدگاه اجتماعی، مهم‌ترین معیارها هستند.

جدول ۷) جواب ایده‌آل مثبت فازی و ایده‌آل منفی فازی

زیر معیار	جواب ایده‌آل مثبت	جواب ایده‌آل منفی
بازده کلی	(۰/۰۹۵,۰/۰۹۵ ,۰/۰۹۵)	(۰/۰۵۴,۰/۰۵۴ ,۰/۰۵۴)
بلوغ	(۰/۰۷,۰/۰۷۸ ,۰/۰۸۶)	(۰,۰/۰۰۸,۰/۰۸۶)
نسبت توان به حرارت	(۰/۰۴۶,۰/۰۴۶,۰/۰۴۶)	(۰/۰۰۹,۰/۰۰۹,۰/۰۰۹)
عملکرد در بار جزئی	(۰/۰۴,۰/۰۵۸,۰/۰۸۲)	(۰,۰/۰۰۶,۰/۰۲۵)
هزینه سرمایه‌گذاری	(۰,۰/۱۰۱,۰/۱۰۱)	(۰,۰/۰۱,۰/۰۳۴)
هزینه تعمیرات	(۰/۰۱۶,۰/۰۸۲,۰/۴۱۲)	(۰/۰۰۸,۰/۰۲۵,۰/۰۴۶)
دوره بازگشت سرمایه	(۰,۰/۱۲۱,۰/۱۲۱)	(۰,۰/۰۱۲,۰/۰۴)
عمر	(۰/۰۴۹,۰/۰۴۹,۰/۰۴۹)	(۰/۰۲۵,۰/۰۲۵,۰/۰۲۵)
NO_X	(۰/۰۶۱, ۰/۰۶۱, ۰/۰۶۱)	(۰,۰,۰)
CO	(۰/۰۶۷,۰/۰۶۷,۰/۰۶۷)	(۰,۰,۰)
CO_2	(۰/۰۷۶,۰/۰۷۶,۰/۰۷۶)	(۰/۰۳۷,۰/۰۳۷,۰/۰۳۷)
سروصدا	(۰,۰/۰۵۸,۰/۰۵۸)	(۰,۰,۰/۰۰۸)
فضای مورد استفاده	(۰/۰۱۶,۰/۰۱۶,۰/۰۱۶)	(۰/۰۰۵,۰/۰۰۵,۰/۰۰۵)
محدودیت واردات	(۰,۰/۰۳۹,۰/۰۳۹)	(۰,۰,۰/۰۳۹)
سهولت تعمیرات	(۰/۰۲۷,۰/۰۳,۰/۰۳۳)	(۰,۰,۰/۰۰۳)
ایمنی	(۰/۰۳۶,۰/۰۴,۰/۰۴۵)	(۰/۰۲۸,۰/۰۴,۰/۰۴۵)

جدول۸) مجموعه نقاط ایده‌آل مثبت، منفی و اوزان نهایی گزینه‌ها

گزینه	مجموعه نقاط ایده‌آل مثبت	مجموعه نقاط ایده‌آل منفی	ضریب نزدیکی (وزن نهایی)	رتبه
A1	۰/۵۵۹	۰/۳۴	۰/۳۷۸	۴
A2	۰/۴۲۱	۰/۴۵۹	۰/۵۲	۲
A3	۰/۴	۰/۴۵۲	۰/۵۳	۱
A4	۰/۵۸۱	۰/۲۸۳	۰/۳۲۷	۵
A5	۰/۶۷۴	۰/۱۸۵	۰/۲۱۵	۶
A6	۰/۴۹	۰/۴	۰/۴۴۹	۳

نتیجه‌گیری و پیشنهاد

پژوهش حاضر با هدف بررسی و رتبه‌بندی محرک‌های اولیه متداول سیستم‌های CCHP با توجه به اهداف فنی و توسعه پایدار صورت گرفته است. در این پژوهش برای تعیین اوزان معیارها از روش منطق دیجیتالی تعدیل شده و برای اولویت‌بندی گزینه‌های تحقیق، روش فازی تاپسیس به کار برده شده است. روش ارائه شده این مزیت را دارد که همزمان می‌تواند میزان سردرگمی متخصصین برای تعیین وزن معیارها را کاهش و از سوی دیگر، بر عدم اطمینان و ابهام ناشی از عدم قطعیت اطلاعات غلبه کند. همچنین این روش قابلیت اجرا با هردو معیار کمی و کیفی را دارد.

معیارهای تحقیق شامل ۴ معیار اصلی و ۱۶ معیار فرعی و گزینه‌های آن محرک‌های اولیه موتور استرلینگ، توربین گاز، موتور پیستونی (موتور گازسوز)، سلول سوختی اکسید جامد، میکرو توربین و سیستم تولید مجزا برق، حرارت و برودت، بودند. نتایج بررسی نشان می‌دهد موتور رفت و برگشتی (موتور گازسوز) با توجه به تمامی معیارها برترین انتخاب می‌باشد. این امر بیشتر می‌تواند به دلیل بلوغ کامل این فناوری، کم بودن محدودیت واردات نسبت به سایر گزینه‌ها، بازدهی بالا و سهولت تعمیرات و نگهداری در کشور باشد.

همچنین با توجه به ارزیابی تک‌تک معیارهای اصلی، سلول‌های سوختی از نظر اقتصادی به هیچ عنوان مقرون‌بصرفه نیست که دلیل آن می‌تواند بالا بودن هزینه‌ها اعم از سرمایه‌گذاری و تعمیرات و نگهداری و به تبع آن افزایش دوره بازگشت سرمایه با توجه به عمر خدمات کمتر این فناوری نسبت به سایر فناوری‌ها باشد. به‌عبارت‌دیگر، قیمت برق تولیدی در حال حاضر و با توجه به وضعیت فعلی فناوری پیل سوختی قابل مقایسه و رقابت با فناوری‌های متداول فعلی نیست.

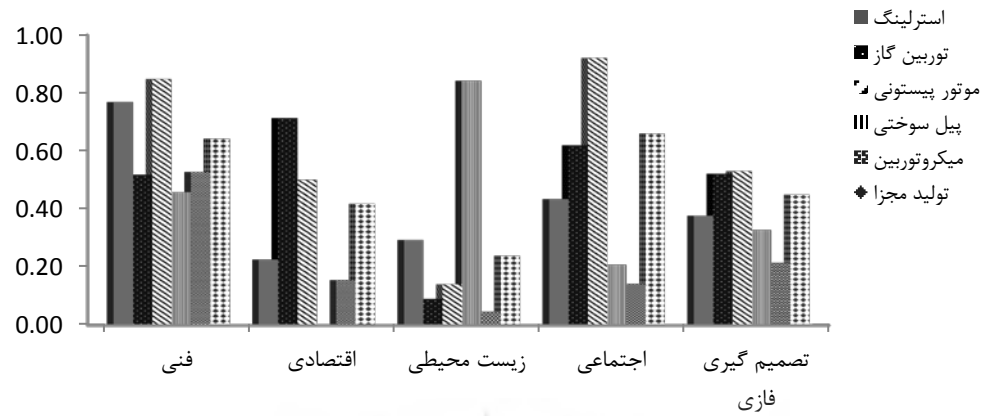
محرک‌های اولیه موتور استرلینگ و میکرو توربین و سلول سوختی به دلیل عدم سهولت در تعمیرات و نگهداری، حجم سرمایه‌گذاری، هزینه‌ها، منافع و محدودیت در واردات در شرایط فعلی گزینه‌های مناسبی برای بیمارستان‌ها و مراکز خدماتی به‌طور خاص و کشور ایران به‌طور عام نیست. البته می‌توان با دستیابی به دانش فنی در کشور و دستیابی به بلوغ تثبیت شده از نظر فنی برای فناوری‌های موتور استرلینگ و میکرو توربین و سلول سوختی به افزایش کارایی این سیستم‌ها بخصوص در مورد سلول سوختی اکسید جامد با توجه به منافع زیست‌محیطی آن امیدوار بود. همچنین استفاده از تجهیزات فوق برای متنوع کردن سیستم عرضه انرژی کشور و رهایی از سوخت‌های فسیلی که دارای سطح بالاتری از آلایندگی‌های زیست‌محیطی هستند، می‌تواند دارای توجیه باشد.

به منظور مقایسه نتایج، پیشنهاد می‌گردد از سایر روش‌های تصمیم‌گیری نظیر تجزیه و تحلیل خاکستری و ... برای اولویت‌بندی گزینه‌ها از روش‌هایی مانندAHP، روش‌های فازی و ترکیبی برای تعیین وزن‌های تحقیق استفاده شود.

همچنین علاوه بر معیارهای در نظر گرفته شده در این تحقیق، محققان می‌توانند در مطالعات آینده تأثیر معیارهایی نظیر تنوع سوخت، هزینه سوخت، قوانین و پروتکل‌های بین‌المللی و زیست‌محیطی و ... را بر اولویت‌بندی و انتخاب مناسب‌ترین محرک اولیه مورد بررسی قرار دهند.

جدول ۹) رتبه‌بندی محرک‌های اولیه از دیدگاه فنی، اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی و یکپارچه

معیار / گزینه	فنی	اقتصادی	زیست محیطی	اجتماعی	تصمیم‌گیری فازی
موتور استرلینگ	۰/۷۷	۰/۲۲۶	۰/۲۹۴	۰/۴۳۴	۰/۳۷۸
توربین گاز	۰/۵۱۸	۰/۷۱۳	۰/۰۹۱	۰/۶۱۹	۰/۵۲۲
موتور پیستونی	۰/۸۴۷	۰/۵۰۱	۰/۱۴۱	۰/۹۲	۰/۵۳
سلول سوختی	۰/۴۵۸	۰	۰/۸۴۱	۰/۲۰۹	۰/۳۲۷
میکروتوربین	۰/۵۲۸	۰/۱۵۶	۰/۰۴۷	۰/۱۴۳	۰/۲۱۵
تولید مجزا	۰/۶۴۴	۰/۴۱۸	۰/۲۴	۰/۶۶۱	۰/۴۵



شکل ۲) نمایش گرافیکی رتبه‌بندی محرک‌های اولیه از دیدگاه فنی، اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی و یکپارچه

منابع

[۱] بهبهانی نیا، سید علی. عمیدپور، مجید. تسلطی، بهرام و بهبهانی نیا، پریسا. (۱۳۸۹)، تحلیل ریسک مالی سیستم های chp در شرایط عدم قطعیت. مجله پژوهش های مدیریت، شماره ۸۵.

[۲] پارسا مقدم، محسن. (۱۳۹۱)، فناوری‌ها، اصول طراحی، بهره برداری از سامانه های تولید همزمان برق و گرما (CHP) (راهنمای مولدهای مقیاس کوچک) ناشر شرکت توانیر – سازمان بهره وری انرژی ایران(سابا).

[۳] حبیبی، آرش.، ایزدیار، صدیقه.، سرافرازی، اعظم. (۱۳۹۳)، تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی، انتشارات کتیبه گیل.

[۴] راهنمای جامع تولید همزمان برق و حرارت. (۱۳۸۸)، وزارت نیرو دفتر بهبود بهره وری و اقتصاد برق و انرژی.

[۵] موسوی خلخالی سید محمد صادق، حاجی سقطی ساسان. (۱۳۷۹)، پروژه مدیریت مصرف انرژی در یک نمونه بیمارستان ۴۰۰ تختخواب. معاونت امور انرژی وزارت نیرو، ص ۸۹.

[۶] نصب آزمایشی ۱۰۰ مگاوات واحد تولید همزمان برق و حرارت در بیمارستان‌ها و دانشگاه‌های دولتی در مناطق مختلف کشور. « گزارش توجیه فنی، اقتصادی و زیست محیطی». (۱۳۹۰)، سازمان بهره وری انرژی ایران (سابا).

[7] Abdoli-Aghaei.H, Beheshtinia.M, Amalnick.M, Gholimotlagh.M, & Fartash.K. (2011). Studying technology roadmapping development and selecting the appropriate model for aircraft design and manufacturing industry. *SCIENTIFIC RESEARCH CENTER*, 43-54.

[8] Al-Sulaiman.F.A, Hamdullahpur. y.F. and Dincer.I. (2011). Trigeneration: A comprehensive review based on prime movers. *International Journal of Energy Research*, 35, 233–258.

[9] Catalog of CHP Technologies. U.S. Environmental Protection Agency, Accessed September 2014; http://www.epa.gov/chp/technologies.html.

[10] Chakraborty.S and Chatterjee.P, Decis. i. (2013). Selection of materials using multi-criteria decision-making methods with minimum data. Sc, 2, 135–148.

[11] Chicco.G, Mancarella.P. (2008). Assessment of the greenhouse gas emissions from cogeneration and trigeneration systems Part I: Models and indicators. *Energy*, 410–7.

[12] Cho.H, Smith.A.D, Mago.P. (2014). Combined cooling, heating and power: A review of performance improvement and optimization. *Applied Energy*, 136, 168-185. doi:10.1016/j.apenergy.2014.08.107.

[13] Dehghan-Manshadi.B, Mahmudi.H, Abedian.A, and Mahmudi.R. (2007). A novel method for materials selection in mechanical design: combination of non-linear normalization and a modified digital logic method. *Materials & Design*, 28(1), 8–15.

[14] Deng.J, Wang.R.Z, Wu.J.Y, Han.G.Y, Wu.D.W. (2008). Exergy cost analysis of a micro-trigeneration system based on the structural theory of thermoeconomics. *Energy*, 33, 1417–1426.

[15] D ~~az~~.P.R, Benito.Y.R, Parise.J.A.R. (2010). Thermoeconomic assessment of a multi-engine, multi-heat-pump CCHP (combined cooling, heating and power generation) system e: a case study. *Energy*, 35, 3540–3550.

[16] Diakoulaki.D, Mavrotas.G, and Papayannakis.L. (1995). Determining objective weights in multiple criteria problems: The critic method. *Comput. Oper. Res*, 22(7), 763–770.

[17] Gianfranco.C, Pierluigi.M. (2008). Assessment of the greenhouse gas emissions from cogeneration and trigeneration systems. Part I: models and indicators. *Energy*, 33, 410–417.

[18] Hao.X, Zhang.G, Chen.Y. (2007). Role of BCHP in energy and environmental sustainable development and its prospects in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*(11), 1827–1842.

[19] Hongbo.R,Weijun. G, Weisheng.Zh, Ken'ichi.N. (2009). Multi-criteria evaluation for the optimal adoption of distributed residential energy systems in Japan. *Energy Policy*, 5484-5493.

[20] Hwang.C.L & Yoon.K. (1981.). Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. *Springer*-Verlag New York.

[21] Jing.Y.Y, Bai.H, Wang. J .J. (2012). A fuzzy multi-criteria decision-making model for CCHP systems driven by different energy sources. *Energy Policy*, 42, 286–296.

[22] Joel.H.S, Augusto. S.C. (2003). Trigeneration: an alternative for energy savings. *Applied Energy*, 219–227.

[23] Jradi.M, Riffat.S. (2014). Tri-generation systems: Energy policies, prime movers, cooling technologies, configurations and operation strategies. *Renewable and Sustainable Energy*

Reviews (32), 396–415. doi:10.1016/j.rser.2014.01.039.

[24] Kong.X.Q, Wang.R.Z, Y. Li.Y, Huang. X.H. (2009). Optimal operation of a microcombined cooling, heating and power system driven by a gas engine. *Energy Conversion and Management*,. 50, 530–538.

[25] Liu.D.H, Yang.Y.P. , Yang.K,Yang.Z.P,Guo.X.A. (2005). The comprehensive evaluation of distributed energy system. *Engineering Thermophysics*, 382–384.

[26] Medrano.M, Brouwer.J, McDonell.V, Mauzey.J, Samuelsen.S. (2008). Integration of distributed generation systems into generic types of commercial buildings in California. *Energy and Buildings*(40), 537–548.

[27] Miguel.A.L, Jose.C.R, Luis.M.S. (2010). Cost optimization of the design of CHCP (combined heat, cooling and power) systems under legal constraints. *Energy*, 35, 794–805.

[28] Mingxi Liu, Yang Shi, Fang Fang . (2014). Combined cooling, heating and power systems: A survey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 35, 1–22.2014. doi:10.1016/j.rser.2014.03.054.

[29] Pilavachia.P.A, Roumpeasa.C.P, Minettb.S,Afganc.N.H. (2006). Multi-criteria evaluation for CHP system option. *Energy Conversion and Management*, 47(20), 3519–3529.doi:10.1016/j.enconman.2006.03.004.

[30] Qiong.W, Hongbo. R. a., Weijun.G. b. , Jianxing.R. (2014). Multi-criteria assessment of combined cooling, heating and power systems located in different regions in Japan. *Applied Thermal Engineering*. doi: doi:10.1016/j.applthermaleng.2014.08.020.

[31] Rosilah.H, Norul-Huda.Y, & Syahanim-mohd.S. (2011). Easy electronic software for digital logic design. Social and Behavioral Sciences(59), 498-507.

[32] Sutton.A.K., Cresster.J.D.,Carts. M.A. , Marshal.W, Pellish.P. A, Ramachandran.J, Reed.A, , L.Alles.L, & Niu, Proton.G. (2008). -induced SEU in SiGe digital logic at cryogenic temperatures. *Solid-State Electronics*(52), 1652-1659.

[33] Wang.J.J , Jing.Y.Y, Zhang.C.F, G-H Shi, Zhang.X.T. (2008). A fuzzy multi-criteria decision-making model for trigeneration system. *Energy Policy*, 36(10), 3823–3832.

[34] Wang.J.J , Jing.Y.Y, Zhang.C.F, G-H Shi, Zhang.X.T. (2008). A fuzzy multi-criteria decision-making model for trigeneration system. *Energy Policy*, 36(10), 3823–3832.

[35] Wang.J.J,Jing.Y.Y, Zhang.C.F, Zhai.Z. (2011). performance comparison of combined cooling heating and power system in different operation modes. *Applied Energy*, 88(12), 4621-4631.

[36] Wang.J-J , Jing.Y-Y, Zhang. C-F, Zhao.J-H. (2009). Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making ,. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 2263–2278. doi: doi:10.1016/j.rser.2009.06.021.

[37] Wang.J-J.,Zhang. C-F , Jing. Y-Y. (2010). Multi-criteria analysis of combined cooling,

heating and power systems in different climate zones in China. *Applied Energy*, 87, 1247-1259.

[38] Windmiller.J.R., Padmanabhan.S, Katz.E, & Wang.J. (2011). Bioelectronic system for the control and readout of enzyme logic gates. Sensors and Actuators B: Chemical, 206-213.

[39] Yingjun.R, Liu.Q, Zhou.W, Firestone.R, Weijun Gao.G, Watanabe.T. (2009). Optimal option of distributed generation technologies for various commercial buildings. *Applied Energy*, 86, 1641–1653.

[40] Zadeh, L. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*(8), 38-53.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی