



نشریه تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات

رتبه بندی راهکارهای کاهش مصرف انرژی الکتریکی در سیمان سپاهان اصفهان با استفاده از تکنیک AHP فازی

سعید موجودی^۱، عاطفه امین دوست^{۲*}، مهرداد نیکبخت^۲

۱- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

چکیده:

مدیریت مصرف انرژی مجموعه ای از روشها و راهبردهاست که به منظور بهینه سازی مصرف انرژی به کار گرفته می شود. به دلیل کاربرد گسترده انرژی الکتریکی در زندگی بشر قسمت عمده فرآیندهای مدیریت مصرف مرتبط با مدیریت مصرف انرژی الکتریکی است. هدف اصلی آنست که چگونه می توان راهکارها و شاخصهای کاهش مصرف انرژی را در صنعت سیمان شناسایی نمود و با استفاده از روش AHP فازی راهکارها را رتبه بندی نمود. در ابتدا به جمع آوری ۲۳ راهکار و ۷ شاخص از طریق پیشینه، مصاحبه و طوفان مغزی با خبرگان، متخصصان و کارشناسان سیمان سپاهان پرداخته شد. سپس با تنظیم پرسشنامه و توزیع آنها در بین ۱۰۰ نفر خبره و کارشناس، ماتریس تصمیم گیری و ماتریس مقایسات زوجی بدست آمد. پس از آن با طیف ساعتی داده های ماتریس ها به اعداد فازی تبدیل شد و با میانگین داده ها ماتریسهای تصمیم فازی و مقایسات زوجی ۲۳ راهکار و ۷ شاخص تشکیل شدند. در پایان ۲۳ راهکار با استفاده از AHP فازی رتبه بندی شدند. نتایج رتبه بندی حاکی از آنست که پس از شناسایی و رتبه بندی، راهکار «بازیافت حرارت از گازهای داغ خروجی و تولید برق» و راهکار «جایگزینی آسیابهای غلطکی به جای آسیابهای گلوله‌ای» به عنوان بالاترین رتبه ها بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: رتبه‌بندی، کاهش مصرف انرژی الکتریکی، AHP فازی، صنعت سیمان

* نویسنده مسئول:

۱- مقدمه

انرژی، نقشی حیاتی در فعالیتهای روزانه و روند توسعه منابع انسانی در جوامع مختلف ایفا می‌کند و نیز انرژی، یکی از فاکتورهای اساسی برای توسعه اقتصادی و اجتماعی در جوامع مختلف است. با افزایش جمعیت، صنعتی شدن و افزایش استانداردهای زندگی اهمیت انرژی بطور قابل توجهی افزایش یافته است. بعد از بحران نفتی دهه ۷۰ میلادی، کشورهای مختلف تلاش کرده اند با بهینه سازی مصرف انرژی، هزینه و استفاده از منابع طبیعی را کاهش داده و از این طریق با حفاظت از محیط زیست در نهایت رشد اقتصادی بالاتری داشته باشند (هپ باسلی و اوزالپ^۱، ۲۰۰۳).

صنعت سیمان به عنوان یکی از مهم ترین مصرف کنندگان شدید انرژی در میان صنایع جهان است (یوسان و همکاران^۲، ۲۰۱۳). همچنین به عنوان یک کالای صنعتی با بیش از صد سال عمر، از جمله ضروری ترین محصولات برای آبادانی می باشد. همچنین کارخانجات تولید سیمان، فولاد و فلزات و همچنین نیروگاهها انرژی زیادی به صورت برق یا مواد سوختنی مصرف می‌کنند (عوامی و ستاری، ۲۰۰۷). وضعیت تقاضای انرژی در کشور حاکی از آن است که بهبود سطح کارایی فنی و بازدهی اقتصادی بخش انرژی و سایر بخشهای اقتصادی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و برطرف کردن موانع موجود در این زمینه، مهمترین روش دستیابی به اهداف فوق می‌باشد (سبوحی^۳، ۲۰۰۱).

برای اینکه بتوان اقدامات اصلاحی انجام داد و سازمانها را به سمت کاهش مصرف انرژی الکتریکی هدایت نمود، می بایست راهکارها و شاخص های تاثیر گذار بر کاهش مصرف انرژی را شناسایی کرد و در جهت کاهش مصرف انرژی الکتریکی اقدامات اصلاحی انجام داد. آنچه که اهمیت دارد، شناسایی راهکارهایی است که در سازمانها تاثیر گذار است و مهم تر اینکه این شاخص ها و عوامل کلیدی مورد توجه واقع گردد و در سیاست گذاری ها لحاظ شود. در این تحقیق از طریق ارائه روشی بر اساس ممیزی انرژی و منابع، شناسایی و رتبه بندی انجام گردیده است. مطابق با نتایج نظری و مدل مفهومی ارائه شده، کلیه مراحل درسیمان سپاهان اصفهان بعنوان مطالعه موردی انجام گردیده است.

در این مقاله علاوه بر روش طوفان مغزی و مصاحبه با خبرگان شرکت سامان انرژی در جهت جمع آوری راهکارها و شاخصهای کلیدی، به کمک تکنیک AHP فازی رتبه بندی راهکارها بر اساس شاخصها در سیمان سپاهان اصفهان مورد بررسی قرار داده تا رتبه بندی راهکارها دقیق تر باشد.

¹. Hepbasli, A. & N. Ozalp

². Uson AA

³.Saboohi, Y

۲- ادبیات پژوهش

تحقیقات و روش‌های متعددی برای شناسایی و رتبه‌بندی راهکارهای کاهش مصرف انرژی در صنایع مختلف ارایه شده است. اسد بلند و همکاران در سال ۱۳۹۰ در مقاله‌ای با عنوان بهینه‌سازی مصرف انرژی الکتریکی در بخش‌های صنعت (با تاکید بر صنایع تولید سیمان)، کشاورزی و روشنایی معابر با استناد به نتایج مطالعات پروژه که در سال‌های اخیر توسط مرکز تحقیقات نیرو انجام گرفته، گزینه‌های برای تخصیص صرفه‌جویی در بخش‌های مختلف مصرف‌کنندگان انرژی الکتریکی با هدف اولیه کاهش پیک شبکه سراسری پیشنهاد شده است. بررسی‌های اولیه حاکی از آن است که با توجه به سیستم تعرفه‌های زمان مصرف، نصب کنتورهای چند تعرفه، ایجاد فرهنگ مناسب، نگهداری و تعمیرات، بکارگیری لامپ‌های کم مصرف، اعمال کنترل بر روی وسایل برودتی و سرمایشی جابجایی برنامه ریزی شده در خطوط تولید برخی کارخانه‌ها و.... متوان تاثیر قابل توجهی در کاهش پیک شبکه سراسری و نیز در کاهش یا به تعویق انداختن سرمایه‌گذاری توسعه ظرفیت‌های نیروگاهی و شبکه دانست.

اوشال و همکاران در سال ۱۳۹۰ در مقاله‌ای با عنوان ممیزی انرژی تفصیلی ابزاری جهت مدیریت بهینه مصرف انرژی در صنایع انواع روشهای ممیزی بعنوان ابزاری جهت مدیریت بهینه مصرف انرژی بررسی شد و از این میان روش ممیزی انرژی تفصیلی بعنوان کاملترین روش ممیزی مورد توجه و توضیح قرار گرفت. این روش جهت بخشهای متنوع و مشترک سیستمهای فرآیندی توضیح داده شد و روابط حاکم در این روش جهت سیستمها بیان گردیدند. از روابط حاکم بر روش ممیزی انرژی تفصیلی میتوان به دقت و میزان کاربرد بعنوان وسیله‌ای قدرتمند جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی در فرآیندهای مختلف صنعتی پی برد.

صفایی و امیر باصولی در سال ۱۳۹۱ در مقاله‌ای با عنوان شناسایی و اولویت بندی راهکارهای بهبود مصرف انرژی در صنعت با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (تاپسیس، الکتراه، بردا و ادغام) در فولاد آلیاژی ایران پرداخته‌اند. که در این مطالعه مهمترین راهکارها از دیدگاه مدیریتی، فنی شناسایی شده و نتیجه این پژوهش برای اجرا به ترتیب: کنترل دمای کوره پیشگرم، پایین آوردن درجه حرارت تختال خروجی کوره پیشگرم و کاهش مصرف غیر ضروری آب در قوس الکتریکی می‌باشند.

نجات خواه و همکاران در سال ۱۳۹۱ در مقاله‌ای با عنوان بهسازی مصرف انرژی الکتریکی، چالشها و راهکارهای بهینه مصرف انرژی در این مقاله راهکارهای بهسازی مصرف و مدیریت انرژی الکتریکی را بررسی می‌کند و بهسازی مصرف انرژی الکتریکی را به چهار دسته مدیریت بار الکتریکی، بهسازی مصرف الکتریکی در موتورها، کیفیت توان بار الکتریکی و بهسازی مصرف در سیستم‌های روشنایی تقسیم بندی می‌کند که از جمله راهکارهایی هستند که در مدت کوتاه و با سرمایه گذاری کم، موجب کاهش و بهسازی مصرف انرژی می‌گردند از طرفی و با استفاده از تولید محلی انرژی الکتریکی توسط منابع انرژی تجدید پذیر، تجدید ناپذیر و یا بصورت هیبریدی (ترکیبی از منابع انرژی تجدید پذیر و تجدید ناپذیر) کاهش توان تلفاتی خطوط انتقال انرژی و افزایش قابلیت اطمینان در تولید، تزریق توان راکتیو (اصلاح ضریب توان) و جبران

سازی هارمونیک‌های سیستم (کارکرد بصورت فیلتر اکتیو) را بدست می‌آورد. در این پژوهش، نیز با استفاده از شبیه‌سازی سیستم هیبریدی متصل به شبکه قدرت که یک بار محلی را نیز تغذیه می‌کند، مورد شبیه‌سازی قرار گرفته است. این سیستم علاوه بر تولید توان اکتیو مورد نیاز بار، توانایی تزریق توان راکتیو (اصلاح ضریب توان بار) و همچنین جبران سازی هارمونیک‌های بار (عملکرد به صورت اکتیو فیلتر) را نیز دارند که این خصوصیات سیستم باعث شده است تا علاوه بر طراحی یک کنترل‌کننده جامع‌تر نسبت به کارهای پیشین، ولتاژ و جریان خروجی سیستم هیبریدی نیز در مقایسه با آنها کاهش یابد.

چنان‌که تاناوات و همکاران^۱ در سال ۲۰۱۴ در مطالعه‌ای با عنوان تجزیه و تحلیل تغییر شدت انرژی در صنایع تولیدی تایلند با استفاده از روش تجزیه لگاریتمی متوسط شاخص‌ها بیان می‌دارد که دو متغیر اصلی تغییر ساختاری در صنعت و تغییرات شدت انرژی در صنعت تایلند باعث بهبود بهره‌وری انرژی و باعث کاهش شدت انرژی در این صنعت می‌شود.

پارش کومار و پورناناد^۲ در سال ۲۰۱۴ در مقاله‌ای با عنوان بررسی تجربی صنایع هند در بهره‌وری انرژی از تاسیسات برق از طریق فرآیند شیوه‌های حفاظت انرژی‌های استاندارد که به انرژی و فرصت‌های حفاظت از انرژی در صنعت می‌پردازد و از طریق روش ممیزی انرژی مولفه‌های رتبه قدرت، مدت زمان عمل، ضریب قدرت و دیگر جزییات ماشین آلات و تجهیزات برای صنعت انتخاب شده است. و اندازه‌گیری داده‌ها در مورد فرصت حفاظت و تکنیک‌های صرفه‌جویی در انرژی مانند پمپ‌های کارآمد انرژی، تنظیم الکتروموتورها، استفاده از خازن‌ها در موتورها و کانال کشی برای دریافت هوا از کمپرسورها، توقف نشستی هوا از کمپرسور هوا انجام شده و نیز جهت صرفه‌جویی در انرژی تجزیه و تحلیل سود و هزینه‌ها محاسبه شد. در پایان این تحقیق منجر به صرفه‌جویی در کل به میزان ۲۲۹۳۶۹ (کیلووات ساعت/سال) و صرفه‌جویی سالیانه ۱۳۴۳۶۷۰ روپیه شد.

آتماسا و یامراتاس^۳ در سال ۲۰۱۴ مقاله‌ای تحت عنوان تجزیه و تحلیل از موتورهای الکتریکی و صرفه‌جویی انرژی در صنعت سیمان هند را ارائه نموده‌اند. به بررسی انرژی خاص کوره دوار پرداخته است بطوری که تجزیه و تحلیل کوره بصورت ترمودینامیکی بوده و جهت دستیابی به مدیریت انرژی موثر و کارآمد می‌باشد. در این مقاله برای پارامترهای عملکرد مانند تلفات حرارت، انرژی خاص و محاسبات انرژی خاص از نرم افزار اکسل ۲۰۱۳ و از روش محاسبات عددی استفاده شده است و نتیجه آنکه قطع دمای درونی کوره، تنظیم دمای سطح داخل کوره دوار و ضخامت آجرهای نسوز باعث کاهش مصرف انرژی در این صنعت شده است.

¹. Chontanawat, J., et al

². Pareshkumar, A. V. and V. B. Purnanad

³. Atmaca, A. and R. Yumrutaş

یوژائو و همکاران^۱ در سال ۲۰۱۴ مقاله‌ای با عنوان مطالعه مقایسه‌ای مصرف انرژی و بهره‌وری انرژی در صنعت چین و ژاپن بیان نمودند که ارتباط قوی بین کاهش شدت انرژی با بهبود بهره‌وری انرژی در صنعت این دو کشور وجود دارد. یعنی آنکه سیاست‌های بهره‌وری انرژی می‌تواند در کاهش شدت انرژی تاثیر مهمی داشته باشد لذا در این مطالعه تغییر ساختار در انرژی چاش‌ها و اهمیت‌های آن نیز بیان شده است که تغییر ساختاری در بخش صنعت اندازه‌گیری ارزش افزوده انرژی و تغییر ساختاری زیر بخشها تعریف شده است.

آلوس و همکاران^۲ در سال ۲۰۱۴ در مقاله‌ای تحت عنوان بهینه‌سازی مصرف انرژی در صنایع لبنی پرتغال با استفاده از یک روش ریاضی و معادلات ترمودینامیکی و از طریق شبیه‌سازی توانستند ۶۷ درصد مصرف انرژی را کاهش و بهینه‌سازی نمایند که این موضوع علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف انرژی و کاهش هزینه‌ها و افزایش بازار رقابتی، باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و نیز کمک به محیط زیست سالم گردید.

قدیری و همکاران^۳ در سال ۲۰۱۴ در پژوهشی با عنوان بهینه‌سازی مصرف انرژی در یخچال‌های فریزر بیان نمودند که با استفاده از یک روش تجربی می‌توان میزان مصرف انرژی را در انواع یخچال‌های فریزر کاهش داد در این روش تجربی از حذف خنک‌کننده‌ها و آزمون گرمسیری استفاده گردید. اقدامات و نتایج بدست آمده از این مقاله نشان می‌دهد که با استفاده از یک سیستم خنک‌کننده دیواره داغ یخچال، کاهش قطر لوله‌های خنک‌کننده، تغییرات مقدار شارژ کمپرسور و تنظیم ظرفیت سرمایش کمپرسور و الکتروموتور می‌توان میزان مصرف انرژی را در انواع یخچال‌های فریزر کاهش داد.

امراد و همکاران^۴ در سال ۲۰۱۴ در مقاله خود با عنوان بهینه‌سازی مصرف انرژی الکتریکی برای یک سیستم حمل و نقل ترانزیت سریع شخصی با روشهایی که ارائه نمودند از لحاظ کاهش مصرف انرژی الکتریکی نیز از لحاظ کاهش زمانی حمل و نقل بسار موثر واقع بوده یکی از این روش‌ها برنامه نویسی با اعداد صحیح مختلط که با یک الگوریتم و تکنیک داخل این الگوریتم در نهایت به حداقل انرژی الکتریکی می‌رسد و روش دوم بهینه‌سازی با استفاده از روش LP و استفاده از محدودیت‌های زمانی که منجر به کاهش مصرف انرژی الکتریکی می‌شود. قابل ذکر است که در این مقاله نیز یک فاصله نسبی بین این دو روش محاسبه شده که به عنوان حداکثر انحراف از راه حل بهینه در نظر گرفته شده است که این فاصله نسبی را نیز به حداقل رسانده است. به منظور روشن تر شدن پیشینه تحقیق و اهداف پژوهش حال حاضر، مقایسه‌ای بین تحقیقات و پژوهش‌های صورت گرفته در جدول ۱ مقایسه مطالعات گذشته، نشان داده شده است.

¹. Yue Zhao a, Jing Ke b,n, Chun Chun Ni b, Michael McNeil b, Nina Zheng Khanna b, Nan Zhou b, David

². Octávio Alves, Paulo Brito*, Pedro Lopes, Paula Reis

³. Fatemeh Ghadiri*, Mehdi Rasti

⁴. Mehdi Mrad, Lotfi Hidri

جدول ۱. مقایسه مطالعات گذشته

محقق	عناوین	روش و ابزارها	محل	نتیجه
اسد بلند (۱۳۹۰)	بهینه سازی مصرف انرژی الکتریکی	اجرای پروژه ها	کارخانجات سیمان	فرهنگ مناسب، استفاده از لامپهای کم مصرف، کنترل وسایل برودتی، نگهداری و تعمیرات
اوشال (۱۳۹۰)	ممیزی انرژی ابزاری برای بهینه انرژی	ممیزی انرژی	صنایع	ممیزی انرژی به عنوان کاملترین روش و قدرتمندترین روش جهت بهینه سازی انرژی
صفایی (۱۳۹۱)	شناسایی و اولویت بندی راهکارهای بهبود مصرف انرژی	تاپسیس، الکترو، بردا و ادغام	فولاد ایران	کنترل دمای کوره پیشگرم، پایین آوردن درجه حرارت تختال خروجی کوره پیشگرم، کاهش مصرف غیر ضروری آب در قوس الکتریکی کاهش جریان خروجی، مدیریت بار الکتریکی، بهسازی مصرف الکتریکی در موتورها، کیفیت توان بار الکتریکی و بهسازی مصرف در سیستم های روشنایی
نجات خواه (۱۳۹۱)	بهسازی مصرف انرژی، چالشها و راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی	شبیه سازی سیستم هیبریدی PV/FC/BATTERY		متغیر های تغییر ساختاری در صنعت و شدت انرژی باعث بهبود بهره وری انرژی
چان تاراوات (۲۰۱۴)	تجزیه و تحلیل تغییر شدت انرژی در صنایع	تجزیه لگاریتمی متوسط شاخص ها	تایلند	پمپ های کارآمد انرژی، توقف نشی هوا از کمپرسور هوا، تنظیم الکتروموتورها، استفاده از خازن ها در موتورها و کانال کشی برای دریافت هوا از کمپرسورها
پارش کومار و پوناند (۲۰۱۴)	بررسی تجربی صنایع در بهره وری انرژی	ممیزی انرژی و اندازه گیری داده ها	هند و ترکیه	شاخصهای تلفات حرارت، انرژی خاص و محاسبات انرژی با نتیجه قطع دمای درونی کوره، تنظیم دمای سطح داخل کوره و ضخامت آجرهای نسوز
آتماسا (۲۰۱۴)	تجزیه و تحلیل از موتورهای الکتریکی و صرفه جویی انرژی در سیمان	محاسبات عددی و نرم افزار EXCELL	هند	ارتباط کاهش شدت و بهبود بهره وری انرژی
یوژائو (۲۰۱۴)	مقایسه مصرف و بهره وری انرژی	مطالعات تجربی	چین و ژاپن	صرفه جویی در انرژی باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای برای کمک به محیط زیست
آلوس (۲۰۱۴)	بهینه سازی مصرف انرژی در صنایع لبنی	شبیه سازی، روش ریاضی، معادلات ترمودینامیکی	پرتغال	استفاده از یک سیستم خنک کننده، کاهش قطر لوله های خنک کننده، تنظیم کمپرسور
قدیری (۲۰۱۴)	بهینه سازی مصرف انرژی در یخچالهای فریزر	روش تجربی	ایران	کاهش مصرف انرژی باعث کاهش زمان حمل و نقل
امراد (۲۰۱۴)	بهینه سازی مصرف انرژی برای یک سیستم حمل و نقل ترانزیت	LP و برنامه نویسی با اعداد مختلط		

با توجه به پژوهشهای بررسی شده به نظر می‌آید در حوزه شناسایی راهکارها و شاخصهای کاهش مصرف انرژی و رتبه بندی بصورت جامع در صنعت سیمان تحقیقی صورت نگرفته لذا برآن شدیم که به بررسی این موضوع پردازیم.

۳- تئوری‌های مورد استفاده در این تحقیق

۳-۱- طوفان مغزی

طوفان مغزی یا طوفان فکری یا بارش ذهنی یک تکنیک خلاقیت و ایده پردازی است که برای تولید تعداد زیادی ایده یا راه حل در مورد یک مسأله به کار می‌رود. مبنای علمی تکنیک خلاقیت طوفان فکری بر اساس مفاهیم خلاقیت شناسی روانشناختی است. در روش طوفان فکری شرایطی اعمال می‌گردد که در آن تعدادی از موانع مهم تفکر خلاق و ایده پردازی به حداقل می‌رسد در حین ایده پردازی نبایستی هیچگونه پیش داوری و قضاوتی درباره ایده های افراد بشود چون ارزیابی حین ایده پردازی مانع ارائه ایده های بیشتر توسط افراد به دلیل ارزیابی شتاب زده و سطحی و یا نگرانی از نوعی استهزاء دیگران می‌شود. در مرحله ایده پردازی کمیت ایده ها مورد توجه است نه کیفیت آنها. ارزیابی ایده ها مرحله جداگانه ای است که بایستی بعد از جلسه طوفان فکری انجام گیرد.

قواعد انجام طوفان ذهنی:

- ✓ آزادی ذهن و بیان
- ✓ تمسخر افراد و ایده‌ها ممنوع
- ✓ انتقاد ممنوع
- ✓ پرهیز از خود سانسوری
- ✓ ایجاد حداکثر تعداد نظرهای ممکن
- ✓ اختصار در بیان نظرات و پرهیز از هر گونه شرح و بسط

۳-۱-۱- نحوه انجام طوفان ذهنی

- قدم اول: ثبت موضوع مورد نظر بر روی تخته و توضیح در مورد آن برای افراد توسط تسهیل کننده .
- قدم دوم: یادآوری قواعد و اصول اجرای کار برای شرکت کنندگان توسط تسهیل کننده
- قدم سوم: ارائه ایده‌ها و نظرات بصورت گردش
- قدم چهارم: ثبت کلیه ایده‌ها توسط دبیر
- قدم پنجم: اتمام مرحله ثبت عقاید در صورت گفتن کلمه " بعدی " توسط تمام افراد
- قدم ششم: دسته بندی و جمع بندی نتایج

۲-۳- منطق فازی

منطق فازی نوع دیگری از منطق ریاضی است که توسط پروفیسور لطفی زاده در سال ۱۹۶۵ مطرح شد و بطور جدی در مقابل منطق دودویی ارسطویی قرار گرفت. در لغت، منطق فازی به عنوان شرایط عدم قطعیت و نامعلوم تعریف شده است و به وجود ابهام در ماهیت علوم و پدیده‌ها اذعان می‌کند همه وقایع یا درست است و یا نادرست. در حالی که بر طبق استدلال منطق فازی، مغز بشر به ورودیهای اطلاعاتی دقیق نیازی ندارد، بلکه قادر است تا کنترل تطبیقی و به صورت بالایی انجام دهد و این در مورد ماشین نیز صادق است. بنابراین، این منطق در ابتدا به عنوان روشی برای پردازش اطلاعات معرفی شده و بر خلاف منطق ارسطویی به جای پرداختن به صفر و یک، از صفر تا یک را مورد بررسی و تحلیل قرار می‌دهد. (شیرویه زاد و توکلی، ۱۳۹۳)

۳-۳- تکنیک AHP فازی

روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به اولویت بندی گزینه‌ها به صورت سلسله مراتبی می‌پردازد اما بسیاری از محققین در میزان درستی این روش ابهاماتی ایجاد کرده‌اند و بیان داشته‌اند که این روش نمی‌تواند به درستی نظر تصمیم‌گیرنده را نشان دهد و با توجه به این که مقایسات زوجی به صورت ذهنی انجام می‌گیرد دارای قطعیت نمی‌باشد. به همین دلیل تصمیم‌گیرندگان می‌توانند در مقایسات زوجی، از اعداد فازی به جای اعداد قطعی استفاده کنند. در روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی جهت انجام مقایسات زوجی از اعداد فازی استفاده می‌شود.

مرحله اول: تشکیل ماتریس مقایسات زوجی

در این مرحله با استفاده از اعداد فازی که از پرسشنامه استخراج شده است ماتریس مقایسات زوجی تشکیل می‌شود. این ماتریس به صورت زیر می‌باشد:

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ \tilde{a}_{21} & & 1 & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & & \tilde{a}_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

مرحله دوم: محاسبه S_i برای هر یک سطرهای ماتریس مقایسه زوجی

اگر اعداد فازی به صورت مثلثی باشد، به صورت (a_i, b_i, c_i) نشان داده می‌شود در این صورت:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \times \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1}$$

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left(\sum_{j=1}^m a_j, \sum_{j=1}^m b_j, \sum_{j=1}^m c_j \right)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left(\sum_{j=1}^n a_j, \sum_{j=1}^n b_j, \sum_{j=1}^n c_j \right)$$

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{j=1}^n a_j}, \frac{1}{\sum_{j=1}^n b_j}, \frac{1}{\sum_{j=1}^n c_j} \right)$$

در این رابطه، i بیانگر شماره سطر و j بیانگر شماره ستون می باشد M_{gi}^j نیز اعداد فازی مثلثی ماتریس های مقایسه زوجی هستند.

مرحله سوم: محاسبه درجه بزرگی S_i ها نسبت به همدیگر

جهت محاسبه درجه بزرگی $M_1 = (a_1, b_1, c_1)$ نسبت به $M_r = (a_r, b_r, c_r)$ از رابطه ی زیر استفاده می شود:

$$V(S_i \geq S_k) = \mu_{si}(d) = \begin{cases} 1 & \text{if } b_i \geq b_k \\ 0 & \text{if } a_k \geq c_i \\ \frac{(a_k - c_i)}{(a_i - c_i) - (b_k - a_k)} & \text{otherwise} \end{cases}$$

در روابط بالا a_i و b_i و c_i به ترتیب مولفه های اول تا سوم اعداد فازی مثلثی می باشند.

مرحله چهارم: محاسبه وزن معیارها و گزینه‌ها در ماتریس مقایسات زوجی

در این مرحله با استفاده از رابطه زیر، وزن معیارها و گزینه‌ها در ماتریس مقایسات زوجی بدست می آید:

$$d^n(A_i) = \text{Min } V(S_i \geq S_k) \quad k = 1, 2, \dots, n \quad k \neq i$$

با استفاده از رابطه بالا وزن معیارها و گزینه‌ها بدست می آید و در نتیجه بردار وزن نرمالیزه نشده به صورت زیر است:

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad A_i (i = 1, 2, \dots, n)$$

مرحله پنجم: محاسبه وزن بردار نهایی

در این مرحله بایستی بردار وزن نرمالیزه نشده که در مرحله قبل بدست آمده است را با استفاده از روش مستقیم نرمالیزه کرد.

۴- روش تحقیق

این پژوهش از لحاظ هدف کاربردی، از لحاظ ماهیت و روش جزء تحقیقات توسعه‌ای، از نظر ماهیت داده‌ها کیفی و از نظر زمان گردآوری داده‌ها مقطعی است. با توجه به ماهیت موضوع بهترین راه دستیابی به نتیجه

مناسب، استفاده از متخصصان و خبرگان در این زمینه است. مراحل روش تحقیق به تفصیل در ذیل آمده است:

مرحله ۱: بررسی و جمع‌آوری راهکارها و شاخص‌های کاهش مصرف انرژی الکتریکی

پس از بررسی مطالعات و پژوهش‌های پیشین در خصوص راهکارها و شاخص‌های کاهش مصرف انرژی الکتریکی و مصاحبه و طوفان مغزی با خبرگان سامان انرژی اصفهان و متخصصان و کارشناسان سیمان سپاهان، ۲۳ راهکار و ۵ شاخص در دیدگاه‌های ۴ گانه مدیریتی، فنی، کم‌هزینه و پرهزینه جمع‌آوری گردید. که در جدول‌های ۳ و ۴ ارائه شده‌اند.

مرحله ۲: تنظیم و توزیع پرسشنامه ماتریس تصمیم‌فازی و پرسشنامه مقایسات زوجی

پس از تعیین راهکارها و شاخصها برای تشکیل ماتریس تصمیم و ماتریس مقایسات زوجی از روش پرسشنامه استفاده می‌شود به منظور پرسشنامه محقق ساخته تنظیم و توزیع شد. جامعه آماری این پژوهش، کارشناسان، خبرگان شرکت سامان انرژی و سیمان سپاهان اصفهان می‌باشند که اطلاعات لازم و کافی را در این خصوص داشته‌اند. در مجموع تعداد ۱۰۰ پرسشنامه بین شرکت‌های نامبرده تقسیم گردید. لازم به ذکر است پرسشنامه مذکور جهت تعیین روایی در اختیار چند نفر از متخصصین و اساتید مربوطه قرار گرفته که روایی محتوای آن مورد تایید واقع شد. سپس با استفاده از نرم افزار SPSS پایایی آن به روش آلفای کرونباخ در سطح قابل قبولی قرار گرفت که آلفای کرونباخ ۰/۹۲۱۲ بدست آمد.

مرحله ۳: تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری و مقایسات زوجی فازی

پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها و سنجش میزان پایایی آنها، اطلاعات پرسشنامه‌ها که با عبارت‌های کلامی «بسیار موافق، موافق، متوسط، مخالف و بسیار مخالف» مشخص شده بودند بر طبق جدول ۲ به اعداد فازی تبدیل می‌شوند.

جدول ۲. عبارت‌های کلامی و اعداد فازی معادل آنها برای شاخصهای مثبت

عدد فازی مثلثی			عبارت‌های کلامی	
حد بالا	حد وسط	حد پایین	طیف ساعتی	عبارت‌های کلامی
۹	۹	۷	۹	بسیار موافقم (بسیار زیاد)
۹	۷	۵	۷	موافقم (زیاد)
۷	۵	۳	۵	متوسط
۵	۳	۱	۳	مخالفم (کم)
۱	۱	۱	۱	بسیار مخالفم (بسیار کم)

جدول ۳. عبارتهای کلامی و اعداد فازی معادل آنها برای شاخصهای منفی

عدد فازی مثلثی			عبارتهای کلامی	
حد بالا	حد وسط	حد پایین	طیف ساعتی	
۰/۱۴۳	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	بسیار موافقم (بسیار زیاد)
۰/۲	۰/۱۴۳	۰/۱۱۱	۰/۱۴۳	موافقم (زیاد)
۰/۳۳۳	۰/۲	۰/۱۴۳	۰/۲	متوسط
۱	۰/۳۳۳	۰/۲	۰/۳۳۳	مخالقم (کم)
۱	۱	۱	۱	بسیار مخالقم (بسیار کم)

مرحله ۴: رتبه بندی راهکارهای کاهش مصرف انرژی الکتریکی با استفاده از تکنیک AHP فازی با تشکیل ماتریس مقایسات زوجی فازی در مرحله قبل برای هریک از سطرهای ماتریس مقایسات زوجی S_i محاسبه می شوند که می توان در جدول ۷ مشاهده کرد. سپس با استفاده از رابطه وزن معیارها و گزینه ها در ماتریس مقایسات زوجی بدست می آید و در پایان با محاسبه وزن بردار نهایی به رتبه بندی راهکارها پرداخته می شود.

۵- مطالعه موردی و یافته ها

شرکت سیمان سپاهان که در جنوب غربی اصفهان واقع شده در تاریخ ۱۳۳۴/۸/۱۶ به صورت شرکت سهامی خاص تحت شماره ۴۹۶ در اداره ثبت شرکتهای اصفهان توسط مرحوم علی همدانیان به ثبت رسید و در شهریور ۱۳۳۷ عملاً مورد بهره برداری قرار گرفت. با توجه به بررسی های انجام شده در ممیزی انرژی بیشترین مصرف ویژه انرژی الکتریکی مربوط به دپارتمان آسیاب سیمان بوده و در ماههای مختلف مصرف انرژی الکتریکی متفاوت می باشد (ممیزی انرژی، ۱۳۹۲). در گام اول بر اساس معیارها و روشهایی که در روش تحقیق پژوهش آمده، راهکارها و شاخصهای کلیدی جمع آوری شده که شامل ۲۳ راهکار و ۵ شاخص هستند.

جدول ۴. راهکارهای شناسایی شده

راهکارهای شناسایی شده	
۱	بررسی تعرفه های مختلف انرژی.
۲	کاهش توقفات خطوط تولید
۳	افزایش بازدهی الکتروموتورها
۱۳	نگهداری و تعمیرات
۱۴	بهبود برنامه تولید به منظور افزایش نرخ تولید
۱۵	کانال کشی برای کمپرسورهای هوای فشرده به منظور دریافت هوا خارج از کمپرسور خانه

جدول ۴. راهکارهای شناسایی شده

راهکارهای شناسایی شده	
کاهش میزان نشت هوای فشرده	۴
کاهش میزان نشت هوای کاذب به سیستم	۱۶
تنظیم دانه بندی خوراک آسیاب در محدوده مطلوب	۵
استفاده از درایو کنترل دور (vsd) در فن‌های گریت کولر	۱۷
کنترل مداوم شارژ آسیاب مواد	۶
استفاده از الواتور به جای ایرلیفت	۱۸
کنترل مداوم شارژ آسیاب سیمان	۷
استفاده از پیش خردایش (pregrinder)	۱۹
استفاده از تزریق اکسیژن در کوره‌ها و کاهش دبی احتراق	۲۰
استفاده از اسپراتورهای راندمان بالا	۹
جایگزینی آسیابهای غلطکی به جای آسیابهای گلوله‌ای	۱۰
استفاده از درایو کنترل دور برای فن آسیاب مواد	۲۲
استفاده از سیکلون‌های با افت فشار کم	۱۱
استفاده از آسیابهای عمودی غلطکی	۲۳
بازیافت حرارت از کمپرسورهای هوای فشرده	۱۲

جدول ۵. شاخص‌های شناسایی شده

ردیف	شاخص‌های کاهش مصرف انرژی الکتریکی
۱	زمان اجرای راهکارهای کاهش مصرف انرژی الکتریکی
۲	هزینه اجرای راهکارهای کاهش مصرف انرژی الکتریکی
۳	زیر ساخت‌های مورد نیاز در اجرای راهکار
۴	افراد متخصص مورد نیاز
۵	وابستگی به کشورهای دیگر به منظور تامین قطعات مورد نیاز

در گام دوم با استفاده از داده‌های گام قبلی و تنظیم و توزیع پرسشنامه بین ۱۰۰ نفر از خبرگان و کارشناسان اهمیت راهکارها نسبت به شاخصها و با استفاده از پرسشنامه ماتریس مقایسات زوجی نیز اهمیت هر شاخص نسبت به شاخص دیگری را مشخص نمود. در گام سوم با میانگین گرفتن از داده‌های پرسشنامه و تبدیل داده‌های کلامی به داده‌های فازی طبق طیف ساعتی می‌توان ماتریس تصمیم‌گیری و ماتریس مقایسات زوجی فازی جداول ۶ و ۷ را بدست آورد.

جدول ۶. تشکیل ماتریس مقایسات زوجی

شاخصها	وابستگی به کشورهای دیگر (-)	افراد متخصص مورد نیاز (+)	زیر ساختهای مورد نیاز (+)	هزینه اجرای راهکار (-)	زمان اجرای راهکار (-)
وابستگی به کشورها	(1,1,1)	(0/111,2/014,7)	(0/111,3/453,7)	(0/2,4/422,9)	(0/111,2/282,9)
افراد متخصص	(0/1429,0/49638,9/009)	(1,1,1)	(0/143,4/4932,9)	(0/2,5/0889,9)	(0/143,2/715,9)
زیرساخت‌های مورد نیاز	(0/1429,0/2896,9/009)	(0/111,0/222,6/993)	(1,1,1)	(0/143,2/616,7)	(0/143,0/4932,5)
هزینه اجرای راهکار	(0/1111,0/22613,5)	(0/111,0/196,5)	(0/1429,0/3822,6/993)	(1,1,1)	(0/1430/4032,1)
زمان اجرای راهکار	(0/1111,0/43803,9/009)	(0/111,0/3683,6/993)	(0/2,2/0276,6/993)	(1,2/473,6/993)	(1,1,1)

جدول ۷. تشکیل ماتریس تصمیم

شاخص راهکار	وابستگی به کشورهای دیگر (-)	افراد متخصص مورد نیاز (+)	زیر ساختهای مورد نیاز (+)	هزینه اجرای راهکار (-)	زمان اجرای راهکار (-)
1	(0/111,0/2077,1)	(1,8,9)	(1,7/36,9)	(0/111,0/12377,0/333)	(0/111,0/12916,1)
2	(0/111,0/17855,1)	(1,7/22,9)	(1,6/8,9)	(0/111,0/14093,1)	(0/111,0/13809,1)
3	(0/111,0/17855,1)	(1,7/22,9)	(1,6/8,9)	(0/111,0/14093,1)	(0/111,0/13809,1)
4	(0/111,0/17855,1)	(1,7/22,9)	(1,6/8,9)	(0/111,0/14093,1)	(0/111,0/13809,1)
5	(0/111,0/17855,1)	(1,7/22,9)	(1,6/8,9)	(0/111,0/14093,1)	(0/111,0/13809,1)
6	(0/111,0/17855,1)	(1,6/42,9)	(1,6/8,9)	(0/111,0/14093,1)	(0/111,0/13809,1)
7	(0/111,0/15509,1)	(1,6/42,9)	(1,6/6,9)	(0/111,0/15361,1)	(0/111,0/1484,1)
8	(0/111,0/15509,1)	(1,6/74,9)	(1,6/6,9)	(0/111,0/15361,1)	(0/111,0/1484,1)
9	(0/111,0/26542,7)	(1,6/74,9)	(1,6/96,9)	(0/111,0/15481,1)	(0/111,0/14305,1)
10	(0/111,0/26542,7)	(1,6/74,9)	(1,6/96,9)	(0/111,0/15481,1)	(0/111,0/14305,1)
11	(0/111,0/26542,7)	(1,6/6,9)	(1,6/96,9)	(0/111,0/15481,1)	(0/111,0/14305,1)
12	(0/111,0/16919,1)	(1,6/6,9)	(1,6/36,9)	(0/111,0/17661,1)	(0/111,0/16037,1)
13	(0/111,0/2066,1)	(1,7/08,9)	(1,6/3,9)	(0/111,0/196,1)	(0/111,0/17322,0/143)
14	(0/111,0/19415,1)	(1,6/78,9)	(1,6/04,9)	(0/111,0/21756,1)	(0/111,0/19327,1)
15	(0/111,0/20261,1)	(1,6/82,9)	(1,6/14,9)	(0/111,0/21991,1)	(0/111,0/18623,1)
16	(0/111,0/19382,1)	(1,6/3,9)	(1,5/9,9)	(0/111,0/21602,1)	(0/111,0/19575,1)
17	(0/111,0/18248,1)	(1,6/64,9)	(1,6/1,9)	(0/111,0/23192,1)	(0/111,0/17938,1)
18	(0/111,0/18927,1)	(1,6/64,9)	(1,6/1,9)	(0/111,0/21425,1)	(0/111,0/19497,0/143)
19	(0/111,0/18509,1)	(1,6/54,9)	(1,6/14,9)	(0/111,0/19911,1)	(0/111,0/1863,1)
20	(0/111,0/1807,1)	(1,6/66,9)	(1,6/18,9)	(0/111,0/21742,1)	(0/111,0/18609,1)
21	(0/111,0/17304,1)	(1,6/14,9)	(1,6/22,9)	(0/111,0/196,1)	(0/111,0/18089,1)
22	(0/111,0/17227,1)	(1,6/9,9)	(1,6/64,9)	(0/111,0/17226,1)	(0/111,0/17428,1)
23	(0/111,0/18726,1)	(1,6/96,9)	(1,6/58,9)	(0/111,0/333,1)	(0/111,0/18364,1)

در آخرین گام رتبه بندی راهکارهای کاهش مصرف انرژی الکتریکی با استفاده از تکنیک AHP فازی بررسی می شود که در گام قبلی با توجه به ماتریس مقایسات زوجی فازی و محاسبات، S_i ها برای هر سطر به صورت جدول ۸ بدست می آید:

جدول ۸		شاخص S_i
ردیف	شاخص	
۱	(0/9837,0/2284,0/0028)	S_1
۲	(0/9258,0/02539,0/0025)	S_2
۳	(0/0026,0/0334,0/7960)	S_3
۴	(0/0025,0/016,0/8505)	S_4
۵	(0/6226,0/0555,0/003)	S_5

مرحله سوم : محاسبه درجه بزرگی S_i ها نسبت به همدیگر

جدول ۹. شاخص $V(M_i > M_K)$			
محاسبات درجه بزرگی S_i ها نسبت به همدیگر			
$V(S1 > S2)$	$V(S1 > S3)$	$V(S1 > S4)$	$V(S1 > S5)$
۱	۱	۱	۱
$V(S2 > S1)$	$V(S2 > S3)$	$V(S2 > S4)$	$V(S2 > S5)$
۰	۰	۱	۰
$V(S3 > S1)$	$V(S3 > S2)$	$V(S3 > S4)$	$V(S3 > S5)$
۰	۱	۱	0/886
$V(S4 > S1)$	$V(S4 > S2)$	$V(S4 > S3)$	$V(S4 > S5)$
۰	۰	0/979	۰
$V(S5 > S1)$	$V(S5 > S2)$	$V(S5 > S3)$	$V(S5 > S4)$
۰	۱	۱	۱

سپس محاسبه وزن معیارها و گزینه ها در ماتریس مقایسات زوجی و محاسبه وزن بردار نهایی بدست می آید که نتایج حاصل از آن و در نهایت رتبه بندی گزینه ها مطابق با جدول ۱۰ است.

جدول ۱۰. رتبه بندی راهکارها

W_i	راهکارهای شناسایی شده در کاهش مصرف انرژی الکتریکی
W_{16}	0/824960678 بازیافت حرارت از گازهای داغ خروجی و تولید برق
W_{18}	0/824561825 جایگزینی آسیابهای غلطکی به جای آسیابهای گلوله ای
W_{14}	0/823561415 استفاده از الواتور به جای ایرلیفت
W_{15}	0/793735082 استفاده از پیش خردایش (PREGRINDER)

W_i	راهکارهای شناسایی شده در کاهش مصرف انرژی الکتریکی
W_{23}	0/756993565 استفاده از درایو کنترل دور برای فن آسیاب مواد خام
W_{20}	0/753968994 استفاده از آسیابهای عمودی غلطکی
w_{19}	0/748197245 استفاده از سیکلون‌های با افت فشار کم
W_{17}	0/712102662 استفاده از سپراتورهای راندمان بالا
W_{13}	0/694697343 استفاده از درایو کنترل دور (VSD) بر روی فن‌های گریت کولر
W_{21}	0/681340646 استفاده از تکنولوژی تزریق اکسیژن در کوره‌های سیمان و کاهش دبی گازهای احتراق
W_{22}	0/635179248 استفاده از درایو کنترل دور برای ID FAN
W_{12}	0/494137746 کاهش میزان نشت هوای فشرده
W_9	0/438498648 نگهداری و تعمیرات
W_{10}	0/438498648 بهبود برنامه تولید به منظور افزایش نرخ تولید
W_{11}	0/438498648 کانال کشی برای کمپرسورهای هوای فشرده به منظور دریافت هوا خارج از کمپرسور
W_8	0/319578266 استفاده از مواد کمک سایش در آسیاب سیمان جهت افزایش ظرفیت و کاهش انرژی
W_7	0/319570672 کنترل مداوم شارژ آسیاب سیمان
W_2	0/251135374 کاهش توقفات خطوط تولید
W_3	0/251135374 افزایش بازدهی الکتروموتورها
W_4	0/251135374 کاهش میزان نشت هوای کاذب به سیستم
W_5	0/251135374 تنظیم دانه بندی خوراک آسیاب در محدوده مطلوب
W_6	0/251135374 کنترل مداوم شارژ آسیاب مواد باعث کاهش مصرف انرژی الکتریکی می‌شود.
W_1	0/180720815 بررسی تعرفه‌های مختلف انرژی در کاهش هزینه‌های انرژی الکتریکی

مطابق با جدول ۹ راهکار به عنوان بالاترین رتبه برگزیده شد. بنابراین در مقایسه با سایر راهکارها از اهمیت بیشتری در کاهش مصرف انرژی الکتریکی برخوردار است.

۶- بحث و تفسیر یافته‌ها

بر اساس روش بیان شده در این مقاله، بهترین راهکار جهت کاهش مصرف انرژی الکتریکی، راهکاری است که مقدار آن از بقیه راهکارها بیشتر باشد. بدین منظور پس از شناسایی راهکارها و شاخصهای کلیدی توسط روش مصاحبه و طوفان مغزی، ۲۳ راهکار و ۵ شاخص کلیدی مطابق جدول شماره ۳ و ۴ مشخص شده است. سپس با توجه به کیفی بودن نظرات جمع آوری شده و در جهت افزایش دقت، این اعداد به اعداد فازی مثلثی طیف ساعتی مطابق جدول شماره ۲ و ۱ تبدیل شده است. در ادامه ماتریس تصمیم‌گیری و ماتریس

مقیاسات زوجی نهایی با ادغام نظرات فازی بدست آمده مطابق جدول شماره ۶ و ۵ مشخص شده است. همچنین جهت استفاده از تکنیک AHP فازی و ماتریس مقیاسات زوجی فازی بدست آمده S_i ها برای هر سطر به صورت جدول ۷ بدست می‌آید همچنین درجه بزرگی S_i ها نسبت به همدیگر در جدول ۸ محاسبه شده است در پایان بعد از محاسبه وزن معیارها و گزینه‌ها در ماتریس مقیاسات زوجی و محاسبه وزن بردار نهایی بدست می‌آید که نتایج حاصل از آن و در نهایت رتبه بندی گزینه‌ها مطابق با جدول ۹ است. بر اساس نتایج این پژوهش راهکار «بازیافت حرارت از گازهای داغ خروجی و تولید برق» نسبت به راهکارهای دیگر امتیاز بالاتری بدست آورده است. لذا به منظور کاهش مصرف انرژی الکتریکی در سیمان سپاهان اصفهان مدیریت سازمان می‌تواند این راهکار را نسبت به بقیه راهکارها در اولویت قرار دهد.

۷- نتیجه‌گیری

لزوم کاهش مصرف انرژی الکتریکی در صنایع بدلیل افزایش رشد اقتصادی، کاهش قیمت و رفاه اجتماعی و زیست محیطی موجب گردیده است تا مدیران بیش از پیش به نتایج شناسایی و رتبه بندی راهکارهای کاهش مصرف انرژی الکتریکی توجه داشته باشند. کاهش مصرف انرژی الکتریکی زمانی حاصل می‌گردد که عوامل و راهکارهای تاثیر گذار و مهم بر جنبه‌های مختلف کاهش مصرف انرژی الکتریکی را شناسایی و تعیین نموده و بر مبنای آن، جهت‌گیری سیاست‌ها و اقدامات صورت گیرد. روشی که در این تحقیق ارائه گردیده دارای مراحل و گام‌هایی است که از طریق آن می‌توان راهکارها و شاخصهای کاهش مصرف انرژی الکتریکی و رتبه بندی راهکارها را در کلیه صنایع و صنعت تولید سیمان شناسایی نمود. در این پژوهش راهکارهای کاهش مصرف انرژی الکتریکی به تفکیک چهار دیدگاه (مدیریتی، فنی، کم هزینه و پر هزینه) بر اساس پیشینه تحقیق، ممیزی انرژی، مصاحبه و طوفان مغزی از خبرگان و کارشناسان شناسایی شدند. سپس با ادغام نمودن نظرات و فازی نمودن داده‌ها و تشکیل ماتریس تصمیم و ماتریس مقیاسات زوجی، راهکاری برتر طبق جدول ۹ از طریق AHP فازی رتبه بندی شده است و راهکارهای «بازیافت حرارت از گازهای داغ خروجی و تولید برق»، «جایگزینی آسیابهای غلطکی به جای آسیابهای گلوله‌ای» و «استفاده از الواتور به جای ایرلیفت» به عنوان بالاترین رتبه‌ها بدست آمد. محدود بودن نتایج پژوهش به شرکت سیمان سپاهان و احتیاط در تعمیم نتایج به سایر سازمانها و شرکتهای محدودیت علمی و آموزشی افراد جامعه تحقیق که باید حداقل آشنایی را با راهکارها و شاخصها کسب می‌کردند، عدم دسترسی به تمامی افراد تأثیر گذار در راهکارهای کاهش مصرف انرژی الکتریکی و عدم منبعی به عنوان مرجع راهکارها و شاخصها را میتوان از جمله محدودیت‌های این پژوهش نام برد. همچنین پیشنهاد می‌شود از روش دلفی برای شناسایی راهکارها و شاخصها و برای رتبه بندی راهکارها از تکنیک TOPSIS فازی استفاده نمایید. و نتایج آن با این مقاله مقایسه نمایید. در صورتی که روش پیشنهاد شده در کارخانجات دیگر سیمان مورد بررسی قرار گیرد و نتایج مورد مقایسه قرار داده شود، روش بیان شده اعتبار بیشتری برخوردار خواهد بود.

۸- منابع

۸-۱- منابع فارسی

- اسدبلند، محمد، اسدبلند، رقیه، ۱۳۹۰، بهینه سازی مصرف انرژی الکتریکی در بخش‌های صنعت (با تاکید بر صنایع تولید سیمان)، کشاورزی و روشنایی معابر، همایش‌های تخصصی چشم انداز، (انرژی در ایران ۱۴۰۴) منطقه شش، دانشگاه آزاد واحد اهواز، از صفحه ۵۷۳-۵۶۴.
- اوشال، فرزین، اوشال، فرخنده، ۱۳۹۰، ممیزی انرژی تفصیلی ابزاری جهت مدیریت بهینه مصرف انرژی در صنایع، همایش‌های تخصصی چشم انداز، (انرژی در ایران ۱۴۰۴) منطقه شش، دانشگاه آزاد واحد اهواز، از صفحه ۳۴۴-۳۴۹.
- نجابت خواه، فرزاد، حسینی، سیدحسین، دانیالی، سعید، ۱۳۹۱، بهسازی مصرف انرژی الکتریکی: چالش‌ها و راهکارها. کیفیت و بهره‌وری در صنعت برق ایران، ۱۳۹۱ دوره ۱ شماره ۱، از صفحه ۴۵-۳۸.
- شرکت سامان انرژی اصفهان، پروژه ممیزی انرژی و الکتریکی مربوط به خطوط ۳ و ۲، ۱ کارخانه سیمان سپاهان اصفهان ۱۳۹۳.
- صفایی، بهزاد، باصولی، امیر، آقاجانی، حسنعلی، ۱۳۹۱، شناسایی و اولویت بندی راهکارهای بهبود مصرف انرژی در صنعت، مجله تحقیق و عملیات و کاربردهای آن، سال دهم، شماره دوم (پیاپی ۳۷)، تابستان ۹۲، صفحه ۲۱-۱.
- نجابت خواه، فرزاد، حسینی، سیدحسین، دانیالی، سعید، ۱۳۹۱، بهسازی مصرف انرژی الکتریکی: چالش‌ها و راهکارها، کیفیت و بهره‌وری در صنعت برق ایران، ۱۳۹۱ دوره ۱ شماره ۱، از صفحه ۴۵-۳۸.

۸-۲- منابع انگلیسی

- Atmaca, A. and Yumrutaş, R. (2014). "Analysis of the parameters affecting energy consumption of a rotary kiln in cement industry." *Applied Thermal Engineering*. Vol. 66, No. 1, pp. 435-444.
- Alves, O., Brito, P., Lopes, P. and Reis, P. (2014). "Optimization of Energy Consumption in Cold Chambers in the Dairy Industry". *Energy Procedia*, Vol. 50, No. 1, pp. 494-503.
- Chontanawat, J., Wiboonchutikula, P. and Buddhivanich, A. (2014). "Decomposition analysis of the change of energy intensity of manufacturing industries in Thailand". *Energy*. Vol. 77, No. 1, pp. 171-182.
- Ghadiri, F. and Rasti, M. (2014). "The effect of selecting proper refrigeration cycle components on optimizing energy consumption of the household refrigerators". *Applied Thermal Engineering*. Vol. 67, No. 1, pp. 335-340.
- Hepbasli, A. and Ozalp N. (2003). "Development of energy efficiency and management implementation in the Turkish industrial sector". *Energy Conversion and Management*. Vol. 2, No. 44, pp. 231.

- Mrad, M. and Hidri, L. (2015). "Optimal consumed electric energy while sequencing vehicle trips in a personal rapid transit transportation system". *Computers & Industrial gineering*. Vol. 79, No. 1, pp. 1-9.
- Pearl, J. (1984). "Heuristic: Intelligent search strategies for computer problem solving". New York: Addison-Wesley Publishing Company.
- Pareshkumar, A.V. and Purnanad, V.B. (2014). "Experimental Investigation on Energy Efficiency of Electrical Utilities in Process Industries through Standard Energy Conservation Practices". *Energy Procedia*. Vol. 54, No. 1, pp. 199-210.
- Saboohi, Y. (2001). "An evaluation of the impact of reducing energy subsidies on living expenses of households". *Energy Policy*. Vol. 29, No. 3, pp. 245- 252.
- Uson, A.A., Lopez-Sabiron, A.M., Ferreira, G. and Sastresa, E.L. (2013). "Uses of alternative fuels and raw aterials in the cement industry as sustainable waste management options". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 23, No. 1, pp. 242-260.
- Zhao, Y., Ke, J., Ni, C.C., McNeil, M., Khanna, N.Z. Zhou, N., Fridley, D. and Li, Q. (2014). "A comparative study of energy consumption and efficiency of Japanese and Chinese manufacturing industry". *Energy Policy*. Vol. 70, No. 1, pp. 45-56.