Archive of SID

ارزیابی و انتخاب فنّاوری سبز خنک‌کن‌های کلینکر

علیرضا شهرکی[*۱]

سیده وفا موسوی[۲]

چکیده:

انتخاب فنّاوری سبز در سیاست‌های کشورها عاملی تأثیرگذار در مبارزه با تغییرات آب و هوایی است. انتخاب گزینه فنّاورانه سبز می‌تواند به سازمان‌ها در پاسخگویی به نیازهای جامعه بدون آسیب رساندن به محیط‌زیست کمک کند. سازمان باید بر مناسب‌ترین گزینه فنّاورانه موجود از بین تمامی گزینه‌ها با توجه به معیارهای چندگانه اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی سرمایه‌گذاری کند. یکی از نگرانی‌هایی که در مورد پیشرفت روزافزون صنایع و کارخانه‌ها همانند صنعت سیمان مطرح گردیده است، بحث آلودگی‌های زیست‌محیطی است. صنعت سیمان به‌عنوان یکی از پایه‌های توسعه کشور و با داشتن منافع اقتصادی، یکی از مهم ترین بخش‌های تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای است که اثرات زیست‌محیطی مهمی را بر اکوسیستم دارد. از طرفی نقطه‌ضعف و چالش عمده این صنعت انرژی بر بودن و استفاده زیاد از سوخت‌های فسیلی در مراحل تولید سیمان است. هدف این مقاله، ارزیابی و انتخاب فنّاوری سبز در خنک‌کن‌های صنعت سیمان در جهت کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی است. با استفاده از روش‌های آنتروپی شانون و ویکور خاکستری بر روی اعداد خاکستری با سه پارامتر به ارزیابی گزینه‌های فنّاورانه سبز بر طبق معیارهای انتخاب‌شده پرداخته خواهد شد. نتایج نشان داد که خنک‌کن دوار، به‌عنوان فنّاوری سبز انتخاب شد.

واژه‌های کلیدی:

انتخاب فنّاوری سبز، صنعت سیمان، آنتروپی شانون، ویکور خاکستری، اعداد خاکستری سه پارامتره.

---

۱. عضو هیئت‌علمی گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: shahrakiar@hamoon.usb.ac.ir

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی صنایع، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

امروزه از سیمان به‌عنوان خمیرمایه توسعه و رشد اقتصادی یاد شده و در اقتصاد دارای جایگاه و اهمیت ویژه‌ای است، در حدی که در بسیاری از کشورها به‌خصوص در کشورهای صنعتی یک کالای استراتژیک محسوب می‌گردد (فرناندا و همکاران[1]، ۲۰۱۶). در کشور ایران به دلیل وجود منابع اولیه تولید سیمان، نیروی کار به نسبت ارزان‌قیمت و نیز دارا بودن سهمی از بازار جهانی، می‌توان نتیجه گرفت که صنعت سیمان ایران از مزیت نسبی و رقابتی لازم برخوردار است. لیکن افزایش تولید از طریق احداث کارخانه‌های جدید و یا ارتقاء ظرفیت تولید کارخانه‌های موجود، خود منجر به افزایش مصرف انرژی و در نتیجه افزایش آلودگی محیط‌زیست می‌گردد؛ بنابراین باید در کنار افزایش تولید، اقدامات مناسبی برای بالا بردن سطح فنّاوری کارخانه‌های سیمان در جهت کاهش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای صورت پذیرد (اسمعیلی پور و همکاران،۱۳۹۲). از چالش‌های موجود در صنعت سیمان، مشکلات زیست‌محیطی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی در فرایند تولید است که بسته به روش تولید و نیز فنّاوری کارخانه‌های مختلف، میزان آلایندگی صنعت متفاوت است؛ به‌طوری‌که هر چه فناوری تولید پیشرفته‌تر باشد، مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای همچون دی‌اکسید کربن در این صنعت کمتر خواهد بود (کرباسی و همکاران،۲۰۱۰). در برنامه‌های محیط‌زیست و توسعه، فنّاوری نقش مهمی خواهد داشت. برخی جوامع معتقدند عمده مسائل زیست‌محیطی فعلی جهان با استفاده از فنّاوری سبز قابل‌حل است (بانسال و همکاران[2]،۲۰۱۷). ما و هانگ[3] انتخاب فنّاوری را از سخت‌ترین وظایف یک شرکت در انتخاب و سرمایه‌گذاری در حوزه فنّاوری معرفی کردند و یادآور شدند که انتخاب فنّاوری دارای مزایای رقابتی از جایگزین‌های مختلف فنّاوری در مقیاس‌های مختلف اقتصادی، فنّاورانه و اجتماعی در محیط پیچیده است. با افزایش هزینه‌های تحقیق و توسعه، تنوع فنّاورانه و سرعت بالای انتشار فنّاوری، شرکت‌ها به‌طور فزاینده‌ای برای شناسایی فنّاوری‌های ارزشمند مشغول به کار می‌شوند؛ بنابراین تعیین عوامل حقوقی تأثیرگذار بر تصمیم انتخاب فنّاوری، بسیار مهم است (ما و همکاران،۲۰۱۳). هدف این مطالعه، انتخاب فنّاوری سبز در بخش خنک‌کن‌های کلینکر است. ایران به‌عنوان هفتمین کشور تولیدکننده سیمان شناخته شده و ۱/۶ درصد از کل تولید سیمان جهان را به خود اختصاص داده است. با توجه به اینکه گسترش ظرفیت تولیدی در این بخش از صنعت از ضروریات است، لذا مصرف انرژی الکتریکی و

1 . Fernanda et al.
2 . Bansal et al.
3 . Ma & Hang

www.SID.ir

Archive of SID

فسیلی جهت تولید این فرآورده افزایش خواهد یافت که در نتیجه باید شاهد افزایش چشم‌گیر انتشار گازهای گلخانه‌ای باشیم. به‌طوری‌که گفته می‌شود در صنعت سیمان تقریباً به ازای تولید یک تن سیمان حدوداً ۸۰۰ تا ۹۰۰ کیلوگرم دی اکسید کربن انتشار می‌یابد. بخش پخت سهم عمده مصرف انرژی حرارتی و الکتریکی را به خود اختصاص می‌دهد. به‌طوری‌که حدود ۹۹-۹۳٪ از کل سوخت مصرف شده در این بخش مصرف می‌شود (نورپور،۱۳۹۳؛ چهرگانی،۱۳۸۳). بر همین اساس مطالعه در صنعت سیمان ایران ضروری است. این تحقیق در جست‌وجوی یافتن معیارهای کلیدی انتخاب فنّاوری سبز و گزینه‌های فنّاورانه سبز در بخش خنک‌کن کلینکر است. در مطالعات پیشین تا حدودی به انتخاب فنّاوری سبز پرداخته شده و معیارهای گوناگونی معرفی شدند، اما با توجه به اینکه هیچ‌یک به‌طور روشن صنعت سیمان یا سیستم پخت سیمان را مدنظر قرار نداده‌اند. این مقاله با مطالعه پژوهش‌های پیشین و ادغام آن با نظرات خبرگان این حوزه، معیارهای انتخاب فنّاوری سبز را شناسایی کرده است. همچنین از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره آنتروپی شانون[1] و ویکور خاکستری[2] (تلفیق روش ویکور و وزن دهی بولزای برای حل مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره در حالت خاکستری سه پارامتره) برای انتخاب گزینه‌های فنّاورانه سبز استفاده کرده است. افزون بر این به‌جای استفاده از متغیرهای زبانی و اعداد قطعی از اعداد خاکستری سه پارامتره[3] استفاده گردیده است. البته معیارهای ارزیابی مطابق ویژگی‌های هر سازمان قابل‌تغییر هستند. باقی‌مانده کار به شرح زیر است. در ابتدا، مروری بر تحقیقات مربوطه در زمینه انتخاب فنّاوری سبز ارائه شده است. همچنین، مروری بر صنعت سیمان و خلاصه‌ای از معیارهای معرفی‌شده در تحقیقات پیشین ارائه شده است. سپس گزینه‌های فنّاورانه خنک‌کن معرفی شده است. در بخش بعدی با ادغام مطالعات پیشین و نظرات خبرگان در این صنعت، معیارهای انتخاب فنّاوری سبز معرفی شدند. در ادامه روش تحقیق مورد استفاده در پژوهش شرح داده می‌شود. بعد از محاسبات، رتبه‌بندی نهایی ارائه و مورد بحث قرار می‌گیرد.

مرور ادبیات

انتخاب فنّاوری سبز

فنّاوری سبز از منابع طبیعی تجدید پذیری که آلودگی ایجاد نمی‌کنند استفاده می‌کند. فنّاوری

1 . Shannon Entropy
2 . Grey VIKOR
3 . Three Parameter Interval Grey Numbers

www.SID.ir

Archive of SID

سبز، توسعه و استفاده از محصولات، تجهیزات و سیستم‌هایی است که باعث حفظ محیط‌زیست طبیعی و منابع شده و اثرات منفی فعالیت‌های انسانی را کاهش دهد و به حداقل برساند (سونی و همکاران[1]،۲۰۱۵). انتخاب فنّاوری سبز یک فرآیند تنظیمی- تطبیقی است که سازمان‌ها آن را به‌عنوان عنصری اثربخش در برنامه‌ریزی استراتژیک، طراحی، ارزیابی و تصمیم‌گیری‌شان به کار می‌گیرند تا به محصولات و فرایندهای دوستدار محیط‌زیست دست یابند (محمدلو و همکاران،۱۳۹۵). مارجانوویک بیان می‌کند تصمیم‌گیری در خصوص انتخاب فنّاوری سبز ممکن است تحت تأثیر استراتژی سازمانی و فرصت‌های تصدیق محیطی باشد. انتخاب فنّاوری سبز می‌تواند چندین معیار را در نظر بگیرد. مطالعات بسیاری بر اهمیت توسعه معیارها در فرایند تصمیم‌گیری تأکید دارند. آن‌ها پیشنهاد می‌کنند که معیارها باید به‌صورت جامع جمع‌آوری شده تا عملکرد اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی و فنی در نظر گرفته شود (مارجانوویک و همکاران[2]،۲۰۱۶). ازاین‌رو، شناسایی معیارهای مناسب جهت انتخاب گزینه‌های فنّاورانه ضروری به نظر می‌رسد. معیارهای انتخاب فنّاوری بسته به الزامات خاص شرکت متفاوت است (اوانس و همکاران[3]،۲۰۱۳). به‌طور خلاصه مهم ترین مقالات بررسی شده و نتایج آن‌ها در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱: خلاصه معیارهای معرفی شده در پیشینه پژوهش

مطالعه موردی	معیارهای کلیدی پژوهش	منابع
* هوا و فضا، *صنایع غذایی * بسته‌بندی	* دو فیلتر اصلی الزامات و اتخاذ را معرفی می‌کند. * معیارهای الزامات شامل معیارهای مالی، فنی و فشار است که فشارها شامل فشارهای قوانین و مقررات است. * فیلتر اتخاذ شامل قابلیت یکپارچه شدن فنّاوری با سازمان، قابلیت بهره‌برداری، مسائل مرتبط با تأمین‌کنندگان، مسائل استراتژیک مانند سازگاری با استراتژی‌های سازمان و ریسک است. * در کنار معرفی چارچوب انتخاب فنّاوری، مجموعه‌ای از عوامل داخلی و خارجی تأثیرگذار را نیز معرفی می‌کند. عوامل داخلی شامل منابع مالی، انسانی و تولید و عوامل خارجی شامل مشتریان، تأمین‌کنندگان، نهادهای نظارتی و رقباست.	شهاب‌الدین و همکاران[1] (۲۰۰۶)

1 . Soni et al.
2 . Marjanovic et al.
3 . Evans et al.

www.SID.ir

Archive of SID

مطالعه موردی	معیارهای کلیدی پژوهش	منابع
صنعت ساختمان	* معیارها در ۴ گروه کلی اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی و فنی تقسیم‌بندی شده‌اند.	مارجانوویک و همکاران (۲۰۱۶)
خودروسازی	* معیارها در ۴ گروه کلی شاخص‌های فنّاورانه، هزینه‌یابی، شاخص‌های زیست‌محیطی و انتخاب انرژی تقسیم‌بندی شده‌اند. * از مهم‌ترین معیارها می‌توان به توانمندی سازمان در جذب فنّاوری، هزینه‌های توسعه و بومی‌سازی فنّاوری، هزینه آموزش کاربران، دفع مواد زائد و آلودگی محیط‌زیست اشاره کرد.	آل طه (۱۳۹۳)
فنّاوری تولید پیشرفته	* مدل ارائه شده برای توجیه و انتخاب فنّاوری جدید، معیارهای متعدد کمی و کیفی را در سه بعد مختلف منابع ۱- بعد انسانی (انگیزش، همکاری، ایمنی و آموزش)۲- بعد عملیاتی (انعطاف‌پذیری، قابلیت اطمینان، بهره‌وری و کیفیت)۳- بعد مالی (هزینه سرمایه، هزینه عملیاتی، هزینه نگهداری و هزینه پیاده‌سازی) دسته‌بندی کرده است.	علی‌اکبری نوری و نیک‌آبادی (۱۳۹۳)
فنّاوری انرژی‌های تجدید پذیر	* معیارهای منتخب در ۴ دسته اصلی فنی، اقتصادی، اجتماعی و محیطی قرار می‌گیرند. * از مهم‌ترین زیر معیارها می‌توان به انتشار گازهای آلاینده، زمین مورد استفاده، هزینه سرمایه‌گذاری، هزینه عملیات و تعمیر و نگهداری و هزینه‌های انرژی و سوخت اشاره کرد.	کایا و کاهرامان[۲] (۲۰۱۱)
فنّاوری انرژی تجدید پذیر	* یک ارزیابی جامع از EES با استفاده از مدل HDM که شامل دیدگاه‌های متعدد شامل: اجتماعی، فنی، اقتصادی، محیط‌زیست و مقررات / سیاست توسعه داده شد. * معیار اجتماعی: ایمنی و سلامت، شدت شغل و پذیرش عمومی. * معیار اقتصادی: هزینه سرمایه، هزینه تعمیرات و نگهداری، هزینه‌های مجدد و هزینه‌های در دسترس. * معیار زیست‌محیطی: آلودگی هوا، آلودگی آب، اثرات حیات‌وحش و آسیب چشم‌انداز. * معیار فنی: کارایی، بلوغ، ظرفیت، عمر، دوام، استقلال، زمان پاسخ، تراکم انرژی، تراکم قدرت و نرخ انتقال قدرت. * معیار سیاسی / مقرراتی: برنامه های قدرت سبز، فدرال، استان و مشوق‌های مالیاتی دولت و عمومی / دولت چارچوب تحقیق و توسعه.	کیم و همکاران[۳] (۲۰۱۷)

www.SID.ir

Archive of SID

مطالعه موردی	معیارهای کلیدی پژوهش	منابع
تأمین‌کننده سبز	* معیارهـا به دو گروه اقتصادی و زیسـت‌محیطی تقسـیم‌بندی شده‌اند: * معیارهای اقتصادی: هزینه، کیفیت، تحویل، فنّـاوری، انعطاف‌پذیری، فرهنگ، ارتباط نوآورانه. * معیارهای زیست‌محیطی: تولیـد آلاینده، کنتـرل آلاینده، مصرف منابع، سیسـتم مدیریت زیسـت‌محیطی، طراحی زیسـت‌محیطی، تصویر سبز، شایستگی سبز، تولید سبز، آموزش زیست‌محیطی کارکنان، تعهد مدیریت.	هاشمی و همکاران (۲۰۱۵)
صنعت سیمان	* فهرست اولیه شاخص‌های به‌دست‌آمده از جلسه طوفان فکری: شدت مصرف مواد در جریان در تولید، عامل کنترل انتشار NOx در هوا، شدت مصرف انرژی الکتریکی در تولید، عامل کنترل انتشار Sox در هوا، شـدت مصرف انرژی گرمایی در تولید، عامل کنترل انتشار SPM در هوا، شـدت انتشار CO_2 در هوا، ظرفیت کنترل آلودگی آب، محتوی مصرف اکسـیژن شیمیایی(COD)، شدت انتشار NOx در هوا، ظرفیت کنترل آلودگی آب، محتوی مصرف اکسیژن بیوشیمیایی (BOD) شـدت انتشـار SO_2 در هوا، ظرفیت کنترل آلودگی آب، محتوی (TSS)، شدت انتشـار SPM در هوا، ظرفیت کنترل آلودگی آب محتوی PH.	استاد احمد قرابی و آتاری (۲۰۱۳)
صنعت سیمان	* ۱۹ شاخص عملکرد کلیدی با اتخاذ خط‌مشی پایداری سه‌گانه (شامل عوامل زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی) پیشنهاد شده است. * برخـی معیارهای اقتصادی: هزینه موجودی، هزینه نیروی کار، تحویل محصول * برخی معیارهای زیسـت‌محیطی: مصرف انـرژی، مصرف مواد، مصرف سـوخت * برخی معیارهای اجتماعـی: رابطه نیروی کار، آموزش‌وپرورش	آمرینا و ویلسی[۴] (۲۰۱۵)

www.SID.ir

Archive of SID

مطالعه موردی	معیارهای کلیدی پژوهش	منابع
صنعت فولاد و آهن	* یک سیستم شاخص شامل شاخص‌های اقتصادی، انرژی و محیطی برای مشخص کردن عملکرد گزینه‌های مختلف فنّاوری تنظیم شده است: * شاخص‌های اقتصادی: ۱- سرمایه‌گذاری ۲- هزینه‌های عملیاتی ۳- درآمد حاصل از محصولات جانبی * شاخص‌های زیست‌محیطی: ۱- تأثیرات بر محیط محلی، همچون: سمیت انسانی و ... ۲- تأثیرات بر محیط منطقه‌ای همچون: ائوتروپیک[5] و اسید شدن و ۳- تأثیرات بر محیط جهانی همچون گرمایش جهانی.	لی و همکاران[6] (۲۰۱۳)

صنعت سیمان

کشور ایران از لحاظ جغرافیایی در منطقه‌ای واقع شده که سلسله کوه‌های آهکی آن را احاطه نموده است، در نتیجه مواد اولیه برای تولید سیمان که عبارت‌اند از: سنگ‌آهک و خاک رس در داخل کشور به‌وفور یافت می‌شوند (چهرگانی،۱۳۹۴). از مشکلات حال و آینده این صنعت می‌توان به مازاد عرضه بر تقاضا با بهره‌برداری از کارخانه‌های جدید بدون توجه به پراکندگی جغرافیایی، فنّاوری‌های مورد استفاده در این کارخانه‌ها و عدم همگام شدن با فنّاوری‌های روز دنیا، نبود نشان تجاری قابل رقابت با رقبا و مصرف انرژی بالا، اشاره کرد. با توجه به این مشکلات، انجام مطالعات دقیق در باب شناخت فنّاوری‌های روز دنیا در فرآیند و عملیات تولید سیمان ضروری به نظر می‌رسد. این پژوهش به دنبال بررسی گزینه‌های فنّاورانه خنک‌کن کلینکر و درنهایت انتخاب فنّاوری سبز است. مواد اولیه تولید سیمان پس از استخراج از معادن به محل کارخانه و به قسمت سنگ‌شکن حمل می‌شوند. مواد خام در پیش‌گرمکن به‌مرور خشک، گرم و کلسینه می‌شود. در فرآیند تولید سیمان، تشکیل دانه‌های کلینکر با ورود به ابتدای داغ‌ترین قسمت کوره، با دمای پیرامون مواد ۱۲۸۰ درجه سانتی‌گراد، اتفاق می‌افتد. کلینکر

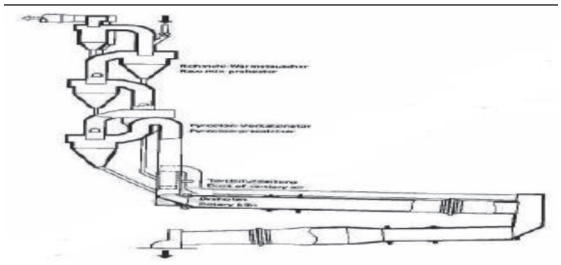
1 . Shehabuddeen et al.
2 . Kaya and Kahraman
3 . Kim et al.
4 . Amrina & Vilsi
5 . eutrophication
6 . Li et al.

www.SID.ir

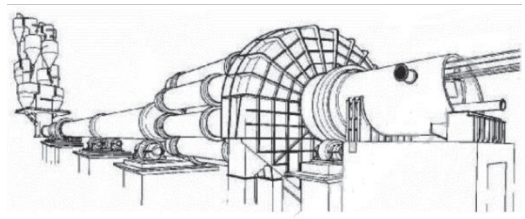
Archive of SID

غالباً به شکل دانه‌هایی با ابعاد ۱۰ تا ۲۵ میلی‌متر از انتهای کوره خارج و به خنک‌کن وارد می‌شود. در این بخش به توضیح انواع مختلف فنّاوری‌های خنک‌کن‌های کلینکر پرداخته می‌شود (عزیزیان،۱۳۹۰؛ شفیعی،۱۳۸۴). انواع گزینه‌های فنّاورانه خنک‌کن در جداول ۲ تا ۵ شرح داده شده است.

جدول ۲: خنک‌کن دوار

نمایی از فنّاوری

شرح فنّاوری
خنک‌کن دوار شامل استوانه گردانی است که در ادامه کوره یا در زیر آن با شیب حدود ۴ تا ۷ درجه نسبت به افق است. این خنک‌کن‌ها روی دو رینگ و پایه سوار هستند و دنده اصلی آن‌ها مستقل از کوره است. دمای کلینکر خروجی بین ۲۰۰ تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد است. توان مصرفی برای محرک حدود ۳,۵ kwh/ton است. اتلاف حرارتی از بدنه این نوع کولرها برابر ۸۰-۵۰ کیلوکالری به ازای هر کیلوگرم کلینکر است. این فنّاوری دارای مزایایی همچون سادگی در طراحی، مشکلات مکانیکی کم، عدم وجود دستگاه‌های کنترلی پیچیده، عدم وجود هوای خروجی به اتمسفر، مصرف نسبتاً پایین انرژی الکتریکی و معایبی مانند دمای نسبتاً بالای کلینکر خروجی، نصب کوره در ارتفاع بالا یا نصب کولر در گودی، تشکیل رسوبات مزاحم در ورودی کولر است (شفیعی،۱۳۸۴؛ عزیزیان، ۱۳۹۰؛ طائب، ۱۳۷۴).

جدول ۳: خنک‌کن سیاره‌ای (گوشواره‌ای)

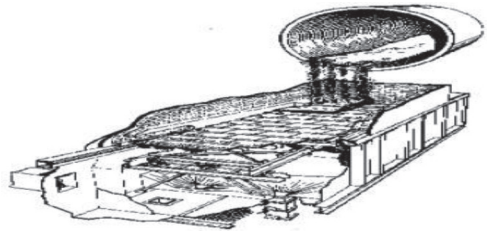
نمایی از فنّاوری


www.SID.ir

Archive of SID

شرح فنّاوری
این خنک‌کن‌ها شامل ۱۰ تا ۱۱ استوانه فلزی هستند که در قسمت خروجی کوره روی ادامه بدنه کوره به‌موازات یکدیگر سوار شده‌اند و تمام سطح جانبی قسمت خروجی کوره را پوشانیده‌اند. این استوانه‌ها همراه کوره می‌چرخند. زمان اقامت کلینکر در خنک‌کن حدود ۴۵ دقیقه است. دمای کلینکر هنگام ترک خنک‌کن بین ۱۲۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد است. توان مصرفی تنها حدود ۰٫۵ تا ۱ کیلووات ساعت بر هر تن کلینکر اضافه‌شده به درایو کوره است. مقدار حرارت تلف‌شده از طریق تشعشع از بدنه خنک‌کن حدود ۲۵٪ است. مزایای این فنّاوری عدم وجود سیستم‌های کنترلی پیچیده، عدم وجود هوای خروجی به اتمسفر و در نتیجه عدم نیاز به غبارگیری و مصرف پایین انرژی الکتریکی؛ و معایب: راندمان حرارتی کولر شدیداً تحت تأثیر تجهیزات داخلی، بالا بودن دمای کلینکر خروجی و نیاز به خنک‌سازی بیشتر، اتلاف حرارتی نسبتاً زیاد از بدنه لوله‌ها، (شفیعی،۱۳۸۴؛ عزیزیان، ۱۳۹۰؛ طائب، ۱۳۷۴).

جدول ۴: خنک‌کن مشبک (شبکه‌ای)[1]

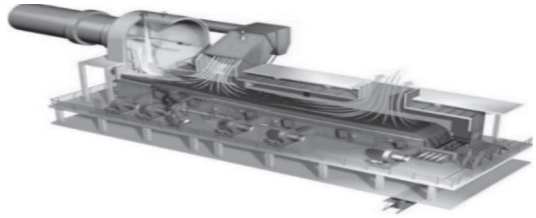
نمایی از فنّاوری

شرح فنّاوری
هدف اولیه از طرح این خنک‌کن‌ها بالا بردن کیفیت کلینکر از طریق سریع سرد کردن آن و پایین آوردن انبساط حجمی سیمان بود. غالباً خنک‌کن مشبک متشکل از ردیف‌هایی از صفحات مشبک است که این ردیف‌ها یک‌درمیان ثابت و متحرک (دارای حرکت رفت‌وبرگشت) می‌باشند. در مقایسه با خنک‌کن‌های دوار، این سیستم احتیاج به فضای کمتری دارد و به دلیل طرح خاص آن اطراف و جوانب خنک‌کن آلوده نیست. کنترل درجه حرارت هوای ثانویه و درجه حرارت کلینکر خروجی در این سیستم راحت‌تر است. این خنک‌کن‌ها قادرند کلینکر دارای درجه حرارت ۱۴۰۰- c ۰-۱۳۶۰ را نیز سرد کنند و به همین دلیل بازده حرارتی آن‌ها می‌تواند تا ۷۵-۷۲ درصد افزایش یابد (شفیعی،۱۳۸۴؛ع عزیزیان،۱۳۹۰؛ طائب، ۱۳۷۴).

1 . Grate Cooler

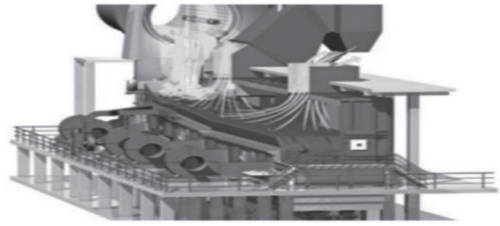
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵: خنک‌کن مجهز به مسیر هوای ثالثیه

نمایی از فنّاوری

شرح فنّاوری
نسل دوم خنک‌کن‌های رفت و برگشتی از طریق ارتقاء کارایی قابلیت‌های خنک‌کن و همچنین ورود سیستم‌های پخت مجهز به کلساینر و مکش هوای سوم (ثالثیه) از خنک‌کن کلینکر، توسعه یافتند و تبدیل به رقیبی جدی برای خنک‌کن‌های سیاره‌ای محسوب می‌شدند که تا پیش از آن، طیف وسیعی از بازار را به خود اختصاص داده بودند. رقیبی جدی برای خنک‌کن‌های سیاره‌ای از طریق ارتقاء کارایی قابلیت‌های خنک‌کن و همچنین ورود سیستم‌های پخت مجهز به کلساینر و مکش هوای سوم از خنک‌کن کلینکر (شفیعی،۱۳۸۴؛ حسینی پور رامهرمزی، ۱۳۹۴؛ رجب‌زاده، ۱۳۹۳)

جدول ۶: خنک‌کن استاتیک

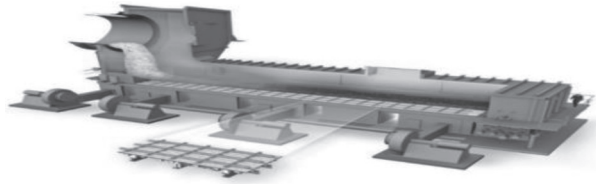
نمایی از فنّاوری

شرح فنّاوری
این دسته از خنک‌کن‌ها به دنبال تشدید رقابت میان سازندگان بر سر ساخت خنک‌کن‌هایی با قابلیت‌های بیشتر و پیشرفته‌تر با کارایی بیش از طرح‌های موجود، طراحی و ساخته شدند. این خنک‌کن با نام KIDS[1] (سیستم توزیع کلینکر در بخش ورودی) به بازار عرضه شد. در این مدل، خنک شدن سطوح بالایی و همچنین توزیع هوا به‌طور یکنواخت در همه ردیف‌ها به‌طور هم‌زمان، تضمین شده بود. این نوع جدید ارتقاء یافته با دارا بودن صفحات مشبک پره‌ای شکل کواندا[2]، فرایند خنک شدن را به شکل قابل‌توجهی بهبود بخشید. همچنین در این خنک‌کن جدید، مصرف برق به میزان قابل‌توجهی کاهش یافت (شفیعی،۱۳۸۴؛ حسینی پور رامهرمزی، ۱۳۹۴؛ رجب‌زاده، ۱۳۹۳).

1 . Clinker Inlet Distribution System
2 . IKN Coanda effect lamellar grate plate

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۷: خنک‌کن کراس بار[1]

نمایی از فنّاوری

شرح فنّاوری
این خنک‌کن‌ها دارای طبقه گریت کاملاً ثابت با میله‌ها یا شمش‌های رانش متحرک بودند که در قسمت فوقانی صفحات مشبک قرار داشتند و انتقال کلینکر در آن‌ها از میان خنک‌کن انجام می‌شد. پیشرفت مهم، به‌کارگیری کنترل‌کننده‌های مکانیکی جریان هوا برای تنظیم هوادهی و توزیع یکنواخت هوا در بستر کلینکر بود. پیشرفت دیگر استفاده از مدول هایی از میله یا شمش‌های رانش جداگانه برای ایجاد حرکت به سمت جلو با سرعت‌های کورس برگشتی بیش از حرکت طولی گریت بود (شفیعی،۱۳۸۴؛ حسینی پور رامهرمزی، ۱۳۹۴؛ رجب‌زاده، ۱۳۹۳).

معیارهای انتخاب فنّاوری سبز

درنهایت با بررســی پژوهش‌های داخلی و خارجی و ادغام آن با نظرات خبرگان، معیارهای ارزیابی در ســه دسته زیســت‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی جهت انتخاب فنّاوری سبز خنک‌کن کلینکر معرفی می‌شوند. هر یک از این معیارها دارای زیرمعیارهایی هستند که در جدول (۸) به آن‌ها اشاره شده است.

مدل‌های تصمیم‌گیری

در تحقیق حاضر به‌منظور تعیین اوزان معیارها از روش آنتروپی شانون و رتبه‌بندی گزینه‌های فنّاورانه از تکنیک ویکور خاکستری استفاده شد.

1 . cross-bar

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۸: معیارهای معرفی شده جهت انتخاب فنّاوری سبز با مرور و بررسی پیشینه پژوهش

معیارها	زیرمعیارها		
زیست‌محیطی کایا و کاهرامان (۲۰۱۱)، لی بو و تائو (۲۰۱۴)، شعبان و همکاران (۲۰۱۷)، آل طه (۱۳۹۳)، استاد احمد قرابی و آتاری (۲۰۱۳)، آمرینا و ویلسی (۲۰۱۵)، مارجانوویک و همکاران (۲۰۱۶)، هاشمی و همکاران (۲۰۱۵)، کیم و همکاران (۲۰۱۷)، لی و همکاران (۲۰۱۳)، سباقی و همکاران (۲۰۱۶)	آلودگی آب‌وخاک	ضایعات جامد	ضایعات آجرهای نسوز کوره ضایعات فلز ضایعات روکش‌های پلاستیکی ضایعات پارچه‌های برزنتی ضایعات فیلترهای کیسه‌ای
		ضایعات مایع	ضایعات روغن ضایعات آب
	آلودگی صوتی	سروصدای محیطی	
		سروصدای داخلی	
	آلودگی هوا	شاخص گازهای گلخانه‌ای	CO_2
		شاخص اسیدسازی/ باران اسیدی	Sox Nox
		شاخص ذرات/غبار	TSP
	مصرف آب		مقدار مصرف آب‌های سطحی مقدار مصرف آب‌های زیرزمینی
	مصرف انرژی		مصرف انرژی حرارتی مصرف انرژی الکتریکی
	مصرف منابع		مصرف مایعات / مواد تجدید پذیر مصرف مایعات / مواد تجدید ناپذیر مصرف مایعات / مواد بازیافت شده مصرف مایعات / مواد مضر

www.SID.ir

Archive of SID

معیارها	زیرمعیارها		
اقتصادی کایا و کاهرامان (۲۰۱۱)، لی بو و تائو (۲۰۱۴)، شعبان و همکاران (۲۰۱۷)، انصاری و زارع (۱۳۸۸)، آمرینا و ویلسی[1] (۲۰۱۵)، مارجانوویک و همکاران (۲۰۱۶)، اکبری نوری (۱۳۹۳)، هاشمی و همکاران (۲۰۱۵)، کیم و همکاران (۲۰۱۷)، لی و همکاران (۲۰۱۳)، سباقی و همکاران (۲۰۱۶)	هزینه‌های کلی	هزینه های مستقیم	هزینه عملیاتی هزینه انرژی هزینه مواد خام هزینه آب هزینه حمل‌ونقل داخلی
		هزینه‌های غیرمستقیم	هزینه تجهیزات ایمنی هزینه آموزش کارکنان هزینه دفع ضایعات جامد هزینه دفع مایعات
	فنّاوری		کهنگی (منسوخی) فنّاوری تعداد فنّاوری‌های مبتنی بر اپراتور اثر فنّاوری در کاهش آلودگی محیط‌زیست تأثیرات خطرناک انتهای عمر فنّاوری
	قابلیت بازیافت	پایان عمر	قابلیت استفاده مجدد محصول قابلیت تولید مجدد محصول
		مواد قابل بازیافت	مقدار مایعات قابل بازیافت
			مقدار پلاستیک قابل بازیافت
اجتماعی کایا و کاهرامان (۲۰۱۱)، لی بو و تائو (۲۰۱۴)، شعبان و همکاران (۲۰۱۷)، آمرینا و ویلسی (۲۰۱۵)، مارجانوویک و همکاران (۲۰۱۶)، کیم و همکاران (۲۰۱۷)، سباقی و همکاران (۲۰۱۶)	ایمنی و سلامت شغلی		قرار گرفتن در معرض گردوغبار ناشی از تولید سیمان مرگ‌ومیر مربوط به کار در هر حادثه میزان خسارت ناشی از تماس با مواد خطرناک
	رضایت شغلی		امنیت شغلی سازگاری با کار و فنّاوری
	اطراف محیط کار		سطح پتانسیل اختلال سروصدا سطح پتانسیل اختلال بو

1 . Amrina & Vilsi

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۹: مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره جهت انتخاب فنّاوری سبز با مرور و بررسی پیشینه پژوهش

مطالعه موردی	مدل	منابع
حمل‌ونقل دریایی	روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و ویکور	رن و همکاران (۲۰۱۵)
فنّاوری تولید پیشرفته	FANP-FARAS	علی‌اکبری نوری و نیک‌آبادی (۱۳۹۳)
تأمین‌کننده سبز	تحلیل شبکه‌ای و تحلیل خاکستری	هاشمی و همکاران (۲۰۱۵)
فنّاوری تولید مجدد	مقایسات زوجی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی	ژیانگ و همکاران (۲۰۱۱)

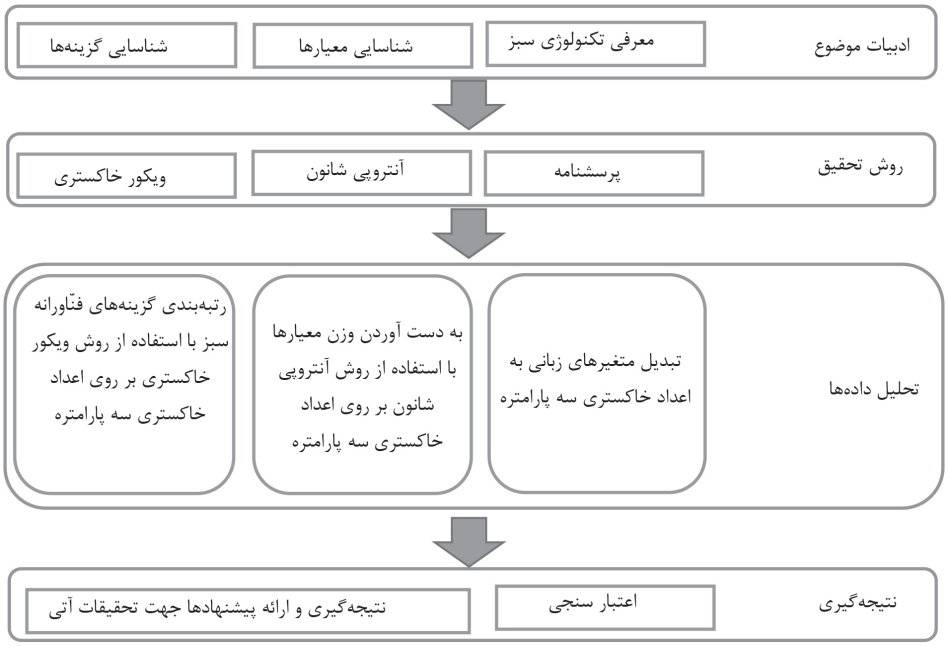
روش تحقیق

شکل (۱) چارچوب تحقیق را نشان می‌دهد. هدف از این پژوهش ارزیابی و انتخاب فنّاوری سبز در جهت کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی در صنعت سیمان ایران (بخش خنک‌کن‌های کلینکر) است. به‌طوری‌که با استفاده از نتایج این تحقیق، صاحبان صنایع، تولیدکنندگان و عرضه‌کنندگان فنّاوری بتوانند روشی را برگزینند که در تولید، حجم آلاینده‌ی کمی را نسبت به سایر روش‌های فنّاوری به وجود آورد و کمترین ضرر و آسیب را به محیط‌زیست وارد نماید. پژوهش حاضر، با توجه به اهداف تحقیق (هدف اصلی: ارزیابی و انتخاب فنّاوری سبز در صنعت سیمان ایران در جهت کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی با استفاده از تکنیک‌های MCDM. اهداف فرعی: انتخاب معیارهای کلیدی برای ارزیابی و انتخاب فنّاوری‌های سبز در بخش سیستم پخت سیمان، انتخاب فنّاوری سبز در بخش خنک‌کن، وزن دهی و رتبه‌بندی گزینه‌های فنّاورانه با روش‌های آنتروپی شانون و ویکور خاکستری با استفاده از اعداد خاکستری سه پارامتره) در حوزه پژوهش‌های میدانی قرار می‌گیرد. در مطالعات پیشین تا حدودی به انتخاب فنّاوری سبز پرداخته شده و معیارهای گوناگونی معرفی شدند، اما هیچ‌یک به‌طور روشن صنعت سیمان یا سیستم پخت سیمان را مدنظر قرار نداده‌اند. در این پژوهش برای شناسایی معیارهای کلیدی جهت فرایند انتخاب فنّاوری سبز، از مطالعات کتابخانه‌ای و پژوهش‌های علمی از پایگاه‌های معتبر علمی و نظرات خبرگان در این حوزه استفاده شد. معیارهای ارزیابی در سه دسته زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی جهت انتخاب فنّاوری سبز معرفی شدند. هر یک از این معیارها دارای زیرمعیارهایی هستند. همچنین، برای شناسایی گزینه‌های فنّاورانه، از مقالات، سایت‌ها، مجلات معتبر در این زمینه و کتب سیمان استفاده شد. بر همین اساس پرسشنامه‌های

www.SID.ir

Archive of SID

تحقیق، جهت ارزیابی گزینه‌های فنّاورانه بر اساس معیارهای ارزیابی، در اختیار کارشناسان و خبرگان در این حوزه قرار گرفت. همچنین به‌منظور ایجاد نوآوری، از دیگر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند روش آنتروپی شـــانون[1] برای وزن دهی معیارها و روش ویکور خاکســـتری[2] (تلفیق روش ویکور و وزن دهی بولزای برای حل مســـائل تصمیم‌گیری چندمعیاره در حالت خاکســـتری سه پارامتره) برای رتبه‌بندی گزینه‌های فنّاوری سبز استفاده شده است. افزون بر این به‌جای استفاده از متغیرهای زبانی و اعداد قطعی از اعداد خاکستری سه پارامتره استفاده گردیده است.



شکل ۱. چارچوب تحقیق

اعداد خاکستری سه پارامتره

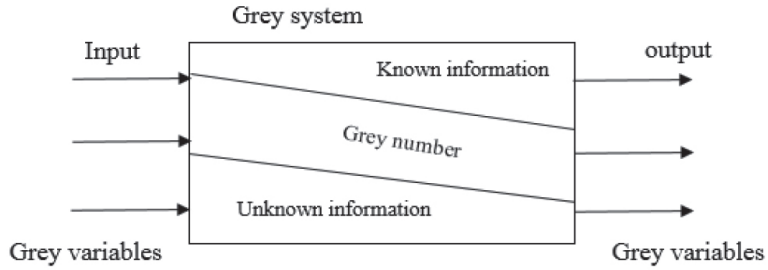
تئوری سیســـتم‌های خاکستری که توسط دکتر دنگ در سال ۱۹۸۲ پایه‌گذاری شده است، بر مطالعه مسائلی که شامل نمونه‌های کوچک و اطلاعات ضعیف هستند تمرکز دارد (ژنگ و همکاران[3]، ۲۰۱۳؛

1 . Shannon Entropy
2 . Grey VIKOR
3 . Zheng et al.

www.SID.ir

Archive of SID

چوآنگ و همکاران[1]، ۲۰۱۴). این سیستم اساساً این‌گونه ساخت دهی می‌شود که اگر سیاه نمایانگر اطلاعاتی کاملاً ناشناخته و سفید شامل اطلاعاتی کاملاً روشن و واضح باشد، خاکستری اطلاعاتی است که تا حدی معلوم و تا حدی نامعلوم است. شکل (۲) نمایی از مفهوم سیستم خاکستری را نشان می‌دهد (کامفیروزی، ۱۳۹۳؛ نوذری، ۲۰۱۴).



شکل ۲. مفهوم سیستم خاکستری (جعفری اسکندری، ۱۳۹۳)

عدد خاکستری سه پارامتره $\alpha(\otimes)$ را می‌توان به‌صورت $\alpha(\otimes) \in \left[\underline{\alpha}, \tilde{\alpha}, \overline{\alpha}\right]$ نشان داد. $\underline{\alpha}$ کران پایین، $\tilde{\alpha}$ مرکز ثقل (عددی که بیشترین امکان را داراست) و $\overline{\alpha}$ را کران بالا گویند. در حالتی که مرکز ثقل مشخص نباشد عدد سه پارامتره خاکستری به عدد معمولی خاکستری تبدیل می‌شود (کامفیروزی، ۱۳۹۳).

روش آنتروپی شانون

وقتی‌که داده‌های یک ماتریس تصمیم به‌طور کامل مشخص شده باشد، می‌توان با استفاده از روش آنتروپی وزن‌های هریک از معیارهای ماتریس تصمیم را ارزیابی نمود. آنتروپی یک مفهوم اساسی در علوم فیزیکی، علوم اجتماعی و سیستم‌ها است که نشان‌دهنده مقدار عدم اطمینان از محتوای یک پیام است. شانون چگونگی این اندازه‌گیری را به‌صورت گام‌های زیر بیان نموده است (مطهری، ۱۳۹۲؛ حکیمی، ۱۳۹۶).

گام ۱: در این گام یک گروه از کارشناسان، با بررسی شاخص‌های تحقیق در هر یک از گزینه‌ها، به آن‌ها امتیاز می‌دهند. سپس با استفاده از میانگین هندسی، نظرات کارشناسان به‌صورت یک نظر واحد،

1 . Chuang et al.

www.SID.ir

Archive of SID

در ماتریس تصمیم ارائه می‌شود.

گام ۲: با اســتفاده از رابطه (۱۲) ماتریس تصمیم، نرمالایز می‌شــود. باید توجه شود که استفاده از این روش مستلزم تبدیل معیارهای کیفی به کمی است.

$$P_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}} \forall_{i,j} \qquad (۱۲)$$

گام ۳: برای معیار j ام، آنتروپی با استفاده از رابطه (۱۳) محاسبه می‌شود:

$$e_j = -K \sum_{i=1}^{m} P_{ij} \times \ln P_{ij} \quad , \quad k = \frac{1}{\ln m} \quad 0 \le E_j \le 1 \qquad (۱۳)$$

گام ۴: برای هر معیار j ام، درجه انحراف () به‌صورت رابطه (۱۴) محاسبه می‌شود:

$$d_j = 1 - e_j \qquad (۱۴)$$

گام ۵: وزن معیار j ام، از رابطه (۱۵) محاسبه می‌شود:

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^{n} d_j} \qquad (۱۵)$$

تکنیک ویکور خاکستری

روش ویکور، به معنی بهینه‌ســازی چندمعیاره و راه‌حل سازشــی از مدل‌های پرکاربرد در تصمیم‌گیری چندمعیاره و انتخاب گزینه برتر است. این روش روی دسته‌بندی و انتخاب از یک مجموعه گزینه‌ها تمرکز داشته و جواب‌های سازشی را برای یک مسئله با معیارهای متضاد تعیین می‌کند (کائو و همکاران[1]، ۲۰۰۸). گام‌های روش ویکور خاکستری به ترتیب در ادامه نشان داده شده است (اسکندری، ۱۳۹۳).

گام ۱: ماتریس را بی مقیاس می‌کنیم.

گام ۲: تعیین راه‌حل ایده آل مثبت و راه‌حل ایده آل منفی:

$$(Z^+) = \left(z_1^+, z_2^+, \dots z_n^+\right) \qquad (۱۶)$$

1 . Kao et al.

www.SID.ir

Archive of SID

$$z_j^+ \in \left(\underline{x}_j^+ , \tilde{x}_j^+ , \overline{x}_j^+\right) \Big| \underline{x}_j^+ = \max_{1\le i\le m}\left\{\underline{x}_{ij}\right\}, \tilde{x}_j^+ = \max_{1\le i\le m}\left\{\tilde{x}_{ij}\right\}, \overline{x}_j^+ = \max_{1\le i\le m}\left\{\overline{x}_{ij}\right\} \quad (۱۷)$$

$$(Z^-) = \left(z_1^-, z_2^-, \dots, z_n^-\right) \quad (۱۸)$$

$$z_j^- \in \left(\underline{x}_j^- , \tilde{x}_j^- , \overline{x}_j^-\right) \Big| \underline{x}_j^- = \min_{1\le i\le m}\left\{\underline{x}_{ij}\right\}, \tilde{x}_j^- = \min_{1\le i\le m}\left\{\tilde{x}_{ij}\right\}, \overline{x}_j^- = \min_{1\le i\le m}\left\{\overline{x}_{ij}\right\} \quad (۱۹)$$

گام ۳: در ایـن مرحلـه میـزان مطلوبیت و عدم مطلوبیت را به دسـت می‌آوریـم. همچنین وزن به‌دست‌آمده از روش آنتروپی شانون را در این مرحله به کار می‌بریم.

$$s_i = \sum_{j=1}^{n} w_j \sqrt{\frac{\left(\underline{x}_j^+ - \underline{x}_{ij}\right)^2 + \left(\tilde{x}_j^+ - \tilde{x}_{ij}\right)^2 + \left(\overline{x}_j^+ - \overline{x}_{ij}\right)^2}{\left(\underline{x}_j^+ - \underline{x}_j^-\right)^2 + \left(\tilde{x}_j^+ - \tilde{x}_j^-\right)^2 + \left(\overline{x}_j^+ - \overline{x}_j^-\right)^2}} \quad (۲۰)$$

$$R_i = \max_j \left[w_j \sqrt{\frac{\left(\underline{x}_j^+ - \underline{x}_{ij}\right)^2 + \left(\tilde{x}_j^+ - \tilde{x}_{ij}\right)^2 + \left(\overline{x}_j^+ - \overline{x}_{ij}\right)^2}{\left(\underline{x}_j^+ - \underline{x}_j^-\right)^2 + \left(\tilde{x}_j^+ - \tilde{x}_j^-\right)^2 + \left(\overline{x}_j^+ - \overline{x}_j^-\right)^2}} \right] \quad (۲۱)$$

گام ۴: شاخص ویکور را برای هر گزینه حساب می‌کنیم.

$$Q_i = v\left[\frac{s_i - s^*}{s^- - s^*}\right] + (1 - v)\left[\frac{R_i - R^*}{R^- - R^*}\right] \quad (۲۲)$$

در فرمول فوق v را ضریب خوش‌بینی گویند. V مقداری بین صفر و یک دارد. هرچه به سمت یک نزدیک‌تر شود میزان خوش‌بینی بیشتر است. همچنین

$$s^* = \min_i s_i, \quad s^- = \max_i s_i, \quad R^* = \min_i R_i, \quad R^- = \max_i R_i \quad (۲۳)$$

گام ۵: گزینه‌ها را بر اسـاس شـاخص ویکور رتبه‌بندی می‌کنیم. به‌این‌ترتیب که کمترین میزان شاخص ویکور بهترین رتبه را از آن خود می‌کند و بقیه گزینه‌ها نیز به همین ترتیب.

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

با نظرسـنجی از کارشناسان و خبرگان صنعت سیمان از طریق توزیع پرسشنامه، متغیرهای زبانی در

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (۹) به اعداد خاکستری سه پارامتره تبدیل شدند.

جدول ۱۰: متغیرهای زبانی و اعداد خاکستری معادل هرکدام

اعداد خاکستری سه پارامتره	متغیرهای زبانی
[۰,۰،۰,۱،۰,۲]	خیلی کم
[۰,۲،۰,۳،۰,۴]	کم
[۰,۴،۰,۵،۰,۶]	متوسط
[۰,۶،۰,۷،۰,۸]	زیاد
[۰,۸،۰,۹،۱,۰]	خیلی زیاد

با استفاده از روش وزن دهی آنتروپی شانون، وزن هر معیار به‌صورت جدول (۱۰) آورده شده است:

جدول ۱۱: اوزان معیارها، محاسبه‌شده با استفاده از آنتروپی شانون

معیار	وزن	معیار	وزن
ضایعات آجرهای نسوز کوره	۰,۰۰۶۶	هزینه مواد خام	۰,۰۰۲۲
ضایعات فلز	۰,۰۰۰۳	هزینه آب	۰,۰۴۴۸
ضایعات روکش‌های پلاستیکی	۰,۰۰۹۹	هزینه حمل‌ونقل داخلی	۰,۰۱۰۹
ضایعات پارچه‌های برزنتی	۰,۰۰۳۸	هزینه تجهیزات ایمنی	۰,۰۰۴۳
ضایعات فیلترهای کیسه‌ای	۰,۰۰۲۸	هزینه آموزش کارکنان	۰,۰۰۱۴
ضایعات روغن	۰,۰۱۵۲	هزینه دفع ضایعات جامد	۰,۰۱۲۵
ضایعات آب	۰,۰۲۳۴	هزینه دفع مایعات	۰,۰۲۹۶
سروصدای محیطی	۰,۰۱۳۹	کهنگی (منسوخی) فنّاوری	۰,۱۰۸۴
سروصدای داخلی	۰,۰۱۱۸	تعداد فنّاوری‌های مبتنی بر اپراتور	۰,۰۰۵۱
CO_2	۰,۰۰۵۸	اثر فنّاوری در کاهش آلودگی محیط‌زیست	۰,۰۴۳

www.SID.ir

Archive of SID

معیار	وزن	معیار	وزن
NOx	۰,۰۰۹۸	تأثیرات خطرناک انتهای عمر فنّاوری	۰,۰۱۷۲
SOx	۰,۰۱۲	مقدار فلز قابل بازیافت	۰,۰۰۴
TSP	۰,۰۲۴۲	مقدار مایعات قابل بازیافت	۰,۰۰۱۸
مقدار مصرف آب‌های سطحی	۰,۰۶۱۳	مقدار پلاستیک قابل بازیافت	۰,۰۰۶۱
مقدار مصرف آب‌های زیرزمینی	۰,۰۰۸۲	مقدار کاغذ قابل بازیافت	۰,۰۲۵۹
مصرف انرژی حرارتی	۰,۰۰۴۵	مقدار لاستیک کاسه الواتور قابل بازیافت	۰,۰۱۱۸
مصرف انرژی الکتریکی	۰,۰۰۸۷	قابلیت استفاده مجدد محصول	۰,۰۰۲۵
مصرف مایعات / مواد تجدید پذیر	۰,۰۰۸۸	قابلیت تولید مجدد محصول	۰,۰۰۹۹
مصرف مایعات / مواد تجدید ناپذیر	۰,۰۱۰۳	مواجهه با گردوغبار سیمان	۰,۰۰۳۴
مصرف مایعات / مواد بازیافت شده	۰,۰۱۳۲	مرگ‌ومیر مربوط به کار در هر حادثه	۰,۰۳۷
مصرف مایعات / مواد مضر	۰	میزان خسارت ناشی از تماس با مواد خطرناک	۰,۰۰۸۴
مواد معدنی سنگین	۰	امنیت شغلی	۰,۰۱۳۲
هزینه عملیاتی	۰,۰۱۷۹	سازگاری با کار و فنّاوری	۰,۰۰۹
هزینه انرژی	۰,۰۳۲۱	سطح پتانسیل اختلال سروصدا	۰,۰۰۹۱
سطح پتانسیل اختلال بو	۰,۰۰۳۴		

همان‌طور که در جدول (۸) مشاهده می‌شود، معیار اثر فنّاوری در کاهش آلودگی محیط‌زیست با وزن (۰,۰۴۳) و معیارهای مصرف مایعات / مواد مضر و مواد معدنی سنگین با وزن‌های (۰) ترتیب با عنوان بااهمیت‌ترین و کم‌اهمیت‌ترین معیارها لحاظ شده‌اند. در انتها مقدار رتبه‌بندی با استفاده از روش ویکور خاکستری مطابق جدول (۱۱) به دست آمده است:

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱۲. مقدار شاخص ویکور و رتبه فنّاوری‌های سبز خنک‌کن

نام گزینه فنّاورانه	S	R	Q	رتبه
خنک‌کن دوار	۰,۱۷۲۵	۰,۰۳۵۸	۰	۱
خنک‌کن سیاره‌ای (گوشواره‌ای)	۰,۴۲۳۱	۰,۰۶۲۳	۰,۳۴۲۳	۲
خنک‌کن مشبک (شبکه‌ای)	۰,۶۵۶۳	۰,۰۷۶۸	۰,۶۱۰۱	۳
خنک‌کن مجهز به مسیر هوای ثالثیه	۰,۶۵۶۳	۰,۰۹۱۳	۰,۶۸۳۳	۴
خنک‌کن استاتیک (ثابت)	۰,۷۱۰۲	۰,۱۰۳۸	۰,۷۹۱۲	۵
خنک‌کن کراس بار	۰,۷۷۲۲	۰,۱۳۴۹	۱	۶

بحث و نتیجه‌گیری

با انجام محاسبات مربوط به روش رتبه‌بندی ویکور خاکستری بر روی اعداد خاکستری سه پارامتره، با استفاده از وزن‌های نهایی حاصل از روش آنتروپی شانون، بعد از به دست آوردن مقادیر مطلوبیت (S) و عدم مطلوبیت (R)، مقدار ویکور خاکستری هر گزینه فنّاورانه مشخص شده است. این مقدار برای فنّاوری خنک‌کن کراس بار با مقدار (۱) بیشترین میزان و برای فنّاوری خنک‌کن دوار با مقدار (۰) کمترین میزان خود را به دست آورده است. بر همین اساس، طبق قانون روش ویکور خاکستری که کمترین میزان شاخص ویکور بهترین رتبه را از آن خود می‌کند، گزینه‌های فنّاورانه رتبه‌بندی شده و فنّاوری خنک‌کن دوار رتبه اول، فنّاوری خنک‌کن سیاره‌ای رتبه دوم، فنّاوری خنک‌کن مشبک رتبه سوم، فنّاوری خنک‌کن مجهز به مسیر هوای ثالثیه رتبه چهارم، فنّاوری خنک‌کن استاتیک رتبه پنجم و فنّاوری خنک‌کن کراس بار رتبه ششم را به دست آورده‌اند؛ که برای تعیین اعتبار روش پیشنهادی از روش مصاحبه با خبرگان صنعت سیمان و خبرگان دانشگاهی استفاده شده است؛ که این افراد پس از بررسی و ارزیابی، این روش را معتبر دانسته‌اند.

این پژوهش یک روش جدید برای ارزیابی و انتخاب فنّاوری سبز در بخش خنک‌کن‌ها در صنعت سیمان ایران ارائه داده است. در این راستا با مرور مطالعات پیشین و ادغام آن با نظرات خبرگان، معیارهای کلیدی انتخاب فنّاوری سبز، معرفی شدند. بعد از توزیع پرسشنامه بین کارشناسان، به‌منظور ارزیابی گزینه‌های فنّاورانه بر اساس معیارهای ارزیابی و جمع‌آوری نظرات، پاسخ‌های حاصل از نظرات

www.SID.ir

Archive of SID

خبرگان که به‌صورت متغیرهای زبانی بیان شـده بود، به اعداد خاکسـتری سه پارامتره تبدیل شد. در ادامه با اسـتفاده از روش وزن دهی آنتروپی شانون به وزن دهی هر معیار پرداخته شده است. در انتها با اسـتفاده از روش ویکور خاکسـتری به رتبه‌بندی گزینه‌های فنّاورانه پرداخته شد. پیشنهاد می‌شود که این پروژه در سـایر بخش‌های این صنعت، همچون: بخش‌های سنگ‌شـکن، آسـیاب مواد خام و آسیاب سیمان که عمده‌ترین مصرف‌کننده‌های انرژی الکتریکی هستند؛ طی دوره‌های زمانی معین و با مشـارکت خبرگان و کارشناسان بیش‌تری انجام شود. همچنین استفاده از پسماندهای سایر صنایع (مانند لاسـتیک‌های مستعمل) به‌عنوان سوخت جهت کاهش مصرف انرژی الکتریکی که برای تولید آن هزینه‌های زیادی به محیط‌زیست وارد می‌شود. می‌توان از دیگر روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به‌منظور ارزیابی و رتبه‌بندی گزینه‌های فنّاورانه همچون تحلیل تاکسونومی عددی، روش پاف و روش تلفیقی بولزای- شاپلی و غیره استفاده نمود.

منابع

- آل طه، نفیسه السادات. (۱۳۹۳). بررسی شاخص‌های مناسب انتخاب فنّاوری بر اساس مکانیسم توسعه پاک با استفاده از روش دیمتل. *سومین کنفرانس بین‌المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی.*
- اسـمعیلی پور، الهام؛ میاندوآبچی، الناز. راهکارهایی جهت ارتقاء تکنولوژی تولید کارخانه‌های سیمان ایران. *ماهنامه علمی تخصصی فناوری سیمان*، دی.۱۳۹۲.
- جعفری اسکندری، میثم.، علی احمدی، علیرضا.، کامفیروزی، محمدحسن. (۱۳۹۳). تلفیق روش‌های بولزای و ویکور برای تصمیم‌گیری چندمعیاره با اعداد خاکستری سه پارامتره. *نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید*. اسفند، صفحه ۴۳۲-۴۳۷.
- چهرگانی، حسین، (۱۳۸۳). مهندسی محیط‌زیست در صنعت سیمان. تهران: *شرکت فن‌آوری صنعتی انرژی با همکاری نشر حاذق.*
- چهرگانی، حسین، (۱۳۹۴). *هشتاد سال صنعت سیمان در ایران*. تهران، چاپ ۱، حسین چهرگانی
- حسینی پور رامهرمزی، سید علی، (۱۳۹۴, دی). پیشرفت‌های اخیر در خنک‌سازی کلینکر در صنعت سیمان (بخش اول). *ماهنامه علمی - تخصصی فن‌آوری سیمان.*
- حکیمی، ایمان؛ حسینی امیری، سیّد محمود؛ معرفی، علیرضا. (۱۳۹۶). تکنیک وزن دهی آنتروپی شانون: ابزار وزن دهی - تصمیم‌گیری برای تحلیل گران پروژه‌ها. دومین کنفرانس بین‌المللی مدیریت و حسابداری و حسابرسی پویا. تهران: موسسه آموزش عالی صالحان.

www.SID.ir

Archive of SID

- رجب‌زاده، بهنام، (۱۳۹۳, بهمن و اسفند). خنک‌کن‌های کلینکر. *ماهنامه علمی- تخصصی فناوری سیمان.*
- شـــفیعی، حســـینقلی؛ خانزادی، مصطفی، (۱۳۸۴). *کوره‌های دوار.* تهران: مرکز انتشـــارات دانشگاه علم و صنعت ایران.
- طائب، عباس؛ کوهی، فرشـــته، (۱۳۷۴). *ســـیمان.* تهران: *انتشارات مرکز تحقیقات سیمان*، دانشگاه علم و صنعت ایران.
- عزیزمحمدلو، حمید؛ فضلی، صفر؛ محمد نژاد مدردی، سپیده. (۱۳۹۵). فنّاوری سبز، فصل مشترک صنایع آلاینده با محیط‌زیست. *چهارمین کنفرانس بین‌المللی حسابداری و مدیریت با رویکرد علوم پژوهشی نوین.* مرکز همایش‌های سازمان مدیریت صنعتی
- عزیزیان، محمدرضا، (۱۳۹۰). *فنّاوری پخت سیمان.* چاپ اول، تهران: انتشارات کتاب پدیده.
- علی‌اکبری نوری، فهیمه؛ شـــفیعی نیک‌آبادی، محســـن، (۱۳۹۳). توجیه و انتخاب فنّاوری پیشرفته: کاربرد رویکرد تلفیقی FANP-FARAS. *فصلنامه مدیریت توسعه فناوری*، دوره دوم، شماره ۳، زمستان.
- کامفیروزی، محمدحســـن.، جعفری اســـکندری، میثم.، علی احمدی، علیرضا.، فردوسی، نیر. (۱۳۹۳). وزن دهی معیارهای ارزیابی عملکرد شرکت‌ها با رویکرد کارت امتیازی متوازن با استفاده از روش ترکیبی ارزش شاپلی. *مدیریت تولید و عملیات*، صفحه ۱۲۴-۱۱۳.
- مطهری، ســـعید. (۱۳۹۲). وزن دهی و رتبه‌بندی شاخص‌های ارزیابی عملکرد سازمان با تلفیق روش کارت امتیازی متوازن، تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و منطق فازی (مطالعه موردی یکی از ســـازمان‌های دولتی استان یزد). *دومین کنفرانس ملی حسابداری، مدیریت مالی و سرمایه‌گذاری.* اسفند.
- نور پور، علیرضا، (۱۳۹۳). *انرژی و محیط‌زیست در صنعت سیمان.* تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

- Abdolhamid S. Ghadikolaei, S. M,. (2013), "Designing A Competitive Advantage Model With Technology Oriented Approach Using Fahp Technique: A Case Study In Coil Industry". *Journal of Engineering Science and Technology*, 8(2), 233 - 252.
- Amrina, E., Vilsi, A., (2015),' Key Performance Indicators for Sustainable Manufacturing Evaluation in Cement Industry'. *12th Global Conference on Sustainable Manufacturing* (pp. 23 – 19). Procedia CIRP 26.
- Bansal, S, Biswas, S,. S.K. Singh. (2017), 'Fuzzy decision approach for selection of most suitable construction method of Green Buildings'. *International Journal of Sustainable Built Environment*.
- Daw Ma, D,. Shiu-Wan Hung. (2015). 'An Integrated Framework for the Selection

www.SID.ir

Archive of SID

and Acquisition of Core Technologies: The Case of Taiwan's LED Industry', *Long Range Planning*.

- Evans ,L,. Lohse, N,. Summers, M,. (2013), 'A fuzzy-decision-tree approach for manufacturing technology selection exploiting experience-based information. *Expert Systems with Applications*, 6412–6426.
- Hashemi, H,. Karimi, A,. Tavana, M,. (2015, January), 'An integrated green supplier selection approach with analytic network process and improved Grey relational analysis'. *International Journal of Production Economics*, 159, 178-191.
- J. Ren and M. Lützen, (2015, October), 'Fuzzy multi-criteria decision-making method for technology selection for emissions reduction from shipping under uncertainties,' Transportation Research Part D: *Transport and Environment*, vol. 40, pp. 43-60.
- Kim, J,. Suharto,Y,. Tugrul U. Daim. (2017). 'Evaluation of Electrical Energy Storage (EES) technologies for renewable energy: A case from the US Pacific Northwest.' *Journal of Energy Storage*, 25–54.
- kao, C. (2008). Efficiency decomposition in two- stage data envelopment analysis: An application to non- life insurance companies in taiwan. *European Journal of Operational Research*, 418-429.
- Kaya ,T,. Cengiz Kahraman, C,. (2011), 'Multicriteria decision making in energy planning using a modified fuzzy TOPSIS methodology. *Expert Systems with Applications: An International Journal*. Volume 38 Issue 6, June, 2011 .Pages 6577-6585
- Li, L,. J.-l. W.-x. (2013, JUNE). Analysis of Bank Queueing Based on Operations Research. *The 19th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 777-787.
- Ma, D,. Chang , Ch,. Shiu-Wan Hung, Sh,. (2013), 'The selection of technology for late-starters: A case study of the energy-smart photovoltaic industry', Economic Modellin, 10–20.
- Marjanovic, J,. Nasiri, H,. Bell, S.. (2016) 'Assessment of Building-Integrated Green Technologies: A Review and Case Study on Applications of Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Method'. *Sustainable Cities and Society*.Volume 27, November 2016, Pages 106-115
- Ostad-Ahmad-Ghorabi, M,. Attari, M,. (2013), 'Advancing environmental evaluation in cement industry in Iran', *Journal of Cleaner Production*, 23-30.

www.SID.ir

Archive of SID

- Sabaghi, M,. Christian Mascle, Ch,. Pierre Baptiste, P,. Rostamzadeh, R,. (2016), " Sustainability assessment using fuzzy-inference technique (SAFT): A methodology towards green products" *Expert Systems with Applications*. 69-79.
- Soni. , G,. , (2015), 'Advantages Of Green Technology'. International Journal Of Research Granthaalayah. *Social Issues and Environmental Problems*, Vol.3 (Iss.9:SE): Sep, 2015
- Shaaban, M,. Scheffran, J,. (2017), 'Selection of sustainable development indicators for the assessment of electricity production in Egypt'. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 65–73
- Shehabuddeen, N,. Probert, D,. Phaal, R,. (2006), 'From theory to practice: challenges in operationalising a technology selection framework'. *Technovation, 324-335.*
- Tsai-Fu Chuang, Y.-H. C. (2014). Comparison of physical characteristics between Rana latouchtii and Rana adenopleura using grey system theory and Artificial Neural Network. *Ecological Engineering*, 223–232.
- Zheng, Y,.X. Z. (2013). Prediction of seawater quality in Rigs-to-Reefs area based on grey systems theory. *Procedia Environmental Sciences*, 236 – 242.
- Z. Jiang, H. Zhang, and J. W. Sutherland., (2011) 'Development of multi-criteria decision making model for remanufacturing technology portfolio selection' , *Journal of Cleaner Production*, vol. 19, no. 17, pp. 1939-1945.

www.SID.ir