فصلنامه علمی – ترویجی «نشریه انرژی ایران»
دوره ۲۰، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۶، صفحه ۱۰۰-۷۹

بهینه‌سازی مصرف انرژی در بخش کوره کارخانه سیمان آبیک: رویکرد خوشه‌بندی داده‌ها

[۱]باقر دوستی*، [۲]ابوالفضل کاظمی

تاریخ دریافت:
۱۳۹۵/۱۰/۶

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۶/۵/۱۶

کلمات کلیدی:
داده کاوی،
خوشه بندی،
بهینه سازی مصرف انرژی،
سیمان

چکیده

بهای تمام شده تولید سیمان در سطح جهان وابستگی زیادی به سطح دستمزدها ، بهای انرژی و در دسترس بودن مواد اولیه دارد. با بررسی صورت‌های مالی شرکت‌های حاضر در بورس ، هزینه‌های تولید ، از جمله سهم بهای انرژی از کل هزینه ها را می توان قریب به ۲۷٪ برآورد کرد، که این امر اهمیت بهینه سازی مصرف انرژی و مدیریت صحیح مصرف آن را آشکار می نماید. در این راستا ایجاد مدل‌های ریاضی و یافتن نقاط بهینه مصرف بر اساس عوامل تاثیرگذار اهمیت بسزایی می یابد، با توجه به ثبت اطلاعات کارکرد تجهیزات و مصارف انرژی و وجود پایگاه داده مربوطه، استفاده از تکنیک‌های داده کاوی برای ایجاد مدل مصرف انرژی میسر می گردد. در این مقاله با استفاده از خوشه بندی به عنوان یکی از تکنیک‌های داده کاوی، به ایجاد یک مدل توصیفی پرداخته شده که از طریق آن به یافتن روش بهینه کارکرد دپارتمان کوره، جهت بهینه سازی مصرف انرژی، اقدام شده است. با اجرای راهبرد بدست آمده از مدل توصیفی، قریب به ۵ درصد در متوسط انرژی الکتریکی به ازای تن محصول (Kwh/ton) و متوسط انرژی حرارتی (kcal/kgcli) به میزان ۴/۵۷ درصد بصورت تواما" کاهش خواهیم داشت.

۱. کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، قزوین، ایران (نویسنده مسئول) b.doosti.k47@gmail.com
۲. دکترای مهندسی صنایع، استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، قزوین، ایران abkaazemi@gmail.com

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

۱. مقدمه

در عصر انفجار اطلاعات سازمان ها هر روزه حجم زیادی از داده را تولید و جمع آوری می نمایند. استخراج اطلاعات مفید از پایگاه داده و تبدیل کردن اطلاعات به نتایج عملی چالش اصلی است که سازمان ها با آن روبرو هستند. با توجه به پیشرفت کشور در زمینه فن آوری اطلاعات و نگاه‌های ویژه به دولت الکترونیک و نفوذ استفاده از سیستم‌های رایانه ای در صنایع و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی بزرگ توسط سازمان‌های مختلف و نیاز به استفاده از داده کاوی به طور عمیق احساس می شود.

امروزه با توجه به اهمیت انرژی و بهسازی مصرف آن خصوصا" در بخش صنعتی، مطالعات وسیعی در این حوزه انجام می شود. تحقیق حاضر درخصوص بهینه سازی مصرف برق و سوخت در سیستم پخت فرآیند تولید سیمان می باشد.

در بخش نخست تحقیق ضمن آشنایی با داده کاوی و فرآیند تولید سیمان به بیان ضرورت انجام تحقیق و جایگاه انرژی در این صنعت اشاره می گردد. در بخش بعد به سوابق تحقیق و کارهای انجام شده، در دو بخش "صنعت سیمان و مدل سازی انرژی" و "کاربرد داده کاوی در حوزه صنعت و انرژی" اشاره خواهیم داشت. در بخش سوم به تشریح مراحل اجرای داده کاوی بر روی داده‌های انرژی یک کارخانه سیمان با استفاده از نرم افزار وکا پرداخته و سپس در بخش ارزیابی خوشه بندی با استفاده از جعبه ابزار Cvap (در محیط متلب)، به اجرای کار و نمایش خروجی‌های نرم افزار در واحد کوره اشاره خواهیم داشت و پس از تحلیل نتایج به جمع بندی آثار اجرای نتایج بدست آمده در خط تولید می پردازیم و در انتها به جمع بندی مطالب خواهیم پرداخت.

با توجه به بررسی انجام شده (که در بخش سوابق تحقیقات به آن اشاره خواهد شد)، رویکرد استفاده از تکنیک‌های داده کاوی برای کشف الگوهای پنهان داده‌های انرژی (و به عبارتی کشف ارتباط مفهومی بین مصرف انرژی به ازای تن محصول تولید شده در صنعت سیمان و نحوه راهبری ماشین آلات خطوط تولید)، موضوعی است که تاکنون در خصوص آن مطالعه ای نشده است. روش‌های سنتی حل مسئله فوق استفاده از آمار توصیفی و فنون آماری همانند پارتو و رگرسیون می باشد .

استفاده از تکنیک‌های داده کاوی برای کشف الگوی ارتباطی بین ظرفیت ساعتی تجهیزات خطوط تولید یک کارخانه سیمان نمونه (شرکت سیمان آبیک) و بازده مصرف انرژی (کیلووات ساعت

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

برق مصرفی بر تن محصول و لیتر بر تن سوخت مصرفی) و یافتن ظرفیت ساعتی بهینه تجهیزات به جهت کاربردی کردن تکنیک‌های داده کاوی از نوآوری‌های این تحقیق به شمار می آید .

۲. مرور بر سوابق تحقیقات انجام شده

-سوابق تحقیقات انجام شده توسط سازمان بهره وری انرژی ایران

با توجه به اهمیت انرژی در دنیای امروز و همچنین اهمیت مدیریت مصرف انرژی، انجام مطالعات در این زمینه از جایگاه ویژه ای در فعالیت‌های پژوهشی برخوردار است. بر اساس مطالعات انجام شده توسط سازمان بهره وری انرژی ایران (سابا)[1] کل مصرف انرژی الکتریکی کارخانجات سیمان کشور معادل با حدود ۴ در صد از کل برق تولید شده در کشور و حدود ۱۱ در صد از سهم صنعت و نیز معادل ۴/۳ درصد از گاز مصرف شده در کشور بوده است.

همچنین بنا به اعلام سازمان مذکور در صنایع کانی غیرفلزی (شامل سیمان، گچ، آجر و غیره) سهم انرژی در قیمت تمام شده بالغ بر ۲۵ الی ۳۰ در صد برآورد می شود، لذا زمینه خوبی جهت انجام اقدامات مدیریت مصرف انرژی و همچنین اجرای معیار مصرف در این صنایع وجود دارد. تحقیقات به عمل آمده در صنعت سیمان نشان دهنده آن است که در صنعت سیمان کشور، میزان انرژی مصرفی حدود ۷۵۰۰ میلیون کیلووات ساعت انرژی الکتریکی و بالغ بر ۶ میلیارد لیتر سوخت در طول سال می باشد. از این میزان حدود ۲۵ درصد پتانسیل صرفه جوئی وجود دارد (وب سایت سابا، ۱۳۹۵).

-سوابق تحقیق در حوزه صنعت سیمان و مدل سازی انرژی

در جدول ۱ به اختصار سوابق تحقیقات انجام شده را در حوزه صنعت سیمان و مدل سازی انرژی نشان داده است :

1. http://www.saba.org.ir/fa/masrafeenergy/industry2/process/cement/statistics

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

جدول ۱. سوابق تحقیقات انجام شده در حوزه صنعت سیمان و مدل سازی انرژی

نویسنده	تاریخ	موضوع	روش مطالعه و حل مسئله
Genc [10]	۲۰۱۵	بهینه سازی ظرفیت تولید در آسیاب مواد خام با تنظیم پارامترهای عملیاتی فرآیند خردایش مواد در آسیاب	شبیه سازی حرکت ذرات در فرآیند خردایش مواد در آسیاب مواد خام و استفاده ار آمار توصیقی برای تحلیل نتایج
Afkhami و همکاران [6]	۲۰۱۵	بررسی اثربخشی اقدامات انجام شده جهت بهبود فرآیند تولید در کارخانه، از جمله، جلوگیری از نشتی هوا در فرآیند تولید، استفاده از موتورهای دور متغیر و هماهنگی واحدهای آزمایشگاه و معدن در خصوص تنظیم مواد ورودی به فرآیند تولید	ارزیابی روند مصرف انرژی (حرارتی و الکتریکی) به ازای تن محصول سیمان با استفاده از نمودارهای CUSUM
Zhaoو همکاران [25]	۲۰۱۴	رفتار ساکنین ساختمانهای اداری و مدل سازی برنامه زمان بندی برای شبیه سازی انرژی مصرفی در ساختمانهای اداری در ۱۷ منطقه مختلف آب و هوایی امریکا	با کمک ابزارهای داده کاوی از جمله سه الگوریتم رگرسیون خطی ، رگرسیون وزنی به صورت محلی و رگرسیون بردار پشتیبان به ارائه مدلی برای پیش بینی انرژی مصرفی در یک ساختمان اداری اقدام نمودند
Tinocoو همکاران [20]	۲۰۱۴	پیش بینی خواص خاک براساس مقاومت فشاری محصورنشده و متغیرهای مربوط به خاک و مخلوط	ابزارهای داده کاوی مانند رگرسیون چندگانه، شبکه‌های عصبی مصنوعی، ماشین‌های بردار پشتیبان و شبکه‌های کاربردی آموزش دیده، اقدام به ارائه مدلی برای پیش بینی مدول تغییر شکل با استفاده از مقاومت فشاری محصورنشده، در طول زمان نمودند
Nouri.Gharahasanlouو همکاران[18]	۲۰۱۴	تجزیه و تحلیل علل توقفات واحد سنگ شکن و انبار خاک در کارخانه سیمان خوی	با کمک تجزیه و تحلیل درخت خطا، احتمال وقوع شکست در بخش خردایش و مخلوط کردن مواد بررسی شد

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

نویسنده	تاریخ	موضوع	روش مطالعه و حل مسئله
Nedicو همکاران [17]	۲۰۱۴	مدل سازی سر و صدای ترافیک جاده ها	چهار تکنیک بهینه سازی الگوریتم ژنتیک، الگوریتم هوک و جیوز، آنیل شبیه سازی شده و بهینه سازی ازدحام ذرات در شبیه سازی، در این کار مورد استفاده قرار گرفت
Atmaca , Yumrutas [8]	۲۰۱۴	تجزیه و تحلیل عوامل موثر بر مصرف انرژی (حرارتی) کوره دوار در صنعت سیمان	تجزیه و تحلیل ترمودینامیکی سیستم پخت (کوره وپیش گرمکن)
Velazquezو همکاران[23]	۲۰۱۳	توسعه یک سیستم مدیریت انرژی برای یک کارخانه پالایش بنزین	ایشان پس از تبدیل متغیرهای عددی به متغیرهای رده ای یک مدل رگرسیونی بین متغیر وابسته با متغیرهای مستقل بدست آوردند
Liao , Chou [14]	۲۰۱۳	سرمایه گذاری در بازار سهام تایوان و چین	با استفاده از تکنیکهای داده کاوی (شامل : قوانین انجمنی و تجزیه و تحلیل خوشه ای) به ایجاد مدلی برای پیش بینی وضعیت سهام شرکتها و سرمایه گذاری آینده اقدام نمودند
ZHONG [26]	۲۰۱۲	ارزیابی اقتصادی شبکه توزیع نیرو (برق)	با استفاده از تکنیکهای مختلف داده کاوی از جمله الگوریتم ازدحام ذرات اقدام به ایجاد مدلی برای تجزیه و تحلیل اقتصادی عملیات شبکه توزیع نیرو گردید
Wangو همکاران [24]	۲۰۱۲	بهینه سازی عملیاتی در یک نیروگاه بزرگ با سوخت زغال سنگ	با استفاده از روشهای داده کاوی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک و رگرسیون بردار پشتیبان مدلی برای بهبود پارامترهای موثر بر مصرف زغال سنگ ارائه گردید

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

نویسنده	تاریخ	موضوع	روش مطالعه و حل مسئله
Tus_at Yücel , Cengiz [22]	۲۰۱۲	مدل سازی خواص مکانیکی و باند اتصال (در بتن مسطح)	با استفاده از تکنیکهای درخت تصمیم و رگرسیون اقدام به ایجاد مدلهایی برای پیش بینی قدرت و تنش کششی با استفاده از مقاومت فشاری، خمشی نمودند
Tsaiو همکاران[21]	۲۰۱۲	تعیین ارزش دارایی‌های نامحسوس	با استفاده از روشهای داده کاوی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک ، قوانین انجمنی ، درخت تصمیم ، رگرسیون مرحله ای و آنالیز ترکیبی اصلی مدلی برای تعیین ارزش دارایی‌های نامحسوس ارائه گردید
Ituarte-Villarreal و همکاران[12]	۲۰۱۲	یکپارچه سازی انرژی‌های تجدید پذیر تولید شده توسط منابع مختلف انرژی تجدید پذیر	با توجه به متغیرهایی نظیر تعداد مطلوب و نوع برای هر جزء و محدودیتهایی نظیر بار مورد نیاز، مدلی را با استفاده از الگوریتم میمون جهت حداقل کردن هزینه کل سیستم ارائه نموند
Hasanbeigiو همکاران[11]	۲۰۱۲	تکنولوژی‌های در حال ظهور با بهره وری انرژی بالاتر و انتشار کمتر دی اکسید کربن در صنایع سیمان و تولید بتن	تجمیع اطلاعات موجود در هجده فن آوری نوظهور برای صنعت سیمان، با هدف ارائه به مهندسان، پژوهشگران، سرمایه گذاران، شرکت‌های سیمان، سیاست گذاران، و سایر اشخاص ذینفع
Atmaca , Kanoglu [7]	۲۰۱۲	کاهش انرژی مصرفی در آسیابهای مواد خام در صنعت سیمان	با استفاده از مدلسازی موازنه جرم و انرژی و طراحی مجدد فرآیند تولید و به کارگیری هوای داغ کوره و استفاده مجدد از آن در تولید اقدام نمودند

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

نویسنده	تاریخ	موضوع	روش مطالعه و حل مسئله
Tinocoو همکاران [20]	۲۰۱۱	پیش بینی مقاومت فشاری تک محوری خاک بوسیله تزریق گروتینگ	با استفاده از تکنیکهای رگرسیون چندگانه، شبکه‌های عصبی طبیعی و ماشین‌های بردار پشتیبان مدلی برای پیش بینی مقاومت فشاری تک محوری خاک ارائه گردید
Madloolو همکاران [15]	۲۰۱۱	مصرف انرژی در صنعت سیمان آمریکا	با استفاده از آمار توصیفی تکنولوژیهای مختلف تولید مقایسه شده اند
Mandal , Madheswaran [16]	۲۰۱۰	بررسی رابطه بین مصرف انرژی و رشد صنعت سیمان هند	با استفاده از مدل اصلاح شده بردار خطا رابطه بین متغیرها بررسی شد
Jankovicو همکاران [13]	۲۰۰۴	بهینه سازی فرآیند خردایش کلینکر و تبدیل آن به سیمان و کاهش مصرف انرژی الکتریکی	بررسی تاثیر افزودن یک آسیاب کلینکرشکن قبل از ورود کلینکر به آسیاب سیمان

تعاریف

داده کاوی چیست؟

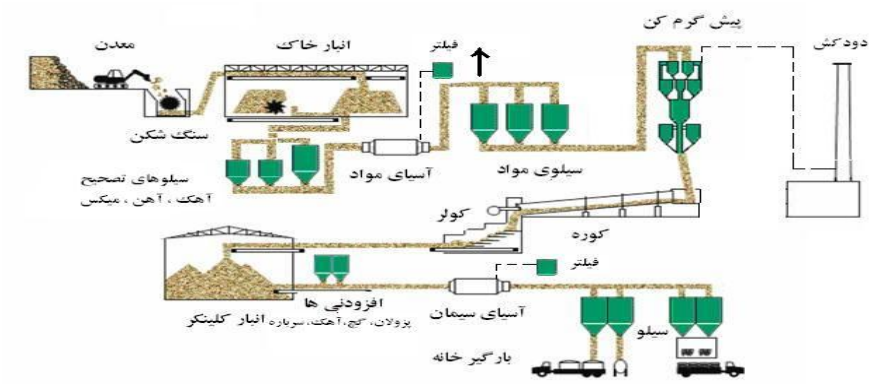
داده کاوی فرآیند اکتشاف، تجزیه و تحلیل خودکار یا نیمه خودکار از مقادیر زیادی از داده ها به منظور کشف الگوها و قوانین معنادار می باشد. داده کاوی فرآیند استخراج وتشخیص الگوهای پنهان یا اطلاعات از پایگاه داده می باشد. به بیان بهتر تجزیه و تحلیل ماشینی داده ها برای پیدا کردن الگوهای مفید، تازه و قابل استناد در پایگاه داده‌های بزرگ ، داده کاوی نامیده می شود. می توان داده کاوی را فرآیند به خدمت گرفتن یک متدولوژی کامپیوتری تعریف کرد که با استفاده از تکنیک‌های مختلف مستقیما از داده ها دانش استخراج می کند. داده کاوی فن آوری هایی همچون انبارداده و نرم افزارهای مدیریتی، مدیریت ارتباط با مشتری را در یک حوزه جدیدی که شرکت ها می توانند مزیت‌های رقابتی را کسب کنند، ایجاد می کند. داده کاوی نقش کلیدی در تقسیم بندی بازار، سرویس‌های مشتری، تشخیص تقلب و محک زدن رفتار مشتریان دارد. همچنین در داده کاوی از الگوریتم‌های ژنتیک و شبکه‌های عصبی هم استفاده می شود. شبکه‌های عصبی به علت کار آمدی در حل مسائل پیچیده و بزرگ مورد استفاده اند و کاربرد

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

الگوریتم‌های ژنتیک در داده کاوی برای جستجو و ساختن یک مدل بهینه در میان مدل‌های بدست آمده است، به این گونه که مدل‌های اولیه روی کرومزوم هایی قرار می گیرند و با رقابت بر سر انتقال صفات به نسل بعد، بهترین مدل و لایق ترین آن ها به کاربر ارائه می شوند.

۳. معرفی فرآیند تولید سیمان

صنعت سیمان یکی از صنایع بنیادی در کشور است، چرا که بر مبنای قیمت‌های جهانی، حداقل چهار درصد تولید ناخالص ملی را در اختیار داشته و ایران با داشتن مزیت‌های نسبی انرژی، معدن، تکنولوژی و نیروی انسانی، توانایی ایجاد ارزش افزوده در این شاخه از صنعت را داراست. صنعت سیمان ایران با قریب به ۹۰ سال سابقه ، اکنون با انجام سرمایه‌گذاری‌های جدید و همچنین با خروج سیمان از سبد حمایتی و آزاد شدن صادرات و راه‌اندازی طرح‌های توسعه، بعد از صنعت پتروشیمی، توان دومین تولید صادراتی صنعتی کشور را در دست خود دارد، در شکل ۱ فرآیند تولید سیمان بصورت شماتیک نشان است.



شکل ۱. فرآیند تولید سیمان [۵]

– **معدن:** قبل از عملیات برداشت از معدن، آزمایشگاه جبهه‌های مورد نظر را تعیین و به واحد معدن اعلام می کند. واحد معدن با توجه به نیاز آزمایشگاه اقدام به حمل مارل و سنگ آهک جهت خردایش درآسیابهای خاک و سنگ شکن می نماید.

– **خردایش مواد اولیه در آسیاب‌های خاک و سنگن شکن** : مواد حمل شده از معدن (شامل خاک و سنگ آهک) در قیف ورودی (شوت) آسیاب‌های خاک و یا در آسیاب سنگ شکن تخلیه شده و

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

توسط آسیاب ها، تا اندازه ۳-۲ سانتیمتر خرد می گردد، سپس مواد خردایش شده در انبارهای خاک و سیلوی سنگ آهک ذخیره می گردد. از ورودی انبارهای خاک توسط آزمایشگاه نمونه برداری شده و با آزمایش این نمونه ها به صورت مداوم، دستور اصلاح جبهه‌های مواد جهت برداشت صادر می شود. خروجی آسیاب سنگ که شامل سنگ آهک و آهن خردایش شده می باشد در سیلوهای سنگ آهک و سنگ آهن ذخیره می گردد.

- **سایش و همگن سازی مواد در آسیاب‌های مواد خام** : برداشت مواد از انبارهای خاک توسط دستگاه ریگلایمر انجام می شود. مواد برداشت شده در زمان انتقال (از طریق نوارهای نقاله) به آسیاب‌های مواد خام بوسیلهٔ اضافه کردن سنگ آهک و آهن اصلاح می شود. میزان برداشت سنگ آهک و آهن از طریق سیستم‌های توزین مربوطه و زیر نظر آزمایشگاه تعیین و اعمال می شود. مواد خروجی از آسیاب مواد خام ، نمونه گیری شده و در سیلوهای مواد خام ذخیره می گردد. آزمایشگاه با بررسی نمونه گیری‌های انجام شده، آنالیز مواد سیلو را بررسی نموده، مجوز استفاده از سیلوی مزبور را به بهره برداری صادر می نماید.

- **پخت کلینکر و خنک کردن آن در سیستم پخت مواد** : مواد موجود در سیلوهای مواد خام از طریق سیستم‌های انتقال مواد وارد پیش گرمکن می گردد. مواد پس از گرم شدن در دوپل وارد کوره شده و پس از عبور از کوره بصورت کلینکر، کوره را ترک و وارد خنک کن (کولر) می شود.

-**سایش نهایی در آسیاب‌های سیمان** : کلینکر ذخیره شده در انبار کلینکر از طریق نوار نقاله ها و الواتورها به داخل سیلو وارد شده و در آن جا ذخیره می گردد. مواد افزودنی توسط کامیون ها از محل مربوطه به درون قیف ریخته شده و توسط الواتور به داخل سیلو هدایت می گردد. کلینکر و مواد افزودنی (سنگ گچ و پوزولان) توسط نوار خوراک دهنده وارد آسیاب سیمان شده و در آن جا به صورت کامل پودر گشته و به سیمان تبدیل می گردند.

- **بارگیری و تحویل در بارگیرخانه** : سیمان ذخیره شده در سیلوها، پس از صدور مجوز آزمایشگاه جهت استفاده، از طریق ایراسلایدها، شنکه ها و الواتورها وارد دستگاه کیسه زنی و یا دستگاه بارگیری فله شده و بصورت سیمان پاکتی و یا فله ای بارگیری شده و توسط کامیون به مکانی که مشتری درخواست نموده انتقال می یابد. [۵]

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

جایگاه انرژی در صنعت سیمان و اهمیت بهینه سازی مصرف انرژی در آن

بهای تمام شده تولید سیمان در سطح جهان وابستگی زیادی به سطح دستمزدها، بهای انرژی و در دسترس بودن مواد اولیه دارد. با بررسی صورت‌های مالی شرکتها حاضر در بورس[۱] ، هزینه‌های تولید، از جمله سهم بهای انرژی (الکتریکی و سوخت) از کل هزینه ها را می توان به شرح جدول ۲ برآورد کرد :

جدول ۲. سهم عوامل مختلف در بهای تمام شده سیمان [۱]

ردیف	عامل هزینه	درصد در کل
۱	انرژی-برق	۱۰
۲	انرژی-سوخت	۱۷
۳	مواد اولیه	۱۰
۴	نیروی کار	۲۴
۵	استهلاک	۱۶
۶	سایر (تعمیرات، قطعات و ....)	۲۴
	جمع	۱۰۰

به طور معمول توان (برق) مصرفی مورد نیاز به ازای هر تن سیمان تولید شده در حد kwh ۱۲۰-۱۱۰ می باشد و سهم هر یک از واحدها در مصرف انرژی به شرحی که در جدول ۳ آمده است، برآورد می گردد :

۱. این اطلاعات از سایت codal.ir قابل دانلود می باشد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

جدول ۳. سهم هر یک از واحدها در مصرف انرژی [۵]

ردیف	نام واحد	مصرف انرژی Kwh/ton	مصرف انرژی درصد
۱	آسیاب خاک و سنگ(استخراج و اختلاط مواد اولیه)	۶	۵
۲	آسیاب مواد خام(سایش مواد اولیه)	۲۸	۲۴
۳	کوره (همگن سازی مواد خام و پخت و خنک سازی)	۳۲	۲۸
۴	آسیاب سیمان(سایش نهایی)	۴۴	۳۸
۵	انتقالات، بسته یندی و بارگیری	۶	۵
	جمع مصرف انرژی ویژه الکتریکی	۱۱۶	۱۰۰

با توجه تاثیر بالای هزینه‌های انرژی بر قیمت تمام شده محصول، اهمیت بهینه سازی مصرف انرژی و مدیریت صحیح مصرف انرژی آشکار می گردد. همچنین به دلیل ابلاغ الزامات جدید قانونی (از جمله استاندارد ۷۸۷۳ ملی ایران : سیمان–معیار مصرف انرژی در فرآیندهای تولید) در خصوص استاندارد مصرف انرژی (و اخذ جریمه در صورت عدم رعایت استانداردها)، ایجاد مدل‌های ریاضی و یافتن نقاط بهینه مصرف بر اساس عوامل تاثیرگذار اهمیت بسزایی می یابد. در این راستا با توجه به ثبت اطلاعات کارکرد تجهیزات و مصارف انرژی در دپارتمان‌های مختلف کارخانجات سیمان و وجود پایگاه داده مربوطه، استفاده از تکنیک‌های داده کاوی برای ایجاد مدل مصرف انرژی ممکن می گردد که این امر می تواند کمک موثری در مدیریت مصرف انرژی باشد.

٤. تعریف مسئله و تجزیه و تحلیل آن

همان گونه در مقدمه اشاره شد، با توجه به ثبت اطلاعات کارکرد تجهیزات و مصارف انرژی در دپارتمان‌های مختلف کارخانه و وجود پایگاه داده مربوطه، استفاده از تکنیک‌های داده کاوی برای ایجاد مدل مصرف انرژی میسر می باشد. در این مقاله سعی شده است، نحوه ایجاد مدل‌های کاربردی با استفاده از تکنیک‌های داده کاوی با یک مثال کاربردی از یک دپارتمان کارخانه سیمان تشریح می گردد.

بر اساس اطلاعات سال ۹۲ سیستم پخت (کوره) واحد اول کارخانه سیمان آبیک مدلی با استفاده از تکنیک‌های داده کاوی ایجاد گردیده، سپس با ارزیابی مدل و تفسیر نتایج کاربردی آن، برای اجراء

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

به واحد تولید اعلام گردید. تکنیک داده کاوی به کار رفته عبارت از خوشه بندی با استفاده از الگـوریتم k-means است.

مراحل داده کاوی بر روی پایگاه داده

مرحله اول (تشکیل پایگاه داده): این مرحله برای تشکیل محیطی پیوسته و یکپارچه جهت انجام مراحل بعدی و داده کاوی در آن، انجام می گیرد. در حالت کلی پایگاه داده مجموعه پیوسته و طبقه بندی شده است که دائما در حال تغییر بوده و دینامیک است که برای کاوش آماده می شود.

- تشریح پایگاه داده پروژه

در پایگاه داده انرژی، اطلاعات مصرف انرژی الکتریکی و سوخت مصرفی ، ساعت کارکرد تجهیـزات و تناژ تولید در دپارتمان کوره واحد اول سیمان آبیک در سال ۹۲ ثبت شده است. فایل اصلی از نـوع xls (فایل Excel) می باشد که پس از تبدیل به فرمت csv در نرم افزار وکا بارگذاری گردید.

- نام و شرح فیلدهای پایگاه داده

قبل از آماده سازی داده جمع آوری شده، به تشریح نـام و شـرح فیلـدهای پایگـاه داده مـی پـردازیم. جدول۴ نام و شرح فیلدهای پایگاه داده انرژی را معرفی می نماید:

جدول ۴. نام و شرح فیلدهای پایگاه داده

نام فیلد	شرح فیلد	نوع فیلد
dayno	شماره رکورد	عددی
Kwh	کیلوات ساعت مصرف انرژی الکتریکی در یک روز کاری	عددی
Kcal	کیلوکالری مصرف انرژی حرارتی در یک روز کاری	عددی
Ton	تناژ تولید در یک روز کاری	عددی
Hour	ساعت کارکرد تجهیزات	عددی

مرحله دوم (انتخاب داده ها): در این مرحله برای کـم کـردن هزینـه‌هـای عملیـات داده کـاوی، داده‌هایی از پایگاه داده انتخاب می شوند که مورد مطالعه هستند و هـدف داده کـاوی دادن نتـایجی در

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

مورد آن هاست. در پروژه حاضر با فرض اینکه اطلاعات مصرف انرژی الکتریکی و سوخت و کارکرد فصلی نیستند (تابعی از فصول سال نمی باشند)، فیلد "day no" حذف گردید.

مرحله سوم (آماده سازی داده ها): برای انجام عملیات داده کاوی حساب نیاز ممکن است تبدیلات خاصی روی داده ها انجام گیرد. این تبدیلات ممکن است خیلی راحت و مختصر مانند تبدیل byte به integer باشد، یا خیلی پیچیده و زمان بر و با هزینه‌های بالا مثل تعریف صفات جدید و یا تبدیل و استخراج داده ها از مقادیر رشته ای و ... باشد.

در این مرحله دو فیلد عددی جدید بر اساس محاسبات از سایر فیلدها به منظور تبدیل مسئله از ۴ بعدی به ۳ بعدی (به عنوان یکی از ابزارهای پیش پردازش داده و ساده سازی و کم کردن حجم داده)، به شرح جدول ۵ ایجاد گردید:

جدول ۵. نام و شرح فیلدهای پایگاه داده آماده سازی شده برای داده کاوی

نام فیلد	شرح فیلد	نحوه محاسبه	نوع فیلد
Kwh/ton	کیلوات ساعت مصرف در ازای یک تن محصول(کلینکر)	نسبت کیلوات ساعت مصرفی بر تناژ تولید در یک روز کاری	عددی
kcal/kgcli	کیلوات کالری مصرف در ازای یک تن محصول(کلینکر)	نسبت کیلوکالری مصرفی بر تناژ تولید در یک روز کاری	عددی
Ton/h	تناژ تولید در ازای یک ساعت کارکرد	نسبت تناژ تولید بر ساعت کارکرد در یک روز کاری	عددی

محاسبات فوق در پایگاه داده اصلی (که در نرم Excel ایجاد شده است) انجام گردید. همچنین به منظور رفع آلودگی‌های داده ها ، از جمله رکوردهایی که تناژ تولید برابر با صفر بوده و مصرف انرژی دارای عدد می باشد (به دلیل مصارف برای تعمیرات و موارد عمومی) حذف گردید. پس از مرحله فوق هیچ داده مفقوده‌ای در پایگاه داده مشاهده نگردید، بدین ترتیب پایگاه داده با ۳۰۲ رکورد آماده برای اجرای مرحلهء بعدی فرآیند داده کاوی گردید.

مرحله چهارم (کاوش در داده ها): در این مرحله داده کاوی انجام می شود. در این مرحله با استفاده از تکنیک‌های داده کاوی داده ها مورد کاوش قرار گرفته، دانش نهفته در آن ها استخراج شده و الگوسازی صورت می گیرد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

۲- اجرای خوشه بندی

اجرای خوشه بندی به ترتیب مراحل زیر انجام می شود :

۱- تعیین تعداد بهینه خوشه با استفاده ازجعبه ابزار Cvap در نرم افزار متلب.

۲- اجرای نرم افزار Weka با توجه به تعداد خوشه بدست آمده از مرحله قبل.

۳- ارزیابی و تفسیر نتایج مدل.

روش‌های ارزیابی خوشه بندی

برای ارزیابی الگوریتم‌های خوشه بندی معیارهای متفاوتی وجود دارند که مـی تـوانیم آن هـا را بـه دو دسته معیارهای ارزیابی بدون ناظر (یا معیارهای داخلـی) و معیارهـای ارزیـابی بـا نـاظر (یـا معیارهـای خارجی) تقسیم نماییم. شاخص‌های ارزیابی بدون ناظر که گاهی در متون علمی مرتبط از آن ها با نـام معیارهای داخلی نیز یاد می شود، به دسته از معیارهایی گفته می شود که تعیین کیفیت عملیات خوشـه بندی را با توجه به اطلاعات موجود در مجموعه داده به عهده دارنـد. در مقابـل، معیارهـای ارزیـابی بـا ناظر، که گاهی در متون علمی مرتبط از آن با نام معیارهای خارجی نیـز یـاد مـی شـود، بـا اسـتفاده از اطلاعاتی خارج از حیطه مجموعه داده‌های مورد بررسی، عملکرد الگوریتم‌هـای خوشـه بنـدی را مـورد ارزیابی قرار می دهند. [۴]

در ادامه این بخش به بررسی دقیق تر هر کدام از انواع معیارهای مزبور می پردازیم.

معیارهای ارزیابی بدون ناظر

مهم ترین وظیفه یک الگوریتم خوشه بندی آن است که بتواند به بهتـرین شـکل ممکـن فاصـله درون خوشه ای را کمینه و فاصله بین خوشه ای را بیشینه نماید. به عبارت دیگر همه الگـوریتم‌هـای خوشـه بندی سعی در یافتن خوشه ها به گونه ای دارند خوشه هایی مشخص تر، مجزاتـر و تفکیـک شـده تـر بیابند. به همین دلیل کلیه معیارهای ارزیابی بدون ناظر سعی در سنجش کیفیت عملیات خوشه بندی با توجه به دو فاکتور مهم می نمایند. این دو فاکتور عبارتند از تراکم خوشه ای و جدایی خوشه ای .

برآورده شدن اهداف کمینه سازی فاصله درون خوشه ای و بیشینه سازی فاصله میـان خوشـه ای به ترتیب در گرو بیشینه نمودن تراکم هر خوشه و نیز بیشینه سازی جدایی میان خوشه هاست. تمـامی معیارهای ارزیابی بدون ناظر از یک لحاظ مشابه هستند و آن بیشینه نمودن فاکتورهای تراکم و جدایی

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

خوشه ای است. تفاوت این معیارها در دو نکته مهم می باشد. نکتـه اول، تعـاریف متفـاوتی اسـت کـه برای این دو فاکتور ارائه می دهند. نکته بعدی، توابع گوناگونی است کـه ایـن دو فـاکتور را بـه جهـت دستیابی به یک معیار عددی ترکیب می نمایند. [۴]

جدول ۵ تعدادی از شاخص‌های ارزیابی خوشه بندی که در جعبه ابزار Cvap3.7 در اختیـار کـاربر می باشد را نشان می دهد، بـا اجـرای جعبـه ابـزار Cvap3.7 در محـیط نـرم افـزار متلـب بـر اسـاس شاخص‌های ارائه شده در جدول مذکور، نمودار مقادیر شاخص با توجه به تعداد خوشه (که فرآیند خوشه بندی در نظر گرفته شده)، ترسیم می گردد. سپس با توجه به مقدار بهینه شاخص، تعداد خوشه مطلـوب (یا پیشنهادی) استخراج می شود. فرمول هر یک از شاخص ها و نحوه یافتن نقطه بهینه آن در جـدول ۶ ذکر شده است.

جدول ۶. نام و شرح شاخص‌های موجود درجعبه ابزار **Cvap3.7 [۴،۹]**

ردیف	نوع شاخص داخلی یا خارجی	عنوان شاخص	نقطه بهینه (بیشینه یا کمینه)
۱	خارجی	Rand	بیشینه
۲	خارجی	Jaccard	بیشینه
۳	خارجی	FM	بیشینه
۴	داخلی	Silhouette	بیشینه
۵	داخلی	Davies-Bouldin	کمینه
۶	داخلی	Calinski-Harabasz	کمینه
۷	داخلی	Dunn	بیشینه
۸	داخلی	R-Squared	کمینه
۹	داخلی	Homogeneity	نقطه زانویی
۱۰	داخلی	Separation	کمینه

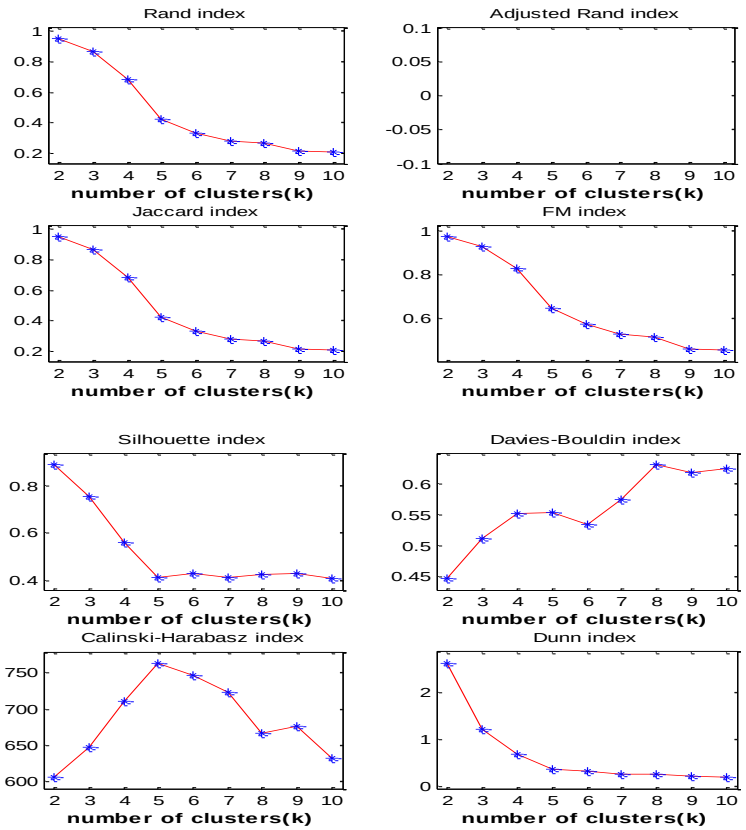
اجرای خوشه بندی بر روی داده‌های تحقیق

با توجه به مراحل اشاره شده در بخش ۲ اجرای خوشه بندی داده‌های مسئله را به شـرح زیـر پـی مـی گیریم:

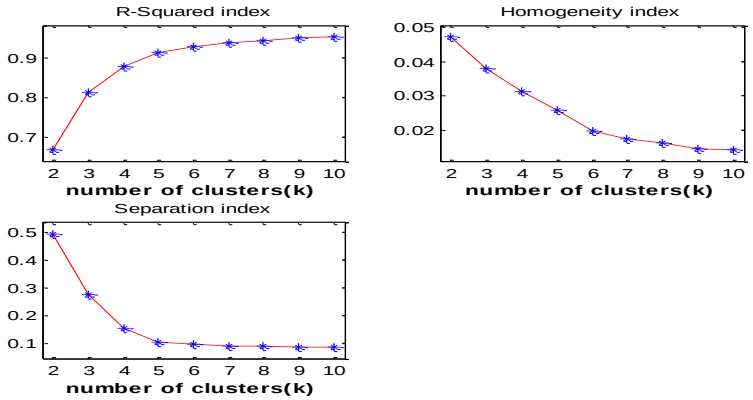
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

تعیین تعداد خوشه

با استفاده از جعبه ابزار Cvap3.7 در نرم افزار متلب (کوره) نمودارهای مقادیر مختلف شـاخص هـا بـه ازای تعداد خوشه ترسیم می شود (شکل۲) :



[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]



شکل ۲. نمودار شاخص‌های ارزیابی خوشه بندی-کوره (ترسیم شده با Cvap)

یادآوری: در نمودارهای فوق محور افقی تعداد خوشه و محور عمودی مقدار شاخص می باشد.

جدول ۷ تعداد خوشه بهینه را بر اساس شاخص‌های موجود درجعبه ابزار Cvap و نمودارهای شکل ۲ نشان می دهد :

جدول ۷. تعداد خوشه بهینه بر اساس شاخص ها برای داده‌های کوره

ردیف	عنوان شاخص	نقطه بهینه (بیشینه یا کمینه)	تعداد خوشه پیشنهادی (داده‌های کوره)
۱	Rand	بیشینه	۲
۲	Jaccard	بیشینه	۲
۳	FM	بیشینه	۲
۴	Silhouette	بیشینه	۲
۵	Davies-Bouldin	کمینه	۲
۶	Calinski-Harabasz	کمینه	۶
۷	Dunn	بیشینه	۲
۸	R-Squared	کمینه	۲

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

ردیف	عنوان شاخص	نقطه بهینه (بیشینه یا کمینه)	تعداد خوشه پیشنهادی (داده‌های کوره)
۹	Homogeneity	نقطه زانویی	۶
۱۰	Separation	بیشینه	۱۰
	تعداد خوشه مطلوب		۲

اجرای نرم افزار وکا

بدین ترتیب اجرای نرم افزار weka با تعداد خوشه ۲ و الگوریتم فاصله اقلیدسی مورد قبول می باشد :

===Run information===

Scheme: weka.clusterers.SimpleKMeans -init 0 -max-candidates 100 -periodic-pruning 10000 -min-density 2.0 -t1 -1.25 -t2 -1.0 -N 2 -A "weka.core.EuclideanDistance -R first-last" -I 500 -num-slots 1 -S 10
Relation: kiln92-oil
Instances: 302
Attributes: 3
kwh/ton
ton/hr
kcal/kgcli
Test mode: evaluate on training data
===Clustering model (full training set=== (
kMeans
======
Number of iterations: 9
Within cluster sum of squared errors: 7.17718151628529
Initial starting points (random:(
Cluster 0: 26.71, 292.04, 808.988
Cluster 1: 29.36, 294.78, 819.775
Missing values globally replaced with mean/mode
Final cluster centroids:

Cluster#

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

```
Attribute     Full Data        0         1
                (۳۰۲.۰)   (۲۶۲.۰)   (۴۰.۰)
==========================================
kwh/ton        30.0307   28.5676   39.6142
ton/hr        298.896   311.0152  219.5153
kcal/kgcli   859.6795  820.3753  1117.1222

Time taken to build model (full training data): 0.09 seconds
 ===Model and evaluation on training set===
Clustered Instances

۰      ۲۶۲ (٪۸۷)
۱      ۴۰ (٪۱۳)
```

شکل ۳. خروجی نرم افزار وکا برای داده‌های کوره

ارزیابی و تفسیر نتایج خوشه بندی داده‌های واحد کوره

همان گونه که در بخش ۳-۳-۲ ملاحظه شد، مدل بهینه با تعداد خوشه ۲ ایجاد می شود و بـه همـین دلیل نرم افزار واکا با تعداد ۲ خوشه اجراء گردید، در مدل ایجاد شده با الگوریتم k-means داده هـا در دو خوشه ۲۶۲ تایی(خوشه۰)و ۴۰ تایی (خوشه۱) تقسیم شده اند که بـه ترتیـب دارای متوسـط انـرژی الکتریکـی مصـرفی(kwh/ton) ۲۸/۵۷ و ۳۹/۶۱ و متوسـط انـرژی حرارتـی مصـرفی (kcal/kgcli) ۸۲۰/۳۸ و ۱۱۱۷/۱۲ می باشد. همچنین در این خوشه ها به ترتیب تجهیزات طی روز به طور متوسـط دارای کارکرد ساعتی (ton/h) ۳۱۱/۰۲ و ۲۱۹/۵۲ می باشند. حال با اطلاعات عملکردی بدست آمـده راهبرد زیر را می توان نتیجه گرفت:

"برای کاهش متوسط انرژی مصرفی(kwh/ton) و متوسط انرژی حرارتی مصـرفی(kcal/kgcli) بصورت تواما" می بایست دپارتمان کوره طی روز بطور متوسط دارای کارکرد ساعتی (ton/h) ۳۱۱/۰۲ باشند تا بتـوان بـه متوسـط مصـرف انـرژی (kwh/ton) ۲۸/۵۷ و متوسـط انـرژی حرارتـی مصـرفی (kcal/kgcli) ۸۲۰/۳۸، همانند خوشه ۰ دست یافت".

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

با اجرای راهبرد فوق قریب به ۴/۷۸ درصد در متوسط انرژی الکتریکی مصرفی (kwh/ton) به ازای تن محصول و متوسط انرژی حرارتی مصرفی (kcal/kgcli) به میزان ۴/۵۷ درصد بصورت تواما" کاهش خواهیم داشت.

یادآوری می شود نتایج به دست آمده در بخش مصرف الکتریکی مدل حاضر در مقایسه با مدلی که فقط داده ها مصرف الکتریکی نظر گرفته شده است، بهبود کمتری را نشان می دهد. [۳]

۵. نتیجه گیری

همان طور که در بخش سوم ملاحظه شد، در این تحقیق با استفاده از روش خوشه بندی داده‌های انرژی مدلی توصیفی برای نحوه بهره برداری از کوره‌های سیمان ارائه شد که با فراهم آوردن زمینه اجرایی آن در کارخانه سیمان، می توان صرفه جویی‌های قابل ملاحظه ای در مصرف سوخت و انرژی الکتریکی ایجاد نمود. در همین راستا توجه به الزامات سیستم مدیریت انرژی بر مبنای استاندارد ایزو ۵۰۰۰۱ (که سازمان را ملزم می نماید که برای رسیدن به خط مبناهای انرژی هدف گذاری نموده و پروژه‌های بهبود تعریف نماید و رسیدن به آن را با انجام بازنگری‌های دوره ای رصد و پیگیری نماید) ضروری به نظر می رسد. بدین لحاظ، برای تعیین مقادیر عددی اهداف خرد و خط مبناهای انرژی از مدل توصیفی که با روش خوشه بندی ایجاد شده است، می توان استفاده نمود.

آن چه در این تحقیق آمده نمونه ای از کاربردهای علم نوین داده کاوی در یکی از صنایع کشورمان است، امید است کارشناسان این علم با مطالعه و شناخت داده‌های سازمان خود و الگوبرداری از چنین تحقیقاتی گام‌های موثری در بهبود عملکرد سازمان خود بردارند و این امر گامی برای بهبود وضعیت صنعت کشور عزیزمان و اعتلای آن باشد.

منابع

[۱] بُد محمد علی، ۱۳۹۳، *تحلیلی از صنعت سیمان*، ماهنامه علمی تخصصی فن آوری سیمان، ۷۳، صص ۱۱-۵.

[۲] بکائیان منوچهر، ۱۳۷۶، *هندبوک مهندسی سیمان، مواد نسوز، مصالح ساختمانی*، ناشر : مرکز آموزش نیروی انسانی مجتمع صنعتی سیمان آبیک، ایران، ۱۸۸۳ صفحه.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

[۳] دوستی کندسری باقر، ۱۳۹۵، *ارایه الگویی برای مصرف انـرژی الکتریکی در صنعـت سـیمان بـا استفـاده از تکنیکهای داده کاوی (مورد مطالعه شرکت سیمان آبیک)*، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد قزوین، ایران.

[۴] صنیعی آباده محمد، محمودی سینا، طاهرپرور محدثه، ۱۳۹۳، *داده کاوی کاربردی*، انتشارات نیـاز دانش، ایران، ۵۳۵ صفحه.

[۵] یوسفی فیروز، محمودی مجید، ۱۳۸۳، (مولفین : آلسـوپ فیلیـپ، چـن هانـگ، ال چـین آرتـور)، *راهبری کارخانه سیمان*، ناشر: شرکت کارآفرینان احداث صنعت ، ایران، ۳۵۸ صفحه.

[6] Afkhami Behdad , Akbarian Babak , Beheshti Narges , Kakaee A.H. , Shabani Bahman, 2015, "Energy consumption assessment in a cement production plant", *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 10: pp 84–89.

[7] Atmaca Adem, Kanoglu Mehmet, 2012, "Reducing energy consumption of a raw mill in cement industry", *Energy*, 42: pp 261-269.

[8] Atmaca Adem, Yumrutas Recep¸ 2014, "Analysis of the parameters affecting energy consumption of a rotary kiln in cement industry", *Applied Thermal Engineering*, 66: pp 435-444.

[9] Gan Guojun, Ma Chaoqun, Wu Jianhong, 2007, "Data Clustering Theory Algorithms and Applications", *American Statistical Association*, 466: pp.

[10] Genc O., 2015, "Optimization of a fully air-swept dry grinding cement raw meal ball mill closed circuit capacity with the aid of simulation", *Minerals Engineering*, 74: pp 41–50.

[11] Hasanbeigi Ali, Price Lynn, Lin Elina, 2012, "emerging energy-efficiency and CO2 emission- reduction technologies for cement and concrete production: A technical review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16: pp 6220–6238.

[12] Ituarte-Villarreal Carlos M., Lopez Nicolas, Espiritu Jose F., 2012, "Using the Monkey Algorithm for Hybrid Power Systems Optimization", *Procedia Computer Science*, 12: pp 344–349 .

[13] Jankovic Alex, Valery Walter, Davis Eugene, 2004, "Cement grinding optimization", *Minerals Engineering*, 17: pp 1075–1081.

[14] Liao Shu-Hsien, Chou Shan-Yuan, 2013, "Data mining investigation of co-movements on the Taiwan and China stock markets for future investment portfolio", *Expert Systems with Applications*, 40: pp 1542–1554.

[15] Madlool N.A., Saidur R., Hossain M.S., Rahim N.A., 2011, "A critical review on energy use and savings in the cement industries", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15: pp 2042–2060.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

[16] Mandal Sabuj Kumar, Madheswaran S., 2010, "Causality between energy consumption and output growth in the Indian cement industry: An application of the panel vector error correction model (VECM)", *Energy Policy*, 38: pp 6560–6565.

[17] Nedic Vladimir, Cvetanovic Slobodan, Despotovic Danijela, Milan Despotovic, Babic Sasa, 2014, *"Data mining with various optimization methods"*, *Expert Systems with Applications*, 41: pp 3993–3999.

[18] Nouri.Gharahasanlou Ali, Mokhtarei Ashkan, Khodayarei Aliasqar, Ataei Mohammad, 2014, "Fault tree analysis of failure cause of crushing plant and mixing bed hall at Khoy cement factory in Iran", *Case Studies in Engineering Failure Analysis*, : pp 33–38.

[19] Tinoco Joaquim, Correia A. Gomes, Cortez Paulo, 2011, "Application of data mining techniques in the estimation of the uniaxial compressive strength of jet grouting columns over time", *Construction and Building Materials*, 25: pp 1257–1262 .

[20] Tinoco Joaquim, Correia A. Gomes, Cortez Paulo, 2014, *"A novel approach to predicting Young's modulus of jet grouting laboratory formulations over time using data mining techniques"*, *Engineering Geology*, 169: pp 50–60 .

[21] Tsai Chih-Fong, Lu Yu-Hsin, Yen David C., 2012, "Determinants of intangible assets value: The data mining approach", *Knowledge-Based Systems*, 31: pp 67–77.

[22] Tus_at Yücel Kemal, ozel Cengiz, 2012, *"Modeling of mechanical properties and bond relationship using data mining process"*, *Advances in Engineering Software*, 45: pp 54–60.

[23] Velazquez David, Gonzalez-Falcon Rocio, Perez-Lombard Luis, Gallego L. Marina, Monedero Inigo, Biscarri Felix, 2013, "Development of an energy management system for a naphtha reforming plant: A data mining approach", *Energy Conversion and Management* ,67: pp 217–225.

[24] Wang Ningling, Zhang Yong, Zhang Ting, Yang Yongping, 2012, "Data Mining-based Operation Optimization of Large Coal-fired Power Plants", *AASRI Procedia*, 3: pp 607 – 612 .

[25] Zhao Jie, Bertrand Lasternas, Lam Khee Poh, Yun Ray, Loftness Vivian, 2014, "Occupant behavior and schedule modeling for building energy simulation through office appliance power consumption data mining", *Energy and Buildings* ,82: pp 341–355.

[26] ZHONG Jia-Qing, 2012, "Application of Graph Data Mining Method in Distribution Network Economic Evaluation", *Physics Procedia*, 33: pp 612 – 618.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]