# ارزیابی اقتصادی اجرای پروژه‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی در صنعت سیمان کشور (مطالعه موردی: مجتمع سیمان تهران)

۱. دکتر بهرام سحابی[۱]
۲. سید غلامحسین حسنتاش[۲]
۳. مریم سادات حسینی[۳]

**چکیده**

انرژی مهمترین نیاز هر جامعه صنعتی است و با قرار گرفتن کشورها در مسیر توسعه، اهمیت آن افزایش می‌یابد. تحقیق حاضر در راستای اهمیت مصرف انرژی و جلوگیری از اتلاف آن صورت گرفته و صنعت سیمان را به عنوان یک از مهمترین صنایع زیربنایی در روند توسعه پایدار و همچنین یکی از مصرف کنندگان عمده انرژی به طور خاص مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد.

لذا در ادامه ضمن بررسی وضعیت انرژی در ایران و جهان، دو طرح بهینه‌سازی انرژی برای یکی از واحدهای نمونه صنعت سیمان، مورد بررسی و تجزیه و تحلیل اقتصادی قرار می‌گیرد که یکی تغییر فناوری در تولید سیمان و دیگری ایجاد سیستم بازیافت حرارتی به منظور بهینه‌سازی مصرف انرژی در این صنعت، است. طرح‌های مزبور بر مبنای قیمت‌های یارانه‌ای گذشته که باعث پایداری تولید فرسوده کشور شده بود و قیمت‌های منطقه‌ای و تمام شده انرژی و با استفاده از نرم‌افزار کامفار مورد ارزیابی مالی و اقتصادی قرار گرفته است.

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که بهینه‌سازی مصرف انرژی در فرایند تولید سیمان، با تغییر فرایند فرسوده و قدیمی به مدرن و با در نظر گرفتن همه منافع، از لحاظ فنی قابل اجرا و از لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر است و می‌تواند از محل صرفه‌جویی در مصرف انرژی و درآمد ناشی از افزایش ظرفیت، تامین مالی شود.همچنین ایجاد سیستم بازیافت حرارتی نیز از لحاظ اقتصادی توجیه پذیر است و از طریق صرفه‌جویی در مصرف انرژی تامین مالی می‌گردد.

**واژه های کلیدی:** بهینه سازی انرژی- صنعت سیمان- ارزیابی اقتصادی

**طبقه بندی GEL:** O۱۲, O۱٤, O۲۲.O۳۸

---

[۱] . عضو هیات علمی دانشگاه تربیت‌مدرس Sahabi_b@modares.ac.ir
[۲] . عضو هیئت علمی موسسه مطالعات بین‌المللی انرژی .f hassantash@gmail.com
[۳] .کارشناسی ارشد M.hoseini@modares.ac.ir

## ۱-مقدمه

در پی صنعتی شدن کشورها و توسعه شهرنشینی و افزایش تقاضا برای مصرف انواع انرژی و بویژه سوخت‌های فسیلی، انرژی به طور عام و نفت و گاز به طور خاص در استراتژی‌های توسعه ملی و جهانی و سیاست‌گذاری‌های کلان جایگاهی بیش از گذشته پیدا کرده و در حقیقت به یک عامل کلیدی و استراتژیک در حیات ملت‌ها و دولت‌ها تبدیل شده است.از سوی دیگر ملاحظات زیست‌محیطی به منظور نائل شدن به توسعه پایدار، مبحث صرفه‌جویی انرژی و حفظ منابع با ارزش انرژی و مدیریت صحیح مصرف آن را به عنوان یکی از موضوعات اساسی در تمامی کشورهای جهان قرار داده است.

از سویی می‌توان گفت که در ایران وجود مخازن عظیم نفت و گاز، امکان بهره‌برداری وسیع از این منابع را برای حرکت چرخ های اقتصاد فراهم آورده است و از سوی دیگر باید گفت متاسفانه این موضوع خود دلیلی بر کم اهمیت و حتی بی‌اهمیت تلقی کردن استفاده صحیح و منطقی از سوخت‌های فسیلی و به طور کلی انرژی در ایران شده است. اغلب واحدهای تولیدی در کشور، برای سال ها با پرداخت مبلغ ناچیز به عنوان بهای انرژی یارانه‌ای، از این منابع عظیم استفاده غیر بهینه کرده‌اند و توجهی به موضوع صرفه‌جویی در مصرف نداشته‌اند. در بیشتر واحدهای صنعتی و تولیدی، سرانه انرژی مصرفی بالاتر از معیارها و استانداردهای جهانی است و هیچ فشاری از جانب هزینه‌ها متوجه بنگاه‌ها نبوده است و در نتیجه انگیزه‌ای برای مصرف بهینه حامل‌های انرژی وجود نداشته است. لذا ادامه روند جاری باعث خواهد شد که علاوه بر کاهش سالانه توان صادرات انرژی،کشور در میان مدت به وارد کننده انرژی نیز تبدیل شود.

یکی از بخش‌های پر مصرف انرژی، صنعت تولید سیمان است که به عنوان یکی از زیربخش‌های صنعت، ۱۵٪ انرژی مصرفی بخش صنعت را به خود اختصاص داده است.[۱] در باب اهمیت بحث درباره صنعت سیمان می‌توان گفت که این صنعت به عنوان یکی از صنایع پایه، نقشی اساسی را در توسعه زیربناهای اقتصادی کشور بر عهده دارد. به این علت که موتور اقتصاد ایران را پس از صنایع استخراجی، صنایع ساختمانی می‌چرخانند که این صنایع به شدّت متاثر از تولید صنعت سیمان می‌باشند. افزون بر این صنعت سیمان یکی از صنایع انرژی‌بر است که در تولید آن از دو انرژی حرارتی یا فسیلی و الکتریکی استفاده می‌شود. اما بهره‌برداری نامناسب از تجهیزات مصرف کننده انرژی الکتریکی و فسیلی در آن و عدم توجه و دقت کافی به استفاده بهینه از انرژی در این صنعت، باعث افزایش مصرف انرژی الکتریکی و حرارتی

---

۱. www.emciran.com/fa/sanat-index.htm

در فرایند تولید سیمان در کشور شده است. از این رو توجه به مدیریت مصرف انرژی و بالا بردن بازده و بهره‌وری انرژی با تاکید بر صرفه‌جویی انرژی در این صنعت به یک ضرورت تبدیل شده است. بنابراین در این مقاله برآنیم تا ضمن گذری بر انرژی و صنعت سیمان، با نگاهی اقتصادی روشهایی را بر مبنای تغییر فرایند برای مصرف هر چه بهینه‌تر انرژی در این صنعت، تعریف نموده و مورد بررسی قرار دهیم و با ارزیابی این طرح‌ها، دریابیم که آیا از لحاظ فنی و اقتصادی،از محل صرفه‌جویی در مصرف انرژی بازگشت سرمایه خواهند داشت یا خیر؟

روش تحقیق استفاده از تحلیل هزینه-فایده خواهد بود. به این صورت که ما با استفاده از نرم افزار کامفار[۱] و داده‌های جمع‌آوری شده، ارزش حال منافع و هزینه‌ها را مورد بررسی قرار خواهیم داد و با برآورد شاخص‌های "دوره بازگشت سرمایه[۲]"،" ارزش فعلی خالص[۳]" و " نرخ بازده داخلی[۴]" و مقایسه و تحلیل آنها، به نتیجه تحقیق خواهیم رسید.

## ۲- انرژی

نقش و اهمیت انرژی در دنیا بر کسی پوشیده نیست و همواره با قرار گرفتن در مسیر رشد و توسعه توجه و استفاده از این عامل فزونی می‌یابد. انرژی به منزلهٔ موتور توسعه اقتصادی، اجتماعی وبهبود کیفیت زندگی انسان تلقی می‌شود. از سوی دیگر، توسعه پایدار و حفاظت ازمحیط زیست در گرو استفادهٔ درست و بهینه از منابع انرژی خصوصاً انرژی‌های تجدید ناشدنی است.

از جهت دیگرزیستن در دنیای متلاطم و پر چالش امروز، مستلزم ایجاد تغییرات و تحولات بنیادی در حوزه کاربری مناسب از انرژی می‌باشد، زیرا منابع محدود و استحصال آن پر هزینه است .هم‌سویی با پیشرفت‌های جهانی و انحصار توانایی‌های علمی فوق مدرن، توسط جوامع فراصنعتی، لزوم توجه و تعمّق کشورهای درحال توسعه را به انرژی و دگرگونی‌های فرهنگی، اقتصادیِ پیرامون آن معطوف می‌سازد. بهینه‌سازی مصرف در استفاده از منابع انرژی و صیانت از سرمایه‌های ملی، اولویت اجتناب‌ناپذیری است که می‌تواند ضمن تاثیر مستقیم بر الگوی مصرفی جوامع و حذف رفتارهای اسراف‌گرایانه، آثار ماندگاری را در راه رسیدن به قله‌های رشد و خودکفایی صنعتی با هدف نوآوری در سیستم‌های کنترل مصرف انرژی به ارمغان آورد.

---

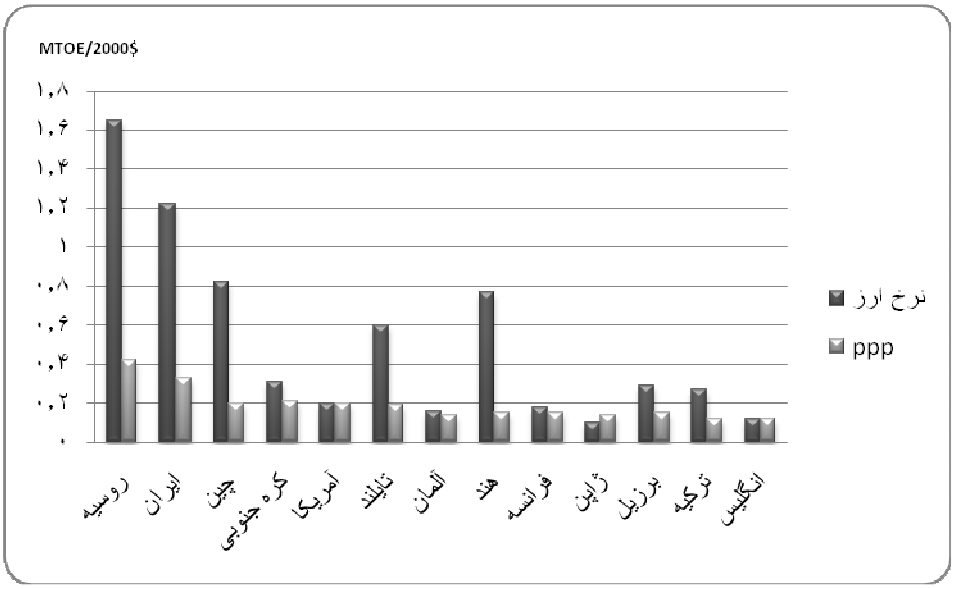
۱. Comfar

۲. Payback Period

۳. Net Present Value(NPV)

۴. Internal Revenue Rate(IRR)

مروری بر برخی شاخص‌های انرژی نظیر شاخص مصرف انرژی اولیه، شدت انرژی و شدت $CO_2$ و مقایسه این شاخص‌ها در ایران و سایر کشورها نیز موید پر مصرفی انرژی در عین ناکارآمد بودن آن در ایران است. به دلیل جامع و کامل بودن شاخص شدت انرژی و اهمیت آن در مقایسه‌ها نسبت به دیگر شاخص‌ها، نمودار زیر مقایسه‌ای را میان شدت انرژی در ایران و جهان ارائه میدهد.




شکل۱: مقایسه شدت انرژی ایران با کشورهای منتخب بر اساس شاخص برابری قدرت خرید ونرخ ارز[۱]
منبع:" Key world Energy Statistics",International Energy Agency,۲۰۰۹

شاخص شدت انرژی در ایران گویای این واقعیت تلخ است که در ایران به چگونگی مصرف انرژی بهایی داده نشده است و وفور نعمت، کشورما را در معرض فاجعه‌ای قرار داده است که برون رفت از آن به مدیریت نافذی نیاز دارد که قادر باشد با تغییر دادن فرهنگ و تفکر غلط، پروژه‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی را در سطح خرد و کلان اجرایی سازد.

## ۳- صنعت سیمان

صنعت سیمان یکی از صنایع راهبردی است که نقش مهمی را در توسعه اقتصادی و عمران ملی ایفا می‌کند و در جهان امروز، وسیع‌ترین سطح تولید را بین سایر صنایع به خود اختصاص داده است. سیمان از

[۱] .در شاخص برابری قدرت خرید ،تولید ناخالص داخلی که در مخرج رابطه شدت انرژی وارد می شود با توجه به نرخ مبادله کشورها تعدیل شده است.در واقع در برابری قدرت خرید ،نرخ مبادله دو کشور باید به نسبت سطح قیمت ها،سبد ثابتی از کالاها و خدمات برابر باشند.برای مثال زمانی که نرخ مبادله دلار در ایران برابر ۱۰۰۰۰ ریال است ویا به عبارت دیگر ۱دلار در ایران ۱۰۰۰۰ریال ارزش دارد؛آنگاه یک کالا که در کشور ایران ۲۰۰۰۰ریال ارزش دارد، باید در آمریکا معادل۲ دلار ارزش داشته باشد.اما با وجود نرخ ارز بدون برابری قدرت خرید ،در تولید ناخالص داخلی تعدیلی صورت نمی گیرد و به صورت واقعی در مخرج رابطه شدت انرژی به کار می رود.

پرمصرف‌ترین فرآورده‌های صنعتی در جهان است و امروزه به عنوان یک کالای آینده‌ساز، پیش نیاز توسعه، اشتغال و پیشرفت، مورد توجه ویژه کشورها قراردارد.

طبق یک تعریف ساده، سیمان را می‌توان به عنوان مادّه‌ای که خواص چسبندگی و انسجام بین سایر قطعات معدنی را دارد و در عین حال، از نظر تقاضا به عنوان یک محصول کم کشش تلقی نمود، زیرا در ساختمانهای مسکونی و غیر مسکونی، در تاسیسات صنعتی و در راه‌سازی و اسکله‌ها و در سایر موارد، ویژگیِ به هم چسباندن سنگ‌ها، ماسه، آجر و سایر اجزای متشکله، این کالا را به صورت کالایی غیر قابل جایگزینی درآورده است. به همین علت در جهان امروز، سیمان به عنوان یک کالای راهبردی برای اجرای عملیات زیربنایی مثل ایجاد شبکه‌های آبیاری کشاورزی، سدها، احداث بنادر، بزرگراه‌ها، راه آهن و تاسیسات صنعتی و اداری مطرح می‌باشد. شاخص میزان تولید سیمان از مهمترین شاخص‌های ارزیابی جایگاه صنعت سیمان در کشورها است و سایر شاخص‌ها نظیر مصرف؛ صادارت و واردات سیمان از آن نشات می‌گیرد. از جهت دیگر صنعت سیمان را میتوان جزء آن دسته صنایعی طبقه بندی کرد که با توسعه یافتگی و رشد اقتصادی رابطه مستقیم و تنگاتنگی دارند، ولذا تولید سیمان همواره مورد توجه سیاستگزاران صنعتی بوده است. در جدول زیر میزان تولید سیمان در جهان در طی سال‌های مختلف نشان داده شده است.

جدول۱: تولید سیمان در جهان در سالهای مختلف

| سال | تولید(تن) | سال | تولید(تن) |
|---|---|---|---|
| ۱۹۹۴ | ۱۳۷۰۰۰۰۰۰۰ | ۲۰۰۲ | ۱۸۰۰۰۰۰۰۰ |
| ۱۹۹۵ | ۱۴۲۱۰۰۰۰۰۰ | ۲۰۰۳ | ۱۹۵۰۰۰۰۰۰ |
| ۱۹۹۶ | ۱۴۵۸۰۰۰۰۰۰ | ۲۰۰۴ | ۲۱۳۰۰۰۰۰۰ |
| ۱۹۹۷ | ۱۵۱۵۰۰۰۰۰۰ | ۲۰۰۵ | ۲۳۱۰۰۰۰۰۰ |
| ۱۹۹۸ | ۱۵۲۰۰۰۰۰۰۰ | ۲۰۰۶ | ۲۵۵۰۰۰۰۰۰ |
| ۱۹۹۹ | ۱۵۶۰۰۰۰۰۰۰ | ۲۰۰۷ | ۲۷۷۰۰۰۰۰۰ |
| ۲۰۰۰ | ۱۶۰۰۰۰۰۰۰ | ۲۰۰۸ | ۲۸۴۰۰۰۰۰۰ |
| ۲۰۰۱ | ۱۷۰۰۰۰۰۰۰ | ۲۰۰۹ | ۲۸۰۰۰۰۰۰۰ |

منبع: U.S .Geological Survey,MineralCommidity Summarise,January۲۰۱۰

داده ها حاکی از آن است که روند تولید سیمان در جهان در حال افزایش است، اما در سال ۲۰۰۹ تولید کاهش یافته که از عوامل این کاهش می‌توان به تنزّل تولید در بعضی کشورها خصوصاً کشورهای توسعه یافته اشاره کرد. علاوه بر این میزان تولیدات در نقاط مختلف جهان متفاوت است.در برخی نقاط جهان مانند چین به علت قرار گرفتن این کشور در مسیر توسعه، تولید به نحو قابل‌توجهی بالا است و با

تولید ۱۴۰۰۰۰ میلیون تن در سال ۲۰۰۹ حدود نیمی از تولید سیمان جهان را پوشش می‌دهد. ایران نیز رتبه بالایی را بین تولید کنندگان از آن خود کرده است و دهمین کشور تولید کننده سیمان است. در حال حاضر ۵۸ کارخانه سیمان، ۸۳ خط تولید سیمان و ۲۳ پروژه سیمان در کشور موجود می‌باشند و علاوه بر افزایش تعداد واحدهای تولیدی در طی سالهای اخیر و اجرای پروژه‌های سیمان در سراسر کشور، ظرفیت تولیدی واحدهای موجود نیز رو به افزایش است. چرا که با قرار گرفتن در مسیر توسعه، تقاضای سیمان از افزایش قابل ملاحظه‌ای برخوردار است. با افزایش تولید سیمان در ایران مصرف عوامل اولیه آن از جمله انرژی نیز فزونی می‌یابد. این افزایش که در شرایط فعلی، بالطبع موجب افزایش اتلاف انرژی نیز هست، را می‌توان با ارائه راهکاریی در جهت مصرف بهینه انرژی مهار نمود و بهره‌وری صنعت مذکور را به طرز معنی داری فزونی بخشید.

### ٤- مصرف انرژی در صنعت سیمان

۲۲درصد از کل مصرف انرژی ایران در بخش صنعت به وقوع می‌پیوندد که از این مقدار ۲۹درصد فرآورده‌های نفتی، ۶۰درصد گازطبیعی و ۱۱درصد الکتریسیته است. میزان مصرف این حامل‌های انرژی در صنایع، متفاوت می‌باشد. صنعت سیمان با مصرف ۱۵درصد انرژی بخش صنعت، جزء صنایع انرژی بر محسوب می‌گردد.[۱]

در صنعت سیمان ایران از سه حامل انرژی مازوت (نفت کوره)، گازطبیعی و انرژی الکتریکی استفاده می‌شود. به‌طور میانگین حدود ۴۰درصد قیمت تمام شده سیمان در کشور مربوط به هزینه‌های انرژی می‌باشدکه حدود نیمی از آن تلف می‌شود و پتانسیل کاهش یافتن دارد. چراکه کشورهایی که از انرژی بدون یارانه دولتی استفاده می‌کنند به میزان بسیار کمتری از انرژی در تولید سیمان بهره می‌برند و واحدهای تولیدی داخلی نیز باید از اتلاف انرژی در فرایند تولید سیمان جلوگیری کنند تا با توجه به اجرای طرح هدفمندسازی یارانه یارای رقابت با سایر کشورها را داشته باشند، در غیر این صورت از صحنه تولید حذف خواهند شد. صنعت سیمان ایران با ظرفیت تولید سالانه حدود ۶۰ میلیون تن، بیش از ۶/۶۸ میلیارد کیلووات ساعت (معادل ۱۱ میلیون بشکه نفت‌خام) و۶۰ میلیون کیلوکالری (معادل ۶۶ میلیون بشکه نفت‌خام) مصرف انرژی دارد که می‌توان گفت جمعاً معادل ۷۷ میلیون بشکه نفت‌خام به منظور تامین انرژی کارخانجات سیمان صرف می‌شود[۲] که این میزان ٪۳ انرژی مصرفی در کشور می‌باشد.انرژی الکتریکی مورد

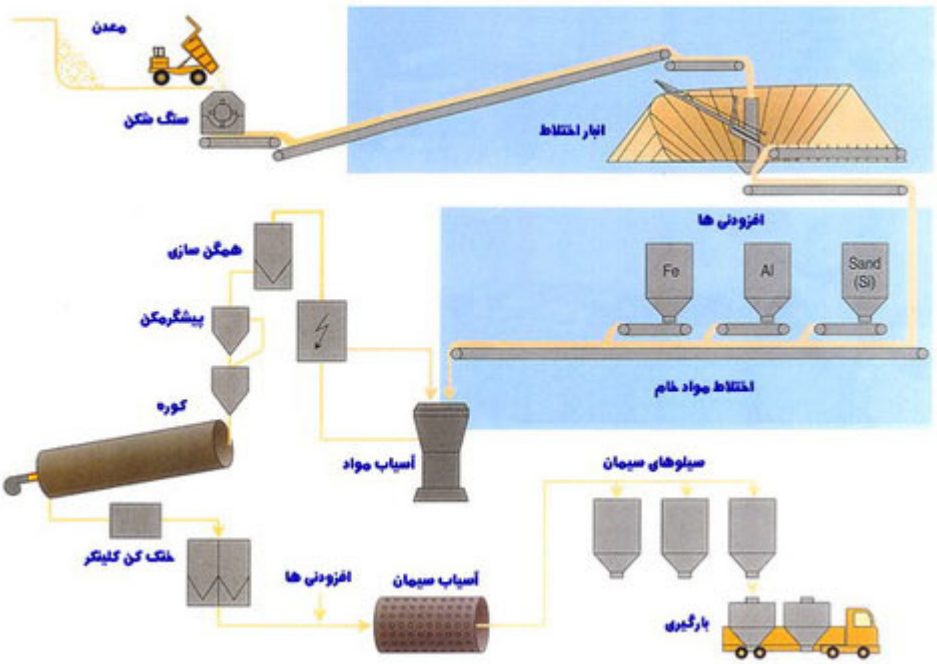
---

[۱]. ستاری،سورنا؛عوامی،اکرمی؛«ارزیابی فرصت های صرفه جویی در مصرف انرژی در صنعت سیمان ایران»،مجله بررسی های اقتصادی،سال سوم،شماره۱۱،زمستان۸۶.

[۲] .افشار باقری،حسین؛پژوهش های انجام شده در مجتمع سیمان تهران

استفاده در این صنعت نیز ۳/۵ الی ۴ درصد کل انرژی الکتریکی کشور را به خود اختصاص داده است. افزون بر این متوسط میزان مصرف انرژی الکتریکی برای تولید هر تن سیمان در جهان معادل ۸۰ کیلووات ساعت است، در ایران متوسط مصرف انرژی الکتریکی معادل ۱۰۵ کیلووات ساعت است. همچنین متوسط مصرف انرژی حرارتی برای تولید یک تن سیمان در جهان معادل ۷۰۶ کیلوکالری است در حالیکه در ایران ۹۰۰کیلوکالری برآورد شده است. طبق نظر کارشناسان متوسط مصرف انرژی در فرایند تولید سیمان در ایران نسبت به متوسط جهانی ٪۲۵ بالاتر است[۱] و لزوم اجرای پروژه های بهینه سازی انرژی در این صنعت را می‌طلبد.

تولید سیمان یک فرایند چند مرحله‌ای است. به طور مختصر فرایند تولید سیمان شامل سه مرحله است: ۱- آماده‌سازی مواد خام، ۲-فرایند پخت و ۳- سایش نهایی. به طور کلی بخش اعظم انرژی الکتریکی در دو مرحله اول و آخر صورت می‌گیرد و مرحله پخت نیز به طور عمده مصرف کننده انرژی حرارتی(فسیلی) است. شکل زیر نمای کلی از تولید سیمان را ارائه می‌دهد.




شکل۲: مراحل تولید سیمان

## ۵- پیشینه تحقیق

[۱] .حسینی،اردشیر؛عرفی،علی؛«بهینه سازی مصرف انرژی و محیط زیست در صنعت سیمان»،مجله فناوری سیمان،سال چهارم،مرداد ماه۸۸،ص۸۴

در خصوص بهینه‌سازی انرژی با توجه به تهی شدن منابع انرژی و همچنین آلودگی روزافزون محیط‌زیست، بررسی‌های فراوانی صورت گرفته است و صنعت سیمان نیز به عنوان یکی از صنایع انرژی‌بر، برخی از مطالعات را به خود اختصاص داده است.

ورل[۱]،گلتیسکی[۲] و پرایس[۳](۲۰۰۸) در گزارشی درآزمایشگاه ملی "لارنس برکلی" وابسته به دانشگاه کلمبیا به پشتیبانی آژانس محافظت محیط‌زیست ایالات‌متحده آمریکا و دپارتمان انرژی آمریکا،صرفاً به معرفی فرصت‌های بهینه‌سازی انرژی در صنعت سیمان پرداخته اند. این گزارش اطلاعاتی درباره صرفه‌جویی انرژی و هزینه‌های ناشی از اجرای آنها را ذکر نموده و در حد مقدور، امکان کاهش انتشار دی‌اکسید کربن که ناشی از پیاده‌سازی برخی از این اقدامات می‌باشد را فراهم می‌کند. اقدامات و فناوری‌های مورد بحث به دو طبقه تقسیم می‌شوند: جدیدترین فناوری‌هایی که به طور متداول در واحدهای تولید سیمان در سراسرجهان استفاده می‌شوند بعلاوه اقدامات پیشرفته‌ای که دارای استفاده محدودی هستند و هنوز وارد بازار تجاری نشدند ولی در حال تجاری شدن هستند. این گزارش اساساً بر اقداماتی بر روی تجهیزات متداول کاربردی، تمرکز دارد، اما بسیاری از این فناوری‌ها برای طرح‌های جدید هم به همان اندازه طرح‌های موجود جذاب هستند. افزون‌بر این،گزارش مذکور به تجزیه و تحلیل فرصت‌های بازدهی انرژی در مراحل مختلف تولید سیمان، انواع مختلف کوره‌های مورد استفاده ،اقدامات گسترده فنی و تغییر در محصول و مواد اولیه که مصرف انرژی را کاهش می‌دهند، می‌پردازد. این گزارش بیش از ۴۰ اقدام مدیریتی و فنی از لحاظ صرفه‌جویی انرژی، کاهش دی‌اکسید کربن، هزینه سرمایه‌گذاری و هزینه‌های عملیاتی و نگهداری در فرایندهای خشک و تر بررسی شده‌اند. هدف این گزارش صرفاً جمع‌بندی اطلاعات و ارائه اقدامات قابل اجرا برای واحدهای تولیدی می‌باشد و اطلاعات مورد نیاز آن به طور عمده از دو کشور چین و آمریکا جمع‌آوری شده‌اند.

جاکات[۴]،تایلر[۵]و وینفیلد[۶](۲۰۰۳)در مقاله خود که برای کمیسیون همکاریهای زیست‌محیطی تدوین کرده‌اند موضوعاتی را درباره مصرف انرژی مورد استفاده در فرایند ساخت سیمان در کشورهای آمریکا، مکزیک و کانادا از سال ۱۹۹۰ و مشخصاً از زمان برقراری موافقت+نامه تجارت آزاد آمریکای شمالی(نفتا) را مورد بحث و بررسی قرار داده‌اند. در مقاله آنها اشاره شده است که در سالهای اخیر، تجارت و سرمایه‌گذاری

---

۲.Ernst Worrel

۳.Christina Galtisky

۴.Lynn Price

۱.Marisa Jacott

۲.Amy Taylor

۳.Mark Winfeild

بین این سه کشور افزایش پیدا کرده و صنعت سیمان به عنوان یکی از بخش‌های مهم اقتصاد، از این قاعده مستثنا نبوده است. با افزایش تولید ناشی از افزایش سرمایه‌گذاری و تجارت تولیدکنندگان سیمان، مقاله درباره مصرف انرژی مورد استفاده در فرایند تولید سیمان نکاتی را ارائه می‌کند. اما بحث اصلی در این مقاله درباره تصمیمات در زمینه مصرف انواع انرژی است. این تصمیمات بر حسب انتشار مواد آلوده کننده اتمسفر، گازهای گلخانه‌ای و مقادیر زیاد زائدات گردو غبار کوره سیمان می‌توانند تاثیرات زیست‌محیطی متفاوتی داشته باشند. همچنین این مقاله به طور خاص بر تولید کلینکر سیمان و سوخت مورد استفاده در آن تمرکز دارد و مواردی همچون استخراج معدن، سیستم حمل‌ونقل و غیره مورد توجه آن نیست. بحث اصلی مقاله مذکور در باب تجارت سیمان در بین سه کشور، مصرف انواع انرژی‌های مورد استفاده در این صنعت و نقش انرژی‌ها در آلودگی محیط‌زیست است.

لیو[۱]، راس[۲] و وانگ[۳] (۱۹۹۵) در مقاله خود به بررسی بازدهی‌های مورد انتظار انرژی در بخش سیمان پرداخته‌اند .آنها طیّ مطالعات خود به نتیجه رسیده‌اند که صنعت سیمان چین در دهه ۱۹۹۰ پتانسیل‌های قابل ملاحظه‌ای برای کاهش مصرف انرژی و افزایش تولید داشته است. آنها جهت کاهش مصرف انرژی و آلودگی، سه سناریو که بر اساس فناوری‌های بکار رفته متفاوت می‌باشد را ارائه کرده‌اند:

۱- سناریو با هزینه بالا، که به کاراندازی کوره با پیش کلساینر می‌باشد.۲- سناریو با هزینه متوسط که در مورد بکارگیری کوره‌های عمودی پیشرفته بحث می‌کند. و ۳- سناریو سوم که هزینه کمی را در پی دارد و کوره‌های عمودی غیر پیشرفته را مورد بررسی قرار میدهد. آنها در مورد هزینه‌ها، شدت انرژی و مفاهیم زیست‌محیطی این سه سناریو بحث کرده اند. در نهایت نتیجه این مقاله به این صورت بوده است که بسیار مشکل است که با روند تقاضای روز افزون برای این کالای ضروری، مشکل پرمصرفی انرژی و آلودگی محیط‌زیست این صنعت برطرف شود. چراکه با وجود تقاضای فزاینده نه تنها واحدهای قدیمی و غیر کارامد حاضر به کناره‌گیری نیستند، بلکه شرکت‌های کوچک، کم ارزش و غیر بهینه به منظور کسب سود پا به عرصه خواهند گذاشت. به همین خاطر می‌توان گفت بزرگترین مشکل سیمان چین کمبود سرمایه به منظور مدرنیزه سازی و نیز فناوری‌های کارآمد می‌باشد. اما با وجود آن دیدگاه ۳ عامل بسیار کم هزینه نقش اساسی را در بهینه‌سازی فرایند ایفا می‌کنند:۱- آموزش فنی پرسنل.۲- ترکیب سه عامل انگیزه‌های مالی، استانداردهای موثر انرژی و قوانین زیست محیطی و۳- تحقیق و توسعه. نکته نهایی مقاله

---

۱. Feng Liu

۲. Marc Ross

۳. Shumao Wang

مذکور به این صورت بیان شده است که مدرنیزه‌سازی واحدهای عظیم صنعت سیمان منفعت قابل ملاحظه‌ای برای جامعه جهانی خواهد داشت.

در ایران نیز در سالهای اخیر مطالعاتی در باب مصارف انرژی در صنعت سیمان صورت گرفته است که شامل مطالعات گروه‌های تحقیقاتی کارخانجات سیمان کشور، مقالات ارائه شده در همایش‌های انرژی، سوخت و برق و... می باشد.

یکی از مهمترین اقدامات به منظور جلوگیری از مصرف بی رویه انرژی در این صنعت ، ثبت استاندارد معیار مصرف انرژی الکتریکی و حرارتی در فرایند تولید سیمان توسط موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران است که در سال ۱۳۸۲ به تصویب وزارت نیرو رسیده است. در این گزارش میزان استاندارد مصرف انرژی حرارتی و الکتریکی در هریک از مراحل تولید به تفکیک روش‌های تولید و میزان پر مصرفی یا کم مصرفی در کارخانجات قدیمی و جدیدالتاسیس به ثبت رسیده است.

| | آماده سازی مواد خام | مرحله پخت | | سایش نهایی |
|---|---|---|---|---|
| فرایند قدیمی | آسیاب گلوله ای | کوره+ پیش گرمکن | خنک کننده ماهواره ای | آسیاب گلوله ای |
| فرایند جدید | آسیاب غلطکی دائم | کوره+ پیش گرمکن+ پیش کلساینر | گریت کولر | آسیاب غلطکی دائم |

## ٦- طرح های مورد نظر این پژوهش

در این پژوهش "مجتمع سیمان تهران" به عنوان مطالعه موردی برگزیده شده است. این مجتمع در برگیرنده ۸ خط تولید در یک محوطه است که امکان مقایسه فناوری‌های بکارگرفته شده در هر خط تولید را ملموس‌تر می‌سازد. در محوطه مجتمع ۵ خط تولید به طور همزمان کار می‌کنند به طوریکه ظرفیت تولید سیمان در هر روز ۱۲۱۰۰ تن است.

طرح اول به تغییر فناوری قدیمی و پر مصرف انرژی به خط تولید مدرن و با بازده بالا اختصاص دارد.در واقع در این طرح پیشنهاد این است که خط تولید شماره ۴ سیمان تهران به عنوان خط تولید متداول، قدیمی به مشخصات خط تولید شماره ۸ به عنوان جدیدترین متد تولید سیمان تبدیل گردد. تغییرات مورد نظر در جدول زیر مشهود است.

جدول ۲: تغییرات مورد نظر در طرح نخست

طرح دوم تحقیق نیز به بررسی یکی از اقدامات نوین در راستای بهینه‌سازی مصرف انرژی با عنوان: "بازیافت حرارتی گازهای خروجی و تولید انرژی الکتریکی[۱]" می‌پردازد. در این فرایند پیشنهاد این است که گازهای گرم خروجی از پیش گرمکن و خنک کننده کلینکر را مورد بازیافت قرار داده و آن را به انرژی الکتریکی تبدیل نمائیم. در حال حاضر راندمان حاصل شده از این روش در کارخانجات سیمان در محدود ۱۵ تا٪۲۵ است که این میزان نسبت انرژی گرمایی کل گاز مصرفی به انرژی الکتریکی بازیافت شده می‌باشد[۲]. یکی از دلایل بازیافت پایین در این سیستم، استفاده از گازهای گرم کوره جهت خشک کردن مواد در آسیاب موادخام و همچنین درجه حرارت نسبتا پایین گازها در این سیستم است. با توجه به راندمان بسیار پایین در این سیستم، طراحی و انتخاب نوع تجهیزات بسیار مهم و اساسی است. با رجوع به لیست کشورهایی که در زمینه نصب و تولید انرژی الکتریکی در صنعت سیمان اقدام کرده‌اند، می‌توان از کشورهای ژاپن،آمریکا، هند،چین و تایلند نام برد که بیشترین تعداد نصب شده، در کشورهای ژاپن و چین و به طور مشخص در شرق آسیا می باشد.[۳]

## ۷- فروض

**۷-۱-** خط تولید شماره ۴ سیمان تهران ظرفیت تولید ۲۱۰۰ تن در روز را داراست و خط تولید شماره ۸ از ظرفیت تولید ۳۴۰۰ تن در روز برخوردار است. لذا با بکارگیری فناوری خط تولید شماره ۸ شامل آسیاب غلطکی، پیش کلساینر و گریت کولر، افزایش ظرفیت روزانه به میزان ۱۳۰۰ تن در روز نیز به عنوان یکی از درآمدهای طرح غیر قابل انکار است.

**۷-۲-** مجتمع سیمان تهران به صورت شبانه روزی ۳۰۰ روز از سال را به فعالیت مشغول است.

**۷-۳-** انرژی مصرفی در فرایند تولید، برق و گاز طبیعی است و قیمت این حامل‌ها در زمان این تحقیق به شرح زیر بوده است:

الف) هر کیلووات ساعت انرژی الکتریکی دریافت شده توسط مجتمع سیمان تهران به طور متوسط ۲۰۰ ریال بوده در صورتیکه قیمت تمام شده هر کیلووات ساعت انرژی الکتریکی بر اساس برآوردهای رسمی ۸۸۲ ریال بوده است.[۴]

---

۱. Waste Heat Recovery Power Generation (WHRPG)

۲. خانی معصوم آباد،احمدرضا؛«بازیافت حرارتی گازهای گرم سیستم پخت خطوط تولید سیمان و تبدیل آن به انرژی الکتریکی»،مجله صنعت سیمان،شماره۱۱۰،بهمن ۸۸.

۳.همان منبع

۴ آمار استعلام شده از پژوهشگاه نیرو

ب) هر متر مکعب گاز طبیعی دریافت شده توسط مجتمع سیمان تهران ۱۸۵ ریال بوده در صورتیکه قیمت صادراتی آن ، هر مترمکعب ۳۵۰۰ ریال در نظر گرفته شده است.[۱]

*در مورد این فرض لازم به توضیح است که برق بواسطه تولید در نیروگاه، قیمت تمام شده‌ای دارد که در واقع قیمت واقعی برق بدون در نظر گرفتن هیچ گونه یارانه است. در حالی‌که گاز طبیعی جزء منابع طبیعی است و قیمت تمام شده‌ای برای آن تعریف نشده است. اما از قیمت منطقه‌ای یا قیمت صادراتی آن به کشور ترکیه می‌توان به قیمت بدون یارانه تعبیر نمود که میانگین آن ۳۵۰۰ ریال فرض شده است.*

*علاوه بر این در کشور برق نیز عمدتا از گازطبیعی به دست می‌آید که در فرایند تبدیلی به جریان الکتریکی تبدیل می‌شود. بنابراین قیمت تمام شده استعلام شده احتمالاً قیمت تمام شده فرایند تبدیل گاز به جریان الکتریکی با در نظر گرفتن قیمت یارانه‌ای گاز طبیعی است که در دسترس شرکت توانیر قرار می گیرد.در این صورت قیمت تمام شده با در نظر گرفتن قیمت صادراتی گاز طبیعی مقدار بالاتری خواهد بود که بر جذابیت طرح ها خواهد افزود.*

**۷-٤-** الف) عمر تجهیزات بکارگرفته شده در طرح نخست بر طبق گارانتی ۲۰ سال است و در طی این زمان از روش خطی مستهلک می+گردد.

ب)سیستم بکارگرفته شده در طرح دوم، ۱۲ سال است و مشابه طرح ۱در طی این زمان از روش خطی ساده مستهلک می‌گردد.

**۷-۵-** نرخ تنزیل مورد استفاده ۱۶٪ معادل نرخ خرید دِین اعلام شده توسط بانک مرکزی در سال ۱۳۸۸ است.

**۷-٦-** براساس توصیه سازمان توسعه صنعتی ملل متّحد (UNIDO[۲],۱۹۸٦) مبنی بر عدم دخالت دادن تورم در ارزیابی مالی طرح ها، تورم در سال‌های بهره‌برداری از طرح، صفر در نظر گرفته شده است . بنابراین محاسبات بدون لحاظ تورم و با در نظر گرفتن نرخ تنزیل حقیقی انجام شده است.

**۷-۷-** برای تحلیل‌های مالی و اقتصادی از معیارهای تنزیلی ارزش فعلی خالص ، نرخ بازده داخلی طرح و دوره بازگشت سرمایه استفاده شده است که با استفاده از نرم افزار کامفار محاسبه می‌گردند.

**۷-۸-** در تحلیل ها ۱ دلار آمریکا معادل ۱۰۰۰۰ ریال در نظر گرفته شده است.

---

[۱] .آمار استعلام شده از کارشناسان وزارت نفت

[۲] .United Nations Industrials Development Organization

## ۸- تحلیل های مالی و اقتصادی طرح های مفروض

### ۸-۱- طرح تبدیل خط تولید شماره ۴ مجتمع سیمان تهران به مشخصات خط تولید شماره ۸

این طرح که به عنوان یکی از راهکارهای بهینهسازی مصرف انرژی تایید شده است ، بکارگیری فناوری جدید و پیشرفته در عین صرفهجویی در مصرف انرژی است که تجهیزات فرسوده و پر مصرف را از خط تولید خارج می‌کند. به طور متداول آسیاب‌های گلوله‌ای در پودر کردن مواد خام وسیمان در کارخانجات کشور مورد استفاده قرار می‌گیرند، در صورتی استفاده از آسیاب غلطکی عمودی بعنوان یک جایگزین ، با اهداف افزایش ظرفیت و کاهش مصرف انرژی یک فرصت جذاب به شمار می‌رود که در فصل سوم به تفصیل توضیح داده شده است.همچنین خط تولید ۴ شامل کوره با پیش گرمکن است که از خنک کننده موسوم به ماهواره‌ای جهت خنک کردن کلینکر استفاده می‌کند. در صورتی‌که نصب یک پیش کلساینر و تعویض خنک‌کن ماهواره‌ای با گریت کولر، ضمن افزایش ظرفیت و بازدهی، موجب بهینه‌سازی مصرف انرژی نیز خواهد شد. افزون بر این نصب گریت کولر جهت اجرای طرح دوم و اقدامات نوین دیگر در امر بهینه‌سازی مصرف انرژی در این صنعت ضروری به نظر می‌رسد.

مدت زمان اجرای طرح(دوران ساخت و ساز) که شامل نصب دستگاه‌ها، تجهیزات خدماتی و جانبی مربوطه می باشد ۱۶ ماه است.

**الف) هزینه ها**- هزینه‌های اجرای این طرح با توجه به استعلام گرفته شده از شرکت سرمایه‌گذاری و توسعه صنایع سیمان و با توجه به فروض در نظر گرفته شده به شرح زیر است:

جدول ۳: هزینه های اجرای طرح نخست

| نوع هزینه | جزئیات | جمع هزینه(میلیون ریال) |
|---|---|---|
| عمرانی | - | ۱۶۵۰۰۰ |
| ماشین آلات و تجهیزات | آسیاب غلطکی(۲عدد-قسمت مواد خام و آسیاب) | ۱۰۰۰۰۰ |
| ماشین آلات و تجهیزات | پیش کلساینر | ۳۵۰۰۰ |
| ماشین آلات و تجهیزات | گریت کولر | ۴۵۰۰۰ |
| تجهیزات خدماتی و جانبی | - | ۱۲۵۰۰۰ |
| هزینه تعمیر و نگهداری | مخصوص پیش کلساینر بوده و به صورت سالانه است. | ۳۰۶۰ |
| هزینه های احتمالی | ۵٪ سرمایه گذاری | ۲۳۵۰۰ |
| هزینه فرصت تعطیلی کارخانه | هزینه توقف خط تولید به مدت ۱۶ ماه | ۳۹۳۷۵۰ |
| جمع هزینه ثابت | - | ۸۸۷۲۵۰ |
| جمع هزینه جاری | - | ۳۰۶۰ |

منبع: برآوردهای محقّق براساس داده های شرکت سرمایه گذاری و توسعه صنایع سیمان

ب) **درآمدها-** در سناریوهای مختلف هر طرح مقادیر متفاوتی از درآمدها را به خود اختصاص می‌دهد و در واقع همین موضوع موجب تفاوت سناریوها از یکدیگر خواهد شد. لذا تفاوت قیمت منابع انرژی و درآمدهای طرح در سناریوها، ثبت یک جدول ثابت نظیر هزینه‌های طرح را غیرممکن می‌سازد؛ بنابراین درآمدهای هر سناریو در جدول نتایج مالی آن ذکر شده است.

- سناریو اول: با در نظر گرفتن قیمت های یارانه‌ای گذشته و منافع حاصل از افزایش ظرفیت

در این سناریو قیمت حامل‌های انرژی به صورت یارانه‌ای یا قیمت‌های دریافتی توسط واحد صنعتی فرض می‌شود، همچنین منافع حاصل از افزایش ظرفیت نیز به عنوان یک درآمد قابل‌توجه در این سناریو در نظر گرفته می‌شود. با توجه به در نظر گرفتن قیمت‌های یارانه‌ای انرژی و منافع ناشی از ۱۳۰۰ تن افزایش ظرفیت در روز، این سناریو را می‌توان ارزیابی این طرح را از دید مجتمع سیمان تهران و در سطح خرد انگاشت. زیرا در صورت تداوم پرداخت یارانه‌ها منافع حاصل از صرفه‌جویی انرژی در قیمت‌های یارانه‌ای نصیب مجتمع می‌شد و این بدین معنی که دولت در این پروژه دخالتی نداشت که منافع حاصل از صرفه‌جویی انرژی را با قیمت تمام شده و صادراتی به شرکت بازگرداند. در حالیکه دولت معادل تفاوت قیمت‌های تمام شده و صادارتی با قیمت‌های یارانه‌ای انرژی منتفع میشد، اما این درآمد در این سناریو وارد نشده است. همچنین درآمد ناشی از افزایش ظرفیت که به حساب شرکت منظور می‌شود، در سطح خرد معنی دار است که در این سناریو بررسی می‌گردد و از اثرات کلان آن می‌توان به افزایش مالیات در ازای افزایش درآمد شرکت اشاره داشت. نتایج مالی اجرای این پروژه در جدول زیر آمده است .

جدول ۴:نتایج مالی اجرای سناریو اول در طرح نخست

| | |
|---|---|
| میزان صرفه جویی حرارتی سالانه( میلیون ریال) | ۳۷۱۷.۸۸۶ |
| میزان صرفه جویی الکتریکی سالانه(میلیون ریال) | ۴۴۹۴.۱۲ |
| میزان افزایش ظرفیت سالانه(میلیون ریال) | ۱۹۵۰۰۰ |
| نرخ بازدهی داخلی طرح(درصد) | ۲۱. ۸۴ |
| ارزش فعلی خالص (میلیون ریال) | ۲۴۹۵۶۰.۹۸ |
| دوره بازگشت سرمایه عادی(سال) | ۵ |
| دوره بازگشت سرمایه پویا(سال) | ۹ |

منبع: محاسبات پژوهش

مقادیر شاخص ها نشان می دهد طرح مزبور با مقادیر رضایت بخشی توجیه پذیر شده است. می‌توان گفت افزایش ظرفیت ایجاد شده در اجرای این طرح نقش موثری در توجیه‌پذیری آن دارد. ارزش فعلی

خالص ۲۴۹ میلیارد ریالی همراه نرخ بازدهی داخلی ۲۱.۸۴ درصدی منجر به بازگشت کل سرمایه‌گذاری انجام شده در ۶ سال می‌گردد. در صورتیکه بازگشت سرمایه با در نظر گرفتن نرخ تنزیل مد نظر باشد طول بازگشت سرمایه به ۹ سال افزایش می‌یابد. در واقع اگر واحد صنعتی (حتی در شرایط تداوم یارانه‌ها) خود اقدام به اجرای این طرح نماید نیز طرح جذابی پیش رو خواهد بود و سرمایه‌گذاری انجام شده از محل صرفه‌جویی‌های انرژی و افزایش ظرفیت خط تولید بازگشت می‌شود.

بنابراین پر واضح است که اگر این طرح با مقادیر قیمت تمام شده برق و قیمت صادراتی گاز طبیعی (غیر یارانه‌ای) نیز محاسبه شود، شاخص‌ها در سطح بالایی برآورد می‌شوند و طرح، جهت اجرایی شدن از نظر اقتصادی جذاب است.

- **سناریو دوم: با لحاظ قیمت تمام‌شده برق و قیمت صادراتی گاز و بدون لحاظ منافع حاصل از افزایش ظرفیت**

این سناریو در واقع یک سناریو مجازی است چراکه اجرای طرح نخست منافعی حاصل از افزایش ظرفیت ایجاد می‌کند که در سطح خرد و کلان بر جذابیت طرح می‌افزاید. اما ممکن است گاهی اوقات شرایط اقتصادی به گونه‌ای باشد که اضافه عرضه در صنعت سیمان وجود داشته باشد، در این صورت افزایش ظرفیت واحد صنعتی منجر به منفعت نخواهد شد. این فرض کمی غیر عقلایی به نظر می‌رسد، زیرا صنعت سیمان یکی از پر کاربردترین صنایع در توسعه اقتصادی کشور محسوب می‌شود و تولید بیشتر آن از اهداف هر کارخانه تولیدی می‌باشد اما درهرحال چون هدف اصلی این مطالعه صرفه‌جوئی انرژی بوده است این سناریو نیز مورد بررسی قرار گرفته است. در این سناریو قیمت‌های تمام شده برق و صادراتی گاز طبیعی در نظر گرفته شده است. چرا که با حذف منافع حاصل از افزایش ظرفیت، بخش درآمدها تا حد زیادی کاهش می یابد ، لذا لازم است منافع بخش انرژی را تا آخرین حد افزایش دهیم. نتایج مالی سناریو در جدول زیر مشهود است:

جدول ۵: نتایج مالی اجرای سناریو چهارم در طرح نخست

| | |
|---|---|
| میزان صرفه جویی حرارتی سالانه( میلیون ریال) | ۷۰۳۳۸.۳۸ |
| میزان صرفه جویی الکتریکی سالانه(میلیون ریال) | ۱۹۸۱۹.۰۶۹ |
| نرخ بازدهی داخلی طرح(درصد) | ۸.۵۴ |
| ارزش فعلی خالص (میلیون ریال) | -۳۰۰۶۶۸.۷۵ |
| دوره بازگشت سرمایه عادی(سال) | ۱۱ |
| دوره بازگشت سرمایه پویا(سال) | ۲۰< |

| | |
|---|---|
| کمینه بهای هر متر مکعب گاز طبیعی(ریال) | ۵۹۱۵ |
| کمینه بهای هر کیلووات ساعت برق(ریال) | ۱۴۹۰.۵۸ |

منبع: محاسبات پژوهش

نتایج ارزیابی سناریو دوم نشان می‌هد که در واقع بخش اعظم سود حاصله در این طرح ناشی از افزایش ظرفیت تولید می‌باشد که با فرض عدم وجود آن ، توجیه‌پذیری اقتصادی طرح را منتفی ساخته و منجر به نرخ بازدهی داخلی ۸.۵۴ درصد شده که کمتر از نرخ تنزیل ۱۶درصدی است. نرخ ارزش داخلی نیز منفی و معادل ۳۰۰ میلیون ریال محاسبه شده است. از آنجا که طرح توجیه اقتصادی ندارد تحلیل حساسیت ارزش فعلی خالص نسبت به بهای انرژی انجام شده است، به این معنی که بهای انرژی نسبت به مقدار فرض شده خود چه مقدار افزایش یابد تا ارزش فعلی خالص طرح را مثبت سازد. حداقل بهای هر کیلووات ساعت برق و هر مترمکعب گاز گویای کمترین مقداری است که میتواند ارزش فعلی خالص طرح را مثبت سازد و توجیه پذیری آن را جهت اجرا تایید کند. تحلیل حساسیت قیمت انرژی مصرفی نتیجه داده است که در صورتی که قیمت منطقه‌ای گاز طبیعی و بهای تمام شده برق ۶۹ درصد افزایش یابد و به میزان ۵۹۱.۵ ریال بابت هر مترمکعب گاز و ۱۴۹۰.۵۸ریال بابت هر کیلووات ساعت برق افزایش یابد این طرح با فروض ذکر شده توجیه پذیر است.

### ۲-۸- طرح دوم "بازیافت حرارتی گازهای خروجی و تولید انرژی الکتریکی"

در این طرح مشخصات خط تولید شماره ۸ سیمان یا در واقع خط تولیدی هدف در طرح نخست به عنوان پیش فرض پروژه در نظر گرفته شده است. به دیگر سخن این سیستم قابلیت نصب و بهره‌برداری را در خط تولیدی با مشخصات خط تولید شماره ۸ دارد. همچنین می‌توان فرض کرد که پس از تعویض تجهیزات در خط تولید شماره ۴ و تبدیل آن به یک خط مجهز با مشخصات ذکر شده، طرح دوم را در همان خط تولید اجرا کنیم. در این طرح مبنا بر این است که بتوان از گازهای اتلافی خروجی از پیش گرمکن و گریت کولر، بهره‌برداری کرده و حدود ۳۰ الی ۳۵ درصد از انرژی الکتریکی خط تولید را تامین نمود. به جزئیات طرح و شیوه راه اندازی و بهره‌برداری آن به تفصیل پرداخته شده است که در این مقاله از ذکر آن صرفنظر شده است. ضمنا مدت راه اندازی این سیستم ۱۲ ماه در نظر گرفته شده است.

**الف) هزینه ها- این طرح مانند طرح نخست هزینه‌های عمرانی،تجهیزات و ماشین‌آلات و ...دارد که هزینه‌های ثابت طرح را شامل می‌شوند.علاوه براین هزینه‌های جاری نیز در این طرح وجود خواهد داشت. چرا که هدف راه اندازی یک سیستم جدید در خط تولید است که هزینه هایی**

**نظیر پرسنل،تعمیر و...بر واحد صنعتی تحمیل می‌کند.جدول زیر جزئیات هزینه‌ها را کـه از شـرکت سرمایه‌گذاری و توسعه صنایع سیمان استعلام شده است نشان میدهد.**

جدول۶ : هزینه های اجرای طرح دوم

| نوع هزینه | جزئیات | جمع هزینه(میلیون ریال) |
|---|---|---|
| عمرانی | - | ۱۲۰۰۰ |
| ماشین آلات و تجهیزات | بویلرها و توربین ژنراتور | ۳۲۰۰۰ |
| ماشین آلات و تجهیزات | سیستم تصفیه آب | ۱۷۰۰ |
| ماشین آلات و تجهیزات | کندانسور هوایی | ۸۹۰۰ |
| ماشین آلات و تجهیزات | تجهیزات برقی | ۲۳۰۰ |
| ماشین آلات و تجهیزات | اتوماسیون DCS | ۲۱۰۰ |
| تجهیزات خدماتی و جانبی | شامل مصالح،تهویه،حمل،سایر تجهیزات وتاسیسات است. | ۴۳۵۰۰ |
| هزینه های احتمالی | - | ۵۸۳۰ |
| هزینه تعمیر و نگهداری | هزینه جاری | ۲۸۶ |
| هزینه نیروی انسانی | ۱۵ کارگر در سه شیفت با حقوق۳۰۰۰۰۰۰ریال در ماه | ۵۴۰ |
| هزینه خرید قطعات یدکی | هزینه جاری | ۱۶۱ |
| جمع هزینه ثابت | - | ۱۰۸۳۳۰ |
| جمع هزینه جاری | - | ۹۸۷ |

منبع:برآوردهای محقّق براساس داده های شرکت سرمایه گذاری و توسعه صنایع سیمان

**ب) درآمدها-** طرح دوم نیز مانند طرح نخست بر حسب بهای انرژی صاحب انگیزه‌های متفاوتی دارد که در سناریوهای مختلف روشن می‌شود. بنابراین جدول نتایج مالی هر سناریو ارائه دهنده میزان درآمدهای طرح نیز هست.

- سناریو اول: با در نظرگرفتن تداوم قیمت‌های یارانه‌ای برق

در این سناریو قیمت‌های انرژی، همان قیمت‌های یارانه‌ای در نظر گرفته شده‌اند و درآمد حاصل شده از این پروژه با قیمت‌های یارانه‌ای محاسبه می‌شود. در واقع می‌توان فرض کرد مجتمع سیمان تهران،خود اقدام به اجرای این پروژه می‌نماید و از دولت و سایر سازمان‌ها کمکی دریافت نمی‌کند؛ لذا درآمد کاهش مصرف برق با قیمت‌های یارانه‌ای به شرکت باز می‌گردد.

جدول۷ : نتایج مالی اجرای سناریو اول در طرح دوم

| | |
|---|---|
| میزان صرفه جویی الکتریکی سالانه(میلیون ریال) | ۷۲۰۰ |
| نرخ بازدهی داخلی طرح(درصد) | -۵.۳۳ |
| ارزش فعلی خالص (میلیون ریال) | -۶۵۵۵۶.۹۶ |
| دوره بازگشت سرمایه عادی(سال) | ۱۲< |
| دوره بازگشت سرمایه پویا(سال) | ۱۲< |
| کمینه بهای هر کیلووات ساعت برق(ریال) | ۶۰۰ |

منبع: محاسبات پژوهش

در این سناریو که طرح بر پایه بهای برق یارانه‌ای ارزیابی شده است ، نتایج ارزیابی حاکی از عدم توجیه اقتصادی در این قیمت‌ها می باشد. نرخ بازدهی داخلی و ارزش فعلی خالص طرح که هر دو منفی و معادل ۵.۳۳- درصد و ۶۵- میلیون ریال بدست آمده اند دوره بازگشت سرمایه را بیش از زمان بهره‌برداری از این سیستم برآورد کرده است. لذا تحلیل حساسیت ارزش فعلی خالص نسبت به بهای انرژی الکتریکی جهت دستیابی به توجیه‌پذیری طرح انجام و نشان داده است، افزایش بهای برق به میزان ۳ برابر موثر است. لذا افزایش قیمت برق به ۶۰۰ریال موجب مثبت شدن ارزش فعلی خالص و تاییدی بر اجرای طرح است.

- سناریو دوم: با در نظرگرفتن قیمت تمام شده برق

در این سناریو قیمت‌های تمام شده برق در نظر گرفته شده است. می‌توان فرض کرد که در صورت تداوم پرداخت یارانه‌ها دولت در اجرای این پروژه دست دارد و منافع حاصل از صرفه‌جویی انرژی را با قیمت تمام شده به شرکت بازمی‌گرداند. چه آنکه در اجرای این پروژه، دولت معادل قیمت تمام شده برق عایدی دارد.

جدول۸ : نتایج مالی اجرای سناریو سوم در طرح دوم

| | |
|---|---|
| میزان صرفه جویی الکتریکی سالانه(میلیون ریال) | ۳۱۷۵۲ |
| نرخ بازدهی داخلی طرح(درصد) | ۲۵.۷۵ |
| ارزش فعلی خالص (میلیون ریال) | ۴۴۴۴۲.۴۹ |
| دوره بازگشت سرمایه عادی(سال) | ۴ |
| دوره بازگشت سرمایه پویا(سال) | ۶ |
| کمینه بهای هر کیلووات ساعت برق(ریال) | ۶۰۰ |

با توجه به اینکه در سناریو پیشین ، کمینه بهای برق جهت تایید شدن طرح از لحاظ اقتصادی معادل ۶۰۰ ریال بود، روشن است که در قیمت تمام شده برق معادل ۸۸۲ ریال طرح مذکور برآوردهای رضایت بخشی خواهد داشت. نتایج طرح در این حالت ضمن توجیه‌پذیری، به علت مقادیر بالای شاخص‌ها، طرح حاضر را طرحی جذاب جهت اجرا نشان میدهد. نرخ بازدهی داخلی ۲۵.۷۵ درصدی به همراه ارزش فعلی خالص ۴۴ میلیون ریالی بازگشت سرمایه را در حالت عادی ۴ سال و با در نظر گرفتن نرخ تنزیل ۶ سال برآورد کرده است. بنابراین با حذف یارانه‌ها خود اجرای این طرح برای خود بنگاه و بدون کمک دولت نیز توجیه اقتصادی دارد.

## ۹- نتیجه گیری و پیشنهاد

آنچه در این تحقیق گذشت گذری بود بر صنعت سیمان و ارائه طرح‌هایی در جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی و ارزیابی مالی و اقتصادی طرح‌ها که بصورت مشروح ذکر شد. در ادامه ضمن نتیجه‌گیری کلی از انجام تحقیق، پیشنهاداتی جهت بهبود مسیر مطرح می‌شود.

بحث اصلی در این مقاله بر بهینه‌سازی مصرف انرژی متمرکز بود. لذا یکی از صنایع پرمصرف انرژی و همچنین کاربردی در عرصه توسعه کشور به عنوان مورد مطالعاتی انتخاب شد. در صنعت سیمان دو پروژه اجرایی جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی ارائه شد و در ادامه با ارزیابی مالی و اقتصادی آنها نتایجی حاصل شد که به آن می‌پردازیم. در طرح نخست که همان بکارگیری فرایند تولید مدرن است علاوه بر کاهش مصرف انرژی، افرایش ظرفیت خط تولید نیز حاصل می‌شود که از منافع طرح به شمار می‌رود. در طرح نخست هر دو درآمد شامل درآمد حاصل از کاهش مصرف انرژی و همچنین درآمد حاصل از افزایش ظرفیت خط تولید را در نظر گرفتیم و طرح را با قیمت‌های یارانه‌ای قبلی انرژی ارزیابی نمودیم. شاخص‌های برآورد شده نشان داد حتی با قیمت‌های یارانه‌ای نوید نتایج رضایت بخشی را داد. بنابراین در قیمت‌های تمام شده برق و صادراتی گازطبیعی، طرح به طریق اولی جذاب‌تری را پیش رو خواهیم داشت. لذا لازم است به صنایع سیمان تکلیف گردد در زمینه تجدید تجهیزات خود در فرایند تولید سیمان اقدامات جدی‌تری مبذول دارند. چرا که علاوه بر مدرنیزه سازی خطوط تولید می‌توانند درآمد بیشتری نیز کسب کنند. اما سناریو دومی نیز مطرح شده است و بیان می‌دارد که در صورتی‌که به هر دلیلی درآمدی از افزایش ظرفیت نصیب کارخانه نشود ، تکلیف چیست؟ و آیا نتایج طرح همچنان در ایجاد انگیزه تولیدکنندگان برای مدرنیزه‌سازی خطوط تولید موثر است؟ در جواب باید گفت نتایج سناریو دوم نشان میدهد عامل موثر در افزایش نرخ بازده داخلی و ارزش فعلی خالص طرح همان درآمد ناشی از افزایش ظرفیت است و اگر به دلایلی این درآمد حاصل نگردد، طرح حتی در قیمت تمام شده برق و صادراتی گازطبیعی توجیه اقتصادی ندارد و نمی تواند اجرا

شود. اما تحلیلی انجام شده است  نشان دهد که اگر با فرض مذکور، قیمت‌های تمام شده برق و صادراتی گاز طبیعی تا چه میزان افزایش یابد تا طرح را توجیه پذیر سازد. نتایج تحلیل حساسیت، افزایش ۶۹٪ قیمت‌های برق و گاز را  برای توجیه‌پذیری این طرح موثر می‌داند.

طرح دوم تحقیق با منبع انرژی الکتریکی سروکار دارد و با بکارگیری سیستمی نوین بر آن است تا گرمای اتلافی در مسیر تولید سیمان را بازیافت نموده و توسط توربین و ژنراتور آن را به برق تبدیل سازد. طرح مورد نظر از نظر فنی امتحان خود را پس داده و در بسیاری کشورها در حال حاضر کار می‌کند. لذا ارزیابی اقتصادی این طرح با توجه به شرایط کشور ، توجیه اجرایی شدن آن را در ایران نیز نمایان می‌سازد. به این منظور دو سناریو مطرح شد که در سناریو اول با وجود قیمت‌های یارانه‌ای، ارزیابی صورت گرفت. شاخص‌ها نشان می‌دهد در قیمت‌های یارانه‌ای تولیدکنندگان انگیزه‌ای جهت بکارگیری سیستم نداشتند. چراکه دوره بازگشت سرمایه بسیار طولانی می‌بود و نرخ بازده داخلی حتی به پایین‌تر از صفر رسید. لذا تحلیل حساسیتی انجام شد تا  نشان دهد حداقل بهای برق چه مقدار باشد، تا باعث مثبت شدن ارزش فعلی خالص طرح شود؟  نتیجه این بود که افزایش ۳ برابری قیمت برق نسبت به میزان یارانه‌ای آن این طرح ررا اقتصادی می‌نمود. روشن است این قیمت از قیمت تمام شده برق کمتر است و لذا با اجرای قانون هدفمندسازی یارانه‌ها و افزایش قیمت برق، طرح مورد نظر توجیه اقتصادی خواهد داشت، کما اینکه در سناریو دوم می‌بینیم که در قیمت تمام شده برق، ارزیابی‌ها نتایج رضایت بخشی را نشان می‌دهد. لذا این طرح نیز فرصت خوبی در صنعت تولید سیمان به شمار می‌رود و می‌تواند تا حد زیادی کاهش مصرف انرژی و افزایش بازده آن را به دنبال داشته باشد.

زیر بنا و اساس هر دو طرح مذکور بهینه‌سازی مصرف انرژی و افزایش کارایی است. همچنین این بررسی نشان میدهد که طرح‌های زیادی در کشور به منظور بهینه‌سازی مصرف انرژی قابل اجراست که از نظر اقتصاد ملی و باتوجه به قیمت‌های واقعی انرژی از توجیه اقتصادی خوبی برخوردار است اما با وجود قیمت‌های یارانه‌ای انرژی در بنگاه‌هائی که انرژی را ارزان تامین می‌کردند انگیزه‌ای برای تغییر فرایندها و فناوری‌ها وجود نداشته‌است و  در صورت تداوم آن چه بسا بر تعداد فناوریهای قدیمی و پرمصرف افزوده می‌گردد ، چرا که به هرحال سرمایه‌گذاری اولیه آنها کمتر است. لذا تمهیدات اساسی در این زمینه لازم است. اما افزایش قیمت‌های انرژی به تنهایی نمی‌تواند راهکار موثری باشد. چرا ممکن است باعث شود تولید کنندگان این فشار قیمتی را به مصرف کننده تحمیل نمایند و درصورت موفق نشدن در این امر، با افزایش قیمت تمام شده محصول انگیزه جهت تولید کاهش یابد و منجر به خروج تولیدکنندگان و بعضاً ورشکستگی آنان گردد. بنابراین در کنار افزایش قیمت‌های انرژی ، حمایت موثر دولت از پروژه‌های بهینه‌سازی انرژی و

سیاست‌های مکمل دیگر می‌تواند نتایج مثبتی را از هدمفمندسازی یارانه‌ها به بار آورد و بر خلاف تصور عمومی، نتایج رضایت بخشی از شاخص‌های اقتصادی ایجاد نماید.

## مراجع


[۱]اندیشگاه تحلیلگران انرژی فناور، «ارزیابی وضعیت موجود مدیریت انرژی در کشور»، پاییز۱۳۸۷

[۲]موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، «استاندارد معیار مصرف انرژی در صنعت سیمان»، ،مصوّب در اسفند ۱۳۸۲ و شهریور ۱۳۸۳ به ترتیب دروزارت نیرو و نفت

[۳]افشارباقری،حسین؛طاهره رحیمی؛آرمان کاظمی؛«بازیافت حرارتی گازهای خروجی کوره سیمان و تولید انرژی الکتریکی »،مجتمع سیمان تهران،ارائه شده در همایش ملی جایگاه مصرف انرژی در صنعت سیمان ،تیر۱۳۸۶

[٤] حسینی،اردشیر؛علی عرفی؛«بهینه سازی مصرف انرژی و محیط زیست در صنعت سیمان»،مجله فناوری سیمان،سال چهارم،مرداد ماه۸۸،ص۸۴

[٥]خانی معصوم آباد،احمدرضا؛«بازیافت حرارتی گازهای گرم سیستم پخت خطوط تولید سیمان و تبدیل آن به انرژی الکتریکی»،مجله صنعت سیمان،شماره۱۱۰،بهمن ۱۳۸۸

[٦]روبرت، ساگدن؛«مبانی نظری تحلیل هزینه فایده عملی»،انتشارات دانشگاه تهران،۱۳۷۲

[۷]ستاری،سورنا؛اکرم عوامی؛«ارزیابی فرصت های صرفه جویی در مصرف انرژی در صنعت سیمان»مجله بررسی های اقتصادی،سال سوم،شماره۱۱،زمستان۱۳۸۶

[۸]صمیمی،سیاوش؛«بررسی اقتصادی امکان نوسازی صنعت مرغداری در کشور با محوریت بهینه سازی مصرف سوخت»،پایان نامه کارشناسی ارشد،دانشگاه تهران،۱۳۸۸

[۹]قاسمی نژاد،نجمه؛«روش های کاهش مصرف انرژی در کارخانجات سیمان»،امور مهندسی کارخانه سیمان کنگان،بهمن۱۳۸۸

[۱۰] پایگاه اینترنتی سیمان ایرانwww.irancement.com

[۱۱] پایگاه اینترنتی سازمان بهره وری انرژی ایرانwww.saba.org.ir

[۱۲] پایگاه اینترنتی سازمان بهینه یابی مصرف سوختwww.ifco.ir

[۱۳] Choate William T.,"Energy and Emission Reduction Opportunities for the Cement Industry",US Department of Energy,Dec ۲۰۰۳

[۱٤] Deolalkar .S.P. "Handbook for Designing Cement Plants",۲۰۰۹

[۱٥] "Energy Eficiency Planning and Management Guide",Canadian Industry Program for Energy Conservation,۲۰۰۲

[۱٦] "Energy Statistics Manual",International Energy Agency,۲۰۰٥

[١٧] Elliott R.Neal,"Energy Investment Decisions in the Industrial Sector",Energy Information Administrations,Des ٢٠٠٧

[١٨] "Financing of Energy Efficiency Improvement for Cement Industry in China",Global Environment Institute(GEI),Jan٢٠٠٥

[١٩] "Key Word Energy Statistics",Internation Energy Agency,٢٠٠٩

[٢٠] Khurana Shaleen,Rangan Banerjee,Uday Gaitonde,"Energy Balance and Cogeneration for a Cement Plant",Indian Institute of Technology ,Nov ٢٠٠١

[٢١] Liu Feng,Marc Ross,Shumao Wang,"Energy Efficiency of China`s Cement Industry",Lawrence Berkeley Laboratory,Jan١٩٩٥

[٢٢] Seboka Yisehak,Mulugeta Adamu Getahun,Yared Haile-meskel,"Biomass Energy for Cement Production:opportunities in Ethiopia",United Nation Development Programme,٢٠٠٩

[٢٣] Stermole, F. J;"Economic Evaluation and Investment Decision Methods", ١٠th Edition, Investment Evaluations Corp, ٢٠٠١

[٢٤] Worrell Ernst,Christina Galitsky, "Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Cement Making",March٢٠٠٨

[٢٥] Worrel Ernst,ChristinaGalitsky and Lynn Price,"Energy Efficiency Improvement Opportunities for Cement Industry",Environmental Energy Technologies Division Lawrence Berkeley National Laboratory,Jan ٢٠٠٨

[٢٦] Wulfinghff Donald R. ,"Energy Efficiency Manual"

[٢٧] www.IEA.com

[٢٨] Minerals.usgs.gov