

## برنامه‌ریزی یک پارچه راهکارهای صرفه‌جویی مصرف انرژی در

### بخش صنعت کشور

سید محمد صادق زاده

استادیار دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شاهد sadghzadeh@shahed.ac.ir

تاریخ دریافت: ۸۷/۴/۲۹ تاریخ پذیرش: ۸۷/۱۰/۱۴

### چکیده

مطالعه حاضر به مدل‌سازی و بهینه‌یابی مصرف انرژی بخش صنعت کشور به‌صورت یک شبکه یک‌پارچه جریان انرژی (و با کمک مدل بهینه‌سازی جریان انرژی)، می‌پردازد. تعیین اولویت اجرای راهکارهای مدیریت انرژی در بخش صنعت و اثر بخشی آن‌ها مهم‌ترین دستاورد این مطالعه است. براساس نتایج حاصل و با فرض قیمت‌های یارانه‌ای سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۶، فروش انرژی در کشور، پتانسیل‌های اقتصادی صرفه‌جویی انرژی موتورهای الکتریکی، ۸/۵ درصد، کمپرسورهای هوای فشرده، ۳۰ درصد و بویلرهای تأمین بخار ۱۰ درصد است. استفاده از چیلرهای جذبی، به‌جای انواع تراکمی برای تأمین سرمایش، توصیه شده است. به‌دلیل پایین بودن ضریب کارایی سیستم‌های جذبی، مصرف انرژی به شکل گاز طبیعی نسبت به مصرف انرژی به‌صورت برق، در سیستم تراکمی افزایش می‌یابد، اما با در نظر گرفتن بازده توزیع، انتقال و تولید برق، بیش از این میزان در مصرف سوخت نیروگاه‌ها کاهش مصرف انجام می‌گیرد. به‌کارگیری سیستم‌های جذبی به‌خصوص با استفاده از حرارت ارزان قیمت بازیافتی از نیروگاه‌ها، توصیه می‌شود. با اجرای راه‌کارهای صرفه‌جویی انرژی، بهره‌برداری مناسب از فواید و تجهیزات صنعتی و جایگزینی بهینه بین حاملی می‌توان به میزان ۲۲۵ میلیارد کیلووات ساعت برق، ۵۵/۳ میلیون تن معادل نفت خام گازوئیل و ۱۹/۶ میلیون تن معادل نفت خام مازوت طی افق زمانی ۲۰ ساله از مصرف انرژی کاست، اما بر مصرف گاز طبیعی به میزان ۵۰ میلیارد متر مکعب افزوده خواهد شد. با احتساب قیمت‌های یارانه‌ای فروش انرژی، برنامه پیشنهادی موجب صرفه‌جویی اقتصادی به میزان ۵۴/۴ هزار میلیارد ریال در سال می‌شود. این در حالی است که هزینه اجرای اقدامات پیشنهادی در برنامه، محدود به ۱۴/۴۵ هزار میلیارد ریال در سال است، که نشان دهنده نسبت سود به هزینه ۳/۷ است. به‌طور حتم با احتساب هزینه‌های تمام شده عرضه انرژی و قیمت‌های غیر یارانه‌ای انرژی، بر بزرگی این شاخص به میزان قابل توجهی افزوده خواهد شد.

طبقه‌بندی M11, Q40, C61: JEL

**کلید واژه:** بهینه‌سازی انرژی، برنامه‌ریزی یک‌پارچه، بخش صنعت، موتور الکتریکی، هوای

فشرده، سرمایش، یخ‌ر و حرارت

## ۱- مقدمه

بخش صنعت با مصرف ۱۵۶/۱ میلیون بشکه معادل نفت خام، ۲۱/۵ درصد از مصارف نهایی انرژی در کشور را به خود اختصاص داده است. از مجموع انرژی مصرفی این بخش، ۱۵/۲۸ درصد متعلق به برق، ۴۷/۴۳ درصد متعلق به گاز طبیعی و ۳۷/۲۹ درصد مربوط به فرآورده‌های نفتی است.<sup>۱</sup> بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که شاخص مصرف ویژه انرژی<sup>۲</sup> در غالب صنایع کشور بین ۳۰ تا ۶۰ درصد بیش‌تر از مقادیر متوسط جهانی است.<sup>۳</sup> این امر ناشی از بی‌توجهی به اقدامات مدیریت انرژی شامل استفاده از تکنولوژی‌های ناکارآ، بهره‌برداری نامناسب از فرآیندها و تجهیزات صنعتی و انتخاب ننامناسب نوع حامل انرژی است. مدیریت انرژی مجموعه اقداماتی است که بخش‌های مختلف مصرف‌کننده، هم‌چون صنایع و دولت‌ها به انجام می‌رسانند تا ضمن بهینه‌سازی تولید و مصرف انرژی، موجبات کاهش آلودگی محیط زیست، کاهش هزینه‌ها، ایجاد رقابت در فعالیتهای اقتصادی و رفاهی و افزایش امنیت انرژی را فراهم آورند (طباطبایی، ۱۳۸۲).

یکی از سؤالات اساسی در زمینه توسعه اجرای راه‌کارهای مدیریت انرژی در کشور، حصول اطمینان از اقتصادی بودن این راهکارها با توجه به وجود منابع و ذخایر فراوان انرژی در کشور، بالا بودن نرخ تنزیل اقتصادی و سایر شرایط خاص و بومی کشور است. برای پاسخ به این سؤال، همان‌گونه که در بخش دوم مقاله ملاحظه خواهد شد، از ایده مدل‌سازی سیستم مرجع انرژی<sup>۴</sup>، به صورت یک شبکه یکپارچه جریان انرژی و با کمک مدل بهینه‌سازی جریان انرژی<sup>۵</sup> استفاده شده است. چنین شبکه‌های امکان ملاحظه تأثیرات متقابل همه عوامل بر یکدیگر را فراهم می‌آورد. شبیه‌سازی و بهینه‌سازی شبکه یکپارچه، متضمن تأمین منافع ملی از طریق کاهش مجموع هزینه‌های بخش صنعت است. این در حالی است که در مطالعات مقایسه‌ای رایج که محک‌های اقتصادی

1 - ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۵، معاونت امور برق و انرژی، وزارت نیرو، ۱۳۸۶.

2- Specific Energy Consumption.

3 - بلزنگری و اصلاح برنامه جامع بهینه‌سازی مصرف انرژی در بخش صنعت کشور، دفتر بهبود بهره‌وری و اقتصاد برق و انرژی، وزارت نیرو، ۱۳۸۶.

4- Reference Energy System – RES.

5 - Energy Flow Optimization Model – EFOM.

پروژه یا فعالیت، هم‌چون نسبت فایده به هزینه<sup>۱</sup>، نرخ داخلی زمان بازگشت سرمایه<sup>۲</sup>، زمان بازگشت سرمایه<sup>۳</sup>، ارزش خالص زمان حال<sup>۴</sup> ارزیابی می‌گردد، تنها به اولویت‌سنجی راه‌کارهای بهینه‌سازی از دیدگاه بخشی پرداخته می‌شود (فرمانی، ۱۳۸۲).

پیشینه تاریخی توسعه روش سیستم مرجع انرژی، به اولین شوک نفتی در دهه ۱۹۷۰ و متعاقب آن توسعه مدل‌های مصرف نهایی هم‌چون مدل ایفوم در دهه ۱۹۸۰ بازمی‌گردد. سیستم مرجع انرژی به صورت شبکه‌ای طراحی می‌شود که در آن بخش‌های تولیدی، تبدیلی و مصرف انرژی در قالب پیوندهای شبکه‌ای نشان داده می‌شوند. هر مسیر در شبکه سیستم مرجع انرژی، خط سیری را نشان می‌دهد که ممکن است برای جریان انرژی از منابع انرژی تا طبقه‌ای از تقاضا مورد استفاده قرار گیرد. جانشین شدن مسیرها و شاخه‌ها در شبکه، قابلیت جایگزینی میان منابع و فن‌آوری‌های مختلف را نشان می‌دهد. برای تحلیل تأثیرات فن‌آوری‌ها و تجهیزاتی که در آینده در دسترس قرار می‌گیرند، سیستم مرجع انرژی می‌تواند تغییر کرده و با شرایط آتی تطبیق یابد. در یک سیستم مرجع انرژی تأکید اساسی بر ساختار تقاضای نهایی انرژی متمرکز می‌شود. انرژی‌ها در طول شبکه از یکی از انواع انرژی اولیه آغاز شده و با تغییر شکل یافتن در طول شبکه، به انرژی‌های نهایی تبدیل می‌شوند. در آخرین گام، انرژی‌های نهایی به انواع انرژی مفید و خدمات انرژی تبدیل می‌شوند و تقاضای برون‌زای انرژی را مانند گرمایش، سرمایش و روشنایی برآورده می‌کنند. بدین ترتیب سیستم مرجع انرژی، مجموعه به هم پیوسته‌ای از پیوندهای عملیات انرژی با گره‌های بالادستی و پایین‌دستی است (اسدی، ۱۳۸۶).

در ادامه مقاله، در بخش دوم، شبکه جریان انرژی بخش صنعت با در نظر گرفتن راه‌کارهای مدیریت انرژی در تولید نیرو محرکه، هوای فشرده، سرمایش، بخار و تولید هم‌زمان برق و حرارت تدوین می‌شود. معادلات بهینه‌سازی در بخش سوم مرور می‌شود. نتایج بهینه تأمین نیروی محرکه، هوای فشرده، سرمایش، بخار، تولید هم‌زمان برق و حرارت، به ترتیب در بخش‌های چهارم تا هفتم بررسی خواهد شد. بخش هشتم به بیان نتایج عددی می‌پردازد. در خاتمه نتیجه‌گیری و سیاست‌های پیشنهادی فراهم می‌آید.

- 1- Benefit to Cost Ratio.
- 2- Internal Rate of Return.
- 3- Investment Return Time.
- 4- Net Present Value.

## ۲- مدل یک پارچه بخش صنعت کشور

شبکه یک پارچه جریان انرژی بخش صنعت کشور شامل نیروی محرکه، هوای فشرده، سرمایش، بخار و تولید هم‌زمن برق و حرارت مطابق شکل‌های (۱) تا (۵) پیشنهاد می‌شود. همان‌گونه که از شکل (۱) ملاحظه می‌شود، این بخش به دو قسمت تجهیزات تبدیل حامل‌های انرژی نهایی به انرژی‌های واسطه<sup>۱</sup> و فرآیندهای تولید محصولات صنعتی<sup>۲</sup>، تقسیم می‌شود.

اختصاص سهم بالایی از مصرف برق صنایع به موتورهای الکتریکی و پتانسیل قابل توجه برای صرفه‌جویی انرژی، انگیزه زیادی برای اجرای راه‌کارهای بهینه‌سازی در این تجهیزات ایجاد می‌کند. در شبکه پیشنهادی شکل (۲)، با در نظر گرفتن تقاضای نیروی محرکه و ترکیب موتورهای قابل استفاده در صنعت جریان انرژی از برق ورودی تا نیروی محرکه تولیدی به صورت یک شبکه انرژی مدل می‌شود. در این شبکه هزینه‌های سرمایه‌گذاری، قیمت انرژی مصرفی و هزینه‌های ناشی از اجرائی راه‌کارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی در موتورهای الکتریکی در نظر گرفته می‌شود. با توجه به فراوانی توزیع ظرفیت‌های مختلف موتوری در صنعت کشور، مشخصات فنی آن‌ها هم‌چون بازده و مشخصات اقتصادی آن‌ها هم‌چون سرمایه‌گذاری بر واحد ظرفیت، این تجهیزات به سه دسته موتورهای با تون کم‌تر از ۳۰ کیلووات، موتورهای با توان ۳۰ تا ۲۰۰ کیلووات و موتورهای با توان بیش از ۲۰۰ کیلووات تقسیم می‌شوند. هر دسته با توجه به سطح بازده انرژی، به دو نوع موتورهای بازده بالا<sup>۳</sup> و موتورهای استاندارد<sup>۴</sup> تقسیم می‌شوند. هم‌چنین در هر یک از این دو دسته تأثیر استفاده از درایوهای کنترل دور متغیر<sup>۵</sup> و درایوهای کنترل دور ثابت<sup>۶</sup> با حالت عدم استفاده از کنترل‌کننده<sup>۷</sup>، مقایسه شده است.<sup>۸</sup>

- 1- Utilities.
- 2- Processes.
- 3- High Efficient Motors.
- 4- Standard Motors.
- 5- Variable Speed Drive-VSD.
- 6- Constant Speed Drive-CSD.
- 7- Non Controlled.

۸- صرفه‌جویی و مدیریت انرژی در سیستم‌های الکتریکی، سازمان بهره‌وری انرژی ایران، وزارت نیرو،

معمولاً فشار هوای فشرده مورد نیاز در فرآیندهای تولید، متفاوت و بسته به کاربرد، حداکثر تا ۲۵ بار است. کمپرسورهای تأمین کننده هوای فشرده از سه نوع رفت و برگشتی<sup>۱</sup>، مارپیچی گردشی<sup>۲</sup> و توربو کمپرسور یا سانتریفوژ<sup>۳</sup> انتخاب می شوند. از کمپرسورهای رفت و برگشتی برای دبی<sup>۴</sup> کم در محدوده فشارهای کم تا بسیار بالا می توان استفاده کرد. از کمپرسورهای مارپیچی در دبی های مختلف برای فشارهای کم و متوسط و از کمپرسورهای سانتریفوژ برای دبی های زیاد و فشارهای متوسط و بالا استفاده می شود. در دبی های کم، استفاده از کمپرسورهای سانتریفوژ و در دبی های زیاد استفاده از کمپرسورهای رفت و برگشتی مناسب نیست. وجود نشتی در تأسیسات تولید و توزیع هوای فشرده معمولاً تا ۲۵٪ اتلاف انرژی در بردارد. نصب کنترل کننده مناسب موتور، انتخاب صحیح کمپرسور و ظرفیت آن، کاهش دملی هوای ورودی و کاهش فشار تخلیه، از جمله اقدامات صرفه جویی انرژی در کمپرسورها هستند (ترنر و داتی<sup>۵</sup>، ۲۰۰۷ و کلی لند و ایرلند<sup>۶</sup>، ۲۰۰۲). با توجه به توضیحات فوق، شبکه جریان انرژی هوای فشرده مطابق شکل (۳) تدوین شده است. در این شبکه با توجه به سطوح مختلف دبی مورد نیاز، کمپرسورها به سه دسته دبی بین ۲۵ تا ۲۵۰ لیتر بر ثانیه، دبی بین ۲۵۰ تا ۱۰۰۰ لیتر بر ثانیه و دبی بیش از ۱۰۰۰ لیتر بر ثانیه تقسیم بندی شده اند. در دسته اول دو نوع کمپرسورهای رفت و برگشتی و مارپیچی گردشی، در دسته دوم سه نوع کمپرسورهای رفت و برگشتی، مارپیچی و سانتریفوژ و در دسته سوم دو نوع کمپرسور مارپیچی گردشی و سانتریفوژ در نظر گرفته شده اند. همچنین در شبکه توزیع هوای فشرده، حذف نشتی سیستم توزیع و استفاده از کنترل کننده موتور الکتریکی کمپرسورها، به عنوان راهکارهای بهینه سازی گنجانده شدند.

سرمایش مورد نیاز صنعت از طریق چیلرهای جذبی و تراکمی قابل تأمین است. چیلر تراکمی از اواپراتور، کمپرسور، کندانسور، شیر انبساط و تجهیزات کنترل تشکیل شده است. مایع مبرد در داخل پوسته اواپراتور که فشار آن کم تر از فشار جو است تبخیر شده و حرارت نهان تبخیر خود را از آب جاری در لوله ها گرفته و آن را خنک

1- reciprocating.

2- rotary screw.

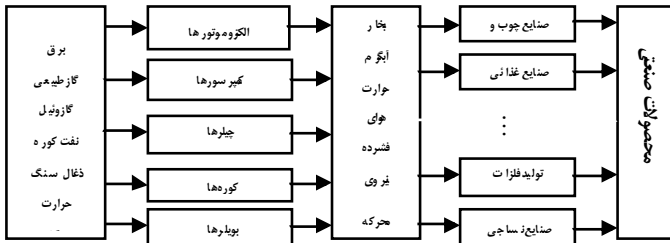
3- centrifugal.

4- flow.

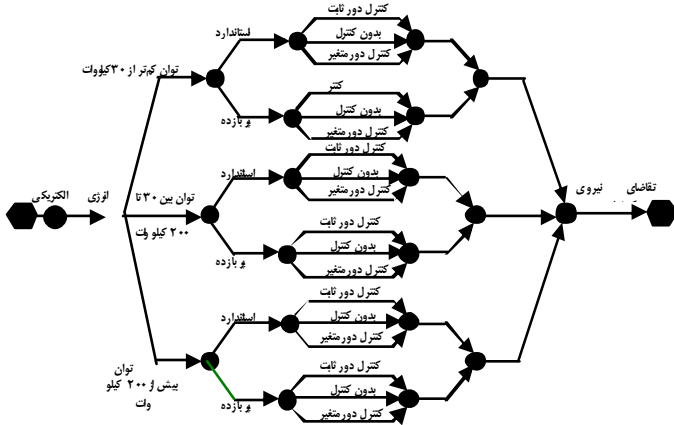
5 - Turner and Doty.

6 - Cleland and Ireland.

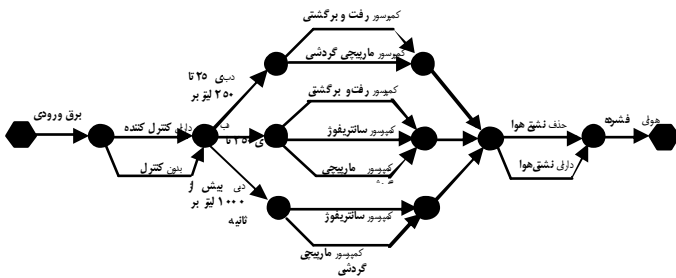
می‌کند. بخار خشک مبرد از طریق لوله مکش به کمپرسور می‌رود و فشار و دمای آن افزایش یافته و به کندانسور ارسال می‌شود. در داخل کندانسور بخار داغ مبرد توسط آب جاری در لوله‌ها به تدریج تقطیر و پس از عبور از شیر انبساط و تقلیل فشار، بار دیگر به لوله‌های اویراتور فرستاده می‌شود تا این فرآیند تکرار شود. در دستگاه‌های تبرید تراکمی برای تولید هر تن برودتی، حدود ۷۰۰ وات برق مصرف شده که جزء اصلی آن متعلق به کمپرسور است. چیلرهای جذبی از اجزای اصلی اویراتور، جذب کننده، ژنراتور کندانسور، مبدل حرارتی و پمپ تشکیل شده‌اند. در این سیستم‌ها بخار مبرد که در اویراتور تولید شده و معمولاً از جنس آمونیاک است، توسط مایع جذب کننده‌ای هم‌چون لیتیم بروماید، جذب شده و محلول رقیق را می‌سازد. این محلول توسط پمپ به مبدل حرارتی و سپس به ژنراتور ارسال شده و دمای آن افزایش می‌یابد تا در نهایت مایع مبرد موجود در محلول به صورت بخار درآمده و از محلول جدا شود. محلول باقیمانده غلیظ، از طریق مبدل حرارتی به جذب کننده باز می‌گردد و هم‌زمان بخار مبردی هم که در ژنراتور تولید شده است پس از تقطیر در کندانسور به اویراتور می‌رود. در داخل اویراتور گرمای نهان تبخیر مایع مبرد توسط آب جاری در لوله‌ها تأمین می‌شود. این بخار بار دیگر توسط لیتیم بروماید جذب شده و فرآیند فوق تکرار می‌شود. حرارت مورد نیاز می‌تواند از گاز طبیعی، بخار و یا آب گرم تأمین شود. البته در چیلرهای جذبی سهم ناچیزی برق در پمپ‌ها، فن‌ها و کندانسور مصرف می‌شود (کنوله نائر و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۲). شبکه انرژی پیشنهادی تأمین سرمایش فرآیندهای صنعتی، مطابق شکل (۴) است.



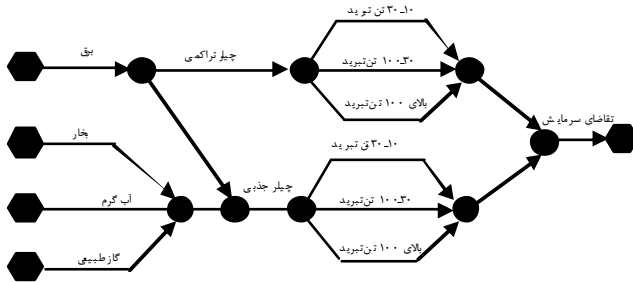
شکل ۱- اجزای شبکه جریان انرژی بخش صنعت کشور پیشنهاد و تحقیق شده در مقاله



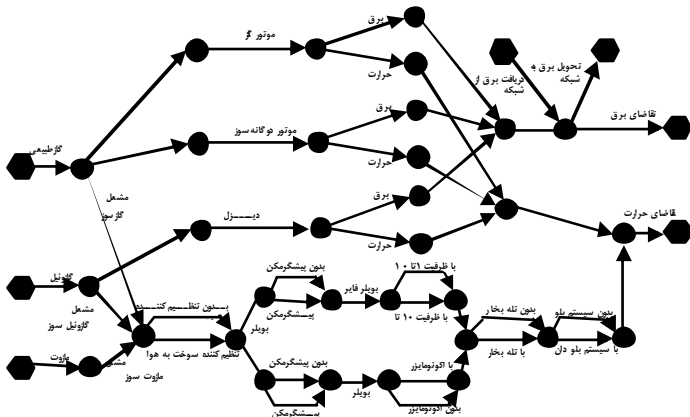
شکل ۲ - بخش موتورهای الکتریکی شبکه شکل ۱



شکل ۳ - بخش هوای فشرده شبکه شکل ۱



شکل ۴- بخش تأمین سرمایه‌اش شبکه شکل ۱



شکل ۵- بخش تولید بخار و بازیافت حرارت شبکه شکل ۱

براساس اطلاعات ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۵، بیش از ۸۴ درصد انرژی بخش صنعت به میزان ۱۳۰ میلیون بشکه معادل نفت خام در سال، از سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود. براساس برآوردهای کارشناسی، ۶۰ درصد این میزان صرف تأمین بخار فرآیندهای



صنعتی می‌شود.<sup>۱</sup> تا سال ۱۳۸۶ تقریباً کل بخار مصرفی در صنایع کشور توسط دیگ‌های بخار تولید می‌شود. برای این منظور انواع دیگ‌های بخار فایرتیوپ و واترتیوپ در ظرفیت‌های مختلف قابل استفاده‌اند. انواع راه‌کارهای مدیریت انرژی، هم از بهره‌گیری از تله‌های بخار، تنظیم نسبت سوخت به هوا در مشعل‌ها، پیش گرمایش هوای ورودی و استفاده از زیرکش را می‌توان در تأسیسات تأمین بخار به‌کار برد. امکان استفاده از انواع حامل‌های انرژی گاز طبیعی، گازوئیل و مازوت به‌عنوان سوخت مهیا، روش دیگری که می‌تواند برای تأمین بخار واحدهای صنعتی مورد استفاده قرار گیرد، بهره‌گیری از سیستم‌های بازیافت حرارت، نظیر بازیافت حرارت از گازهای خروجی موتور ژنراتورهای گازسوز و دیزل ژنراتورهای گازسوز، گازوئیل سوز و یا دوگانه سوز است. در صورت استفاده از سیستم‌های بازیافت حرارت، می‌توان علاوه بر برق، بخار مصرفی فرآیندهای صنعتی را تولید کرد. با در نظر گرفتن این موارد، شبکه انرژی تأمین بخار فرآیندهای صنعتی مطابق شکل (۵) پیشنهاد شده است.

لازم به توضیح است که در نقاط ورودی به شبکه انرژی شکل (۱)، قیمت‌های انرژی همان قیمت‌های یارانه‌ای فروش انرژی به صنایع کشور در سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۶، که در آن برق ۲۰۰ ریال بر کیلووات‌ساعت، گازوئیل ۱۸۰ ریال بر لیتر، نفت کوره ۱۱۰ ریال بر لیتر و گاز طبیعی ۱۳۰ ریال بر مترمکعب، است منظور شده‌اند. به‌طور حتم پتانسیل‌های بهینه‌سازی که در این قیمت‌ها برای بنگاه‌های صنعتی اقتصادی هستند، به‌ازای قیمت‌های غیر یارانه‌ای هم‌چون هزینه تمام شده عرضه و یا هزینه‌های فرصت از دید ملی اقتصادی خواهند بود. در محاسبات نرخ سایه دلار ۸۵۰۰ ریال و نرخ تنزیل اقتصادی ۱۲ درصد منظور شده است.

### ۳- مدل بهینه‌یابی

معادلات مدل بر اساس شبکه جریان انرژی شکل (۱) تنظیم شده‌اند. در این شکل تبدیل انرژی از شکل انرژی نهایی تحویل شده به بخش صنعت تا محل مصرف آن به صورت انرژی مفید و خدمات انرژی، مدل‌سازی شده است. مدل شامل تابع هدف و

۱- بازنگری و اصلاح برنامه جامع بهینه‌سازی مصرف انرژی در بخش صنعت کشور، دفتر بهبود بهره‌وری و اقتصاد برق و انرژی، وزارت نیرو، ۱۳۸۶.

قیود فنی و اجتماعی است. به دلیل استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی برای بهینه‌یابی از یک تابع خطی و یک دسته معادلات و نامعادلات خطی به ترتیب به‌عنوان تابع هدف و قیود مسئله بهینه‌یابی، استفاده شده است.

تابع هدف، مجموع هزینه‌های شبکه جریان انرژی است که به اولین روز سال پایه برنامه‌ریزی تنزیل داده می‌شود و شامل هزینه‌های متغیر و ثابت بهره‌برداری، هزینه‌های سرمایه‌گذاری و هزینه‌های تحقیق و توسعه (R&D) به صورت یک مجموع است. قیود حاکم بر مسئله بهینه‌یابی، شامل محدودیت‌های جریان انرژی عملیات انرژی، تراز انرژی گره‌ای<sup>۲</sup>، تراز تقاضا، ظرفیت انرژی، انتشار آلاینده‌ها، سقف تأمین سرمایه تخصیص بلز، تخصیص تولید و سایر محدودیت‌ها قوانین، مقررات و الزامات اجتماعی است.

بهینه‌یابی تابع هزینه با رعایت محدودیت‌های فنی-اقتصادی ذکر شده، به پرسش‌هایی هم‌چون ترکیب بهینه حامل‌های انرژی مورد نیاز، پتانسیل صرفه‌جویی انرژی، رقابت انرژی با سایر عوامل تولید، تراز انرژی بخشی و سطح انرژی مورد نیاز در بخش صنعت را پاسخ می‌دهد.

#### ۴- الگوی استفاده از موتورهای الکتریکی صنعتی

موتورهای الکتریکی با اختصاص ۶۵ درصد مصرف برق بخش صنعت به خود، عمده‌ترین مصرف‌کننده برق در این بخش محسوب می‌شوند (صادق زاده<sup>۳</sup>، ۲۰۰۷). به دلیل این اهمیت، اولویت‌های بهینه‌سازی این بخش برلی یک دوره ۲۰ ساله تعیین شده است. نمودار (۱) میزان کاهش مصرف برق موتورهای الکتریکی صنعتی طی سال‌های برنامه بهینه پیشنهاد شده در این مقاله در اثر بهره‌گیری از راه کارهای بهینه‌سازی، را نشان می‌دهد، به گونه‌ای که طی یک دوره ۲۰ ساله می‌توان ۷۴/۸ میلیارد کیلووات ساعت، معادل ۵۷۰ مگاوات، در ظرفیت نیروگاهی صرفه‌جویی کرد. با فرض هزینه تمام شده ۲۰۰ ریال بر کیلووات ساعت برای تأمین برق مصرفی صنایع کشور، میزان صرفه‌جویی اقتصادی به بیش از ۱۶ هزار میلیارد ریال خواهد رسید.

1 - برای آشنایی بیش‌تر با تابع هدف، روابط و محدودیت‌های فنی و اقتصادی رجوع کنید به:

Compressing air costs, Best practice program, Energy efficiency office, Department of environment, UK, 2000.

2 - Nodal Energy Balance

3 - Sadeghzadeh

بدین ترتیب پتانسیل اقتصادی صرفه‌جویی انرژی موتورهای الکتریکی صنعتی کشور ۸/۵ درصد است. بدون شک دستیابی به اهداف صرفه‌جویی انرژی بدون صرف هزینه امکان‌پذیر نیست. مطابق نمودار (۲) میزان سرمایه‌گذاری مورد نیاز برای اجرای راه‌کارهای بهینه‌سازی در شبکه نیرو محرکه صنعتی کشور در طول دوره برنامه پیشنهادی، به میزان ۱۴۰۰ میلیارد ریال بیش‌تر از سناریوی تداوم الگوی فعلی است. با وجود آن که هزینه سرمایه‌گذاری در شبکه بهینه افزایش یافته، اما نمودار (۳) نشان می‌دهد که مجموع هزینه سرمایه‌گذاری و انرژی سیستم در شبکه بهینه، ۱۴/۷ هزار میلیارد ریال کم‌تر از سناریوی ادامه روند فعلی است. سهم موتورهای الکتریکی ظرفیت پایین، متوسط و بالاتر در صرفه‌جویی انرژی و سرمایه‌بری در طول برنامه در جدول (۱) آمده است.

#### ۵- الگوی تأمین هوای فشرده صنایع

کمپرسورها بیش از ۵٪ مصرف برق صنعت کشور را به‌خود اختصاص می‌دهند<sup>۱</sup>. بدین ترتیب در صورت اعمال راه‌کارهای بهینه‌سازی، صرفه‌جویی اقتصادی حاصل، قابل توجه خواهد بود. نمودار (۵)، سهم انواع مختلف کمپرسور در تأمین هوای فشرده مورد نیاز صنایع در سناریوی برنامه بهینه و سناریوی تداوم الگوی موجود را نشان می‌دهد. همان‌گونه که از نمودار پیداست، عمده هوای فشرده مورد نیاز در طرح بهینه، از طریق کمپرسورهای رفت و برگشتی تأمین شده و تنها بخش اندکی از آن را کمپرسورهای سانتریفوژ تولید می‌کنند. این در حالی است که در سناریوی ادامه الگوی موجود، کمپرسورهای مارپیچی گردشی سهم به‌سزایی از تولید هوای فشرده را به خود اختصاص می‌دهند. همان‌گونه که از نمودار (۵) ملاحظه می‌شود با بهره‌گیری از راه‌کارهای بهینه‌سازی می‌توان از مصرف برق به میزان چشم‌گیری کاست، به گونه‌ای که مجموع برق صرفه‌جویی شده در پایان ۲۰ سال، بالغ بر ۵۲ میلیارد کیلووات‌ساعت خواهد بود. با احتساب قیمت ۲۰۰ ریال برای هر کیلووات‌ساعت برق صنعتی، کاهش هزینه‌های انرژی بخش صنعت در نتیجه بهره‌گیری از راه‌کارهای بهینه‌سازی مصرف

۱ - بازنگری و اصلاح برنامه جامع بهینه‌سازی مصرف انرژی در بخش صنعت کشور، دفتر بهبود بهره‌وری و اقتصاد برق و انرژی، وزارت نیرو، ۱۳۸۶.

انرژی در کمپرسورها بیش از ۱۰ هزار میلیارد ریال است. بر اساس این نتایج، پتانسیل اقتصادی بهینه‌سازی انرژی کمپرسورهای بخش صنعت کشور در طول برنامه ۲۰ ساله، معادل ۳۰ درصد است.

نمودار (۶)، سرمایه‌گذاری مورد نیاز در زمینه اجرای راه‌کارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی کمپرسورها را نشان می‌دهد. مجموع سرمایه‌اضافی مورد نیاز در برنامه بهینه برای یک دوره ۲۰ ساله، بالغ بر ۱/۲ هزار میلیارد ریال است. مهم‌ترین عاملی که سرمایه‌گذاری در طرح‌های بهینه‌سازی را توجیه می‌کند، اطمینان از اقتصادی بودن آنهاست. با استفاده از نمودار (۷)، میزان صرفه اقتصادی دو سناریو با یکدیگر قابل مقایسه هستند. همان‌گونه که از نمودار ۷ ملاحظه می‌شود، در همه سال‌های مورد مطالعه، سود قابل توجهی نصیب بخش صنعت می‌شود، که مجموع آن حدود ۹ هزار میلیارد ریال است.

## ۶- الگوی تأمین سرمایه‌های صنعتی

حدود ۲/۵ درصد از برق مصرفی بخش صنعت در سال ۱۳۸۵ صرف تأمین سرمایه‌های در فرایندهای مختلف می‌شود<sup>۱</sup>. در صورت صرفه‌جویی در مصرف این انرژی و یا جایگزینی آن به وسیله گاز طبیعی، می‌توان بر بهره‌وری اقتصادی این بخش افزود. نتایج حاصل از بهینه‌سازی شبکه شکل (۴) و مؤید آن است که جایگزینی چیلرهای جذبی به جای چیلرهای تراکمی کاملاً مقرون به صرفه بوده و تنها عاملی که روند استفاده و جایگزینی آن‌ها را با محدودیت مواجه می‌کند، عدم دسترسی به گاز و یا محدودیت‌های فنی بعضی از فرایندهای خاص است. بدین ترتیب سهم چیلرهای جذبی در تولید سرمایه‌های مورد نیاز فرایندها، در طول دوره ۲۰ ساله برنامه پیشنهادی در این تحقیق، روندی صعودی خواهد داشت، به گونه‌ای که سهم آن در پایان برنامه به ۸۰٪ می‌رسد.

از جمله نتایج حاصل از مطالعه آن است که طرح بهینه شبکه انرژی بخش صنعت، بر تأمین نیاز سرمایه‌های این بخش با بهره‌گیری هرچه بیشتر از چیلرهای جذبی، تأکید

۱ - بازنگری و اصلاح برنامه جامع بهینه‌سازی مصرف انرژی در بخش صنعت کشور، دفتر بهبود بهره‌وری و اقتصاد برق و انرژی، وزارت نیرو، ۱۳۸۶.

دارد. از آن‌جا که ضریب کارایی<sup>۱</sup> چیلرهای جذبی کم‌تر از چیلرهای تراکمی است، مقدار انرژی مصرفی در طرح بهینه بیش از ادامه روند موجود است. اما به دلیل این که چیلرهای جذبی مصرف کننده گاز (و مقدار اندکی برق) هستند (در مقایسه با چیلرهای تراکمی که انرژی گران‌تر برق را مصرف می‌کنند)، هزینه انرژی طرح بهینه نسبت به ادامه روند موجود کم‌تر است. همان‌گونه که از نمودار (۸) ملاحظه می‌شود، به دلیل بهره‌گیری گسترده از چیلرهای جذبی در الگوی بهینه و با توجه به پائین‌تر بودن قیمت این نوع چیلرها نسبت به چیلرهای تراکمی، به خصوص در ظرفیت‌های بالا، هزینه سرمایه‌گذاری در طرح بهینه نسبت به ادامه روند موجود کاهش می‌یابد، به گونه‌ای که در پایان دوره ۲۰ ساله برنامه‌ریزی، حدود ۵۱۰ میلیارد ریال در سرمایه‌گذاری صرفه‌جویی خواهد شد. از سوی دیگر به دلیل بالاتر بودن ضریب کارایی چیلرهای جذبی نسبت به چیلرهای تراکمی، مصرف انرژی این چیلرها کم‌تر است. به دلیل این موضوع و از آنجایی که مصرف گاز چیلرهای جذبی جایگزین مصرف حامل انرژی گران قیمت برق می‌شود، هزینه انرژی تأمین سرمایه‌های طرح بهینه نسبت به ادامه روند موجود کاهش می‌یابد. این موضوع در نمودار (۹) به تفکیک سال‌های اصلی دوره مورد مطالعه نشان داده شده است. در برنامه بهینه بیش از ۲/۵ هزل میلیارد ریال در مقایسه با هزینه انرژی تداوم الگوی موجود، صرفه‌جویی می‌شود.

شایان ذکر است که چیلرهای جذبی پیشنهادی در الگوی بهینه از نوع شعله مستقیم (direct fire) بوده که مصرف کننده گاز طبیعی هستند و از بخار یا آب گرم استفاده نمی‌کنند. بدین ترتیب کل صرفه‌جویی حاصل از اجرای الگوی بهینه در طول دوره مطالعه برابر ۳ هزار میلیارد ریال خواهد شد، که این موضوع به تفکیک سال‌های اصلی مطالعه در نمودار (۱۰) ملاحظه می‌شود.

چیلرهای جذبی در دوره‌های مختلف برنامه پیشنهادی، از ۶۰ تا ۱۰۰ درصد سرمایه‌گذاری صرف شده برای تأمین سرمایه‌های خود اختصاص می‌دهند. جدول (۲)، تأثیر هر یک از ظرفیت‌های کوچک، متوسط و بزرگ چیلری جذبی بر صرفه‌جویی انرژی و کاهش سرمایه‌گذاری سیستم تأمین سرمایه‌های بخش صنعت را نشان می‌دهد.

### ۷- الگوی تأمین بخار از بویلرها و واحدهای تولید هم‌زمان برق و حرارت

بیش از ۸۴٪ انرژی مصرفی بخش صنعت کشور در سال ۱۳۸۴ معادل ۱۳۰ میلیون شبکه معادل نفت خام از طریق سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود، که حدود ۶۰ درصد این میزان صرف تأمین بخار فرآیندهای صنعتی می‌شود<sup>۱</sup>. بدین ترتیب بهینه‌سازی انرژی در فرآیند تولید، بخار تأثیر به‌سزایی در کاهش هزینه‌های مصرف سوخت‌های فسیلی می‌گذارد. جدول (۳)، میزان حامل‌های انرژی مورد نیاز برای تأمین بخار صنعتی طی دوره ۲۰ ساله مطالعه به‌زای دو سناریوی بهینه و تداوم الگوی موجود تأمین بخار را نشان می‌دهد. با احتساب هزینه فروش انواع حامل‌های انرژی به صنایع، ارزش انرژی صرفه‌جویی شده حاصل از اجرای راه کارهای بهینه‌سازی در شبکه شکل (۵)، در طی دوره ۲۰ ساله مطالعه، بیش از ۲۴ هزار میلیارد ریال است. لازم به ذکر است که در برنامه بهینه، سهم گاز طبیعی در تأمین مصرف سوخت روندی صعودی دارد به گونه‌ای که در پایان برنامه به ۹۰ درصد می‌رسد. این در حالی است که در پایان دوره، سهم مازوت به ۱۰ درصد و سهم گازوئیل به صفر کاهش می‌یابد.

جدول ۱- سهم متوسط راه کارهای مختلف در برنامه بهینه

ظرفیت موتورهای الکتریکی	سهم صرفه‌جویی انرژی	سهم در سرمایه‌بری
موتورهای با توان کم‌تر از ۳۰ کیلووات	۲۸	۴۷
موتورهای با توان ۳۰ تا ۲۰۰ کیلووات	۳۵	۲۳
موتورهای با توان بیش از ۲۰۰ کیلووات	۳۷	۳۰

جدول ۲- تأثیر هر یک از ظرفیت‌های کوچک متوسط و بزرگ چیلر جذبی بر صرفه‌جویی انرژی و کاهش سرمایه‌گذاری

ظرفیت چیلر	سهم در صرفه‌جویی انرژی	سهم در سرمایه‌بری راه کارهای بهینه‌سازی
۱۰-۳۰ تن تبرید	۱۵	۱۷
۳۰-۱۰۰ تن تبرید	۲۰	۲۱/۲
بیش از ۱۰۰ تن تبرید	۶۵	۶۱/۵

۱- بازنگری و اصلاح برنامه جامع بهینه‌سازی مصرف انرژی در بخش صنعت کشور، دفتر بهبود بهره‌وری و اقتصاد برق و انرژی، وزارت نیرو، ۱۳۸۶.

جدول ۳- مصرف انواع حامل‌های انرژی طی دوره ۲۰ ساله برنامه، برای تأمین بخار و برق زیر بخش صنعت کشور

سناریو	گاز طبیعی (میلیون تن معادل نفت خام)	گاز وئیل (میلیون تن معادل نفت خام)	نفت کوره (میلیون تن معادل نفت خام)	خرید برق از شبکه (میلیارد کیلووات ساعت)	مجموع (میلیون تن معادل نفت خام)
ادامه روند موجود	۲۵۹/۷	۹۰/۵	۱۰۰/۳	۴۶۸	۵۶۳/۵
طرح بهینه‌سازی	۳۰۵/۵	۳۵/۲	۸۰/۷	۳۸۰	۵۱۳/۲

جدول ۴- خلاصه کمی راهکارهای مدیریت انرژی در بخش صنعت کشور

نسبت سود به هزینه	سرمایه‌گذاری (میلیون دلار)	ارزش صرفه‌جویی (میلیون دلار)	صرفه‌جویی				تولید نیروی محرکه
			مجموع (میلیون تن معادل نفت خام)	مازوت (میلیون تن معادل نفت خام)	گاز وئیل (میلیون تن معادل نفت خام)	گاز طبیعی (میلیارد متر مکعب)	
۱۱/۵	۱۶۵	۱۹۰۰	۱۸/۱۶	-	-	-	۷۴/۸
۸/۴	۱۴۲	۱۲۰۰	۱۲/۶۲	-	-	-	۵۲
۵	۶۰	۳۰۲	۷۲	-	-	-۲/۵	۱۵/۴
۲	۱۵۱۳	۳۰۰۰	۵۰۳	۱۹/۶	۵۵/۳	-۴۵/۸	۸۸
۳/۶	۱۷۶۰	۶۴۰۲	۱۷۹۷۸	۱۹/۶	۵۵/۳	-۴۸/۳	۲۳۰
			۲۵۰	۲۵۰	۱۳۳۲	-۹۰۰	۵۷۵۰

\* ارقام منفی به معنی افزایش مصرف‌اند

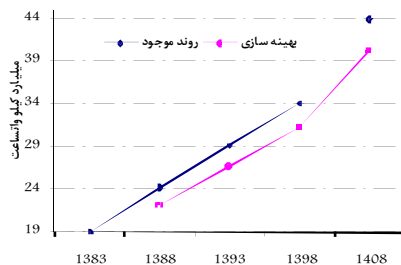
بهره‌گیری از راهکارهای بهینه‌سازی تأمین بخار نیاز به سرمایه‌گذاری گسترده‌ای دارد، به همین دلیل میزان سرمایه‌گذاری در شبکه انرژی بهینه در مقایسه با ادامه روند موجود، ۱۲/۹ هزار میلیارد ریال بیش‌تر است که این موضوع به تفکیک دوره‌های برنامه در نمودار (۱۱) نشان داده شده است. نکته جالب توجه آن است که صرفه‌جویی در هزینه سوخت، افزایش هزینه سرمایه‌گذاری را به طور کامل پوشش داده و بدین ترتیب در طول دوره ۲۰ ساله مطالعه، سود خالصی برابر ۱۲/۶ هزار میلیارد ریال نصیب بخش صنعت کشور می‌شود. هم‌چنین روند تولید بخار در برنامه بهینه با افزایش سهم باز یافت حرارت و کاهش تولید بخار از بویلر هلی مستقل همراه بوده و مطابق نمودار (۱۲)، پیشنهاد می‌شود. مناسب به نظر می‌رسد که الگوی تأمین برق مورد نیاز صنایع کشور مطابق نمودار (۱۳) در طول برنامه به تدریج به سمت تولید داخلی و تبادل با شبکه

سراسری برق پیش‌رود. مطابق نمودار (۱۴)، پیشنهاد می‌شود که صنایع کشور برای تأمین برق مورد نیاز خود نسبت به گز سوز کردن دیزل ژنراتورهای موجود اقدام و در نصب ظرفیت‌های جدید، فقط از موتور ژنراتورهای گازسوز و یا دوگانه‌سوز با مصرف سوخت غالب گاز طبیعی استفاده کنند. همچنین نصب تله‌های بخار، تنظیم نسبت سوخت به هوا در مشعل‌ها، پیش‌گرمایش هوای ورودی و استفاده از زیرکش در طول برنامه و افزایش تدریجی سهم آن‌ها، از نتایج برنامه بهینه‌ست. بر اساس نتایج مطالعه، پتانسیل اقتصادی صرفه‌جویی انرژی، راهکار تأمین بخار در بخش صنعت کشور، ۱۰ درصد است.

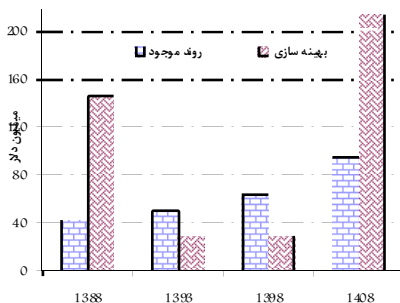
#### ۸- نتایج کمی و تحلیل حساسیت نسبت به هزینه‌های اجرای راهکار

نتایج کمی بهینه‌سازی بخش صنعت کشور طی دوره ۲۰ ساله مطالعه در جدول (۴) خلاصه شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، با اجرای طرح بهینه پیشنهادی، بیش‌ترین صرفه‌جویی در انرژی الکتریکی حاصل می‌شود. ۳۸/۲ درصد از این صرفه‌جویی حاصل توسعه سیستم تولید هم‌زمان برق و حرارت به کمک موتور ژنراتورهای گازسوز، با مجموع تولید برق ۸۸ میلیارد کیلووات ساعت است. پیشنهاد جایگزینی گاز طبیعی با سایر سوخت‌ها سبب افزایش مصرف آن می‌شود، که این افزایش در جدول (۴) با علامت منفی نشان داده شده است. ۹۵ درصد افزایش مصرف گاز صرف تولید بخار و تولید هم‌زمان به میزان ۴۵/۸ میلیون متر مکعب می‌شود. با بهره‌گیری از راهکارهای بهینه‌سازی، از مصرف گازوئیل نیز که در شبکه مورد بحث تنها در بخش تأمین بخار و تولید هم‌زمان مورد استفاده دارد، به میزان ۵۵/۳ میلیون تن معادل نفت خام کاسته خواهد شد. سوخت مازوت نیز وضعیتی مشابه گازوئیل داشته و با ۱۹/۶ میلیون تن معادل نفت خام کاهش مصرف روبرو خواهد شد. سیاست‌های فوق به‌ارزای قیمت یارانه‌ای خرید انرژی بنگاه‌های صنعتی برقرارند و بدیهی است که از دید اقتصاد ملی دارای اولویت بالاتری خواهند بود.

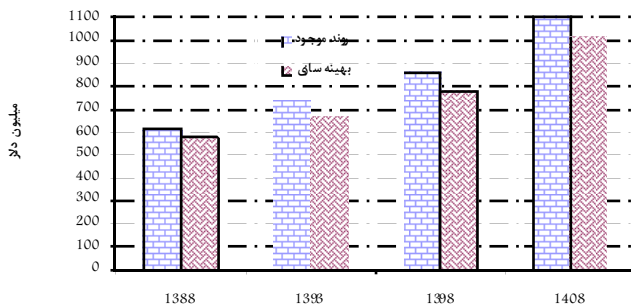




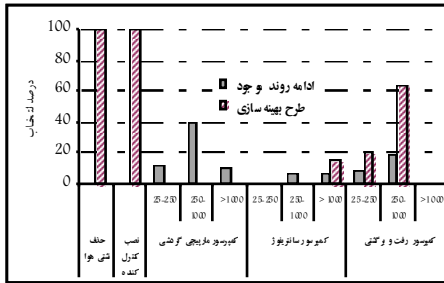
نمودار ۱ - مصرف سالانه برق در الکتروموتورهای بخش صنعت



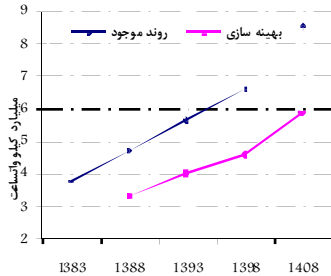
نمودار ۲ - سرمایه مورد نیاز توسعه موتورهای صنعت کشور



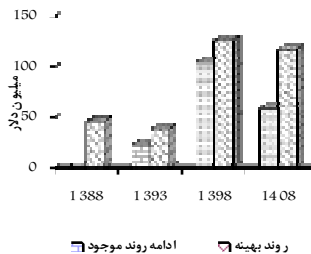
نمودار ۳ - مجموع هزینه‌های سرمایه‌گذاری و مصرف انرژی الکتروموتورها



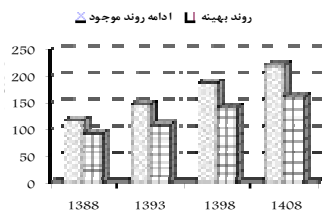
نمودار ۴ - تأمین هولی فشرده از انواع کمپرسور در دی‌های مختلف



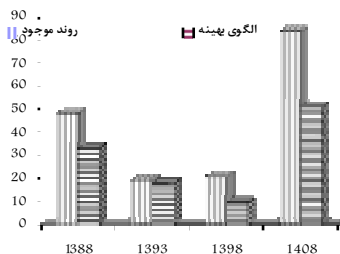
نمودار ۵ - مقایسه میزان برق مصرفی طی سال‌های مطالعه



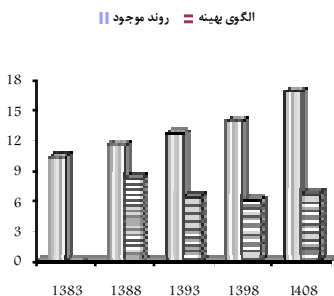
نمودار ۶ - سرمایه‌گذاری مورد نیاز برای تأمین هولی فشرده بخش صنعت



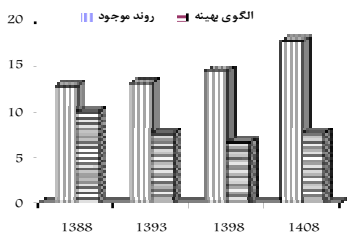
نمودار ۷- صرفه‌جویی حاصل از بهینه‌سازی شبکه انرژی کمپرسورهای صنعت (هزینه سوخت + هزینه سرمایه‌گذاری)



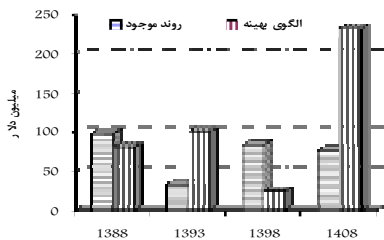
نمودار ۸- سرمایه‌گذاری مورد نیاز برای تأمین سرمایه‌های



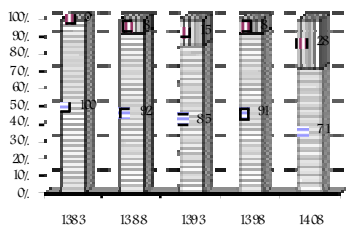
نمودار ۹- هزینه‌های انرژی تأمین سرمایه‌های صنعتی



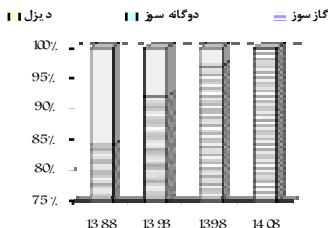
نمودار ۶ - مجموع هزینه انرژی و سرمایه گذاری تأمین سرمایه‌های صنعتی



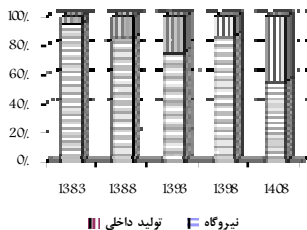
نمودار ۱۱ - سرمایه‌گذاری مورد نیاز برای تأمین بخار



نمودار ۱۲ - سهم روش‌های مختلف در تولید بخار برنامه بهینه



نمودار ۱۳ - سهم روش‌های مختلف در تأمین برق مورد نیاز صنایع



نمودار ۱۴ - سهم انواع موتور ژنراتور در تولید برق در طرح بهینه

## ۹ - نتیجه گیری و پیشنهادات

### ۹-۱ - نتایج کلی

بررسی اجرای راهکارهای مدیریت انرژی در بخش صنعت کشور به کمک مدل بهینه‌سازی جریان انرژی، واجد مزایایی هم‌چون رعایت تصمیم‌سازی یک‌پارچه در مدیریت انرژی است. بدین منظور شبکه جریان انرژی بخش صنعت کشور به صورت مدل‌سازی و برای یک افق ۲۰ ساله بهینه‌یابی شده است. در برنامه پیشنهادی، ۷۸/۴ درصد ارزش انرژی صرفه‌جویی شده متعلق به برق با ارزش ۴۸/۶ هزار میلیارد ریال، ۱۸/۲ درصد انرژی صرفه‌جویی شده متعلق به گاز و تیل با ارزش ۱۱/۳ هزار میلیارد ریال و ۳/۴ درصد انرژی صرفه‌جویی شده متعلق به مازوت با ارزش ۲/۱ هزار میلیارد ریال

لست. به دلیل جایگزینی حامل‌های انرژی به وسیله گاز طبیعی، در مجموع ۷/۷ هزار میلیارد ریال، هزینه مصرف گاز طبیعی افزایش می‌یابد.

پرائرترین راه کار بهینه‌سازی بخش صنعت کشور توسعه سیستم تولید هم‌زمان برق و بخار است. اجرای راهکارهای صرفه‌جویی انرژی در بویلرهای صنعتی و توسعه موتور ژنراتورهای گازسوز با بازیافت حرارت، با صرف سرمایه‌گذاری معادل ۱۲/۸ هزار میلیارد ریال، سهمی برابر ۸۳ درصد از هزینه‌های سرمایه‌گذاری انرژی بخش صنعت را به خود اختصاص داده‌اند. الکتروموتورها، هوای فشرده و سرمایه‌های در رتبه‌های بعدی جذب سرمایه هستند. این در حالی است که الکتروموتورها، بخار و سیستم تولید هم‌زمان، هوای فشرده و سرمایه‌ها به ترتیب با ۳۷/۳، ۳۲، ۲۲/۸ و ۷/۸ درصد از سود خالص، در رتبه‌های اول تا چهارم قرار گرفته‌اند. اما از نظر شاخص نسبت سود به هزینه، وضعیت متفاوت است. این شاخص در تولید سرمایه برابر ۳۳/۳، برای تولید نیروی محرکه برابر ۱۱/۵، برای تولید هوای فشرده برابر ۸/۴۵ و برای تولید بخار و تولید هم‌زمان برابر ۱/۴۴ است.

با اجرای برنامه پیشنهادی در یک دوره ۲۰ ساله. با صرف هزینه ۱۵ هزار میلیارد ریالی، صرفه‌جویی انرژی معادل ۱۷۹/۷۸ میلیون تن معادل نفت خام به ارزش ۵۴/۴ هزار میلیارد ریال، حاصل می‌شود. بر اساس نتایج مطالعه، پتانسیل اقتصادی صرفه‌جویی انرژی در موتورها، ۸/۵ درصد، هوای فشرده، ۳۰ درصد و تأمین بخار ۱۰ درصد است. برای تأمین سرمایه‌های استفاده از چیلرهای جذبی به جای انواع تراکمی توصیه شده است. به دلیل پایین بودن ضریب کارایی سیستم‌های جذبی، مصرف انرژی به شکل گاز طبیعی، ۶۰ درصد بیش‌تر از مصرف انرژی به صورت برق در سیستم تراکمی است، اما با توجه به بازده ۳۷/۳ درصدی تولید برق از گاز طبیعی و تلفات ۱۵ درصدی انتقال و توزیع برق صنعتی، بیش از ۱۱۰ درصد در مصرف گاز طبیعی و بیش از ۱۰۰ درصد در هزینه‌های انرژی بخش صنعت صرفه‌جویی می‌شود.

## ۴-۲ - سیاست‌های پیشنهادی

بر اساس موارد فوق، مهم‌ترین سیاست‌های برنامه بهینه در زمینه موتورهای الکتریکی، استفاده از موتورهای پربازده به جای انواع استاندارد و نصب درایوهای کنترل سرعت است. استفاده از موتورهای الکتریکی پربازده و جایگزینی آن‌ها با انواع

استاندارد، حتی با افزایش سرمایه گذاری تا ۲ برابر مقدار فعلی هم چنان اقتصادی است. برای توان های کم تر از ۲۰۰ کیلووات این مزیت اقتصادی تا ۳ برابر شدن هزینه سرمایه گذاری هم چنان برقرار است. نصب درایوهای کنترل کننده دور و درایوهای سرعت ثابت در همه توان ها، اقتصادی است.

به منظور تأمین هوای فشرده صنعتی، به کارگیری کمپرسورهای رفت و برگشتی در دبی کم تر از ۱۰۰۰ لیتر بر ثانیه، حتی تا ۱/۵ برابر شدن سرمایه گذاری، استفاده از کمپرسورهای سانتریفوژ برای دبی بیش از ۱۰۰۰ لیتر بر ثانیه حتی با ۲ برابر شدن سرمایه گذاری مقرون به صرفه است. نصب کنترل کننده بر روی موتور الکتریکی کمپرسورها تا حد ۵ برابر شدن هزینه سرمایه گذاری آن ها هم چنان اقتصادی است. حذف نشتی هوا در سیستم توزیع هوای فشرده، از توصیه های اصلی برنامه است. جایگزینی چیلرهای تراکمی موجود با چیلرهای جذبی گازسوز و نصب چیلرهای جذبی در ظرفیت سازی هلی آبی، مهم ترین پیشنهاد برنامه بهینه در تأمین سرمایه صنعتی است.

بهره گیری از راهکارهای بهینه سازی در تولید بخار صنعتی هم چون استفاده از تنظیم کننده نسبت سوخت به هوا در مشعل ها، پیش گرمایش هوای ورودی، نصب اکونومایزر و تله بخور، کاملاً مقرون به صرفه بوده و برنامه، بر استفاده هر چه بیش تر و سریع تر از این راه کارها تأکید دارد. هم چنین اولویت سوخت های مورد استفاده به ترتیب گاز طبیعی، نفت کوره و گازوئیل است. تبدیل سوخت دیزل ژنراتورهای موجود به گاز طبیعی و استفاده از موتور ژنراتورهای گازسوز در ظرفیت سازی های آبی تولید برق در صنایع و نیز به کارگیری هر چه بیش تر تجهیزات بازیافت حرارت در موتور ژنراتورها به منظور تولید بخار در رقابت با بویلرها، از دیگر نتایج مهم برنامه پیشنهادی است.

### فهرست منابع

لسدی، محمد حسن، تدوین مدل بهینه سازی شبکه یک پارچه انرژی برق، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شاهد، دانشکده فنی و مهندسی، شهریورماه ۱۳۸۶.  
بازنگری و اصلاح برنامه جامع بهینه سازی مصرف انرژی در بخش صنعت کشور، دفتر بهبود بهره وری و اقتصاد برق و انرژی، وزارت نیرو، ۱۳۸۶.

ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۵، معاونت امور برق و انرژی، وزارت نیرو، ۱۳۸۶.

صرفه جویی و مدیریت انرژی در سیستم‌های الکتریکی، سازمان بهره‌وری انرژی ایران، وزارت نیرو، ۱۳۸۶.

طباطبایی، سید مجتبی، محاسبات و تأسیسات ساختمان، انتشارات روزبهان، ۱۳۸۲.

فرمانی، عیسی، بررسی تجارب کشورهای پیشرفته در بهینه‌سازی الکتروموتورها، دفتر بهینه‌سازی مصرف انرژی، وزارت نیرو، ۱۳۸۲.

Cleland, D. I., Ireland, L. R., Project Management: Strategic Design and Implementation, McGraw-Hill Professional, 2002.

Compressing air costs, Best practice program, Energy efficiency office, Department of environment, UK, 2000.

Keulenaer et al, Energy efficient motor driven systems, European copper institute, Brussels, Belgium; 2002.

Sadeghzadeh, S. M., An Energy Efficiency Plan for the Iranian Building Sub-sector, Energy Policy Journal, No 35, 2007, pp 1164-1171.

Turner, W. C. and Doty, S., Energy Management Handbook 2007.