فصل‌نامهٔ مطالعات اقتصاد انرژی/ سال پنجم / شمارهٔ ۱۷/ تابستان ۱۳۸۷/ صفحات ۱۱۲ - ۸۹

برنامه‌ریزی یک‌پارچهٔ راهکارهای صرفه‌جویی مصرف انرژی در بخش صنعت کشور

سید محمد صادق‌زاده

استادیار دانشکدهٔ فنی و مهندسی دانشگاه شاهد sadeghzadeh@shahed.ac.ir

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

چکیده

مطالعهٔ حاضر به مدل‌سازی و بهینه‌یابی مصرف انرژی بخش صنعت کشور به‌صورت یک شبکهٔ یک‌پارچهٔ جریان انرژی (و با کمک مدل بهینه‌سازی جریان انرژی)، می‌پردازد. تعیین اولویت اجرای راهکارهای مدیریت انرژی در بخش صنعت و اثربخشی 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 کارآیی سیستم‌های جذبی، مصرف انرژی به شکل گاز طبیعی نسبت به مصرف انرژی به‌صورت برق، در سیستم تراکمی افزایش می‌یابد، اما با در نظر گرفتن بازدهٔ 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 فرایندها و تجهیزات صنعتی و جایگزینی پهنهٔ 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 مصارف انرژی کاست، اما بر مصرف گاز طبیعی به میزان ۵۰ میلیارد متر مکعب افزوده خواهد شد. با احتساب قیمت‌های یارانه‌ای فروش انرژی، برنامهٔ 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 دهندهٔ نسبت سود به هزینهٔ ۳/۷ است. به‌طور حتم با احتساب هزینه‌های تمام شدهٔ عرضهٔ انرژی و قیمت‌های غیریارانه‌ای 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، بخار و حرارت

۱-مقدمه

بخش صنعت بامصرف 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 درصدمتعلق به گاز طبیعی و ۳۷/۲۹ درصد مربوط به فرآورده‌های نفتی است [1]. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که شاخص مصرف ویژهٔ انرژی [2] در غالب صنایع کشور بین ۳۰ تا ۶۰ درصد بیش‌تر از مقادیر متوسط جهانی است [3]. این امر ناشی از بی‌توجهی به اقدامات مدیریت انرژی شامل استفاده از تکنولوژی‌های ناکارآ، بهره‌برداری نامناسب از فرآیندها و تجهیزات صنعتی و انتخاب نامناسب 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 زمینهٔ توسعهٔ اجرای راه‌کارهای مدیریت انرژی در کشور، حصول اطمینان از اقتصادی بودن این راهکارها با توجه به‌وجود 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 ایدهٔ مدل‌سازی سیستم مرجع انرژی [4]، به‌صورت یک شبکهٔ یک‌پارچهٔ جریان انرژی و با کمک مدل بهینه‌سازی جریان انرژی [5] استفاده شده است. چنین شبکه‌ای امکان ملاحظه تأثیرات متقابل همه‌عوامل بر یکدیگر را فراهم می آورد. شبیه‌سازی و بهینه سازی شبکهٔ 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 - ترازنامهٔ انرژی سال ۱۳۸۵، معاونت امور برق و انرژی، وزارت نیرو، ۱۳۸۶.

2- Specific Energy Consumption.

3 - بازنگری و اصلاح برنامهٔ 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[1]، نرخ داخلی زمان بازگشت سرمایه[2]، زمان بازگشت سرمایه[3]، ارزش خالص زمان حال[4] ارزیابی می‌گردد، تنها به اولویت‌سنجی راه‌کارهای بهینه‌سازی از دیدگاه بخشی پرداخته می‌شود (فرمانی، ۱۳۸۲).

پیشینهٔ تاریخی توسعهٔ روش سیستم مرجع انرژی، به اولین شوک نفتی در دههٔ ۱۹۷۰ و متعاقب آن توسعهٔ مدل‌های مصرف نهایی هم‌چون مدل ایفوم در دههٔ 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 شبکهٔ سیستم‌مرجع 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 به‌انواع انرژی مفید و خدمات انرژی تبدیل می‌شوند و تقاضای برون‌زای انرژی را مانند گرمایش، سرمایش و روشنایی برآورده می‌کنند. بدین‌ترتیب سیستم مرجع انرژی، مجموعهٔ به هم پیوسته‌ای از پیوندهای عملیات انرژی با گره‌های بالادستی و پایین‌دستی است (اسدی، ۱۳۸۶).

در ادامهٔ مقالهٔ، در بخش دوم، شبکهٔ جریان انرژی بخش صنعت با در نظر گرفتن راه‌کارهای مدیریت‌انرژی 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، به‌ترتیب 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 یک‌پارچهٔ بخش صنعت کشور

شبکه یک‌پارچه جریان انرژی بخش صنعت کشور شامل نیروی محرکه، هوای فشرده، سرمایش، بخار و تولید هم‌زمان 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 واسط[1] و فرآیندهای تولید محصولات صنعتی[2]، تقسیم می‌شود.

اختصاص سهم بالایی از مصرف برق صنایع به موتورهای الکتریکی و پتانسیل قابل توجه برای صرفه‌جویی انرژی، انگیزهٔ زیادی برای اجرای راه‌کارهای بهینه‌سازی در این تجهیزات ایجاد می‌کند. در شبکهٔ 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 شبکهٔ انرژی مدل می‌شود. در این شبکه هزینه‌های سرمایه‌گذاری، قیمت انرژی مصرفی و هزینه‌های ناشی از اجرای 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 توان 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 بازدهٔ انرژی، به دو نوع موتورهای بازدهٔ بالا[3] و موتورهای استاندارد[4] تفکیک می‌شوند. هم‌چنین در هر یک از این دو دسته تأثیر استفاده از درایوهای کنترل دور متغیر[5] و درایوهای کنترل دور ثابت[6] با حالت عدم استفاده از کنترل کننده[7]، مقایسه شده است[8].

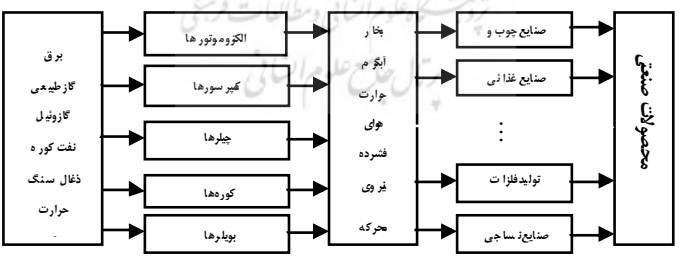
1- Utilities.
2- Processes.
3- High Efficient Motors.
4- Standard Motors.
5- Variable Speed Drive-VSD.
6- Constant Speed Drive-CSD.
7- Non Controlled.
8 -صرفه‌جویی و مدیریت انرژی در سیستم‌های الکتریکی، سازمان بهره‌وری انرژی ایران، وزارت نیرو، ۱۳۸۶

معمولاً فشار هوای فشرده مورد نیاز در فرآیندهای تولید، متفاوت و بسته به کاربرد، حداکثر تا ۲۵ بار است. کمپرسورهای تأمین‌کنندهٔ هوای فشرده از سه نوع رفت و برگشتی[1]، مارپیچی گردشی[2] و توربو کمپرسور یا سانتریفوژ[3] انتخاب می‌شوند. از کمپرسورهای رفت و برگشتی برای دبی[4] کم در محدودهٔ فشارهای کم تا بسیار بالا می‌توان استفاده کرد. از کمپرسورهای مارپیچی در دبی‌های مختلف برای فشارهای کم و متوسط و از کمپرسورهای سانتریفوژ برای دبی‌های زیاد و فشارهای متوسط و بالا استفاده می‌شود. در دبی‌های کم، استفاده از کمپرسورهای سانتریفوژ و در دبی‌های 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 کنندهٔ مناسب موتور، انتخاب صحیح کمپرسور و ظرفیت آن، کاهش دمای هوای ورودی و کاهش فشار تخلیه، از جمله اقدامات صرفه‌جویی انرژی در کمپرسورها هستند (ترنر و داتی[5]، ۲۰۰۷ و کلی لند و آیرلند[6]، ۲۰۰۲). با توجه به توضیحات فوق، شبکهٔ جریان انرژی هوای فشرده مطابق شکل (۳) تدوین شده است. در این شبکه با توجه به سطوح مختلف دبی‌مورد نیاز، کمپرسورها به سه دستهٔ 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 شده‌اند. در دستهٔ اول دو نوع کمپرسورهای رفت و برگشتی و مارپیچی گردشی، در دستهٔ دوم سه نوع کمپرسورهای رفت و برگشتی، مارپیچی و سانتریفوژ و در دستهٔ سوم دو نوع کمپرسور مارپیچی گردشی و سانتریفوژ در نظر گرفته شده‌اند. هم‌چنین در شبکهٔ توزیع هوای فشرده، حذف نشتی سیستم توزیع و استفاده از کنترل‌کنندهٔ موتور الکتریکی کمپرسورها، به‌عنوان راهکارهای بهینه‌سازی گنجانده شده‌اند.

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 پوستهٔ اواپراتور که فشار آن کم‌تر از فشار جو است تبخیر شده و حرارت نهان تبخیر خود را از آب جاری در لوله‌ها گرفته و آن‌را خنک

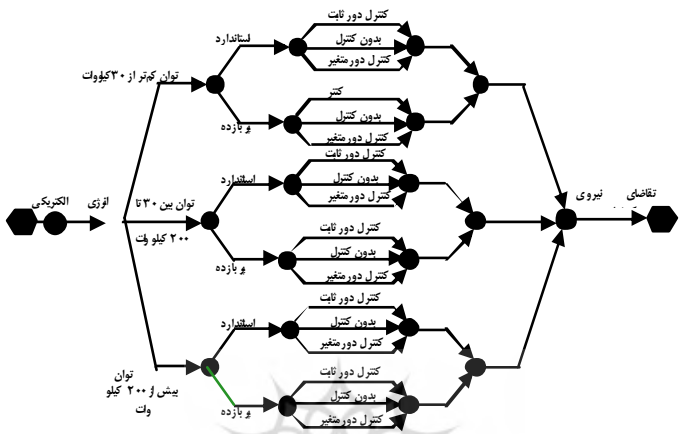
1- reciprocating.
2- rotary screw.
3- centrifugal.
4- flow.
5 - Turner and Doty.
6 - Cleland and Ireland.

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 به‌تدریج تقطیر و پس از عبور از شیر انبساط و تقلیل فشار، بار دیگر به لوله‌های اواپراتور 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 اواپراتور، جذب کننده، ژنراتور کندانسور، مبدل حرارتی و پمپ تشکیل شده‌اند. در این سیستم‌ها بخار مبرد که در اواپراتور تولید شده ومعمو لاً 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 به‌صورت بخار درآمده و از محلول جدا شود. محلول باقیماندهٔ 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 اواپراتور می رود. در داخل اواپراتور گرمای نهان تبخیر مایع مبرد توسط آب جاری در لوله‌ها تأمین می شود. 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 می شود (کئوله نائر و همکاران[1]، ۲۰۰۲) . شبکهٔ انرژی پیشنهادی تأمین سرمایش فرآیندهای صنعتی، مطابق شکل (۴) است.

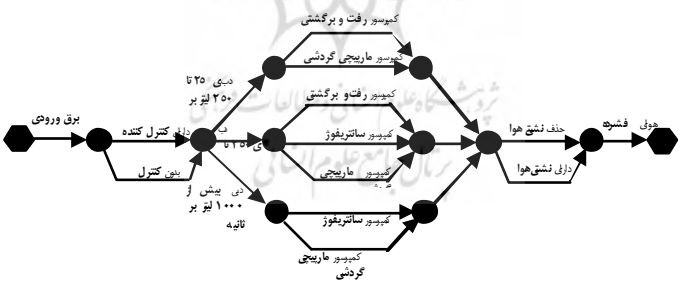


شکل ۱- اجزای شبکه جریان انرژی بخش صنعت کشور پیشنهاد و تحقیق شده در مقاله

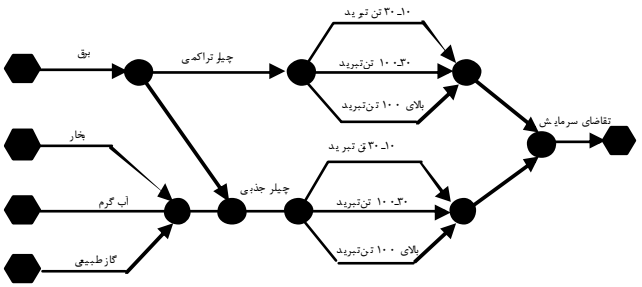
1 - Keulenær et al.



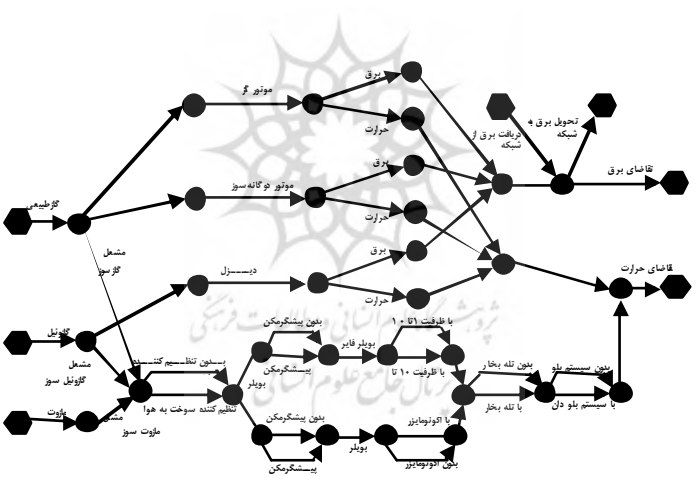
شکل ۲ - بخش موتورهای الکتریکی شبکهٔ شکل ۱



شکل ۳ - بخش‌هوای فشردهٔ شبکهٔ‌شکل ۱



شکل ۴- بخش تأمین سرمایش شبکهٔ شکل ۱



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

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

صنعتی می شود[1]. 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، اعم از بهره گیری 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 گازطبیعی، گازوئیل و مازوت به‌عنوان سوخت مهیا است. روش دیگری که می‌تواند برای تأمین بخار واحدهای صنعتی مورد استفاده قرار گیرد، بهره گیری 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، شبکهٔ انرژی تأمین بخار فرآیندهای صنعتی مطابق شکل (۵) پیشنهاد شده است.

لازم به توضیح است که در نقاط ورودی به شبکهٔ انرژی شکل (۱)، قیمت‌های انرژی همان قیمت‌های یارانه ای 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 هزینهٔ تمام شدهٔ 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 بهینه یابی

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

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

قیود فنی و اجتماعی است. به‌دلیل استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی برای بهینه‌یابی از یک تابع خطی و یک‌دسته معادلات و نامعادلات خطی به‌ترتیب به‌عنوان تابع هدف و قیود مسئله بهینه‌یابی، استفاده شده است.

تابع هدف [1]، مجموع هزینه‌های شبکهٔ 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) به‌صورت یک مجموع است. قیود حاکم بر مسئله بهینه‌یابی، شامل محدودیت‌های جریان انرژی عملیات انرژی، تراز انرژی گره‌ای [2]، تراز تقاضا، ظرفیت انرژی، انتشار آلاینده‌ها، سقف تأمین سرمایه، تخصیص بازار، تخصیص تولید و سایر محدویت‌ها، قوانین، مقررات و الزامات اجتماعی است.

بهینه‌یابی تابع هزینه با رعایت محدودیت‌های فنی -اقتصادی ذکر شده، به پرسش‌هایی هم‌چون ترکیب بهینهٔ 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 مصرف‌کنندهٔ برق در این بخش محسوب می‌شوند (صادق زاده [3]، ۲۰۰۷). به‌دلیل این اهمیت، اولویت‌های بهینه‌سازی این بخش برای یک دورهٔ ۲۰ ساله تعیین شده است. نمودار (۱) میزان کاهش مصرف برق موتورهای الکتریکی صنعتی طی سال‌های برنامهٔ بهینهٔ پیشنهاد شده در این مقاله در اثر بهره گیری از راه‌کارهای بهینه‌سازی، را نشان می دهد، به گونه‌ای که طی یک دورهٔ ۲۰ ساله می‌توان ۷۴/۸ میلیارد کیلووات ساعت، معادل ۵۷۰ مگاوات، در ظرفیت نیروگاهی صرفه‌جویی کرد. با فرض هزینهٔ تمام شدهٔ ۲۰۰ ریال برکیلووات 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

بدین‌ترتیب 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 شبکهٔ نیرو محرکهٔ صنعتی کشور در طول دورهٔ برنامهٔ پیشنهادی، به میزان ۱۴۰۰ میلیارد ریال بیش‌تر از سناریوی تداوم الگوی فعلی است. با وجود آن‌که هزینهٔ سرمایه‌گذاری در شبکهٔ بهینه افزایش یافته، اما نمودار (۳) نشان می دهد که مجموع هزینه سرمایه‌گذاری و انرژی سیستم در شبکهٔ بهینه، ۱۴/۷ هزار میلیارد ریال کم‌تر از سناریوی ادامهٔ روند فعلی است. سهم موتورهای الکتریکی ظرفیت پایین، متوسط و بالا در صرفه‌جویی انرژی و سرمایه بری در طول برنامه در جدول (۱) آمده است.

۵ - الگوی تأمین هوای فشردهٔ صنایع

کمپرسورها بیش از ۵ ٪ مصرف برق صنعت کشور را به‌خود اختصاص می‌دهند[1]. بدین‌ترتیب در صورت اعمال راه‌کارهای بهینه‌سازی، صرفه‌جویی اقتصادی حاصل، قابل توجه خواهد بود. نمودار (۵)، سهم انواع مختلف کمپرسور در تأمین هوای فشردهٔ مورد نیاز صنایع در سناریوی برنامهٔ بهینه و سناریوی تداوم الگوی موجود را نشان می دهد. همان‌گونه که از نمودار پیداست، عمدهٔ هوای فشردهٔ مورد نیاز در طرح بهینه، از طریق کمپرسورهای رفت‌و 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 می دهند. همان‌گونه که از نمودار (۵) ملاحظه می‌شود با بهره گیری از راه‌کارهای بهینه سازی 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 نتیجهٔ بهره‌گیری از راه‌کارهای بهینه سازی مصرف

1 - بازنگری و اصلاح برنامهٔ 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 برنامهٔ ۲۰ ساله، معادل ۳۰ درصد است.

نمودار (۶)، سرمایه‌گذاری مورد نیاز در زمینهٔ اجرای راه‌کارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی کمپرسورها را نشان می دهد. مجموع سرمایهٔ اضافی مورد نیاز در برنامهٔ بهینه برای یک دورهٔ ۲۰ ساله، بالغ بر ۱/۲ هزار میلیارد ریال است. مهم‌ترین عاملی که سرمایه‌گذاری در طرح‌های بهینه سازی را توجیه می‌کند، اطمینان از اقتصادی بودن آنهاست. با استفاده از نمودار (۷)، میزان صرفهٔ اقتصادی دو سناریو با یکدیگر قابل مقایسه هستند. همان‌گونه که از نمودار ۷ ملاحظه می‌شود، در همهٔ سال‌های مورد مطالعه، سود قابل توجهی نصیب بخش صنعت می‌شود، که مجموع آن حدود ۹ هزار میلیارد ریال است.

۶-الگوی تأمین‌سرمایش صنعتی

حدود ۲/۵ درصد از برق مصرفی بخش صنعت در سال ۱۳۸۵ صرف تأمین سرمایش در فرایندهای مختلف می‌شود[1]. در صورت صرفه‌جویی در مصرف این انرژی و یا جایگزینی آن به‌وسیلهٔ گاز طبیعی، می‌توان بر بهره وری اقتصادی این بخش افزود. نتایج حاصل از بهینه‌سازی شبکهٔ شکل (۴) و مؤید آن است که جایگزینی چیلرهای جذبی به جای چیلرهای تراکمی کاملامقرون به‌صرفه 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 فرآیندهای خاص است. بدین‌ترتیب سهم چیلرهای جذبی در تولید سرمایش مورد نیاز فرایندها، در طول دورهٔ ۲۰ سالهٔ برنامهٔ 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 بهینهٔ شبکهٔ انرژی بخش صنعت، بر تأمین نیاز سرمایش این بخش با بهره‌گیری هرچه بیش‌تر از چیلرهای جذبی، تاکید

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

دارد. از آن‌جا که ضریب کارآیی [1] چیلرهای جذبی کم‌تر از چیلرهای تراکمی است، مقدار انرژی مصرفی در طرح بهینه بیش از ادامهٔ روند موجود است. اما به‌دلیل این‌که چیلرهای جذبی مصرف کننده گاز (و مقدار اندکی برق) هستند (در مقایسه با چیلرهای تراکمی که انرژی گران‌تر برق را مصرف می کنند)، هزینهٔ انرژی طرح بهینه نسبت به ادامه روند موجود کم‌تر است. همان‌گونه که از نمودار (۸) ملاحظه می شود، به‌دلیل بهره‌گیری گسترده‌از چیلرهای جذبی در الگوی بهینه و با توجه به پائین‌تر بودن قیمت این نوع چیلرها نسبت به چیلرهای تراکمی، به‌خصوص در ظرفیت‌های بالا، هزینهٔ سرمایه‌گذاری در طرح بهینه نسبت به‌ادامهٔ روند موجود کاهش می یابد، به گونه‌ای که در پایان دورهٔ ۲۰ سالهٔ برنامه‌ریزی، حدود ۵۱۰ میلیارد ریال در سرمایه گذاری صرفه‌جویی خواهد شد. از سوی دیگر به‌دلیل بالاتر بودن ضریب کارآیی 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، هزینهٔ انرژی تأمین سرمایش طرح بهینه نسبت به ادامهٔ روند موجود کاهش می یابد. این موضوع در نمودار (۹) به تفکیک سال‌های اصلی دورهٔ مورد مطالعه نشان داده شده است. در برنامهٔ بهینه بیش از ۲/۵ هزار میلیارد ریال در مقایسه با هزینهٔ انرژی تداوم الگوی موجود، صرفه‌جویی می شود.

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

چیلرهای جذبی در دوره‌های مختلف برنامهٔ پیشنهادی، از ۶۰ تا ۱۰۰ درصد سرمایه‌گذاری صرف شده برای تأمین سرمایش را به خوداختصاص می دهند. جدول (۲)، تأثیر هر یک از ظرفیت‌های کوچک، متوسط و بزرگ چیلری جذبی بر صرفه‌جویی انرژی و کاهش سرمایه‌گذاری سیستم تأمین سرمایش بخش صنعت را نشان می دهد.

1 - Coefficient of Performance – COP.

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 بشکه معادل نفت خام از طریق سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود، که حدود ۶۰ درصد این میزان صرف تأمین بخار فرآیندهای صنعتی می شود[1]. بدین‌ترتیب بهینه‌سازی انرژی در فرآیند تولید، بخار تأثیر به‌سزایی در کاهش هزینه‌های مصرف سوخت‌های فسیلی می گذارد. جدول (۳)، میزان حامل‌های انرژی مورد نیاز برای تأمین بخار صنعتی طی دورهٔ ۲۰ ساله مطالعه به‌ازای دو سناریوی بهینه و تداوم الگوی موجود تأمین بخار را نشان می دهد. با احتساب هزینه فروش انواع حامل‌های انرژی به صنایع، ارزش انرژی صرفه‌جویی شدهٔ حاصل از اجرای راه‌کارهای بهینه‌سازی در شبکه شکل (۵)، در طی دورهٔ ۲۰ سالهٔ مطالعه، بیش از ۲۴ هزار میلیارد ریال است. لازم به ذکر است که در برنامهٔ بهینه، سهم گاز طبیعی در تأمین مصرف سوخت روندی صعودی دارد به گونه‌ای که در پایان برنامه به ۹۰ درصد می رسد. این در حالی است که در پایان دورهٔ، سهم مازوت به ۱۰ درصد و سهم گازوئیل به صفر کاهش می یابد.

جدول ۱- سهم متوسط راه‌کارهای مختلف در برنامهٔ 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 سرمایه گذاری

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

1 - بازنگری و اصلاح برنامهٔ 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 دورهٔ ۲۰ سالهٔ برنامه برای تأمین بخار و برق زیر بخش صنعت کشور

سناریو	گاز طبیعی (میلیون تن معادل نفت خام)	گازوئیل (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)
ادامهٔ روند موجود	۲۵۹/۷	۹۰/۵	۱۰۰/۳	۴۶۸	۵۶۳/۵
طرح بهینه‌سازی	۳۰۵/۵	۳۵/۲	۸۰/۷	۳۸۰	۵۱۳/۲

جدول ۴ - خلاصه‌ٔ ی راه‌کارهای مدیریت انرژی در بخش صنعت کشور

	صرفه‌جویی					ارزش صرفه‌جویی (میلیون دلار)	سرمایه‌گذاری (میلیون دلار)	نسبت سود به هزینه
	برق (میلیارد کیلووات ساعت)	گاز طبیعی (میلیارد متر مکعب)	گازوئیل (میلیون تن معادل نفت خام)	مازوت (میلیون تن معادل نفت خام)	مجموع (میلیون تن معادل‌نفت خام)			
تولید نیروی محرکه	۷۴/۸	-	-	-	۱۸/۱۶	۱۹۰۰	۱۶۵	۱۱/۵
تولید هوای فشرده	۵۲	-	-	-	۱۲/۶۲	۱۲۰۰	۱۴۲	۸/۴
تولید سرمایش	۱۵/۴	- ۲/۵	-	-	۷۲	۳۰۲	۶۰	۵
تولید بخار و تولید همزمان	۸۸	- ۴۵/۸	۵۵/۳	۱۹/۶	۵۰/۳	۳۰۰۰	۱۵۱۳	۲
صرفه‌جویی کل	۲۳۰	- ۴۸/۳	۵۵/۳	۱۹/۶	۱۷۹۷۸	۶۴۰۲	۱۷۶۰	۳/۶
ارزش صرفه‌جویی (میلیون دلار)	۵۷۵۰	- ۹۰۰	۱۳۳۲	۲۵۰	۲۵۰			

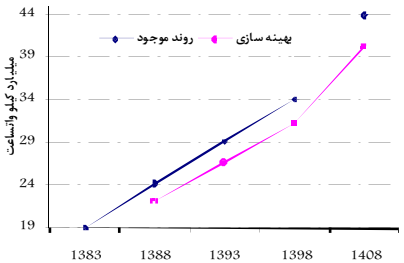
* ارقام منفی به معنی افزایش مصرف‌اند

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

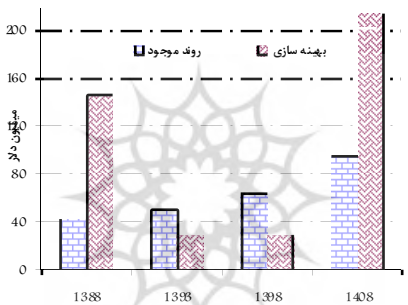
سراسری برق پیش‌رود. مطابق نمودار (۱۴)، پیشنهاد می‌شود که صنایع کشور برای تأمین برق مورد نیاز خود نسبت به گاز سوز کردن دیزل ژنراتورهای موجود اقدام و در نصب ظرفیت‌های جدید، فقط از موتور ژنراتورهای گازسوز ویا دوگانه‌سوز با مصرف سوخت غالب گاز طبیعی استفاده کنند. هم‌چنین نصب تله‌های بخار، تنظیم نسبت سوخت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

۸- نتایج کمّی و تحلیل حساسیت نسبت به هزینه‌های اجرای راهکار

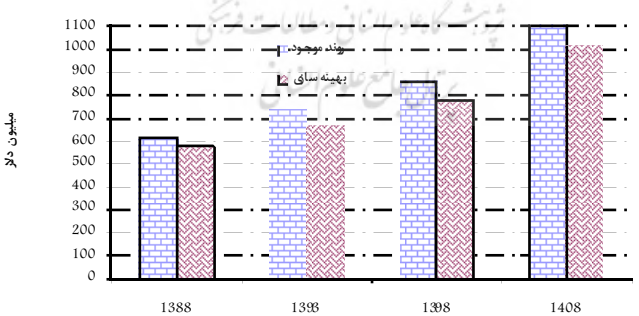
نتایج کمی بهینه‌سازی بخش صنعت کشور طی دورهٔ ۲۰ سالهٔ مطالعه در جدول (۴) خلاصه شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، بااجرای طرح بهینهٔ پیشنهادی، بیش‌ترین صرفه‌جویی در انرژی الکتریکی حاصل می شود. ۳۸/۲ درصد از این صرفه‌جویی حاصل توسعهٔ سیستم تولید هم‌زمان برق و حرارت به‌کمک موتور ژنراتورهای گازسوز، با مجموع 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 به‌ازای قیمت یارانه‌ای خرید انرژی بنگاه‌های صنعتی برقرارند و بدیهی است که از دید اقتصاد ملی دارای اولویت بالاتری خواهند بود.



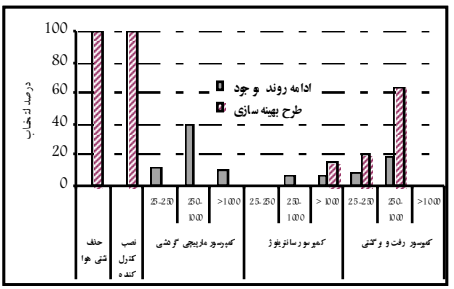
نمودار ۱ – مصرف سالانهٔ برق در الکتروموتورهای بخش صنعت



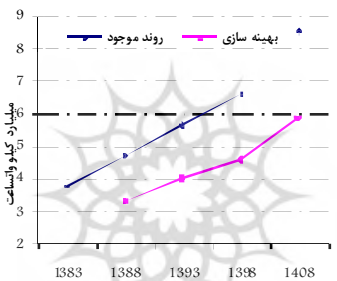
نمودار ۲ – سرمایهٔ مورد نیاز توسعهٔ موتورهای صنعت کشور



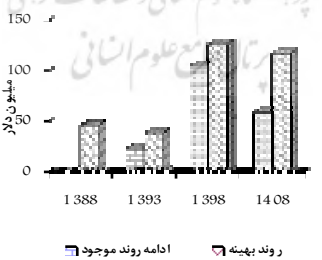
نمودار ۳ –مجموع هزینه‌های سرمایه‌گذاری و مصرف لرژی الکتروموتورها



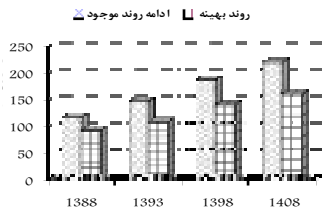
نمودار ۴ - تأمین هوای فشرده از انواع کمپرسور در دبی‌های مختلف



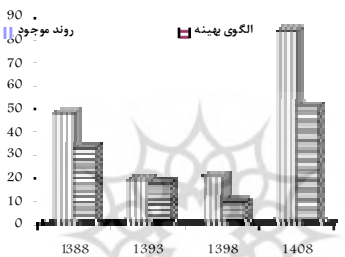
نمودار ۵ - مقایسهٔ میزان برق مصرفی طی سال‌های مطالعه



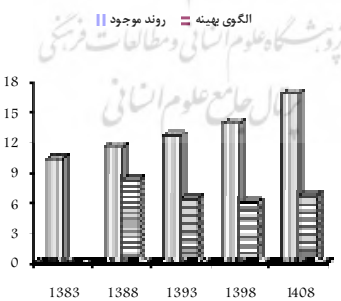
نمودار ۶ -سرمایه‌گذاری مورد نیاز برای تأمین هوای فشردهٔ بخش صنعت



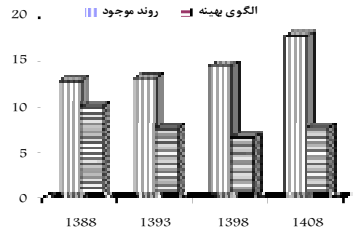
نمودار ۷ – صرفه‌جویی حاصل از بهینه سازی شبکهٔ انرژی کمپرسورهای صنعت (هزینهٔسوخت+هزینهٔ سرمایه‌گذاری)



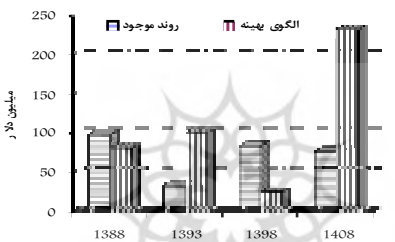
نمودار ۸ – سرمایه گذاری مورد نیاز برای تأمین سرمایش



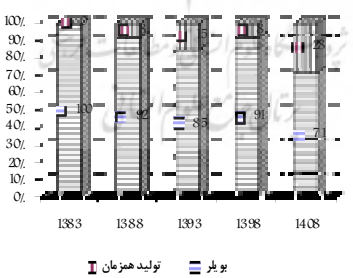
نمودار ۹ –هزینه‌های انرژی تأمین سرمایش صنعتی



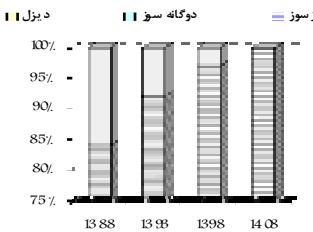
نمودار ۱۰ - مجموع هزینهٔ انرژی و سرمایه گذاری تأمین سرمایش صنعتی



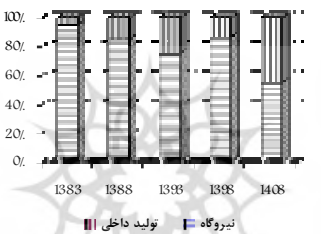
نمودار ۱۱ - سرمایه‌گذاری مورد نیاز برای تأمین بخار



نمودار ۱۲ -سهم روش‌های مختلف در تولید بخار برنامهٔ بهینه



نمودار ۱۳ - سهم روش‌های مختلف در تأمین بق 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 به‌کمک مدل بهینه‌سازی جریان انرژی، واجد مزایایی هم‌چون رعایت تصمیم‌سازی یک‌پارچه در مدیریت انرژی است. بدین منظور شبکهٔ جریان انرژی بخش صنعت کشور به‌صورت مدل‌سازی و برای یک افق ۲۰ ساله بهینه‌یابی شده است. در برنامهٔ پیشنهادی، ۷۸/۴ درصد از ارزش انرژی صرفه‌جویی شده متعلق به برق با ارزش ۴۸/۶ هزار میلیارد ریال، ۱۸/۲ درصد انرژی صرفه‌جویی شده متعلق به گازوئیل باارزش ۱۱/۳ هزار میلیارد ریال و ۳/۴ درصد انرژی صرفه‌جویی شده متعلق به مازوت باارزش ۲/۱ هزار میلیارد ریال

است. به‌دلیل جایگزینی حامل‌های انرژی به‌وسیلهٔ گاز طبیعی، در مجموع ۷/۷ هزار میلیارد ریال، هزینهٔ مصرف گاز طبیعی افزایش می‌یابد.

پراثرترین راه‌کار بهینه‌سازی بخش صنعت کشور توسعهٔ سیستم تولید هم‌زمان برق و بخار است. اجرای راهکارهای صرفه‌جویی انرژی در بویلرهای صنعتی و توسعهٔ 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 سرمایش در رتبه‌های بعدی جذب سرمایه هستند. این در حالی است که الکتروموتورها، بخار و سیستم تولید هم‌زمان، هوای فشرده و سرمایش 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 سرمایش 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 برنامهٔ پیشنهادی در یک دورهٔ ۲۰ ساله. با صرف هزینهٔ ۱۵ هزار میلیارد ریالی، صرفه‌جویی انرژی معادل ۱۷۹/۷۸ میلیون تن معادل نفت خام به‌ارزش ۵۴/۴ هزار میلیارد ریال، حاصل می شود. 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 سرمایش استفاده از چیلرهای جذبی به‌جای انواع تراکمی توصیه شده است. به‌دلیل پایین بودن ضریب کارآیی سیستم‌های جذبی، مصرف انرژی به شکل گاز طبیعی، ۶۰ درصد بیش‌تر از مصرف انرژی به‌صورت برق در سیستم تراکمی است، اما با توجه به بازدهٔ 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 می شود.

۲-۹- سیاست‌های پیشنهادی

براساس موارد فوق، مهم‌ترین سیاست‌های برنامهٔ بهینه در زمینه موتورهای الکتریکی، استفاده از موتورهای پربازده به‌جای انواع استاندارد و نصب درایوهای کنترل سرعت است. استفاده از موتورهای الکتریکی پر بازده و جایگزینی آن‌ها با انواع

استاندارد، حتی با افزایش سرمایه گذاری تا ۲ برابر مقدار فعلی هم‌چنان اقتصادی است. برای توان‌های کم‌تر از ۲۰۰ کیلووات این مزیت اقتصادی تا ۳ برابر شدن هزینهٔ سرمایه‌گذاری هم‌چنان برقرار است. نصب درایوهای کنترل کنندهٔ دور و درایوهای سرعت ثابت در همهٔ توان‌ها، اقتصادی است.

به منظور تأمین هوای فشردهٔ صنعتی، به‌کارگیری کمپرسورهای رفت و برگشتی در دبی کم‌تر 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 به‌صرفه است. نصب کنترل کننده بر روی موتور الکتریکی کمپرسورها تا حد ۵ برابر شدن هزینهٔ سرمایه‌گذاری آن‌ها هم‌چنان اقتصادی است. حذف نشتی هوا در سیستم توزیع هوای فشرده، از توصیه‌های اصلی برنامه است. جایگزینی چیلرهای تراکمی موجود با چیلرهای جذبی گازسوز و نصب چیلرهای جذبی در ظرفیت‌سازی‌های آتی، مهم‌ترین پیشنهاد برنامهٔ بهینه در تأمین سرمایش صنعتی است.

بهره‌گیری از راه‌کارهای بهینه‌سازی در تولید بخار صنعتی هم‌چون استفاده از تنظیم‌کنندهٔ نسبت سوخت به هوا در مشعل‌ها، پیش گرمایش هوای ورودی، نصب اکونومایزر و تله بخارکامل مقرون به‌صرفه بوده و برنامه، بر استفادهٔ هرچه بیش‌تر و سریع‌تر از این راه‌کارها تأکید دارد. هم‌چنین اولویت سوخت‌های مورد استفاده به‌ترتیب گاز طبیعی، نفت کوره و گازوئیل است. تبدیل سوخت دیزل ژنراتورهای موجود به گاز طبیعی و استفاده از موتور ژنراتورهای گازسوز در ظرفیت سازی‌های آتی تولید برق در صنایع و نیز به‌کارگیری هرچه بیش‌تر تجهیزات بازیافت حرارت در موتور ژنراتورها به منظور تولید بخار در رقابت با بویلرها، از دیگر نتایج مهم برنامهٔ پیشنهادی است.

فهرست منابع

اسدی، محمد حسن، تدوین مدل بهینه‌سازی شبکهٔ یک‌پارچه انرژی برق، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه شاهد، دانشکدهٔ فنی و مهندسی، شهریورماه ۱۳۸۶.

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

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

صرفه‌جویی 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 مصرف‌انرژی، 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.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی