مدیریت تقاضای مصرف برق

محمد حسین پرکار
شرکت خدمات مهندسی برق مشانیر

چکیده :

یک شرکت برق علاوه بر تلاش برای بهبود عرضه برق وتأمین تقاضای مصرف مشترکین خود در ساعات قله‌بار از طریق تدارکات واستفاده از منابع خاص تولید انرژی مانند توربینهای گازی یا آبی و بخصوص تلمبه ذخیره‌ای ، و یا از راه خرید و مبادله انرژی با شرکتها یا مؤسساتی که توانائی تحویل برق در ساعات قله بار به آن شرکت را دارند ، میتواند با وضع مقررات و شرایط جاذب اقتصادی در الگوی مصرف برق مشترکین خود تأثیر گذاشته و آنان را به تقلیل مصرف در ساعات پرباری وازدیاد مصرف در ساعات کم باری بعد از نیمه شب تشویق و ترغیب نماید. موارد عملی برای رسیدن به‌این هدف عبارت از وضع تعرفه ارزانتر برای مصارف برق بعد ازنیمه شب و دادن آگاهی لازم به مصرف کنندگان به منظور ایجاد عادت به مصرف کمتر در ساعات قله‌بار میباشد. در این مقاله موارد فوق بطور مشروح تحلیل و بررسی شده است.

شرح مقاله :

بهره‌برداری اقتصادی و بهینه از تأسیسات شبکه برق اعم از نیروگاه‌ها یا پستها و خطوط انتقال انرژی در صورتی تحقق میابد که جمع تقاضا یعنی دیماند همزمان در ساعات شبانه‌روز تقریبا" یکنواخت بوده و تغییرات آن حداقل باشد.

این امر از یک طرف موجب افزایش ضریب بار و در نتیجه استفاده بیشتر از تاسیسات خواهد بود و از طرف دیگر با تقلیل بار در قله سبب افزایش قدرت ذخیره در تولید میشود ، که هم پایداری سیستم را در مواقع خروج اضطراری بعضی از واحدهای بزرگ از مدار افزایش میدهد و هم موجب صرفه‌جوئی در سرمایه گذاری برای تولید بیشتر در آینده نزدیک خواهد شد .اصلاح منحنی مصرف در جهت خطی و یکنواخت کردن تقاضای مصرف برق به دو صورت زیر امکان پذیر است.

الف- اعمال ضوابط بازدارنده مصرف در ساعات پر باری شبکه از طرف فروشندگان برق

ب - ایجاد انگیزه برای مصرف در ساعات کم باری با تقلیل تعرفه در این ساعات

نتیجه مطلوب وقتی بدست می‌آید که بخشی از مصارف ساعات قله بار به ساعات کم باری بعد از نیمه شب منتقل گردد. البته حل این مشکل توسط خود تولید کنندگان برق با صرف هزینه‌های زیادی امکان پذیر است و آن احداث نیروگاههای توربین گازی ذخیره و یا احداث نیروگاههای تلمبه ذخیره‌ای است که میتواند با مصرف انرژی برق در ساعات کم باری و تبدیل آن به انرژی پتانسیل ، ذخیره آب در بالادست نیروگاه را افزایش دهد و در ساعت پرباری به حالت توربین آبی این انرژی را به برق تبدیل کرده وبه شبکه تحویل نماید. مقدار هزینه‌هائی که در این راه‌ها صرف میشود خود معیار خوبی برای تعیین مقدار اقتصادی حداکثر تخفیف در تعرفه مصرف کنندگان در ساعات کم باری میباشد.

<u>۱- نقش نیروگاههای تلمبه ذخیره‌ای :</u>

در صورتی که واحدهای تلمبه ذخیره‌ای بطور خودکار و از طریق تغییرات سریع بار یعنی تغییرات فرکانس شبکه فرمان گیرد میتواند علاوه بر نقش اصلی تامین برق در ساعات قله بار ، وظایف تنظیم بار از راه جبران تغییرات سریع آن در سایر اوقات روز را نیز به شرح زیر عهده‌دار شود .

الف - بعنوان ذخیره کردان در مواقعی که واحدهای تولیدی بزرگ بطور اضطراری از مدار خارج میشوند تامین فوری کمبود تولید را بر عهده گیرد .

ب - بعنوان مصرف کننده قوی در مواقعی که مصرف کننده‌های بزرگ یا خطوط و پستها بدلیل اتفاقاتی از مدار خارج میشوند بصورت مصرف کننده وارد مدار شده از ضرورت تقلیل فوری بار واحدها بکاهد. این امر بخصوص در شبکه‌ای که دارای نیروگاههای اتمی با تولید نسبتا" ثابت است مورد نیاز میباشد.

۲- هزینه برق نیروگاههای تلمبه ذخیره‌ای :

در اینجا بعنوان نمونه واقعی نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای سیاه بیشه مورد مطالعه قرار گرفته است. راندمان کلی این نیروگاه در حالت تولید برق حدود ۸۹/۵ درصد و درحالت تلمبه کردن آب برای ذخیره کردن در بالادست حدود ۸۶/۵ درصد است. لذا بازده کلی دوبار تبدیل انرژی معادل حاصل ضرب آن دو یعنی ۷۷/۴۲ در صد است و اگر ۳/۷ در صد تلفات انتقال انرژی از نیروگاه بخاری تا این نیروگاه را نیز منظور کنیم (بازده انتقال ۹۶/۳ درصد) بازده نهائی انتقال و تبدیل ۷۴/۵۵ درصد خواهد بود. اگر در محاسبات مربوط به برآورد هزینه هر دلار معادل ۶۰۰ ریال فرض شود ، هزینه‌های ثابت و جاری تولید برق نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای بشرح زیر خواهد بود.

۱-۲- هزینه ثابت :

هزینه ثابت سرمایه‌گذاری در سال ۱۳۷۰ حدود ۴۵۴۰۹۳ ریال به ازاء هر کیلو-وات قدرت نصب شده بوده‌است. اگر متوسط تولید روزانه در حالت تنظیم بار که بعلت زمان لازم برای ذخیره کردن آب محدود است ۶ ساعت کار پربار فرض شود ، ضریب بار روزانه آن که برای سراسر سال ثابت فرض میشود برابر ۰/۲۵ (۰/۲۵ =۲۴ : ۶) خواهد بود. همچنین اگر عمر تأسیسات این نیروگاه ۴۰ سال و از توقفهای تعمیراتی آن هم صرفنظر شود مقدار انرژی حاصل از هر کیلو وات قدرت آن در این مدت چنین خواهد بود :

کیلووات ساعت ۸۷۶۰۰ = ۰/۲۵ × ۲۴ × ۳۶۵ × ۴۰

استهلاک سود وسرمایه هر کیلو وات قدرت در طول ۴۰ سال با فرض نرخ بهره ۶ درصد در سال عبارت خواهد بود از :

ریال ۴۶۷۰۶۷۲ = (۱/۰۶) × ۴۵۴۰۹۳

لذا هزینه شابت برای هر کیلو واتساعت انرژی برابر میشود با :

ریال ۴۶۷۰۶۷۲ ÷ ۸۷۶۰۰ = ۵۳/۳۲

۲-۳- هزینه جاری :

هزینه بهره‌برداری از نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای در صورتیکه کاملا خودکار باشد جزئی است و در اینجا از آن صرفنظر شده‌است . هزینه تعمیرات و نگهداری حدود یک درصد سرمایه گذاری اولیه در ازاء هر سال کارکرد میباشد. در مورد نیروگاه سیاه بیشه این رقم به ازاء هر کیلووات ساعت برق تولیدی برابر است با :

$$\text{ریال} \quad ۲/۰۷ = \left(۱۰^{۶} \times ۶ \times ۳۶۵ \right) \div \frac{۱ \times ۴۵۴۰۰۰ \times ۱۰^{۶}}{۱۰۰}$$

برق مصرفی این نیروگاه درموقع ذخیره کردن آب در شرایط فعلی شبکه سراسری به عهده نیروگاههای توربین بخاری است. هزینه‌های جاری نیروگاه توربین بخاری طبق آمارهای توانیر که با قیمت سوخت دولتی (هر دلار معادل ۷۰ ریال) محاسبه شده معادل ۲/۱ ریال در کیلوواتساعت بوده وهزینه شابت استهلاک آن در سال ۱۳۷۰ با فرض سرمایه‌گذاری ۶۵۰ دلار در کیلووات قدرت و نرخ بهره ۶ درصد در سال و زمان استهلاک ۲۵ ساله و ضریب بار سالانه ۶۰ درصد بمقدار ۱۲/۷۴ ریال در کیلوواتساعت ارزیابی میشود. در نتیجه هزینه برق مصرفی نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای با بازده نهائی ۷۴/۵۵ درصد برابر ۱۵/۹۸ ریال برای هر کیلووات ساعت برق تولیدی و کل هزینه جاری معادل ۱۸/۰۸ ریال در کیلووات ساعت میباشد.

۲-۴ کل هزینه برق تولیدی :

بدین ترتیب قیمت تمام شده برق تولیدی نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای از جمع هزینه‌های شابت و جاری فوق بمقدار ۷۱/۴ ریال درکیلوواتساعت بدست می‌آید. هزینه در قله‌بار از طریق توربینهای بخاری یا گازی با شابت نگه‌داشتن فرض ۶ ساعت کار پر بار برای قله بار یعنی ضریب بار ۲۵ درصد در روز ، محاسبه شده است.

۳- هزینه برق نیروگاه توربین بخاری برای قله بار :

در بند ۲-۲ ذکر شد که هزینه ثابت سرمایه‌گذاری این نوع نیروگاه با ضریب بار سالانه ۶۰ درصد حدود ۱۲/۷۴ ریال درکیلوواتساعت است. برای ضریب بار ۲۵ درصد این رقم به ۳۰/۵۷ ریال بالغ میگردد. بافرض اینکه هزینه جاری همان ۲/۱ ریال باشد جمع هزینه برق تولیدی در قله بار معادل ۳۲/۶۷ ریال خواهد بود.

۴- هزینه برق توربین گازی برای تأمین مصرف قله بار :

برای سهولت محاسبه ، هزینه جاری را معادل سایر توربینهای گازی که در تأمین بار پایه و قله شرکت دارند و معادل ۲/۷ ریال در هر کیلوواتساعت توسط شرکت توانیر برآورد شده فرض مینمائیم. باتوجه به اینکه عمر توربینهای گازی ۱۵۰۰۰۰ ساعت از طرف سازندگان عنوان میشود و برای هر توقف توربین ۱۲ ساعت کارکرد منظور میگردد ، لذا با فرض روزانه یک توقف و راه اندازی عمر توربین نصف آن مقدار یعنی ۷۵۰۰۰ ساعت خواهد بود .

هزینه ثابت سرمایه‌گذاری در واحدهای ۳۷/۵ مگاواتی معادل ۱۰/۰۸ ریال درکیلوواتساعت و در واحدهای ۱۱۶/۶ مگاواتی حدود ۷/۶۸ ریال در کیلوواتساعت ، و بطور متوسط ۸/۸۸ ریال برآورد میشود. لذا کل هزینه تولید برق در قله بار معادل ۱۱/۵۸ ریال درکیلوواتساعت خواهد بود.

۵- مقایسه روشهای تولید برق قله بار :

از ملاحظات فوق نتیجه میشود که برای تأمین برق قله بار توربین گازی ارزانترین راه حل میباشد.

نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای	۷۱/۴۰ ریال در کیلو واتساعت
نیروگاه توربین بخاری	۳۲/۶۷ ریال در کیلو واتساعت
نیروگاه توربین گازی	۱۱/۵۸ ریال در کیلو واتساعت

جدول مقایسه هزینه تولید برق در قله بار

اگر هزینه جاری توربین گازی را کلا" مربوط به سوخت فرض کرده و مبنای محاسبه قیمت را از دلاری ۷۰ ریال به ۶۰۰ ریال عوض کنیم مقدار این هزینه

معادل ۲۳/۱۴ ریال شده و کل هزینه تولید برابر ۳۲/۰۲ ریال در کیلوواتساعت خواهد شد. متاسفانه بعلت عدم دسترسی به هزینه‌های انتقال وتوزیع هر کیلوواتساعت بین مشترکین ، این هزینه‌ها منظور نشده است.

۶- مشخصه‌های فعلی حداکثر دیماند همزمان مشترکین :

حداکثر بار همزمان شبکه سراسری کشور در سال ۱۳۷۰ در روز ۲۹ مرداد معادل ۹۸۲۳ مگاوات بوده که نسبت به سال قبل ۱۵ درصد افزایش داشته‌است. نمودار تغییرات ۲۴ ساعته دیماند در آن روز در نمودار شکل ۱ نشان داده شده است. چنانچه ملاحظه میشود اولین حداقل مصرف در این روز تابستانی در حدود ساعت ۶ صبح بوده و پس از آن به تدریج با راه افتادن کارگاهها و کارخانجات تا ساعت ۱۰ ترقی نموده و از آن پس تا ساعت ۱۲ ظهر تقریبا ثابت مانده است. بعدازظهر با افزایش بار خنک کننده‌های هوا درمنازل و ادارات وکارخانجات تا ساعت ۱۷ رو به افزایش نهاده و از این ساعت به بعد با تعطیل شدن کارخانجات یک نوبت کار در روز تنزل کرده ، بطوریکه دومین حداقل مصرف در ساعت ۱۹ روی داده است. سپس تا ساعت ۲۰ افزایش اندک بوده ولی با غروب آفتاب و روشن شدن چراغهای معابر و منازل به سرعت افزایش یافته و در حدود ساعت ۲۱ به حداکثر خود رسیده است. بعد از آن تا ساعت ۱ بعد از نیمه شب با خوابیدن مردم و قطع معارف رادیو وتلویزیون و روشنائی منازل ، به سرعت کاهش یافته واز آن به بعد تاساعت ۶ صبح کاهش بصورت تدریجی بوده‌است.

میانگین دیماند شبانه روز در حدود ۷۴۰۰ مگاوات است که بار پایه شبکه را تشکیل میدهد. این مقدار در مقایسه با اولین حداقل روزانه ۱۵ درصد اضافه بوده و با دومین حداقل تقریبا مساوی است و از حداکثر بار ۳۳ درصد کمتر میباشد. بطوریکه نمودار شکل ۳ نشان میدهد کمبود قدرت یا خاموشی در تابستان طی هفته‌های ۱۲ تا ۲۸ بوده و حداکثر آن حدود ۴/۱ درصد توان قله بار یا ۴۰۲ مگاوات است. نمودار شکل ۴ تغییرات بار روزانه را در حداکثر بار هر فصل نشان میدهد. ملاحظه میشود معارف برق در بهار و پائیز تقریبا یکسان است وتامین تولید برای شرایط تابستان سایر فصول را نیز کفاف میدهد.

۷- روش فعلی تامین تقاضای مصرف یا دیماند مشترکین :

تاکنون روال تولید برق در ایران از روند تغییرات در تقاضای مصرف

تبعیت کرده است. درنمودار شکل ۲ قدرت اسمی نیروگاههای احداث شده از سال ۱۳۴۶ تاکنون و قدرت هر یک از رده نیروگاههای بخاری ، گازی ، آبی و دیزلی نشان داده شده است.

نمودار شکل ۵ نحوه تامین نیاز برق را در شبانه روز حداکثر سال به تفکیک نوع نیروگاهها در سراسر ایران نشان میدهد. طبق این نمودار در سال ۱۳۷۰ که پر آب بوده حدود ۱۵۰۰ مگاوات از قله بار توسط نیروگاههای آبی تامین شده است. این مقدار در سالهای کم آب تنزل مینماید ولی با اطمینان میتوان گفت که در سالهای متوالی ، حداقل ۱۰۰۰ مگاوات در تابستان از نیروگاههای آبی قابل تامین است ، لذا جمع توان تولیدی توسط نیروگاههای بخاری و آبی کفاف تامین بار پایه را خواهد داد و بیشتر از آن یعنی ۲۴۰۰ مگاوات که ۳۳ درصد بار پایه را تشکیل میدهد باید بصورت نیروگاههای قله بار یا نوبتکار تامین گردد.

در حال حاضر این اختلاف بوسیله نیروگاههای توربین گازی تامین میگردد که بهتر است خاموشیها و ذخیره‌های تولید نیز از همین طریق تامین گردد. البته نیروگاههای سیکل ترکیبی که در اثر بالا بودن راندمان اقتصادی ترین نوع تولید برق سوخت فسیلی را دارند ، در صورتی این مشخصه را حفظ میکنند که بصورت پایه بار بوده ومدام در حالت کار باشند. لذا با استفاده از این نیروگاهها باید ترقی سالانه بار پایه را تامین نمود.

در شکل ۶ سهم منابع و حاملهای انرژی در مصرف انرژی نیروگاهها مشخص شده است. در این نمودار افزایش در مصرف گاز طبیعی در سالهای اخیر چشمگیر است. بخش اعظم این گازها در دیگهای بخار و بقیه در توربینهای گازی مصرف میشوند. به نظر میرسد در آینده نیز به‌علت وفور منابع گاز طبیعی در ایران و مشکل صدور آن این روند پایدار خواهد بود.

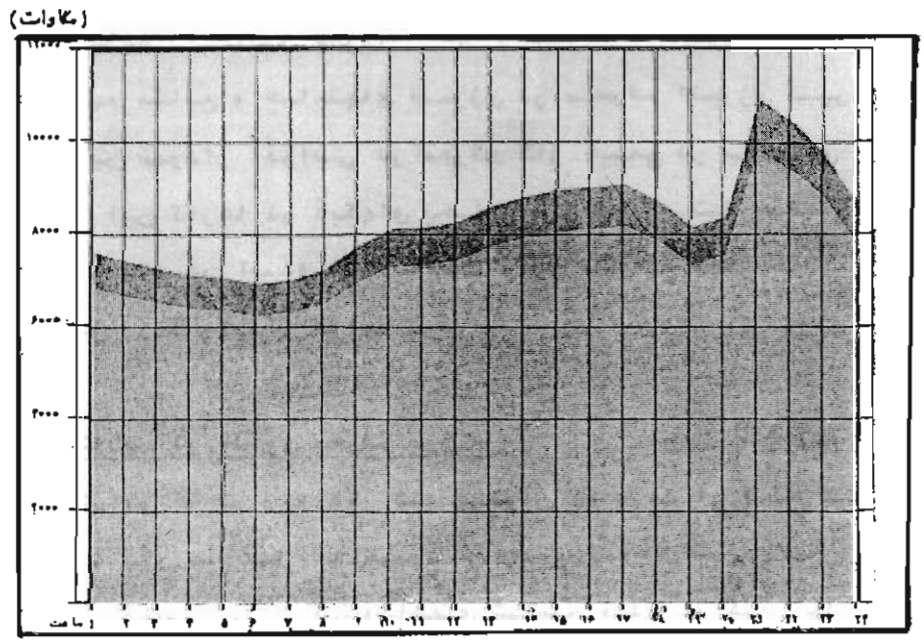
۸- میزان مفید تاثیر در الگوی مصرف برق :

اگر با روشهائی که در زیر ذکر شده بتوان ۱۵ درصد از قله بار راکم کرد درآن صورت ضریب بار سالانه به حدود ۷۰/۶ [۷۰/۶=(۱۵-۱۰۰)/۶۰] درصد افزایش خواهد یافت. در مقایسه با آن نیروگاههای تامین قله‌بار که با ضریب بار ۲۵ درصد محاسبه شدند دارای هزینه‌های ثابتی معادل ۱/۸۲ [۱/۸۲=۲۵/(۲۵-۷۰/۶)] برابر بیشتر از نیروگاههای پایه بار خواهند بود که حدود ۱۶/۱۶ (۱۶/۱۶=۱/۸۲×۸/۸۸) ریال در کیلوواتساعت میباشد. این مبلغ در قیاس با تولید نیروگاههای توربین

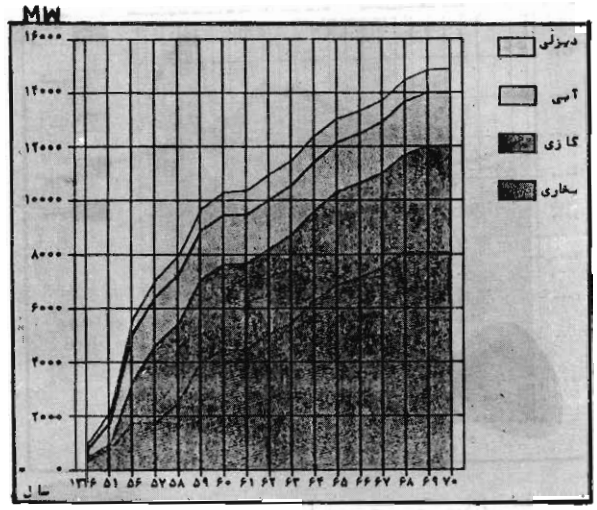
گازی قله بار (۳۲/۰۲ ریال) حدود ۵۰ درصد است. بنابراین با انتقال هر کیلووات‌ساعت مصرف از قله بار به ساعات کم‌باری ۵۰ درصد از هزینه‌های تولید انرژی صرفه جوئی میگردد. لذا حداکثر تخفیف در تعرفه مصرف برق ساعات کم باری شبانه میتواند به ۵۰ درصد محدود گردد.

۹- روشهای تاثیر در الگوی مصرف برق :

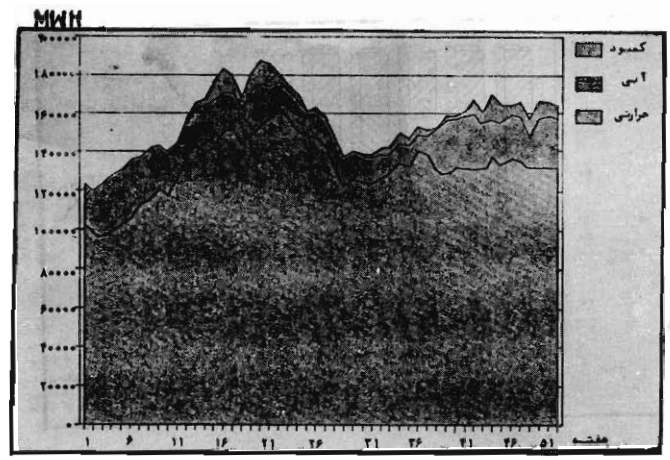
نخست باید از طریق رسانه‌های گروهی آگاهی لازم به مردم داده شود که از بکار بردن اطو یا ماشین لباسشوئی وامثال آن در ساعات قله بار یعنی از اذان مغرب تا چهار ساعت بعد اکیدا" خودداری نمایند. سپس با وضع تعرفه نیم بها برای ساعات کم باری (از ساعت ۱۱ شب تا ۷ صبح) میتوان قدم اساسی برداشته و مصرف کنندگان عمده مانند کارخانجات صنعتی بخصوص کوره‌های ذوب آهن الکتریکی را تشویق به کار در این ساعات نمود. سایر کارخانجات نیز با سه نوبت کار کردن کمک زیادی در یکنواخت کردن مصرف خود خواهند داشت. بدین جهت نصب کنتور ساعتی شبانه فقط در مصارف قابل ملاحظه و با تقاضای مشترک صورت خواهد گرفت و بکارگیری آن در همه جا ضروری نمیباشد.



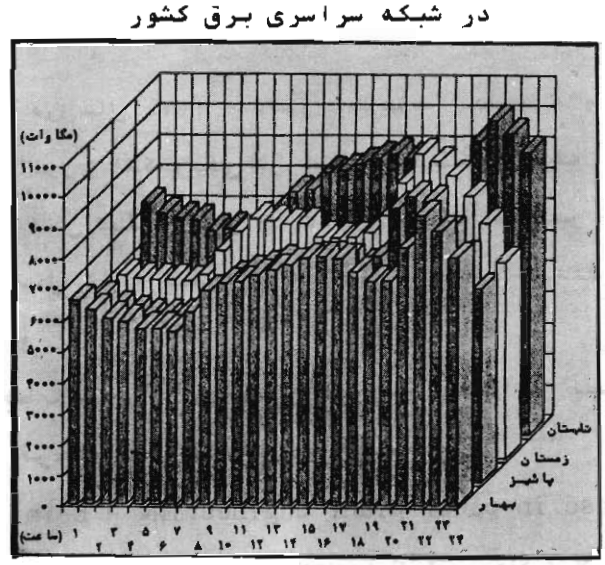
شکل ۱ - نمودار تغییرات ۲۴ ساعته روز حداکثر بار سال ۱۳۷۰ (۱۳۷۰/۵/۲۹)



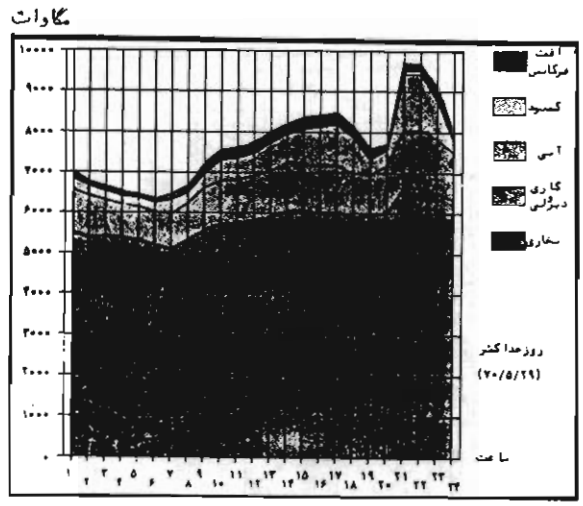
شکل ۲ - نمودارقدرت اسمی نیروگاهها



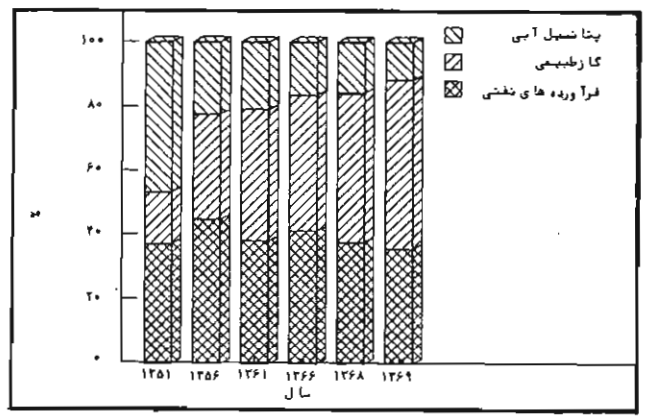
شکل ۳ - نمودار تغییرات هفتگی انرژی تولیدی و نیاز مصرف در شبکه سراسری برق کشور



شکل ۴ - نمودار تغییرات ۲۴ ساعته بار روزانه در روزهای حداکثر بار به تفکیک فصول در سال ۱۳۷۰



شکل ۵ - نمودار تغییرات ۲۴ ساعته انرژی تولیدی در روز حداکثر سال ۱۳۷۰



شکل ۶ - نمودار سهم منابع و حاملهای انرژی در مصرف انرژی نیروگاهها

منابع :

۱- صنعت برق ایران در سال ۱۳۷۰ - دفتر اطلاعات مدیریت و آمار وزارت نیرو

۲- نقش نرخ گذاری انرژی الکتریکی در کاهش قله مصرف - شیرین با کمالی - هفتمین کنفرانس بین‌المللی برق - ۱۳۷۰ - شرکت توانیر

۳- ترازنامه انرژی سال ۱۳۶۹ جمهوری اسلامی ایران - دفتر اطلاعات مدیریت و آمار وزارت نیرو

۴- بررسی هزینه‌های قطعات یدکی و تعیین عوامل مؤثر در بهره‌برداری نیروگاه ری - تابستان ۱۳۷۱ - فرخزاد - دفتر فنی وزارت نیرو

1- S,Domkundwar-A course in power plant engineering - Delhi - 1983

2- M.H. Porkar - UNESCO sponsored course in electric power control - Monash university - Australia - 1972