دانشکده برق و رباتیک
پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق
گرایش قدرت

عنوان

بهینه‌سازی و مدیریت مصرف بار با بکارگیری نظریه رهبر-پیرو

نگارش
علی‌اصغر قنبری

اساتید راهنما
دکترمحمدرضا رفیعی دکترمجید علومی

استاد مشاور
دکترمهدی بانژاد

۱۳۸۵

بنام خدا

تشکر و قدردانی

سپاس خدای را که به من توفیق انجام این رساله را عطا فرمود. بی‌تردید انجام این رساله امکان پذیر نمی‌گردید مگر در سایه لطف پروردگار و یاری عزیزانی که در تمامی مراحل انجام کار از هیچ کمکی در حق بنده کوتاهی ننموده‌اند . بر خود واجب می‌دانم تا صمیمانه‌ترین و صادقانه‌ترین سپاس خود را به حضور عزیزانی که در انجام این پایان‌نامه اینجانب را یاری فرموده‌اند ، تقدیم کرده و پاداش آنان را به خداوند کریم واگذار نمایم.

در ابتدا از اساتید گرامیم جناب آقای دکتر رفیعی و جناب آقای دکتر علومی که راهنمایی این پایان‌نامه را بر عهده داشتند ، به خاطر راهنمایی‌های ارزنده‌شان که همچون چراغی فروزان دلیل راهم در مسیر تحقیق بوده‌اند ، کمال تشکر و قدردانی را دارم که اگر راهنمائیها و صبر و حوصله مستمرشان نبود مسلماً این رساله راه به جایی نمی‌برد. از جناب آقای دکتر بانژاد که مشاوره این تحقیق را به عهده داشتند کمال امتنان و سپاسگزاری را دارم .

همچنین از فرصت استفاده نموده و از دوستان عزیزم که هر یک به نوعی در پیشبرد این پایان نامه موثر بوده‌اند ، بخصوص هم ورودی‌هایم در گروه قدرت که بسیاری از مطالب علمی را با بحثها و کارهای گروهی با این عزیزان به ثمر رسانیده‌ام ، صمیمانه تشکر مینمایم . سرانجام از همسرم که با بردباری محیطی مناسب را در طول این دوران فراهم آورده‌اند ، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

چکیده :

همکاری متقابل بین شرکت توزیع و مصرف‌کنندگان صنعتی در پیشبرد و کارآمد بودن مدیریت بار از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد . با توجه به این امر، هدف این پایان‌نامه آن است که با استفاده از نظریه رهبر-پیرو اثرات اعمال مدیریت بار برای مصرف‌کنندگان را مورد مطالعه قرار دهیم. برای انجام این مطالعه شرکت توزیع به عنوان رهبر و دو مصرف‌کننده صنعتی به عنوان پیروهای مسأله در نظر گرفته می‌شود.

نخست با استفاده از این نظریه، مدیریت بار مصرف‌کنندگان بصورت غیرپویا مطالعه می‌گردد. در مدیریت غیرپویای بار، پیروها مقدار توان مصرفی مورد نیاز فردای خود را از یک روز قبل به رهبر ارائه می‌دهند. رهبر مقدار توان درخواستی پیروها را از طریق بازار برق و بصورت یک قرارداد ۲۴ ساعته برای آنها تهیه مینماید. در این حالت رهبر به منظور حداقل شدن ضرر مالی پیروها و یا افزایش میزان سود حاصله پیشنهاداتی را ارائه میدهد. در مدیریت غیرپویای بار، پیروها چگونگی تغییرات در مصرف توان در طول شبانه‌روز را تعیین میکنند.

در ادامه ، مدیریت بار بصورت پویا مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این حالت بر خلاف مدیریت غیرپویای بار، رهبر چگونگی و الگوی مصرف توان برای پیروها را در طول ۲۴ ساعت شبانه‌روز مشخص میکند. به اینصورت که رهبر با توجه به قیمت توان بازار در نیم ساعت آینده و همچنین اطلاعاتی که پیروهای مسأله از کارخانجات خود در اختیار او قرار می‌دهند، میزان توان مصرفی بهینه را برای هر کدام از پیروها بدست می‌آورد و آن را به عنوان مرجع بهینه برای مصرف هر پیرو در نظر میگیرد . سپس رهبر با تعریف تشویقهایی پیروها را به دنبالروی[1] از این مرجع مصرفی بهینه ترغیب می‌نماید. در این حالت رهبر راهکارها و کنترل‌های مناسب را در دنبالروی پیروها از این مرجع مصرفی بدست می‌آورد و به آنها ارائه میدهد. جهت بررسی نقش همکاری متقابل بین شرکت توزیع و واحدهای صنعتی دو حالت متفاوت در نظر گرفته میشود. یکی همکاری کامل رهبر و پیروها و دیگری عدم همکاری بین آنها. در نهایت با استفاده از نتایج شبیه‌سازی‌ها اثرات مدیریت بار در دو حالت در میزان سوددهی مصرف‌کنندگان نشان داده می‌شود.

کلمات کلیدی : *تابع سود - تابع هزینه - تابع تولید - تئوری رهبر-پیرو - مدیریت بار مصرفی*

1 - Tracking

فهرست مطالب

فصل اول : مقدمه

۱-۱ مقدمه‌ای بر مدیریت بار..... ۲

۱-۲ اهداف و انگیزه تحقیق..... ۳

۱-۳ تعریف مسأله..... ۵

۱-۴ مروری بر رساله..... ۵

فصل دوم : مروری بر تحقیقات انجام شده

۲-۱ تقسیم‌بندی روشهای اعمال مدیریت بار..... ۷

۲-۱-۱ کنترل مستقیم بار..... ۷

۲-۱-۲ کنترل داوطلبانه بار..... ۸

۲-۲ مدیریت بار صنعتی و روشهای اعمال آن در کارخانجات..... ۹

۲-۳ نتایج حاصل از اعمال مدیریت بار در برخی از کشورها..... ۱۵

۲-۳-۱ برزیل..... ۱۵

۲-۳-۲ فرانسه..... ۱۷

۲-۳-۳ دانمارک..... ۱۸

۲-۳-۴ تایوان..... ۲۲

۲-۴ بررسی نظریه رهبر-پیرو و موارد استفاده آن..... ۳۱

فصل سوم : مدیریت بار مصرفی بر اساس استراتژی رهبر-پیرو

۳-۱ کنترل غیرپویای بار..... ۴۰
۳-۱-۱ سود مجموع پیروها..... ۴۵
۳-۱-۲ ارائه راه‌حل رهبر به منظور سوددهی بیشتر پیروها..... ۵۴
۳-۲ مدیریت پویای بار..... ۵۹
۳-۳ برنامه‌ریزی پویا..... ۶۱
۳-۴ ارائه اطلاعات واقعی به رهبر توسط پیروها..... ۶۷
۳-۴-۱ ارائه یک دینامیک مصرف و بهینه‌سازی توسط رهبر..... ۷۲
۳-۴-۲ عکس‌العمل پیروها در دنبالروی مرجع..... ۷۷
۳-۵ در اختیار قرار ندادن و یا ارائه اطلاعات نادرست به رهبر توسط پیروها..... ۸۸

فصل چهارم : نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۴-۱ نتیجه‌گیری و پیشنهادات..... ۹۷

منابع و ماخذ..... ۱۰۱

فصل اول

مقدمه

مقدمه

۱-۱ مقدمه‌ای بر مدیریت بار

انرژی برق در مقیاس‌های بزرگ قابل ذخیره‌کردن نمی‌باشد. از طرفی میزان مصرف در ساعات مختلف شبانه روز و در فصول مختلف سال متفاوت است. لذا میزان تولید دقیقاً از میزان مصرف تبعیت می‌کند و میزان تولید در هر لحظه باید برابر با میزان مصرف باشد. برای این منظور شرکتهای تولید انرژی الکتریکی برای تأمین نیاز مشترکین در پیک بار سرمایه‌گذاری بالائی انجام میدهند. در حالیکه ممکن است ظرفیت نیروگاه احداث شده فقط چندین ساعت در طول شبانه‌روز مورد استفاده قرار گیرد و در خیلی از ساعتهای دیگر بلااستفاده باقی بماند. پس اصلاح منحنی بار و کاهش پیک بار اساسی ترین قدم برای کاهش میزان سرمایه گذاریها به حساب می‌آید.

احداث تأسیسات تولید و انتقال جهت تامین بار پیک سبب افزایش قیمت واحد انرژی الکتریکی میگردد. از طرفی تغییر ساختار صنعت برق از شکل انحصاری به صورت رقابتی باعث شده تا مصرف‌کنندگان قیمتهای متفاوتی برای واحد انرژی الکتریکی در ساعات مختلف پرداخت کنند. قیمت واحد انرژی الکتریکی در ساعات پیک بسیار بیشتر از ساعات غیر پیک می‌باشد. این امر باعث شده است که مصرف کنندگان با همکاری شرکت‌های توزیع سعی در به خدمت گرفتن روشهای جدید جهت مدیریت مصرف انرژی مورد نیاز خود داشته باشند. دقت شود که منظور از مدیریت بار کاهش بار نمی‌باشد ، بلکه منظور استفاده بهینه از انرژی الکتریکی می‌باشد.

مدیریت بار برای نخستین بار در آمریکا مطرح گردید و به سرعت در کشورهای اروپائی و استرالیا گسترش یافت. مدیریت بار شامل مجموعه‌ای از فعالیتهای به هم پیوسته بین صنعت تولید انرژی الکتریکی و مصرف‌کنندگان آن به منظور تعدیل بار مصرفی مصرف‌کننده می‌باشد تا بتوان با کارآئی

بیشتر و هزینه کمتر به مطلوبیت یکسانی در زمینه مصرف دست یافت. بدین ترتیب هم تولیدکننده و هم مصرف‌کننده به سود بیشتری در این زمینه دست خواهند یافت[1].

باید توجه داشته‌باشیم که استفاده از ابزارهای متنوع مدیریت بار در شرائط مختلف متفاوت می‌باشد. بدیهی است که همه ابزارهای مدیریت بار را نمی‌توان بطور همزمان و یا در تمامی کشورها بطور یکسان مورد استفاده قرار داد. بنابراین اتخاذ یک برنامه زمانی مناسب برای دستیابی به اهداف مورد نظر در بلند مدت الزامی می‌باشد.

۱-۲ اهداف و انگیزه تحقیق

کاهش هزینه سرمایه‌گذاری جهت تأمین بار پیک شبکه و کاهش بهای انرژی الکتریکی مصرف‌کنندکان انگیزه اصلی تحقیق در مورد روشهای مدیریت بار می‌باشد.

بطور کلی اهداف اعمال مدیریت بار عبارتند از [2] :

- کاهش بار پیک که احتیاج به واحدهای تولیدی و تجهیزات مورد نیاز در این شرائط را کاهش می‌دهد.
- کاهش هزینه بهره برداری با محدود کردن استفاده از واحدهای گرانتر و همچنین کاهش تعداد واحدهایی که باید در مدار قرار گیرند.
- افزایش قابلیت اطمینان[1] سیستم با افزایش رزرو چرخان[2] شبکه در بار پیک
- کاهش بهای انرژی الکتریکی مصرف‌کنندگان با اتخاذ سیاستهای مناسب در مصرف برق

متأسفانه در کشور ما هنوز هیچگونه برنامه‌ریزی مشخصی در مورد نحوه مصرف انرژی الکتریکی در بخش‌های مختلف به خصوص صنعت وجود ندارد. با توجه به مزایای متعددی که در بالا در استفاده از مدیریت بار ذکر شد در این پایان‌نامه بر آن شدیم که یک روش اعمال مدیریت بار با بکارگیری نظریه رهبر-پیرو را مورد مطالعه و بررسی قرار دهیم.

1 - Reliabltity
2 – Spinning Reserve

۱-۳ تعریف مسأله

وجود شرائط متفاوت در کشورها و مناطق مختلف سبب گردیده است تا تکنیکها و استراتژیهای متفاوتی در مدیریت بار مطرح گردند. یکی از فاکتورهای مهمی که می‌تواند در پیشبرد و کارآمد بودن یک برنامه مدیریت بار مصرفی مؤثر واقع شود، همکاری متقابلی می‌باشد که بین مصرف‌کنندگان صنعتی و شرکت توزیع، به عنوان تأمین کننده توان، می‌تواند وجود داشته باشد.

با توجه به این مسأله در این پایان‌نامه می‌خواهیم با بکارگیری نظریه رهبر-پیرو اثرات اعمال مدیریت بار را مورد مطالعه قرار دهیم.

برای این منظور شرکت توزیع به عنوان رهبر و دو مصرف‌کننده صنعتی به عنوان پیرو در نظر گرفته میشود. سپس همکاری متقابل بین شرکت توزیع و واحدهای صنعتی بررسی می‌گردد. هدف آن است که تعیین کنیم همکاری متقابل بین شرکت توزیع و واحدهای صنعتی تا چه حد موجب کاهش هزینه مصرف‌کنندگان می‌گردد. همچنین مایلیم بدانیم که آیا تجهیز نمودن کارخانجات به منظور فراهم آوردن امکان همکاری بیشتر با شرکت توزیع مقرون به صرفه می‌باشد یا خیر.

۱-۴ مروری بر رساله

این پایان‌نامه شامل چهار فصل به شرح زیر می‌باشد :

فصل اول : مقدمه

فصل دوم : مروری بر تحقیقات انجام شده

فصل سوم : مدیریت بار مصرفی براساس استراتژی رهبر-پیرو

فصل چهارم : نتیجه‌گیری و پیشنهادات

فصل دوم پایان نامه به تقسیم بندی روشهای اعمال مدیریت بار و روشهای اعمال آن در کارخانجات می‌پردازد. این فصل همچنین با تکیه بر مقالات معتبر بین‌المللی بعضی از روشهای اعمال مدیریت بار و نتایج حاصل از آن در برخی از کشورها را مورد مطالعه قرار می‌دهد. بررسی نظریه رهبر-پیرو و نیز مروری بر مقالات مرتبط با آن از جمله مباحثی میباشد که در انتهای فصل دوم به آن اشاره می‌شود.

در فصل سوم نخست با استفاده از نظریه رهبر-پیرو مدیریت بار مصرف‌کنندگان بصورت غیرپویا مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در این حالت به پیشنهاد رهبر با تغییر شیفت کاری پیروها و انتقال زمان مصرف توان از لحظات پیک مصرف به زمان غیر پیک ، باعث افزایش سود حاصله برای پیروها میشود.

در ادامه رهبر با توجه به اطلاعاتی که پیروها در اختیار او قرار می‌دهند، یک مرجع مصرف توان بهینه برای هر کدام از پیروها بدست می‌آورد و آنها را با تعریف تشویقهایی به دنبالروی از آن ترغیب مینماید. در این فصل شرکت توزیع با تعریف یک دینامیک مصرف و حل تابع هزینه از طریق الگوریتم برنامه ریزی پویا ، کنترل مربوط به هر مرحله برای هر واحد صنعتی را بدست می‌آورد. جهت بررسی نقش همکاری بین شرکت توزیع و واحدهای صنعتی در این فصل دو حالت متفاوت در نظر گرفته میشود. یکی همکاری کامل رهبر و پیروها و دیگری عدم همکاری بین آنها. سپس با استفاده از شبیه‌سازی اثرات مدیریت بار در دو حالت در میزان سوددهی مصرف‌کنندگان بررسی و راه‌حل مناسب جهت سوددهی بیشتر پیروها مشخص می‌گردد.

و بالاخره در فصل چهارم نتایج حاصل از اعمال مدیریت بار با استفاده از نظریه رهبر-پیرو مورد بحث قرار میگیرد و در انتها پیشنهادات لازم جهت ادامه کار ارائه میگردد.

فصل دوم

مروری بر تحقیقات انجام شده

مروری بر تحقیقات انجام شده

۲-۱ تقسیم‌بندی روشهای اعمال مدیریت بار

در یک تقسیم‌بندی کلی دو روش برای اعمال مدیریت بار وجود دارد[8] :

۱- کنترل مستقیم بار[1] برای مصرف‌کنندگان خاص.

۲- کنترل داوطلبانه بار[2] با استفاده از محرک های اقتصادی برای تشویق تعویض داوطلبانه شکل مصرف توان الکتریکی.

۲-۱-۱ کنترل مستقیم بار:

به دسته‌ای از عملکرد عرضه‌کنندگان انرژی اطلاق میشود که بطور مستقیم روی زمان و یا سطح قدرت الکتریکی مصرف‌شده توسط مشتریان اعمال میشود و آنها را به دلخواه عرضه‌کننده تغییر میدهد[5]. یک اقدام موثر و مستقیم برای مدیریت بار ، قطع یا کنترل بارهائی است که بمدت معینی (بدون اینکه آثار سوء برای مصرف‌کنندگان داشته باشند) می‌توانند قطع شوند : مانند کوره‌های الکتریکی ، پمپ‌ها ، هیترهای آب ، فرآیندهای الکترولیت ، کمپرسورها و دستگاههای زباله‌سوز و ... بعضی از دستگاهها ممکن است منقطع کار کنند ، میتوان برنامه‌ریزیهای لازم را انجام داد تا زمان خاموشی دستگاه در ساعات پیک باشد. بعنوان مثال در حال حاضر بیش از ۵۰۰۰۰ حلقه چاه کشاورزی برقدار در سطح کشور موجود و در حال بهره برداری است. مجموع مصرف انرژی سالانه چاههای برقدار حدود ۸ میلیاردکیلو وات ساعت با دیماند مصرفی حدود ۱۵۰۰ مگا وات می‌باشد. با اجرای طرح ۲۰ ساعته کار کردن چاههای کشاورزی

1 – Direct Load Control
2 – Voluntary Load Control

نوع کنترل توان الکتریکی همواره در دسترس تمامی مصرف‌کنندگان می‌باشد. (بر خلاف کنترل مستقیم بار) اما نرخ فروش می‌تواند متناسب با مصرف در ساعات روزها ، ماهها ، فصلها و همچنین متناسب با تقاضای توان متغیر باشد. هدف از این کنترل کاهش تقاضای مصرف در دوره پیک شبکه تولید به وسیله جابجایی زمان مصرف و استفاده از تجهیزات در ساعتهای غیرپیک است. همچنین نرخ فروش در این کنترل می‌تواند مشوقی برای ایجاد بارهای جدید در ساعتهای غیرپیک باشد. اعمال این کنترل برای مصرف‌کنندگان توأم با ایجاد مشکل نمی‌باشد ، مگر آنکه مشکلات اقتصادی ناشی از مصرف بسیار بالای توان الکتریکی در طول دوره پیک وجود داشته باشد.

جهت اجرای نرخ زمان استفاده از انرژی[1] سوئیچینگ حافظه‌های دستگاههای اندازه‌گیری مورد نیاز است. این عمل میتواند به وسیله سیستم‌های ارتباط از راه دور نظیر تکنولوژیهای استفاده شده در کنترل مستقیم بار یا از طریق استفاده از دستگاههای اندازه‌گیری خاص با تایمرهای داخلی و توانایی نگهداری و ذخیره‌سازی زمانهای مرجع ، انجام شود.

۲-۲ مدیریت بار صنعتی و روشهای اعمال آن در کارخانجات

بخش صنعت به عنوان یکی از عمده‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی کشور شناخته شده و مطالعات انجام شده روی کارخانجات مختلف صنعتی کشور بی‌رویه بودن مصرف انرژی الکتریکی در آنها را نشان میدهند. لذا اعمال مدیریت مصرف و تنظیم قوانینی که صنایع را ملزم به رعایت آن کنند کاملاً ضروری می‌باشد. با اجرای مدیریت مصرف در بخش صنعت در تولید انرژی صرفه‌جوئی خواهد شد که این امر دوام بیشتر منابع تولید انرژی را به دنبال خواهد داشت.

در کشور ما هنوز هیچگونه برنامه‌ریزی مشخصی در مورد نحوه مصرف انرژی الکتریکی در بخش‌های مختلف به خصوص صنعت وجود ندارد که شاید ناشی از فراوانی منابع نفت و گاز کشور باشد. اما اگر درست فکر شود این مسأله نباید ما را به مصرف بی‌رویه انرژی الکتریکی ترغیب کند بلکه باید نحوه مصرف را در جهتی هدایت کرد که از منابع موجود حداکثر بهره‌برداری به عمل آید و اتلاف انرژی حداقل

1 - Time Of Use Rate

گردد. مصرف بدون برنامه انرژی الکتریکی باعث افزایش تولید و به دنبال آن استفاده بیشتر از منابع نفت و گاز را طلب می‌کند و این مسأله از لحاظ اقتصادی صدماتی را به دنبال خواهد داشت. چرا که با توجه به بحران انرژی که دنیا در آینده با آن روبرو خواهد بود هرچه بیشتر در اختیار داشتن منابع انرژی برای کشور اهمیت فوق العاده‌ای دارد.

بطور کلی مدیریت بار صنعتی به هر عمل انجام شده توسط مصارف صنعتی یا شبکه الکتریکی در جهت تغییر شکل فعلی منحنی بار مصارف به منظور کاهش بار پیک کل سیستم ، افزایش ضریب بار و بهبود بهره‌برداری از منابع کمیاب و گران اطلاق می‌شود.

در این راستا روشهای مختلف مدیریت بصورت زیر می‌باشند[17] :

- سیستم‌های گرمایشی با سوخت دوگانه[1]
- سیستم‌های با حق تقدم بار[2]
- برنامه ریزی مجدد[3] تولید برای فرایند یا قسمتی از آن
- ذخیره مواد میانی فرایند[4] ، گرمایش و سرمایش
- تولید مشترک[5]
- فرایند جدید با راندمان بالا

توجه شود که انتخاب یک استراتژی مدیریت بار برای یک صنعت خاص بستگی به عوامل زیادی از قبیل شکل فعلی منحنی بار، تغییرات مورد علاقه در شکل منحنی بار، فرآیند و ترکیب بارهای با حق تقدم کمتر ، تقاضا ، هزینه‌های انرژی و ... دارد. در ادامه بحث به توضیحات بیشتر در ارتباط با روشهای مختلف مدیریت بار صنعتی می‌پردازیم.

1 – Dual – Fuel Systems
2 – Load Priority Systems
3 - Rescheduling
4 – Process Media Storage
5 – Co- Generation

الف) سیستم‌های گرمایشی با سوخت دوگانه

سیستم‌های گرمایشی با سوخت دوگانه را می‌توان به منظور ایجاد حرارت چه بصورت ایجاد حرارت مستقیم برای فرآیند یا بصورت ایجاد حرارت برای فرایندهای میانی بکار برد. این سیستم‌ها بدلیل استفاده از بیش از دو نوع حامل انرژی اغلب دقیق نمی‌باشند ولی بعلت سادگی می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. این سیستم‌ها از الکتریسیته ارزان قیمت و یک یا چند سوخت دیگر در هر لحظه استفاده می‌کنند. استراتژی این سیستم قویاً وابسته به نرخ الکتریسیته ، راندمان بویلر ، قیمت سوخت و .... میباشد. هدف اصلی از نصب این سیستم‌ها جابجایی بارهای حرارتی الکتریکی از دوره پیک به دوره غیر پیک می‌باشد و نتایج آن افزایش ضریب بار ناشی از افزایش استفاده از الکتریسیته در دوره غیرپیک و همچنین بالا رفتن راندمان می‌باشد.

به عنوان مثال در تابستان هنگامیکه احتیاج چندانی برای ایجاد حرارت نمی‌باشد ، راندمان بویلرهای با سوخت فسیلی به علت کم باری بسیار پایین می‌باشد. (تقریباً ۴۰ تا ۵۰ درصد) در همین زمان به علت وجود ظرفیت تولید الکتریسیته اضافی توسط واحدهای تولیدی آبی و هسته‌ای ، هزینه‌های عملیاتی و حدی بسیار پایین می‌باشد. حال از طرف دیگر در زمستان در طول دوره‌های پیک اغلب استفاده از توربین‌های گازی با راندمان بسیار پایین (تقریباً ۲۵ تا ۳۰ درصد) برای تأمین تقاضای مصرف‌کننده با هزینه حدی بسیار بالا احتیاج می‌شود. با توجه به آنکه بارهای ایجادکننده پیک عموماً مسکونی، تجاری و سیستم‌های الکتریکی تولید حرارت در صنایع می‌باشند، این سیستم‌ها می‌توانند در صورت انعکاس هزینه‌های واقعی از طریق نرخ‌های مختلف فروش الکتریسیته بسیار سودمند واقع شده و باعث صرفه-جویی در انرژی‌های اولیه و پول شوند.

ب) سیستم‌های با حق تقدم بار

این سیستم‌ها به منظور نگه داشتن تقاضای مصارف صنعتی در کمترین مقدار ممکن در طول دوره پیک بار سیستم با استفاده از شرایط خاص کنترل (روشن وخاموش نگهداشتن تعدادی از بارها) مورد استفاده قرار میگیرند. باید توجه شود که داشتن منحنی بار تغییرات بسیار لازمه شرکت داشتن در برنامه‌های

کاهش پیک بار سیستم نمی‌باشد، بلکه مهم آن است که صنایع با منحنی بار تقریباً هموار هم در صورت امکان جابجایی قسمتی از بارها به دیگر زمانها بوسیله برنامه‌ریزی مجدد تولید یا کاهش بارها بوسیله استفاده از سیستم‌های حق تقدم بار در برنامه‌های مدیریت بار صنعتی شرکت داده شوند. سیستم‌های حق تقدم بار به کنترل بارها در طبقه‌های خاص وابسته به میزان تقدم هر بار که خود ناشی از اهمیت آن بار در سیکل تولید می‌باشد، می‌پردازد. در این سیستم ، اغلب بارهای کم اهمیت از قبیل فن‌های تهویه مطبوع دارای درجات پایین تقدم و بارهای اصلی وابسته به فرایند در صورتیکه به طور دائم در فرایند قرار داشته باشند دارای درجات بالای تقدم می‌باشند. همچنین در این سیستم‌ها باید مدت زمان قطع شدن بار قبل از آنکه دوباره وصل شود، حداقل مدت زمان لازم بین دو قطع شدن و میزان تقاضای بار مشخص شود.

استراتژی کنترل برای این سیستم‌ها وابسته به ترکیب نرخ‌ها ، شکل منحنی بار مصارف صنعتی ، تعداد و مشخصات بارهای تشکیل دهنده و هدف دنبال شده از اجرای برنامه مدیریت بار می‌باشد. عملکرد این سیستم‌ها می‌تواند مستقیماً نگهدارنده کل تقاضا زیر یک حد از قبل تعیین شده یا به طور کلی حداقل کردن استفاده از انرژی الکتریکی در طول دوره‌های با هزینه انرژی بالا باشد. در صورت استفاده از سیستم‌های ارتباطی بین شبکه تولید و مصرف کننده امکان تعویض اتوماتیک استراتژی کنترل در این سیستم‌ها متناسب با تغییرات در نرخ فروش الکتریسیته می‌باشد. این سیستم‌ها می‌تواند به منظور کاهش بار پیک و پرکردن نقاط قعر در منحنی بار بکار روند. در مرحله اول هدف صرفه‌جویی انرژی نمی-باشد چراکه این سیستم‌ها تنها باعث جابجایی[1] بارهای الکتریکی می‌شوند اما باید توجه شود که کنترل بارهای غیرضروری می‌تواند باعث صرفه‌جویی واقعی در انرژی شود. این موضوع از آنجا نتیجه می‌شود که به عنوان مثال عملکرد یک فن تهویه مطبوع بطور پیوسته می‌باشد و قطع آن باعث افزایش تقاضا یا افزایش زمان عملکرد بعد از قطع آن نمی‌شود.

1 - Relocation

پ) برنامه‌ریزی مجدد تولید برای فرآیند یا قسمتی از آن

برنامه‌ریزی عملیات تولید بعنوان یکی از روشهای مدیریت بار در اغلب کارخانجات صنعتی می‌باشد که امکان جابجائی زمان فعالیت فرایندهای مختلف در خط تولید را فراهم می‌سازد. شیفت دادن بعضی از مراحل تولید به ساعتهای خاصی در یک شبانه روز عملاً در کارخانجات صنعتی ممکن است. بهره‌برداری از این امکان به مصرف بهینه عوامل تولید (مانند انرژی، سرمایه و کار) بر پایه اصول اقتصاد منجر میشود. برنامه‌ریزی مجدد یکی از روشهای مختلف مدیریت بار صنعتی است که در آن فعالیت فرآیند یا قسمتی از آن به دیگر دوره‌ها در طول روز به غیر از آنچه که هست انتقال می‌یابد و باعث کاهش بسیار پیک بار و پرکردن نقاط قعر در منحنی بار یک مصرف کننده صنعتی می‌شود. بنابراین باعث افزایش ضریب بار و هموار شدن منحنی بار می‌گردد. هزینه‌های این سیستم از افزایش هزینه‌های کار، هزینه‌های ممکن برای ایجاد ظرفیتهای ذخیره و افزایش درجه اتوماسیون ناشی می‌شود.

ت) ذخیره مواد میانی فرآیند ، گرمایش و سرمایش

توانایی ذخیره‌سازی حرارت ، سرما یا مواد میانی فرآیند از احتیاجات اصلی بسیاری از کاربردهای مدیریت بار صنعتی است. حرارت را می‌توان در آب ، تغییر حالت مواد ، سرامیک و غیره ذخیره‌سازی نمود ، در حالیکه اغلب روشهای کاربردی ذخیره‌سازی سرما بر اساس یخ یا یخ با آب استوار می‌باشد. ذخیره‌سازی مواد میانی نیز توانایی ذخیره محصولات میانی تولید می‌باشد که می‌تواند برای دیگر قسمتهای فرآیند مورد استفاده قرار گیرد(به عنوان مثال گاز هیدروژن و بخار). عملکرد واحدهای ذخیره کننده باید به گونه‌ای با دیگر قسمتهای فرآیند تطبیق داده شود. واحدهای ذخیره کننده باید در طول دوره‌های غیر پیک ، حرارت ، سرما یا مواد میانی تولید را در خود ذخیره نموده و در طول دوره‌های پیک آن را در اختیار دیگر قسمتهای فرآیند قرار دهند و طبیعی است که باید به اندازه کافی دارای ظرفیت ذخیره باشند.

ج) تولید مشترک

تولید مشترک یکی از روشهای مختلف مدیریت بار صنعتی است که می‌تواند برای صنایع خاص مفید واقع شود. اصطلاح تولید مشترک در برگیرنده مجموعه فعالیتهایی است که توسط مصارف شبکه تولید برای تولید توان الکتریکی و انرژی مورد نیازشان انجام می‌شود. میزان الکتریسیته تولیدی می‌تواند کسری از انرژی مورد نیاز و یا تمامی انرژی مورد نیاز مصرف‌کننده را پوشش دهد. در بسیاری از حالات همچنین امکان فروش توان الکتریکی به شبکه تولید موجود می‌باشد.

این واحدها اغلب از ژنراتورها و دیزلهای با سوخت فسیلی یا توربین‌های فشار برگشت[1] در صنایعی که سیستم‌های بخار موجود می‌باشد تشکیل می‌شوند. این واحدها باعث کاهش احتیاج برای تقاضای الکتریسیته می‌شوند و میزان سودمندی آنها وابسته به نرخ فروش الکتریسیته ، قیمت سوخت ، راندمان واحدها ، هزینه‌های نصب ، میزان بار حرارتی در صنایع و غیره می‌باشد. طبیعی است که قبل از تصمیمات سرمایه‌گذاری برای نصب چنین واحدهایی باید توسط مدلهای شبیه‌سازی مدیریت بار صنعتی میزان صرفه‌جویی ممکن ناشی از نصب این واحدها مورد ارزیابی دقیق قرارگیرد.

د) فرآیند جدید با راندمان بالا

استفاده از فرآیندهای جدید با راندمان بالا را نمی‌توان بعنوان یکی از روشهای مدیریت بار در نظر گرفت اما می‌توان آن را به عنوان یکی از عملکردهای مدیریت بار که می‌تواند در دراز مدت بر میزان تقاضای الکتریسیته مصارف صنعتی اثر بگذارد ، برشمرد. بعنوان یکی از نتایج اجرای نرخهای متفاوت فروش الکتریسیته در مقایسه با نرخهای ثابت می‌توان کوتاه شدن زمان جایگزینی فرآیندهای قدیمی و با راندمان پایین را با فرآیندهای جدید و با راندمان بالا نام برد که خود یکی از عملکردهای مدیریت بار در جهت کاهش مصرف می‌باشد. باید توجه شود که اجرای نرخ‌های متفاوت فروش الکتریسیته میتواند باعث تشویق مصارف در جهت برنامه‌ریزی مجدد فرآیند بدون احتیاج به انجام سرمایه گذاریهای جدید شود.

---

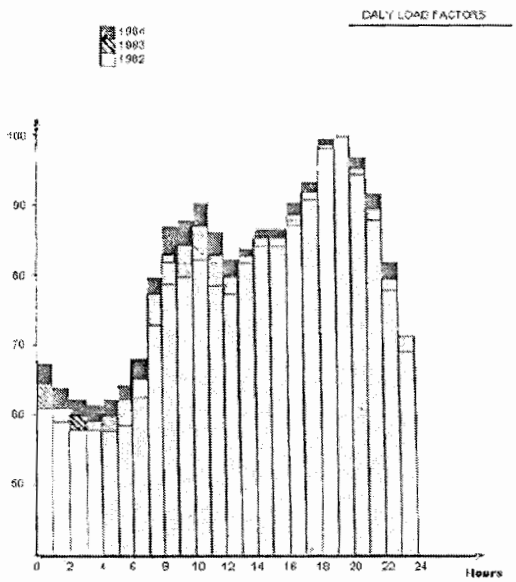
1 – Back Pressure Turbines

۲-۳ نتایج حاصل از اعمال مدیریت بار در برخی از کشورها

استفاده از ابزارهای متنوع مدیریت بار در شرائط مختلف متفاوت می‌باشد. بدیهی است که همه ابزارهای مدیریت بار را نمی‌توان بطور همزمان و یا در تمامی کشورها بطور یکسان مورد استفاده قرار داد. هر کشور و هر منطقه با توجه به سیستم تولید و توزیع ، ساختار قانونگذاری ، شرائط بازار ، ویژگیهای مصرف‌کنندگان ، شرائط اقتصادی و اقلیمی ... روشهای متفاوتی را برای اعمال مدیریت بار میتواند بکار گیرد. بنابراین اتخاذ یک برنامه زمانی مناسب برای دستیابی به اهداف مورد نظر در مدیریت بار در بلند مدت الزامی می‌باشد. در این بخش قصد داریم با تکیه بر مقالات معتبر بین‌المللی ، از روشها و فعالیتهای انجام شده در زمینه مدیریت بار آشنائی بیشتری داشته باشیم. همچنین مروری کلی بر نتایج حاصل از اعمال مدیریت بار در دیگر کشورها داریم.

۲-۳-۱ برزیل

شکل (۲-۱) نشان دهنده تغییرات در شکل منحنی بار روزانه کشور برزیل بعد از دو سال اعمال تعرفه های زمان استفاده برای مصارف صنعتی می‌باشد.



شکل (۲-۱) منحنی بار روزانه کشور برزیل در اولین دوشنبه ماه اکتبر

همانطور که در شکل (۲-۱) مشاهده می‌کنیم در کشور برزیل بعد از گذشت دو سال علی‌رغم اینکه نیاز به مصرف توان در صنایع روبه زیاد شدن می‌باشد ، ولی در پیک منحنی بار هیچگونه افزایشی نداشته‌ایم و همچنین نقاط گودی منحنی بار نیز پر شده است. سیستم جدید قیمت‌گذاری این کشور با کمک فنی شرکت EDF [1] فرانسه به نتایج رضایت بخشی رسیده است. این اصلاح قیمت‌گذاری که علارغم مخالفت بیشتر مصرف‌کنندگان و بعضی شرکت‌ها ادامه یافت، به سرعت خود را تثبیت نموده و هم اکنون در جهت گسترش این اصول به تمامی مشترکین برنامه‌ریزی شده است. با توجه به اینکه مدیریت بار بهبود فنی بسیار مهمی در ضریب بار بوجود می‌آورد، می‌توان سودمند بودن آن را مورد بررسی قرار داد.

بعد از دو سال که تعرفه متناسب با زمان استفاده برای مصارف صنعتی در کشور برزیل انجام شد، دپارتمان معاون و انرژی این کشور نتایج این تصمیم‌گیری را منتشر کرد. که نتایج آن در جدول (۲-۱) آورده شده است[2].

جدول (۲-۱) نتایج اجرای برنامه مدیریت بار در برزیل

سودمندی برای شبکه میلیارد دلار	مدل سازی MW	کاهش صورتحسابها میلیارد دلار	کاهش هزینه‌ها میلیارد دلار	سودمندی برای شبکه میلیارد دلار
ولتاژ =< 69 Kv	۱۲۰۰	۴۵/۸	۹۶	۵۰/۲
ولتاژ < 69 Kv	۲۸۰	۹/۴	۲۲/۴	۱۳
جمع	۱۴۲۰	۵۵/۲	۱۱۸/۴	۶۳/۲

مطابق با اعداد ذکر شده در جدول ، صرفه‌جویی انجام شده توسط استفاده بهتر از سیستم الکتریکی بین شبکه تولید و مصارف به نسبتهای ۵۳٪ و ۴۷٪ تقسیم می‌شود.

1 – Electricite De France International

۲-۳-۲ فرانسه

برای کشوری مانند فرانسه با سابقه بیش از ۳۰ سال مدیریت امکان مقایسه بین استفاده یا عدم استفاده از مدیریت بار بسیار مشکل است چرا که عوامل زیادی در تغییرات شکل منحنی بار این کشور به هر طریق تاثیر داشته اند. (رشد کاربردهای جدید مصرف الکتریسیته ، تغییر در تکنولوژی تولید ،....) با این وجود می‌توان به نکات برجسته زیر اشاره نمود:

در سال ۱۹۸۵ بالغ بر ۳۷۹ میلیون دلار برای نصب تجهیزات مدیریت بار برای ۷ میلیون مصرف‌کننده سرمایه‌گذاری شده بود. میزان سرمایه‌گذاری برای هر مصرف کننده ۵۴ دلار مشتمل بر ۱۳ دلار برای ارتباطات ، ۲۸ دلار برای ثبت‌کننده‌های دو تعرفه‌ای بود. در این سال ناشی از اعمال مدیریت بارهای مسکونی کمتر از ۲۰۰۰ مگاوات کاهش در توان پیک تخمین زده شد. متناسب با سرمایه‌گذاری انجام شده هزینه مربوط به کاهش هر کیلووات بالغ بر ۲۰۰ دلار می‌شود. حال برای مقایسه باید یادآوری کرد که در سال ۱۹۸۴ هزینه سرمایه‌گذاری برای یک توربین گازی ۱۰۰ مگاواتی بالغ بر ۳۰۰ دلار برای هر کیلووات و برای یک واحد زغال سنگ سوز ۶۰۰ مگاواتی بالغ بر ۶۰۰ دلار برای هر کیلووات بود. از نقطه نظر عملیاتی ، صرفه‌جویی ناشی از این مدیریت ۳۵ دلار برای هر کیلووات در تولید و ۱۰ دلار برای هر کیلووات در انتقال تخمین زده شد.

این نتایج بیانگر آن است که مدیریت بار می‌تواند به عنوان یک ابزار مفید جهت راندمان کل سیستم مورد استفاده قرار گیرد. بهر حال قبل از اجرای یک سیستم مدیریت بار ، باید مطالعه دقیقی به عمل آید چرا که تکرار نمودن آنچه در مکان دیگری انجام شده نمی‌تواند موفقیت را تضمین نماید. روشهای مورد استفاده ، که می‌تواند گوناگون باشد ، باید کاملاً با ساختار تولید و مصرف حال و آینده هماهنگ باشد.

۲-۳-۳ دانمارک

در کشور دانمارک پروژه مدیریت باری با همکاری ۵۰۰ مصرف‌کننده صورت گرفت که مدت یک سال و نیم طول کشید . در این قسمت به اصول و نتایج حاصل از این پروژه اشاره‌ای می‌شود. نتیجه حاصل از این پروژه نشان می‌دهد که نظام چند تعرفه‌ای بر اساس زمان مصرف انرژی الکتریکی تغییر مناسبی در الگوی مصرف مشتریان (مخصوصا مصرف‌کنندگان خانگی) و نیز سایر مصرف‌کنندگان مانند صنعتی و تجاری ایجاد می‌نماید .

از اواسط سال ۱۹۸۶ تا آخر سال ۱۹۸۷ در کشور دانمارک دو شرکت بزرگ از شرکتهای برقی بنامهای NEAS A/S و SEAS A/S با همکاری چند شرکت برقی دیگر پروژه مدیریت باری انجام دادند که نتایج آن در کنفرانس CIRED در سال ۱۹۸۷ توضیح داده شد[14].

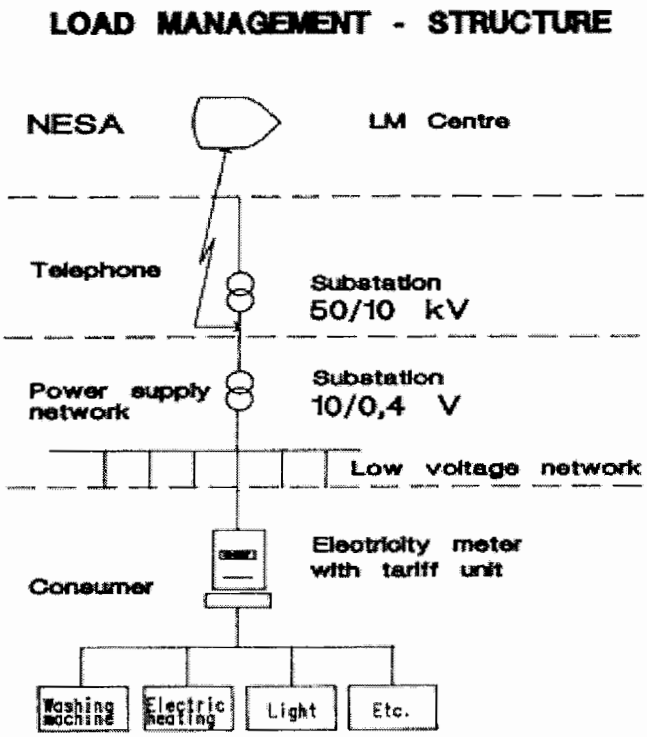
در شکل (۲-۲) ساختار کلی پروژه مدیریت بار دیده می‌شود . عمل مخابره‌کردن به عهده دو عنصر مستقل از یکدیگر قرار دارد . ارتباط از شرکت برق به پستهای ۵۰/۱۰ kv یا (۱۳۲/۱۰ kv) از طریق خطوط تلفن صورت میگیرد . در صورتیکه ارتباط با یک مشتری خاص از طریق خطوط انتقال نیرو (بصورت دو طرفه) انجام می‌پذیرد . این قسمت اخیر مهمترین و فنی ترین قسمت این پروژه میباشد .

کل مراحل پروژه مدیریت بار به سه زیر مجموعه (زیر پروژه) تقسیم می‌گردد :

الف) توسعه تجهیزات تعرفه‌ای و تجهیزات کنترل بار

ب) یک پروژه شامل نمایش پیشرفت (بهبود) عملکرد مشتریان

ج) توسعه ارتباط دو طرفه از طریق شبکه توزیع انرژی الکتریکی



شکل (۲-۲) ساختار پروژه مدیریت بار

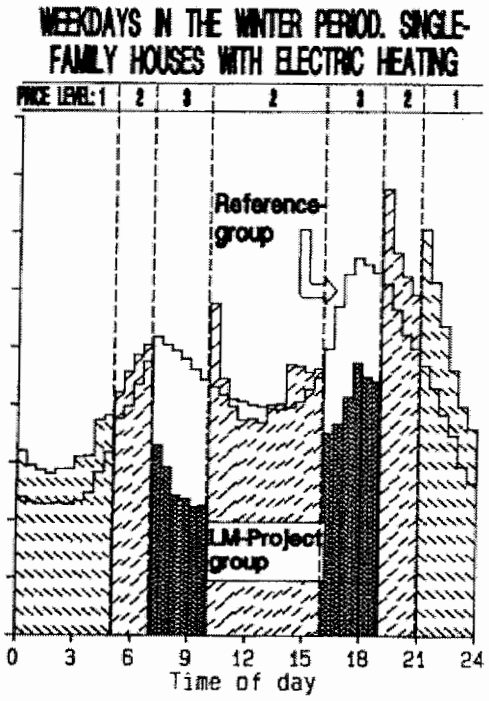
الف) توسعه تجهیزات تعرفه‌ای و تجهیزات کنترل بار

بدیهی است برای انجام این پروژه نیاز به یک سیستم تعرفه می‌باشد که این کار توسط یک کامپیوتر برنامه‌ریزی شده صورت می‌پذیرد و بدین ترتیب هر مشتری قادر به ایجاد ارتباط و دریافت اطلاعات از آن می‌باشد. اساساً پیدا است که در محل مصرف انرژی الکتریکی مشتریان باید تجهیزاتی جهت کنترل بار نصب شده باشد. برای بعضی از مصارف برق از رله‌هایی جهت کنترل بار استفاده گردیده است . بعضی از مشتریان از واحدهای (TARIFF) جهت کنترل بار استفاده نمی‌کنند ، بنابراین نیازی به رله‌های کنترل بار ندارند و از کلیدهای زمانی که قابل برنامه‌ریزی هفتگی به دلخواه مشتریان می‌باشند استفاده می‌کنند . بعنوان مثال این کلیدها در زمان پیک بار شبکه که گرانترین زمان برق می‌باشد دستگاههای فریزر را خاموش میکنند .

این عمل برای ۳۴۰ واحد بصورت نصب سیستم کامپیوتری و ۱۷۰ واحد بصورت نصب کلیدهای زمانی انجام پذیرفت و قرائت کنتورها هر ماه یکبار بطور منظم صورت گرفت.

ب) پروژه نمایش نتایج حاصل از بهبود عملکرد مشتریان

دومین قسمت از این پروژه مربوط به نمایش نتایج حاصل از بهبود عملکرد مشتریان در رابطه با نرخ چند تعرفه‌ای می‌باشد. این نتایج از بررسی ۳۴۰ مشتری که از ژوئن ۱۹۸۶ الی پایان نوامبر ۱۹۸۷ صورت گرفته است حاصل گردیده است . البته محاسبات و نتایج بر اساس یک سال تمام یعنی اول اکتبر ۱۹۸۶ الی اول اکتبر ۱۹۸۷ صورت گرفته است . سیستم کامپیوتری علاوه بر محاسبه انرژی مصرفی بصورت ماهیانه برای هر واحد منحنی بار متوسط برای هر روز هفته برای تمام مشتریان را نیز محاسبه می‌نمود. شکل (۲-۳) منحنی میانگین بار برای ۲۴ ساعت در یکی از روزهای هفته را در پریود زمستانی برای یک منزل ویلائی با گرمایش الکتریکی نشان میدهد.



شکل (۲-۳) منحنی بار میانگین برای روزهای هفته در دوره زمستان

در مدت زمان محدود نیمسال (شش ماه) مشتریان شرکت‌کننده در آزمایش حدود ۱۰ درصد صرفه-جویی در مصرف برق نیز داشتند که احتمالاً این بخاطر آگاهی از مشارکت در آزمایش مصرف انرژی و نیز تجهیزات استفاده شده می باشد.

برای تعدادی از مشتریان صنعتی و تجاری نتایج خیلی تغییر نکرده بود و تغییر الگوی مصرف آنها بسیار محدود و اندک بود . البته در بیشتر موارد این بدلیل عدم وجود علاقه و انگیزه بود نه بخاطر اینکه امکان پذیر نمی‌باشد . یکی از دلایل این است که این هزینه نسبت به سایر هزینه‌های شرکتها بسیار ناچیز و اندک است و دلیل دیگر این است که تغییر عادت در شرکتها و مراکز صنعتی و تجاری نیاز به زمان دارد. با مقایسه قیمت متوسط برای گروه آزمایش شده و گروه معمولی همانگونه که برای مشتریان خانگی انجام پذیرفت به نتایج حاصل در جدول (۲-۲) برای ۷ طبقه مشتری می‌رسیم .

جدول (۲-۲) مقایسه بین گروههای آزمایش و کنترل شده برای مشتریان صنعتی و تجاری

Average Prices (Nov. 86 to Sep. 87)	Test Group		Control Group		
C-customers (Industrial and commercial)	Number of customers	Average price øre/kWh	Number of customers	Average price øre/kWh	Difference øre/kWh
Agriculture	26	23,13	13	24,98	-1,85
Industry	28	32,15	17	29,19	+3,04
Public	47	28,51	17	30,50	-1,99
Service	72	27,47	26	29,79	-2,32

B-customers (Industrial and commercial)	Number of customers	Average price øre/kWh	Number of customers	Average price øre/kWh	Difference øre/kWh
Industry	34	23,70	20	24,61	-0,91
Public	18	21,42	9	21,98	-0,56
Service	14	22,17	16	22,36	-0,19

نتایج حاصل برای گروههای صنعتی و تجاری از نظر آماری رضایت بخش نمی‌باشند . بعنوان مثال در بخش صنعتی نمیتوان انتظار داشت که با تغییر الگوی مصرف هزینه برق بیشتری داشته باشیم ، بنابراین بر خلاف مشتریان طبقه خانگی مشتریان طبقه صنعتی و تجاری میلی به تغییر در الگوی مصرف نشان نداده اند .

ج) انتقال داده‌ها

با توجه به اینکه این موضوع به مبحث اصلی این گزارش ارتباط کمتری دارد علاقه‌مندان میتوانند به مرجع [22] جهت بررسی نحوه انتقال دادهها مراجعه نمایند.

پروژه فوق در پایان سال ۱۹۸۷ پایان پذیرفت و به مشتریان شرکت کننده در این پروژه امکان داده شد که همچنان از این روش تعرفه‌ای استفاده کنند که ۶۵٪ از آنها با استقبال از ادامه پروژه در حال استفاده از تجهیزات پروژه میباشند . بعنوان یک نتیجه مثبت از این پروژه NEAS و SEAS و سایر شرکتها تصمیم به ایجاد قیمت‌گذاری چند تعرفه‌ای بر اساس زمان استفاده از برق شدند. برای NEAS این بدان معنی است که هر واحد صنعتی یا تجاری که سالانه ۲۰/۰۰۰ کیلو وات ساعت انرژی مصرف میکند میبایست ظرف مدت سه سال طبق تعرفه‌های جدید رفتار نماید . بر اساس این توضیحات یک سیستم جدید با قابلیتهای گوناگون جهت تعرفه‌گذاری قیمت در حال پیاده‌سازی میباشد.

۲-۳-۴ تایوان

کنترل مستقیم بار[1] یکی از روشهای مدیریت بار است که در بخشهایی از سیستم قدرت که بار بتواند قابلیت کنترل‌پذیری داشته‌باشد ، بکار می‌رود. کنترل مستقیم بار (DLC) نقش مهمی را در عملکرد سیستم‌های قدرت ایفا می‌کند ، زیرا باعث کاهش در هزینه‌های ثابت و متغیر سیستم می‌شود. در این بخش به بررسی یک روش اعمال DLC در شبکه برق کشور تایوان که در آن از الگوریتم برنامه‌ریزی پویا[2] استفاده شده است پرداخته می‌شود[20].

1 – Direct Load Control
2 – Dynamic Programming Algorithm

همانطور که گفته شد توزیع DLC به منظور کاهش تقاضای اوج بار و کمینه‌سازی هزینه سوخت میباشد و علاوه بر آن باید قیود سیستم (مانند بیشترین زمان قطع ، حداقل زمان در قطع توالی و ...) نیز رعایت گردد. هدف از این روش تعیین چگونگی قطع و وصل بارهای تهویه مطبوع[1] (ACS) می‌باشد. توزیع DLC تعیین می‌کند که ACS ها چگونه قطع و وصل شوند تا تقاضای اوج بار کاهش یابد و هزینه‌های سوخت کمینه شود.

تحت عملکرد دوره‌ای بار ACS برای مصرف‌کنندگان تحت کنترل بار برای ۳۰ دقیقه خاموش نگه داشته می‌شود. بنابراین هر طبقه ، ۳۰ دقیقه طول می‌کشد و ۴۸ طبقه در طی یک روز وجود دارد (n=48). وقتی دوره کنترل ۳۰ دقیقه‌ای برای هر گروه از ACS تمام شود ، برگشت بار طی دوره بازگشت انرژی انجام می‌گیرد. بار برگشت داده شده خالص و الگوی بازگشت انرژی در طی دوره بازگشت به تعدادی عوامل مانند دما ، رطوبت ، راندمان ACS و ... بستگی دارد.

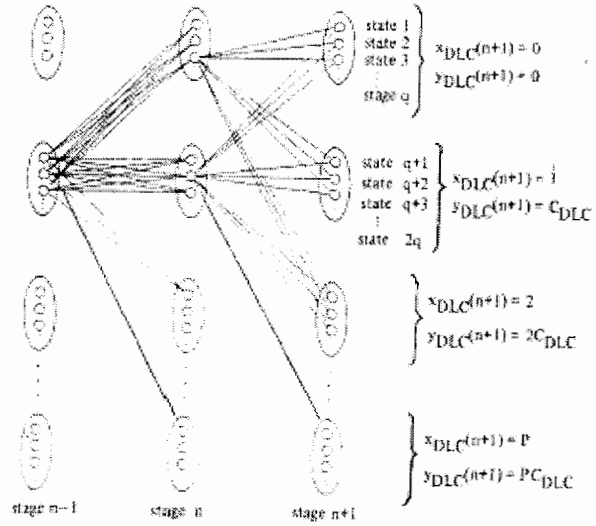
❖ کاربرد DLC در بکارگیری واحدهای تولید[2](UC)

هدف از UC این است که جدول‌بندی بهینه واحدهای تولید برق را تعیین کند به طوری که مجموع هزینه‌های عملکرد را کمینه سازد. بعلاوه برای تهیه تولید کافی برای تأمین تقاضای بار باید برخورد قیود بهره‌برداری معین مثل حد ذخیره چرخان ، مدت روشن و خاموش بودن واحدها و کار اجباری واحدها در نظر گرفته شود.

❖ برنامه‌ریزی پویا برایDLC و UC

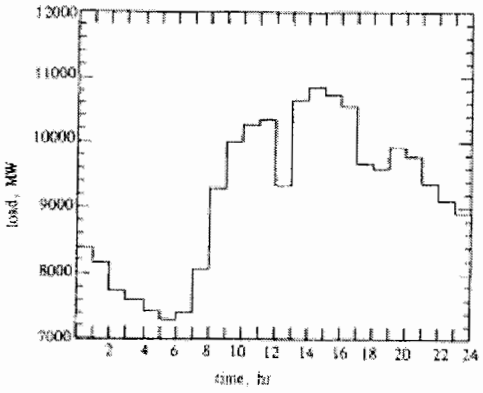
برای حل کردن رابطه مسأله DLC و UC یک روش بر اساس برنامه‌ریزی پویا مطرح شده است. جدول-بندی UC با کمترین هزینه باید تعیین شود و در هر طبقه ذخیره شود. شکل(۲-۴) مسیرهای جستجو از روش برنامه‌ریزی پویا را رسم کرده است.

1 – Air Conditioning Shed
2 – Unit Commitment



شکل (۲-۴) مسیرهای جستجو در طی دوره کنترل $(k+1 \le n \le k+M)$

برای روشن شدن مطالب فوق به بررسی یک مثال می‌پردازیم. شبکه برق تایوان شامل ۵ واحد هسته‌ای و ۴۸ واحد آبی و ۲۵ واحد حرارتی می‌باشد که مسأله توزیع DLC با روش برنامه‌ریزی پویا برای UC بکار برده می‌شود. . نکته قابل ذکر آنکه فقط واحدهای حرارتی در UC در نظر گرفته شده‌اند و احدهای آبی جداگانه بهینه شده‌اند. شکل (۲-۵) منحنی بار پیش‌بینی شده را نشان میدهد.



شکل (۲-۵) بارهای ساعتی برای سیستم مورد مطالعه

از شکل (۲-۵) مشهود است که اوج روزانه بار در بعدازظهر از ساعت ۱۳ الی ۱۷ است. DLC در طی ساعات اوج مصرف بکارگرفته خواهد شد . لازم به ذکر است که برنامه پیش‌بینی بار اطلاعات ساعتی بار را به ما میدهد و فرض شده است که در طی یک ساعت بار ثابت باقی می‌ماند . بنابراین در طی یک ساعت دو طبقه داریم که هر دو طبقه دارای اطلاعات بار ساعتی مشابه‌ای هستند.

برای نشان دادن روش برنامه‌ریزی پویا ، صرفه‌جوئی هزینه تولید و نتایج جدول‌بندی UC حاصل از سه استراتژی مختلف DLC در زیر مقایسه خواهد شد :

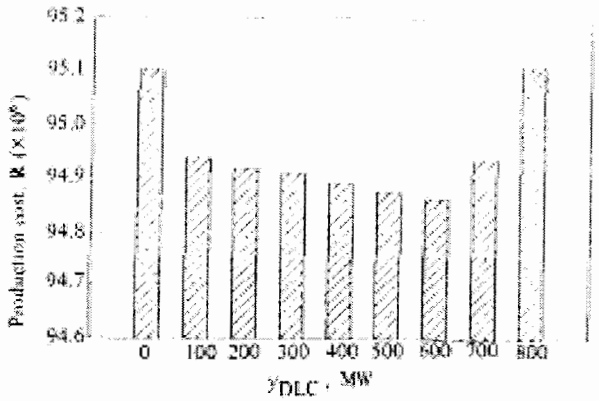
مورد (۱) UC بدون DLC

مورد (۲) یک مقدار ثابت DLC (از ساعت ۱۳ الی ۱۷)

مورد (۳) یک مقدار متغیر DLC بدست آمده از برنامه‌ریزی دینامیکی که در هر طبقه توزیع می‌شود. (از ساعت ۱۳ الی ۱۷)

الف) صرفه‌جوئی هزینه تولید

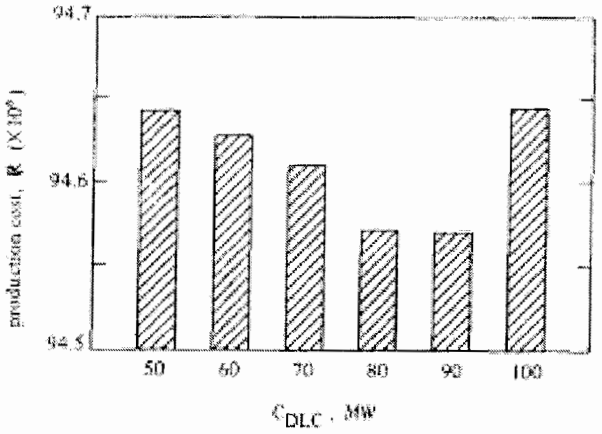
در مورد بدون DLC (مورد۱) ، مجموع هزینه تولید در یک روز 95.1*10^6 است.(واحد پول فرضی است). هزینه‌های تولید در مورد DLC با مقدار ثابت (مورد۲) در شکل (۲-۶) نشان داده شده است. در شکل (۲-۶) مشهود است که در طی مقادیر مختلف کاهش بار DLC با مقدار 600MW یک جدول‌بندی بهینه با هزینه تولید کمینه 94.86*10^6 فراهم می‌آورد.



شکل (۲-۶) هزینه‌های تولید برای مقدار ثابت DLC در مورد(۲)

طبق شکل (۲-۶) مشاهده می‌شود که صرفه‌جوئی هزینه سوخت برای کاهش بار ثابت 100MW حدود 0.16*10^6 است که به مقدار 600MW کاهش بار، افزایش می‌یابد و سرانجام با یک کاهش بار 700MW ، به مقدار 0.163*10^6 کاهش می‌یابد و با کاهش 800MW دیگر صرفه‌جوئی هزینه نداریم و این به دلیل اوج بار ثانویه ناشی از برگشت انرژی است. در این مطالعه کاهش بار 600MW انتخاب شده است.

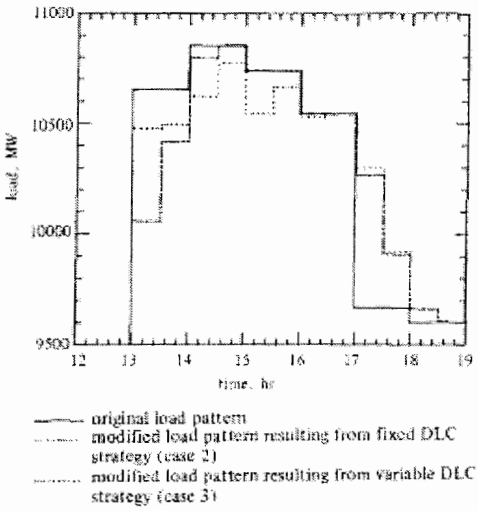
در مورد سوم ، مقادیر در هر طبقه باید با استفاده از برنامه‌ریزی پویا محاسبه گردد. شکل (۲-۷) هزینه تولید این مورد را نشان میدهد.



شکل (۲-۷) هزینه‌های تولید برای مقدار کاهش بار متغیر در طی دوره کنترل بار در مورد(۳)

در این مورد مصرف‌کنندگان تحت DLC به هفت گروه تقسیم شده‌اند. در حالیکه ظرفیت هر گروه (C_{DLC}) از 50MW به 90MW افزایش می‌یابد. اما افزایش بیشتر در C_{DLC} باعث کاهش هزینه صرفه-جوئی می‌گردد که این نیز به دلیل برگشت انرژی است. در مورد سوم مجموع کاهش (7*90MW) 630MW برای DLC استفاده شده است.

برای دیدن چگونگی صرفه‌جوئی هزینه‌های تولید که با کنترل بار حاصل میشود در شکل (۲-۸) الگوی اصلی و الگوی حاصله از استراتژی ۲ و ۳ رسم شده است. از شکل (۲-۸) می‌توان ملاحظه کرد که پیک بار توسط DLC کاهش می‌یابد. کاهش پیک بار باعث صرفه‌جوئی هزینه سوخت از طریق جدول‌بندی دوباره واحدها می‌گردد.

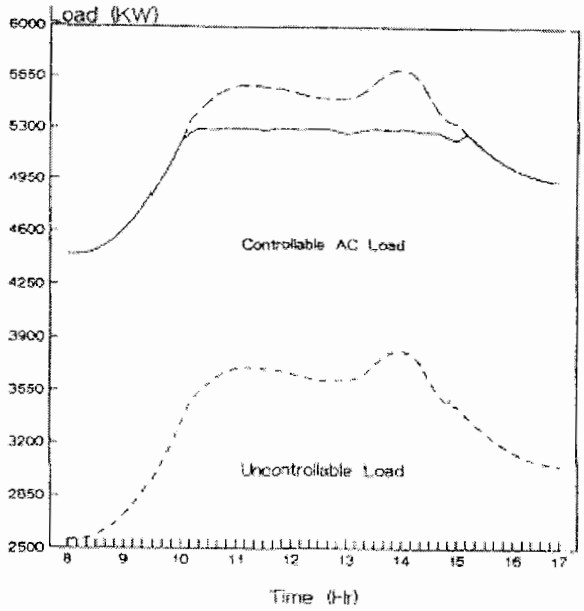


شکل (۲-۸) اثر کنترل بار مستقیم بر الگوی بار

روش برنامه‌ریزی پویا در بخش قبل با استفاده از یک زمان ثابت برای خاموش بودن ACS طراحی شده-بود. این روش نیاز به اصلاحاتی دارد که برخی قابلیت جدید به آن بیافزاید. از طرفی در طراحی روشهای DLC مقدار ذخیره چرخان سیستم نقش بسزائی دارد[12].

با توجه به دلائلی که در بخش گذشته بر آن اشاره شد، استراتژی جدول‌بندی DLC احتیاج دارد که کاهش بار را بهینه کند و پیک بار را کمتر و یا مساوی مقدار درخواست شده نگه دارد و بالطبع کاهش اثرات کم شدن درآمد و مشکلات مصرف‌کنندگان در طی یک دوره محدود تأمین برق را برآورده سازد.

این روش در شرکت برق تایوان مورد آزمایش قرار گرفته و اعداد و مثالها بر این اساس آورده شده‌اند.
قیودی که بر ACS قابل کنترل اعمال می‌شود ، محدودیت بیشترین زمان ممکن برای خاموش بودن (MAXT) و حداقل فاصله زمانی بین دوره کنترل متوالی (MINT) است. MINT توسط افزایش دما بسته به نوع ساختمان تعیین می‌گردد. MAXT به مشخصه عملکرد کمپرسورها مربوط است.
برنامه جدول‌بندی کنترل بارشامل دو بخش است: یکی تخمین حالات ممکن ترکیبهای on/off همه بارهای کنترل‌پذیر در هر طبقه از آغاز تا پایان ، و دیگری عملکرد برگشت از انتهای مسأله به آغاز برای یافتن مسیر بهینه می‌باشد.
بخش تخمین برنامه از اولین طبقه مورد مطالعه آغاز شده و به ترتیب طبقات حرکت می‌کند. این بخش مسیر انتقالی را که تعیین مسیر بهینه را ممکن می‌سازد ، مشخص می‌کند. هر حالت ممکن به یک مسیر که به یک حالت ممکن از طبقه قبل اشاره می‌کند ، متصل است که به آن Linkback می‌گویند .
فرآیند Linkback مسیر انتقال بین حالات عملی را تعیین می‌سازد. در هر طبقه کاهش بار باید برای هر حالت عملی که قیود آن طبقه را نقض نکند ، محاسبه شود . در این بخش اگر یک قید نقض شود ، مثل MAXT و MINT آن مسیر دیگر ممکن نبوده و هزینه انتقال بی‌نهایت است. الگوی بار با کنترل و بدون کنترل در شکل (۲-۹) نشان داده شده است.



شکل (۲-۹) یک الگوی بار باکنترل و بدون کنترل

ممکن است که برخی از ACS به خصوص آنها که توان مصرفی کمتری دارند ، به دفعات قطع و وصل شوند . زیرا توان‌های کمتر برای پرکردن مقادیر چاله‌ها مناسب‌ترند. با وجود این هنوز همه قیود رعایت می‌شوند و تابع هدف و کمینه کردن مجموع کاهش بار و رسیدن به مقدار بهینه‌اش نیز رعایت می‌شود. در بعضی موارد برآوردن احتیاجات کمینه کاهش بار در قیود توزیع ممکن نیست. اگر مقدار کمینه کاهش بار زیاد باشد ، برنامه ممکن است به سطح مطلوب نرسد و خروج پیش‌بینی نشده یک واحد رخ دهد. در این مورد بهره‌بردار چند راه‌حل دارد :

- تغییر سطح بار هدف به مقدار بالاتر و عملی
- افزایش مقدار MAXT و کاهش MINT برای امکان کاهش بیشتر توان

زمانی که کنترل نظارتی تمام می‌شود، تقاضا فوراً در طی دوره برگشت انرژی برمی‌گردد. اگر این پدیده کنترل نشود تقاضای توان به سرعت افزایش پیدا می‌کند و اوج توان از حد مطلوب افزایش می‌یابد.

همانطور که قبلاً اشاره داشتیم ، استفاده از ابزارهای متنوع مدیریت بار در شرائط مختلف متفاوت میباشد و همه ابزارهای مدیریت بار را نمی‌توان بطور همزمان و در تمامی کشورها بطور یکسان مورد استفاده قرار داد. وجود شرائط متفاوت در کشورها و مناطق مختلف سبب گردیده است تا تکنیکها و استراتژیهای متفاوتی در مدیریت بار مطرح گردند. عواملی از قبیل ویژگیهای مصرف‌کنندگان ، شرائط بازار ، ویژگیهای تولیدکنندگان انرژی و ساختار قانون‌گذاری سبب اختلاف در برداشتهای ما از مدیریت بار میگردد.

بارهای قابل قطع[1] اشاره از جمله روشهای اعمال مدیریت بار می‌باشد که در مرجع [25] مورد مطالعه قرار گرفته شده است . در این روش شرکت توزیع با پرداخت یک هزینه تشویقی[2] به مصرف‌کنندگان ، آنها را تحریک به شرکت در برنامه مدیریت بار می‌کند.

محققان به منظور ایجاد قراردادهایی که بر اساس آن مصرف‌کنندگان بصورت داوطلبانه حذف بار انجام دهند ، از برنامه طراحی مکانیزم[3] استفاده نموده‌اند که در آن مصرف‌کنندگان بر اساس تمایل به حذف بارشان دسته‌بندی می‌شوند. مصرف‌کنندگان در ازای حذف بار خود بر مبنای یک تابع تشویقی جبران مالی می‌شوند[19].

آنچه که در اکثر روشهای مدیریت بار مورد لزوم و توجه است و در انتخاب روش اعمال مدیریت بار مؤثر است ، اطلاعاتی می‌باشد که شرکت توزیع از مصرف‌کنندگان خود دارند. به عبارتی همکاری متقابل بین شرکت توزیع و مصرف‌کنندگان در پیشبرد و کارآمد بودن یک روش مدیریت بار از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در مرجع [9] Alvarado و Fahrioglu قصد دارند با بکارگیری اطلاعاتی که از مصرف-کنندگان خود دارند ، تابع هزینه مصرف‌کنندگان را پیش‌بینی نمایند. فرم تابع هزینه زیادی مدلسازی و پیشنهاد شده است و ضرائب مربوط به آنها درجه‌بندی شده است. نتایج حاصل از مطالعه مرجع [9] نشان میدهد که اگر مصرف‌کنندگان اطلاعات غلطی را در اختیار شرکت توزیع قرار دهند ، ضرائب مربوط به تابع هزینه به درستی تعیین نمی‌گردد. اگر تابع هزینه به درستی توسط شرکت توزیع پیش-

1 – Interruptible Load Contracts
2 - Incentive
3 - Mechanism Design

بینی شود ، آنگاه شرکت توزیع می‌تواند میزان جبران مالی را که شرکت توزیع باید در ازای محدود کردن توان مصرفی به مصرف‌کنندگان پرداخت کند را بدست آورد[9].

یکی از فاکتورهای مهمی که می‌تواند در پیشبرد و کارآمد بودن یک برنامه مدیریت بار مصرفی مؤثر واقع شود ، همکاری متقابلی است که بین مصرف‌کنندگان صنعتی و شرکت توزیع ، به عنوان تأمین کننده توان ، می‌تواند وجود داشته باشد. با توجه به این مسأله در این پایان‌نامه برآنیم تا با بکارگیری نظریه رهبر-پیرو اثرات اعمال مدیریت بار برای مصرف‌کنندگان را مورد مطالعه قرار دهیم.

نتایج حاصل از این پایان‌نامه نشان می‌دهد که همکاری متقابل بین مصرف‌کنندگان و شرکت توزیع چگونه در سوددهی بیشتر برای طرفین مؤثر میباشد. در بخش بعدی به بررسی نظریه رهبر-پیرو و موارد استفاده آن خواهیم پرداخت.

۲-۴ بررسی نظریه رهبر-پیرو و موارد استفاده آن

استراتژی رهبر-پیرو برای نخستین بار در سال ۱۹۳۰ توسط شخصی به نام H. Von.Stackelberg مطرح گردید[7,22]. به همین دلیل در بعضی از مقالات و کتب علمی از این استراتژی به عنوان استراتژی استکلبرگ[1] نیز نام برده می‌شود. در آن زمان عمده استفاده از این نظریه کاربرد در علم اقتصاد و ایجاد قراردادها در رقابت‌های اقتصادی بود. پس از آن این نظریه در علوم مختلف بکار گرفته شد تا اینکه در سال ۱۹۷۲ توسط کروز[2] و چن[3] این نظریه وارد عرصه مهندسی کنترل گردید[10,22].

فرض کنیم می‌خواهیم استراتژی رهبر-پیرو را برای سیستمی پیاده‌سازی کنیم که این سیستم شامل تعدادی عضو و یا بازیگر[4] می‌باشد . این استراتژی زمانی می‌تواند مفید واقع شود که یکی از بازیگران و یا گروهی از بازیگران اطلاعات بیشتری نسبت به سایر بازیگران داشته باشند. در این نظریه افراد به دو گروه مجزا تقسیم‌بندی میشوند.گروه اول رهبر (Leader) و گروه دوم پیرو(Follower)

1 – Stackelberg Strategy
2 - Cruze
3 - Chen
4 - player

همانطور که اشاره شد ، در این نظریه یکی از بازیگران توانایی بیشتری نسبت به سایر بازیگران دارد و میتواند تصمیمات لازم را برای آنها اتخاذ نماید. بازیگری که قدرت در دست او باشد و استراتژی‌هایش توسط مابقی بازیگران اجراء شود، رهبر و دیگر بازیگران که به استراتژی‌ها و تصمیمات رهبر عکس‌العمل نشان می‌دهند، پیرو نامیده می‌شوند.

به صورت نمادین مجموعه رهبر و پیرو را می‌توان همانند یک هرمی در نظر گرفت که رهبر در رأس این هرم قرار دارد و دیگر اعضاء این گروه که همان پیروهای مسأله می‌باشند در دیگر نقاط این هرم پخش شده‌اند. با این اوصاف رهبر می‌تواند بر همه پیروهایش تسلط داشته باشد. در این نظریه مواردی از قبیل وجود چندین رهبر و پیرو و یا وجود چندین مرحله در تصمیم‌گیری می‌تواند وجود داشته‌باشد.

در مرجع [13] استراتژی رهبر-پیرو بصورت متوالی برای سیستمهای دینامیکی با چندین مرحله در تصمیم‌گیری اعمال شده است و در آن به بررسی چگونگی هماهنگی در یک سیستم بهم پیوسته پرداخته شده . برای ساختار سیستمهای چند مرحله‌ای یک هماهنگ‌کننده وجود دارد که همان رهبر (Leader) مسأله می‌باشد و در آن پیروها (Follower) در هر مرحله ، با وجود چندین دسته اطلاعات، تنها یک تصمیم را می‌توانند اتخاذ نمایند.

کاربرد استراتژی‌های رهبر-پیرو برای سیستمهای چند مرحله‌ای[1] که در آن دارای یکسری اطلاعات غیرمتمرکز شده همراه با وجود سلسله مراتب در امر تصمیم‌گیری می‌باشیم ، میتواند مفید واقع شود . از جمله استراتژیهای رهبر- پیرو (استکلبرگ) که برای سیستمهای چند مرحله‌ای مورد بررسی قرار گرفته شده است ، میتوان به استراتژی استکلبرگ حلقه باز[2] و فیدبک‌دار[3] اشاره نمود[13].

مفهوم استراتژی تشویقی بهینه[4] با بکارگیری این نظریه در مرجع [11] مورد بررسی قرارگرفته شده و در آن به قیود لازم در ارتباط با آن پرداخته شده است. برای اینکه رهبر در برابر تغییرات در تصمیمات دلخواه پیروها کمترین ضرر را متوجه گردد، به رهبر این امکان داده شده است که برای کم کردن ضرر خود در برابر این تغییرات ناخواسته ، پیروها را مورد تنبیه قرار دهد. همچنین در این مقاله استراتژی

1 – Multilevel Systems
2 – Open-loop Stackelberg Strategy
3 – Feedback Stackelberg Strategy
4 – Optimal Incentive

تشویقی بهینه در دو حالت استاتیک و دینامیک مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت از یک تابع هزینه درجه دوم برای بهینه‌سازی استفاده شده است. تئوری رهبر-پیرو می‌تواند در علوم و صنایع مختلفی همچون اقتصاد ، کنترل بهینه ، سیسم‌های قدرت وغیره مورد استفاده قرار گیرد. معمولاً در کاربرد این استراتژی تابع هزینه‌ای به رهبر و هرکدام از پیروهای مسأله نسبت داده می‌شود که نهایتاً این تابع هزینه، تابع هدف مسأله فرض می‌شود. هدف از این نظریه این می‌باشد که رهبر و پیروهای مسأله کنترل‌ها و یا استراتژی‌های خود را طوری انتخاب کنند که باعث کمینه‌سازی و یا بهینه‌سازی این توابع هدف گردد. در این میان رهبر با توجه به اینکه اطلاعات بیشتری نسبت به پیروها دارد، میتواند به پیروها در انتخاب کنترل بهینه خود کمک نماید.

در یک سیستم زمانی که بیشتر از یک تصمیم گیرنده به منظور رسیدن به اهداف سیستم وجود داشته باشد ، یافتن یک کنترل بهینه که موجب بهینه‌سازی سیستم گردد خیلی مشکل می‌باشد. زمانی که یک سیستم به طور ذاتی و طبیعی دارای شرائط لازم برای پیاده‌سازی استراتژی رهبر-پیرو را داشته باشد ، انتخاب یک کنترل بهینه جهت بهینه‌سازی سیستم قابل اتخاذ می‌باشد[18]. به منظور کاهش حساسیت در طراحی تشویقی[1] با استفاده از تئوری رهبر-پیرو در حالت دینامیکی ، یک سیستم زمان پیوسته به صورت زیر در نظر گرفته شده است[18].

$$\dot{x} = f(x,t) + b(x,t)\left[u^T \; v^T\right]^T \qquad (۱-۲)$$

که در آن :

v : بردار کنترلی رهبر

u : بردار کنترلی پیرو

x : متغیر حالت سیستم

t : زمان

تابع هزینه‌ای که برای پیرو مسأله در نظر گرفته شده است به صورت زیر می‌باشد:

1 – Incentive Design

$$J_f(x,u,v,t) = \int_{t_o}^{t_f} g_f(x,u,v,t)\,dt. \qquad (۲-۲)$$

$$\hat{g}_f(x, b^{-1}[\dot{x} - f(x,t)], t)$$

در مرجع [23] یک بهینه‌سازی با استفاده از استراتژی رهبر-پیرو (استکلبرگ) برای یک سیستم در حالت گسسته زمان صورت پذیرفته است که در آن سیستم مورد مطالعه بصورت یک معادله خطی گسسته زمان بصورت زیر درنظر گرفته شده است:

$$x(n+1) = A(n)x(n) + \sum_{i=1}^{2}[B_i(n)u_i(n)] \qquad (۳-۲)$$

که در $u_i(n)$ بردارهای کنترل و یا مقادیر انتخاب بازیگران و $x(n)$ بردار حالت سیستم می‌باشد. و تابع هدفی که برای هر کدام از بازیگران در نظر گرفته شده است به صورت زیر می‌باشد:

$$J_i = \tfrac{1}{2}\sum_{n=0}^{N-1}[x^T(n)Q_i(n)x(n) + u_i^T(n)R_{ii}(n)u_i(n) + u_j^T(n)R_{ij}(n)u_j(n)] \qquad (۴-۲)$$

که در آن $Q_i(n)$ ، $R_{ii}(n)$ و $R_{ij}(n)$ ماتریسهای متقارن و مثبت هستند. همچنین ماتریسهای مورد استفاده دارای ابعاد زیر می‌باشند:

$$[x(n)]_{m\times 1},\ [A(n)]_{m\times m},\ [B_1(n)]_{m\times p},\ [u_1(n)]_{p\times 1},\ [B_2(n)]_{m\times q},\ [u_2(n)]_{q\times 1},\ [Q_i(n)]_{m\times m},\ [R_{i1}(n)]_{p\times p},\ [R_{i2}(n)]_{q\times q},\quad \text{where } i = 1, 2. \qquad (۵-۲)$$

با استفاده از تئوری کنترل بهینه و بکارگیری روش همیلتون کنترل بهینه‌ای که برای بازیگر اول بدست آورده شده به صورت خلاصه بصورت زیر می‌باشد:

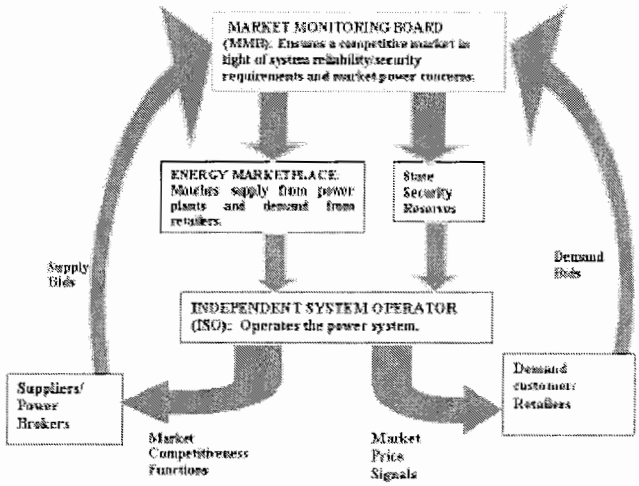
$$\begin{aligned} u_1^t(n) &= -R_{11}^{-1}(n)B_1^T(n)K(n+1)x(n+1) \\ &= -R_{11}^{-1}(n)B_1^T(n)K(n+1) \\ &\quad \times [I + B_1(n)R_{11}^{-1}(n)B_1^T(n)K(n+1) \\ &\quad + B_2(n)R_{12}^{-1}(n)B_2^T(n)K(n+1)]^{-1}A(n)x^t(n) \\ &= -F_1(n)x^t(n) \end{aligned} \tag{۶-۲}$$

که در آن $F_1(n)$ بصورت زیر محاسبه میگردد:

$$\begin{aligned} F_1(n) &= R_{11}^{-1}(n)B_1^T(n)K(n+1) \\ &\quad \times [I + B_1(n)R_{11}^{-1}(n)B_1^T(n)K(n+1) \\ &\quad + B_2(n)R_{12}^{-1}(n)B_2^T(n)K(n+1)]^{-1}A(n). \end{aligned} \tag{۷-۲}$$

$$\begin{aligned} K(n) &= Q_1(n) + A^T(n)K(n+1) \\ &\quad \times [I + B_1(n)R_{11}^{-1}(n)B_1^T(n)K(n+1) \\ &\quad + B_2(n)R_{12}^{-1}(n)B_2^T(n)K(n+1)]^{-1}A(n) \\ K(N) &= 0. \end{aligned}$$

و در مرجع [15] از تئوری رهبر-پیرو به منظور فرمول‌بندی یک راه‌حل برای کنترل و سازماندهی بازار برق با توجه به قابلیت امنیت و اطمینان سیستم استفاده شده است. در این مرجع ساختاری که برای کنترل بازار برق در این سیستم درنظر گرفته شده است مطابق شکل (۲-۱۰) می‌باشد.



شکل (۲-۱۰) ساختار کنترلی در نظر گرفته شده برای بازار برق در مرجع [14]

همانطور که در شکل (۲-۱۰) قابل مشاهده است ، وظیفه اصلی مرکز مونیتورینگ[1] (MMB) ایجاد هماهنگی‌های لازم بین تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان برق می‌باشد. MMB با در نظرگرفتن قابلیت امنیت و اطمینان سیستم و همچنین مقادیر ذخیره چرخان ، در تعیین میزان قیمت‌گذاری برق نقش دارد. از طرفی دیگر، دیگر بازیگران بازار که نقش عملکردهای رقابتی بازار[2] (MCF) را درتعیین میزان تولید نیروگاهها بر عهده دارند میتوانند نقش بسزایی در عملکرد و قیمت بازار برق داشته باشند. در اینجا MCFها را به عنوان بازیگرانی می‌شناسیم که باید تحت قیود و شرائط MMB فعالیت خودشان را در بازار انجام دهند. در این مرجع ازMMB که در رأس بازار قرار دارند و هماهنگی‌های لازم را انجام می-دهد، بعنوان رهبر و MCFها به عنوان پیروهای مسأله در نظر گرفته شده است. در نهایت بهینه‌سازی لازم برای سوددهی بیشتر بازیگران انجام شده است.

1 – Market Monitoring Board
2 – Market Competitiveness Functions

از جمله تحقیقاتی که در آن از نظریه رهبر-پیرو استفاده شده است ، میتوان به مرجع [6] اشاره نمود . در این مرجع آقایان رحیمی‌کیان و کوپائی‌نیا سعی دارند از این نظریه در مدیریت تشویقی بارهای صنعتی استفاده نمایند . بدین منظور دو مصرف‌کننده صنعتی به عنوان پیروهای مسأله و یک شرکت توزیع به عنوان رهبر در نظر گرفته شده است.

در این پایان‌نامه قصد بر این است که با تغییر یکسری از فرضیات و همچنین با در نظر گرفتن یکسری قیود ، ادامه کار در مرجع [6] مورد مطالعه قرار گیرد.

از جمله تفاوتهایی که می‌توان در این پایان‌نامه با مرجع [6] قائل شد این است که فرم تابع سود در نظر گرفته شده برای رهبر متفاوت می‌باشد . همچنین تمامی ضرائب ، توانهای مربوط به توابع سود ، قیمت توان و داده‌های مسأله متفاوت در نظر گرفته شده است. در مرجع [6] رهبر میزان توان خریداری شده از بازار را توسط تابع utility خود بدست می‌آورد ، در صورتیکه در این پایان‌نامه فرض بر این است که رهبر مجموع توانهای مصرفی پیروها را مبنای خرید توان از بازار قرار می‌دهد.

در مرجع [6] قیمت توان در دو سناریو متفاوت در نظر گرفته شده است ، ولی در این پایان‌نامه قیمت توان در دو سناریو یکسان در نظر گرفته شده است. همچنین در مرجع [6] در سناریوی دوم قیمت توان برای پیرو یک و دو متفاوت فرض شده است ، در صورتیکه در این اینجا قیمت توان برای هر دو پیرو یکسان در نظر گرفته شده است. و در حالت کلی می‌توان گفت سناریوی دوم در این پایان‌نامه و مرجع [6] کاملاً متفاوت در نظر گرفته شده است. همچنین به یکسری از نتایج متفاوت در انجام شبیه‌سازیها در این پایان‌نامه و مرجع [6] اشاره شده است که تفاوتها و توضیحات بیشتر در این مورد در ادامه پایان‌نامه مورد بررسی قرار گرفته است.

در این پایان‌نامه جهت استفاده از نظریه رهبر-پیرو برای حل مسأله مدیریت مصرف بار، منطقه‌ای در نظر گرفته می‌شود که شامل یک شرکت توزیع و دو مصرف‌کننده بزرگ صنعتی می‌باشد. در این منطقه شرکت توزیع ، رهبر و دو مصرف‌کننده صنعتی بعنوان پیروهای این مسأله در نظر گرفته شده است. شرکت توزیع به این دلیل به عنوان رهبر در نظر گرفته شده است که میتواند اطلاعات کاملتری نسبت به پیروها از سیستم و بازار برق داشته‌باشد . همچنین هر پیرو فقط اطلاعات مربوط به خود را می‌داند و

اطلاعاتی در مورد سایر پیروها را ندارد. رهبر بدلیل برخورداری از این اطلاعات و همچنین اطلاعات پیروها پارامترهای توابع خدمات و سود همه بازیگران را به گونه‌ای بهینه می‌سازد تا هم به نفع خود و هم به نفع پیروها باشد. در این حالت پیرو می‌تواند به بهینه‌سازی پیشنهاد شده از جانب رهبر عمل کند و یا نکند. عمل پیرو به بهینه‌سازی پیشنهاد شده از جانب رهبر موجب افزایش قابلیت اطمینان سیستم و همچنین سود خود خواهد شد و برعکس عدم توجه به پیشنهاد رهبر ممکن است موجب ضررهای جبران ناپذیری مانند کاهش قابلیت اطمینان سیستم و ضرر مالی پیروها شود[6].

در فصل بعدی مدیریت بار مصرفی بر اساس استراتژی رهبر-پیرو مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

فصل سوم

مدیریت بار مصرفی بر اساس استراتژی رهبر-پیرو

مدیریت بار مصرفی بر اساس استراتژی رهبر-پیرو

۳-۱ کنترل غیرپویای بار

فرض مسأله بر این است که مصرف‌کنندگان صنعتی (پیروها) هیچگونه اطلاعی از قیمت و بازار برق ندارند. بلکه این شرکت توزیع (رهبر) می‌باشد که اشراف کاملی به بازار و قیمت توان دارد. پیروها برای خرید توان مصرفی از بازار باید به واسطه رهبر عمل نمایند و توان درخواستی خود را از طریق رهبر خریداری نمایند. بنابراین ، نخست مصرف‌کنندگان صنعتی و یا پیروهای مسأله با توجه به تاریخچه و سوابق مصرفی خود باید مقدار توان مورد نیاز خود در آینده را پیش‌بینی نمایند. سپس به واسطه رهبر این مقدار توان از طریق بازار برق برای آنها تأمین گردد. دوباره تأکید می‌شود که هر پیرو خود به تنهایی قادر به تأمین توان درخواستی خود از بازار نیست و این کار حتماً باید توسط رهبر صورت پذیرد.

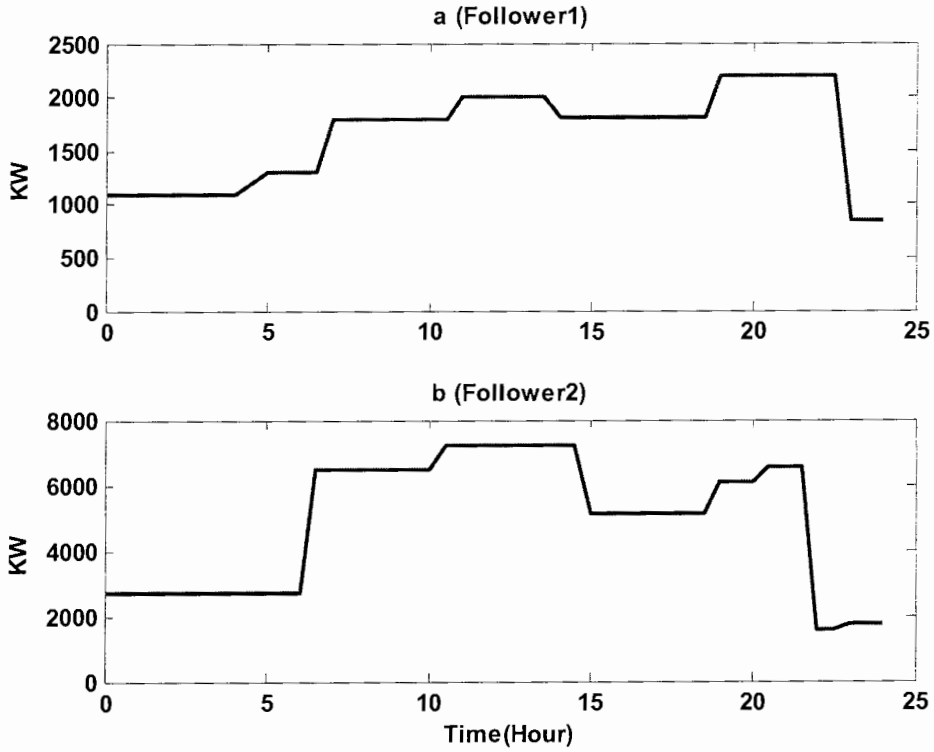
در کنترل غیرپویای بار فرض بر این گرفته شده است که پیروها مقدار توان مصرفی مورد نیاز فردای خود را از یک روز قبل به رهبر ارائه می‌دهند. (در مرجع [6] رهبر ، متوسط مصرف اولین ماه از شش ماه اول سال را مبنای خرید توان برای پیروها درنظر میگیرد). بنابراین رهبر با توجه به قدرت و نفوذی که در بازار برق دارد ، با کمترین قیمت ممکن مقدار توان درخواستی پیروها را از طریق بازار برق و بصورت یک قرارداد بلند مدت ۲۴ ساعته برای آنها تهیه مینماید. لازم به ذکر است که فرض بر این گرفته شده است که رهبر به هر طریق ممکن این مقدار توان را برای پیروها تهیه مینماید.

در قراردادهای بلند مدت مقدار و قیمت انرژی الکتریکی ثابت است. بنابراین این قراردادها مشابه قراردادهای متداول خرید و فروش کالاهای دیگر و یا قراردادهای بلند مدت متداول بین شرکتها است. مشتری که با چنین قراردادی انرژی برق را می‌خرد در نظر بگیرید . وقتی سرانجام زمان قرارداد فرا

میرسد ، مشتری دقیقاً مالک مقدار انرژی تعیین شده به ازائ قیمت ثابت مشخص شده (مستقل از قیمت لحظه‌ای واقعی در آن زمان) است. با وجود این اگر قیمت لحظه‌ای ساعتی در آن زمان بالای قیمت قرارداد باشد ، مشتری می‌تواند انرژی کمتری از مقدار قرارداد را استفاده کند و حق خود را به شرکت بفروشد که در این صورت برای او سود به همراه خواهد داشت[24].

فرض شود میزان توان درخواستی که روز قبل هر کدام از پیروهای یک و دو برای ۲۴ ساعت شبانه‌روز خود به رهبر ارائه می‌دهند ، تا از بازار برای آنها تهیه گردد ، مطابق شکل (۳-۱) باشد .

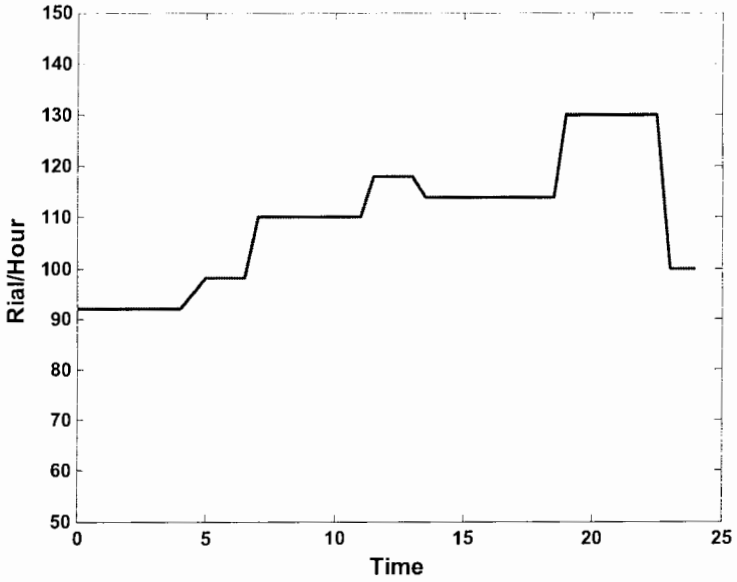
.



شکل (۳-۱) مرجع مصرف توان برای پیروها برای ۲۴ ساعت

بنابراین رهبر این مقدار توان مصرفی درخواستی را به عنوان مرجع مصرفی هر کدام از پیروها در نظر می‌گیرد. همانطور که گفته شد رهبر از طریق یک قرارداد بلندمدت ۲۴ ساعته این مقدار توان را از بازار برای آنها خریداری می‌نماید.

فرض می‌شود قیمت توانی که رهبر و یا شرکت توزیع برای عرضه به پیروهایش از بازار برق خریداری می‌کند ، مطابق شکل (۳-۲) باشد.

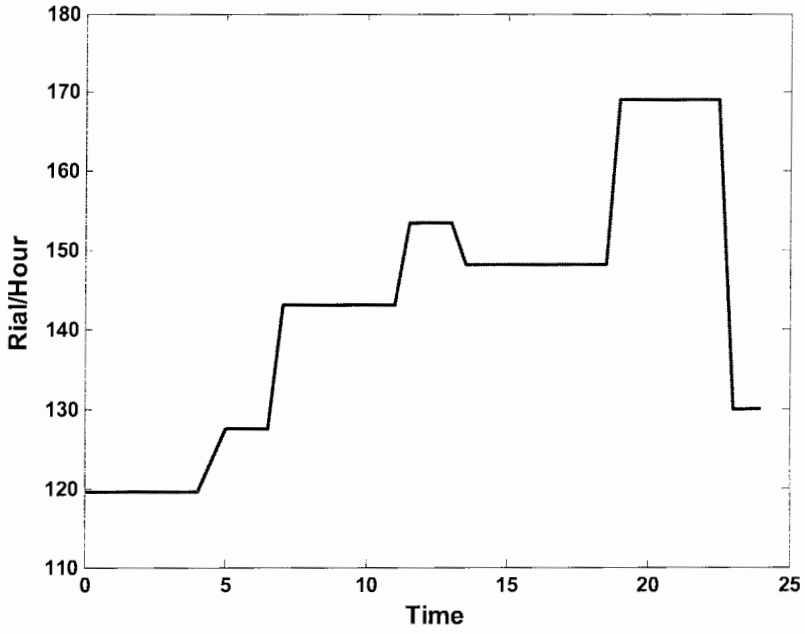


شکل (۳-۲) قیمت توان در بازار برای ۲۴ ساعت شبانه‌روز

اگر M مقدار توان خریداری شده با قیمت λ از بازار برق توسط رهبر باشد ، مقدار هزینه‌ای که رهبر برای خرید این مقدار توان باید بپردازد به بصورت $M.\lambda$ می‌باشد. K_L هزینه‌های ثابت ، مانند هزینه‌های تعمیر و نگهداری تجهیزات و غیره ، رهبر در نظر گرفته می‌شود. با فرض اینکه رهبر این مقدار توان را با قیمت P به پیروها به فروش برساند ، تابع سود رهبر بصورت زیر بدست می‌آید :

$$B_f = M.(P-\lambda) - K_L \qquad (۱-۳)$$

رهبر با توجه به تابع سود خود ، قیمت خرید برق از بازار و همچنین مقدار توان درخواستی از طرف پیروها ، باید برای بدست آوردن سود دلخواه خود قیمتی را برای ارائه توان به پیروهایش مشخص نماید. بنابراین رهبر با توجه به شرائط روز بازار و مقدار سود دلخواه خود در هر پریود زمانی ، قیمتی را برای ارائه توان به پیروهایش پیشنهاد میکند که مقدار این قیمت در شکل (۳-۳) نشان داده شده است.



شکل (۳-۳) بهای انرژی مشخص‌شده توسط رهبر برای عرضه به پیروها

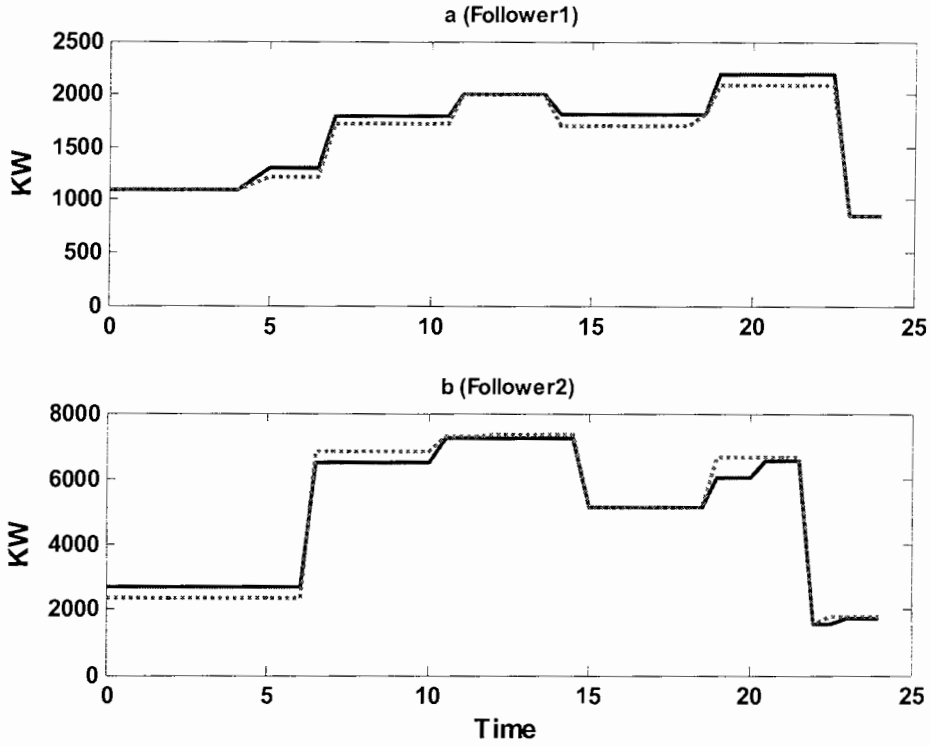
لازم به توضیح است که تابع سود در نظر گرفته شده در مرجع [6] برای شرکت توزیع (رهبر) به صورت زیر می‌باشد:

$$B^L = \sum_{k=1}^{24} \{ \sum_{i=1}^{2} (d_i^k \times p_i^k) - D^k \cdot \lambda^k - OMC \}$$

d_i^k : مقدار تقاضای بار هر یک از مصرف‌کنندگان
p_i^k : قیمت فروش توان به هر یک از مصرف‌کنندگان
D : میزان کل توان خریداری از بازار
λ : هزینه توان خریداری شده
OMC : هزینه کارکرد و نگهداری شرکت توزیع

در این جا فرض بر این گرفته شده‌است که رهبر با مقایسه مصرف واقعی پیروها با مصارف مراجعشان (که روز قبل سفارش داده بودند) اگر توان مازاد بر مصرف مرجع خود داشته باشند ، رهبر می‌تواند با امضای قراردادهایی با آنها این مازاد بر مصرفشان را در بازار دیگری (مانند رزرو) بفروش برساند. برای تشویق پیروها در شرکت در برنامه مدیریت بار سود حاصل از فروش این توان مازاد را به خود آنها برمی‌گرداند. و برعکس اگر پیروی میزان مصرفی بیش از مرجع داشته باشد برای جبران این کمبود رهبر مجبور به خرید توان اضافی از بازار تولید با قیمت بالاتری می‌شود . همچنین این نکته را باید در نظر گرفت که تأمین این توان امکان دارد از قابلیت اطمینان پایینی برخوردار باشد. در این جا فرض بر این گرفته شده‌است که این توان خریداری شده برای جبران کمبود بار پیروها از قابلیت اطمینان کمی برخوردار می‌باشد.

مقدار مصرف واقعی هر کدام از پیروها نسبت به مرجع مصرفی آنها در شکل (۳-۴) نشان داده شده است.



شکل (۳-۴) مصرف واقعی پیروها در مقایسه با مصرف مرجع آنها

مصرف مرجع _ مصرف واقعی ...

۳-۱-۱ سود مجموع پیروها

به منظور یافتن مقدار سود مجموع پیروها باید این نکته را در نظر گرفت که سود پیروها از دو قسمت تشکیل شده است :

الف) سود حاصل از فروش توان اضافی که در نتیجه صرفه جوئی‌ها و یا به عبارتی در اثر مدیریت مصرفی که پیروها داشته‌اند بوجود آمده است.

ب) سود حاصل از مصرف توان که منجر به تولیدات کارخانه می‌شود.

برای محاسبه سود قسمت (ب) پیروها ، باید تابع سودی را برای آنها در نظرگرفت. برای اینکار نخست به تعریف یکسری از توابع اقتصادی میپردازیم .

الف) تابع تولید[1]

تابع تولید یک رابطه نهاده-ستاده[2] را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر تابع تولید نرخ تبدیل منابع به محصولات را مشخص می‌کند[21]. یک تابع تولید را به طرق مختلف می‌توان نشان داد. از جمله به صورت نوشته ، شمارش و توضیح نهاده‌هایی که روی میزان ستاده‌ها موثرند ، با تهیه لیست نهاده‌ها و ستاده‌ها به صورت عددی در یک جدول ، به‌صورت تصویر و بالاخره به‌صورت یک معادله جبری[21] .

یک تابع تولید به صورت زیر می‌تواند نوشته شود :

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, ..., X_n) \qquad (۲-۳)$$

که در آن Y ستاده و $X_1 ..... X_n$ نهاده‌ها هستند که در تولید محصول یا ستاده شرکت دارند. علامت f نوع رابطه‌ای که نهاده‌ها را به ستاده تبدیل می‌نماید، مشخص می‌کند. باید توجه داشت که برای هر ترکیب نهاده‌ها یک مقدار واحد ستاده وجود دارد.

به عنوان مثال تابع تولیدی که در این پایان‌نامه برای دو واحد صنعتی در نظر گرفته شده است، به صورت زیر بیان می‌شود[6] :

$$Y = f(X_1, X_2, X_3) = (X_1)^a \times (X_2)^b \times (X_3)^c \qquad (۳-۳)$$

X_1 : تعداد عوامل و نیروی انسانی

X_2 : مقدار مواد اولیه مصرفی واحد صنعتی

X_3 : مقدار توان مصرفی واحد صنعتی

$\{a, b, c\}$: مقادیر حقیقی مثبت

1 – Revenue Function
2 – Input(raw material)-Output(product)

رابطه بالا به صورت فعلی میزان اهمیت و مشارکت هریک از نهاده‌ها را در فرایند تولید نشان می‌دهد.

ب) تابع هزینه[1]

هزینه‌ها مخارجی می‌باشند که برای سازمان دادن و انجام فرایند تولید پرداخت می‌شوند. هزینه‌ها شامل مخارج مربوط به نهاده‌ها و خدماتی هستند که در تولید مصرف شده‌اند. در کوتاه مدت هزینه‌های کل شامل هزینه‌های ثابت و متغیر می‌باشند. در بلند مدت، همه هزینه‌ها متغیرند، زیرا همه نهاده‌ها متغیر هستند[21]. یک منبع یا نهاده ثابت نامیده می‌شود اگر مقدار آن در طول مدت تولید تغییر نکند و یک منبع یا نهاده متغیر نامیده می‌شود اگر مقدار آن در طول دوره تغییر کند. نهاده‌ها دارای هزینه‌های مربوط به خود هستند. به طور کلی هزینه‌های مربوط به نهاده‌های متغیر هزینه‌های متغیر نامیده می‌شوند. وقتی میزان تولید تغییر می‌کند مقدار هزینه‌های ثابت تغییر نمی‌کند . حتی اگر تولیدی صورت نگیرد باز هزینه‌های ثابت مقدارش تغییر نخواهد کرد. هزینه‌های ثابت مستقل از میزان تولید هستند. هزینه‌های ثابت معمولاً مربوط به نهاده‌های ثابت (واحدهای تکنیکی) می‌باشند زیرا وقتی نهاده‌ای ثابت باشد مخارج مربوط به آن نیز ثابت است. در این مورد بایستی دقت شود زیرا این حکم همیشه ثابت نیست[21].

در عمل دو راه برای برآورد تابع هزینه واحدهای تولیدی وجود دارد. راه اول این است که توابع هزینه را مستقیماً برآورد کنیم. برای مثال، با مشاهده ارقام مربوط به مقادیر ستاده‌ها و هزینه تعدادی از واحد تولیدی نمونه، می‌توان رابطه هزینه‌ها و میزان ستاده را تعیین کرد[6].

راه دوم این است که توابع هزینه را مستقیماً از تابع تولید برآورد نماییم. اگر تابع تولید معلوم باشد، با استفاده از هزینه‌های ثابت و قیمت نهاده‌ها می‌توان توابع هزینه را بدست آورد.

به‌عنوان مثال تابع هزینه دو مصرف‌کننده صنعتی در نظر گرفته شده در این پایان‌نامه به صورت زیر می‌باشد[6].

$$Cost(X) = W^T \cdot X = W_1X_1 + W_2X_2 + W_3X_3 + K_F \qquad (۴-۳)$$

1 – Cost Function

W_1 : حقوق پرداختی نیروی انسانی

W_2 : هزینه خرید مواد اولیه مورد نیاز

W_3 : قیمت خرید توان برق مصرفی

K_F : هزینه ثابت شرکت (مانند هزینه تعمیر و نگهداری تجهیزات و.....)

ج) تابع سود[1]

سود اقتصادی اختلاف بین دریافتیهای بنگاه و هزینه‌هایی است که بنگاه متحمل می‌شود. مهم است بدانیم که کلیه هزینه‌ها بایستی در محاسبه سود قید گردند. بعنوان مثال اگر مغازه‌داری در مغازه خود کار می‌کند حقوقش به منزله یک کارگر باید در محاسبه هزینه به حساب آید[21]. هم درآمدها و هم هزینه‌های بنگاه بستگی به فعالیتهای بنگاه دارد. این فعالیتها ممکن است به چند شکل صورت گیرد. فعالیتهای تولیدی واقعی ، خرید عوامل تولید و تبلیغات نمونه‌هایی از فعالیت بنگاه می‌باشند.

با توجه به مطالب ذکر شده در بالا ، سود هر شرکت یا واحد تولیدی از دو قسمت درآمد و هزینه تشکیل شده‌است. رابطه این دو پارامتر در تابع سود به صورت زیر بیان می‌شود[6] :

سود = درآمد - هزینه (۳-۵)

با توجه به روابط بیان شده در بالا و با توجه به رابطه سود هر بنگاه ، رابطه سود حاصله برای هر یک از واحدهای صنعتی در نظر گرفته شده در این پایان‌نامه برای یک شبانه‌روز به صورت زیر بیان می‌شوند :

$$B^{F1} = \sum_{k=1}^{24} \{G_{F1} \times (x_{11}^k)^{0.19} \times (x_{12}^k)^{0.21} \times (x_{13}^k)^{0.32} - (w_{11}^k \cdot x_{11}^k + w_{12}^k \cdot x_{12}^k + w_{13}^k \cdot x_{13}^k) - K_{F1}\} \qquad (۳-۶)$$

1 - Benefit Function

$$B^{F2} = \sum_{k=1}^{24} \{G_{F2} \times (x_{21})^{0.22} \times (x_{22})^{0.18} \times (x_{23}^k)^{0.39} - \left(w_{21}^k \cdot x_{21}^k + w_{22}^k \cdot x_{22}^k + w_{23}^k \cdot x_{23}^k\right) - K_{F2}\} \quad (۷-۳)$$

G_{F1} : قیمت کالای تولیدی توسط واحد صنعتی یک (پیرو یک)

G_{F2} : قیمت کالای تولیدی توسط واحد صنعتی یک (پیرو دو)

جدول (۳-۱) مقادیر مربوط به X و W را برای پیرو یک و دو نشان می‌دهد. همچنین مقدار G برای پیروها بصورت زیر انتخاب شده است.

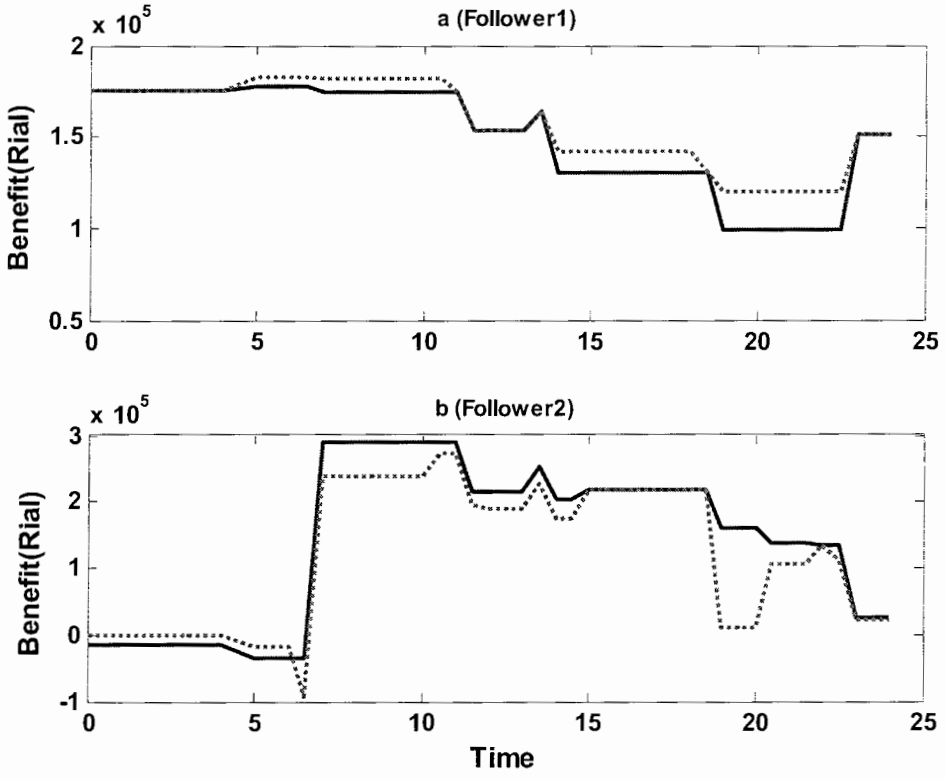
$G_{F1} = 23500$

$G_{F2} = 12800$

جدول (۳-۱) مقادیر مربوط به x و w برای هر کدام از پیروها

ساعت	۱-۷	۷-۱۴	۱۴-۱۹	۱۹-۲۳	۲۳-۲۴
(ساعت/ نیروی انسانی) x_{11}	۱۰	۸	۱۰	۹	۱۱
(ساعت/ تن) x_{12}	۲۲	۴۰	۴۵	۲۳	۲۰
(نیروی انسانی/ ریال) w_{11}	۱۰۰۰۰	۷۵۰۰	۸۴۰۰	۹۵۰۰	۱۰۰۰۰
(تن/ ریال) w_{12}	۹۰۰۰	۷۳۰۰	۸۰۰۰	۸۸۰۰	۹۰۰۰
(ساعت/ نیروی انسانی) x_{21}	۲۹	۴۸	۴۰	۲۷	۱۹
(ساعت/ تن) x_{22}	۵۲	۲۳۰	۱۸۰	۱۳۵	۹۲
(نیروی انسانی/ ریال) w_{21}	۱۳۰۰۰	۷۵۰۰	۸۸۰۰	۷۴۰۰	۱۰۰۰۰
(تن/ ریال) w_{22}	۸۵۰۰	۳۵۰۰	۳۶۵۰	۳۴۰۰	۵۵۰۰

سود مرجع پیروها اینگونه در نظر گرفته می‌شود که پیروها دقیقاً همان مقدار توانی را که سفارش نموده‌اند ، مصرف نمایند. به عبارت دیگر پیروها هیچگونه توان اضافی جهت فروش به بازار و همچنین هیچگونه کمبود توانی به منظور خرید از بازار نداشته باشند. با توجه به موارد ذکرشده ، با محاسبه سود مجموع بدست آمده (مطابق رابطه (۳-۶ و ۳-۷) توسط پیروها ، در شکل (۳-۵) ملاحظه می‌شود که پیرو یک بدلیل دنبالروی از مرجع خود و همچنین دارا بودن توان مازاد برای ارائه در بازار، سود بیشتری در مقایسه با سود مرجع می‌برد. اما پیرو دو بدلیل عدم پیروی از مرجع مصرفی در ساعاتی از شبانه روز ضرر مالی زیادی را متحمل می‌شود. البته باید توجه داشت همانطور که گفته شد پیرو دو چون در ساعات اولیه روز دارای توان مازاد بر مصرف مرجع جهت فروش دارد ، در این ساعات سود آن از سود مرجع بیشتر شده است.

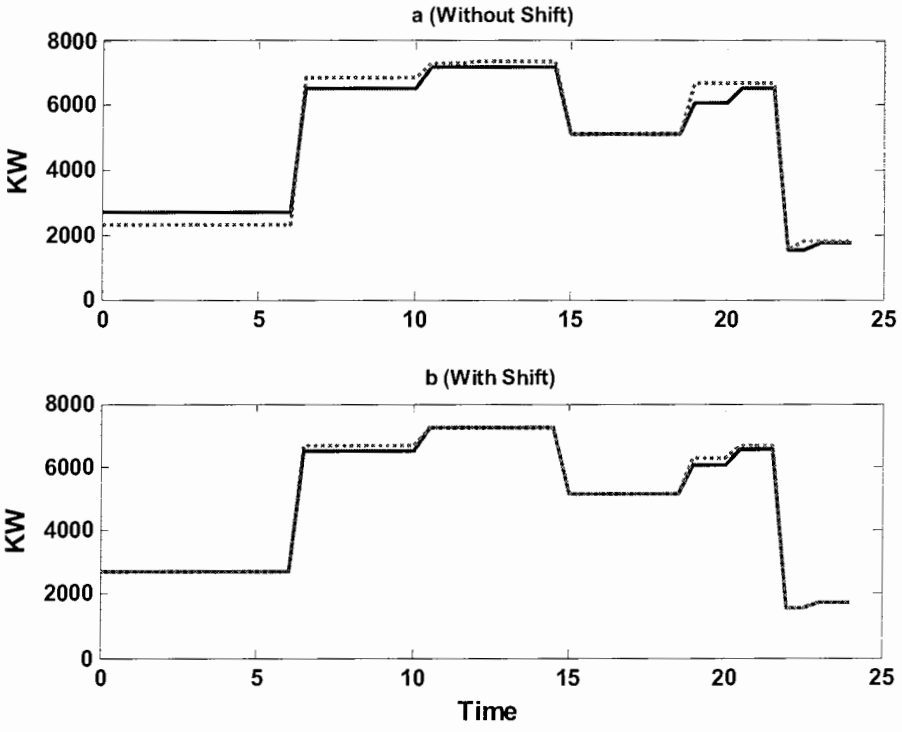


شکل (۳-۵) سود بدست آمده واقعی هرکدام از پیروها نسبت به سود مرجع

سود مرجع _ سود واقعی بدست آمده ...

همانطور که در شکل (۳-۴) مشاهده شد ، پیرو دو در ساعاتی دارای توان مازاد بر مصرف مرجع می‌باشد. در این صورت او می‌تواند مقداری از مصرف خود را از ساعاتی که کمبود توان دارد به ساعاتی که مازاد توان دارد انتقال دهد. با این کار مقداری از ضرر ناشی از خرید توان از بازار رزرو توسط پیرو دو می‌تواند جبران شود.

شکل (۳-۶) مصرف واقعی پیرو دو در حالت عادی و در حالت انتقال زمانی ، نسبت به مرجع مصرفی را نشان میدهد.

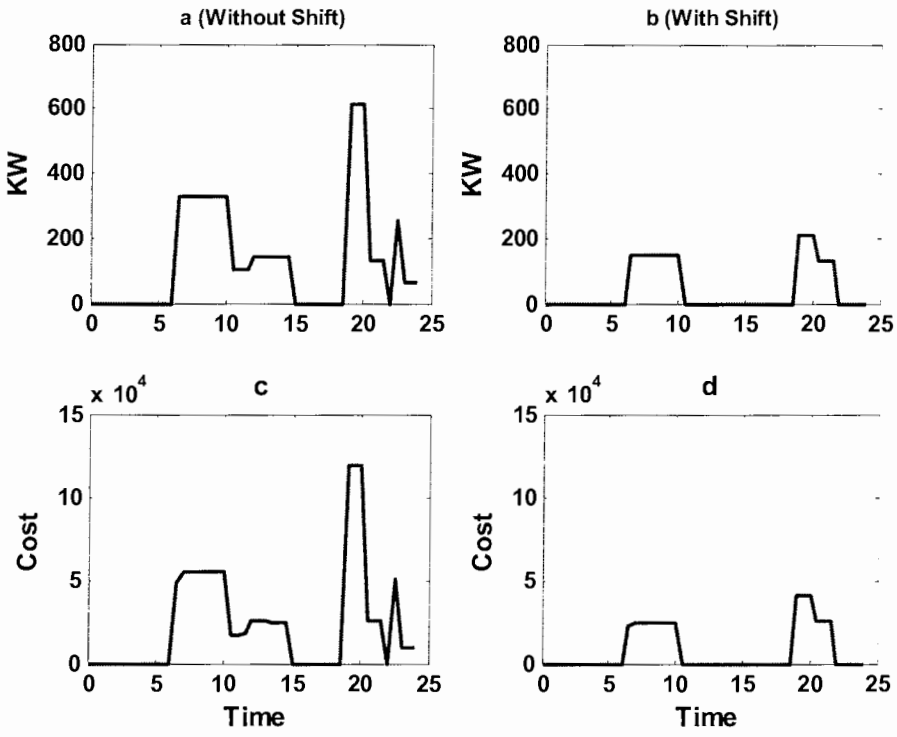


شکل (۳-۶-a) مصرف واقعی پیرو دو نسبت به مصرف مرجع در حالت عادی

شکل (۳-۶-b) مصرف واقعی پیرو دو نسبت به مصرف مرجع در حالت انتقال زمانی

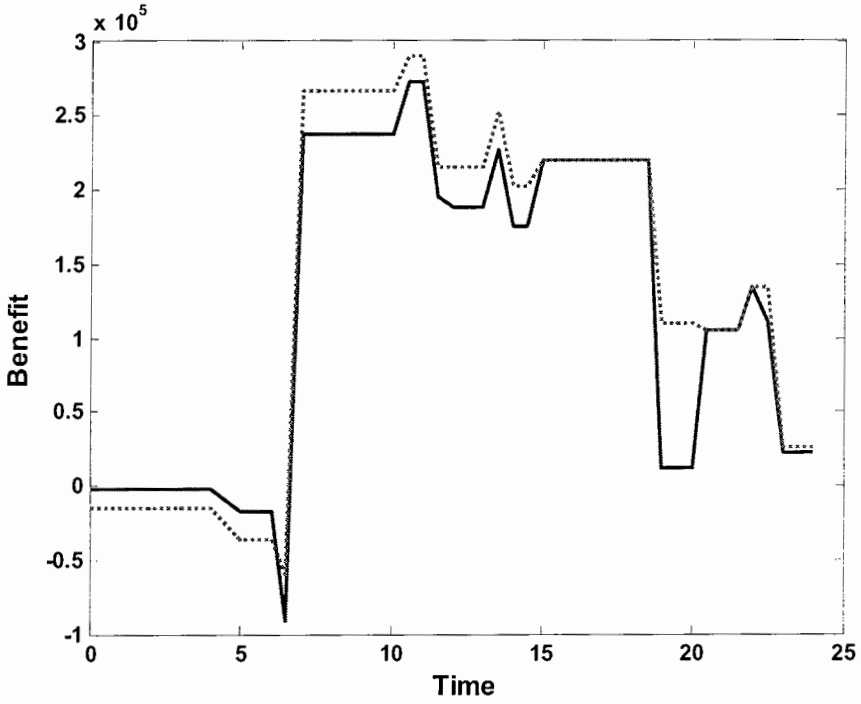
مصرف مرجع _ مصرف واقعی ...

همانطور که در شکل (۳-۶-a) ملاحظه می‌شود ، پیرو دو در بعضی از ساعات نیم‌روز و ساعات پیک مصرف دارای کمبود توان می‌باشد و مجبور به خرید این توان از بازار رزرو به واسطه رهبر با قیمت بالا می‌باشد. پیرو دو خرید توان اضافی را می‌تواند با انتقال مصرف از ساعاتی که کمبود توان دارد به ساعاتی که مازاد بر مصرف مرجع دارد جبران نماید. این عمل در شکل (۳-۶-b) نمایش داده شده‌است. همانطور که ملاحظه می‌شود ، مقدار مصرف توان در ساعات اولیه روز توسط این انتقال توان با مصرف مرجع برابر شده‌است و این مصرف اضافی به ساعاتی که دارای کمبود توان می‌باشد منتقل شده‌است. بنابراین مصرف توان در این ساعات افزایش داشته و مقداری نزدیک به مصرف مرجع پیدا کرده‌است. با این وجود مصرف توان در بعضی از ساعات بدلیل عدم وجود توان اضافی در ساعات دیگر برای انتقال مصرف دارای کمبود میباشد و پیرو دو مجبور به خرید این توان اضافی از بازار می‌باشد. مقدار کمبود توان پیرو دو در حالت انتقال زمانی و هزینه مربوط به خرید آن در مقایسه با مصرف عادی درشکل (۳-۷) نشان داده‌شده‌است.



شکل (۳-۷) مقدار کمبود توان پیرو دو و هزینه مربوط به آن در دو حالت انتقال زمانی و مصرف عادی

سود کلی بدست آمده برای پیرو دو درحالت مصرف عادی و مصرف با انتقال زمانی در شکل (۳-۸) با یکدیگر مقایسه شده‌اند. همانطور که در شکل ملاحظه می‌شود ، در ساعات اولیه شبانه روز سود پیرو دو در حالت انتقال زمانی مصرف کمتر از مصرف عادی شده است. زیرا با انتقال زمانی مصرف ، پیرو دو دیگر در این ساعات توان مازادی برای فروش به بازار ندارد و به همین دلیل در این ساعات دارای افت سود می‌باشد. ولی با این حال مقدار سود بدست آمده برای او در ساعات دیگر شبانه روز افزایش چشمگیری داشته است.



شکل (۳-۸) سود بدست آمده کلی برای پیرو دو در حالت انتقال زمانی و حالت عادی
حالت عادی _ حالت انتقال زمانی ...

۳-۱-۲ ارائه راه‌حل رهبر به منظور سوددهی بیشتر پیروها

اگر پیروها با رهبر همکاری کاملی داشته‌باشند و تمام اطلاعات مربوط به شرکت خود را در اختیار او قرار دهند ، به این معنی که رهبر از تابع سود ، مقدار مصرف توان ، هزینه‌ها و پارامترهای هر یک از پیروهای خود اطلاع کافی داشته باشد ، در اینصورت رهبر با توجه به این اطلاعات می‌تواند مقدار توان مصرفی بهینه پیروها را بدست آورد.

در این قسمت فرض بر این گرفته شده‌است که واحدهای تولیدی در بازارهای با رقابت خالص به خرید نهاده‌ها و فروش ستاده‌های خود می‌پردازند . علاوه براین فرض بر این است که هدف به حداکثر رساندن بازده خالص یا سود حاصل از نهاده‌های متغیر است[6] . همچنین قیمتها و روابط نهاده-ستاده معین هستند. مسأله مورد مطالعه در اینجا تعیین سودآورترین میزان فعالیت یک بنگاه اقتصادی در یک دوره کوتاه مدت است . این مسأله با تعیین سودآورترین میزان نهاده یا سودآورترین میزان ستاده حل می‌شود زیرا تابع تولید ، نهاده و ستاده را به صورت واحدی به یکدیگر مربوط می‌کند[21] . هر یک از این دو راه که انتخاب شود به جواب واحدی می‌رسیم. از نظر اقتصادی سودآورترین مقدار می‌تواند مقدار بهینه نیز نامیده شود.

مقدار بهینه یک نهاده متغیر، مقداری است که سود فرایند تولید را به حداکثر می‌رساند[6]. زمانی که مقدار بهینه نهاده متغیر در کوتاه مدت به کار برده شد، تنها راه ممکن برای افزایش سود ، تغییر تکنولوژی یا تغییر مقدار نهاده‌های ثابت است[21].

با توجه به این مطالب فرض اساسی اکثر تحلیلها این است که بنگاه برای حداکثر سودش فعالیت می‌کند ، یعنی بنگاه فعالیتهایش یعنی $(a_1,.....,a_n)$ را به گونه‌ای انتخاب می‌کند که $R(a_1,....,a_n)-C(a_1,....,a_n)$ حداکثر گردد .

در اینجا R نشان‌دهنده درآمد و C نشان‌دهنده هزینه است .

با وجود این فرض کلی ، یک اصل اساسی از حداکثر نمودن تابع سود بدست می‌آید که حاصل از کاربرد ساده حساب دیفرانسیل است. مسأله حداکثر کردن سود که بنگاه با آن مواجه است به صورت زیر نوشته می‌شود[6].

$$\max_{a_1,\ldots,a_n} R(a_1,\ldots,a_n) - C(a_1,\ldots,a_n) \qquad (۸-۳)$$

کاربرد ساده حساب دیفرانسیل نشان می‌دهد که مجموعه بهینه فعالیتهایی $a^* = (a_1^*,\ldots,a_n^*)$ به وسیله شرط زیر تعیین می‌شود :

$$\frac{\partial R(a^*)}{\partial a_i} = \frac{\partial C(a^*)}{\partial a_i} \qquad i = 1,2,\ldots,n \qquad (۹-۳)$$

با توجه به مطالب عنوان شده در بالا ، رهبر به منظور یافتن مقدار توان مصرفی بهینه از تابع سود بیان شده در بخش (۳-۱-۱) نسبت به پارامتر مقدار توان مصرفی مشتق می‌گیرد. به منظور یادآوری توابع سود پیروها در زیر نشان داده شده است :

$$B^{F1} = \sum_{k=1}^{24} \{G_{F1} \times (x_{11}^k)^{0.19} \times (x_{12}^k)^{0.21} \times (x_{13}^k)^{0.32} - (w_{11}^k \cdot x_{11}^k + w_{12}^k \cdot x_{12}^k + w_{13}^k \cdot x_{13}^k) - K_{F1}\} \qquad (۱۰-۳)$$

$$B^{F2} = \sum_{k=1}^{24} \{G_{F2} \times (x_{21})^{0.22} \times (x_{22})^{0.18} \times (x_{23}^k)^{0.39} - \left(w_{21}^k \cdot x_{21}^k + w_{22}^k \cdot x_{22}^k + w_{23}^k \cdot x_{23}^k\right) - K_{F2}\} \qquad (۱۱-۳)$$

G_{F1} : قیمت کالای تولیدی توسط واحد صنعتی یک (پیرو یک)

G_{F2} : قیمت کالای تولیدی توسط واحد صنعتی یک (پیرو دو)

K_{F1} : هزینه ثابت پیرو یک

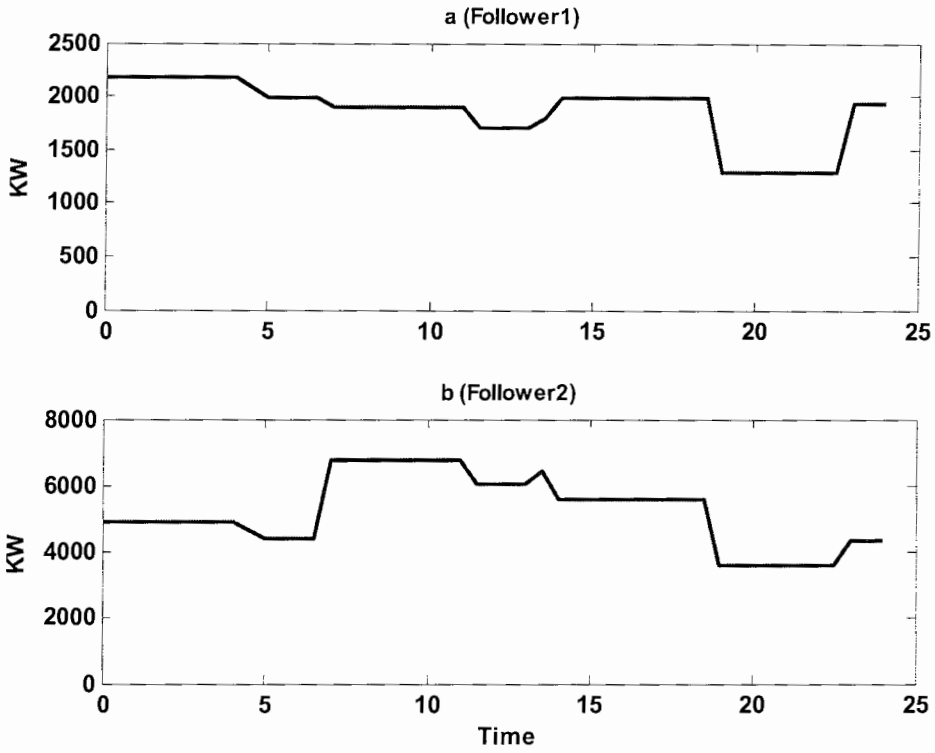
K_{F2} : هزینه ثابت پیرو دو

حال اگر از این روابط نسبت به پارامتر توان مصرفی مشتق‌گیری شود ، داریم :

$$\frac{\partial B^{F1}}{\partial x_{13}} = 0 \quad \Rightarrow$$
$$\frac{\partial B^{F1}}{\partial x_{13}} = 0.32 \cdot x_{13}^{-0.68} 23500 \cdot x_{11}^{0.19} \cdot x_{12}^{0.21} - w_{13} = 0 \qquad (۱۲-۳)$$
$$x_{13}^{*} = \left(\frac{w_{13}}{0.32 \cdot 23500 \cdot x_{11}^{0.19} \cdot x_{12}^{0.21}} \right)^{\frac{1}{-0.68}}$$

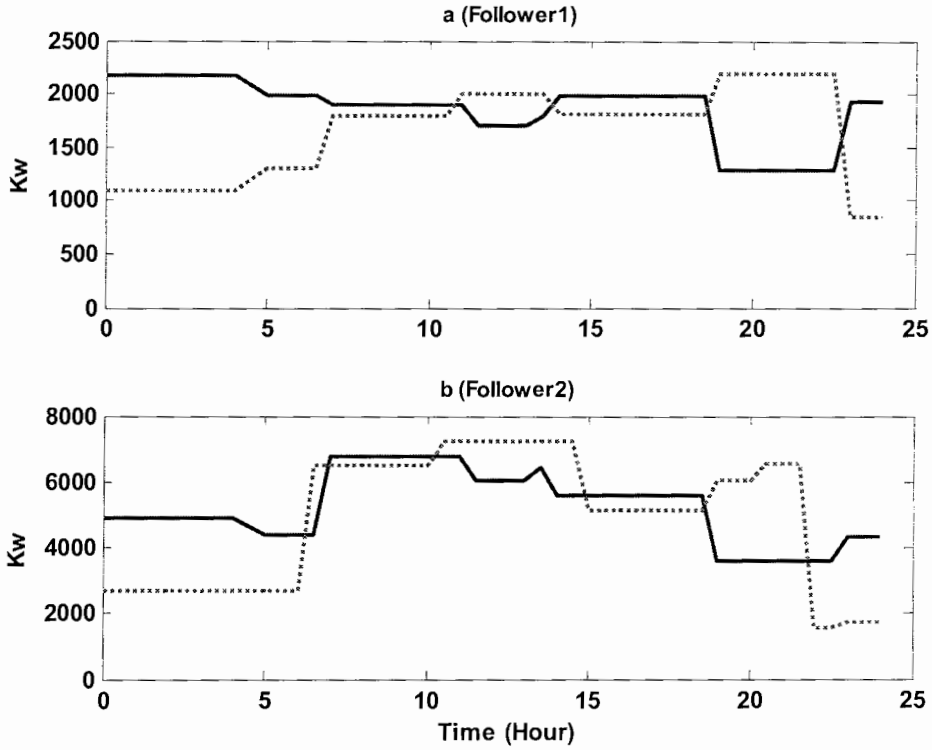
$$\frac{\partial B^{F2}}{\partial x_{23}} = 0 \quad \Rightarrow \qquad (۱۳-۳)$$
$$\frac{\partial B^{F2}}{\partial x_{23}} = 0.39 \cdot x_{23}^{-0.61} 12800 \cdot x_{21}^{0.22} \cdot x_{22}^{0.18} - w_{23} = 0$$
$$x_{23}^{*} = \left(\frac{w_{23}}{0.39 \cdot 12800 \cdot x_{21}^{0.22} \cdot x_{22}^{0.18}} \right)^{\frac{1}{-0.61}}$$

با جایگزینی اعداد مطابق جدول (۳-۱) و با در نظر گرفتن قیمت توان مطابق شکل (۳-۳) ، قیمت ارائه شده به وسیله رهبر ، می‌توان مصرف بهینه هر کدام از پیروها را بدست آورد. مقدار توان مصرفی بهینه هر یک از پیروها در شکل (۳-۹) نمایش داده شده است.



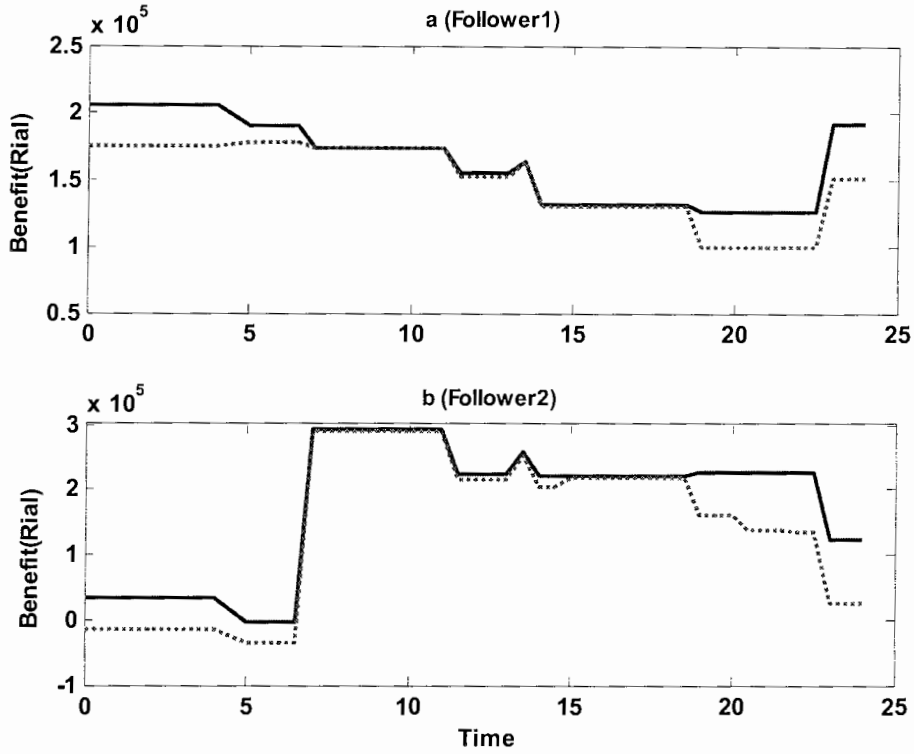
شکل (۳-۹) مقدار توان مصرفی بهینه تعیین شده از طرف رهبر برای هر کدام از پیروها

در شکل (۳-۱۰) مقدار توان مصرفی بهینه تعیین شده از جانب رهبر با مقدار توان مصرفی عادی حاصل از تاریخچه هر کدام از پیروها نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشخص است در حالت مصرف بهینه بیشتر سیاست بر این است که در زمانی که قیمت توان بالا می‌باشد (ساعات پیک شبکه) مقدار مصرف پیروها کاهش یابد و بیشتر فعالیتها و مصرف توان آنها در ساعات غیر پیک باشد.



شکل (۳-۱۰) مقدار توان مصرفی بهینه تعیین شده توسط رهبر در مقایسه با مصرف عادی
مصرف بهینه _ مصرف عادی ...

با پیروی پیروها از این نوع مصرف ، سود مجموع آنها در مقایسه با حالت مصرف مرجع قبلی در شکل (۳-۱۱) نشان داده شده‌است. همانطور که در شکل (۳-۱۱) مشاهده می‌شود ، با پیروی پیروها از مصارف بهینه اعلام شده از جانب رهبر سود هر دو آنها نسبت به سود مصارف عادیشان افزایش داشته‌است. خصوصاً پیرو دو که در این حالت افزایش سود چشمگیری داشته است .



شکل (۳-۱۱) سود حاصل از مصرف عادی در مقایسه با مصرف بهینه تعیین شده از جانب رهبر برای هر کدام از پیروها
سود بهینه _ سود عادی ...

۳-۲ مدیریت پویای (دینامیکی) بار

همانطور که در کنترل غیرپویای بار مورد مطالعه قرار گرفت ، هرکدام از پیروهای مسأله از یک روز قبل توان درخواستی مورد نیاز فردای خود را به رهبر ارائه میدادند. رهبر موظف بود این مقدار توان درخواستی پیروها را از طریق یک قرارداد بلندمدت ۲۴ ساعته برای آنها از بازار برق تأمین نماید. از مزایای قرارداد بلندمدت این است که مشتری قادر به خرید حق مصرف انرژی در آینده با یک قیمت ثابت ، مستقل از قیمت لحظه‌ای واقعی در آن زمان ، به صورت بیمه‌ای و تضمینی می‌باشد. با اینحال این نوع قرارداد خرید توان دارای یکسری معایب برای پیروهای مسأله می‌باشد که بارزترین آن ریسک‌پذیری

بالای آن می‌باشد. به این معنی که درست است پیروها یکروز قبل توان مصرفی فردای خود را به صورت تضمینی و با یک قیمت ثابت می‌خرند، ولی همانطور که می‌دانیم قیمت توان در بازار با توجه به میزان تقاضا به صورت لحظه‌ای تغییر می‌کند. آنچه مسلم است اینست که ممکن است قیمتی که آنها توان را برای فردای خود خریده‌اند از قیمت لحظه‌ای آن ساعت بیشتر شود ، که این امر باعث کم شدن سود کارخانه خواهد شد. با فرض اینکه قیمت لحظه‌ای توان برای پیروها ممکن است از قیمت خرید توان با قرارداد بلندمدت کمتر شود ، رهبر راه‌حل دیگری برای پیروها پیشنهاد می‌نماید. طوری که در این قسمت بازار انرژی به صورت یک سیستم دینامیکی مدلسازی می‌گردد و استراتژی‌های رهبر-پیرو برای شرکت توزیع (رهبر) و مصرف‌کنندگان صنعتی (پیروها) بکار برده می‌شود ، که از آن به عنوان مدیریت دینامیکی بار نام میبریم.

بنابراین بنا به توافقی که بین پیروها و رهبر صورت میگیرد بنا به پیشنهاد رهبر ، پیروهای مسأله دیگر لازم نیست از یکروز قبل توان درخواستی خود را به رهبر ارائه نمایند. بلکه رهبر در هر لحظه قیمت توان در نیم ساعت آینده در بازار را پیش‌بینی می‌کند (رهبر این توانایی را دارد) و با استفاده از تابع سود پیروها که در اختیارش می‌باشد، میزان مصرف بهینه برای نیم ساعت آینده را برای آنها مشخص مینماید. با این روش رهبر در هر لحظه تابع سود پیروها را برای نیم ساعت آینده بر اساس متغیرهای تصمیم‌گیری آنها بهینه‌سازی می‌کند. بنابراین میزان توان مصرفی بهینه پیروها با در نظر گرفتن امنیت شبکه قدرت و قید قابلیت اطمینان به وسیله رهبر بدست آورده می‌شود . سپس رهبر این میزان مصرف بهینه را به عنوان مرجع مصرفی که بایستی به وسیله پیروها دنبال شود تا بیشینه سود بدست آید ، درنظر می‌گیرد. بنابراین رهبر مجموع توان مصرفی بهینه پیرو یک و دو را مبنای خرید توان از بازار در نظر میگیرد. در صورتیکه در مرجع [6] رهبر قبل از اینکه بهینه‌سازی را برای پیروها انجام دهد ، مقداری توان معین را از بازار برق برای ارائه به پیروها میخرد که این مقدار توان در بعضی از ساعات از مجموع مصرف بهینه پیروها بیشتر میگردد.

اگر پیروها با رهبر خود همکاری کاملی داشته باشند و در ارائه اطلاعات صحیح مربوط به کارخانه خود (منظور توابع درآمد ، هزینه و سود می‌باشد) به رهبر صداقت کامل از خود نشان دهند ، باعث سوددهی

بیشتر برای آنها خواهد شد. و برعکس اگر پیروها با رهبر همکاری نداشته باشند، به این مفهوم که اطلاعات مربوط به شرکت خود را در اختیار او قرار ندهند و یا اینکه اطلاعات غلطی را مخابره نمایند، در اینصورت باعث پایین آمدن سود آنها خواهد شد.

با توجه به مطالب بالا برای بررسی نقش همکاری متقابل بین رهبر و پیرو ، دربخش‌های بعدی دو حالت متفاوت برای پیروهای مسأله در نظر گرفته می‌شود :

حالت اول : ارائه اطلاعات واقعی به رهبر توسط پیروها (همکاری).

حالت دوم : در اختیار قرار ندادن و یا ارائه اطلاعات نادرست به رهبر توسط پیروها (عدم همکاری).

۳-۳ برنامه‌ریزی پویا (دینامیکی)

رهبر برای بدست آوردن یک پاسخ بهینه برای هزینه پیروها احتیاج به حل بهینه معادله پیرو که تابعی از پارامترهای کنترلی می‌باشد، دارد. با حل این توابع یک سری پارامترهای کنترلی که توانایی کمینه‌سازی هزینه را دارند بدست می‌آید. برای حل این معادله روشهای مختلفی وجود دارد که یکی از این روشها برنامه‌ریزی دینامیکی[1] نام دارد[6]. در این بخش به توضیح این روش پرداخته می‌شود.

برنامه‌ریزی دینامیکی بدین صورت تعریف می‌شود که در هر مرحله بازیگر تصمیمی را در نظر می‌گیرد که مجموع هزینه مرحله جاری و هزینه مراحل آینده را مینیمم سازد[16].

به منظور حل تابع هزینه می‌توان یک سیستم دینامیکی بصورت کلی زیر تعریف نمود[16] :

$$x_{k+1} = f_k(x_k, u_k, w_k) \qquad k = 0,1,2,\ldots, N-1 \qquad (۱۴-۳)$$

1 - Dynamic Programming

k: مرحله زمانی

x_k: نشان دهنده حالت سیستم است و همچنین اطلاعات گذشته برای بهینه‌سازی مورد استفاده در آینده را در بر دارد.

u_k: المان کنترلی که در زمان k و با اطلاعات x_k می‌توان انتخاب نمود.

w_k: پارامتر متغیر

N: حد نهایی زمان

تابع هزینه‌ای به صورت زیر به منظور بهینه‌سازی با استفاده از برنامه‌ریزی دینامیکی درنظرگرفته میشود.

$$J(x) = g_N(x_N) + \sum_{k=0}^{N-1} g_k(x_k, u_k, w_k) \qquad (۱۵-۳)$$

در اینجا $g_N(x_N)$ هزینه‌ای است که در انتهای فرایند[1] به سیستم اعمال می‌شود[6]. بدلیل وجود پارامتر w_k تابع هزینه به صورت رندم تغییر می‌کند و تابع به صورت جامع نمی‌تواند بهینه شود. بنابراین مسأله به نحوی فرمول بندی می‌شود که المانهای $u_0, u_1, u_2, \ldots, u_{N-1}$ تابع هزینه را مینیمم نماید . در این حالت یک تابع بصورت $u_k = \mu_k(x_k)$ بدست می‌آید و رشته

$$\varphi = \{\mu_0, \mu_1, \mu_2, \mu_3, \ldots\ldots\ldots\ldots, \mu_{N-1}\} \qquad (۱۶-۳)$$

به عنوان کنترل در نظر گرفته می‌شود. در این صورت برای هر φ هزینه برای مقدار اولیه x_0 بصورت زیر تعریف می‌شود.

$$J(x_0) = g_N(x_N) + \left\{\sum_{k=0}^{N-1} g_k(x_k, \mu_k(x_k), w_k)\right\} \qquad (۱۷-۳)$$

هدف کمینه‌سازی این تابع هزینه برای تمام مقادیر φ می‌باشد.

1 - Process

برنامه‌ریزی دینامیکی بر مبنای نظریه ساده اصول بهینه‌سازی بنا نهاده شده‌است. در بهینه‌سازی یک تابع با استفاده از الگوریتم برنامه‌ریزی پویا[1] به صورت زیر عمل می‌شود.

نخست یک تابع به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود[16]:

$$x_{k+1} = x_k + u_k - w_k$$

$$J(x) = g_N(x_N) + \sum_{k=0}^{N-1} Cu_k + H(x_{k+1}) = g(x_N) + \sum_{k=0}^{N-1} Cu_k + H(x_k + u_k - w_k)$$

(۱۸-۳)

x_k: مقدار موجودی در ابتدای هر مرحله

u_k: مقدار سفارش در هر مرحله (متغیر کنترلی)

w_k: مقدار متغیر در هر مرحله

$H(x_{k+1})$: یک تابع جریمه

C : یک ضریب ثابت

یک روش برای بهینه سازی بدین صورت می‌باشد که بهینه‌سازی را از مرحله آخر شروع کنیم. این روش به تفصیل در پایین بیان شده‌است.

هزینه مرحله آخر به صورت زیر می‌باشد:

$$J_N = g_N(x_N)$$

مرحله $N-1$: اگر مقدار موجودی در مرحله $N-1$ ، x_{N-1} در نظر گرفته شود ، در این صورت $u^*_{N-1} = \mu^*_{N-1}(x_{N-1})$ باید به گونه‌ای باشد تا تابع در این مرحله بهینه گردد.

$$g_{N-1}\{Cu_{N-1} + H(x_{N-1} + u_{N-1} - w_{N-1})\} \qquad (۱۹-۳)$$

2 - Dynamic Programming Algorithm

در این صورت هزینه این مرحله به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$J_{N-1}(x_{N-1}) = \min \quad g_{N-1}\{Cu_{N-1} + H(x_{N-1} + u_{N-1} - w_{N-1})\} + J_N(x_N)$$
$$J_{N-1}(x_{N-1}) = \min \quad g_{N-1}\{Cu_{N-1} + H(x_{N-1} + u_{N-1} - w_{N-1})\} + J_N(x_{N-1} + u_{N-1} - w_{N-1})$$

(۲۰-۳)

مرحله $N-2$: اگر مقدار موجودی در مرحله $N-2$ ، x_{N-2} در نظر گرفته شود ، در این صورت $u^*_{N-2} = \mu^*_{N-2}(x_{N-2})$ باید به گونه‌ای باشد تا موجب بهینه شدن تابع هزینه در مراحل $N-2$ و $N-1$ شود. در این صورت هزینه این مرحله به صورت زیر درمی‌آید:

$$J_{N-2}(x_{N-2}) = \min \quad g\{Cu_{N-2} + H(x_{N-2} + u_{N-2} - w_{N-2}) + J_{N-1}(x_{N-1})\}$$
$$J_{N-2}(x_{N-2}) = \min \quad g\{Cu_{N-2} + H(x_{N-2} + u_{N-2} - w_{N-2}) + J_{N-1}(x_{N-2} + u_{N-2} - w_{N-2})\}$$

(۲۱-۳)

مرحله k: مانند مراحل قبل عمل می‌نماییم و داریم:

$$J_k(x_k) = \min \quad g\{Cu_k + H(x_k + u_k - w_k) + J_{k+1}(x_{k+1})\}$$
$$J_k(x_k) = \min \quad g\{Cu_k + H(x_k + u_k - w_k) + J_{k+1}(x_k + u_k - w_k)\} \qquad (۲۲-۳)$$

با بدست آوردن مقدار بهینه u^* در هر مرحله و قراردادن آن در تابع هزینه مقدار بهینه هزینه در هر مرحله بدست می‌آید. با ادامه این روش تابع هزینه در تمام مراحل بهینه خواهد شد.

به عنوان مثال یک نمونه بهینه سازی تابع در زیر نشان داده شده‌است[16] .

$$x_{k+1} = (1-a)x_k + au_k$$
$$J(x) = r(x_2 - T)^2 + u_0^2 + u_1^2$$
$$J_2(x_2) = r(x_2 - T)^2$$
$$J_1(x_1) = \min \quad [u_1^2 + J_2(x_2)] = \min \quad [u_1^2 + J_2((1-a)x_1 + au_1)]$$

برای بدست آوردن مقدار u_1 به منظور بهینه کردن $J_1(x_1)$ بایستی که از معادله $J_1(x_1)$ نسبت به u_1 مشتق گرفته شود.

$$2u_1 + 2ra[(1-a)x_1 + au_1 - T] = 0$$
$$u_1^* = \mu_1^*(x_1) = \frac{ra[T-(1-a)x_1]}{1+ra^2}$$

با قرار دادن u_1 در $J_1(x_1)$ داریم:

$$J_1^*(x_1) = \frac{r[(1-a)x_1 - T]^2}{1+ra^2}$$

به همین ترتیب برای مرحله بعدی داریم :

$$J_0(x_0) = \min \ [u_0^2 + J_1^*(x_1)] = \min \ [u_0^2 + J_1^*((1-a)x_0 + au_0)]$$

$$2u_0 + \frac{2r(1-a)a[(1-a)^2 x_0 + (1-a)au_0 - T]}{1+ra^2} = 0$$

$$u_0^* = \mu_0^*(x_0) = \frac{ra(1-a)[T-(1-a)^2 x_0]}{1+ra^2[1+(1-a)^2]}$$

$$J_0^*(x_0) = \frac{r[(1-a)^2 x_0 - T]^2}{1+ra^2[1+(1-a)^2]}$$

با توجه به مطالب ذکر شده در بالا، مسأله دنبالروی دینامیکی را می‌توان برای مصرف‌کنندگان صنعتی به منظور دنبالروی از مرجع و بیشینه‌سازی سود فرمول سازی نمود .

به منظور کاربرد تئوریهای بیان شده ناحیه‌ای در نظر گرفته می‌شود که شامل یک بخش شرکت توزیع (رهبر) و دو مصرف‌کننده بزرگ صنعتی (پیرو) می‌باشد . بدین منظور تابع هدف برای هرکدام از پیروها به صورت کلی زیر در نظر گرفته می‌شود[6] :

$$J_k^{Fi}(x_k)=(x_N-x_N^D)^T Q_N^{Fi}(x_N-x_N^D)+\sum_{j=k}^{N-1}\{(x_j-x_j^D)^T Q_j^{Fi}(x_j-x_j^D)+(u_j^{Fi}-u_j^{Fi,d})^T R_j^{Fi}(u_j^{Fi}-u_j^{Fi,d})\} \quad (۲۳-۳)$$

این حالات برای $i=1,...,p$ در نظر گرفته شده‌است که در آن p تعداد پیروها می‌باشد. دینامیک مصرفی کلی که برای هر کدام از پیروها در نظر گرفته می‌شود ، بصورت زیر می‌باشد.

$$x_{k+1}=f_k(x_k,u_k^L,u_k^{F1},...,u_k^{Fp}) \quad (۲۴-۳)$$

در اینجا $J_k^{Fi}(x_k)$ تابع هدف درجه دوم پیرو i ام می‌باشد. عبارات Q_j^{Fi},R_j^{Fi} ماتریسهایی متقارن و مثبت برای $i=1,...,n$ و در فاصله $j\in[0,N]$ تعریف شده‌اند .

در رابطه (۳-۲۳) x_j^D مقادیر دلخواه حالت برای فاصله $j\in[0,N]$ ، $u_j^{Fi,d}(i=1,...,p)$ مقادیر دلخواه کنترلی برای پیروها در فاصله $j\in[0,N-1]$ است . همچنین در رابطه (۳-۲۴) $f_k(x_k,u_k^1,...,u_k^p)$ یک رابطه دینامیکی غیرخطی از متغیر حالت (x_k) و کنترل $(u_k^L,u_k^{Fi},\ i=1,...,p)$ رهبر و پیروها می‌باشد. استراتژی بهینه رهبر-پیرو $(u_k^{L^*},u_k^{Fi^*},\ i=1,...,p)$ باید روابط زیر را ارضا نماید[6] :

$$J_k^{Fi}(x_k,u_k^{L^*},u_k^{F1^*},...,u_k^{Fi^*},...,u_k^{Fp^*})\le J_k^{Fi}(x_k,u_k^{L^*},u_k^{F1^*},...,u_k^{Fi},...,u_k^{Fp^*}),\ \forall\ u_k^{Fi}\in U^{Fi} \quad (۲۵-۳)$$

۳-۴ ارائه اطلاعات واقعی به رهبر توسط پیروها (حالت اول)

در این حالت فرض مسأله بر این است که پیروها با رهبر همکاری کاملی دارند ، به این معنی که مصرف-کنندگان تمامی اطلاعات مربوط به شرکت خود را به صورت صحیح در اختیار رهبر قرار میدهند. رهبر با توجه به نفوذی که در بازار دارد در هر ساعت از شبانه‌روز قیمت خرید توان در نیم ساعت آینده را مشخص میکند(در مرجع [6] پیش‌بینی قیمت به صورت نیم ساعته در نظر گرفته نشده است). چون رهبر از تابع سود پیروهای خود مطلع است با توجه به این اطلاعات و قیمت توان در نیم ساعت آینده میتواند مقدار توان مصرفی بهینه برای نیم‌ساعت آینده پیروها را مشخص نماید. به منظور یادآوری دوباره توابع سود هر کدام از پیروها در زیر نشان داده شده است:

$$B^{F1}=\sum_{k=1}^{24}\{G_{F1}\times(x_{11}^{k})^{0.19}\times(x_{12}^{k})^{0.21}\times(x_{13}^{k})^{0.32}-(w_{11}^{k}\cdot x_{11}^{k}+w_{12}^{k}\cdot x_{12}^{k}+w_{13}^{k}\cdot x_{13}^{k})-K_{F1}\}$$

(۲۶-۳)

$$B^{F2}=\sum_{k=1}^{24}\{G_{F2}\times(x_{21})^{0.22}\times(x_{22})^{0.18}\times(x_{23}^{k})^{0.39}-\left(w_{21}^{k}\cdot x_{21}^{k}+w_{22}^{k}\cdot x_{22}^{k}+w_{23}^{k}\cdot x_{23}^{k}\right)-K_{F2}\}$$

(۲۷-۳)

G_{F1} : قیمت کالای تولیدی توسط واحد صنعتی یک (پیرو یک)

G_{F2} : قیمت کالای تولیدی توسط واحد صنعتی دو (پیرو دو)

K_{F1} : هزینه ثابت پیرو یک

K_{F2} : هزینه ثابت پیرو دو

X_{11} : تعداد عوامل و نیروی انسانی پیرو یک

X_{21} : تعداد عوامل و نیروی انسانی پیرو دو

X_{12} : مقدار مواد اولیه مصرفی واحد صنعتی یک

X_{22} : مقدار مواد اولیه مصرفی واحد صنعتی دو

X_{13} : مقدار توان مصرفی واحد صنعتی یک

X_{23} : مقدار توان مصرفی واحد صنعتی دو

W_{11} : حقوق پرداختی نیروی انسانی پیرو یک

W_{21} : حقوق پرداختی نیروی انسانی پیرو دو

W_{21} : هزینه خرید مواد اولیه مورد نیاز واحد صنعتی یک

W_{22} : هزینه خرید مواد اولیه مورد نیاز واحد صنعتی دو

W_{13} : قیمت خرید توان برق مصرفی واحد صنعتی یک

W_{23} : قیمت خرید توان برق مصرفی واحد صنعتی دو

نخست رهبر از توابع سود پیروها نسبت به پارامتر توان مصرفی مشتق‌گیری می‌نماید. اگر از روابط ۳-۲۶ و ۳-۲۷ نسبت به توان مصرفی مشتق‌گیری شود، داریم :

$$\frac{\partial B^{F1}}{\partial x_{13}} = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{\partial B^{F1}}{\partial x_{13}} = 0.32 \cdot x_{13}^{-0.68} 23500 \cdot x_{11}^{0.19} \cdot x_{12}^{0.21} - w_{13} = 0$$

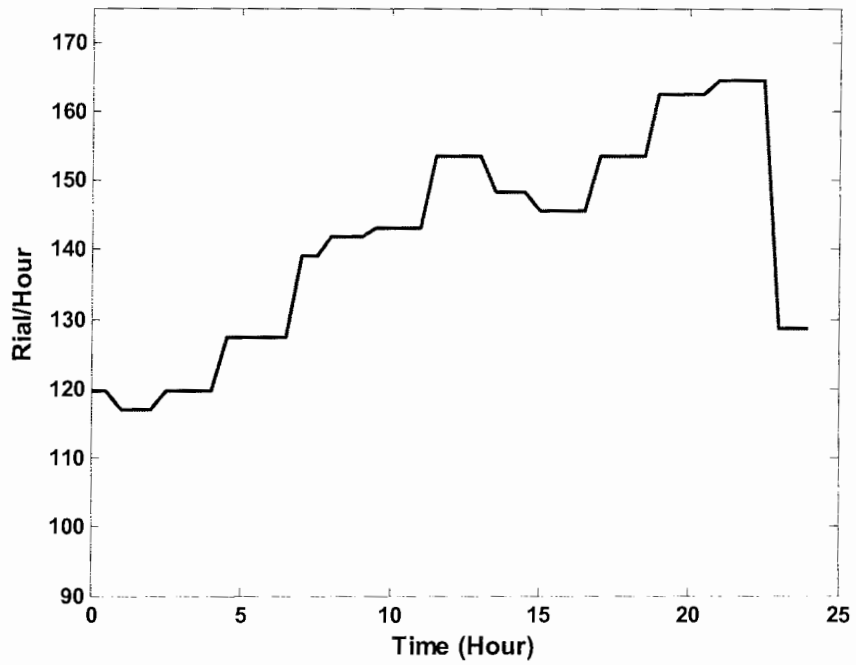
$$x_{13}^{*} = \left(\frac{w_{13}}{0.32 \cdot 23500 \cdot x_{11}^{0.19} \cdot x_{12}^{0.21}} \right)^{\frac{1}{-0.68}} \qquad (۲۸-۳)$$

$$\frac{\partial B^{F2}}{\partial x_{23}} = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{\partial B^{F2}}{\partial x_{23}} = 0.39 \cdot x_{23}^{-0.61} 12800 \cdot x_{21}^{0.22} \cdot x_{22}^{0.18} - w_{23} = 0$$

$$x_{23}^{*} = \left(\frac{w_{23}}{0.39 \cdot 12800 \cdot x_{21}^{0.22} \cdot x_{22}^{0.18}} \right)^{\frac{1}{-0.61}} \qquad (۲۹-۳)$$

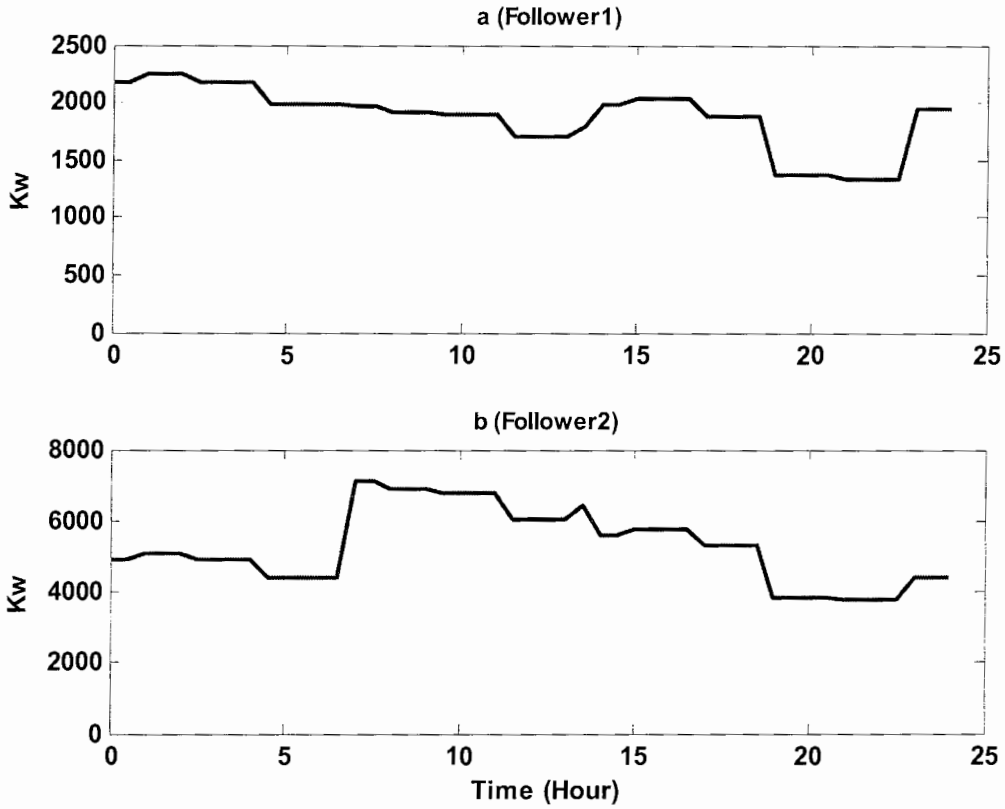
بنابراین اگر قیمت توان در هر لحظه موجود باشد ، با توجه به این قیمت و مقادیر جدول ۳-۱ میتوان مقدار مصرف بهینه در آن لحظه را محاسبه نمود.

فرض می‌شود ، قیمت توانی که رهبر آنرا به صورت یک پیش‌بینی نیم ساعته برای فروش به پیروها بدست می‌آورد ، مطابق شکل (۳-۱۲) باشد.



شکل (۳-۱۲) قیمت فروش توان به پیروها توسط رهبر

بنابراین رهبر در هر نیم‌ساعت یکبار از تابع سود پیروها مشتق‌گیری می‌نماید و با جایگزینی قیمت توان ، مقدار مصرف بهینه برای نیم‌ساعت آینده پیروها را مشخص مینماید و آن را به عنوان مرجع مصرفی بهینه برای پیروها در نظر می‌گیرد. مرجع مصرفی بهینه که رهبر برای هر کدام از پیروها بدست می‌آورد مطابق شکل (۳-۱۳) می‌باشد.



شکل (۳-۱۳) مقدار توان مصرفی بهینه تعیین شده توسط رهبر برای هر کدام از پیروها

رهبر بعد از اینکه مقدار توان مصرفی بهینه پیروها را بدست آورد ، مجموع توان مصرفی پیرو یک و دو را از بازار برق میخرد. اگر هر کدام از پیروها نسبت به مرجع مصرفی بهینه بیشتر مصرف نمودند ، رهبر این کمبود توان را از بازار رزرو با قیمت بالایی برای آنها خریداری میکند. در صورتیکه در مرجع [6] رهبر قبل از اینکه مقدار توان مصرفی بهینه پیروها را بدست آورد ، مقداری توان از بازار برق تهیه مینماید که این مقدار در بعضی از ساعات شبانه روز از مجموع توان مصرفی بهینه پیروها بیشتر میگردد. (در این پایان‌نامه فرض اینگونه نیست).

در مرجع [6] یک تابع utility برای رهبر تعریف شده است که با مشتق‌گیری از آن و با در نظر گرفتن قیمت توان در بازار ، مقدار توان خریداری شده از بازار توسط رهبر تعیین میگردد. فرایند میزان خرید توان رهبر از بازار برق در مرجع [6] بصورت زیر میباشد :

$$\frac{\partial B^L}{\partial D} = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{\partial B^L}{\partial D} = -0.03D + 200 - \lambda = 0 \qquad (۳۰-۳)$$

$$D^* = \frac{200 - \lambda}{0.03}$$

که λ قیمت خرید توان در بازار و D مقدار توان خریداری شده از بازار توسط رهبر برای پیروها می‌باشد. هیچکدام از این شرائط در این پایان‌نامه در نظر گرفته نشده است. در این پایان‌نامه فرض بر این است که رهبر مجموع توانهای بهینه پیرو یک و دو را از بازار میخرد.

برای اینکه پیروها به سود بیشتری دست یابند کافی است که این مصرف مرجع بهینه تعیین شده توسط رهبر را دنبالروی نمایند. بنابراین رهبر باید در هر لحظه مقادیر بهینه تصمیم‌گیری (پارامتر کنترلی) برای پیروها را تعیین نماید ، تا اینکه برای پیروها مشخص نماید مصرفشان را باید چگونه تغییر دهند تا بتوانند مصرف مرجع را دنبالروی نمایند. در بخش بعدی به چگونگی تعیین این پارامترهای کنترلی از جانب رهبر پرداخته می‌شود.

۳-۴-۱ ارائه یک دینامیک مصرف و بهینه‌سازی توسط رهبر

با توجه به مطالب عنوان شده در بخشهای قبلی ، در این بخش استراتژی رهبر-پیرو به عنوان یک مسأله دنبالروی دینامیکی[1] مدل‌سازی می‌شود و از الگوریتم برنامه‌ریزی دینامیکی بیان شده در بخش (۳-۳) به منظور محاسبه مقادیر بهینه تصمیم‌گیری برای پیروها استفاده می‌گردد[6]. در انتها فرم بسته مورد نیاز در مسأله دنبالروی دینامیکی به منظور بهینه‌سازی تابع هزینه بدست آورده می‌شود.

به منظور اجرای مسأله دنبالروی دینامیکی در ابتدا با تعریف یک دینامیک مصرف و سپس با بکارگیری روش برنامه‌ریزی دینامیکی مقدار کنترل بهینه بدست‌آورده میشود[6]. بدین منظور اگر تابع هزینه هدفی که برای هر کدام از پیروها بایستی بهینه شود به صورت رابطه (۳-۳۱) در نظر گرفته شود ، در این صورت با استفاده از مراحل زیر می‌توان به فرم بسته مورد نظر دست یافت :

$$J(x)=\min_{u_k}\{(x_N-x_N^{Di})^T Q_N (x_N-x_N^{Di})+\sum_{k=0}^{N-1}\{(x_k-x_k^{Di})^T Q_k (x_k-x_k^{Di})+{u_k}^T R_k u_k\}\} \qquad (۳۱-۳)$$

x_k^{Di}: مقدار مرجع مصرف بهینه پیرو iام در ساعت kام

x_k : مقدار مصرف واقعی پیرو iام در ساعت kام

u_k : مقادیر کنترلی

R_k و Q_k : ماتریسهای متقارن و مثبت

N : حد نهایی زمان

برای این منظور در ابتدا یک دینامیک مصرف به صورت رابطه (۳-۳۲) تعریف می‌شود.

$$x_{k+1}=x_k+u_k \qquad (۳۲-۳)$$

1 - Dynamic Tracking Problem

x_{k+1}^i : مقدار مصرف واقعی پیرو iام در ساعت $k+1$ام

x_k^i : مقدار مصرف واقعی پیرو iام در ساعت kام

u_k^i : المان کنترلی برای تغییرات مصرف پیرو iام در ساعت kام که با اطلاعات x_k^i انتخاب می‌شود.

همچنین قیدی که برای مقادیر کنترلی در نظر گرفته می‌شود ، بصورت زیر می‌باشد:

$$U_{\min} \le u_k^i \le U_{\max} \qquad (۳۳-۳)$$

لازم به توضیح است که در مرجع [6] هیچگونه محدودیتی برای مقادیر کنترلی لحاظ نشده است که این به معنی این است که پیروها در پذیرفتن مقادیر کنترلی رهبر محدودیتی ندارند. ولی در انجام این رساله این قید همانطور که در رابطه (۳-۳۳) مشاهده میکنیم ، لحاظ شده است.

با تعریف یک متغیر جدید به صورت $z_k = x_k - x_k^D$ مسأله دنبالروی به صورت یک بهینه‌سازی خطی درجه دوم درمی‌آید .

$$J(z) = \min_{u_k} \{ z_N^T Q_N z_N + \sum_{k=0}^{N-1} \{ z_k^T Q_k z_k + u_k^T R_k u_k \} \}$$

با توجه به متغیر جدید داریم:

$$\begin{aligned} & x_k - x_k^D = z_k \Rightarrow x_k = z_k + x_k^D \\ & x_{k+1} = z_{k+1} + x_{k+1}^D \end{aligned} \qquad (۳۴-۳)$$

با قرار دادن روابط (۳-۳۴) در رابطه دینامیک مصرفی ، (۳-۳۲) داریم:

$$\begin{aligned} & x_{k+1} = x_k + u_k \\ & z_{k+1} + x_{k+1}^D = z_k + x_k^D + u_k \Rightarrow z_{k+1} = z_k + u_k + x_k^D - x_{k+1}^D \end{aligned}$$

و با تعریف متغیری جدیدی دیگری به صورت $w_k = x_k^D - x_{k+1}^D$ دینامیک مصرف جدید بصورت زیر در می‌آید:

$$z_{k+1} = z_k + u_k + w_k \qquad (۳۵-۳)$$

بنابراین کافی است که تابع هدف زیر ، با دینامیک مصرفی جدید بدست آمده و همچنین با در نظرگرفتن قید رابطه (۳-۳۳) از طریق الگوریتم برنامه‌ریزی دینامیکی حل شود.

$$J(z) = \min_{u_k}\{z_N^T Q_N z_N + \sum_{k=0}^{N-1}\{z_k^T Q_k z_k + u_k^T R_k u_k\}\}$$

$$z_{k+1} = z_k + u_k + w_k \qquad (۳۶-۳)$$

$$U_{\min} \le u_k \le U_{\max}$$

با به‌کار بستن الگوریتم برنامه‌ریزی دینامیکی گفته شده در بخش ۳-۳ ، برای مرحله $K = N-1$ داریم:

$$J_N(z_N) = z_N^T Q_N z_N \qquad (۳۷-۳)$$

$$J_{N-1}(z_{N-1}) = \min_{u_{N-1}}\{(z_{N-1}^T Q_{N-1} z_{N-1} + u_{N-1}^T R_{N-1} u_{N-1}) + J_N(z_N)\} \qquad (۳۸-۳)$$

با قراردادن رابطه (۳-۳۷) در (۳-۳۸) و همچنین با توجه به رابطه دینامیک مصرفی (۳-۳۲) داریم :

(۳۹-۳)

$$J_{N-1}(z_{N-1}) = \min_{u_{N-1}}\{z_{N-1}^T Q_{N-1} z_{N-1} + u_{N-1}^T R_{N-1} u_{N-1} + (z_{N-1} + u_{N-1} + w_{N-1})^T Q_N (z_{N-1} + u_{N-1} + w_{N-1})\}$$

برای بدست آوردن u_{N-1}^* از رابطه (۳-۳۹) نسبت به u_{N-1} مشتق گرفته و آن را برابر صفر قرار میدهیم.

$$\frac{\partial J_{N-1}(z_{N-1})}{\partial u_{N-1}} = 2\cdot(R_{N-1} + Q_N)\cdot u_{N-1} + 2\cdot(Q_N z_{N-1} + Q_N w_{N-1}) = 0$$

$$u_{N-1}^* = -(R_{N-1} + Q_N)^{-1} Q_N (z_{N-1} + w_{N-1})$$
$$\Rightarrow u_{N-1}^* = D_{N-1} z_{N-1} + E_{N-1} \qquad (۴۰-۳)$$

$$D_{N-1} = -(R_{N-1} + Q_N)^{-1} Q_N$$
$$E_{N-1} = D_{N-1} w_{N-1} \qquad (۴۱-۳)$$

با قرار دادن روابط (۳-۴۰) و (۳-۴۱) در عبارت (۳-۳۹) داریم :

$$J^*_{N-1}(z_{N-1}) = z^T_{N-1} F_{N-1} z_{N-1} + G^T_{N-1} z_{N-1} + z^T_{N-1} G_{N-1} + H_{N-1}$$
$$F_{N-1} = Q_{N-1} + D^T_{N-1} R_{N-1} D_{N-1} + (I + D_{N-1})^T F_N (I + D_{N-1})$$
$$G_{N-1} = (I + D_{N-1})^T F_N (E_{N-1} + w_{N-1}) + D^T_{N-1} R_{N-1} E_{N-1} \qquad (۴۲-۳)$$
$$H_{N-1} = (E_{N-1} + w_{N-1})^T F_N (E_{N-1} + w_{N-1}) + E^T_{N-1} R_{N-1} E_{N-1}$$

برای مرحله $K = N - 2$ از برنامه‌ریزی دینامیکی داریم :

$$J_{N-2}(z_{N-2}) = \min_{u_{N-2}} \{(z^T_{N-2} Q_{N-2} z_{N-2} + u^T_{N-2} R_{N-2} u_{N-2}) + J^*_{N-1}(z_{N-1})\} \qquad (۴۳-۳)$$

با قرار دادن روابط (۳-۴۲) در رابطه (۳-۴۳) و همچنین با توجه به رابطه (۳-۳۲) داریم :

$$J_{N-2}(z_{N-2}) = \min_{u_{N-2}} \{z^T_{N-2} Q_{N-2} z_{N-2} + u^T_{N-2} R_{N-2} u_{N-2} + (z_{N-2} + u_{N-2} + w_{N-2})^T F_{N-1} (z_{N-2} + u_{N-2} + w_{N-2})$$
$$+ G^T_{N-1} (z_{N-2} + u_{N-2} + w_{N-2}) + (z_{N-2} + u_{N-2} + w_{N-2})^T G_{N-1} + H_{N-1}\} \qquad (۴۴-۳)$$

برای بدست آوردن u^*_{N-2} از رابطه (۳-۴۴) نسبت به u_{N-2} مشتق گرفته و آن را برابر صفر قرار میدهیم.

$$\frac{\partial J_{N-2}(z_{N-2})}{\partial u_{N-2}} = 2 \cdot (R_{N-2} + F_{N-1}) \cdot u_{N-2} + 2 \cdot (F_{N-1} z_{N-2} + F_{N-1} w_{N-2} + G_{N-1}) = 0$$

$$u^*_{N-2} = D_{N-2} z_{N-2} + E_{N-2} \qquad (۴۵-۳)$$

$$D_{N-2} = -(R_{N-2} + F_{N-1})^{-1} F_{N-1}$$
$$E_{N-2} = D_{N-2} (w_{N-2} + F^{-1}_{N-1} G_{N-1}) \qquad (۴۶-۳)$$

با جایگذاری روابط (۳-۴۵) و (۳-۴۶) در عبارت (۳-۴۴) داریم :

$$J^*_{N-2}(z_{N-2}) = z^T_{N-2}F_{N-2}z_{N-2} + G^T_{N-2}z_{N-2} + z^T_{N-2}G_{N-2} + H_{N-2} \qquad (۴۷-۳)$$

$$\begin{aligned} F_{N-2} &= Q_{N-2} + D^T_{N-2}R_{N-2}D_{N-2} + (I + D_{N-2})^T F_{N-1}(I + D_{N-2}) \\ G_{N-2} &= (I + D_{N-2})^T F_{N-1}(E_{N-2} + w_{N-2}) + D^T_{N-2}R_{N-2}E_{N-2} + G_{N-1} \\ H_{N-2} &= (E_{N-2} + w_{N-2})^T F_{N-1}(E_{N-2} + w_{N-2}) + E^T_{N-2}R_{N-2}E_{N-2} + \\ & G^T_{N-1}(E_{N-2} + w_{N-2}) + (E_{N-2} + w_{N-2})^T G_{N-1} + H_{N-1} \end{aligned} \qquad (۴۸-۳)$$

به همین ترتیب با استفاده از استقرای ریاضی و الگوریتم برنامه‌ریزی دینامیکی ، فرم بسته مسأله دنبالروی تعریف شده در این پایان‌نامه برای $K = 1,2,....,N-1$ به صورت زیر بدست می‌آید :

$$u^*_k = D_k z_k + E_k \qquad (۴۹-۳)$$

$$\begin{aligned} D_k &= -(R_k + F_{k+1})^{-1}F_{k+1} \\ E_k &= D_k\left(w_k + F^{-1}_{k+1}G_{k+1}\right) \end{aligned} \qquad (۵۰-۳)$$

$$J^*_k(z_k) = z^T_k F_k z_k + G^T_k z_k + z^T_k G_k + H_k \qquad (۵۱-۳)$$

$$\begin{aligned} F_k &= Q_k + D^T_k R_k D_k + (I + D_k)^T F_{k+1}(I + D_k) \\ G_k &= (I + D_k)^T F_{k+1}(E_k + w_k) + D^T_k R_k E_k + G_{k+1} \\ H_k &= (E_k + w_k)^T F_{k+1}(E_k + w_k) + E^T_k R_k E_k + G^T_{k+1}(E_k + w_k) + (E_k + w_k)^T G_{k+1} + H_{k+1} \end{aligned} \qquad (۵۲-۳)$$

$$\begin{aligned} J_N(z_N) &= z^T_N F_N z_N \\ F_N &= Q_N \\ G_N &= 0 \\ H_N &= 0 \end{aligned} \qquad (۵۳-۳)$$

لازم به توضیح است که در هر مرحله بعد از اینکه u^* بدست آورده شد ، با توجه به قید رابطه (۳-۳۳) چک می‌شود ، اگر $u^* \geq U_{\max}$ بود آنگاه $u^* = U_{\max}$ در نظر گرفته می‌شود و اگر $u^* \leq U_{\min}$ باشد ، آنگاه $u^* = U_{\min}$ در نظر گرفته می‌شود.

در این پایان‌نامه مقادیر مربوط به $U_{\max}$ و $U_{\min}$ پیروها به صورت زیر در نظر گرفته شده است :

$U_{\max}^{L1} = 200$

$U_{\min}^{L!} = -200$

$U_{\max}^{L2} = 1000$

$U_{\min}^{L2} = -1000$

۳-۴-۲ عکس‌العمل پیروها در دنبالروی مرجع

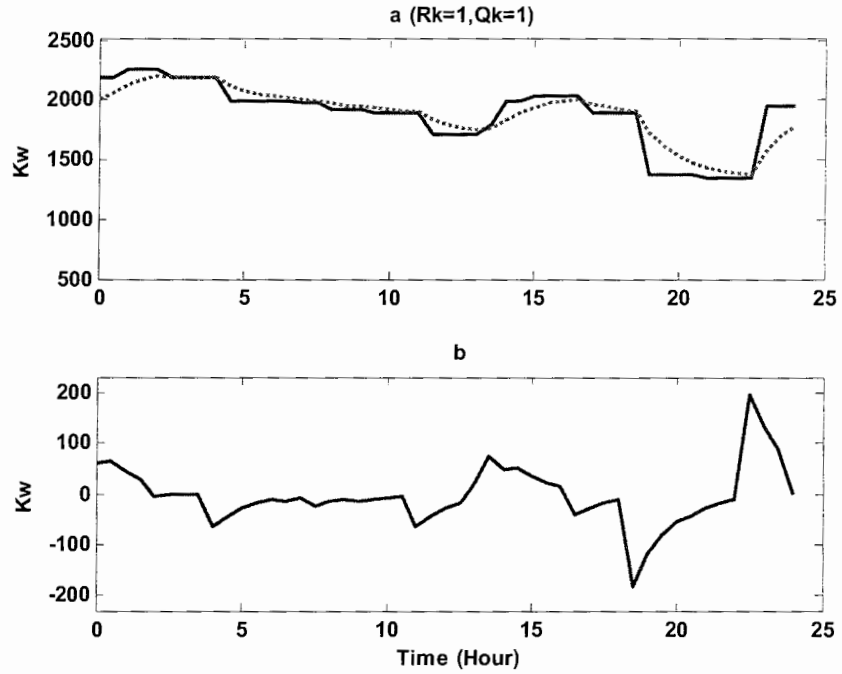
پس از ارائه مقدار توان مرجع مصرفی بهینه برای پیروها به وسیله رهبر، پیروها به منظور بدست آوردن حداکثر سود بایستی پارامترهای خویش را به گونه‌ای تنظیم نمایند تا این مهم بدست آید. همانطور که در بخش قبلی مورد بررسی قرار گرفت ، دینامیک مصرفی که رهبر برای هر کدام از پیروها در نظر گرفته‌بود به صورت رابطه زیر میباشد:

$$x_{k+1} = x_k + u_k$$

در اینجا به توضیح بیشتر در ارتباط با این دینامیک مصرف پرداخته می‌شود. هر پیرو یک مصرف اولیه x_0 دارد که مربوط به ساعت انتهایی روز قبل (۲۴) میباشد. برای اینکه مصرف واقعی پیرو در حالت x_1 به x_1^D(مرجع) منطبق شود ، رهبر یک u_0^* یی را به پیروها ارائه میدهد که باعث میگردد مصرف در حالت x_1 به x_1^D(مرجع) منطبق گردد. پس از اینکه پیروها به مصرف واقعی x_1 رسیدند، رهبر المان کنترلی u_1^* را به آنها ارائه میدهد تا باعث شود مصرف واقعی x_2 آنها به x_2^D منطبق شود و به همین ترتیب ادامه می‌یابد تا به مرحله N (ساعت ۲۴) برسیم.

در حالت کلی میتوان گفت u_k^* میزان تغییراتی است که پیروها در ساعت kام باید در مصرفشان ایجاد نمایند تا در ساعت $k+1$ میزان مصرف واقعی آنها به مصرف مرجع منطبق گردد .

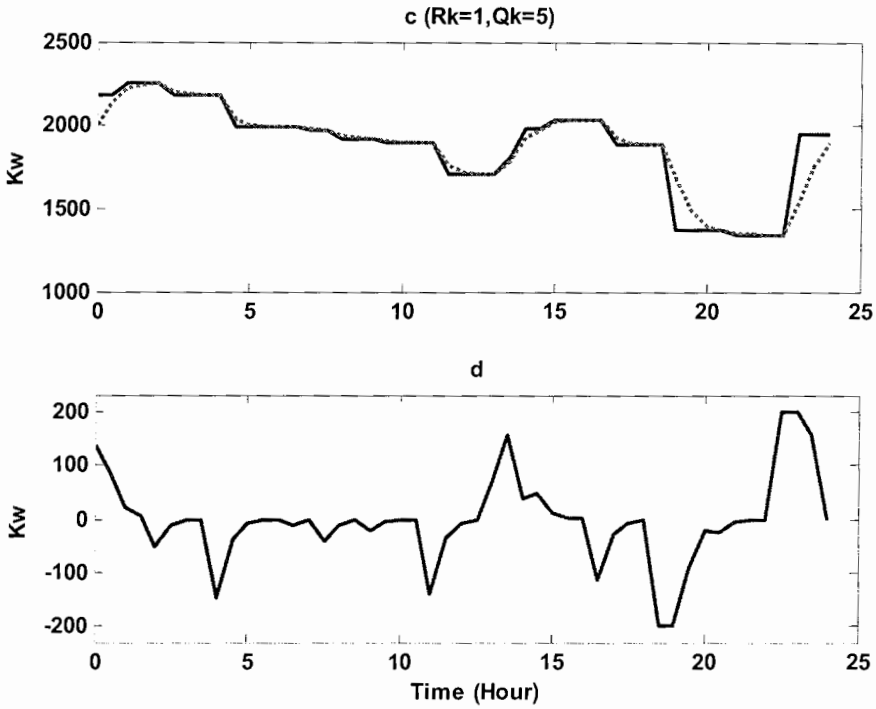
مقادیر مثبت u_k^* بیانگر افزایش توان پیروها در ساعات آینده است و مقادیر منفی u_k^* نشاندهنده کاهش توان مصرفی پیروها در ساعات آینده است. همانطور که در بخش قبل بدست آورده شد، دو پارامتر تأثیرگذار در انتخاب u_k^* ضرایب R_k و Q_k می‌باشند. چگونگی تأثیراین ضرائب بر دنبالروی پیروها از مرجع اعلام شده از جانب رهبر برای دو مقدار مختلف این ضرائب و برای مدت ۲۴ ساعت شبانه‌روز برای پیرو یک در شکل (۳-۱۴) و (۳-۱۵) نمایش داده شده است.



شکل (۳-۱۴-a) میزان مصرف توان واقعی پیرو یک در مقایسه با توان مرجع در حالت اول $(R_K = 1, Q_K = 1)$

شکل (۳-۱۴-b) مقادیر کنترل (u^*) برای پیرو یک در ۲۴ ساعت شبانه روز در حالت اول $(R_K = 1, Q_K = 1)$

مرجع _ دنبالروی ....



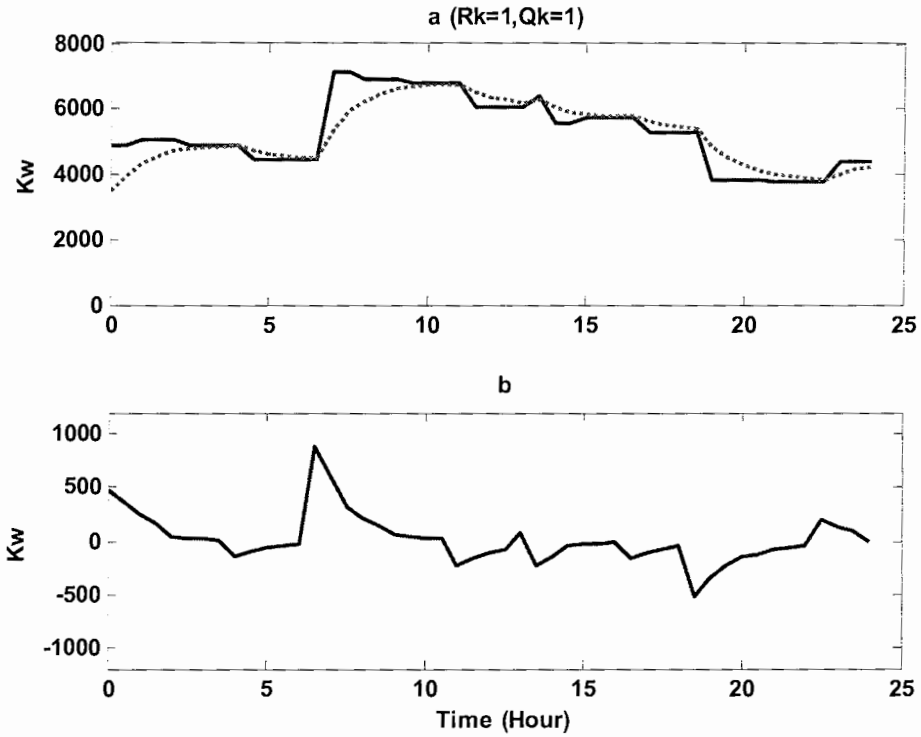
شکل (۳-۱۵-c) میزان مصرف توان واقعی پیرو یک در مقایسه با توان مرجع در حالت اول $(R_K = 1, Q_K = 5)$

شکل (۳-۱۵-d) مقادیر کنترل (u^*) برای پیرو یک در ۲۴ ساعت شبانه روز در حالت اول $(R_K = 1, Q_K = 5)$

مرجع _ دنبالروی ....

همانطور که در شکل (۳-۱۵-d) ملاحظه می‌شود ، مقادیر کنترل u^* برای پیرو یک با توجه به محدودیتی که برای آن فرض شد بین ۲۰۰ و ۲۰۰- می‌باشد. این قید بیانگر این مطلب است که پیرو یک در طول نیم‌ساعت بیشتر از ۲۰۰KW نمی‌تواند در مصرف کارخانه خود تغییرات داشته باشد.

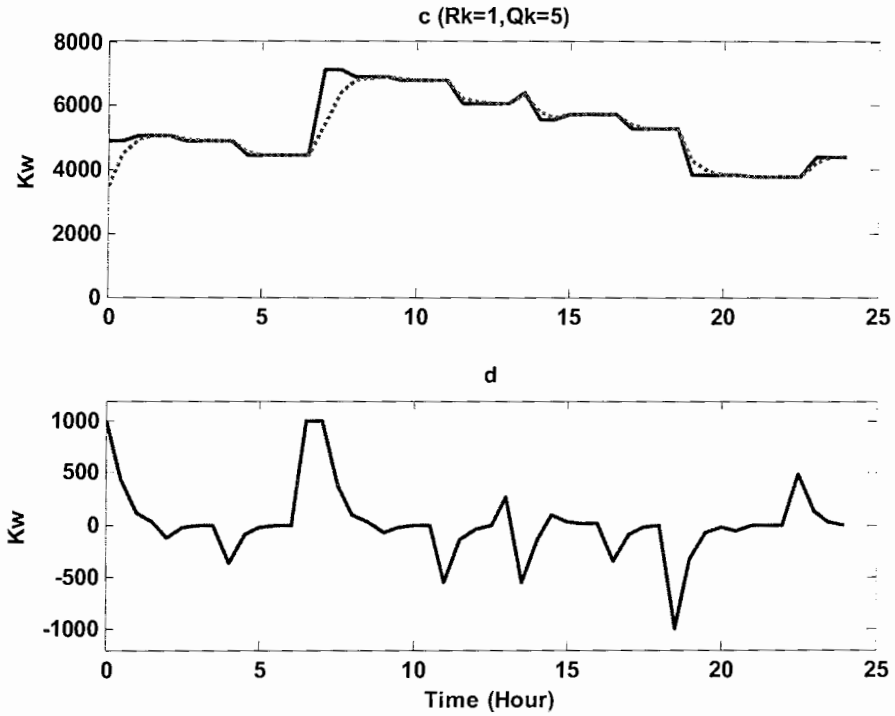
همچنین چگونگی تأثیرپذیری این ضرائب بر دنبالروی از مرجع اعلام شده از جانب رهبر برای دو مقدار مختلف این ضرائب و برای مدت ۲۴ ساعت شبانه‌روز برای پیرو دو در شکل (۳-۱۶) و (۳-۱۷) نمایش داده شده است .



شکل (۳-۱۶-a) میزان مصرف توان واقعی پیرو دو در مقایسه با توان مرجع در حالت اول $(R_K = 1, Q_K = 1)$

شکل (۳-۱۶-b) مقادیر کنترل (u^*) برای پیرو دو در ۲۴ ساعت شبانه روز در حالت اول $(R_K = 1, Q_K = 1)$

مرجع ـ دنبالروی ....



شکل (۳-۱۷-c) میزان مصرف توان واقعی پیرو دو در مقایسه با توان مرجع در حالت اول $(R_K = 1, Q_K = 5)$

شکل (۳-۱۷-d) مقادیر کنترل (u^*) برای پیرو دو در ۲۴ ساعت شبانه روز در حالت اول $(R_K = 1, Q_K = 5)$

مرجع ـ دنبالروی ....

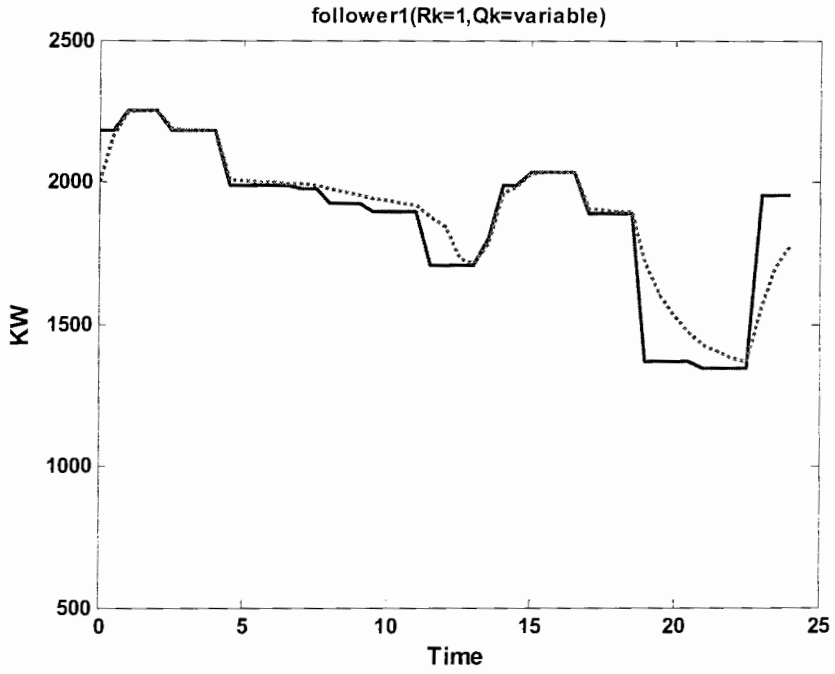
چنانچه در شکل (۳-۱۷-d) نیز مشاهده می‌شود ، مقدار کنترل u^* برای پیرو دو در حد بالایی خود یعنی ۱۰۰۰ محدود شده است. این به مفهوم این میباشد که پیرو دو در طول نیم‌ساعت نمی‌تواند بیشتر از ۱۰۰۰KW افزایش توان در کارخانه خود داشته باشد. به عبارت دیگر می‌توان $U_{\max}$ و $U_{\min}$ را قید مقدار در تغییرات خواسته شده از جانب رهبر برای پیروها درنظر گرفت.

همچنین باید متذکر شد که نتایج حاصل از شبیه‌سازیها در مرجع [6] نشان میدهد که مقادیر کنترلی پیروها در طول شبانه‌روز همیشه مثبت می‌باشد ، که این نتیجه با رابطه دینامیکی در نظر گرفته شده برای پیروها (رابطه ۳-۳۲) در کاهش مصرف برای ساعات آینده مغایرت دارد.

همانطور که ملاحظه می‌شود با کاهش ضریب R_k و افزایش ضریب Q_k میزان دنبالروی از مرجع اعلام شده از جانب رهبر، به وسیله هریک از پیروها بهبود خواهد یافت. لازم به ذکر است که نتایج شبیه‌سازیها در مرجع [6] نشاندهنده این است که برعکس با افزایش ضریب R_k و کاهش ضریب Q_k میزان دنبالروی از مرجع اعلام شده از جانب رهبر، به وسیله هریک از پیروها بهبود خواهد یافت.

R_k و Q_k یکسری ضرائب کنترلی کارخانه می‌باشند که پیروهای مسأله برای خود انتخاب میکنند. همانطور که نتایج شبیه‌سازیها نشان میدهد ، برای اینکه پیروها به سود مرجع نزدیکتر شوند ، به عبارتی به سود بیشتری دست یابند ، باید ضریب Q_k خود را افزایش و ضریب R_k خود را کاهش دهند. انتخاب این ضرایب برای پیروها بستگی به تجهیزات و تأسیسات کارخانه دارد. مقادیر Q_k و R_k در اصل بیانگر توانایی کارخانه در تغییرات خواسته شده در مصرف (u_k^*)، از طرف رهبر می‌باشد. به عبارت دیگر میتوان Q_k و R_k را قید نرخ تغییر بار کارخانه (شدت تغییرات) در تغییرات خواسته شده از جانب رهبر برای پیروها دانست. بنابراین پیروها برای بدست آوردن سود بیشتر مجبورند سیستمهای کنترلی و تجهیزات کارخانه خود را طوری مجهز نمایند تا بتوانند ضریب Q_k خود را بالا ببرند.

البته باید توجه داشت که ممکن است مقدار Q_k و R_k برای هر کدام از پیروها در طول شبانه‌روز تغییر نماید. این به مفهوم این است که نرخ تغییرات توان در کارخانجات در طول ساعات شبانه‌روز ، بسته به شرائط کارخانه ، می‌تواند متفاوت باشد. به عنوان مثال در شکل (۳-۱۸) دنبالروی پیرو یک از مرجع بهینه برای مقدار ثابت R_k =۱ و مقادیر متغیر Q_k در طول شبانه‌روز نشان داده شده است.



شکل (۳-۱۸) دنبالروی پیرو یک از مرجع بهینه برای R_k=۱ و مقادیر متغیر Q_k

لازم به ذکر است که مقادیر مربوط به Q_k و R_k در مرجع [6] در طول ۲۴ ساعت شبانه روز ثابت در نظر گرفته شده است ، ولی در اینجا همانطور که در شکل (۳-۱۸) مشاهده نمودیم ، میزان دنبالروی پیرو یک از مرجع بهینه برای مقادیر متغیر Q_k بدست آورده شده است.

برای درک بیشتر در ارتباط با توانایی کارخانجات در تغییرات سریع مصرف نمونه‌ای از یک مشتری بزرگ صنعتی همانند کارخانه ذوب فلز به طور اجمالی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

این کارخانه ذوب فلز دارای ماشینهای فلزکاری (از ۱ تا ۱۰۰ کیلووات)، ماشینهای الکتریکی ذوب فلز (از ۱ تا ۱۰ مگاوات)، روشنایی و تهویه هوا و... میباشد. این کارخانه دارای یک کامپیوتر مجهز برای برنامه-ریزی تولید (در هر ساعت و ساعتهای هفته بعد) و کنترل مستقیم فرایندهای برنامه‌ریزی شده است.

برنامه‌ریز تولید و مدیر تولید این کارخانه می‌توانند جداگانه واکنشهای مختلفی در بازار داشته‌باشند. مدیر تولید به موضوعات بلندمدت (ماه تا سال) علاقه دارد و قراردادهای بلندمدت منعقد می‌کند. در این قراردادهای بلندمدت پیش‌بینی بلندمدت قیمت، نیازهای آینده کارخانه و نیز سرمایه موجود در نظر گرفته می‌شود. برنامه‌ریز تولید به بهره‌برداری ساعتی و روزانه علاقمند است و ورودی لازم را برای کامپیوتر کنترل و برنامه‌ریز فرآیند تولید تأمین میکند.

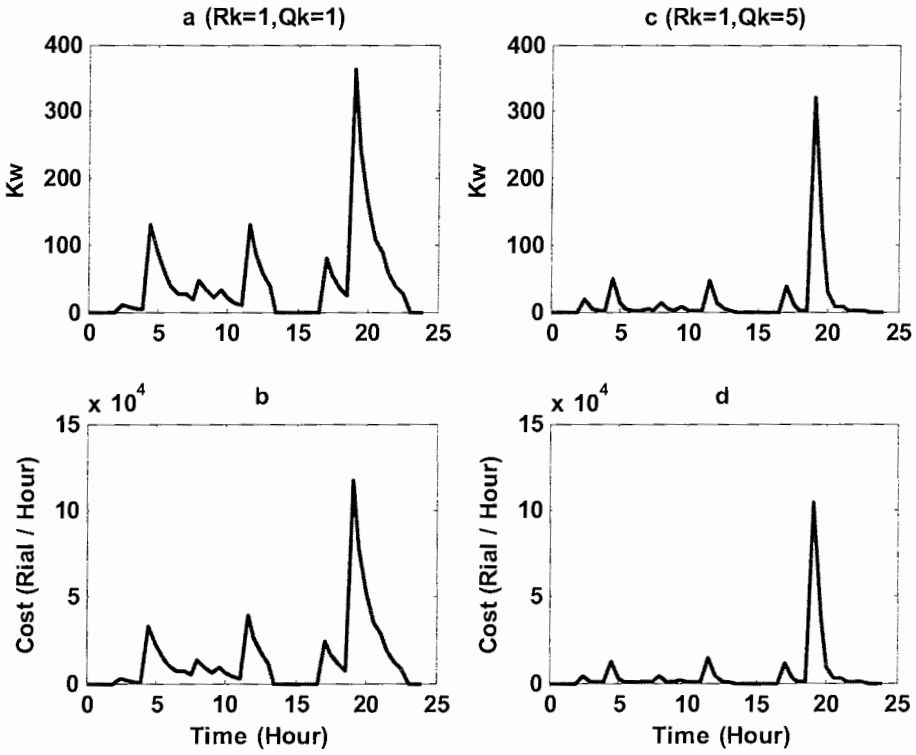
در برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری تأسیسات از پیش‌بینی کوتاه مدت قیمت و میزان معین تولید استفاده میشود. مثلاً فرآیند ذوب فلز در زمان پیش‌بینی‌شده‌ای که قیمت حداقل است انجام میگیرد. وقتی محدوده زمانی تغییرات قیمت به اندازه کافی بزرگ باشد، می‌توان بهره‌برداری از ماشینهای بزرگ ذوب فلز (که اپراتورهای زیادی لازم ندارند) را در زمانهای قیمت پایین برنامه‌ریزی کرد. برای تهویه هوای محیط کارخانه ، مسائل پیش گرم‌کردن و یا پیش سردکردن برنامه‌ریزی میشود. وقتی قیمت در ساعتهای شب پایین می‌آید، می‌توان ماشینهای فلز پیچ که بطور عادی با سوخت گاز کار میکنند را بصورت برقی بکار انداخت.

برنامه‌ریزی بهره‌برداری از تأسیسات تماماً توسط کامپیوتر انجام می‌شود و کامپیوتر نیز از دستورات ورودی و داده‌هایی که توسط برنامه‌ریز تولید فراهم میشود تبعیت می‌کند. وظیفه کامپیوتر کنترل و تنظیم دقیق‌تر بهره‌برداری واقعی در هر ساعت بسته به قیمت لحظه‌ای آن ساعت است[24].

ذکر این نکته ضروری است که در صورت مصرف بیش از مصرف مرجع به وسیله پیروها ، هریک از آنها با جریمه سنگینی از جانب رهبر روبرو خواهند شد ، زیرا خود رهبر نیز از جانب بازار تحت فشار است تا از مقدار معلوم شده بیشتر مصرف نکند.

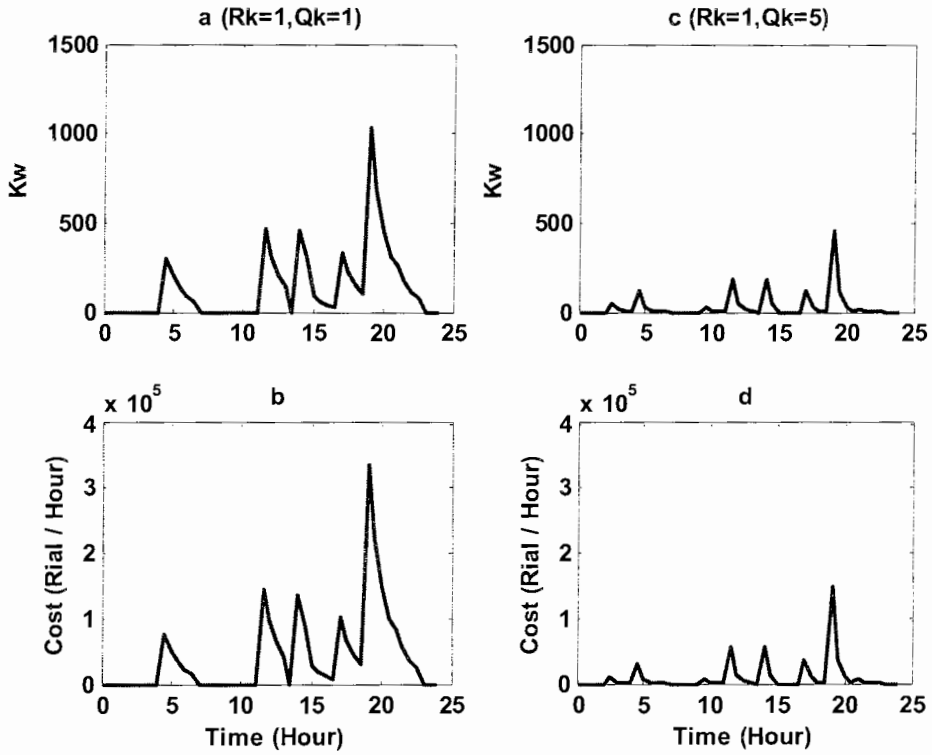
با این اوصاف همانطور که در اشکال (۳-۱۴)، (۳-۱۵)،(۳-۱۶)و(۳-۱۷) مشاهده شد ، پیروها در بعضی از ساعات شبانه روز دارای کمبود توان نسبت به مرجع مصرفی هستند و مجبورند این مقدار کمبود توان را به واسطه رهبر از بازار با قیمت بالائی تهیه نمایند. مقدار این کمبود توان و هزینه مربوط به آن برای دو

مقدار مختلف ضرائب R_k و Q_k برای پیرو یک و دو به ترتیب در شکل (۳-۱۹) و (۳-۲۰) نشان داده شده است.



شکل (۳-۱۹-a,c) مقدار کمبود توان پیرو یک برای دو مقدار مختلف ضرائب R_k و Q_k

شکل (۳-۱۹-b,d) هزینه مربوط به خرید توان اضافی برای پیرو یک برای دو مقدار مختلف ضرائب R_k و Q_k



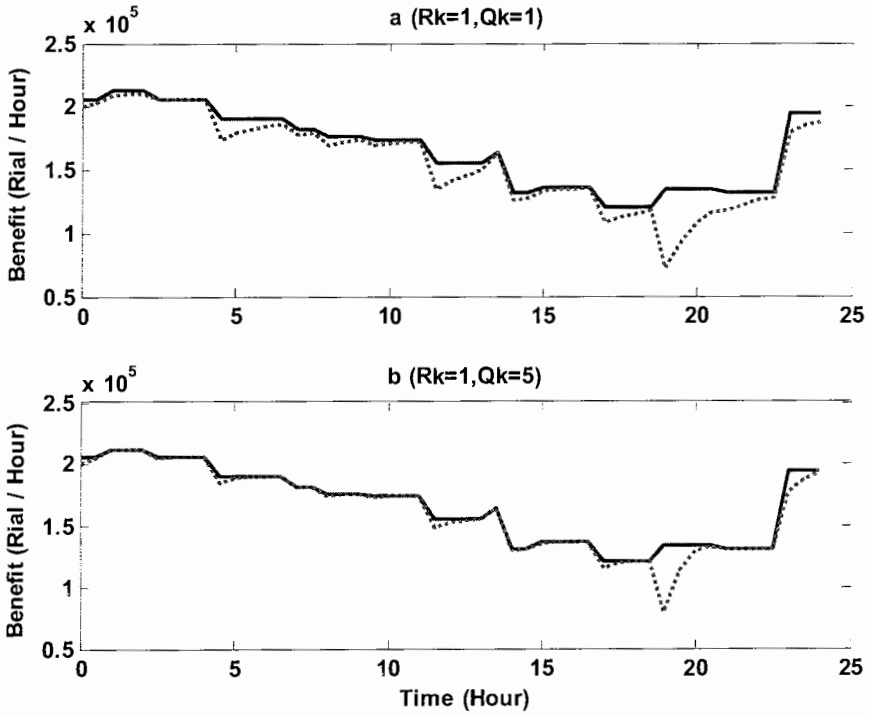
شکل (۳-۲۰-a,c) مقدار کمبود توان پیرو دو برای دو مقدار مختلف ضرائب R_k و Q_k

شکل (۳-۲۰-b,d) هزینه مربوط به خرید توان اضافی برای پیرو دو برای دو مقدار مختلف ضرائب R_k و Q_k

همانطور که در اشکال (۳-۱۹) و (۳-۲۰) ملاحظه می‌شود ، با افزایش ضریب Q_k و کاهش ضریب R_k میزان کمبود توان و همچنین هزینه مربوط به آن برای پیروها کمتر می‌گردد.

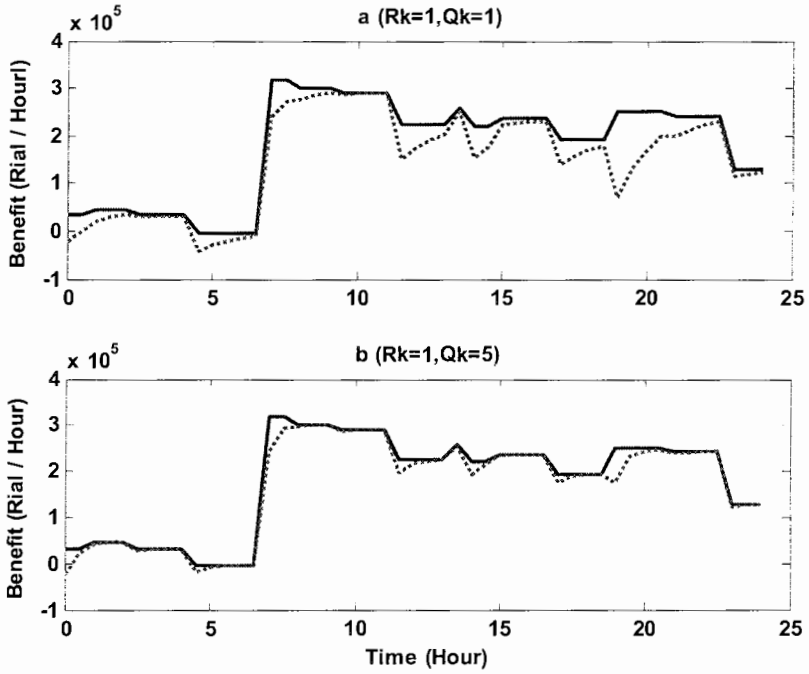
در اینجا نیز لازم است متذکر شویم که در مرجع [6] میزان کمبود توان پیروها و هزینه مربوط به آن در دنبالروی از مرجع بهینه در نظر گرفته نشده است.

با توجه به مطالب ارائه شده و با در نظر گرفتن میزان مصرف توان به وسیله پیروها و هزینه‌های در برگیرنده آنها ، سود مجموع دریافتی به وسیله هر یک از پیروها برای دو مقدار مختلف ضرائب R_k و Q_k برای ۲۴ ساعت شبانه‌روز نسبت به سود حاصل از مصرف توان مرجع در اشکال (۳-۲۱) و (۳-۲۲) نمایش داده شده‌است .



شکل (۳-۲۱) مجموع سود حاصله بوسیله پیرو یک نسبت به سود حاصل از مصرف توان مرجع در حالت اول برای دو مقدار مختلف ضرائب R_k و Q_k

مرجع _ دنبالروی ....



شکل (۳-۲۲) مجموع سود حاصله بوسیله پیرو دو نسبت به سود حاصل از مصرف توان مرجع در حالت اول برای دو مقدار مختلف ضرائب R_k و Q_k

مرجع _ دنبالروی ....

همانطورکه از اشکال (۳-۲۱) و (۳-۲۲) مشاهده می‌نماییم با کاهش ضریب R_k و افزایش ضریب Q_k ، سود مجموع بدست آمده برای پیروها بیشتر خواهد شد.

۳-۵ در اختیار قرارندادن و یا ارائه اطلاعات نادرست به رهبر توسط پیروها (حالت دوم)

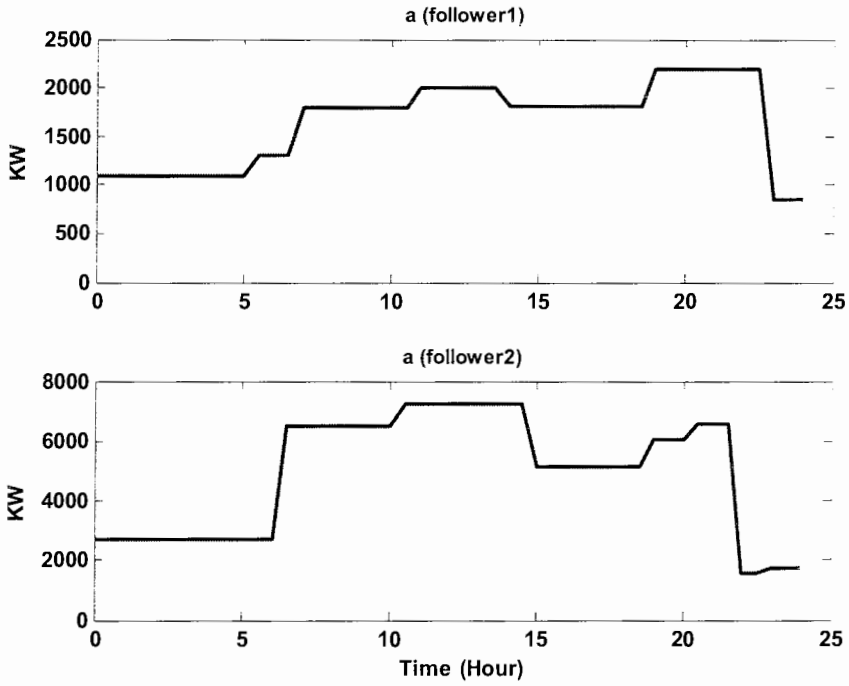
در حالت دوم دو وضعیت متفاوت در نظر گرفته می‌شود(بر خلاف مرجع [6]) ، یکی اینکه پیروها هیچگونه اطلاعات مربوط به شرکت خود را به رهبر ندهند. و دیگری اینکه پیروها یکسری اطلاعات نادرست و غیر واقعی مربوط به کارخانه را به رهبر ارائه نمایند.در ادامه به بررسی این دو وضعیت پرداخته می‌شود.

در اینجا نیز لازم به توضیح است که در مرجع [6] قیمت توان در نظر گرفته شده در حالت اول و حالت دوم با یکدیگر متفاوت می‌باشد. ولی در این پایان نامه فرض بر این گرفته شده است که قیمت توان در دو حالت با یکدیگر برابر می‌باشند.

همچنین در مرجع [6] قیمت توان در حالت دوم برای پیروهای یک و دو متفاوت در نظر گرفته شده است ، در صورتیکه در این پایان‌نامه قیمت توان برای پیروهای یک و دو یکسان می‌باشد . زیرا قیمت توان در هر لحظه در بازار نمی‌تواند متفاوت باشد.

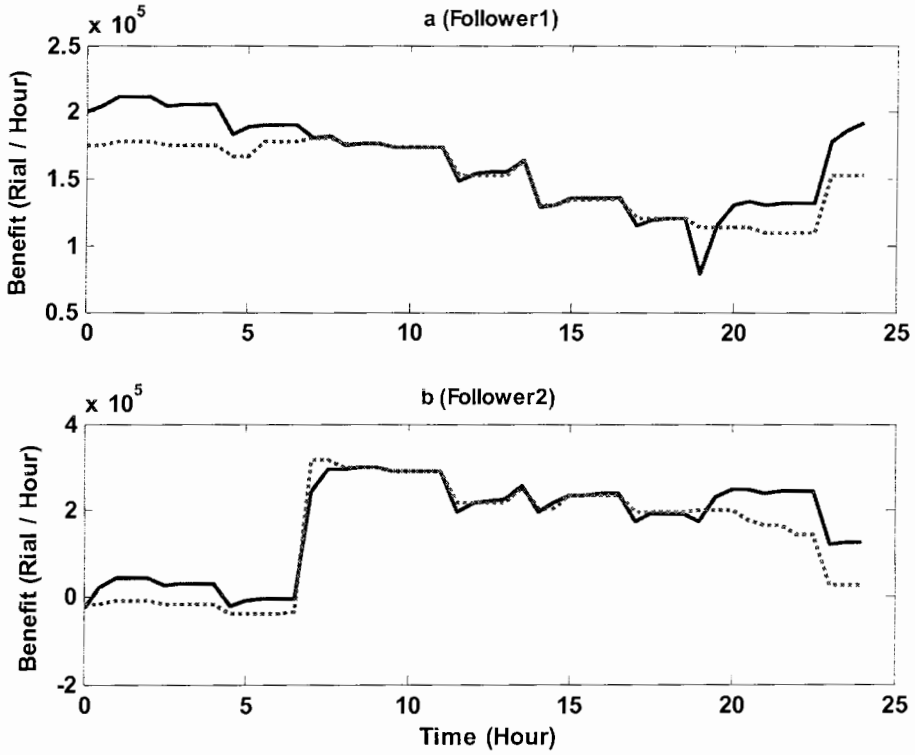
الف) پیروها هیچگونه اطلاعات مربوط به شرکت خود را به رهبر نمی‌دهند.

در این حالت چون رهبر به تابع سود پیروهای خود دسترسی ندارد ، نمی‌تواند مقدار مصرف بهینه را برای پیروها تعیین نماید. بنابراین رهبر مجبور می‌شود برای ارائه یک توان مرجع جهت مصرف از سوابق و تاریخچه مصرف پیروها استفاده نماید. همانطور که در بخش ۳-۱ مشاهده نمودیم ، مقدار این مراجع برای پیروهای یک و دو برای ۲۴ ساعت شبانه‌روز بصورت شکل (۳-۲۳) می‌باشد.



شکل (۳-۲۳) تاریخچه مصرف توان به عنوان مرجع مصرفی برای پیرو یک و دو

در شکل (۳-۲۴) سود بدست آمده برای پیروها با توجه به مصرف تاریخچه خود در مقایسه با مصرف توان بهینه در حالت اول با ضرائب $R_k = 1$ و $Q_k = 1$ (بدترین حالت) با یکدیگر مقایسه شده‌اند.



شکل (۳-۲۴) سود بدست آمده برای پیروها با مصرف توان تاریخچه خود در مقایسه با مصرف توان بهینه

در حالت اول برای $R_k = 1$ و $Q_k = 1$

_ سود بهینه ... سود تاریخچه

همانطور که در شکل (۳-۲۴) مشاهده می‌شود ، سود بدست آمده برای پیروها در حالت اول بیشتر میباشد.

ب) پیروها اطلاعات غیر واقعی مربوط به کارخانه را به رهبر ارائه نمایند.

در این وضعیت فرض بر این است که پیروها با رهبر خود همکاری لازم را ندارند و اطلاعات صحیح مربوط به شرکت خود را در اختیار او قرار نمی‌دهند. برای اینکه بتوان مقایسه‌ای بین نتایج حالت اول و دوم داشت ، فرض می‌شود در این حالت پیروها مقادیر نادرست مربوط به x_{ij} خود را به صورت جدول زیر به رهبر ارائه نمایند.

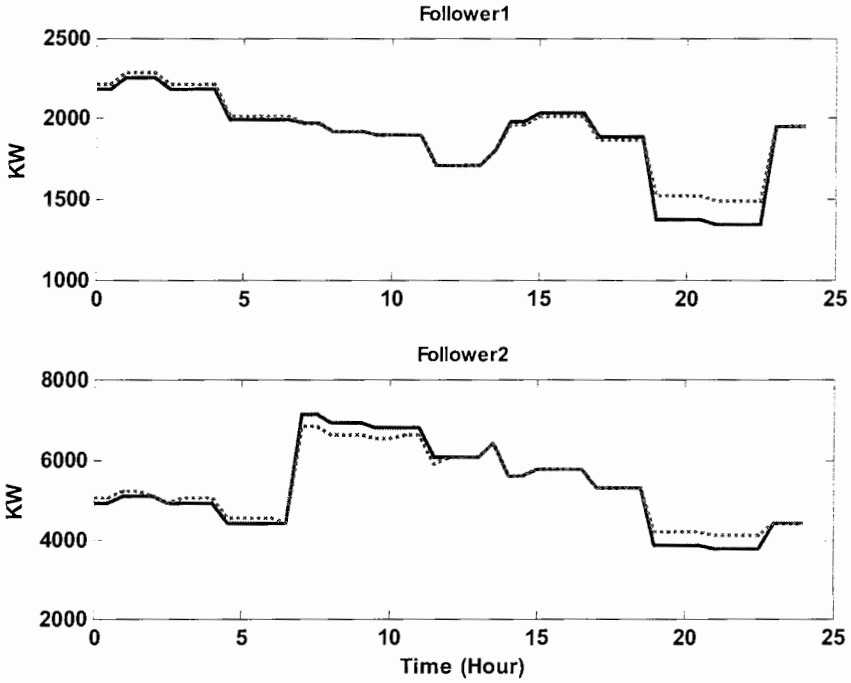
جدول (۳-۲) مقادیر تغییر یافته x_{ij} مربوط به پیروها در حالت دوم

ساعت	۱-۷	۷-۱۴	۱۴-۱۹	۱۹-۲۳	۲۳-۲۴
(ساعت/ نیروی انسانی) x_{11}	۱۰	۸	۱۰	۱۳	۱۱
(ساعت/ تن) x_{12}	۲۳	۴۰	۴۳	۲۳	۲۰
(ساعت/ نیروی انسانی) x_{21}	۳۱	۴۸	۴۰	۳۵	۱۹
(ساعت/ تن) x_{22}	۵۲	۲۰۰	۱۸۰	۱۳۵	۹۲

در حالت دوم پیروهای مسأله بر این باورند که اگر پس از دستکاری در توابع واقعی سود خود آن را به رهبر ارائه نمایند ، می‌توانند به سود بیشتری دست یابند. در ادامه این بخش ثابت می‌شود که این عمل برعکس باعث کم شدن سود بدست آمده برای پیروها می‌گردد.

اگر از روابط سود در حالت دوم نسبت به توان مصرفی مشتق‌گیری شود ، با توجه به قیمت توان مطابق سناریوی اول (بر خلاف مرجع [6]) و مقادیر تغییر یافته x_{ij}ها مطابق جدول (۳-۲) ، مقدار مصرف توان بهینه در این حالت برای هر کدام از پیروها بدست می‌آید. البته باید توجه نمود که این مقدار مصرف توان بهینه‌ای که در سناریوی دوم رهبر برای پیروها بدست می‌آورد مصرف بهینه واقعی آنها نیست ، چون مقادیر x_{ij}ها در این حالت غیرواقعی می‌باشند. بنابراین در این سناریو رهبر این مصرف توان بهینه را به عنوان مرجع مصرفی برای پیروهای خود در نظر می‌گیرد و خرید توان برای پیروها را بر اساس این مرجع انجام میدهد.

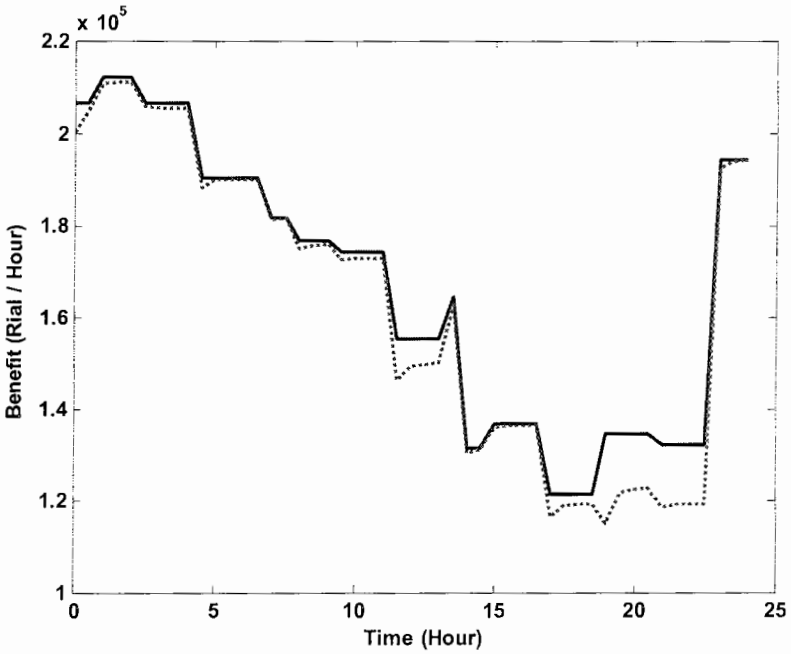
مصرف توان مرجع بهینه‌ای که رهبر در حالت اول و دوم برای پیروها بدست آورده در شکل (۳-۲۵) با یکدیگر مقایسه شده‌اند.



شکل (۳-۲۵) مقدار مصرف بهینه تعیین شده توسط رهبر برای پیروها در دو حالت

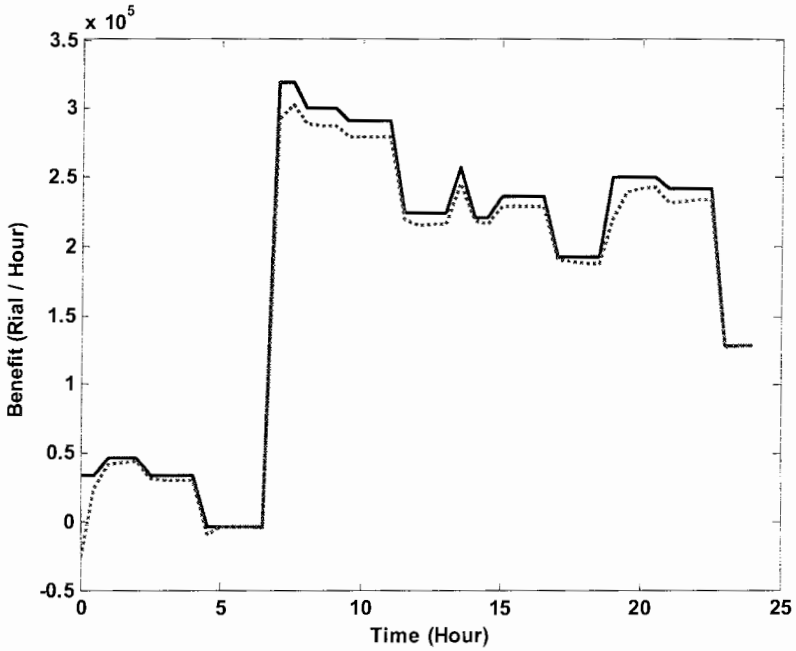
_ حالت اول ... حالت دوم

با فرض اینکه در حالت دوم بهترین حالت ممکن برای پیروها پیش آید (یعنی اینکه پیروها مرجع مصرف بهینه تعیین شده از جانب رهبر را طوری دنبالروی کنند که کمترین کمبود توان به منظور خرید از بازار را داشته باشند) ، در اینصورت سود مجموع حاصله به وسیله هر کدام از پیروها در حالت دوم در بهترین حالت و سود حاصل از حالت اول به ترتیب در اشکال (۳-۲۶) و (۳-۲۷) با یکدیگر مقایسه شده‌اند.



شکل (۳-۲۶) سود بدست آمده برای پیرو یک در حالت اول و دوم

_ حالت اول ... حالت دوم



شکل (۳-۲۷) سود بدست آمده برای پیرو یک در حالت اول و دوم

_ حالت اول ... حالت دوم

همانطور که در اشکال (۳-۲۶) و (۳-۲۷) مشاهده می‌شود ، سود بدست آمده برای پیروها در حالت اول نسبت به سود حاصله در حالت دوم بیشتر می‌باشد. دلیل این امر این می‌باشد که در حالت دوم بدلیل اینکه پیروها اطلاعات نادرستی را به رهبر خود ارائه می‌نمایند ، مقدار مصرف بهینه‌ای که رهبر برای آنها بدست می‌آورد مصرف بهینه واقعی آنها نمی‌باشد. بنابراین همانطور که نتایج شبیه‌سازیها نشان میدهد عواقب این عدم همکاری این می‌باشد که سود واقعی بدست آمده برای آنها کمتر خواهد شد.

فصل چهارم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۴-۱ نتیجه‌گیری و پیشنهادات

این پایان‌نامه با بکارگیری نظریه رهبر-پیرو اثرات اعمال مدیریت بار را بر دو مصرف‌کننده صنعتی مورد مطالعه قرار میدهد. برای انجام این مطالعه شرکت توزیع به عنوان رهبر و دو مصرف‌کننده صنعتی به عنوان پیروهای مسأله در نظر گرفته میشوند.

نخست با استفاده از این نظریه مدیریت بار مصرف‌کنندگان بصورت غیرپویا مورد بررسی قرار گرفت. در این روش رهبر بار مصرفی مصرف‌کنندگان (پیروها) را با انتقال بار از زمان پیک به زمان غیر پیک و بهینه‌سازی مصرف توان کنترل می‌نماید. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان میدهد که مدیریت بار با استفاده از این روش علاوه بر اینکه موجب صرفه‌جویی در توان مصرفی و تعدیل در قیمت توان می‌شود، موجب افزایش سود مصرف‌کنندگان نیز می‌گردد. بعنوان مثال در صورتیکه پیرو دو بنا به پیشنهاد رهبر مقداری از بار خود را از ساعاتی که کمبود توان دارد به ساعاتی که نسبت به مصرف مرجع خود توان اضافی دارد انتقال دهد، میتواند هزینه مربوط به خرید توان اضافی خود را به میزان ۷۰٪ کاهش دهد.

در مدیریت بار مصرفی بصورت غیرپویا رهبر خرید توان درخواستی پیروها را از طریق یک پیش‌بینی قیمت ۲۴ ساعت روز آینده انجام میدهد. بدلیل خطای پیش بینی نقطه کاری که برای هر کدام از پیروها تعیین میشود بهینه نمیباشد. به همین دلیل بهینه‌سازی بار مصرفی بصورت پویا مطرح گردید. در این روش رهبر خرید توان برای پیروها را از طریق یک پیش‌بینی نیم‌ساعته انجام میدهد. رهبر با استفاده از این پیش‌بینی و اطلاعاتی که از پیروها در اختیار دارد یک مرجع مصرفی بهینه را برای هر کدام از پیروها تعیین مینماید.

در بهینه‌سازی بار مصرفی بصورت پویا استراتژی رهبر-پیرو به عنوان یک مسأله دنبالروی دینامیکی[1] مدل‌سازی گردید. به منظور محاسبه مقادیر بهینه تغییر بار در هر نیم ساعت توسط هر یک از پیروها، یک دینامیک مصرف برای هر پیرو تعریف میگردد. سپس با بکارگیری برنامه‌ریزی دینامیکی یک فرم بسته برای تعیین مقدار کنترل بهینه (مقدار تغییر بار بهینه) هر کدام از پیروها بدست آمد. رهبر با تعریف تشویقهای مناسب پیروها را به دنبالروی از مرجع مصرفی بهینه ترغیب مینماید.

نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان میدهد که در صورت پیروی پیروها از مرجع بهینه اعلام شده توسط رهبر، سود آنها افزایش چشمگیری خواهد داشت. همانطور که فرم بسته بدست آمده برای کنترل بهینه نشان میدهد، برای دنبالروی هر چه بهتر پیروها از مرجع مصرفی بهینه دو پارامتر R_k و Q_k نقش بسزایی دارند. با کاهش ضریب R_k و افزایش ضریب Q_k میزان دنبالروی از مرجع اعلام شده از جانب رهبر بوسیله هریک از پیروها بهبود خواهد یافت.

مقادیر Q_k و R_k در اصل بیانگر توانایی کارخانه در دنبال نمودن تغییر بار خواسته شده (u_k^*)، از طرف رهبر می‌باشد. به عبارت دیگر Q_k و R_k قید نرخ تغییر بار کارخانه میباشد که توسط پیرو به رهبر اعلام میگردد. برای اینکه پیروها بتوانند دنبالروی دقیقی از مرجع اعلام شده داشته باشند باید تأسیسات خود را طوری تجهیز نمایند تا بتوانند در کمترین زمان ممکن به تغییر بار خواسته شده از جانب رهبر پاسخ مثبت بدهند. به عبارت دیگر باید ضریب Q_k خود را افزایش دهند. بعنوان مثال در حالتی که پیرو دو دارای ضریب Q_k و R_k برابر یک میباشد، در بعضی از ساعات سود کارخانه منفی میگردد. در حالیکه اگر ضریب Q_k خود را به پنج برساند ($R_k = 1$)، علاوه بر اینکه سود او مثبت خواهد شد، باعث افزایش سود به میزان حدوداً ۱۰٪ (نسبت به حالت $Q_k, R_k = 1$) نیز میگردد.

ذکر این نکته ضروری است که در صورت مصرف بیش از مصرف مرجع به وسیله پیروها، هریک از آنها با جریمه سنگینی از جانب رهبر روبرو خواهند شد. زیرا خود رهبر نیز از جانب بازار تحت فشار است تا از مقدار معلوم شده بیشتر مصرف نکند. بنابراین پیروها مجبورند مقدار کمبود توان را از طریق رهبر از بازار با قیمت بالایی تهیه نمایند. همچنین مشاهده شد که با افزایش ضریب Q_k و کاهش ضریب R_k

1 - Dynamic Tracking Problem

میزان کمبود توان و هزینه مربوط به آن برای پیروها نیز کمتر می‌شود. بعنوان مثال پیرو دو با افزایش ضریب Q_k خود از یک به پنج $(R_k = 1)$، میزان کمبود توان خود را می‌تواند از 1000 Kw در ساعات اوج به حدوداً 450 Kw برساند.

لازم به ذکر است که پیروها میتوانند به تغییر بار خواسته شده از جانب رهبر پاسخ ندهند (مرجع مصرفی بهینه را دنبالروی نکنند). همانطور که نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان میدهد به نفع پیروهاست که با رهبر خود همکاری نمایند و اطلاعات کامل مربوط به کارخانه را جهت تعیین توان مصرفی بهینه در اختیار او قرار دهند و در نهایت این مرجع مصرفی بهینه را دنبالروی کنند.

پیشنهادات

۱- تقسیم بهینه مقدار توان محدود بین پیروها

۲- در نظر گرفتن قابلیت اطمینان برای سیستم مورد مطالعه

۳- پیاده‌سازی مدیریت بار با استفاده از این نظریه برای یک نمونه کارخانه

رهبر مرجع مصرفی توان بهینه را برای هر کدام از پیروها بدست میآورد ، و این مقدار توان را به طور کامل از بازار برای آنها تهیه مینماید. برای ادامه کار می‌توان حالتی را در نظر گرفت که در آن رهبر مجبور می‌شود مقدار توان محدودی را طوری بین پیروها تقسیم نماید که هر دوی آنها به بیشترین سود ممکن دست یابند. همچنین در انجام این پایان‌نامه قابلیت اطمینان سیستم ثابت فرض شده است. برای ادامه کار پیشنهاد می‌گردد ، حالتی در نظر گرفته شود که در آن قابلیت اطمینان سیستم بصورت یک متغیر تصادفی باشد.

و یا اینکه به عنوان یک پیشنهاد دیگر ، می‌توان در انتخاب توابع اقتصادی برای مصرف‌کنندگان صنعتی طوری عمل نمود که بیشتر با پارامترها و واقعیات موجود در کارخانجات همخوانی داشته باشد و بتوان این روش بهینه‌سازی مصرف را برای یک نمونه کارخانه صنعتی نمونه مورد استفاده قرار داد.

منابع و ماخذ

منابع و ماخذ

[1] مدیریت مصرف برق . تألیف نادر گلستانی

[2] اندازه‌گیری ، مدلسازی و شبیه‌سازی مدیریت بار صنعتی تحت پوشش برق منطقه‌ای فارس – شهرام جدیدی ، خرداد ۷۷

[3] اصول مدیریت انرژی . تألیف گرگ.بی.اسمیت ، ترجمه شهناز صادقی – مهرداد بابایی – داریوش ساعدی‌داریان . انتشارات سازمان بهره‌وری انرژی ایران

[4] مدیریت بار در صنایع . محمددخت حسن‌وحید ، سمینار کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی شاهرود ، بهار ۸۴

[5] بررسی و امکانسنجی فنی و اقتصادی بکارگیری روشهای مختلف مدیریت مستقیم بار در برق منطقه‌ای فارس . دکتر شهرام جدیدی - انتشارات برق منطقه‌ای فارس - مرداد ۷۸

[6] مدیریت تشویقی بارهای صنعتی با استفاده از تئوری بازیها ، اشکان رحیمی‌کیان – محمد سعید کوپائی‌نیا . پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران . دانشکده فنی - ۱۳۸۴

[7] H. Von Stackelberg, The Theory of the Market Economy. London, U.K. *Oxford Univ. Press*, 1952. Transl: A.T.Peacock

[8] L.I Saksen., "Bibliography on Load Management," IEEE *Transaction on Apparatus and System*, vol.PAS-100, 9, 5, May 1981

[9] Fernando L. Alvarado, Murat. Fahrioglu, "Using Utility Information to Calibrate Customer Demand Management Behavior Models," IEEE *Transactions on Power System*, Vol. 16, NO. 2, pp. 317-322, May 2001

[10] C. I. Chen and J. B. Cruz, Jr., "Stackelberg solution for two-person games with biased information patterns," IEEE *Trans. Automat. Contr.*, vol. AC-17,pp. 791-798, May 1972

[11] Xiaoping Liu and Siying Zhang., "Optimal Incentive Strategy for Leader-Follower Games," IEEE *Transactions on Automatic Control.*, vol. 37, No. 12, pp. 1957-1961, December 1992

[12] Wen-Chen Chu, Bin-Kwie Chen, Chun-Kuei Fu., "Scheduling of Direct Load Control to Minimize Load Reduction for A Utility Suffering From Generation Shortage.," IEEE *Trans. On PWRS.*, vol. 8 , No. 4, pp. 1525-1530, Nov 1993

[13] Jose B. CRUZ, JR., "Leader-Follower Strategies for Multilevel Systems," IEEE *Transactions on Automatic Control.*, vol. AC-23, pp. 244-255, April 1978

[14] P. Erichsen and N. Haase , "The Results From A Major Load Management Project," , *CIRED Conference, NESA A/S (Ltd)*, Denmark , 1989

[15] Ali Keyhani., "Leader-Follower Framework for Control of Energy Services," IEEE *Transactions on Power Systems*, vol. 18, No. 2, May 2003

[16] Dimitri P.bertsekas, "Dynamic Programming Deterministic and Stochastic Models," *department of electrical engineering and computer science massachoset institute of technology*, 1987

[17] C.O.Bgork., "Industrial Load Management-Theory Practice and Simulation," *Elsivir* , 1989

[18] Martin A. Sikora and Jose B. Cruz, Jr., "Decreasing Sensitivity Due to Parametric Multimodels in Dynamic Leader-Follower Incentive Design," *Proceedings of the American Control Conference Albuquer*, New Mexico June 1997

[19] Fernando L. Alvarado, Murat. Fahrioglu, "Designing Incentive Compatible Contracts for Effective Demand Management," IEEE *Transactions on Power System*, Vol. 15, NO. 4, Nov 2000, pp. 1255-1260

[20] Yyan-Yih Hsu, Chung-Ching Su., "Dispatch of Direct Load Control Using Dynamic Programming.," IEEE *Trans. On PWRS.*, vol. 6 , No. 3,pp. 1056-1061, Aug 1991

[21] Halrvarian, "Intermediate Micro Economic Modern Approach," Sixth Eedition, *Norton and company* , 2002

[22] N. Haase, C. Jarby, and P. Erichsen, "New Load Management System Based on Two-Way Communication on the Electric Distribution System," CIRED 9th *International Conference on Electricity Distribution*, Liege, Belgium. 1987

[23] Ming Li, Jose B. Cruz, Jr., "An Approach to Discrete-Time Incentive Feedback Stackelberg Games," IEEE *Transaction on Systems*, Man, And Cybernetics-Part A: Systems and Humans, vol. 32, No. 4, July 2002

[24] C. Schweppe, C. Caramanis, D. Tabors, E. Bohn., "Spot Pricing of Electricity" *department of electrical engineering and computer science massachoset institute of technology*, 1997

[25] Fernando L. Alvarado, Murat. Fahrioglu, "The Design of Optimal Demand Management Programs," *Department of Electrical and Computer Engineering* The University of Wisconsin – Madison, Aug. 1998

Shahrood University of Technology

Subject:

Optimization and Management of Load Consumption Based on the Leader-Follower Theory

By:
Aliasghar Ghanbari

Supervisors:

Dr.Mohammadreza Rafie
Dr.Majid Oloomi

Advisor :

Dr.Mehdi Banezhad

2006