دانشکده برق و روباتیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

عنوان:

مدیریت بار در یک کارخانه صنعتی با استفاده از روشهای هوشمند

استاد راهنما :

دکتر علی اکبر قره ویسی

ارائه دهنده :

محمد دخت میرزا حسن وحید

تابستان ۱۳۸٤

تقدیم به :

همسر مهربان

و

پسر عزیزم

بی تردید اگر زحمات و راهنمائی های استاد گرامی جناب آقای **دکتر علی اکبر قره ویسی** نبود این پایان نامه هرگز به سرانجام نمی رسید . لذا بر خود واجب می دانم در ابتدای این پایان نامه مراتب قدردانی را نسبت به ایشان بجا آورم .

فهرست

عنوان	صفحه
فصل اول : اهمیت مدیریت انرژی	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- مدیریت انرژی و اهمیت آن	۲
۱-۳- مروری بر مطالب پایان نامه	۵
فصل دوم : مدیریت انرژی الکتریکی	۷
۲-۱- لزوم مدیریت انرژی الکتریکی	۸
۲-۲- مدیریت انرژی الکتریکی از دیدگاه تولید	۸
۲-۲-۱- بهینه سازی سیستم موجود	۹
۲-۲-۲- استفاده از تجهیزات با راندمان بالا	۱۳
۲-۲-۳- مدیریت مصرف برق	۱۳
۲-۳- مدیریت انرژی الکتریکی از دیدگاه مصرف کننده	۱۶
۲-۳-۱- بهینه سازی سیستم موجود	۱۷
۲-۳-۲- افزایش راندمان استفاده از انرژی	۲۱
۲-۳-۳- مدیریت بار	۲۲
۲-۳-٤- مطالعات منحنی بار لازمه مدیریت بار	۲۳
۲-٤- شاخصهای مطالعات مدیریت بار	۲٤
فصل سوم : مروری بر مقالات مدیریت بار	۳۱
۳-۱- دانمارک	۳۲
۳-۲- مالزی	٤۱
۳-۳- هندوستان	٤۸
فصل چهارم: مدلسازی مسئله مدیریت بار کارخانه تحت مطالعه	۵۷
٤-۱- مقدمه	۵۸
٤-۲- معرفی چرخه کار کارخانه	۵۸
٤-۳- بررسی منحنی بار کارخانه	٦۵
٤-٤- مدل سازی مسئله مدیریت بار از دیدگاه مصرف کننده	٦٦

٤-٤-١- تعیین تابع هدف ٦٦
٤-٤-٢- تعیین قیدهای مسئله بهینه سازی مصرف ٦٧
٤-٤-٣- اصلاح منحنی بار هر دستگاه براساس منحنی بار کارخانه ٦٨
فصل پنجم : مروری بر روش های هوشمند (الگوی جستجو – الگوریتم ژنتیک – شبکه های عصبی) ٧١
٥-١- مقدمه ٧٢
٥-٢- الگوریتم الگوی جستجو ٧٢
٥-٢-١- ساختار الگوی جستجو ٧٣
٥-٢-٢- الگوی جستجو چگونه عمل می کند ؟ ٧٦
٥-٢-٣- شرایط توقف الگوی جستجو ٨٢
٥-٣- روش الگوریتم ژنتیک ٨٣
٥-٣-١- مقدمه ٨٣
٥-٣-٢- اصطلاحات الگوریتم ژنتیک ٨٤
٥-٣-٣- اجزاء اساسی الگوریتم ژنتیک و تشریح کلی از الگوریتم ژنتیک ٨٥
٥-٣-٤- عملگر های اساسی الگوریتم ژنی متداول ٨٦
٥-٣-٤-١- عملگر انتخاب ٨٧
٥-٣-٤-٢- عملگر تبادل ٨٧
٥-٣-٤-٣- عملگر جهش ٨٨
٥-٣-٥- نکاتی در مورد پیاده سازی الگوریتم ژنتیک ٨٩
٥-٣-٥-١- چگونگی تشکیل رشته ها ٨٩
٥-٣-٥-٢- تعداد بیت های متناظر با هر متغییر ٨٩
٥-٣-٥-٣- انواع روشهای تشکیل رشته ٩٠
٥-٣-٥-٤- باز گرداندن رشته ها به مجموعه متغییرها (رمز گشائی) ٩١
٥-٣-٥-٥- تعداد اعضای جمعیت ٩٢
٥-٣-٥-٦- محک اختتام اجرای الگوریتم ژنتیک ٩٣
٥-٣-٦- اصلاح الگوریتم ژنتیک ٩٣
٥-٣-٦-١- روش نخبه گزینی ٩٣
٥-٣-٦-٢- روش برازندگی ٩٤

۵-۳-۶-۳- طرحواره ۹٤
۵-۳-۶-٤- توضیحاتی در مورد عملگر تبادل ۹٤
۵-۳-۶-۵- تغییر نرخهای جهش و تبادل در حین اجرای الگوریتم ژنتیک ۹۵
۵-۳-۶-۶- الگوریتم ژنتیک کلاسیک , مقاوم و ترکیبی ۹۶
۵-٤- شبکه های عصبی ۹۸
۵-٤-۱- مقدمه ۹۸
۵-٤-۲- کاربرد های شبکه های عصبی ۹۸
۵-٤-۳- مدل نرون ۱۰۰
۵-٤-۳-۱- مدل تک ورودی ۱۰۰
۵-٤-۳-۲- توابع محرک ۱۰۱
۵-٤-۳-۳- مدل چند ورودی ۱۰۳
۵-٤-٤- شبکه تک لایه ۱۰٤
۵-٤-۵- پرسپترون ۱۰۶
۵-٤-۵-۱- پرسپترون تک لایه ۱۰۶
۵-٤-۵-۲- شبکه های پرسپترون چند لایه ۱۰۶
۵-٤-۶- خلاصه الگوریتمBP ۱۰۸
۵-٤-۷- نحوه ارائه داده های یادگیری در BP ۱۰۹
۵-٤-۷-۱- انتخاب مقدار اولیه ۱۱۰
۵-٤-۷-۲- سرعت پائین همگرائی ۱۱۰
۵-٤-۷-۳- روش ممنتم برای ۱۱۰
فصل ششم : شبیه سازی مسئله مدیریت بار با استفاده از الگوریتم الگوی جستجو ۱۱۲
۶-۱- بهینه سازی منحنی بار کل مجموعه ۱۱۳
۶-۲- تخصیص سهم هر دستگاه از منحنی بار کل مجموعه ۱۱۵
۶-۳- بررسی و تحلیل نتایج بدست آمده ۱۱۶
فصل هفتم : شبیه سازی مسئله مدیریت بار با استفاده از الگوریتم ژنتیک ۱۲۱
۷-۱- بهینه سازی منحنی بار کل مجموعه ۱۲۲
۷-۲- تخصیص سهم هر دستگاه از منحنی بار کل مجموعه ۱۲٤

۷-۳- بررسی و تحلیل نتایج بدست آمده ۱۲۵
فصل هشتم : شبیه سازی مسئله مدیریت بار با استفاده از شبکه های عصبی ۱۳۰
فصل نهم : نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۳۸
۹-۱- نتیجه گیری ۱۳۹
۷-۱- پیشنهادات ۱٤۰
منابع و مراجع ۱٤۵

فصل اول:

اهمیت مدیریت انرژی

۱-۱- مقدمه

متناسب با توسعه تکنولوژی و ارتقاء سطح زندگی مردم , مصرف انرژی الکتریکی به عنوان نیروی محرکه چرخ عظیم خدمات صنعتی و رفاهب رو به فزونی بوده است . قابلیت کنترل بهتر و سهولت استفاده از انرژی الکتریکی باعث شده است که این انرژی در مقایسه با سایر منابع انرژی مورد توجه بیشتر واقع شده و به طور وسیعی برای انواع کاربردهای خدماتی , صنعتی و رفاهی استفاده شود . اما محدود بودن منابع اولیه انرژی قابل تبدیل به انرژی الکتریکی , کمبود منابع مالی جهت تولید انرژی الکتریکی , پایین بودن راندمان پروسه تبدیل در نیروگاه ها , دست اندرکاران امور انرژی را در کنار دیگر تدابیر , به سیاستهای بهینه سازی و مدیریت مصرف رهنمون می کند . با عنایت به اینکه احداث تاسیسات صنعت برق با مصرف سرمایه های عظیم انرژی و ریالی همراه بوده و بسیار زمان بر است , لذا مدیریت مصرف انرژی الکتریکی بسیار حائز اهمیت می باشد و هر اقدامی برای بهینه سازی مصرف دقیقا در راستای حفظ سرمایه های ملی و تامین رفاه عمومی و کاهش قیمت کالاهای تولیدی و نیز کاهش آلودگی محیط و در نهایت ارتقای کیفی شرایط زندگی خواهد شد [۷] .

۱-۲- مدیریت انرژی و اهمیت آن

مدیریت انرژی به یک برنامه سیستماتیک جهت چگونگی کنترل استفاده منطقی از انرژی و همچنین کاهش اتلافات انرژی به حداقل ممکن، بدون اینکه به نیازهای اصلی ساختمان یا پروسه اثر بگذارد، اطلاق میشود[۵].

بعبارت کلی : مدیریت انرژی عبارت است از سودمندترین روش کاربرد انرژی که متضمن جلوگیری از اتلاف انرژی , افزایش بازدهی در انرژی مصرفی , صرفه جویی در منابع پایان پذیر انرژی و کمترین آسیب به محیط زیست باشد.

وسعت برنامه های مدیریت انرژی به اندازه، پیچیدگی عملیاتی هر ساختمان و یا تاسیسات مربوطه بستگی دارد، به این معنا که در ساختمانهای کوچک مسئله کارآئی انرژی بوسیله خود صاحبان ساختمان یا افراد خدماتی قابل کنترل میباشد. در ساختمان یا تاسیسات بزرگ که پتانسیل های صرفه جویی بیشتری وجود دارد نیاز به برنامه های مدیریت انرژی می باشد.

با توجه به مطالب گفته شده , عمده دلایل اهمیت مدیریت انرژی را می توان به شرح زیر بیان کرد[۷]:

۱- محدود بودن منابع انرژی

۲- افزایش مصرف انرژی ناشی از حداقل دو عامل افزایش جمعیت و توسعه اقتصادی

۳- محدودیت منابع مالی جهت سرمایه گذاری در بخش انرژی

٤- مسئله حفظ محیط زیست

در نتیجه اقدامات موثر جهت کاهش مصرف انرژی را می توان به صورت زیر برشمرد[۱]:

۱- بهبود وضعیت عملیات و روش های تعمیراتی:

شامل عملیاتی از قبیل کاهش سطح روشنائی ، به حداقل رساندن درجه حرارت ترموستات در ماه های سرد سال و بالا بردن در ماه های دیگر، و همچنین تهیه روش هایی جهت بهینه مصرف انرژی. از آنجائیکه این روش ها در کوتاه مدت و بدون هزینه امکان پذیر هستند لذا با حداقل آموزش پرسنل و داشتن دستورالعمل های تعمیراتی و سرویس و برنامه های پی گیر نتایج موثری در استراتژی صرفه جوئی حاصل می شود.

۲- رعایت استانداردها در تاسیسات و تجهیزات جدید:

به ترتیب نوع درجه بندی در ساختمان ها و منطقه بندی آب و هوائی با رعایت استانداردها در ساختمان های جدیدالاحداث می توان تا میزان ۵۰ درصد مصرف کنونی ساختمان ها و تجهیزات صرفه جوئی نمود.

۳- اصلاح طراحی ها در تاسیسات موجود:

تعویض یا تغییرات در سیستم ها، ساختار ساختمان ها، تجهیزات ساختمان های موجود در جهت کاهش مصارف انرژی. از جمله این اصلاح طراحی می توان نصب سیستم های روشنایی با کارائی بالا، گرمایش، تغییر در تجهیزات سیستم های تهویه مطبوع، تجهیزات بازیافت حرارت و عایق کاری را نام برد.

٤- ادغام فعالیت های گوناگون در یک مکان:

با کنترل و بازرسی ساختمان هائی که بعلت تعطیل بودن ساختمان و یا تاسیسات آن مورد استفاده قرار نمی گیرند میزان قابل توجهی کاهش در مصرف انرژی بوجود می آید، که بوسیله مجتمع نمودن فعالیت های مشابه در ساختمان های مختلف و انتقال آنها به یک ساختمان واحد می توان این کمینه سازی را انجام داد.

٥- جانشینی منابع تجدید پذیر :

استفاده از انرژی خورشیدی در ساختمانها یی که از انرژی خورشیدی فعالی برخوردار هستند برای آب گرم مصرفی و در بعضی مواقع برای گرمایش و سرمایش در ساختمان و نیزاستفاده از تکنولوژی هایی از قبیل : انرژی باد، زمین گرمایی، فتوولتائیک و سوخت های بیوماس علی رغم اهمیت و پتانسیلی که در بعضی از مواردِ خاص دارند ولی انتظار نمیرود که سهم بسزائی در اهداف کوتاه مدت و میان مدت داشته باشند.

٦- آگاه سازی در زمینه انرژی:

برای انجام یک برنامه موثر و مفید در استراتژی مدیریت انرژی، باید برنامه های آگاه سازی پرسنل در مورد مسائل انرژی را توسعه داد. برای جلب حمایت از برنامه های دیگر استراتژی مدیریت انرژی در جهت کاهش تقاضای انرژی، آموزش پرسنل و القای مسئله جدی بودن موقعیت انرژی و ایجاد انگیزه در پرسنل از جمله مسائلی است که جهت صرفه جویی در انرژی باید در کلیه اوقات دنبال شود.

پس به طور کلی هدف از مدیریت انرژی تامین انرژی مورد نیاز کلیه مصرف کنندگان انرژی در هر کجا و هر زمان و هر مقدار مورد نیاز با کمترین هزینه می باشد. البته دسترسی به این اهداف زمانی تحقق پیدا می کند که اطمینان کافی در امر تولید و مسائل زیست محیطی هم لحاظ شده باشد.

۱-۳- مروری بر مطالب پایان نامه

در فصل دوم ضمن بیان مفهوم مدیریت انرژی به لزوم مدیریت انرژی الکتریکی اشاره می نمائیم و مدیریت انرژی الکتریکی را از دو دیدگاه تولید کننده و مصرف کننده مورد بررسی قرار می دهیم .

پس از آشنایی با اهداف مدیریت انرژی از دیدگاه تولید کننده این مسئله را بصورت زیر تقسیم بندی نموده و هر یک را مورد شرح و تفصیل قرار می دهیم :

۱- بهینه سازی سیستم موجود

۲- استفاده از تجهیزات با راندمان بالا

۳- مدیریت مصرف برق

مهمترین مورد از موارد ذکر شده فوق (در ارتباط با موضوع این پایان نامه) مدیریت مصرف برق (از دیدگاه تولید کننده) می باشد که با تقسیم بندی آن به صورت

الف – کنترل مستقیم بار (قطع بار)

ب – کنترل غیر مستقیم بار (مدیریت بارهای انعطاف پذیر)

به نتایج سودمندی می رسیم .

در قسمت بعدی این فصل به مسئله مدیریت انرژی الکتریکی از دیدگاه مصرف کننده می پردازیم که این خود به صورت زیر تقسیم بندی می شود :

۱- بهینه سازی سیستم موجود

۲- افزایش راندمان استفاده از انرژی

۳- مدیریت بار

که بطور مفصل هر یک شرح داده خواهد شد و با مدیریت بار از دیدگاه مصرف کننده که اصلی ترین موضوع این پایان نامه می باشد, آشنا می شویم . در پایان این فصل شاخصهای مطالعات مدیریت بار معرفی شده و شرح داده خواهند شد .

در فصل سوم به معرفی مقالات معتبر و ارائه شده در IEEE در زمینه مدیریت بار از دیدگاه مصرف کننده در سایر کشورها می پردازیم .

در فصل چهارم ضمن معرفی شماتیک کارخانه مورد مطالعه و انجام مطالعات و ارائه برداشتهای انجام شده از خطوط تولید کننده , مدیریت بار به صورت یک مسئله بهینه سازی

عنوان می گردد و قیود مساوی و نا مساوی آن با توجه به بهره برداری از کارخانه تعریف می شوند .

در فصل پنجم روشهای هوشمند شامل الگوریتم الگوی جستجو , الگوریتم ژنتیک و شبکه های عصبی معرفی گردیده و آنها را به عنوان ابزاری جهت مسائل بهینه سازی معرفی می نمائیم .

حل مسئله مدیریت بار (بهینه سازی) کارخانه فوق با استفاده از روشهای :

الگوریتم الگوی جستجو در فصل ششم , الگوریتم ژنتیک در فصل هفتم و شبکه های عصبی در فصل هشتم ارائه گردیده است .

در فصل نهم نتیجه گیری و پیشنهادات وارد شده و در انتها نیز منابع و مراجع استفاده شده در ارائه این پایان نامه ذکر گردیده است .

فصل دوم:

مدیریت انرژی الکتریکی

۲-۱- لزوم مدیریت انرژی الکتریکی

همزمان با توسعه سطح زندگی در جامعه، نیاز به انرژی الکتریکی در حال افزایش است. نرخ متوسط افزایش تقاضا برای انرژی الکتریکی سالانه حدود ۱۰٪ می باشد. و مسلماً بایستی تجهیزات تولید و انتقال و توزیع مناسب توام با افزایش تقاضای انرژی الکتریکی پیش بینی شود.

محدود بودن منابع انرژی اولیه قابل تبدیل به انرژی الکتریکی حائز اهمیت است و ممکن است منابع اولیه انرژی که بایستی مصرف شود تا انرژی برق حاصل از آن رشد بار را جوابگو باشد محدود می باشد و این مسئله باعث میشود که شرکت های برق به مدیریت مصرف توجه کنند. تا همزمان با توسعه تقاضا، ضمن سرمایه گذاری جدید برای نیروگاهها، کنترل منطقی بر میزان سرمایه گذاری و استفاده بهینه از آن را داشته باشد.

مدیریت انرژی الکتریکی از دو دیدگاه قابل بررسی می باشد:

۱- مدیریت انرژی الکتریکی از دیدگاه تولید کننده

۲- مدیریت انرژی الکتریکی از دیدگاه مصرف کننده

۲-۲- مدیریت انرژی الکتریکی از دیدگاه تولید کننده

حفاظت محیط زیست و رسیدن به توسعه اقتصادی مطلوب از دیدگاه اجتماعی راهکارهای انگاشتنی برنامه ریزی است که از تولیدکنندگان یا فرآورندگان نیروی برق انتظار می رود.تحقق این خواسته ها از دیدگاه تولیدکنندگان برق در قالب اهداف زیر قابل تعریف است.

-قله تراشی یا پیک سایی:

منظور کاهش پیک بار شبکه است به گونه ای که ظرفیت چرخان شبکه افزایش یابد و بدینسان از میزان نیاز ساخت نیروگاههای جدید کاسته شود.

-پرکردن دره:

مقصود افزایش بار شبکه در ساعتهای کم بار است به گونه ای که ضریب بار شبکه و کیفیت بهره برداری از نیروگاهها افزایش یابد.

-جابجاکردن بار:

هدفهای یاد شده در بالاتوام در نظر گرفته می شود.

-منعطف سازی منحنی بار:

منظور عرضه انشعابهای برق با اطمینان بخشی کم و ارزان است به گونه ای که در قطع برق اینگونه انشعابها آزادی عمل بیشتری وجود خواهدداشت.

- صرفه جویی راهبردی:

منظور افزایش بازده مصارف برق نهایی است به گونه ای که فروش انرژی به مشترکین کنونی کاهش یابد و بدون ساخت ظرفیتهای جدید امکان عرضه انشعاب به مشترکین جدید فراهم شود.

-رشد بار راهبردی:

مقصود افزایش فروش انرژی الکتریکی است به گونه ای که با برقدار کردن مصرف کنندگان مختلف در بخشهای کشاورزی،صنعت وترابری،سهم برق در ساختار انرژی مصرفی بخشهای کشورافزایش یابد.

در ادامه مدیریت مصرف انرژی ازدیدگاه تولیدکننده رابه سه قسمت بصورت زیر تقسیم بندی می کنیم:

۱. بهینه سازی سیستم موجود
۲. استفاده از تجهیزات با راندمان بالا
۳. مدیریت مصرف برق

که به شرح تک تک آنها می پردازیم.

۲-۲-۱ بهینه سازی سیستم موجود

الف- کنترل توان رآکتیو شبکه

با توجه به اینکه توان ظاهری مورد نیاز مصرف کننده ها (کیلوولت آمپر) از مجموع توان مفید (KW) و توان غیر مفید (KVar) تشکیل یافته است کنترل و کاهش مقدار KVar مورد تقاضای مصرف کننده های سلفی و تجهیزات شبکه باعث می شود که کیلووات آمپر کل مورد نیاز برای انجام کار مفید کاهش یابد. برای کاهش مقدار توان راکتیو سلفی، توان راکتیو خازنی در محل مصرف به شبکه تغذیه تزریق می شود و در واقع خاصیت

سلفی توسط خاصیت خازنی جبران میشود. اصلاح Cos φ مصرف کننده ها نتایج زیر را خواهد داشت.

- به ازای توان مصرفی معین تلفات خطوط انتقال و توزیع کمتر می شود در نتیجه هزینه ناشی از وجود تلفات کمتر خواهد شد.
- ظرفیت تجهیزات مانند ژنراتور ، ترانسفورماتور به ازای توان مصرفی معین کمتر اشغال می شود در نتیجه برای پوشش دادن توسعه بار نیاز به نصب تجهیزات جدید نبوده و هزینه های مربوط به سرمایه گذاری کم می شود.
- راندمان ترانسفورماتورها به ازای بار معین افزایش می یابد در نتیجه تلفات ترانس کم شده و هزینه ناشی از تلفات انرژی کم می شود.
- خطای ناشی از بخش توان مصرف کننده ها، کم شده در نتیجه در محاسبات ارزش انرژی مصرفی دقت کافی حاصل خواهد شد.

ب- شناخت دقیق مولفه های بار در زمان پیک

مطالعه منحنی بار در هر منطقه مصرف، نقطه آغاز مدیریت مصرف است. پس از بدست آوردن منحنی بار و تعیین زمانهای Peak تجزیه و تحلیل عناصر و مولفه های تشکیل دهنده بار حداکثر (peak) حائز اهمیت است. در سال ۱۳۷٤، حدود ۳۸/۵ ٪ مصارف خانگی تشکیل میداده و از مصارف خانگی نیز حدود ۷۰٪ را مصارف روشنایی به خود اختصاص داده است. پس اعمال روشهای استفاده بهینه در سیستمهای روشنایی تاثیر بمراتب زیادی در اصلاح منحنی بار و ضریب بار شبکه خواهد داشت.[۵]

با توجه به اینکه حدود ۱۰٪ از مصرف کل را، مصارف تجاری تشکیل می دهد، تصویب قانون مربوطه و تغییر ساعات کار اصناف و پاساژهای تجاری و تعطیل آنها در ساعات Peak بمقدار قابل ملاحظه ای از مصرف انرژی در شرایط Peak کاسته شده و ضریب بار اصلاح می شود.[۵]

با توجه به اینکه سهم صنایع در مصرف انرژی برق حدود ۳۰٪ از کل مصرف بوده و حدود ۷۰٪ از آن مربوط به موتورهای الکتریکی می باشد. اقدامات زیر در مدیریت بار در صنایع و بهبود شرایط بهره برداری شبکه و مصرف بهینه انرژی فوق العاده موثر است.

- از کارکرد حالت بی باری (خلاصی) موتورها پرهیز شود چرا که Cos φ موتورها در شرایط بی باری تا ۰/۲۰. کاهش می یابد.
- از انتخاب اندازه بزرگ برای موتورها پرهیز کرده و ظرفیت موتورها متناسب با بار کامل انتخاب شود.
- در انتخاب موتورها به راندمان موتور دقت شود و موتور با حداکثر راندمان انتخاب شود.
- برای بارهای کمتر از بار نامی از کنترل فرکانس متغیر استفاده شود.
- برای موتورهائی که کمتر از ۵۰٪ بار کامل میکنند از مبدل اتصال مثلث به ستاره استفاده شود.
- از خازنهای اصلاح ضریب قدرت (Cos φ)، برای کاهش تلفات خط تغذیه موتور و کاهش توان راکتیو موتور استفاده شود.

ج- استفاده از انرژی های تجدید پذیر برای مدیریت مصرف

با توجه به اینکه منابع انرژی فسیلی تجدید پذیر نبوده و بالاخره تمام خواهد شد و یا قابل استفاده در صنایع دیگر مثل پتروشیمی و ... میباشد، جایگزینی آنها با سایر منابع انرژی میزان تلفات شبکه داخلی با کشورهای پیشرفته، لازم است اقدامات جدی برای کاهش آن انجام پذیرد مثل باد، جذر و مد، انرژی خورشیدی، ... ضمن تامین محیط زیست سالم و جلوگیری از آلودگیهای محیط، شرایط استفاده بهینه از منابع انرژی را نیز فراهم می کند.

د- آرایش بهینه فیدرهای سیستم توزیع

اکثر شبکه های برق متناوب و سه فاز بوده و برای عملکرد متعادل طراحی می شوند عملکرد نا متعادل منجر به ایجاد مولفه های جریان توالی صفر و منفی می شوند. اینگونه مولفه های جریان اثرات نا مطلوبی مانند ایجاد تلفات اضافی در موتورها ومولدها، گشتاور نوسانی در ماشینهای متناوب، افزایش دندانگی یاریپل در یکسو کننده ها، عملکرد غلط انواع تجهیزات، اشباع ترانسفورماتورها و جریان اضافی سیم زمین را به دنبال خواهد داشت[۱].

ه- بهینه سازی مصرف داخلی نیروگاه

می دانیم قسمتی از انرژی الکتریکی تولید شده در نیروگاهها صرف مصارف داخلی آنها می گردد. با بهینه سازی تولید با استفاده از سیستمهای مدرن تولید نظیر نیروگاههای سیکل ترکیبی و بکارگیری سیستمهای کنترل توزیعی در نیروگاهها می توان کاهش قابل ملاحظه ای در این مصارف ایجاد نمود. بعنوان مثال تلفات بخش تولید در سال ۱۹۵۱ در کشور ژاپن برابر ۵٪ تولید نیروگاههای آن بوده است ولی در سال ۱۹۸۹ این رقم به حدود ۳/٦٪ کاهش یافته است . در کشور ایران با توجه به آمار ارائه شده بین سالهای ۱۳٦٦ الی ۱۳۷۲ متوسط این رقم بیشتر از ۵/۱٪ بوده است[٤].

و- شناخت نقش تلفات شبکه های انتقال و توزیع در مدیریت مصرف انرژی الکتریکی

در سال ۷٤ حدود ۱۵٪ از مصارف کل را تلفات شبکه های انتقال و توزیع تشکیل داده است. اهم اقدامات جهت کاهش تلفات شبکه های انتقال و توزیع بشرح زیر میباشد:

- انتخاب سطح مقطع مناسب هادیهای فازها و نول در شبکه های فشار ضعیف
- مطالعات میزان عدم تعادل بار در شبکه های فشار ضعیف و انجام اقدامات لازم بمنظور تعادل بار.
- تجدید نظر و جایگزینی و انتخاب مناسب ظرفیت ترانسفورماتورهای توزیع
- اصلاح $\cos\varphi$ شبکه در مصارف سنگین صنعتی با بکارگیری خازنهای مناسب

به نظر میرسد تلفات انرژی در شبکه ایران با رقمی نزدیک به۱۵٪ از تولید تا مصرف نهایی یکی از عمده ترین محلهای صرفه جویی انرژی باشد. مطالعات در شبکه خراسان (به عنوان شبکه نمونه) نشان می دهد که با روشهایی ازقبیل تقویت شبکه، اصلاح ساختار شبکه، اصلاح و بهبود وضعیت توان راکتیو در شبکه، متعادل نمودن جریان فازها و..... امکان کاهش این تلفات تا میزان حدود۳٪در طی برنامه ریزی ۵ تا ۱۰ ساله امکان پذیر است.و با توجه به اینکه تلفات در ساعت پیک دارای حداکثرمقدار خود است و با توجه به رقم بالای پتانسیل صرفه جویی در انرژی و نیز کاهش پیک مصرفی می شود می باید در راس مسایل برنامه ریزی قرار گیرد. مطالعات نشان می دهد که سرمایه گذاری دز این بخشها در مدت ۳ تا ۱۰ سال قابل برگشت است. [۱]

ز- توزیع بهینه بار سیستم انتقال

اعمال پخش بار اقتصادی (Economic Dispatch)در سیستم انتقال باعث می گردد تا تابع هزینه تولید با توجه به قیود واحدهای نیروگاهی حداقل گردد و نقطه بهینه کار واحدهای تولیدی(سهم هر تولید کننده از کل مصرف)مشخص گردد. نقطه کاری که بدین روش تعیین می گردد از نظر اقتصادی ارزانترین قیمت انرژی الکتریکی تولیدی می باشد.

۲-۲-۲- استفاده از تجهیزات با راندمان بالا

درطرحهای جدید احداث نیروگاهها، خطوط انتقال، توزیع، پستهای فشار قوی و فشار متوسط و ...ضمن انجام مطالعات دقیق و شناسایی کامل نیازها اقدام به طراحی نمود و تمام تجهیزات مورد استفاده در آنها اعم از ژنراتورها، توربینها، ترانسفورماتورها و سایر ادوات از استانداردهای معتبر تبعیت داشته باشند.بدیهی است چنین عملی هزینه اولیه بیشتری در بر دارد که طی چند سال این سرمایه گذاری مستهلک می گردد.

۲-۲-۳- مدیریت مصرف برق

عبارت است از مجموعه تدابیری که بکارگیری نیروگاهها و یا خرید وفروش انرژی الکتریکی را می تواند تحت تاثیر قرار دهد تا باعث افزایش کارایی اقتصادی عرضه انرژی الکتریکی گردد.که بطور عام بصورت حداقل نمودن هزینه تولید و عرضه برق یا خرید انرژی الکتریکی درک می گردد.

اقدامات مدیریت مصرف برق در راستای مسطح نمودن نمودار بار، به کاهش سهم نیروگاههای بار پیک و افزایش سهم نیروگاههای بار پایه در تولید برق منجر می شود. باید توجه داشت که در مدیریت مصرف برق(از دیدگاه تولید کننده)هدف تولید کننده کم کردن انرژی تحویلی به مشترکین نمی باشد(سطح زیر منحنی بار ثابت فرض می شود)بلکه هدف کاهش هزینه عرضه برق حاصل می باشد.

مزایای یکنواخت نمودن منحنی بار از دیدگاه تولید کننده عبارتند از:

- کاهش تقاضا برای احداث نیروگاههای بار پیک اضافی
- تقلیل مصرف سوخت گران قیمت در تاسیسات مربوط به بار پیک
- کاهش تلفات ناشی از ورود و خروج به شبکه برق

ـ تقیل هزینه تولید برق باحداکثربهره برداری از نیروگاههای بارپایه

مدیریت مصرف برق در یک تقسیم بندی بصورت زیر می باشد

الف- کنترل مستقیم بار (قطع بار)

ب- کنترل غیر مستقیم بار(مدیریت بارهای انعطاف پذیر)

که در زیر به شرح آنها می پردازیم:

الف- کنترل مستقیم بار (قطع بار)

به دسته ای از عملکرد عرضه کنندگان انرژی اطلاق می شود که بطور مستقیم روی زمان و یا سطح قدرت الکتریکی مصرف شده توسط مشتریان اعمال می شود و آنها را به دلخواه عرضه کننده تغییر می دهد[۵].

یک اقدام موثر و مستقیم برای مدیریت بار، قطع یا کنترل بارهائی است که بمدت معینی بدون اینکه آثار سوء برای مصرف کنندگان داشته باشند، می توانند قطع شوند: مانند کوره های الکتریکی، پمپ ها، هیترهای آب، ریخته گری(ذوب فلزات)، فرآیندهای الکترولیت، کمپرسورها و دستگاههای زباله سوز.

بعضی از دستگاهها ممکن است منقطع کار کنند، می توان برنامه ریزیهای 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 است.با اجرای طرح ۲۰ ساعته کار کردن چاههای کشاورزی برقدار موجود ۱۵۰۰ مگا وات از پیک بار شبکه آزاد میشود.با توجه به ضریب تلفات بالای شبکه بخصوص در ساعات پیک بار،این رقم معادل با آزاد سازی یک نیروگاه بزرگ(حدود ۲۰۰۰مگاواتی)خواهد بود و سبب عدم نیاز به سرمایه گذاری به میزان قابل توجه در بخش تولید و انتقال خواهد شد[۱].

ب- کنترل غیر مستقیم بار(مدیریت بارهای انعطاف پذیر)

همانطور که گفته شد هدف مدیریت مصرف برق ازدیدگاه تولیدکننده کاهش انرژی مصرفی نمی باشد بلکه هدف مدیریت مصرف(جابجایی مصرف کننده ها)به نحوی است که

مطلوب تولید کننده بوده و در نهایت باعث ارزانتر تمام شدن قیمت انرژی الکتریکی تولیدی شود[٤].

تدوین تعرفه های ویژه برق که بر مبنای آن مصرف کننده بنا به زمان ومقدار استفاده از انرژی الکتریکی بهای انرژی را پرداخت می کند،زمینه لازم برای مدیریت مصرف را فراهم می سازد.در این صورت مشترک برق می تواند در انطباق با هزینه مصرف برق تقاضای خود را برای بار وانرژی تنظیم و برنامه ریزی نماید.لازمه این امر آن است که متناسب با بار و انرژی الکتریکی قیت گذاری برق صورت گیرد.مشترک بطور کلی سعی دارد اقداماتی انجام دهد که برای وی اقتصادی است و در این حالت فعالیتهای تولیدی در فرآیندها وروند کار را به شکلی تنظیم می کند که متناسب با تعرفه های برق،ارائه تولید و خدمات حداقل هزینه را در بر داشته باشد.بخش عده ای از اقدامات مشترک برق بر نمودار بار الکتریکی بطور جدی تاثیر خواهد گذاشت

تجربه در بعضی کشورها نشان میدهد که هزینه برق می تواند در اصلاح ضریب بار روزانه کمک نماید اگر چنانچه قیمت برق بر اساس قیمت تمام شده تولید محاسبه شود و برای پیک سائی نرخ انرژی برق در ساعات اوج بار خیلی گرانتر از روز باشد و عامل افزایش در قیمت انرژی در ماههای پیک گرانتر باشد موجب میشود که مصرف کننده ها سعی کنند منحنی بار خود را اصلاح کنند. و این موضوع بنوبه خود حداکثر تقاضا Peak demand را کاهش میدهد و شرکت برق لازم نیست که ظرفیت تولید را سریعا" افزایش دهد. و از طرف دیگر شرکت برق می تواند هزینه برق تمام شده را کاهش دهد چرا که می تواند آن دسته از نیروگاهها را که قیمت تمام شده کمتری دارند وارد مدار نماید.

صنعت برق رسانی، مجموعه ای از تعرفه ها را که جهت انعکاس الگوهای مصرف کنندگان مختلف تنظیم شده است، ارائه می دهد. این تعرفه ها نه تنها بر اساس نوع مصرف از جمله خانگی، تجاری ، کشاورزی و صنعتی تنظیم شده اند، بلکه بر اساس انواع عوامل بطور مثال، هزینه های ثابت، مصرف انرژی، حداکثر تقاضا، ضریب توان و ... هزینه تولید و انتقال و توزیع برق بطور قابل توجهی با ساعت روز و یا فصل سال تغییر می کند. با توجه به عدم امکان ذخیره سازی انرژی برق، هزینه های تامین برق برای یک مصرف کننده معمولا" وابسته به زمان و نرخ خاصی است که انرژی مصرف میشود.

در بیشتر سیاست گذاری تعرفه های برق بر اساس سیستم"هزینه گذاری نهائی" است که بر مبنای سه عامل زیر قیمت برق تعیین می گردد.

الف ـ ظرفیت تولید شبکه (مربوط به سرمایه گذاری جدید برای تولید، انتقال و توزیع هر KW اضافه شده است).

ب ـ انرژی (مربوط به هزینه های سوخت، تعمیرات و نگهداری به منظور تامین هر KW انرژی اضافی در نیروگاه است).

ج ـ مشترکین (هزینه هایی است که مستقیماً با نوع مشترک در ارتباط است و خدمات نظیر اندازه گیری، صورتحساب و ... را شامل است).

در واقع مبنای محاسبات فوق،تئوری معمول احتساب قیمت برق است که در آن مشترکین زمان اوج مصرف باید قیمت انرژی را با توجه به سرمایه گذاری تولید و انرژی مصرفی بپردازد.در حالیکه مشترکین زمان غیر اوج فقط قیمت انرژی مصرفی را می پردازند و از پرداخت هزینه ناشی از سرمایه گذاری معاف می باشند.مسلماً ضریب بار در هیچ نوع مصرفی مساوی یک نخواهد بود وقیمت الکتریسیته متناسب با زمان استفاده از آن تعیین میشود.اکثر صنایع بطور شبانه روزی کار می کند در حالیکه مشترکین تجاری(مغازه ها،رستورانها،دفاتر کارو...)فقط در ساعاتی از شبانه روزکار میکنند و اکثراً در ساعات پیک بار می باشد بخاطر این موضوع بهای واحد برق مصرفی برای این نوع مصارف بیشتر از بهای واحد برق صنایع خواهد شد.

۲-۳- مدیریت انرژی الکتریکی از دیدگاه مصرف کننده

عبارتست از بهبود راندمان استفاده از انرژی در طرف مصرف کننده در ساختمانها و اعمال روش هایی مطلوب برای صنایع موجود و جدید الاحداث که نهایتاً منجر به کاهش انرژی مصرفی، اوج بار و میزان بهای برق مصرفی مشترکین میشود و انرژی که ناشی از این عمل ذخیره میشود می تواند صرف پوشش دادن توسعه بار در آینده شود. در نتیجه میزان سرمایه گذاری جدید برای احداث نیروگاهها کاهش یافته و از سرمایه گذارهای بعمل آمده بطور منطقی استفاده میشود. بعنوان مثال در کشور تایلند ناشی از اجرای برنامه مدیریت انرژی الکتریکی از دیدگاه مصرف کنندگان در مدت پنج سال حدود ۲۳۸ MW

ظرفیت نیروگاه صرفه جوئی شده است. و پیش بینی میشود که با اجرای برنامه در سالهای آینده، امکان صرفه جوئی حدود MW ۲۰۰۰ وجود دارد.[٤]

نکته قابل توجه در مدیریت بار از دیدگاه مصرف کننده این است که ضمن جابجا کردن بارها جهت کاهش بار پیک سعی بر این است که سطح زیر منحنی بار نیز حداقل گردد.

مدیریت مصرف الکتریکی از دیدگاه مصرف کننده را به سه قسمت بصورت زیر تقسیم بندی می کنیم:

۱. بهینه سازی سیستم موجود
۲. افزایش راندمان استفاده از انرژی
۳. مدیریت بار

که به شرح تک تک آنها می پردازیم.

۲-۳-۱- بهینه سازی سیستم موجود

الف- ضریب توان و اصلاح آن

تقریبا" همه واحدهای صنعتی به لحاظ مصرف توان راکتیو دارای ضریب قدرت کمتر از ۰/۹ می باشند. مصرف کنندگانی که ضریب قدرت (Cos Φ) آنها کمتر از ۰/۹ باشد باید طبق رابطه تعریف شده در تعرفه های برق هزینه مصرف راکتیو را بپردازند.

تاثیرات منفی پائین بودن ضریب قدرت:

- افزایش هزینه برق
- افزایش هزینه تجهیزات به لحاظ بزرگتر شدن اندازه آنها (مانند: کلیدها – فیوزها- کابلها- ترانسفورماتورها)
- ایجاد تلفات انرژی الکتریکی در خطوط انتقال و توزیع
- کاهش راندمان ترانسفورماتورها

روشهای اصلاح ضریب توان عبارتند از:

- استفاده از موتورهایی که خوب طراحی شده اند
- حتی الامکان استفاده از موتورهایی با سرعت زیاد به جای موتورهای با سرعت کم
- پرهیز از انتخاب موتور با توان نامی بزرگتر از بار
- نصب خازن

- در صورت امکان استفاده از موتور سنکرون

ب- تعمیر و نگهداری به موقع تجهیزات

تعمیر و نگهداری برنامه ریزی شده ، میتواند بر پایه عملکرد بخشی از تجهیزات الکتریکی انجام پذیرد. بطور مثال، در نظر گرفتن اینکه همه موتورها بطور متناوب تمیز و بازرسی گردند، حصول اطمینان از اینکه آلودگی و غبار همراه خنک کننده موتور وارد نشده باشد و اینکه هیچ نشتی روغن به داخل سیم پیچی های موتور وجود نداشته باشد، حائز اهمیت است، یاتاقانها نیز بایستی از نظر فرسودگی باز بینی شوند تا از تماس بین روتور و استاتور که باعث ایجاد تلفات مکانیکی اضافی می شود و بازده بهره برداری را کاهش میدهد جلوگیری میشود.

ج- بهره برداری مناسب از موتورهای الکتریکی

انواع عمده موتورهای الکتریکی که در صنعت و تجارت با آنها مواجه می شویم از نوع موتورهای القائی بار و رتور قفس سنجابی یا روتور سیم پیچی شده جریان متناوب می باشند. موتورهای جریان متناوب از نوع آسنکرون هستند و تنها در بعضی موارد برای توانهای بیش از ۱۵۰ کیلووات از موتورهای سنکرون استفاده میشود. الکتروموتورها وقتی دارای بالاترین راندمان خود می باشند که در بار نامی بکار گرفته شوند.

تلفات الکتروموتورها با توجه به راندمان آنها و مدت کارکرد طولانی بسیار قابل توجه است. کل تلفات در موتورهای الکتریکی شامل چهار قسمت عمده می باشند که عبارتند از:

۱- تلفات آهنی (تلفات مغناطیسی کنندگی یا تلفات هسته) که مقدار آن به ولتاژ بستگی دارد.

۲- تلفات مسی، که به میزان تلفات گرمائی شناخته می شود و متناسب با مجذور جریان بار است.

۳- تلفات اصطکاکی (تلفات مکانیکی) و تلفات سیم پیچی که مستقل از میزان بار بوده و معمولاً مقدار آن ثابت است.

٤- تلفات مربوط به بار هرز

به منظور بهره برداری بهینه از الکتروموتورها موارد زیر پیشنهاد میگردد:

- امکان استفاده از موتورهای با دور قابل تنظیم مورد بررسی قرار گیرد.

- دقت شود که موتورهای الکتریکی با ولتاژ نامی کار کنند. از تنظیم کننده های ولتاژ تغذیه استفاده بعمل آید زیرا گاهی تغییر ۳٪ در ولتاژ تغذیه باعث افزایش تلفات انرژی به میزان ۲۵٪ خواهد شد.

- بار موتورها به اندازه توان نامی آنها باشد و در صورتیکه به قدرت کمتری نیاز است از موتورهای با قدرت کمتر استفاده گردد زیرا موتورهای بزرگ به راحتی موتورهای کوچک قابل مانور کردن نمی باشند و تلفات آنها در حالت کم باری زیاد تر است.

- با توجه به اینکه موتورها در محیط خنک بهتر کار می کنند باید محیط کار آنها طوری در نظر گرفته شود که گرمای ایجاد شده توسط موتورها به راحتی تهویه گردد. قابل ذکر است در صورتیکه گرمای محیط کار موتور از ۲۷ درجه سانتیگراد به ۳۲ درجه سانتیگراد افزایش یابد به مقدار ۲٪ به تلفات انرژی موتور افزوده می گردد.

- دقت شود که موتورها با بار نامی کار کنند و با برنامه ریزی مناسب چه از لحاظ توان و چه از لحاظ زمان، از خاموش و روشن کردن بیش از حد موتورها جلوگیری بعمل آید.

- کاهش اصطکاک در سیستمهای مکانیکی که بوسیله موتورها میگردند مثل چرخ دنده ها ، غلطکها ، رولینگ ها ، زنجیرها و ... مد نظر قرار گیرد.

د- بهره برداری مناسب از ترانسفورماتورها

ترانسفورماتورها تجهیزاتی هستند که به تعداد زیاد در همه واحدهای صنعتی و در همه بخشهای مصرف کننده انرژی الکتریکی بکار گرفته می شود. ترانسفورماتورها مبدل انرژی الکتریکی هستند نه مصرف کننده برق، تلفات ایجاد شده در ترانسفورماتورها به دلیل دائماً بر قدار بودن و عبور کل برق مصرفی از آنها قابل توجه است.

راندمان ترانسفورماتورها با تغییرات ضریب بار آنها تغییر می کند. بنابر این نقطه کار آنها از لحاظ بالاترین راندمان ۵۰ تا ۷۰ در صد ظرفیت اسمی است. چنانچه ترانس در کمتر از ۵۰ درصد و یا بیشتر از ۷۰ درصد ظرفیت اسمی زیر بار برود. راندمان آن کاهش می یابد. با افزایش ضریب قدرت راندمان ترانس افزایش و با کاهش ضریب قدرت راندمان ترانس نیز کاهش می یابد.

تلفات آهن در ترانسفورماتورها ثابت و تلفات مس تابع جریان بار است با توجه به اینکه تلفات آهن متناسب با اندازه ترانسفورماتورها افزایش می یابد با انتخاب منطقی ظرفیت ترانسفورماتورها از تحمیل تلفات آهن زیاد جلوگیری گردد. طبق آمار وزارت نیرو در سال ۷۳ ظرفیت بعضی از ترانسفورماتورهای منصوبه در شبکه فوق توزیع در حد سه برابر حداکثر قدرت بهره برداری در سال بوده است. و به این ترتیب تلفات آهن بیشتری در ترانس بوجود آمده است. و با توجه به اینکه ترانسفورماتور در طول سال تحت ولتاژ شبکه بوده است هزینه ناشی از تلفات مذکور قابل توجه خواهد بود.[٤]

در مورد ترانسفورماتورهایی که بطور موازی کار می کنند با محاسبه میزان مس و آهن به ازای بار معین در یک سیکل کاری معین می توان در مورد کارکرد موازی یا منفرد آنها در پست های فشار قوی تصمیم گیری کرد. مثلاً در یک پریود معین از سال بر اساس مطالعات منحنی بار در سنوات گذشته برای یک منطقه مشخص می توان بار اعمال شده به ترانسفورماتور را در سیکل کاری معین پیش بینی کرد و با محاسبه میزان تلفات آهن برای تامین بار احتمالی محاسبه شده می توان حالت بهینه را برای کارکرد موازی یا منفرد ترانسفورماتورها تعیین کرد.

توزیع متقارن بار در سطح کارخانه بین سه فاز در هر فیدر در بهبود راندمان ترانسفورماتورها تاثیر دارد. ایجاد سیستم تهویه و خنک کردن فضا استقرار ترانسفورماتور در حفاظت و راندمان ترانس موثر است.

ه- استفاده بهینه از سیستم روشنائی

یکی دیگر از مواردیکه در بهینه سازی استفاده از انرژی تاثیر بسزایی دارد اعمال روشهای استفاده بهینه در سیستمهای روشنائی می باشد. بعنوان مثال حدود ۷۰ درصد از مصارف خانگی را روشنایی تشکیل می دهد که با اعمال مدیریت مصرف در این بخش نقش زیادی در اصلاح منحنی بار و ضریب بار شبکه خواهد داشت. اقدامات موثر در بخش مصارف روشنایی بشرح زیر است:

- حذف لامپهای اضافی در سیستمهای روشنایی
- حذف مدار چوک (Ballast) در لامپهای فلورسنت، در صورتیکه به هر دلیل از لامپهای فلورسنت استفاده نمی کنیم.

- استفاده و جایگزینی لامپهای پر بهره بجای لامپهای قدیمی و رشته ای
- بکارگیری کنترل زمانی و یا فتوسل در سیستم روشنایی
- استفاده از روشنایی موضعی (Zonal lighting) و پیش بینی امکان کنترل روشنایی توسط کلیدهای متعدد.
- استفاده از روشنایی موردی (Task lighting) که متناسب با کاربری های مختلف تعیین می شود.
- استفاده از روشنایی روز بجای روشنایی الکتریکی در ساختمانها
- استفاده از رفلکتورهای موثر برای افزایش کارآئی چراغهای روشنایی
- اصلاح شرایط فیزیکی محیط مثل رنگ آمیزی های روشن و مناسب در سقف و دیوار
- آموزش و آگاهی کارکنان موجود در کارخانجات و ادارات و عموم مردم برای کاهش مصرف

و- متعادل نمودن فازها

اکثر شبکه های نیرو متناوب سه فاز بوده و برای عملکرد متعادل طراحی می شوند عملکرد نا متعادل منجر به ایجاد مولفه های جریان توالی صفر و منفی می شوند. اینگونه مولفه های جریان اثرات نا مطلوبی مانند ایجاد تلفات اضافی در موتورها ومولدها، گشتاور نوسانی در ماشینهای متناوب، افزایش دندانگی یاریپل در یکسو کننده ها، عملکرد غلط انواع تجهیزات، اشباع ترانسفورماتورها و جریان اضافی سیم زمین را به دنبال خواهد داشت.

۲-۳-۲- افزایش راندمان استفاده از انرژی

در یک پروژه بزرگ و جدید ، توجه به راندمان دستگاههای انتخاب شده، طراحی دقیق و مناسب سیستم گرمایش و سرمایش ساختمانها، بمنظور مصرف انرژی کم برای تهویه، تامین راندمان بالا در سیستم روشنائی، استفاده از روشنائی روز در ساختمانها، عایق بندی ساختمانها همگی اقدامات موثر در بهبود مصرف انرژی است. هزینه های زیاد ناشی از انتخاب دستگاههای با راندمان بالا، در مدت مشخص که بستگی به قیمت تجهیزات و انرژی دارد از محل صرفه جوئی در مصرف انرژی برق جبران خواهد شد. در مورد لوازم خانگی و کوچک، ممکن است این مدت کمی طولانی شود. سیستم روشنائی موثر (با راندمان بالا)

سیستم سرمایش با راندمان بالا، سیستم تهویه air condition سیستم آبگرمکن با راندمان بالا حتی الامکان عدم استفاده از آبگرمکن های برقی، در مصارف خانگی از جمله موارد یاد شده است که کمک به بهینه سازی مصرف انرژی می کند. در کارخانجات، توجه به سیستم روشنائی با راندمان بالا، و موتورهای الکتریکی حائز اهمیت است.

بااستفاده از تجهیزات با بهره وری بیشتر می توان صرفه جویی قابل توجهی در مصرف انرژی بعمل آورد.طی این سالیان اخیر در کشورهای صنعتی وضع قوانین اجباری برای تحمیل استانداردهای ساخت و از طرفی افزایش قیمت انرژی و نفوذ تدریجی و طبیعی تکنولوژیهای جدید در ساخت کالا،باعث صرفه جویی قابل توجهی در مصرف انرژی شده است.بطوریکه برای کشور آمریکاطی سالهای ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۰ این امر منجر به صرفه جویی در مصرف انرژی به میزان۸/۵٪ شده است.[۱]

با توجه به خصوصیات فرهنگی جامعه ما که انرژی دارای یارانه بسیار زیادی است، همچنین با توجه به فرهنگ فن آگاهی ساخت تجهیزات موجود در جامعه ایران که عمدتاً دارای تکنولوژی قدیمیتر از سال ۱۹۹۰ دنیاست(تولید یخچال،فریزر،ماشین رختشویی و...)به نظر می رسد که این محل یکی ار پر پتانسیل ترین روشهای موجود در جهت حرکت بسمت بهینه سازی مصرف انرژی و مدیریت مصرف برق باشد.و چنانچه بتوان در جهت حذف یارانه مداوی که دولت برای انرژی می پردازد و نیز در جهت بهبود استاندارد تجهیزات تولیدی حرکت کرد،قادر خواهیم بود که طی مدت ده سال بیش از ده در صد در زمینه مصرفی صرفه جویی داشته باشیم. [۱]

۲-۳-۳- مدیریت بار

عبارتست از اعمال روشهای مدیریتی بر مصرف کنندگان انرژی الکتریکی و ارائه الگوی مصرف صحیح جهت افزایش راندمان انرژی الکتریکی از طریق کاهش پیک بار سیستم و یا افزایش ضریب بار شبکه (که حتی الامکان ضربه ای به تولید وارد نکند). با توجه به متغیر بودن میزان مصرف در ساعات شبانه روز و در فصول مختلف و تبعیت شرایط تولید از وضعیت مصرف کنندگان در شبکه های الکتریکی، ملاحظه می شود که رفتار بار و چگونگی تغییرات آن عامل مهم و تعیین کننده ای در ظرفیت تجهیزات منصوبه شبکه (اعم از نیروگاهها و شبکه های انتقال و توزیع) میباشد و معمولاً ظرفیت تجهیزات شبکه به منظور

پوشش دادن بار در شرایط اوج مصرف (Peak) بعلاوه ضرایب ایمن برای حفظ پایداری دینامیکی شبکه تعیین میشود. از طرف دیگر زمان وقوع اوج مصرف در کشورهای مختلف با توجه به شرایط اجتماعی و فرهنگی و اقتصادی و اقلیمی متفاوت کشورها، با همدیگر تفاوت دارند. در کشور ما فقط چندین ساعت در شبانه روز، شرایط اوج مصرف اتفاق می افتد و در سایر ساعات شبانه روز (زمانهای partial Peak-Off - Peak) حتی به ۱/۳ مصرف زمان اوج میرسیم و عملاً از ظرفیتها و سرمایه گذاریهای موجود استفاده مطلوب نمیشود.

همانطور که قبلاً نیز ذکر شد هدف در مدیریت بار از دیدگاه مصرف کننده این است که ضمن جابجا کردن بارها جهت کاهش بار پیک سعی بر این است که سطح زیر منحنی بار نیز حداقل گردد

۲- ۳- ٤- مطالعات منحنی بار لازمه مدیریت بار

مطالعات منحنی بار نقطه آغاز مدیریت بار است. منحنی بار، در واقع ارزیابی، کمی مصرف انرژی در یک پریود توسط مشترکین می باشد. چقدر و چگونگی انرژی توسط مشترک مصرف میشود. اطلاعات اضافه مانند انرژی مصرفی در زمینه های مختلف به مقدار کمینه و بیشینه (min ، max) مصرف انرژی و زمان مربوط به آنها عنوان میشود. و هر نوع حالت غیر طبیعی در مصرف انرژی در زمانهای مختلف مشخص می کند.

مشترکین می توانند با مطالعه منحنی بار و زمان پیک آن و با در نظر گرفتن زمان اوج بار شبکه برق، با انتقال و جابجائی بارهای مصرفی، صرفه جوئی قابل توجهی در مصرف برق و بهای برق مصرفی خود داشته باشند.

بر اساس مطالعات منحنی بار، و آنالیز مولفه های تشکیل دهنده منحنی بار، حالات مختلفی برای کاهش بهای برق مصرفی قابل بررسی است. لازم است بارهای مختلفی که مجموعاً بار ماکزیمم را در ساعات اوج بار تشکیل میدهند شناسائی شود و سپس بسته به اهمیت آنها ، نسبت به حذف بخشی از آنها در ساعات اوج مصرف اقدام نمود. بعضی از بارها، حتی در شرایط پیک نبایستی قطع شوند. چرا که مستقیماً با میزان تولید در ارتباط است و یا اینکه در قسمت خدمات عمومی با رفاه مشتریان و ارباب رجوع در ارتباط است. این نوع بارها، در مدیریت بار نمی توانند مشارکت کنند.

انجام اعمال زیر می تواند به اصلاح منحنی بار کمک نماید:

الف- تنظیم ساعات کار صنایع در شبانه روز

ب- تنظیم فصول کار در طول سال (تعمیرات + تعطیلات)

ج- تنظیم ساعت کار اصناف

د- انتقال بعضی بارها از زمان پیک به زمان کم باری

در واقع با این کار، مقدار ماکزیم بار در شرایط پیک کم میشود و در نهایت قیمت برق مصرفی کم میشود. بعنوان مثال، با در نظر گرفتن تهویه مطبوع و یا فرآیند خنک کردن با استفاده از یخ، که در شرایط غیر پیک، یخ درست میشود و در زمان پیک از یخ استفاده میشود. و مستلزم سرمایه کذاری اضافی می باشد.

ه- پر کردن نقاط گودی منحنی بار

برای اصلاح ضریب بار و ایجاد مصارف در زمانهای کم باری OFF- Peak تا اینکه از مزایای برق ارزان قیمت استفاده شود. بعنوان مثال، استفاده از هیترهای آب با پیش بینی امکانات انبار کردن آن و سعی در تشویق مصرف کنندگان بزرگ با نرخ های ارزانتر جهت تنظیم شیفت کاری و خط تولید در این زمانها.

۲-٤- شاخصهای مطالعات مدیریت بار

۱- بار پایه

(Base Load)

میزان بار حداقل که در طی یک دوره زمانی محاسبه میگردد.

۲- تولید بار پایه

(Base Lode Generation)

بزرگترین و پر بازده ترین تجهیزات تولیدی در یک سیستم تولید انرژی الکتریکی

۳- ظرفیت

(Capacity)

حداکثر باری که در یک نیروگاه یا دیگر تجهیزات الکتریکی می تواند تحت شرایط و در مدت زمان مشخصی عمل کند بدون آنکه درجه حرارت و تنش آن از حدود تعیین شده تجاوز نماید.

٤- ظرفیت حذف بار

(Cut Off Load Capacity)

حداکثر ظرفیتی که یک عرصه کننده انرژی الکتریکی در دوره ای خاص با شرایط معین می تواند با حذف بارهای خاص در سیستم قدرت بدست آورد.

٥- ظرفیت تولید حداکثر

(Maximum Generation Capacity)

ظرفیت تولیدی که بطور عادی برای جوابگوئی به بار در دوره بار حداکثر و برای مدت زمان معینی طراحی شده است و شامل تمامی شکلهای تولید حداکثر و ظرفیت های اضافی ناشی از اعمال مدیریت بار می باشد.

٦- ظرفیت ذخیره

(Reserve Capacity)

عبارتست از اختلاف بین ظرفیت خالص سیستم و حداکثر بار مورد تقاضا موجود در آن سیستم، بار حداکثر بخشی از ظرفیت تولیدی سیستم که برای استفاده در پاسخگویی به برنامه های نگهداری تنظیم شده، خروجیهای اضطراری از مدار و مقتضیات عملیاتی سیستم و بارهای پیش بینی نشده اختصاص داده شده است لازم بذکر است هر چه شرایط بهره برداری از سیستم قدرت اقتصادی تر باشد میزان این ظرفیت کوچکتر خواهد بود. مثلاً ظرفیت ذخیره در ایران ٣٥٪ می باشد که با ظرفیت ذخیره آمار داده شده ژاپن که حدود ٢٪ میباشد قابل مقایسه نیست.[٢]

٧- انعطاف نسبی تقاضا

(Cross Elasticity Of Demand)

میزان تغییرات در کمیت تقاضای یک کالا به درصد به یک درصد تغییر در قیمت برخی کالاهای وابسته به آن کالا.

٨- طبقه مشتری

(Customer Class)

یک جداسازی بین استفاده کنندگان از انرژی الکتریکی. طبقه مشتری معمولاً با احتساب الگوی مصرف، سطح مصرف و شرایطی که خدمات را دریافت می دارد تعیین میگردد. طبقات معمولاً بواسطه فعالیت مشتری مقوله بندی می شوند. از قبیل خانگی، تجاری، صنعتی و ....

۹- نرخ کلی کاهشی

(Declining Block Rate)

الگوی نرخ گذاری در یک طبقه از مشتریان که طی آن بهای واحد انرژی مصرفی بواسطه افزایش مصرف کاهش می یابد.

۱۰- دیماند

(Demand)

کمیتی است که نشان دهنده میزان قدرت الکتریکی تحویلی لحظه ای یا متوسط در طی مدت زمان خاص به یا از یک سیستم الکتریکی یا قسمتی از آن و یا هر وسیله الکتریکی دیگر بوده و به کیلو وات و یا هر واحد مناسب دیگر بیان می شود.

۱۱- دیماند حداکثر سالانه

(Maximum Annual Demand)

بزرگترین دیماند سالانه بار که تحت ملاحظات ویژه و در طی دوره مشخصی از یکسال تقویمی اتفاق می افتد.

۱۲- دیماند متوسط

(Average Demand)

قدرت خروجی از یا ورودی به یک سیستم الکتریکی و یا هر بخش دیگر از آن در طی یک دوره زمانی بوده و از تقسیم کل کیلووات ساعت مصرفی یا تولیدی آن در همان دوره زمانی بر طول زمانی آن دوره بدست می آید.

۱۳- مجموع دیماند همزمان

(Coincident Demand)

جمع دو یا چند دیماند که بطور همزمان در یک دوره محاسبه دیماند اتفاق می افتد.

۱٤- حداکثر دیماند لحظه ای

(Instantaneous Peak Demand)

حداکثر دیماند که در لحظه وقوع حداکثر بار اتفاق می افتد.

۱۵- مجموع دیماند نا همزمان

(Non-Coincident Demand)

مجموع دو یا چند دیماند منفرد که نمی توانند بطور همزمان در یک دوره زمانی محدود نظیر یک روز، هفته، ماه فصل اتفاق بیفتد.و معمولاً برای دوره های بزرگتر از یکسال محاسبه نمی گردد.

۱۶- فاکتور دیماند

(Demand Factor)

نسبت حداکثر دیماند به جمع کل بارهای متصل شده به هر سیستم معین در یک دوره زمانی مشخص.

۱۷- کنترل بار مستقیم

(Direct Load Control)

فعالیتی که توسط بهره برداری کننده در طی دوره بار حداکثر و یا دوره های عملیاتی دیگر سیستم برای محدود کردن میزان دیماند بعضی از مشترکین انجام می گردد. .

۱۸- تنوع زمانی

(Diversity)

شاخصی از تنوع بارها که ناهمزمانی وقوع حداکثر بارهای منفرد را بیان می کند. تنوع زمانی بارهای مشترکین منجر به تنوع زمانی در بارهای ترانسفورماتورهای توزیع، واسطه های تغزیه و پست ها و همچنین کل سیستم میگردد.

۱۹- ضریب پراکندگی زمانی

(Diversity Factor)

نسبت مجموع مصارف حداکثر ناهمزمان دو یا چند بار به مصارف حداکثر همزمان آن بارها که به درصد بیان میشود.

۲۰- ذخیره انرژی

(Energy Conservation)

استفاده موثرتر از منابع انرژی، حفظ انرژی در جستجوی کاهش میزان انرژی بکار رفته برای تهیه یک واحد از کالای تولیدی و خدمات ارائه شده و یا افزایش سود بدست آمده از

کاهش هدر رفتن انرژی می باشد. حفاظت از انرژی و کاهش مصرف انرژی مترادف یکدیگر نمی باشند.

۲۱- مدیریت انرژی

(Energy Management)

آن قسمت از عملیات بهره برداری سیستم قدرت که طرح، هماهنگی و کنترل تغذیه و انتقال و توزیع و بهره برداری را بعهده دارد. هماهنگی با بکارگیری مدیریتی که از جانب شبکه ای از بهره برداری ها که این بهره برداری ممکن است عضو آن باشد و یا مدیریت داخلی بهره برداری در جهت افزایش قابلیت اطمینان سیستم بدست می آید.

۲۲- انرژی غیر پیک

(Off- Peak Energy)

انرژی که در طی روزهای (یا ساعات) با دیماند نسبتاً کم سیستم توسط عرضه کننده عرضه میگردد.

۲۳- انرژی پیک

(On- Peak Energy)

انرژی که در طی دوره های با دیماند نسبتاً زیاد سیستم توسط عرضه کننده عرضه میگردد.

۲٤- بار

(Load)

میزان قدرت الکتریکی تحویلی یا مورد نیاز در هر نقطه یا نقاط مشخص یک سیستم قدرت.

۲۵- منحنی بار

(Load Curve)

منحنی که نشان دهنده قدرت (کیلو وات) عرضه شده بر حسب زمان وقوع آن است و چگونگی تغییر اندازه بار تامین شده را در دوره مورد رسم قرار گرفته نشان میدهد.

۲۶- ضریب بار

(Load Factor)

نسبت متوسط بار عرضه شده در یک دوره زمانی در نظر گرفته شده به حداکثر باری که در آن دوره اتفاق می افتد. هر دوی این مقادیر بایستی به واحدهای یکسان بیان شده باشند. ضریب بار را همچنین میتوان از تقسیم کیلو وات ساعت مصرفی به حاصل ضرب دیماند ماکزیمم بر حسب کیلو وات در طول زمانی دوره بر حسب ساعت بدست آورد.

۲۷- شکل بار

(Load Shape)

نمایش میزان نسبی استفاده از قدرت الکتریکی در طی دوره های متوالی که معمولاً هر دوره آن یک سیکل کامل می باشد شکل بار نامیده می شود. برای مثال می توان نمایش ساعت به ساعت دیماند مشتری برای یک شبانه روز یا یک هفته کامل را نام برد.

۲۸- قطع بار

(Load Shedding)

تقلیل دیماند سیستم که بواسطه ایجاد وقفه های سیستماتیک و از پیش تعیین شده در تحویل بار به مشترکین بزرگ و یا مدارات توزیع صورت می گیرد و معمولاً جهت رفع کمبود ظرفیت تولید کلی یا منطقه ای سیستم و یا بواسطه ملاحظاتی با مصرف کنترل ولتاژ بکار گرفته می شود.

۲۹- مدیریت بار پسیو

(Passive Load Management)

روشی از مدیریت بار که با تکیه بر نحوه پاسخگویی مشترکین به نرخ، مفاهیم متداول در حفظ انرژی، تبلیغات و مسائلی از این قبیل اهداف تقلیل دیماند، جابجایی زمانی الگوهای مصرف انرژی، بهبود ضریب بار و بهینه سازی ظرفیت و عرضه انرژی در سیستم را دنبال می نماید.

۳۰- بار کنترل پذیر

(Controllable Load)

بار کنترل پذیر یک فرآیند مصرف انرژی الکتریکی با الگوی خاص است که می تواند بخوبی با استفاده از روشهای مدیریت بار دگرگون شود بدون آنکه در میزان قدرت اجرائی آن کاهش حاصل شود.

۲-۵- نتیجه گیری

مدیریت بار وسیله بسیار موثری جهت بهبود کارآئی شبکه می باشد که عمدتا" بصورت بهبود ضرائب بارهای مختلف ظاهر میگردد. این تکنیک در اروپا، ژاپن و حتی آمریکا لازم الاجرا و ضروری محسوب می شود. در عمل تکنیک مزبور همگام با سیاست قیمت گذاری تا حدی که از نظر اقتصادی بیشترین کارآئی را داراست پیش می رود. باین ترتیب آینده ای در پیش رو خواهد بود که در آن توسعه تقاضای سودمند برق مورد ترغیب قرار گرفته و موارد غیر سودمند حذف میگردد. بمحض آنکه مدیریت بار در مقیاس وسیعی به اجرا درآید نیاز به یک سیستم ارتباطی بین مشترک و شرکت برق بوجود میآید.

هر بند این سیستم از راه برگشت سرمایه ها و هزینه های عملیاتی کمتر جبران میگردد. معرفی یک سیستم مدیریت بار بایستی از همه لحاظ مورد تحلیل قرار گرفته باشد. زیرا روشهای مدیریت بار بسیاری در زمینه تئوری و عملی (اجرائی) وجود دارد. راه حلهای ایده آل برای الگوی تولید، انتقال و مصرف باید انتخاب گردد. بعنوان مثال چگونگی مدیریت بار در دو کشور که در یکی ظرفیت تولید آن شامل هزینه های گوناگون و بعضا" مغایر هم بوده، و دیگری دارای یک سیستم تولید متجانس می باشد، کاملا" با هم متفاوت خواهد بود. شکل منحنی بار در انتخاب سیستم مدیریت بار مورد اجرا موثر است. یک منحنی بار روزانه که پیک آن باریک و دارای شیب بسیار تند باشد، مدیریت بار را بسیار ضروری و با اهمیت می نماید. نوع و حجم بارهائی که می تواند قابل کنترل و تنظیم باشد نیز بطور قابل توجهی در یک کشور با کشور دیگر تفاوت دارد.

فصل سوم:

مروری بر مقالات مدیریت بار

مقدمه

در این فصل از گزارش فعالیتهای انجام شده در زمینه مدیریت بار در سایر کشورها با تکیه بر مقالات معتبر بین المللی منتشر شده در IEEE مرور می شود .

۳-۱- دانمارک

در کشور دانمارک پروژه مدیریت باری با همکاری ۵۰۰ مصرف کننده صورت گرفت که مدت یک سال و نیم طول کشید . این گزارش به اصول و نتایج حاصل از این پروژه اشاره دارد . نتیجه حاصل از این پروژه نشان می دهد که نظام چند تعرفه ایی بر اساس زمان مصرف انرژی الکتریکی تغییر مناسبی در الگوی مصرف مشتریان (مخصوصا مصرف کنندگان خانگی) و نیز سایر مصرف کنندگان مانند صنعتی و تجاری ایجاد می نماید .

از اواسط سال ۱۹۸٦ 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 بار انجام دادند که نتایج آن در کنفرانس CIRED سال ۱۹۸۷ توضیح داده شد .

در شکل (۳-۱) ساختار پروژه مدیریت بار دیده می شود . عمل مخابره کردن به عهده دو عنصر مستقل از یکدیگر قرار دارد . ارتباط از شرکت برق به پستهای ۵۰/۱۰ kv یا (kv ۱۳۲/۱۰) از طریق خطوط تلفن صورت می گیرد . در صورتیکه ارتباط با یک مشتری خاص از طریق خطوط انتقال نیرو (بصورت دو طرفه) انجام می پذیرد . این قسمت اخیر مهمترین و فنی ترین قسمت این پروژه می باشد .

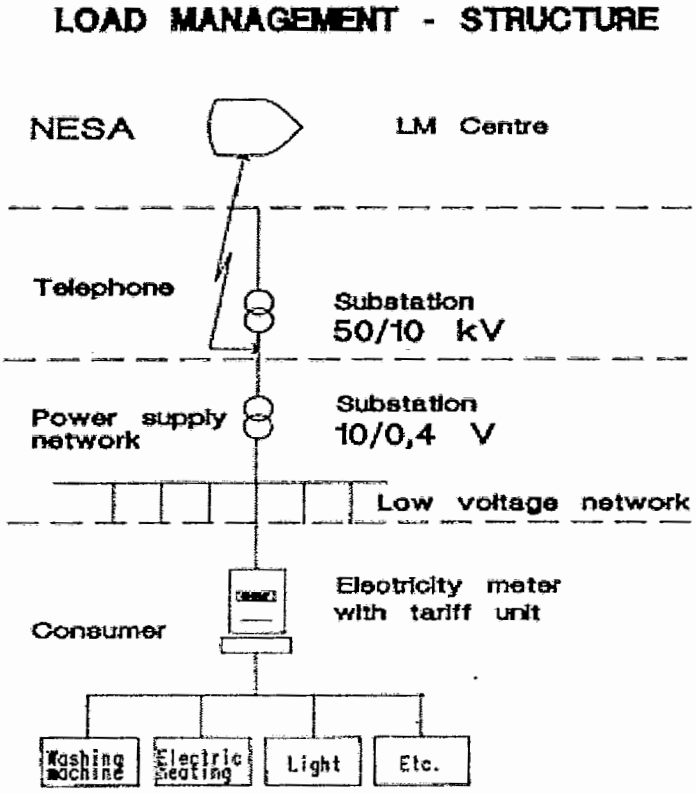
کل مراحل پروژه مدیریت بار به سه زیر مجموعه (زیر پروژه) تقسیم می گردد :

الف – توسعه تجهیزات تعرفه ای و تجهیزات کنترل بار

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

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

در ابتدای پروژه عقیده بر این بود که تمام تجهیزات و تاسیسات توسط این روش می تواند کنترل گردند ولی در انتهای کار مشخص شد که این عمل تقریبا غیر ممکن می باشد .



شکل (۳-۱) – ساختار پروژه مدیریت بار

۳-۱-۱ – توسعه تجهیزات تعرفه ای و تجهیزات کنترل بار

بدیهی است برای انجام این پروژه نیاز به یک سیستم تعرفه می باشد که این کار توسط یک کامپیوتر برنامه ریزی شده صورت می پذیرد و بدین ترتیب هر مشتری قادر به ایجاد ارتباط و دریافت اطلاعات از آن می باشد .

اساسا پیدا است که در محل مصرف انرژی الکتریکی مشتریان باید تجهیزاتی جهت کنترل بار نصب شده باشد . برای بعضی از مصارف برق از رله هایی جهت کنترل بار استفاده گردیده است .

بعضی از مشتریان که از واحدهای (TARIFF) جهت کنترل بار استفاده نمی کنند (بنابراین نیازی به رله های کنترل بار ندارند) از کلیدهای زمانی که قابل برنامه ریزی هفتگی به دلخواه مشتریان می باشند استفاده می کنند . بعنوان مثال این کلیدها در زمان پیک بار شبکه که گرانترین زمان برق می باشد دستگاههای فریزر را خاموش می کند .

این عمل برای ۳٤۰ واحد بصورت نصب سیستم کامپیوتری و ۱۷۰ واحد بصورت نصب کلیدهای زمانی انجام پذیرفت قرائت کنتورها هر ماه یکبار بطور منظم صورت گرفت .

۳-۱-۲- پروژه نمایش نتایج

دومین قسمت از این پروژه مربوط به نمایش نتایج حاصل از بهبود عملکرد مشتریان در رابطه با نرخ چند تعرفه ای می باشد .

این نتایج از بررسی ۳٤۰ مشتری که از ژوئن ۱۹۸٦ الی پایان نوامبر ۱۹۸۷ صورت گرفته است حاصل گردیده است . البته محاسبات و نتایج بر اساس یک سال تمام یعنی اول اکتبر ۱۹۸٦ الی اول اکتبر ۱۹۸۷ صورت گرفته است . سیستم (تعرفه) کامپیوتری علاوه بر محاسبه انرژی مصرفی بصورت ماهیانه برای هر واحد منحنی بار متوسط برای هر روز هفته برای تمام مشتریان را نیز محاسبه می نمود .

تعرفه انجام گرفته شده مشتریان به دو طبقه B (مشتریان بزرگ) و C (سایر مشتریان) تقسیم شدند . تعرفه هر دو طبقه B و C در جدول (۳-۱) نشان داده شده است .

Month	Time of day	Level B (pre/kWh)	Level C (pre/kWh)
April - September	06-08	14,4	21,4
(Monday - Friday)	08-10	75,4	86,4
	10-20	14,4	21,4
	20-06	10,4	12,4
January - March	05-07	14,4	21,4
October - December	07-10	75,4	86,4
(Monday - Friday)	10-16	14,4	21,4
	16-19	75,4	86,4
	19-21	14,4	21,4
	21-05	10,4	12,4
Saturdays, Sundays, and Public Holidays		10,4	12,4

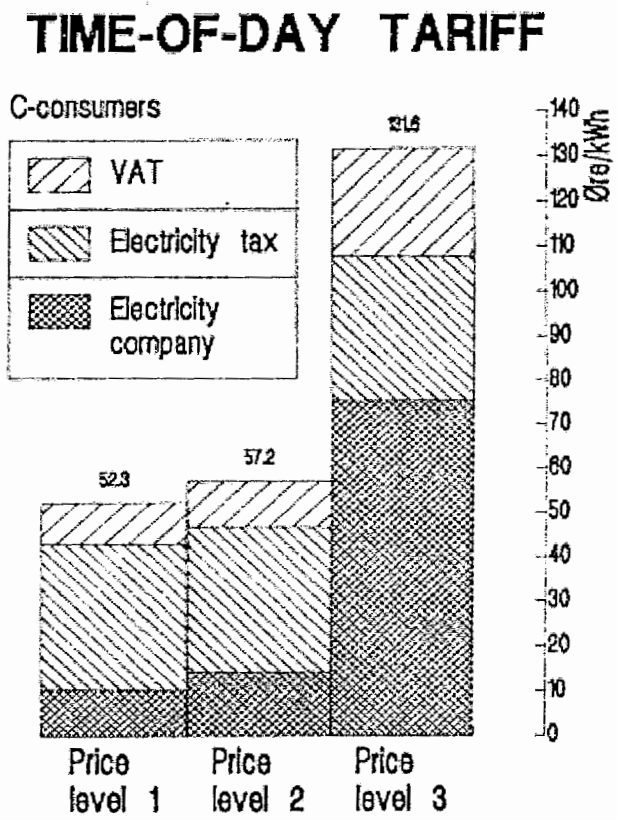
جدول (۳-۱) – تعرفه های پروژه در مصارف خانگی

(اول نوامبر ۱۹۹٦ الی ۱۲ دسامبر ۱۹۸۷)

برای مصارف خانگی و بعضی مشتریان دیگر مانند مشتریان خدماتی ۳۲/۵ Φre / kwh به عنوان مالیات به عدد تعرفه اضافه می شود و بعلاوه ۲۲ درصد VAT به مبلغ کل اضافه می گردد .

(۱۰۰Φre = ۱٤ US . cent)

با مطالعه شکل (۳- ۲) مشاهده می گردد که یک اختلاف قیمت قابل ملاحظه ای در قسمت شرکت برق (حدود ۱ به ۷) وجود دارد که با اضافه کردن مالیات به قیمتها تا حدودی تعدیل می گردد .



شکل (۳-۲) – نرخ چند تعرفه ای برای مشتریان طبقه C

۳-۱-۳- بهبود عملکرد مشتریان

الف – مشتریان خانگی :

مشتریان خانگی که در این پروژه مشارکت داشتند به چهار گروه طبقه بندی می شوند :

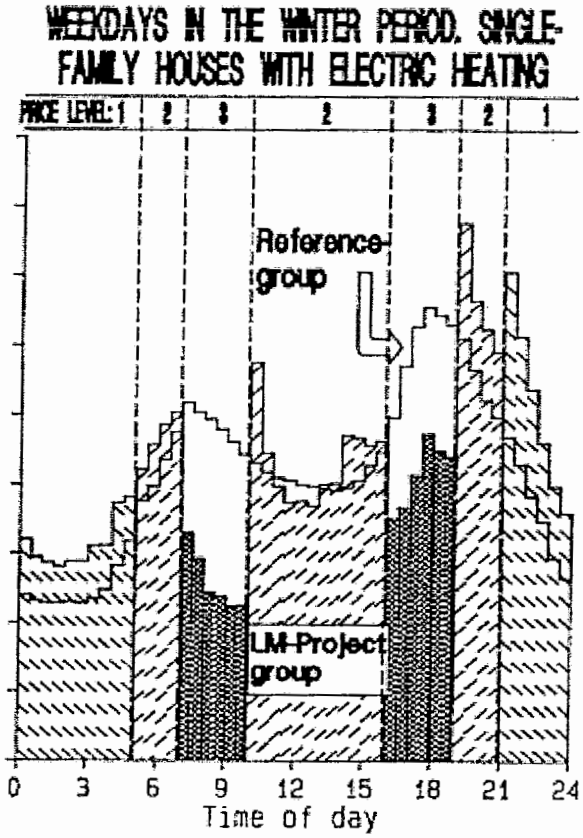
- آپارتمانهایی با گرمایش الکتریکی
- آپارتمانهایی بدون گرمایش الکتریکی
- منازل ویلائی با گرمایش الکتریکی
- منازل ویلائی بدون گرمایش الکتریکی

با استفاده از قیمتهای نشان داده شده در جدول (۳-۱) قیمت متوسط انرژی مصرف شده برای یک سال مشتریان محاسبه شده است . نتایج حاصل در جدول (۳-۲) بصورت زیر خلاصه شده است .

Average Prices (Nov. 86 to Sep. 87)	Test Group		Control Group		
Domestic customers	Number of customers	Average Price øre/kWh	Number of customers	Average Price øre/kWh	Difference øre/kWh
Flats without electric heating	7	21,67	6	23,17	-1,50
Flats with electric heating	11	24,03	3	24,54	-0,51
Single-family houses without electric heating	30	23,40	12	25,24	-1,84
Single-family houses with electric heating	53	22,50	12	24,82	-2,32

جدول (۳-۲) – قیمت متوسط انرژی برای چهار گروه مشتریان خانگی

نتایج جدول (۳- ۲) نشان می دهد که مشتریان خانگی عادت خود را تغییر داده اند . شکل (۳-۳) منحنی میانگین بار برای ۲٤ ساعت در یکی از روزهای هفته را در پریود زمستانی برای یک منزل ویلائی با گرمایش الکتریکی نشان می دهد .



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

فرض بر این است که مشتریان آزمایش شده با سایر مشتریان مشابه مصرف یکسانی در طول شبانه روز داشته باشند و تغییر در منحنی بار آنها فقط ناشی از تغییر در الگوی مصرف آنها باشد . البته این فرض خیلی درست نمی باشد زیرا در مصاحبه های بعدی با مشتریان در حال آزمایش مشخص گردید که آنها بیشتر مصارف خود را در پایان هفته انجام می داده اند .

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

ب – تغییر الگو در مشتریان صنعتی و تجاری

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 نمی باشد . یکی از دلایل این است که این هزینه نسبت به سایر هزینه های شرکتها بسیار نا چیز و اندک است .

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 (۳- ۳) برای ۷ طبقه مشتری می رسیم .

Average Prices (Nov. 86 to Sep. 87)	Test Group		Control Group		
C-customers (Industrial and commercial)	Number of customers	Average price öre/kWh	Number of customers	Average price öre/kWh	Difference öre/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 öre/kWh	Number of customers	Average price öre/kWh	Difference öre/kWh
Industry	34	23,70	20	24,61	-0,91
Public	18	21,42	9	21,98	-0,56
Service	14	22,17	15	22,36	-0,19

جدول (۳-۳) – مقایسه بین گروههای آزمایش و کنترل شده برای مشتریان صنعتی و تجاری

نتایج حاصل برای گروههای صنعتی و تجاری از نظر آماری رضایت بخش نمی باشند . بعنوان مثال در بخش صنعتی نمی توان انتظار داشت که با تغییر الگوی مصرف هزینه برق بیشتری داشته باشد .

بنابراین بر خلاف مشتریان طبقه خانگی مشتریان طبقه صنعتی و تجاری میلی به تغییر در الگوی مصرف نشان نداده اند .

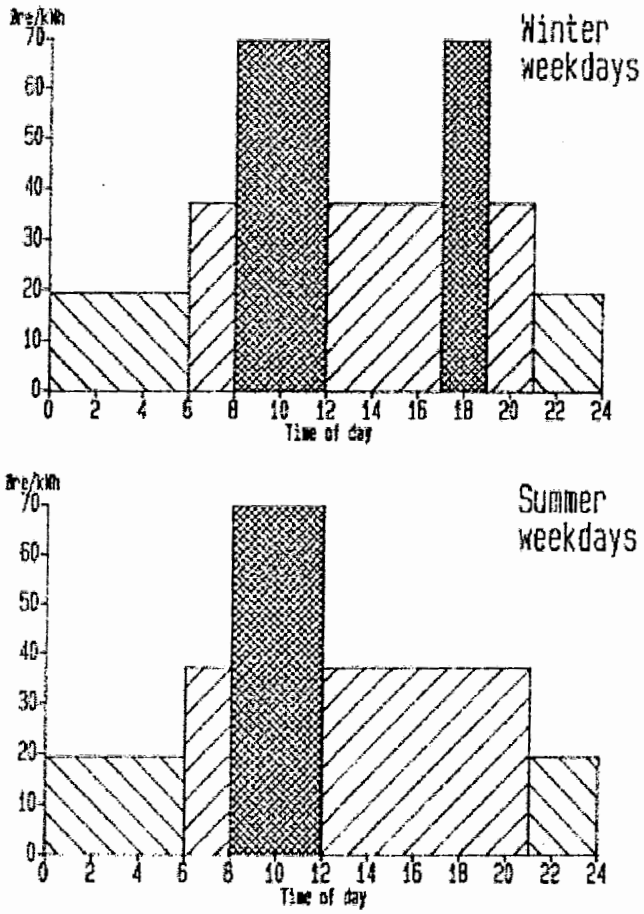
ج – انتقال داده ها

با توجه به اینکه این موضوع به مبحث اصلی این گزارش ارتباط کمتری دارد علاقه مندان می توانند به مرجع [۹] جهت بررسی نحوه انتقال دادهها مراجعه نمایند .

پروژه فوق در پایان سال ۱۹۸۷ پایان پذیرفت . به مشتریان شرکت کننده در این پروژه امکان داده شد که همچنان از این روش تعرفه ای استفاده کنند که ٦٥٪ از آنها با استقبال از ادامه پروژه در حال استفاده از تجهیزات پروژه می باشند .

بعنوان یک نتیجه مثبت از این پروژه NEAS و SEAS و سایر شرکتها تصمیم به ایجاد قیمت گذاری چند تعرفه بر اساس زمان استفاده از برق گرفتند . برای NEAS این بدان معنی است که هر واحد صنعتی یا تجاری که سالانه ۲۰/۰۰۰ کیلو وات ساعت انرژی مصرف می کند می بایست ظرف مدت سه سال طبق تعرفه های جدید رفتار نماید . بر اساس این توضیحات یک سیستم جدید با قابلیتهای گوناگون جهت تعرفه گذاری قیمت در حال پیاده سازی می باشد .

نوع دیگر تعرفه گذاری بر اساس ساعت استفاده از انرژی بر مبنای قیمتهای سال ۱۹۸۸ در شکل (٤) نشان داده می شود که قیمت شامل هزینه برق مصرفی , مالیات و VAT می باشد . [۱۱]



شکل (٣-٤) – نرخ جدید چند تعرفه بر اساس زمان استفاده از انرژی در روز
برای مشتریان طبقه C در سال ١٩٨٨

۳-۲- مالزی

در یک کارخانه مصارف گوناگونی از انرژی الکتریکی مانند : روشنائی , سرمایش , گرمایش و تامین انرژی ماشینها و تجهیزات وجود دارد . در بسیاری از کارخانه ها انرژی زیادی صرف پروسه های مختلف می گردد سهم هر کدام از مصارف از مصرف کل انرژی الکتریکی به توجه به آب و هوا , تولید , نوع ساختمان کارخانه , نوع تجهیزات در حال استفاده و نیز زمان استفاده از آن متغییر می باشد . بهترین راه برای تشخیص نحوه مصرف انرژی الکتریکی در یک کارخانه ممیزی انرژی الکتریکی می باشد .

بطور کلی ممیزی انرژی در دو سطح کلیات و جزئیات تولید صورت می گیرد . البته در بیشتر موارد ممیزی انرژی بین حالتهای کلی و جزئی قرار می گیرند . بدین معنی که از ممیزی کلی بسیار پیچیده تر است ولی نیازی به دقت در حد ممیزی کامل جزئیات نمی باشد .

اساسا مراحل معمول در ممیزی انرژی بصورت زیر می باشند :

۱- گفتگوی مختصر با کارکنان کارخانه

۲- بررسی اجمالی ممیزی و آشنایی با چرخه کار

۳- جمع آوری آمار و تاریخچه کارخانه

٤- اندازه گیری انرژی الکتریکی

با بررسی منحنی بار کارخانه و علامت گذاری نقاطی که صرفه جویی در انرژی الکتریکی در آنجا مؤثر تر می باشند می توان دید خوبی بدست آورد . سپس با انجام محاسبات اقتصادی با استفاده از اطلاعات جمع آوری شده به جواب مطلوب رسید .

تعرفه انرژی الکتریکی مصرفی در اکثر بخشهای صنعتی از عوامل زیر تشکیل می شوند :

- هزینه انرژی مصرف شده (kwh)
- هزینه ضریب توان
- هزینه ماکزیمم دیماند (kw) در طی دوره ساعات پیک

در کشور مالزی اصولا B چهار تعرفه برای بخشهای صنعتی به نامهای D , E۱ , E۲ و E۳ وجود دارند .

تعرفه D , یک تعرفه ولتاژ پائین می باشد بعبارت دیگر مخصوص مصرف کننده های زیر ٦/٦ kv می باشد .

تعرفه های E۱ و E۲ , تعرفه های ولتاژ متوسط می باشند بعبارت دیگر مخصوص مصرف کننده های بین ٦/٦ kv و ٦٦ kv می باشند .

تعرفه های E۳ , یک تعرفه ولتاژ بالا می باشد . بعبارت دیگر مخصوص مصرف کننده های ۱۳۲ kv و بیشتر می باشد . علاوه بر آن تعرفه های E۱ و E۲ دارای هزینه دوگانه (زمان پیک و غیر پیک) می باشند . در کشور مالزی ساعات پیک از ۸ صبح الی ۲۲ می باشد و ساعات غیر پیک از ۲۲ الی ۸ صبح می باشد .

جزئیات این تعرفه ها در جدول (۳-٤) نشان داده می شوند .

Tariff D -Low voltage tariff	
For all units	RM 0.24
Tariff E_1 - Medium voltage general tariff	
For all units	RM 0.16
For each kW maxi.demand per month	RM 12.00
Tariff E_2 - Medium voltage peak/off peak tariff	
For all units on peak period	RM 0.16
For all units on off-peak period	RM 0.08
For each kW maxi.demand per month	RM 17.00
Tariff E_3 - High voltage peak/off peak tariff	
For all units on peak period	RM 0.15
For all units on off-peak period	RM 0.07
For each kW maxi. demand per month	RM 15.00

جدول (۳-٤) – تعرفه های هزینه برق در صنایع

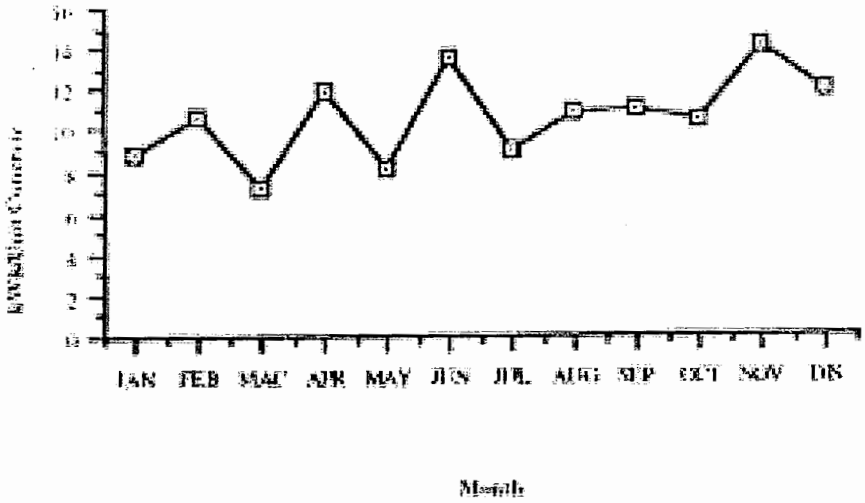
برای تعرفه های صنعتی اگر ضریب توان کارخانه اگر هر کدام از مقادیر زیر باشد :

الف – زیر ۰/۸۵ و بالای ۷۵ /۰ پس فاز ۱/۵ ٪ جهت جبران سازی با ازای هر ۰/۰۱ کاهش ضریب توان در صورت حساب ماهیانه اضافه می گردد .

ب – برای زیر ۰/۷۵ پس فاز علاوه بر مقدار بند الف ۳ ٪ جهت جبران سازی به ازای هر ۰/۰۱ کاهش ضریب توان از ۰/۷۵ به صورتحساب ماهیانه اضافه می گردد .

مصرف ویژه برق

مصرف ویژه برق (SEC) نسبت انرژی الکتریکی مصرفی به میزان تولید کارخانه است . مصرف ویژه برق با ازای یک روز یا یک ماه قابل ترسیم می باشد . نمودار مصرف ویژه برق برای یک کارخانه بتون در شکل (۳-۵) نشان داده شده است . این کارخانه یک کارخانه با ولتاژ پائین می باشد . از منحنی زیر مشخص می گردد که مقدار مصرف انرژی الکتریکی به تولید ارتباط ندارد . ذر ماه مارس ۱۹۹۱ نسبت انرژی الکتریکی مصرفی به تولید ۷/۹۱ می باشد در صورتیکه در ماه نوامبر ۱۹۹۱ این مقدار بسیار بالاتر از مقدار قبل می باشد . بنابراین بعنوان یک نتیجه گیری از این نمودار می توان مدیریت بار در این کارخانه را پیشنهاد نمود .

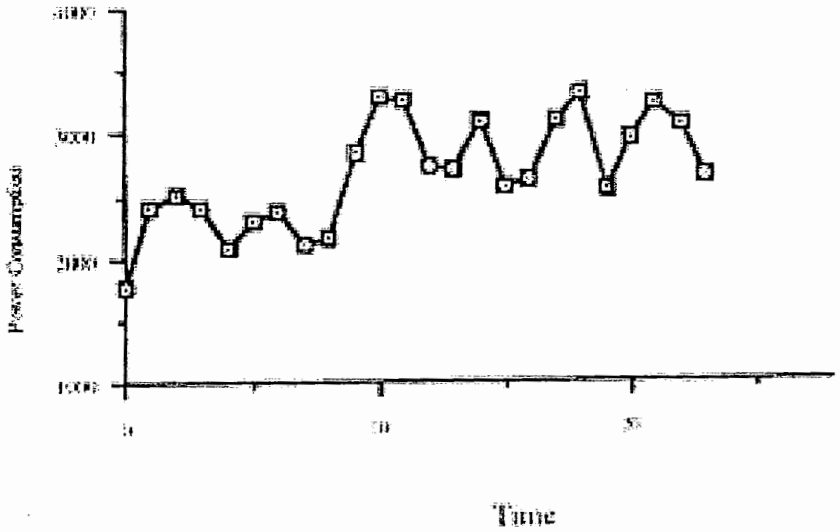


شکل (۳-۵) – مصرف ویژه برق در یک کارخانه بتون

مدیریت بار

برای انجام مدیریت بار دستیابی به منحنی بار کارخانه ضروری است . با داشتن منحنی بار کارخانه با اعمال روشهای معمول در مدیریت بار : پیک سائی , پر کردن دره و جابجا نمودن بار می توان به نتایج دلخواه رسید .

شکل (۳-٦) منحنی بار روزانه در یک کارخانه سیم را نشان می دهد و ماکزیمم دیماند توان در ساعت ٦ بعد از ظهر که زمان پیک می باشد اتفاق می افتد و ماکزیمم مصرف بین ساعات ۹ الی ۱۰ شب می باشد . اگر کارخانه بتواند ۱۰ ٪ از مصرف پیک خود را به زمان غیر پیک انتقال دهد هم در هزینه ماکزیمم دیماند ساعات پیک و هم در هزینه انرژی مصرفی در ساعات پیک صرفه جوئی نموده است . صرفه جوئی انجام گرفته برابر ۱۰ ٪ هزینه مربوط به ماکزیمم دیماند و یا حدود ۵ ٪ از هزینه ماهیانه برق می باشد که بطور مفصل در جدول (۳-۵) نشان داده شده است .



شکل (۳-٦) – منحنی بار روزانه نمونه برای یک کارخانه سیم

	Unshifted	Shifted
Total kWh	64070 kWh	64070 kWh
Load Factor	0.808	0.869
On-peak period Load	41314 kWh	37183 kWh
On-peak period Cost	RM6,610	RM 5,949
Off-peak period Load	22756 kWh	26887kWh
Off-peak period Cost	RM1,820	RM2,151
kW maximum demand	3302 kW	2972kW
kW max. demand Cost	RM56,134	RM50,521
daily load Cost	RM8,431	RM8,100
Monthly Cost	RM275,333	RM261,126
Monthly Cost Saving = RM14,207 Percentage saving = 5.16%		

جدول (۳-۵) – صرفه جوئی در هزینه برق با ۱۰٪ جابجائی بار

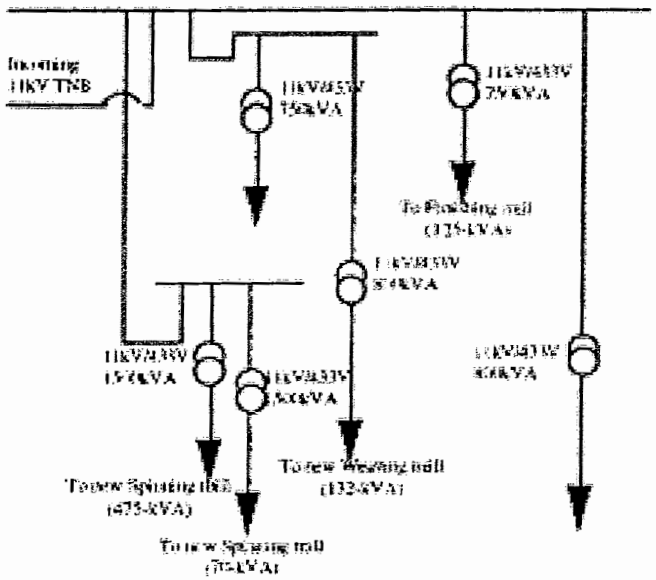
جدول فوق با فرض یکسان بودن منحنی بار روزانه در طی یک ماه و برای ۲۶ روز کاری در ماه محاسبه گردیده است .

آنالیز تلفات ترانسفورماتور ها

برای مشترکین ولتاژ پائین صنایع ولتاژ تحویلب بصورت ۴۱۵ v می باشد در صنایع با ولتاژ متوسط و بالا ولتاژ تحویلی به مشترکین ۶/۶ kv می باشد که معمولا هر واحد برای خود یک پست اختصاصی داشته که برای انرژی مورد نیاز خود استفاده می شوند .

در ترانسفورماتورها تلفاتی وجود دارد که با تغییر بار ثابت می باشند که به تلفات آهن موسوم می باشند . که تلفات بی باری ترانس نیز نامیده می شوند . تلفات بی باری ترانسفورماتور معمولا با توجه زمان کار آنها ۸۷۶۰ ساعت در سال می باشند . بعنوان مثال برای ۱ kw بی باری در یک ترانس ۸۷۶۰ kwh در سال تلفات داریم . برای یک کارخانه با تعرفه E۱ این مقدار در سال برابر ۱۴۰۱ RM می باشد . هرچه ظرفیت ترانسفورماتور بیشتر باشد این تلفات و در نتیجه هزینه آن بیشتر می باشد .

در یک ممیزی انرژی انجام گرفته در یک کارخانه نساجی که توسط برق ۱۱ kv تغذیه می شود توسط ۶ ترانسفورماتور به ولتاژ ۴۱۵ v تبدیل و توزیع می شوند . در شکل (۳-۷) شماتیک این توزیع و تبدیل نشان داده شده است .



شکل (۳-۷) – سیستم توزیع انرژی در کارخانه نساجی

ظرفیت ترانسفورماتورهای نصب شده بسیار بیشتر از حد نیاز می باشند ضریب بار ترانسفورماتورها بین ۵ ٪ الی ۳۲ ٪ می باشد و پیشنهاد می گردد که ترانسفورماتور خط جدید که ظرفیت MVA ۱/۵ دارد از خط خارج گردد . که حدودا مبلغ RM ۳۰۰۰ در هزینه برق سالیانه صرفه جویی بعمل می آید .

مدیریت ضریب توان

با توجه به ممیزی انرژی صورت گرفته در سال ۱۹۸۹ در یک کارخانه الکترونیکی کوچک که ضریب توان آن حدود ۰/۷۷۵ می باشد ضریب جریمه ای که به صورت حساب برق این کارخانه تخصیص می یابد حدود ۱۱/۲۵ ٪ می باشد هزینه برق ماهیانه این کارخانه باید مبلغ RM ۲۷۷۷۳ باشد در صورتیکه این کارخانه ماهیانه مبلغ RM ۳۰۸۹۸ می پردازد یعنی ماهیانه مبلغ RM ۳۱۲۵ بیشتر می پردازد . که این عمل توسط بانکهای خازن و موتورهای سنکرون قابل جبران سازی می باشد .

مدیریت تلفات موتورها

تلفات موتورها معمولا بین ۲/۵ ٪ الی ۷/۵ ٪ مقدار نامی آنها می باشد . که این مقدار به ساعات کار با بار نامی , بی بار , سایز کابلها و فاصله آنها از تابلوی تغذیه بستگی دارد .

در یک ممیزی انرژی الکتریکی که در یک کارخانه قدیمی انجام پذیرفته است نتایج بررسی روی موتورهای کارخانه در جدول (۳-٦) نشان داده شده است . نتایج زیر نشان دهنده آن است که راندمان و ضریب توان موتورها کمتر از حد استاندارد است .

بنابراین تلفات در موتورها زیاد می باشد . دلیل این امر عدم سرویس و نگهداری بموقع از این موتورها می باشد .

برای این کارخانه پیشنهاد می گردد که موتورهای با راندمان پائین با موتورهای جدید جایگزین گردد . بعنوان مثال با تغییر فقط یکی از موتورها (Rolling) سالیانه مبلغ RM ۲۰۳٤۹ در هزینه برق صرفه جویی می گردد .[۱۳]

Machi-nery	Rating	Mea-sured	% load	effici-ency	P. Factor
lathe machine	15HP, 22A	10.5A	48%	76%	0.68
Verticle lathe	40HP, 56.8A	28A	49%	77%	0.69
Rolling machine	30HP, 42.6A	16.3A	38%	70%	0.63
Blower	30HP, 56A	6.2A	11%	35%	0.40
Com-pressor	30HP, 40.5A	22A	54%	78%	0.69
lathe.1 machine	25HP, 33A	15.2A	46%	75%	0.67
Planning machine	15HP, 22A	13A	59%	79%	0.72

جدول (٣-٦) – نمونه ای از تجهیزات مورد استفاده در یک کارخانه

۳-۳- هندوستان

مدیریت بار انجام شده در هندوستان مربوط به یک کارخانه آرد است که در ادامه بررسی می شود.

الف - فواصل زمانی

این فرموله کردن با فرض گسسته بودن فواصل کاری دستگاهها در یک دوره زمانی H (مثلا یک روز) در نظر گرفته شده است . روشن و خاموش شدن دستگاهها در ابتدا و انتهای این دوره های زمانی در نظر گرفته می شوند . طول مدت هر زمان i را با t_i نمایش می دهیم در آن صورت :

$$\sum_{i=1}^{N} t_i = H \qquad \text{for the total intervals } N \text{ in the time horizon.} \tag{1}$$

ب - متغییر تصمیم گیری

متغییر I_{mi} بصورت زیر مقدار می پذیرد :

$$I_{mi} = 1 \Rightarrow \text{the machine } m \text{ is on in the interval } i \tag{2}$$

$$= 0 \Rightarrow \text{the machine } m \text{ is off in the interval } i \tag{3}$$

ج - قید تولید

برای این مسئله باید یک حداقل تولید (Q) بعنوان خروجی در نظر بگیریم .

$$\sum_{i=1}^{N} \sum_{m=1}^{M} P_{mi} * t_{mi} * I_{mi} \geq Q \tag{4}$$

که در آن

M : تعداد کل ماشینها و چرخه تولید

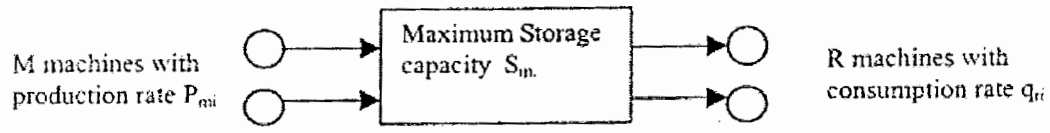
P_{mi} : قدرت مورد نیاز پروسه یا ماشین m ام در دوره زمانی i

می باشد .

با در نظر گرفتن P_{mi} بعنوان متغییر امکان این عمل که قدرت مورد نیاز یک ماشین یا پروسه را در دوره های مختلف زمانی با تغییر پارامترهای دیگر جبران گردند وجود دارد .

د – قید ذخیره

بارهای هر پروسه با فضای ذخیره همراه با محدودیت در حداکثر ظرفیت در شکل (۳-۸) نشان داده می شود و بصورت زیر می توان مدل نمود .



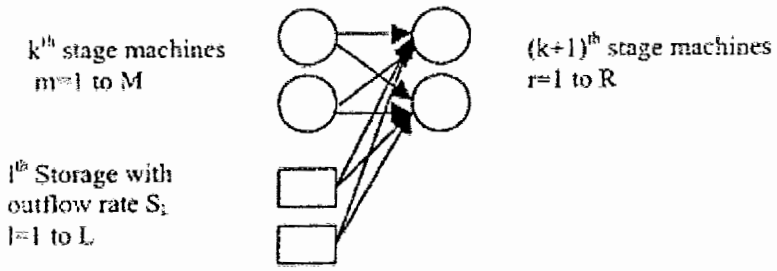
شکل (۳-۸) – قید ذخیره

$$\sum_{i=1}^{T}\left[\sum_{m=1}^{M} P_{mi} * t_{mi} * I_{mi} - \sum_{r=1}^{R} q_{ri} * t_{ri} * I_{ri}\right] \le S_m$$

$$\text{for } T = 1 \text{ to } N. \qquad (5)$$

ه – قید چرخه کار

برای کارکرد رضایت بخش ماشینها در هر چرخه تولید یک مقدار حداقل از مواد اولیه در چرخه مورد نیاز می باشد که در حالت کلی در شکل (۳-۹) نشان داده شده است که برای ارضای مواد اولیه مورد نیاز هر چرخه از چرخه قبلی داریم :



شکل (۳-۹) – قید چرخه کار

$$\sum_{i}^{T}\left[\sum_{m=1}^{M} P_{mi} * t_{mi} * I_{mi} + \sum_{l=1}^{L} S_l\right]$$

$$\ge \sum_{i}^{T}\left[\sum_{r=1}^{R} q_{ri} * t_{ri} * I_{ri}\right] \qquad \text{for } T = 1 \text{ to } N. \qquad (6)$$

همچنین در بعضی موارد نیز ما نیازمند این هستیم که مقداری مواد اولیه نیز بصورت ذخیره داشته باشیم که در آن صورت به رابطه زیر می رسیم :

$$\sum_{i}^{T}\left[\sum_{m=1}^{M} P_{mi} * t_{rmi} * I_{mi}\right] \geq C_{\text{min}} + \sum_{i}^{T}\left[\sum_{r=1}^{R} q_{ri} * t_{ri} * I_{ri}\right] \quad \text{for } T = 1 \text{ to } N. \quad (7)$$

و – قید ترتیب مراحل

ضروریت که در مراحل تولید ترتیب مراحل رعایت گردند تا وقفه ای در تولید ایجاد نگردد در این صورت شرط شروع ماشینm ام در دوره زمانی i ام بعد از t دوره زمانی پس از آنجا به کار ماشین (m – ۱) ام , بصورت زیر مدل می گردد :

$$t * I_{rmi} \leq \sum_{j=i-t}^{i} I_{(m-1)j}. \quad (8)$$

ز – قید حداکثر دیماند

محدودیت دیماند پیک یک فاکتور بسیار مهم می باشد که در برنامه ریزی زمانی بارها باید قابل توجه قرار گیرد . در این صورت برای دوره i ام داریم :

$$\sum_{m=1}^{M} (k_{rmi}/pf_{rmi}) * I_{rmi} \leq \text{kVA}_i \quad (9)$$

که در آن

kvA_i : محدودیت دیماند ماکزیمم

k_{mi} : توان الکتریکی ورودی برحسب کلید وات

Pf_{mi} ضریب توان ماشین m ام برای دوره زمانی i ام

ح - زمان خاموشی ماشینها

ضروریت که در هر دوره برنامه ریزی زمانهایی جهت خاموشی ماشینها برای انجام سرویس , تعمیرات و . . . در نظر گرفت . که اگر این دوره تعمیر و خاموشی در مرحله j ام باشد در آن صورت :

$$I_{mj} = 0. \qquad (10)$$

ط - تخمین بار الکتریکی

توان الکتریکی ورودی بـر حسب کیلو وات برای ماشین m ام در دوره زمانی i ام به صورت زیر می باشد :

$$k_{mi} = (R_m * U_{mi}/E_{mi}) * I_{mi} \qquad (11)$$

که در آن

R_m : ظرفیت نامی ماشین m ام بر حسب کیلو وات

u_{mi}: ضریب کار کرد ماشین m ام در دوره زمانی i ام می باشند .

ی - تابع هدف :

تابع هدف حداقل نمودن هزینه برق مصرفی می باشد اکثر کارخانه های صنعتی دارای دو تعرفه برای هزینه های برق می باشد . یکی برای انرژی مصرفی و دیگری برای ماکزیمم دیماند ثبت شده . در هندوستان هزینه دیماند انرژی مصرفی با زمان تغییر نمی کند ولی هزینه انرژی مصرفی با زمان تغییر است بنابراین در تابع هدف فقط هزینه انرژی مصرفی در نظر گرفته می شود و سپس هزینه دیماند (که ثابت است) به آن اضافه می شود .

اگر C_i هزینه برق مصرفی در دوره i ام باشد در آن صورت تابع هدف بصورت زیر می باشد :

$$\text{Min.} \sum_{i=1}^{N} \sum_{m=1}^{M} (k_{mi} * I_{mi} * t_{mi}) * C_i. \qquad (12)$$

برای اجرای پروژه مدیریت با نیاز به یکسری هزینه دیگر شامل هزینه نصب تجهیزات جدید و نیز هزینه شیفت زمان کاری به تابع هزینه اضافه می گردد بنابراین تابع هدف بصورت زیر می باشد :

$$\text{Min.} \sum_{i=1}^{N} \sum_{m=1}^{M} [(k_{mi} * I_{mi} * t_{mi} * C_i) + \{C_{ai} * I_a\} * \varepsilon_i] \qquad (13)$$

که در آن

C_{ai} : هزینه اضافی مدیریت بار برای دوره i ام می باشد

I_a : متغیر انتخاب که اگر برابر یک باشد مدیریت بار متناظر با C_{ai} در حال وقوع می باشد و در غیر این صورت برابر صفر می باشد .

ک - تجزیه و تحلیل منحنی بار

بار کل در هر دوره زمانی i به صورت زیر خواهد بود :

$$\sum_{m=1}^{M} k_{mi} * I_{mi} . \qquad (14)$$

بنابراین برای رسیدن به منحنب بار برای تمام دورها به ازای i=۱ تا N مقدار قبل را محاسبه می کنیم .

ل - برنامه بهینه سازی

مزیت اصلی فرموله کردن مسئله بصورت فوق سادگی حل مسئله با استفاده از نرم افزارهای مبتنی بر برنامه ریزی اعداد صحیح (integer – programming) می باشد .

متغییر تصمیم گیری I این اجازه را به می دهد که با انتخاب مقادیر صفر یا یک نشان دهد که کدام ماشین در حال کار کردن یا خاموش می باشد .

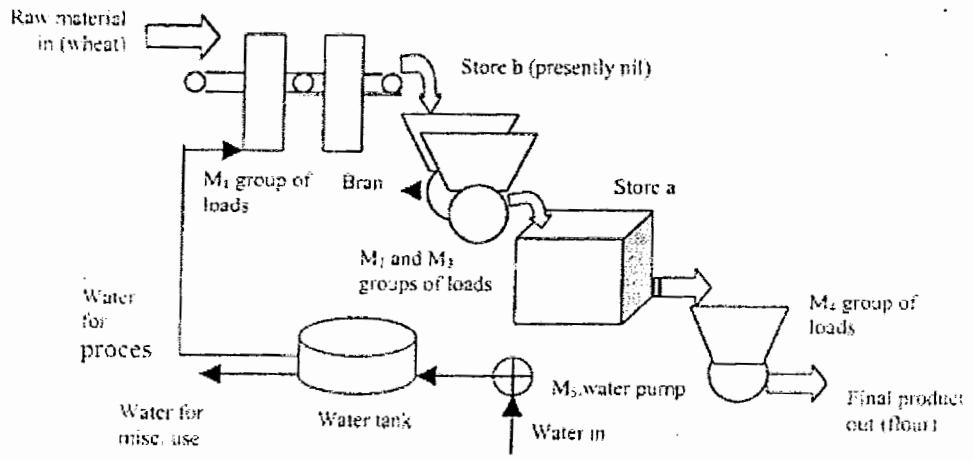
٤-۳-۱- مدیریت بارسیستم تحت مطالعه

برای نشان دادن کارایی روش فوق مسئله را برای یک کارخانه آرد در هندوستان بررسی می کنیم . کل بار متصل به شبکه ۲۳۵ kw و قرار داد دیماند ۲۰۰ kva می باشد . متوسط

مصرف انرژی الکتریکی روزانه ۲۲۰۰ kwh است که شدت انرژی مصرفی (به ازای هر تن آرد) مقدار ۷۳ kwh/t می باشد . مجموعه دارای سیستم اصلاح ضریب قدرت اتوماتیک می باشد که ضریب قدرت واحد را تقریبا برابر یک تنظیم می نماید .

الف – تولید و پروسه آن

ظرفیت تولید مجموعه ٤٨ t در روز به ازای ۳ شیفت کاری می باشد (۲ تن در هر ساعت) که معمولا بصورت ۲ شیفته از آن بهره برداری می شود . که بطور متوسط روزانه ۳۰ تن تولید دارد (٦٦٪ ظرفیت کل) ضریب بار به ازای ۲ شیفت کاری حدود ۸۳٪ می باشد . در حالیکه دیماند مجموعه از آن بیشتر می باشد . این واحد در چند روز از ماه به صورت ۳ شیفته کار می کند . دیاگرام نحوه عملکرد و پروسه های مجموعه در شکل (۳–۱۰) نشان داده شده است .



Group of process interlocked loads
M_1 - conveyor belts, dry stirrer, separators, washers and conditioners
M_2 - grinder mills, conveyors set 1
M_3 - grinder mills, conveyors set 2
M_4 - roller mills, plansifiers, pneumatic lifters
M_5 - water pump

شکل (۳–۱۰) – دیاگرام چرخه کارخانه

تجهیزات مورد نیاز در ٥ گروه بر اساس کنترل پذیری آنها دسته بندی شده اند . جدول شماره (۳–۷) مقادیر نامی و جزئیات هر گروه را نشان می دهد . بار روشنائی و اداری مجموعه به ازای ۲ شیفت کاری ٧٤ kwh و برای ۳ شیفت کاری ۹۸ kwh می باشد .

ماکزیمم دیماند عملکرد بصورت ۲ شیفت ۱٦٦ kw می باشد و انرژی مصرفی روزانه ۲۱۹۸ kwh است .

Description	Production capacity	Rated kW	Capacity Utilisation (U)	Efficiency (E)
M1 group	2.33 t/hr	22	0.95	0.9
M2 &	1.33 t/hr	12.75	0.96	0.9
M3 groups	1.66 t/hr	36.5	0.80	0.75
M4 group	2 t/hr	78	0.9	0.9
M5	Head 30m, Discharge 60 kl/hour, Power input 8 kW at best efficiency point			
Store (a) - 6 t (12.5%), Store (b) - Presently nil, Water tank -180 kl (50%)				

جدول (۳-۷) – تجهیزات کارخانه برای انجام مدیریت بار

در این ایالت از هندوستان قیمت برق از سال ۲۰۰۰ بر اساس تعرفه های زمان استفاده (Time of use) محاسبه می گردد . هزینه دیماند مقدار ۲۸۰ Rs / kva / month می باشد . در حالیکه مبلغ پایه انرژی ۳/۲۵ Rs / kwh می باشد . (IUS = ٤۲ Rs)

ضرائب هزینه برق مصرفی در تعرفه های مبتنی بر زمان استفاده از انرژی برای واحدهای تیپ (a) که منحنی بار یکنواخت تری دارد بصورت ۰/۸۵ : ۱/۱۸ : ۱/۰۹ : ۱ و برای واحدهایی که پیک آنها اختلاف زیادی با سایر ساعات استفاده از آن می باشد بصورت ۰/۵ : ۱/۵ : ۱ می باشد .

با فرض استهلاک هزینه های اضافی در اثر اجرای پروژه مدیریت بار با نرخ ۱۵٪ و مدت زمان ۱۰ سال و هزینه ذخیره سازی اضافی ۲٤۰ Rs/t و تانک آب ۳۰۰ Rs/kl و نیز هزینه اضافی برای شیفت شب ۱۵۰۰۰ Rs/month فرموله کردن مسئله فوق و بدست آوردن نتایج با استفاده از برنامه ریزی اعداد صحیح دارای ۹۹ قید و ۱۲۰ متغیر تصمیم گیری برای مدت ۲٤ ساعت می باشد .

ب – نتایج شبیه سازی

جدول (۳-۸) چندین استراتژی بهینه را با یکدیگر مقایسه می کند . مشاهده می شود که به ازای ۲ شیفت کاری انعطاف پذیری چندانی در اثر برنامه ریزی و مدیریت بار ایجاد نمی گردد . و کل هزینه های برق فقط ۱/۵ ٪ کاهش می یابد در صورتیکه به ازای ۳ شیفت کاری

٦٪ در هزینه ها صرفه جویی می گردد و توان مصرفی در زمان پیک از ۱۲۱ kw به۵/۵ kw کاهش می یابد .

LM options	TOU tariff (a)							TOU tariff (b)
	Average power kW				MD kW	Electricity charges as % of base cost	Total cost including LM cost as % of base cost	Total cost including LM cost as % of base cost
	Off peak 10pm-6am	Partial peak 9-12am	Peak 6-10 pm	Base rest of day	Base cost - Electricity charges for existing 2 shift operation under TOU charge (a) - Rs 273000/-			
2 shift strategy								
Existing operation	1	115	121	149	166	100	100	99.0
Increasing Store (a) 12 t (25%) with LM	3	122	121	145	158	98.9	99.0	98.5
3 shift strategy								
With Existing capacities	80	118	5.5	105	158	94.0	99.5	89.4
Providing Store (b) 7t (12.5%) and LM	118	3	5.5	88	158	87.8	93.1	71.0

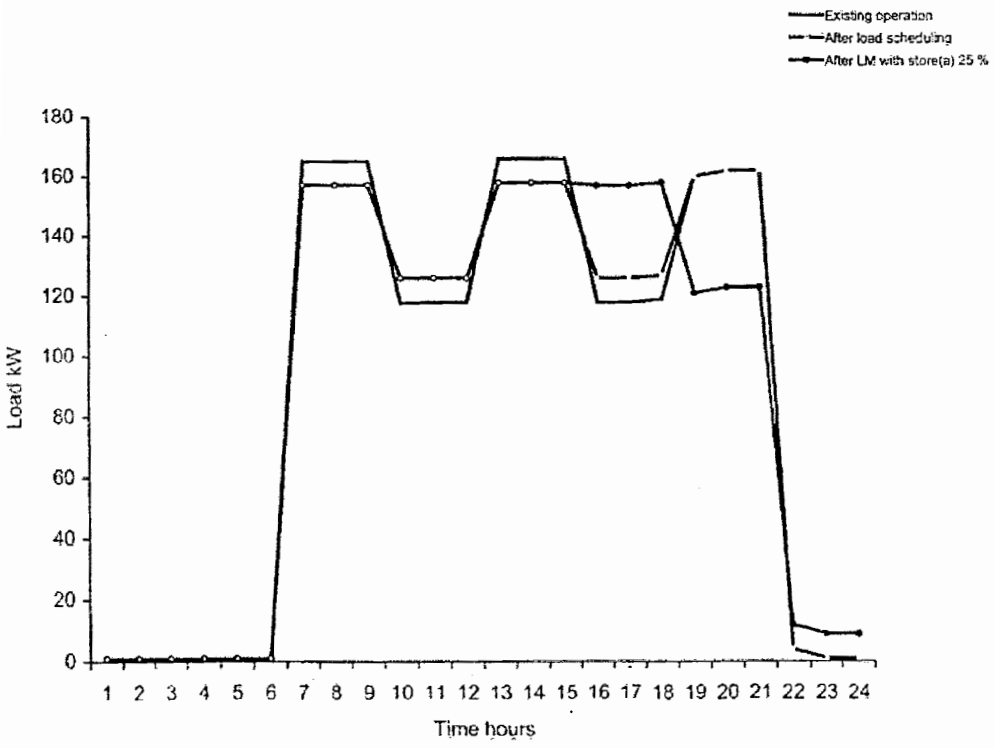
جدول (۳-۸) – نتایج شبیه سازی

در صورت استفاده از تعرفه های مبتنی بر زمان استفاده از انرژی ۳ شیفت کاری توصیه می گردد و در صورت استفاده از قیمت یکنواخت ۲ شیفت کاری مناسب می باشد .

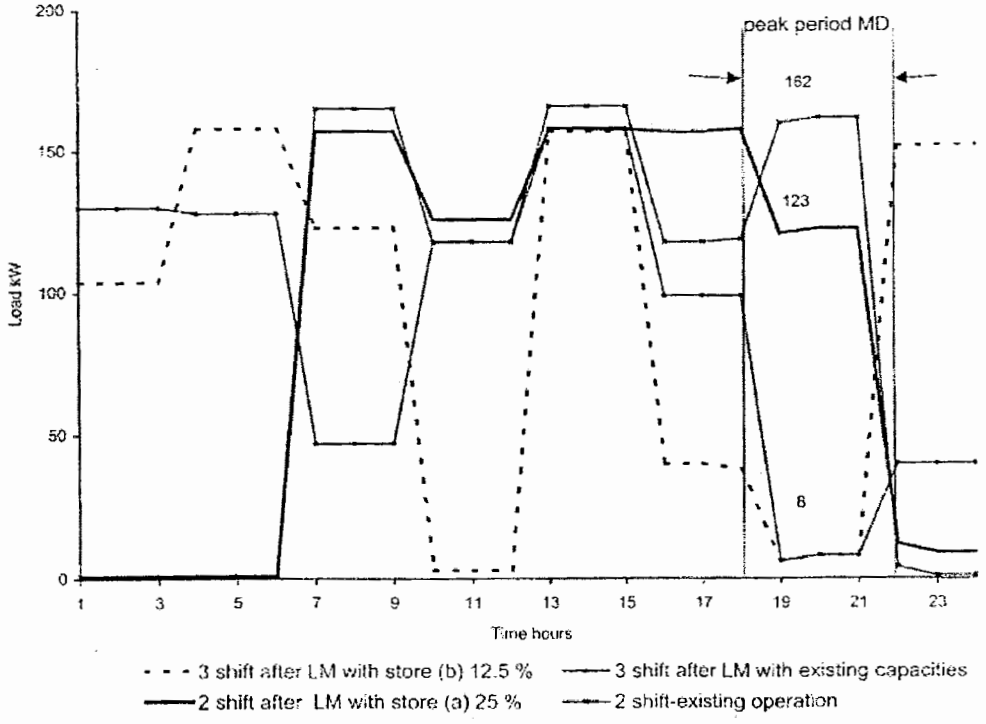
شکل (۳-۱۱) منحنی بار قبل از مدیریت بار همراه با منحنی بار پس از اعمال مدیریت بار برای ۲ شیفت کاری را نشان می دهد . شکل (۳-۱۲) مقایسه حالات مختلف , قبل از مدیریت بار و بعد از مدیریت بار (۲ شیفت و ۳ شیفت کاری) را نشان می دهد .

ج – نتیجه گیری

یک روش برای مدیریت بارهای صنعتی مبتنی بر مدلهای بارهای فیزیکی پیشنهاد گردیده است . مدل نشان داده شده توانایی آنالیز بارهای صنعتی را با توجه به تعرفه های مختلف , با شیفتهای مختلف کاری (۲ یا ۳) , تغییر در ظرفیت ذخیره و هزینه های نصب تجهیزات جدید را دارد . در این مثال قابلیت کاهش ۹۵٪ از پیک بار نشان داده شد . و در حالت کار بهینه قابلیت کاهش ۲۹٪ از هزینه های برق مصرفی را نیز دارد .[۱۲]



شکل (۳-۱۱) – منحنی بار برای ۲ شیفت کاری



شکل (۳-۱۲) – مقایسه منحنی های بار با انجام مدیریت بار

فصل چهارم:

مدلسازی مسئله مدیریت بار کارخانه تحت مطالعه

٤-١- مقدمه

نمونه برداری مصارف دستگاههای یک کارخانه بوسیله دستگاه ثبات توسط مسئولین فنی کارخانه جهت این پایان نامه برداشت شده اند. هدف از این کار پیاده کردن الگوریتمهای هوشمند روی یک کارخانه واقعی با دیتای برداشت شده حقیقی می باشد. تولیدات این کارخانه عموما نوارهای لاستیکی مختلف برای انواع خودروها و سایر محصولات لاستیکی می باشد. که ذیلاً شرحی از پروسه کارخانه ارایه می گردد.

٤-٢- معرفی چرخه کار کارخانه

قسمتی از کارخانه که نمونه بردای روی آن انجام گردید دارای سه خط تولیدی به نامهای PG٤, PG٣, LCM٢ می باشد . از راست به چپ PG٣, PG٤, LCM٢ و در قسمت انتهای سمت راست سالن قسمت تکمیل وجود دارد حال به توضیح مختصری از پروسه کاری کارخانه به تفکیک خطوط تولید می پردازیم.

٤-٢-١- خط LCM٢

در ابتدای این خط، خوراک خط وجود دارد که کامپاند نامیده میشود البته بخش دیگری از این مواد اولیه فلزی است که شامل صفحه های بزرگ لوله شده فلز است که متال نامیده می گردد. کامپاند ها از سایر کارخانجات تهیه شده و به این کارخانه منتقل می شود. از فلزات در محصولاتی استفاده میشود که نیاز به استحکام و حالات خاصی دارند.

در ابتدا خط دستگاهی بنام preforming (پریفورمینگ) وجود دارد که خوراک آن همان نوارهای فلزی یا متال است که آنها را نرم یا حالت میدهد البته بسته به نوع تولید ممکن است در خط باشد یا نباشد.

الف- شکل دهنده:

توان مصرفی: ٢٥ KW

وظیفه: شکل دهنده متال

متال شکل داده شده پس از خارج شدن از preforming وارد فضای گرمی میشود که از حالت سردی خارج شود و قبل از ورود به Extruder (اکسترودر) (که ذیلا" توضیح داده خواهد شد) گرمای کمی داشته باشد. لازم به ذکر است دو دستگاه فوق

وقتی به کار می افتند که محصول تولیدی نیاز به متال (نوارهای فلزی) داشته باشد در غیر این صورت نیازی به این دو دستگاه فوق نیست (طبق توضیحات مسئول فنی کارخانه، پنجشنبه هر هفته نوع تولید و ساعت آن برای مدت یک هفته تعیین میگردد)

توضیحات فوق مختص خوراک فلزی محصول تولیدی بود. حال وارد قسمت خوراک کامپاند (نوارهای لاستیکی) محصول می شویم.

کامپاندها انواع مختلف دارند، گاهی در یک محصول از یک نوع کامپاند، گاهی دو نوع و در برخی از اوقات نیز از (که بسیار کم است) سه نوع کامپاند استفاده می کنند.

در حالتیکه در یک محصول از چند نوع کامپاند (بیش از یک انواع کامپاند) استفاده شود باید یک دستگاه کمکی به نزدیکی خط تولید منتقل شود آنگاه هر خط قادر است از طریق دو یا چند نوع کامپاند متفاوت تغذیه شود.

در این خط (LCM۲) دو Extruder موجود هر Extruder یک Termoregolator (ترمورگولاتور) به همراه دارد یعنی بدین گونه که کامپاند وارد ترمورگولاتور می شود و پس از گرم شدن و حرارت دیدن وارد Extruder شده و در خروجی Extruder به شکل خاصی تبدیل می شود (نکته ای که حائز اهمیت می باشد بسته به نوع محصول ممکن است یک Extruder روشن و یا دو Extruder روشن باشد که در هر حال سیکل کاری بصورت فوق است.

حال به طور مختصر مجدداً سیکل کاری را به همراه هر دو Extruder و متال بیان می کنیم. از دو طرف کامپاند وارد Extruder شده و از وسط، متال شکل داده شده وارد می شود. کامپاندهای حرارت دیده و متال گرم با هم ترکیب شده و از خروجی Extruder که دای نام دارد به شکل مورد نظر تغییر یافته، و وارد کوره پخت میشود.

حال مشخصات ترمورگولاتور ۷۰ ،ترمورگولاتور ۹۰ Caterpillar, Extruder ۹۰,۹۰نوار کش ۷۰،۹۰ Extruder را در ذیل بیان می کنیم.

ب- ترمورگولاتور ۷۰ :

توان مصرفی:۲٤.٦ KW

وظیفه: فرستادن آب گرم به داخل سیلندرهای Extruder با توجه به setpoint تعریف شده از روی کنترل دماهای خود ترمورگولاتور

ج- ترمورگولاتور ۹۰ :

توان مصرفی: ۲۷ KW

وظیفه: فرستادن آب گرم به داخل سیلندرهای Extruder با توجه به setpoint تعریف شده از روی کنترل دماهای خود ترمورگولاتور

د- اکسترودر ۷۰ :

توان مصرفی: ٤۲,۳ KW

وظیفه: این دستگاه وظیفه گرم کردن مواد اولیه (کامپاند) و نرم کردن آنها از طریق عبور جریان آب گرم از سیستمهای مربوطه را بر عهده دارد این مواد پس از نرم شدن با توجه به شکل دهانه خروجی (دای) به همان شکل جهت مرحله بعدی (پخت) آماده میشود.

ه - اکسترودر ۹۰ :

توان مصرفی: ۷۷ KW

وظیفه: این دستگاه وظیفه گرم کردن مواد اولیه (کامپاند) و نرم کردن آنها از طریق عبور جریان آب داغ از سیلندرهای مربوطه را بر عهده دارد این مواد پس از نرم شدن با توجه به شکل دهانه خروجی (دای) به همان شکل، جهت مرحله بعدی (پخت) آماده میشود هم طول سیلندر این دستگاه از ۷۰ Extruder بیشتر بوده و هم کامپاند و هم مواد اولیه سخت (گرانول) را به علت قدرت موتور بیشتر می تواند به عنوان خوراک بطلبد.

و- نوارکش:

توان مصرفی: ۱,۱ KW

شرح وظیفه: این دستگاه وظیفه کشش پروفیل را در کل طول خط بر عهده دارد.

حال ماده شکل داده شده پس از خارج شدن از Extruder وارد کوره پخت یا LCM میشود. LCM این خط بدین گونه است که توسط المنت، نمک را به حالت مذاب درمی آورند و ماده شکل داده شده در طی عبور از این نمک مذاب پخته می شود که طول این کوره حدود ۳۳ متر می باشد.

ز- شستشو گر- خنک کننده- تونل پخت

شستشو گر:

توان مصرفی: ۲,۲ KW

وظیفه: شستشو پروفیل پخته شده و آماده کردن آن جهت مرحله خنک نمودن پروفیل

خنک کننده:

توان مصرفی: ۲,۲ KW

وظیفه: خنک کننده پروفیل شسته شده

تونل پخت:

توان مصرفی: ۱٦۰ KW

وظیفه: پخت پروفیل توسط نمک مذاب وارد پخت شده پس از خارج شدن از کوره وارد شیکر می شود که وظیفه تکان دادن نوار و ریختن نمکهای چسبیده شده به نوار را دارد این شیکر دارای یک میل لنگ است که آن لنگ خوردن و ضربه وارد کردن به نوار را بر عهده دارد. پس از خارج شدن از شیکر وارد Washing (واشینگ) و سپس Cooling (کولینگ) میشود Washing وظیفه شستن نوار را با آب گرم دارد و کولینگ وظیفه خنک کردن نوار را دارد.

سپس محصول خروجی از Cooling توسط caterpillar (کاترپیلار) کشیده میشود یعنی کاترپیلار وظیفه کشیدن نوار در طول مسیر را دارد در بعضی مواقع ممکن است از دو کاترپیلار جهت کشیدن نوار استفاده شود یکی تقریبا" در وسط خط و یکی در آخر خط قرار دارد.

ح - برشگر:

توان مصرفی: ۱,۱ KW

وظیفه: این دستگاه وظیفه برش پروفیلهای تکمیل شده پس از کلیه مراحل شکل گیری و پخت و شستشو و غیره را بر عهده دارد.

٤-۲-۲- خط PG٤ (Hot Air)

در ابتدا این خط دستگاه preforming برای فرم دادن متال (فلز) قرار دارد. خروجی این دستگاه متال فرم داده شده است که برای اینکه وارد Extruder شود ابتدا

توسط سشوار (پیش گرم کن) گرم میشود مشخصات preforming در صفحات قبل در قسمت توضیح خط LCM۲ داده شده است.

نام دستگاه: preheating

توان مصرفی: KW ٦,٧~٥

وظیفه: این دستگاه وظیفه پیش گرم کردن متال را بر عهده دارد.

حال برای اینکه بتوانیم کامپاند را وارد Extruder کنیم لازم است وسیله ای این کامپاند را کشیده و به سهولت در اختیار Extruder قرار دهد که این کار توسط دستگاه (رابرفیدر)rabberfeider صورت می گیرد بدین گونه که کامپاند را از روی بالت کشید، و مقداری اندک حدود m ۲ (یعنی حدود m ۲ می کشد) در خود نگه می دارد تا کامپاند براحتی واردExtruder شود.

نام دستگاه: rubberfeider

توان مصرفی: KW ۱

کامپاند پس از کشیده شدن وارد قیف Extruder می شود در این خط دو ترمورگولاتور و Extruder دو موجود است. ترمورگولاتور دو نوع است یکی ۷۰ و دیگری ۹۰ که وظیفه هر دو گرم کردن آب و فرستادن آن به سمت سیلندرهای Extruder جهت نرم کردن کامپاند می باشد. اما با توجه به setpoint تعریف شده از کنترل دمای خود رگلاتور صورت می گیرد.

بنابراین هر Extruder متصل به یک رگلاتور است حال که کامپاند وارد Extruder شد و از طرفی آب گرم هم وارد سیلندر Extruder شد. پس از نرم شدن کامپاند با توجه به دهانه خروجی (دای) به همان شکل جهت مرحله بعدی آماده می شود.

قطر و طول سیلندر Extruder ۷۰ از Extruder ۹۰ کمتر بوده و کامپاند را به عنوان خوراک می طلبد مشخصات Extruder ۷۰ و Extruder ۹۰ در قسمت توضیح خط LCM۲ آورده شده است.

محصول شکل گرفته خارج شده از Extruder وارد دستگاهی بنام UHF می شود که تقریباً شبیه مایکروفر می باشد (از لحاظ عملکرد) و دارای ۹ ژنراتور برای تولید اشعه می باشد که این ژنراتورها قابل تنظیم اند. در حالت min یک ژنراتور روشن شده و در حالتmax ژنراتورهای روشن شده ۷ تا بوده است. محصول در این دستگاه

به حالت نیم پخت در می آید. محصول نیم پخت پس از خارج شدن ازUHF وارد Hot Air میشود.

مشخصات UHF بصورت زیر است:

توان مصرفی: ۳۲ KW

محصول پس از خروج ازUHF و قبل از ورود به Hot Air از زیر یک هواکش عبور می کند تا دود حاصله از پخت خارج می شود و سپس محصول وارد Hot Air می گردد در این خط دو Hot Air موجود می باشد که به عنوان کوره پخت محسوب می شود سیستم Hot Air بطور کل با سیستم LCM متفاوت است بدین صورت که هر Hot Air به سه قسمت تقسیم می شود و هر قسمت یک فن و یک المنت مجزا دارد (یک سری فن و المنت) یعنی با روشن شدن المنتها، فنها روشن می شوند در ضمن دور موتور و درجه حرارت المنتها قابل تنظیمند. این دستگاه تا حرارت۳۰۰ را تحمل می کند. از این دستگاه تا کنون حداقل دمایی که با آن کار کرده اند حدود بوده و حداکثر دما همان بوده است.

بعد از Hot Air اول Hot Air دوم وجود دارد با همان مشخصات قبلی ولی در موقع استفاده معمولاً دمای آن از دمای اولی پایین تر است و ممکن است در بعضی مواقع خاموش باشد.

مشخصات Hot Air بصورت زیر است:

توان مصرفی: ۹۷ KW

شرح وظیفه: این دستگاه مرحله پخت پروفیل شکل گرفته را کامل می کند به عبارت دیگر با پخت دو مرحله ای پروفیل (پس از شوک هیتر) پروفیل دیگر شکل گرفته و آماده شستشو و برش است.

پس از کامل شدن مرحله پخت پروفیل آماده cooling می باشد که مسئولیت خنک نمودن محصول را دارد. در این خط قسمت واشینگ (washing) نداریم بدلیل اینکه در کوره پخت از نمک استفاده نمی شود و لزومی برای استفاده از washing نیست بعد از دو دستگاهcooling یک دستگاه کاترپیلار به جهت کشش محصول وجود دارد که مشخصات آن قبلا آورده شده است.

٤-٢-٣- خط PG٣

این خط دقیقا" شبیه خط تولید LCM٢ می باشد و تنها تفاوتی که با آن دارد این است که در LCM٢ توسط المنتهایی که در آن تعبیه شده نمک بصورت مذاب درآمده و باعث پخت کامپاندها می گردد اما در PG٣ توسط روغن داغ نمک مذاب می گردد. در مابقی سیکل تولید دقیقا" همان مراحل LCM٢ است.

٤-٣- بررسی منحنی بار کارخانه

بار این کارخانه صنعتی متشکل از ٧ قسمت تأثیر گذار کوچک و بزرگ می باشد . با توجه به نمونه برداریهای با زمان نیم ساعته به منحنی های مصرف دستگاه ها و در نهایت کل کارخانه دسترسی حاصل شده است. جدول (٤-١) در صفحه بعد مصرف این ٧ دستگاه و کل کارخانه (با میانگین گیری از نمونه گیری نیم ساعته و با واحد کیلووات) را در هر ساعت از شبانه روز نشان می دهد .

جدول (٤-١) - مصرف دستگاهها و کل کارخانه (با میانگین گیری از نمونه گیری نیم ساعته و با واحد کیلووات)

ساعت	خط تولید ١	خط تولید ٢	خط تولید ٣	خط تولید ٤	خط تولید ٥	خط تولید٦	خط تولید ٧	جمع
١	١/٥٥	١/١٠	١١/١٥	٦/١٥	١٢/٦٠	٩١/٦٠	٤١/٣٠	١٦٥/٤٥
٢	٢/٣٠	٠/٧٩	١٠/١٥	٦/٣٥	١٢/١٥	٩٣/٧٥	٤٠/٣٥	١٦٥/٨٤
٣	٢/٢٥	٠/٨٦	٨/٨٥	٥/٢٠	١٢/١٤	٥٩/١٥	٣٨/٤٠	١٢٦/٨٥
٤	٢/٢٥	٠/٨١	٨/٧٥	٤/٨٠	١٥/٠٩	٤٥/٩٥	٣٦/٨٠	١١٤/٤٥
٥	٠/٧٠	٠/٨٠	٩/٠٠	٤/٢٥	١٦/٥٤	٧٤/٦٥	٢٢/٥٠	١٢٨/٤٤
٦	٨٥/٠٥	٠/٧٦	٨/٧٠	٤/٦٠	١٢/٦٠	٦٨/٠٠	٣٨/٧٥	٢١٨/٤٦
٧	٩٦/٤٥	٠/٩٨	١٤/٦٠	٤/٦٥	١٨/٠٥	٣٨/٠٥	٣٩/٤٠	٢١٢/١٨
٨	٧٨/٩٠	٠/٧٨	٨/٤٥	٤/٩٥	١٣/٥٧	٨٣/٤٥	٣٣/٣٠	٢٢٣/٤٠
٩	١١١/١٠	١٧/٣١	١٣/٢٥	٤/٩٠	١٤/٥٢	٩٠/٢٥	٤٢/٩٥	٢٩٤/٢٨
١٠	١٢٠/٣٥	٣٣/٨٠	١٠/٠٠	٥/٧٥	١٦/٦١	٨٨/٣٥	٣٢/٥٠	٣٠٧/٣٦
١١	١٠٠/١٥	١٢/٠٢	١١/٨٥	٥/٦٥	١٤/٤٠	٦٣/٤٥	٤٢/٨٥	٢٥٠/٣٧
١٢	١٣٤/٨٠	٩/١٥	١٠/٧٠	٥/٤٠	١٢/٧٩	٨٧/٨٠	٦٨/٢٠	٣٢٨/٨٤

۱۳	۱۱۰/٦٥	۱۰/٤۰	۱۱/٤۰	٥/۷۰	۱٦/۲۰	.۸۷/۹٥	٤۰/۱۰	۲۸۲/٤۰
۱٤	۷۳/٦٥	۱/۲٥	۹/٥٥	٤/٦٥	۱٤/٥۰	۷۰/۷٥	۲۰/۱۰	۱۹٤/٤٥
۱٥	۱۲۷/۸۰	۱۰/۲۰	۱۲/٦۰	٦/٦٥	۱٥/٥۰	۹٥/۸۰	٤٦/۳٥	۳۱٤/۹۰
۱٦	۱۲۰/۳۰	۲٥/٦٥	۱۲/۹۰	٥/٥۰	۱٤/۷۳	۸۸/۰۰	٦۹/٥۰	۳۳٦/٥۸
۱۷	۱۲۳/۹٥	۱۸/۲٥	۱۲/٤٥	٥/۸۰	۱۷/۱۸	۹۲/۷۰	٦۹/۹٥	۳٤۰/۲۸
۱۸	۷/۲٥	۱/۸٥	۱۲/۲۰	٦/۰٥	۱۸/۹۰	٦۷/۸۰	٦٤/۹٥	۱۷۹/۰۰
۱۹	۷۹/۳٥	۲۱/۳٥	۱۱/۰٥	٥/۱٥	۱۲/۲۰	۸۹/۹٥	٦٦/۷۰	۲۸٥/۷٥
۲۰	۱۲۱/۸۰	۱۳/٥۲	۱۳/۱٥	٥/۷٥	۱٤/۱۰	۹۳/۸٥	۲٥/٥۰	۲۸۷/٦۷
۲۱	٦۱/۱۰	٤/۹٦	۹/۷۰	٦/۲٥	۱۳/۱۰	۹٤/۷۰	۳۳/٦۰	۲۲۳/٤۱
۲۲	۲۹/۸٥	۱/۸٦	۱٤/۰۰	٥/۲۰	۱۱/۹٥	۹٤/۳٥	۳٤/۰۰	۱۹۱/۲۱
۲۳	۱۳٦/۰۰	٤٥/۱٥	۱۲/۱۰	٥/۸٥	۱۳/۰۰	۹۲/۹٥	۳٥/۱٥	۳۳۷/۲۰
۲٤	۷۰/۸٥	۲۱/۳٥	۱۳/۷۰	٥/۷۰	۱۱/۹٦	۹۲/۱۰	٤۰/٤۰	۲٥٦/۰٦

ادامه جدول (٤-۱) - مصرف دستگاهها و کل کارخانه (با میانگین گیری از نمونه گیری نیم ساعته و با واحد کیلووات)

٤-٤- مدل سازی مسئله مدیریت بار از دیدگاه مصرف کننده :

منظور از مدل سازی مسئله اصلاح بار ، بیان این خواسته به صورت یک مسئله بهینه سازی ریاضی به صورت زیر است :

$$\min f(X)$$

$$g_i(X) \le 0 \qquad i = ۱،۲,\ldots,m$$

$$h_j(X) = ۰ \qquad j = ۱،۲,\ldots,p \qquad (۱-٤)$$

$$X = [\, x_۱,x_۲,\ldots,x_t]^T$$

که در روابط فوق $f(X)$ تابع هدف ، $g_i(X)$ ها قیدهای نامساوی ، $h_j(x)$ ها قید های مساوی هستند و X نیز بردار طراحی می باشد .

حل مسئله مزبور در چند مرحله زیر انجام می پذیرد :

۱- تعیین تابع هدف مناسب برای اصلاح منحنی بار

۲- تعیین قیدهای واقعی مسئله بهینه سازی با توجه به واقعیتهای حاکم بر مصرف کل

۳- اصلاح منحنی بار هر دستگاه با توجه به منحنی بار بهینه کل کارخانه (فرض بر این است که مصرف کل کارخانه مجموع n بار یا دستگاه باشد .)

٤-٤-١- تعیین تابع هدف

برای این مسئله تابع هدف را به صورت زیر در نظر می گیریم :

$$J(X) = \sum_{i=1}^{24} c_i * x_i \qquad (٤-٢)$$

که بردار طراحی X دارای ٢٤ عضو به صورت x_1 تا x_{24} می باشد که به ترتیب همان مصرف مجموعه تحت بهینه سازی از ساعت ۱ الی ٢٤ است .

لازم به ذکر است که در مدل سازی این مسئله نمونه برداری از بار هر نیم ساعت یک بار انجام گرفته شده است و تعداد نمونه برداری را تا ۸ نمونه در ساعت (هر هفت و نیم دقیقه یک نمونه) در صورت لزوم می توان افزایش داد .البته در مدل سازی از نمونه برداریها میانگین گرفته و در اصل با نمونه برداریهای یک ساعته مسئله بررسی می شود.

C_i : ضریب تأثیر مصرف x_i در تابع هدف $J(X)$

C_i ها در حقیقت بیانگر مضربی از هزینه مصرف انرژی در ساعت i ام می باشند بدین صورت که در ساعات پیک c_i ها را بزرگتر از سایز ساعات در نظر می گیریم تا ضمن انجام عملیات بهینه سازی خود به خود تأثیر مصرف در ساعات پیک کاهش یابد .

٤-٤-٢- تعیین قیدهای مسئله بهینه سازی مصرف

قیدهایی که به طور طبیعی در مسئله بهینه سازی باید مورد بررسی قرار گیرند به صورت زیر می باشند :

اولاً : متغیرهای طراحی کمیتهای مثبتی هستند و فرض می شود هیچ مصرف کننده ای نمی تواند در هیچ بازه زمانی به تولید کننده تبدیل شود .

ثانیاً : انرژی مصرفی کل مجموعه پس از بهینه سازی نباید تغییر کند . برای محاسبه انرژی مصرفی کل که همان انتگرال منحنی بار است از تقریب ذوزنقه ای به صورت زیر استفاده می شود :

$$E = [\frac{1}{2}(x_{۱}+x_{۲٤})+\sum_{i=2}^{23} x_i\ ] \times (\text{یک ساعت}) \qquad (٤-٣)$$

که رابطه فوق به صورت یک قید مساوی و به صورت زیر در مسئله بهینه سازی وارد می شود .

$$\Delta E = [\ ۱/۲(x_{۱}+x_{۲})+\sum_{i=2}^{23} x_i\ ] \times (\text{یک ساعت}) - E^{*} = ۰ \qquad (٤-٤)$$

که E^{*} کمترین مقدار انرژی الکتریکی مصرفی واحد صنعتی است طوری که چرخه کار واحد صنعتی مختل نگردد .

سایر قیدهای نامساوی نیز به صورت زیر می باشند :

$$x_{iL} \le x_i \le x_{iu} \qquad i=۱،۲,\ldots,۲٤$$

قیدهای اخیر از این واقعیت سرچشمه می گیرند که تغییر میزان مصرف بار در هر ساعت در یک محدوده ای امکان پذیر و عملی است که توسط مدیریت توزیع بار شهرک صنعتی تعیین می گردد .

بنابر آنچه که گفته شد مسئله بهینه سازی جهت اصلاح منحنی بار به صورت زیر فرموله می شود :

$$J(X) = \sum_{i=1}^{24} c_i * x_i$$

$$E=[۱/۲(x_۱+x_{۲٤})+\sum_{i=2}^{23} x_i\ ] \times (\text{یک ساعت}) - E^* = ۰ \qquad (٥-٤)$$

$$X_{iL} \le X_i \le X_{iu} \qquad i = ۱،۲,....,۲٤$$

که با انجام شبیه سازی کامپیوتر بر روی روابط (٤-٥) منحنی بار کارخانه به صورت بهینه سازی شده به دست می آید .

٤-٤-٣- اصلاح منحنی بار هر دستگاه بر اساس منحنی بار کارخانه

فرآیند بهینه سازی منحنی بار ارائه شده در بخشهای قبلی هنوز کامل نشده است . هرچند که منحنی مصرف مطلوب پس از حل مسئله بهینه سازی ارائه شده است ولی هنوز یک سؤال بدون پاسخ مانده است و آن چگونگی تقسیم مازاد و کمبود مصرف در هر ساعت که ناشی از تفاوت منحنی مصرف واقعی و منحنی مصرف به دست آمده از حل مسئله بهینه سازی بین دستگاه های مختلف موجود در کارخانه تحت بررسی می باشد . تعیین سهم هر بار در کاهش یا افزایش مصرف خود به صورت یک مسئله بهینه سازی قابل بیان می باشد .

الف - انتخاب تابع هدف

هر مرحله بعدی از فرآیند مدیریت بار توزیع مناسب تفاوت بار موجود و بار بهینه بین دستگاه ها است به گونه ای که تغییرات نسبی مصرفی بارها در هر ساعت کمترین مقدار ممکن را داشته باشد برای این منظور ابتدا متغیرهای $y_۱$ تا $y_{۲٤}$ را بصورت زیر تعریف می کنیم :

$$y_i = x_i - x_i^* \qquad i = ۱،۲,....,۲٤$$

که در آن

x_i : توان مصرفی کل مجموعه بهینه شده در ساعت i ام

x_i^* : توان مصرفی کل مجموعه قبل از بهینه سازی در ساعت i ام

y_i : افزایش مصرف لازم در ساعت i ام

می باشند .

در آن صورت تابع مصرف به صورت زیر خواهد شد :

$$j_1(p_r) = a_{ij}p^2_{ij} \quad , \quad p_{ij} = x_{ij} - x_{ij}^* \qquad (٦-٤)$$

که در آن

p_{ij}: میزان افزایش مصرف بار j ام در ساعت i ام می باشد .

تابع فوق یک تابع درجه دوم است و ضریب a_{ij} اهمیت میزان تغییر توان هر واحد را تعیین می کند . هر چه مقدار a_{ij} بیشتر در نظر گرفته شود تغییرات بار در آن واحد کمتر می شود . انتخاب ضرائب a_{i1} تا a_{in} طوری در نظر گرفته می شود که هر باری در ساعت i ام دارای مصرف بیشتری بود تغییرات بیشتری داشته باشد به عبارت دیگر :

$$a_{ij} = \frac{1}{x^*_{ij}} \qquad i = ١،٢,\ldots,٢٤ \quad , \quad j = ١،٢,\ldots,n \qquad (٧-٤)$$

(n تعداد بارها را نشان می دهد .)

بنابراین تابع هدف به صورت زیر تبدیل می شود :

$$j_2(X) = \sum_{j=1}^{24} x_{ij}\left(\frac{p_{ij}}{x^*_{ij}}\right)^2 \qquad (٨-٤)$$

این تابع هدف تضمین می کند که بارهای با مصرف بیشتر نقش بیشتری در بهینه سازی را داشته باشند .

ب – انتخاب قیدهای مسئله بهینه سازی

قید هایی که برای این مسئله در نظر گرفته می شوند به صورت زیر می باشند :

$$\sum_{j=1}^{n} P_{ij} = y_i \qquad i= ۱،۲,\ldots,۲٤ \qquad (۹-٤)$$

و نیز

$$P_{ij}^{L} \le P_{ij} \le P_{ij}^{u}$$

$$P_{ij}^{u} = \left|\frac{x_i - x_i^*}{x_i^*}\right| x_{ij}^* \qquad i= ۱،۲,\ldots,۲٤ \qquad (۱۰-٤)$$

$$P_{ij}^{L} = - \left|\frac{x_i - x_i^*}{x_i^*}\right| x_{ij}^* \qquad j= ۱،۲,\ldots,n$$

قید (٤-۹) بیانگر این واقعیت است که مجموع توانهای توزیع شده بین بارها در هر ساعت باید با تفاوت مصرف موجود و بهینه در آن ساعت برابر باشند و روابط (٤-۱۰) نیز کران بالا و پائین تغییرات هر بار در هر ساعت را بیان می کند که محدوده مجاز تغییرات هر بار ضریبی از مقدار بار در همان ساعت است و ضریب آن یعنی $\pm\left|\frac{x_i - x_i^*}{x_i^*}\right|$ به میزان تغییرات نسبی کل منحنی بار مجموع در ساعت i ام بستگی دارد یعنی هرچه تغییرات نسبی کل بار بیشتر باشد پیش بینی می نمائیم که تغییرات لازم برای هر بار نیز بیشتر باشد .

که در نهایت این مسئله با تابع هدف (٤-۸) و قیود (٤-۹) و(٤-۱۰) به یک مسئله بهینه سازی تبدیل می شود و سهم هر دستگاه در تأمین منحنی بار بهینه شده قابل تعیین می باشد .

فصل پنجم:

مروری بر روشهای هوشمند

(الگوریتم الگوی جستجو – الگوریتم ژنتیک – شبکه های عصبی)

۵-۱- مقدمه

هر سیستمی هنگام طراحی و ساخت نیاز دارد که کلیه اجزای تشکیل دهنده اش بهینه گردد , تا علاوه بر صرفه های اقتصادی , بازده آن نیز افزایش روشهای مختلفی جهت بهینه سازی ارائه گردیده است . در این پروژه سعی شده است که از چند روش هوشمند مسئله مدیریت بار مورد تحلیل قرار گرفته و شبیه سازی شوند . روشهای مورد استفاده در این پروژه عبارتند از :

۱- الگوریتم الگوی جستجو Pattern Search Algorithm

۲- الگوریتم ژنتیک Genetic Algorithm

۳- شبکه های عصبی Neural Network

دو روش اول یعنی الگوریتم الگوی جستجو و الگوریتم ژنتیک مثالهایی از روش های جستجوی مستقیم می باشند .

جستجوی مستقیم روشی است برای حل مسائل بهینه سازی که در آن نیازی به اطلاعات در مورد گرادیان تابع هدف نمی باشد . بر خلاف روش های سنتی بهینه سازی که در آن اطلاعات در مورد گرادیان و مشتقات مرتبه بالاتر تابع هدف برای جستجو در مورد پاسخ مسئله ضروری می باشد , یک روش جستجوی مستقیم الگوریتمی ارائه می دهد که در آن یکسری نقاط در نزدیکی نقطه شروع مورد بررسی قرار می گیرند تا نقطه ای که با ازای آن مقدار تابع هدف کمتر از مقدار فعلی می باشد بدست می آید . روش جستجوی مستقیم را می توان برای حالتی که تابع هدف مشتق پذیر نبوده و یا گسسته می باشد نیز بکار برد .

۵-۲- الگوریتم الگوی جستجو

الگوریتم الگوی جستجو یکسری نقاط را محاسبه می کند که رفته رفته این نقاط به نقطه بهینه نزدیک و نزدیکتر می شوند . در هر مرحله , الگوریتم یکسری نقاط نزدیک نقطه فعلی را جستجو می کند که به آن پوسته (Mesh) می گویند , که با اضافه کردن ضریب اسکالری ار یکسری بردارهای ثابت تشکیل می شوند . در این موقع نقاط پوسته موجود مورد بررسی

قرار می گیرند و اگر نقطه ای روی این پوسته تابع هدف را کمتر از مقدار کنونی نماید این نقطه به عنوان نقطه جدید انتخاب شده و الگوریتم فوق مجددا تکرار می گردد .

۵-۲-۱- ساختار الگوی جستجو

در یک مسئله استاندارد ساختار الگوی جستجو را می توان به سه قسمت زیر تقسیم نمود :

الف – الگوها

ب – پوسته ها

ج – ارزیابی

الف – الگوها

یک الگو یک اجتماع از بردارهایی است که الگوریتم از آنها استفاده می نماید تا در هر تکرار به نقاط جدیدتری دستیابی داشته باشد .

به عنوان مثال اگر در یک مسئله بهینه سازی فقط دو متغیر مستقل داشته باشیم در آن صورت الگوی از پیش انتخاب شده برای این مسئله بردارهای زیر خواهند بود :

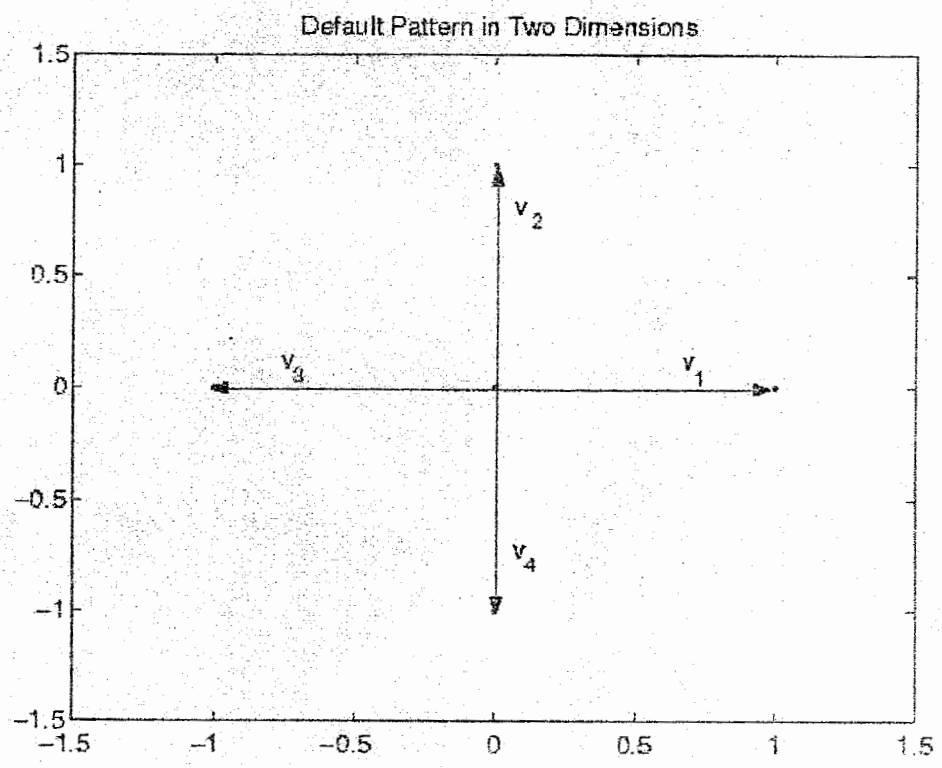
$V۱ = [\ ۱\ \ ۰\ ]$

$V۲ = [\ ۰\ \ ۱\ ]$

$V۳ = [\ -۱\ \ ۰\ ]$

$V٤ = [\ ۰\ \ -۱\ ]$

شکل(۵-۱) این بردارها را نشان می دهد.



شکل (٥-١) – بردارهای الگوی جستجو برای حالت دو بعدی

ب – پوسته ها

در هر مرحله , الگوریتم الگوی جستجو یکسری نقاط را بنام پوسته بررسی می کند تا نقطه ای برای حداقل کردن مقدار تابع هدف بدست آورد . الگوریتم پوسته مذکور را در مورد دو مرحله تشکیل می دهد .

در مرحله اول یک عدد اسکالر به نام اندازه پوسته در بردارهای الگو ضرب می شوند .

در مرحله دوم بردارهای حاصل را با نقطه فعلی (نقطه ای که در مرحله قبل بعنوان نقطه بهینه انتخاب شده است) جمع می نمائیم .

به عنوان مثال فرض کنید که نقطه فعلی [٣/٤ ١/٦] باشد و الگو نیز شامل بردارهای زیر باشد :

$V1 = [\ 1\ \ 0\ ]$

$V2 = [\ 0\ \ 1\ ]$

$V3 = [\ -1\ \ 0\ ]$

$V4 = [\ 0\ \ -1\ ]$

و اندازه پوسته در حال حاضر ٤ باشد .

الگوریتم فوق بردارهای الگو را در عدد ٤ ضرب نموده و حاصل را با نقطه فعلی جمع می نماید و در نهایت به پوسته ای به صورت زیر می رسیم :

$[\ 1{,}6\ \ 3{,}4\ ] + 4 * [\ 1\ \ 0\ ] = [\ 5{,}6\ \ 3{,}4\ ]$

$[\ 1{,}6\ \ 3{,}4\ ] + 4 * [\ 0\ \ 1\ ] = [\ 1{,}6\ \ 7{,}4\ ]$

$[\ 1{,}6\ \ 3{,}4\ ] + 4 * [\ -1\ \ 0\ ] = [\ -2{,}4\ \ 3{,}4\ ]$

$[\ 1{,}6\ \ 3{,}4\ ] + 4 * [\ 0\ \ -1\ ] = [\ 1{,}6\ \ -0{,}6\ ]$

ج – ارزیابی

در هر مرحله , الگوریتم نقاط موجود در پوسته را با محاسبه مقادیر تابع هدف در آن نقاط مورد ارزیابی قرار می دهد . این ارزیابی می تواند ارزیابی کلی یا جزئی باشد . در حالت ارزیابی جزئی , الگوریتم به محض اینکه با نقطه ای روی پوسته مواجه گردید که مقدار تابع هدف در آن نقطه کمتر از نقطه ابتدایی بود به کار خود پایان می دهد و این نقطه را بعنوان نقطه بهینه انتخاب می کند و نتیجه ارزیابی موفقیت آمیز تلقی می گردد . سپس تکرار بعدی از این نقطه شروع می گردد . در صورتیکه هیچ نقطه ای روی پوسته مقدار تابع هدف را کمتر از مقدار کنونی ننماید نتیجه ارزیابی ناموفق خواهد بود و تکرار بعدی مجددا از همین نقطه شروع خواهد شد .

در حالت ارزیابی کلی , الگوریتم ابتدا مقادیر تابع هدف را برای تمام نقاط روی پوسته محاسبه می کند و سپس کوچکترین مقدار آنها را با مقدار تابع هدف در نقطه فعلی مقایسه می نماید . اگر کوچکترین مقدار تابع هدف به ازای نقاط روی پوسته از مقدار تابع هدف در نقطه فعلی کمتر بود در آن صورت ارزیابی موفقیت آمیز خواهد بود .

۵-۲-۲- الگوی جستجو چگونه عمل می کند ؟

الگوی جستجو یک رشته از نقاط پست سر هم X_0 , X_1 , . . . را بدست می آورد به طوریکه این نقاط رفته رفته به نقطه بهینه نزدیکتر می شوند . به عبارت دیگر مقدار تابع هدف از هر نقطه به نقطه بعدی رو به کاهش است .

برای اینکه عملکرد این الگوریتم را بهتر متوجه شویم به یک مثال می پردازیم .

در این مثال نقطه [۱/۷ ۲/۱] = X_0 را به عنوان نقطه شروع در نظر می گیریم .

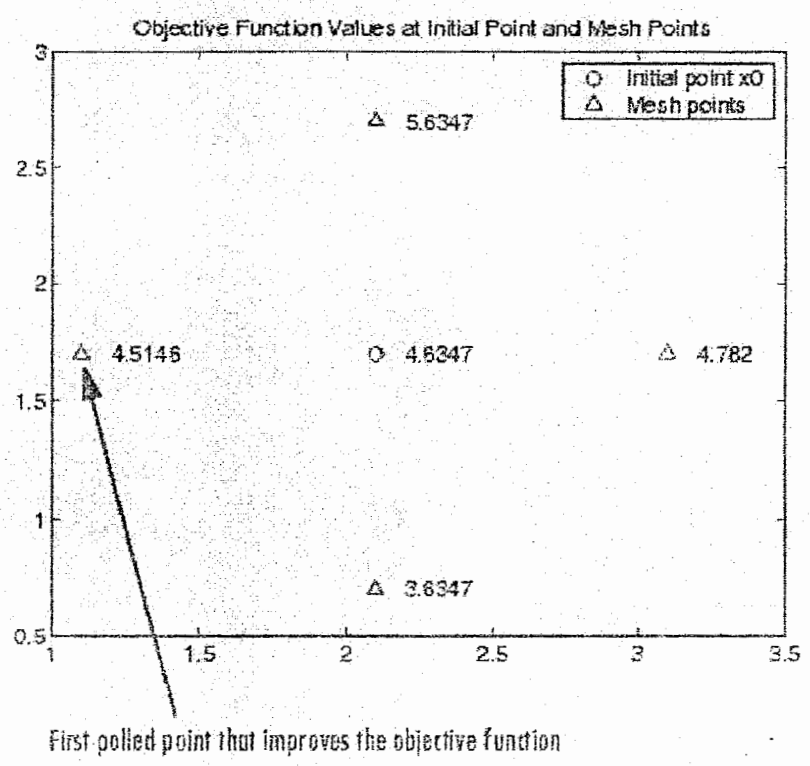
$$X_0 = [\ ۲,۱ \quad ۱,۷\ ]$$

تکرار اول

در تکرار اول , اندازه پوسته را برابر ۱ فرض می کنیم در آن صورت برای بدست آوردن پوسته مقادیر بردارهای به الگو را به نقطه اولیه X_0 اضافه می نمائیم که نقاط روی پوسته زیر بدست می آیند :

$$[\ ۱ \quad ۰\ ] + X_0 = [\ ۳,۱ \quad ۱,۷\ ]$$
$$[\ ۰ \quad ۱\ ] + X_0 = [\ ۲,۱ \quad ۲,۷\ ]$$
$$[\ -۱ \quad ۰\ ] + X_0 = [\ ۱,۱ \quad ۱,۷\ ]$$
$$[\ ۰ \quad -۱\ ] + X_0 = [\ ۲,۱ \quad ۰,۷\ ]$$

سپس الگوریتم مقدار تابع هدف به ازای نقاط فوق را به ترتیب محاسبه می نماید . شکل (۵-۲) نقطه شروع (X_0) و نقاط پوسته حاصل و نیز مقدار تابع هدف در نقاط روی پوسته را نشان می دهد .



شکل (٥-٢) – نقطه شروع (X٠) و نقاط پوسته حاصل

الگوریتم به ترتیب ارائه شده در بالا شروع به ارزیابی نقاط بدست آمده برای پوسته می کند و به محض اینکه به نقطه ای رسید که به ازای آن مقدار تابع هدف کمتر از مقدار آن در نقطه کنونی (X٠) باشد یعنی ٤/٧٤٣٦ در آن صورت این نقطه را به عنوان X١ (نقطه بهینه انتخاب شده) تعیین می نماید . با توجه به شکل (٥-٢) چنین اتفاقی در نقطه [١/٧ ١/١] رخ می دهد . در این نقطه مقدار تابع هدف ٤/٥١٤٦ می باشد .

بنابراین در این نقطه نتیجه ارزیابی موفقیت آمیز می باشد .

برای مرحله بعدی نقطه X١ بعنوان نقطه شروع در نظر گرفته می شود .

$$X١ = [\ ١,١ \quad ١,٧\ ]$$

باید متذکر شد که نقطه بدست آمده X١ در حالت ارزیابی جزئی انتخاب گردیده است یعنی مقدار تابع هدف برای تمام نقاط روی پوسته محاسبه نگردیده است . و به محض اینکه مقدار

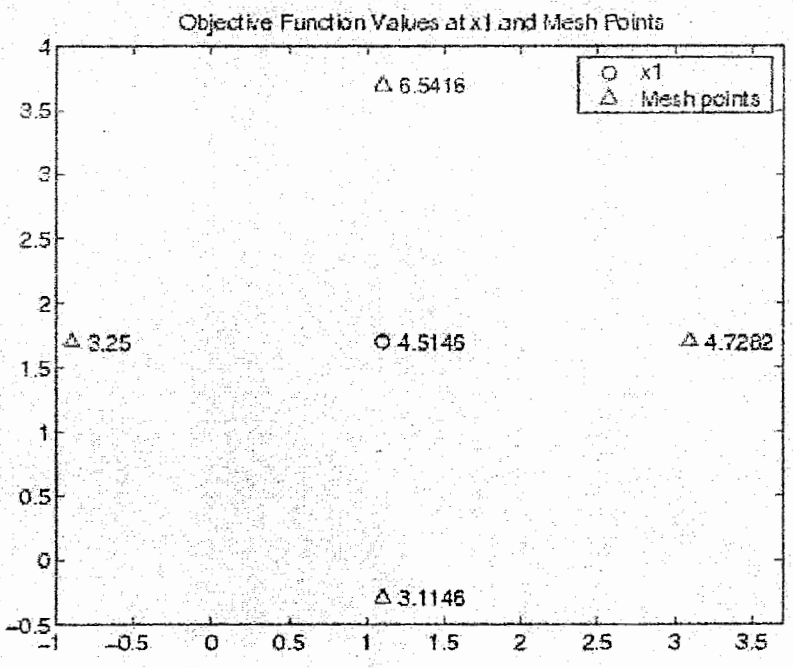
تابع هدف در نقطه ای کمتر از مقدار آن به ازای نقطه کنونی گردید مرحله ارزیابی به پایان رسیده است و نقطه فوق به عنوان نقطه شروع در نظر گرفته می شود.

تکرار دوم

بعد از یک ارزیابی موفق , الگوریتم اندازه پوسته را در عدد ۲ ضرب می نماید. این عدد ضریب انبساط پوسته نام دارد . از آنجایی که در تکرار قبل اندازه پوسته برابر یک بود و اکنون بعد از یک ارزیابی موفق این عدد برابر ۲ می باشد در اینصورت نقاط پوسته برای این تکرار بصورت زیر خواهد بود :

$$۲ * [\ ۱ \quad ۰\ ] + X۱ = [\ ۳,۱ \quad ۱,۷\ ]$$
$$۲ * [\ ۰ \quad ۱\ ] + X۱ = [\ ۱,۱ \quad ۳,۷\ ]$$
$$۲ * [\ -۱ \quad ۰\ ] + X۱ = [\ -۰,۹ \quad ۱,۷\ ]$$
$$۲ * [\ ۰ \quad ۱-\ ] + X۱ = [\ ۱,۱ \quad -۰,۳\ ]$$

شکل (۵-۳) نقطه $X۱$ و پوسته حاصل از آن را به همراه مقدار تابع هدف در آن نقاط نشان می دهد .



شکل (۵-۳) – نقطه شروع ($X۱$) و نقاط پوسته حاصل

الگوریتم نقاط روی پوسته را به ترتیب فوق مورد ارزیابی قرار می دهد تا اینکه به نقطه ای با مقدار تابع هدف از ٤/٥١٤٦ برسد . اولین نقطه ای که چنین اتفاقی در آن می افتد نقطه [١/٧ -٠/٩] می باشد که در آن مقدار تابع هدف برابر ٣/٢٥ می باشد . بنابراین ارزیابی موفق می باشد . بنابراین الگوریتم نقطه ای شروع برای تکرار مرحله بعد را نقطه X٢ در نظر می گیرد .

$X^{٢} = [\ -٠,٩ \quad ١,٧\ ]$

از آنجایی که ارزیابی موفقیت آمیز می باشد , الگوریتم اندازه کنونی پوسته را در عدد ٢ ضرب می نماید و بنابراین اندازه پوسته برای تکرار سوم برابر ٤ می باشد .
برای تکرار سوم نقطه X٣ با یک ارزیابی موفق به صورت زیر بدست می آید :
بنابراین برای تکرار چهارم اندازه پوسته عدد ٨ خواهد بود .

$X^{٣} = [\ -٤,٩ \quad ١,٧\ ]$

تکرار چهارم

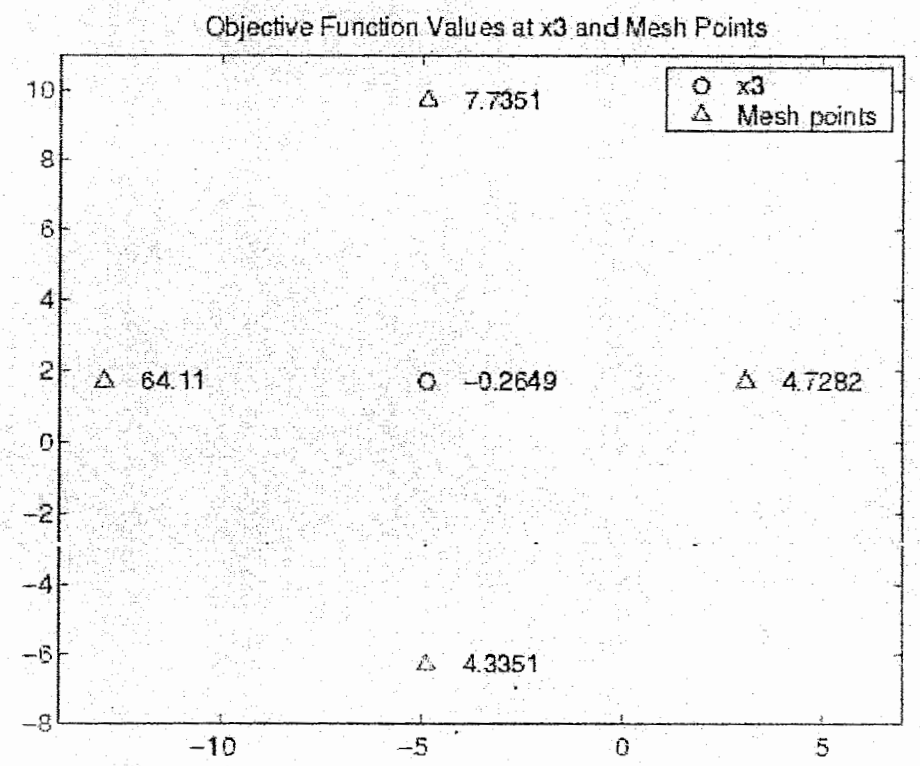
با توجه به اینکه در این مرحله نقطه شروع X٣ بصورت زیر می باشد :

$X^{٣} = [\ -٤,٩ \quad ١,٧\ ]$

و اینکه اندازه پوسته ٨ می باشد در این صورت نقاط پوسته به صورت زیر تعیین می گردند.

$٨ * [\ ١ \quad ٠\ ] + X^{٣} = [\ ٣,١ \quad ١,٧\ ]$
$٨ * [\ ٠ \quad ١\ ] + X^{٣} = [\ -٤,٩ \quad ٩,٧\ ]$
$٨ * [\ -١ \quad ٠\ ] + X^{٣} = [\ -١٢,٩ \quad ١,٧\ ]$
$٨ * [\ ٠ \quad -١\ ] + X^{٣} = [\ -٤,٩ \quad -٦,٣\ ]$

شکل (٥-٤) نقطه X٣ و پوسته حاصل از آن را به همراه مقدار تابع هدف در آن نقاط نشان می دهد .



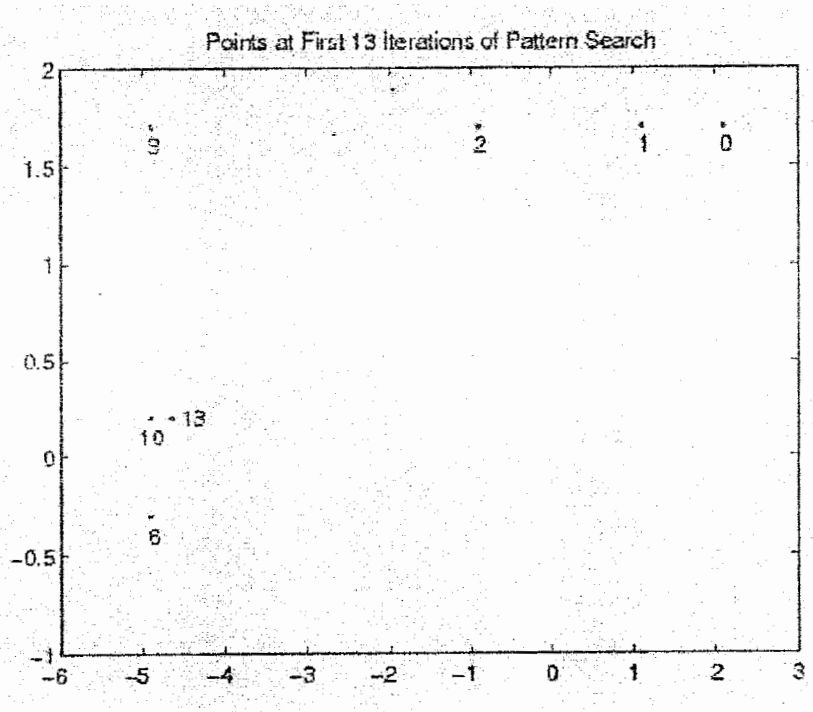
شکل (٥-٤) نقطه X۳ و پوسته حاصل به همراه مقدار تابع هدف در نقاط روی پوسته

در این تکرار , هیچکدام از نقاط روی پوسته مقدار تابع هدف کمتر از مقدار تابع هدف در نقطه X۳ ندارند . در این حالت الگوریتم نقطه شروع برای تکرار مرحله بعد را تغییر نمی دهد یعنی X٤=X۳ می باشد .

در این حالت برای تکرار مرحله بعد , الگوریتم اندازه پوسته را در عدد ۰/۵ ضرب می نماید این عدد ضریب انقباض پوسته نام دارد . بنابراین اندازه پوسته برای تکرار بعد عدد ٤ می باشد .

تکرارهای بعدی

الگوی جستجو برای این مثال ۸۸ تکرار تا قبل از توقف انجام می دهد . شکل (۵-۵) نقاط بدست آمده برای ۱۳ تکرار اول را برای الگوریتم الگوی جستجو به ترتیب نشان می دهد .



شکل (۵-۵) نقاط بدست آمده برای ۱۳ تکرار روش الگوریتم الگوی جستجو

۵-۲-۳- شرایط توقف الگوی جستجو

در یک مسئله با توجه به نظر طراح الگوریتم را می توان زمانیکه یکی از حالات زیر اتفاق می افتد متوقف نمود .

۱- اندازه پوسته کوچکتر از تلرانس تعریف شده برای پوسته باشد .

۲- تعداد تکرارهایی که توسط الگوریتم انجام گرفته است به تعداد حداکثر تعریف شده رسیده باشد .

۳- تعداد محاسبات انجام شده روی تابع هدف به مقدار ماکزیمم تعریف شده رسیده باشد .

٤- فاصله بین دو نقطه متوالی بدست آمده بعنوان نقطه بهینه از تلرانس تعریف شده کمتر باشد .

۵- تغییرات در مقدار تابع هدف به ازای دو نقطه بهینه متوالی کمتر از تلرانس تعریف شده برای تابع هدف باشد .

باید توجه داشت که در این الگوریتم امکان تعریف قیود مساوی و نا مساوی نیز می باشد . ولی این قیود روی توقف برنامه کنترلی ندارند .

۵-۳- روش الگوریتم ژنتیک

۵-۳-۱- مقدمه

الگوریتم ژنتیک , الگوریتمی مبنی بر تکرار است و اصول اولیه آن از علم ژنتیک اقتباس گردیده است . این الگوریتم که با تقلید از تعدادی فرایندهای مشاهده شده در تکامل طبیعی اختراع شده است , به طور موثری از معرفت قدیمی موجود در یک جمعیت استفاده می کند , تا حل های جدید و بهبود یافته ایجاد کند . این الگوریتم در مسائل متنوعی نظیر بهینه سازی , شناسایی و کنترل سیستم , پردازش تصویر و مسائل ترکیبی , تعیین توپولوژی و آموزش شبکه های عصبی مصنوعی و سیستمهای مبتنی بر تصمیم و قاعده به کار می رود. الگوریتم ژنتیک به دلیل تقلید نمودن از طبیعت دارای چند اختلاف اساسی با روش های جستجوی مرسوم می باشد که در زیر به تعدادی از آنها اشاره می کنیم :

۱- الگوریتم ژنتیک با رشته های بیتی کار می کند که هر کدام از این رشته ها کل مجموعه متغیرها را نشان می دهد . حال آنکه بیشتر روشها به طور مستقل با متغیرهای ویژه بر خورد می کنند .

۲- الگوریتم ژنتیک در هر تکرار چند نقطه از فضای جستجو را در نظر می گیرد .

۳- الگوریتم ژنتیک برای راهنمایی جهت جستجو , انتخاب تصادفی انجام می دهد که به این ترتیب به اطلاعات مشتق نیاز ندارد . مکانیسم هایی که تکامل روی موجود زنده را انجام می دهند تا کنون به طور کامل فهمیده نشده اند . اما تعدادی از ویژگی های این مکانیسم ها شناخته شده است .

در این جا تعدادی از ویژگی های یکی از تئوری هایی که بسیار پذیرفته شده است آورده می شود .

۱- تکامل , فرایندی است که روی رشته ها صورت می گیرد , نه روی موجود زنده ای که معرف آن رشته است .

۲- انتخاب طبیعی , پیوندی ما بین رشته ها و عملکرد ساختمان های رمز گشایی شده آنها است .

۳- فرایند تولید مثل , نقطه ای است که تکامل صورت می گیرد . تکامل ممکن است سبب شود که فرزند بیولوژی با والدین خود متفاوت باشد .

الگوریتم ژنتیک الگوریتم جستجویی است که از ویژگی های ذکر شده برای تئوری تکامل , الهام گرفته است . این الگوریتم به همان روشی که طبیعت , فرایند تکامل را انجام می دهد , تکامل را روی نمادهای ژنتیک مربوط به حل های یک مسئله بهینه سازی انجام می دهد .

الگوریتم ژنتیک چندین نقطه از فضای جستجو را به صورت همزمان در نظر می گیرد و بنابراین شانس اینکه به یک ماکزیمم محلی همگرا شود , کاهش می یابد . در بیشتر روش های جستجوی مرسوم (روش های گرادیان) , قاعده تصمیم حاکم به این صورت عمل می کند که از یک نقطه به نقطه دیگر حرکت می کند . این روش ها می توانند در فضاهای جستجو دارای چند بیشینه خطرناک باشند . زیرا ممکن است آنها به یک ماکزیمم محلی همگرا شوند . لیکن الگوریتم ژنتیک جمعیت های کاملی از نقاط (رشته ها) را تولید می کند سپس هر نقطه را به صورت انفرادی امتحان می کند و با ترکیب کیفیت های (محتویات) نقاط موجود , یک جمعیت جدید را که شامل نقاط بهبود یافته است , تشکیل می دهد .

۵-۳-۲- اصطلاحات الگوریتم ژنتیک

۱- رشته (کروموزوم) : آرایه ای از اعداد صحیح است که مقادیر عناصر این آرایه با توجه به نوع رشته تعیین می شود . مثلا در رشته بیتی این عناصر فقط صفر و یک می توانند باشند . این رشته ها مشخص کننده مجموعه متغیرهای بهینه سازی مساله مورد نظر هستند.

۲- ژن : بخشی از رشته که خصوصیات ویژه ای را مشخص می کند .

۳- نماد ژنتیک : به ترکیب ژنتیکی یا همان رشته , گفته می شود .

٤- نماد معرف : به خصوصیات قابل مشاهده یک جاندار گفته می شود که در مسائل بهینه سازی به بردار حقیقی حاصل از رمزگشایی یک رشته گفته می شود .

٥- نسل : یک دوره از زاد و ولد اعضاء یک جمعیت را یک نسل می گویند . به عبارت دیگر هر جایگزینی از جمعیت قدیمی به وسیله جمعیت جدید , یک نسل (زاد و ولد) نامیده می شود .

٦- برازندگی : در طبیعت به مقدار سازگاری و تطابق یک جاندار با محیط گفته می شود و در بهینه سازی به مقدار ارزیابی تابع هدف یا مقداری متناظر با آن به ازای یک رشته خاص , گفته می شود که نشان دهنده میزان مطلوب بودن آن رشته برای آن مساله خاص (تابع هدف) می باشد .

۷- تبادل ژنتیک : به جابجایی و مبادله قسمت های متناظر از دو رشته گفته می شود .

۸- جهش : به تغییر تصادفی و ناگهانی یکی از عناطر در یک رشته گفته می شود .

۵-۳-۳- اجزاء اساسی الگوریتم ژنتیک و تشریح کلی از الگوریتم ژنتیک

در حالت کلی هر الگوریتم ژنتیک دارای سه جزء اساسی زیر است :

۱- جزء ارزیابی ۲- جزء جمعیت ۳- جزء تولید مثل

۱- جزء ارزیابی : شامل یک تابع ارزیابی است که درستی هر رشته ای که در جمعیت وجود دارد را اندازه گیری می کند . در مورد این جزء نکته مهم این است که چیز مخصوصی درباره تابع ارزیابی , که آن را با الگوریتم ژنتیک گره بزند , وجود ندارد و به راحتی می توان هر تابع دیگری را به جای آن تابع به کار برد . البته مادامی که تعداد متغیرهای دو تابع و محدوده تغییرات متغیرها و دقت مورد نیاز آنها یکسان باشند . به عبارت دیگر , در الگوریتم ژنتیک هیچ اطلاعاتی درباره مساله ای که باید حل شود , وجود ندارد و تا آنجایی که به الگوریتم ژنتیک مربوط می شود , صرفا تولید مثل می کند و رشته های جدید تولید می کند و روی رشته های بیتی تولید شده به گونه ای عمل می کند که آنهایی که دارای ارزیابی بالاتری هستند , بیشتر اوقات تولید مثل کنند . فرایند رمز گشایی و تابع ارزیابی به راحتی می توانند جایگزین شوند . این تغیرات , تا مادامی که تعداد بیت های رشته ها ثابت بماند به تغییر اجزای دیگر الگوریتم ژنتیک نیاز ندارد .

۲- جزء جمعیت : شامل جمعیتی از رشته ها و تکنیک هاست که این تکنیک ها برای ایجاد و دستکاری آن جمعیت استفاده می شود .

۳- جزء تولید مثل : شامل روش هایی برای ایجاد رشته های جدید طوطی تولید است .

تداخل بین سه جزء یک الگوریتم ژنتیک موقعی که در حال اجراست , به این صورت می باشد که جزء جمعیت از جزء تولید مثل , جمعیت جدید را می خواهد . جزء تولید از جزء جمعیت , والدینی که باید در رخداد تولید مثل به کار برده شوند را طلب می کند . در هر رخداد تولید مثل , دو والد از جزء جمعیت گرفته شده و روی آنها عملکردهای تبادل و جهش اعمال می شود تا دو فرزند تولید شو د . همچنین موقعی که یک مجموعه جدید از فرزندان تولید شدند , جزء جمعیت از جزء ارزیابی برای ارزیابی فرزندان جدید(رشته های جدید) استفاده می کند.

یک تشریح کلی از الگوریتم ژنتیک را می توان به صورت زیر در نظر گرفت :

۱- جمعیتی از رشته ها را به صورت تصادفی بسازید .

۲- هر رشته داخل جمعیت را ارزیابی کنید .

۳- رشته های جدید را با ترکیب رشته های جاری ایجاد کنید . برای ترکیب رشته های والد از عملگرهای جهش تبادل استفاده کنید .

٤- اعضایی از جمعیت را برای ایجاد فضایی برای رشته های جدید حذف کنید .

٥- رشته های جدید را ارزیابی نموده و آنها را داخل جمعیت قرار دهید .

٦- اگر زمان اجرا تمام شده است توقف نمایید و بهترین رشته را باز گردانید . در غیر این صورت به مرحله سه باز گردید .

روند ذکر شده در بالا متداول ترین روش الگوریتم ژنتیک را تشریح می کند . اما محققین مختلف , آن را به روش های متفاوت پیاده سازی کرده اند .

٥-۳-٤- عملگرهای اساسی الگوریتم ژنتیک متداول

اغلب نام الگوریتم ژنتیک متداول در مقابل الگوریتم ژنتیک ترکیبی آورده می شود . در الگوریتم ژنتیک متداول معمولا از سه عملگر انتخاب , تبادل و جهش استفاده می شود . این سه عملگر معمولا عملگرهای اساسی همه روش های الگوریتم ژنتیک هستند که از رشته های بیتی استفاده می کنند . با توجه به این که در روش رمزکنندگی با استفاده از رشته های بیتی می توان با طیف وسیعی از مسائل روبرو شد , می توان گفت این سه عملگر و روش رمزکنندگی رشته بیتی باعث مقاوم شدن الگوریتم ژنتیک خواهد شد .

در قسمت زیر در مورد عملگر مورد نظر توضیحاتی داده می شود .

٥-۳-٤-۱- عملگر انتخاب

هدف از انتخاب والدین در الگوریتم ژنتیک دادن شانس تولید مثل بیشتر به آن اعضایی است که برازندگی بالاتری داشته باشند . چندین روش برای انجام این کار وجود دارد .

یک روش که به طور معمول استفاده می شود , روش انتخاب با استفاده از چرخ گردان است . روند اجرای این روش به صورت زیر می باشد :

الف – برازندگی همه اعضای جمعیت را جمع کنید و نتیجه برازندگی کل بنامید .

ب – عدد n را به صورت تصادفی تولید کنید , به طوری که آن عدد بین صفر و برازندگی کل باشد .

ج- اولین عضو از جمعیت را که برازندگی آن به اضافه برازندگی اعضای پیشین جمعیت بزرگ تر یا مساوی n باشد را بازگردانید .

اثر انتخاب والدین به روش چرخ گردان باز گرداندن یک والد می باشد که به صورت تصادفی انتخاب شده است . اگر چه این فرایند انتخاب , تصادفی است , شانس هر والدی که انتخاب می شود مستقیما متناسب با برازندگی آن است . به طور متعادل در روی تعدادی از نسل ها این الگوریتم ژنتیک اعضای با کمترین برازندگی را دفع می کند و به انتشار مواد ژنتیکی در برازنده ترین اعضای جمعیت کمک می کند . البته ممکن است بدترین عضو جمعیت بتواند به وسیله این الگوریتم انتخاب شود (زیرا به هر حال در روند این الگوریتم عنصر تصادف نیز وجود دارد) اتفاقاتی که از این دست در جمعیتی با هر اندازه , قابل صرف نظر هستند و به فرض انتخاب چنین اعضایی در یک نسل , این اعضا از جمعیت دفع می شوند . در به کار بردن روش انتخاب والدین باید دقت شود که مقادیر برازندگی رشته ها باید اعداد مثبت باشند .

۵-۳-٤-۲- عملگر تبادل

عملکرد این عملگر و عملگر جهش باعث می شود که رشته های تولید شده طی تولید مثل , از رشته های والدینشان متفاوت باشند . در طبیعت , این عملگر موقعی رخ می دهد که دو والد قسمت هایی از رشته های متناظرشان را معاوضه کنند و در الگوریتم ژنتیک , عملگر تبادل , مواد ژنتیکی دو رشته والد را مبادله می کند تا دو فرزند (رشته جدید) ایجاد شود . چندین نوع عملگر تبادل وجود دارد . ولی معروف ترین عملگر تبادل به کار رفته در الگوریتم ژنتیک عملگر تبادل یک نقطه ای می باشد .

در الگوریتم ژنتیک این عملگر به صورتی که در زیر تشریح می شود , اعمال می گردد . برای اینکه بتوانیم از این عملگر استفاده کنیم نیاز به دو رشته داریم . بنابراین با دوبار اعمال

عملگر انتخاب روی جمعیت جاری دو رشته از آن را انتخاب می کنیم سپس یک آزمون احتمال انجام می دهیم تا مشخص شود که عملگر تبادل روی دو رشته اعمال بشود یا نشود . این آزمون با استفاده از یک سکه ناهمگن صورت می گیرد به این صورت که سکه با احتمال (Pcross) شیر و با احتمال (۱-Pcross) خط می آید . به عنوان مثال , اگر قرار باشد با شیر آمدن سکه عملگر تبادل بر روی رشته اعمال می گردد , فرض کنیم سکه را پرتاب کرده ایم و شیر آمده است . سپس وارد مرحله بعدی یعنی اجرای عملگر تبادل شویم یک عدد تصادفی بین یک و طول رشته تولید می شود . پس از مشخص شدن این عدد صحیح که نشان دهنده مکان تبادل روی رشته ها است , هر دو رشته از محلی که این عدد مشخص می کند شکسته می شوند و قسمت های انتهایی آنها با همدیگر معاوضه می شوند . اکنون قسمت های جدا شده به همدیگر متصل می شوند , تا دو رشته جدید حاصل شود .

چند خصوصیت عملگر تبادل یک نقطه ای به قرار زیر است :

الف – این عملگر می تواند فرزندانی ایجاد کند که با والدینشان متفاوت باشند .

ب – در حالتهایی که رشته های هر دو والد مقدار مشابهی باشد این عملگر نمی تواند اختلافی ایجاد کند .

۵-۳-٤-۳- عملگر جهش

این عملگر نیز یکی از عملگرهای الگوریتم ژنتیک است و به کار گیری آن قابلیت الگوریتم ژنتیک را برای یافتن حل های نزدیک بهینه افزایش می دهد . جهش , تغییر اتفاقی در مقدار یک و ضعیت ویژه رشته می باشد . با به کار گیری این عملگر مشخصه هایی که در جمعیت والدین وجود ندارد , ایجاد می شود . زیرا جهش باعث تغییر مقدار یک ژن می شود یعنی اگر یک باشد صفر می شود و بالعکس اگر صفر باشد یک می شود . لذا همین موضوع باعث تغییر مشخصه های یک رشته می شود و برای اینکه جمعیت پیش از موعد همگرا نشود , مناسب می باشد . زیرا یکی از دلایل همگرایی پیش از موعد یکسان بودن اعضاء جمعیت می باشد که عملگر جهش باعث می شود احتمال یکسان شدن اعضاء در جمعیت های جدید بسیار کاهش یابد . روش پیاده سازی این عملگر در زیر توضیح داده می شود .

این عملگر بر خلاف عملگر تبادل که به دو رشته نیاز است , به یک رشته نیاز دارد , پس از اینکه عملگر تبادل روی دو رشته اعمال شود و دو رشته جدید به دست آمد , عملگر جهش

به این دو رشته به صورت مجزا اعمال می شود . روش اعمال به این صورت است که برای تک تک عناصر یک رشته , آزمون احتمال جهش صورت می گیرد . در صورتی که این آزمون با موفقیت انجام شود , مقدار آن وضعیت از یک به صفر یا از صفر به یک تغییر می کند و به اصطلاح جهش می کند . انجام آزمون احتمال نیز با استفاده از یک سکه ناهمگن که با احتمال (Pmut) شیر و با احتمال (۱-Pmut) خط می آید , صورت می گیرد و در صورتی که با پرتاب سکه شیر آمده باشد مقدار بیت مربوط جهش می کند .

همانطور که در بالا گفته شد بایستی آزمون احتمال برای تک تک وضعیت های یک رشته صورت گیرد . به عبارت دیگر برای هر جهش یک بار سکه نا همگن رها می شود و با توجه به نتیجه , مقدار بیت جهش می یابد یا جهش نمی یابد .

۵-۳-۵- نکاتی در مورد پیاده سازی الگوریتم ژنتیک

۵-۳-۵-۱- چگونگی تشکیل رشته ها

تشکیل رشته ها به این صورت است که ابتدا تعداد بیت های متناظر با تک تک متغیرهای مساله را مشخص می کنیم و حاصل جمع این تعداد را به دست می آوریم . سپس رشته ای به طول این تعداد بیت تشکیل می دهیم . در اینجا ذکر این نکته لازم است که در رشته مورد نظر هر چند بیت مربوط به یک متغیر خاص است و در تمامی روند اجرای الگوریتم ژنتیک وضعیت هر متغیر در رشته ثابت و مشخص است .

۵-۳-۵-۲- تعداد بیت های متناظر با هر متغیر

تعداد بیت های متناظر با هر متغیر در صورتی که از رشته های بیتی استفاده شود , به صورت زیر به دست می آید .

$$2^n = [\frac{X_{max} - X_{min}}{d}] \qquad (۱-۵)$$

که در رابطه فوق Xmax بیشترین مقدار مجاز متغیر و Xmin کمترین مقدار مجاز متغیر X است و d نیز دقت مورد نظر برای این متغیر می باشد . اکنون با استفاده از رابطه زیر مقدار n را محاسبه می کنیم . اگر در محاسبه مقدار n اعشاری شود , کوچکترین عدد صحیح بزرگ تر یا مساوی آن را در نظر می گیریم .

$$n = \log_z[\frac{X_{max} - X_{min}}{d}] \qquad (۲-۵)$$

همانطور که گفته شد , تعداد بیت مورد نیاز برای تک تک متغیر های مساله به دست می آید . در نهایت در صورتی که k متغیر داشته باشیم طول هر رشته برابر خواهد بود با :

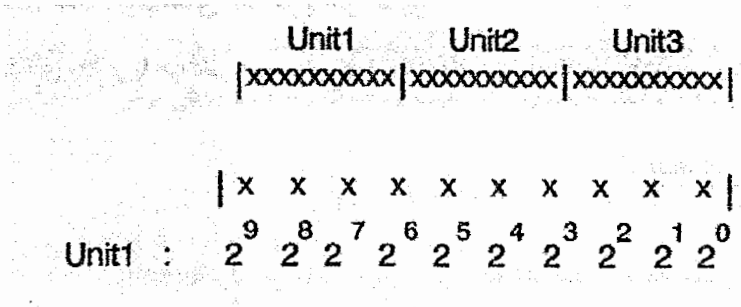
$$N_S = N_1 + N_2 + ... + N_K \qquad (۳-۵)$$

۵-۳-۵-۳- انواع روش های تشکیل رشته

برای تشکیل رشته دو روش وجود دارد :

الف – روش سری

در روش سری بیت های عددی متناظر هر واحد مطابق شکل (۵-۶) کنار هم قرار می گیرند . لازم به توضیح است که تا آخر برنامه هم محل هر واحد ثابت است و هیچ تغییری نمی کند , البته در ابتدای تشکیل رشته هیچ محدودیتی در انتخاب جایگاه وجود ندارد ولی بعد از تشکیل رشته تحت هیچ شرایطی نباید جا به جا شوند .

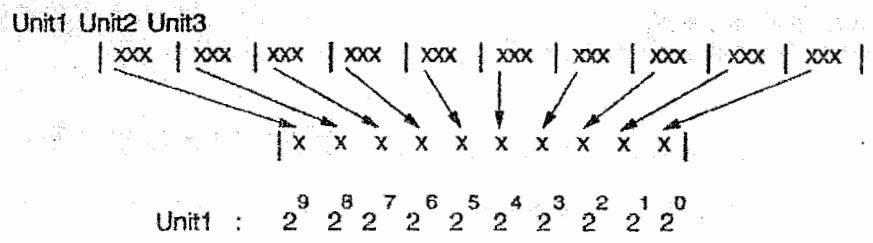


شکل (۵-۶) – روش سری

ب – روش محاطی

در روش محاطی بیت های عددی متناظر واحدها مطابق شکل (۵-۷) طوری کنار هم قرار می گیرند که در NP (تعداد واحدها) بیتی در کنار هم قرار می گیرند و هر بیت متعلق

به یک واحد می باشد , به بیان ساده تر اینکه , جایگاه های بیتی در هر NP بیت به طور متناوب متعلق به یک واحد خاص می باشد .



شکل (٥-٧) – روش محاطی

٥-٣-٥-٤- باز گرداندن رشته ها به مجموعه متغیرها (رمز گشایی)

در روند اجرای الگوریتم ژنتیک لازم است رشته ها به متغیرها تبدیل شوند و به عبارت دیگر نمادهای مربوط به هر رشته (نماد ژنتیک) به دست آیند , تا از آنجا با قرار دادن متغیرها در تابع هدف , مقدار تابع هدف و در نتیجه ارزیابی آن رشته به دست آید . بنابراین یکی از قسمت های مهم الگوریتم ژنتیک قسمت رمز گشایی است که در جزء ارزیابی انجام می شود .

برای بازگرداندن هر رشته به فضای جستجوی واقعی (فضای متغیرها) , باید تعداد بیت مربوط به تک تک متغیرها , نوع متغیرها (پیوسته یا گسسته) و محل هر متغیر در رشته مشخص باشند .

به هر حال با دانستن اطلاعات مربوط به هر متغیر , زیر رشته متناظر با این متغیر را استخراج کرده و با توجه به محتویات آن , مقدار واقعی متغیر را به دست می آوریم . در صورتی که متغیر X پیوسته باشد , این فرایند به صورت زیر انجام می شود .

ابتدا زیر رشته مربوط به این متغیر مشخص می شود . سپس مقدار واقعی آن در مبنای ١٠ به دست می آید . اکنون برای به دست آوردن مقدار متغیر X باید توجه داشته باشیم که در صورتی که تعداد بیت مربوط به این متغیر برابر n باشد , در واقع ما متغیر X را در یک فاصله [٠ , $2^n - ١$] نگاشت کرده ایم که عدد به دست آمده در مبنای ١٠ در واقع عدد مربوط به این فاصله می باشد . حال مقدار متغیر X با توجه به رابطه زیر محاسبه می شود .

$$X_{\min} \le X \le X_{\max} \rightarrow o \le m \le 2^n - 1 \qquad (٤-٥)$$

در واقع با انتقال زیر رشته مربوط به متغیر X از فضای باینری به فضای اعشاری مقدار m از عبارت فوق مشخص شده است . بنابراین مقدار متغیر X برابر است با :

$$X = [\frac{X_{\max} - X_{\min}}{2^n - 1}].m + X_{\min} \qquad (٥-٥)$$

در صورتی که متغیر مورد نظر نا پیوسته باشد , مقدار اعشاری حاصل از زیر رشته متناظر با متغیر نا پیوسته y , در واقع نمایانگر اندیس درایه از یک بردار است که مقدار آن درایه همان مقدار متغیر y می باشد . در واقع در حالتهایی که متغیرها ناپیوسته باشند , بجای رمز نمودن خود متغیرها , اندیس های مربوط به آن متغیرها رمز می شوند و فرایندهای ژنتیک نیز روی اندیس ها صورت می گیرد نه روی خود متغیرها .

٥-٣-٥-٥- تعداد اعضای جمعیت

در صورتی که تعداد اعضای جمعیت بسیار زیاد باشد , اگر چه وضعیت جستجو ممکن است به صورت بهتری نمایش داده شود زیرا با افزایش تعداد رشته ها , انتخاب رشته بهتر امکان پذیر می شود . ولی از طرفی نیازمندی های حافظه کامپیوتر و زمان اجرا زیاد می شود . اگر تعداد اعضای جمعیت نیز کوچک تر از حد مشخصی باشد , جمعیت مورد نظر فقط قسمت کوچکی از فضای جستجو را نشان می دهد و ممکن است جستجو برای رسیدن به حل بهینه در این جمعیت موفقیت آمیز نباشد یا مستلزم صرف زمان زیادی باشد .

٥-٣-٥-٦- محک اختتام اجرای الگوریتم ژنتیک

برای اینکه تشخیص دهیم چه موقع الگوریتم از اجرا متوقف شود , از شیوه های مختلفی می توان استفاده کرد . به عنوان نمونه می توان همگرا شدن کل جمعیت را در نظر گرفت و یا اینکه فاصله ارزیابی (برازندگی) بهترین فرد جمعیت از متوسط ارزیابی ها (برازندگی ها) را در نظر گرفت که در این حالت باید از حد مشخصی کوچک تر باشد , یا مقدار تابع هدف از حد مشخصی بیشتر باشد یا می توان تعداد نسل های مشخصی را به عنوان محک اختتام در نظر گرفت .

۵-۳-٦- اصلاح الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک که در قسمت قبل تشریح شد , فقط دارای سه عملگر انتخاب , جهش , تبادل و روش برازندگی مساوی است . در عمل می توان سه عملگر فوق را اصلاح نمود و عملکرد بهتری از آنها به دست آورد . همچنین می توان روش های دیگری را برای به دست آوردن نتایج بهتر , به الگوریتم ژنتیک اضافه نمود . در قسمت های زیر تعدادی از این اصطلاحات و روش ها تبیین می گردد .

۵-۳-٦-۱- روش نخبه گزینی

با گذاشتن این روش در الگوریتم ژنتیک بهترین عضو هر جمعیت به طور مستقیم در نسل بعد قرار می گیرد . انگیزه استفاده از این روش این است که به طور معمول در هر جمعیت یکی از اعضا بالاترین درجه برازندگی یا ارزیابی را دارد . بنابراین , این رشته کیفیت مواد ژنتیک بهتری نسبت به سایر رشته ها دارد و ممکن است نماد معرف به این رشته نسبت به نمادهای معرف رشته های دیگر , به حل بهینه مساله نزدیک تر شود . همچنین این رشته با توجه به داشتن ارزیابی بهتر نسبت به سایر رشته ها دارای فرزندان بیشتری در نسل بعد باشد .

۵-۳-٦-۲- روش برازندگی

با گذاشتن این روش در الگوریتم ژنتیک , دیگر در محاسبات مربوط به انتخاب رشته و چرخ گردان به طور مستقیم از ارزیابی های حاصل از هر رشته استفاده نمی شود . بلکه ابتدا این ارزیابی ها با استفاده از توابع تبدیل یا دستوراتی به مقادیر دیگر تبدیل می شود و سپس مقادیر جدید , در محاسبات الگوریتم ژنتیک وارد می شوند . به مقادیر جدید برازندگی گفته می شود . در واقع در نسخه الگوریتم ژنتیک که در قسمت قبل تشریح شد از روش برازندگی مساوی ارزیابی , استفاده شد .

۵-۳-٦-۳- طرحواره

طرحواره به یک ترکیب بندی خاصی از بیت ها گفته می شود که ارزیابی خوبی از تابع هدف داشته باشد . هر طرحواره از سه عنصر ۰ و ۱ و # تشکیل می شود که نشان دهنده , یک مقدار بی اهمیت است یعنی اینکه در طرحواره مورد نظر اگر به جای علامت # , صفر یا یک قرار بگیرد , تأثیر زیادی بر ارزیابی تابع هدف نخواهد داشت . در عوض در صورتی که یکی از صفرها یا یک های طرحواره ای تغییر کند تغییرات زیادی در مقدار تابع هدف رخ می دهد . بنابراین در یک طرحواره ترکیب بندی صفرها و یک ها به گونه ای است که ارزیابی خوبی را برای رشته حاوی آن ایجاد می کند .

یکی از مواردی که در مورد طرحواره حائز اهمیت است این است که عملگر تبادل یک نقطه ای بسیاری مواقع نمی تواند چندان تغییری در آنها ایجاد نماید و این یکی از نقاط ضعف تبادل یک نقطه ای است .

۵-۳-٦-٤- توضیحاتی در مورد عملگر تبادل

همانطور که در قسمت های قبل گفته شد عملگر تبادل یکی از مهم ترین قسمت های الگوریتم ژنتیک است . همچنین طبق مطالب قبل عملگر تبادل یک نقطه ای در بعضی موارد نمی تواند از دو والد , فرزندان متفاوت ایجاد نماید . مشکلاتی از این قبیل باعث شده است که محققین الگوریتم ژنتیک عملگرهای تبادلی با بیش از یک نقطه تبادل را در نظر بگیرند . یکی از این نوع عملگرها , عملگر تبادل یکنواخت است که در زیر به توضیحاتی پیرامون آن می پردازیم .

برای پیاده سازی این عملگر دو والد انتخاب می شود , سپس رشته دیگری به نام رشته مرجع به صورت تصادفی ایجاد می شود که طول آن برابر طول رشته دو والد می باشد . حال برای ایجاد فرزندان از این رشته مرجع به شرح زیر استفاده می شود . اگر مقدار بیت رشته مرجع در آن وضعیت یک باشد , این فرزند بیت خود را از والد اول , و در غیر این صورت از والد دوم می گیرد . همچنین در هر وضعیت اگر بیت متناظر رشته مرجع یک باشد , فرزند دوم بیت متناظر خود را توسط والد دوم مشخص می کند و در غیر این صورت مقدار بیت متناظر خود را توسط والد اول انتخاب می کند .
مثالی از این عملگر در زیر آمده است .

۱۰۰۱۱۰۱ : فرزند ۱ ۱۰۰۱۰۱۱ : والد ۱

۱۱۰۱۰۰۱ : مرجع

۰۱۰۱۰۱۱ : فرزند ۲ ۰۱۰۱۱۰۱ : والد ۲

به عبارت دیگر در وضعیت هایی که مقدار بیت مرجع یک است , فرزند اول مقدار خود را توسط والد اول و فرزند دوم توسط والد دوم معین می کند و در وضعیت هایی که مقدار بیت مرجع صفر است , فرزند اول مقدار خود را توسط والد دوم و فرزند دوم توسط والد اول معین می کند .

۵-۳-۶-۵- تغییر نرخ های جهش و تبادل در حین اجرای الگوریتم ژنتیک

مشخص است که دو عملگر ژنتیک کلاسیک یعنی تبادل و جهش بر نحوه همگرایی رقابت می کنند . در حالی که جهش در جمعیت تنوع ایجاد می کند تبادل جمعیت را مجبور به همگرا شدن می کند . با در نظر گرفتن این حقیقت , تنظیمی بهینه برای احتمالات کاربرد عملگرهای جهش و تبادل می توان یافت . تنظیم احتمالات رخ دادن این عملگرها را به صورت بلادرنگ می توان انجام داد . به این صورت که بعد از هر نسل (زاد و ولد) از داده های آماری استفاده می شود و فاصله برازندگی اعضای جمعیت نسبت به برازندگی بهترین عضو جمعیت نزدیک سنجیده می شود . در صورتی که تعداد زیادی از اعضای جمعیت دارای

برازندگی های نزدیک به برازندگی بهترین عضو باشند , در این شرایط ممکن است همگرایی زودرس رخ داده باشد . بنابراین ممکن است پیشرفتی در رابطه با مشابهت نمادهای ژنتیک موجود , وجود نداشته باشد .

موقعی که چنین اتفاقی رخ دهد , احتمال مربوط به عملگر تبادل کاهش می یابد . در حالی که احتمال مربوط به عملگر جهش افزایش می یابد . در عوض اگر تعداد زیادی از نمادهای ژنتیک دارای کیفیت های دور از کیفیت بهترین فرد جمعیت باشند (تنوع زیاد) , در چنین وضعیتی نیز پیشرفتی در رابطه یا تنوع زیاد جمعیت وجود ندارد . زیرا فقط تعداد کمی از نمادهای ژنتیک دارای کیفیت های خوب (برازندگی بالا) هستند و تبادل به صورت موثر حل های خوب ایجاد نمی کند . برای رفع این مشکل می توان نرخ جهش را کاهش داد یا اینکه نرخ تبادل را افزایش داد . با توجه به راهکار بیان شده , مشاهده می شود که بر مبنای فاصله برازندگی رشته ها , نرخ عملگر جهش , تنظیم می شود .

چنانچه جمعیت رشته ها دچار همگرایی زودرس و تنوع بیش از اندازه نشود . همانطور که در بالا گفته شد تنظیم پارامترهای مورد نظر (نرخ جهش و تبادل) بر مبنای فاصله برازندگی رشته ها از برازندگی بهترین رشته صورت می گیرد . می توان معیارهای دیگری که با تقلید بهتری از طبیعت به دست آمده اند را برای تنظیم پارامترها در نظر گرفت . در صورتی که روش تنظیم پارامترها به صورت مناسبی انتخاب شده باشد , به طور قطع پاسخ الگوریتم ژنتیک بهتر از حالتی است که پارامترها ثابت در نظر گرفته شده باشد .

۵-۳-۶-۶- الگوریتم ژنتیک کلاسیک , مقاوم و ترکیبی

الگوریتم ژنتیک کلاسیک , الگوریتم هایی هستند که شامل روش رمز کنندگی به رشته های بیتی و عملگرهای انتخاب , تبادل و جهش هستند . اگر چه اثبات شده است که با وجود این روش ها و عملگرها , الگوریتم ژنتیک قادر به یافتن حل های به طور تقریب بهینه است , لیکن برای همگرایی نیاز به گذشتن زیادی نسل از جمعیت اولیه می باشد و به همین جهت این الگوریتم ها را به روش های دیگری نظیر روش نخبه گزینی , روش برازندگی و . . . مجهز می کنند تا کارایی آنها را از نظر سرعت و دقت افزایش دهند . به این صورت راه برای ابداع الگوریتم ژنتیک هیبرید هموار می شود .

الگوریتم ژنتیک مقاوم , الگوریتمی است که برای طیف وسیعی از مسائل , عملکرد خوبی را نشان می دهد . گاهی اوقات هدف اصلی از تحقیق در باره الگوریتم ژنتیک , توسعه یک شکل مقاومی از این الگوریتم بوده است . واضح است که الگوریتمی مقاوم است که روش ها و عملگرهای به کار رفته در آن کمتر به شکل مسأله مورد نظر وابسته باشد . یکی از مهمترین اجزای الگوریتم ژنتیک که تا حد زیادی مقاوم بودن آن را تعیین می کند , روش های رمز کننده این الگوریتم است . به وضوح روش های رمز کننده به رشته های بیتی , این قابلیت را به الگوریتم ژنتیک می دهد که بتواند با طیف وسیعی از مسائل برخورد کند . زیرا به طور تقریب همه مسائل جهان واقعی را می توان با به کار بردن این روش های رمز کننده , به فضای رشته های بیتی انتقال داد . سپس با استفاده از عملگرهای متناسب با این نوع رشته ها , مسأله مورد نظر را حل نمود . ولی در صورتی که بخواهیم از روش های رمز کننده دیگر نظیر رمز کردن به اعداد واقعی (ده دهی) استفاده کنیم ممکن است به سختی بتوان طیف وسیعی از مسائل نظیر مسائل بهینه سازی ترکیبی را با الگوریتم های ژنتیک دارنده این روش ها حل نمود . بنابراین برای داشتن الگوریتم های ژنتیک مقاوم بایستی این الگوریتم ها و بخصوص روش رمز کننده آنها تا حد امکان مقاوم شود .

الگوریتم ژنتیک ترکیبی , الگوریتمی است که علاوه بر داشتن روش های موجود , در الگوریتم های ژنتیک و در روش های موجود , در الگوریتم های بهینه سازی متداول نیز استفاده می شود . انگیزه ابداع این الگوریتم ژنتیک این است که اگر چه الگوریتم های ژنتیک متداول مقاوم هستند , ولی در حالت کلی از یک الگوریتم بهینه سازی که روی یک حوزه ویژه استفاده می شود , ممکن است موفق تر نباشد . اما با ترکیب یک الگوریتم ژنتیک متداول با الگوریتم هایی که به طور رایج استفاده می شود , می توان به الگوریتم هایی که بهتر از دو الگوریتم والد است , دست یافت .

۵-٤- شبکه های عصبی

۵-٤-۱- مقدمه

در سالیان اخیر شاهد حرکتی مستمر , از تحقیقات صرفا تئوری به تحقیقات کاربردی مخصوص در زمینه پردازش اطلاعات , برای مسائلی که برای آنها راه حلی موجود نیست و یا براحتی قابل حل نیستند بوده ایم . با عنایت به این امر , علاقه فزاینده ای در توسعه تئوریک سیستم های دنیامیکی هوشمند مدل آزاد که مبتنی بردارهای تجربی هستند ایجاد شده است . شبکه های عصبی جزء این دسته از سیستم های دینامیکی قرار دارند , که با پردازش روی داده های تجربی , دانش یا قانون نهفته در ورای داده ها را به ساختار شبکه منتقل می کنند . به همین خاطر به این سیستم ها هوشمند گویند . چرا که بر اساس محاسبات روی داده های عددی یا مثالها , قوانین کلی را فرا می گیرند . این سیستمها در مدلسازی ساختار مغز بشر می کوشند .

۵-٤-۲- کاربرد شبکه های عصبی

در حال حاضر شبکه های عصبی کاربرد فراوانی در علوم و مسائل فنی مهندسی دارند که در یک تقسیم بندی کلی می توان موارد زیر را نام برد .

الف - طبقه بندی شناسایی و تشخیص الگوها

انواع و اقسام شبکه های عصبی برای طبقه بندی , خوشه بندی , شناسائی و تشخیص الگوها مورد استفاده قرار گرفته است . مثلا برای شناسائی حروف لاتین , عربی , فارسی , چینی و . . . و یا سبک نگارش شکسپیر و جداسازی و تمیز آن از دیگران از شبکه های عصبی استفاده گردیده است .

ب - پردازش سیگنال

در این راستا می توان به کاربرد شبکه های عصبی در فیلترهای تطبیقی , پردازش صحبت و تصویر , بینائی ماشین , کدینگ فشرده سازی تصویر اشاره نمود .

ج – پیش بینی سریهای زمانی

از شبکه های عصبی برای پیش بینی سریهای زمانی علی الخصوص جایی که شرایطی از قبیل ایستایی یا شرایط دیگری که راه را برای بکار گیری تکنیک های کلاسیک فراهم می سازد بر قرار نیست و سریهای زمانی پیچیده می باشند بسیار استفاده شده است . مثلا می توان به پیش بینی بار در سیستم های قدرت اشاره نمود .

د – مدل سازی و کنترل

در سیستم های تطبیقی مخصوصا در زمانی که پروسه تحت بررسی بسیار پیچیده می باشد شبکه های عصبی راه حلهای مناسبی ارائه می دهند . هر دو سیستم شناسائی کننده و کنترل کننده , مبتنی بر شبکه های عصبی می باشند .

ه – بهینه سازی

چه در سیستم های کنترلی و چه در سیستم های مدیریت , تخصیص و تقسیم منابع و چه در سیستم های مالی و بانکداری از شبکه های عصبی علی الخصوص شبکه های عصبی دینامیکی برگشتی بسیار استفاده گردیده است .

و – سیستم های خبره و فازی

از شبکه های عصبی جهت تنظیم بهتر و رفتار مناسب تر سیستم های خبره استفاده شده است . سیستم های فازی که خود مولفه بزرگ و مهمی از هوش محاسباتی می باشند به تنهایی کاربردهای بسیار زیادی در دنیای علوم , فنی و مهندسی دارند از شبکه های عصبی جهت تنظیم توابع عضویت و قوانین فازی در پایگاه دانش استفاده گردیده است .

ز – مسائل مالی , بیمه , امنیتی , بازار بورس و وسائل سرگرم کننده

بطور مثال می توان از کاربرد شبکه های عصبی بعنوان مشاور در امور تخصیص اعتبارات وام , سرمایه گذاری , آنالیز امور مالی , پیش بینی قیمت ارز , پیش بینی قیمت سهام بیمه و ایجاد انیمیشن برای وسائل سرگرم کننده نام برد .

ح – ساخت وسائل صنعتی , پزشکی و امور حمل و نقل

مثالهایی از کاربردهای شبکه عصبی در این زمینه عبارتند از : کنترل پروسه های ساخت و پیاده سازی دستگاه ها , آنالیز و طراحی محصولات خانگی , ماشین پیش بینی خطا , مدل سازی سیستم های صنعتی و شیمیایی , آنالیز سلول های سرطانی سینه , سیستم های اتوماتیک حرکت وسائل نقلیه , سیستم های پیش بینی و حفاظت سیستم های متحرک و اعمال ترمز , جهت یابی و تشخیص مسیرها .

٥-٤-٣- مدل نرون

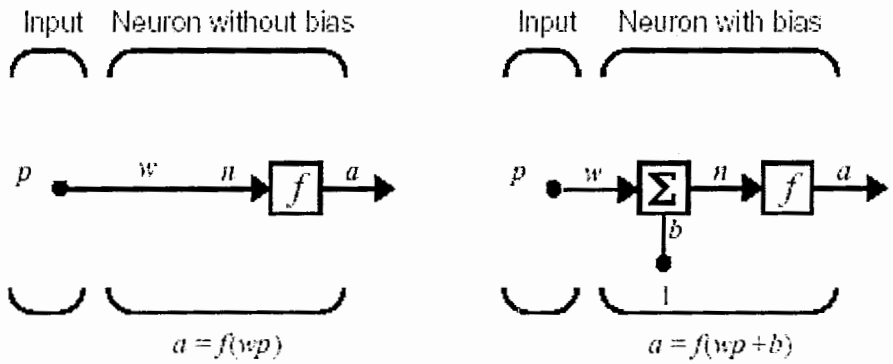
نرون کوچکترین واحد پردازشگر اطلاعات است که احساس عملکرد شبکه عصبی را تشکیل می دهد .

٥-٤-٣-١- مدل تک ورودی

شکل (٥-٨) ساختار یک نرون تک ورودی را نشان می دهد . اسکالرهای P و a به ترتیب ورودی و خروجی می باشند .

میزان تاثیر P روی a به وسیله مقدار اسکالر w تعیین می شود . ورودی دیگر که مقدار ثابت ١ است , در جمله بایاس b ضرب شده و سپس با wp جمع می شود , این حاصل جمع , ورودی خالص n برای تابع محرک (یا تابع تبدیل) f خواهد بود . بدین ترتیب خروجی نرون با معادله زیر تعریف می شود :

$$a = f (wp + b)$$



شکل (٥-٨) – نرون تک ورودی بدون بایاس و با بایاس

باید توجه داشت که پارامترهای w و b قابل تنظیم هستند و تابع محرک f نیز توسط طراح انتخاب می شود . بر اساس انتخاب f و نوع الگوریتم یادگیری , پارامترهای w و b تنظیم می شوند . یادگیری بدین معنی است که w و b طوری تغییر می کنند , که رابطه ورودی و خروجی نرون با هدف خاصی مطابقت نماید .

٥-٤-٣-٢- توابع محرک

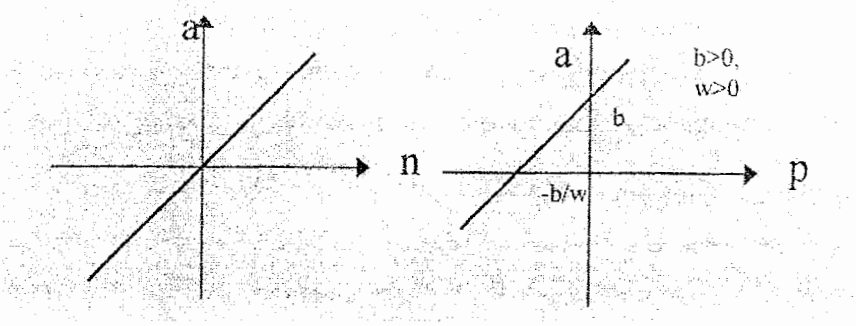
تابع محرک f می توانند خطی یا غیر خطی باشد . یک تابع محرک بر اساس نیاز خاص حل یک مسئله – مسئله ای که قرار است به وسیله شبکه عصبی حل شود – انتخاب می شود. در عمل تعداد محدودی از توابع محرک مورد استفاده قرار می گیرند . در این جا به چند مورد از مهمترین آنها اشاره می کنیم .

الف – تابع محرک خطی :

خروجی این تابع برابر ورودی آن است :

$$a = f(n) = n \qquad (٦-٥)$$

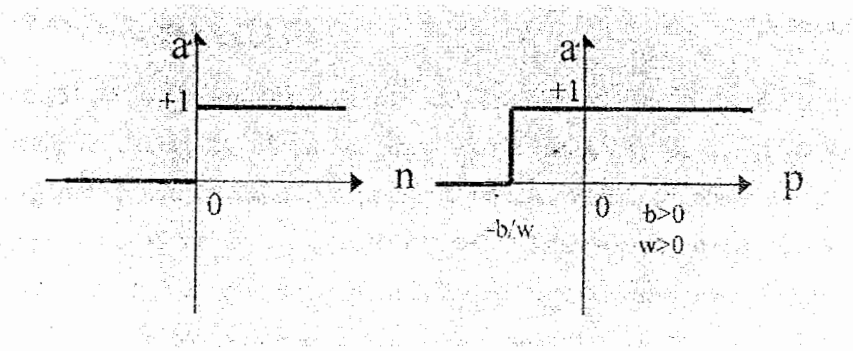
تابع خطی در شکل (٥-٩) نمایش داده شده است . از نرونهایی با تابع تبدیل فوق , در شبکه های خاصی مانند آلادین استفاده شده است . اهمیت جمله بایاس b را در شکل (٥-٩) می بینیم . اگر پاسخ نرون , a , برحسب ورودی p رسم شده باشد , جمله بایاس b موجب جابجایی منحنی در فضای ورودی می گردد و به عبارتی موجب می گردد که نرون به زیر فضایی از فضای ورودی بایاس گردد , که خود انتخاب کلمه بایاس را برای ترم b توجیه می کند .



شکل (٥-٩) – تابع محرک خطی

ب – تابع محرک آستانه ای دو مقداره حدی :

این تابع در شکل (۵–۱۰) نشان داده شده است . همان گونه که مشاهده می شود , مقدار خروجی ۰ یا ۱ است . اگر آرگومان n کوچکتر از ۰ باشد و یا به عبارتی ورودی p کوچکتر از b/w– باشد , مقدار تابع ۰ است و در غیر این صورت خروجی نرون برابر۱ خواهد شد . عموما تابع محرک , دامنه خروجی نرون را محدود می سازد و به همین علت آن را تابع محدود ساز نیز می نامند . خروجی نرون معمولا برای این گونه توابع , در باره متناهی [۰،۱] یا [۱-،۱] قرار دارد , که در حالت اخیر تابع را تابع محرک آستانه ای دو مقداره حدی گویند .



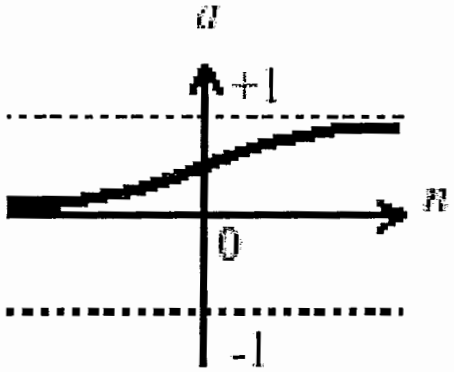
شکل (۵–۱۰) – تابع محرک آستانه ای دو مقداره حدی

ج – تابع محرک زیگموئید :

این تابع با فرمول کلی زیر بیان می شود:

$$a = f(n) = \frac{1}{1+e^{-cn}}, C\rangle 0 \qquad (۵–۷)$$

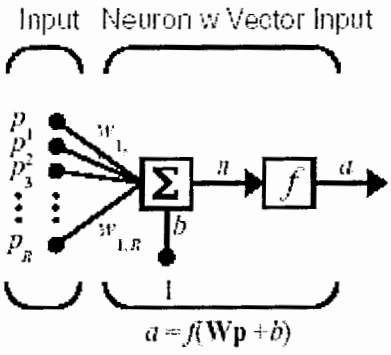
شکل این تابع در تصویر (۵–۱۱) رسم شده است . مقدار C وسعت ناحیه خطی بودن تابع را تعیین می کند . مثلا اگر C خیلی بزرگ باشد , شکل منحنی به تابع محرک آستانه ای دو مقداره حدی نزدیکتر می شود . این تابع در شبکه های عصبی مورد استفاده زیادی دارد که به عنوان مثال , می توان به شبکه های عصبی چند لایه با قانون یادگیری پس انتشار خطا , اشاره کرد .



شکل (۵-۱۱) – تابع محرک زیگموئید

۵-٤-۳-۳- مدل چند ورودی

عموما یک نرون بیش از یک ورودی دارد . شکل (۵-۱۲) یک مدل نرون با R ورودی را ارائه می دهد . بردار ورودی با $\underline{p}$ نمایش داده می شود . اسکالرهای ($i = ۱،۲،. . . R$) P_i عناصر بردار $\underline{p}$ هستند . مجموعه سیناپسهای $W_{L,i}$, عناصر ماتریس وزن W را تشکیل می دهند . در این حالت W یک بردار سطری با عناصر $j = ۱،. . . R$ و $W_{L,i}$ است . هر عنصر از بردار ورودی $\underline{p}$ در عنصر متناظر از W ضرب می شود . نرون , یک جمله بایاس b دارد که با حاصل ضرب ماتریس وزن W با بردار ورودی $\underline{p}$ جمع می شود .



شکل (۵-۱۲) – مدل چند ورودی یک نرون

ورودی خالص n مطابق فرمول زیر محاسبه می شود:

$$n = \sum_{i=1}^{R} P_i W_{L,i} + b = W\underline{P} + b \qquad (۸-۵)$$

که در آن :

$$\underline{P} = [P_1, P_2, ..., P_R]^T, W = [W_{1,1}, W_{1,2}, ..., W_{1,R}] \qquad (۹-۵)$$

در نهایت خروجی نرون به صورت زیر خواهد بود:

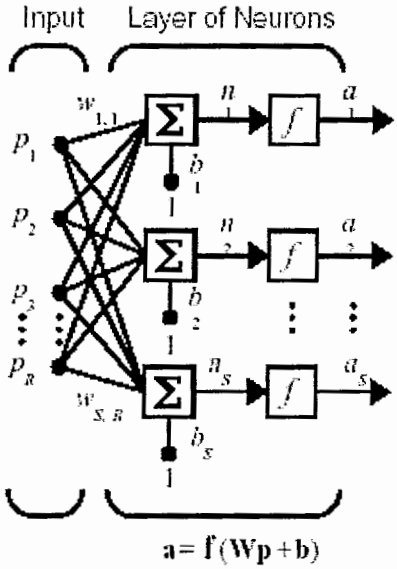
$$a = f(w\underline{P} + b) \qquad (۱۰-۵)$$

۵-٤-٤- شبکه تک لایه

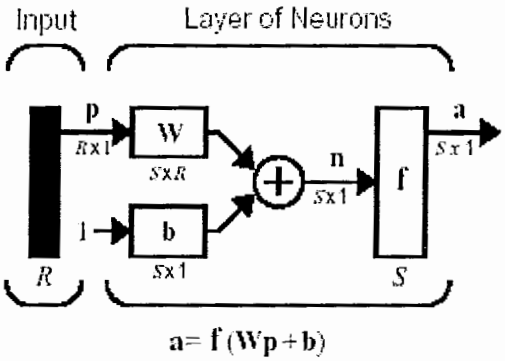
باید توجه داشت که معمولا نرونی با ورودیهای زیاد نیز , به تنهایی برای حل مسائل فنی – مهندسی کفایت نمی کند . مثلا برای مدل سازی نگاشتهایی که دارای دو خروجی هستند احتیاج به دو نرون داریم , که بطور موازی عمل کنند . در این حالت یک لایه خواهیم داشت که از اجتماع چند نرون تشکیل شده است .

یک شبکه تک لایه با S نرون در شکل (۵-۱۳) نشان داده شده است . شکل مذکور را می توان به فرم فشرده تصویر (۵-۱٤) هم نمایش داد . ورودی شبکه با بردار $\underline{p}$ و خروجی آن با بردار $\underline{a}$ نشان داده شده است . باید توجه داشت که هر یک از ورودیها به همه نرونها متصل شده است . ماتریس W نیز در این حالت دارای S سطر و R ستون می باشد . همان گونه که در شکل مشاهده می شود , لایه ها شامل ماتریس وزن , جمع کننده ها , بردار بایاس $\underline{b}$ (دارای S عنصر) و تابع تبدیل f هستند .

$$W = \begin{bmatrix} w_{1,1} & w_{1,2} & \cdots & w_{1,R} \\ w_{2,1} & w_{2,2} & \cdots & w_{2,R} \\ & & & \\ w_{S,1} & w_{S,2} & \cdots & w_{S,R} \end{bmatrix} \qquad (۱۱-۵)$$



شکل (٥-١٣) – شبکه تک لایه با S نرون



شکل (٥-١٤) – فرم فشرده یا ماتریسی شبکه تک لایه با S نرون

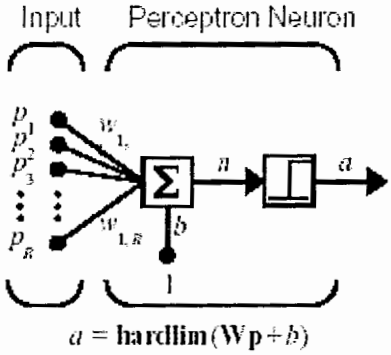
٥-٤-٥- پرسپترون

شبکه های عصبی پرسپترون , به ویژه پرسپترون چند لایه , در زمره کاربردی ترین شبکه های عصبی می باشند . این شبکه ها قادرند با انتخاب مناسب تعداد لایه ها و سلولهای عصبی , که اغلب زیاد هم نیستند , یک نگاشت غیر خطی را با دقت دلخواه انجام دهند . این

همان چیزی است که در بسیاری از مسائل فنی مهندسی به عنوان راه حل اصلی مطرح می باشد .

٥-٤-٥-١- پرسپترون تک لایه

نخستین شبکه ای که برای حل مسئله کاربردی فوق در نظر گرفته ایم , پرسپترون تک لایه است که ساختار آن در شکل (٥-١٥) ترسیم شده است .



شکل (٥-١٥) – پرسپترون تک لایه

٥-٤-٥-٢- شبکه های پرسپترون چند لایه

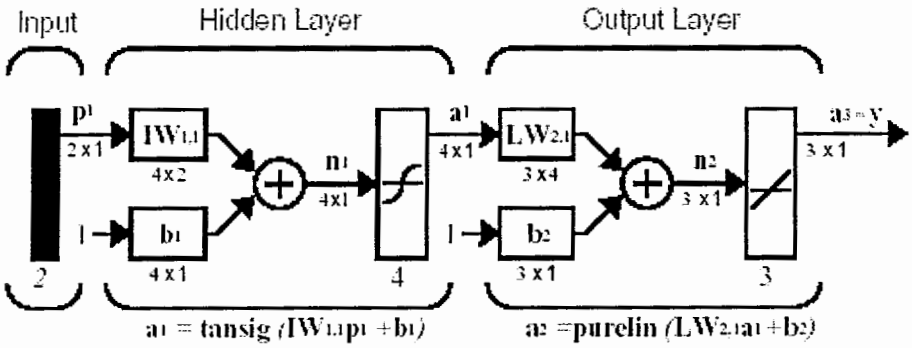
همان گونه که در شکل (٥-١٦) ملاحظه می شود هر نرون در هر لایه , به تمامی نرونهای لایه قبل متصل می باشد . به چنین شبکه هایی , شبکه های کاملا مرتبط گویند . شبکه فوق , عملا از به هم پیوستن دو شبکه پرسپترون تک لایه ایجاد شده است . یکی لایه خروجی و دیگری لایه میانی نامیده می شود . خروجی های لایه اول , بردار ورودی لایه دوم را تشکیل می دهند , و به همین ترتیب بردار خروجی لایه دوم پاسخ واقعی شبکه را تشکیل می دهند . به عبارتی روشنتر , روند جریان سیگنالی در شبکه , در یک مسیر پیشخور صورت می گیرد (از چپ به راست از لایه ای به لایه دیگر)

همان گونه که بحث شد , هر لایه می تواند از تعدادی نرونهای مختلف با توابع تبدیل متفاوت برخوردار باشد , یعنی مدلهای نرونها در لایه ها می توانند متفاوت در نظر گرفته شوند . اندیسهای فوقانی مبین شماره لایه و اندیسهای تحتانی مبدا و مقصد اتصال سیناپسی

را مشخص می کنند , بنابراین ماتریس وزن برای لایه دوم با W و وزنه اتصالی بین نرون i ام از لایه اول و ورودی j ام از بردار ورودی با W نمایش داده می شود .

در شبکه MLP عموما دو نوع سیگنال استفاده می شوند که بهتر است از هم تمییز داده شوند , یک نوع سیگنالهایی هستند که در مسیر رفت حرکت می کنند (از سمت چپ به راست شبکه) و دسته دیگر سیگنالهایی هستند که در مسیر برگشت حرکت می کنند (از سمت راست به چپ) . به دسته اول سیگنالهای تابعی و به دسته دوم سیگنالهای خطا گویند .

دلیل این نام گذاری این است که سیگنالهای دسته نخست , بر اساس تابعی از ورودیهای هر نرون و پارامترهای شبکه متناظرش با آن محاسبه می شوند و سیگنالهای دسته دوم , به خاطر منشعب شدن از سیگنال خطا و توزیع برگشت از لایه خروجی به لایه های دیگر شبکه به سیگنالهای خطا موسومند , و خلاصه این که سیگنال تابعی , در مسیر رفت در شبکه ای از لایه ای به لایه دیگر توزیع می شود و سیگنالهای خطا در مسیر برگشت در شبکه منتشر می گردند .



شکل (٥-١٦) – پرسپترون چند لایه

۵-٤-٦- خلاصه الگوریتم BP

در این الگوریتم دو مسیر محاسباتی موجود است . مسیر اول , پیشخور یا رفت و مسیر دوم پسخور یا برگشت نامیده می شود.

الف – مسیر رفت :

این مسیر با معادلات زیر بیان می شود:

$$\underline{a} = \underline{P}(K)$$

$$\underline{a}^{l+1}(k) = \underline{F}^{l+1}(W^{l+1}(K)\underline{a}^{l} + \underline{b}^{l+1}(K)), l = o,1,...,L-1 \qquad (۱۲-۵)$$

$$\underline{a}(K) = \underline{a}^{L}(k)$$

در این مسیر همان گونه که می بینیم پارامترهای شبکه در خلال اجرای محاسبات رفت تغییر نمی کنند و توابع محرک , روی تک تک نرونها عمل می کند , یعنی :

$$\underline{F}^{l+1}(\underline{n}(k)) = [f^{l+1}(n_1(k).....f^{l+1}(n_{S_{L+1}}(k))]^T \qquad (۱۳-۵)$$

ب – مسیر برگشت :

در این مسیر بردارهای حساسیت از لایه آخر به اول برگشت داده می شوند. معادلات زیر دینامیک مسیر برگشت رابیان می کنند:

$$\underline{\delta}^{l}(k) = -2\dot{F}^{l}(\underline{n}^{l})\underline{e}(K)$$

$$\underline{\delta}^{l}(k) = \dot{F}^{l}(\underline{n}^{l})(W^{l+1})^{T}\underline{\delta}^{l+1}, l = L-1,...1 \qquad (۱٤-۵)$$

$$\underline{e}(K) = \underline{t}(k) - \underline{a}(k)$$

به عبارت دیگر در مسیر برگشت , شروع کار از لایه آخر یعنی جائی که بردار خطا در اختیار می باشد. سپس بردار خطا از سمت راست به چپ از لایه آخر به اول توزیع می شود و

گرادیان محلی , نرون به نرون با الگوریتم بازگشتی محاسبه می شود. در این مسیر هم پارامترهای شبکه تغییر نخواهد کرد.

ج – تنظیم پارامترها :

نهایتا ماتریسهای وزن و بردارهای بایاس شبکه با روابط زیر تنظیم می گردند:

$$W^l(k+1) = W^l(k) - \alpha \underline{\delta}^l(k)(\underline{a}^{l-1}(k))^T$$

$$b^l(k+1) = b^l(k) - \alpha \underline{\delta}^l(k), l = 1,2,..., L \qquad (۱۵-۵)$$

توجه داریم که پس از اعمال هر زوج ورودی – خروجی به عنوان الگوی یادگیری , بردارهای ورودی در خلال سه مرحله فوق تغییر نمی کنند . به همین دلیل شماره مرحله تکرار k با اعمال k امین الگو به شبکه معادل است.

د- توقف :

جهت توقف تکرار الگوریتم BP از دو شاخص زیر بطور همزمان می توان استفاده نمود:

۱ – میانگین مربعات خطا در هر سیکل یا Epoch (جمع مربعات خطا برای تمامی الگوهای یادگیری) کمتر از مقدار از پیش تعیین شده ای باشد.

۲ – نرم گرادیان خطا از یک مقدار از پیش تعیین شده ای کوچکتر گردد.

۵-٤-۷- نحوه ارائه داده های یادگیری در الگوریتم BP

نظر به این که یادگیری یک نگاشت مفروض از روی ارائه مجموعه داده های یادگیری ورودی – خروجی صورت می گیرد , در انتخاب و نحوه ارائه داده به شبکه عصبی , سیستم یادگیر , بایستی دقت نمود . زیرا حقیقتا در پروسه یادگیری از اطلاعات موجود در نمونه های یادگیری , جهت فهم و استنتاج نگاشت مفروض و پیاده سازی تقریبی آن استفاده می شود . از این رو ترتیب ارائه نمونه های یادگیری به شبکه بایستی طوری باشد که شبکه از امکان برابر برای آموختن همه نمونه های یادگیری برخوردار باشد . به عبارتی روشنتر , نمونه ها در هر سیکل یادگیری بطور تصادفی با امکان انتخاب برابر به شبکه اعمال شوند .

۵-٤-۷-۱- انتخاب مقدار اولیه

نخستین مرحله در به کار گیری الگوریتم BP , تعیین مقادیر اولیه پارامترهای شبکه عصبی MLP می باشد . ناگفته پیداست که یک انتخاب خوب می تواند کمک بزرگی در همگرایی سریعتر الگوریتم BP فراهم آورد , از این رو در مواقعی که اطلاعات اولیه در مورد فضای ورودیهای شبکه کوجود است , بهتر است جهت انتخاب بهتر مقادیر اولیه شبکه مورد استفاده قرار گیرد . و اما در حالتی که هیچ اطلاعی در مورد فضای برداری ورودی موجود نیست , معمول این است که مقادیر کوچکی را به طور تصادفی انتخاب نمود . زیرا نرونها با چنین انتخابی در ناحیه ای که تابع تبدیل , عملکردی خطی دارد عمل می کنند و امکان افتادن نرون به حالت اشباع که منجر به سیگنال خطا می گردد خیلی کم است .

۵-٤-۷-۲- سرعت پایین همگرایی

هر قدر طول قدم یادگیری , α, کوچکتر انتخاب گردد , تغییرات ایجاد شده در پارامترهای شبکه پس از هر مرحله تکرار الگوریتم BP کوچکتر خواهد بود , که این خود منجر به هموارتر گشتن مسیر حرکت پارامترها به سمت مقادیر بهینه در فضای پارامترها می گردد . این مسئله موجب کندتر گشتن الگوریتم BP می گردد . برعکس با افزایش طول قدم a , اگر چه نرخ یادگیری و سرعت یادگیری الگوریتم BP افزایش می یابد , لکن تغییرات فاحشی در پارامترهای شبکه از هر تکرار به تکرار بعد ایجاد می گردد , که گاهی اوقات موجب ناپایداری و نوسانی شدن شبکه می شود که به اصطلاح گویند پارامترهای شبکه واگرا شده است .

۵-٤-۷-۳- روش ممنتم برای BP

اگر نرخ یادگیری کوچک انتخاب شود , روش BP بسیار کند می گردد و اگر نرخ یادگیری بزرگ انتخاب شود این روش نوسانی خواهد شد . راه حل این مسئله اضافه نمودن جمله ممنتم در الگوریتم BP می باشد.

این ایده برای الگوریتم BP به زبان ساده به شرح زیر است : به هر پارامتر از شبکه MLP یک مقدار اینرسی یا اندازه حرکت بیفزایید , تا این که پارامتر مورد نظر در مسیری تمایل به تغییر داشته باشد که کاهش تابع انرژی احساس می شود . با عنایت به توضیحات فوق رابطه تکراری بهبود یافته برای تنظیم پارامترهای شبکه MLP به جمله ممتنم به قرار زیر خواهد شد:

$$\Delta W^l(k) = \gamma \Delta w^l(k-1) - \beta \underline{\delta}^l (\underline{a}^{l-1})T$$

$$\Delta \underline{b}^L(k) = \gamma \Delta \underline{b}^l(k-1) - \beta \underline{\delta}^l \qquad (۱٦-۵)$$

فصل ششم:

شبیه سازی مسئله مدیریت بار

با استفاده از

الگوریتم الگوی جستجو

در فصل پنجم سه روش از روشهای هوشمند جهت حل مسئله بهینه سازی مدیریت بار ارائه گردید. در این فصل فرضیات , مراحل و نتایج حاصل از شبیه سازی برای روش الگوریتم جستجو ارائه می گردد.

با توجه به توضیحات ارائه شده در فصول قبل حل مسئله مدیریت بار (بهینه سازی) توسط الگوریتم جستجو را به سه مرحله تقسیم می کنیم.

مرحله اول : بهینه سازی منحنی بار کل مجموعه و دستیابی به منحنی بار بهینه شده

مرحله دوم : تخصیص سهم هر دستگاه (خط تولید) از منحنی بار کل مجموعه

مرحله سوم : بررسی و تحلیل نتایج بدست آمده

٦-١- بهینه سازی منحنی بار کل مجموعه

مطابق مطالب قبلی عنوان شده تابع هزینه مصارف انرژی الکتریکی در یک مجموعه صنعتی طی ٢٤ ساعت شبانه روز برابر است با :

$$J(X) = \sum_{i=1}^{24} c_i * x_i$$

که در آن c_i برابر هزینه واحد انرژی الکتریکی در ساعت i ام و x_i انرژی مصرفی مجموعه در ساعت i ام می باشد.

مطابق برداشتهای انجام شده مصارف دستگاهها در هر ساعت و در نتیجه مصرف کل مجموعه معلوم می باشد. مقادیر c_i ها نیز بصورت زیر تعریف می گرددند :

$$C = [\, c_1\ c_2\ \dots\ c_{24}\,]^T$$

$$c_1=c_2=\cdots=c_9=c_{14}=c_{15}=\cdots=c_{17}=c_{22}=c_{23}=c_{24}=\alpha$$

$$c_{10}=c_{11}=c_{12}=c_{13}=\beta$$

$$c_{19}=c_{20}=c_{21}=c_{22}=\gamma$$

که در آن $\alpha \langle \beta \langle \gamma$ می باشند و با توجه به نرخ هزینه انرژی الکتریکی تعیین می شوند.

با انتخاب مقادیر بزرگ برای c_i ها می توان در بهینه سازی از بار آن ساعات کاست و با انتخاب مقادیر کوچک برای c_i ها می توان در بهینه سازی بر بار آن ساعات افزود , بدون اینکه بر تولید خللی وارد گردد(یعنی سطح زیر منحنی بار ثابت می ماند).

قیود مسئله بهینه سازی با توجه به مطالب عنوان شده قبلی بصورت زیر می باشد:

$$\Delta E = [\ ۱/۲(x_۱+x_۲)+\sum_{i=2}^{23} x_i\ ] \times (\text{یک ساعت}) - E^* = ۰$$

$$X_{iL} \le X_i \le X_{iu} \qquad i = ۱،۲,....,۲٤$$

قیود مساوی از آنجا نتیجه می گردد که کل مصرف انرژی قبل و بعد از بهینه سازی نباید تغییر کند . قیود نامساوی مسئله نیز از آنجا نتیجه می گردد که در عمل ما مجاز به تغییر مصرف در خطوط تولید به هر مقدار دلخواه نمی باشیم و از این نظر محدودیتهائی داریم. در این مسئله فرض بر این است که مقدار انرژی کل مجموعه در هر ساعت می تواند ۲۰ در صد کاهش یا افزایش داشته باشد (البته همانطور که گفته شد کل انرژی مصرف شده در یک شبانه روز ثابت است.).

این شبیه سازی توسط جعبه ابزار های محیط MATLAB انجام شده است.

تنظیمات برای اجرای هرچه بهتر روش الگوریتم الگوی جستجو عبارتند از :

```
options =

        TolMesh: ۱,۰۰۰۰e-۰۰٦
          TolX: ۱,۰۰۰۰e-۰۰٦
        TolFun: ۱,۰۰۰۰e-۰۰٦
       TolBind: ۱,۰۰۰۰e-۰۰۳
    MaxIteration: ۱۰۰۰۰
     MaxFunEvals: '۲۰۰۰*numberofvariables'
  MeshContraction: ۰,٥۰۰۰
   MeshExpansion: ۲
  MeshAccelerator: 'on'
     MeshRotate: 'on'
  InitialMeshSize: ۱
      ScaleMesh: 'on'
    MaxMeshSize: Inf
     PollMethod: 'positivebasis۲n'
   CompletePoll: 'on'
   PollingOrder: 'consecutive'
   SearchMethod: []
  CompleteSearch: 'on'
       Display: 'final'
    OutputFcns: []
     PlotFcns: []
```

```
PlotInterval: ١
     Cache: 'on'
 CacheSize: ١٠٠٠٠
  CacheTol: ٢,٢٢٠٤e-٠١٦
Vectorized: 'off'
```

که با اجرای برنامه فوق و با توجه به ورودیها و تنظیمات انجام شده منحنی بار بهینه شده جهت کل مجموعه بدست می آید .

٦-٢- تخصیص سهم هر دستگاه از منحنی بار کل مجموعه

همانطور که قبلا نیز ذکر شد هر دستگاهی که در هر ساعت مصرف بیشتری دارد می بایست در کاهش یا افزایش منحنی بار سهم بیشتری داشته باشد بنابراین می توان مسئله فوق را در قالب یک مسئله بهینه سازی بصورت زیر بیان نمود :

$$y_i = x_i - x_i^* \qquad i = ١،٢,....,٢٤$$

$$j_٢(X) = \sum_{j=1}^{24} x_{ij} \left(\frac{p_{ij}}{x_{ij}^*}\right)^2$$

$$\sum_{j=i}^{n} P_{ij} = y_i \qquad i= ١،٢,...,٢٤$$

$$P_{ij}^{L} \le P_{ij} \le P_{ij}^{u} \qquad i= ١،٢,...,٢٤$$

$$P_{ij}^{L} = - \left|\frac{x_i - x_i^*}{x_i^*}\right| x_{ij}^* \qquad j= ١،٢,...,n$$

$$P_{ij}^{u} = \left|\frac{x_i - x_i^*}{x_i^*}\right| x_{ij}^*$$

قیود مساوی بیانگر آن است که مجموع کاهش یا افزایش در بارهای تمام دستگاهها در هر ساعت باید برابر کاهش یا افزایش حاصل شده در منحنی بار بهینه باشد. قیود نامساوی نیز حاصل این تفکر است که ما به هر اندازه و میزان دلخواه نمی توانیم مصرف یک خط تولید را

در یک ساعت افزایش یا کاهش دهیم. بنابراین مانند حالت قبل فرض می کنیم که افزایش یا کاهش مجاز در هر ساعت در هر دستگاه (خط تولید) ۲۰ در صد مقدار فعلی آن باشد. با توجه به مدل ذکر شده برای مسئله بهینه سازی فوق مانند حالت قبل و با استفاده از روش الگوریتم الگوی جستجو , بهینه سازی را انجام می دهیم و سهم هر دستگاه در هر ساعت را بدست می آوریم.

٦-٣- بررسی و تحلیل نتایج بدست آمده

با توجه به منحنی (٦-١) مشاهده می گردد که در ساعات پیک اول یعنی از ساعت ۹ الی ۱۳ و پیک دوم یعنی از ساعت ۱۸ الی ۲۲ مصرف برق کاهش یافته است. با بررسی دقیق تر نتایج بدست آمده مشاهده می شود که سطح زیر منحنی بار قبل و بعد از بهینه سازی تغییری نکرده است و این همان قیدی است که در قسمت اول مسئله تعریف نمودیم از طرف دیگر اگر هزینه انرژی الکتریکی در ٢٤ ساعت را برای منحنی بار بهینه شده محاسبه می نمائیم این مقدار نشان می دهد که تابع هزینه ما حدود ۲۰ درصد کاهش یافته است . و بهینه سازی با موفقیت انجام گرفته است .

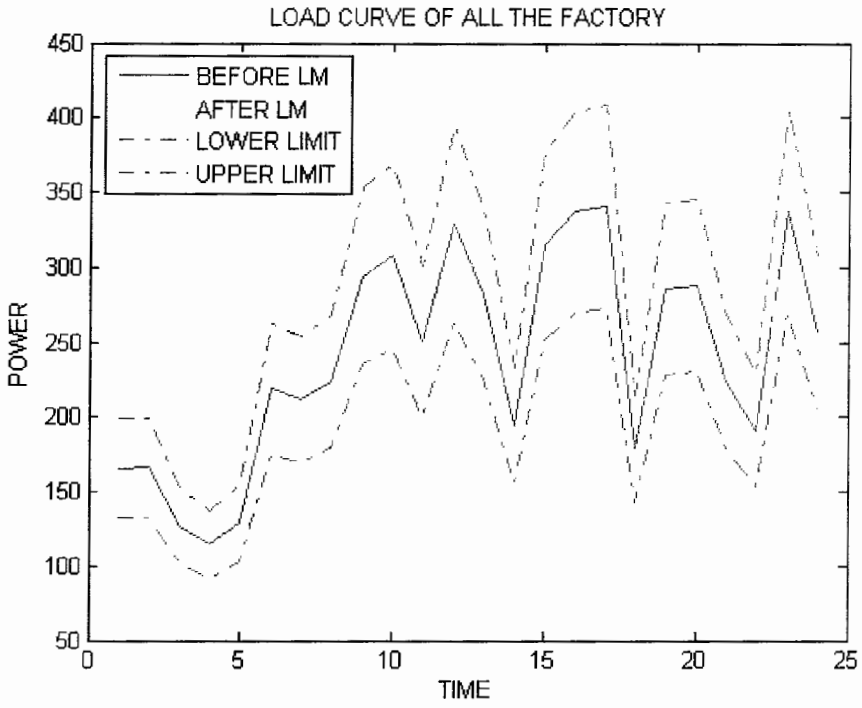
ضمناً نتیجه حاصل از تخصیص سهم هر دستگاه , دستورالعمل بهره برداری بهینه از واحدهای کارخانه تحت مطالعه را به ما می دهد. که این منحنی ها به همراه منحنی های حالت قبل از بهینه سازی در شکلهای (٦-٢) الی (٦-٨) نشان داده شده اند.

با مطالعه این شکلها نتیجه می شود :

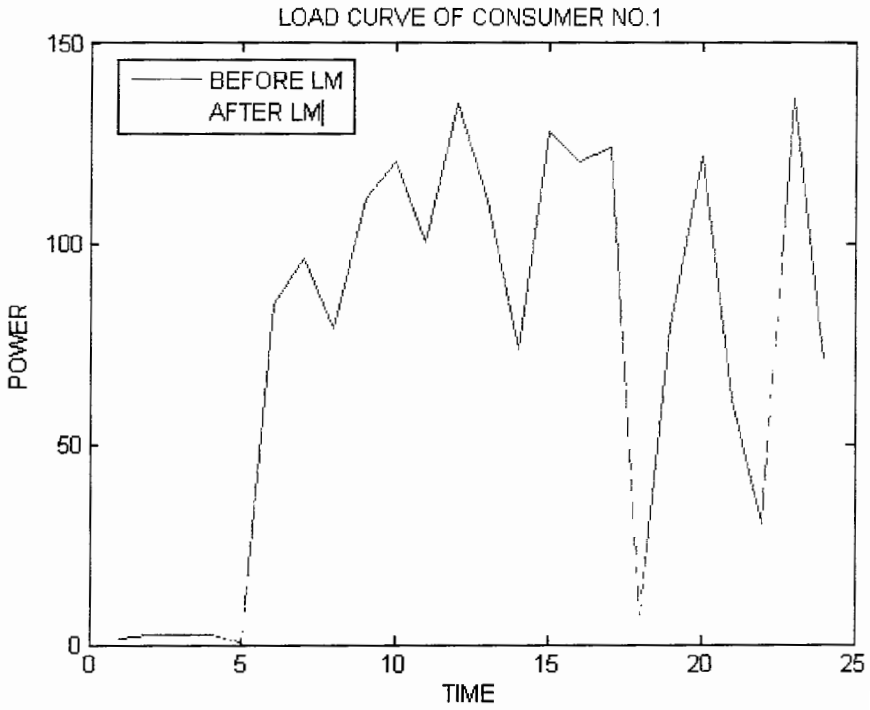
١- مصرف کارخانه در ساعات پیک شبکه سراسری یعنی ساعات ۹ الی ۱۳ و نیز ۱۸ الی ۲۲ کاش می یابد که با توجه به هزینه گران برق در ساعات پیک قطعاً هزینه برق مصرفی کارخانه کمتر خواهد شد.

٢- با توجه به منحنی های هر دستگاه عملکرد کارخانه در تولید محصول دچار وقفه نخواهد شد (سطح زیر منحنی بار هر واحد قبل و بعد از بهینه سازی ثابت است).

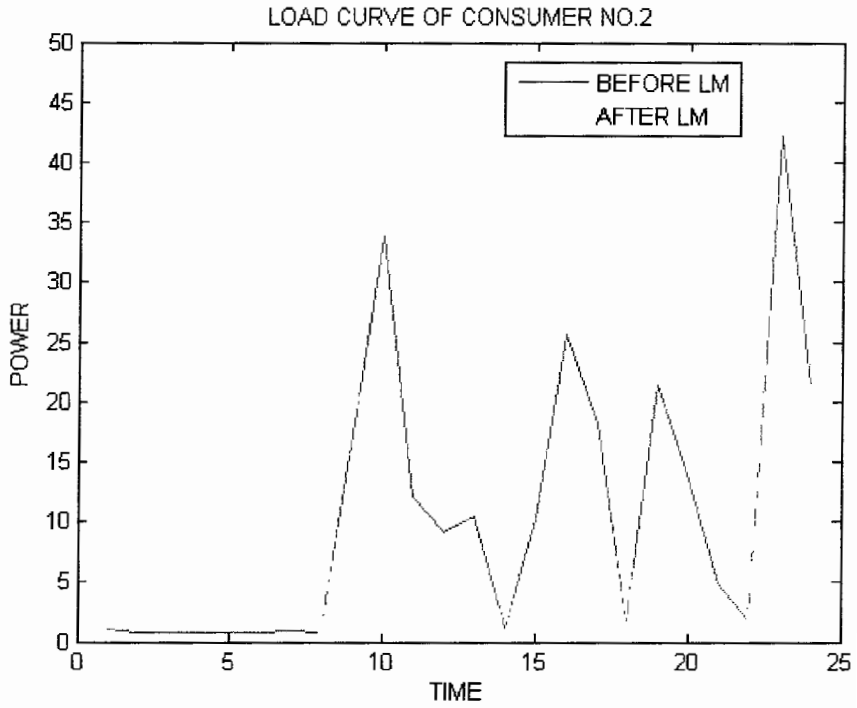
٣- چون در ساعات پیک از مصرف کارخانه کاسته شده است , در نتیجه از بار شبکه سراسری نیز کاسته می شود و منحنی بار کل شبکه هموارتر می شود. ساعات پیک مربوط به مصارف غیر صنعتی اختصاص می یابد و در نتیجه هزینه برق تولیدی برای تولید کنندگان نیز کاهش می یابد.



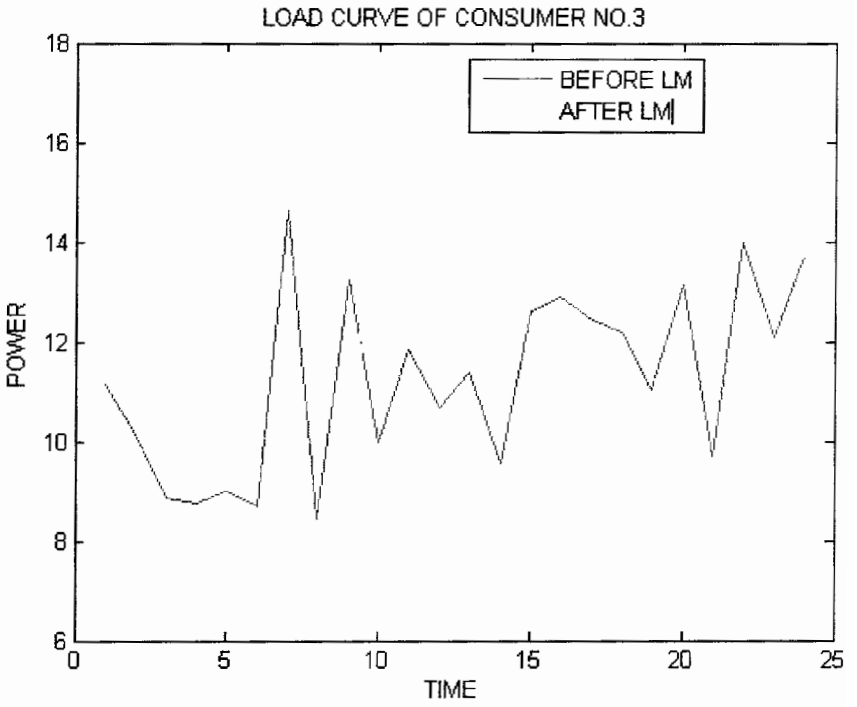
شکل (۶-۱) – منحنی بار کل مجموعه



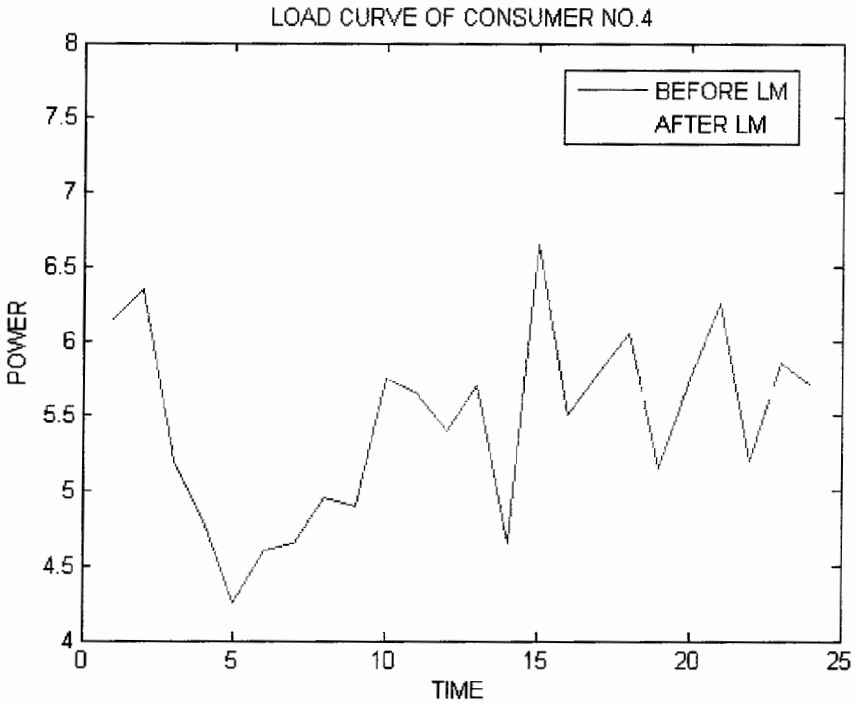
شکل (۶-۲) – منحنی بار دستگاه شماره ۱



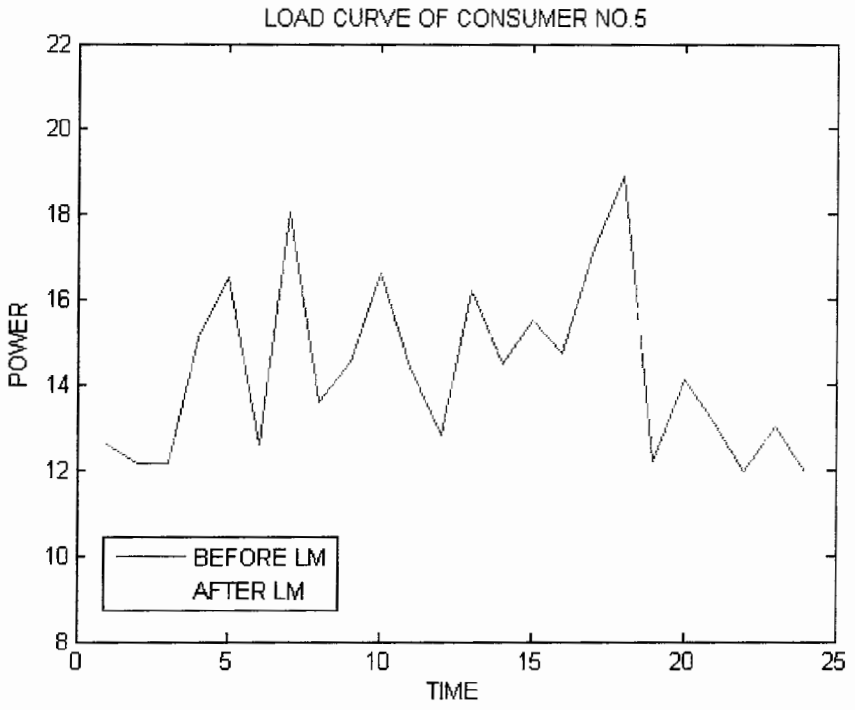
شکل (۶-۳) – منحنی بار دستگاه شماره ۲



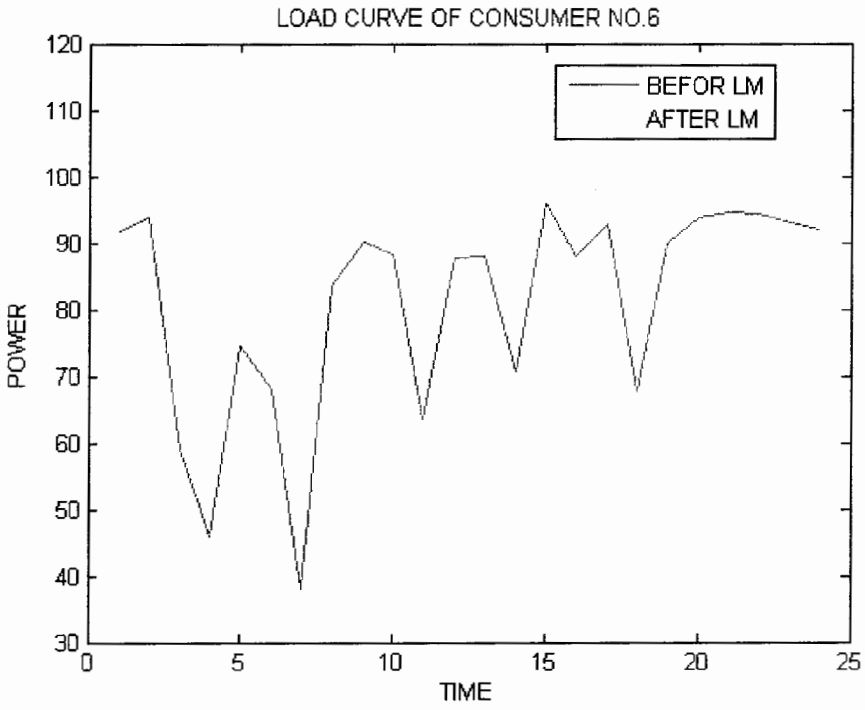
شکل (۶-۴) – منحنی بار دستگاه شماره ۳



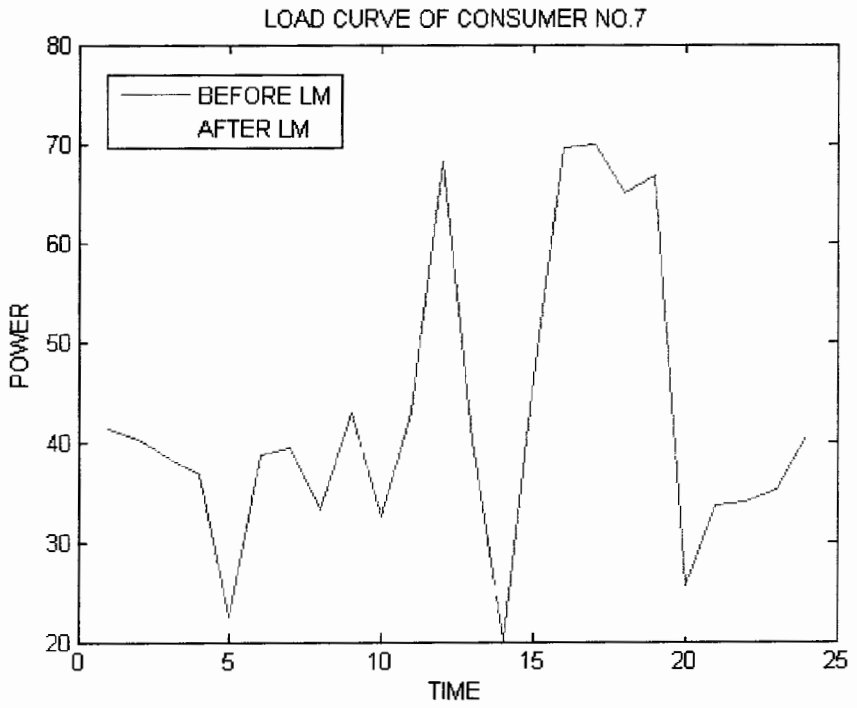
شکل (۶-۵) – منحنی بار دستگاه شماره ۴



شکل (۶-۶) – منحنی بار دستگاه شماره ۵



شکل (۶-۷) – منحنی بار دستگاه شماره ۶



شکل (۶-۸) – منحنی بار دستگاه شماره ۷

فصل هفتم:

شبیه سازی مسئله مدیریت بار

با استفاده از

الگوریتم ژنتیک

در فصل پنجم سه روش از روشهای هوشمند جهت حل مسئله بهینه سازی مدیریت بار ارائه گردید. در این فصل فرضیات , مراحل و نتایج حاصل از شبیه سازی برای روش الگوریتم ژنتیک ارائه می گردد.

با توجه به توضیحات ارائه شده در فصول قبل حل مسئله مدیریت بار (بهینه سازی) توسط الگوریتم ژنتیک را به سه مرحله تقسیم می کنیم.

مرحله اول : بهینه سازی منحنی بار کل مجموعه و دستیابی به منحنی بار بهینه شده

مرحله دوم : تخصیص سهم هر دستگاه (خط تولید) از منحنی بار کل مجموعه

مرحله سوم : بررسی و تحلیل نتایج بدست آمده

۷-۱- بهینه سازی منحنی بار کل مجموعه

مطابق مطالب قبلی عنوان شده تابع هزینه مصارف انرژی الکتریکی در یک مجموعه صنعتی طی ۲٤ ساعت شبانه روز برابر است با :

$$J(X) = \sum_{i=1}^{24} c_i * x_i$$

که در آن c_i برابر هزینه واحد انرژی الکتریکی در ساعت i ام و x_i انرژی مصرفی مجموعه در ساعت i ام می باشد.

مطابق برداشتهای انجام شده مصارف دستگاهها در هر ساعت و در نتیجه مصرف کل مجموعه معلوم می باشد. مقادیر c_i ها نیز بصورت زیر تعریف می گرددند :

$$C = [\, c_1\ c_2\ \dots\ c_{24}\,]^T$$

$$c_1=c_2=\cdots=c_9=c_{14}=c_{15}=\cdots=c_{17}=c_{22}=c_{23}=c_{24}=\alpha$$

$$c_{10}=c_{11}=c_{12}=c_{13}=\beta$$

$$c_{19}=c_{20}=c_{21}=c_{22}=\gamma$$

که در آن $\alpha \langle \beta \langle \gamma$ می باشند و با توجه به نرخ هزینه انرژی الکتریکی تعیین می شوند.

با انتخاب مقادیر بزرگ برای c_i ها می توان در بهینه سازی از بار آن ساعات کاست و با انتخاب مقادیر کوچک برای c_i ها می توان در بهینه سازی بر بار آن ساعات افزود , بدون اینکه بر تولید خللی وارد گردد (یعنی سطح زیر منحنی بار ثابت می ماند).

قیود مسئله بهینه سازی با توجه به مطالب عنوان شده قبلی بصورت زیر می باشد:

$$\Delta E = [\ ۱/۲(x_۱+x_۲)+\sum_{i=2}^{23} x_i\ ] \times (\text{یک ساعت}) - E^* = ۰$$

$$X_{iL} \le X_i \le X_{iu} \qquad i = ۱،۲,....,۲٤$$

قیود مساوی از آنجا نتیجه می گردد که کل مصرف انرژی قبل و بعد از بهینه سازی نباید تغییر کند . قیود نامساوی مسئله نیز از آنجا نتیجه می گردد که در عمل ما مجاز به تغییر مصرف در خطوط تولید به هر مقدار دلخواه نمی باشیم و از این نظر محدودیتهائی داریم. در این مسئله فرض بر این است که مقدار انرژی کل مجموعه در هر ساعت می تواند ۲۰ در صد کاهش یا افزایش داشته باشد. (البته همانطور که گفته شد کل انرژی مصرف شده در یک شبانه روز ثابت است.)

این شبیه سازی توسط جعبه ابزار های محیط MATLAB انجام شده است.

تنظیمات برای اجرای هرچه بهتر روش هوشمند الگوریتم ژنتیک عبارتند از :

```
options =

    PopulationType: 'doubleVector'
      PopInitRange: [۲x۱ double]
    PopulationSize: ۵۰۰
       EliteCount: ۲
  CrossoverFraction: ۰,۵۵۰۰
 MigrationDirection: 'forward'
  MigrationInterval: ۲۰
  MigrationFraction: ۰,۲۰۰۰
       Generations: ۲۰۰
         TimeLimit: Inf
      FitnessLimit: -Inf
     StallGenLimit: ۱۰۰
    StallTimeLimit: Inf
  InitialPopulation: []
     InitialScores: []
      PlotInterval: ۱
      CreationFcn: @gacreationuniform
  FitnessScalingFcn: @fitscalingrank
     SelectionFcn: {[۱x۱ function_handle] [٤]}
```

```
CrossoverFcn: @crossoverscattered
 MutationFcn: {[1x1 function_handle] [0.0100] [1]}
  HybridFcn: {[1x1 function_handle] []}
    Display: 'iter'
   PlotFcns: {1x8 cell}
 OutputFcns: []
 Vectorized: 'off'
```

دستور اصلی استفاده شده برای بهینه سازی به روش الگوریتم ژنتیک قابلیت بهینه سازی مقید را مستقیماً ندارد . برای وارد کردن قیود مساوی و نامساوی در مسئله آنها را بصورت جملاتی جهت جریمه (Penalty Factor) تابع هدف با ضرائب بزرگ در نظر می گیریم تا این شرایط حتما برقرار گردند .با اجرای برنامه تهیه شده و با توجه به ورودیها و تنظیمات انجام شده منحنی بار بهینه شده جهت کل مجموعه بدست می آید .

۷-۲- تخصیص سهم هر دستگاه از منحنی بار کل مجموعه

همانطور که قبلا نیز ذکر شد هر دستگاهی که در هر ساعت مصرف بیشتری دارد می بایست در کاهش یا افزایش منحنی بار سهم بیشتری داشته باشد بنابراین می توان مسئله فوق را در قالب یک مسئله بهینه سازی بصورت زیر بیان نمود :

$$y_i = x_i - x_i^* \qquad i = ۱،۲,....,۲٤$$

$$j_۲(X) = \sum_{j=1}^{24} x_{ij} \left(\frac{p_{ij}}{x_{ij}^*}\right)^2$$

$$\sum_{j=1}^{n} P_{ij} = y_i \qquad i= ۱،۲,...,۲٤$$

$$P_{ij}^{L} \le P_{ij} \le P_{ij}^{u} \qquad i= ۱،۲,...,۲٤$$

$$P_{ij}^{L} = - \left|\frac{x_i - x_i^*}{x_i^*}\right| x_{ij}^* \qquad j= ۱،۲,...,n$$

$$P_{ij}^{u} = \left|\frac{x_i - x_i^*}{x_i^*}\right| x_{ij}^*$$

قیود مساوی بیانگر آن است که مجموع کاهش یا افزایش در بارهای تمام دستگاهها در هر ساعت باید برابر کاهش یا افزایش حاصل شده در منحنی بار بهینه باشد. قیود نامساوی نیز حاصل این تفکر است که ما به هر اندازه و میزان دلخواه نمی توانیم مصرف یک خط تولید را در یک ساعت افزایش یا کاهش دهیم. بنابراین مانند حالت قبل فرض می کنیم که افزایش یا کاهش مجاز در هر ساعت در هر دستگاه (خط تولید) ۲۰ در صد مقدار فعلی آن باشد. مطابق آنچه که در فصل ششم گفته شد مسئله بهینه سازی فوق را حل نموده و نتایج بدست می آیند .

۷-۳- بررسی و تحلیل نتایج بدست آمده

با توجه به منحنی (۷-۱) مشاهده می گردد که در ساعات پیک اول یعنی از ساعت ۹ الی ۱۳ و پیک دوم یعنی از ساعت ۱۸ الی ۲۲ مصرف برق کاهش یافته است. با بررسی دقیق تر نتایج بدست آمده مشاهده می شود که سطح زیر منحنی بار قبل و بعد از بهینه سازی تغییری نکرده است و این همان قیدی است که در قسمت اول مسئله تعریف نمودیم از طرف دیگر اگر هزینه انرژی الکتریکی در ۲٤ ساعت را برای منحنی بار بهینه شده محاسبه می نمائیم این مقدار نشان می دهد که تابع هزینه ما حدود ۲۰ درصد کاهش یافته است . و بهینه سازی با موفقیت انجام گرفته است .

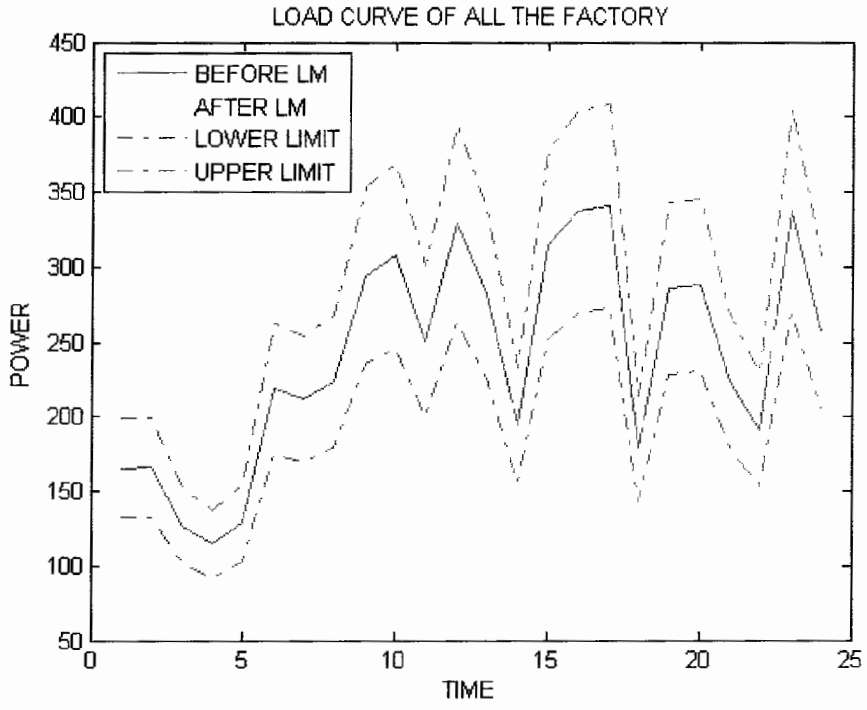
ضمناً نتیجه حاصل از تخصیص سهم هر دستگاه , دستورالعمل بهره برداری بهینه از واحدهای کارخانه تحت مطالعه را به ما می دهد. که این منحنی ها به همراه منحنی های حالت قبل از بهینه سازی در شکلهای (۷-۲) الی (۷-۸) نشان داده شده اند.

با مطالعه این شکلها نتیجه می شود :

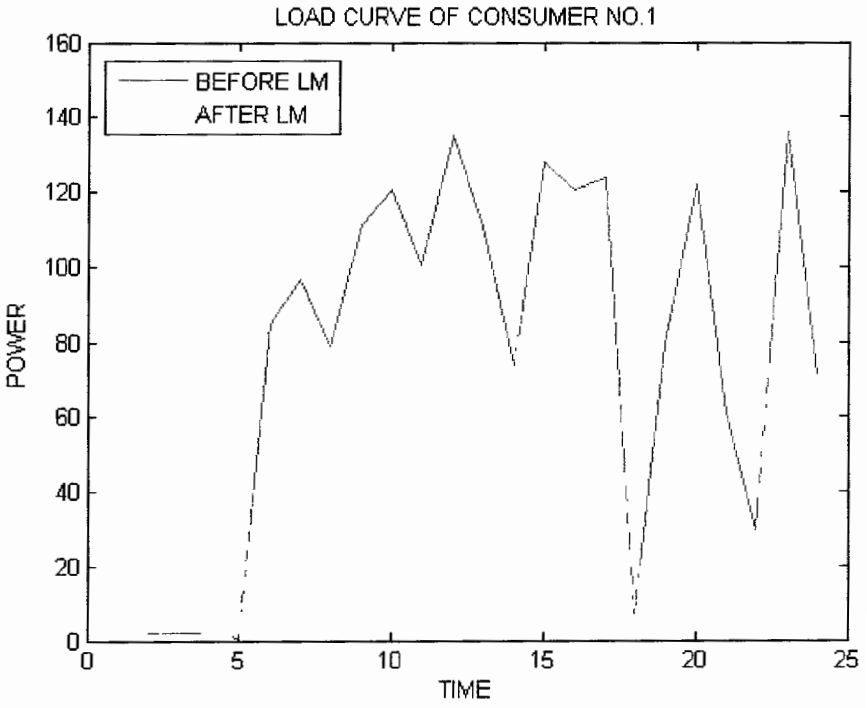
۱- مصرف کارخانه در ساعات پیک شبکه سراسری یعنی ساعات ۹ الی ۱۳ و نیز ۱۸ الی ۲۲ کاش می یابد که با توجه به هزینه گران برق در ساعات پیک قطعاً هزینه برق مصرفی کارخانه کمتر خواهد شد.

۲- با توجه به منحنی های هر دستگاه عملکرد کارخانه در تولید محصول دچار وقفه نخواهد شد (سطح زیر منحنی بار هر واحد قبل و بعد از بهینه سازی ثابت است).

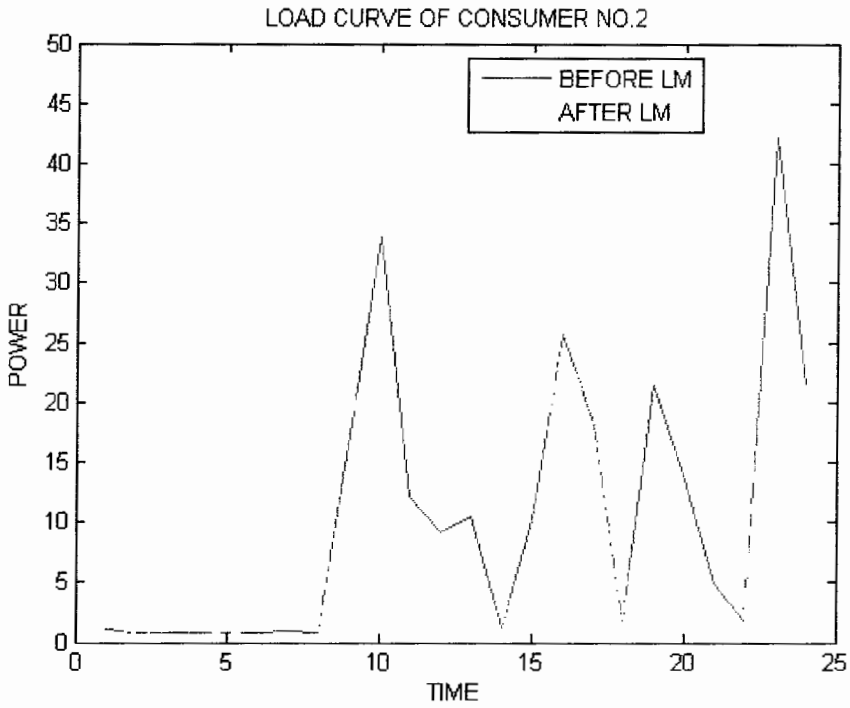
۳- چون در ساعات پیک از مصرف کارخانه کاسته شده است , در نتیجه از بار شبکه سراسری نیز کاسته می شود و منحنی بار کل شبکه هموارتر می شود. ساعات پیک مربوط به مصارف غیر صنعتی اختصاص می یابد و در نتیجه هزینه برق تولیدی برای تولید کنندگان نیز کاهش می یابد.



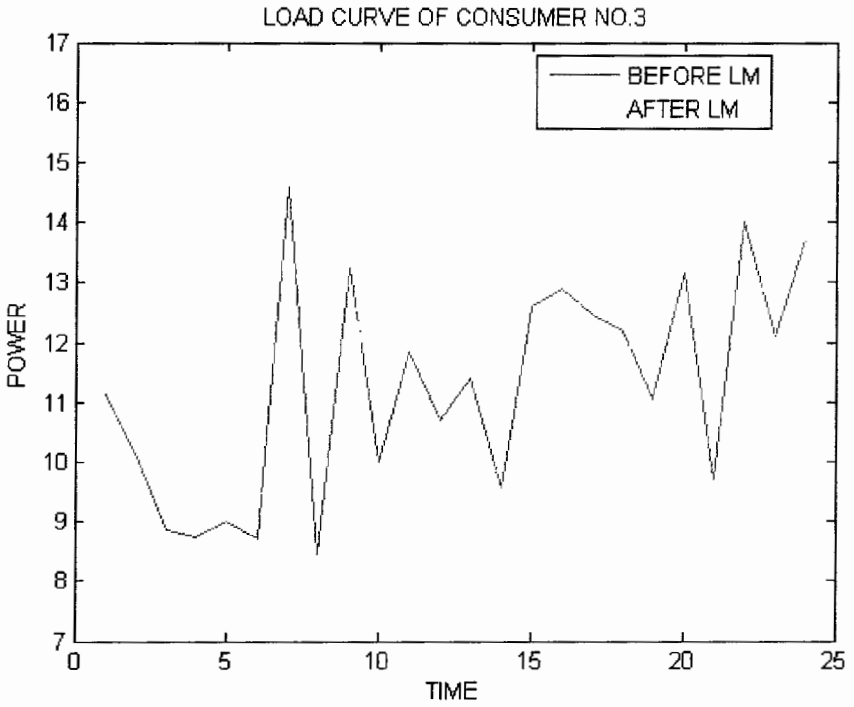
شکل (۷-۱) – منحنی بار کل مجموعه



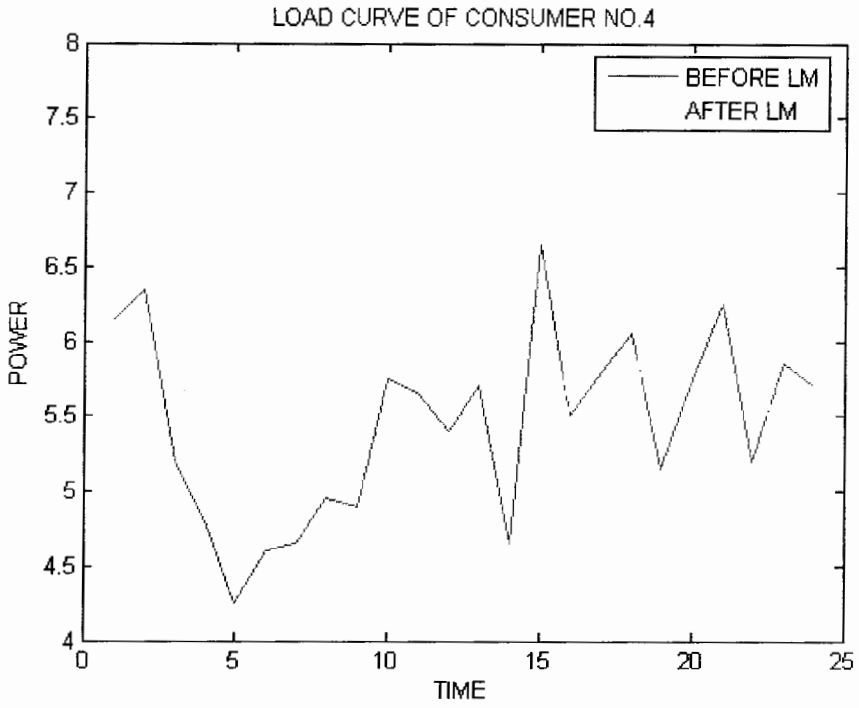
شکل (۷-۲) – منحنی بار دستگاه شماره ۱



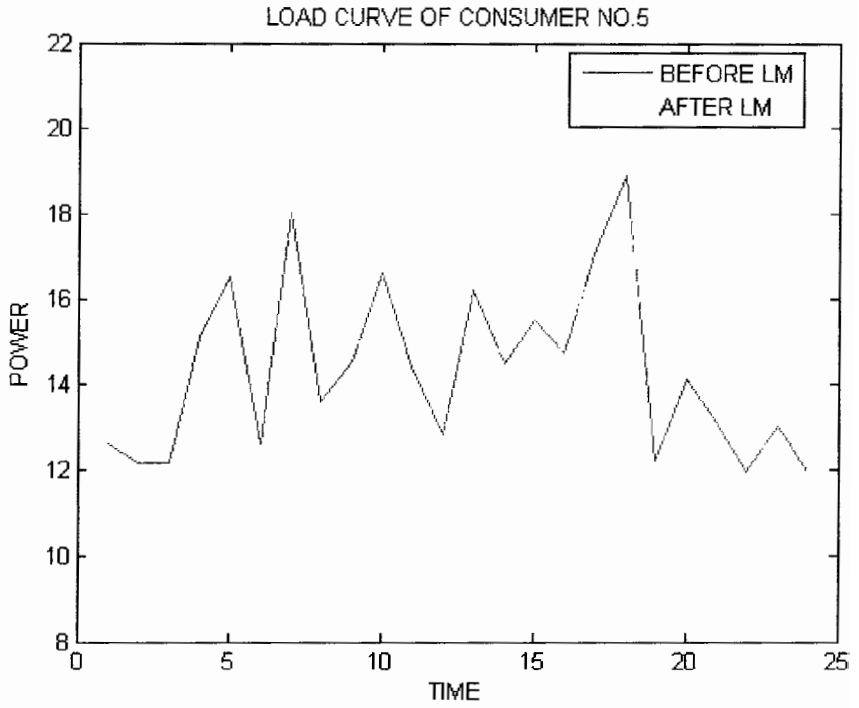
شکل (۷-۳) – منحنی بار دستگاه شماره ۲



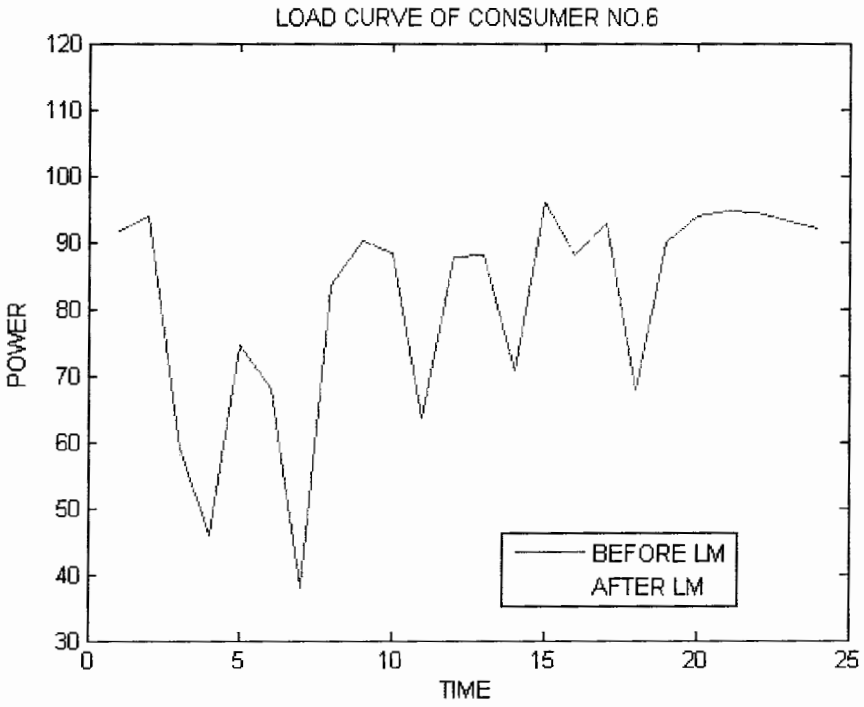
شکل (۷-۴) – منحنی بار دستگاه شماره ۳



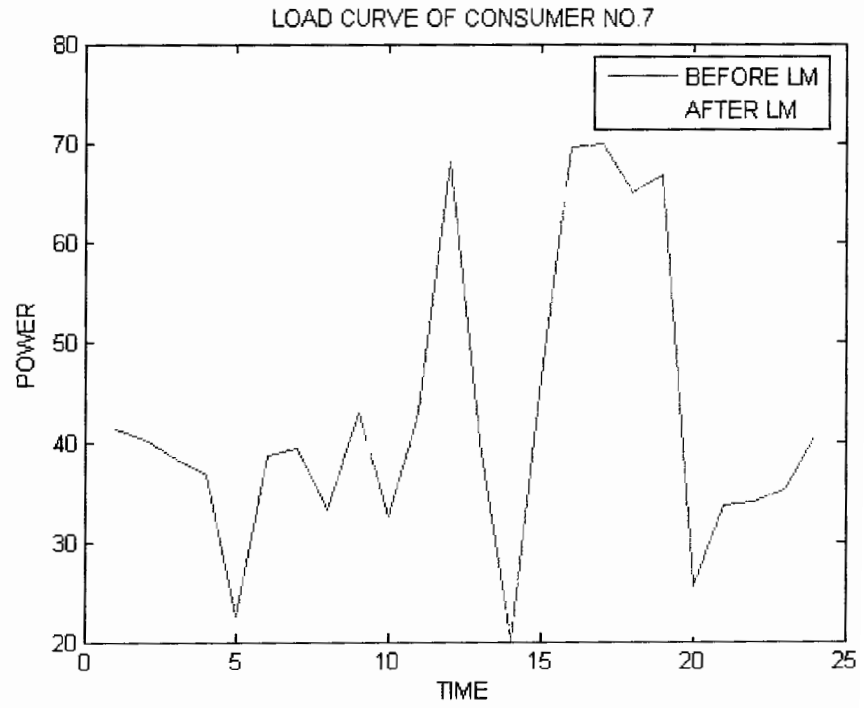
شکل (۷-۵) – منحنی بار دستگاه شماره ۴



شکل (۷-۶) – منحنی بار دستگاه شماره ۵



شکل (۷-۷) – منحنی بار دستگاه شماره ۶



شکل (۷-۸) – منحنی بار دستگاه شماره ۷

فصل هشتم:

شبیه سازی مسئله مدیریت بار

با استفاده از

شبکه های عصبی

می دانیم برای آموزش یک شبکه عصبی نیاز به تجربه داریم . یعنی باید ابتدا الگوهایی از مسئله و جواب آنها را شناسایی نموده با استفاده از آنها اقدام به تشکیل و آموزش (با نظارت) شبکه نمایم و آنگاه برای حالتهای جدید از شبکه جهت تخمین خروجی استفاده نمائیم .

برای مسئله فوق بدین صورت عمل می کنیم که فرض می کنیم که تغییرات بار دستگاهها در محدوده ۲۰ درصد مجاز باشد یعنی ماتریس بار دستگاهها در ساعات شبانه روز که یک ماتریس ۷ × ۲٤ می باشد را در یک عدد تصادفی بین ۰/۸ و ۱/۲ ضرب می نمائیم . بدین ترتیب ماتریس جدیدی برای بار دستگاهها در ساعات شبانه روز بدست می آید. سپس برای این بارها با یکی از روشهای قبل مثلا (Pattern search) جواب بهینه را بدست می آوریم .

بدین ترتیب ما یک الگوی آموزشی برای شبکه عصبی خود ایجاد نموده ایم. از آنجا که کار آموزش شبکه عصبی با یک الگو مناسب نمی باشد , لذا عمل تولید الگو ها مطابق روش فوق را چند بار تکرار می کنیم .

حال ما چند ماتریس ۷ × ۲٤ داریم که با در نظر داشتن این موضوع که هر ستون از این ماتریسها مربوط به یک دستگاه می باشد برای حل مساله ملزم به استفاده از ۷ شبکه عصبی می باشیم. بنابراین بعنوان مثال ستونهای اول ماتریسهای ۷ × ۲٤ را به همراه پاسخهای متناظرشان را بعنوان یکدسته الگوی آموزشی در نظر می گیریم و شبکه ای سه لایه شامل (ورودی , میانی , خروجی) تشکیل می دهیم. سپس این عمل را برای سایر ستونهای ماتریسهای فوق نیز انجام می دهیم.

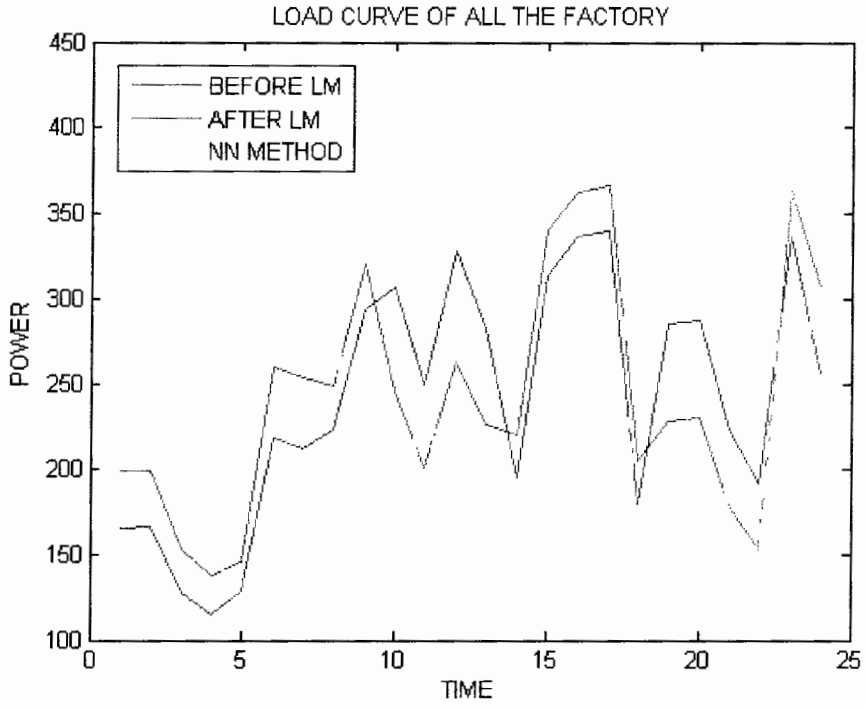
ورودی شبکه عصبی بار هر دستگاه در ساعات شبانه روز می باشد . یعنی بردار ورودی دارای ۲٤ عضو می باشد . لایه میانی یا روش سعی و خطا از تعدادی نرون تشکیل می گردد و تابع فعال سازی استفاده شده در این لایه تانژانت هیپربولیک (Tansig) می باشد . در لایه خروجی نیز به ناچار ۲٤ عنصر داریم (برای بار هر دستگاه در ۲٤ ساعت) که تابع فعال ساز آنها خطی مثبت (Posline) می باشد چون جوابهای منفی برای ما ارزشی ندارند . برای شبکه های عصبی پارامترهای ضریب آموزش , ضریب ممتنم , تعداد تکرار و خطای همگرا شدن را تعریف می نمایم.

پس از تشکیل شبکه , اطلاعاتی که از کارخانه برداشت شده است به صورت بردار ورودی البته با در نظر گرفتن شماره دستگاه به شبکه متناظر اعمال شده و نتایج آن بدست

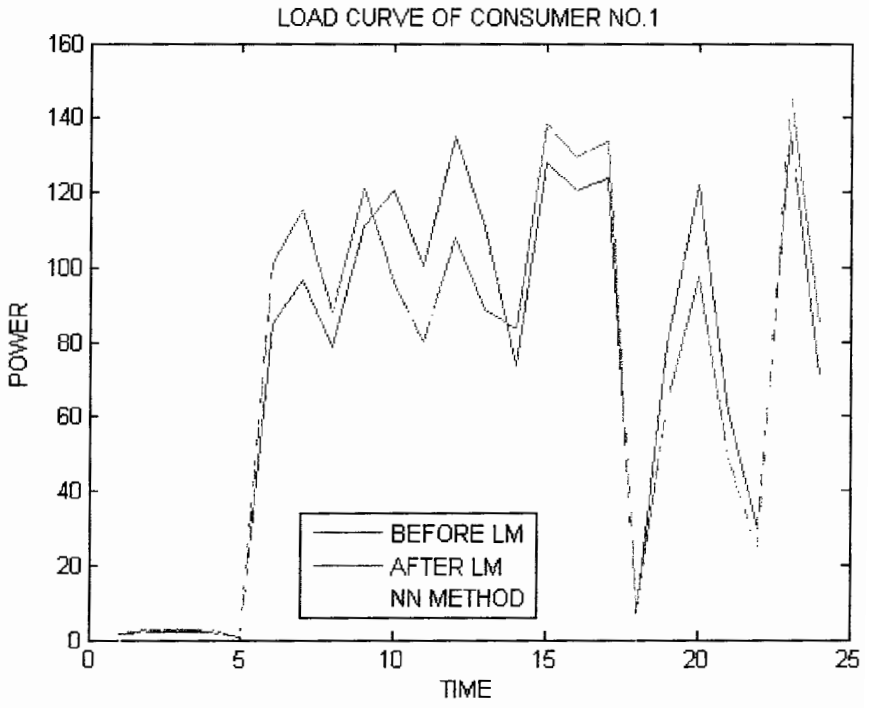
می آید. در انتها نیز با جمع کردن بار هفت دستگاه مصرف کل مجموعه بدست می آید که می توان با حالتهای قبل آن را مقایسه نمود.

شکلهای (۸-۱) الی (۸-۸) منحنی بار کل مجموعه و نیز سهم هر دستگاه را قبل و بعد از بهینه سازی نشان می دهد .

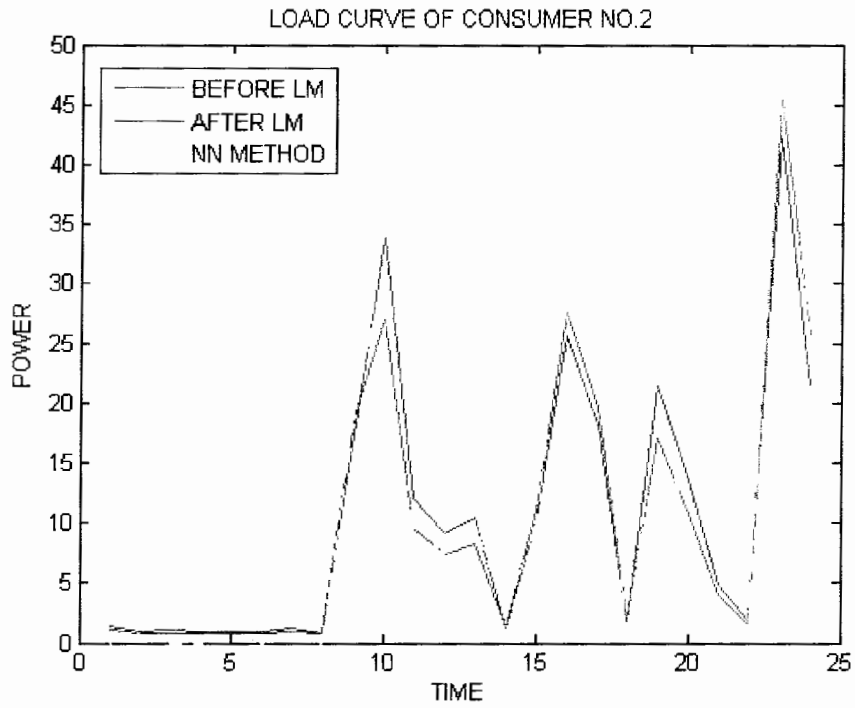
با اعمال نتایج فوق با تابع هزینه مشاهده می گردد که تابع هزینه حدود ۱۳ درصد کاهش داشته است . ولی هنوز به نتایج بدست آمده از روشهای الگوریتم الگوی جستجو و الگوریتم ژنتیک فاصله دارد .



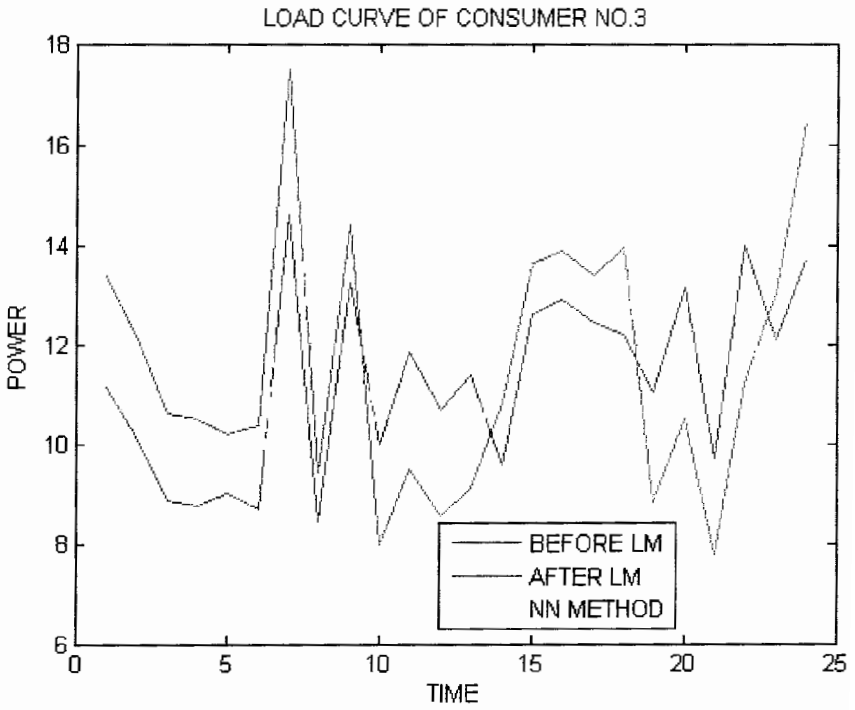
شکل (8-۱) – منحنی بار کل مجموعه



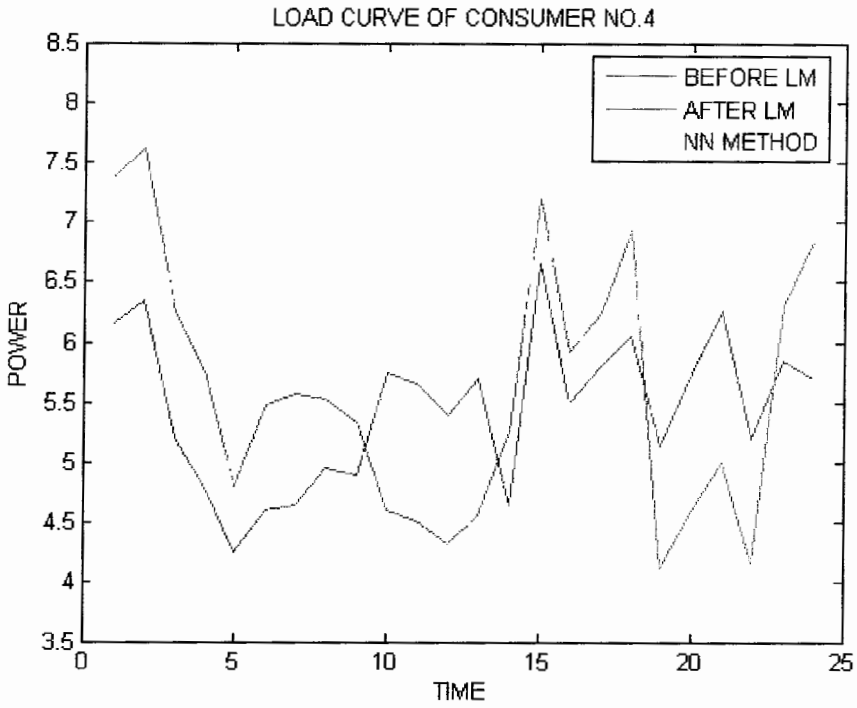
شکل (8-۲) – منحنی بار دستگاه شماره ۱



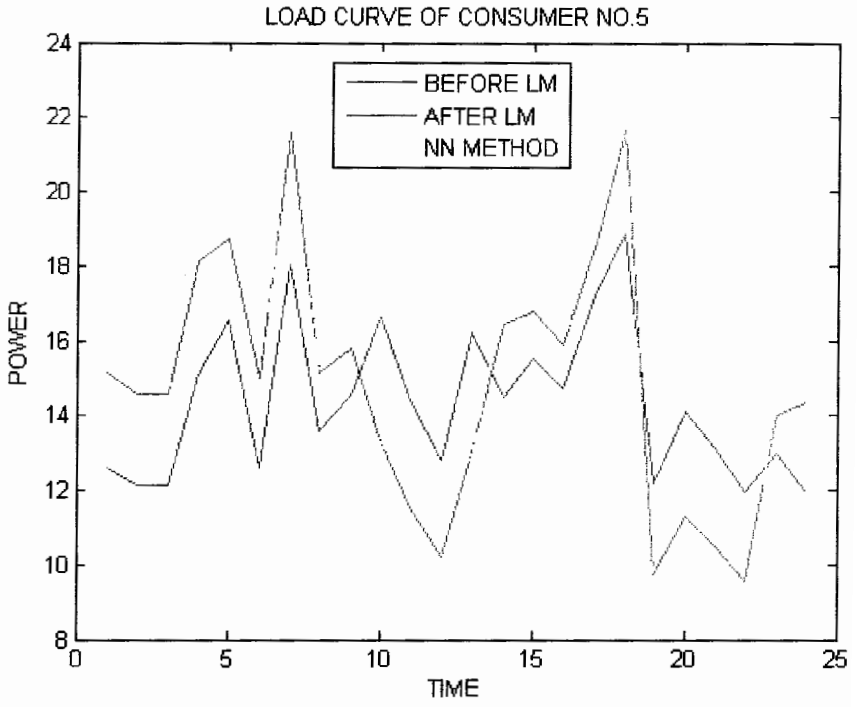
شکل (8-۳) – منحنی بار دستگاه شماره ۲



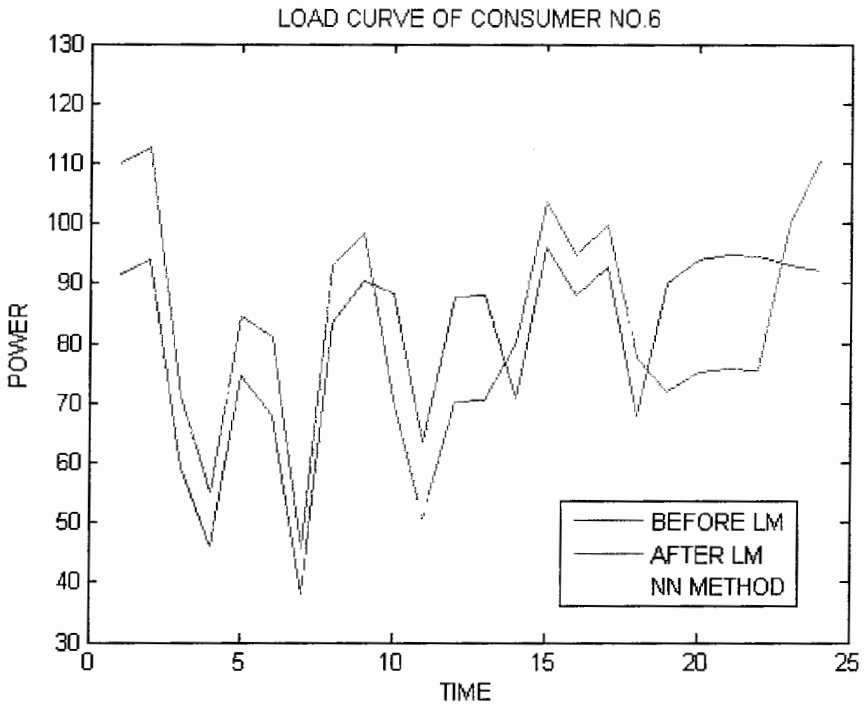
شکل (8-۴) – منحنی بار دستگاه شماره ۳



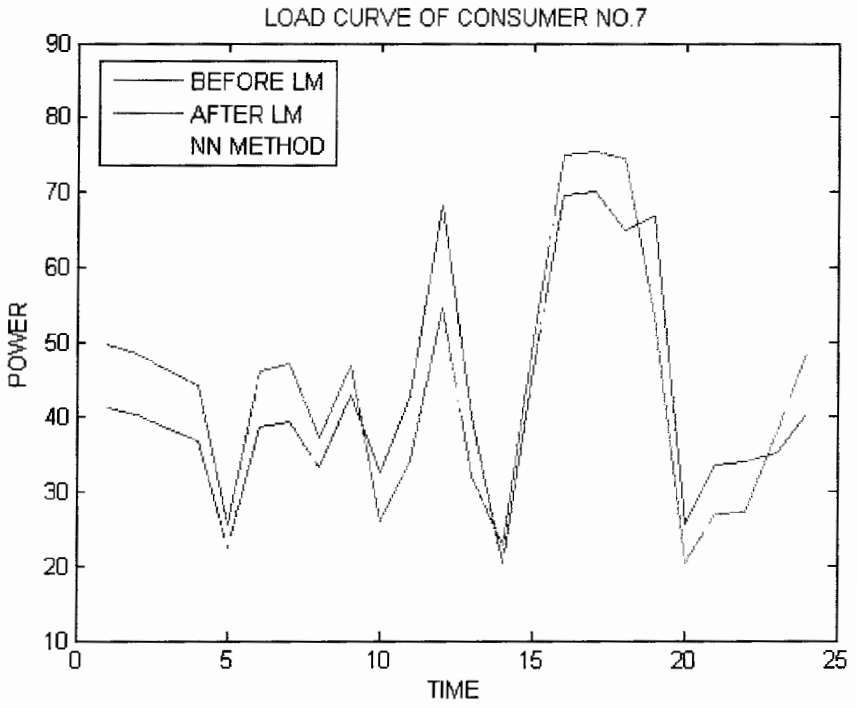
شکل (8-۵) – منحنی بار دستگاه شماره ۴



شکل (8-۶) – منحنی بار دستگاه شماره ۵



شکل (8-۷) – منحنی بار دستگاه شماره ۶



شکل (۷-۸) – منحنی بار دستگاه شماره ۷

فصل نهم:

نتیجه گیری

و

پیشنهادات

۹-۱- نتیجه گیری

در این پایان نامه مبحث مدیریت بار مورد مطالعه قرار گرفت. . قابلیت کنترل بهتر و سهولت استفاده از انرژی الکتریکی باعث شده است که این انرژی در مقایسه با سایر منابع انرژی مورد توجه بیشتر واقع شده و به طور وسیعی برای انواع کاربردهای خدماتی , صنعتی و رفاهی استفاده شود . اما محدود بودن منابع اولیه انرژی قابل تبدیل به انرژی الکتریکی , کمبود منابع مالی جهت تولید انرژی الکتریکی , پایین بودن راندمان پروسه تبدیل در نیروگاه ها , دست اندرکاران امور انرژی را در کنار دیگر تدابیر , به سیاستهای بهینه سازی و مدیریت مصرف رهنمون می کند . با عنایت به اینکه احداث تاسیسات صنعت برق با مصرف سرمایه های عظیم همراه بوده و بسیار زمان بر است , لذا مدیریت مصرف انرژی الکتریکی بسیار حائز اهمیت می باشد و هر اقدامی برای بهینه سازی مصرف دقیقاً در راستای حفظ سرمایه های ملی و تامین رفاه عمومی و کاهش قیمت کالاهای تولیدی و نیز کاهش آلودگی محیط و در نهایت ارتقای کیفی شرایط زندگی خواهد شد .

لذا با توجه به اهمیت مدیریت بار, در این پایان نامه از سه روش هوشمند جهت بهینه سازی منحنی بار مصرفی یک کارخانه صنعتی استفاده گردیده که ذیلاً در شکلهای (۹-۱) الی (۹-۸) مشاهده می گردنند و از آنها نتایج ذیل بدست آمد :

۱- روش الگوریتم الگوی جستجو در عین سادگی از اصول محکمی برخوردار بوده و پاسخ بسیار دقیقی ارایه داده است بطوریکه در بین روشهای استفاده شده بهترین پاسخ مربوط به این روش می باشد.

۲- روش الگوریتم ژنتیک دارای منطق نسبتاً پیچیده تری می باشد ولی بعنوان ابزاری جهت بهینه سازی قابل استفاده بوده و پاسخ دقیقی به ما ارایه داد.

۳- روش شبکه های عصبی که مبتنی بر درون یابی توابع می باشد برای اعمال نیاز به چند مورد تجربه و نتایج آنها می باشد. انتخاب الگوهای آموزش و نیز اطلاعات دقیق از دامنه ورودیها کمک می کنند تا پاسخ بدست آمده به پاسخ بهینه نزدیکتر شود. به هر حال با توجه به اینکه این روش به بهبود منحنی بار کمک نمود ولی دقت دو روش قبل ندارد. و در مواردی کاربرد بیشتری دارد که پاسخ تقریبی برای ما کافی باشد. در ضمن این پاسخ مستقل از پاسخ سایر دستگاهها بدست می آید.

٤- با مقایسه سه روش فوق ملاحظه می شود که روش الگوریتم الگوی جستجو ساده , سریع , با دقت کافی و مناسب برای حل مسایل بهینه سازی مقید بوده و در بین روشهای فوق به عنوان بهترین گزینه پیشنهاد می گردد. بعد از آن روش الگوریتم ژنتیک که دارای قابلیت حل انواع مسایل بهینه سازی می باشد پیشنهاد می گردد.در صورتیکه پارامترهای الگوریتم ژنتیک مناسب انتخاب شوند می توان پاسخ دقیقی از آن انتظار داشت.در مرحله آخر نیز روش شبکه های عصبی قرار می گیرد که به هر حال این روش به بهبود منحنی بار کمک نمود ولی دقت دو روش قبل نداشت.

۹-۲- پیشنهادات

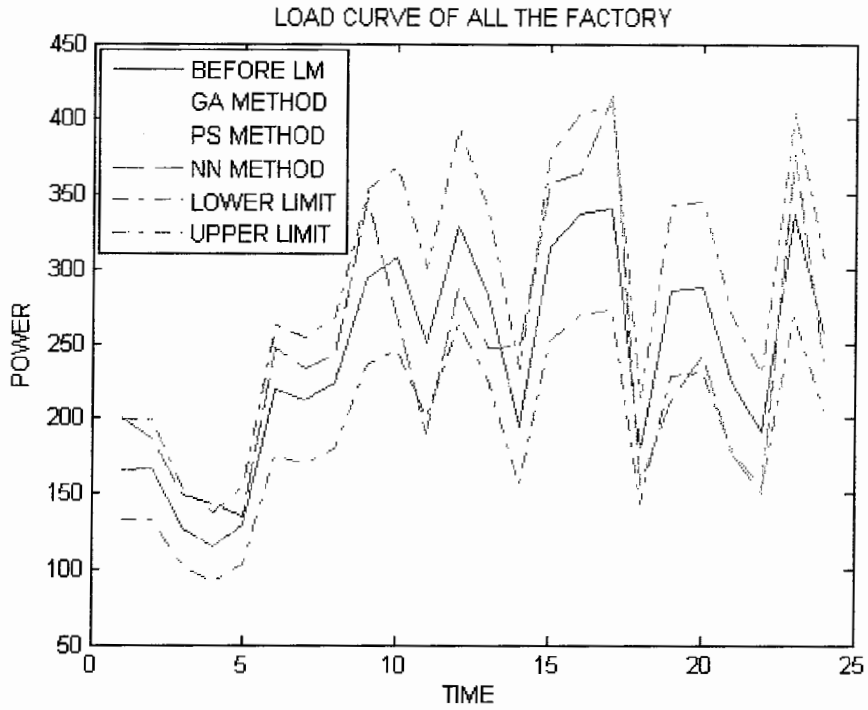
برای ادامه تحقیق در زمینه این پایان نامه که مدیریت بار می باشد پیشنهادات زیر مطرح می گردد:

۱- همانگونه که دیدیم عمل بهینه سازی در دو مرحله مستقل و دو تابع هدف مجزا صورت گرفت. پیشنهاد می گردد که هر دو مسئله با هم و در قالب یک مسئله مدلسازی و با روشهای هوشمند سه گانه ذکر شده, شبیه سازی شوند و نتایج آنها با نتایج این پایان نامه مقایسه گردند.

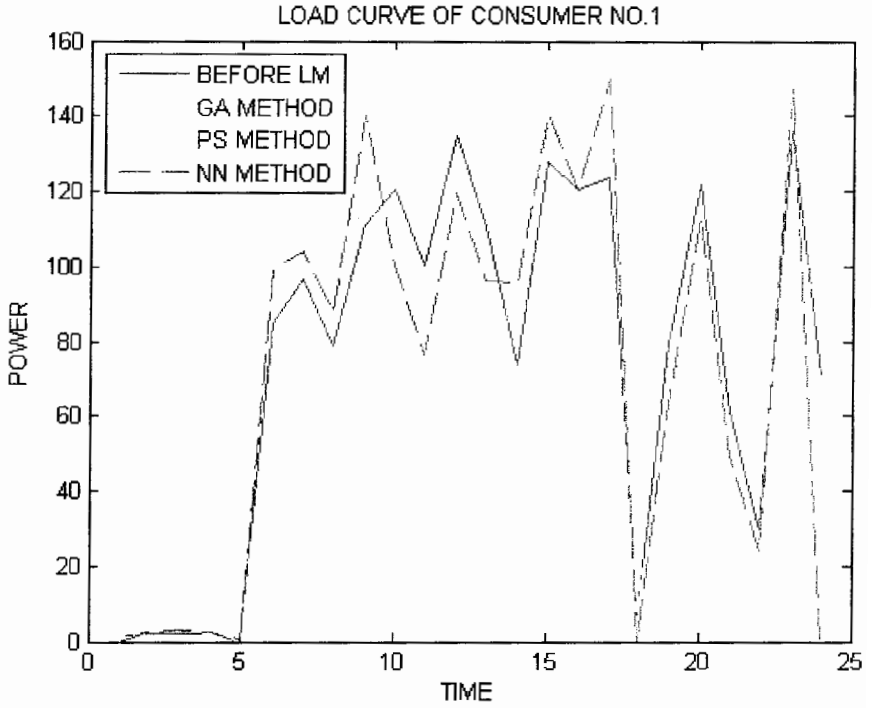
۲- فرم تابع هدف در مطالعات این پایان نامه خطی در نظر گرفته شد که بعنوان پیشنهاد توصیه می گردد به صورت مرتبه دوم در نظر گرفته شود.

۳- استفاده از شبکه عصبی هاپفیلد برای حل مسئله مدیریت بار امکان پذیز می باشد و بعنوان یک روش مطرح می گردد.

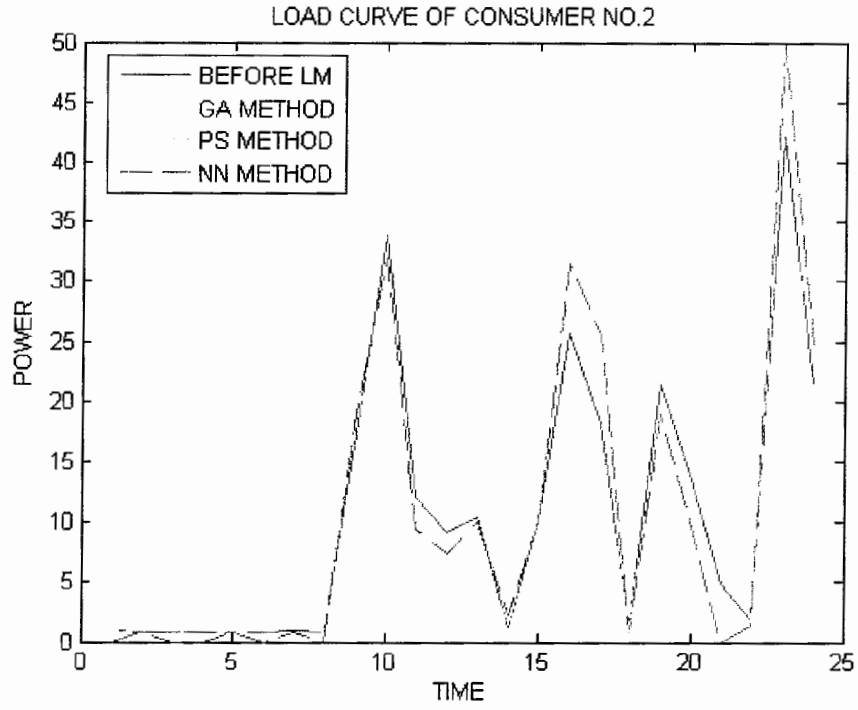
٤- پیشنهاد می گردد در تابع هدف هزینه های تغییر ساعت کاری دستگاهها (از جمله حقوق و دستمزد) نیز در نظر گرفته شود.



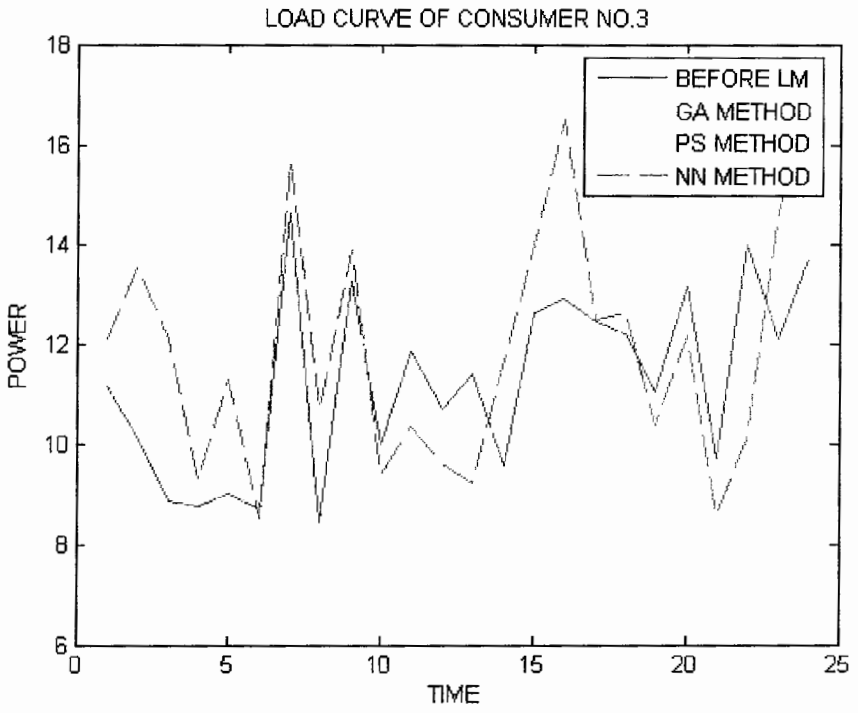
شکل (۹-۱) – منحنی بار کل مجموعه



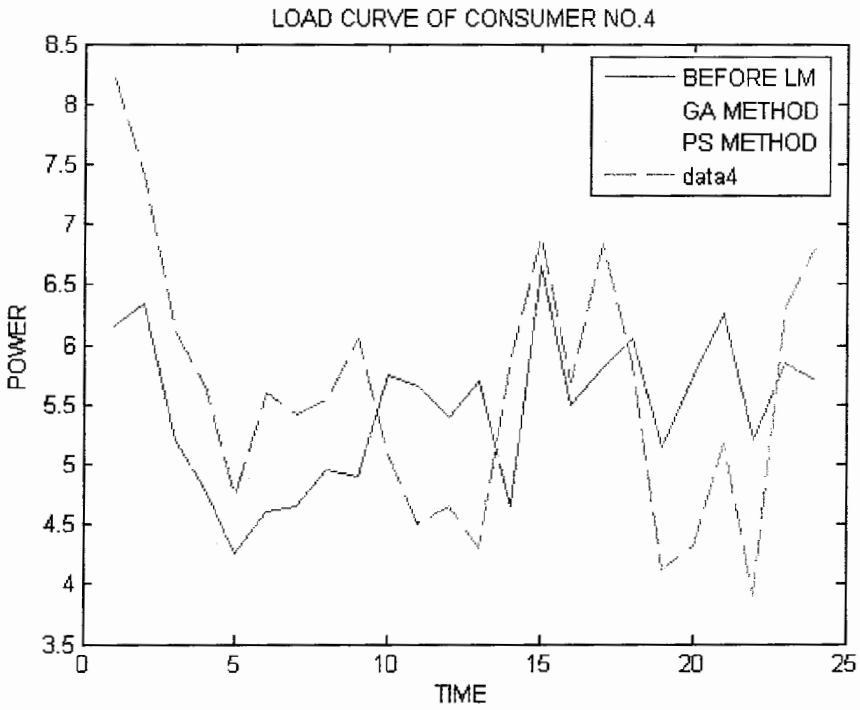
شکل (۹-۲) – منحنی بار دستگاه شماره ۱



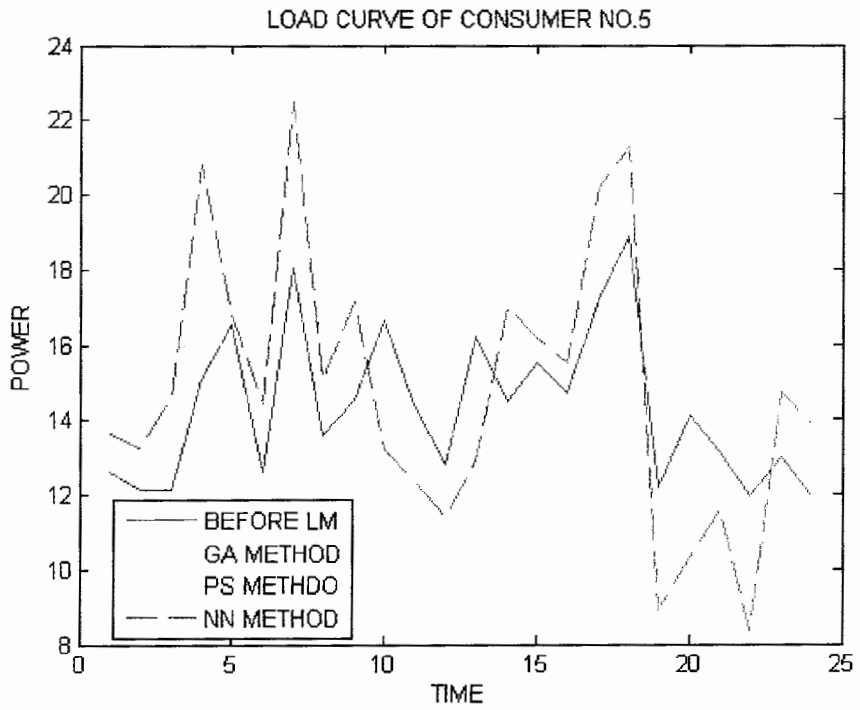
شکل (۹-۳) – منحنی بار دستگاه شماره ۲



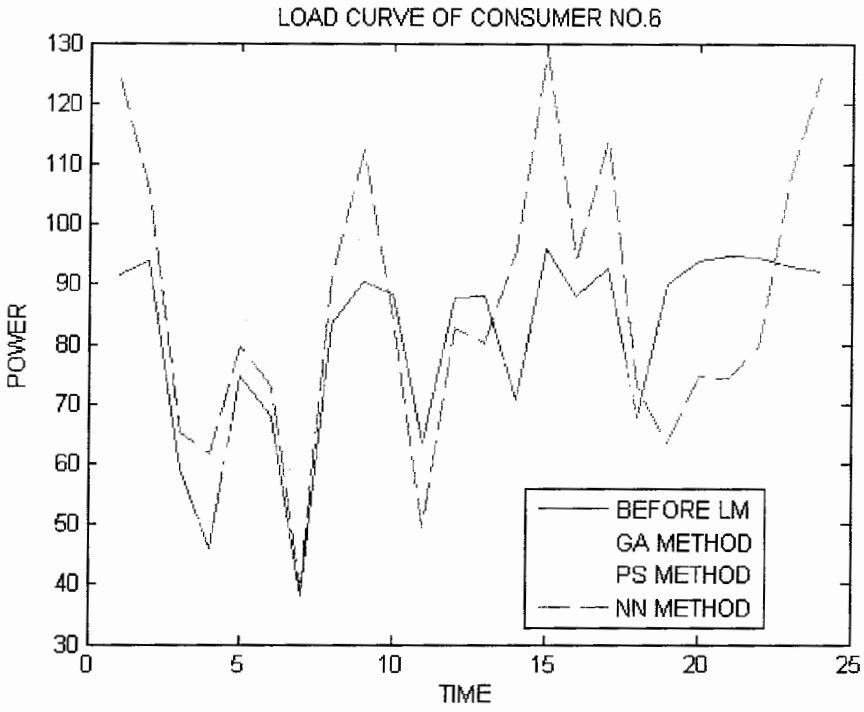
شکل (۹-۴) – منحنی بار دستگاه شماره ۳



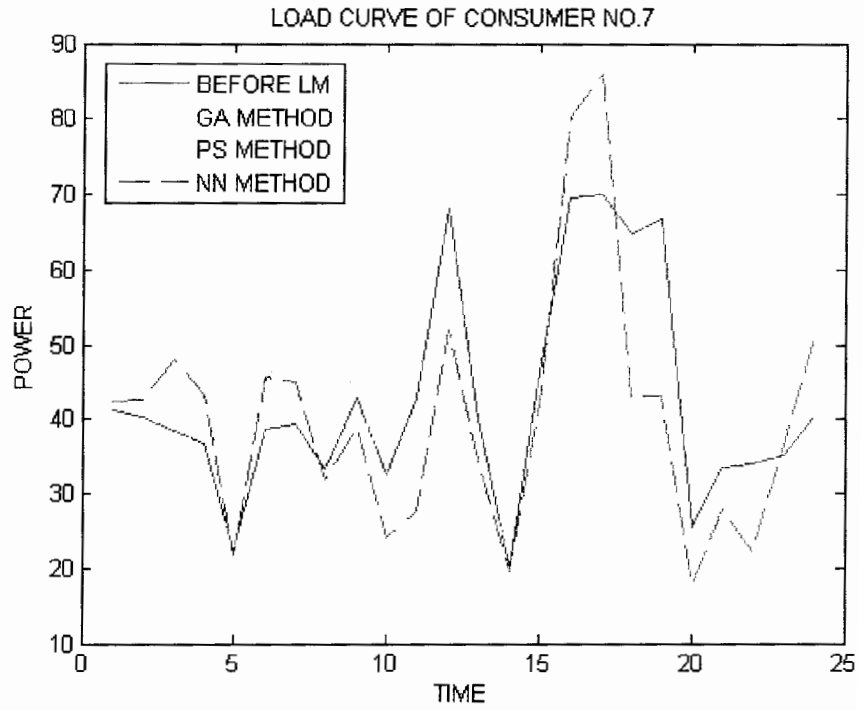
شکل (۹-۵) – منحنی بار دستگاه شماره ۴



شکل (۹-۶) – منحنی بار دستگاه شماره ۵



شکل (۹-۷) – منحنی بار دستگاه شماره ۶



شکل (۹-۸) – منحنی بار دستگاه شماره ۷

منابع و مراجع

[۱] – "مدیریت مصرف برق" تالیف نادر گلستانی داریانی

[۲] – "مدیریت بار در صنایع سیمان ایران" از انتشارات دفتر برنامه ریزی انرژی وزارت نیرو

[۳] – مجموعه مقالات ارائه شده در اولین دوره مدیریت انرژی تخصصی جهت شرکتهای مشاور انرژی (ESCO) ٤ الی ٦ خرداد ماه ۱۳۸۳

[٤] – جزوات مربوط به دوره مدیریت بار و انرژی الکتریکی – مجتمع سازندگی و آموزش خراسان

[٥] – "مدیریت مصرف انرژی الکتریکی در ایران" تالیف مهندس داود بابائی (سازمان بهره وری انرژی ایران) و مهندس علی زراعت پور (مجتمع سازندگی و آموزش آذربایجان) اردیبهشت ماه ۱۳۷٦

[٦] – "مدیریت مصرف برق صنایع" – روابط عمومی و دفتر مدیریت مصرف و برآورد بار شرکت برق منطقه ای خراسان

[۷] – پایان نامه کارشناسی تحت عنوان مدیریت بار یک کارخانه صنعتی - دانشکده برق و روباتیک دانشگاه صنعتی شاهرود تابستان ۱۳۸۲

[۸] – "بروشورهای مدیریت مصرف برق صنایع" – معاونت برنامه ریزی دفتر مطالعات بار و انرژی و مدیریت مصرف اردیبهشت ماه ۱۳۷٤

[۹] – "مبانی شبکه های عصبی" تالیف دکتر محمد باقر منهاج انتشارات دانشگاه امیرکبیر

[۱۰] – "الگوریتم ژنی " تالیف مهندس محمد جوادی – دانشگاه امام حسین ۱۳۸۳

[۱۱] P. Erichsen and N. Haase, "The results from a major load management project," in *Proceedings of the ۱۰th International Conference on Electricity Distribution,* Brighton, UK, ۸-۱۲ May ۱۹۸۹, pp. ٤۳۱-٤۳٦.

[۱۲] Ashok, S.; Banerjee, R.; **An optimization mode for industrial load management** Power Systems, IEEE Transactions on Volume ۱٦, Issue ٤, Nov. ۲۰۰۱ Page(s):۸۷۹ - ۸۸٤

[۱۳] hai Zalila Yaacoh and Dr. Abdullah Asuhainu /. ELECTICAI, ENERGY MANAGEMENT IN. SMALL AND MEDIUM SIZE INDUSTRIES. **IEEE** TENCON '۹۳

[١٤] C. Concordia, L.H. Fink and G. Poullikkas, "Load shedding on an isolated system," *IEEE Transactions on Power Systems,* August ١٩٩٥, pp. ١٤٦٧-١٤٧٢.
[١٥] B. Qiu, Y. Liu, E.K. Chan and L.J. Cao, "LAN-based control for load shedding," *IEEE Computer Applications in Power,* July ٢٠٠١, pp. ٣٨-٤٣.
[١٦] A.S. Davis, "Florida Power Corporation's load management system," *IEEE Computer Applications in Power,* April ١٩٩٠, pp. ١١-١٥.
[١٧] J. Chen, F. N. Lee, A. M. Breipohl, R. Adapa, "Scheduling Direct Load Control to Minimize System Operational Cost," *IEEE Trans. Power Systems,* Vol. ١٠ November ١٩٩٥.
[١٨] A. I. Cohen, J. W. Patmore, D. H. Oglevee, R. W. Berman, L. H. Ayers and J. F. Howard, "An Integrated System for Load Control," *IEEE Trans. Power Systems*, Vol. PWRS-٢, No. ٣, August ١٩٨٧.
[١٩] A. I. Cohen, C. C. Wang, "An Optimization Method for Load Management Scheduling," *IEEE Trans. Power Systems* PWRS, Vol. ٣, No. ٢, ١٩٨٨.
[٢٠] Y. Hsu, C. Su, "Dispatch Of Direct Load Control using Dynamic Programming," *IEEE Trans.* PWRS, Vol. ٦, No. ٣, ١٩٩١.
[٢١] K. –H. Ng, and G. B. Sheblé, " Direct Load Control - A Profit-Based Load Management using Linear Programming," *IEEE Trans. Power Systems,* Vol. ١٣, No. ٢, May ١٩٩٨.
[٢٢] D. K. Maly. and K. S. Kwan, "Charge Scheduling with Dynamic Programming," *IEE Proc. -Sci. Meas. Technol.,* Vol. ١٤٢, No. ٦, November ١٩٩٥.