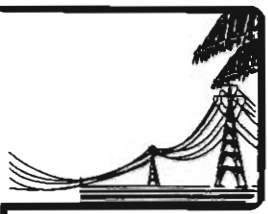


چهارمین کنفرانس
شبکه‌های توزیع نیرو

پیش بینی بار درشبکه توزیع بوسیله شبکه‌های عصبی

جمال مشتاق

شرکت مهندسین مشاورغرب نیرو

چکیده :

درراستای اجرای پروژه‌بهینه‌سازی شبکه‌توزیع کرمانشاه وبمنظورطراحی جامع و کامل شبکه توزیع درسالهای آتی ، پیش بینی بارخانگی، تجاری، روستائی، کشاورزی و ... دریکی ازفازهای اجرائی پروژه گنجانیده شد. بدلیل انجام هرچه دقیقتراین فازازپروژه، ضمن بررسی وتست روشهای موجود ومعمول پیش‌بینی بار، این عمل بوسیله شبکه‌های عصبی نیزانجام گردید وبلحاظ دقت بسیار زیاد روش اخیرنسبت به روشهای معمول دیگر، تصمیم گرفته شدکه پیش بینی انواع بارهای شبکه توزیع بوسیله شبکه‌های عصبی صورت گیرد.

دراین مقاله هدف ارائه روش جدید پیش بینی بار بوسیله شبکه‌های عصبی است وضمن برشمردن تعدادی ازروشهای معمول ، بایک سری داده واقعی مقایسه‌ای بین روشهای موجود وروش ارائه شده انجام می گیرد. دراین مقاله همچنین به بررسی یکی ازالگوریتم های آموزش شبکه عصبی، که درپیش بینی بار بکاررفته می پردازیم. شبکه‌عصبی بکاررفته Multi Layer perceptron والگوریتم استفاده شده Back - Propagation Learning rule می باشد.

جایابی پستهای توزیع بوسیله شبکه‌های عصبی وانتخاب مسیربهینه هوائی و زمینی تغذیه، بوسیله Dynamic - Programing بمنظور می نیمم نمودن تلفات و افت ولتاژ، فازهای دیگر پروژه بهینه سازی شبکه توزیع هستند که نتایج در مقالات بعدی برای آشنائی علاقمندان ارائه خواهدشد.

شرح مقاله :

صنعت برق ازصنایع زیربنائی یک کشوربوده وکلیه فعالیتهای اقتصادی ، صنعتی، کشاورزی، اجتماعی وغیره بطورمستقیم یاغیرمستقیم به‌این صنعت وابسته می باشند. باتوجه به اینکه ازیک طرف پروژه‌های این صنعت به سرمایه گذاری کلان وزمانهای طولانی نیازدارد وازطرف دیگر نیروی برق قابل ذخیره‌سازی نیست لذابمنظوراستفاده بهینه‌ازاین صنعت،برنامه‌ریزی درازمدت دقیق لازم‌است .

برنامه‌ریزی دقیق، به اطلاعات کافی ودقیقی ازنیاز مصرف درکشورو ابسته است وازاینرو اهمیت موضوع پیش‌بینی بار بخوبی روشن می گردد. ازآنجا که انرژی برق بعدازتولیدوانتقال درمراکزتوزیع به‌مصرف می رسد لذاپیش‌بینی بار دربخش توزیع ازقبیل مصارف خانگی، روستائی، کشاورزی، عمومی، صنعتی کوچکتر از 1MW و ... ازدوجهت اهمیت خواهد داشت :

- برنامه‌ریزی درازمدت درزمینه تولیدوانتقال راتحت‌الشعاع خودقرارمی دهد.
- منجر به یک طراحی بهینه درشبکه توزیع خواهدشد.

طراحی بهینه یک‌شبکه‌توزیع زمانی ممکن‌است که‌مسائل فنی واقتصادی توام" موردتوجه قرارگیرند بطوریکه طرح ،هم بلحاظ فنی و قابلیت‌اطمینان، مطابق با استانداردهای بین المللی بوده‌وهم‌ازنظراقتصادی بهینه‌باشد.اصولا" ضریب‌اطمینان وهزینه‌یک‌نسبت‌مستقیم باهم دارندوافزایش‌ضریب‌اطمینان همواره افزایش‌هزینه رابدنبال خواهدداشت . بنابراین منظوراز طراحی بهینه، یافتن نقطه اپتیمم است که باحداقل هزینه، طراحی فنی ومنطبق بااستانداردهای موجودصورت پذیرد. محاسبات فنی وبکاربردن ضرایب اطمینان باید براساس بارهائی باشند که در آینده‌به‌شبکه متصل می شوند. واضح است که دقت محاسبات مستقیما" وابسته به دقت پیش بینی بار خواهد بود. دراین مقاله‌روشی ارائه‌شده که برای بارهای خانگی، روستائی، تجاری، کشاورزی و صنعتی کوچکتر از 1MW پیش بینی بار رابا دقت قابل قبول انجام می دهد. ازآنجاکه‌رشدباردرمناطق مختلف‌ازفرمول خاصی تبعیت نکرده‌وپارامترهای مختلفی ازقبیل شرایط اقتصادی، جغرافیائی ، صنعتی، فرهنگی، سیاسی وآب‌وهوائی و ... دررشد بار موثربوده وتازه میزان تاثیراین پارامترهاازمنطقه‌ای به منطقه دیگر متفاوت است لذامیتوان گفت که بین رشد باروپارامترهای فوق‌الذکریک‌ارتباط غیرخطی وجودداشته وبااستفاده‌از فرمولهای تجربی متداول نمی توان مطمئن بودکه پیش‌بینی بار بطوردقیق صورت می گیرد، روش‌شبکه‌های عصبی بعنوان پیشرفته‌ترین متد برای تشخیص الگوهای مختلف که دارای ارتباط غیرخطی هستند می تواند در پیش بینی بار مطرح شود.

۱- روشهای معمول درپیش بینی بار :

روشهای مختلفی درپیش بینی بارمطرح هستند که درذیل به بررسی مهمترین آنها می پردازیم. درحقیقت این پیش‌بینی یک بررسی آماری استوبررسی آماری

عبارتست ازیک مدل ریاضی که متغیررابه متغیرهای دیگرمبتنی برفرضهاوکمانها مرتبط می کند. دراین مدل ریاضی تمام متغیرها ماهیت آماری دارند و معمولا" در پیش بینی باراز این نوع مدلهای ریاضی استفاده می شود. مدلهای مهم عبارتند از :

$Y = A+BX$ –

$Y = A+BX+CX^2$ –

$Y = AX^B$ –

$Y = A(1+B)^X$ –

$Y = Aexp(BX)$ –

اینک برای هرکدام ازمدلهای فوق ضرایب ومتغیرها رامعرفی می نمائیم.

۱-۱- مدل ریاضی $Y=A+BX$: دراین مدل X، سال مربوط به‌تعیین باررانشان می دهد ونسبت به یک مبدا سنجیده‌می شود این مبدااولین سالی است که درآن بررسی آماری صورت می گیرد. Y میزان باردرسال X ام است .
A و B ضرایبی هستند که باید براساس آمارهای موجود تعیین گردند.
برای بدست آوردن ضرایب معادله فوق ازروش‌می نیمم نمودن مربع خطاهااستفاده می شود نحوه محاسبات بقرار ذیل است .

$$E^2 = \sum_{i=1}^{N} [Yi-(A+BXi)]^2 \qquad \nabla E^2 = 0 \qquad \frac{\partial E^2}{\partial A} = 0 \quad و \quad \frac{\partial E^2}{\partial B} = 0$$

$$NA+B\sum_{i=1}^{N} Xi = \sum_{i=1}^{N} Yi \qquad A\sum Xi+B\sum Xi^2 = \sum XiYi$$

نتیجه می شود :

$$A = \frac{(\sum Yi)(\sum Xi^2)-(\sum Xi)(\sum XiYi)}{N\sum Xi^2 - (\sum Xi)^2} \qquad B = \frac{N\sum XiYi-\sum Xi\sum Yi}{N\sum Xi^2-(\sum Xi)^2}$$

بابدست آوردن ضرایب B وA می توان برای سالهای آینده‌مقدار Y رامحاسبه‌کنیم.
مثال :
هرگاه مقادیربارد‌رسالهای ۶۰ و ۶۱ و ۶۳ برابر۱۰۰ ، ۱۱۵ و ۱۳۵ مگاوات باشد داریم :

X	۱	۲	۴
Y	۱۰۰	۱۱۵	۱۳۵

باتوجه‌به‌جدول فوق ضرایب A و B رابدست می‌آوریم :

$N = ۳$ و $\sum Xi = ۷$ $\sum Yi = ۳۵۰$ و $\sum Xi^2 = ۲۱$ و $\sum XiYi = ۸۷۰$

$A = ۹۰$ و $B = ۱۱/۴۳$

درنتیجه :
حال اگر هدف محاسبه درسال ۷۰ باشد خواهیم داشت :

$Y = ۹۰+۱۱/۴۳ X$ و $X = ۱۱ \Longrightarrow Y = ۲۱۵/۷۳$ MW

۲-۱- مدل ریاضی $Y=A+BX+CX^2$: هرگاه‌مانند حالت‌قبل محاسبه ضرایب A و B و C را براساس‌می نیمم کردن مربعات‌خطا انجام دهیم به‌نتایج ذیل میرسیم :

$$AN+B\Sigma Xi+C\Sigma Xi^2=\Sigma Yi \qquad A\Sigma Xi+B\Sigma Xi^2+C\Sigma Xi^3=\Sigma XiYi$$

$$A\Sigma Xi^2+B\Sigma Xi^3+C\Sigma Xi^4=\Sigma Xi^2Yi$$

برای مثال نمونه، ضرایب A و B و C رااز‌دستور کرام بدست می آوریم :

$A = ۹۱.۶$ و $B = ۹/۸$ و $C = ۰/۳۲$

حال اگرهدف محاسبه باردرسال ۷۰ باشد چنین عمل می کنیم :

$X = ۱۱$ و $Y = ۹۱/۶ + ۹/۸ X + ۰/۳۲ X^2$ $\Longrightarrow$ $Y = ۲۳۸/۱۲$ MW

۳-۱- مدل ریاضی $Y = AX^B$: دراین روش می توان ازطرفین لگاریتم گرفته وحل مسئله رابه روش اول تبدیل نمائیم ولی معمولا" ازرشدمتوسط بار استفاده می کنند ومقادیر A و B را بدست می آورند.

به مثال نمونه توجه می کنیم :

X	۱	۲	۴
Y	۱۰۰	۱۱۵	۱۳۵

$X=۱ \Longrightarrow Y=A=۱۰۰$

$$X=۴ \Longrightarrow Y=۱۳۵=۱۰۰\times۴^B \Longrightarrow B=\frac{LN\ ۱/۳۵}{LN\ \ ۴}=۰/۲۱۶۵ \Rightarrow Y=۱۰۰X^{۰/۲۱۶۵}$$

حال اگر بارسال ۷۰ موردنظرباشد، داریم :

$$X=۱۱ \Longrightarrow Y=۱۰۰\ X^{۰/۲۱۶۵}=۱۶۸\ MW$$

۴-۱- مدل ریاضی $Y = A(1+B)^X$: دراین روش نیز می توان بالگاریتم گرفتن از طرفین مسئله رابه روش‌اول تبدیل کنیم ولی معمولا" رشد متوسط بار درنظر گرفته می شود.

برای مثال نمونه مقادیر A و B رابدست می آوریم :

$X=۱ \Longrightarrow Y=۱۰۰ \Longrightarrow ۱۰۰=A(1+B)$

$X=۴ \Longrightarrow Y=۱۳۵ \Longrightarrow ۱۳۵=A(1+B)^۴$

$\Longrightarrow B=۰/۱۰۵$ و $A=۹۰/۴۸$

برای سال ۷۰ می توانیم مقدار بار Y راچنین محاسبه کنیم :

$X=۱۱$ و $Y=۹۰/۴۸(1+۰/۱۰۵)^{۱۱}=۲۷۱/۳۵$ MW

۵-۱- مدل ریاضی $Y=A\times\exp(BX)$: دراین روش نیز معمولا" پارامترهای A و B براساس رشدمتوسط بارمحاسبه می شود بنابراین برای مثال نمونه خواهیم داشت :

X	۱	۲	۴
Y	۱۰۰	۱۱۵	۱۳۵

و $X=۱$ $Y=۱۰۰$ $A\times\exp(B)=۱۰۰$

$X=۴$ $Y=۱۳۵$ $A\times\exp(۴B)=۱۳۵$ $B=۰/۱$ و $A=۹۰/۴۸$

حال اگر منظورمحاسبه باردرسال ۷۰ باشد خواهیم داشت :

$X = 11 \longrightarrow Y = 90/48 \exp(0/1X) = 271/82$ MW

همانطوری که‌ازنتایج ۵ روش مذکور مشاهده می گردد روشهای دوم وچهارم و پنجم دارای نتایج نزدیک به هم بوده وروشهای دقیقتری هستند .

۲- پیش بینی بار بوسیله شبکه های عصبی :

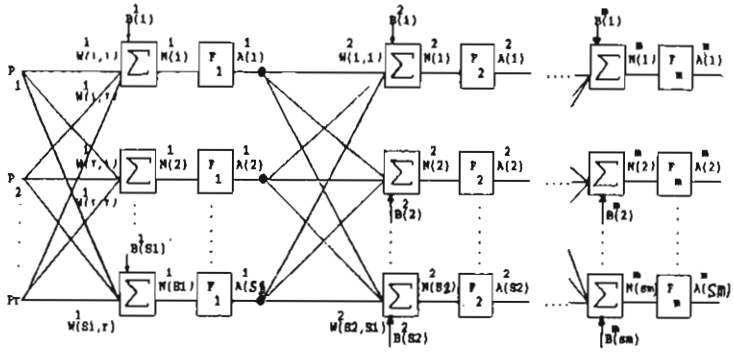
قبل ازپرداختن به چگونگی عمل ابتدا به بررسی دواصطلاح پیش بینی و پیشگوئی می پردازیم . این دواصطلاح هرچند که به یک منظورخاص بکار می روند ولی باهم اختلاف دارند . پیشگوئی عبارتست ازحدس درمورد اتفاق افتادن عملی در آینده بطوریکه کنترل آن خارج ازاختیار بشراست ولی پیش بینی عبارتست از حدس درمورد اتفاق یک عمل درآینده باتوجه به شرایطی که برای انجام آن مهیا می شود . یعنی یک عمل برای واقع شدن درآینده احتیاج به یک سری ملزومات وشرایط دارد حال اگر شرایط مهیا باشد درمورد اتفاق آن، درآینده می توان پیش بینی کرد . باتوجه‌به این تعریف می توان گفت هرگاه پیش بینی نامطلوب باشد باتغییر شرایط می توان پیش‌بینی رابنحومطلوب تبدیل نمائیم، یعنی تغییر پیش بینی دراختیار انسان است .

باتوجه به مطالب فوق برای پیش‌بینی بارابتدا شرایط و ملزومات‌راباید شناخت . همانطورکه‌قبلا" گفته‌شددررشدبارپارامترهائی ازقبیل رشدجمعیت، مسائل فرهنگی، جغرافیائی، اقتصادی، سیاسی، آب وهوائی واجتماعی موثرهستند و تغییر این شرایط نیازمند برنامه‌ریزیهای اساسی ودرازمدت است بنابراین اگرحوادث غیرمترقبه‌ای ازقبیل جنگ ،زلزله و .... پیش‌نیایدمی توان گفت شرایط نامبرده فوق تغییرات‌سریع وپله‌ای نخواهندداشت وباروش شبکه‌های عصبی ، می توان ضمن دنبال نمودن تغییرات‌کند شرایط فوق (درصورت وجود) پیش بینی باررا بادقت انجام دهیم .

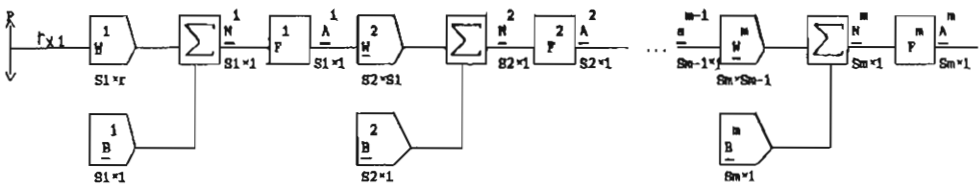
البته لازم به ذکراست که دراین پیش بینی فقط بارهای خانگی، روستائی، تجاری، کشاورزی، عمومی وصنعتی کوچکتراز 1MW مدنظر هستند وبارهای صنعتی بزرگتراز 1MW رااز آنجاکه تابع شرایط وسیاستگذاری خاصی هستند بااین روش‌نمی توان پیش‌بینی کرد . بنابراین برای پیش‌بینی بارنهائی دریک منطقه بایستی بارهای کوچک رابوسیله شبکه‌های عصبی پیش بینی نمود وبارهای بزرگ رابا توجه به برنامه‌های درازمدت دولت درجهت‌احداث مصرف کننده‌های بزرگ برق درمنطقه، به خروجی برنامه کامپیوتری شبکه‌های عصبی اضافه نمود .

برای پیش بینی بارازشبکه multi layer perceptron و قانون یادگیری Back propagation استفاده شده‌است . اینک به بررسی شبکه فوق وقانون مربوط به آن می پردازیم .

۱-۲- شبکه پرسپترون چندلایه : برای بررسی بهترشبکه پرسپترون چندلایه ابتدا به رسم آن می پردازیم :



می توان شبکه رسم شده رابصورت ماتریسی مانند ذیل نمایش دهیم :



رابطه بین ورودی P و خروجی A^M بقرارذیل است :

$$A = F^M[W^M F^{M-1}(W^{M-1} F^{M-2}(\ldots(W^1 P+B^1)+B2)\ldots)+B^{M-1})+B^M]$$

دراین نوع شبکه توابع بکاررفته برای نرونهای هرلایه معمولا" یکسان است ولی این توابع از یک لایه به لایه دیگر فرق می کنند.

برای فهم بیشتر مطلب ابتدا متغیرهای فوق راتعریف می کنیم :

P- بردار ورودی بابعد r×1

Wi- ماتریس وزنه‌ها بین دولایه i-1 و i ودارای بعد Si × S(i-1) است .

$W^i(K,L)$- وزنه‌مربوط به‌نرون K ام ازلایه i ام ونرون L ام ازلایه i-1

$B^i(J)$- مقدار شابت نرون J ام از لایه i ام

F^i- تابع مربوط به لایه i ام

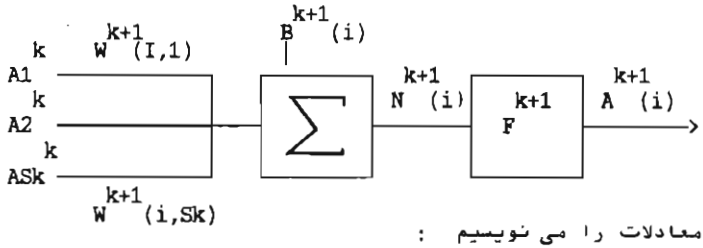
N^i- خروجی لایه i ام ودارای بعد Si×1 است .

A^i - خروجی تابع لایه i ام ودارای بعد Si×1 است .

M- تعداد لایه‌های شبکه

Si- تعداد نرون ها در لایه i ام

هرگاه ازشبکه گسترده فوق یک‌نرون رابطورمجزادرنظر بگیریم می توان آن رابصورت زیر نمایش داد :



برای نرون فوق معادلات را می نویسیم :

$$N^{k+1}(i)=A^{k}(1)W^{k+1}(i,1)+\ldots+A^{k}(Sk)W^{k+1}(i,Sk)+B^{k+1}(i)$$

$$N^{k+1}(i)=\sum_{J=1}^{Sk} A^{k}(j)W^{k+1}(i,j)+B^{k+1}(i) \qquad \text{و}$$

$$A^{k+1}(i)=F^{k+1}(N^{k+1}(i)) \qquad i=1,2,\ldots,Sk+1$$

اگر معادلات رابصورت ماتریسی درآوریم خواهیم داشت :

$$\underline{A}^{k+1}=\underline{F}^{k+1}(\underline{N}^{k+1}) \;,\; \underline{N}^{k+1}=\underline{W}^{k+1}\underline{A}^{k}+\underline{B}^{k+1}$$

دراین شبکه برای پیش بینی بار ازتوابع $F(X)=\frac{A}{1+\exp(-BX)}$ و $F(X)=X$ استفاده شده است .

براساس معادلات فوق وانتخاب مقادیر اولیه W^{o} و B^{o} وورودی $A^{o}=P$ به A^{M} (خروجی شبکه عصبی) می رسیم یعنی :

$$\underline{A}^{k+1}=\underline{F}^{k+1}[\underline{W}^{k+1}\underline{A}^{k}+\underline{B}^{k+1}] \qquad k=0,1,\ldots,M-1$$

هرگاه خروجی مطلوب T باشد می توان از اختلاف $E=T-A^{M}$ (خطای بوجود آمده) در تصحیح پارامترهای شبکه یعنی W ها و B ها استفاده کردواز آنجا که این تصحیح وزنه‌ها ومقادیر ثابت ازلایه خروجی شروع به لایه ورودی ختم می شود این روش به Back Propagation موسوم است . درادامه مقاله به چگونگی تاثیر خطای E در تغییر W و B شبکه، بمنظور کاهش خطا می پردازیم .

۲-۲- قانون یادگیری Back Propagation : بمنظور کاهش‌خطای $E = T-A^{M}$ لازم است که وزنه‌های W و مقادیر B تعدیل گردند . در این راستا تابع خطای F راتشکیل می دهیم :

$$F= ۰/۵\ E[(T-A^{M})^{T}(T-A^{M})]$$

درریاضیات مهندسی ثابت می شود هرگاه $\hat{F}$ تقریب تابع F باشد ورابطه زیر برقرار باشد :

$$E[(\nabla \hat{F}(X)]= \nabla F(x)$$

آنگاه $\hat{F}$ تقریب خوب وقابل قبولی از F خواهد بود .

درشبکه‌های عصبی هرگاه تقریب $\hat{F}= ۰/۵\ (T-A^{M})^{T}\ .\ (T-A^{M})$ رابرای تابع خطا در

نظربگیریم تساوی $E[\nabla \hat{F}(X)] = \nabla F(X)$ ثابت می گردد که‌در اینجابمنظور پرهیز ازمحاسبات ریاضی واحیانا" خسته کننده ازاثبات آن صرفنظر می شود ودرادامه کارازتابع $\hat{F}$ بعنوان تابع خطا استفاده کنیم .
همانطورکه‌توضیح داده‌شددرهرمرحله‌تغییر W و B درجهت‌کاهش $\hat{F}$ صورت‌می گیرد.
لذا خواهیم داشت : $Xk+1 = Xk1 + \alpha(k Pk$
دراین فرمول Pk بردار جستجواست ودرواقع مسیر حرکت درمرحله k ام رامشخص می کندبطوریکه سریعتربه مقدارمی نیمم تابع خطای $\hat{F}$ میرسیم و $\alpha(k$ مقدارثابت ومثبتی است که میزان حرکت در جهت Pk رامشخص می کند.
برای یافتن مقادیر $\alpha(k$ و Pk راحول نقطه Xk بسط می دهیم وداریم :

$$\hat{F}(Xk+1) = \hat{F}(Xk) + \alpha(k \nabla \hat{F}^T(Xk) Pk \qquad (1)$$

وچون هدف‌می نیم‌نمودن تابع خطای $\hat{F}$ است‌لذا Xk+1 بایدطوری انتخاب‌شودکه :

$$\hat{F}(Xk+1) < \hat{F}(Xk) \longrightarrow \alpha(k \nabla \hat{F}^T(Xk) Pk < 0$$

چون $\alpha(k$ مقدارمثبتی‌است‌لذالازم‌است‌که‌مقدار $\nabla \hat{F}^T(Xk).Pk$ منفی باشدبنابراین :

$$\nabla \underline{F}^T(Xk).\ \underline{P} = |\nabla \underline{F}^k(Xk)|\,|\underline{P}|\cos\theta < 0$$

θ زاویه بین دوبردار $\underline{P}$ و $\hat{F}^T(Xk)$ است وحداکثر مقدار منفی آن در $\theta = -\pi$ خواهدبود لذا نتیجه $\underline{P} = -\nabla \underline{\hat{F}}(Xk)$ حاصل می شود یعنی جهت حرکت برای کاهش تابع خطا درخلاف جهت گرادیان تابع خطا خواهدبود.
$\alpha(k$ نیزضریب ثابت ومثبتی است که درشبکه بکاررفته بازای مقادیر مختلف ، نتایج تست شدودر $\alpha = 0.2$ نتیجه مطلوبتری بدست آمد.
ازفرمول (1) می توان استفاده کرد ومقادیر وزنه‌ها و B ها رادرشبکه عصبی بدست آوریم :

$$W^k_{new}(i,j) = W^k_{old}(i,j) + \nabla W^k(i,j) = W^k_{old}(i,j) - \alpha \frac{\partial \hat{F}}{\partial W^k(i,j)} \qquad (2)$$

$$B^k_{New}(i) = B^k_{old}(i) + \nabla B^k(i) = B^k_{old}(i) - \alpha \frac{\partial \hat{F}}{\partial B^k(i)} \qquad (3)$$

درفرمولهای ۲ و ۳ رابطه‌بین وزنه‌هاو B هادردومرحله‌متوالی نشان داده‌شده‌است.
مسئله‌ای که دراینجا حائزاهمیت است حساسیت خطا به خروجی نرونها درلایه‌های مختلف است . حساسیت راطبق فرمول زیرتعریف می کنیم .

$$\delta^k(i) \triangleq \frac{\partial \hat{F}}{\partial N^k(i)} \qquad (4)$$

بابدست آوردن حساسیت خطا نسبت به خروجی هرنرون میتوان نسبت تغییرات خطابه پارامترهای آن نرون رابدست آوریم :

$$\frac{\partial \hat{F}}{\partial W^{k}(i,j)} = \frac{\partial \hat{F}}{\partial N^{k}(i)} \cdot \frac{\partial N^{k}(i)}{\partial W^{k}(i,j)} = S^{k}(i).A^{k-1}(j) \qquad (۵)$$

$$\frac{\partial \hat{F}}{\partial B^{k}(i)} = \frac{\partial \hat{F}}{\partial N^{k}(i)} \cdot \frac{\partial N^{k}(i)}{\partial B^{k}(i)} = S^{k}(i).1 = S^{k}(i) \qquad (۶)$$

ازمعادلات ۲و۳و۵و۶ میتوان نتیجه گرفت :

$$W^{k}new(i,j) = W^{k}old - \alpha S^{k}(i)\, A^{k-1}(j) \qquad (۷)$$

$$B^{k}new(i) = B^{k}old(i) - \alpha S^{k}(i) \qquad (۸)$$

ازآنجاکه درشروع تصحیح پارامترها آنچه که دراختیارماست مقدارخروجی و در نتیجه $\hat{F}$ میباشد لذادراولین قدم می توانیم حساسیت نرون های موجوددرلایه آخر را بدست آورده سپس رابطه‌ای بین حساسیت نرونها دردولایه متوالی رابدست آوریم . بمنظوریافتن رابطه بین حساسیت نرونهای دولایه متوالی محاسبات ذیل راانجام میدهیم :

$$\left.\frac{\partial N^{k+1}}{\partial N^{k}}\right|_{(i,j)} \triangleq \frac{\partial N^{k+1}(i)}{\partial N^{k}(j)} \qquad (۹)$$

درنتیجه :

$$\frac{\partial N^{k+1}(i)}{\partial N^{k}(j)} = \frac{\partial [\sum_{l=1}^{Sk} A^{k}(l)\, W^{k+1}(i,l) + B^{k+1}(i)]}{\partial N^{k}(j)}$$

$$= W^{k+1}(i,j).\frac{\partial A^{k}(j)}{\partial N^{k}(j)} = W^{k+1}(i,j).[\hat{F}^{k}(N^{k}(j))]'$$

اگربخواهیم رابطه بدست آمده رابصورت ماتریسی نشان دهیم خواهیم داشت :

$$\frac{\partial \underline{N}^{k+1}}{\partial \underline{N}^{k}} = \underline{W}^{k+1}[\underline{F}^{k}(\underline{N}^{k})]' \quad \text{و} \quad (۱۰) \quad \underline{F}^{k}(\underline{N}^{k})_{(i,j)} = \underline{F}^{k}(\underline{N}^{k}) \quad \text{اگر} \quad i=j$$

$$= 0 \quad \text{اگر} \quad j \neq i$$

ازتعریف حساسیت نرونها درلایه k داریم :

$$\underline{S}^{k} = \frac{\partial \hat{\underline{F}}}{\partial \underline{N}^{k}} = \left[\frac{\partial \underline{N}^{k+1}}{\partial \underline{N}^{k}}\right]^{T} \cdot \frac{\partial \hat{\underline{F}}}{\partial \underline{N}^{k+1}} \cdot \frac{1}{S^{k+1}} \qquad (۱۱)$$

ضریب $\frac{1}{S\ k+1}$ برای اینست که معادله ماتریسی درست باشد.

ازمعادلات ۱۰ و ۱۱ میتوان نتیجه گرفت :

$$\underline{S}^{k} = [\underline{F}^{k}(\underline{N}^{k})]' . (\underline{W}^{k+1})^{T} . \underline{S}^{k+1} . \frac{1}{S\ k+1} \qquad (۱۲)$$

همانطورکه ازمعادله ۱۲ مشهوداست حساسیت درهرلایه به حساسیت وپارامترهای لایه مابعد مربوط میشود وبه این ترتیب بابدست آوردن $\underline{S}^{M}$ میتوان حساسیت تمام نرون هادرلایه‌های شبکه عصبی رابدست آوریم. و از معادلات ۷ و ۸ میتوان مقادیر جدید W و B شبکه عصبی رادرجهت کاهش تابع خطای F بدست آوریم واین عمل راآنقدر تکرار نمائیم تابه جواب مطلوب به حدلازم نزدیک شویم .

۳-۲- قابلیت برنامه کامپیوتری : درپیش‌بینی بار بوسیله شبکه‌های عصبی با توجه به روابط بدست آمده، برنامه کامپیوتری بوسیله MATLAB نوشته شده است که قادراست بازای تعدادی ورودی و خروجی شبکه‌هایی باتعدادمختلف لایه‌وهمچنین تعدادمختلف نرون در هرلایه ایجاد نماید ودرنهایت User باتست برنامه،شبکه اپتیمم راانتخاب میکند. چگونگی انتخاب ورودی وخروجی درپیش بینی باربه‌این ترتیب است که هرگاه مثلا" بار یک‌فیدر یایک‌پست یایک منطقه ویایک استان درسالهای A1 الی AN مشخص باشد میتوان بارهای ازسال A1 تا Ak را (K<N) بعنوان ورودی اول وبار درسال Ak+1 رابعنوان خروجی اول انتخاب نموده سپس بارهای از سال A2 تا سال Ak+1 را بعنوان ورودی دوم وبار درسال Ak+2 رابعنوان خروجی دوم‌انتخاب نمائیم. انتخاب ورودی وخروجی همچنان ادامه‌میابدتابه‌سال AN برسیم به این ترتیب‌با N-K ورودی وخروجی وعمل آموزش‌شبکه، وزنه‌ها ومقادیر B شبکه طوری بدست‌می‌آیند که‌ارتباط بارهای هر k سال رابابار‌درسال k+1 ام مشخص میکند ودرنهایت بااتمام عمل آموزش‌شبکه، میتوان برای سالهای بعد از AN باررا‌پیش بینی نمود.

۴-۲- مقایسه روشهای مختلف پیش‌بینی بار : بمنظور مقایسه روشهای مذکور پیش بینی بار، ازیک سری داده واقعی استفاده می کنیم. این داده‌ها عبارتنداز پیک بار استان کردستان ازسال ۶۰ الی ۶۶ وپیش بینی تا سال ۱۳۸۰ انجام میگیرد. ازآنجاکه‌پیک‌بارازسال ۶۶ الی ۷۱ نیزموجوداست لذا دقت‌روشهای مذکوربراحتی آشکارمیگردد. علت‌انتخاب استان‌کردستان اینست که‌همانطورکه‌توضیح داده‌شدقابلیت‌شبکه‌عصبی درپیش بینی بارهای کوچکتراز 1MW است‌و دراین استان بارهای بزرگتراز 1MW تقریبا" وجود ندارد.

معادلات بدست آمده برای پنج روش مذکورعبارتنداز :

- $Y = ۱۷/۰۴ + ۸/۹۱\ X$
- $Y = ۲۴/۴ + ۴\ X + ۰/۶۱\ X^{2}$

$$Y = ۲۸/۸ X^{۰/۵۴۵}$$ -

$$Y = ۲۴/۱۳ (۱/۱۹۳)^{X}$$ -

$$Y = ۲۴/۱۳ e^{۰/۱۷۷x}$$ -

وهمچنین باروش شبکه‌های عصبی بادولایه و ۱۰ نرون درلایه hidden ویک نرون در لایه‌آخر به نتایجی رسیدیم که نتایج شش روش‌مذکور درجدول یک آمده‌است .

اشکال (۱) الی (۶) اختلاف‌بین مقادیر واقعی ومقادیربدست آمده‌از روشهای پیش بینی باررا ازسال ۶۶ الی ۷۱ نشان میدهند. درشکل (۷) تمام روشها باهم مقایسه شده‌اند واعداد روی منحنی هامعادل شماره شکلهای (۱)الی(۶) وروشهای مربوطه‌است .

مقادیر داده‌های واقعی بازای سالهای ۶۰ الی ۶۶ بترتیب عبارتند از ۳۸/۸ ، ۳۶/۰۷ ، ۴۰/۶ ، ۴۸/۶ ، ۶۴/۱ ، ۶۷/۵ ، ۸۳/۲ مگاوات

ردیف	سال	مقدارواقعی بار MW	مقادیربار برحسب مگاوات با روشهای :				
			شبکه‌های عصبی	Y=A+BX	Y=A+B+CX	B Y=AX	x Y=A(1+B)	Bx Y=Ae
۱	۶۷	۹۹/۲	۹۲/۴	۸۸/۳۵	۹۵/۷	۸۹/۵	۹۹	۹۹/۴
۲	۶۸	۱۰۶/۲	۱۰۴/۱	۹۷/۲۶	۱۱۰/۱	۹۵/۴	۱۱۸/۱	۱۱۸/۷
۳	۶۹	۱۲۱/۷	۱۱۷/۶	۱۰۶/۲	۱۲۵/۸	۱۰۱	۱۴۰/۱	۱۴۱/۷
۴	۷۰	۱۲۴/۳	۱۲۹/۲	۱۱۵/۰۹	۱۴۲/۷	۱۰۶/۴	۱۶۸/۱	۱۶۹/۱
۵	۷۱	۱۴۰/۷	۱۴۳/۷	۱۲۴	۱۶۰/۸	۱۱۱/۶	۲۰۰/۶	۲۰۱/۹
۶	۷۲		۱۵۷/۳	۱۳۲/۹	۱۸۰/۱	۱۱۶/۵	۲۳۹/۳	۲۴۰/۹
۷	۷۳		۱۷۲/۳	۱۴۱/۸۳	۲۰۰/۷	۱۲۱/۴	۲۸۵/۵	۲۸۷/۶
۸	۷۴		۱۸۷/۹	۱۵۰/۷۴	۲۲۲/۵	۱۲۶	۳۴۰/۶	۳۴۳/۳
۹	۷۵		۲۰۳/۹	۱۵۹/۶۵	۲۴۵/۵	۱۳۰/۵	۴۰۶/۳	۴۰۹/۸
۱۰	۷۶		۲۲۱/۱	۱۶۸/۵۷	۲۶۹/۷	۱۳۴/۹	۴۸۴/۷	۴۸۹/۱
۱۱	۷۷		۲۳۸/۸	۱۷۷/۴۸	۲۹۵/۲	۱۳۹/۲	۵۷۸/۳	۵۸۳/۸
۱۲	۷۸		۲۵۷/۵	۱۸۶/۴	۳۲۱/۹	۱۴۳/۳	۶۸۹/۹	۶۹۶/۹
۱۳	۷۹		۲۷۷	۱۹۵/۳	۳۴۹/۸	۱۴۷/۴	۸۲۳	۸۳۱/۸
۱۴	۸۰		۲۹۷/۷	۲۰۴/۲	۳۷۸/۹	۱۵۱/۴	۹۸۱/۹	۹۹۲/۸

جدول (۱)

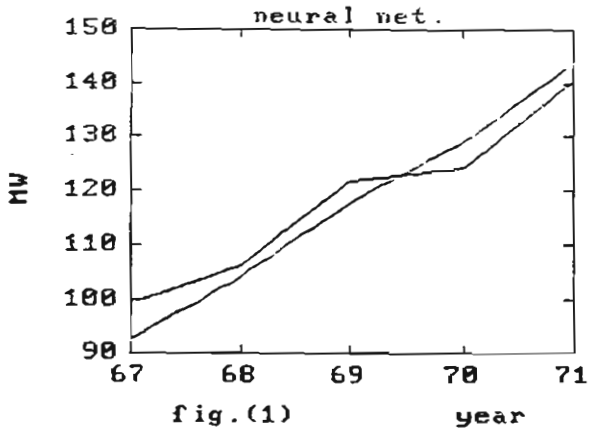


fig.(1)

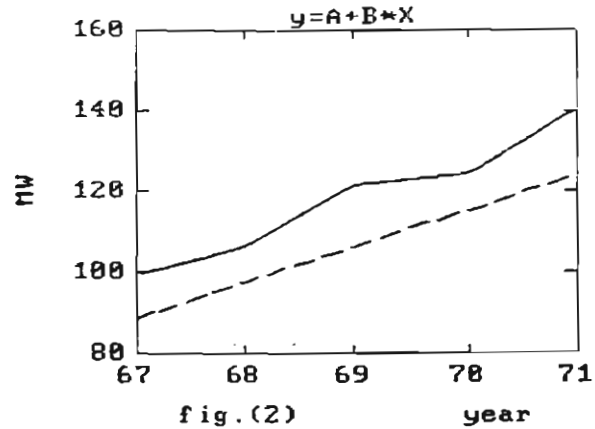


fig.(2)

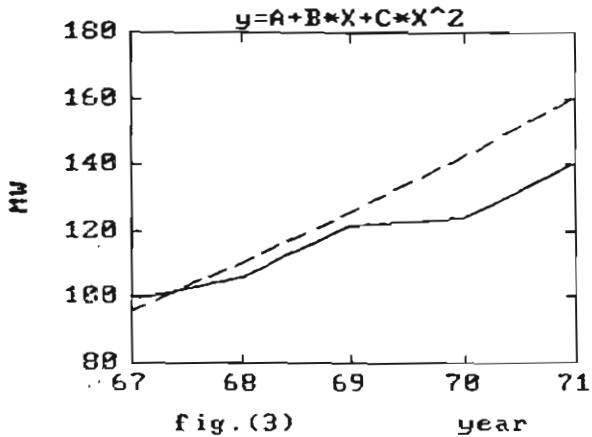


fig.(3)

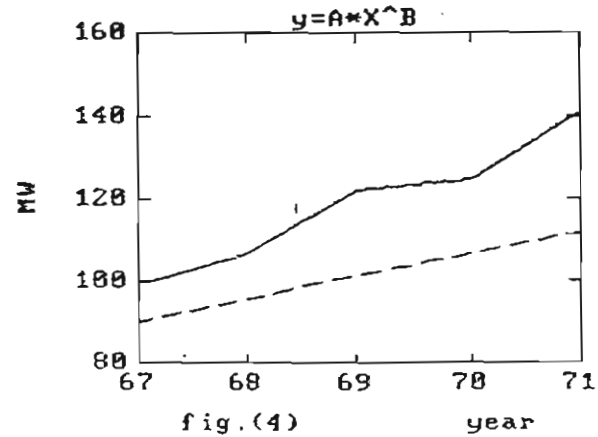


fig.(4)

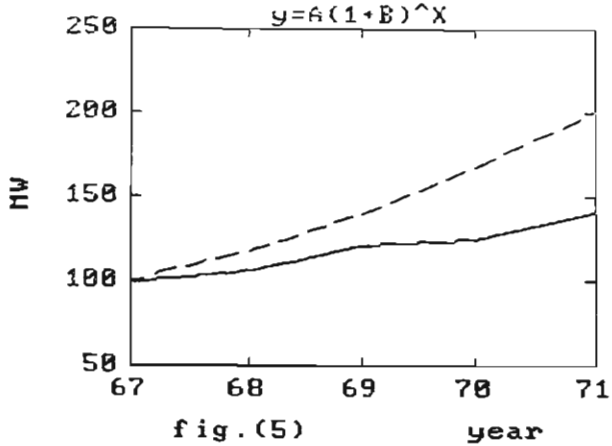


fig.(5)

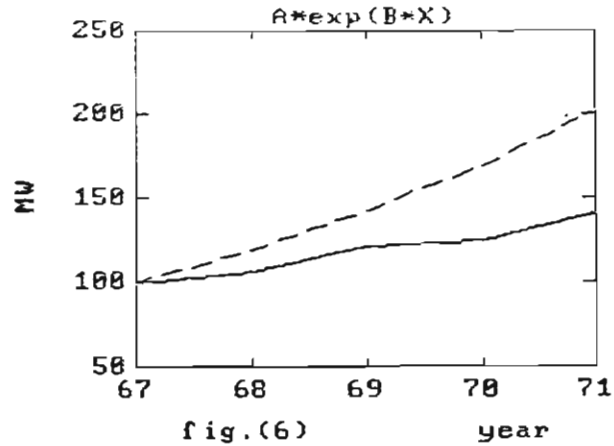


fig.(6)

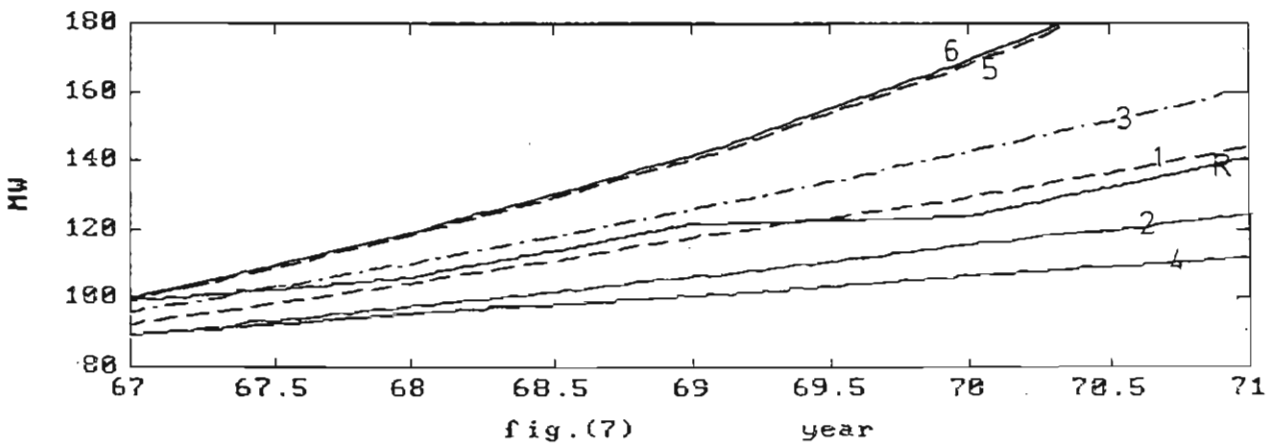


fig.(7)

۳- نتیجه :

همانطورکه‌ازمحاسبات ومقایسه‌انجام شده معلوم میگردد هرگاه‌دریک بررسی آماری که‌ارتباط بین ورودی وخروجی غیرخطی است‌باروش‌شبکه‌های عصبی وپرسپترون چند لایه و Back Propagation Learning rule میتوان رابطه غیرخطی رادرقالب نرونها وپارامترهای شبکه یعنی W ها و B ها قراردهیم.
باتوجه‌به‌این قابلیت شبکه‌های عصبی میتوان پیش بینی باررابادقت بالا انجام دهیم چراکه دریک منطقه هرگاه اتفاقات غیرمترقبه مانند جنگ، زلزله و ... پیش‌نیاید میتوان عوامل حاکم برمسائل اجتماعی وفرهنگی وسیاسی و ... رادرآن ثابت درنظرگرفت وهمانطورکه توضیح داده شد میتوان باکمک بارهای سالهای گذشته وحال آموزش شبکه راانجام داده وتمام شرایط فرهنگی، اجتماعی، سیاسی، جغرافیایی واقتصادی رادرقالب پارامترهای شبکه‌عصبی درآورد وبکمک آنهابرای سالهای آینده پیش بینی باررا انجام دهیم.

ازاشکال وجدول بدست آمده میتوان نتیجه گرفت که روش ارائه شده دقیقترازسایرروشهای معمول است بنابراین بابهره گرفتن ازاین روش می توان بااطمینان بیشتردرجهت برنامه ریزی درازمدت درزمینه سرمایه گذاری وانجام پروژه‌های بزرگ صنعت برق اقدام نمود.

۴- منابع :

1- ELECTRIC POWER DISTRIBUTION SYSTEMS - PABLA MCGRAW - HILL - 1983

2- Neural Networks.
Algorithm, application and programming techniques.
James A.Freeman - David M.Skapura.
addison Wesley 91

۳- جزوه درس شبکه‌های عصبی کارشناسی ارشد - دکترمنهاج