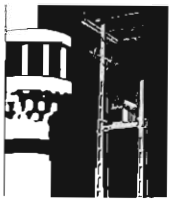


پنجمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق

پیش‌بینی بار در شبکه برق آذربایجان
با استفاده از فیلتر کالمن

احمد تعمیری‌اسکوئی

شرکت برق منطقه‌ای آذربایجان

چکیده:

افزایش روزافزون مصرف برق ایجاب می‌نماید تا نیروگاه‌های جدیدی در سیستم برق کشور نصب شده و شبکه‌های انتقال و توزیع گسترش یابند. در این راستا بایستی برآورد بار مورد نیاز مناطق مختلف به دلیل استعدادهای ذاتی خاص خود در قدرت جذب تولید برق بطور مجزا محاسبه گردد. در این مقاله با استفاده از فیلتر کالمن بار مورد نیاز مراکز مصرف شهری و روستائی شرکت برق منطقه‌ای آذربایجان تا سال ۱۳۸۲ برآورد می‌شود.

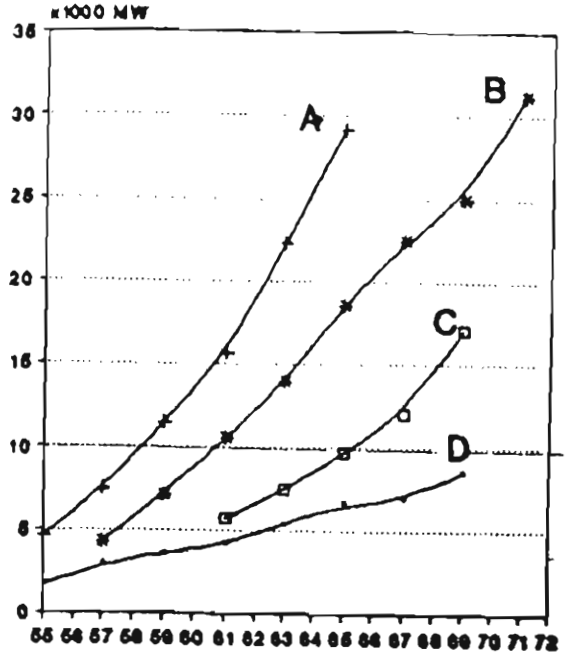
شرح مقاله :

صنعت برق از صنایع زیر بنائی یک کشور بوده و رکنی بسیار مهم در رشد و پیشرفت جوامع امروزی محسوب می‌شود. با توجه به اینکه از یک طرف پروژه‌های صنعت برق به سرمایه‌گذاری کلان و زمانهای طولانی نیاز دارد و از طرف دیگر نیروی برق قابل ذخیره‌سازی نبوده و بایستی تولید و مصرف آن همزمان صورت پذیرد. لذا به منظور استفاده بهینه از این صنعت، برنامه‌ریزی دراز مدت دقیق لازم است. از آنجائی که برنامه‌ریزی احداث تأسیسات برق در هر منطقه مستلزم اطلاعات کافی و دقیق از نیاز مصرف در آن منطقه می‌باشد، بنابراین اهمیت موضوع برآورد قدرت و انرژی مورد نیاز در کلیه نقاط کشور برای سالهای آینده به خوبی روشن می‌گردد.

۱ ـ پیش‌بینی بار :

در کشورهای پیشرفته صنعتی که آمار و اطلاعات قابل اعتماد در دسترس بوده و روند امور و درآمدها و سرمایه‌گذاریها در بخشهای مختلف و رشد جمعیت و غیره تا حدود زیادی برنامه‌ریزی شده است، می‌توان با تقریب نسبتاً خوبی مصرف انرژی برق را پیش‌بینی نمود و بر مبنای آن برنامه‌ریزی کرد. در کشورهای در حال توسعه که بیشتر دارای اقتصاد تک محصولی بوده و درآمد ملی آنها بستگی به نوسانات قیمتهای محصولاتشان در بازارهای جهانی دارد متأسفانه پیش‌بینی‌ها اکثراً با خطای بالائی همراه است و هر قدر زمان پیش‌بینی‌ها طولانی‌تر باشد مقدار خطا بیشتر است.

برای مثال کشور ما نیز که از جمله این ممالک است. همیشه در هنگام پیش‌بینی‌ها دچار سر در گمی بوده است. شکل (۱) به خوبی گویای این واقعیت است. منحنی A پیش‌بینی مصرف برق را در سال ۱۳۵۳ نشان می‌دهد. در آن سالها که قیمت نفت به صورت جهشی بالا رفت، پیش‌بینی‌ها با گشاده دستی انجام گرفت و چند سال بعد که مسائل و موانع شناخته شد این پیش‌بینی‌ها تعدیل یافته و به صورت منحنی B درآمد.



« شکل (۱) ـ پیش‌بینی بار شبکه برق ایران »

و بالاخره در سال ۱۳۶۲ یکبار دیگر مورد تجدید نظر قرار گرفت و منحنی C حاصل گردید و اکنون که آن سالها را پشت سر گذارده‌ایم مشاهده می‌کنیم که مقدار مصرف واقعی که به صورت منحنی D نشان داده شده است کمتر از همه پیش‌بینی‌ها می‌باشد. علت این تغییرات فاحش گذشته از مسائل مختلف اجتماعی و جنگ تحمیلی و غیره تابع نوسانات و نزول قیمت نفت نیز بوده است که لازم است در مدلهائی که برای پیش‌بینی بار انتخاب می‌شود تجدید نظر نمود.

۲ ـ پیش‌بینی بار در شبکه برقهای منطقه‌ای :

از آنجائی که رشد بار در مناطق مختلف از فرمولهای خاصی تبعیت نکرده و پارامترهای مختلفی از قبیل شرایط اقتصادی، جغرافیائی، صنعتی، فرهنگی، سیاسی و آب و هوائی و ... در رشد بار مؤثر بوده و از طرفی میزان تأثیر این پارامترها از منطقه‌ای به منطقه دیگر متفاوت است. لذا می‌توان گفت که بین رشد بار و پارامترهای فوق‌الذکر یک ارتباط غیرخطی وجود

داشته و با استفاده از فرمولهای تجربی متداول نمی‌توان مطمئن بود که پیش‌بینی بار بطور دقیق صورت گیرد. امروزه از روشهائی نظیر شبکه‌های عصبی و فیلتر گالمن به عنوان پیشرفته‌ترین متد برای پیش‌بینی بار استفاده می‌شود.

۳ ـ تعیین مدل ریاضی جهت پیش‌بینی بار شبکه برق منطقه‌ای آذربایجان :

مدل ریاضی مورد نظر با توجه به منحنی تغییرات حداکثر بار شرکت برق منطقه‌ای آذربایجان در سالهای گذشته و بخصوص از سال ۱۳۶۰ به بعد که در شکل (۲) نمایش داده شده است به صورت زیر انتخاب می‌نمائیم:

رابطه (۱)
$$Z_{(K)} = A + BK + CK^2$$

در مدل فوق K سال مربوط به تعیین بار را نشان می‌دهد که نسبت به یک مبداء سنجیده می‌شود و این مبداء اولین سالی است که در آن بررسی آماری صورت می‌گیرد. $Z_{(K)}$ میزان بار حداکثر در سال K ام است. در مدل مورد نظر $K = ۱$ را برای سال ۱۳۶۰ در نظر می‌گیریم.

C و B و A ضرایبی هستند که باید براساس آمارهای موجود تعیین گردند. برای بدست آوردن ضرایب فوق از روش می‌نیمم نمودن مربع خطاها استفاده می‌شود. نحوه محاسبات به قرار زیر است:

رابطه (۲)
$$E^2 = \sum_{K=1}^{N} [Z_{(K)} - (A + BK + CK^2)]^2$$

$$\nabla E^2 = 0 \Rightarrow \frac{\delta E^2}{\delta A} = 0 \quad ; \quad \frac{\delta E^2}{\delta B} = 0 \quad ; \quad \frac{\delta E^2}{\delta C} = 0$$

رابطه (۳)
$$\sum_{K=1}^{N} - 2 [Z_{(K)} - (A + BK + CK^2)] = 0$$

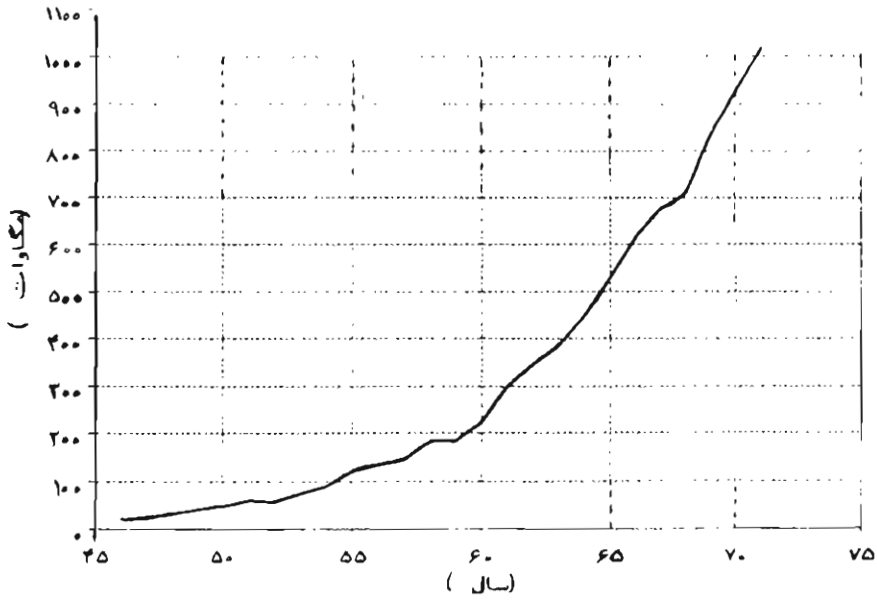
$$\Rightarrow AN + B \sum_{K=1}^{N} K + C \sum_{K=1}^{N} K^2 = \sum_{K=1}^{N} Z_{(K)}$$

رابطه (۴)
$$\sum_{K=1}^{N} - 2K [Z_{(K)} - (A + BK + CK^2)] = 0$$

$$\Rightarrow A \sum_{K=1}^{N} K + B \sum_{K=1}^{N} K^2 + C \sum_{K=1}^{N} K^3 = \sum_{K=1}^{N} K Z_{(K)}$$

$$\sum_{K=1}^{N} - 2K^2 [Z_{(K)} - (A + BK + CK^2)] = 0$$ رابطه (۵)

$$\Rightarrow A \sum_{K=1}^{N} K^2 + B \sum_{K=1}^{N} K^3 + C \sum_{K=1}^{N} K^4 = \sum_{K=1}^{N} K^2.Z_{(K)}$$



« شکل (۲) ـ منحنی تغییرات حداکثر بار همزمان شرکت برق منطقه‌ای آذربایجان در سالهای مختلف »

طبق آمار موجود شکل (۲) حداکثر بار مصرفی شرکت برق منطقه‌ای آذربایجان در سالهای ۱۳۶۰ و ۱۳۶۵ و ۱۳۷۰ به ترتیب برابر ۲۲۵ و ۵۳۰ و ۹۳۱ مگاوات می‌باشد. بنابراین جدول (۱) به صورت زیر می‌باشد.

« جدول (۱): تعیین ضرایب با توجه به آمار موجود »

سال	K	K^2	K^3	K^4	$K.Z_{(K)}$	$K^2.Z_{(K)}$
۱۳۶۰	۱	۱	۱	۱	۲۲۵	۲۲۵
۱۳۶۵	۶	۳۶	۲۱۶	۱۲۹۶	۳۱۸۰	۱۹۰۸۰
۱۳۷۰	۱۱	۱۲۱	۱۳۳۱	۱۴۶۴۱	۱۰۲۴۱	۱۱۲۶۵۱
	$\Sigma K=۱۸$	$\Sigma K^2=۱۵۸$	$\Sigma K^3=۱۵۴۸$	$\Sigma K^4=۱۵۹۳۸$	$\Sigma K.Z=۱۳۶۴۶$	$\Sigma K^2.Z=۱۳۱۹۵۶$

با استفاده از جدول (۱) و روابط ۳ و ۴ و ۵ داریم:

$$۳A + ۱۸B + ۱۵۸C = ۱۶۸۶$$

$$۱۸A + ۱۵۸B + ۱۵۴۸C = ۱۳۶۴۶ \Rightarrow A = ۱۷۵/۵ \text{ و } B = ۴۷/۵۷ \text{ و } C = ۱/۹$$

$$۱۵۸A + ۱۵۴۸B + ۱۵۹۳۸C = ۱۳۱۹۵۶$$

$$\Rightarrow Z_{(K)} = ۱۷۵/۵ + ۴۷/۵۷K + ۱/۹K^2 \qquad \text{رابطه (۶)}$$

۴ ـ استفاده از فیلتر گالمن جهت تخمین بهینه حداکثر بار مصرفی در شبکه برق آذربایجان :

با استفاده از رابطه (۶) داریم:

$$Z_{(K+1)} = ۱۷۵/۵ + ۴۷/۵۷ (K + 1) + ۱/۹ (K + 1)^2$$

$$\Rightarrow Z_{(K+1)} - Z_{(K)} = ۳/۸K + ۴۹/۴۷$$

$$Z_{(K)} = ۱۷۵/۵ + ۴۷/۵۷K + ۱/۹ K^2$$

$$Z_{(K+1)} = Z_{(K)} + ۳/۸K + ۴۹/۴۷ \qquad \text{رابطه (۷)}$$

با فرض اینکه $X_{(K)}$ مقدار واقعی بارو $Z_{(K)}$ مقدار اندازه‌گیری شده سال K ام باشد روابط زیر را می‌نویسیم:

$$X_{(K+1)} = X_{(K)} + U_{(K)} + W_{(K)} \qquad \text{رابطه (۸)}$$

$$Z_{(K+1)} = X_{(K+1)} + V_{(K+1)} \qquad \text{رابطه (۹)}$$

در روابط بالا $U_{(K)} = ۳/۸K + ۴۹/۴۷$ و $W_{(K)}$ و $V_{(K+1)}$ نویزهای سفید گوسی با مقدار متوسط صفر و واریانی $Q_{(K)}$ و $R_{(K+1)}$ و مستقل از یکدیگر فرض می‌شوند. بنابراین اگر مدل سیستم مورد نظر ما به صورت زیر باشد:

$$X_{(K+1)} = \Phi_{(K+1,K)} \cdot X_{(K)} + r_{(K+1,K)} \cdot W_{(K)} + Y_{(K+1,K)} \cdot U_{(K)}$$ رابطه (۱۰)

$$Z_{(K+1)} = H_{(K+1)} \cdot X_{(K+1)} + V_{(K+1)} \; ; \; K = 0, 1, 2, \ldots$$ رابطه (۱۱)

$$\Rightarrow \Phi_{(K+1,K)} = 1 \; ; \; Y_{(K+1,K)} = 1 \; ; \; r_{(K+1,K)} = 1 \; ; \; H_{(K+1)} = 1$$

جهت تخمین بهینه بار و با استفاده از فیلتر گالمن روابط زیر را بکار می‌بریم:

$$\hat{X}_{(k+1\backslash k+1)} = \hat{X}_{(k+1\backslash k)} + K_{(k+1)} \cdot [\, Z_{(k+1)} - H_{(k+1)} \cdot \hat{X}_{(k+1\backslash k)} \,]$$ رابطه (۱۲)

$$\hat{X}_{(k+1\backslash k)} = \Phi_{(k+1,k)} \cdot \hat{X}_{(k\backslash k)} + Y_{(k+1,k)} \cdot U_{(k)}$$ رابطه (۱۳)

$$K_{(k+1)} = P_{(k+1\backslash k)} \cdot H'_{(k+1)} \, [H_{(k+1)} \cdot P_{(k+1\backslash k)} \cdot H'_{(k+1)} + R_{(k+1)}]^{-1}$$ رابطه (۱۴)

$$P_{(k+1\backslash k)} = \Phi_{(k+1,K)} \cdot P_{(P(k\backslash k)} \cdot \Phi'_{(k+1,k)} + r_{(k+1,k)} \cdot Q_{(k)} \cdot r'_{(k+1,k)}$$ رابطه (۱۵)

$$P_{(K+1\backslash k+1)} = [1 - K_{(k+1)} \cdot H_{(k+1)}] \, P_{(k+1\backslash k)}$$ رابطه (۱۶)

با جاگذاری مقادیر عددی خواهیم داشت:

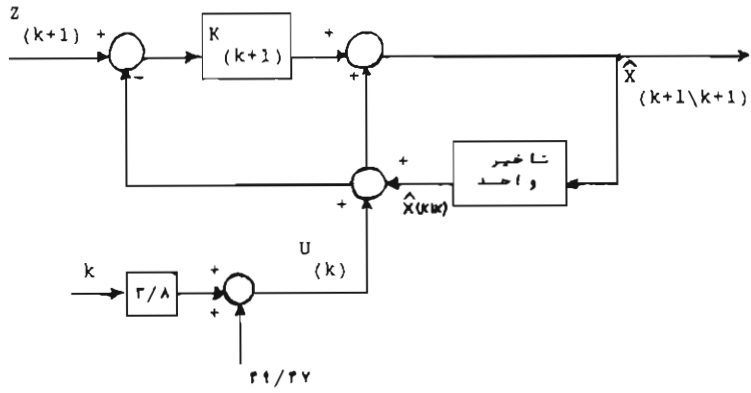
$$P_{(k+1\backslash k)} = P_{(k\backslash k)} + Q_{(k)} \; ; \; K_{(k+1)} = \frac{P_{(k\backslash k)} + Q_{(k)}}{P_{(k\backslash k)} + Q_{(k)} + R_{(k+1)}} \Rightarrow$$

$$\hat{X}_{(k+1\backslash k)} = \hat{X}_{(k\backslash k)} + U_{(k)} + \frac{P_{(k\backslash k)} + Q_{(k)}}{P_{(k\backslash k)} + Q_{(k)} + R_{(k+1)}} \cdot [\, Z_{(k+1)}$$ رابطه (۱۷)

$$- \hat{X}_{(k\backslash k)} - U_{(k)} \,]$$

$$P_{(k+1\backslash k+1)} = [1 - K_{(k+1)}] \cdot P_{(k+1\backslash k)} = \frac{R_{(k+1)} \cdot [P_{(k\backslash k)} \cdot Q_{(k)}]}{P_{(k\backslash k)} + Q_{(k)} + R_{(k+1)}}$$ رابطه (۱۸)

بلوک دیاگرام فیلتر گالمن در شکل (۳) نشان داده شده است.



« شکل (۳) ـ فیلتر کالمن جهت تخمین بار حداکثر شبکه برق آذربایجان »

جدول (۲) را با استفاده از آمار موجود و روابط زیر تهیه می‌نماییم :

$$\hat{X}_{(K+1\backslash K+1)} = \hat{X}_{(K\backslash K)} + U_{(K)} + \frac{P_{(K\backslash K)} + ۲۹/۶۳}{P_{(K\backslash K)} + ۵۴/۳۷}\left[Z_{(K+1)} - \hat{X}_{(K\backslash K)} - U_{(K)}\right]$$

$$P_{(K+1\backslash K+1)} = \frac{۲۴/۷۴\left[P_{(K\backslash K)} + ۲۹/۶۳\right]}{P_{(K\backslash K)} + ۵۴/۳۷}$$

در حالت پایدار داریم: $P_{(K+1\backslash K+1)} = P_{(K\backslash K)} = \bar{P} \Rightarrow$

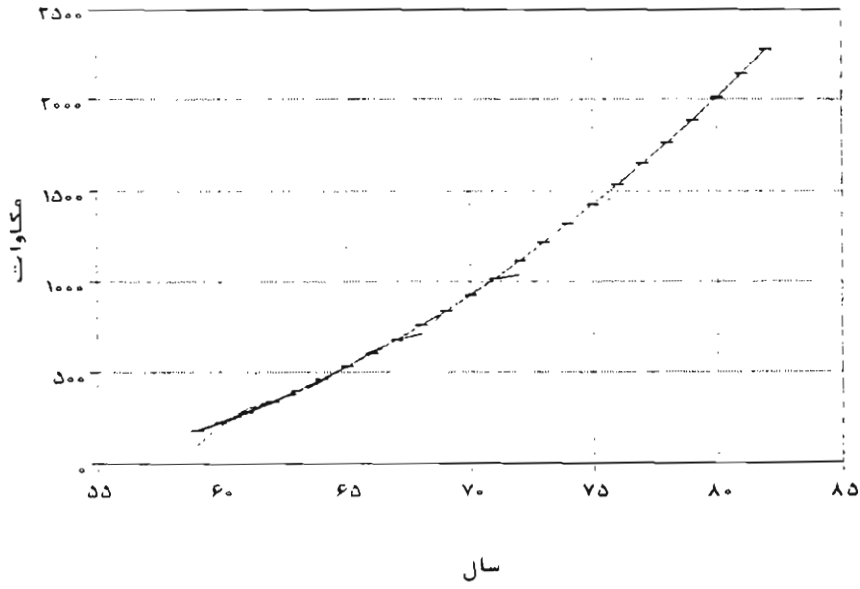
$$\bar{P} = \frac{۲۴/۷۴\left[\bar{P} + ۲۹/۶۳\right]}{\bar{P} + ۵۴/۳۷} \Rightarrow \bar{P}^2 + ۲۹/۶۳\bar{P} - ۷۳۳ = ۰ \Rightarrow \bar{P} = ۱۶/۰۵$$

با مقایسه $\bar{P}$ با $P_{(۴۱۴)}$ معلوم می‌شود که فیلتر گالمن پس از چهار اندازه‌گیری به حالت پایدار می‌رسد و معادله فیلتر از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$\Rightarrow \hat{X}_{(K+1\backslash K+1)} = ۰/۳۵\left[\hat{X}_{(K\backslash K)} + U_{(K)}\right] + ۰/۶۵\, Z_{(K+1)}$$

تخمین حداکثر بار شبکه آذربایجان تا سال ۱۳۸۲. جدول (۲)

K	سال	مقدار واقعی بار حداکثر $X_{(K)}$	$Z_{(K)}$	$W_{(K)}$	$V_{(K)}$	$U_{(K)}$	$P_{(K\backslash K)}$	$X_{(K\backslash K)}$
۰	۱۳۵۹	۱۸۳	۱۷۵/۵	-۷/۴۷	-۷/۵	۴۹/۴۷	۴۱/۵	۱۰۰
۱	۱۳۶۰	۲۲۵	۲۲۴/۹	۲۱/۷۳	-۰/۱	۵۳/۲۷	۱۸/۳۵	۲۰۵/۴۳
۲	۱۳۶۱	۳۰۰	۲۷۸/۲۴	-۱۲/۰۷	-۲۱/۷۶	۵۷/۰۷	۱۶/۳۲	۲۷۱/۵۹
۳	۱۳۶۲	۳۴۵	۳۳۵/۳۱	-۲۲/۸۷	-۹/۶۹	۶۰/۸۷	۱۶/۰۸	۳۳۳
۴	۱۳۶۳	۳۸۳	۳۹۶/۱۸	۲/۳۳	۱۳/۱۸	۶۴/۶۷	۱۶/۰۵	۳۹۵/۳۷
۵	۱۳۶۴	۴۵۰	۴۶۰/۸۵	۱۱/۵۳	۱۰/۸۵	۶۸/۴۷	۱۶/۰۵	۴۶۰/۵۷
۶	۱۳۶۵	۵۳۰	۵۲۹/۳۲	۱۲/۲۳	-۰/۶۸	۷۲/۲۷	۱۶/۰۵	۵۲۹/۲۲
۷	۱۳۶۶	۶۱۴/۵	۶۰۱/۵۹	-۱۱/۵۷	-۲/۹۱	۷۶/۰۷	۱۶/۰۵	۶۰۱/۵۵
۸	۱۳۶۷	۶۷۹	۶۷۷/۶۶	-۴۸/۸۷	-۱/۳۴	۷۹/۸۷	۱۶/۰۵	۶۷۷/۶۳
۹	۱۳۶۸	۷۱۰	۷۵۷/۵۳	۴۳/۳۳	۴۷/۵۳	۸۳/۶۷	۱۶/۰۵	۷۵۷/۵۲
۱۰	۱۳۶۹	۸۳۷	۸۴۱/۲	۶/۵۳	۴/۲	۸۷/۴۷	۱۶/۰۵	۸۴۱/۲
۱۱	۱۳۷۰	۹۳۱	۹۲۸/۶۷	-۵/۲۷	-۲/۳۳	۹۱/۲۷	۱۶/۰۵	۹۲۸/۶۷
۱۲	۱۳۷۱	۱۰۱۷	۱۰۱۹/۹۷	-۷۶/۰۷	۲/۹۷	۹۵/۰۷	۱۶/۰۵	۱۰۱۹/۹۷
۱۳	۱۳۷۲	۱۰۳۶	۱۱۱۵/۰۱		۷۹/۰۱	۹۸/۸۷	۱۶/۰۵	۱۱۱۵/۰۱
۱۴	۱۳۷۳		۱۲۱۳/۸۸	$^{O}(k)^{\pm}$	$^{R}(K)^{\pm}$	۱۰۲/۶۷	۱۶/۰۵	۱۲۱۳/۸۸
۱۵	۱۳۷۴		۱۳۱۶/۵۵	۲۹/۶۳	۲۴/۷۴	۱۰۶/۴۷	۱۶/۰۵	۱۳۱۶/۵۵
۱۶	۱۳۷۵		۱۴۲۳/۰۲			۱۱۰/۲۷	۱۶/۰۵	۱۴۲۳/۰۲
۱۷	۱۳۷۶		۱۵۳۳/۲۹			۱۱۴/۰۷	۱۶/۰۵	۱۵۳۳/۲۹
۱۸	۱۳۷۷		۱۶۴۷/۳۶			۱۱۷/۸۷	۱۶/۰۵	۱۶۴۷/۳۶
۱۹	۱۳۷۸		۱۷۶۵/۲۳			۱۲۱/۶۷	۱۶/۰۵	۱۷۶۵/۲۳
۲۰	۱۳۷۹		۱۸۸۶/۹			۱۲۵/۴۷	۱۶/۰۵	۱۸۸۶/۹
۲۱	۱۳۸۰		۲۰۱۲/۳۷			۱۲۹/۲۷	۱۶/۰۵	۲۰۱۲/۳۷
۲۲	۱۳۸۱		۲۱۴۱/۶۴			۱۳۳/۰۷	۱۶/۰۵	۲۱۴۱/۶۴
۲۳	۱۳۸۲		۲۲۷۴/۷۱			۱۳۶/۸۷	۱۶/۰۵	۲۲۷۴/۷۱



« شکل (۴) منحنی نمایشی تخمینی حداکثر بار شبکه آذربایجان. »

نتیجه :

فیلتر کالمن به عنوان ابزار قوی در تخمین صحیح بار مورد نیاز مناطق مختلف بکار برده می‌شود که در مقایسه با سایر روشها از دقت خوبی برخوردار است.

منابع :

۱ ـ آمار تفضیلی صنعت برق ایران.

۲ ـ مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیرو.

۳ ـ کنترل فرآیندهای تصادفی تألیف Medich

۴ ـ نشریات علمی و فنی برق.