چهارمین کنفرانس
شبکه‌های توزیع نیرو

تاثیر خطای پیش بینی بار در طراحی اقتصادی پستهای فوق توزیع

جواد ساعی - پیروز برخوردار - نصرت‌اله هاشمی
شرکت مشانیر

چکیده

تکامل شبکه‌های برق در سطوح توزیع، فوق توزیع و انتقال و پستهای مربوط بستگی به عوامل مختلف بویژه رشد بار دارد. معمولا" هنگام طراحی پستها رشد بار صنعتی، خانگی، تجاری و غیره که مربوط به آن پست میباشد تعیین و نسبت به اهمیت و قابلیت اعتماد مورد نیاز (Reliability)ظرفیت و آرایش پست مشخص میگردد. بنابراین درهنگام طراحی، ذخیره ظرفیت پستهارا رشد بار و قابلیت اعتماد در طول عمر پست تعیین می نماید. اکنون با گذشت زمان جادارد که نگاه مجددی به ظرفیت تعیین شده پستها درگذشته بیفکنیم تا تجربه‌ای برای طرحهای آینده بیندوزیم .
دراین مقاله ضمن پرداختن به بازنگری در انتخاب ظرفیت پستهای فوق توزیع نتایج حاصل با تجربیات سایر کشورها مورد مقایسه قرار می گیرد.

شرکت برق منطقه‌ای هرمزگان
بندرعباس ۲۸-۲۷ فروردین ۷۳

شرح مقاله :

طرح و برنامه ریزی یک پست باید بطور دائم ودرمقاطع مختلف زمانی درطول عمر شبکه مورد تجدید نظر قرارگیرد تا خطاهای مربوط به پیش بینی بار، ساختار سیستم و ضرایب بارگیری مشخص و اصلاح شود و بدینترتیب به وضعیت بهینه نزدیک شویم. در مرحله ابتدائی تکامل شبکه ها ،رشد و تراکم بار اهمیت بیشتری دارد ولی درمراحل بعدی که شبکه ایران را نیز میتوان دراین مرحله قرارداد، به قابلیت اعتماد و کیفیت و ارزانی برقی که بدست مصرف کننده میرسد وزنه بیشتری داده میشود. بنابراین بعلت طبیعت ادواری برنامه ریزی، شکل گیری وتوسعه شبکه ها. ظرفیت پستها و تراکم آنها درمناطق مختلف و درسطوح توزیع ، فوق توزیع و بالاتر تابع طرحهای انتخاب شده درمراحل قبلی و متاثر از پیشرفتهای تکنولوژی میباشد. دراین شکل گیری که باید با دقت ودرایت و بادرنظر گرفتن دیدگاههای مختلف و منافع ملی و نیازهای حال و آینده های نزدیک و دور انجام گیرد، زیربنای بهینه سازی تراکم و ظرفیت پستها برای سطوح ولتاژ فوق الذکر مشخص میشود. این شکل گیری شبکه و فلسفه تکاملی آن باید درفاصله زمانهای منظمی بررسی شود.
آنچه درزیر می آید، بخشی ازاین کاراست که مربوط به تراکم و ظرفیت پستهای فوق توزیع درایران و مقایسه مقادیر بدست آمده با دادههای مشابه درسایر کشورها میباشد.

۱- پیش بینی بار بادیدگاه وسیعتر

پیش بینی بار دیگر یک مسئله متدولوژی نبوده بلکه یک دیالوگ و چانه زنی بین ارگانهای مختلف اجتماعی و اقتصادی میباشد که ممکن است هریک دارای منافع و نظرات متضادی بوده ویا لااقل جهت گیریهای متفاوتی داشته باشند.
بطورکلی برای برآورد باریک روش اصلی را مورد استفاده قرار میدهند و ازروشهای دیگر برای بازنگری و درنهایت رسیدن به یک هدف قابل قبول استفاده مینمایند(۱). یکی از روشهای مورد استفاده میتواند " اقتصادسنجی" باشد که رابطه مصرف برق را بارشد اقتصادی، تعداد خانواده ها، درآمدها، قیمت سوخت و غیره هماهنگ میسازد. روش دیگرآمار مصرف کننده های نهائی را ملاک قرار داده ووسائل مختلف از قبیل روشنائی ، گرمایش، سرمایش، صنعتی و غیره را گروه بندی کرده و نسبت به تعداد آنها درهرگروه و ازدیاد آنها درآینده رشد بار را مشخص مینماید. کاربرد هرکدام ازاین روشها به تنهائی یک پیش بینی صرفا" انتزاعی و غیروابسته به واقعیتهارا نتیجه میدهد درحالکیه استفاده از روشهای مختلف و با

ملحوظ نمودن ملاحظات فنی و اقتصادی پیش بینی بار را بادیدگاه وسیع تری ممکن میسازد.

۱-۱- رشد بار درایران

بنظر میرسدکه رشد مورد انتظار باردرایران درچندسال آینده همانند دهه گذشته همچنان بالاباشد لیکن پس از آن بتدریج فروکش نماید. آمار گذشته نیز این موضوع راتایید کرده وگرچه رشدبار بالایی را نشان میدهد ولی روند کلی آن بتدریج روبه کاهش است.

این رشد باردرفاصله زمانی سالهای ۱۳۵۰ تا ۱۳۶۰ مقدار متوسط ۱۲ درصد راداشته درحالیکه به حدود ۱۱ درصد درسالهای بین ۱۳۶۰ تا ۱۳۶۵ واز این پس به ۸ درصد تاسال ۱۳۷۰ تنزل یافته است [۲] . مطابق داده‌های آماری در کشور دردوران پس از جنگ تحمیلی رشد بار روبه فزونی نهاده است (دربعضی مناطق درحدود ۲۰% درسال) که این پدیده ناشی از نیازبه بازسازی و توسعه خدمات اجتماعی مختلف و همچنین ادامه صنعتی شدن درمناطق مختلف بوده ودرصورت عدم وجود مشکلات اقتصادی می شد پیش بینی کرد که تقاضای بالابرای انرژی الکتریکی تا مدتهای مدید درآینده ادامه داشته باشد. پیش بینی های وزارت نیرو تاسال ۱۳۷۷ نیز نشان میدهدکه رشد بار نواحی مختلف درسالهای آینده متفاوت بوده و بطور متوسط بین ۹ تا ۱۰ درصد درسال در نوسان است. از جانب دیگربا درنظر گرفتن مسائل اقتصادی از جمله کاهش قیمت نفت، درآمد ارزی کشور نیزکاهش یافته و به تبع آن سرمایه گذاری دربخشهای مختلف روبه نقصان خواهد گذاشت. لذا دراین راستا میبایست آهنگ رشد را برای تمام بخش ها از جمله صنعت برق یکنواخت ساخته واز توسعه و سرمایه گذاریهای غیرلازم نیز پرهیز نمود. بدین ترتیب لزوم و اهمیت بکارگیری روشهای مختلف بالا دربرآورد و پیش بینی بار که نشان دهنده ضرورت سرمایه گذاریهای متناسب دربخشهای تولید، انتقال ، فوق توزیع و توزیع است، بیش از پیش آشکارمی گردد.

۲- نکات فنی و اقتصادی موثر درتعیین تراکم و ظرفیت پستها

درهنگام ارزیابی اقتصادی و فنی پستهاباید به پارامترهای تراکم بار منطقه، رشدبار، ضریب بارگیری از ترانسفورماتورها، حداکثر سطح اتصال کوتادو قابلیت انعطاف و مانور توجه داشت.

یک تراکم بار بالا معمولا" منجر به تعداد بیشتری پست با ظرفیت های بزرگتر میگردد. رشد بار زیاد نیز انتخاب ظرفیت ترانسفورماتورها را بطرف بالا سوق میدهد. بنابراین یک پیش بینی بار با خطای زیاد میتواند

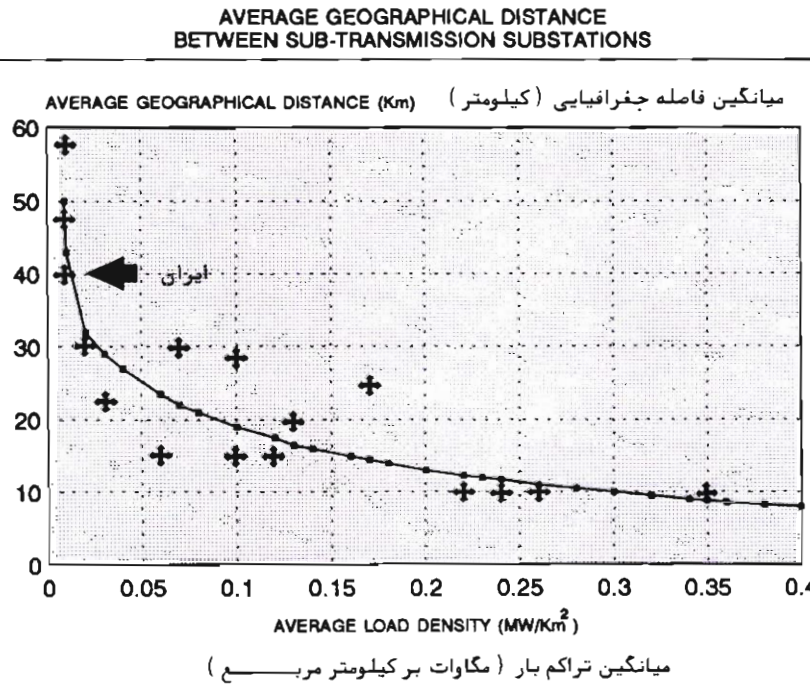
منجر به اتلاف سرمایه گذاری ها گردد. حداکثر سطح اتصال کوتاههای سه فاز و تکفاز درسیستم های توزیع و پستهای مربوط ممکنست مانع تکامل پستهای موجود بسوی ظرفیتهای بزرگتر گردد.
دریک تراکم بار مشخص ، تعداد پستهای بیشتر ولی با ظرفیت کوچکتر دارای قابلیت انعطاف و مانور بیشتری میباشد. تراکم و ظرفیت پستها درهنگام برنامه ریزی شبکه نسبت به انتخاب تعداد سطوح ولتاژ، مقادیر ولتاژها، هم شکل بودن آرایش پستها و استانداردهای قابلیت اعتماد تحت تاثیر قرار میگیرند. وجود سطوح ولتاژ میانی وفوق توزیع منجربه پستهای توزیع کوچکتر شده واغلب شبکه های مطمئن تر وبا قابلیت اعتماد بیشتر را نتیجه میدهد. کوتاه کردن فیدرهای ولتاژ متوسط با احداث پستهای کوچکتر و تعداد بیشتر با فاصله های کمتر قابلیت اعتماد برقرسانی را بالا میبرد چراکه احتمال وقوع خطا درخطوط بیشتر از پستها میباشد.
چنانچه نقاط تغذیه پستها هیچگونه امکان ارتباطی با یکدیگر نداشته باشند، نسبت به استاندارد انتخاب شده قابلیت اعتماد، عموما" وجود حداقل یک ترانسفورماتور ذخیره درچنین پستهائی لازمست. برعکس اگر انتقال بار بین پستها ممکن باشد تعداد ترانسفورماتورها میتواند کمتر ولی ظرفیت آنها بیشتر انتخاب شود.
دراینجاباید متذکر شد که بعضی مواقع بخاطر محدودیتهای حمل و نقل و صعب الوصول بودن زمین پست و سایر مسائل زیست محیطی تنها به بهینه کردن مسائل فنی و اقتصادی پرداختن غیر ممکن میشود ولی درهرحال این راه حل هاباید طوری مورد توجه قرار گیرد که وضعیتی را که نزدیکترین به حالت بهینه است حاصل دهد. تکنولوژیهای جدید که مناسب شرایط محیط زیست هستند مثل تجهیزات SF6 احداث پستهای شهری را درداخل ساختمانها ویا زیر زمین ممکن میسازد چنین پستهائی که نزدیکتر به مراکزبارهستندازلحاظ فیزیکی کوچک وازلحاظ طراحی ساده میباشند[۲] .

۱-۲- توزیع جغرافیائی پستهای فوق توزیع درایران

دراینجامنظورازپستهای فوق توزیع پستهایی است که ولتاژ اولیه آنها ۶۶،۱۳۲ یا ۶۳ کیلوولت بوده وولتاژ ثانویه ۱۱،۲۰،۳۳ یا ۶ کیلوولت باشد. بافرض اینکه هرپست یک سطح مساوی بادیگر پستهارابپوشاند، میانگین فاصله پستهای فوق توزیع را مطابق رابطه زیر میتوان تعریف نمود.

$$\text{میانگین فاصله پستها} = \sqrt{\text{سطح تحت پوشش شبکه} / \text{تعداد پستها}}$$

ازطرف دیگر میانگین تراکم بار برابر است با پیک بار تقسیم برسطح منطقه‌ای که بوسیله شبکه مربوط تغذیه میشود. با تعمیم این تعاریف برای یک کشور، سطح تحت پوشش برابر با سطح کل کشور با کم مناطق کویری و بدون جمعیت بوده و حداکثر بار نیز حداکثر بار آن کشور میباشد.
میانگین فاصله پستها نسبت به میانگین تراکم بار مناطق برقدار کشورهای مختلف توسط گروهی مشترک ازدو موسسه (Cigre), (Cired) [۳] بررسی و شکل ۱ برازش منحنی بر نقاط بدست آمده را نشان میدهد.



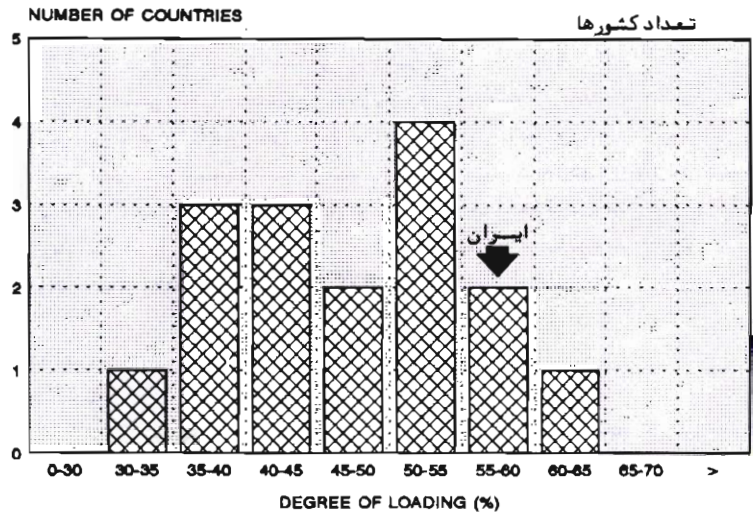
شکل۱- میانگین فاصله پستهای فوق توزیع نسبت به میانگین تراکم‌بار برای کشورهای مختلف وایران

جهت مقایسه و ارزیابی وضعیت پستهای فوق توزیع درایران باسایر کشورها میانگین فاصله پستهای فوق توزیع برای سال ۱۳۷۱ درایران ازرابطه بالا محاسبه گردیده که درحدود ۴۰ کیلومتر میباشد.
میانگین تراکم بار نیز بافرض پوشش ۱.۱۰۰.۰۰۰ کیلومتر مربع از سطح کشور بوسیله شبکه برق با حداکثر بار مصرفی ۱۱۹۵۰ مگاوات در سال ۱۳۷۱ تقریبا" برابر11 KW/KM2 بدست می آید[۴] . دراین محاسبات سطح کویر و مناطق غیر مسکونی وبدون برق شبکه درحدود ۵۰۰.۰۰۰ کیلومتر مربع تخمین زده شده است.
محل این نقطه درمنحنی شکل ۱ نشان میدهد که ایران جزو کشورهای بامیانگین تراکم بار حداقل میباشد. البته این تذکر دراینجا لازمست که سایر نقاط منحنی را اکثرا" کشورهای صنعتی اروپا و آمریکای شمالی تشکیل میدهند.
واضح است که درمناطق شهری تراکم خیلی بالاتر میباشد. همانطورکه از منحنی دیده میشود میانگین تراکم بار با میانگین فاصله پستها نسبت معکوس دارد. کشورهائیکه بالاترین میانگین تراکم بار را دارند، دارای میانگین فاصله پستهای فوق توزیع درحدود ۱۰ کیلومتر میباشند.

۲-۲- ضریب بارگیری پستهای فوق توزیع ایران

درهنگام برنامه ریزی پستها نسبت حداکثر باربه ظرفیت نصب شده ترانسفورماتورهای آنها ویا بعبارت دیگرضریب بارگیری پست از دوفاکتور مهم متاثر میشود. یکی رشدبار درآیندد و دیگری قابلیت اعتماد. فاکتوردوم خودبستگی به ساختارشبکه ومقدارظرفیت ذخیره مورد نیازدرهنگام بهره برداری دارد. شکل ۲ میانگین نسبت فوق را برای کشورهای مختلف وایران نشان میدهد[۳] .همانطورکه از شکل مشاهده میشود این نسبت بشدت متغیر است.علت آن انتخاب معیارهای اقتصادی درکشورهای مختلف و تخمین هاو پیش بینی های متفاوت میباشد. این نسبت در ایران برای پستهای فوق توزیع برای سال ۱۳۷۱ برابر۵۹/۶ درصد میباشداین عدد برای سال ۱۳۶۸ برابر۵۴/۷ محاسبه شده است [۵]که علت اختلاف، رشد بار درفاصله زمانی بین سالهای فوق الذکر میباشد.همانطورکه دربالا ذکرشد رشد بار پست و طول عمر تجهیزات آن یک فاکتور عمده در انتخاب ظرفیت ترانسفورماتورهای آن میباشد. و عدم دقت کافی و استفاده از روشهای نامناسب برآورد بار و نگرش یک بعدی به موضوع میتواند زیانهای اقتصادی ببارآورد .

AVERAGE LOADING DEGREE OF SUBSTATIONS
IN SUB-TRANSMISSION NETWORKS OF DIFFERENT COUNTRIES



شکل ۲- میانگین درجه بارگیری پستهای فوق توزیع
درکشورهای مختلف وایران

چنانچه درابتدابارپست کم باشد راداندازی پست با ترانسفورماتورهای بزرگ نامتناسب بنظر میرد چون درجه بارگیری ازآنها بسیار پایین است و هزینه ویژه (هزینه هرمگاوات قدرت عبوری ازترانسفورماتور درموقع بهره برداری)آن بالا میباشد. باافزایش بار پست و بالا رفتن درجه بارگیری ترانسفورماتورها هزینه ویژه نیزکاهش می یابد. اگر افزایش واقعی بار پست کمتر از مقدار پیش بینی شده درطول عمر آن باشد ضریب بارگیری این پست هیچگاه به حد مطلوب نخواهد رسید.

ازطرف دیگر چنانچه درهنگام شروع کار پست ترانسفورماتورهای باظرفیت کمتر انتخاب شوند و رشد واقعی بار بیش ازمقدار پیش بینی شده باشد پس از مدتی ظرفیت این پست بحدی خواهد رسید که بابالا رفتن تلفات، طرح غیراقتصادی میشود.با توجه به آمار وزارت نیرو [۴]، درجدول شماره ۱ دیده میشود که ضریب بارگیری بعضی از پستهای فوق توزیع درایران ازاین حد تجاوز نموده‌اند. درحالیکه برخی دیگر دارای ضریب بارگیری بسیار پائینی بوده‌وهمانگونه که درجدول شماره۲مشاهده می گردد به بار پیش بینی شده نرسیده‌اند. ترانسفورماتورها میتوانند برای مدتی اضافه بار قبول نمایند ولی این اضافه ظرفیت برای مناطق گرمسیر که زمان پیک آنها هم درگرمترین زمان اتفاق می‌افتد نمیتواند زیاد باشد. بعلاوه حرارت بالای ترانسفورماتورباعث کاهش طول عُمرآن نیزمیگرددکه‌بااحتساب تلفات و غیره بهره‌برداری این نوع پستها نه تنها بشدت غیراقتصادی میگرددبلکه‌قابلیت اعتماد پست راهم کاهش میدهد.بنابراین جابجاکردن ترانسفورماتورهادر فاصله زمانی طول عمرآنهابعضی اوقات میتواندباسیاست‌کاهش تلفات، افزایش قابلیت اعتمادوبالابردن کیفیت برق همسوباشد.

۳- نتیجه‌گیری

برآورد و پیش بینی باربرای آینده‌درازمدت میبایست درفواصل زمانی کوتاهتر مورد تجدید نظر قرارگرفته و نتایج حاصل از بررسی های آماری با روشهای مختلف ازجمله‌روش "اقتصاد سنجی" موردمقایسه وارزیابی قرارگیرد. بدین ترتیب تعیین ظرفیت و تراکم پستها میتواند مبنای مستحکم تری داشته وازاتلاف سرمایه گذاری و هزینه های ناشی از طراحی بیشینه یا کمینه برای احداث ویا توسعه پستها و شبکه های ارتباطی جلوگیری نماید.

قدردانی

بدینوسیله ازمدیریت شرکت مشانیر که درتدارک و تهیه مقاله فوق همکاری نموده و امکانات شرکت را دراختیار قرار داددانند تشکر و قدردانی میشود.

جدول شماره ۱ : تعدادی از پستهای فوق توزیع با ضریب بارگیری بیش از حد مورد انتظار

نام پست	نسبت تبدیل کیلوولت	ظرفیت مگاوات *	حداکثربار در سال ۱۳۷۱ مگاوات	ضریب بارگیری (درصد)	سال بهره برداری
رشت ۱	۱۳۲/۲۰	۲۴	۳۱/۰	۱۲۹/۱	۱۳۶۲
سعیدآباد (آذربایجان)	۶۳/۲۰	۲۴	۲۴/۳	۱۰۱/۲	۱۳۶۴
زیار (اصفهان)	۶۳/۲۰	۲۴	۲۴/۷	۱۰۲/۹	۱۳۶۱
کاشان ۲	۶۳/۲۰	۲۴	۲۷/۳	۱۱۳/۷	۱۳۵۷
خصارمهتر (تهران)	۶۳/۲۰	۴۸	۵۶/۶	۱۱۷/۹	۱۳۶۰
شهریار (تهران)	۶۳/۲۰	۲۴	۴۰/۱	۱۶۷/۰	۱۳۶۴
عظیمیه (تهران)	۶۳/۲۰	۴۸	۵۳/۰	۱۱۰/۴	۱۳۵۷
قم ۳	۶۳/۲۰	۳۶	۴۱/۵	۱۱۵/۲	۱۳۶۱
کرج ۲	۶۳/۲۰	۴۸	۴۸/۷	۱۰۱/۴	۱۳۶۴
کمال آباد	۶۳/۲۰	۴۸	۵۳/۵	۱۱۱/۴	۱۳۵۶
بازار رضا (خراسان)	۶۳/۲۰	۴۸	۴۸	۱۰۰/۰	۱۳۶۴
دبیری (خراسان)	۶۳/۲۰	۲۴	۲۶	۱۰۸/۳	۱۳۶۳
زنجان ۲	۶۳/۲۰	۲۴	۲۴/۰	۱۰۰/۰	۱۳۶۱
پارک صنعتی (غرب)	۶۳/۲۰	۲۴	۲۷/۰	۱۱۲/۵	۱۳۶۰
سنندج ۲	۶۳/۲۰	۲۴	۲۹/۰	۱۲۰/۸	۱۳۶۷
فسا (فارس)	۶۶/۲۰	۲۰	۲۱/۰	۱۰۵/۰	۱۳۶۳
رشت ۱	۶۳/۲۰	۲۴	۳۵/۰	۱۴۵/۸	۱۳۴۸_۶۷
دیزل (هرمزگان)	۶۳/۲۰	۳۶	۳۷/۰	۱۰۲/۷	۱۳۵۷
میناب ۱	۶۳/۲۰	۲۴	۲۵/۰	۱۰۴/۱	۱۳۷۰
اربکان (یزد)	۶۳/۲۰	۲۴	۲۵/۰	۱۰۴/۱	۱۳۶۱

* با فرض ضریب قدرت ۰/۸

جدول شماره۲ : تعدادی از پستهای فوق توزیع با ضریب بارگیری کمتر از حد موردانتظار

نـــــام پست	نسبت تبدیل کیلوولت	ظرفیت مگاوات *	حداکثربار در سال ۱۳۷۱ مگاوات	ضریب بارگیری (درصد)	سال بهره برداری
اردبیل جنوبی	۶۳/۲۰	۲۴	۱/۸	۷/۵	۱۳۶۱
جنوب (اصفهان)	۶۳/۲۰	۳۶	۲۰/۷	۵۷/۵	۱۳۴۹
ملایـــر ۱ (باختر)	۶۳/۲۰	۲۴	۱۱/۵	۴۷/۹	۱۳۴۷
چابهار ۱	۶۳/۲۰	۶۴	۸/۰	۱۲/۵	۱۳۵۹
نیروی دریائی (سیستان)	۶۳/۲۰	۶۴	۲/۰	۳/۱	۱۳۵۹
نیروی هوائی (سیستان)	۶۳/۲۰	۴۰	۹/۰	۲۲/۵	۱۳۵۹
پشتکوه (فارس)	۶۶/۲۰	۲۴	۲/۴	۱۰/۰	۱۳۶۸
زرگان ۲ (فارس)	۶۶/۲۰	۲۹/۱	۲/۰	۶/۸	۱۳۶۸
کنار تخته (فارس)	۶۶/۲۰	۱۴/۸	۳/۰	۲۰/۱	۱۳۶۳
مدرس (فارس)	۶۶/۱۱	۴۸	۴/۰	۸/۳	۱۳۶۸

* با فرض ضریب قدرت ۰/۸

منابع :

1- Methods of forecasting for electricity, Cigre WG 03 of SC 37 (power system planning and development) -1987 D.Fouquet.

۲- دورنمای شبکه برق ایران تابیست سال آینده، شرکت مشانیر ۱۳۷۲

3- Interaction Between Transmission and Distribution system planning, Density and size of substations, working Group CC.01 (combined CIGRE * and CIRED ** working Group), Electra No 150 , October, 1993

۴- آمار تفصیلی صنعت برق ایران درسال ۱۳۷۱ - دفتر منابع اطلاعات مدیریت و آمار - گروه آمار برق

۵- زیانهای "گشاده دستی" دربرنامه ریزی و طراحی تاسیسات صنعت برق. مسعود حجت، منوچهر حبیبی- دفتر برنامه ریزی وزارت نیرو- پنجمین کنفرانس بین المللی برق - تهران ۲۱-۱۹ آبان سال ۱۳۶۹

---

* Congres Internationale des Grands Reseaux Electriques (CIGRE)

کنگره بین المللی مسائل انتقال نیروی برق و فشار قوی

** Congres International des Reseaux Eletriques de Distribution(CIRED)

کنگرد بین المللی مسائل توزیع نیروی برق