برنامه‌ریزی بهینه ظرفیت و محل پست‌های توزیع

احد کاظمی [۱] جعفر نصرتیان اهور[۱] محمود اصغری فرد [۲]

قطب علمی اتوماسیون و بهره‌برداری سیستم‌های قدرت

۱- دانشکده برق - دانشگاه علم و صنعت ایران ۲- شرکت توزیع نیروی برق تبریز

تهران- ایران تبریز - ایران

کلمات کلیدی: برنامه ریزی – تلفات – تابع هدف – چگالی بار – بهینه سازی

چکیده:

یکی از مسایل پیچیده شبکه های توزیع، یافتن محل مناسب استقرار ترانسفورماتورها می باشد که در آن جایابی پست ها ی توزیع باید به گونه‌ای باشد که همه بارها تغذیه شده و حداکثر کاهش تلفات بواسطه حداقل‌سازی تلفات فیدر و هزینه‌های تجدید ساختار شبکه حاصل شود، ضمن آن که محدودیت‌های قابلیت اطمینان سیستم را نیز مد نظر قرار دهد. در این مساله انتخاب ظرفیت بالاتر ترانسفورماتور از دیدگاه تلفات ترانسفورماتور و هزینه سرمایه گذاری اولیه مناسب بوده ولی به جهت افزایش فواصل تغذیه موجب بالا رفتن تلفات اهمی می گردد. از طرف دیگر محل‌های قرار گرفتن پست ها در نواحی تحت سرویس شبکه‌های توزیع بسیار زیاد بوده و تعریف دقیق مجموعه محل پست ها بسیار مشکل است.

در این مقاله یک مدل جدید برای مساله برنامه‌ریزی بهینه پست های توزیع ارائه شده است. روش پیشنهادی در این مقاله نیاز به کاندید نمودن محل پست ها نداشته و به طور اتوماتیک اندازه و محل‌های بهینه آن را در شبکه‌های توزیع بر مبنای یک تابع هدف جامع تعیین می نماید.

۱ـ مقدمه:

موضوع برنامه‌ریزی شبکه‌های توزیع بسیار پیچیده است به نحوی است که معمولاً در مطالعات در دو بخش مورد بررسی قرار می گیرد: بخش اول، بهینه سازی پست‌ها و

بخش دوم بهینه‌سازی فیدرهاست. در این بررسی، مساله بهینه‌سازی اندازه و محل پست ها حل و فصل گردیده و سپس مبتنی بر آن، مساله بهینه‌سازی مسیر فیدرها قابل حل خواهد بود.

موضوع مورد بحث در این مقاله تعیین تعداد، محل و ظرفیت آینده پست‌های توزیع می‌باشد. در هر مطالعه توزیع تعداد قابل توجهی از پارامترها وجود داشته و معمولاً گزینه‌هایی با محدوده‌های وسیع و باز پیش روی برنامه‌ریزان قرار دارد و لذا موجب می گردد که برنامه‌ریزی بهینه شبکه های توزیع بسیار مشکل گردد، علی‌الخصوص در سال های اخیر نرخ رشد در حال افزایش، چگالی بار بالا، شرایط محیطی و کمبود زمین در مناطق شهری، مساله جایابی بهینه پست‌ها را فراتر از حد مورد انتظار مشکل‌تر نموده است.

در طول دو دهه گذشته، تعداد زیادی از روش‌های مبتنی بر کامپیوتر ارائه شده‌اند به نحوی که می‌توانند در تهیه برنامه‌ها و طرح‌های بهینه شبکه‌های توزیع مورد استفاده قرار گیرند. اغلب این روش‌های به طور قابل ملاحظه‌ای در این راستا مشارکت دارند اما هیچ روش توسعه یافته‌ای نیست که نیازمند کاندید نمودن محل پست‌ها نباشد از طرفی محل‌های استقرار پست‌ها در نواحی تحت سرویس شبکه‌های توزیع بسیار زیاد بوده و تعریف دقیق مجموعه محل پست‌ها بسیار مشکل است. پیشنهاد اصلی این مقاله، ساختار یک مدل جدید است به نحوی که به طور خودکار محل و اندازه بهینه پست‌های توزیع را بدون نیاز به پیشنهاد دادن محل پست‌ها انتخاب نماید.

۲ـ الگوی برنامه‌ریزی پست ها ی توزیع

آنچه طراحان شبکه‌های توزیع (در برنامه‌ریزی شبکه‌های توزیع) به آن نیاز دارند معلوم بودن دامنه بار و موقعیت جغرافیایی آن است و بای‌د پست‌های توزیع به گونه‌ای جایابی شوند که همه بارها تغذیه گردیده و حداکثر کاهش تلفات بواسطه حداقل سازی تلفات فیدر و هزینه‌های تجدید ساختار شبکه حاصل شود، ضمن آن که محدودیت‌های قابلیت اطمینان سیستم را نیز مد نظر قرار دهد.

در این مقاله محدوده سرویس سیستم توزیع به مربع های کوچک تری که "سکتور" نامیده می‌شود تقسیم شده که هر یک نقطه بار متمرکزی در مرکز خود دارد. اندازه بار هر سکتور از چگالی بار و سطح سکتور بدست می‌آید [۱و۲]. بنابراین مساله اندازه و محل پست‌های معمولی به شرح ذیل فرمول‌بندی می‌شود:

$$Min\, C = C_1 + C_2 + C_3 \qquad (۱)$$

$$\sum_{i \varepsilon J_i} W_j \le S_i \times e(S_i) \times \cos\varphi \qquad i = 1,2,....N \quad (a)$$

$$C_1 = \sum_{i=1}^{n} \left\{ f(S_i) \times \left[\frac{r_o (1+r_o)^m}{(1+r_o)^m - 1} \right] + U(S_i) \right\}$$

C_1: ارزش سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری پست ها ی آینده است.

$$C_2 = \alpha \sum_{i=1}^{N} \sum_{i \varepsilon J_i} (W_j^2 \times d_{ij})$$

C_2: ارزش تلفات انرژی در فیدر،

C_3: مجموع ارزش تلفات انرژی تحت بار و بی باری ترانسفورماتورها،

که در آن:

S_i: ظرفیت پست i ام

$e(S_i)$: ضریب بهره برداری از ترانسفورماتور پست i ام

n: تعداد پست ها ی آینده

m: عمر اقتصادی مورد انتظار پست (سال)

N: مجموع تعداد نهایی پست‌های آینده

M: تعداد کل نقاط بار

W_j: دامنه بار نقطه بار j ام

$F(S_i)$: ارزش سرمایه‌گذاری پست آینده i ام

$U(S_i)$: هزینه بهره‌برداری پست آینده i ام

J_i: مجموعه نقاط باری تحت پوشش پست i ام

r_o: نرخ سود سالیانه

α: ضریب هزینه

d_{ij}: فاصله بین پست i ام و بار j ام.

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

با قرار دادن:

$$f_1(S_i) = f(S_i) \times \left[\frac{r_o(1+r_o)^m}{(1+r_o)^m - 1}\right] + U(S_i)$$

تابع C_1 به صورت $C_1 = \sum_{i=1}^{n}\{f_1(S_i)\}$ بیان می‌شود. با فرض اینکه

$$W = \frac{\sum_{i=1}^{N} W_i}{M} \quad , \quad \gamma = \alpha.W$$

پس از تنظیم مساحت هر سکتور به نحوی که بار هر سکتور تقریباً مساوی باشد، تابع C_2 می‌تواند به صورت زیر خطی شود:

$$C_2 = \gamma \sum_{i=1}^{N} \sum_{j \varepsilon J_i} W_j d_{ij}$$

بنابراین مساله بهینه‌سازی رابطه (۱) می‌تواند به شرح ذیل بازنویسی گردد:

(۲)

$$Min C = \sum_{i=1}^{n} f_1(S_i) + \gamma \sum_{i=1}^{N} \sum_{j \varepsilon J_i} (W_j \times d_{ij}) + C_3$$

مساله بهینه‌سازی رابطه (۲) با توجه به اینکه S_i متغییر گسسته، n متغییر صحیح و J_i مجموعه‌ای از x_i و y_i (که هر دو متغییرهای پیوسته‌ای هستند) می باشند بسیار پیچیده شده است به نحوی که تقریباً غیر قابل حل است، برای ساده سازی مساله فرض می‌شود که:

الف)

$$n_1 = \frac{\sum W - \sum P}{S_{\min} \times \cos\varphi} + IT$$

که:

$\sum W$: مقدار نهایی بارها در آینده

$\sum P$: ظرفیت قدرت اکتیو پست ها ی موجود

IT: ثابت صحیح مثبت

ب)

$$S_{\min} = \min_{s_i}\{S_i \mid S_i \in Q\}$$

که در آن

Q: مجموعه ظرفیت‌های ممکن پست ها ی پیشنهادی برای ایجاد ظرفیت‌های آینده در دوره برنامه‌ریزی شده می باشد.

ج)

$$K = \{S_i \mid S_i \in Q \ or \ S_i = 0 \ \ , i = 1,2,...n_1\}$$

بنابراین مساله بهینه‌سازی می‌تواند به طور خلاصه بدین صورت بیان شود که از مجموعه های K، مجموعه‌ای مانند T^c می توان یافت به نحوی که قیود (a) و حداقل سازی تابع هدف را تامین نماید.

این فرآیندها می‌توانند در دو زیر فرآیند ترکیبی و محل یابی بررسی شود:

I ـ فرآیندهای ترکیبی

در این فرآیند تلاش برای یافتن ترکیب مناسب از میان مجموعه K است: $T^c = \{S_1, S_2, ..., S_n\}$ به نحوی که قیود محدودیت (a) و حداقل سازی تابع هدف را برآورده سازد.

این فرآیند به شرح ذیل فرمول بندی می‌شود:

$$f(T^c) = \min_{\forall T_i \in K} f(T_i)$$

II ـ فرآیند های محل یابی

در این فرآیند تلاش برای محاسبه محل پست‌های آینده از مجموعه‌های منحصر به فرد T_i است.

در فرآیندهای ترکیبی، الگوریتم بهینه‌سازی ترکیبی ابتکاری [٤] بکارگیری می‌شود و در فرآیند محل یابی، الگوریتم محل یابی چند منبعی [۳] استفاده می‌شود.

به وسیله این ابزارها، فرآیند های کلی و پیچیده می‌تواند به تعدادی فرآیند ساده تفکیک شود به نحوی که موجب کاهش قابل توجه حجم محاسبات می‌گردد.

۳ـ الگوریتم حل

در این مقاله بر مبنای استراتژی حل تشریح شده در بند ۲، یک الگوریتم توسعه یافته در شکل (۱) ارائه شده است که این الگوریتم از بخش های اساسی ذیل تشکیل زیر است:

۳ـ۱ـ الگوریتم بهینه‌سازی ترکیبی ابتکاری

الگوریتم بکار برده شده در فرآیند های ترکیبی بیان شده در بند ۲، شامل گام های اساسی زیر است:

الف ـ از یک حل ممکن T به نحوی که قیود را برآورده نماید شروع کنید.

ب ـ تغییر برخی از اعضاء مجموعه T^c ، وقتی که برخی اعضاء $x_1, x_2, ..., x_k$ در مجموعه T در دسترس نباشند یا غیر قابل قبول هستند و تغییر و همچنین اصلاح T با یک مجموعه T امکان پذیر.

ج ـ اگر بتوان مجموعه امکان پذیر T' یافت به نحوی که $f(T') < f(T)$ ، آنگاه T' را جایگزین T کنید و به بند ب برگردید و در غیر اینصورت به بند د بروید.

د ـ اگر مجموعه مناسب T یافت شود باید مجموعه T به عنوان حل بهینه محلی ذخیره و نگهداری شود، سپس به بند الف بروید و این کار را تا حصول یک حل رضایت بخش تکرار کنید.

۳ـ۲ـ شکل حل ممکن اولیه

برای شروع الگوریتم بهینه‌سازی ترکیبی ابتکاری نیازمند حل اولیه مناسب جهت توسعه مشخصه محاسباتی و همگرایی آن است. برای دستیابی به آن پیشنهاد می‌گردد که حداقل پست ها ی آینده (n_2) به شرح زیر تعیین گردد:

$$n_2 = \frac{\sum W - \sum P}{S_{\max} \times \cos\varphi}$$

که در آن $S_{\max} = \max\{S_i \mid S_i \in Q\}$ می باشد. بنابراین تعداد پست‌های آینده (n) باید $n_2 \le n \le n_1$ باشد لذا حل امکان پذیر اولیه می‌تواند به صورت زیر تعیین شود:

الف – $n = n_2$

ب – ظرفیت تمام پست های آینده را برابر $S_{\max}$ قرار دهید.

ج – محل همه پست های آینده را با الگوریتم محل یابی چند منبعی محاسبه کنید.

د – دامنه مجموع بارهای هریک ازپست های آینده ناحیه سرویس $\mathrm{XL_i}_{i=1,2,3,...n}$ را محاسبه کنید. سپس ظرفیت همه پست های آینده را توسط الگوی زیر تعیین کنید:

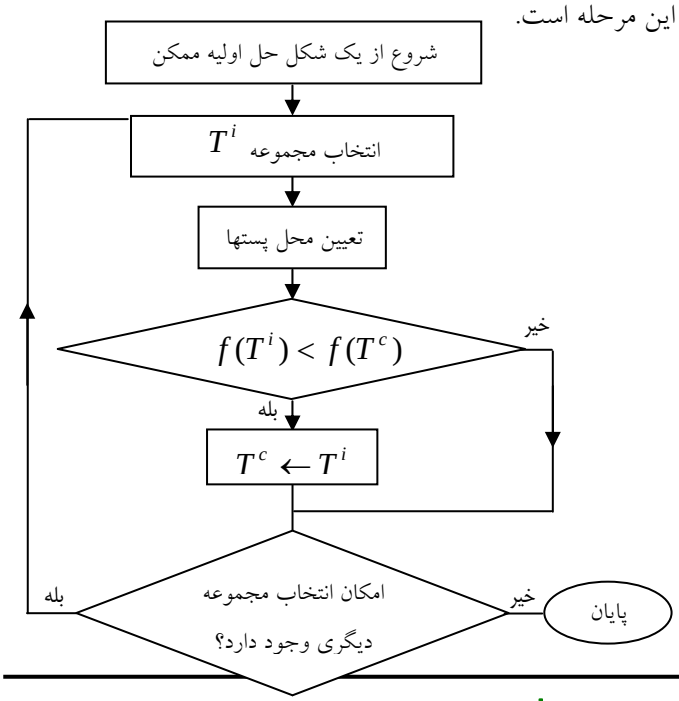
$$S_i = \min\{S_k \mid S_k \in Q\}$$

$$S_k \ge \frac{XL_k}{\cos\varphi} \quad , i = 1,2,...n$$

ه – تابع هدف f را محاسبه کنید.اگر $f \le f_{\min}$ است $f = f_{\min}$ قرار دهید.

و – $n = n+1$ قرار دهید. اگر $n > n_1$ است توقف کنید، در غیر این صورت به بند " ج " بروید.

بنابراین مجموعه $T = \{S_1, S_2, ..., S_n\}$ که مرتبط با تابع هدف $f_{\min}$ می باشد حل ممکن اولیه تعیین شده در این مرحله است.



شکل (۱): الگوریتم حل مساله

٤ـ مطالعه موردی

٤ـ۱ـ اطلاعات شبکه مورد مطالعه

روش ارائه شده در این مقاله برای شهرک فرهنگیان شهرستان رزن از توابع استان همدان، مورد بررسی قرار گرفته است. شکل (۲) چگونگی چیدمان کلی این شهرک را نشان می دهد. میانگین مصرف انرژی روزانه مشترکین این شهرک در طول سال برابر $8.71\left[\frac{\text{kWH}}{\text{day}}\right]$ می باشد، لذا میانگین مصرف سالیانه توان مشترکین آن عبارت است از:

$$\mathrm{P_{av}}=\frac{8.71}{24}=0.363\,[\mathrm{kW}]$$

پیک بار مصرف هر مشترک (با توجه به اینکه ضریب بار مصارف خانگی $0.4-0.3$ است) با ضریب بار 0.3 برابر است با:

$$\mathrm{P^{max}}=\frac{\mathrm{P_{av}^{year}}}{\mathrm{LF}}=\frac{0.363}{0.3}=1.21\,[\mathrm{kW}]$$

با فرض رشد بار ۱۰٪ برای مشترکین این منطقه (تاثیر پذیری مشترکین از تکنولوژی)، بار پیک سال افق($P_{tot}^{\max}$) برای هر مشترک برابر ۱/۱۳۳ [kW] خواهد بود.

ضریب قدرت مشترکین در بار پیک تقریباً برابر $pf=0.85$ است لذا حداکثر تقاضا برابر خواهد بود با:

$$\mathrm{S_{tot}^{max}}=\frac{\mathrm{P_{tot}^{max}}}{\mathrm{pf}}=\frac{1.331}{0.85}=1.57\,[\mathrm{kVA}]$$

این شهرک دارای 1420 قطعه زمین به ابعاد $12\,m\times 20\,m$ می باشد. با سرشکن کردن مساحت خیابانهای فرعی بین مشترکین آن مساحت تحت پوشش هر مشترک برابر $300\,m^2$ خواهد شد.

لذا حداکثر تقاضای سال افق برای همه مشترکین (SS) برابر است با:

$$\mathrm{SS}=1420\times\mathrm{S_{tot}^{max}}=1420\times1.57=2229\,[\mathrm{kVA}]$$

٤ـ۲ـ برآورد تعداد ترانسفورماتور مورد نیاز و تعیین محل استقرار آن

در بارگذاری ترانسفورماتورها تقریباً با بارگذاری ۷۰٪ ترانسفورماتور حداکثر راندمان حاصل خواهد شد[۵] لذا با توجه به حداکثر تقاضای سال افق هر مشترک به طور تقریبی مساحت تحت پوشش ظرفیت های مختلف ترانسفورماتورها از رابطه (۳) قابل تعیین است. نتایج این محاسبات در جدول (۱) آورده شده است:

$$A=\frac{0.7\times S_n}{S_{tot}^{\max}}\times 300\ [m^2] \qquad (۳)$$

که در آن S_n ظرفیت نامی ترانسفورماتور بوده و A مساحت تقریبی تحت پوشش ترانسفورماتور می باشد.

جدول (۱): مشخصات ترانسقورماتورهای کارخانه ایران ترانسفو و مساحت تقریبی تحت پوشش آنها

ردیف	ظرفیت ترانسفورماتور مورد بررسی $[KVA]$	تلفات بی باری $[W]$	تلفات بارداری نامی $[W]$	مساحت تحت پوشش $[m^2]$	تعداد ترانسفورماتور مورد نیاز منطقه مورد مطالعه
1	***200***	*570*	*3600*	*26751.2*	*16*200*
2	***250***	*610*	*4450*	*33439*	*12*250*
3	***315***	*720*	*5400*	*42133*	*8*315+4*200*
4	***400***	*850*	*6450*	*53503*	*8*400*
5	***500***	*1000*	*7800*	*66879*	*6*500*
6	***630***	*1200*	*9300*	*84267.5*	*4*630+4*200*
7	***800***	*1450*	*11000*	*107006*	*4*800*
8	***1000***	*1750*	*13500*	*133758*	*2*1000+2*500*

٤ـ٣ـ نتیجه گیری

نتایج محاسبات بخش های مختلف تابع هدف برای ترانسفورماتورهای جدول (۱) با توجه به محل استقرار آنها و فلوچارت شکل (۱) ـ که در شکل (۲) محل استقرار ترانسفورماتورهای ٤۰۰ و ۸۰۰ به عنوان نمونه نشان داده شده است ـ در جدول (۲) آورده شده است. در این محاسبات دوره مورد مطالعه ده سال، ضریب بهره ۸٪، ضریب تلفات ۰/۲، ارزش تلفات انرژی ۲۰۰ تومان به ازای هر کیلو وات ساعت فرض شده و از فهرست بهای مصوب سال ۸۳ جهت برآورد قیمت استفاده شده است.

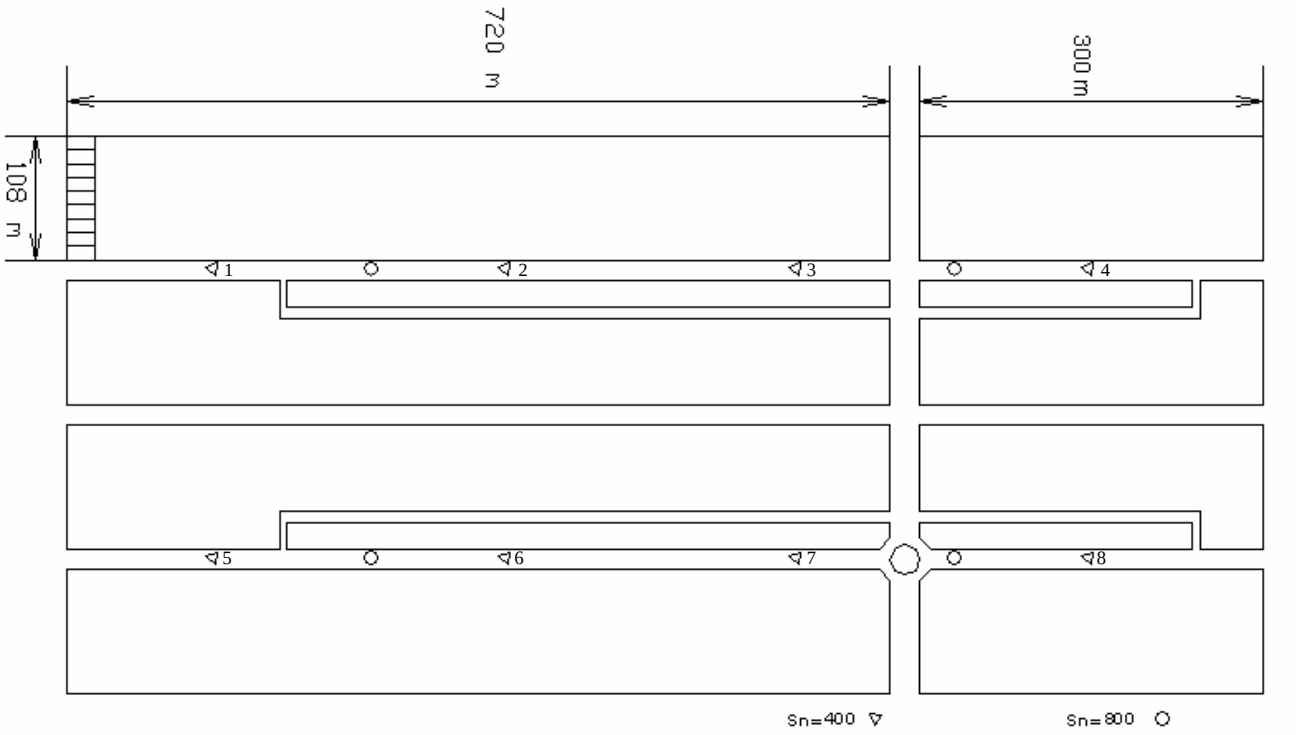
- همچنانکه از این بررسی قابل رویت است انتخاب ظرفیت بالاتر ترانسفورماتور از دیدگاه تلفات ترانسفورماتور و هزینه سرمایه گذاری اولیه مناسب بوده ولی به جهت افزایش فواصل تغذیه، موجب بالا رفتن تلفات اهمی می‌گردد.
- از طرح پنج تا طرح هشت به واسطه استقرار زمینی ترانسفورماتورها هزینه سرمایه گذاری اولیه به طور قابل توجهی افزایش یافته است.
- در این بررسی، انتخاب طرح چهارم شامل هشت ترانسفورماتور با ظرفیت [kVA] 400 مناسب ترین گزینه می باشد.

با توجه به اینکه توسعه شهرک ها به مرور زمان انجام می گیرد پیشنهاد می گردد در طرح منتخب چهار، ابتدا ترانسفورماتورهای ٤،۲، ٦ و ۸ در محل های مربوطه مستقر گردیده و سپس با توجه به توسعه بار ترانسفورماتورهای ۱، ۳، ۵ و ۷ نیز اضافه گردند.

در تعیین محل بهینه ترانسفورماتورها اغلب قید تامین دیماند مورد تقاضا ملاک قرار می گیرد و توجهی به تلفات شبکه و تلفات ترانسفورماتورها نمی گردد. در این مقاله روشی ارائه گردیده است که در آن انتخاب ظرفیت های مناسب ترانسفورماتورها با توجه به دیماند منطقه به عنوان اصلی ترین قید مساله با لحاظ نمودن هزینه تلفات شبکه و ترانسفورماتورها صورت گرفته است.

جدول (۲): نتایج محاسبات بخش های مختلف تابع هدف برای ترانسفورماتورهای فوق با توجه به محل استقرار آنها

ردیف	محاسبه C_3	محاسبه C_2 (میلیون تومان)	محاسبه C_1 (میلیون تومان)	مقدار تابع هدف (میلیون تومان)
1	*26.18*	*90.89*	*15.93*	*133*
2	*23.62*	*108.72*	*12.45*	*144.79*
3	*19.29*	*121.53*	*12.764*	*153.584*
4	*21.08*	*90.89*	*11.48*	***123.45***
5	*21.01*	*108.72*	*27.205*	*156.935*
6	*18.94*	*101.32*	*22.62*	*142.88*
7	*17.98*	*169*	*19.71*	*206.69*
8	*18.26*	*172.4*	*12.12*	*202.78*



شکل (۲): شهرک نمونه مورد بررسی به انضمام محل های ترانسفورماتورهای ٤٠٠ و ٨٠٠ به عنوان نمونه

۵ـ منابع و مراجع:

1-D.Hongwei, Y.Yixin, H.Chunhua, W.Chengshan, G.Shaoyun"OPTIMAL PLANNING OF DISTRIBUTION SUBSTATION LOCATIONS AND SIZES – MODEL AND ALGORITHM" IEEE TENCON 1993

۲- پرویز رمضانپور، پروژه تحقیقاتی ((مطالعه تلفات شبکه توزیع برق شهریار))، کارفرما: شرکت توزیع نیروی برق غرب استان تهران، ۱۳۸۰

3- Z.Tianxi" Outlin of Sources Locating Problems", Magazine f the Operation Research, Vol.4,No.1,1985.

4- C.Lizhou "Optimization Methods for Engineering Design on Discrete Varibles", Principles and Applications, The Mechnical Industry Press,1989

۵- قدرت اله حیدری، بررسی تلفات الکتریکی در شبکه های برق رسانی،چاپ اول، تابش برق، ۱۳۷۸