

طراحی ابتکاری و هوشمند شبکه‌های توزیع در دو سطح ولتاژ

حسن قوجه بکلو* و ساسان سلامتیان**

دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی اصفهان

شرکت توسعه صنایع انرژی پیشگام (وابسته به سازمان انرژی اتمی ایران)

(دریافت مقاله: ۱۳۷۵/۹/۲۹ - دریافت نسخه نهایی: ۱۳۷۸/۸/۵)

چکیده - طراحی دقیق و بهینه سیستم‌های بزرگ توزیع، جزو مسائل بسیار مشکل با تابع پیچیدگی زمان غیر چند جمله‌ای^۱ است. همچنین مدل‌های دقیق این مسائل مدل‌های غیر خطی همراه با متغیرهای گسسته‌اند این عوامل باعث شده است که حل دقیق و بهینه این سیستم‌ها از طریق برنامه ریزی ریاضی امکانپذیر نباشد. در این مقاله تعدادی الگوریتم هوشمند مبتنی بر یکسری قوانین ابتکاری^۲ که توجیه نظری، تجربی و منطقی دارند، برای حل زیر مسئله‌های طراحی بهینه سیستم توزیع (شامل دسته بندی بار، تخصیص بار به پست و تشخیص حلقه فشار متوسط) ارائه شده است.

در روند طراحی، به ازای تعداد پستهای مختلف (حداکثر به تعداد مرکز بار و حداقل یک پست) طراحی بهینه صورت می‌گیرد. در هر مورد، تابع هدف که شامل هزینه‌های سرمایه گذاری (متشکل از هزینه‌های احداث پستها، خطوط فشار متوسط و خطوط فشار ضعیف) و هزینه‌های جاری (متشکل از هزینه‌های تلفات خطوط فشار متوسط، تلفات خطوط فشار ضعیف، تلفات مسی و آهنی ترانسفورمرها و تعمیرات و نگهداری پستهاست) محاسبه می‌شود. طرح با کمترین میزان تابع هدف به عنوان طرح بهینه معرفی می‌شود. این طرح از دید مصرف کننده بهینه بوده و در آن بیشتر پارامترهای واقعی منظور شده است.

Distribution System Heuristic Design at Two Voltage Ratings

H. Ghoudjehbaklou and S. Salamatian

Department of E.C.E. Isfahan University of Technology

Pioneer Energy Industries Development Company (Affiliated to Atomic Energy Organization of Iran)

ABSTRACT- *An actual optimal design of large-scale power distribution systems is an intractable problem with non-polynomial time complexity function. Most of the accurate models that have been suggested for this purpose are nonlinear with discrete variables. Thus searching for the optimal solution through mathematical programming is rather impossible. In this paper, a number of intelligent algorithms based on a set of heuristic rules are presented, which are theoretically, practically and logically justified. These heuristic algorithms are used to solve the sub-problems encountered in the optimal planning of the distribution systems at two voltage*

* - کارشناسی ارشد

* - استادیار

فهرست علائم		
s	قدرت بار متصل	C
I	جریان عبوری	R
A	سطح مقطع	ΔV
	افت ولتاژ نسبی	هزینه
		مقاومت کل
		L
		طول

ratings.

In the search for the optimal design, some sub-optimal designs are obtained for different selected numbers of substations, which vary from the number of the total load centers to a minimum of one single substation. In each case, a cost function consisting of investment and operation costs is calculated. The investment costs include substation construction and equipemnt installation of medium and low voltage feeders. The operation costs include the line losses for medium and low voltage feeders, the iron and copper losses of the transformers and the repair and maintenance of the substations.

All these different plans are evaluated and the best one, with respect to the cost function is selected as the optimum plan. This design is optimal from the consumer's point of view and includes the most practical parameters in its optimization.

۱- مقدمه

مسئله، همچنین پراکندگی و نوع بارها بسیار متنوع‌اند حتی پارامترهای غیر اقتصادی نیز ممکن است در تابع هدف دیده شود [۱۰] و یا بهینه سازی از دید تولید کنندگان انرژی الکتریکی صورت گیرد که مسئله ارتباط آن با شبکه‌های انتقال نیز مطرح است [۱۱ و ۱۲] ولی در تحقیق انجام شده با توجه به طراحی از دید مصرف کننده (نظیر واحدهای صنعتی، شهرکهای مسکونی، مجتمعهای آموزشی، خدماتی و غیره)، این گونه پارامترها از اولویت کمتری برخوردارند. در طراحی این مجموعه‌ها پس از جانمایی ساختمانها و تجهیزات روی پلان معماری محوطه، مهندسان برق محل، مقدار و ضرایب بارها را استخراج کرده و سپس ترکیب مناسبی برای سیستم توزیع انتخاب می‌کنند. این انتخاب براساس ملاحظات ایمنی، قابلیت اطمینان، سادگی بهره‌برداری، افت ولتاژ، نگهداری و تعمیرات، قابلیت توسعه، معیارهای اقتصادی و غیره صورت می‌گیرد [۲].

یکی از ترکیبهای معمول که در محوطه‌های صنعتی و مسکونی کاربرد فراوانی دارد، شبکه دو ولتاژه شامل فیدرهای فشار متوسط حلقوی و فیدرهای فشار ضعیف شعاعی است. پس از انتخاب ولتاژهای فشار ضعیف و فشار متوسط و تصمیم گیری راجع به سیستم، نصب خطوط (هوایی یا زیرزمینی) با توجه به ملاحظات

مدلسازی مسئله طراحی شبکه توزیع نسبتاً پیچیده بوده و در حالت کلی یک مسئله بهینه سازی غیرخطی با پیچیدگی زمان غیر چند جمله‌ای [۱] است. خطی سازی روابط به دست آمده را از دید مصرف کننده [۲] به مسئله‌ای از نوع MIP^۲ تبدیل می‌کند. به خاطر بزرگی مسئله بایستی از روشهای مؤثری در جهت کاهش محاسبات استفاده کرد [۳ و ۴]. در رابطه با مسائل مشابه از روشهای جدیدی چون الگوریتم ژنتیک استفاده شده است [۵ و ۶].

به علت سرعت کم همگرایی الگوریتم ژنتیک، روشهای ابتکاری و خبیره دیگری نیز نظر محققان را به خود معطوف داشته است [۷ و ۸].

در طراحی سیستم توزیع، می‌توان زیر مسئله‌هایی تعریف کرد که حل موقت آنها جوابهای غیر دقیق برای مسئله بزرگتر را به همراه دارد. با در دست داشتن جوابهای غیر دقیق، می‌توان با حل مجدد جوابهای دقیقتری به دست آورد [۳ و ۹]. در پروژه مورد گزارش این مقاله نیز بهینه سازی با تقسیم مسئله به زیر مسئله‌های متعددی انجام گرفته است. نهایتاً از حل این زیر مسئله‌ها به صورت فعل و انفعال با یکدیگر، جواب نزدیک بهینه به دست می‌آید.

مراحل و روشهای طراحی سیستم توزیع بسته به دیدگاه حل

$$X_m = \frac{\sum_{i=1}^n s_i x_i}{\sum_{i=1}^n s_i} \quad \text{و} \quad Y_m = \frac{\sum_{i=1}^n s_i y_i}{\sum_{i=1}^n s_i} \quad (1)$$

قضیه

اگر هزینه هر خط فشار ضعیف متناسب با قدرت بار و مجذور فاصله بار تا پست تغذیه (SL^2) باشد، کم هزینه ترین نقطه احداث پست تغذیه مشترک چند بار، مرکز ثقل آنهاست.

اثبات

نخست فرض می‌کنیم که فاصله دو نقطه، طول پاره خط مستقیم بین آن دو نقطه باشد هر بار سه تایی مرتب (x_i, y_i, s_i) که نشان دهنده مختصات طولی و عرضی و قدرت بار است نشان داده شده است. c تابع هزینه است. در واقع نقطه بهینه احداث پست (x_s, y_s) مجهول است. به فرض تعداد بارها برابر (n) می‌خواهیم تابع زیر را کمینه کنیم

$$\text{Min}(c = \sum_{i=1}^n s_i [(x_s - x_i)^2 + (y_s - y_i)^2])$$

بدین منظور باید

$$\frac{\partial c}{\partial x_s} \sum_{i=1}^n 2s_i (x_s - x_i) = 0$$

$$\Rightarrow \sum_{i=1}^n s_i x_s - \sum_{i=1}^n s_i x_i = 0$$

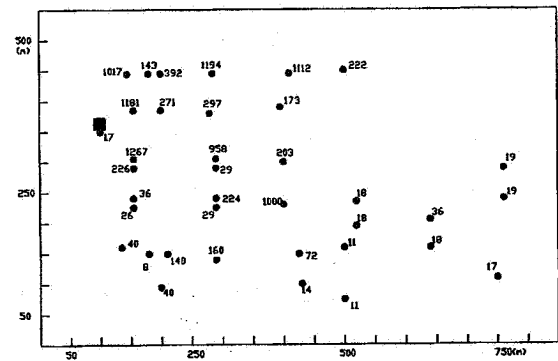
(2)

$$\Rightarrow x_s = \frac{\sum_{i=1}^n s_i x_i}{\sum_{i=1}^n s_i} = x_m$$

به همین ترتیب

$$y_s = \frac{\sum_{i=1}^n s_i y_i}{\sum_{i=1}^n s_i} = y_m \quad (3)$$

در واقع این قضیه بیان می‌کند که وقتی جمع SL^2 بارهای یک گروه کمینه است که پست مشترک آنها در مرکز ثقل آن گروه بار قرار داشته باشد. در محوطه‌های صنعتی تعریف مناسبتری برای محاسبه طول هر خط تغذیه وجود دارد. در این تعریف، فاصله بین دو نقطه



شکل ۱- مراکز بار و محل تغذیه اصلی در یک کارخانه شیمیایی در شکل نمایش داده شده است

فنی - اقتصادی، طراح با زیر مسئله‌هایی که به دنبال می‌آید مواجه است.

۱- مشخص کردن تعداد پستهای توزیع

۲- جایابی پستهای توزیع

۳- چگونگی تخصیص بارها به پستها

۴- تعیین ترتیب اتصال پستهای توزیع در حلقه فشار متوسط

۵- تعیین سطح مقطع فیدرها

۶- ظرفیت پستهای توزیع

در شکل (۱) مثالی از پراکندگی و میزان بارها قبل از طراحی سیستم توزیع نشان داده شده است.

در این مقاله طول بین هر دو پست یا مرکز بار، از جمع قدر مطلقهای اختلاف مختصات افقی و عمودی $|\Delta X| + |\Delta Y|$ به دست می‌آید. علت این امر آن است که شبکه خطوط معمولاً به موازات جاده‌ها احداث می‌شود جاده‌ها نیز معمولاً راستای شرقی - غربی یا شمالی - جنوبی دارند [۱۳].

به منظور یافتن طرحهای مناسب درچنین مسائلی دوشیوه موجود است الف - انتخاب مدل ریاضی مناسب و دقیق (برنامه ریزی ریاضی) ب - مشخص کردن قوانین طراحی و حل هوشمند

۲- مدلسازی طراحی سیستم توزیع

تعریف - مرکز ثقل چند بار الکتریکی که مختصات طولی، عرضی و قدرت آنها با سه تاییهای مرتب (x_i, y_i, s_i) مشخص می‌شود عبارت است از

$$x_s + y_s = \frac{s_1 x_1 + s_2 x_2}{s_1 + s_2} + \frac{s_1 y_1 + s_2 y_2}{s_1 + s_2} \quad (V)$$

به راحتی مشاهده می‌شود که نقطه مرکز ثقل نیز در این مکان قرار دارد. از این پس مستقل از نحوه محاسبه فاصله دو نقطه، مرکز ثقل بارها نقطه بهینه احداث پست در نظر گرفته می‌شود. برای مدلسازی ریاضی، بایستی بتوانیم شاخصی برای محاسبه هزینه خطوط فشار ضعیف و خطوط فشار قوی و پستهای توزیع بیابیم.

حال شاخص هزینه را برای حالتی که فیدر فشار ضعیف براساس افت ولتاژ سایز می‌شود به دست می‌آوریم

$$\begin{aligned} (1) \% \Delta V &\propto RI \\ (2) I &\propto S \end{aligned} \Rightarrow \% \Delta V \propto RI \quad (3) R \propto L/A$$

$$\Rightarrow \% \Delta V \propto SL/A \quad (4) \% \Delta V = \% \Delta V_{\max} \Rightarrow A \propto SL \quad (5) C \propto AL$$

$$\Rightarrow (6) C \propto SL^2$$

به دنبال، روابط ریاضی بالا توضیح داده شده است

۱- افت ولتاژ متناسب با مقاومت و جریان فیدر است.

۲- جریان متناسب با قدرت فیدر است.

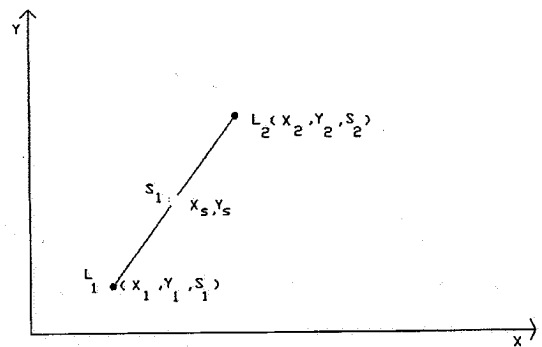
۳- مقاومت نسبت مستقیم با طول و نسبت عکس با سطح مقطع دارد.

۴- در فیدری که بر اساس افت ولتاژ تعیین اندازه شود، حداکثر افت ولتاژ می‌تواند برابر مقدار بیشینه افت ولتاژ مجاز باشد.

۵- هزینه فیدر متناسب با حجم هادی و یا حاصلضرب سطح مقطع و طول خط است.

۶- در این حالت SL^2 ، شاخص مناسبی برای محاسبه هزینه است SL^2 شاخص شناخته شده‌ای است که در کمینه کردن تلفات نیز استفاده شده است.

در به دست آوردن شاخص هزینه حلقه فشار متوسط، با توجه به اینکه افت ولتاژ نسبی رقم ناچیزی و عملاً محدود کننده نیست به



شکل ۲- بارهای L_1 و L_2 همراه با پست تغذیه کننده آنها

جمع قدرمطلقهای اختلاف فاصله عمودی به علاوه اختلاف صله افقی $|\Delta X| + |\Delta Y|$ به دست می‌آید. علت این امر آن است، خطوط توزیع معمولاً به موازات جاده‌ها احداث می‌شود. ناده‌ها نیز معمولاً راستای شرقی - غربی و یا شمالی - جنوبی رند. با این شیوه محاسبه طول، نقاط بهینه احداث پست برای و بار الکتریکی به دست آمده‌اند. در زیر اثبات می‌شود که نقاط بهینه، تشکیل یک مکان هندسی می‌دهند که از نقطه مرکز ثقل بارها می‌گذرد. در واقع برای محاسبه طول به جای فرمول $\sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$ از فرمول $(|\Delta X| + |\Delta Y|)$ استفاده شده است. در این صورت برای حالتی که فقط دوبار موجود است مطابق شکل (۲) تابع C را کمینه می‌کنیم.

$$C = S_1 (x_s - x_1 + y_s - y_1)^2 + S_2 (x_s - x_2 + y_s - y_2)^2 \quad (4)$$

باید

$$\frac{\partial C}{\partial x_s} = 2S_1 (x_s - x_1 + y_s - y_1) - 2S_2 (x_2 - x_s + y_2 - y_s) \quad (5)$$

همچنین باید

$$\frac{\partial C}{\partial y_s} = 2S_1 (x_s - x_1 + y_s - y_1) - 2S_2 (x_2 - x_s + y_2 - y_s) \quad (6)$$

دو معادله اخیر یکسان هستند پس در این حالت یک مکان هندسی از نقاط احداث پست به دست می‌آید که می‌تواند مابج هزینه را کمینه کند. این مکان عبارت است از

چون هر بار حتماً و فقط به يك پست اتصال مي يابد، در واقع محدوديت زير وجود دارد

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} = 1 \quad \forall j$$

$$A(a_{ij}) = \begin{matrix} & \text{Load}_1 & & & \text{Load}_n \\ \text{Sub}_1 & \left[\begin{array}{cccc} a_{11} & \dots & \dots & a_{1n} \\ \vdots & & & \vdots \\ \vdots & & & \vdots \\ \text{Sub}_n & a_{n1} & \dots & \dots & a_{nn} \end{array} \right] & & & \end{matrix}$$

هر سطر اين ماتريس متناظر با يك پست و هر ستون آن متناظر به يك بار است. اگر تمام المانهاي يك سطر برابر صفر بودند يعني هيچ باري به آن پست متصل نيست. در محاسبات، قدرت اين پستها (0) و محل آن همانند مختصات پست فشار متوسط اصلي در نظر گرفته مي شود. در محاسبه هزينه فرض مي شود قرار گرفتن پستها در حلقه فشار متوسط مانند ترتيب تناظر سطرهاي ماتريس A با آنها است.

مختصات طولی نقاط بار را در بردار X_L و مختصات عرضی آنها را در بردار Y_L و قدرت را در بردار S_L قرار مي دهيم به راحتی طول و عرض محل احداث هر پست به دست مي آيد.

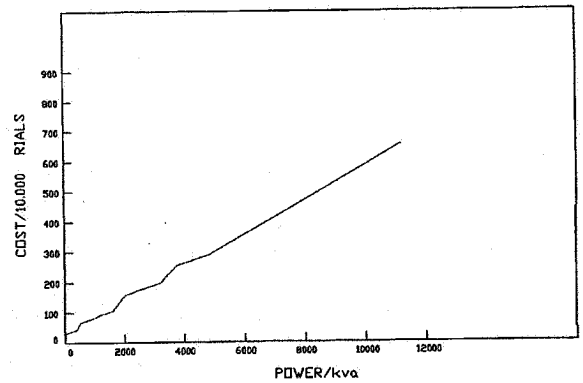
$$X_{\text{Sub}(i)} = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot s_{vj} \cdot X_{vj}}{\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot s_{vj}} \quad \text{و} \quad Y_{\text{Sub}(i)} = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot s_{vj} \cdot Y_{vj}}{\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot s_{vj}} \quad (11)$$

حال مي توان طول فيدريهاي فشار ضعيف را محاسبه كرد. طول فيدر تغذيه كننده بار j ام به صورت زير محاسبه مي شود

$$L_{vj} = \left| X_{vj} - \sum_{i=1}^n a_{ij} \cdot X_{\text{Sub}i} \right| + \left| Y_{vj} - \sum_{i=1}^n a_{ij} \cdot Y_{\text{Sub}i} \right| \quad (12)$$

طول حلقه فشار متوسط نيز به صورت زير محاسبه مي شود

$$D_{\text{Loop}} = \left(\sum_{i=1}^{n-1} (|X_{\text{Sub}i+1} - X_{\text{Sub}i}| + |Y_{\text{Sub}i+1} - Y_{\text{Sub}i}|) \right) + (|X_{\text{Sub}n} - X_{\text{Sub}1}| + |Y_{\text{Sub}n} - Y_{\text{Sub}1}|) + (|X_{\text{Sub}1} - X_{\text{Sub}n}| + |Y_{\text{Sub}1} - Y_{\text{Sub}n}|) \quad (13)$$



شكل ۳- هزينه پستهاي فشار ضعيف برحسب قدرت آنها

نتايج تجربی مراجعه مي كنيم. با توجه به اينكه يكي از عوامل اصلي سايز فيدريهاي فشار متوسط، تحمل جريان اتصال کوتاه در مدت مشخصی است و جريان اتصال کوتاه در نقاط مختلف شبکه فشار متوسط در واحدهاي معمول تغيير زيادی ندارد، سطح مقطع فيدريهاي فشار متوسط از تنوع کمتری برخوردار است و مي توان طول حلقه را به عنوان شاخص محاسبه هزينه در نظر گرفت.

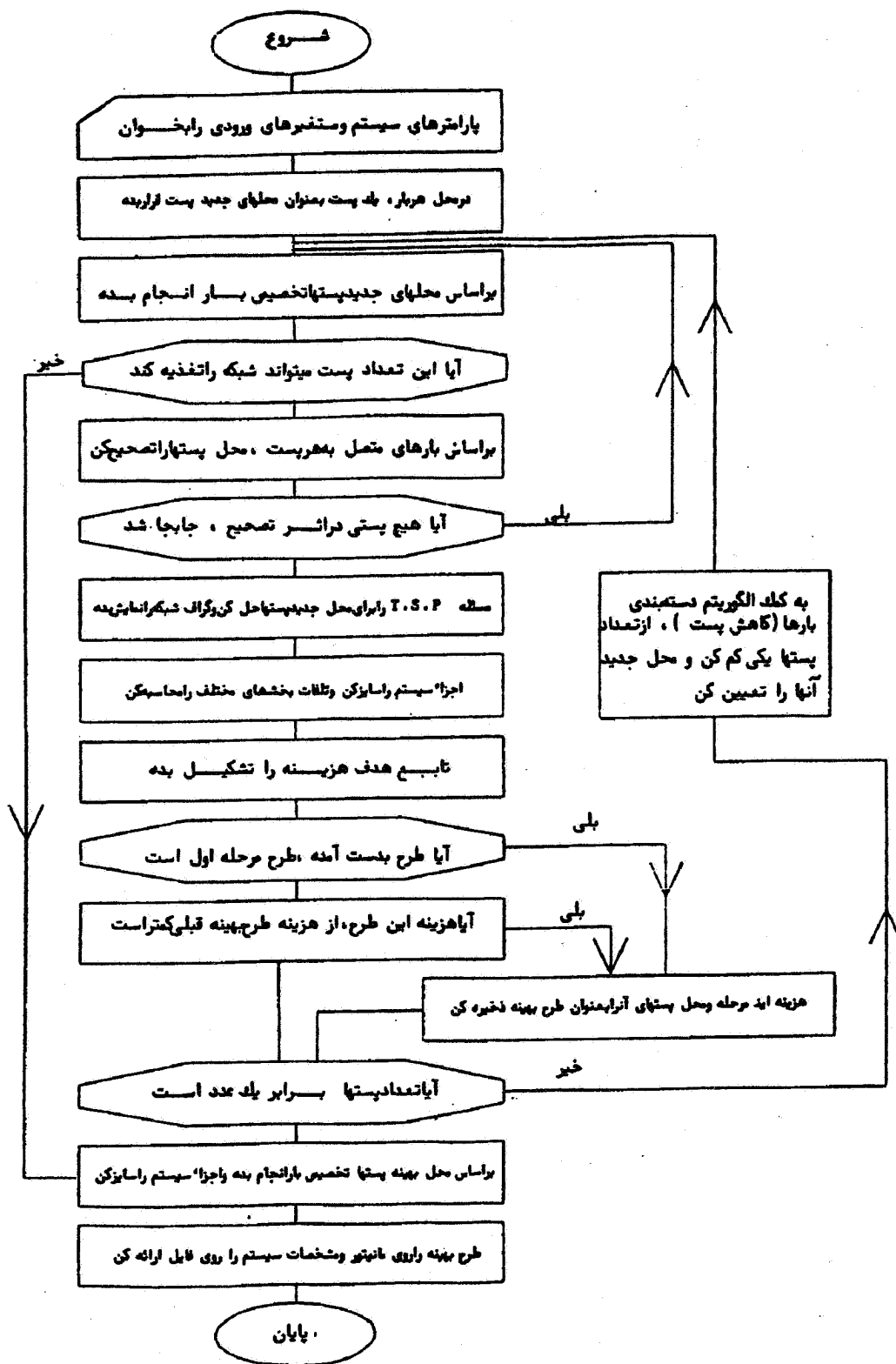
$$(C_{\text{Loop}} = K_p D_{\text{Loop}})$$

که C_{Loop} و D_{Loop} به ترتيب هزينه حلقه و طول حلقه اند. در مورد پستهاي توزيع فشار ضعيف برای مدل سازی هزينه با توجه به منحنی شکل (۳) مي توان از شاخص خطی قدرت پست استفاده كرد.

$$(C_{\text{Sub}} = K_p S_{\text{Sub}}) \quad (9)$$

فرض كنيد، طراح به طريقي موفق شده است كه گروههاي بهينه بارهايي كه از يك پست تغذيه مي شوند را تشخيص دهد. در اين صورت مستقيماً مكان پستها، سايز پستها، هزينه فيدريهاي فشار ضعيف و فشار متوسط را مي توان يافت. بنابر اين مسئله پیچیده طراحی سیستم توزیع، به مسئله ساده تر گروه بندی بارها تبدیل می شود. ماتريس تخصیص بار به پست $A(n,n)$ را به صورت زير تعريف مي كنيم

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{اگر بار } j \text{ به پست } i \text{ وصل باشد} \\ 0 & \text{در غير اين صورت} \end{cases}$$



شکل ۴- روند نمای طراحی هوشمند ابتکاری سیستم‌های توزیع در دو سطح ولتاژ

با قدر مطلق ظاهر می‌شوند که یافتن نقطهٔ بهینه را مشکل می‌کنند. با این توضیحات در می‌یابیم که استفاده از روشهای ریاضی محض، در حل چنین مسائلی کارایی ندارند. با استفاده از ابتکارات و جمع آوری تجربهٔ افراد خبره، می‌توان طراحی ابتکاری و هوشمندی را ترتیب داد که مستقیماً طرح نزدیک بهینه‌ای را پیشنهاد کند که در ادامه این روش توضیح داده می‌شود.

۳- روش هوشمند ابتکاری

حل مسائل خاص که در شرایط عادی توسط متخصصان فن مربوطه صورت می‌گیرد، یکی از زمینه‌های تحقیقاتی هوش مصنوعی است. اساس آگاهی این سیستمها را معمولاً تجربه و یا ابتکار تشکیل می‌دهند.

سیستمهایی که اساس آگاهی آنها را تجربه تشکیل می‌دهد، سیستمهای خبره و سیستمهایی که اساس آگاهی آنها را ابتکارات مبتنی بر منطقهای ریاضی و تجربه تشکیل می‌دهند، می‌توان سیستمهای هوشمند ابتکاری نام برد. در مقالهٔ حاضر بار دیگر نشان داده شده است که استفاده از این روشها در مواجه شدن با مسائل مشکل می‌تواند بسیار مفید باشد.

در روش ابتکاری پیشنهادی این مقاله، در چند مرحله که هر یک متناظر با تعداد مشخصی پست فشار ضعیف است، بارها دسته بندی شده و طراحی کامل صورت می‌گیرد و تابع هدف محاسبه می‌شود.

۴- الگوریتم دسته بندی بارها

در مرحلهٔ نخست در سیستم توزیع از حداکثر تعداد پست ممکن (برابر تعداد بارها) استفاده می‌شود. محل هر پست در این حالت دقیقاً در مجاورت یکی از بارهاست و تنها وظیفهٔ تغذیه آن بار رابه عهده دارد. طبیعی است که در این حالت به علت تعداد زیاد ترانسفورمرها، هزینهٔ کل احداث پستها و شبکهٔ فشار متوسط تغذیه کننده آنها بسیار زیاد می‌شود. برعکس، هزینهٔ احداث خطوط فشار ضعیف بسیار کم است. در هر یک از مراحل بعدی دو گروه از بارها انتخاب می‌شوند. با ادغام این دو گروه بار در یکدیگر، گروه بزرگتری تشکیل می‌شود و در ازای آن از تعداد گروهها، یکی کاسته می‌شود. برای انتخاب مناسبترین دو گروه بار ادغام شونده، از شاخص

که پراتز اول طول فیدر مابین پست m و پست $m+1$ ، پراتز دوم طول فیدر مابین پست m و باس فشار متوسط پست اصلی و پراتز سوم طول فیدر مابین پست فشار متوسط و اولین پست فشار ضعیف حلقه است. قدرت هر پست نیز به صورت زیر بدست می‌آید.

$$S_{Subi} = \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot S_{ij} \quad (14)$$

هدف، کمینه کردن هزینه کل به صورت زیر است

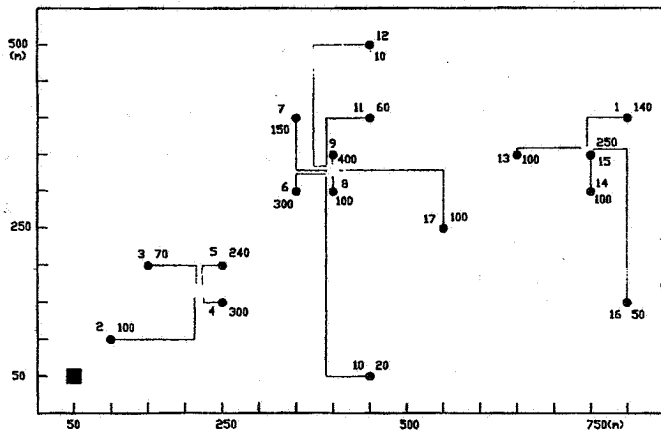
$$C = K_1 \sum_{j=1}^n S_{ij} \cdot L_{ij}^2 + K_2 \cdot D_{Loop} + K_3 \sum_{j=1}^n S_{Subi} \quad (15)$$

که برای محاسبهٔ آن کافی است ماتریس A با توجه به محدودیتی که در معادلهٔ (۱۰) معرفی شده است مشخص شود. مسئلهٔ محدودیت ظرفیت پستها را نیز می‌توان به سادگی به صورت زیر فرمولبندی کرد

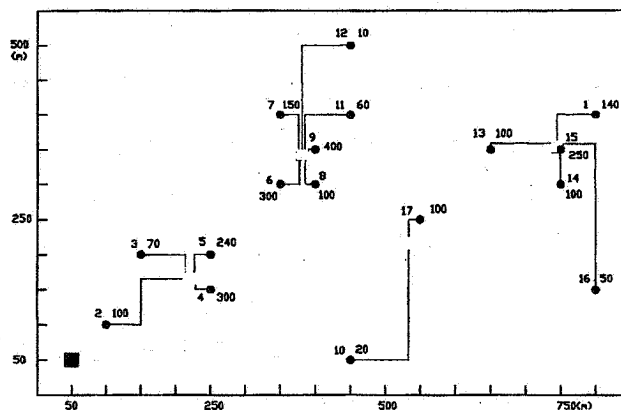
$$S_{Subi} = \sum_{i=1}^n a_{ij} S_{ij} < S_{max} \quad \forall i \quad (16)$$

با این ترتیب مسئلهٔ سیستم توزیع به صورت ریاضی با اعداد صحیح مدل شده است. برای تأکید روی مشکل بودن حل این مسئله همین نکته کافی است که بدانیم مسئلهٔ فروشندهٔ دوره گرد (T.S.P.)، ذاتاً در این مسئله مستتر است و در ترتیب سطرهای ماتریس A خود را نشان می‌دهد. به طور خلاصه

- ۱- بسیاری از متغیرهای تصمیم‌گیری در این مدل، متغیرهای عدد صحیح‌اند. در این صورت تعیین نقطهٔ بهینه بسیار مشکل می‌شود.
- ۲- تابع زمان پیچیدگی مسئله متناسب با $n^{(n+1)}$ (تعداد مراکز بار) است. رشد این تابع برحسب n بسیار سریع است [۱]. به عنوان مثال در یک مسئلهٔ کوچک یا متوسط با ۳۶ مرکز بار، به ازای افزایش فقط یک مرکز، زمان حل مسئله بیش از صد برابر افزایش می‌یابد.
- ۳- بالا بردن دقت در تقریبهها باعث پیچیدگی بیش از حد مسئله و کاهش دادن آن باعث فاصله گرفتن از نقطه بهینه می‌شود.
- ۴- در مدل‌های نسبتاً دقیق، توابع غیرخطی به صورت سهموی و یا



ب - دسته بندی بارها به سه گروه



الف - دسته بندی بارها به چهار گروه

شکل ۵- نمونه‌ای از ادغام گروههای بار برای یک سایت کوچک صنعتی را نشان می‌دهد

براساس شاخص $S(L_1^2 - L_1)$ به ترتیب نزولی اولویت بندی می‌شود. که S توان ظاهری بار، L_1 فاصله بار تا نزدیکترین پست و L_1^2 فاصله دومین پست نزدیک است شاخص $S(L_1^2 - L_1)$ متناسب با اضافه هزینه‌ای است که در صورت ظرفیت نداشتن نزدیکترین پست بایستی به سیستم اعمال شود تا بار به نزدیکترین پست بعدی وصل شود. بدین ترتیب سعی شده است آن دسته از بارهایی که در صورت وصل نشدن به نزدیکترین پست، ایجاد هزینه اضافی زیادی می‌کنند در اولویت تخصیص بار قرار گیرند. در شکل (۳) نمونه تخصیص بار با وجود محدودیت ظرفیت پستها داده شده است.

اقتصادی استفاده می‌شود. با توجه به نکته (۱) ثابت می‌شود که افزایش هزینه مربوط به خطوط فشار ضعیف در هنگام ادغام دو پست، متناسب با شاخص $L_1^2 \frac{S_1 S_2}{S_1 + S_2}$ است [۱۶]. در هر مرحله این شاخص برای دو به دوی گروهها محاسبه می‌شود و دو گروه نظیر کمترین شاخص هزینه برای ادغام برگزیده می‌شوند. البته این شاخص به تنهایی متناسب با تغییر کل هزینه نیست لیکن علی‌رغم سادگی، دریافتن مسیر بهینه ادغام دسته‌های بار، بسیار کارسازتر از مدل‌های پیچیده است. در شکل (۵) نمونه‌ای از دسته‌بندی و ادغام خوشه‌های بار آمده است.

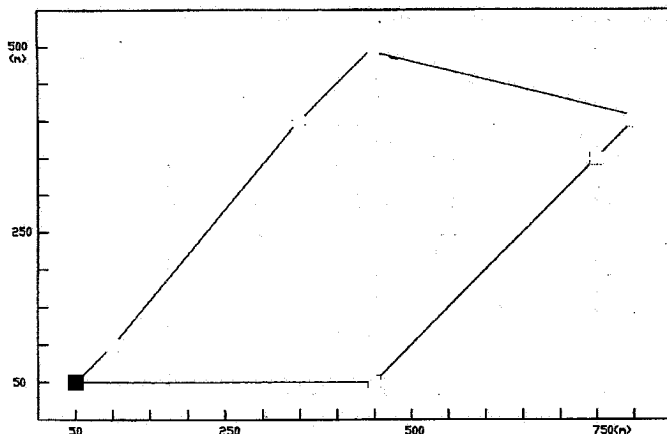
۵- الگوریتم تخصیص بارها به پستها

کم هزینه‌ترین حالت تخصیص بار، مربوط به موقعی است که هر بار به نزدیکترین پست مجاور خود متصل شود. ولی در برخی از پروژه‌ها، پستها دارای محدودیتهای هستند که نمی‌توانند تمام بارهای مجاور خود را تغذیه کنند. بنابراین می‌توان بارها را اولویت بندی کرده و آنها را به ترتیب اولویت به مناسبترین پستی که قابلیت پذیرش آن بار را داشته باشد اختصاص داد. به طور منطقی اگر باری به نزدیکترین پست مجاور خود وصل نشد سعی می‌کنیم آن را به نزدیکترین پست از ما بین بقیه پستها وصل کنیم و به همین ترتیب جستجو در بین پستها ادامه می‌یابد تا هر بار الکتریکی در نهایت به یک پست متصل شود. بر این اساس در روش پیشنهادی، بارها

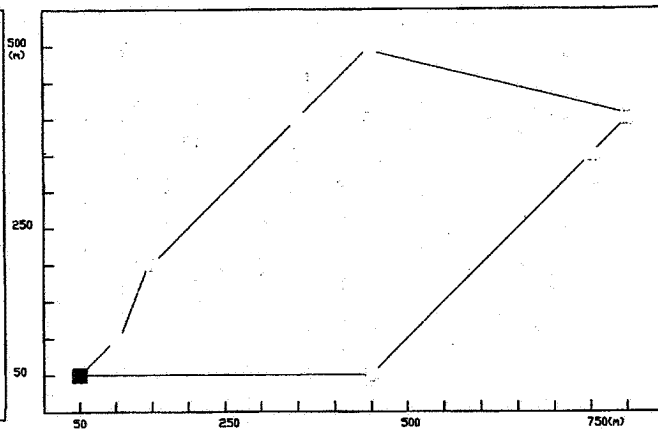
۶- الگوریتم تشکیل حلقه فشار متوسط

تعیین ترتیب پستها در حلقه فشار متوسط شبیه مسئله معروف فروشنده دوره گرد (T.S.P.) است. تابع زمانی حل این مسئله یک تابع غیر چند جمله‌ای است [۱]. بنابراین روشهای برنامه ریزی ریاضی در به دست آوردن مسیر بهینه، کارایی خوبی ندارد. در مراجع، استفاده از شبکه‌های عصبی [۱۴] و راه‌های ابتکاری [۱۵] برای حل این مسئله پیشنهاد شده است. راه حل ابتکاری جدید این مقاله به صورت زیر است، شکل (۶)

الف- یک حلقه متشکل از چهار پست مختلف با حداقل و حداکثر مختصات طولی و عرضی تشکیل داده می‌شود.



ب - پست هشتم (نزدیکترین پست به حلقه انتخاب شده) به حلقه وارد می شود



الف - حلقه شامل ۷ پست است و ۸ بایستی انتخاب شود

شکل ۶- مراحل تشکیل حلقه فشار متوسط با هفده پست

۸- مطالعه نمونه

در شکل (۷) طرح بهینه نظیر شکل (۱) آورده شده است، با دقت در این شکل مشاهده می شود که پستهای فرعی جذب بارهای پرمصرف شده اند و بارهای کم مصرف ممکن است از پستها فاصله زیادی داشته باشد. (در این مثال این فاصله نزدیک به ۵۰۰ متر است). تأثیر محاسبه طول به صورت $|\Delta X| + |\Delta Y|$ در شکل مشهود است.

در نمونه مورد مطالعه دیگر که شامل ۱۶ مرکز بار بوده است طرح بهینه به ازای ۳ پست به دست می آید، شکل (۶). در شکل (۷) منحنی هزینه های مختلف برحسب تعداد پستها ترسیم شده است. همان گونه که در شکل مشهود است با کاهش تعداد پست، هزینه های احداث خطوط فشار ضعیف کاهش و مابقی هزینه ها افزایش می یابد. هزینه کل در یک نقطه میانی (متناظر با سه پست) کمینه شده است.

در جدول (۱) مقایسه برخی از روشهای مختلف طراحی سیستم توزیع با روش پیشنهادی این مقاله صورت گرفته است. در این جدول مدلها و روشهای مختلف از نقطه نظرهای متفاوتی دسته بندی شده اند.

جمع بندی

به طور خلاصه در روش پیشنهادی، طرح مورد نیاز نظر برای

ب- از بین پستهای خارج از حلقه، نزدیکترین پست به حلقه وارد می شود [۱۶].

ج- مناسبترین محل برای وارد کردن پست جدید به حلقه انتخاب می شود.

د- در اطراف پست جدید با بررسی ترتیبهای مختلف پنج پست، شامل پست جدید و دو پست قبل و دو پست بعد از آن، ترتیبی با کوتاهترین طول که ایجاد حلقه متقاطع نیز نکند به عنوان حلقه مناسبتر انتخاب می شود.

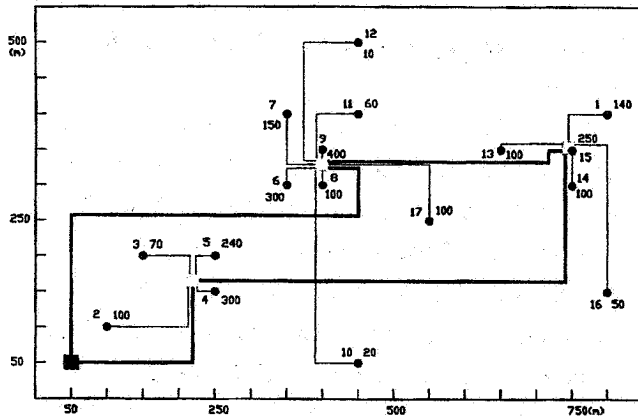
ه- در ادامه آن قدر مراحل ب، ج و د تکرار می شود تا همه پستها به حلقه وارد شوند.

۷- محاسبه تابع هدف

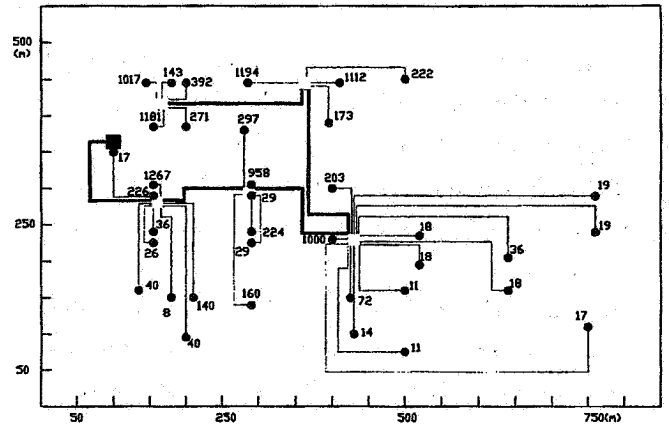
پس از تکمیل گراف شبکه، اجزای اصلی شامل خطوط فشار ضعیف و فشار متوسط و ترانسفورمرهای توزیع، هر یک با توجه به ملاحظات و ضرایب مربوطه، تعیین اندازه می شوند [۲]. سپس تلفات مسی خطوط و پستها همچنین تلفات آهنی پستها با توجه به ساعات کارکرد سیستم در هر شبانه روز محاسبه شده و ارزش معادل حال آنها در طول عمر سیستم محاسبه می شود [۱۷]. هزینه جاری نگهداری از پستها که از مدلی ساده متناسب با تعداد پست محاسبه شده نیز تبدیل به حال می شود از جمع هزینه های مربوط به سرمایه گذاری، تلفات و نگهداری، تابع هدف تشکیل می شود.

جدول ۱- مقایسه روشهای ارائه شده توسط محققان مختلف در برنامه‌ریزی طراحی سیستمهای توزیع

نام محققان	سال تحقیق	نوع برنامه‌ریزی	الگوریتمهای ریاضی				روشهای ریاضی														
			برنامه‌ریزی ریاضی	برنامه‌ریزی خطی	برنامه‌ریزی غیرخطی	روشهای ریاضی	فیلتر	پیست	الگوریتمها	روشهای ریاضی	یک مرحله‌ای	سال	نام								
			بسیار	متوسط	کم	بسیار	متوسط	کم	بسیار	متوسط	کم	بسیار	متوسط	کم	بسیار	متوسط	کم	بسیار	متوسط	کم	
محققان	آبادی	۱۹۷۳	بلی			بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی
	آبادی و تالپوسون	۱۹۸۱	بلی			بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی
	سالم و دیگران	۱۹۸۲	بلی			بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی
	گریمن و فون	۱۹۸۲	بلی			بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی
	هنیدی و برناتلر	۱۹۷۷	بلی			بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی
	قرنیز و دیگران	۱۹۸۳	بلی			بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی
	آل کاسی	۱۹۸۵	بلی			بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی
	سمود	۱۹۸۴	بلی			بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی
	سمود	۱۹۸۴	بلی			بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی
	الیزا و دیگران	۱۹۸۲	بلی			بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی
	آبادی	۱۹۸۴	بلی			بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی
	گراویر و هولت	۱۹۷۶	بلی			بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی
	گریستال و دیگران	۱۹۷۳	بلی			بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی
کاسمی تیرو	۱۹۷۵	بلی			بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	
سلاستیان و قریحه‌گلر	۱۹۷۵	بلی			بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	
گمان‌باشی و دیگران	۱۹۷۱	بلی			بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	
آلوی و دیگران	۱۹۷۰	بلی			بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	



شکل ۸- طرح زیربهرینه نمونه مورد مطالعه شماره (۲) با سه پست فرعی



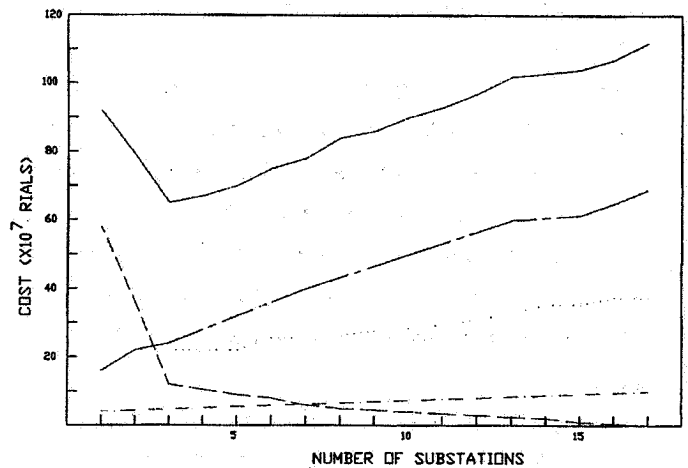
شکل ۷- طرح بهینه سیستم توزیع یک کارخانه شیمیایی. طرح بهینه ۱۲٪ از طرح نظری کم هزینه تر است. طرح نظری شامل ۱۱ پست توزیع بوده است.

- ۲- شعاعی بودن فیدرهای فشار ضعیف
- ۳- حلقوی بودن فیدرهای فشار متوسط
- ۴- حداکثر افت ولتاژ مجاز
- ۵- حداکثر ظرفیت پست

- ۶- بهینه سازی در محدوده مصرف کننده
- ۷- حداکثر مجاز جریان اتصال کوتاه خطوط فشار متوسط در خلال یک ثانیه

- ۸- اندازه‌های استاندارد ساخت فیدرها و ترانسفورمرها و ظرفیتهای گرمایی مربوطه
- همچنین طرح بهینه از تغییر عوامل زیر به دست می‌آید

- ۱- تعداد پستها
 - ۲- محل پستها
 - ۳- تخصیص بارها به پستها
 - ۴- ترکیب فیدرها
 - ۵- ظرفیت ترانسفورمرها
 - ۶- سطح مقطع هادیها
- کارایی روش در طراحی بهینه سیستم توزیع یک کارخانه شیمیایی نشان داده شده است.



شکل ۹- منحنی هزینه‌های مختلف بر حسب تعداد پست فرعی در نمونه مورد مطالعه شماره (۲)

- ۱- هزینه خطوط فشار ضعیف
 - ۲- هزینه‌های جاری
 - ۳- هزینه خطوط فشار متوسط
 - ۴- هزینه احداث پست
 - ۵- هزینه کل
- یک دوره زمانی با در نظر گرفتن محدودیتها و ملاحظات زیر به دست می‌آید
- ۱- قوانین جریانها و ولتاژهای کیرشلف

واژه نامه

- | | |
|--|--------------------------------|
| 1. non polynomial time complexity function | 3. mixed integer programming |
| 2. heuristic rules | 4. travelling salesman problem |
| | 5. neural network |

- 1- Gary, M.R., and Johnson, D. S., *Computers & Intractability, A Guide to The Theory of NP-Completeness*, Freeman, USA 1979.
- 2- "IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants," ANSI / IEEE Std 141-1986.
- 3- Kagan, N.O., and Adams, R.N. , "A Benders's Decomposition Approach to the Multi-Objective Distribution Planning Problem," *International Journal of Electrical Power & Energy System*, 1993.
- 4- Salamat Sharif, S., Salama, M. M. A., and Vannelli, A., "Optimal Model for Future Expansion of Radial Distributions Networks Using Mixed Integer Programming," *Canadian Conference on Electrical & Computer Engineering* (Cat. No. 94 TH 8033), 1994.
- 5- Yeh, E.- C., Venkata, S. S., and Sumic, Z., "Improved Distribution System Planning Using Computational Evolution," *IEEE Trans.*, PAS, Vol. 11 ISS: 2, pp. 668-74, May 1996.
- 6- Venkata, S.S., Sumic, Z., Vandari; S.V., and Liu, C. - C. "Applying A.I. System in the T & D Area," *IEEE Computer Applications in Power*, Vol. 6, ISS: 2, pp. 29-34.
- 7- Anathapadmanabha, T., Kulkarni' A.D., Parthasa Rathy, K., and Rao, G.A.S., "Knowledge-based Expert System for Power Distribution System Planning," *ICARCV*, 94. *Proceedings* Vol. 1, pp. 590-594,
- 8- Jiann -Liang, C., Ronlon, T., Huan-Wen T., and Ching-Ming Hong, "A Distributed Expert System for Distribution planning," *Sixth Conf. of Industrial and Engineering Applications of A.I. and Expert Systems*, IEA/AIE 93.
- 9- HSV, Y.-Y., and WO-Hwu, Y., "planning of Distribution Substations, Feeders & Sectionalizing Switches Using Heuristic Algorithms," *International Journal of Electrical Power & Energy System*, Vol. 18, ISS: 5, pp. 315-322.
- 10- Whei-Min Lin, Wei-Jye Jong, and Gyne-Jong Yu, "Criterial for Setting up District Substation & Feeder," *Monthly Journal of TaiPower's Engineering*, Jan 1996.
- 11- King W.L., et al., "Interaction Between Transmission and Distribution System Planning; Density & Size of Substations," *Electra Journal, ISS: NO. 150 pp. 54-65*, france, Oct. 1993.
- 12- Yeh, E. -C., Venkata, S.S., and Sumic, Z. "Improved Distribution System Planning Using Computatinal Evolution," *IEEE Power Industry Computer Application Conference* (Cat. No. 95 CH 35798), PP. 530-536, 1995.
- 13- Crawford D. M., and Holt, Jr. "A Mathematical Optimization Technique for Locating & Sizing Distribution, ..." *IEEE Trans*, PAS. Vol. PAS-94, No. 2 March / April 1975.
- 14- Hopfield, J. J., and Tank, D. W., "Neural Computation of Decisions in Optimization Problems," *Biological Cybernetics*, 1985.
- 15- Gonen, T., and Ramitez- Rosado, I. J., "Review of Distribution System Planning Models, A Model for Optimal Multistage Planning," *IEE Proceedings*, Vol. 133, pt. 1C, No. 7, November 1986.
- ۱۶- سلامتیان، س.، «طراحی هوشمند، شبکه‌های توزیع در دو سطح ولتاژ» دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده برق و کامپیوتر، پایان نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۷۳.
- ۱۷- حیدری، ق.، «ارزش تلفات الکتریکی در شبکه انتقال توزیع نیرو» تهران، هشتمین کنفرانس بین‌المللی برق آبان ماه ۱۳۷۳.