طراحی ابتکاری و هوشمند شبکه‌های توزیع در دو سطح ولتاژ

حسن قوجه‌بکلو* و ساسان سلامتیان**

دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی اصفهان

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

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

چکیده - *طراحی دقیق و بهینهٔ سیستمهای بزرگ توزیع، جزو مسائل بسیار مشکل با تابع پیچیدگی زمان غیر چند جمله‌ای[1] است. همچنین مدلهای دقیق این مسائل مدلهای غیر خطی همراه با متغیرهای گسسته‌اند این عوامل باعث شده است که حل دقیق و بهینهٔ این سیستمها از طریق برنامه ریزی ریاضی امکانپذیر نباشد. در این مقاله تعدادی الگوریتم هوشمند مبتنی بر یکسری قوانین ابتکاری[2] که توجیه نظری، تجربی و منطقی دارند، برای حل زیر مسئله‌های طراحی بهینهٔ 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) وهزینه‌های 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***

---

*- استادیار **- کارشناسی ارشد

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-07-23]

[DOR: 20.1001.1.22287698.1378.18.2.2.5]

فهرست علائم

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

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

مدلسازی مسئلهٔ طراحی شبکهٔ توزیع نسبتاً پیچیده بوده و در حالت کلی یک مسئلهٔ بهینه سازی غیرخطی با پیچیدگی زمان غیر چند جمله‌ای [۱] است. خطی سازی روابط به دست آمده را از دید مصرف‌کننده [۲] به مسئله‌ای از نوع MIP[۳] تبدیل می‌کند. به خاطر بزرگی مسئله بایستی از روشهای مؤثری در جهت کاهش محاسبات استفاده کرد [۳و۴]. در رابطه با مسائل مشابه از روشهای جدیدی چون الگوریتم ژنتیک استفاده شده است [۵و۶].

به علت سرعت کم همگرایی الگوریتم ژنتیک، روشهای ابتکاری و خبرهٔ دیگری نیز نظر محققان را به خود معطوف داشته است [۷و۸].

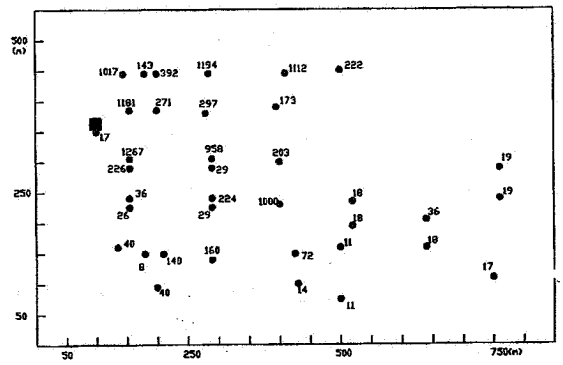
در طراحی سیستم توزیع، می‌توان زیر مسئله هایی تعریف کرد که حل موقت آنها جوابهای غیر دقیق برای مسئلهٔ بزرگتر را به همراه دارد. با در دست داشتن جوابهای غیر دقیق، می‌توان با حل مجدد جوابهای دقیقتری به دست آورد [۳و۹]. در پروژهٔ مورد گزارش این مقاله نیز بهینه سازی با تقسیم مسئله به زیر مسئله‌های متعددی انجام 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 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[۱۱و۱۲] 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 وغیره صورت می‌گیرد[۲].

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

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-07-23]

[DOR: 20.1001.1.22287698.1378.18.2.2.5]



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 حلقهٔ 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[۱].

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 شبکهٔ خطوط معمولاً به موازات جاده‌ها احداث می‌شود جاده‌ها نیز معمولاً راستای شرقی - غربی یا شمالی - جنوبی دارند [۱۳].

به‌منظور 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 با رالکتریکی که مختصات طولی، عرضی و قدرت آنها با سه تاییهای مرتب (x_i, y_i, s_i) مشخص می‌شود عبارت است از

$$X_m = \frac{\sum_{i=1}^{n} s_i x_i}{\sum_{i=1}^{n} s_i} \quad و \quad Y_m = \frac{\sum_{i=1}^{n} s_i y_i}{\sum_{i=1}^{n} s_i} \qquad (۱)$$

قضیه

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

اثبات

نخست فرض می‌کنیم که فاصلهٔ دو نقطهٔ، طول پاره خط مستقیم بین آن دو نقطه باشد هر بار سه تایی مرتب (x_i, y_i, s_i) که نشان دهندهٔ مختصات طولی و عرضی و قدرت بار است نشان داده شده است. c تابع هزینه است. در واقع نقطه بهنیهٔ 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

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

$$\Rightarrow \sum_{i=1}^{n} s_i x_s - \sum_{i=1}^{n} s_i x_i = 0 \qquad (۲)$$

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

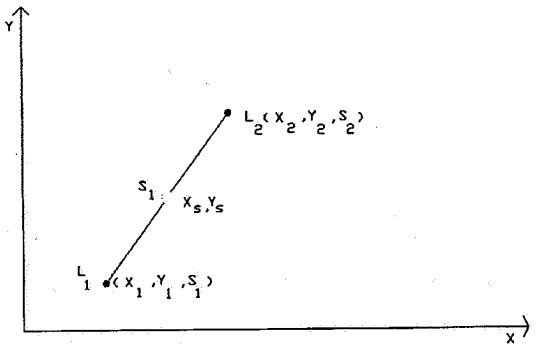
به همین ترتیب

$$y_s = \frac{\sum_{i=1}^{n} s_i y_i}{\sum_{i=1}^{n} s_i} = y_m \qquad (۳)$$

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 محاسبهٔ طول هر خط تغذیه وجود دارد. در این تعریف، فاصلهٔ بین دو نقطه

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-07-23]

[DOR: 20.1001.1.22287698.1378.18.2.2.5]



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

جمع قدرمطلقهای اختلاف فاصلهٔ عمودی به علاوه اختلاف صلهٔ افقی $|\Delta y|+|\Delta X|$ به دست می‌آید. علت این امر آن است ، خطوط توزیع معمولاً به موازات جاده‌ها احداث می‌شود. ادهها نیز معمولاً راستای شرقی - غربی و یا شمالی - جنوبی رند. با این شیوه محاسبهٔ طول، نقاط بهینه احداث پست برای وبار الکتریکی به دست آمده‌اند. در زیر اثبات می‌شود که نقاط بهینه، تشکیل یک مکان هندسی می‌دهند که از نقطهٔ مرکز ثقل بارها می‌گذرد. در واقع برای محاسبهٔ طول به جای فرمول $((\Delta x)^2 + (\Delta x)^2)^{1/2}$ از فرمول $(|\Delta X|+|\Delta y|)$ استفاده شده است. در این صورت برای حالتی که فقط دوبار موجود است مطابق شکل(۲) تابع C راکمینه می‌کنیم.

$$C = S_1(x_s - x_1 + y_s - y_1)^2 + S_2(x_s - x_2 + y_s - y_2)^2 \quad (۴)$$

باید

$$\frac{\partial c}{\partial x_s} = 2S_1(x_s - x_1 + y_s - y_1) - 2S_2(x_2 - x_s + y_2 - y_s) \quad (۵)$$

همچنین باید

$$\frac{\partial c}{\partial y_s} = 2S_1(x_s - x_1 + y_s - y_1) - 2S_2(x_2 - x_s + y_2 - y_s) \quad (۶)$$

دو معادلهٔ اخیر یکسان هستند پس در این حالت یک مکان هندسی از نقاط احداث پست به دست می‌آید که می‌تواند تابع هزینه راکمینه کند. این مکان عبارت است از

$$x_s + y_s = \frac{s_1x_1 + s_2x_2}{s_1 + s_2} + \frac{s_1y_1 + s_2y_2}{s_1 + s_2} \quad (۷)$$

به راحتی مشاهده می‌شود که نقطهٔ مرکز ثقل نیز در این مکان قرار دارد. از این پس مستقل از نحوهٔ محاسبهٔ فاصلهٔ دو نقطه، مرکز ثقل بارها نقطهٔ بهینه احداث پست در نظر گرفته می‌شود.

برای مدلسازی ریاضی، بایستی بتوانیم شاخصی برای محاسبهٔ هزینهٔ 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

$$\left.\begin{array}{l}(۱)\ \%\Delta V \propto RI \\ (۲)\ I \propto S\end{array}\right] \Rightarrow \left.\begin{array}{l}\%\Delta V \propto RI \\ (۳)\ R \propto L/A\end{array}\right]$$

$$\Rightarrow \left.\begin{array}{l}\%\Delta V \propto SL/A \\ (۴)\ \%\Delta V = \%\Delta V_{max}\end{array}\right] \Rightarrow \left.\begin{array}{l}A \propto SL \\ (۵)\ C \propto AL\end{array}\right] \quad (۸)$$

$$\Rightarrow (۶)\ C \propto SL^2$$

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.

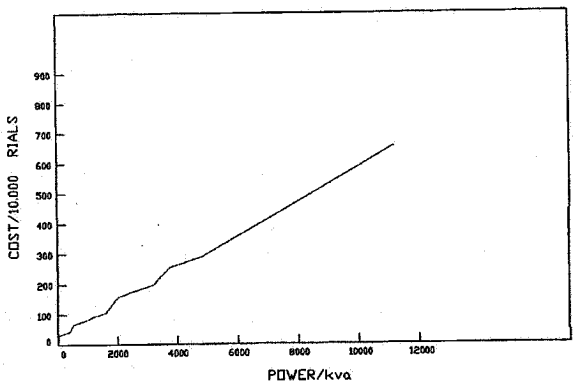
۵- هزینه فیدر متناسب با حجم هادی و یا حاصلضرب سطح مقطع و طول خط است.

۶- در این حالت SL^2، شاخص مناسبی برای محاسبهٔ 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 محدودکننده نیست به

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-07-23]

[DOR: 20.1001.1.22287698.1378.18.2.2.5]



شکل ۳- هزینه پستهای فشار ضعیف برحسب قدرت آنها

نتایج تجربی مراجعه می‌کنیم. با توجه به اینکه یکی از عوامل اصلی سایز فیدرهای فشار متوسط، تحمل جریان اتصال کوتاه در مدت مشخصی است و جریان اتصال کوتاه در نقاط مختلف شبکه فشار متوسط در واحدهای معمول تغییر زیادی ندارد، سطح مقطع فیدرهای فشار متوسط از تنوع کمتری برخوردار است و می‌توان طول حلقه را به عنوان شاخص محاسبهٔ هزینه در نظر گرفت.

$$(C_{Loop} = K_2 D_{Loop})$$

که C_{Loop} و D_{Loop} به ترتیب هزینهٔ حلقه و طول حلقه‌اند.در مورد پستهای توزیع فشار ضعیف برای مدلسازی هزینه با توجه به منحنی شکل (۳) می‌توان از شاخص خطی قدرت پست استفاده کرد.

$$(C_{sub} = K_3 S_{sub}) \qquad (۹)$$

فرض کنید، طراح به طریقی موفق شده است که گروههای بهینه بارهایی که از یک پست تغذیه می‌شوند را تشخیص دهد. در این صورت مستقیماً مکان پستها، سایز پستها، هزینه فیدرهای فشار ضعیف و فشار متوسط را می‌توان یافت. بنابر این مسئلهٔ پیچیدهٔ طراحی سیستم توزیع، به مسئلهٔ ساده‌تر گروه بندی بارها تبدیل می‌شود. ماتریس تخصیص بار به پست $A_{(n.n)}$ را به صورت زیر تعریف می‌کنیم

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

چون هر بار حتماً و فقط به یک پست اتصال می‌یابد، در واقع محدودیت زیر وجود دارد

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

$$A(a_{ij}) = \begin{array}{c} \\ Sub_1 \\ \\ \\ Sub_n \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cc} Load_1 & \qquad\qquad Load_n \end{array} \\ \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \end{array}$$

هر سطر این ماتریس متناظر با یک پست و هر ستون آن متناظر به یک بار است. اگر تمام المانهای یک سطر برابر صفر بودند یعنی هیچ باری به آن پست متصل نیست. در محاسبات، قدرت این پستها (۰) و محل آن همانند مختصات پست فشار متوسط اصلی در نظر گرفته می شود. در محاسبهٔ هزینه فرض می‌شود قرارگرفتن پستها در حلقهٔ فشار متوسط مانند ترتیب تناظر سطرهای ماتریس 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 می‌دهیم به راحتی طول و عرض محل احداث هر پست به دست می‌آید.

$$X_{Sub}(i) = \frac{\sum_{j=1}^{n} a_{ij} . s_{1j} . x_{1j}}{\sum_{j=1}^{n} a_{ij} . s_{1j}} \quad \text{و} \quad Y_{Sub}(i) = \frac{\sum_{j=1}^{n} a_{ij} . s_{1j} . Y_{1j}}{\sum_{j=1}^{n} a_{ij} . s_{1j}} \qquad (۱۱)$$

حال می‌توان طول فیدرهای فشار ضعیف را محاسبه کرد. طول فیدر تغذیه کنندهٔ بار j ام به صورت زیر محاسبه می‌شود

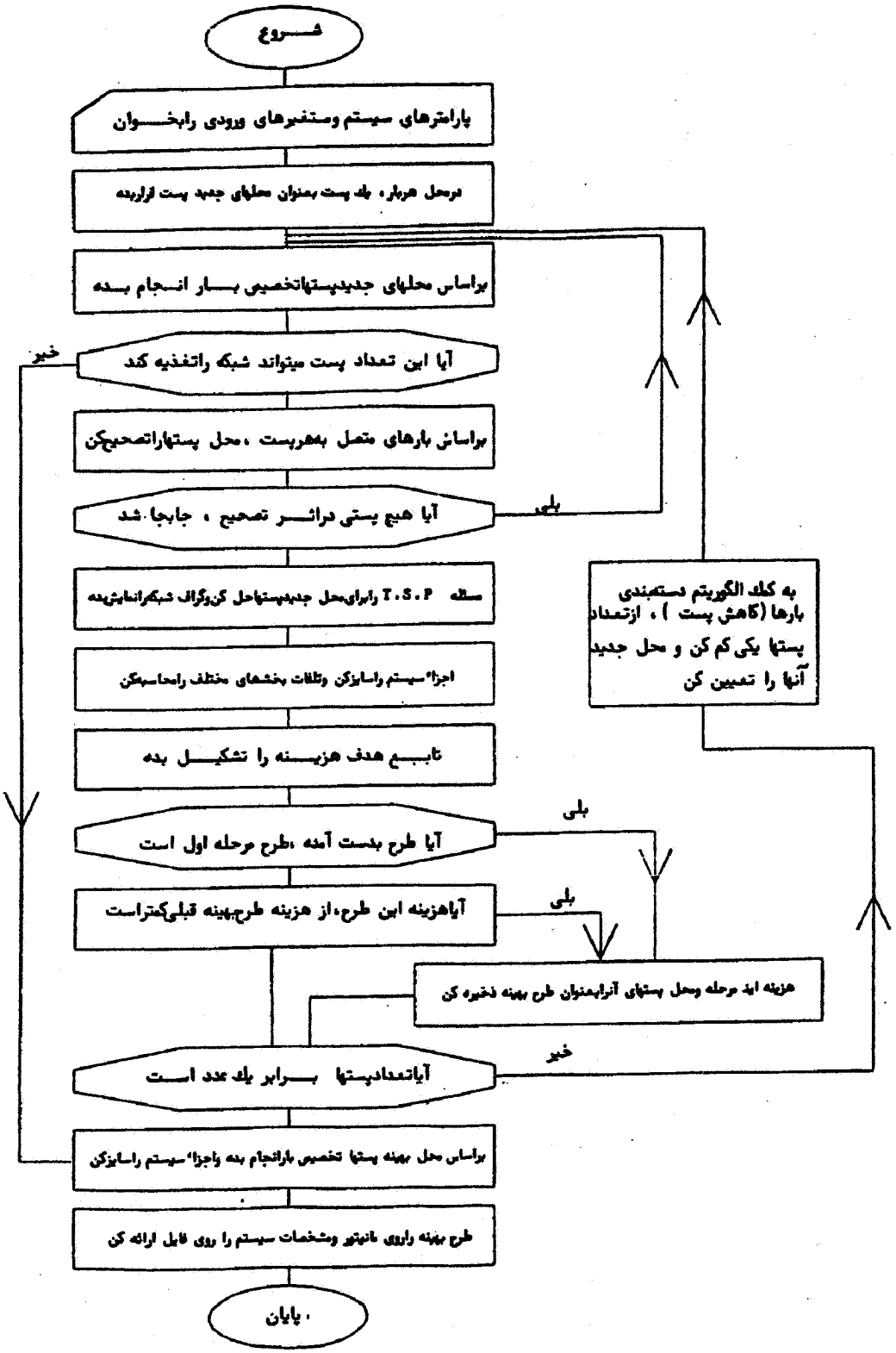
$$L_{1j} = \left| X_{1j} - \sum_{i=1}^{n} a_{ij} . X_{Subi} \right| + \left| Y_{1j} - \sum_{i=1}^{n} a_{ij} . Y_{Subi} \right| \qquad (۱۲)$$

طول حلقهٔ فشار متوسط نیز به صورت زیر محاسبه می‌شود

$$D_{Loop} = \left(\sum_{i=1}^{n-1} \left(| X_{Subi+1} - X_{Subi} | + | Y_{Subi+1} - Y_{Subi} | \right) \right) + \left(| X_{Subn} - 0 | + | Y_{Subn} - 0 | \right) + \left(| 0 - X_{Sub1} | + | 0 - Xy_{Subn} | \right) \qquad (۱۳)$$

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-07-23]

[DOR: 20.1001.1.22287698.1378.18.2.2.5]



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

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-07-23]
[DOR: 20.1001.1.22287698.1378.18.2.2.5]

که پرانتز اول طول فیدر مابین پست nام وپست i+۱ام، پرانتز دوم طول فیدر مابین پست nام و باس فشار متوسط پست اصلی و پرانتز سوم طول فیدر مابین پست فشار متوسط و اولین پست فشار ضعیف حلقه است. قدرت هر پست نیز به صورت زیر بدست می‌آید.

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

هدف، کمینه کردن هزینه کل به صورت زیر است

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

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

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

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.)[۴]، 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 $n^{(n+1)}$ (n 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 تقریبها 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 با قدر مطلق ظاهر می‌شوند که یافتن نقطهٔ بهینه را مشکل می‌کنند.

با این توضیحات در می‌یابیم که استفاده ازروشهای 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.

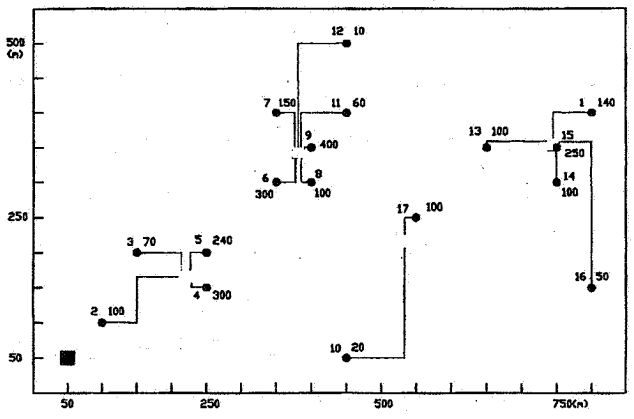
در روش ابتکاری پیشنهادی این مقاله، در چند مرحله که هر یک متناظر با تعداد مشخصی پست فشار ضعیف است، بارها دسته بندی شده و طراحی کامل صورت می‌گیرد و تابع هدف محاسبه می‌شود.

۴- الگوریتم دسته بندی بارها

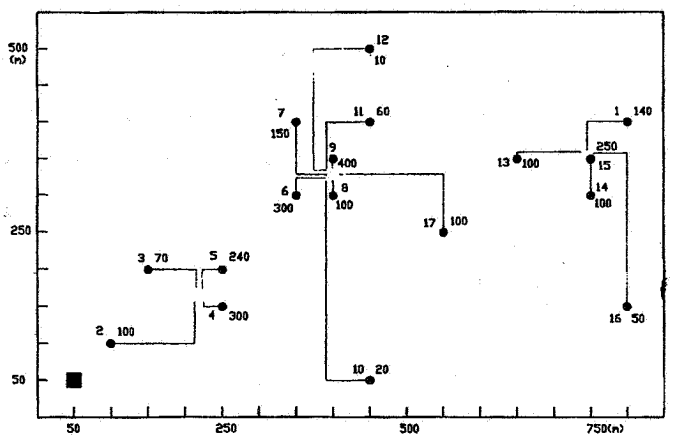
در مرحلهٔ نخست در سیستم توزیع از حداکثر تعداد پست ممکن (برابر تعداد بارها) استفاده می‌شود. محل هر پست در این حالت دقیقاً در مجاورت یکی از بارهاست وتنها وظیفهٔ تغذیه آن بار رابه عهده دارد. طبیعی است که در این حالت به علت تعداد زیاد ترانسفورمرها، هزینهٔ کل احداث پستها و شبکهٔ فشار متوسط تغذیه کننده آنها 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

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-07-23]
[DOR: 20.1001.1.22287698.1378.18.2.2.5]



الف - دسته بندی بارها به چهار گروه



ب - دسته بندی بارها به سه گروه

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

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 $\frac{S1.S2}{S1+S2}L^2$ 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 بهینهٔ 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. بنابر این 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 براساس شاخص $S(L_2^2-L_1^2)$ به ترتیب نزولی اولویت بندی می‌شود. که (S) توان ظاهری بار، L_1 فاصله بار تا نزدیکترین پست و L_2 فاصله دومین پست نزدیک است شاخص $S(L_2^2-L_1^2)$ 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 هزینهٔ اضافی زیادی می‌کنند در اولویت تخصیص بار قرار گیرند. در شکل (۳) نمونهٔ تخصیص بار با وجود محدودیت ظرفیت پستها داده شده است.

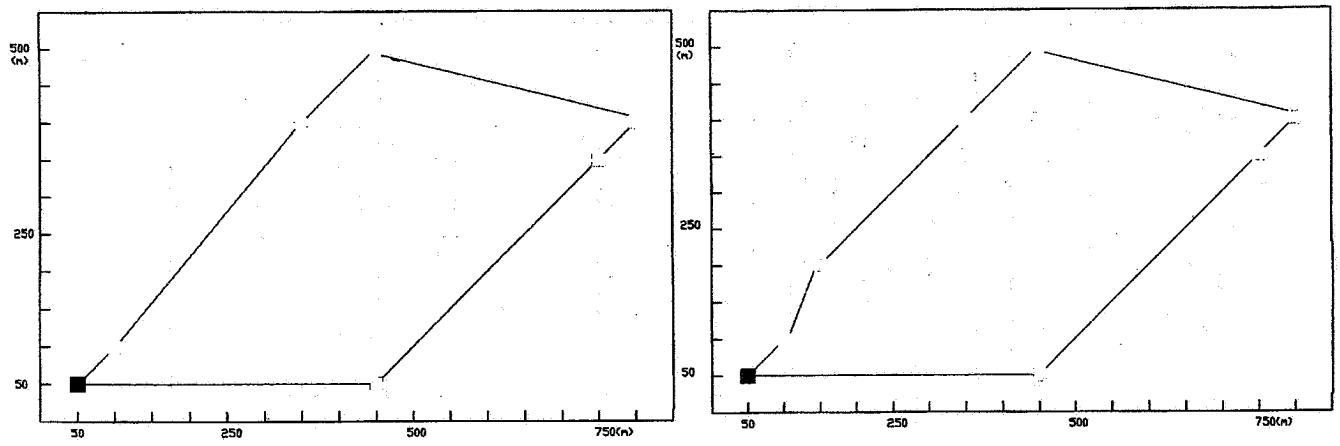
۶- الگوریتم تشکیل حلقهٔ فشار متوسط

تعیین ترتیب پستها در حلقهٔ فشار متوسط شبیه مسئلهٔ معروف فروشندهٔ دوره گرد (T.S.P.) است. تابع زمانی حل این مسئله یک تابع غیر چند جمله‌ای است [۱]. بنابر این روشهای برنامه ریزی ریاضی در به دست آوردن مسیر بهینه، کارایی خوبی ندارد. در مراجع، استفاده از شبکه‌های عصبی[5] [۱۴] و راه حلهای ابتکاری[۱۵] برای حل این مسئله پیشنهاد شده است. راه حل ابتکاری جدید این مقاله به صورت زیر است، شکل (۶)

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

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-07-23]

[DOR: 20.1001.1.22287698.1378.18.2.2.5]



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

ب - پست هشتم (نزدیکترین پست به حلقهٔ انتخاب شده) به حلقه وارد می‌شود

شکل ۶- مراح تشکیل حلقهٔ فشار متوسط با هفده پست

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

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

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 حلقهٔ متقاطع نیز نکند به عنوان حلقهٔ مناسبتر انتخاب می‌شود.

هـ در ادامه آن قدر مراحل ب، ج و د تکرار می‌شود تا همهٔ پستها به حلقه وارد شوند.

۷- محاسبهٔ 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 می‌شوند [۲].سپس تلفات مسی خطوط و پستها همچنین تلفات آهنی پستها با توجه به ساعات کارکرد سیستم درهر شبانه روز محاسبه شده و ارزش معادل حال آنها در طول عمر سیستم محاسبه می‌شود [۱۷]. هزینهٔ جاری نگهداری از پستها که از مدلی ساده متناسب با تعداد پست محاسبه شده نیز تبدیل به حال می‌شود از جمع هزینه‌های مربوط به سرمایه گذاری، تلفات و نگهداری، تابع هدف تشکیل می‌شود.

۸- مطالعهٔ نمونه

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

در نمونهٔ مورد مطالعه دیگر که شامل ۱۶ مرکز بار بوده است طرح بهینه به ازای ۳ پست به دست می‌آید، شکل (۶). در شکل (۷) منحنی هزینه‌های مختلف برحسب تعداد پستها ترسیم شده است. همان گونه که در شکل مشهود است با کاهش تعداد پست، هزینه‌های احداث خطوط فشار ضعیف کاهش و مابقی هزینه‌ها افزایش می‌یابد. هزینهٔ کل در یک نقطهٔ میانی (متناظر با سه پست) کمینه شده است.

در جدول (۱) مقایسهٔ 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 شده‌اند.

جمعبندی

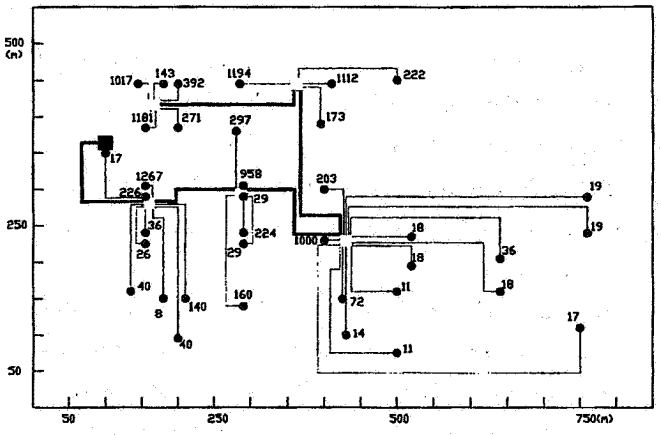
به طور خلاصه در روش پیشنهادی، طرح مورد نیاز نظر برای

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-07-23]
[DOR: 20.1001.1.22287698.1378.18.2.2.5]

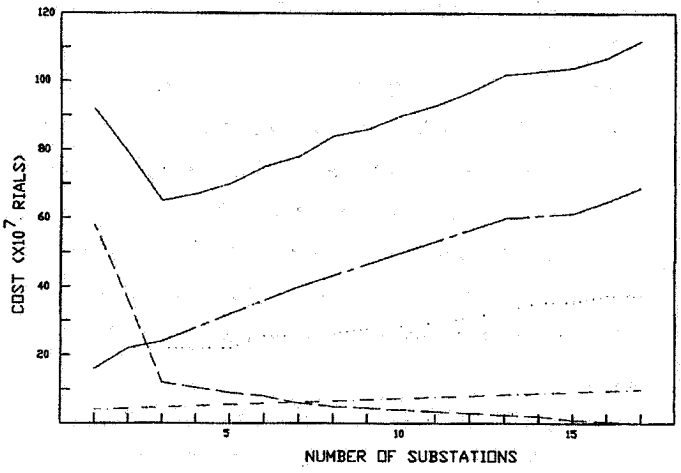
جدول ۱- مقایسهٔ روشهای ارائه شده توسط محققان مختلف در برنامه‌ریزی و طراحی سیستمهای توزیع

نام محققان	سال تحقیق	دورهٔ برنامه ریزی: یک مرحله‌ای	دورهٔ برنامه ریزی: چند مرحله‌ای: شبه پویا	دورهٔ برنامه ریزی: چند مرحله‌ای: پویای کامل	اجزاء مورد مطالعه سیستم توزیع: فیدرها به‌طور همزمان	پست: هزینهٔ ثابت	پست: هزینهٔ متغیر	پست: جایابی بهینه	پست: ظرفیت بهینه	پست: تخصیص بار	فیدر: هزینهٔ ثابت	فیدر: هزینهٔ متغیر	فیدر: مسیر بهینه	فیدر: مقطع بهینه	فیدر: محدودیت ضلعی	فیدر: مدودیت حلقوی	فیدر: افت فشار	روشهای ریاضی: برنامه‌ریزی خطی شامل متغیرهای صد	روشهای ریاضی: برنامه‌ریزی پویا	الگوریتمهای محاسباتی	ملاحظات
آدامز	۱۹۷۴	بلی		بلی	خیر						بلی	بلی	بلی	بلی	خیر	خیر	خیر	بلی			بهینه سازی دینامیکی شبکه خطوط
وان و تامپسون	۱۹۸۱	بلی			بلی	بلی	بلی	بلی	خیر		خیر	بلی	بلی	بلی	بلی	خیر	خیر	بلی		انشعاب و تحدید حمل و نقل باتوجه به ظرفیت	استفاده از مدل خطی هزینه خطوط
سان و دیگران	۱۹۸۲	بلی	بلی		بلی		بلی	بلی	خیر		بلی	بلی	بلی	خیر	خیر	خیر	خیر	بلی		انشعاب و تحدید، حمل و نقل باتوجه به ظرفیت	روش شبه پویا به منظور برنامه‌ریزی زمانی
گونن و فوت	۱۹۸۲	بلی		بلی	بلی		بلی	بلی	بلی		بلی	بلی	بلی	بلی	خیر	خیر	خیر	بلی			یک مدل جامع
هیندی و برانلر	۱۹۷۷	بلی			بلی		خیر	بلی	بلی		بلی	خیر	بلی	بلی	بلی	خیر	خیر	بلی		انشعاب و تحدید، حمل و نقل باتوجه به ظرفیت	گروه بندی بارها، یافتن محل مناسب باز کردن حلقه به منظور شعاعی کردن
قیزی و دیگران	۱۹۸۳	بلی			بلی		بلی	بلی	خیر		خیر	بلی	بلی	بلی	بلی	خیر	بلی	بلی		انشعاب وتحدید، حمل و نقل باتوجه به ظرفیت	در نظر گرفتن محدودیتهای شعاعی
تن کادی	۱۹۸۵	بلی	بلی		بلی		خیر	بلی	بلی		بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	خیر	بلی	بلی		انشعاب و تحدید، و شکل تجزیه شده برنامه‌ریزی خطی	برنامه ریزی زیر سیستمها بادرنظر گرفتن افت ولتاژ
مسعود	۱۹۸۴				خیر		خیر	خیر	بلی	بلی								۱.۰			کمینه کردن هزینه پست
مسعود	۱۹۸۴		بلی		خیر		خیر	خیر	بلی	بلی								۱.۰			کمینه کردن هزینه پست
افوسو وآدامز و دیگران	۱۹۸۲		بلی		خیر		خیر	بلی	بلی									بلی	بلی	انشعاب و تحدید در هر مرحله و برنامه‌ریزی پویا روی مراحل	نخست مشخص کردن پستها و سپس طراحی سیستم خطوط
آدامز	۱۹۸۴		بلی		خیر			بلی	بلی	بلی									بلی	برنامه ریزی پویا و الگوریتم جریان در شبکه‌ها	در نظر گرفتن حالات مختلف توسعه شبکه
کرافورد و هولت	۱۹۷۶	بلی			خیر		خیر													حمل و نقل فوردوفولکرسون و کوتاهترین مسیر دایسترا	سیستم محاوره‌ای برای یافتن سایز، محل و حوزه سرویس دهی پستها
کوینتانا و دیگران	۱۹۹۳	بلی	بلی		بلی											خیر	بلی			دسته بندی k . Mean	برنامه ریزی استاتیکی و دینامیکی
قدسی نیرو	۱۹۹۵	بلی			بلی	بلی	خیر	بلی	بلی	بلی	خیر	بلی	خیر	خیر	خیر	خیر	خیر	خیر		الگوریتم ترابری فورد و فولکرسون	تعیین محل پست از بین تعداد محدودی محل مناسب به روشهای ابتکاری
سلامتیان و قوجه‌بکلو	۱۹۹۵	بلی			بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	خیر	بلی	بلی	بلی	بلی			روشهای هوشمند ابتکاری با توجیه ریاضی، منطقی و تجربی	یک مدل جامع برای طراحی یک مرحله سیستم توزیع
گونن،رامیوزو،رومادو	۱۹۸۶	بلی	بلی		بلی	بلی	بلی	بلی	بلی		بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	خیر	بلی	بلی			یک مدل جامع
اوکی و دیگران	۱۹۹۰	بلی			خیر						بلی	بلی	خیر	خیر	بلی	خیر	بلی	بلی		عملیات چرخشی	یک مدل جامع برای طراحی یک مرحله سیستم توزیع
سو و شن	۱۹۹۰	بلی	خیر	خیز	بلی	خیر	خیر	بلی	خیر	بلی	خیر	بلی	خیر	خیر	بلی	خیر	خیر	خیر	خیر	روشهای هوشمند و تخصیص محل	سیستم محاوره‌ای کمینه کردن تلفات خط

[DOR: 20.1001.1.22287698.1378.18.2.2.5]
[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-07-23]



شکل ۷- طرح بهینهٔ سیستم توزیع یک کارخانهٔ شیمیایی. طرح بهینه ۱۲٪ از طرح نظری کم هزینه‌تر است. طرح نظری شامل ۱۱ پست توزیع بوده است.

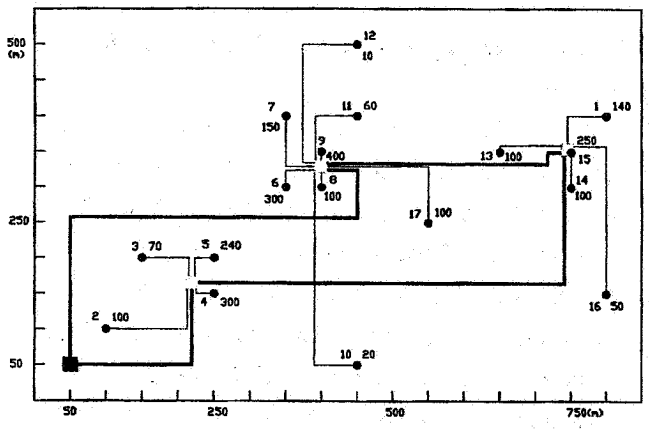


شکل ۹- منحنی هزینه‌های مختلف برحسب تعداد پست فرعی درنمونه مورد مطالعه شمارهٔ (۲)

۱- هزینهٔ خطوط فشار ضعیف ۲- هزینه‌های جاری ۳- هزینهٔ خطوط فشار متوسط ۴- هزینهٔ احداث پست ۵- هزینهٔ کل

یک دورهٔ زمانی با در نظر گرفتن محدودیتها و ملاحظات زیر به‌دست می‌آید

۱- قوانین جریانها و ولتاژهای کیرشهف



شکل ۸- طرح زیربهینهٔ نمونه‌موردمطالعه شمارهٔ (۲)باسه پست فرعی

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 محدودهٔ مصرف کننده

۷- حداکثر مجاز جریان اتصال کوتاه خطوط فشار متوسط در خلال یک ثانیه

۸- اندازه‌های استاندار ساخت فیدرها وترانسفورمرها 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

کارائی روش در طراحی بهینه سیستم توزیع یک کارخانهٔ شیمیایی نشان داده شده است.

واژه نامه

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

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-07-23]

[DOR: 20.1001.1.22287698.1378.18.2.2.5]

مراجع

1- Gary, M.R., and Johnson, D. S., ***Computers & Intractibility, 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 Conferance 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 Engineeting 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 Heurstic 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 Transmision 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. lC, No. 7, November 1986.

۱۶- سلامتیان، س.، «طراحی هوشمند، شبکه‌های توزیع در دو سطح ولتاژ» دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکدهٔ 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.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-07-23]

[DOR: 20.1001.1.22287698.1378.18.2.2.5]