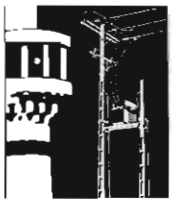


پنجمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق

طراحی بهینه
شبکه‌های شعاعی فشار متوسط توزیع
به‌کمک هوش مصنوعی

غلامرضا صفار پور ـ فریدون عزیزی ثالث

مهندسین مشاور قدس نیرو

چکیده:

این مقاله روش هیوریستیک جدیدی را برای طراحی آرایش بهینه شبکه توزیع شعاعی فشار متوسط معرفی می‌کند. علاوه بر آن روشی کاربردی را برای طراحی کامل شبکه‌های توزیع از اطلاعات برآورد بار سطحی، معرفی می‌کند. در هر مرحله کار، محاسبات اقتصادی از یک سو و محدودیتهای فنی از سوی دیگر مورد ملاحظه قرار می‌گیرد. استراتژی انجام کار استفاده از روش جستجوی عمق اول و کاربرد قوانین هیوریستیک برای ارزیابی طرحهای مختلف است. در هر حلقه طراحی ولتاژهای گره‌ها و جریان شاخه‌ها محاسبه می‌شوند تا کابلهای مناسب انتخاب شوند. با کاربرد اشاره‌گرها (pointers) و لیستهای پیوسته (linked lists) در زبان C++ کار محاسبات پخش بار با سرعت بسیار زیاد انجام می‌شود، بنابراین نیاز به فرمولهای تقریبی محاسبه تلفات رفع می‌شود. با کمک روشهای عادی به دست آوردن جوابهای متعدد در هوش مصنوعی می‌توان چند طرح رضایت‌بخش ارائه داد. در انتهای مقاله مثالی عملی از کاربرد روش ارائه شده است.

شرح مقاله:

طراحی شبکه‌های توزیع برای شهرکهای جدید و قسمتهای در حال توسعه شهرها کار روزمره مهندسین توزیع است. حتی در بعضی کشورهای پیشرفته نیز، این روند به صورت دستی با برآورد هزینه تقریبی و مراحلی از بهینه‌سازی انجام می‌شود [۱].

متأسفانه به دلایل متعددی از جمله کمبود متخصص کار با نرم‌افزارهای پیچیده بهینه‌سازی، فقدان اطلاعات مفصل مورد نیاز برای کار، و بالاخره در بسیاری موارد، نیاز به سخت‌افزارهای مخصوص، استفاده از بسته‌های نرم‌افزاری پیچیده در بسیاری از شرکتهای توزیع، مخصوصاً در کشورهای در حال توسعه عملی نیست. با استفاده از برنامه‌های نرم‌افزاری کاربردی‌تر، که بتواند از اطلاعات با پیچیدگی کمتر استفاده کند، می‌توان کار طراحی شبکه‌های جدید توزیع را بیشتر به سوی استاندارد شدن و اقتصادی شدن سوق داد و فرآیند طراحی را سریع کرد.

طراحی شبکه‌های توزیع به شدت وابسته به استراتژیهای ابتکاری ـ استدلالی (heuristic) و قوانین سر انگشتی، به دست آمده از تجربیات فراوان در حل مسائل گذشته است. روشهای برنامه‌ریزی ریاضی متعددی، مثل برنامه‌ریزی با اعداد صحیح مختلط (mixed integer programming) و روش انشعاب و تحدید (branch and bound) برای طراحی شبکه‌های توزیع به کار می‌روند این نوع درگیر شدن با مسئله می‌تواند مکان پستهای توزیع یا آرایش شبکه را برای بارهای برآورد شده تعیین کند [۲]، هر چند این روشها نمی‌توانند از قوانین تجربی یا ابتکاری ـ استدلالی که طراحان شبکه اکنون به کار می‌برند، استفاده کنند.

فرآیند طراحی شبکه‌های توزیع جستجو در فضای طرحهای مختلفی است که محدودیتهای فنی آن را تعریف می‌کنند و تعداد راه حلهای آن اعداد نجومی هستند [۳]. رفتار غیرخطی تابع هزینه مسئله را بیشتر از این پیچیده می‌کند. مشکل دیگر در طراحی خودکار شبکه‌های توزیع، اطلاعات است. حتی در کشورهای پیشرفته در بسیاری موارد، اطلاعات مورد نیاز برای محاسبات مفصل کامپیوتری ممکن است [۴].

ـ در دسترس نباشند.

ـ هزینه جمع‌آوری زیادی داشته باشند.

ـ در دقیق بود نشان شک وجود داشته باشد.

بنابراین استفاده از الگوریتمی که احتیاج به اطلاعات کمتری داشته باشد و طراح بتواند در

هر مرحله طراحی، طرح را مرور کند، قدمی به سوی طراحی عملی‌تر شبکه‌های توزیع خواهد بود.

بهینه‌سازی مرحله به مرحله :

تشکیل تابع هزینه برای کار طراحی، نقطه شروع حرکت بهینه‌سازی شبکه است. با استفاده از این تابع طراح یا کامپیوتر می‌تواند هر طرح را ارزیابی کند. معمولاً چنین تابعی شامل اطلاعات فنی و اقتصادی متعددی خواهد بود که بعضی ماهیت ثابت و بعضی متغیر با ظرفیت دارند. این اطلاعات شامل قیمت زمین، هزینه خرید و نصب تجهیزات پستهای توزیع و فیدرها، هزینه‌های مربوط به مسیرها، هزینه انرژی، اطلاعات مربوطه به بهره بانکی و تورم و بالاخره اطلاعات مربوط به برآورد بار می‌شوند.

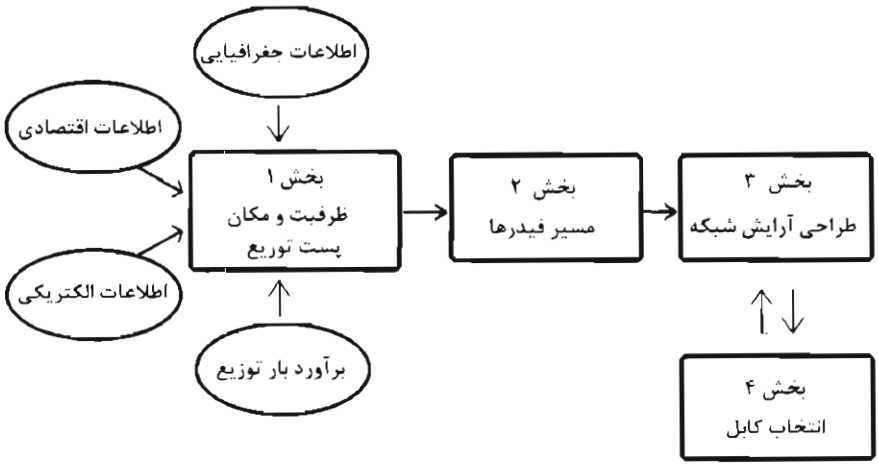
مفهوم بهینه‌سازی مرحله به مرحله، شکستن مسئله طراحی به چند بخش و بهینه کردن طراحی در هریک از بخشها است. در پایان هر بخش قضاوت وشم مهندسی طراحی می‌تواند طرح را اصلاح کند یا تغییر دهد. مراحل به کار رفته در این روش را می‌توان به چهار بخش اصلی تقسیم کرد (شکل ۱):

۱ ـ انتخاب مکان، ظرفیت و حوزه سرویس دهی بهینه پستهای توزیع.

۲ ـ تعیین مسیر عبور بهینه کابلهای توزیع.

۳ ـ طراحی توپولوژی بهینه شبکه توزیع.

۴ ـ طراحی کابل در مراحل مربوط به بخش ۳.



شکل (۱) ـ بخشهای مختلف طراحی بهینه شبکه .

روشهای کامپیوتری متعددی برای حل مسئله در هر قدم وجود دارد، که بسته به نوع نگرش الگوریتم، حجم اطلاعات مورد نیاز و کیفیت جوابها باهم تفاوت دارند، هر چند که تاکنون مهندسین توزیع کمتر به بخش ۲ پرداخته‌اند.

برای کاربردی شدن برنامه، باید بتوان اطلاعات را به نحو مناسب، به آن وارد کرد. به دلیل حجم زیاد اطلاعات، محاوره‌ای (interactive)کردن برنامه به تنهایی کافی نیست و لازم است که اطلاعات بتوانند روی نقشه‌های جغرافیایی، در مکان واقعی به برنامه وارد شوند. محیط کار جغرافیایی ارتباط بین اجزای مختلف برنامه را بر قرار می‌کند و عهده‌دار انتقال اطلاعات بین اجزای مختلف برنامه طراحی شبکه است.

دو بخش ۱ و ۲ معرفی شده در بالا قبلاً توسط مؤلفین مقاله در مراجع [۵]، [۶] به طور مفصل تشریح شده‌اند. از آنجایی که هدف این مقاله تشریح بخشهای ۳ و ۴ و نشان دادن یک روند طراحی از ابتدا است، در بخشهای ۱ و ۲ فقط به معرفی تابع هزینه و خلاصه‌ای از روش طراحی اکتفا می‌شود.

بخش ۱ ـ انتخاب مکان، ظرفیت و حوزه سرویس دهی پستهای توزیع :

طراحی بهینه مکان، ظرفیت و حوزه سرویس دهی پستهای توزیع از اطلاعات برآورد بار سطحی را، می‌توان با کمک تلفیق الگوریتم ترابری فورد ـ فولکرسون و هوش مصنوعی انجام داد [۵]. این الگوریتم تلفیقی، ابتدا از روش ترابری برای تعیین حوزه سرویس دهی اولیه پستها

و سپس از هوش مصنوعی استفاده می‌کند تا اضافه بار احتمالی پستها را رفع یا پستهای اضافی را حذف کند. این الگوریتم تابع زیر را بهینه می‌کند.

$$C = \sum_{i=1}^{s} [Sc_i\ (cpy) + k \times \sum_{j=1}^{l} (e_{ij} \times D_{ij} \times S_{ij})]$$

در این تابع :

هزینه کلی	$C =$
مجموعه تعداد پستهای بالقوه	$s =$
مجموع تعداد نقاط بار	$l =$
ظرفیت پست توزیع	$cpy =$
تابع هزینه تجهیزات و نصب پست	$Sc_i\ (cpy) =$
اگر بار زام از پست iام تغذیه شود	$e_{ij} = 1$
اگر بار زام از پست iام تغذیه نشود	0
فاصله بار زام تا پست iام	$D_{ij} =$
میزان بار در بار زام	$S_{ij} =$

در این بخش، اطلاعات مورد نیاز عبارتند از: قیمت زمین در مکانهای احتمالی احداث پست، قیمت تجهیزات پست، هزینه نصب آنها، اطلاعات برآورد بار برای واحدهای ۱۰۰۰۰ تا ۴۰۰۰۰ مترمربعی و هزینه متوسط برق‌رسانی به واحد دیماند. الگوریتم باید قابلیت آن را داشته باشد که تأکید طراح بر انتخاب پست در چند مکان احتمالی را به نحوی دریافت و اعمال کند. این کار به کمک یک عدد صحیح که بین ۰ تا ۱۰ تغییر می‌تواند بکند، انجام می‌شود.

بخش ۲ ـ مسیرهای عبور بهینه کابلهای توزیع :

بعد از انتخاب پستها، برای کار در مرحله آخر، نیاز به تعیین مسیر عبور بهینه، بین تمام پستهایی است که احتمال اتصال آنها در شبکه آتی وجود دارد. انجام این کار مستلزم می‌نیمم‌سازی تابع : $C = L \times (K_d \times D + H + K_s \times S)$

که در آن:

مجموع هزینه مسیر	$C =$
کل طول مسیر	$L =$
ضریب هزینه حفاری	$K_d =$
هزینه حفاری	$D =$

ضریب هزینه اضافی مربوط به شیب = K_s

شیب متوسط (٪) = S

هزینه اضافی مربوط به سختی کار = H

این تابع را می‌توان به نحو مؤثری با روش جستجوی عمق اول چند مرحله‌ای و اعمال روشهای هیوریستیک می‌نیمم کرد، که شرح جزئیات آن در مرجع [۶] آمده است. پس از طی این بخش تمام مسیرهای بهینه احتمالی عبور کابل به دست می‌آید.

بخش ۳ ـ طراحی آرایش بهینه :

طراحی توپولوژی بهینه فرآیند پیچیده‌ای است که متغیرهای زیادی را در برمی‌گیرد. بیشتر این متغیرها به طور غیرخطی به هم مرتبطند. نگرشی که در ذیل، به صورت قوانین هیوریستیک می‌آید، دیدگاهی است که معمولاً طراحان شبکه‌های توزیع در نظر می‌گیرند.

درطراحی شبکه الگوریتم مورداستفاده باید بتواند عناوین زیر راتاحدممکن به حداقل برساند:

۱ ـ مجموع هزینه‌های نصب و خرید هر فیدر با توجه به تورم و نرخ بهره بانکی در هر سال

۲ ـ مجموع تلفات در تمام فیدرها، با توجه به قیمت انرژی در هر سال.

۳ ـ مجموع ۱ و ۲ از بالا برای طول دوره طراحی.

محدودیتهای طراحی (constraints) که باید در نظر گرفته شوند عبارتنداز:

۱ ـ اگر بار ترانسفورماتور پست فوق توزیع بیشتر از ۷۰ درصد از ظرفیت نصب شده ترانسفورماتورها یا بیشتر از سطح از پیش تعیین شده ظرفیت آزاد آن باشد، دیگر نمی‌تواند بار بیشتر را تأمین کند.

۲ ـ تعداد فیدرها برای هر ترانسفورماتور پست فوق توزیع، یا تعداد فیدرهای آزاد هر پست مقداری محدود و از پیش تعیین شده‌اند.

۳ ـ جریان هر فیدر محدود به کمتر از ۶۰ درصد ظرفیت نامی محاسبه شده در قسمت طراحی کابل خواهد بود.

۴ ـ تعداد نقاط بار، (پستهای توزیع) که مجاز به اتصال به یک گره هستند، محدود است.

۵ ـ رگولاسیون ولتاژ هر نقطه بار، (پستهای توزیع) باید محدود به ٪۵ ± ولتاژ نامی یا مقدار از پیش تعیین شده قبلی باشد.

الگوریتم به کار رفته را می‌توان به صورت زیر تشریح کرد :

قدم ۱: اطلاعات ورودی:

ـ اطلاعات مربوط به تمامی مسیرهای ممکن برای اتصال و طول هریک از آنها.

ـ ظرفیت آزاد و تعداد فیدرهای آزاد هر پست فوق توزیع.

ـ ظرفیت و مکان پستهای توزیع.

ـ قیمت و اندازه کابلهای موجود.

ـ حداکثر تعداد انشعابی که می‌توان از یک گره گرفت.

ـ زمان دوره طراحی.

ـ اطلاعات مربوط به برآورد بار منتقل شده به نقطه بار (پست توزیع).

ـ پیش‌بینی افزایش قیمت انرژی در طول دوره طراحی.

ـ نرخ بهره بانکی.

قدم ۲: مجموعه‌ای از نقاط قابل اتصال فیدر (FC) و مجموعه‌ای از طول فیدرها (FL) باید تولید و در هر حلقه برنامه اصلاح شود در ابتدای شروع برنامه مجموعه FC فقط شامل نقاط خروجی پست فوق توزیع و مجموعه FL مجموعه‌ای تهی است. وقتی طراحی به جلو می‌رود مجموعه FC با شماره‌های پستهای توزیعی که در انتهای یک فیدر هستند پر می‌شود مجموعه‌ای از پستهای منتظر (WN) نیز باید تولید شوند. در ابتدای کار WN تمام پستهای توزیع را در برمی‌گیرد و به تدریج از اعضای WN کم می‌شود.

قدم ۳: یک عضو دلخواه از WN انتخاب می‌شود و از مجموعه WN به طور موقت حذف می‌شود.

قدم ۴: عضو انتخاب شده به یکی از اعضای FC متصل می‌شود. عضو اتصال یافته به طور موقت از FC حذف می‌شود.

قدم ۵: کابل مناسب برای فیدر انتخاب شود.

قدم ۶: اگر محدودیتی نقض شده است، ادامه کار از قدم ۹ پیگیری شود.

قدم ۷: هزینه اتصال این عضو به شبکه با توجه به هزینه‌های نصب، خرید و تلفات شبکه در هر سال از دوره طراحی محاسبه می‌شود و به عنوان هزینه فعلی ذخیره می‌شود. در اولین بار، هزینه می‌نیمم نیز مساوی این هزینه در نظر گرفته می‌شود و همچنین اعضای انتخابی از WN و FC نیز به عنوان بهترین انتخاب ذخیره می‌شوند.

قدم ۸: اگر هزینه محاسبه شده در قدم ۵ کمتر از هزینه حداقل شود، عضو انتخابی از WN و FC به عنوان بهترین اتصال ممکن و هزینه مربوط به آن نیز به عنوان هزینه حداقل ذخیره می‌شوند.

قدم ۹: اگر مجموعه FC مخالف تهی است، ادامه کار دوباره از قدم ۴ پیگیری شود.
قدم ۱۰: اگر مجموعه WN مخالف تهی است، تمام اعضای مجموعه FC بازیابی و ادامه کار دوباره از قدم ۳ پیگیری شود.
قدم ۱۱: بهترین انتخاب WN از WN حذف شود و به FC اضافه شود.
قدم ۱۲: اگر WN مخالف تهی است ادامه کار از قدم ۲ پیگیری شود، در غیر این صورت کار انتخاب کابل نهایی انجام و عملیات خاتمه می‌یابد.

در قدم ۷، در هر سال از طول دوره طرح، مجموع تلفات شبکه باید تعیین شود، که مستلزم محاسبات پخش بار زیادی است. به همین دلیل معمولاً الگوریتمهای بهینه‌سازی، برای کار محاسبات، نیازمند فرمولهای تقریبی هستند [۸].

سازماندهی اطلاعات را می‌توان با کمک زبان C++ به نحوی انجام داد که اولاً تبادل متغیرها بین زیر برنامه‌ها بتواند با کمترین نیاز به stack انجام شود و زمان فراخوانی زیر برنامه‌ها کاهش یابد و دوم این که سازماندهی درخت شبکه به کمک اشاره‌گر به ساختار (pointer to structure) و لیستهای پیوسته (linked list) انجام شود تا هر شاخه مستقل درخت به سادگی بتواند شناسایی شود. کاربرد این دو روش اجازه می‌دهد که زیر برنامه پخش بار بتواند به سرعت فقط برای قسمت جدیداً اضافه شده، آن هم با مقادیری که قبلاً در پله قبلی تعیین شده‌اند، محاسبه شود.

برنامه پخش بار از نظر برنامه‌نویسی به نحوی سازماندهی شده است که فقط نیازمند یک کلید است تا درخت تحت مطالعه‌اش را بیابد. وقتی که محاسبات تلفات برای یک سال انجام شد، تمام قسمتهای ثابت مربوط به محاسبات پخش بار ذخیره می‌شود. بنابراین انجام محاسبات برای سالهای بعد با سرعت بسیار بیشتری انجام می‌شود.

بخش ۴ : انتخاب کابل :

انتخاب کابل که جزو قدم ۵ طراحی است، فرآیندی است که نیاز به اطلاعات بسیار ریز دارد. بسیاری از طراحان شبکه‌های توزیع در مرحله بهینه‌سازی از سایز کابل ثابت در تمام طراحی استفاده می‌کنند [۷]، یا تعداد هادیها را محدود (۲ اندازه) در نظر می‌گیرند [۲]. از آن جایی که طراحی بهینه شبکه تا حد زیادی وابسته به محاسبات تلفات و محاسبات اقتصادی است، به نظر می‌رسد انتخاب دقیق‌تر کابل یکی از شرایط لازم برای طراحی مطمئن است. فایق آمدن بر این دو گانگی در انتخاب کابل ـ احتیاج به اطلاعات جزیی از یک سو و احتیاج به طراحی دقیق‌تر کابل، از سوی دیگر ـ نیازمند چند مرحله ساده‌سازی است:

۱ ـ درجه حرارت خاک در طول مسیر ثابت فرض می‌شود.

۲ ـ تنها یک هادی در هر مسیر قرار بگیرد (بدون ضریب گروه).

۳ ـ محاسبات اتصال کوتاه مورد نظر قرار نمی‌گیرند، چون تجهیزات حفاظتی طراحی نشده‌اند.

در طراحی کابل با ساده‌سازی فوق، ظرفیت جریانی کابل توزیع براساس درجه حرارت ثابت و اندازه کابل مورد نظر محاسبه می‌شود. سپس اندازه ولتاژ در گره‌ها با پخش بار محاسبه می‌شود. اگر ولتاژ از سطح استاندارد افت ولتاژ کمتر باشد، اندازه یک یا چند کابل، در مسیر گره با ولتاژ کم، تا پست فوق توزیع یک پله بالا خواهد رفت. این کار تا رفع افت ولتاژ ادامه می‌یابد. اگر بر طرف کردن افت ولتاژ به این نحو امکان‌پذیر نشد، اتصال جدید به عنوان اتصالی که یکی از محدودیتها (constraints) را نقض می‌کند، شناخته خواهد شد. به این ترتیب پس از هر بار محاسبه کابل، درجه حرارت کابل و افت ولتاژ از حد استاندارد بیشتر نخواهد شد یا پیامی مبنی بر رعایت نشدن یک محدودیت به قدم ۶ فرستاده می‌شود.

بعد از تکمیل طراحی شبکه فشار متوسط، کابلها یک بار دیگر نیز آزمایش می‌شوند. در این مرحله از کار، مرحله ساده‌سازی دوم ذکر شده در این بخش (حذف ضریب گروه) اعمال نخواهد شد و برای آخرین قدم کار، یعنی قدم ۱۲ هر گونه تغییر لازم در کابلها اعمال خواهد شد.

پایگاه اطلاعات جغرافیایی :

پایگاه اطلاعات جغرافیایی، مدیریت پایگاه اطلاعات، گرافیک کامپیوتری و مدلسازی فضایی را در یک نرم‌افزار، برای مدیریت اطلاعاتی که ماهیت جغرافیایی دارند، مجتمع می‌کند [۹]. سروکار داشتن با اطلاعات جغرافیایی، کار وارد کردن، تغییر دادن یا حذف اطلاعات را ساده می‌کند. وقتی تمام اطلاعات به شکل از پیش تعیین شده که ماهیت جغرافیایی را نیز در برمی‌گیرد، به دستگاه وارد شوند، انجام عملیات نرم‌افزارهای بهینه‌سازی روی آن با سادگی بیشتری انجام می‌شود. این خاصیت را امروزه باید یکی از شرطهای لازم برای نرم‌افزارهای کاربردی بهینه‌سازی توزیع در نظر گرفت.

پایگاه اطلاعات جغرافیایی با دو نوع اطلاعات سروکار دارد:

۱ ـ اطلاعات فضایی که شرح‌دهنده مکان و شکل عارضه جغرافیایی یا تجهیزات هستند و ارتباط با دیگران را تعیین می‌کنند.

۲ ـ اطلاعات تشریحی در مورد عارضه یا تجهیزات.

مجتمع ساختن این دو و قابلیت نگهداری روابط فضایی بین تجهیزات و عارضه‌ها، استفاده از پایگاه اطلاعات جغرافیایی را ایده‌آل برای شبکه‌های توزیع می‌سازد، که تجهیزات

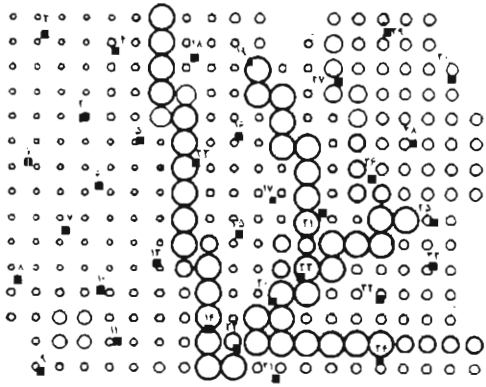
مثال کاربردی روش :

در یک ناحیه ۲×۱/۵ کیلومترمربعی از شهر تهران قابلیت طراحی با این روش آزمایش شده است. در مرحله اول ۳۳ زمین مناسب برای پست توزیع در نظر گرفته شد (شکل ۲). بعد از اجرای مرحله اول بهینه‌سازی ۷ عدد از آنها حذف شدند و ظرفیت بقیه محاسبه شد، که در شکل ۳ و جدول ۱ آمده است. در مرحله دوم تمام مسیرهای ارتباطی ممکن بین این پستها و دو پست فوق توزیع فرضی تعیین شدند.

در مرحله آخر یا بخش سوم کار، چند آرایش بهینه با کمک روشهای مرسوم یافتن چند جواب در هوش مصنوعی، بدست آمد، که بهترین آنها از نظر جمع کلی سرمایه‌گذاری در طول دوره، و اندازه کابلهای مناسب آن در جدول (۲)، نحوه اتصالات در شکل (۴) و موقعیت جغرافیایی مکان و اتصالات در شکل (۵) آمده است.

نتیجه‌گیری :

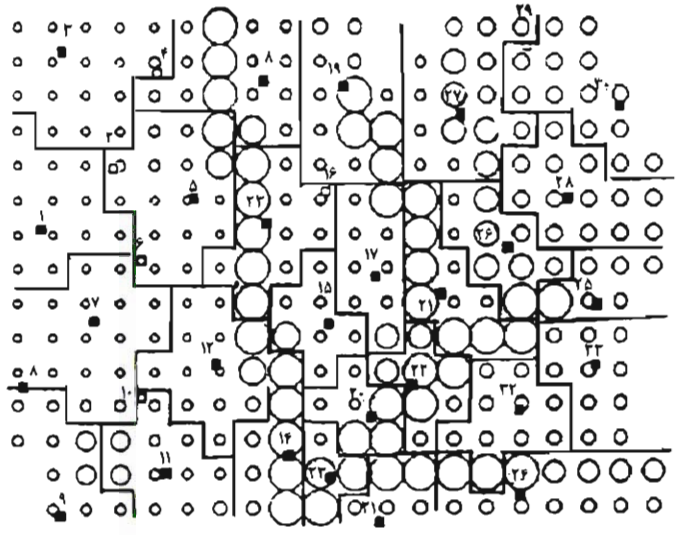
شکستن مسئله طراحی بهینه شبکه توزیع به چند مرحله اصلی طراحی پست، طراحی مسیر و طراحی شبکه، به جای حل یکباره مسئله، راه حلی کاربردی بدست می‌دهد. در شرکتهای توزیع بسیاری از مناطق جهان که مبتلا به عدم وجود اطلاعات دقیق و به روز هستند، این روش راهی مناسب به سوی طراحی بهتر و اقتصادی تر باز می‌کند.



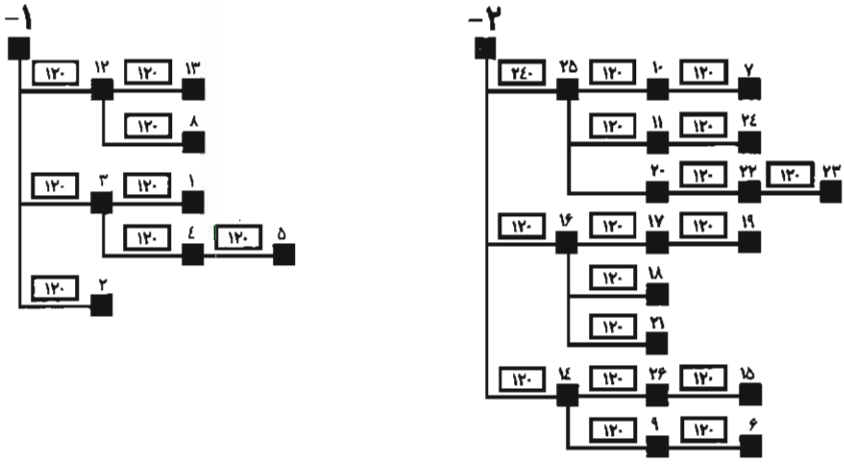
شکل (۲) ـ مکانهای احتمالی مناسب برای انتخاب پست با مربع و بزرگی نسبی بارهای سطحی (در واحد هکتار) با دایره مشخص شده‌اند.

شماره پست	بار KVA	ظرفیت ترانسفورماتور KVA
۱	۴۰۰	۶۳۰
۲	۰	۰
۳	۵۱۷	۸۰۰
۴	۰	۰
۵	۶۷۳	۱۰۰۰
۶	۰	۰
۷	۵۵۲	۸۰۰
۸	۰	۰
۹	۴۰۲	۶۳۰
۱۰	۰	۰
۱۱	۴۴۵	۸۰۰
۱۲	۶۸۵	۱۰۰۰
۱۳	۶۸۹	۱۶۰۰
۱۴	۶۰۹	۱۰۰۰
۱۵	۳۳۵	۶۳۰
۱۶	۰	۰
۱۷	۴۸۰	۸۰۰
۱۸	۸۴۶	۱۶۰۰
۱۹	۸۴۹	۱۶۰۰
۲۰	۴۸۳	۸۰۰
۲۱	۳۸۴	۶۳۰
۲۲	۶۳۶	۱۰۰۰
۲۳	۴۴۰	۶۳۰
۲۴	۸۷۶	۱۶۰۰
۲۵	۳۶۴	۶۳۰
۲۶	۶۱۸	۱۰۰۰
۲۷	۸۹۷	۱۶۰۰
۲۸	۶۷۶	۱۰۰۰
۲۹	۰	۰
۳۰	۶۷۶	۱۰۰۰
۳۱	۸۳۱	۱۶۰۰
۳۲	۶۰۸	۱۰۰۰
۳۳	۳۸۱	۶۳۰

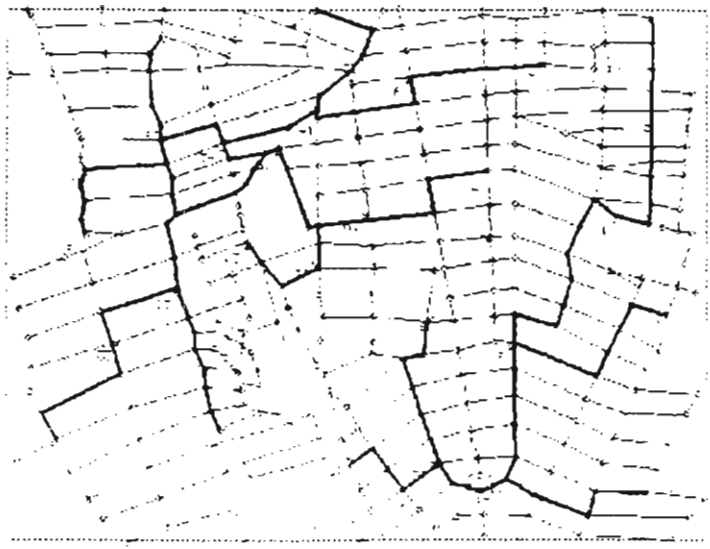
جدول (۱) ـ بار هر پست توزیع و ظرفیت ترانسفورماتور مناسب آن.



شکل (۳) ـ مکانهایی که احتیاج به احداث پست در آنها است با مربع توپر و حوزه سرویس دهی پستها با خط مشخص شده‌اند.



شکل (۴) ـ اتصالات پستها: اعداد بالای مربعها شماره پست و اعداد داخل مستطیل سطح مقطع کابلهای ارتباطی است.



شکل (۵) ـ جغرافیای منطقه مورد مطالعه و اتصالات شبکه در آن.

منابع :

[1] Z.Sumic et al, "Automated Underground Residential Distribution Design", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 8, April 1993.

[2] Y.Y.Hsu, J.L.Chen, 'Distribution Planning Usign A Knowledge Based Expert System", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 5, July 1990.

[3] T.Bergman, A.Nerman, "SwedNet Computer Programs For Control And Documentation", SwedPower 1990.

[4] H.L.Willis et al, "Distribution Planning Data Needs and Results with Incomplete Data", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.2, October 1986.

[۵] غلامرضا صفارپور و ...، "تعیین مکان، ظرفیت حوزه سرویس دهی بهینه پستهای توزیع"، مجموعه مقالات سومین کنفرانس سراسری شبکه‌های توزیع نیرو، شیراز اردیبهشت ۱۳۷۲.

[۶] فریدون عزیزی ثالث، غلامرضا صفارپور، احمد فریدون درافشان، "کاربرد هوش

مصنوعی دریافتن محل عبور بهینه کابلهای توزیع"، مجموعه مقالات سومین کنفرانس سراسری شبکه‌های توزیع نیرو، شیراز اردیبهشت ۱۳۷۲.

[7] H.L.Willis, J.E.D.Nothcota-Green, "Comparison of Several Computerized Distribution Planning Methods", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS- 104, No.1, January 1985.

[8] R.Baldick, F.F.Wu, "Approximation Formulas for the Distribution System: the Loss Function and Voltage Dependence", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 6. October 1991.

[9] R.Kasturi et al, "Map Data Processing in Geograghic Information System", IEEE Computer December 1989.