

طراحی شبکه توزیع در چند سطح ولتاژ با استفاده از الگوریتمهای تعیین سطح تغذیه و PSO

حسن سیاهکلی

رضا روشنفکر

پژوهشکده برق پژوهشگاه نیرو - تهران - ایران

ظرفیت بهینه ترانسها و سطح مقطع بهینه فیدرها را در هر یک از سطوح ولتاژی ارائه می‌نماید. همچنین با استفاده از الگوریتم تعیین سطح تغذیه در چند سطح ولتاژ، تغییرات طرح بهینه شبکه توزیع نسبت به تغییر سه پارامتر عمده رشد بار، قیمت انرژی در شینه ورودی و عمر مفید تجهیزات (عمر طرحها) بر روی شبکه توزیع نمونه مورد ارزیابی قرار گرفته است. در ادامه مقاله مسئله بهینه سازی فوق با استفاده از الگوریتم PSO که از جمله روش‌های تکاملی می‌باشد، حل شده و نتایج حاصله با الگوریتم تعیین سطح تغذیه مقایسه شده است.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم تعیین سطح تغذیه، الگوریتم PSO، هزینه تلفات، هزینه استهلاک سرمایه‌گذاری.

چکیده: طراحی شبکه‌های توزیع از جمله مسائلی است که فاکتورهای زیادی چون پیش‌بینی بار، رشد بار، تراکم بار، محل و ظرفیت پستها، مسیر فیدر و در آن دخالت دارند. به لحاظ اهمیت موضوع و پیچیدگی آن، مدلها و تکنیکهای مختلف بهینه سازی چون برنامه‌ریزی خطی و عدد صحیح، برنامه‌ریزی پویا و برای حل مسئله بکار برده شده‌اند. در این مقاله سعی شده است تا مسئله بهینه سازی فوق با دو الگوریتم تعیین سطح تغذیه و PSO برای شبکه‌های شعاعی با تراکم بار کم و روستائی که در آنها مسیر تغذیه تقریباً مشخص است، جهت تعیین سطح تغذیه شده توسط هر سطح ولتاژ بکار برده شوند. الگوریتم تعیین سطح تغذیه بر پایه ارزیابی کامل فضای جستجوی منتخب عمل نموده که در آن ضمن ارائه میزان نفوذ هر یک از سطوح ولتاژ در شبکه مورد مطالعه،

Distribution Network Planning Using Supplying Area and PSO Algorithms

Hassan Siahkali

Reza Roshanfekar

Niroy Research Institute (NRI) Tehran - Iran

Abstract: The optimal distribution system planning is recognized as a very complex problem due to the large number of variables and candidate network configurations. Many factors have affected distribution planning

problem such as load forecasting, load growth, load density, substation sizing and siting, feeder sizing and routing and so on. Most of the models and mathematical methods have been developed and applied to either of

1- Particle Swarm Optimization (PSO)

the voltage levels in distribution network planning. In this paper, two new approaches have been developed for rural distribution network planning and optimization. In the first approach, this problem has been solved by a suitable searching method to determine the optimal configuration of network and the voltage level of each section of the feeder. This method determines the sizing of distribution feeder and transformer in each section of the feeder. Also, the results of this algorithm are evaluated by some of the main parameters such as load growth coefficient, lifetime of equipment and energy price. In

the latter, this problem is solved by particle swarm optimization (PSO).

At the end of this paper, both of these two algorithms have been applied to a real test network of Gilan Regional Electricity Company and the results have been shown and compared.

Keywords: Supplying Area Algorithm, Particle Swarm Optimization Algorithm, Loss Cost, And Annual Investment Cost.

در [۱۰] روش پیشنهادی برای شبکه فشارضعیف، برای شبکه فشارمتوسط نیز بکار برده شده است. یک روش هماهنگ شده مهندسی^۲ نیز برای طراحی هر دو سطح ولتاژ شبکه‌های توزیع در [۱۱] پیشنهاد شده است. در این روش طراحی شبکه توزیع در دو لایه مجزا و با استفاده از روش برنامه‌ریزی پویا انجام شده است. با این وجود در کلیه این روشها، بهینه‌سازی انجام شده در هر یک از سطوح ولتاژ شبکه‌های توزیع به صورت مجزا اعمال شده است. در این مقاله به بررسی طراحی شبکه توزیع در چند سطح ولتاژ بطور همزمان و برای شبکه‌های با توپولوژی مشخص (مناطق روستایی که می‌توان فرض کرد توپولوژی شبکه مشخص است) پرداخته شده است. در ابتدا براساس توپولوژی شبکه و با استفاده از الگوریتم تعیین سطح تغذیه بخشی از کل فضای جستجو به عنوان فضای مناسب جستجو (که آرایشهای ممکن طرح شبکه را شامل می‌شود)، انتخاب شده و مورد بررسی و ارزیابی توسط تابع هدف قرار می‌گیرد. سپس در ادامه از الگوریتم PSO برای حل مسئله بهینه‌سازی استفاده شده است. روش PSO یکی از روش‌های بهینه‌سازی تکاملی می‌باشد که توسط کندی و ابرهارت برای اولین بار مطرح گردید [۱۲]. هرچند این روش در مقایسه با سایر روش‌های مشابه از سرعت همگرایی بیشتری برخوردار است لیکن هنوز تحقیقات وسیعی برای افزایش کارایی آن در دست انجام می‌باشد [۱۳ و ۱۴]. ایده اصلی این الگوریتم از حرکت جمعی پرندگان یا ماهیان برای یافتن غذا اقتباس شده است. در این مقاله هر دو الگوریتم بر روی یک شبکه نمونه اجراء شده و نتایج آن ارائه و مقایسه شده است.

۱- مقدمه

برنامه‌ریزی و طراحی سیستم توزیع از جمله مسائلی است که با توجه به حجم و گستردگی متغیرها و عوامل موثر در آن بسیار پیچیده می‌باشد. ضمن اینکه نزدیکی به مصرف کنندگان و لزوم حفظ قابلیت اطمینان و تداوم سرویس‌دهی مناسب و همچنین حجم بالای سرمایه‌گذاری لازم در بخش توزیع صنعت برق بر اهمیت آن نیز افزوده است. هدف اساسی در طراحی و برنامه‌ریزی سیستم توزیع، تحقق شرایط بهینه فنی و اقتصادی با تغییر و افزایش تقاضا می‌باشد. در [۵-۱] تاریخچه طراحی و برنامه‌ریزی شبکه‌های توزیع بیان شده است. در [۴] طراحی شبکه توزیع با لحاظ نمودن شبکه فشارمتوسط که مستقیماً بار را تغذیه می‌نماید، انجام شده است. در [۵] مسئله بهینه‌سازی شبکه توزیع بدون در نظر گرفتن شبکه فشارضعیف و تنها برای شبکه فشارمتوسط بررسی شده است. حل مسئله با روش بهینه‌سازی شاخه و کران در [۷ و ۶] با در نظر گرفتن شبکه فشارمتوسط ارائه شده است. مشاهده می‌شود که در این مطالعات طراحی و برنامه‌ریزی شبکه‌های توزیع تنها با لحاظ نمودن شبکه فشارمتوسط انجام شده و از بررسی شبکه فشارضعیف چشم‌پوشی شده است. همچنین طراحان سیستم توزیع با تقسیم‌بندی مسئله اصلی به زیر مسئله‌های مینیمم سازی هزینه پستها، فیدرهای اصلی و شاخه‌های فرعی با در نظر گرفتن مسائلی چون حد مجاز افت ولتاژ، ظرفیت باردهی فیدر و ترانس و تداوم سرویس‌دهی و قابلیت اطمینان، سعی نموده‌اند با ارائه روش‌های مختلف، مسئله فوق را حل نمایند [۸ و ۹]. در تعدادی از کارهای انجام شده، حل مسئله طراحی شبکه توزیع در هر دو شبکه فشارضعیف و متوسط مورد توجه قرار گرفته است.

2- Coordinated engineering procedure



۲- الگوریتم تعیین سطح تغذیه شبکه توزیع

همانگونه که اشاره شد الگوریتم تعیین سطح تغذیه بر اساس ارزیابی کلیه حالات ممکن طرح شبکه در کل فضای جستجو عمل می‌نماید. حالت‌های ممکن تغذیه شبکه عبارت از حالت‌هایی است که در آنها در هر شاخه تنها یکبار عمل تغییر سطح ولتاژ انجام شود. به عبارت دیگر در هر شاخه در صورت تغییر سطح ولتاژ از فشارمتوسط به فشارضعیف، دیگر عمل تبدیل سطح ولتاژ از فشارضعیف به فشارمتوسط انجام نخواهد شد. بدین لحاظ در این قسمت حالت‌های ممکن اولیه تغذیه شبکه استخراج می‌شود. سپس برای هر طرح ممکن اولیه شبکه قبل از اینکه تابع هدف مورد ارزیابی قرارگیرد، محدودیتهای فنی افت ولتاژ و ظرفیت فیدر در فضای جستجوی مربوط به نوع هادی یا کابل فیدرها مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این مرحله نیز در صورتیکه حدود مجاز فنی رعایت نشوند طرح مربوطه از فضای جستجو حذف خواهد شد. پس از مشخص شدن فضای جستجوی مربوط به طرح‌های ممکن شبکه، با توجه به محدودیت توانی فیدرها، حداقل سطح مقطع مناسب برای هر یک از سطوح ولتاژ انتخاب شده و بدین ترتیب با استفاده از دیگر سطح مقطع‌های مجاز بزرگتر از سطح مقطع‌های بدست آمده، ترکیبات مختلفی حاصل شده که تابع هدف طراحی (هزینه‌های طرح شبکه) با این سطح مقطعها محاسبه می‌گردد. در نهایت در هر حالت ممکن تغذیه شبکه، بین ترکیبات مختلف با سطح مقطع‌های مجاز، سطح مقطع‌های هر سطح ولتاژ تغذیه شبکه با مینیمم هزینه بدست آورده می‌شوند. روند فوق برای هر حالت ممکن تغذیه شبکه تکرار گردیده و در انتها طرح بهینه تغذیه شبکه در چند سطح ولتاژ بدست آورده می‌شود.

تابع هزینه مورد نظر در این مقاله شامل هزینه سرمایه‌گذاری فیدرها و پست‌های توزیع به علاوه هزینه تلفات ثابت و متغیر پست‌ها (ترانسها) و هزینه تلفات فیدرها می‌باشد. تابع هزینه فوق با انتقال هزینه‌های متغیر و ثابت تلفات در طول عمر طرح به سال ابتدایی و ترکیب آن با هزینه سرمایه‌گذاری تشکیل شده و معیاری جهت مقایسه اقتصادی طرح‌های مختلف را در اختیار قرار می‌دهد (ارزیابی اقتصادی با روش ارزش حال هزینه‌ها). تابع هزینه فوق با قیود فنی چون افت ولتاژ مجاز، ظرفیت حرارتی فیدرها و محدوده ظرفیت ترانسها بهینه می‌گردد. بدین ترتیب تابع هدف مربوطه

عبارت است از [۲۰ و ۱۹]:

$$F(t) = \sum_{i=1}^n [C_{If}(i)L(i) + C_{Lf}(i)L(i)] + \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^k [C_{It}(j) + C_{Ltf}(j) + C_{Ltv}(j)]$$

C_{If} : هزینه سرمایه‌گذاری در شاخه i ام (ریال بر کیلومتر)

C_{Lf} : هزینه تلفات در شاخه i ام (با استفاده از روابط (۲) و (۳)) (ریال بر کیلومتر)

$L(i)$: طول شاخه i ام (کیلومتر)

n و k : تعداد کل شاخه‌ها و تعداد ترانسها

C_{It} : هزینه سرمایه‌گذاری ترانس i ام (ریال)

C_{Ltv} و C_{Ltf} : ارزش حال هزینه تلفات ثابت و متغیر ترانس i ام (ریال)

همانگونه که اشاره شد جهت مقایسه طرح‌های مختلف از روش ارزش حال هزینه‌ها استفاده شده است. بدین لحاظ با استفاده از روابط (۲) و (۳) ارزش حال هزینه تلفات فیدرها بدست آورده می‌شود [۱۷-۱۵]:

$$C_1 = \frac{S_1^2}{V^2} R \times L \times C_E \times F_{LS} \quad (2)$$

C_1 : هزینه تلفات سالانه در سال اول (ریال)

S_1 : بار پیک در سال اول (kVA)

V : ولتاژ فاز به فاز (kV)

R : مقاومت هادی (هم بر کیلومتر)

L : طول فیدر (کیلومتر)

C_E : متوسط قیمت انرژی در سال (ریال بر وات)

F_{LF} : ضریب بار

F_{LS} : ضریب تلفات ($F_{LS} = 0.3F_{LF} + 0.7F_{LF}^2$) [۱۸]

$$i \neq m \quad (3) \quad \text{اگر}$$

$$C = C_1 \left[\frac{(1+i)^t - (1+m)^t}{(i-m)(1+i)^t} \right] = \beta C_1$$

$$i = m \quad \text{اگر}$$

$$C = C_1 \left[\frac{t}{1+i} \right] = \beta C_1$$

C: ارزش حال تلفات (ریال)

(۷) اگر $i \neq m$

$$C_{Lv}(j) = 8760 \times F_{Ls} \times Loss_{Fl}(j) \times \left(\frac{P(j)}{Rat(j)} \right)^2 \times C_E \times \left[\frac{(1+i)^t - (1+m)^t}{(i-m)(1+i)^t} \right]$$

i: نرخ بهره (%)

t: عمر تجهیزات (سال)

اگر $i = m$

$$C_{Lv}(j) = 8760 \times F_{Ls} \times Loss_{Fl}(j) \times \left(\frac{P(j)}{Rat(j)} \right)^2 \times C_E \times \left[\frac{t}{1+i} \right]$$

m: ترکیب نرخ رشد تلفات (متناسب با مجذور نرخ رشد بار) و نرخ رشد قیمت انرژی سالانه (%) که از رابطه (۴) بدست آورده می شود.

(۴)

$$1+m = (1+r)^2(1+d) \Rightarrow m = r^2 + 2r + r^2d + 2rd + d$$

P(j): بار ترانس زام در سال اول (kVA)

r: نرخ رشد بار (%)

Rat(j): ظرفیت نامی ترانس زام (kVA)

d: نرخ رشد قیمت انرژی سالانه (%)

F_{Ls} : ضریب تلفات

Loss_{Fl}(j): تلفات بارداری ترانس زام (کیلووات)

رابطه (۴) با استفاده از قاعده ارزش مرکب هزینه ها و با توجه به رابطه ای که تلفات با مجذور بار دارد، بدست آورده شده است [۱۶ و ۱۵]. بدین ترتیب مجموع هزینه های یک فیدر عبارتست از:

$$C_T = C_I L + (\beta F_{Ls} R C_E \frac{S_1^2}{V^2}) L = C_I L + C_L S_1^2 L \quad (5)$$

C_T : ارزش حال هزینه کل فیدر (ریال)

C_I : هزینه سرمایه گذاری فیدر (ریال بر کیلومتر)

C_L : ضریب ارزش حال هزینه تلفات فیدر

همچنین هزینه تلفات ثابت و متغیر ترانسها با استفاده از روابط زیر بدست آورده می شوند.

(۶) اگر $i \neq d$

$$C_{Lif}(j) = 8760 \times Loss_{nl}(j) \times C_E \times \left[\frac{(1+i)^t - (1+d)^t}{(i-d)(1+i)^t} \right]$$

اگر $i = d$

$$C_{Lif}(j) = 8760 \times Loss_{nl}(j) \times C_E \times \left[\frac{t}{1+i} \right]$$

Loss_{nl}(j): تلفات بی باری ترانس آم (کیلووات)

C_E : قیمت انرژی (ریال بر کیلووات ساعت)

d: نرخ افزایش قیمت انرژی سالانه (%)

i: نرخ بهره (%)

t: عمر تجهیزات (سال)

m: ترکیب نرخ رشد تلفات (متناسب با نرخ رشد بار) با نرخ رشد قیمت انرژی سالانه می باشد که از رابطه (۴) بدست آورده می شود.

بدین ترتیب تابع هدف با توجه به قیود فنی (افت ولتاژ، حد حرارتی فیدرها و ظرفیت ترانسها) و با استفاده از هزینه ثابت و متغیر فیدرها و ترانسها در چند سطح ولتاژ مینیمم می شود. شکل (۱) فلوجارت الگوریتم فوق را نشان می دهد.

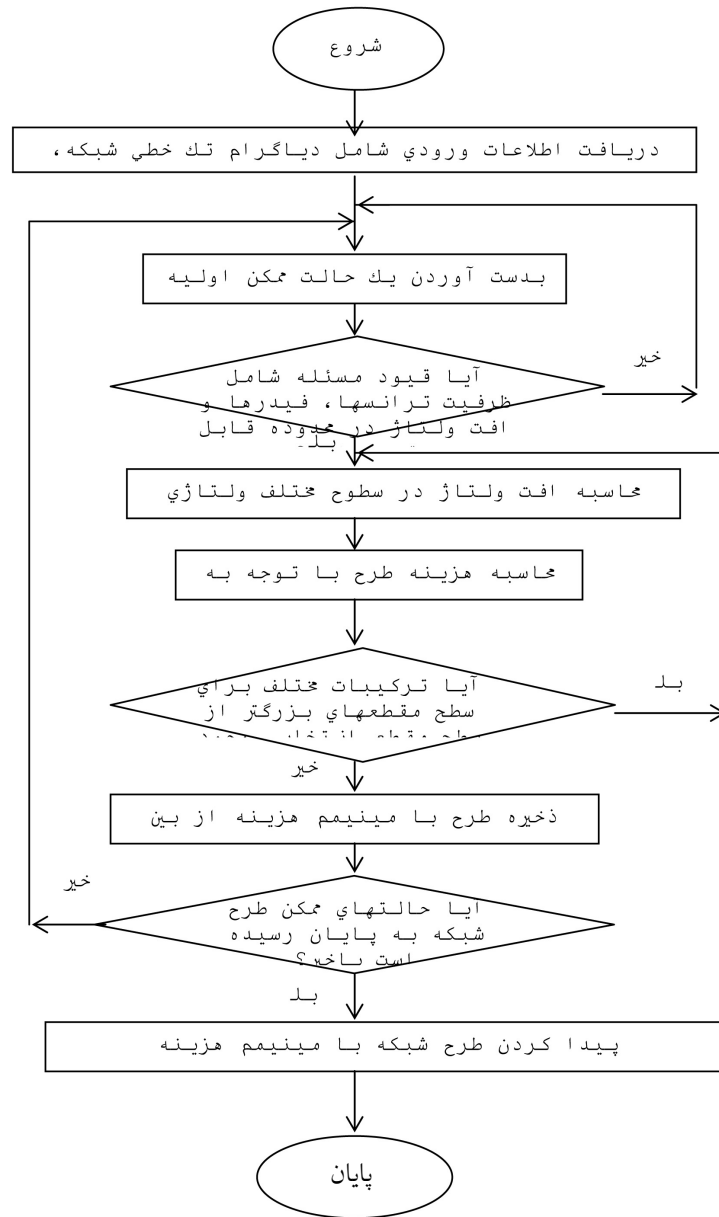
۳- اطلاعات اقتصادی مورد استفاده در تحلیل ها

اطلاعات ورودی شامل اطلاعات اقتصادی و مشخصات فنی تجهیزات در سطوح ولتاژ فشار متوسط (۲۰ kV)، فشار ضعیف (۴۰۰ kV) و ولتاژ میانی (۶/۶ kV) می باشد (جدول پیوست ۱ و ۲) [۲۰]. سایر اطلاعات مورد نیاز که در این تحلیلها به عنوان پیش فرض در نظر گرفته شده اند در جدول (۱) آورده شده است.

پیش فرضها	فرضیات
200	قیمت انرژی در شینه ورودی (ریال بر کیلووات ساعت)
10	نرخ رشد قیمت انرژی در شینه ورودی (%)
3	نرخ رشد بار (%)
60	ضریب بار (%)
10	نرخ بهره (%)
20	عمر مفید طرحها (سال)
0/9	ضریب توان تمامی بارها

جدول (۱): اطلاعات پیش فرض استفاده شده در تحلیل ها





شکل (۱): فلوچارت الگوریتم تعیین سطح تغذیه شبکه توزیع در چند سطح ولتاژ

۴- مطالعه فنی و اقتصادی طرح اولیه شبکه نمونه

ولتاژی فشار متوسط و ولتاژ میانی استفاده شده است.

۱- طرح بهینه برای شبکه نمونه در رشد با صفر درصد در شکل (۳) نشان داده شده است. در خطوط $20kV$ از کابل‌های هوایی با سطح مقطع $50mm^2$ و در خطوط 400 ولتی از سیستم 5 سیمه با سطح مقطع $25mm^2$ استفاده شده است. هزینه طرح بهینه $192/38$ میلیون ریال است.

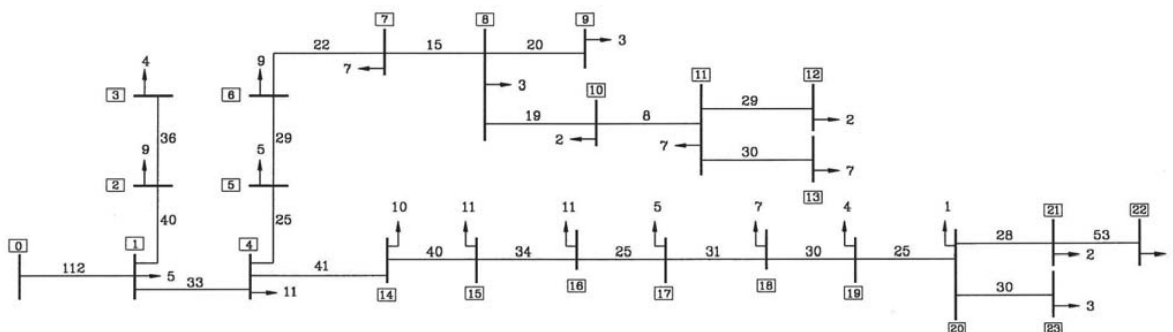
۲- طرح بهینه برای شبکه نمونه در رشد بار 3 درصد در شکل (۴)

شکل (۲) دیاگرام تک خطی شبکه مورد مطالعه را نشان داده و شامل 6 شینه انتهایی و 129 مشترک بوده که به طور متوسط بار هر مشترک $1kVA$ می‌باشد. با استفاده از الگوریتم تعیین سطح تغذیه، طرح بهینه شبکه نمونه در دو رشد بار صفر و سه درصد به شرح زیر می‌باشد. لازم به ذکر است که در کلیه تحلیل‌های این مقاله از کابل‌های هوایی در سطوح

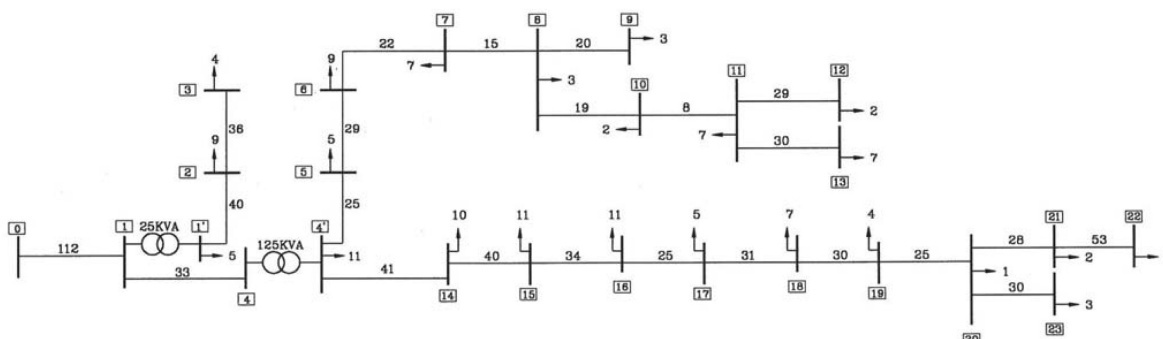
نشان داده شده است. در خطوط $20kV$ از کابل‌های هوایی با سطح مقطع $50mm^2$ و در خطوط 400 ولتی از سیستم 5 سیمه با سطح مقطع $50mm^2$ استفاده شده است. هزینه طرح بهینه $246/19$ میلیون ریال است.

۵- بررسی اثر تغییر پارامترها
اثر تغییر پارامترهای عمده و یا به عبارتی چگونگی تغییر هزینه و

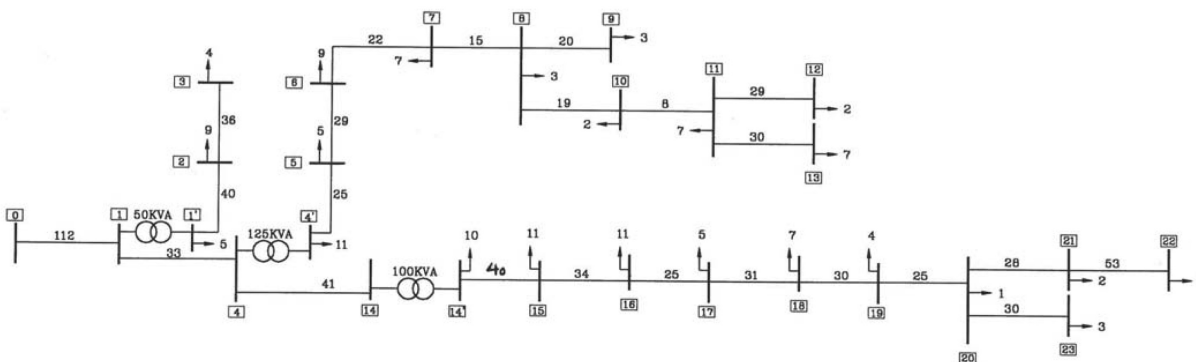
سطح تغذیه شده توسط چند پارامتر عمده در هر یک از سطوح ولتاژی بر روی شبکه نمونه انجام شده است. تحلیل‌های فوق برای رشد بارهای 9.6 و 12 درصد، قیمت‌های انرژی در شینه ورودی 100 ، 300 و 400 ریال بر کیلووات ساعت و عمر مفید تجهیزات 10 ، 15 و 25 سال بر روی شبکه نمونه توسط الگوریتم تعیین سطح تغذیه تکرار شده و نتایج آن ارائه شده است. در جداول (۵)، (۶) و (۷) نتایج تغییر مقادیر سه پارامتر عمده طراحی شبکه ارائه شده‌اند.



شکل (۲): دیاگرام تک خطی شبکه نمونه با مقادیر بار هر شینه (در سال ابتدایی) و طول هر یک از بخش‌های فیدر (بر حسب متر)



شکل (۳): طرح بهینه شبکه در رشد بار صفر درصد



شکل (۴): طرح بهینه شبکه در رشد بار سه درصد

رشد بار	صفر درصد	3 درصد	6 درصد	9 درصد	12 درصد
هزینه طرح شبکه نمونه	192/38	246/19	360/27	509/61	665/96
سطح مقطع	کابل- 50	کابل- 50	کابل- 50	کابل- 50	کابل- 50
فیدر (میلیم)	-	-	-	-	-
تر (مربع)	هادی- 25	هادی- 50	هادی- 50	هادی- 50	هادی- 50
توپولوژی شبکه	شکل (3)	شکل (4)	شکل (5)	شکل (6)	شکل (7)

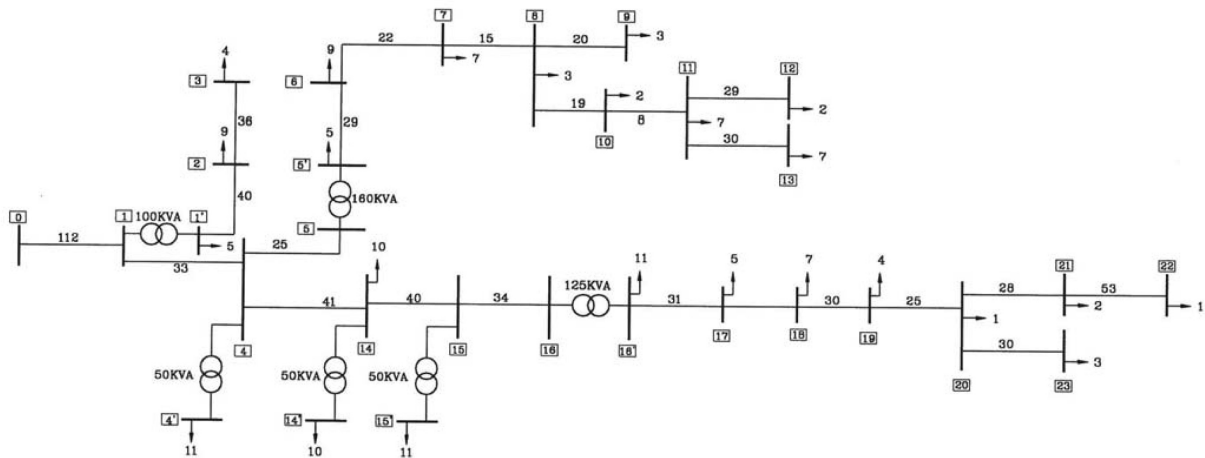
جدول (5): مقایسه هزینه های شبکه نمونه در رشد بارهای مختلف (میلیون ریال)

قیمت انرژی	100 ریال بر کیلووات ساعت	200 ریال بر کیلووات ساعت	400 ریال بر کیلووات ساعت
هزینه طرح شبکه نمونه	203/3	246/19	331/98
سطح مقطع	کابل- 50	کابل- 50	کابل- 50
فیدر (میلیم)	-	-	-
تر (مربع)	هادی- 50	هادی- 50	هادی- 50
توپولوژی شبکه	شکل (4)	شکل (4)	شکل (4)

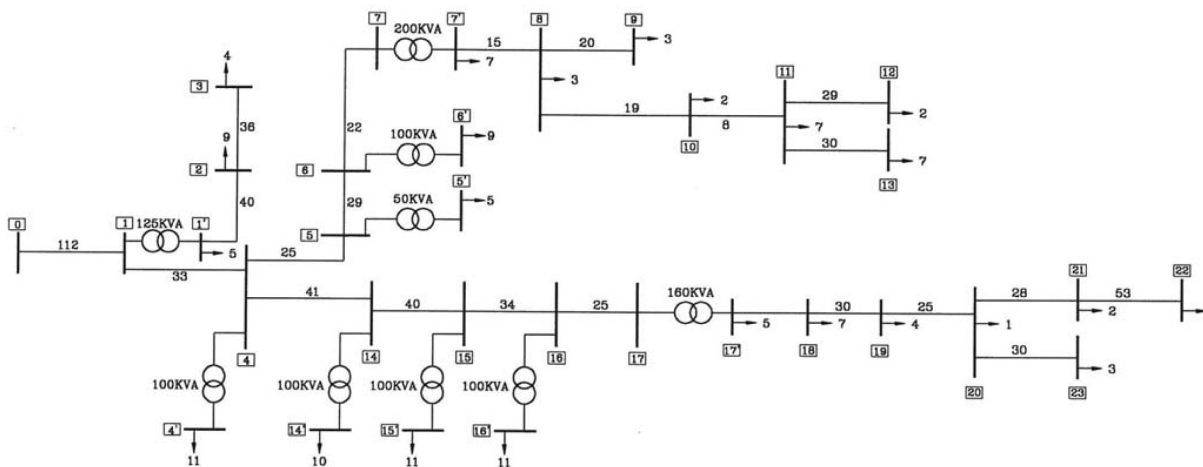
جدول (6): مقایسه هزینه های شبکه نمونه با قیمت های انرژی مختلف (میلیون ریال)

عمر مفید سال	10	15	20	25
هزینه طرح شبکه نمونه	189/47	218/52	246/19	300/19
سطح مقطع	کابل- 50	کابل- 50	کابل- 50	کابل- 50
فیدر (میلیم)	-	-	-	-
تر (مربع)	هادی- 35	هادی- 35	هادی- 50	هادی- 50
توپولوژی شبکه	شکل (4)	شکل (4)	شکل (4)	شکل (8)

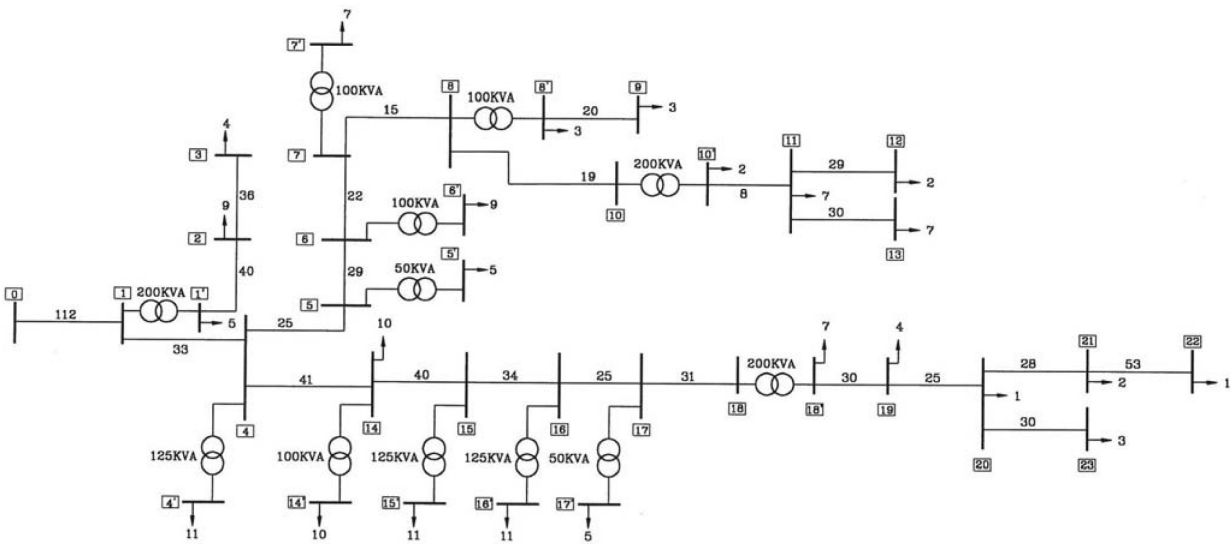
جدول (7): مقایسه هزینه های شبکه نمونه با عمرهای مفید مختلف (میلیون ریال)



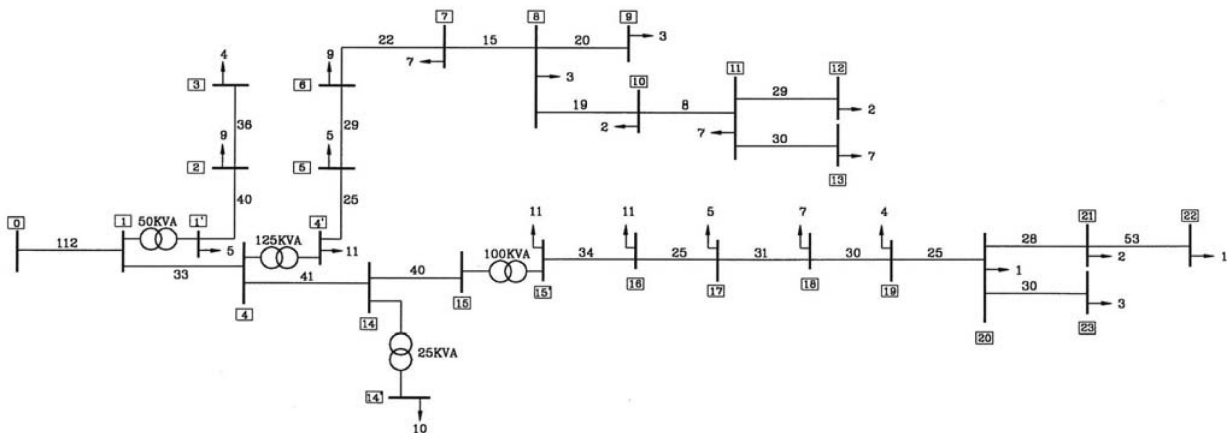
شکل (۵): طرح بهینه شبکه نمونه در حالت رشد بار ۶ درصد



شکل (۶): طرح بهینه شبکه نمونه در حالت رشد بار ۹ درصد



شکل (۷): طرح بهینه شبکه نمونه در حالت رشد بار ۱۲ درصد



شکل (۸): طرح بهینه شبکه نمونه در حالت عمر مفید ۲۵ سال

مسیر یا جهت گیری هر عضو از این دسته از حیوانات بر اساس کسب آگاهی از دو منبع صورت می پذیرد. در مسیر حرکت، هر عضو مسیر خود را مطابق با تجربه و سابقه حرکت خود و اعضای همجوار و همسایه خود تنظیم می نماید. فرض کنید X و V به ترتیب بردارهای مختصات مکانی و سرعت هر یک از اعضای گروه در یک فضای جستجو باشند. بنابراین می توان عضو i ام گروه را در یک فضای n بعدی با دو مشخصه زیر معرفی کرد:

$$X_i = \{X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{in}\} \quad (8)$$

۶- بکارگیری الگوریتم PSO در طراحی شبکه توزیع در چند سطح ولتاژ

روش PSO یکی از روش های بهینه سازی تکاملی می باشد که ایده اصلی این الگوریتم از حرکت جمعی پرندگان یا ماهیان برای یافتن غذا اقتباس شده است. PSO به عنوان یک ابزار بهینه سازی، یک روش جستجو بر پایه جمعیت است که موقعیت فعلی اعضا با زمان تغییر می کند. در سیستم PSO اعضا می توانند در هر جهتی از فضای جستجو حرکت نمایند. به این ترتیب که تغییر

در [۲۱] معادله دیگری برای اصلاح بردار سرعت اعضاء تحت عنوان روش ضریب انقباض^۴ پیشنهاد شده است که در این مقاله با توجه به اینکه این رابطه پاسخهای مناسبتری را نسبت به رابطه (۱۱) ایجاد نمود، از آن استفاده شده است.

$$V_i^{k+1} = K \cdot [V_i^k + c_1 \cdot rand_1 \cdot (Pbest_i - X_i^k) + c_2 \cdot rand_2 \cdot (Gbest - X_i^k)]$$

$$K = \frac{2}{|2 - \varphi - \sqrt{\varphi^2 - 4 \cdot \varphi}|}, \text{ where } \varphi = c_1 + c_2, \varphi > 4 \quad (13)$$

الگوریتم PSO بر روی شبکه نمونه و با در نظر گرفتن مقادیر پیش فرض بیان شده در قسمت قبل (رشد بار ۳ درصد، عمر طرح ۲۰ سال و قیمت انرژی ۲۰۰ ریال بر کیلووات ساعت) و با در نظر گرفتن ۲۳ متغیر مربوط به سطح ولتاژ در بخشهای مختلف فیدر شبکه نمونه و ۳ متغیر برای سطح مقطع فیدر در هر سطح ولتاژ پیاده سازی شده است. نتایج حاصل از اجرای الگوریتم برای ضرایب مختلف c_1 و c_2 و همچنین تعداد اعضاء (جمعیت) مختلف مورد بررسی قرار گرفت و ملاحظه شد که پاسخهای بدست آمده برای $c_1 = 6$ و $c_2 = 8$ و همچنین تعداد اعضاء $n = 400$ بسیار به مقدار بهینه سراسری بدست آمده از الگوریتم جستجوی تعیین سطح تغذیه نزدیک می باشد. شکل (۹) هزینه کل طرح شبکه با اعمال ضرایب بیان شده را برای ۱۱۵ بار اجرای مجزای الگوریتم PSO نشان می دهد. مشاهده می شود که مینیمم هزینه طرح شبکه نمونه ۲۴۶/۲ میلیون ریال بوده است (که در ۱۵٪ از اجراهای الگوریتم فوق حاصل شده است). همچنین ملاحظه می شود که در ۶۰٪ از اجراهای مجزای الگوریتم PSO توپولوژی بدست آمده مشابه توپولوژی طرح شبکه بهینه حاصل از الگوریتم تعیین سطح تغذیه می باشد با این تفاوت که سطح مقطعهای بدست آمده در الگوریتم PSO با طرح بهینه الگوریتم تعیین سطح تغذیه متفاوت می باشند. لذا اینگونه می توان استنباط نمود که در انتها و پس از بدست آوردن توپولوژی شبکه از الگوریتم PSO می توان سطح مقطع های دیگر موجود را جهت اطمینان و حصول به طرح بهینه، مورد ارزیابی مجدد قرار داد.

3- Inertia Weights Approach (IWA)

4- Constriction Factor Approach (CFA)

$$V_i = \{V_{i1}, V_{i2}, \dots, V_{in}\}$$

بهترین مکان و مسیر تجربه شده توسط هر عضو گروه ثبت شده و تحت عنوان ($Pbest_i$) نمایش داده می شود.

$$Pbest_i = \{Pbest_{i1}, Pbest_{i2}, \dots, Pbest_{in}\} \quad (9)$$

با فرض اینکه هر عضو گروه از بهترین مکان سایر اعضاء گروه اطلاع دارد ($Gbest$). می تواند بردار حرکت خود را مطابق با رابطه زیر تنظیم نماید.

$$(10)$$

$$V_i^{k+1} = w \cdot V_i^k + c_1 \cdot rand_1 \cdot (Pbest_i - X_i^k) + c_2 \cdot rand_2 \cdot (Gbest - X_i^k)$$

که در آن:

V_i^k : سرعت عضو k ام در تکرار k

w : تابع وزنی

c_1, c_2 : ضرایب وزنی شتاب دهنده

$rand$: عدد تصادفی بین [۰ تا ۱]

X_i^k : مکان فعلی عضو k ام در تکرار k

$Pbest_i$: بهترین مکان عضو k ام

$Gbest$: بهترین مکان اعضا گروه

در بسیاری از کارهای انجام شده در زمینه بهینه سازی با روش PSO عموماً از روش وزنه های اینرسی^۳ برای محاسبه تابع وزنی استفاده می گردد:

$$w = w_{\max} - \frac{w_{\max} - w_{\min}}{iter_{\max}} \times iter \quad (11)$$

که در آن:

w_{\max} : وزن اولیه

w_{\min} : وزن نهایی

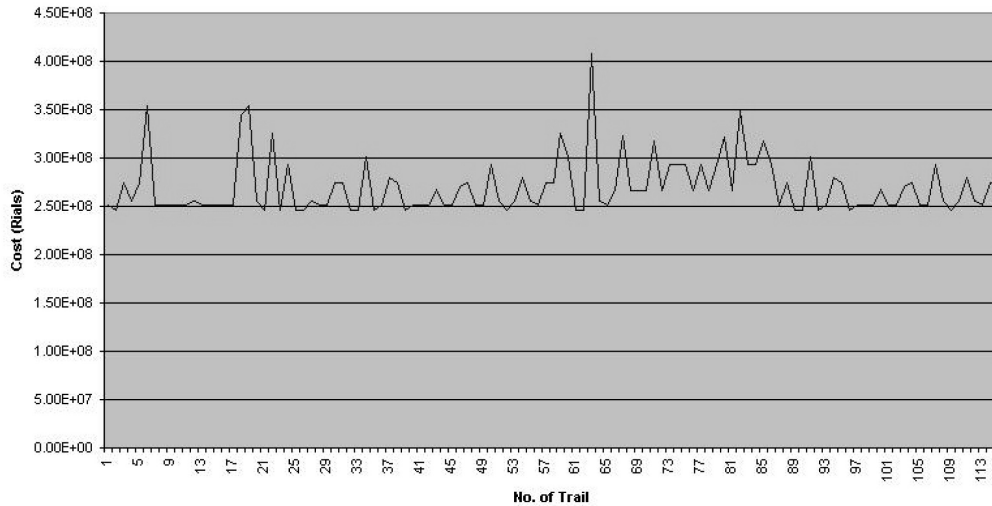
$iter_{\max}$: ماکزیمم تعداد تکرار

$iter$: شماره تکرار فعلی

بدین ترتیب با استفاده از رابطه زیر و با توجه به سرعت اصلاح شده عضو k ام، مکان فعلی عضو مربوطه اصلاح می شود.

$$X_i^{k+1} = X_i^k + V_i^{k+1} \quad (12)$$





شکل (۹): مقدار تابع هدف (هزینه کل طرح شبکه) تحت ضرایب و با جمعیت اولیه ۴۰۰ عضو

جدول (۸) خلاصه نتایج بدست آمده از الگوریتم PSO تحت شرایط مربوط به تغییر سه پارامتر عمده بیان شده در بخش قبل را نشان می‌دهد. همانگونه که ملاحظه می‌شود زمان اجرای الگوریتم PSO در حدود ۱۴ الی ۱۵ دقیقه می‌باشد که با یک سخت افزار یکسان، حدود یک چهاردهم زمان اجرای الگوریتم تعیین سطح تغذیه می‌باشد (زمان اجرای الگوریتم تعیین سطح تغذیه حدوداً ۳/۵ ساعت می‌باشد). همچنین دیده می‌شود که توپولوژی بدست آمده در هر دو الگوریتم یکسان بوده و تنها در بعضی از حالتها سطح مقطع‌های متفاوت بدست آمده است. بدین لحاظ می‌توان بیان نمود که الگوریتم PSO به جواب بهینه نزدیک شده و پاسخهای مناسبی را بدست می‌دهد.

جدول (۸) خلاصه نتایج بدست آمده از الگوریتم PSO تحت شرایط مربوط به تغییر سه پارامتر عمده بیان شده در بخش قبل را نشان می‌دهد. همانگونه که ملاحظه می‌شود زمان اجرای الگوریتم PSO در حدود ۱۴ الی ۱۵ دقیقه می‌باشد که با یک سخت افزار یکسان، حدود یک چهاردهم زمان اجرای الگوریتم تعیین سطح تغذیه می‌باشد (زمان

زمان اجرای الگوریتم PSO (دقیقه)	تفاوت الگوریتم PSO با الگوریتم تعیین سطح تغذیه	هزینه طرح (میلیون ریال)	سطح مقطع فیدر در هر سطح ولتاژ (میلیمتر مربع)			توپولوژی شبکه	قیمت انرژی (ریال بر کیلووات ساعت)	عمر طرح (سال)	رشد با ر (٪)
			فشار متوسط	ولتاژ میان ی	فشار ضعیف				
22/25	تفاوت در سطح مقطع فشارمتوسط	251/74	70	-	50	مشابه شکل (4)	200	20	3
15/5	-	203/31	50	-	50	مشابه شکل (4)	100	20	3
15/2	-	289/09	50	-	50	مشابه شکل (4)	300	20	3
15/1	-	331/98	50	-	50	مشابه شکل (4)	400	20	3
14/25	تفاوت در سطح مقطع فشارمتوسط	195/04	70	-	35	مشابه شکل (4)	200	10	3
14/06	تفاوت در سطح مقطعها	224/08	70	-	50	مشابه شکل (4)	200	15	3
14/8	-	300/19	50	-	50	مشابه شکل (8)	200	25	3
14/5	-	360/27	50	-	50	مشابه شکل (5)	200	20	6
16/6	-	509/61	50	-	50	مشابه شکل (6)	200	20	9
13/3	-	665/97	50	-	50	مشابه شکل (7)	200	20	12

جدول (۸): مقایسه نتایج بدست آمده از الگوریتمهای PSO و تعیین سطح تغذیه

۷- نتیجه گیری

تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از نتایج پروژه تحقیقاتی "امکان سنجی استفاده از سطح ولتاژ میانی در شبکه توزیع برق گیلان" است که به سفارش شرکت برق منطقه‌ای گیلان در پژوهشگاه نیرو انجام شده است که بدینوسیله از حمایت‌های انجام گرفته تشکر و قدردانی می‌گردد.

همانگونه که مشاهده شد در این مقاله به موضوع طراحی شبکه توزیع بطور همزمان و در چند سطح ولتاژ و با بکارگیری دو الگوریتم تعیین سطح تغذیه و PSO پرداخته شد. از نتایج بدست آمده می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱- زمان انجام تحلیلها در الگوریتم تعیین سطح تغذیه حدوداً $3/5$ ساعت و در الگوریتم PSO حدود ۱۵ دقیقه (برای ۵۰ تکرار و با تعداد ۴۰۰ عضو) می‌باشد (سخت افزار مورد استفاده پنتیوم ۴ با سرعت $2/4$ گیگا هرتز و حافظه ۲۵۶RAM مگا بایت).

۲- هر دو الگوریتم به مسئله طراحی شبکه توزیع در چند سطح ولتاژ بطور همزمان اعمال شده و نتایج حاصله از الگوریتم PSO نشان می‌دهد که از الگوریتم فوق می‌توان در حل مسئله طراحی شبکه توزیع در چند سطح ولتاژ استفاده نمود.

۳- بررسی میزان سطح تغذیه شده توسط ولتاژ $20kV$ به کل طول فیدر به ازاء تغییرات سه پارامتر رشد بار، عمر طرح و قیمت انرژی نشان می‌دهد که با افزایش رشد بار سطح تغذیه شده با ولتاژ فشارمتوسط افزایش می‌یابد. همچنین ملاحظه می‌شود، میزان سطح تغذیه شده توسط ولتاژ فشارمتوسط حساسیت کمی نسبت به افزایش عمر مفید تجهیزات دارد. بررسی نتایج بدست آمده حاکی از آن است که با تغییر عمر مفید تجهیزات، عمدتاً سطح مقطع هادیهای فشارضعیف افزایش یافته و یا اینکه ظرفیت ترانسهای موجود در طرح تغییر می‌کنند. میزان سطح تغذیه شده توسط ولتاژ فشارمتوسط، حساسیت کمی (تقریباً بدون تغییر) نسبت به افزایش قیمت‌های انرژی در شینه ورودی نشان می‌دهد. همچنین با تغییر قیمت انرژی در شینه ورودی، تنها تغییرات ناچیزی در ظرفیت ترانسهای موجود در طرحها ایجاد می‌شود.

۴- لازم به ذکر است که در این تحلیلها هر سه سطح ولتاژ فشارمتوسط ($20kV$)، فشارضعیف ($0/4kV$)، و ولتاژ میانی ($6/6kV$)، در نظر گرفته شده بودند لیکن به دلیل هزینه بالای ترانسهای مبدل ولتاژ میانی (فشارمتوسط به ولتاژ میانی و ولتاژ میانی به فشارضعیف)، دیده می‌شود که در طرحهای شبکه بدست آمده از سطح ولتاژ میانی در هیچیک از دو الگوریتم، استفاده نشده است.

مراجع

- [1] H. L. Willis, N. Green, "Comparison of Several Computerized Distribution Planning Methods", IEEE Trans. on Power App. Syst., Vol. 104, No. 1, pp. 233-240, Jan 1985.
- [2] T. Gonen, I. J. Ramirez, "Review of Distribution System Planning Models: A Model for Optimal Multistage Planning", Proc. Inst. Elect. Eng., Vol. 133, No. 7, Dec. 1986.
- [3] H. L. Willis, et al, " Optimization Applications to Power Distribution", IEEE Comput. Appl. Power, Vol. 8, No. 4, pp. 12-17, Oct. 1995.
- [4] S. K. Khator, L. C. Leung, "Power Distribution Planning: A Review of Models and Issues", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 12, No. 3, pp. 1151-1159, Aug. 1997.
- [5] R. Sempertegui, et al, "Models and Procedures for Electric Energy Distribution Planning: A Review", 15th IFAC Triennial World Congr., Barcelona, Spain, 2002.
- [6] T. Gonen, B. L. Foote, "Distribution System Planning Using Mixed Integer Programming", Proc. Inst. Elect. Eng., Vol. 128, No. 2, Mar. 1981.
- [7] J. Boardman, C. Meckiff, "A Branch and Bound Formulation to Electricity Distribution Planning Problems", IEEE Trans. Power App. Syst., Vol. 104, No. 8, pp. 2112-2118, Aug. 1985.
- [8] D. E. Bouchard, M. M. A. Salama, "Optimal Distribution Feeder Routing and Optimal Substation Sizing and Placement Using Evolutionary Strategies", Canadian Conf. Elect. Comput. Eng., Vol. 2, Halifax, NS, Canada, 1994, pp. 661-664.
- [9] S. Mandal, A. Pahwa, "Optimal Selection of Conductors for Distribution Feeders", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 17, No. 1, Feb. 2002.
- [10] H. M. Khodr, et al, "A Model for the Optimization of Secondary Distribution Networks Using Hybrid Algorithms", Regional Meeting CIGRE, Paraguay, May 1999.
- [11] M. R. Ganjavi, "Coordinated Comprehensive Design of Distribution Systems at Medium and Low Voltage Levels", 16th Int. Conf. Exhib. Elect. Distrib., Vol. 5, June 2001.



[12] J. Kennedy, R. Eberhart, "Particle Swarm Optimization", IEEE Int. Conf. Neural Networks, Vol. 4, Perth, Australia, 1995, pp. 1942-1948.
 [13] P. Angeline, "Using Selection to Improve Particle Swarm Optimization", IEEE Int. Conf. Neural Networks, Anchorage, AK, May 1998.
 [14] Y. Shi, R. Eberhart, "A Modified Particle Swarm Optimizer", IEEE Int. Conf. Evol. Comput., May 1998, pp. 69-73.
 [15] E. Lakervi, E. J. Holmes, "Electricity Distribution Network Design", second Edition, IEE, 1995.
 [16] S. Mandal, A. Pahwa, "Optimal Selection of Conductors for Distribution Feeders", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 17, No.1, Feb. 2002.
 [17] J. P. Green, S. A. Smith, G. Strbac, "Evaluation of Electricity Distribution System Design Strategies", IEE Proc. Gener. Transm. Distrib., Vol. 146, No.1, Jan.

1999.
 [18] T. Gonen, "Electric Power Distribution System Engineering ", Newyork, Mc-Graw-Hill, 1986.
 [19] K. Dauhaniemi, A. Makinen, E. Lakervi, "Mathematical Modeling of Electricity Distribution Systems with Several Voltage Levels", IEEE, ISCAS 1988.
 [۲۰] حسن سیاهکلی، رضا روشنفکری، «طراحی شبکه توزیع در چند سطح ولتاژ با استفاده از الگوریتم تعیین سطح تغذیه». بیستمین کنفرانس بین المللی برق، تهران، ایران، آبان ماه ۱۳۸۴
 [21] R. Eberhart, Y. Shi, "Comparing Inertia Weights and Constriction Factors in Particle Swarm Optimization", in proc. Congr. Evol. Computation, 2000, pp. 84-88.

پیوست

نوع تجهیز	سطح مقطع (mm ²)	ظرفیت (A)	مقاومت (Ω/Km)	راکتانس (Ω/Km)	هزینه سرمایه گذاری (میلیون ریال بر کیلومتر)
خطوط فشار ضعیف (هادی مسی)	16	125	1/139	0/323	53
	25	160	0/746	0/317	61
	35	200	0/526	0/306	70
	50	250	0/366	0/294	84
خطوط فشار متوسط (هادی هوایی)	فکس	93	0/7822	0/2835	48
	مینک	103	0/4545	0/2664	53
	هاینا	155	0/2712	0/2464	62
	داگ	153	0/2733	0/2464	60
خطوط فشار متوسط (کابل آلومینیومی هوایی)	3×50	165	0/641	0/156	170
	3×70	195	0/443	0/145	200
	3×95	230	0/32	0/137	220
	3×120	270	0/253	0/136	250
	3×150	300	0/206	0/131	280
	3×185	345	0/164	0/127	315
خطوط ولتاژ میانی (کابل آلومینیومی هوایی)	3 × 50	165	0/641	0/149	145
	3 × 70	195	0/443	0/137	160
	3 × 95	230	0/32	0/130	180
	3 × 120	270	0/253	0/130	215
	3 × 150	300	0/206	0/125	250
	3 × 185	345	0/164	0/121	290

جدول (پ-۱): اطلاعات فنی و هزینه‌ای فیدهای استفاده شده در تحلیل‌ها

هزینه سرمایه‌گذاری پست (میلیون ریال)	راکتانس (p.u.)	مقاومت (p.u.)	ظرفیت (KVA)	نوع تجهیز
20	0/03341	0/022	25	ترانس / 6/6 ^{KV} 20 ^{KV}
23	0/03123	0/025	50	
27	0/03373	0/0215	100	
30	0/03464	0/020	125	
42٫5	0/03708	0/015	200	
44٫5	0/05730	0/0178	250	
47٫5	0/05750	0/017143	315	
54	0/05780	0/016125	400	
26	0/03123	0/025	10	ترانس / 0/4 ^{KV} 6/6 ^{KV}
26	0/02981	0/02667	15	
26	0/02646	0/030	25	
30	0/03123	0/025	50	
35	0/03373	0/0215	100	
43	0/05724	0/018	200	
46	0/0573	0/0178	250	
52	0/0575	0/017143	315	
65	0/0578	0/016125	400	
22	0/0265	0/03	25	ترانس KV / 0/4 ^{KV} 20
24	0/0312	0/025	50	
28	0/0337	0/0215	100	
29	0/0346	0/02	125	
31	0/035	0/0194	160	
33	0/0357	0/018	200	
34	0/0573	0/0178	250	
38	0/0575	0/0171	315	
41	0/0578	0/0161	400	

جدول (پ-۲): اطلاعات فنی و هزینه‌ای ترانسهای استفاده شده در تحلیل‌های هزینه سرمایه‌گذاری پست

