بازآرایی چند منظوره در شبکه‌های توزیع نامتعادل

حمید فلقی[1] مریم رمضانی[1] محمودرضا حقی‌فام[1]
محمدصادق وجدانی[2] حامد خاکباز[1]

۱- دانشگاه تربیت مدرس، بخش مهندسی برق، تهران
۲- شرکت توزیع نیروی برق استان هرمزگان، بندرعباس

واژه‌های کلیدی: شبکه توزیع- بازآرایی- نامتعادلی بار- الگوریتم ژنتیک

چکیده

بازآرایی فیدرها یکی از عملیات بهره‌برداری از شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی به خصوص در حضور سیستم اتوماسیون به شمار می‌رود. بازآرایی شبکه با اهداف و معیارهای متنوعی انجام می‌شود که کاهش تلفات یکی از عمده‌ترین آنهاست. تاکنون روش‌های مختلفی برای تغییر آرایش شبکه‌های توزیع با بار متعادل ارائه شده است. در این مقاله بازآرایی شبکه توزیع نامتعادل در قالب یک مسأله چند هدفه فرموله‌بندی ریاضی شده است که در آن کاهش تلفات, عدم تعادل بار و ولتاژ و نیز بهبود پروفیل ولتاژ به عنوان اهداف مسأله مطرح شده‌اند. برای حل مدل پیشنهادی از الگوریتم ژنتیک به عنوان ابزار بهینه‌سازی استفاده شده است. نتایج اعمال الگوریتم پیشنهادی روی یک شبکه توزیع نمونه ارائه شده است.

۱- مقدمه

شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی با توجه به مزایایی مانند جریان اتصال کوتاه کمتر و هماهنگی آسان‌تر سیستم حفاظتی، در اکثر موارد به صورت شعاعی طراحی و بهره‌برداری می‌شوند. از سوی دیگر این امر موجب کاهش قابلیت اعتماد مشترکین شده و در برخی موارد افزایش تلفات توان و انرژی و نیز افت ولتاژ در نقاط بار را به همراه دارد. در فیدرهای توزیع ادوات کلیدزنی موسوم به سکسیونرها و نقاط مانور وجود دارد که با تغییر وضعیت آنها و انتقال سکشن‌ها بین فیدرها، می‌توان ساختار شبکه را تغییر داد. در شرایط بهره‌برداری عادی معمولاً تغییر ساختار در شبکه توزیع با اهداف مختلفی همچون کاهش تلفات، بهبود پروفیل ولتاژ، تعادل بار و کاهش اضافه بار و ... انجام می‌شود.

تا کنون روش‌های مختلفی در زمینه تغییر آرایش فیدرهای توزیع با استفاده از ادوات کلیدزنی سیستم ارائه شده است. به عنوان نمونه در [۱] یک الگوریتم ابتکاری برای جستجوی ساختار بهینه با کمترین تلفات ارائه شده است. در [۲] یک روش حل مبتنی بر بخش‌بندی[1] شبکه در قالب گروه‌هایی از نقاط بار ارائه شده است که در آن تلفات خطوط میان گروه‌های مزبور کمینه می‌شود. روشی مبتنی بر جستجوی ابتکاری نیز برای تعیین برنامه کلیدزنی در شبکه با هدف دست‌یابی به ساختار با تلفات کمینه و نیز متعادل‌سازی بار پست‌های فوق توزیع ارائه شده است[۳]. در مرجع [۴] مسأله بازآرایی سیستم توزیع با هدف تعادل بار توسط روش تغییر شاخه[2] حل شده است. در مرجع [۵] نیز مسأله کاهش تلفات توسط تغییر ساختار فیدرها با بکارگیری شبکه‌های عصبی مصنوعی حل شده است. الگوریتم ژنتیک نیز در حل مسألهٔ بازآرایی سیستم توزیع بکار رفته است [۷]. روش‌هایی نیز مبتنی بر بهینه‌سازی و تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه در حل این مسأله ارائه گردیده است [۸ و۹].

در اکثر قریب به اتفاق تحقیقات انجام شده در زمینه بازآرایی، بار سیستم به صورت متعادل بین سه فاز فرض شده است و با توجه به این فرض ساختار با تلفات کمینه جستجو شده است. اما باید توجه داشت که بار سه فاز شبکه معمولاً دارای ماهیتی نامتعادل است و در بهره‌برداری از شبکه توزیع سعی می‌شود تا بکارگیری راهکارهای مختلف اثرات این عدم تعادل هر چه بیشتر کاهش یابد. تغییر ساختار فیدرها نیز می‌تواند در کاهش اثرات ناشی از عدم تعادل بار مؤثر باشد و در فضای نامتعادل تعریف شود. با حضور سیستم‌های اتوماسیون توزیع بازآرایی شبکه که یکی از از فانکشن‌های اساسی آن به شمار می‌رود، می‌تواند با توجه به عدم تعادل سیستم و کاهش اثرات نامطلوب آن برنامه‌ریزی شود. این در حالی است که تحقیق و مطالعه قابل توجهی در این زمینه انجام نشده است.

در این مقاله بازآرایی شبکه توزیع در قالب یک مسأله چند هدفه فرموله‌بندی شده است. در این مدل‌سازی چهار هدف زیر مورد توجه قرار گرفته است:

- کاهش تلفات اهمی فیدرها
- کاهش عدم تعادل توان عبوری از فیدرها
- کاهش افت ولتاژ در نقاط بار
- کاهش عدم تعادل ولتاژ

برای بهینه‌سازی مسأله از روش حل مبتنی بر الگورتیم ژنتیک که یک الگوریتم چند مسیره است و امکان یافتن بهینهٔ عمومی در آن زیاد است و همچنین در آن نگرانی از غیرخطی بودن توابع هدف و قیود وجود ندارد، استفاده شده است. نتایج حاصل از اجرای الگوریتم پیشنهادی روی یک شبکهٔ توزیع ارائه و بررسی شده است.

۲- فرموله‌بندی مسأله

همانگونه که ذکر شد بازآرایی فیدرهای توزیع با استفاده از تغییر وضعیت سکسیونرها و نقاط مانور در شرایط بهره‌برداری عادی سیستم با اهداف مختلفی انجام می‌شود. در این قسمت مسأله بازآرایی فیدرهای توزیع به صورت یک مدل چند هدفه فرموله‌بندی ریاضی شده است. در این مدل‌سازی چهار هدف مختلف لحاظ شده است که در نهایت در قالب یک مسأله چند هدفه کنار هم جای می‌گیرند. با توجه به شرایط بهره‌برداری از سیستم توزیع، می‌توان یک تعامل بهینه را در اعمال مدل مربوطه به سیستم ایجاد نمود تا اهداف مورد نظر بهره‌بردار هر چه بیشتر فراهم گردد. در ادامه مدل‌سازی ریاضی توابع هدف فوق‌الذکر ارائه شده است.

۲-۱- کمینه‌سازی تلفات اهمی

در این تابع هدف کاهش مجموع تلفات اهمی خطوط توزیع مورد نظر است که می‌توان آن را صورت زیر مدل‌سازی نمود.

1- Partitioning
2- Branch Exchange

$$f_{PL} = \sum_{i=1}^{ns} \sum_{p\in\{a,b,c\}} I_{i,p}^2 \cdot r_{i,p} \qquad (۱)$$

که در آن،

ns : تعداد سکشن‌های سیستم

$I_{i,p}$: جریان عبوری از فاز p در سکشن iام

$r_{i,p}$: مقاومت اهمی هادی فاز p در سکشن iام

همانگونه که ملاحظه می‌شود در این مدل علاوه بر عدم تعادل بار، عدم تعادل در ساختار الکتریکی شبکه نیز مدل شده است.

۲-۲- کمینه سازی عدم تعادل توان عبوری از فیدرها

در این تابع هدف کاهش کلی عدم تعادل توان (اکتیو و راکتیو) از سکشن‌های سیستم مورد توجه است. این تابع هدف به صورت زیر در قالب ریاضی مدل‌سازی شده است:

$$\text{Min} \quad f_{SU} = \sum_{i=1}^{ns} \left(\sum_{p\in\{a,b,c\}} \left| S_{i,p} - S_{i,0} \right|^2 \right)^{1/2} \qquad (۲)$$

$$S_{i,o} = \frac{1}{3} \sum_{p\in\{a,b,c\}} S_{i,p} \qquad (۳)$$

که در آن،

$S_{i,p}$: توان ظاهری عبوری از فاز p در سکشن iام

$S_{i,0}$: توان ظاهری عبوری از هر فاز سکشن iام در حالت متعادل

همانطور که ملاحظه می‌گردد نزدیک‌تر بودن توان عبوری از هر فاز در هر سکشن به توان ظاهری متعادل آن سکشن نشان‌دهنده کمتر بودن میزان عدم تعادل توان عبوری از سکشن مربوطه است. اگر توان عبوری از سه فاز در کلیه سکشن‌ها متعادل باشد میزان تابع هدف (۲) برابر صفر خواهد بود.

با توجه به محدودیت اطلاعاتی در سیستم‌های توزیع واقعی، می‌توان متعادل‌سازی را از دیدگاه توزیع امکانی انشعابات نیز مطرح و در مدل‌سازی ریاضی تابع هدف مربوطه وارد نمود.

۲-۳- کمینه سازی افت ولتاژ

بهبود پروفیل ولتاژ یا به عبارتی کاهش متوسط افت ولتاژ در نقاط بار سیستم هدفی است که در قالب این تابع مورد توجه قرار گرفته است و به صورت زیر قابل تعریف است.

$$\text{Min} \quad f_{VD} = \frac{1}{nl} \sum_{i=1}^{nl} \frac{\sum_{p\in\{a,b,c\}} \left| \frac{V - V_{i,p}}{V} \right|}{3} \qquad (۴)$$

که در آن،

nl : تعداد نقاط بار سیستم

V : ولتاژ فاز به زمین نامی سیستم

$V_{i,p}$: دامنه ولتاژ فاز p در نقطه بار iام

۲-۴- کمینه سازی عدم تعادل ولتاژ

عدم تعادل ولتاژ در نقاط بار مشکلات متعددی را برای مصرف کنندگان و سیستم بوجود می‌آورد و کاهش آن همواره یکی از اهداف بهره‌برداری بوده است. حداقل‌سازی عدم تعادل ولتاژ در نقاط مصرف یکی دیگر از اهدافی است که در مسأله تغییر آرایش سیستم توزیع به صورت زیر مدل‌سازی شده است.

$$\text{Min} \quad f_{VU} = \left(\frac{1}{nl} \sum_{i=1}^{nl} \left(\frac{V_{i,0}}{V_{i,1}} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} + \left(\frac{1}{nl} \sum_{i=1}^{nl} \left(\frac{V_{i,2}}{V_{i,1}} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \qquad (۵)$$

که در آن،

$V_{i,0}$: مؤلفه ترتیب صفر ولتاژ در نقطه بار iام

$V_{i,1}$: مؤلفه ترتیب مثبت ولتاژ در نقطه بار iام

$V_{i,2}$: مؤلفه ترتیب منفی ولتاژ در نقطه بار iام

در این تابع هدف پایین بودن عدم تعادل ولتاژ در نقاط مصرف در قالب دو ترم نشان داده شده است که به ترتیب کاهش مؤلفه‌های ترتیب صفر و منفی ولتاژ را در نقاط مصرف را در بردارد.

۲-۵- مدل چند هدفه بازآرایی سیستم

مدل ریاضی چهار تابع هدف مورد نظر مسأله بازآرایی سیستم توزیع در قسمت‌های قبل ارائه شد. از آنجایی که مقیاس چهار هدف مورد نظر با یکدیگر می‌باشد لذا بطور مستقیم نمی‌توان آنها را با هم جمع کرد. استفاده از تکنیک نرمال‌سازی یکی از راه حل‌های این مشکل است. در این مقاله برای ترکیب این چهار هدف از روش ضرائب وزنی استفاده شده است به این صورت که هر یک از توابع هدف فوق‌الذکر به صورت نرمال‌سازی شده، با ضرب در یک ضریب وزنی با یکدیگر جمع و در قالب یک مدل بهینه‌سازی چند هدفه فرموله‌بندی می‌گردد.

$$\text{Min } F = w_1 \cdot \frac{f_{PL} - f_{PL,\min}}{f_{PL,\min}} + w_2 \cdot \frac{f_{SU} - f_{SU,\min}}{f_{SU,\min}} + w_3 \cdot \frac{f_{VD} - f_{VD,\min}}{f_{VD,\min}} + w_4 \cdot \frac{f_{VU} - f_{VU,\min}}{f_{VU,\min}} \quad (۶)$$

$$\sum_{i=1}^{4} w_i = 1 \quad (۷)$$

Subject to

$$V_{min} \le V_{i,p} \le V_{mox} \; for \; p=a,b,c \; , \; i=1,2,..,nl \quad (۸)$$

$$I_{i,p} < I_{i,p}^{\max} \quad for \quad p=a,b,c \; , \; i=1,2,..,ns \quad (۹)$$

$$Radial \; structure \; of \; network \quad (۱۰)$$

که در آن:

$f_{PL,min}$: میزان کمینه تابع هدف کمینه‌سازی تلفات

$f_{SU,min}$: میزان کمینه تابع هدف کمینه‌سازی عدم تعادل بار فیدرها

$f_{VD,min}$: میزان کمینه تابع هدف کمینه‌سازی افت ولتاژ در نقاط بار

$f_{VU,min}$: میزان کمینه تابع هدف کمینه‌سازی عدم تعادل ولتاژ

w_i : ضرایب وزنی متناظر با اهداف طرح

V_{min} : حداقل ولتاژ فاز به زمین مجاز سیستم

V_{mox} : حداکثر ولتاژ فاز به زمین مجاز سیستم

$I_{i,p}$: حد مجاز بارگذاری‌ها در فاز P در سکشن i ام

در تابع هدف فوق میزان کمینه متناظر با هر یک از توابع هدف به این ترتیب به دست می‌آید که مسأله با در نظر گرفتن همان هدف به تنهایی حل می‌شود و مقداری که برای تابع هدف متناظر به دست می‌آید در واقع کمترین میزان قابل دسترس برای آن تابع هدف خواهد بود و در صورتی که مسأله به همراه دیگر اهداف حل شود قطعاً میزان تابع هدف مورد نظر از این مقدار کمینه بیشتر خواهد بود.

بهره‌بردار با توجه به شرایط سیستم و اهداف موردنظر خود می‌تواند با تغییر و تنظیم ضرایب وزنی w_1 تا w_4 حل مسأله را به سمت معیارهای موردنظر خود سوق دهد.

۳- روش حل مبتنی بر الگوریتم ژنتیک

مدل پیشنهادی بازآرایی سیستم توزیع یک مسأله غیرخطی با متغیرهای باینری است و امکان بهره‌گیری از روش‌های تحلیلی ریاضی در بهینه‌سازی آن به راحتی وجود ندارد از اینرو در این مقاله از ابزار بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک جهت مدل پیشنهادی در استفاده شده است. در این الگوریتم متغیرهای تصمیم مسأله که وضعیت کلیدهای شبکه است به صورت رشته‌هایی از ژن‌های ۰ و ۱ مدل‌سازی شده است. پس از تولید تصادفی جمعیت اولیه عملگرهای تقاطع و جهش جهت ایجاد نسل جدیدی از کروموزوم‌ها بکار گرفته می‌شوند. در عملگر تقاطع دو کروموزوم به عنوان والدین بطور تصادفی از جمعیت موجود انتخاب شده و با تبادل اطلاعات آنها از یک یا چند نقطهٔ تصادفی فرزندان تولید می‌گردند. در عملگر جهش یک یا چند ژن از کروموزوم‌های منتخب به صورت تصادفی تغییر وضعیت می‌دهند [۱۰]. پس از اعمال عملگرهای فوق با انجام پخش بار [۱۱] میزان برازش کروموزوم‌های موجود ارزیابی می‌شود. برازش هر کروموزوم متناسب با تابع هدف بازآرایی است البته برای

رعایت محدودیت‌های (۸) تا (۱۰)، عبور از حدود این قیود به صورت ضرایب جریمه در برازش لحاظ شده است. با این توضیح تابع برازش به صورت زیر می‌باشد.

$$Fit = \frac{1}{F + \sum_{i \in SC} C_i D_i}$$

که در آن

Fit : میزان برازش

F : میزان تابع هدف

C_i : ضریب جریمه متناظر با قید iام (یک عدد بزرگ)

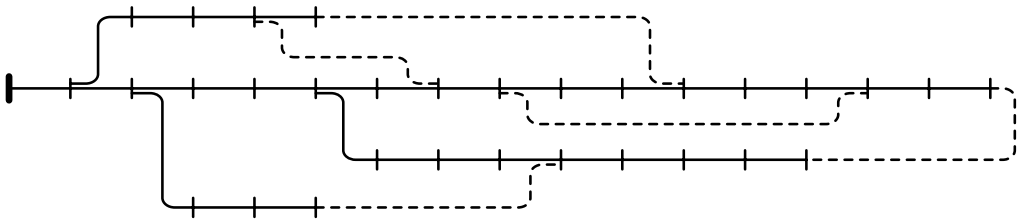
D_i : میزان تخطی از محدودیت iام

SC : مجموعه قیود مسأله است.

پس از محاسبه برازش کروموزوم‌ها به تعداد اعضای نسل قبل از میان اعضای موجود کروموزوم‌ها، جمعیت نسل جدید انتخاب می‌شوند در این انتخاب سعی می‌شود کروموزوم‌های با برازش بیشتر شانس بیشتری را برای حضور داشته باشند. مراحل فوق‌الذکر تا جایی ادامه می‌یابد که بهترین پاسخ بدست آمده در چند تکرار متوالی بهبود پیدا نکند.

۴- مطالعات عددی

برای ارزیابی کارایی مدل و روش پیشنهادی از یک شبکه توزیع نمونه که دیاگرام تک‌خطی آن در شکل (۱) نشان داده شده، استفاده شده است. اطلاعات ساختار الکتریکی و بار این شبکه توزیع در جدول (۱) آمده است. در این شبکه فرض شده است که تمامی سکشن‌ها دارای سکسیونر می‌باشند. برای نمایش کارایی الگوریتم پیشنهادی دو آزمایش زیر انجام شده است.



شکل ۱- دیاگرام تک خطی حالت اولیهٔ فیدر مورد مطالعه

جدول ۱- اطلاعات عددی فیدر مورد مطالعه

ردیف	ابتدا	انتها	R(Ohm)	X(Ohm)	P(kW)	Q(kVAr)	ردیف	ابتدا	انتها	R(Ohm)	X(Ohm)	P(kW)	Q(kVAr)
۱	۱	۲	۰/۰۹۲۲	۰/۰۴۷۰	۱۰۰	۶۰	۲۰	۲۰	۲۱	۰/۴۰۹۵	۰/۴۷۸۴	۹۰	۴۰
۲	۲	۳	۰/۴۹۳۰	۰/۲۵۱۱	۹۰	۴۰	۲۱	۳	۲۲	۰/۷۰۸۹	۰/۹۳۷۳	۹۰	۴۰
۳	۳	۴	۰/۳۶۶۰	۰/۱۸۶۴	۱۲۰	۸۰	۲۲	۲۲	۲۳	۰/۴۵۱۲	۰/۳۰۸۳	۹۰	۴۰
۴	۴	۵	۰/۳۸۱۱	۰/۱۹۴۱	۶۰	۳۰	۲۳	۲۳	۲۴	۰/۸۹۸۰	۰/۷۰۹۱	۴۲۰	۲۰۰
۵	۵	۶	۰/۸۱۹۰	۰/۷۰۷۰	۶۰	۲۰	۲۴	۶	۲۵	۰/۸۹۶۰	۰/۷۰۱۱	۴۲۰	۲۰۰
۶	۶	۷	۰/۱۸۴۲	۰/۶۱۸۸	۲۰۰	۱۰۰	۲۵	۲۵	۲۶	۰/۲۰۳۰	۰/۱۰۳۴	۶۰	۲۵
۷	۷	۸	۰/۷۱۱۴	۰/۲۳۵۱	۲۰۰	۱۰۰	۲۶	۲۶	۲۷	۰/۲۸۴۲	۰/۱۴۴۷	۶۰	۲۵
۸	۸	۹	۱/۰۳۰۰	۰/۷۴۰۰	۶۰	۲۰	۲۷	۲۷	۲۸	۱/۰۵۹۰	۰/۹۳۳۷	۶۰	۲۰
۹	۹	۱۰	۱/۰۴۴۰	۰/۷۴۰۰	۶۰	۲۰	۲۸	۲۸	۲۹	۰/۸۰۴۲	۰/۷۰۰۶	۱۲۰	۷۰
۱۰	۱۰	۱۱	۰/۱۹۶۶	۰/۰۶۵۰	۴۵	۳۰	۲۹	۲۹	۳۰	۰/۵۰۷۵	۰/۲۵۸۵	۲۰۰	۶۰۰
۱۱	۱۱	۱۲	۰/۳۷۴۴	۰/۱۲۳۸	۶۰	۳۵	۳۰	۳۰	۳۱	۰/۹۷۴۴	۰/۹۶۳۰	۱۵۰	۷۰
۱۲	۱۲	۱۳	۱/۴۶۸۰	۱/۰۵۵۰	۶۰	۳۵	۳۱	۳۱	۳۲	۰/۳۱۰۵	۰/۳۶۱۹	۲۱۰	۱۰۰
۱۳	۱۳	۱۴	۰/۵۴۱۶	۰/۷۱۲۹	۱۲۰	۸۰	۳۲	۳۲	۳۱	۰/۳۴۱۰	۰/۵۳۲۰	۶۰	۴۰
۱۴	۱۴	۱۵	۰/۵۹۱۰	۰/۵۲۶۰	۶۰	۱۰	۳۳+	۸	۲۰	۲/۰۰۰۰	۲/۰۰۰۰	–	–
۱۵	۱۵	۱۶	۰/۷۴۶۳	۰/۵۴۵۰	۶۰	۲۰	۳۴+	۹	۱۵	۲/۰۰۰۰	۲/۰۰۰۰	–	–
۱۶	۱۶	۱۷	۱/۲۸۹۰	۱/۷۲۱۰	۶۰	۲۰	۳۵+	۱۲	۲۱	۲/۰۰۰	۰/۵۰۰۰	–	–
۱۷	۲	۱۸	۰/۷۳۲۰	۰/۵۷۴۰	۹۰	۴۰	۳۶+	۱۷	۳۲	۰/۵۰۰۰	۰/۵۰۰۰	–	–
۱۸	۱۸	۱۹	۰/۱۶۴۰	۰/۱۵۶۵	۹۰	۴۰	۳۷+	۲۴	۲۸	۰/۵۰۰۰	۰/۵۰۰۰	–	–
۱۹	۱۹	۲۰	۱/۵۰۴۲	۱/۳۵۵۴	۹۰	۳۰	+ شاخه‌های باز						

جدول ۲- نتایج اجرای آزمایش‌ها

	آزمایش اول		آزمایش دوم	
	حالت ۱-۱	حالت ۱-۲	حالت ۲-۱	حالت ۲-۲
کلیدهای باز (شماره سکشن)	۱۴-۲۰-۲۱-۲۵-۲۹	۷-۹-۱۴-۲۸-۳۲	۷-۹-۱۴-۲۸-۳۲	۷-۱۰-۱۴-۲۸-۳۲
کلیدهای بسته (شماره سکشن)	۳۳-۳۴-۳۵-۳۶-۳۷	۳۳-۳۴-۳۵-۳۶-۳۷	۳۳-۳۴-۳۵-۳۶-۳۷	۳۳-۳۴-۳۵-۳۶-۳۷
(kW) f_{PL}	۲۳۳/۹۲۷	۳۱۱/۶۶۷	۱۵۸/۱۲۱	۱۵۸/۸۵۶
(kVA) f_{SU}	۸۹۴۳/۴۸	۶۱۹۵/۳۷	۲۲۵۲/۶۸۲	۲۲۴۷/۵۵۵
(%) f_{VD}	۴/۵۲۲	۲/۸۶۱	۲/۷۶۱	۲/۶۶۵
(%) f_{Vu}	۶/۲۳۳	۵/۹۴۵	۲/۰۱۱	۲/۰۱۴

آزمایش اول- در این آزمایش عدم تعادل بار میان فازهای a , b , c در نقاط مصرف به ترتیب ۰/۱ ، ۰/۲ و ۰/۷ منظور شده است و مسأله در دو حالت زیر حل شده است.

حالت ۱-۱- تنها هدف کاهش تلفات موردنظر است. به عبارت دیگر w_1=1 و مابقی ضرایب وزنی برابر صفر لحاظ شده است.

حالت ۱-۲- چهار هدف طرح با ارزش یکسان مورد نظر هستند. به عبارت دیگر $w_1=w_2=w_3=w_4=0.25$ لحاظ شده است.

نتایج حاصل از انجام این آزمایش در جدول (۲) آمده است.

آزمایش دوم - در این آزمایش عدم تعادل بار میان فازهای a ، b و c در نقاط مصرف به ترتیب ۰/۴ ، ۰/۴ و ۰/۲ منظور شده است و مسأله در دو حالت (۲-۱ و ۲-۲) همانند آزمایش اول حل شده است.

نتایج حاصل از این آزمایش نیز در جدول (۲) ارائه شده است.

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که با تغییر در ضرایب وزنی مدل پاسخ نهایی مسأله متفاوت می‌باشد. از طرفی با تغییر در میزان عدم تعادل بار در نقاط مصرف پاسخ مسأله دست‌خوش تغییر شده است.

ملاحظه می‌گردد که مدل پیشنهادی نسبت به تغییرات شرایط ورودی حساسیت نشان می‌دهد و توانسته است خود را با شرایط طرح تطبیق دهد.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک الگوریتم جدید جهت بازآرایی با اهداف چندگانه در شبکه‌های توزیع نامتعادل ارائه شد. در این مدل‌سازی اهداف کاهش عدم تعادل بار و ولتاژ و نیز بهبود پروفیل ولتاژ در کنار هدف کاهش تلفات اهمی سیستم موردنظر قرار گرفتند. با توجه به غیرخطی بودن مدل مسأله از ابزار بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک که در آن نگرانی از غیرخطی بودن توابع هدف و محدودیت‌های مرتبط با آن وجود ندارد استفاده شد و مراحل اعمال آن تشریح شد. نتایج حاصل از اجرای الگوریتم پیشنهادی در روی یک شبکه توزیع نمونه ارائه شد که کارایی مدل ارائه شده را نمایش داد. از جمله مزایای مدل پیشنهادی این است که بهره‌بردار می‌تواند با توجه به شرایط سیستم آن را در راستای کاهش تلفات سیستم، کاهش عدم تعادل یا بهبود پروفیل ولتاژ سوق دهد و تعامل بهینه‌ای میان این اهداف برقرار کند. مدل و روش پیشنهادی می‌تواند به عنوان یک فانکشن کارا در سیستم اتوماسیون شبکه‌های توزیع مورد استفاده قرار گیرد.

۶- مراجع

[1] D. Shirmohammdai, H. W. Hong, "Reconfiguration for electric distribution networks for resistive line loss reduction" *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol. 4, 1989, pp. 1910–1918.

[2] R. J. Sarfi, M. M. A. Salama, A. Y. Chikhani, "Distributon system reconfiguration for loss

reduction: an algorithm based on network partitioning theory", *IEEE Transaction on Power System*, Vol. 11, No. 1, 1996, pp. 504-510.

[3] M.E. Baran, F. F. Wu, "Network reconfiguration in distribution systems for loss reduction and load balancing", *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol. 4, No. 2, 1989, pp. 1401-1407.

[4] M. A. Kashem, V. Ganapathy, G. B. Jasmon, "Network reconfiguration for loaf balancing in distribution network", *IEE Proc Gener Transm Distrib*, Vol. 146, No. 6, 1999, pp. 563-567.

[5] S. L. Mohamed, E. A. Mohamed, A. R. Abu El Wafa, "Distribution network reconfiguration for power loss reduction using ANN", *7th International Middle East Power Systems Conference MEPCON'* 2000, Ain Shams, Egypt, 2000, pp. 250-264.

[6] S. Civanlar, J. J. Grainger, H. Yin,S. S. H. Lee, "Distribution feeder reconfiguration for loss reduction", *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol. 3, 1988, pp.1217–1223.

[7] W. M. Lin, F. S. Cheng, M. T. Tsay, "Distribution feeder reconfiguration with refined genetic algorithm", *IEE Proc Gener Transm Distrib*, Vol.147, No. 6, 2000, pp. 349–354.

[8] Y. C. Huang YC, "Enhanced genetic algorithm-based fuzzy multi-objective approach to distribution network reconfiguration", *IEE Proc Gener Transm Distrib*, Vol.149, No. 5, pp. 615–620.

[9] Hsiao Ying-Tung, "Multi-objective evolution programming method for feeder reconfiguration", *IEEE Transaction on Power System*, Vol. 19, 2004, pp. 594–600.

[10] Goldberg, E. David, “Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machin Learning”, Addison-Wesley, 1989.

[11] S. Ghosh, D. Das, "Method for load-flow solution of radial distribution networks", *Proc IEE Gener Transm Distrib*, Nov. 1999, pp. 641–648.