

## ارائه روشی هوشمند جهت بازارایی شبکه‌های اتوماسیون توزیع با در نظر گرفتن مسائل اقتصادی در حضور منابع تولید پراکنده

علیرضا اسدی<sup>۱</sup>، علی اصغر قدیمی<sup>۲</sup> و مزدک عبادی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> گروه مهندسی برق، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران، Alireza.asadi61@gmail.com

<sup>۲</sup> گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک، اراک، ایران، A-ghadimi@araku.ac.ir

<sup>۳</sup> گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک، اراک، ایران، M-ebadi@araku.ac.ir

چکیده - با رقابتی شدن بازار انرژی و پیشرفت تکنولوژی، استفاده از سیستم‌های اتوماسیون توزیع در حال افزایش است. این سیستم‌ها توانایی این را دارند که در طی شرایط و زمان‌های خاص عملکرد بهینه‌ای داشته باشند. بازارایی یکی از اصلی ترین ابزارها در سیستم‌های اتوماسیون به شمار می‌رود که در این مقاله مسئله بازارایی سیستم توزیع با هدف بهبود مسائل اقتصادی شرکت‌های توزیع توسط یک الگوریتم ابتکاری مخصوص مورد بررسی قرار گرفته است. تلفات انرژی و انرژی توزیع نشده، دو عامل بسیار مهم در افزایش خسارات مالی به شرکت‌های توزیع می‌باشند. هدف از این کار پژوهشی، کاهش خسارات واردہ به شرکت‌های توزیع بوده که با کمینه کردن دو پارامتر تلفات و انرژی توزیع نشده در هر لحظه از شرایط کاری سیستم با استفاده از تکنیک بازارایی هوشمند و منابع تولید پراکنده حاصل می‌شود. مراحل تحقیق با شیوه سازی یک سیستم تست استاندارد ۳۳ باش شروع شده و نتایج مطلوبی به همراه داشته است. در انتهای مسئله بازارایی به کمک الگوریتم ژنتیک بررسی شده و با توجه به نتایج حاصله، سرعت و دقیقیت الگوریتم ابتکاری استفاده شده مورد تایید قرار گرفته است.

کلید واژه - بازارایی سیستم هوشمند توزیع، کاهش انرژی توزیع نشده، کاهش تلفات، منابع تولید پراکنده، منافع اقتصادی.

شک روش بازارایی شبکه ارزان ترین و اقتصادی ترین روش ممکن می‌باشد زیرا در این روش نیازی به نصب تجهیزات اضافی در شبکه وجود نداشته و به راحتی با باز و بست اصولی سوئیچ‌های موجود در شبکه می‌توان عملیات بهینه سازی را با موفقیت به انجام رسانید [۵،۶].

با پیشرفت تکنولوژی، بالا رفتن سرعت پردازش کامپیوترها و ساخت تجهیزات مخابراتی هوشمند، استفاده از شبکه‌های اتوماسیون توزیع در سراسر جهان اهمیت بیشتری پیدا کرده است. در شبکه‌های اتوماسیون توزیع تمامی تجهیزات و خطوط بوسیله کلیدهای کنترل از راه دور اتوماتیک و دستی تحت مانیتورینگ هوشمند قرار دارند و شرایط شبکه در هر لحظه به صورت هوشمند رصد می‌شود. بازارایی یکی از مهمترین ابزار شبکه‌های اتوماسیون توزیع می‌باشد زیرا به راحتی می‌توان با باز و بست سوئیچ‌های کنترلی خطوط شبکه، مسیر شارش توان در شبکه را به گونه‌ای تغییر داد که تلفات کل شبکه کاهش یابد. این تغییر وضعیت کلیدها که با اهداف خاص صورت می‌گیرد و منجر به تولید توپولوژی جدید برای شبکه توزیع می‌گردد، بازارایی شبکه توزیع نامیده می‌شود. از آنجایی که شبکه‌های توزیع به صورت شعاعی مورده بهره برداری قرار می‌گیرند باید عملیات بازارایی طوری انجام پذیرد که توپولوژی جدید دارای

### ۱- مقدمه

پژوهشگران و مهندسین صنعت برق در طی سالیان گذشته تمام توان خود را برای بهینه سازی سیستم توزیع بکار گرفته‌اند تا بتوانند هزینه‌های زیاد ناشی از تلفات و قطع شدن انرژی مشترکین را به حداقل ممکن برسانند. به طور کلی پژوهش‌هایی که به منظور بهبود قابلیت اطمینان شبکه توزیع اجراء می‌شوند نیاز به سرمایه گذاری نسبتاً بالایی دارند [۱].

منابع تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع با اهداف مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرند. کاهش تلفات، بهبود قابلیت اطمینان سیستم، مسائل اقتصادی و زیست محیطی تنها بخشی از مزایای استفاده از منابع تولید پراکنده در سیستم‌های توزیع می‌باشند [۲]. منابع تولید پراکنده قابلیت اتصال به پست، فیدر توزیع و نقاط بار مشترکین را دارا می‌باشند و یکی از مهمترین مزایای آنها، قابلیت تغذیه بارها در هنگام بروز حوادث در شبکه‌های توزیع می‌باشد [۳].

یک راه کار موثر برای بهبود عملکرد سیستم توزیع، استفاده از منابع تولید پراکنده می‌باشد. روش‌های زیادی تاکنون به منظور بهینه سازی شبکه‌های توزیع بکار گرفته شده است که بی

آرایش بهینه مطلق شوند. در هر صورت محاسبات بهینه سازی متناسب با سایز شبکه، زمان برخواهد بود و مدت زمانی شاید طولانی زمان نیاز دارد تا یک آرایش بهینه برای سیستم پیشنهاد شود.

از آنجایی وضعیت بار موجود بر روی یک شبکه توزیع مرتب در حال تغییر است باید متناسب با این تغییرات، آرایش شبکه نیز به نوعی تغییر کند که شبکه در هر لحظه دارای وضعیت بهینه باشد. چنانچه به دنبال یافتن یک آرایش بهینه مطلق و یا نزدیک به آن برای شبکه باشیم، به دلیل زمان بر بودن این موضوع و تغییر مداوم بارهای شبکه در طی این زمان، ممکن است آرایش بدست آمده نتواند برای وضعیت فعلی شبکه، شرایط بهینه ای را فراهم کند و چه بسا حتی باعث بحرانی تر شدن وضعیت شبکه نیز گردد. این موضوع سبب می‌شود تا به دنبال یک روشی برای بازاری شبکه باشیم که در کوتاه‌ترین زمان ممکن بتواند یک آرایش بهینه نسبی برای شبکه پیشنهاد نماید.

بازاری شبکه توزیع با هدف یا اهداف مختلف به عنوان یک راهکار مهم عملیاتی در زمینه بهینه سازی شبکه‌های توزیع مجهز به اتوماسیون به شدت مورد توجه قرار دارد. در طی این مقاله پژوهشی قصد داریم تا روشی را رائه دهیم که بازاری شبکه توزیع را در یک زمان کوتاه با هدف کاهش تلفات و کاهش انرژی توزیع نشده به انجام رسانده و نتیجه کار طوری باشد که منجر به کاهش ضرر و زیان شرکت‌های توزیع کننده انرژی الکتریکی گردد. لازم است تاکید شود که در این کار پژوهشی، از منابع تولید پراکنده نیز در کنار تکییک بازاری هوشمند برای رسیدن به شرایط بهره برداری بهینه از سیستم توزیع، استفاده خواهد شد.

## ۲- شرح مسئله

مسئله اقتصادی هدف اصلی و اولویت دار این مقاله به شمار می‌رود. همانگونه که می‌دانیم تلفات و میزان انرژی تامین نشده دو عامل اساسی در ضرر دهی شرکت‌های توزیع به حساب می‌آیند. این دو پارامتر از آنجایی که بر حسب کیلووات محاسبه می‌شوند، پس به راحتی می‌توان مقادیر این دو را بر حسب واحد پول (دلار) بدست آورد. به این ترتیب به سادگی می‌توانیم یک تابع هدف نهایی کاملاً اقتصادی داشته باشیم. چنین تابع هدفی به وضوح نشان می‌دهد که هر چه میزان تلفات و انرژی تامین نشده در سیستم کاهش یابد، ضرر و زیان وارد به شرکت‌های

ساختار شعاعی باشد<sup>[۵]</sup>.

در شبکه‌های واقعی توزیع در هر لحظه میزان بار موجود بر روی شبکه در حال تغییر می‌باشد که هین موضوع موجب می‌شود تا نحوه شارش توان در شبکه در هر لحظه از زمان در حال تغییر باشد. به این ترتیب برای کاهش تلفات بوسیله بازاری شبکه، باید در بازه‌های زمانی مناسب و متناسب با بار موجود بر روی شبکه، با انجام بازاری یک توپولوژی بهینه برای شبکه در آن بازه زمانی خاص تولید گردد. این موضوع اهمیت بکار گیری روش‌های دینامیکی برای بهینه سازی سیستم توزیع را یادآوری می‌کند که یکی از این روش‌های دینامیکی، بازاری شبکه‌های مجهز به سیستم‌های مانیتورینگ و کلیدهای قابل کنترل از راه دور می‌باشد<sup>[۶]</sup>.

بازاری شبکه توزیع یک مسئله بهینه سازی می‌باشد که می‌تواند دارای توابع هدف یکتا یا چندگانه‌ای مانند کاهش تلفات، بهبود پروفیل ولتاژ، کاهش تعداد دفعات و مدت زمان قطع شدن مشترکین، متعادل سازی بارها روی هر فیدر، مسائل اقتصادی و غیره باشد. در مسئله بازاری شبکه توزیع قیود لازم الاجرای همچون قید شعاعی بودن، رعایت حد مجاز جریان عبوری و ولتاژ همه خطوط و برق دار بودن همه فیدرها در توپولوژی جدید باید به دقت مد نظر قرار بگیرد<sup>[۷-۱۱]</sup>.

Back و Merlin برای اولین بار ایده بازاری شبکه توزیع را در سال ۱۹۷۵ پیشنهاد کردند<sup>[۱۲]</sup>. روش ارائه شده توسط این دو دانشمند فرانسوی به این شکل بود که ابتدا همه کلیدهای شبکه بسته شده و سپس کلیدهایی که دارای جریان کمتری بودند، انتخاب و باز می‌شدند. از سال ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۰ مقالات مختلفی توسط پژوهشگران سراسر دنیا به منظور بهینه سازی شبکه توزیع با استفاده از تکنیک بازاری ارائه گردید<sup>[۱۳-۱۵]</sup>.

در این بین برخی از دانشمندان نیز از الگوریتم‌های فراابتکاری برای بازاری سیستم‌های توزیع استفاده نمودند. استفاده از الگوریتم ژنتیک، الگوریتم جستجوی ممنوعه، الگوریتم تجمع ذرات، الگوریتم کرم شبتاب باینری، الگوریتم کلونی مورچگان و غیره از جمله الگوریتم‌های فراابتکاری بودند که توسط دانشمندان مختلف به منظور بازاری شبکه‌های توزیع مورد استفاده قرار گرفتند<sup>[۱۶-۲۱]</sup>.

تمامی روش‌های ابتكاری و فراابتکاری که در طی سالیان گذشته توسط محققیق مختلف به منظور بازاری فیدر توزیع ارائه شده‌اند، به دنبال یافتن یک آرایش بهینه برای سیستم توزیع بودند. اصولاً روش‌های ابتكاری منجر به یافتن یک آرایش بهینه نسبی و روش‌های فراابتکاری ممکن است منجر به یافتن

یکی از مهمترین قیودی که باید در مسئله بازارآرایی شبکه توزیع به آن توجه نمود، رعایت حالت شعاعی تپولوژی شبکه می‌باشد. در الگوریتم استفاده شده برای حل مسئله بازارآرایی در این مقاله، بازارآرایی طوری انجام می‌شود که همیشه و در همه حال قید شعاعی بودن شبکه رعایت می‌شود. پس این قید بسیار مهم شعاعی بودن آرایش‌های جدید تولید شده، در همه حال در این روش پیشنهادی رعایت شده است و نیاز به بررسی مجدد آن وجود ندارد. همین موضوع باعث می‌شود که سرعت انجام محاسبات در این روش به طور چشمگیری افزایش یابد.

## ۲-۱- الگوریتم طراحی شده برای بازارآرایی سیستم

### توزيع

بازارآرایی شبکه توزیع با هدف یا اهداف مختلف به عنوان یک راهکار مهم عملیاتی در زمینه بهینه سازی شبکه‌های توزیع مجهز به اتوМАسیون به شدت مورد توجه قرار دارد. در طی این مقاله پژوهشی قصد داریم تا روشی را ارائه دهیم که بازارآرایی شبکه توزیع را در یک زمان کوتاه با هدف کاهش تلفات و کاهش انرژی توزیع نشده به انجام رسانده و نتیجه کار طوری باشد که منجر به کاهش هزینه‌های شرکت‌های توزیع کننده انرژی الکتریکی گردد. مراحل عملیاتی الگوریتمی که به منظور بازارآرایی شبکه توزیع در این مقاله ارائه شده است به شرح زیر می‌باشد:

مرحله ۱: با استفاده از اطلاعات سیستم توزیع، تپولوژی اولیه شبکه را شبیه سازی می‌کنیم.

مرحله ۲: از شبکه پخش بار گرفته و مقدار تلفات سیستم در تپولوژی اولیه را محاسبه می‌کنیم. شاخص قابلیت اطمینان انرژی توزیع نشده قابل انتظار (EENS) را برای تپولوژی اولیه سیستم بدست می‌آوریم. حال با مشخص بودن میزان تلفات و EENS سیستم، تابع هدف مسئله را در تپولوژی اولیه شبکه ارزیابی می‌نماییم. حال منابع تولید پراکنده که قبله جایابی و مقداریابی شده‌اند، به سیستم توزیع متصل می‌شوند.

مرحله ۳: هر خط از شبکه توسط یک سوئیچ کنترل می‌شود. اگر سوئیچ باز باشد یعنی خط مربوط به آن سوئیچ نیز باز می‌باشد. تمامی خطوطی که در تپولوژی اولیه شبکه دارای سوئیچ های باز می‌باشند، خطوط مانور یا Tie line نامیده می‌شوند که شماره سوئیچ‌های این خطوط در آرایه‌ای با نام Aopen ذخیره می‌شوند. تعداد اعضای آرایه Aopen برابر با تعداد خطوط مانور شبکه می‌باشد که با Nopen تعریف می‌شود.

مرحله ۴: متغیر  $\alpha$  مشخص کننده تعداد گام‌های بازارآرایی است. اولین گام بازارآرایی قرار است انجام پذیرد. به همین منظور

توزیع نیز کاهش خواهد یافت. در ادامه مطابق با روابط ریاضی (۱)، (۲) و (۳) به بررسی چگونگی محاسبه تلفات، انرژی تامین نشده و تابع هدف نهایی مسئله خواهیم پرداخت.

$$P_{\text{loss}} = \sum_{i=1}^{\text{Nb}} R_i \times \frac{P_i^2 + Q_i^2}{|V_i|^2} \quad (1)$$

$$EENS = \sum_{i=1}^m U_i \times P_i \quad (2)$$

$$f = (EENS \times Z) + (P_{\text{loss}} \times 8760 \times H \times D) \quad (3)$$

رابطه (۱) چگونگی محاسبه تلفات اهمی شبکه را نشان می‌دهد. با انجام پخش بار بر روی شبکه، میزان توان اکتیو (P) و راکتیو (Q) عبوری از هر خط و همچنین ولتاژ هر باس (V) مشخص می‌شود که در این هنگام با معلوم بودن مقاومت اهمی هر خط (R) به راحتی می‌توان تلفات اهمی شبکه را با استفاده از رابطه مذکور به دست آورد. رابطه (۲) مقدار انرژی توزیع نشده سیستم را محاسبه می‌کند [۲۲]. در این رابطه متغیر  $m$  بیانگر تعداد نقاط بار موجود در سیستم، پارامتر  $U$  بیانگر مدت زمان خروج نقطه بار و پارامتر  $P$  بیانگر مقدار بار اکتیو متصل به نقطه بار می‌باشد.

در نهایت تابع هدف مسئله را مطابق رابطه (۳) فرمول نویسی کرده‌ایم. متغیر  $Z$  بیانگر هزینه قطع واحد بر حسب دلار و متغیر  $M$  قیمت هر کیلو وات ساعت انرژی الکتریکی است که به دلیل تلفات در حال هدر رفتن است. متغیر  $H$  فاکتور تلفات می‌باشد که باید در تعداد ساعات یک سال (۸۷۶۰) ضرب شود تا به مانند EENS که برای یک سال محاسبه می‌شود، تلفات شبکه نیز برای مدت یک سال در بار پیک محاسبه شود [۲۳].

مسئله بازارآرایی سیستم توزیع یک مسئله بهینه سازی غیر خطی می‌باشد که باید یک سری محدودیت‌ها در آن رعایت شود. وقتی آرایش جدیدی برای شبکه بدست می‌آید باید به این موضوع دقت نمود که ولتاژ هر یک از باس‌ها و جریان عبوری از هر یک از خطوط شبکه از یک محدوده قابل قبول تجاوز نکند. این قیود لازم الاجراء توسط روابط (۴) و (۵) به نمایش در آمده است.

$$V_{\max} < V_{\text{Bus}} < V_{\min} \quad (4)$$

$$I_{\max} < I_{\text{Line}} < I_{\min} \quad (5)$$

شعاعی ارائه نماید. ویژگی اصلی این روش این است که اصراری برای یافتن آرایش بهینه مطلق در آن وجود ندارد بلکه سرعت یافتن یک آرایش بهینه که موجب بهبود حتی ۱۵ درصدی راندمان اقتصادی شبکه شود، اولویت مطلق این الگوریتم به حساب می‌آید.

کافی است اندکی تأمل داشت. چنانچه بشود با یک عملیات بازآرایی ساده میزان تلفات و EENS شبکه را حتی به مقدار ناچیز در هر توپولوژی جدید کاهش داد، برای یک مدت زمان یک سال می‌توان یک صرف جویی بسیار قابل توجه اقتصادی را به همراه آورد.

در شبکه‌های اتوماسیون توزیع که وضعیت شبکه و بار روی آن در هر لحظه در حال رصد شدن است، باید به سرعت محاسبات بازآرایی توسط سیستم‌های کامپیوتوری انجام و بهترین آرایش برای وضعیت فعلی شبکه انتخاب شود و با استفاده از سوئیچ‌های کنترل شونده موجود در شبکه، آرایش مذکور پیاده سازی شود. تمامی این مراحل باید در سریع‌ترین زمان ممکن اتفاق بیافتد زیرا ممکن است در هر لحظه وضعیت شبکه و بار موجود بر روی آن دوچار تغییراتی شود که برای بهینه کردن مجدد شبکه، نیاز به یک بازآرایی جدید احساس شود. پس مدت زمان انجام محاسبات بازآرایی یک فاکتور بسیار مهم در شبکه‌های اتوماسیون توزیع بشمار می‌رود که هر چه این زمان کوتاه‌تر باشد، قطعاً نتایج بهینه سازی شبکه رضایت‌بخش‌تر خواهد بود. الگوریتم ابتکاری بازآرایی ارائه شده در این بخش، دقیقاً همین موضوع را هدف اصلی خود قرار داده است.

### ۳- مطالعه موردنی

برای نشان دادن کارایی الگوریتم بازآرایی پیشنهادی، آن را بر روی یک شبکه تست استاندارد IEEE 33-Bus اجرا کردہ‌ایم. شبکه مذکور یک سیستم توزیع ۱۲۶۶ کیلو ولت مشکل از یک فیدر اصلی، سه فیدر جانبی، ۳۳ عدد سوئیچ بسته، ۵ عدد سوئیچ باز، ۳۳ بس و ۳۷ شاخه بوده که توپولوژی اولیه آن در شکل ۱ و اطلاعات فنی آن در [۲۴، ۹] ارائه شده است. یک واحد تولید پراکنده با قدرت ۰.۸MW به بس ۱۳ و یک واحد با قدرت ۱.۰۳۶۳MW به بس ۲۵ سیستم توزیع مورد مطالعه در موقع نیاز افزوده خواهند شد [۲۵]. فاکتور تلفات را ۰.۳۶۵ در نظر گرفته و هزینه هر کیلو وات ساعت انرژی توزیع نشده برابر با \$ ۷.۵ و قیمت هر کیلو وات ساعت برق برابر با \$ ۰.۳ تعیین شده است [۲۶].

i=1 شده و اولین عضو از آرایه Aopen انتخاب و سوئیچ مربوطه آن بسته می‌شود. این کار به این معناست که اولین خط مانور به شبکه متصل شده است.

مرحله ۵: حال باید شبکه را از محل خط مانوری که در مرحله قبل به مدار متصل شده است به سمت باس مرجع تعقیب کنیم. بهترین راه حل این است که دو مسیر را برای این کار پیمایش کنیم. مسیر اول از باس ابتدای خط مانور متصل شده، آغاز می‌شود و به سمت باس مرجع حرکت می‌کند. مسیر دوم از باس انتهای خط مانور متصل شده شروع شده و به سمت باس مرجع حرکت می‌کند. این دو مسیر در یک باس به هم متصل می‌شوند. آن باس مشترک را شناسایی می‌کنیم و آن را Bc نام گذاری می‌کنیم. یک حلقه در شبکه ایجاد شده است که این حلقه حدفاصل باس‌های ابتدا و انتهای خط مانور متصل شده و باس Bc می‌باشد. کلیه خطوط موجود در این حلقه را شناسایی کرده و شماره سوئیچ‌های خطوط مذکور را در یک آرایه با نام L ذخیره می‌کنیم. تعداد اعضای آرایه L را شمارده و با NL معرفی می‌کنیم.

مرحله ۶: در این مرحله باید برای رعایت قید شعاعی بودن شبکه حلقه‌ای که در مرحله قبل از آن صحبت شد، شکسته شود. برای شکستن این حلقه باید یکی از خطوط موجود در این حلقه باز شود. اما کدام خط باید باز شود؟ بی شک باید خطی باز شود که اهداف بازآرایی را ارضاء نماید. پس باید در این مرحله یکی یکی سوئیچ‌های موجود در آرایه L را باز و بست نموده و در هر مرحله میزان تابع هدف مسئله را ارزیابی نماییم. در نهایت آن سوئیچی که با باز شدنش می‌تواند کمترین میزان تابع هدف را برای شبکه به همراه داشته باشد، به عنوان سوئیچ منتخب (Scandid) مشخص شده و باز خواهد شد. به این ترتیب توپولوژی جدید شبکه با متصل شدن یکی از خطوط مانور موجود در آرایه Aopen (مرحله ۴) و سپس باز شدن خط منتخب (مرحله ۶) بدست می‌آید.

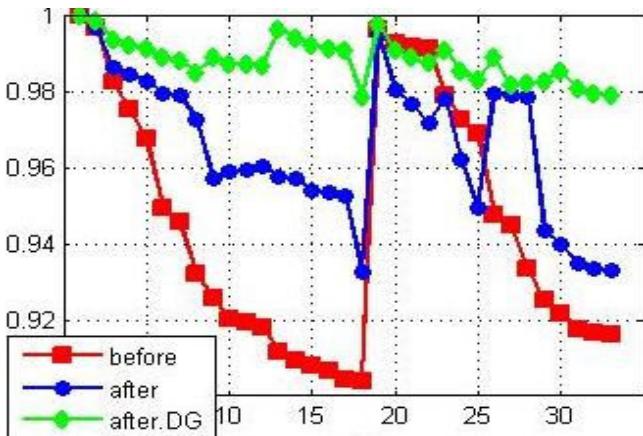
مرحله ۷: تا زمانی که تمامی خطوط مانور مورد بررسی قرار بگیرند، این پروسه کاری ادامه خواهد داشت. یعنی تا زمانی که شرط Nopen برقرار باشد، به متغیر  $N$  یک واحد اضافه شده و مراحل ۴ تا ۷ تکرار می‌شوند.

مرحله ۸: اگر شروط مذکور در مرحله ۷ برقرار نبودند، توپولوژی حاصل در مرحله ۶ به عنوان توپولوژی نهایی باید پذیرفته شود. در این مرحله عملیات بازآرایی به پایان می‌رسد. این الگوریتم ۸ مرحله‌ای می‌تواند با سرعت بی نظیری یک آرایش بهینه و یا نزدیک به آن را برای هر نوع شبکه توزیع

جدول ۲: نتایج بازارایی شبکه به کمک الگوریتم پیشنهادی با حضور DG

Reconfiguration	Before	After	Reduction %
Ploss (KW)	210.842	73.3	65.3
EENS (KW)	32990.8	3840	88
Financial Loss (\$)	247494.3	37665.85	83
Open Switches	33-34-35 36-37	7-8-12 17-26	-
Time (s)		2	-

با مشاهده مقادیر درج شده در جدول ۲ می‌توان بهوضوح نتایج به مراتب بهتری را نسبت به جدول ۱ مشاهده نمود. اطلاعات مندرج در جدول ۲ ثابت می‌کند که استفاده هم زمان از تکنیک بازارایی توسط الگوریتم پیشنهادی در حضور منابع تولید پراکنده، شرایط بهره برداری سیستم توزیع را در وضعیت بهینه تری قرار می‌دهد. در ادامه نمودار پروفیل ولتاژ را در شکل ۲ نمایش می‌دهیم. در این شکل، پروفیل ولتاژ باس‌های سیستم قبل از بازارایی و بعد از بازارایی (در دو حالت حضور و عدم حضور DG) به نمایش درآمده است.

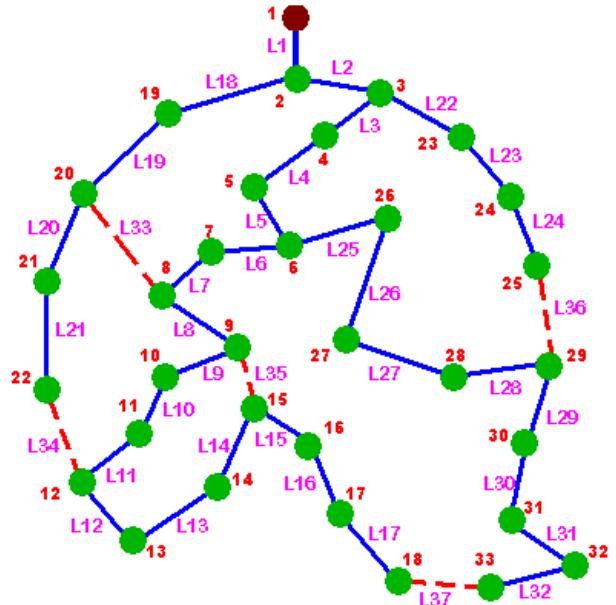


شکل ۲: نمودار پروفیل ولتاژ در شرایط مختلف

در انتهای پی بردن به سرعت بالای الگوریتم پیشنهادی، سیستم توزیع مورد مطالعه را تنها با هدف کاهش تلفات بوسیله الگوریتم فرا ابتکاری هوشمند ژنتیک تحت عملیات بازارایی قرار خواهیم داد. این کار بدون حضور منابع تولید پراکنده انجام شده و نتایج آن در جدول ۳ درج شده است.

جدول ۳: نتایج بازارایی توسط الگوریتم ژنتیک باهدف کاهش تلفات

Reconfiguration	Before	After	Reduction %
Ploss (KW)	210.842	138.2	35
Open Switches	33-34-35 36-37	7-9-14 28-32	-
Time (s)		21	-



شکل ۱: توپولوژی اولیه شبکه ۳۳ باس تست استاندارد IEEE

ابتدا به منظور بهینه سازی سیستم، فقط از تکنیک بازارایی توسط الگوریتم پیشنهادی استفاده می‌کنیم و منابع تولید پراکنده را به شبکه متصل نخواهیم کرد. جدول ۱ نتایج این مرحله را نشان می‌دهد.

جدول ۱: نتایج بازارایی شبکه به کمک الگوریتم پیشنهادی بدون حضور DG

Reconfiguration	Before	After	Reduction %
Ploss (KW)	210.842	149.601	30
EENS (KW)	32990.8	18214.2	44.7
Financial Loss (\$)	247494.3	136651.1	44.7
Open Switches	33-34-35 36-37	7-8-14 17-28	-
Time (s)		2	-

با مشاهده مقادیر درج شده در جدول ۱ می‌توان به کاهش چشم گیر مقدار ضرر و زیان مالی بعد از انجام بازارایی شبکه پی برد. نکته ای که به آن باید اشاره نمود این است که بهینه سازی صورت گرفته در این مرحله تنها با استفاده از یک عملیات محاسباتی و با باز و بسته شدن چند کلید بر روی سیستم اتوماسیون توزیع انجام شده است و از هیچ تجهیز اضافی به منظور بهینه سازی سیستم استفاده نشده است.

حال می‌خواهیم بهینه سازی سیستم توزیع را با استفاده از تکنیک بازارایی توسط الگوریتم پیشنهادی و در حضور منابع تولید پراکنده به انجام برسانیم. نتایج حاصل شده از این مرحله را در جدول ۲ درج می‌کنیم.

- [8] D. Shirmohammadi and H. W. Hong, "Reconfiguration of electric distribution networks for resistive line losses reduction," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 4, pp. 1492-1498, 1989.
- [9] M. E. Baran and F. F. Wu, "Network Reconfiguration In Distribution Systems For Loss Reduction And Load Balancing," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 4, pp. 1401-1407, 1989.
- [10] H. D. Chiang and R. Jean-Jumeau, "Optimal network reconfigurations in distribution systems. I. A new formulation and a solution methodology," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 5, pp. 1902-1909, 1990.
- [11] H. D. Chiang and R. Jean-Jumeau, "Optimal network reconfigurations in distribution systems. II. Solution algorithms and numerical results," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 5, pp. 1568-1574, 1990.
- [12] A. Merlin and H. Back, "Search for a minimal-loss operating spanning tree configuration in an urban power distribution system," in *Proc. 5th Power System Computation Conf*, Cambridge (U.K.), 1975, pp. 1-18.
- [13] C. H. Castro, J. B. Bunch, and T. M. Topka, "Generalized Algorithms for Distribution Feeder Deployment and Sectionalizing," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. PAS-99, pp. 549-557, 1980.
- [14] C. C. Liu, S. J. Lee, and K. Vu, "Loss minimization of distribution feeders: optimality and algorithms," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 4, pp. 1281-1289, 1989.
- [15] B. J. T and M. C. C, "A Branch And Bound Formulation To An Electricity Distribution Planning Problem," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. PAS-104, pp. 2112-2118, 1985.
- [16] N. Gupta, A. Swarnkar, and K. R. Niazi, "Distribution network reconfiguration for power quality and reliability improvement using Genetic Algorithms," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 54, pp. 664-671, 2014.
- [17] D.-L. Duan, X.-D. Ling, X.-Y. Wu, and B. Zhong, "Reconfiguration of distribution network for loss reduction and reliability improvement based on an enhanced genetic algorithm," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 64, pp. 88-95, 2015.
- [18] A. Y. Abdelaziz, F. M. Mohamed, S. F. Mekhamer, and M. A. L. Badr, "Distribution system reconfiguration using a modified Tabu Search algorithm," *Electric Power Systems Research*, vol. 80, pp. 943-953, 2010.
- [19] M. Assadian, M. M. Farsangi, and H. Nezamabadi-pour, "GCPso in cooperation with graph theory to distribution network reconfiguration for energy saving," *Energy Conversion and Management*, vol. 51, pp. 418-427, 2010.
- [20] H. Shareef, A. A. Ibrahim, N. Salman, A. Mohamed, and W. L. Ai, "Power quality and reliability enhancement in distribution systems via optimum network reconfiguration by using quantum firefly algorithm," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 58, pp. 160-169, 2014.
- [21] A. Swarnkar, N. Gupta, and K. R. Niazi, "Adapted ant colony optimization for efficient reconfiguration of balanced and unbalanced distribution systems for loss minimization," *Swarm and Evolutionary Computation*, vol. 1, pp. 129-137, 2011.
- [22] R. Billinton and R. N. Allan, "Reliability Evaluation of Power Systems," in *Distribution System - Basic Techniques and Radial Network*, Second ed. New York, USA: Plenum Press, 1996, pp. 220-247.
- [23] J. J. Burke, *Power Distribution Engineering: Fundamentals and Applications*: Marcel Dekker, 1994.
- [24] A. Kavousi-Fard and M.-R. Akbari-Zadeh, "Reliability enhancement using optimal distribution feeder reconfiguration," *Neurocomputing*, vol. 106, pp. 1-11, 4/15/ 2013.
- [25] S. K. Injeti, "A Pareto optimal approach for allocation of distributed generators in radial distribution systems using improved differential search algorithm," *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, 2016.
- [26] Zhang, W. Li, and S. Wang, "Reliability-oriented distribution network reconfiguration considering uncertainties of data by interval analysis," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 34, pp. 138-144, 2012.

با مقایسه مقادیر مندرج در جداول ۱ و ۲ می‌توان سرعت عمل فوق العاده سریع بازارایی توسط الگوریتم پیشنهادی را مشاهده نمود. الگوریتم زنتیک توانسته در مدت زمان ۲۱ ثانیه حدود ۵ درصد بیشتر از الگوریتم پیشنهادی، تلفات را کاهش دهد اما نکته اینجاست که الگوریتم پیشنهادی برای کاهش تلفات تنها ۲ ثانیه زمان نیاز داشته است.

#### ۴- نتیجه گیری

بار در شبکه‌های توزیع وضعیت ثابتی ندارد و در هر لحظه ممکن است چهار تغییراتی شود. استفاده از سیستم‌های اتوماسیون توزیع و بکار گیری یک الگوریتم پر سرعت به منظور بازارایی این سیستم‌ها، نقش زیادی در بهره برداری بهینه این شبکه‌ها در شرایط کاری مختلف خواهد داشت. تلفیق این روش به همراه استفاده از منابع تولید پراکنده در طی این پژوهش ثابت کرد که به طرز چشمگیری می‌توان شرایط بهره برداری سیستم توزیع را بهینه کرده و خسارت مالی ناشی از تلفات و انرژی توزیع نشده سیستم را کاهش داد.

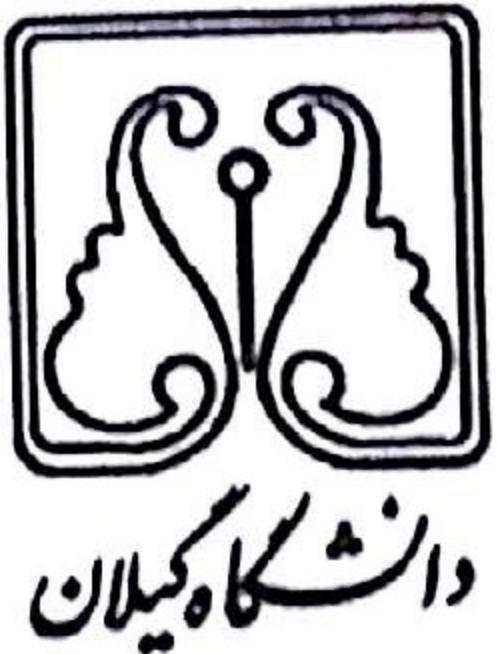
سرعت بالای الگوریتم پیشنهادی این مقاله که به منظور بازارایی شبکه نوزیع اتوماسیون ارائه شد، مهمترین نیاز این شبکه‌ها را تامین می‌کند و در هر لحظه از زمان می‌تواند بازارایی سیستم را در کمترین زمان ممکن به انجام رساند. این موضوع زمانی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند که قصد بازارایی شبکه‌های توزیع بزرگ و واقعی را داشته باشیم.

#### مراجع

- [1] P. Zhang and W. Li, "Boundary Analysis of Distribution Reliability and Economic Assessment," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 25, pp. 714-721, 2010.
- [2] P. Barker and R. W. de Mello, "Determining the impact of distributed generation on power systems: part I- radial distribution systems", IEEE summer power meeting, Bol.3, pp. 1645- 1656, 2004.
- [3] E. Vidya Sagar, P. V. N. Prasad, "Impact of DG on Radial Distribution System Reliability", Fifteenth National Power Systems Conference (NPSC), II T Bombay, December 2008.
- [4] R. J. Sarfi, M. M. A. Salama, and Y. Chikhani, "Practical aspects of performing a distribution system loss reduction study," in *Electrical and Computer Engineering. Canadian Conference on*, 1995, pp. 164-167.
- [5] M. Papadopoulos, N. D. Hatziargyriou, and M. E. Papadakis, "Graphics Aided Interactive Analysis of Radial Distribution Networks," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 2, pp. 1297-1302, 1987.
- [6] L. H. a. L. C. Fereidunian. A. R, "Distribution systems reconfiguration using pattern recognizer neural networks," *International Journal of Engineering (IJE), Transactions B: Applications*, vol. 15, No. 2, pp. 135-144, 2002.
- [7] S. Civanlar, J. J. Grainger, H. Yin, and S. S. H. Lee, "Distribution feeder reconfiguration for loss reduction," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 3, pp. 1217-1223, 1988.

پنجمین کنفرانس  
اُرُزی های تجدید پذیر  
و تولید پراکنده ایران

The 5<sup>th</sup> Iranian Conference  
on Renewable Energy &  
Distributed Generation.  
(ICREDG2017)



با سه تعالی

کواہی ارائه مقاله

پیوندیلہ کواہی می کر ددمقالہ با عنوان:

"ارائه روشی هوشمند جهت بازاریابی شبکه های اتوماسیون توزیع با در نظر گرفتن  
مسائل اقتصادی در حضور منابع تولید پراکنده"

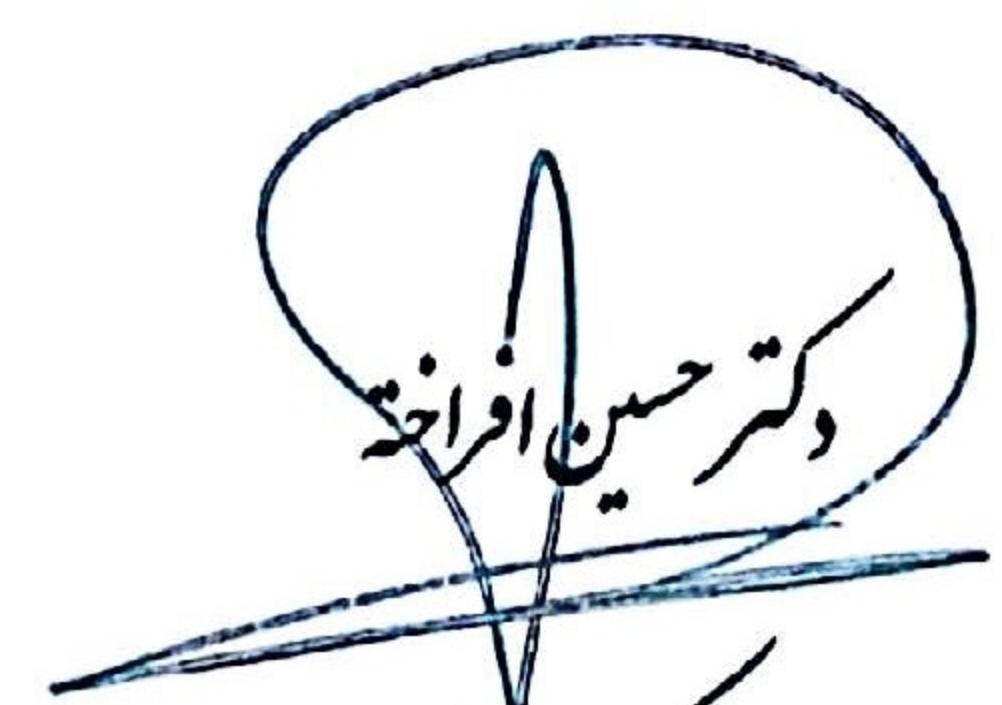
علیرضا اسدی، علی اصغر قدیمی و مزدک عبادی

در پنجمین کنفرانس ارزشی های تجدید پذیر و تولید پراکنده ایران که مورخ ۱۹ و ۲۰ آسفند ماه در  
دانشکده فنی مهندسی دانشگاه کیلان برگزار شد، با موفقیت ارائه کرد.



دکترید مسعود مقدس تفرشی

دیر علمی  
سرسری هنر



دیرکنیتہ اجرائی

برگزار کننده و مملو پردازی همایش: دانشگاه کیلان، دانشکده هنر، گروه مهندسی برق  
آدرس دیرکنیتہ: (شت. برگزاره های فلیچه هارس (کیلومتر ۵ هاده تهران)، مجتمع دانشگاه کیلان، دانشکده هنر  
فکس و تلفن تماس: ۰۲۶۹۳۳۶۹۰۴۷۹  
صندوق پستی: ۱۴۶۳۵۱۸۴