جایابی بهینه نیروگاه خورشیدی در شبکه‌های توزیع جهت بهبود تلفات و قابلیت اطمینان با استفاده از روش بهینه‌سازی چند هدفه اجتماع ذرات

یاشین حسن زاده دارانی[۱]، حسین هارون آبادی*[۲]، رسول اصغری[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی برق، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، Hassanzadeh.yashin@yahoo.com

*۲- استادیار، گروه برق- قدرت، واحد اسلامشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اسلامشهر، Hoharoonabadi@yahoo.com

۳- مربی، گروه برق- قدرت، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، R_asghari@iau-tnb.ac.ir

تاریخ ارسال: ۱۳۹۷/۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۳/۲۲

چکیده: یکی از روش‌های موثر جهت پاسخ گویی به رشد بار و تامین سطح مشخصی از قابلیت اطمینان، استفاده از منابع تولید پراکنده می‌باشد. از جمله سیستم‌های تولید پراکنده بسیار پرکاربرد ، نیروگاه‌های خورشیدی می‌باشند. به جهت اهمیت ویژه خروج سیستم از حالت عملکرد که می‌تواند حجم بالایی از مشترکین را بی‌برق نماید، شاخص‌های مختلف قابلیت اطمینان مطرح می‌گردند. نصب نیروگاه‌های خورشیدی در شبکه توزیع، ولتاژ نقاط مختلف را تحت تاثیر قرار می‌دهد؛ لذا باید مکان و میزان توان تزریقی توسط واحدهای خورشیدی در شینه‌ها به نحوی تعیین گردد که بیشترین تاثیر را از لحاظ بهبود کیفیت ولتاژ و افزایش قابلیت اطمینان در مجموعه سیستم توزیع دارا باشد. در این مقاله هدف آن است تا با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفه اجتماع ذرات جایابی مناسب برای واحد خورشیدی حاصل و در نتیجه آن بهبود تلفات سیستم و شاخص‌های قابلیت اطمینان آن تامین شود. روش پیشنهادی با استفاده از نرم‌افزار MATLAB بر روی سیستم روی بیلینتون (RBTS) اعمال شده است.

نتایج به دست آمده نشان می دهد نیروگاه های خورشیدی با توجه به مشخصات، تکنولوژی و مکان اتصال به شبکه، می توانند تأثیرات مثبتی از جمله بهبود قابلیت اطمینان و بهبود کیفیت ولتاژ روی شبکه های توزیع بوجود آورند.

واژه‌های کلیدی: سیستم تولید توان خورشیدی، جایابی بهینه، الگوریتم بهینه سازی اجتماع ذرات، سیستم توزیع، قابلیت اطمینان

۱- مقدمه

تأمین انرژی و مسائل پیرامون آن از دیرباز یکی از چالش‌های اساسی بشر بوده و در قرون اخیر، پس از کشف انرژی الکتریکی و توسعه آن و همگام با رشد بهداشت و جمعیت بشری، مورد توجه روزافزون قرار گرفته است [۱-۳]. از طرفی در شبکه‌های توزیع امروزی نیز، به خصوص با روند رو به رشد خصوصی‌سازی و رقابتی شدن بازار برق، هدف اولیه شرکت‌های توزیع، پایین آوردن هزینه‌های مربوط به بهره‌برداری، نگهداری و توسعه شبکه و همزمان بالا بردن قابلیت اطمینان شبکه، کیفیت برق و رضایت بیشتر مشترکین می باشد [۴-۷].

مرجع [۸] جنبه جدیدی را در جایابی منابع خورشیدی بیان می‌کند که کمتر مورد توجه قرار گرفته است. با استفاده از روش ارائه شده در این مسئله، مناسب ترین محل برای تعداد مشخصی واحد خورشیدی که می‌بایست به دلایل استراتژیک در شبکه قرار گیرند، مشخص می‌گردد. مرجع [۹] نیز به ارائه یک روش آنالیز تحلیلی برای

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 4 -No. 1- autumn 2015 & winter 2016

[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.2.6.1]

تعیین محل و اندازه بهینه منابع خورشیدی در سیستم قدرت می‌پردازد. در این مقاله هدف از بکارگیری واحدهای خورشیدی کاهش تلفات توان در سیستم توزیع می باشد. همچنین در مراجع [۱۰ و ۱۱] روشی برای جایابی واحدهای خورشیدی به منظور کاهش تلفات شبکه‌های فوق توزیع و انتقال ارائه شده است. در [۱۲] تعیین مکان و سایز بهینه واحدهای خورشیدی در شبکه توزیع با هدف حداقل‌سازی تلفات و هزینه بررسی شده است. در [۱۳] تعیین سایز و مکان بهینه واحدهای خورشیدی در شبکه توزیع مطالعه شده است.

جایابی نامناسب واحدهای خورشیدی نه تنها قابلیت اطمینان سیستم را افزایش نخواهد داد، بلکه عملکرد سیستم را با مشکل مواجه خواهد کرد. یکی از روش‌ها برای پاسخ‌گویی به رشد بار و نیز تامین سطح مشخصی از قابلیت اطمینان، استفاده از منابع تولید پراکنده است. از جمله سیستم‌های تولید پراکنده بسیار پرکاربرد نیروگاه‌های خورشیدی می‌باشند. سیستم‌های تولید توان خوشیدی به علت سهولت استفاده، نصب آسان و تجهیزات جانبی مورد نیاز کم، جایگاه ویژه‌ای در منابع تولید پراکنده و به ویژه در میان منابع تجدیدپذیر پیدا کرده‌اند. نیروگاه‌های خورشیدی با توجه به مشخصات، تکنولوژی و مکان اتصال به شبکه، می‌توانند تأثیرات مثبتی از جمله بهبود قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع را موجب شوند. لذا با افزایش استفاده از نیروگاه‌های خورشیدی و همچنین بهبود مسائل فنی و اقتصادی، مسائلی مانند تعیین ظرفیت و مکان اتصال واحدهای خورشیدی به شبکه مورد بررسی قرار گرفته اند.

در این مقاله قصد آن است تا روشی مناسب برای جایابی نیروگاه‌های خورشیدی ارائه شود. روش ارائه شده در این مقاله مبتنی بر الگوریتم بهینه سازی چند هدفه اجتماع ذرات یا همان PSO با هدف بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان شبکه می‌باشد. اما از آنجا که در جایابی و تعیین ظرفیت نیروگاه‌های خورشیدی با چندین معیار شاخص‌های قابلیت اطمینان شبکه، تلفات و سود سیستم روبرو هستیم، بهترین انتخاب از لحاظ تعداد، ظرفیت و مکان نصب واحدها با استفاده از روش‌های مبتنی بر بهینه‌سازی چند هدفه حاصل خواهد شد. روش پیشنهادی با استفاده از نرم‌افزار MATLAB بر روی سیستم روی بیلینتون (RBTS) اعمال شده و نتایج به دست آمده ارائه شده است.

۲- مدلسازی سیستم

در این مقاله از الگوریتم بهینه‌سازی فرا ابتکاری برای حل مساله جایابی استفاده شده است. با توجه به ماهیت چند تابع هدف بودن مساله مورد نظر، الگوریتم انتخابی بایستی توانایی حل مسائل تابع چند هدفه را نیز دارا باشد. از این رو در این تتحقیق از الگوریتم تجمعی ذرات مبتنی بر بهینه‌سازی چند هدفه (MOPSO) برای فرآیند بهینه‌سازی استفاده شده است. در ادامه به بررسی الگوریتم پیشنهادی پرداخته می‌شود.

۲-۱- فرمول‌بندی مساله

یکی از مهم‌ترین مزایای توسعه منابع تولیدات پراکنده مانند منابع PV را می‌توان بهبود قابلیت اطمینان شبکه دانست. به طوریکه با افزایش نفوذ این منابع در شبکه‌های توزیع در زمان‌های وقوع خطا با انجام کلیدزنی‌های مناسب می‌توان بخش خطادار را جدا کرده و با تامین مجدد مصرف‌کنندگان از طریق این منابع، مدت زمانی خاموشی مشترکین و در نتیجه هزینه‌های مربوطه را کاهش داد. همچنین یکی دیگر از مهم‌ترین دلایل استفاده از تولید پراکنده امکان نزدیکی آنها به مصرف‌کنندگان است تا بتوان با این کار تلفات توان را کاهش داد. در این قسمت برخی از شاخصهای قابلیت اطمینان توزیع که مورد استفاده قرار گرفته اند، معرفی می‌شوند.

شاخص SAIFI بیانگر تعداد قطعی متوسط سیستم بوده و به صورت رابطه (۱) بیان می‌شود که برابر نسبت کل تعداد قطعی‌های مشترکین ($\sum_{i=1}^{k} N_i$) بر کل تعداد مشترکین (NT) می‌باشد..

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^{k} N_i}{N_T} \qquad (۱)$$

شاخص SAIDI زمان قطعی متوسط سیستم بوده و بیانگر مدت زمان متوسطی است که هر مشترک تحت مطالعه به انرژی الکتریکی دسترسی ندارد. این شاخص به صورت رابطه (۲) بیان می‌شود که برابر نسبت مجموع زمان‌های قطعی مشترکین (riNi) بر کل تعداد مشترکین (NT) می‌باشد..

$$SAIDI = \frac{\sum r_i N_i}{N_T} \qquad (۲)$$

شاخص دیگر شاخص زمان قطعی متوسط مشترک (CAIDI) می‌باشد. این شاخص متوسط زمان لازم برای بازیابی سرویس مشترکان را نشان می‌دهد و به صورت رابطه (۳) بیان می‌شود.

$$\mathrm{CAIDI} = \frac{\sum r_i N_i}{\sum N_i} = \frac{SAIDI}{SAIFI} \qquad (۳)$$

شاخص‌هایی که تاکنون بررسی شد به وضعیت مشترک و خاموشی آن اشاره می‌کرد، بدون آنکه به انرژی از دست رفته و یا میزان توان تأمین نشده ناشی از قطعی اشاره‌ای کنند. یکی از مهم‌ترین شاخص‌های قابلیت اطمینان، شاخص انرژی تامین نشده (ENS) است. با بدست آوردن این شاخص می‌توان مقدار انرژی که در اثر قطعی به مشترکین تحویل داده نشده است را تعیین کرد.

$$ENS = \sum_{i=1}^{N_L} R_i \times L_i \qquad (۴)$$

در این رابطه Li مقدار بار متوسط و R_i زمان خاموشی می‌باشد [۱۴].

بهبود تلفات شبکه توزیع از دیگر اهداف مورد نظر این مقاله در کنار اهدافی مانند هزینه نصب و بهبود قابلیت اطمینان است. برای محاسبه تلفات در شبکه توزیع نیاز به انجام محاسبات پخش بار

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 4 -No. 1- autumn 2015 & winter 2016

[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.2.6.1]

خواهد بود. با توجه به ویژگی‌های متفاوت شبکه توزیع مانند نسبت R/X بالا در خطوط شبکه، بارگذاری زیاد در شین‌های شبکه، نامتعادلی بار، تعداد شین‌های PQ بالا نمی‌توان از روش‌های پخش بار مرسوم مانند گوس-سایدل و نیوتون رافسون در شبکه توزیع استفاده نمود. لذا برای محاسبه تلفات و همچنین بررسی محدودیت‌های ولتاژی شین‌های شبکه از روش جاروب رفت و برگشتی استفاده می‌گردد [۱۵].

۲-۲- قیود مساله

قیود مساله بررسی شده در این مقاله، به‌صورت روابط زیر ارائه می‌شوند.

۱- قیود امنیتی ولتاژ شین‌های شبکه: بهره‌برداری مناسب از سیستم قدرت مستلزم ثابت نگه‌داشتن پروفیل ولتاژ در شین های شبکه می‌باشد. این محدودیت در یک بازه بالا و پایین به‌صورت زیر فرمول‌بندی شده است:

$$V_{\min}^{i} \le V^{i} \le V_{\max}^{i} \qquad (۵)$$

۲- قیود امنیتی محدودیت حرارتیخطوط توزیع: محدودیت حرارتی خطوط توزیع ناشی از عبور جریان از خطوط نیز از جمله قیود لازم جهت افزایش قابلیت اطمینان می باشد. با توجه به این مسئله محدودیت حرارتی باید رعایت شود تا آسیبی به خطوط انتقال نرسد و این قید با رابطه زیر نشان داده شده است:

$$\left|S_{Li}\right| \le S_{Li,\max} \qquad (۶)$$

در رابطه فوق S_{Li} توان عبوری از خط iام و حد قابل تحمل خط iام می‌باشد.

۳- الگوریتم پیشنهادی

الگوریتم PSO یک الگوریتم جستجوی اجتماعی است که از روی رفتار اجتماعی دسته‌های پرندگان مدل شده است. این الگوریتم برای حل مسایل بهینه‌سازی غیرخطی با متغیرهای پیوسته ایجاد شده است. در این مقاله هر دو روش بهینه‌سازی تک هدفه و چند هدفه مورد استفاده قرار می گیرند. از این رو در این قسمت، نحوه بهینه‌سازی چند هدفه مورد بررسی قرار گرفته است. مسائل بهینه‌سازی چند هدفه معمولاً با توجه به توابع هدف مختلف، جواب‌های متنوعی دارند که هیچ یک از جواب‌ها بر دیگری غالب نمی‌باشند. برای بدست آوردن جواب‌های این مسئله دو دسته از روش‌ها پیشنهاد شده است. دسته اول، روش‌هایی هستند که مسئله چند هدفه را با ترکیب توابع هدف تبدیل به مسئله‌ی تک هدفه می‌کنند که معروفترین روش در این دسته روش مجموع وزن‌دار می‌باشد. دسته دیگر از روش‌های حل مسائل چند هدفه، روش‌هایی هستند که جواب‌های مسئله را با استفاده از مفهوم غالب بودن و با توجه به تمام توابع هدف مسئله بدست می‌آورند که معمولاً روش‌های موثرتری می‌باشند. از مهمترین این روش‌ها می‌توان به روش بهینه-سازی چند هدفه ژنتیک (NSGAII) و بهینه‌سازی چند هدفه اجتماع ذرات (MOPSO) اشاره نمود.

در این مقاله برای انتخاب تصادفی بهترین پاسخ‌ها (Best Global) از سطح پارتو از جدول‌بندی فضای پاسخ و اختصاص تابع توزیع احتمال به هر یک از خانه‌های ایجاد شده استفاده می‌شود. بنابراین در این شرایط احتمال انتخاب هر یک از خانه‌های جبهه پارتو از معادله زیر محاسبه می‌شود [۹و۱۰]:

$$P(i) = \frac{e^{-\beta N_i}}{\sum_{k=1}^{N_{Pareto}} e^{-\beta N_k}} \qquad (۷)$$

در معادله فوق $P(i)$ احتمال انتخاب خانه iام، N_i تعداد اعضای جبهه پارتو در خانه iام، N_{pareto} کل خانه‌هایی که اعضای جبهه پارتو در آن‌ها قرار دارند و β ضریب انتخاب می‌باشد.

به طور کلی فرایند بهینه‌سازی در روش‌های فرا ابتکاری به ترتیب مراحل زیر می‌باشد [۱۶]:

- ایجاد جمعیت اولیه که هر عضو جمعیت نماینده یک جواب احتمالی مسئله می‌باشد.
- ارزیابی جمعیت با استفاده از توابع هدف مسئله
- انتخاب اعضای برتر جمعیت از میان جمعیت اصلی
- ارتقاء و بهبود اعضای برتر جمعیت با استفاده از عملگرهای مختلف
- انتخاب اعضای جمعیت اصلی جدید از بین جمعیت اصلی و اعضای ارتقاء یافته
- اتمام الگوریتم در صورت برآورده شدن شرط خاتمه و در غیر اینصورت بازگشت به مرحله سوم

به منظور مکان‌یابی و تعیین ظرفیت مناسب منابع PV در شبکه توزیع، ساختاری مشابه آرایه جدول (۱) برای هر ذره در فضای جستجو در نظر گرفته شده است. تعداد خانه‌های این آرایه، مکان‌های کاندید مناسب برای نصب منابع خورشیدی را نشان می‌دهند. در صورتی که تعداد این خانه‌ها برابر تعداد شین‌های شبکه توزیع باشد، به این معنی خواهد بود که در تمامی شین‌ها امکان نصب وجود دارد. همچنین مقادیر هر خانه نیز نشان‌دهنده ظرفیت در نظر گرفته شده برای نصب منبع PV در آن مکان را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر، جهت انجام محاسبات پخش بار و قابلیت اطمینان در شبکه توزیع، از مقادیر ظرفیت متوسط قابل اعتبار با توجه به مقادیری که برای هر ذره در خانه‌های مربوطه در جدول (۱) داده شده است، استفاده خواهد شد. این جدول به صورت تصادفی و بر اساس مقدار میانگین مورد نظر جهت نصب توان خورشیدی انتخاب شده و در حل مسئله از آن استفاده می‌شود.

جدول (۱): ساختار اعضای جمعیت در مساله مکان‌یابی منابع PV

۱۴۰	۱۲۰	...	۲۰۰	۱۵۰

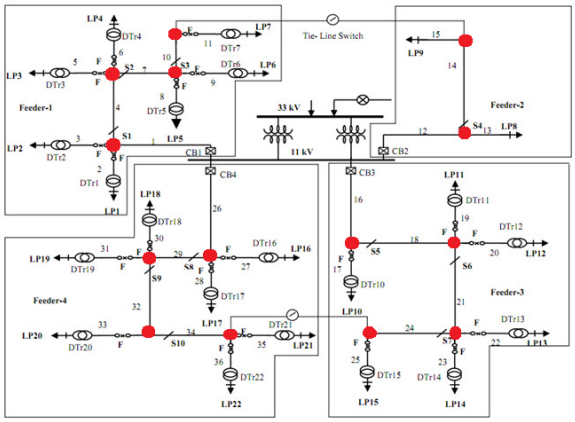
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 4 -No. 1- autumn 2015 & winter 2016

[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.2.6.1]

۴- شبیه سازی عددی

شبکه در نظر گرفته شده در این مقاله، شبکه توزیع تست RBTS می‌باشد. همان‌طور که در شکل (۱) نشان داده شده است، شبکه مورد نظر در سطح ولتاژ ۱۱ کیلوولت بوده و دارای ۲۲ نقطه بار می‌باشد. اطلاعات مربوط به طول بخش‌های خطوط، مقدار متوسط و تعداد مشترکین بارهای شبکه، محل سکسیونرهای شبکه و همچنین نرخ خرابی و زمان تعمیر المان‌های شبکه به ترتیب در جداول (۲) الی (۵) آورده شده است. همچنین مطابق شکل ۱، ۱۴ نقطه کاندید برای نصب منابع PV در نظر گرفته شده است.



شکل (۱): دیاگرام تک خطی شبکه توزیع تست RBTS

جدول (۲): طول سکشن‌های فیدرهای شبکه

طول (km)	شماره فیدر			
	فیدر ۱	فیدر ۲	فیدر ۳	فیدر ۴
۰/۶	۱۰-۶-۲	۱۴	۲۵-۲۱-۱۷	۳۴-۳۰-۲۸
۰/۷۵	۹-۷-۴-۱	۱۲	۲۴-۲۲-۱۹-۱۶	۳۵-۳۲-۲۹-۲۷
۰/۸	۱۱-۸-۵-۳	۱۵-۱۳	۲۳-۲۰-۱۸	۳۶-۳۳-۳۱-۲۶

جدول (۳): اطلاعات مربوط به نقاط بار شبکه

شماره بار	بار هر مشترک (MW)	تعداد مشترک هر نقطه بار
۱۱-۱۰-۳-۲-۱	۰/۵۳۵	۲۱۰
۱۹-۱۸-۱۷-۱۲	۰/۴۵۰	۲۰۰
۸	۱	۱
۹	۱/۱۵	۱
۲۱-۲۰-۱۴-۱۳-۵-۴	۰/۵۶۶	۱
۲۲-۱۶-۱۵-۷-۶	۰/۴۵۴	۱۰

جدول (۴): مکان سکسیونرهای شبکه

شماره فیدر	مکان سکسیونرها
فیدر ۱	۱۰-۷-۴
فیدر ۲	۱۴
فیدر ۳	۲۴-۲۱-۱۸
فیدر ۴	۳۴-۳۲-۲۹

جدول (۵): داده‌های قابلیت اطمینان المان‌های شبکه

نوع تجهیز	$\lambda(failures/yr)$	r(hr)
ترانسفورماتور ۱۱ به ۰/۴۱۵ کیلوولت	۰/۰۱۵۰	۲۰۰
خطوط ۱۱ کیلوولت	۰/۰۶۵۰	۵

با توجه به اینکه منابع PV تنها قادر به تولید توان اکتیو می‌باشند، فرض شده است که در جزیره‌های ایجاد شده پس از وقوع خطا، توان راکتیو مورد نیاز بارها از طریق منابع محلی مانند خازن‌ها در هر نقطه بار تامین می‌شود. مقاومت خطوط شبکه نیز برابر ۰/۱ اهم در هر کیلومتر در نظر گرفته شده است. هزینه‌های خاموشی برابر ۲ دلار به ازای هر کیلووات ساعت، هزینه تلفات برابر ۰/۰۵ دلار به ازای هر کیلووات ساعت و طول دوره مطالعه نیز برابر ۷ سال در نظر گرفته شده است.

همان‌طور که گفته شد، ۱۴ نقطه کاندید مطابق شکل (۱) جهت نصب منابع PV در نظر گرفته شده است؛ به طوری که چهار نقطه کاندید اول، روی فیدر شماره یک می‌باشد، دو نقطه کاندید بعدی روی فیدر شماره دو، چهار نقطه کاندید بعدی (از شماره هفت الی ۱۰) روی فیدر شماره سه و در نهایت چهار نقطه کاندید آخر (از شماره ۱۱ الی ۱۴) نیز روی فیدر شماره چهار می‌باشد.

ظرفیت قابل نصب از منابع PV در هر نقطه کاندید نیز به صورت گسسته می‌باشد که در این مقاله ۱۲ ظرفیت قابل نصب برای این منابع در نظر گرفته شده است. این ظرفیت‌ها در جدول (۶) آورده شده است. همچنین هزینه‌های مربوط به توسعه هر کیلووات از این منابع نیز برابر ۳۰ دلار در نظر گرفته شده است.

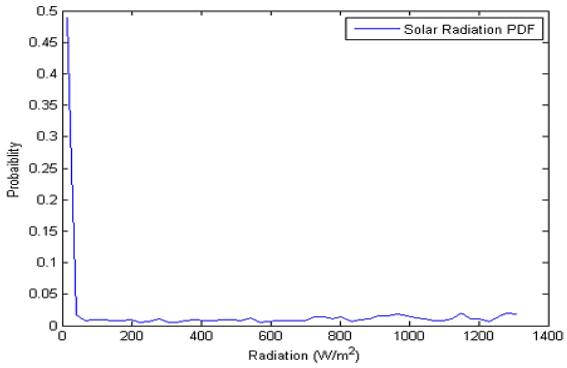
جدول(۶): ظرفیت‌های قابل نصب برای منابع PV بر حسب MW

شماره	۱	۲	۳	۴	۵	۶
ظرفیت(MW)	۰	۱	۱/۵	۲	۲/۵	۳
شماره	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
ظرفیت(MW)	۳/۵	۴	۴/۵	۵	۵/۵	۶

در این مقاله به‌منظور مدلسازی عدم‌قطعیت منابع خورشیدی از اطلاعات شدت تابش ایالت کالیفرنیا در سال ۲۰۱۲ استفاده شده است[۱۷]. بر اساس این اطلاعات تابع توزیع احتمال تابش نور

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 4 -No. 1- autumn 2015 & winter 2016
[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.2.6.1]

خورشید مطابق شکل (۲) می‌باشد. با توجه به این موضوع که ظرفیت منابع خورشیدی به عنوان یکی از متغیرهای تصمیم‌گیری وارد مسئله شده است، لذا مطابق با ظرفیت انتخابی توسط الگوریتم بهینه‌سازی، مشخصه توان تابش واحدهای تولیدی فتوولتائیک تغییر پیدا می‌کند. بنابراین در الگوریتم بهینه‌سازی مکان و ظرفیت سیستم فتوولتائیک به صورت تصادفی ایجاد می‌شوند.



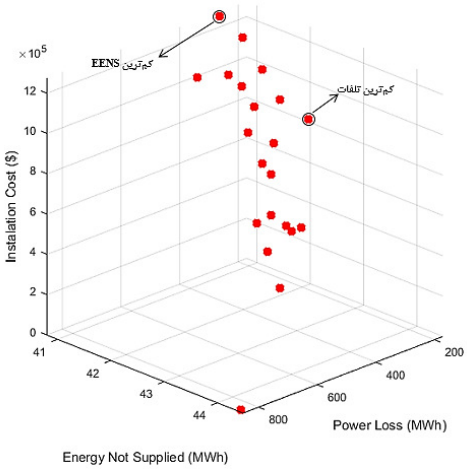
شکل (۲): تابع توزیع احتمال تابش نور خورشید بر اساس اطلاعات تابش خورشید در کالیفرنیا

در این بخش نتایج حاصل از شبیه‌سازی سیستم در سه حالت بهینه‌سازی چند هدفه و روش تک هدفه بدون در نظر گرفتن عدم قطعیت و با در نظر گرفتن عدم قطعیت برای بارها مورد بررسی قرار می‌گیرند.

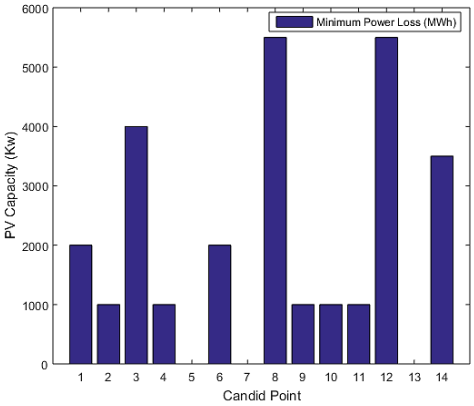
۴-۱- بهینه‌سازی چند هدفه

در این حالت نیازی به تبدیل هر یک از اهداف به هزینه نیست و بهینه‌سازی خود اهداف در الگوریتم مد نظر قرار می‌گیرند. سه هدف هزینه نصب، تلفات و میزان EENS در نظر گرفته شده است. پس از تولید جمعیت اولیه سطح پارتوی اولیه مسئله محاسبه شده و بر این اساس موقعیت نسل جدید بروزرسانی می‌شود. در هر تکرار الگوریتم سطح پارتو محاسبه و بروزرسانی می‌شود. این فرآیند تا محاسبه سطح پارتوی نهایی مسئله تکرار می‌شود. با اجرای الگوریتم بهینه‌سازی، سطح پارتوی مسئله با ۲۰ عضو مطابق با شکل (۳) محاسبه می‌شود. در این شکل سه عضو پارتوی مسئله با کمترین مقدار تلفات، کمترین مقدار EENS و کمترین هزینه نصب نشان داده شده است.

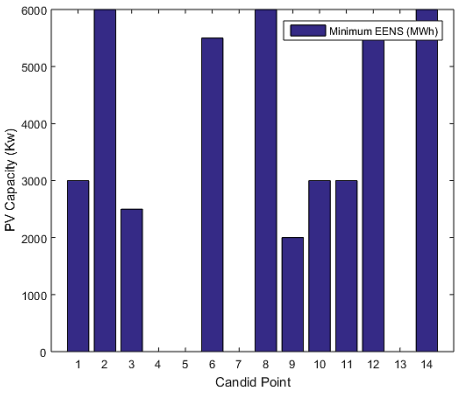
اطلاعات مربوط به ظرفیت نصب شده در هر یک از شین های شبکه برای سه عضو پارتوی مسئله که در شکل (۳) نشان داده شده است، در شکل‌های (۴) و (۵) ارائه شده اند. همچنین مقادیر توابع هدف در هریک از این سه عضو در جدول (۷) ارائه شده است.



شکل (۳): سطح پارتوی مسئله



شکل (۴): ظرفیت نصب شده در نقاط کاندید در عضوی با کمترین تلفات انرژی



شکل(۵): ظرفیت نصب شده در نقاط کاندید در عضوی با کمترین میزان EENS

جدول (۷): مقادیر تابع هدف در سه عضو پارتوی مسئله

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 4 -No. 1- autumn 2015 & winter 2016

[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.2.6.1]

	تلفات (MWh)	EENS (MWh)	هزینه نصب (دلار)
عضو پارتو با کم‌ترین هزینه نصب	۸۴۲/۴۱	۴۴/۳۸۳	صفر
عضو پارتو با کم‌ترین تلفات	۱۸۱/۹۲	۴۲/۰۱	۸/۲۵ ×۱۰۵
عضو پارتو با کم‌ترین EENS	۲۸۳/۴۶	۴۰/۹۰	۱۲/۷۵ ×۱۰۵

همان‌طور که انتظار می‌رود در عضوی با کم‌ترین هزینه نصب واحدهای فتوولتائیک، در حالت بهینه هیچ ظرفیتی در شین‌های شبکه نصب نمی‌شود. در این شرایط بیشترین مقدار تلفات انرژی و همچنین میزان EENS وجود خواهد داشت. در مقابل، رسیدن به کمترین EENS و تلفات مستلزم نصب واحدهای فتوولتائیک و در نتیجه صرف هزینه می‌باشد. به طوری که به منظور بهبود حداکثری قابلیت اطمینان سیستم، هزینه‌های نصب به مقدار ماکزیمم ۱۰۵× ۱۲/۷۵ رسیده است.

۴-۲- روش تک هدفه بدون در نظر گرفتن عدم قطعیت برای بارها

در روش تک هدفه تمامی اهداف مورد نظر ابتدا به هزینه تبدیل شده و جمع هزینه‌ها به صورت یک هدف در الگوریتم مربوطه مدل می‌شوند. برای تبدیل تلفات انرژی و انرژی تامین نشده به هزینه از روابط زیر استفاده شده است [۱۸].

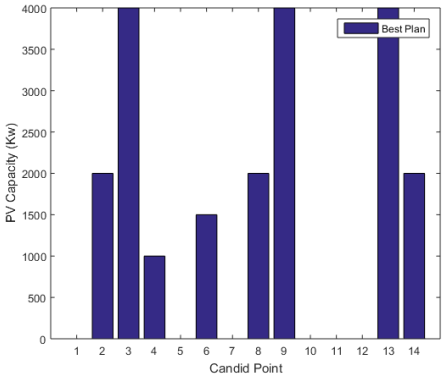
$$EENS_Cost = EENS \times 1000 \times n \times C_1 \quad (۸)$$

$$Loss_Cost = Loss \times 1000 \times 8760 \times n \times C_2 \quad (۹)$$

$$Obj = INnst_Cost + Loss_Cost + EENS_Cost \quad (۱۰)$$

در معادلات بالا C_1 و C_2 به ترتیب برابر هزینه خاموشی و تلفات به ازای هر کیلووات ساعت می‌باشند که در این مساله به ترتیب برابر ۲ و ۰/۵ در نظر گرفته شده‌اند. همچنین n نیز برابر تعداد سال‌های مطالعه می‌باشد که برابر ۷ قرار داده شده است. معادله (۱۰) نیز تابع هدف در نظر گرفته را نشان می‌دهد که در این حالت مجموع هزینه‌های مربوط به تلفات، قابلیت اطمینان و هزینه‌های توسعه منابع PV می‌باشد.

نتایج مربوط به ظرفیت‌های انتخاب شده برای منابع PV در نقاط کاندید برای طرح بهینه در شکل (۶) آورده شده است. همچنین نتایج مربوط به هزینه‌های توسعه، هزینه تلفات و هزینه قابلیت اطمینان، و مقادیر تلفات شبکه و EENS در طول یک سال و دیگر شاخص‌های قابلیت اطمینانی در جدول (۸) ارائه شده اند.



شکل (۶): ظرفیت‌های بهینه انتخاب شده برای منابع PV

جدول(۸): نتایج مربوط به طرح بهینه

هزینه‌های توسعه (دلار)	۶۱۵۰۰۰
هزینه‌های تلفات (دلار)	۶۸۵۲۸۹/۶۹
هزینه‌های قابلیت اطمینان (دلار)	۵۸۹۶۴۸/۶۵
میزان تلفات (MWh)	۱۹۵/۷۹
میزان EENS (MWh)	۴۲/۱۱
شاخص SAIDI	۳/۸۶
شاخص SAIFI	۰/۲۴۸۳
شاخص CAIDI	۱۵/۵۷
شاخص ASAI	۰/۹۹۹۶

۴-۳- روش تک هدفه با در نظر گرفتن عدم قطعیت بار

برای مدل‌سازی عدم‌قطعیت‌های مربوطه، سه سناریو به صورت جدول (۹) در نظر گرفته شده است. منظور از بار پایه در جدول (۹)، مقدار بار سیستم در حالت قبل (بدون در نظر گرفتن عدم قطعیت بار) می‌باشد.

در این حالت از مقادیر انتظار میزان انرژی تامین نشده و تلفات انرژی با استفاده از روابط (۱۱) و (۱۲) مقادیر انتظار مربوطه حساب می‌شود (Pi احتمال انتخاب خانه iام). تابع هدف نیز مشابه همان رابطه (۱۰) خواهد بود و تنها از هزینه‌های انتظار محاسبه شده استفاده خواهد شد. دیگر پارامترها مشابه حالت قبلی می‌باشند [۱۸].

$$EENS_EX = \sum EENS_i \times P_i \quad (۱۱)$$

$$Loss_EX = \sum Loss_i \times P_i \quad (۱۲)$$

نتایج مربوطه در شکل (۷) و جدول (۱۰) ارائه شده است.

جدول (۹): سناریوهای مربوط به بار مصرفی

میزان بار در هر سناریو	احتمال هر سناریو

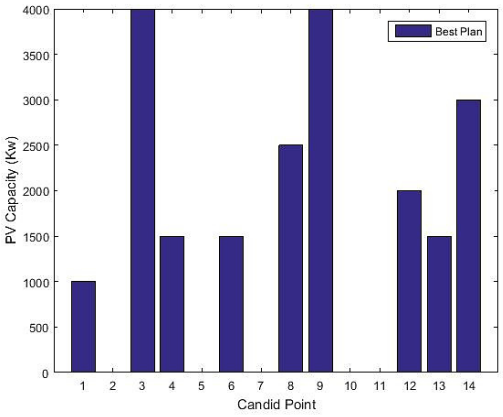
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 4 -No. 1- autumn 2015 & winter 2016

[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.2.6.1]

بار پایه	۰/۴۵
۸۰ درصد بار پایه	۰/۲۵
۱۲۰ درصد بار پایه	۰/۳۵

همان‌طور که از نتایج مشاهده می‌شود در این حالت با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های بار هزینه‌های مربوط به تابع هدف نسبت به حالت بدون عدم قطعیت افزایش داشته است. به عبارت دیگر در صورت وجود عدم قطعیت در بارهای مصرفی، بهره‌بردار سیستم به منظور پوشش ریسک‌های موجود، توسعه بیشتر را در دستور کار خود قرار خواهد داد تا بتواند از مزایای آنها به اندازه کافی بهره ببرد.



شکل (۷): ظرفیت‌های بهینه انتخاب شده برای منابع PV با در نظر گرفتن عدم قطعیت بار

جدول (۱۰): نتایج مربوط به طرح بهینه با در نظر گرفتن عدم قطعیت بار

هزینه‌های توسعه (دلار)	۶۳۰۰۰۰
هزینه‌های تلفات (دلار)	۷۱۱۲۹۹/۳۲
هزینه‌های قابلیت اطمینان (دلار)	۶۰۵۳۸۸/۱۳
میزان تلفات (MWh)	۲۰۳/۲۲
میزان EENS (MWh)	۴۳/۲۴
شاخص SAIDI	۳/۹۰۷
شاخص SAIFI	۰/۲۴۸۳
شاخص CAIDI	۱۵/۷۴۰۹
شاخص ASAI	۰/۹۹۹۶

۵- نتیجه گیری

در این مقاله الگوریتم جدیدی به‌منظور تعیین مکان و ظرفیت واحدهای خورشیدی با در نظر گرفتن عدم قطعیت تولید آنها ارائه شده است. در فرآیند بهینه‌سازی از الگوریتم بهینه سازی تابع تک هدفه و چند هدفه تجمع ذرات استفاده شده است. این الگوریتم توانایی بالایی در یافتن سطح پارتوی مسائل تابع چند هدفه دارد. همچنین در این مقاله از هر دو روش بهینه‌سازی تک هدفه و چند هدفه جهت حل مساله مذکور در نرم‌افزار MATLAB استفاده گردید. در حالت چند هدفه، اهدافی مانند قابلیت اطمینان و تلفات به هزینه تبدیل شده و با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی پارتو، مجموعه جواب‌ها بدست می‌آید. در حالت چند هدفه نشان داده شد که توسعه ظرفیت منابع PV به منظور بهبود قابلیت اطمینان و یا بهبود تلفات لزوما منجر به یک جواب نخواهد شد. در واقع الگوی نصب منابع PV به منظور بهبود هر یک از این اهداف با یکدیگر متفاوت خواهد بود.

در روش تک هدفه تمامی اهداف مورد نظر با ضرایب مربوطه به هزینه تبدیل می‌شوند و مجموع هزینه‌ها به عنوان هدف اصلی در بهینه‌سازی وارد می‌شوند. در همین راستا هر دو حالت با در نظر گرفتن عدم قطعیت بار و بدون در نظر گرفتن عدم قطعیت بار شبیه‌سازی شدند. به منظور مدل‌سازی عدم قطعیت‌های بار از سه سناریو استفاده گردید. در این حالت از هزینه‌های انتظاری تلفات و قابلیت اطمینان استفاده شده نشان داده شد که وارد کردن ریسک‌های مربوط به پیش‌بینی بار می‌تواند موجب سرمایه‌گذاری‌های بیشتر شده و هزینه‌ها را افزایش دهد.

در پایان، جهت تحقیقات آتی، فعالیتهای زیر پیشنهاد می گردند:

- مدل‌سازی دیگر منابع تجدیدپذیر مانند توربین‌های بادی کوچک در این مساله.
- مطالعه تأثیر نصب منابع خورشیدی خانگی با مالکیت شخصی. در این شرایط برای محاسبه منافع ناشی از ورود این منابع بایستی رفتار مشترکین و بهره‌بردار شبکه توزیع مدل شود.
- در نظر گرفتن اثر ذخیره‌سازهای انرژی و همچنین منابع پاسخ‌گویی بار بر مساله جایابی.

مراجع:

[1] Shin JR, Kim BS, Park JB, Lee KY. *"A new optimal routing algorithm for loss minimization and voltage stability improvement in radial power systems,"* IEEE Trans Power Syst. 2007; 22: pp. 648–57.

[2] D. Q. Hung, N. Mithulananthan, and R.C. Bansal *"Multiple distributed generators placement in rimary distribution networks for loss reduction"* IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 60, Issue 4, April 2013, pp. 1700- 1708.

[3] A. M. El-Zonkoly *"Optimal placement of multidistributed generation units including different load models using particle swarm optimization"* Elsevier journal (swevo) Swarm and Evolutionary Computation, Vol. 1, Issue 1, March 2011, Pages 50–59.

[4] Luis F. Ochoa, and Gareth P. Harrison, *"Minimizing Energy Losses: Optimal Accommodation and Smart Operation of Renewable Distributed Generation"* IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 26, No. 1, Feb. 2011.

[5] A. A. Bagheri, A. Habibzadeh and S. M. Alizadeh, *"Comparison of the Effect of Combination of Different DG Types on Loss Reduction Using APSO Algorithm,"* Canadian Journal on Electrical and Electronics Engineering Vol. 2, No. 10, Oct. 2011; pp. 468-474.

[6] M. H. Moradi, S. M. Reza Tousi and M. Abedini, *"Multi-objective PFDE algorithm for solving the optimal siting and sizing problem of multiple DG sources,"* Electrical Power and Energy Systems 56, 2014, 117–126.

[7] P. Karimyan, G.B. Gharehpetian, M. Abedi, A. Gavili, *"Long term scheduling for optimal allocation and sizing of*

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 4 -No. 1- autumn 2015 & winter 2016

[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.2.6.1]

DG unit considering load variations and DG type," Electrical Power and Energy Systems 54, 2014, 277–287.
[8] Wei Z, Hongxing Y, Zhaohong F. *"A novel model for photovoltaic array performance prediction,"* Applied Energy 2007; 84: pp. 1187– 98.
[9] A. Ameli, S. Bahrami, F. Khazaeli and M. R. Haghifam, *"A Multiobjective Particle Swarm Optimization for Sizing and Placement of DGs from DG Owner's and Distribution Company's Viewpoints,"* in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 29, no. 4, pp. 1831-1840, Aug. 2014.
[10] Wichit Krueasuk and Weerakorn Ongsakul *"Optimal Placement of Distributed Generation Using Particle Swarm Optimization"* AUPEC 2014
[11] D.H. Popovic, J.A. Greatbanks, M. Begovic, A. Pregelj, *"Placement of distributedgenerators and reclosers for distribution network security and reliability",* 2005 Elsevier
[12] Abbasi, Fazel, and Seyed Mehdi Hosseini. *"Optimal DG allocation and sizing in presence of storage systems considering network configuration effects in distribution systems."* IET Generation, Transmission & Distribution (2015).
[13] S. Kansal, V. Kumar, B. Tyagi, *"Optimal placement of different type of DG sources in distribution networks",* Electrical Power and Energy Systems, Vol. 53, Pages 752-760, 2013.
[14] M. Padma Lalitha, V. C. Veera Reddy and N. Sivarami Reddy *"Application of Fuzzy and ABC Algorithm for DG Placement for Minimum Loss in Radial Distribution System"* Iranian Journal of Electrical & Electronic Engineering, Vol. 6, No. 4, Dec. 2010.
[15] Sookananta, B. Kuanprab, W. Hanak, S. *"Determination of the optimal location and sizing of Distributed Generation using Particle Swarm Optimization"* International Conference on Electrical Engineering/Electronics Computer Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 2010, pp. 818- 822.
[16] S. Kansal, V. Kumar, B. Taygi, *"Composite active and reactive power compensation of distribution networks",* 7th IEEE international conference on industrial and information systems, IIT Madras, Pages 1-6, 2012.
[17] www.nrel.gov/rredc/solar_data.html
[18] K. Zou, A. P. Agalgaonkar, K. M. Muttaqi and S. Perera, *"An Analytical Approach for Reliability Evaluation of Distribution Systems Containing Dispatchable and Non dispatchable Renewable DG Units,"* in IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 5, no. 6, pp. 2657-2665, Nov. 2014.

رزومه



یاشین حسن‌زاده دارانی در نوشهر متولد شده است (۱۳۶۰)، تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق-الکترونیک از دانشگاه آزاد لاهیجان (۱۳۸۵) سپری کرده است، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت در دانشگاه آزاد تهران شمال(۱۳۹۷) می‌باشد. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت و بازار برق در سیستم‌های قدرت است.



حسین هارون‌آبادی در تهران متولد شده است (۱۳۵۴). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق- قدرت از دانشگاه آزاد تهران جنوب (۱۳۷۸)، کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت از دانشگاه آزاد تهران جنوب (۱۳۸۰) و دکتری مهندسی برق- قدرت از دانشگاه علوم تحقیقات (۱۳۸۷) سپری کرده است. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه-مندی ایشان در زمینه بازار برق، قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت و محاسبات هوشمند در سیستم‌های قدرت است و در حال حاضر استادیار گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر می باشد.



رسول اصغری در شهریار متولد شد(۱۳۵۴). تحصیلات کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی برق- قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب در ۱۳۷۸ و ۱۳۸۲ سپری کرده و دکتری تخصصی او از دانشگاه علوم و تحقیقات تهران است. در حال حاضر عضو گروه برق واحد تهران شمال است. فعالیت پژوهشی ایشان در زمینه کنترل و پایداری می‌باشد.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 4 -No. 1- autumn 2015 & winter 2016

[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.2.6.1]

Optimal Placement of Solar Power Plants in Distribution Network for Improvement of Loss and Reliability using Multi-objective particle Swarm Optimization Method

Abstract

The use of distributed generation resources is an effective way for responding to load growth and providing a certain level of reliability. Solar power plants are of widely used distributed generation systems. Due to the particular importance of logging out a system of operating mode, which can interrupt a large number of customers served, different reliability indices are considered. Installing solar power plants in a distribution network affects voltage at different points. Therefore, placement and amount of power injected by solar cells into busbars should be determined so that to have maximum impact on the distribution system in terms of improving voltage quality and enhancing reliability. The present study aimed to find a suitable place for a solar plant, resulting in reduced system losses and enhanced reliability indices, using multi-objective particle swarm optimization algorithm. The proposed method is implemented using the MATLAB software on the Billington system (RBTS).

The results show that solar power plants can have positive effects, such as improving reliability and improving the voltage quality on distribution networks, depending on the specifications, technology and location of the network connection.

Keywords: Solar power generation system, optimal placement, particle swarm optimization algorithm, distribution system, reliability

.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.2.6.1]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 4 -No. 1- autumn 2015 & winter 2016