

# جایابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده در شبکه های توزیع با استفاده از الگوریتم NSGA-II با استراتژی خاموش

محمد محمودی راد\*<sup>۱</sup>

\*۱- کارشناس ارشد برق، شرکت نصب، تعمیر و نگهداری نیروگاههای برق آبی خوزستان، اهواز، ایران  
m.mahmoudi.raad@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۱۴

**چکیده:** در این مقاله یافتن مکان و اندازه بهینه تولیدات پراکنده به عنوان یک مسئله بهینه سازی مهندسی مطرح می شود، با توجه به یکپارچگی و نفوذ منابع تولید پراکنده در سیستم های توزیع، با استفاده از تعیین اندازه و جایابی بهینه آنها در شبکه های توزیع بر اساس توابع هدفی مانند: بهبود پروفیل ولتاژ، کاهش تلفات، افزایش قابلیت اطمینان، مهار نمودن رشد نیروگاه های مرکزی و... صورت می گیرد. اهداف مذکور به کمک الگوریتم NSGA-II با استراتژی خاموش در شبکه IEEE 33-BUS مورد بررسی و مطالعه قرار خواهد گرفت. برای پیاده سازی مفهوم جانشینی خاموش، دسته ای از DG ها در نظر گرفته می شود که در حالت عادی خاموش می باشند که در صورت وقوع خطا در شبکه یا فیدرها، DG های جانشین نیز روشن شده و برای بازیابی بارهای قطع شده استفاده می شوند تا باعث تحقق توابع هدف گردد. برای اندازه گیری قابلیت اطمینان از معیار انرژی تامین نشده مورد انتظار EENS استفاده شده است. برای بهینه سازی دو هدف کلی در نظر گرفته شده است که شامل: کاهش EENS و کاهش تلفات توان می باشد. علاوه بر اهداف ذکر شده، بهبود پروفیل ولتاژ نیز به صورت تابع جریمه اعمال شده است. شبیه سازی در محیط نرم افزار متلب صورت گرفته و نتایج حاصل از آن، اثر بخشی و کارایی الگوریتم پیشنهادی را نشان می دهد.

**واژه های کلیدی:** الگوریتم NSGA-II، منابع تولید پراکنده، جایابی بهینه، قابلیت اطمینان، پروفیل ولتاژ

## ۱- مقدمه

هارمونیک ها و... با توجه به موارد ذکر شده اهمیت جایابی صحیح تولید پراکنده به وضوح روشن می شود. اخیراً یک روش بهینه سازی با نام الگوریتم زنبور عسل (BSOA) به جستجوی بهینه سازی پرداخته است که برای تعیین مکان ژنراتورهای تولید پراکنده DG در امتداد شبکه های توزیع استفاده شده است. [۳]. منابع تجدید پذیر می توانند یک راه حل مناسب و هوشمند برای تأمین افزایش تقاضا فراهم کنند. بنابراین، در اینجا فتوولتائیک (PV) و توربین بادی (WT) به عنوان منابع تولید پراکنده DG به کار گرفته می شوند. محل و اندازه DG تا حد زیادی بر تلفات سیستم تاثیر گذار است. در این مقاله الگوریتم بهینه سازی (ALO) برای تعیین مکان بهینه و اندازه گیری منابع تجدید پذیر مبتنی بر DG برای سیستم های توزیع مختلف پیشنهاد شده است [۴]. از الگوریتم

با روند رو به رشد استفاده از تولیدات پراکنده، تعیین مکان و ظرفیت بهینه و بررسی اثرات بکارگیری این واحدها در سیستم قدرت به خصوص در شبکه توزیع لازم و ضروری می باشد. مکان یابی و تعیین اندازه واحدهای DG بسیار مهم و چالش برانگیز است. در سیستم توزیع، اندازه و مکان قرار دادن واحد های DG بسیار استراتژیک بوده و باعث کاهش تلفات سیستم قدرت و بهبود مشخصات ولتاژ سیستم و همچنین قابلیت اطمینان سیستم می شود. [۱،۲]. برخی از مشکلاتی که در صورت عدم جایابی صحیح DG در شبکه بروز می نماید عبارتند از: افزایش تلفات، تخریب وضعیت ولتاژ و فلیکر ولتاژ، کاهش سطح حفاظت و قابلیت اطمینان شبکه، کاهش پایداری و افزایش

## ۲- فرمول بندی مسئله

برای طراحی سیستم، واضح است که برای حصول سطح اطمینان بالاتر باید در طراحی سرمایه گذاری بیشتری نمود. به دلیل رابطه مستقیم بین قابلیت اطمینان سیستم و هزینه سیستم، در نظر داشتن همزمان دو هدف مفید خواهد بود. لذا در این مقاله یک روش پیشنهادی با اهداف متعارض، (قابلیت اطمینان سیستم و هزینه سیستم) در نظر گرفته شد. طبق مفروضات بالا، مدل ریاضی پیشنهادی برای این تحقیق به صورت زیر است:

### ۲-۱ شاخص قابلیت اطمینان

شاخص EENS<sup>y</sup> نیز بعنوان انرژی مورد انتظاری گفته می شود که مصرف کنندگان شبکه (بار سیستم) به دلیل ناکافی بودن توان در نیروگاهها دریافت نکرده اند، برای هر یک از سناریوهای خطا، مقدار بار از دست رفته محاسبه شده و در مدت زمان از دست رفتن بار ضرب می شود تا EENS بدست آید.

$$EENS = tr \times LTNS \times Londa0 / 8760 \quad (1)$$

$$LTNS = \sum_{i=1}^{32} D_i - \sum_{i=1}^{32} DG_i - on - \sum_{i=1}^{32} DG_i - off \quad (2)$$

برای وقوع خطا در شبکه، مقدار تابع EENS بر اساس DG های روشن و DG های جانشین خاموش محاسبه می شود. برای این کار، سناریوهای موثر در قابلیت اطمینان برای خطا در نظر گرفته شده است که شامل خطا در شبکه اصلی و خطای خطوط سیستم می باشد. در زمان وقوع خطا برای هر یک از DG ها، بار از طریق شبکه قابل تامین بوده و وقفه ای در تامین بار ایجاد نمی شود به همین دلیل خطای DG تاثیری در EENS<sup>۹</sup> نداشته و جزء سناریوهای خطا در نظر گرفته نشده است.

در این رابطه ابتدا مقادیر مربوط به قابلیت اطمینان شبکه و خطوط تعریف می شود. پارامترهای استفاده شده در این روابط،  $\lambda 0$ ،  $tr$  و  $LTNS^{10}$  بوده که به ترتیب بیانگر نرخ خطا بر حسب تعداد خطا در سال، نیز میانگین زمان تعمیر سیستم و بار تامین نشده می باشد. همانطور که اشاره شد، خطای شبکه و خطای خطوط به عنوان سناریوهای خطا در نظر گرفته شده است. بنابراین تعداد سناریوهای خطا به صورت زیر محاسبه می شود.

بطوری که  $n_U$  تعداد خطای شبکه و  $n_{Mf}$  تعداد خطای فیدر می باشد.

$$n_U = 1 \quad (3)$$

$$n_{Mf} = length(line) \quad (4)$$

$$M = n_U + n_{Mf} \quad (5)$$

پارامتر  $n_U=1$  تعداد خطوط سیستم بوده و  $M$  نیز تعداد کل سناریوهای خطا می باشد. مقدار تقاضا در هر شین بر اساس کیلو ولت آمپر به صورت زیر محاسبه می شود. که معادل  $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$  می باشد.

(SKHA<sup>۵</sup>) برای بهینه سازی و تعیین اندازه تولیدات پراکنده در سیستم توزیع شعاعی استفاده شده است. هدف اصلی به حداقل رساندن تلفات خط با در نظر گرفتن محدودیت های مختلف مانند محدودیت ولتاژ، میزان تولید توان اکتیو در DG، محدودیت تعادل قدرت و محدودیت مکان DG است [۵]. به منظور به حداقل رساندن تلفات توان و بهبود مشخصات پروفیل ولتاژ در شبکه توزیع، معرفی تولیدات پراکنده DG در شبکه توزیع نقش مهمی ایفا می کنند. در این مقاله برای حل این مشکل ترکیبی، یک روش شعاعی مبتنی بر تکنیک بهینه سازی بر پایه شبکه عصبی ارائه شده است [۶]. واحد های تولید پراکنده در شبکه های توزیع می توانند منشاء تأثیرات مثبتی مانند بهبود پارامترهای فنی شبکه شامل تلفات، پروفیل ولتاژ و قابلیت اطمینان بوده و سطح استفاده مناسب از منابع تولید پراکنده می تواند راهکاری موثر برای رهایی از برخی مشکلات نظیر تلفات بالا، کیفیت توان پایین و تراکم در سیستم های قدرت می باشد [۷]. یکی از موضوعات مهم که در سالهای اخیر در صنعت برق رخ داده است، استفاده از منابع تولید پراکنده در شبکه های قدرت است. از جمله مزایای مهم این سیستم ها، افزایش قابلیت اطمینان، کاهش تلفات شبکه، بهبود پروفیل ولتاژ است. منابع تولید پراکنده در هنگام بروز خطا در شبکه، با ایجاد نواحی جزیره ای می توانند باعث کاهش میزان قطعی بارها و در نتیجه، کاهش انرژی توزیع نشده شبکه شوند [۱]. با توجه به یکپارچگی و نفوذ منابع تولید پراکنده در سیستم های توزیع، جایابی بهینه آنها در ریزشبکه ها و شبکه های توزیع ایزوله بر اساس توابع هدفی مانند کاهش تلفات، بهبود ولتاژ شین ها و... صورت می گیرد. منابع تولید پراکنده با استفاده از مبدل های الکترونیک قدرت به شبکه های فشار ضعیف متصل می گردند، به طوری که این مبدل ها در دو مد کنترل ولتاژ و توان کار می کنند. جایابی منابع تولید پراکنده با در نظر گرفتن مدهای کنترل ولتاژ و توان مبدل ها تأثیرات مثبتی بر شبکه های قدرت دارد [۲].

در این مقاله جایابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده به منظور بهبود پروفیل ولتاژ، کاهش تلفات خطوط و همچنین افزایش قابلیت اطمینان شبکه برای اولین بار با پیاده سازی الگوریتم NSGA-II با استراتژی جانشین خاموش که قوی ترین نسخه از الگوریتم GA می باشد با استفاده از روش پخش بار پس رو پیش رو بر روی شبکه های ۳۳ شین IEEE<sup>۶</sup> پیاده سازی شده همچنین تمامی شبیه سازی ها در محیط نرم افزاری MATLAB صورت پذیرفته است. در این مقاله به اهمیت، موضوع مقاله و کارهای انجام شده در این زمینه پرداخته می شود. سپس به جایگاه تولیدات پراکنده و اهمیت مسائل پیرامون آن، پرداخته می شود. در ادامه روابط مربوط به مدل سازی، معرفی قیود و محدودیت های موجود در سیستم های قدرت ارائه شده، همچنین الگوریتم بهینه سازی NSGA-II با استراتژی خاموش معرفی می گردد. نتایج حاصل از شبیه سازی انجام شده در محیط نرم افزار MATLAB ارائه می گردد و نتیجه گیری کلی از انجام این پژوهش بیان می شود.

## ۲-۲ شاخص هزینه:

تابع هزینه برای محاسبه تابع هدف بهینه‌سازی تعریف شده است. ورودی این تابع بردار متغیرها می‌باشد، بردار متغیر حاوی اطلاعات اندازه و مکان DG ها می‌باشد، خروجی تابع هزینه شامل مقدار هزینه و مقدار مورد انتظار، برای انرژی تامین نشده می‌باشد. همچنین بازه پروفیل ولتاژ و تعداد DG ها نیز به صورت قید اعمال می‌گردد.

$$DV = \left| \sum_{i=1}^{32} v_i - 1 \right| \quad (۶)$$

$$Pen1 = \text{Max} \left( \sum_{i=1}^{32} x_i - 10 \right) \quad (۷)$$

DV قدر مطلق مجموع اختلاف ولتاژ شین‌ها از مقدار مرجع ۱ پریونیت می‌باشد. مطلوب است که مقدار DV صفر باشد. Pen1 در زمانی که تعداد DG ها کمتر از ۱۰ باشد صفر بوده و در غیر اینصورت اختلاف تعداد DG ها و عدد ده می‌باشد. ظرفیت کل DG های نصب شده و ظرفیت DG های روشن نیز به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$S_{DG-TOTAL} = \sum_{i=1}^{32} \sum_{j=33}^{64} x_i \cdot x_j \quad (۸)$$

$$S_{DG-on} = \sum_{i=1}^{32} \sum_{j=33}^{64} x_i \cdot on \cdot x_j \quad (۹)$$

در ادامه هزینه تلفات توان OF1 و هزینه سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری DG ها OF2 و در نهایت هزینه کلی OF بر اساس مرجع [۵] به صورت زیر محاسبه می‌شود. لازم به ذکر است که برای DG های خاموش، هزینه بهره‌برداری در نظر گرفته نشده است. زیرا این DG در حالت عادی خاموش بوده و هزینه بهره‌برداری نخواهند داشت. ضرایب هزینه سرمایه‌گذاری DG ها (C\_DG\_inv)، هزینه بهره‌برداری DG ها (C\_DG\_OM) و هزینه تلفات انرژی C\_loss نیز مطابق اطلاعات مقاله [۵] در نظر گرفته شده است. بر اساس مرجع [۵]، هزینه تلفات OF1 و هزینه DG ها OF2 به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$F1 = P_{loss} \times C_{loss} \times 8760 \times 30 \quad (۱۰)$$

$$OF2 = S_{DG\_total} \times 0.9 \times C_{DG\_inv} + S_{DG\_on} \times 0.9 \times C_{DG\_on} \times 8760 \times 30 \quad (۱۱)$$

$$OF = OF1 + OF2 + DV \times 10^7 \quad (۱۲)$$

$$Rel_{(new)} = Rel + Pen1 \times 10^7 \quad (۱۳)$$

## ۳-۲ پخش بار پس‌رو پیش‌رو:

بعد از بدست آمدن مکان و ظرفیت DG ها بر اساس فرآیند بهینه‌سازی الگوریتم، این اطلاعات برای تابع پخش بار ارسال می‌شود، ورودی این تابع یعنی X، بردار متغیرهای بهینه‌سازی بوده و خروجی آن تلفات سیستم و دامنه ولتاژ شین‌ها به ازای بردار X می‌باشد. مقدار

توان اکتیو و راکتیو DG ها بر اساس بردار متغیرها یعنی X به صورت زیر تعریف شده است.

$$P_{DG} = \sum_{i=1}^{32} \sum_{j=33}^{64} (X_i) \times (X_j) \times (0.85) \times S_b^{-1} \times 10^3 \quad (۱۴)$$

$$Q_{DG} = \sum_{i=1}^{32} \sum_{j=33}^{64} (X_i) \times (X_j) \times (\sqrt{1-0.85^2}) \times S_b^{-1} \times 10^3 \quad (۱۵)$$

در نهایت توان مصرفی کلی هر شین با کم کردن توان DG ها از بار مصرفی بدست می‌آید. که روابط آن به صورت زیر نوشته شده است.

$$P = P_{load} - P_{DG} \quad (۱۶)$$

$$Q = Q_{load} - Q_{DG} \quad (۱۷)$$

تلفات هر شاخه از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$Loss_n = (V^i - V^j) \cdot In \quad (۱۸)$$

که برای این رابطه LOSSn تلفات در شاخه n ام و Vi ولتاژ شین ابتدای شاخه و Vj ولتاژ شین انتهایی شاخه و In جریان شاخه می‌باشد.

## ۴-۲ تلفات در سیستم

تلفات در سیستم از فرمول زیر بدست می‌آید، اگر چه در برخی از مطالب به آن تلفات دقیق نیز گفته می‌شود.

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \left[ \alpha_{ij} (P_i P_j + Q_i Q_j) + \beta_{ij} (Q_i P_j - P_i Q_j) \right] \quad (۱۹)$$

$$\alpha_{ij} = \frac{r_{ij}}{v_i v_j} \cos(\delta_i - \delta_j) \quad (۲۰)$$

$$\beta_{ij} = \frac{r_{ij}}{v_i v_j} \sin(\delta_i - \delta_j) \quad (۲۱)$$

در این قسمت N تعداد شین‌ها، i و j اندام‌های ماتریس Z می‌باشند  $(Z_{ij} = r_{ij} + X_{ij})$ ، همچنین  $V_i < \delta_i$  ولتاژ i شین و همچنین  $P_i P_j$  به ترتیب توان اکتیو شین خودی و  $Q_i Q_j$  به ترتیب توان راکتیو شین خودی می‌باشند.

## ۵-۲ پروفیل ولتاژ

در سیستم‌های قدرت میزان ولتاژ شین‌های شبکه یکی از پارامترهای مهم و حساس بوده و باید در هر شرایطی در محدوده نرمال نگه داشته شود. در شبکه‌های مورد تست ۳۳ شین IEEE این محدوده بین ۹۵.۰ و ۰۵.۱ در نظر گرفته شده است. ولتاژ تمامی شین‌ها قبل و بعد از نصب DG ها در شبکه اندازه‌گیری شده و نمودار تغییرات آن بررسی خواهد شد.

## ۲-۶ قیود مسئله:

مدل ریاضی پیشنهادی به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

$$\text{Maximize } R_S = f_1(r, n) \quad (22)$$

$$\text{Minimize } C_S = f_2(r, n) \quad (23)$$

$$\text{subject to } g(r, n) \leq l \quad (24)$$

$$0 \leq r_i \leq 1, \quad r_i \in R, \quad n_i \in Z^+, \quad 1 \leq i \leq m \quad (25)$$

$$P_{DG}^{\min} \leq P_{DG} \leq P_{DG}^{\max} \quad (26)$$

$$Q_{DG}^{\min} \leq Q_{DG} \leq Q_{DG}^{\max} \quad (27)$$

$$V_{i,\min} \leq V_i \leq V_{i,\max} \quad i = 1, 2, \dots, N_{bus} \quad (28)$$

به صورتی که  $R_S$  و  $C_S$  قابلیت اطمینان و هزینه سیستم هستند.  $G$  مجموعه قیود روی وزن، حجم و هزینه سیستم است؛  $(\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \dots, \Gamma_m)$  بردار قابلیت های اطمینان مولفه؛  $n = (n_1, n_2, n_3, \dots, n_m)$  بیانگر سطح افزونگی زیرسیستم هاست؛  $\Gamma_i$  و  $n_i$  متغیرهای تصمیم نشان دهنده قابلیت اطمینان و تعداد مولفه های  $i$  امین تئوری مورد نظر هستند.  $P_{DG}^{\max}$  و  $P_{DG}^{\min}$  به ترتیب توان های اکتیو کمینه و بیشینه  $DG$  استفاده شده در هر شین، همچنین  $Q_{DG}^{\max}$  و  $Q_{DG}^{\min}$  به ترتیب توان های راکتیو مینیمم و ماکزیمم  $DG$  استفاده شده در هر شین می باشد.  $V_{i,\min}$  و  $V_{i,\max}$  نیز ولتاژ های مینیمم و ماکزیمم شین های شبکه را نشان می دهند.

## ۳- الگوریتم NSGA-II

الگوریتم فرا ابتکاری NSGA-II یکی از پرکاربردترین و قدرتمندترین الگوریتم های موجود برای حل مسائل بهینه سازی چند هدفه است و کارایی آن در حل مسائل مختلف، به اثبات رسیده است [۸].

نکات برجسته ای که در مورد این روش بهینه سازی وجود دارند، عبارتند از، جوابی که هیچ جواب دیگری، به طور قطع بهتر از آن نباشد، دارای امتیاز بیشتری است. جواب ها بر اساس این که چند جواب بهتر از آن ها وجود داشته باشند، رتبه بندی و مرتب می شوند. شایستگی (برازندگی) برای جواب ها، بر حسب رتبه آن ها و عدم غلبه سایر جواب ها، اختصاص می یابد. از شیوه اشتراک برازندگی برای جواب های نزدیک استفاده می شود تا به این ترتیب پراکندگی جواب ها به نحو مطلوبی تنظیم شود و جواب های به طور یکنواخت در فضای جستجو پخش شوند.

ویژگی های عمده این الگوریتم عبارتند از :

- تعریف فاصله تراکمی به عنوان ویژگی جایگزین برای شیوه هایی مانند اشتراک برازندگی.
- استفاده از عملگر انتخاب تورنمنت دو دویی.

- ذخیره و آرشیو کردن جواب های نا مغلوب که در مراحل قبلی الگوریتم به دست آمده اند (نخبه گرایی).

در الگوریتم NSGA-II با استراتژی خاموش توسط بازه ای که برای آن تعریف شده جمعیت اول خود را تولید و بر روی این جمعیت ادغام و جهش صورت می دهد سپس اولین نسل بوجود آمده و با جمعیت اول یک جمعیت دوم را تشکیل می دهند سپس با انتخاب غیر قالب بین والدین و فرزندان، جمعیت جدیدی حاصل شده و دوباره این مراحل از سر گرفته می شود؛ این تکرار را تا جایی ادامه می یابد تا بهینه ترین جواب برای کروموزوم بدست آید؛ همچنین جمعیت اولیه را در الگوریتم استفاده شده (Population)، ۱۰۰ و تکرار (Iteration) روی ۱۰۰ در نظر گرفته شد.

برای پیاده سازی مفهوم جانشینی خاموش، دو دسته  $DG$  در نظر گرفته شده است. دسته اول  $DG$  هایی هستند که در حالت عادی روشن بوده و در مورد بهره برداری می باشند. دسته دوم نیز  $DG$  های جانشین هستند که در حالت عادی خاموش می باشند. در صورت وقوع خطا در شبکه یا فیدها،  $DG$  های جانشین نیز روشن شده و برای بازیابی بارهای قطع شده استفاده می شوند.

در ادامه فرآیند کلی الگوریتم پیشنهادی در روند نمای، در شکل (۱) نشان داده شده است. در این روند نمایی  $Q$ : شاخص فرزندان،  $P$ : جمعیت والدین،  $R$ : بردار جمع آوری،  $G$ : شاخص تولید تعریف شده اند.

## ۴- نتایج:

نتایج عددی حاصل از اجرای الگوریتم طراحی شده برای بهینه سازی کاهش تلفات و متعادل سازی بار فیدها در شبکه های توزیع نیرو ارائه می شود. برای آزمایش الگوریتم پیشنهادی و مطالعه حضور مناسب  $DG$  ها در شبکه ۳۳ شین تحت استاندارد IEEE مورد مطالعه قرار گرفته شده. نتایج عددی حاصل از پیاده سازی الگوریتم پیشنهادی بر شبکه آزمایشی و همچنین تاثیر  $DG$  ها بر پروفیل ولتاژ و مقایسه آن با دیگر روش ها ارائه می شود. نتایج عددی حاصل از پیاده سازی الگوریتم مذکور در EENS و میزان تلفات با دیگر روش ها بررسی می گردد.

شبیه سازی روش پیشنهادی به منظور مکان یابی منبع تولید پراکنده بر روی شبکه ۳۳ شین ایزوله توزیع تحت استاندارد IEEE با نرم افزار متلب پیاده سازی گردیده است. دیاگرام تک خطی در شکل (۲) آمده است.

در جدول (۱) مشاهده می شود که الگوریتم جواب کروموزوم را داده و می توان ۳ واحد تولید پراکنده بصورت زیر جایگذاری کرد.

در شین شماره ۱۴ به ظرفیت تولید ۷۸.۴۰۸ کیلووات، شین شماره ۱۷ به ظرفیت ۶۰۰ کیلووات، شین شماره ۳۲ به ظرفیت ۳۹.۵۰۸ کیلووات می باشد. مجموع ظرفیت نصب شده در شین های مذکور برابر با ۱۵۱۷/۱۷ کیلووات می باشد.

همچنین نتایج بدست آمده برای مکان DG های خاموش به این صورت است که در شین ۱ به ظرفیت تولید ۵۷.۵۴۶ کیلووات، شین شماره ۱۱ به ظرفیت ۶۰۰ کیلووات، شین شماره ۲۷ به ظرفیت ۲۸.۵۲۹ کیلووات، شین شماره ۳۱ به ظرفیت ۶۰۰ کیلووات، می باشد.

جدول (۲) محل نصب و اندازه DG های جانشین خاموش در شبکه ۳۳ شین با الگوریتم NSGA-II

Bus_number	ColdStandby_DG_size
۱	۵۷.۵۴۶
۱۱	۶۰۰
۲۷	۲۸.۵۲۹
۳۱	۶۰۰

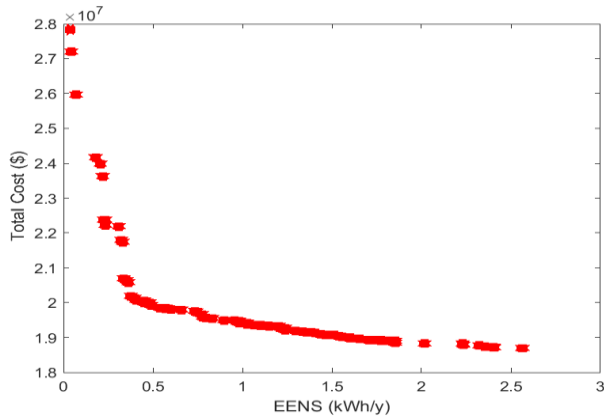
### ۴-۱ قابلیت اطمینان

داده های شین ها بعد از نصب DG ها نشان می دهد تولید پراکنده باعث شده مقدار ولتاژ در بیشتر شین های شبکه بهبود یافته و توان تولیدی توسط مولدهای تولید پراکنده سبب می گردد که تقاضای توان از ژنراتورها کاهش یافته که این امر باعث می شود ظرفیت خطوط افزایش و تلفات نیز کاهش یابد و همچنین شاخص قابلیت اطمینان نیز بهبود یابد.

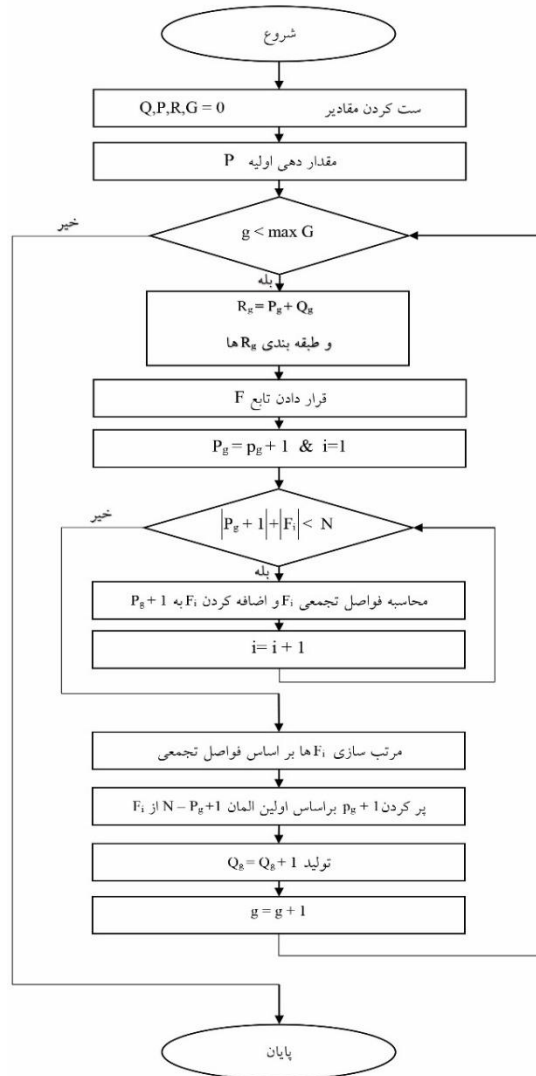
جدول (۳) فاکتور قابلیت اطمینان (EENS) در شبکه ۳۳ شین IEEE با الگوریتم NSGA-II

پارامتر قابلیت اطمینان با مجموع DG های روشن و خاموش (KWh)	پارامتر قابلیت اطمینان فقط با DG های روشن (KWh)	پارامتر قابلیت اطمینان بدون DG (KWh)
۳۸۳۸۲.۰	۳۵۹۲.۲	۶۷.۳

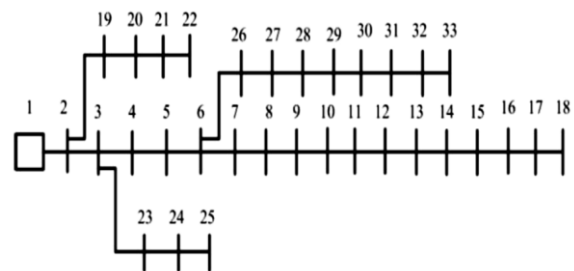
نمودار همگرایی هزینه برحسب EENS در شکل (۳) مشاهده می گردد.



شکل (۳) نمودار همگرایی هزینه برحسب EENS



شکل (۱) روند نمای الگوریتم NSGA-II با استراتژی خاموش [۸]



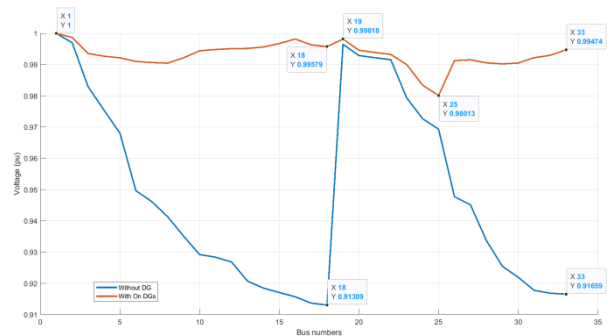
شکل (۲) شبکه ۳۳ شینه تحت استاندارد IEEE

جدول (۱) محل نصب و اندازه DG ها در شبکه ۳۳ شین با الگوریتم NSGA-II

Bus_number	On_DG_size
۱۴	۷۸.۴۰۸
۱۷	۶۰۰
۳۲	۳۹.۵۰۸

## ۴-۲ پروفیل ولتاژ

در نهایت بعد از جابجایی منابع تولید پراکنده همانطور که انتظار می‌رفت پروفیل ولتاژ بهبود یافته و بصورت نمودار زیر ارائه می‌گردد. این نمودار نشان دهنده ولتاژ شین‌های شبکه قبل و بعد از جابجایی DG است.



شکل (۴) پروفیل ولتاژ در شبکه ۳۳ شین IEEE قبل و بعد از نصب DG

با توجه به شکل (۴) مشخص است که پروفیل ولتاژ پس از نصب DG ها در شبکه ۳۳ شین، به طور قابل ملاحظه ای بهبود یافته به نحوی که مینیمم ولتاژ در شین ۲۵ به مقدار ۰.۹۸۰۱۳۰ پریونیت و ماکزیمم آن در شین شماره ۱۹ به میزان ۰.۹۹۸۱۸۰ پریونیت می‌باشد. در مراجع [۳،۵] برای جابجایی بهینه منابع تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع شعاعی از الگوریتم BSOA و SKHA استفاده شده که نتایج برای نمودار پروفیل ولتاژ در جداول (۴) و (۵) قابل مشاهده می‌باشد.

## ۴-۳ تلفات

در جدول (۶) مقایسه بین الگوریتم NSGA-II با الگوریتم‌های BSOA و SKHA از نقطه نظر تلفات شبکه ارائه شده است.

جدول (۴) مقایسه نتایج پروفیل ولتاژ با الگوریتم SKHA

Algorithm	Max (V)	Min (V)
NSGA-II	۰.۹۹۸۱	۰.۹۸۰۱
BSOA	۰.۹۹۸۱	۰.۹۵۵۴

جدول (۵) مقایسه نتایج پروفیل ولتاژ با الگوریتم BSOA

Bus (Number)	NSGA-II (V)	SKHA (V)
Bus (۱۳)	۰.۹۹۵۷	۰.۹۷۰۳
Bus(۱۸)	۰.۹۹۸۱	۰.۹۷۰۱

## ۵- نتیجه گیری

با روند رو به رشد استفاده از تولیدات پراکنده، تعیین مکان و ظرفیت بهینه و بررسی اثرات بکارگیری این واحدها در سیستم قدرت به

خصوص در شبکه توزیع لازم و ضروری می‌باشد. در این مقاله هدف تعیین مکان و ظرفیت تولیدات پراکنده بوده، که نتایج بعد از نصب DG های روشن و خاموش حاکی از بهبود پروفیل ولتاژ، بهبود قابلیت اطمینان و کاهش تلفات و... در سیستم بوده. در این مقاله تعیین بهینه مکان و اندازه تولیدات پراکنده با استفاده از الگوریتم NSGA-II مبتنی بر روش جانشین خاموش انجام می‌شود این استراتژی در این روش برای اولین بار مورد مطالعه قرار می‌گیرد، این شبیه سازی ها بر روی شبکه های ۳۳ شین IEEE مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته اند که نتایج حاصله حاکی از برتری این روش می‌باشد. بهبود قابل ملاحظه در پارتو و جواب نهایی عملکرد بهتر روش بهینه سازی چند هدفه استفاده از این الگوریتم و استراتژی خاموش باعث افزایش قابلیت اطمینان و پایداری در شبکه و... می‌گردد.

جدول (۶) مقایسه تلفات الگوریتم NSGA-II با الگوریتم BSOA و SKHA

در شبکه ۳۳ شین

Algorithm	تلفات (KW)	اندازه (KW) DG	شماره شین نصب DG
الگوریتم NSGA-II	۲۷۱.۶۶	۷۸.۴۰۸	۱۴
		۶۰۰	۱۷
		۳۹.۵۰۸	۳۲
الگوریتم SKHA	۷۸.۷۲	۱۰۵۴	۱۳
		۱۰۹۱	۲۴
		۸۰۲	۳۰
الگوریتم BSOA	۰.۵۸۹	۶۳۲	۱۳
		۴۸۶	۲۸
		۵۵۰	۳۱

## مراجع

- [۱] طاهر، سید عباس، شیبانی، محمد رضا، نصرت آبادی، سید مصطفی، جدید الاسلام، مرتضی، روش جدید برای جابجایی و تعیین اندازه منابع تولید پراکنده در سیستم‌های توزیع با استفاده از الگوریتم ژنتیک، سیستم‌های هوشمند در مهندسی برق، سال دوم، شماره سوم، ۱۳۹۰.
- [۲] مرادی، حمیدرضا، جابجایی و اندازه‌دهی منابع تولید پراکنده با هدف بهبود قابلیت اطمینان و پروفیل ولتاژ و کاهش تلفات در شبکه‌های توزیع، مجله نخبگان علوم و مهندسی، جلد ۱- شماره ۲، ۱۳۹۵.

[3] Attia El-Fergany, *Optimal allocation of multi-type distributed generators using backtracking search optimization algorithm*, 2014.

[4] E.S.ali, S.M.AbdnElazim, A.Y.Abdelaziz, Ant Lion Optimization Algorithm for optimal location and sizing of renewable distributedgenerations, 10/1016/j.renene.2016.09.02R.

[5] S.A.ChithraDevi, L.Lakshminarasimman, R. Balamurugan, *Stud Krill herd Algorithm for multiple DG*

*placement and sizing in a radial distribution system*, 10, 10.1016/j.jestch.2016.11.009.

- [6] Oscar Andrew zongo, anant Oonsivilai, *Optimal placement of distributed generator for power loss minimization and voltage stability improvement*, 10.1016/j.egypro.2017.10.080.

[۷] جعفری، مسعود، منصف، حسن، جایابی هم زمان منابع تولید پراکنده و ادوات حفاظتی با استفاده از ترکیب الگوریتم کلونی مورچگان و تحلیل سلسله مراتبی، نشریه علمی - پژوهشی مدیریت انرژی، سال اول، شماره اول، ۱۳۹۰.

- [8] Mostafa Abouei Ardakan, Mohammad Taghi Rezvan, *Multi-objective optimization of reliability-redundancy allocation problem with cold-standby strategy using NSGA-II*, 10,1016/j.ress,2017,12,019.

## رزومه



محمد محمودی راد در اندیشک متولد شده است (۱۳۶۶). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی ارشد مهندسی برق - قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول (۱۳۹۸) سپری کرده است. علاقه‌مندی ایشان در زمینه سیستم‌های قدرت، کیفیت توان، و بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت است و در حال حاضر در صنعت نیروگاهی مشغول به خدمت می‌باشد.

## زیر نویس‌ها

- <sup>1</sup> Backtracking Search Optimization Algorithm
- <sup>2</sup> Photo Voltaic
- <sup>3</sup> Wind Turbine
- <sup>4</sup> Ant Lion Optimization Algorithm
- <sup>5</sup> Stud Krill Herd Algorithm
- <sup>6</sup> Institute of Electrical and Electronics Engineering
- <sup>7</sup> Expected Energy Not Supplied
- <sup>8</sup> Distributed Generation
- <sup>9</sup> Nondominated Sorting Genetic Algorithm
- <sup>10</sup> Load That Not Served

# Optimal Placement and Sizing of DG in Distributed Network using NSGA-II based on Cold-Standby Strategy

Mohammad Mahmoudi Rad<sup>1\*</sup>

\*1-Senior Electrical Engineer, Khuzestan Hydro Power Plants Installation & Maintenance Co, Ahwaz, Iran  
m.mahmoudi.raad@gmail.com

**Abstract:** in this Paper, Optimal placement and sizing of DGs is considered as an engineering optimization problem. Due to integration and influence of DGs in distributed networks, optimal location and sizing of them are done based on objective functions such as: voltage profile improvement, power loss reduction, reliability improvement, restraining the increase of power plant, etc. These goals considering the NSGA-II algorithm with cold standby strategy will be investigated and simulated on IEEE 33-bus standard test system. In order to implement the concept of Cold Standby theory, a group of DGs are considered which are off in normal condition but in fault condition, these DGs turn on and help to reconstruction the network. In order to measuring reliability, used the expected energy not supply (EENS) index. Optimization is done with two goals: reduction of EENS and the cost, including investment cost and power loss cost. Moreover, voltage profile improvement has been applied as a function penalty. Simulation has been done in MATLAB software and results show the effectiveness and capability of proposed algorithm.

**Key Words:** NSGA-II algorithm, distributed generation, optimal placement, reliability, voltage profile.