# جایابی بهینه کلیدهای قدرت کنترل از راه دور در سیستم توزیع شعاعی جهت بهبود قابلیت اطمینان با استفاده از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات با ضرایب سینوس کسینوس (PSO-SCAC)

امین رستگار پور*[۱]، حسن براتی[۲]

*۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه برق، دانشکده فنی و مهندسی، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، amin_rastegarpoor@yahoo.com
۲- استادیار، گروه برق، دانشکده فنی و مهندسی، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، barati216@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۲۷

**چکیده: یکی از تجهیزاتی که امروزه می‌تواند به بهبود وضعیت سیستم توزیع و کاهش هزینه‌های قطعی در زمان خطا کمک کند کلیدهای کنترل از راه دور هستند. یافتن مکان و تعداد بهینه این کلیدها در سیستم توزیع می‌تواند با توابع هدف مختلفی به صورت یک مسئله بهنه سازی غیرخطی برای بهبود قابلیت اطمینان و هزینه‌های سیستم مدل شود. در این مقاله، الگوریتم ازدحام ذرات با ضرایب سینوسی و کسینوسی (H-PSO-SCAC) برای حل مسئلهٔ مکانیابی کلیدهای کنترل از راه دور در سیستم توزیع ارائه شده است. نتایج شبیه سازی به دست آمده با استفاده از الگوریتم H-PSO-SCAC روی شبکه نمونه ۶۹ شینه تست شده و با نتایج الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات، الگوریتم جستجوی تفاضلی، الگوریتم تکاملی تفاضلی، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچگان و الگوریتم جستجوی گرانشی مقایسه شده اند. نتایج حاصل نشان می‌دهند که الگوریتم مورد استفاده از نظر کیفیت جواب به دست آمده و بازدهی محاسباتی دارای عملکرد بهتری است.**

**واژه‌های کلیدی: الگوریتم اردحام ذرات با ضرایب سینوسی و کسینوسی، تابع چند هدفه، سیستم توزیع شعاعی، سوئیچ‌های کنترل از راه دور، زمان تعمیر، زمان بازیابی.**

## ۱- مقدمه

وابستگی روز افزون زندگی بشر به انرژی الکتریکی روز به روز در حال افزایش است. همزمان با افزایش درخواست انرژی الکتریکی و تغییرات روش‌های زندگی، تقاضای بهبود قابلیت اطمینان، سرویس‌دهی و کیفیت انرژی نیز افزایش یافته است. برخی از شاخص‌های کیفیت و قابلیت اطمینان شامل مناسب بودن مقادیر دامنه ولتاژ و فرکانس شبکه و همچنین تداوم زمان انرژی تحویلی به مصرف‌کننده می‌باشد. بنابراین طراحی، بهره‌برداری و حفاظت شبکه قدرت نیز بایستی در راستای حفظ تداوم انرژی برق با لحاظ کردن این معیارها صورت گیرد. در واقع شبکه باید به نحوی عمل کند که در برابر اختلال‌های وارد بر آن به خوبی پاسخ داده و در محدوده قابل قبول به کار خود ادامه دهد یا حداقل انحراف ممکن را از شرایط قابل قبول داشته باشد. امروزه مهم‌ترین هدف شرکت‌های توزیع تأمین انرژی الکتریکی مصرف‌کنندگان با هزینه و سطح قابلیت اطمینان بهینه است. مفهوم قابلیت اطمینان هر دو جنبه کفایت و اطمینان عرضه برق را شامل می‌شود؛ بنابراین وقفه در استمرار انرژی صرف‌نظر از عوامل ایجاد آن

[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13 ]
[ DOR: 20.1001.1.23222468.1397.7.1.3.7 ]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 7-No. 1- Spring & Summer 2018

موجب کاهش سطح اطمینان شبکه می‌گردد؛ بنابراین یکی از مسائل شرکت‌های توزیع استفاده از روش‌هایی جهت کاهش حوادث و ساعات خاموشی و نهایتاً کاهش انرژی توزیع نشده است. در برخی مراجع از الگوریتم بهینه سازی PSO [۱] برای تعیین تعداد و محل بهینه دو نوع سوئیچ سکشن لایزر کنترل پذیر از راه دور و بریکر در سیستم‌های توزیع شعاعی استفاده شده است [۱]. در جایی دیگر نشان داده شده است که در مکان‌های پیشنهادی مسئله جایابی تجهیزات اتوماسیون براساس معیارهای مختلف قابلیت اطمینان، اختلاف وجود دارد اثرات برخی تجهیزات اتوماسیون همچون ریکلوزر و قطع کننده‌های کنترل از راه دور بر روی بهبود قابلیت اطمینان شبکه بررسی شده است [۲]. مرجعی دیگر روشی مبتنی بر الگوریتم جستجوی ترکیبی با در نظر گرفتن همزمان سناریوهایی با انواع مختلف تجهیزات اتوماسیون همچون کنترل در محل و کنترل از راه دور برای تعیین میزان بهینه سطح سرمایه‌گذاری‌ها در اتوماسیون شبکه‌های توزیع فشار متوسط ارائه می‌دهد [۳]. در جایی دیگر روشی مبتنی بر فرآیند سلسله مراتبی تحلیلی برای مکانیابی سوئیچ‌های کنترل از راه دور به منظور بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان در شبکه‌های توزیع الکتریکی پیشنهاد شده است [۴]. همچنین یک روش موثر مبتنی بر الگوریتم قورباغه جهنده برای مسئله مکانیابی بهینه تجهیزات سوئیچینگ دستی و اتوماتیک به منظور اتوماسیون سیستم‌های توزیع ارائه شده [۵] و منبعی دیگر هم یک تکنیک بهینه سازی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک را برای مکان یابی سوئیچ‌ها در سیستم‌های توزیع الکتریکی پیشنهاد داده است [۶].

در [۷] از روش هوش مصنوعی با سیستم چند عامله برای انجام ارزیابی هزینه-فایدهٔ بهبود قابلیت اطمینان در شبکه‌های توزیع استفاده کرده اند. در [۸] نیز از روش مبتنی بر شبیه سازی مونت کارلو به منظور ارائهٔ مبنایی برای استفاده از محاسبات موازی در ارزیابی قابلیت اطمینان و هزینهٔ سیستم قدرت استفاده کرده اند. به خاطر روند اخیر اتوماسیون، کلیدهای کنترل از راه دور (RCS) [۲] در مطالعات بهبود قابلیت اطمینان اهمیت بیشتری پیدا کرده اند. برخی از مطالعات به منظور توسعهٔ استراتژی‌هایی برای RCS بدون در نظر گرفتن تخصیص سوئیچ‌ها انجام شده اند [۹، ۱۰].

در این مقاله، مساله جایابی بهینه کلیدهای کنترل از راه دور (RCS) بر روی سیستم استاندارد ۶۹ شین مطالعه شده است و مساله بهینه سازی با تابع هدف تعیین شده برای افزایش قابلیت اطمینان به منظور بهبود پارامترهای فنی و اقتصادی سیستم در طول یک سال و نیز در طول چشم انداز ۱۵ ساله مدر نظر گرفته شده است. از طرفی با توجه به اهمیت بحث سرمایه گذاری دو چشم انداز تعیین شد و با توجه به هزینه نصب و تعمیر و نگهداری کلیدها، میزان هزینه انرژی از دست رفته در طول دوره چشم انداز بررسی گردید و کاهش انرژی از دست رفته و سود شرکت با توجه به قطعی‌های اجتناب ناپذیر در ادوات حفاظتی مطالعه شد که نتیجه نصب بهینه آن‌ها را به اثبات می‌رساند. همچنین از یک الگوریتم اصلاح شده مبتنی بر ازدحام ذرات با ضرایب سینوسی و کسینوسی برای حل مسئلهٔ مکانیابی کلیدهای کنترل از راه دور در سیستم توزیع ارائه شده است. نتایج شبیه سازی به دست آمده با استفاده از الگوریتم H-PSO-SCAC روی شبکه نمونه ۶۹ شینه تست شده و با نتایج الگوریتم بهینه سازی دیگر مقایسه و کارایی این روش را به اثبات رسیده است.

در ادامه در بخش دوم به مدلسازی و روابط مرتبط با جایابی کلیدهای کنترل از راه دور پرداخته است. در بخش سوم الگوریتم حل توسط روش بهینه سازی ازدحام ذرات با ضرایب سینوسی و کسینوسی موردبررسی قرار می‌گیرد. در بخش چهارم نتایج و سناریوهای شبیه سازی بیان و تحلیل می‌گردد. در بخش پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادها برای کارهای آینده بیان خواهند شد.

## ۲- فرمول بندی مسئله

مطالعات انجام گرفته نشان می‌دهد که هزینه قطعی برق برای مشترکین، مدت زمان قطعی برق، توپولوژی سیستم، تغییرات بارها و نرخ خرابی اجزاء مدار، مدت زمان رفع خطا، مدت زمان جدا سازی قسمت معیوب از بقیه شبکه، مقدار بار قطع شده در طی این زمان‌ها و در نهایت بهبود مقادیر شاخص‌های قابلیت اطمینان نقشی اساسی را در تعیین تابع هدف مورد نظر دارا می‌باشند.

### ۲-۱- تابع هدف

برای حل مشکل خاموشی در سال ۱۹۹۶ میلادی آقای پروفسور بلینگتون یک تابع هدف کلی را ارائه نمود[۱۱] که بوسیله آن بتوان بهبود کلیه شاخص‌های قابلیت اطمینان به همراه هزینه‌های وارده به شرکت توزیع و مشترک (مانند انرژی توزیع نشده یا از دست رفته) را بصورت ریاضی مدل کرد. با توجه به بررسی‌های بعمل آمده بر آن شدیم تا تجهیزات حفاظتی بکار رفته در مسئله بهینه سازی خود را به کلیدهای کنترل از راه دور (RCS) محدود بکنیم که مناسب هم می‌باشد. همچنین قیمت بالای تجهیزات کلید زنی، هزینه اجرای طرح‌ها و گسترده بودن شبکه توزیع بایستی به گونه‌ای باشد که توجیه اقتصادی را برای شرکت‌های توزیع داشته باشد. بنابراین هزینه RCS باید در تابع هدف مد نظر قرار گیرد، با توجه به سرمایه گذاری صورت گرفته که باعث افزایش قابلیت اطمینان ،رضایت مشترکین و ... می‌شود.

بازده اقتصادی نصب تجهیزات کلید زنی در طول یک مدت مشخص با توجه به در نظر گرفتن هزینه تعمیرات تجهیزات، رشد بار و نرخ تورم باید مورد تحلیل قرار گیرد. در نتیجه نهایتاً تابع هدف (هزینه) بصورت روابط (۱) تا (۹) تعمیم می‌یابد [۱۲].

$$Min\{W_1 J_1 + W_2 J_2\} \quad (۱)$$

[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222468.1397.7.1.3.7 ]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 7-No. 1- Spring & Summer 2018

$$J_1 = \sum_{j=1}^{n} EENS_j \times C_1 \times CPV_1 \quad (۲)$$

$$EENS = \sum L_j U_j \quad (۳)$$

$$U_j = \sum_{i0=1}^{nj0} \lambda_{i0} rep_{i0} + \sum_{i1=1}^{nj1} \lambda_{i1} res_{i1} \quad (۴)$$

$$CPV_1 = \frac{1-(PV_1)^{EL}}{1-(PV_1)} \quad (۵)$$

$$PV_1 = \frac{1+I_{\inf}}{1+I_{\text{int}}}(1+LG) \quad (۶)$$

$$J_2 = n_{RCS} \times (C_i + [C_m \times CPV_2]) \quad (۷)$$

$$CPV_2 = \frac{1-(PV_2)^{EL}}{1-(PV_2)} \quad (۸)$$

$$PV_2 = \frac{1+I_{\inf}}{1+I_{\text{int}}} \quad (۹)$$

که در روابط فوق، J1 تابع هدف محاسبه هزینه انرژی توزیع نشده، J2 تابع هدف محاسبه هزینه کلیدها، W1 ضریب وزنی J1، W2 ضریب وزنی J2، C1 هزینه انرژی توزیع نشده، EENS میزان انرژی توزیع نشده به ازای وقوع خطا در خط، Lj بار قطع شده به ازای خطا، Uj مدت زمان قطعی، repi0 مدت زمان تعمیر خطا، resi0 مدت زمان کلیدزنی و رفع عیب از نقطع معیوب، $i0\lambda$ نرخ خرابی سکشن‌های فیدر که به ازای خرابی قطع شدند و قطع ماندند، $i1\lambda$ نرخ خرابی سکشن‌های فیدر که به ازای خرابی قطع شدند و دوباره وصل شدند، nj0 تعداد سکشن‌های فیدر که به ازای خرابی قطع شدند و قطع ماندند، nj1 تعداد سکشن‌های فیدر که به ازای خرابی قطع شدند و دوباره وصل شدند، CPV1 وCPV2 ضریب هزینه برای چشم‌انداز سرمایه گذاری کلید و انرژی توزیع نشده، EL طول عمر اقتصادی کلیدها، LG رشد بار فیدر، Iinf نرخ بهره چشم انداز، Iint نرخ تورم چشم انداز، PV1وPV2 ارزش ضریب ارزش فعلی سرمایه گاری برای کلیدها و انرژی توزیع نشده، هستند.

## ۲-۲- قیود

حضور چنین ادواتی در شبکه باید به‌گونه‌ای باشد که تمام متغیرهای کنترلی و متغیرهای سیستم در معادلات پخش بار شبکه صدق نمایند. توان اکتیو و راکتیو را با توجه به معادلات معروف پخش بار در روابط (۱۰) و (۱۱) نشان داده‌شده‌اند.

$$P_{gi} - P_{di} - V_i \sum_{j=1}^{N} V_j Y_{ij} \cos\left(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}\right) = 0 \quad (۱۰)$$

$$Q_{gi} - Q_{di} - V_i \sum_{j=1}^{N} V_j Y_{ij} \sin\left(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}\right) = 0 \quad (۱۱)$$

در روابط بالا $P_{gi}$ و $Q_{gi}$ مربوط به توان‌های اکتیو و راکتیو بار در شین i، به ترتیب می‌باشند. $\delta_i$ و $V_i$ نیز زاویه و اندازه ولتاژ شین‌ها به ترتیب

$$c_1 = \partial \times \sin\left(\left(1-\frac{M_j}{M_{\max}}\right)\times\frac{\pi}{2}\right)+\delta \quad (۱۲)$$

$$c_2 = \partial \times \cos\left(\left(1-\frac{M_j}{M_{\max}}\right)\times\frac{\pi}{2}\right)+\delta \quad (۱۳)$$

می‌باشند $\theta_{ij}$ و $Y_{ij}$ المان‌های هستند که از ماتریس ادمیتانس شبکه استخراج می‌گردند.

## ۳- روش بهینه سازی ازدحام ذرات با ضرایب سینوسی و کسینوسی

یکی از جدید ترین الگوریتم های بهینه سازی که در سال ۲۰۱۸ معرفی شده است[۱۳] الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات با ضرایب سینوسی و کسینوسی می‌باشد H-PSO-SCAC [۳] می باشد. برای برخی از حیوانات که به‌صورت گروهی زندگی می‌کنند، همانند دسته‌های ماهی، رفتارهای پیچیده‌ای به هنگام حرکت قابل‌مشاهده هستند.

هر ذره در الگوریتم PSO از سه بردار d بعدی تشکیل‌شده است برای ذره‌ی i اُم این سه بردار عبارت‌اند از $X_i^d$ موقعیت فعلی ذره، $V_i^d$ سرعت حرکت ذره و $pbest_i^d$ بهترین موقعیتی که ذره تابه‌حال تجربه کرده است و $gbest_i^d$ بهترین موقعیت کل ذرات گروه است. در مرحله‌ی ابتدایی الگوریتم، ذرات با موقعیت‌ها و سرعت‌های تصادفی ایجاد می‌شوند. در طی اجرای الگوریتم موقعیت و سرعت هر ذره در مرحله‌ی بعدی از الگوریتم از روی اطلاعات مرحله‌ی قبلی ساخته می‌شوند، آنگاه روابطی که سرعت موقعیت ذرات را تغییر می‌دهند، عبارت‌اند از روابط (۱۳) و (۱۴):

$$V_i^d = V_i^d + c_1 \times r_1 (pbest_i^d - X_i^d) + \\ + c_2 \times r_2 (gbest_i^d - X_i^d) \quad (۱۳)$$

$$X_i^d = X_i^d + V_i^d \quad (۱۴)$$

در این روابط $r_1, r_2$ اعدادی تصادفی در بازه‌ی [۰، ۱] با توزیع یکنواخت و همچنین $c_1, c_2$ ضرایب یادگیری هستند. $r_1, r_2$ باعث می‌شوند که نوعی گوناگونی در جواب ها به وجود بیاید و به این نحو جستجوی کامل‌تری روی فضا انجام پذیرد. $c_1$ ضریب یادگیری مربوط تجارب شخصی هر ذره است و در مقابل $c_2$ ضریب یادگیری مربوط به تجارب کل جمع است از رابطه بالا می‌توان به این نتیجه رسید که، هر ذره به هنگام حرکت جهت حرکت قبلی خود بهترین موقعیتی را که در آن قرار داشته است و بهترین موقعیتی را که توسط کل جمع تجربه‌شده است، در نظر می‌گیرد.

اما در الگوریتم H-PSO-SCAC جهت بهبود جستجوی این الگوریتم تغییراتی به شرح زیر در الگوریتم انجام‌شده است که الگوریتم تحت عنوان الگوریتم ازدحام ذرات ترکیبی با ضرایب سینوس-کسینوس را معرفی می‌کند. روابط (۱۴) و (۱۵) معرف ضرایب تغییر یافته $C_1$ و $C_2$ هستند.

ضرایب C1 و C2 در پیدا کردن راه‌حل بهینه با سرعت و دقت کافی خیلی مؤثر است. ضرایب ثابت تجربی هستند که به ترتیب ۰.۵ و ۲



[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13 ]
[ DOR: 20.1001.1.23222468.1397.7.1.3.7 ]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 7-No. 1- Spring & Summer 2018

درنظر گرفته شده‌اند، Mj شماره تکرار فعلی و Mmax شماره حداکثر تکرار است. همچنین برای بهبود الگوریتم در مراحل یافتن بهینه محلی، جستجوی فضای مسئله و یافتن بهینه سراسری تغییراتی روی متغیرها به‌صورت روابط (۱۶) تا (۱۷) داده می‌شود:

$$X_i^d = X_i^d \times w_{ij} + V_i^d \times w'_{ij} + \\ + \rho \times gbest^d \times w_{ij} \quad (16)$$

$$w_{ij} = \frac{\exp(f(j)/u)}{1+\exp(-f(j)/u)^{iter}} \\ w'_{ij} = 1 - w_{ij} \quad (17)$$

$w_{ij}$ و $w'_{ij}$ که ضرایب شتاب وزنی دینامیکی ذره هستند که به‌صورت رابطه (۱۷) تغییر می‌کند. همچنین u مقدار تابع تناسب اصلی در تکرار اول، iter شماره تکرار فعلی و $f(j)$ تابع تناسب ذره j ام است و $\rho$ نیز عددی تصادفی بین ۰ و ۱ است [۱۳].

## ۴- شبیه سازی و نتایج

فیدر در نظر گرفته شده فیدر ۶۹ شینه است و مشخصات در نظر گرفته شده برای این فیدر مطابق مرجع [۱۲] و جدول (۱) است.

جدول (۱): پارامترهای استفاده شده برای فیدر ۶۹ شینه

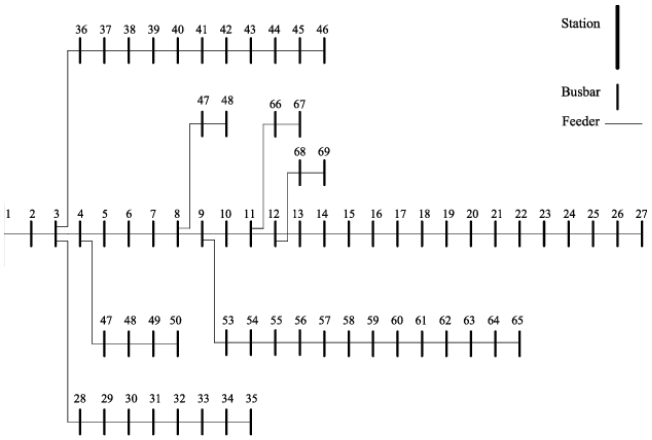
| | |
|---|---|
| نرخ خرابی | (f/yr) |
| مدت زمان تعمیر | ۵ (ساعت) |
| زمان بازیابی | ۵ دقیقه |
| نرخ بهره | ۰.۰۸ |
| نرخ تورم | ۰.۰۵ |
| رشد بار سالانه | ۰.۰۵ |
| قیمت RCS [۳۳] | ۱۸۰۰۰ دلار |
| هزینه تعمیر و نگهداری | ۲۰۰۰ دلار |
| طول عمر اقتصادی کلیدها | ۱۵ سال |
| هزینه متوسط قطع توان با توجه به تابع هزینه خرابی برای بارها | ۸ دلار |
| چشم انداز مورد مطالعه بافرض ثابت بودن $\lambda$ در هر سال | ۱۵سال |

همچنین دیاگرام تک خطی فیدر مطابق شکل (۱) است.

برای سهولت در ادامه سناریوها مطابق جدول (۲) نامگذاری خواهند شد.

جدول (۲): معرفی سناریوها

| نام سناریو | اختصار |
|---|---|
| سناریو ۱ | RCS Cost |
| سناریو ۲ | EENS Cost |
| سناریو ۳ | RCS+EENS Cost |




شکل (۱): دیاگرام تکخطی فیدر ۶۹ شینه

در جدول (۳) پارامترهای الگوریتم ازدحام ذرات با ضرایب سینوسی و کسینوسی بکار رفته در شبیه‌سازی‌ها آورده شده است.

جدول (۳): پارامترهای الگوریتم H-PSO-SCAC بکار رفته

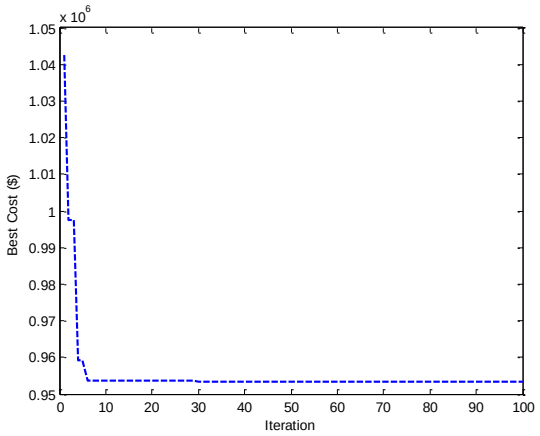
| | |
|---|---|
| تعداد جمعیت | ۵۰ |
| تعداد تکرار | ۱۰۰ |
| $\partial$ | ۲ |
| $\zeta$ | ۰/۵ |

همچنین برای کل فیدرهای توزیع مورد مطالعه سه سطح بار به قرار جدول (۴) در نظر گرفته شده است.

جدول (۴): سطوح مختلف بار

| سطح بار | دوره بر حسب ساعت | درصد بار پیک |
|---|---|---|
| ۱ | ۳۴۰ ساعت | ۱ |
| ۲ | ۵۵۰۰ ساعت | ۰.۴ |
| ۳ | ۲۹۲۰ ساعت | ۰.۵ |

نتایج عددی تست و شبیه سازی مربوط به جایابی و مکان یابی بهینه همزمان RCS برای شبکه ۶۹ شینه در جدول (۵) برای سناریوهای مختلف آورده شده است. همچنین نمودار همگرایی موردی در شکل (۲) نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود بعد از حدوداً ۸ تکرار و بدون وقفه شبیه‌سازی بار روش پیشنهادی کاملاً همگرا شده است.




شکل (۲): نمودار همگرایی برای فیدر ۶۹ شینه

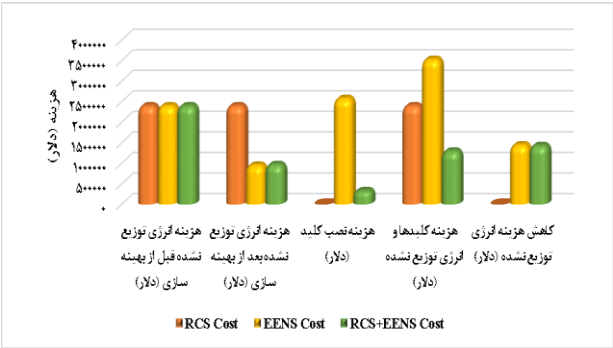


[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13 ]
[ DOR: 20.1001.1.23222468.1397.7.1.3.7 ]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 7-No. 1- Spring & Summer 2018

جدول (۵): بررسی نتایج برای هر سه سناریو

| | RCS Cost | EENS Cost | RCS+EENS Cost |
|---|---|---|---|
| هزینه انرژی توزیع نشده قبل از بهینه سازی (دلار) | ۲۳۹۷۵۰۰ | ۲۳۹۷۵۰۰ | ۲۳۹۷۵۰۰ |
| هزینه انرژی توزیع نشده بعد از بهینه سازی (دلار) | ۲۳۹۷۵۰۰ | ۹۵۱۷۳۱ | ۹۶۶۵۴۴ |
| هزینه نصب کلید (دلار) | ۰ | ۲۵۷۶۱۰۰ | ۳۲۸۸۶۴ |
| هزینه کلیدها و انرژی توزیع نشده (دلار) | ۲۳۹۷۵۰۰ | ۳۵۲۷۸۴۰ | ۱۲۹۵۴۱۰ |
| کاهش هزینه انرژی توزیع نشده (دلار) | ۰ | ۱۴۴۵۷۶۹ | ۱۴۳۰۹۵۶ |
| تعداد کلید | ۰ | ۴۷ | ۶ |

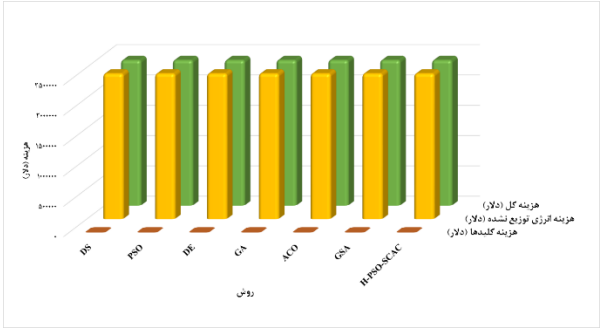
در کل شکل (۳) نتایج کل سه سناریوی مورد مطالعه با روش مورد آزمایش را بررسی می‌کند.



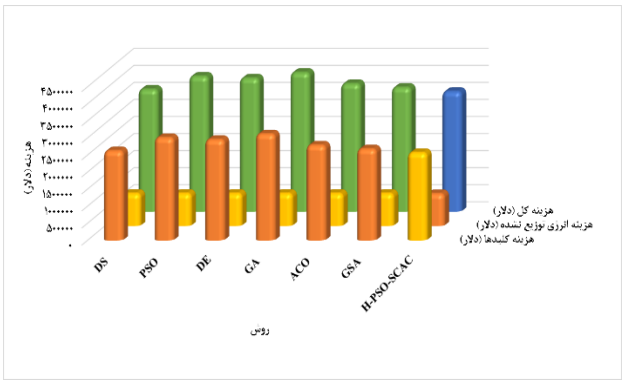

شکل (۳): مقایسه نتایج سه سناریو برای فیدر ۶۹ شینه

در این شکل همانطور که مشاهده می‌کنید با تغییر تابع هدف میزان هزینه انرژی توزیع نشده، هزینه کل و هزینه کلیدها تغییر می‌کند و بهترین حالت در واقع حالتی است که هر دو تابع هزینه کلیدها و هزینه انرژی توزیع نشده در نظر گرفته شوند.

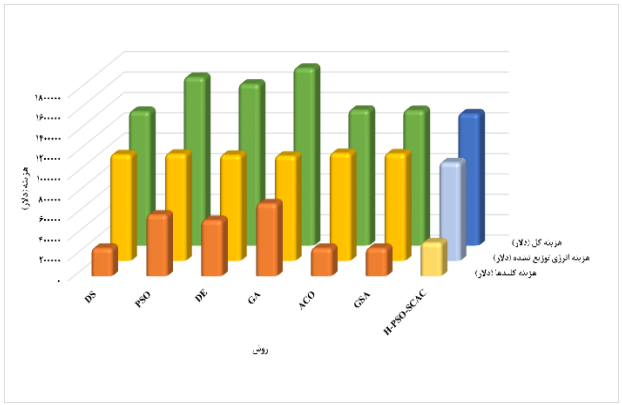
همچنین شکل‌های (۴) تا (۶) سناریوهای مطالعاتی را با سایر روش‌ها مقایسه می‌کند. همانطور که انتظار می رود در سناریوی ۱ چون هدف کاهش هزینه کلیدها است مقدار جواب برای همه روش‌ها صفر شده است.




شکل (۴): بررسی مقایسه سایر روش‌ها با نتایج فیدر ۶۹ شینه برای سناریوی ۱




شکل (۵): بررسی مقایسه سایر روش‌ها با نتایج فیدر ۶۹ شینه برای سناریوی ۲




شکل (۶): بررسی مقایسه سایر روش‌ها با نتایج فیدر ۶۹ شینه برای سناریوی ۳

در سناریوی ۲ هدف فقط کاهش میزان انرژی توزیع نشده بود همانطور که مشاهده می‌شود مطابق شکل (۵) بعد از شبیه سازی بهترین حالت برای کاهش هزینه انرژی توزیع نشده، در واقع نصب تعداد ۴۷ کلید در شبکه مورد مطالعه بوده است، مشاهده می‌شود با سرمایه گذاری اندکی روی شبکه حدوداً می‌توان تا ۶۰ درصد میزان انرژی توزیع نشده را کاهش داد.

همچنین در سناریوی ۳ اما هدف هم کاهش میزان انرژی توزیع نشده و هم کاهش هزینه نصب کلیدها بوده همانطور که مشاهده می‌شود مطابق شکل (۶) بعد از شبیه سازی بهترین حالت برای کاهش هزینه انرژی توزیع نشده و هزینه کلیدها به شکل همزمان، در واقع نصب تعداد ۶ کلید در شبکه مورد مطالعه بوده است، مشاهده می‌شود با سرمایه گذاری اندکی روی شبکه حدودا می‌توان تا ۸۸ درصد میزان انرژی توزیع نشده را کاهش داد. جدول‌های (۶)تا (۸) این مقایسه‌ها را بهتر نمایش می‌دهند. همانطور که مشاهده می‌کنید همه روش‌ها در این مورد مطالعاتی به یک نتیجه دست یافتند.

[ DOR: 20.1001.1.23222468.1397.7.1.3.7 ]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 7-No. 1- Spring & Summer 2018
[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13 ]

جدول (۶): مقایسه نتایج روش پیشنهادی با سایر روش‌ها برای سناریوی ۱ فیدر ۶۹ شینه

| روش | تعداد کلیدها | هزینه کلیدها (دلار) | هزینه انرژی توزیع نشده (دلار) | هزینه کل (دلار) |
|---|---|---|---|---|
| الگوریتم جستجوی تفاضلی [۱۲] | ۰ | ۰ | ۲۳۹۷۵۰۰ | ۲۳۹۷۵۰۰ |
| الگوریتم ازدحام ذرات [۱۲] | ۰ | ۰ | ۲۳۹۷۵۰۰ | ۲۳۹۷۵۰۰ |
| الگوریتم تکاملی تفاضلی [۱۲] | ۰ | ۰ | ۲۳۹۷۵۰۰ | ۲۳۹۷۵۰۰ |
| الگوریتم ژنتیک [۱۲] | ۰ | ۰ | ۲۳۹۷۵۰۰ | ۲۳۹۷۵۰۰ |
| الگوریتم کلونی مورچگان [۱۲] | ۰ | ۰ | ۲۳۹۷۵۰۰ | ۲۳۹۷۵۰۰ |
| الگوریتم جستجوی گرانشی [۱۲] | ۰ | ۰ | ۲۳۹۷۵۰۰ | ۲۳۹۷۵۰۰ |
| H-PSO-SCAC | ۰ | ۰ | ۲۳۹۷۵۰۰ | ۲۳۹۷۵۰۰ |

جدول (۷): مقایسه نتایج روش پیشنهادی با سایر روش‌ها برای سناریوی ۲ فیدر ۶۹ شینه

| روش | تعداد کلیدها | هزینه کلیدها (دلار) | هزینه انرژی توزیع نشده (دلار) | هزینه کل (دلار) |
|---|---|---|---|---|
| الگوریتم جستجوی تفاضلی [۱۲] | ۴۸ | ۲,۶۳۰,۹۰۰ | ۹۶۰,۹۸۳ | ۳,۵۹۱,۸۸۳ |
| الگوریتم ازدحام ذرات [۱۲] | ۵۵ | ۳,۰۱۴,۵۹۴ | ۹۶۰,۹۸۳ | ۳,۹۷۵,۵۷۷ |
| الگوریتم تکاملی تفاضلی [۱۲] | ۵۴ | ۲,۹۵۹,۸۰۰ | ۹۶۰,۹۸۳ | ۳,۹۲۰,۷۸۳ |
| الگوریتم ژنتیک [۱۲] | ۵۷ | ۳,۱۲۴,۲۰۰ | ۹۶۰,۹۸۳ | ۴,۰۸۵,۱۸۳ |
| الگوریتم کلونی مورچگان [۱۲] | ۵۱ | ۲,۷۹۵,۴۰۰ | ۹۶۰,۹۸۳ | ۳,۷۵۶,۳۸۳ |
| الگوریتم جستجوی گرانشی [۱۲] | ۴۹ | ۲,۶۸۵,۷۰۰ | ۹۶۰,۹۸۳ | ۳,۶۴۶,۶۸۳ |
| H-PSO-SCAC | ۴۷ | ۲۵۷۶۱۰۰ | ۹۵۱۷۳۱ | ۳۵۲۷۸۴۰ |

همانطور که مشاهده می‌شود با توجه جدول (۷) بهترین جواب به لحاظ ENS هزینه کل مربوط به روش مذکور بوده است.

همانطور که مشاهده می‌کنید همه روش‌ها در این مورد مطالعاتی به یک نتیجه دست یافتند به جز روش H-PSO-SCAC که روش مورد نظر نسبت به سایر روش‌ها بهتر بوده است. در واقع مسئله مهم در کاهش هزینه‌های انرژی توزیع نشده انتخاب تعداد و مهم‌تر از آن مکان نصب کلیدها است که الگوریتم مورد نظر این مهم را به خوبی پوشش داده است.

## ۵- نتیجه گیری

در این مقاله جایابی بهینه کلیدهای کنترل از راه دور (RCS) بر روی سیستم استاندارد ۶۹ شین انجام شد و تحلیل نتایج، حاکی از عملکرد خوب الگوریتم بهینه سازی در بهینه کردن تابع هدف تعیین شده برای افزایش قابلیت اطمینان به منظور بهبود پارامترهای فنی و اقتصادی سیستم در طول یک سال و نیز در طول چشم انداز ۱۵ ساله می‌باشد. از طرفی با توجه به اهمیت بحث سرمایه گذاری دو چشم انداز تعیین شد و با توجه به هزینه نصب و تعمیر و نگهداری کلیدها ، میزان هزینه انرژی از دست رفته در طول دوره چشم انداز بررسی گردید و کاهش انرژی از دست رفته و سود شرکت با توجه به قطعی‌های اجتناب ناپذیر در ادوات حفاظتی مطالعه شد که نتیجه نصب بهینه آن‌ها را به اثبات می‌رساند. نتیجه مهم اینکه هرچه سیستم بزرگتر باشد و تنوع بار در آن بیشتر باشد اثر روش پیشنهادی در کاهش هزینه‌ها و میزان انرژی از دست رفته نیز افزایش می‌یابد.

جدول (۸): مقایسه نتایج روش پیشنهادی با سایر روش‌ها برای سناریوی ۳ فیدر ۶۹ شینه

| روش | تعداد کلیدها | هزینه کلیدها (دلار) | هزینه انرژی توزیع نشده (دلار) | هزینه کل (دلار) |
|---|---|---|---|---|
| الگوریتم جستجوی تفاضلی [۱۲] | ۵ | ۲۷۴,۰۵۰ | ۱,۰۴۳,۵۰۰ | ۱,۳۱۷,۵۵۰ |
| الگوریتم ازدحام ذرات [۱۲] | ۱۱ | ۶۰۲,۹۲۰ | ۱,۰۴۹,۲۰۰ | ۱,۶۵۲,۱۲۰ |
| الگوریتم تکاملی تفاضلی [۱۲] | ۱۰ | ۵۴۸,۱۱۰ | ۱,۰۳۸,۱۰۰ | ۱,۵۸۶,۲۱۰ |
| الگوریتم ژنتیک [۱۲] | ۱۳ | ۷۱۲,۵۴۰ | ۱,۰۳۰,۰۰۰ | ۱,۷۴۲,۵۴۰ |
| الگوریتم کلونی مورچگان [۱۲] | ۵ | ۲۷۴,۰۵۰ | ۱,۰۵۷,۱۰۰ | ۱,۳۳۱,۱۵۰ |
| الگوریتم جستجوی گرانشی [۱۲] | ۵ | ۲۷۴,۰۵۰ | ۱,۰۵۲,۷۰۰ | ۱,۳۲۶,۷۵۰ |
| H-PSO-SCAC | ۶ | ۳۲۸۸۶۴ | ۹۶۶۵۴۴ | ۱,۲۹۵,۴۰۸ |

در کل با توجه به نتایج فوق همانطور که قبلاً هم اشاره شد یکی از محدودیت‌های اصلی در بحث تولید و توزیع توان در شبکه مسئله هزینه‌ها و کاهش ضررهی سیستم الکتریکی می‌باشد. از این رو با بررسی و شناخت کافی از موقعیت جغرافیایی و وضعیت تأسیسات و تجهیزات شبکه و نیز داشتن اطلاعات آماری جامع از تعداد و علت خاموشی‌ها در شبکه توزیع می‌توان از بروز اکثر خاموشی‌ها جلوگیری به عمل‌آورده و باعث بهبود پایداری شبکه گردید و درنتیجه هزینه‌های تولید و انتقال انرژی الکتریکی و انرژی توزیع نشده را تا حد زیادی کاهش داد. لذا نیاز است تا با اعمال اتوماسیون و هوشمند شبکه‌های توزیع با سرعت عمل بالا محل خطای به وجود آمده در فیدر را شناسایی و در زمان کوتاه نسبت به رفع خطا اقدام نمود. از دیگر معضلات در حل اینگونه مسائل انتخاب درست روش حل مسئله است

[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13 ]
[ DOR: 20.1001.1.23222468.1397.7.1.3.7 ]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 7-No. 1- Spring & Summer 2018

چون از آنجا که متغیرهای ایـن چنـین مسـائلی متغیرهـایی گسسـته می‌باشند لذا باید دقـت نمـود تـا در حـل از روش‌هـای بهینـه سـازی گسسته استفاده کرد که در این کار با توجه بـه نـوع مسـئله الگـوریتم بهینه سازی H-PSO-SCAC گزینه مناسبی بـود کـه از آن اسـتفاده شد و همانطور که انتظار می‌رفت نتایج مطلوبی را ارائه داد.

## مراجع


[1] R.Billinton and R.N.Allan, "Reliability Evolution Of Power Systems", 2 nd Edition, Plenum Press, New York And London, ISBN 0-306-45259-6, 1996.

[2] R. Billinton And W. Wangdee, "Estimating Customer Outage Costs Due To A Specific Failure Event", IEEE Proc. Generation. Transmission and Distribution Vol. 150, No. 6, November 2003.

[3] T.F.Tsao, Y.P.Chang, W.K.Tseng," Reliability and Costs Optimization for Distribution System Placement Problem", IEEE/PES Transmission and Distribution Conference & Exhibition: Asia and Pacific Dalian, China, 2005.

[4] K.Alvehag, "Impact of Dependencies in Risk Assessments of Power Dist. Systems", Licentiate Thesis, Royal Institute Of Technology, School Of Electrical Engineering, Electric Power Systems, Stockholm, Sweden, Karin Alvehag, ISBN 978-91-7415-110-7, September 2008.

[5] Brown, R. E. (2017). Electric power distribution reliability. CRC press.

[6] T.A.Short, "Distribution Reliability and Power Quality", Taylor & Francis Group. LCC, 2006.

[7] Zheng H, Cheng Y, Gou B, Frank D, Bern A, Muston WE. Impact of automatic switches on power distribution system reliability. Electr Pow Syst Res 2012;83:51–7.

[8] Haifenga G, Asgarpoor Sohrab. Parallel Monte Carlo simulation for reliability and cost evaluation of equipment and systems. Electr Pow Syst Res 2011:347–56.

[9] Cox PW. Self-healing networks: performance improvement by automated switching algorithm. In: 20th internatinal conference on electricity distribution (CIRED 2009), 2009. P.1–8.

[10] Wagner T. Impact of remote controlled switches on distribution grid recovering process. Master Degree Project, Royal Institute of Technology (KTH), School of Electrical Engineering; 2010.

[11] L.H.Tsai,"Network Reconfiguration to Enhance Reliability of Electric Distribution Systems",EPSR, No. 27, 1993, Pp.135-140.

[12] Ray, S., Bhattacharya, A., & Bhattacharjee, S. (2016). Optimal placement of switches in a radial distribution network for reliability improvement. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 76, 53-68.

[13] Chen, K., Zhou, F., Yin, L., Wang, S., Wang, Y., & Wan, F. (2018). A hybrid particle swarm optimizer with sine cosine acceleration coefficients. Information Sciences, 422, 218.


## رزومه



**امین رستگار پـور** در دزفـول متولـد شـده است (۱۳۶۷). تحصیلات دانشگاهی خـود را در مقطع کارشناسی و کارشناسی ارشد مهندسـی برق- قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول در سال ۱۳۹۱ و ۱۳۹۸ به ترتیب سپری کـرده است. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه های قابلیت اطمینان، سیستم های توزیع و روش های بهینـه سازی در سیستم‌های قدرت است.

## زیرنویس‌ها

[1] Particle swarm optimization

[2] Remote Control Switch

[3] Hybrid particle swarm optimizer with sine cosine acceleration coefficients

[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222468.1397.7.1.3.7 ]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 7-No. 1- Spring & Summer 2018

# Optimal Placement of Remote Control Switches in Radial using Distribution Network for Reliability Improvement Particle Swarm Optimization with Sine Cosine Acceleration Coefficients

**Amin Rastegar Pour[1], Hassan Barati[2]**

1-MSc student, Department of Electrical Engineering, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran
2-Assistant Professor - Department of Electrical Engineering, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran, barati216@gmail.com

**Abstract:** One of the equipment that can help improve distribution system status today and reduce the cost of fault time is remote control switches (RCS). Finding the optimal location and number of these switches in the distribution system can be modeled with various objective functions as a nonlinear optimization problem to improve system reliability and cost. In this article, a particle swarm algorithm with sinusoidal and cosine coefficients (H-PSO-SCAC) is presented to solve the RCS locating problem in the distribution system. The simulation results were tested using H-PSO-SCAC algorithm on sample network 69 bus and with particle swarm optimization (PSO), differential search algorithm (DS), Differential evolutionary algorithm (DE), genetic algorithm (GA), ant colony optimization (ACO) and gravitational search algorithm (GSA) have been compared. The results show that the H-PSO-SCAC algorithm is better in terms of response quality and computational efficiency.

**Keywords:** Particle swarm optimization Sine cosine acceleration; Multi-objective function; Radial distribution system; Remote control switches; Repair time; Restoration time.

[ DOR: 20.1001.1.23222468.1397.7.1.3.7 ]
[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13 ]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 7-No. 1- Spring & Summer 2018