جایابی مکان و تعیین اندازه بهینه منابع تولید پراکنده و خازن‌های موازی به صورت همزمان به‌کمک الگوریتم سینوس-کسینوس (SCA) در سیستم‌های توزیع شعاعی

اسما فرخ‌فر*[۱]، دکتر حسن براتی [۲]

*۱- دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه برق، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران، a.farokhfar@gmail.com

۲- استادیار ،گروه برق، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران، barati216@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۷/۶/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۷/۸/۲

چکیده:

استفاده از منابع تولید پراکنده و بانک‌های خازنی به دلیل توسعه شبکه‌های توزیع و همچنین افزایش تقاضای برق روز به روز در حال افزایش است. نیروگاه‌های تولید پراکنده و خازن‌ها در صورتی‌که در محل مناسب به شبکه برق متصل شوند، اثرات مختلفی از جمله کاهش تلفات، بهبود پروفیل ولتاژ و افزایش قابلیت اطمینان شبکه را خواهند داشت. در این مقاله جهت کاهش تلفات سیستم توزیع به جایابی بهینه همزمان منابع تولید پراکنده و خازن‌ها در سیستم‌های توزیع شعاعی پرداخته شده است. به همین منظور، از الگوریتم سینوس کسینوس (SCA) که الهام گرفته از توابع ساده ریاضی است، استفاده شده است. شبیه‌سازی بر روی شبکه تست ۶۹ شینه IEEE انجام گرفته است. نتایج شبیه‌سازی کارایی الگوریتم پیشنهادی در مسئله جایابی بهینه همزمان منابع تولید پراکنده و خازن‌ها در سیستم‌های توزیع شعاعی جهت کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ در مقایسه با دیگر الگوریتم‌های بهینه‌سازی بکار گرفته شده در این زمینه را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم سینوس کسینوس (SCA)، خازن، منابع تولید پراکنده (DG)، سیستم‌های توزیع شعاعی، تلفات توان.

۱- مقدمه

در سال‌های آغازین استفاده از انرژی الکتریکی، ژنراتورهای جریان مستقیم با همان ولتاژ تولیدی به مصرف‌کننده‌ها متصل شده بودند و به این صورت تولید و انتقال برق با یک ولتاژ انجام می‌گرفت، چرا که هیچ راهی برای تغییر ولتاژ DC به جز تغییر ژنراتورها وجود نداشت. پذیرش جریان الکتریکی متناوب AC با تغییرات بنیادی در زمینه برق همراه شد، چرا که ترانسفورماتورهای الکتریکی می‌توانستند ولتاژ را تغییر دهند و این، امکان افزایش طول خطوط انتقال را فراهم می‌کرد[۱]. با افزایش ولتاژ در طول خطوط، جریان الکتریکی کاهش یافته و بدین صورت، نیاز به استفاده از کابل‌های با سطح مقطع بالا و مولدهای محلی برطرف می‌شد و در این صورت همچنین امکان تولید انرژی الکتریکی در فواصل دوراز مصرف‌کننده‌ها نیز فراهم می‌شد[۲]. مرحله توزیع یکی از مراحل انتهای تحویل انرژی الکتریکی به مصرف‌کننده‌هاست. این بخش به طور کلی شامل خطوط ولتاژ متوسط (کمتر از ۲۰ کیلوولت)، پست‌های ترانسفورمری و خطوط ولتاژ پایین (کمتر از ۱۰۰۰ ولت) می‌شود[۳]. شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی، محل تلاقی مشترکین صنعت برق می‌باشد و اشکالات سیستم توزیع در این صنعت، از دید مصرف‌کنندگان، مشکل کلی صنعت برق قلمداد خواهد شد. توسعه روزافزون، عدم پیش بینی صحیح این روند و عقب ماندگی تکنولوژی، همواره مشکلاتی را در سیستم توزیع انرژی الکتریکی به همراه داشته است[۴].استفاده از منابع تولید پراکنده و بانک‌های خازنی بدلیل توسعه شبکه های توزیع و همچنین افزایش تقاضای برق روز به روز در حال افزایش است. تعیین محل نصب و ظرفیت دو شاخص مهم و موثر بر روی تلفات توان شبکه و بهبود عملکرد شبکه است. نیروگاه‌های تولید پراکنده و خازن‌ها در

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2025-04-12]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 5 -No. 1- spring & summer 2016

[DOR: 20.1001.1.23222468.1395.5.1.5.5]

صورتی‌که در محل مناسب به شبکه برق متصل شوند، اثرات مختلفی از جمله کاهش تلفات، بهبود پروفیل ولتاژ و افزایش قابلیت اطمینان شبکه را خواهند داشت[۵]. از آنجا که این منابع در سمت مصرف و در انتهای شبکه نصب می شوند بار را به صورت محلی تامین کرده و مقدار جریان در خطوط شبکه از سمت تولیدکنندگان به سمت مصرف را کاهش می‌دهند. با کاهش اندازه جریان اکتیو و راکتیو از خطوط، تلفات اکتیو و راکتیو و افت ولتاژ شبکه در خطوط نیز که متناسب با میزان جریان هستند کاسته می شوند. با کاهش افت ولتاژ خطوط، ولتاژ انتهایی شبکه کمتر کاهش یافته و مقدار آن بهبود می‌یابد. از طرفی عدم جایابی مناسب آن‌ها در شبکه باعث افزایش تلفات و بالا رفتن هزینه‌های تولید و انتقال می‌شود[۶].

اهداف مقاله شامل بهبود پروفیل ولتاژ، کاهش تلفات و افزایش قابلیت اطمینان شبکه می‌باشد.

در بخش ۲ فرمول‌بندی مسئله بهینه‌سازی و فرمول‌بندی مسئله، دربخش ۳ الگوریتم سینوس کسینوس (SCA) و پیاده‌سازی برای حل مسئله و دربخش ۴ نتایج شبیه‌سازی کامپیوتری و نهایتا نتیجه‌گیری ارائه خواهد شد.

۲- مسأله بهینه‌سازی

در این مقاله مسئله پخش بار با روش جاروب پیشرو-پسرو و با استفاده از معادلات بازگشتی حل شده است.

۲-۱- فرمول بندی پخش بار

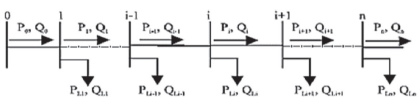
معادلات بازگشتی از دیاگرام تک‌فاز نشان داده شده در شکل (۲-۱) بدست آمده است [۷].

$$P_{i+1} = P_i - P_{Li+1} - R_{i,i+1}\frac{P_i^2+Q_i^2}{|V_i^2|} \quad (۱)$$

$$Q_{i+1} = Q_i - Q_{Li+1} - X_{i,i+1}\frac{P_i^2+Q_i^2}{|V_i^2|} \quad (۲)$$

$$V_{i+1}^2 = V_i^2 - 2\left(R_{i,i+1}.P_i + X_{i,i+1}.Q_i\right) + \left(R_{i,i+1}^2 + X_{i,i+1}^2\right).\frac{P_i^2+Q_i^2}{|V_i^2|} \quad (۳)$$

در معادله (۲-۲)، P_i و Q_i، به ترتیب توان‌های اکتیو و راکتیو شین i ام می‌باشند. همچنین P_{Li} و Q_{Li} نیز به ترتیب توان‌های اکتیو و راکتیو بار در شین i ام می‌باشند. مقاومت و راکتانس‌های خط بین شین‌های i و i+1 توسط $R_{i,i+1}$ و $X_{i,i+1}$ نشان داده شده است.



شکل۱: دیاگرام تک خطی فیدر اصلی[۷]

تلفات توان در این خط می‌تواند با استفاده از معادلات زیر محاسبه شود:

$$P_L = R_{i,i+1}.\frac{P_i^2+Q_i^2}{|V_i^2|} \quad (۴)$$

$$Q_L = X_{i,i+1}.\frac{P_i^2+Q_i^2}{|V_i^2|} \quad (۵)$$

کل تلفات توان P_{TL} در فیدر می‌تواند با افزودن تلفات توان در خطوط به‌دست آید. همان‌طور که در فرمول زیر مشاهده می‌شود:

$$TP_{loss} = \sum_{i=1}^{n-1} P_L(i,i+1) \quad (۶)$$

$$TQ_{loss} = \sum_{i=1}^{n-1} Q_L(i,i+1) \quad (۷)$$

که در آن TP_{loss} و TQ_{loss}، به ترتیب تلفات اکتیو و راکتیو در سیستم هستند. معادله بازگشتی داده شده در معادله (۲-۲) می‌بایست به صورت زیر اصلاح شود:

$$P_{i+1} = P_i - P_{Li+1} - R_{i,i+1}\frac{P_i^2+Q_i^2}{|V_i^2|} + \mu_p.AP_{i+1} \quad (۸)$$

$$Q_{i+1} = Q_i - Q_{Li+1} - X_{i,i+1}\frac{P_i^2+Q_i^2}{|V_i^2|}\mu_q.RP_{i+1} \quad (۹)$$

در معادله (۲-۸) μ_p، ضریب توان اکتیو است. هنگامی که یک منبع توان اکتیو وجود داشته باشد μ_p برابر یک است در غیر اینصورت برابر صفر خواهد بود. به طور مشابه برای μ_q که ضریب توان راکتیو است، هنگامی که یک منبع توان راکتیو وجود داشته باشد μ_q برابر یک است در غیر این صورت برابر صفر خواهد بود. همچنین AP_{i+1} دامنه توان اکتیو تزریق شده در شین i+1 و RP_{i+1} دامنه توان راکتیو تزریق شده در شین i+1 می‌باشد.

۲-۲- تابع هدف

تابع هدف، کل تلفات توان اکتیو در سیستم می‌باشد [۷]:

$$\min.\ F = P_{Loss} \quad (۱۰)$$

۲-۳- قیود مسئله

قیودی که در این مسئله بهینه‌سازی در نظر گرفته شده است عبارتند از محدودیت‌های ولتاژ شین‌ها، پخش‌بار خطوط و کمینه و بیشینه ظرفیت در دسترس برای نصب بانک‌های خازن و DG. این قیود در زیر نشان داده شده است:

$$V_i^{min} \le V_i \le V_i^{max} \quad (۱۱)$$

$$I_{ij} \le I_{ij}^{max} \quad (۱۲)$$

$$P_{DG}^{min} \le P_{DG} \le P_{DG}^{max} \quad (۱۳)$$

$$Q_C^{min} \le Q_C \le Q_C^{max} \quad (۱۴)$$

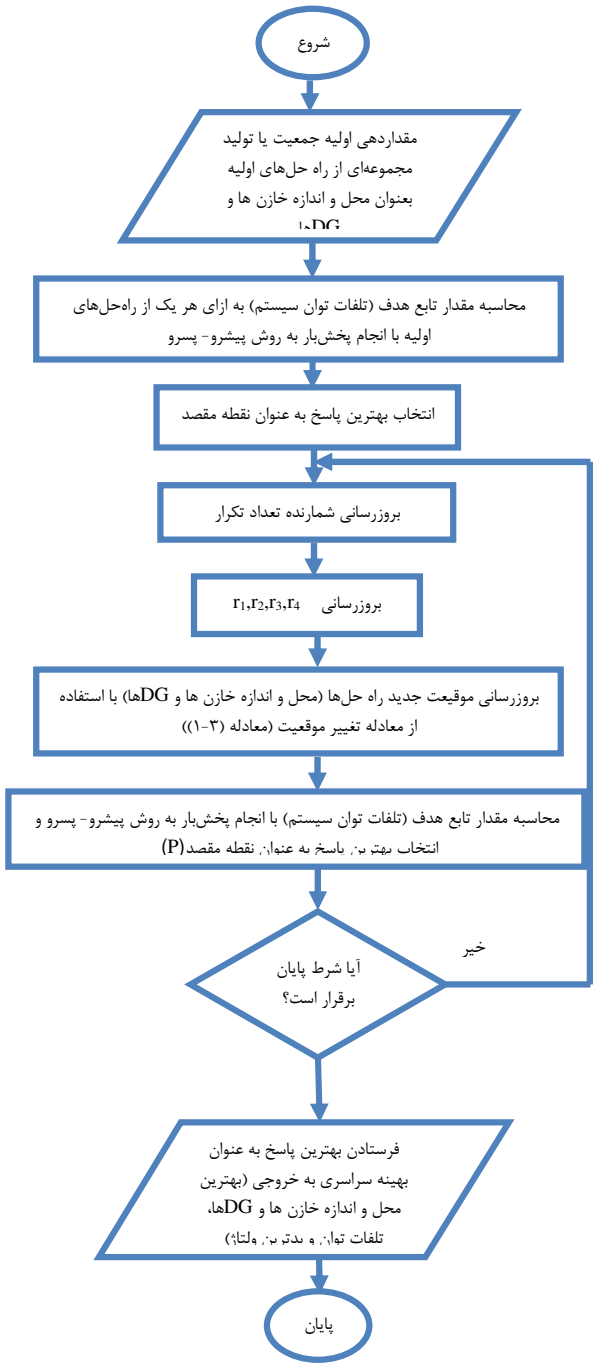
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2025-04-12]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 5 -No. 1- spring & summer 2016

[DOR: 20.1001.1.23222468.1395.5.1.5.5]

۳- الگوریتم سینوس کسینوس (SCA)

روندنمای الگوریتم SCA به‌منظور حل مسأله جایابی بهینه خازن و منابع تولید پراکنده در سیستم توزیع به‌صورت زیر می‌باشد:



الگوریتم سینوس کسینوس (SCA) در ابتدا چندین پاسخ کاندید تصادفی اولیه را ایجاد می کند و سپس با استفاده از یک مدل ریاضی و با تکیه بر تابع‌های سینوسی و کسینوسی به طرف بهترین راه‌حل و یا به طرف خارج از آن حرکت می‌کند (نوسان پیدا می‌کند).

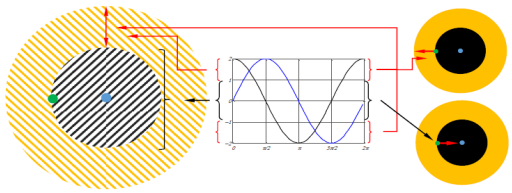
الگوریتم‌های بهینه‌سازی تصادفی مسائل بهینه‌سازی را به صورت جعبه‌های سیاه در نظر می‌گیرند [۸]. این بدین معنی است که استخراج مدل‌های ریاضی لازم نیازی نیست زیرا چنین روش‌های بهینه‌سازی فقط ورودی‌ها را تغییر می‌دهند و خروجی‌های سیستم را برای حداکثرسازی یا حداقل‌سازی خروجی‌های آن نمایش می‌دهند. مزیت دیگر در نظر گرفتن مسائل به صورت جعبه سیاه، انعطاف‌پذیری زیاد آنها است، بدین معنی‌که الگوریتم‌های تصادفی به آسانی برای مسائل در زمینه‌های مختلف قابل اجرا هستند.

معادلات بروزرسانی برای الگوریتم SCA به صورت زیر است [۹].

$$X_i^{t+1} = \begin{cases} X_i^t + r_1 \times \sin(r_2) \times |r_3 p_i^t - X_i^t|, & r_4 < 0.5 \\ X_i^t + r_1 \times \cos(r_2) \times |r_3 p_i^t - X_i^t|, & r_4 \geq 0.5 \end{cases} \quad (15)$$

در این رابطه X_i^t موقعیت فعلی در iامین دیمانسیون در tامین تکرار، r_1 ، r_2 ، r_3 ، r_4 اعداد تصادفی هستندکه r_4 بین [۱ و ۰] است. p_i وضعیت نقطه مقصد (بهترین پاسخ به‌دست-آمده تا t امین تکرار) در iامین دیمانسیون و قدرمطلق را مشخص می کند.

r_1 نواحی موقعیت بعدی (یا مسیر و جهت حرکت) را نشان می‌دهد که می‌تواند در فضای بین جواب و مقصد یا خارج از آن باشد. r_2 تعیین می‌کند که چقدر و تا کجا حرکت باید به طرف یا خارج از مقصد باشد. r_3 وزن‌های اضافی به نقطه مقصد به منظور تأکید تصادفی ($1< r_3$) یا عدم تأکید ($r_3<1$) تأثیر نمک‌زدایی در تعریف فاصله ارائه می‌نماید. r_4 به صورت برابر بین مولفه‌های سینوسی و کسینوسی تغییر می‌کند.



یک مدل فرضی در مورد اثرات تابع‌های سینوسی و کسینوسی با دامنه [۲ و ۲-] در شکل بالا نشان داده شده است که نشان می‌دهد چگونه یک پاسخ، نیازمند به تغییر دامنه سینوس و کسینوس برای به روز کردن موقعیت خود در خارج از فضای بین خود جواب و راه‌حل دیگر است.

شبه کد الگوریتم SCA در شکل زیر نشان داده می شود:

- یک مجموعه از عوامل جستجو (راه‌حل‌ها) (X) را ارائه دهید.
- هریک از عوامل جستجو را بااستفاده از تابع هدف ارزیابی کنید.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2025-04-12]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 5 -No. 1- spring & summer 2016

[DOR: 20.1001.1.23222468.1395.5.1.5.5]

- بهترین جواب بدست آمده تاکنون ($p=x^*$) را به‌روز کنید.
- r_4, r_3, r_2, r_1 را بروز کنید.
- موقعیت عوامل جستجو را بااستفاده از معادله (۳-۱) به‌روز کنید (تا موقعی که t کوچکتر از تعداد حداکثری تکرارها باشد به مرحله ۲ بازگردید).
- بعد از پایان حداکثر تعداد تکرار بهترین راه‌حل بدست آمده را به‌عنوان بهینه سراسری درنظر بگیرید.

۳-۱- مراحل گام به گام الگوریتم SCA به منظور حل مسئله جایابی بهینه خازن‌ها و منابع تولید پراکنده در سیستم توزیع

علیرغم تعداد قابل توجهی از الگوریتم‌هایی که جدیداً برای حل مسئله جایابی بهینه منابع تولید پراکنده و خازن‌های موازی در سیستم‌های توزیع پیشنهاد شده‌اند، تئوری NFL به صورت منطقی ثابت می‌کند که هیچکس نمی‌تواند یک الگوریتم را برای حل تمامی مسائل بهینه‌سازی مطرح کند [۱۰]. این بدین معنی است که موفقیت یک الگوریتم در حل یک مجموعه خاص از مسائل بهینه‌سازی، حل دیگر مسائل بهینه‌سازی با نوع و ماهیت متفاوت را تضمین نمی‌کند. قضیه NFL به پژوهشگران این امکان را می‌دهد تا الگوریتم‌های بهینه‌سازی جدید را پیشنهاد کنند و یا برای حل زیرمجموعه‌هایی از مسائل در حوزه‌های مختلف الگوریتم‌های فعلی را بهبود و یا تغییر دهند. به این منظور برای حل جایابی بهینه منابع تولید پراکنده و خازن‌های موازی در سیستم‌های توزیع، الگوریتم بهینه‌سازی SCA پیشنهاد می‌شود. به کمک الگوریتم بهینه‌سازی SCA مقادیر متغیرهای بهینه‌سازی بایستی به گونه‌ای بهینه شوند که شرایط ارضاء توابع هدف را برآورده سازند. محدوده متغیرها مطابق جدول زیر است:

جدول۱: محدوده متغیرهای بهینه‌سازی

متغیر	مینیمم	ماکزیمم
محل خازن‌های موازی در سیستم ۶۹ شینه IEEE	۱	۶۹
محل منابع تولید پراکنده در سیستم ۶۹ شینه IEEE	۱	۶۹
اندازه خازن‌های موازی در سیستم ۶۹ شینه IEEE	۰	۲MVAr
اندازه منابع تولید پراکنده در سیستم ۶۹ شینه IEEE	۰	۲ Mw

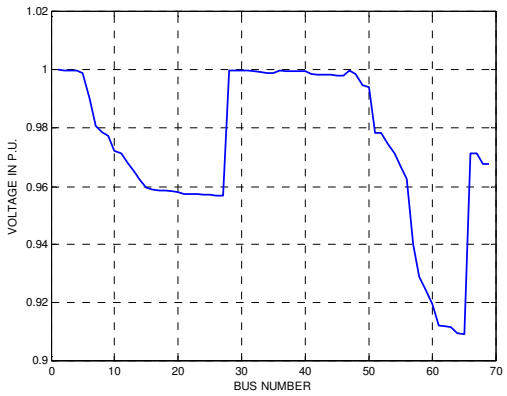
۴- نتایج شبیه‌سازی

در این مطالعه، چندین سناریو در نظر گرفته شده است. در سناریوی اول خازن‌ها و منابع تولید پراکنده (DG) در سیستم‌های مورد آزمایش وجود ندارد. برای سناریوی دوم تنها خازن‌ها و در سناریوی سوم، تنها DG ها به منظور بررسی و تأثیر هر کدام از آنها به طور جداگانه در نظر گرفته شده و در آخرین سناریو به طور همزمان از خازن‌ها به عنوان منابع توان راکتیو و DGها به عنوان منابع توان اکتیو استفاده می‌شود.

۴-۱- نتایج شبیه‌سازی سیستم ۶۹ شینه IEEE

برای سیستم توزیع ۶۹ شینه IEEE جایابی بهینه خازن‌ها و منابع تولید پراکنده به طور جداگانه و همزمان انجام شده است. در این حالت مقدار توان عبوری از خطوط به عنوان یک محدودیت در شبیه‌سازی در نظر گرفته شده است و توان عبوری از خطوط نمی‌تواند از مقدار ماکزیمم تجاوز کند.

نتایج شبیه‌سازی سیستم توزیع ۶۹ شینه IEEE برای سناریوی اول در حالتی که هیچ یک از خازن‌ها و DGها وجود ندارد انجام شده و مقادیر ولتاژ شین‌ها و تلفات اکتیو کل سیستم اندازه‌گیری شده است. مقدار بار کل سیستم Mw ۳/۸ و MVAr ۲/۶۹ می‌باشد. شکل(۲) نمودار پروفیل ولتاژ شین‌ها را در این حالت نشان می‌دهد. ولتاژ ضعیف‌ترین شین ۰/۹۱۰۲۸ و در شین شماره۶۵می‌باشد. کل تلفات سیستم ۲۲۴/۵۹۳۵ Kw می‌باشد.



شکل۲: نمودار پروفیل ولتاژ سیستم پایه ۶۹ شینه IEEE

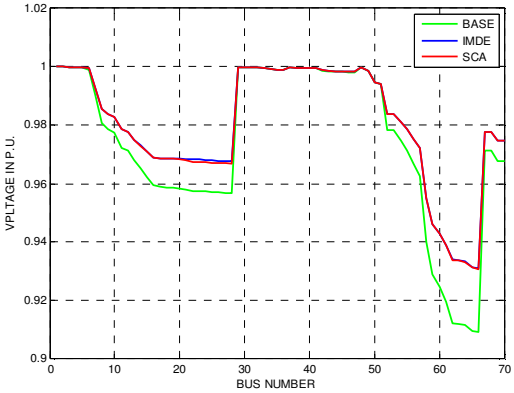
به منظور بهبود پروفیل ولتاژ و کاهش تلفات سیستم در سناریوی دوم به جایابی بهینه محل و اندازه دو خازن با الگوریتم سینوس کسینوس پرداخته شده است. همانطور که انتظار می‌رود تولید توان راکتیو توسط خازن‌ها و تزریق به شین‌های سیستم باعث کاهش توان راکتیو کشیده شده از منبع و در نهایت باعث کاهش تلفات خطوط و بهبود پروفیل ولتاژ سیستم می‌شود. شکل(۳) نمودار پروفیل ولتاژ بدست آمده با روش SCA پیشنهادی را در مقایسه با سیستم پایه و روش بهینه‌سازی IMDE نشان می‌دهد. نتایج شبیه‌سازی برای این سناریو در جدول (۲) آورده شده‌اند. در این جدول نتایج شبیه‌سازی روش پیشنهادی SCA با روش IMDE در [۱۱] مقایسه شده است.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2025-04-12]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 5 -No. 1- spring & summer 2016
[DOR: 20.1001.1.23222468.1395.5.1.5.5]

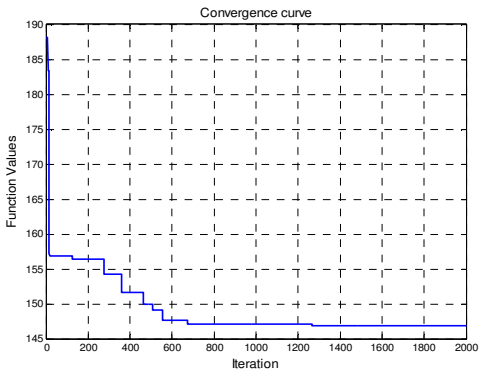
لازم به ذکر است که مقادیر ذکر شده در مرجع [۷] برای حالت پایه صحیح می‌باشند، اما به ازای مقادیر بدست آمده با روش بهینه‌سازی IMDE برای محل و اندازه خازن‌ها و جایگذاری آنها در شین‌های مربوطه به عنوان بار منفی، مقدار تلفات سیستم ۱۴۷/۱۳۳۳Kw می‌باشد و همچنین مقدار ولتاژ ضعیف‌ترین شین pu ۰/۹۳۰۹ است و مقادیر ذکر شده در مرجع [۷] برای تلفات و ولتاژ ضعیف‌ترین شین صحیح نمی‌باشند. مقدار تلفات سیستم با الگوریتم SCA برابر ۱۴۶/۸۴۲۱Kw شده است که نسبت به تلفات سیستم پایه ۷۷/۷۵۱۴Kw کاهش پیدا کرده است و باعث کاهش ۳۴/۶۱۸ درصدی در تلفات سیستم اصلی شده است. ولتاژ ضعیف‌ترین شین در این حالت pu ۰/۹۳۰۹ است. در این سناریو (جایابی خازن) نتایج شبیه‌سازی با روش SCA در مقایسه با مقادیر تصحیح شده روش IMDE بهتر می‌باشد و این موضوع بار دیگر برتری و کارایی الگوریتم SCA را برای جایابی خازن در سیستم توزیع شعاعی نشان می‌دهد.

جدول۲: نتایج شبیه‌سازی جایابی خازن در سیستم توزیع IEEE ۶۹شینه

	سیستم پایه	FGA	BPSO	BFOA	IMDE	نتایج اصلاح شده IMDE	SCA
محل و اندازه خازن‌ها (MVAr)	-	-	-	-	(۲۱) ۰/۳۷۵۲ (۶۱) ۱/۲۶۳۷	(۲۱) ۰/۳۷۵۲ (۶۱) ۱/۲۶۳۷	(۱۸) ۰/۳۷۲۲ (۶۱) ۱/۲۵۸۲
ولتاژ ضعیف‌ترین شین (pu)	(۶۵) ۰/۹۱۰۲	-	-	-	(۶۵) ۰/۹۳۳۰	(۶۵) ۰/۹۳۰۹	(۶۵) ۰/۹۳۰۹
تلفات (Kw)	۲۲۴/۵۹۳۵	-	-	-	۱۴۵/۵۳۱	۱۴۷/۱۳۳۳	۱۴۶/۸۴۲۱
مقدار کاهش تلفات (Kw)	-	-	-	-	۷۹/۰۶۲۵	۷۷/۴۶۰۲	۷۷/۷۵۱۴
درصد کاهش تلفات	-	-	-	-	۳۵/۲	۳۴/۴۸	۳۴/۶۱۸

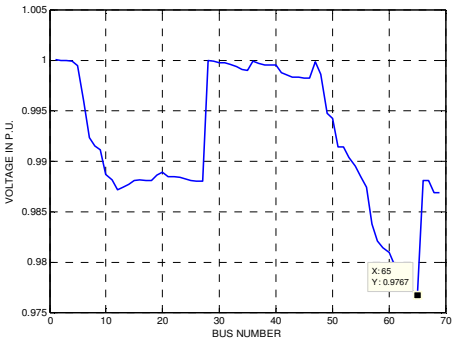


شکل۳: مقایسه پروفیل ولتاژ سیستم ۶۹ شینه IEEE با جایابی خازن



شکل۴: نمودار همگرایی سیستم ۶۹ شینه IEEE با جایابی خازن

در سناریوی سوم به جایابی بهینه محل و اندازه بهینه منابع تولید پراکنده (DG) پرداخته می‌شود. نتایج شبیه‌سازی در این حالت در جدول (۳) نشان داده شده و با روش بهینه‌سازی IMDE مقایسه شده است. لازم به ذکر است که مقادیر ذکر شده در مرجع [۳] به ازای مقادیر بدست آمده با روش بهینه‌سازی IMDE برای محل و اندازه خازن‌ها مقدار تلفات سیستم Kw ۱۴۷/۱۳۳۳ می‌باشد و همچنین مقدار ولتاژ ضعیف‌ترین شین pu ۰/۹۷۶۷ است و مقادیر ذکر شده در مقاله برای تلفات اشتباه، ولی مقادیر برای ولتاژ ضعیف‌ترین شین صحیح می‌باشند. همانطور که شکل (۵) صحیح بودن ولتاژ ضعیف‌ترین شین را با تأثیر DGهای ذکر شده در این مرجع نشان می‌دهد. استفاده از الگوریتم SCA در این سناریو باعث کاهش Kw ۱۵۳/۵۳۵۷ و ۶۸/۳۶ درصدی در مقدار تلفات شده است. ولتاژ ضعیف‌ترین شین pu ۰/۹۸۰۲ است. همانطور که این جدول نشان می‌دهد مقدار تلفات بدست آمده با روش SCA نسبت به الگوریتم IMDE، به‌اندازه Kw ۰/۵۰۵ کاهش پیدا کرده است. از طرفی ولتاژ ضعیف‌ترین شین به اندازه pu ۰/۰۰۳۵ بهبود پیدا کرده است. مقایسه نمودار پروفیل ولتاژ در شکل (۶) انجام شده است، همانطور که این شکل نشان می‌دهد پروفیل ولتاژ بدست آمده با الگوریتم پیشنهادی SCA نسبت به الگوریتم IMDE و سیستم پایه صاف‌تر و به pu ۱ نزدیک‌تر است.



شکل۵: پروفیل ولتاژ سیستم ۶۹ شینه IEEE با جایابی منابع تولید پراکنده با روش IMDE

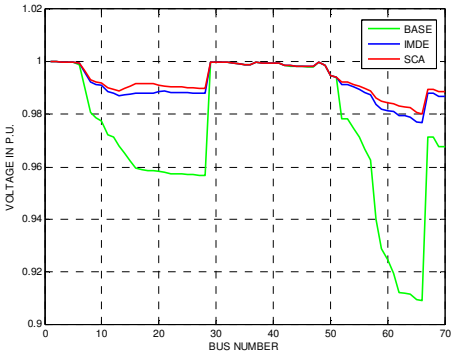
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2025-04-12]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 5 -No. 1- spring & summer 2016

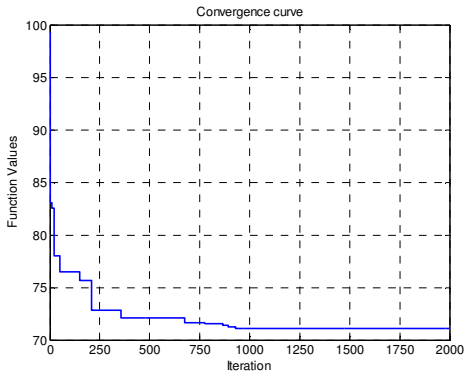
[DOR: 20.1001.1.23222468.1395.5.1.5.5]

جدول ۳: نتایج شبیه‌سازی جایابی منابع تولید پراکنده در سیستم توزیع ۶۹ شینه IEEE

	سیستم پایه	FGA	BPSO	BFOA	IMDE	نتایج اصلاح شده IMDE	SCA
محل و اندازهDGها (Mw)	-	-	-	-	۰/۴۷۳ (۲۰) ۱/۷۳۰ (۶۱)	۰/۴۷۳ (۲۰) ۱/۷۳۰ (۶۱)	۰/۵۵۴۷ (۱۸) ۱/۸۱۶۵ (۶۱)
ولتاژ ضعیف‌ترین شین(pu)	(۶۵) ۰/۹۱۰۲	-	-	-	۰/۹۷۶۷ (۶۵)	۰/۹۷۶۷ (۶۵)	۰/۹۸۰۲ (۶۵)
تلفات (Kw)	۲۲۴/۵۹۳۵	-	-	-	۷۰/۹۲۶	۷۱/۵۶۲۸	۷۱/۰۵۷۸
مقدار کاهش تلفات (Kw)	-	-	-	-	۱۵۳/۶۶۷۵	۱۵۳/۰۳۰۷	۱۵۳/۵۳۵۷
درصد کاهش تلفات	-	-	-	-	۶۸/۴۲	۶۸/۱۳	۶۸/۳۶



شکل۶: مقایسه پروفیل ولتاژ سیستم ۶۹ شینه IEEE با جایابی منابع تولید پراکنده

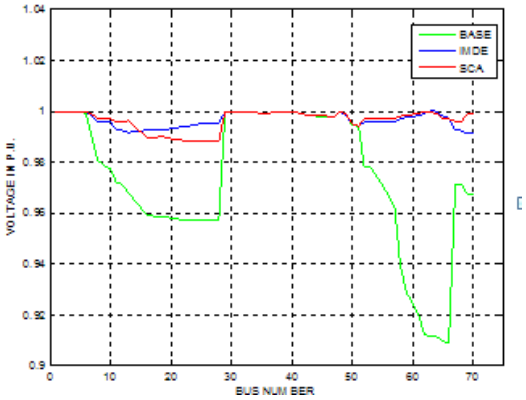


شکل۷: نمودار همگرایی سیستم ۶۹ شینه IEEE با جایابی منابع تولید پراکنده

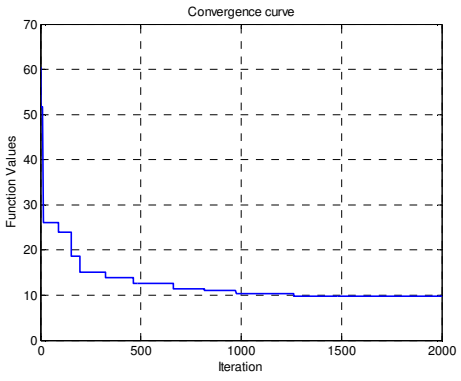
در سناریوی چهارم که مهمترین سناریو می‌باشد و هدف اصلی این مقاله می‌باشد به جایابی بهینه همزمان منابع توان راکتیو (خازن‌ها) و منابع توان اکتیو (DGها) با الگوریتم SCA اختصاص دارد. نتایج شبیه‌سازی در این سناریو در جدول (۴) نشان داده شده و با دیگر روش‌های بهینه‌سازی مقایسه شده است. مقدار کاهش تلفات با الگوریتم SCA نسبت به سیستم اصلی ۲۱۴/۷۲۵۰ Kw و ۹۵/۶۱ درصدی کاهش پیدا کرده است. همچنین مقدار کاهش تلفات با الگوریتم SCA نسبت به نتایج تصحیح شده الگوریتم IMDE، ۴/۱۷۲ Kw می‌باشد. مطالب ذکر شده برتری و قدرتمندی الگوریتم SCA را نسبت به الگوریتم IMDE تعیین می‌کند. علاوه بر مقایسه تلفات، مطابق نمودار شکل (۱۹) پروفیل ولتاژ بدست آمده با الگوریتم SCA نسبت پروفیل ولتاژ بدست آمده با الگوریتم IMDE صاف‌تر و به مقدار pu ۱ نزدیکتر است. در این سناریو نتایج بدست آمده به کمک الگوریتم SCA نسبت به دیگر روش‌های بهینه‌سازی ذکر شده در جدول بهتر است و این کارایی الگوریتم پیشنهادی در جایابی بهینه همزمان خازن‌ها و منابع تولید پراکنده در سیستم‌های توزیع را نسبت به دیگر الگوریتم‌های بهینه‌سازی را نشان می‌دهد.

جدول ۴: نتایج شبیه‌سازی جایابی همزمان خازن‌ها و منابع تولید پراکنده در سیستم توزیع ۶۹ شینه IEEE

	سیستم پایه	PSO	IMDE	نتایج اصلاح شده IMDE	SCA
محل و اندازه DG۱ (Mw)	-	۱/۵۶۶ (۶۱)	۱/۷۳۸ (۶۲)	(۶۲) ۱/۷۳۸	(۶۸) ۰/۶۲۷۳
محل و اندازه DG۲ (Mw)	-	-	۰/۴۷۹ (۳۴)	(۳۴) ۰/۴۷۹	(۶۱) ۱/۷۲۲۴
محل و اندازه خازن۱ (MVAr)	-	(۶۱) ۱/۴۰۱۳	(۶۲) ۰/۱۰۹۰	(۶۳) ۰/۱۰۹۰	(۱۷) ۰/۳۵۹۹
محل و اندازه خازن۲ (MVAr)	-	-	(۶۱) ۱/۱۹۲۰	(۶۱) ۱/۱۹۲۰	(۶۱) ۱/۲۲۳۱
ولتاژ ضعیف‌ترین شین (pu)	(۶۵) ۰/۹۱۰۲	۰/۹۷ (۲۷)	(۶۸) ۰/۹۹۱۵	(۶۹) ۰/۹۹۱۳	(۲۷) ۰/۹۸۸۱
تلفات (Kw)	۲۲۴/۵۹۳۵	۲۵/۹	۱۳/۸۳۳	۱۴/۰۴۰۵	۹/۸۶۸۵
مقدار کاهش تلفات (Kw)	-	۱۹۸/۶۹۳۵	۲۱۰/۷۶۰۵	۲۱۰/۵۵۳	۲۱۴/۷۲۵۰
درصد کاهش تلفات	-	۸۰/۷۹	۹۳/۸۴	۹۳/۷۴	۹۵/۶۱



شکل۸: مقایسه پروفیل ولتاژ سیستم ۶۹ شینه IEEE با جایابی همزمان خازن و منابع تولید پراکنده



شکل۹: نمودار همگرایی سیستم ۶۹ شینه IEEE با جایابی همزمان خازن و منابع تولید پراکنده

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2025-04-12]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 5 -No. 1- spring & summer 2016

[DOR: 20.1001.1.23222468.1395.5.1.5.5]

۵- نتیجه‌گیری

استفاده از منابع تولید پراکنده و بانک‌های خازنی بدلیل توسعه شبکه‌های توزیع و همچنین افزایش تقاضای برق روز به روز در حال افزایش است. تعیین محل نصب و ظرفیت دو شاخص مهم و مؤثر روی تلفات توان شبکه و بهبود عملکرد شبکه است. نیروگاه‌های تولید پراکنده و خازن‌ها در صورتی‌که در محل مناسب به شبکه برق متصل شوند، اثرات مختلفی از جمله کاهش تلفات، بهبود پروفیل ولتاژ و افزایش قابلیت اطمینان شبکه را خواهند داشت. از آنجا که این منابع در سمت مصرف و در انتهای شبکه نصب می‌شوند بار را به صورت محلی تأمین کرده و مقدار جریان در خطوط شبکه از سمت تولیدکنندگان به سمت مصرف را کاهش می‌دهند. با کاهش اندازه جریان اکتیو و راکتیو از خطوط، تلفات اکتیو و راکتیو و افت ولتاژ شبکه در خطوط نیز که متناسب با میزان جریان هستند کاسته می‌شوند. با کاهش افت ولتاژ خطوط، ولتاژ انتهایی شبکه کمتر کاهش یافته و مقدار آن بهبود می‌یابد. در این مقاله یک روش جدید برای جایابی بهینه محل و اندازه منابع تولید پراکنده و خازن‌های موازی در سیستم‌های توزیع شعاعی بر اساس الگوریتم سینوس کسینوس (SCA) ارائه شده است. الگوریتم بهینه‌ساز سینوس کسینوس (SCA) الهام گرفته از توابع ساده ریاضی می‌باشد. الگوریتم پیشنهادی از توابع ساده سینوس و کسینوس برای کاوش و استخراج پاسخ‌های بهتر، از فضای بین دو راه‌حل (بهترین پاسخ و پاسخ قبلی) در فضای جستجو استفاده می‌کند. این الگوریتم می‌تواند به طور مؤثری به بهبود کارکرد سیستم توزیع، کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ سیستم کمک کند. محل و اندازه بهینه خازن‌ها و منابع تولید پراکنده جهت مینیمم کردن تلفات و با در نظر گرفتن قیود بهره‌برداری مربوط به ولتاژ و ظرفیت توان عبوری از خطوط مورد بحث و بررسی قرار گرفت. به منظور بررسی کارایی روش پیشنهادی، شبیه سازی بر روی شبکه توزیع ۶۹ شینه IEEE و برای چهار سناریوی مختلف انجام گرفت. نتایج بدست آمده نشان داد که با انتخاب درست مکان و اندازه بهینه خازن‌ها و منابع تولید پراکنده تلفات سیستم به مقدار زیادی کاهش می‌یابد، پروفیل ولتاژ سیستم به مقدار زیادی بهبود می‌یابد. همچنین در مقایسه با دیگر الگوریتم‌های بهینه‌سازی به کار گرفته شده در مسئله جایابی بهینه محل و اندازه خازن‌ها و منابع تولید پراکنده جهت کاهش تلفات، این الگوریتم نتایج بهتری را می‌دهد.

مراجع

[1]. Zidar M, Georgilakis PS, Hatziargyriou ND, Capuder T, Skrlec D. 2016, “Review of energy storage allocation in power distribution networks: applications, methods and future research. IET Gener Transm Distrib;10(3):645–52.

[2]. Hung DQ, Mithulananthan N, Bansal RC. 2010, “Analytical expressions for DG allocation in primary distribution networks. IEEE Trans Energy Convers;25(3):814–20.

[3]. Ochoa LF, Harrison GP. Minimizing energy losses: optimal accommodation and smart operation of renewable distributed generation. IEEE Trans Power Syst;26(1):198–205.

[4]. Akorede MF, Hizam H, Aris I, AbKadir MZA. 2011, “Effective method for optimal allocation of distributed generation units in meshed electric power systems. IET Gener Transm Distrib;5(2):276–87.

[5]. T. Ackermann, G. Andersson and L. Soder, 2001 ,“Distributed generation: adefinition,” Electric Power Systems Research, vol. 57, pp. 195 – 204.

[6]. Srinivas MS, 2000, “Distribution load flows: a brief review”. In: Proceedings of the 2000 IEEE PES summer meeting, Singapore.

[7]. Amin Khodabakhshian, Mohammad Hadi Andishgar,2016, “Simultaneous placement and sizing of DGs and shunt capacitors in distribution systems by using IMDE algorithm”, Electrical Power and Energy Systems 82 , pp. 599–607.

[8]. S. Droste, T. Jansen, and I. Wegener, 2006, "Upper and lower bounds for randomized search heuristics in black-box optimization," Theory of omputing systems, vol. 39, pp. 525-544.

[9]. Seyedali Mirjalili ,2016,SCA: A Sine Cosine Algorithm for Solving Optimization Problems, Knowledge-Based Systems

[10]. D. H. Wolpert and W. G. Macready, 1997, "No free lunch theorems for optimization ," IEEE Transactions on Evolutionary Computation, vol. 1, pp. 67-82.

[۱۱]. سید محمد موسوی انزهائی و سایرین , ۱۳۷۶ و" کاربرد الگوریتم ژنتیک در جایابی و تعیین خازنهای شبکه توزیع قدرت بمنظور کاهش تلفات توان انرژی و بهبود پروفیل ولتاژ, پنجمین کنفرانس مهندسی برق ایران, جلد دوم .صفحات ۱۸۸-۱۸۰ .

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2025-04-12]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 5 -No. 1- spring & summer 2016

[DOR: 20.1001.1.23222468.1395.5.1.5.5]

Locate the location and determine the optimal size of dispersed production resources and simultaneous parallel capacitors using the sine-cosine (SCA) algorithm in radial distribution systems

Asma Farokhfar [*1], Dr. Hassan Barati [2]

[*1]Electrical Engineering Student, Engineering Department, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran

a.farokhfar@gmail.com

[2]Assistant Professor of Electrical Engineering, Engineering Department, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran

barati216@gmail.com

Abstract :

The usage of scattered sources of production and capacitor banks is increasing due to the development of distribution networks as well as increasing demand for electricity. Discontinued power plants and capacitors, if connected to a power grid in the right place, will have various effects, including loss reduction, improved voltage profiles, and increased network reliability. This dissertation is devoted to reducing losses of the distribution system to the simultaneous optimal location of distributed generation sources and capacitors in radial distribution systems. For this purpose, the sinus cosine algorithm (SCA), which is inspired by simple maths, is used. Simulation on the 69 IEEE bus interfaces. The simulation results show the efficiency of the proposed algorithm in the problem of optimal location of simultaneous distributed generation sources and capacitors in radial distribution systems to reduce losses and improve the voltage profile compared to other optimization algorithms used in this field.

Keywords: **Cosine sinus (SCA) algorithm, capacitor, distributed generation sources (DG), radial distribution systems, power losses.**

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2025-04-12]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 5 -No. 1- spring & summer 2016

[DOR: 20.1001.1.23222468.1395.5.1.5.5]