مکان‌یابی بهینه خازن‌های ثابت و سوئیچ شونده در شبکه‌های توزیع هارمونیکی جهت کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ با استفاده از الگوریتم CSA

احسان اکبری*[۱]

*۱- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه علوم و فنون مازندران ، بابل، ایران ، akbari.ieee@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۹

چکیده: امروزه در شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی بارهای غیرخطی و هارمونیک‌زا بشدت توسعه یافته است. بارهای غیرخطی باعث ایجاد هارمونیک در شبکه‌های توزیع می‌گردند. هنگام خازن‌گذاری در شبکه‌های توزیع باید هارمونیک‌های جریان تزریقی را در نظر گرفت، تا اطمینان حاصل شود که خازن‌های استفاده شده باعث افزایش اعوجاج هارمونیکی و نتیجتا افزایش تلفات ناشی از هارمونیک‌ها نشوند. در این مقاله، به مکان‌یابی بهینه خازن‌های ثابت و سوئیچ شونده در شبکه‌های توزیع هارمونیکی با استفاده از الگوریتم جستجوی کلاغ (CSA) پرداخته می‌شود و با استفاده از الگوریتم پیشنهادی محل بهینه خازن‌ها جهت کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ در دو شبکه توزیع نمونه ۱۵ و ۳۴ شینه استاندارد IEEE تعیین می‌گردد و نتایج حاصل از الگوریتم مورد استفاده در این پژوهش با نتایج سایر الگوریتم‌های موجود در مراجع از قبیل زنبور عسل مصنوعی(ABC)، گرده افشانی گل (FPA)، کرم شب‌تاب (FA) و شبیه‌سازی رشد گیاه (PGSA) مقایسه شده و مشاهده می‌شود که نتایج حاصل از شبیه‌سازی بیانگر کارایی و برتری الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با سایر روش‌ها می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم جستجوی کلاغ، بهبود پروفیل ولتاژ، خازن‌های ثابت و سوئیچ شونده، کاهش تلفات، هارمونیک.

۱- مقدمه

شبکه‌های توزیع بیشترین میزان تلفات را در سیستم‌های قدرت دارند، بطوریکه مطالعات نشان می‌دهد حدود ۱۳ درصد از توان تولید شده در سیستم قدرت بصورت تلفات اهمی در بخش توزیع تلف می‌گردد. تلفات در شبکه‌های توزیع نه تنها باعث هدر رفتن انرژی الکتریکی می‌شود، بلکه باعث اشغال ظرفیت ترانس‌ها و خطوط نیز می‌شود. بدین منظور شرکت‌های توزیع برق جهت جبران‌سازی و کاهش تلفات مبادرت به نصب خازن در شبکه‌های توزیع می‌نمایند. نصب خازن‌های ثابت و سوئیچ شونده از دیر باز به عنوان جذاب‌ترین روش در کنترل ولتاژ و توان راکتیو شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی در جهت بهبود پروفیل ولتاژ و کاهش تلفات توان و انرژی بوده است [۱]. عمده‌ترین دلیل این جذابیت را می‌توان مسائل اقتصادی و بهره‌برداری آسان از خازن‌ها نسبت به سایر تجهیزات دانست. خازن‌ها، ادواتی هستند که با تزریق توان راکتیو به شبکه توزیع علاوه بر بهبود پروفیل ولتاژ، قسمتی از ظرفیت شبکه را آزاد و علاوه بر آن باعث کاهش تلفات می‌شوند. از جمله مزایای خازن‌ها می‌توان به کاهش تلفات اکتیو و راکتیو، آزادسازی ظرفیت خطوط و ترانس‌ها، بهبود ضریب توان و حفظ ولتاژ در محدوده مجاز اشاره کرد. برای بهره‌مندی از موارد مطرح شده باید خازن‌ها در مکان بهینه استفاده شوند. بنابراین پیدا کردن محل بهینه‌ی نصب خازن در شبکه توزیع بسیار مهم و ضروری می‌باشد. تا کنون روش‌های متعددی برای مکان‌یابی بهینه خازن‌ها در شبکه توزیع مورد استفاده قرار گرفته است، ولی بطور کلی روش‌های مکان‌یابی خازن‌ها در شبکه‌های توزیع به چهار گروه اصلی تحلیلی، برنامه ریزی عددی، ابتکاری و هوش مصنوعی دسته‌بندی می‌شوند[۲]. با توجه به مطالب گفته شده میزان جبران‌سازی تا حد

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1395.5.2.4.6]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 5 -No. 2- autumn 2016 & winter 2017

بسیار زیادی به مکان خازن در شبکه توزیع وابسته است. تا کنون تکنیک‌های بسیار با نگرش‌های گوناگون برای حل مسئله، مطرح شده است. در اکثر تکنیک‌ها، مکان‌یابی خازن با فرض شرایط سینوسی و صرف نظر از تاثیر هارمونیک‌ها انجام شده و حضور بارهای غیرخطی (شرایط هارمونیکی) نادیده گرفته شده است. اما باید توجه کرد که این فرض در زمان کنونی به هیچ عنوان صحت ندارد. با افزایش کاربرد بارهای غیرخطی و تجهیزاتی که در شبکه توزیع منجر به تزریق جریان هارمونیکی و ایجاد هارمونیک‌های ولتاژ می‌شود، لازم است که توجه ویژه‌ای به مسئله خازن‌گذاری معطوف شود. مطالعات اخیر شبکه‌های توزیع برق، گویای این واقعیت است که اعوجاج هارمونیکی قابل ملاحظه‌ای در شکل موج ولتاژ و جریان وجود دارد، بنابراین این نگرانی وجود دارد که اگر مکان خازن‌ها درست تعیین نگردد؛ خازن‌ها می‌توانند حتی منجر به تقویت ولتاژ و جریان هارمونیکی شوند چرا که امکان تشدید در یکی از فرکانس‌های هارمونیکی متعدد وجود دارد. این شرایط می‌تواند، نگرانی‌های بالقوه‌ای برای سیگنال‌های هارمونیکی پدید آورد که استرس و خرابی عایق تجهیزات، احتمال بالای خرابی خازن و افزایش تداخل با سیستم‌های مخابراتی از جمله آن است. لذا در شبکه‌های هارمونیکی کنونی در نظر گرفتن مسئله هارمونیک‌ها برای تعیین مکان بهینه خازن‌ها الزامی است، چرا که در غیر اینصورت ممکن است که خازن‌گذاری، اثرات معکوسی داشته باشد. در برخی از تحقیقات اخیر، وجود ولتاژهای آلوده برای تحلیل مسئله بحساب آمده است. در [۳] مدلسازی و روش مکان‌یابی خازن‌های ثابت و سوئیچ شونده مطرح و روی یک شبکه نمونه پیاده سازی شده است. در مراجع [۵] و [۷] بترتیب برای مکان‌یابی بهینه خازن‌های ثابت و سوئیچ شونده در شبکه هارمونیکی از الگوریتم گرده افشانی گل (FPA) و کرو شب‌تاب (FA) استفاده شده است. در مراجع [۳] و [۴] از الگوریتم شبیه‌سازی رشد گیاه (PGSA) و زنبور عسل مصنوعی (ABC) برای حل مسئله مکان‌یابی خازن‌ها بهره گرفته شده است. هر یک از مراجع دیدگاه‌های متفاوتی را در حل مسئله، مورد توجه قرار داده‌اند به عنوان مثال در مرجع [۷] هدف افزایش پایداری ولتاژ و کنترل توان راکتیو می‌باشد. در مراجع [۴] و [۵] کاهش تلفات و هزینه خازن‌گذاری مورد بحث قرار گرفته است.

در این مقاله تعیین مکان بهینه خازن‌های ثابت و سوئیچ شونده در شرایط هارمونیکی، با هدف کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. مدل ریاضی مسئله دارای ماهیت پیچیده و غیر خطی است که برای حل آن از الگوریتم جستجوی کلاغ CSA استفاده شده است. ساختار مقاله حاضر به این صورت است که بعد از مقدمه در بخش دوم ضرورت بهره‌گیری از خازن‌ها در شبکه‌های توزیع بیان می‌شود. در بخش سوم فرمول‌بندی ریاضی مسئله با ارائه مدل بار، بیان قیود استفاده شده، مدل کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ و محاسبات پخش بار در شرایط هارمونیکی ارائه می‌گردد. در بخش چهارم روش بهینه‌سازی استفاده شده بر اساس الگوریتم جستجوی کلاغ (CSA) شرح داده می‌شود. سپس در بخش پنجم مسئله خازن‌گذاری برای دو شبکه آزمون ۱۵ و ۳۴ شینه IEEE با سطح هارمونیکی مشخص حل گردیده و نتایج ارائه شده است و نتایج حاصل از شبیه‌سازی با نتایج سایر الگوریتم‌های موجود در مراجع مورد مقایسه قرار گرفته است، در نهایت نیز نتیجه‌گیری کلی بیان می‌شود.

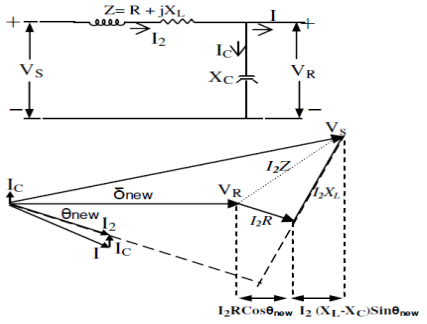
۲- ضرورت بهره‌گیری از خازن‌ها در شبکه‌های توزیع الکتریکی

تولید توان راکتیو از دو طریق کلی می‌تواند انجام پذیرد: ۱- توسط نیروگاه‌ها در بخش تولید ۲- توسط خازن‌ها، جبران‌سازهای سنکرون و کندانسورهای سنکرون در بخش توزیع و انتقال.

وجود منابع توان راکتیو در نزدیکی مصارف مربوطه، علاوه بر کاهش هزینه، از ظرفیت شبکه و تلفات نیز می‌کاهد. بهره‌گیری از بانک‌های خازنی موجب آزاد شدن ظرفیت نیروگاه‌ها و خطوط شده و توانایی تولید توان اکتیو توسط ژنراتورها و انتقال آن توسط رده‌های بالای ولتاژی را افزایش می‌دهد. بطور کلی نکاتی را که لازم است در انتخاب منابع جبران توان راکتیو در نظر داشت، می‌توان به صورت زیر لیست نمود[۶]:

۱- قابلیت اطمینان تجهیزات
۲- عمر احتمالی
۳- هزینه‌های (خرید، نصب و نگهداری)
۴- مدت زمان لازم برای نصب و راه‌اندازی
۵- سهولت در بهره‌برداری

هر کدام از روش‌های تولید توان راکتیو دارای نقاط قوت و ضعف خاص خود بوده و در شرایطی می‌توانند در اولویت انتخاب قرار گیرند؛ اما در کل، بررسی‌ها و تجربیات نشان می‌دهد که خازن‌ها دارای هزینه‌های اولیه و نگهداری کمتری بوده، راندمان بالایی داشته، فشرده و قابل اطمینان بوده، تلفات کمی داشته، به راحتی نصب شده و قابلیت اتوماتیک شدن در شبکه را داراست. همان‌گونه که در شکل (۱) نشان داده شده است، نصب خازن در طول یک فیدر توزیع، اندازه جریان منبع را کاهش می‌دهد، ضریب قدرت را اصلاح می‌کند و افت ولتاژ فیدر را کاهش می‌دهد.



شکل (۱): دیاگرام برداری ولتاژ با نصب خازن در فیدر توزیع[۲]

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 5 -No. 2- autumn 2016 & winter 2017
[DOR: 20.1001.1.23222468.1395.5.2.4.6]

با توجه به شکل (۱)، افت ولتاژ در یک فیدر توزیع از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta V = I_R R + I_x X_L$$
$$I_R = I.Cos\theta \quad (۱)$$
$$I_x = I.\sin\theta$$

که I_R و I_x به ترتیب مولفه‌های اکتیو و راکتیو جریان بار می‌باشند. پس از نصب خازن، افت ولتاژ برابر:

$$\Delta V' \approx I_R.R + (I_x - I_C).X_L = \Delta V - X_L I_C \quad (۲)$$

در این رابطه I_C، جریان خازن می‌باشد. در نتیجه تغییرات ولتاژ ناشی از نصب خازن بصورت رابطه (۳) بیان می‌شود:

$$\Delta V_C = I_C.X_L \quad (۳)$$

تلفات توان اهمی فیدر قبل از نصب خازن برابر:

$$P_L = I_L^2.R = (I_L Cos\theta)^2 R + (I_L \sin\theta)^2 R \quad (۴)$$

پس از نصب خازن

$$P_{Lc} = I_L^2.R = (I_L Cos\theta)^2 R + (I_L \sin\theta - I_C)^2 R \quad (۵)$$

به این ترتیب تغییر در تلفات توان، با نصب خازن از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\Delta P_L = P_{Lc} - P_L = 2(I_L \sin\theta) I_C R - I_C^2 R \quad (۶)$$

از رابطه (۶) ملاحظه می‌شود که تغییر در میزان تلفات، تابعی از جریان راکتیو بارا $(I_L \sin\theta)$ است و جریان اکتیو بار $(I_L Cos\theta)$ نقشی در کاهش تلفات ندارد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که نصب خازن تاثیری بر تلفات ناشی از جریان اکتیو فیدر ندارد و فقط بر تلفات ناشی از جریان راکتیو فیدر تاثیرگذار است. ازاین‌رو در مسئله خازن‌گذاری، کمینه‌سازی تلفات فیدر، با کمینه‌سازی تلفات راکتیو فیدر متناظر است. استفاده از خازن در شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی، می‌تواند با اهداف مختلفی انجام پذیرد و در عین حال با توجه به محل نصب، شرایط نصب و ظرفیت آن نتایج و پیامدهایی متفاوت داشته باشد. به طور عموم، کاربردها و اثرات مثبت خازن‌گذاری را می‌توان به صورت زیر لیست نمود[۹]:

۱) تامین ولت آمپر راکتیو
۲) افزایش ظرفیت سیستم
۳) کاهش تلفات سیستم
۴) اصلاح ضریب قدرت الکتریکی
۵) اصلاح پروفیل حالت دایم ولتاژ
۶) متعادل‌سازی سه‌فاز در یک فیدر.

۳- مدل‌سازی و فرمول‌بندی مسئله

در این قسمت مدل‌بار و فرمول‌بندی مسئله شامل تابع هدف، قیود مسئله و محاسبات پخش بار ارائه می‌گردد.

۳-۱- مدل بار

ابتدا منحنی بار در تعداد مشخصی از سطح بار تقریب زده می‌شود. برای حل، فرضیات زیر در نظر گرفته می‌شود:

۱) سیستم متعادل است.

۲) kامین سطح بار در iامین باس به صورت ضریبی از پیک بار بیان می‌شود: $(P_{ik}, Q_{ik}) = x_k (P_{il}, Q_{il})$ بگونه‌ای که $x_k \le 1$ می‌باشد.

۳) در هر سطح بار، بارهای اکتیو و راکتیو مورد تقاضا با توان‌های حاصله در فرکانس اصلی تامین می‌شود. این فرض قابل قبول است زیرا توان‌های اضافی در هارمونیک‌های دیگر قابل صرف نظر می‌باشند.

۴) بار در باس iام به دو بخش بار غیر خطی w_i و بار خطی $(1-w_i)$ تقسیم می‌شود. این تقسیم‌بندی با انجام آزمایشات دقیقی برای هر بار به منظور تعیین نوع ترکیبات خطی و غیرخطی بارها و نسبت توان‌هایشان انجام می‌شود.

۵) برای سادگی فرض می‌شود در هر باس هر دوی بارهای خطی و غیرخطی ضریب یکسانی دارند.

۶) nامین هارمونیک جریان تزریق شده در باس iام در kامین سطح بار به صورت رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$I_{ik}^n = \frac{w_i I_{ik}^1}{n}, n = 3,5,7,\ldots,N \quad (۷)$$
$$I_{ik}^1 = \frac{P_{ik} - jQ_{ik}}{(V_{ik}^1)^*}$$

که در آن، N بالاترین مرتبه هارمونیک مورد نظر و I_{ik}^1 جریان هارمونیک اصلی و $(V_{ik}^1)^*$ مزدوج مختلط هارمونیک اصلی ولتاژ است. رابطه فرض شده برای اندازه هارمونیک‌ها به این صورت است که جریان‌های هارمونیکی تزریق شده توسط بارهای غیرخطی با نسبت عکس مرتبه‌شان کاهش می‌یابند.

۳-۲- تابع هدف مسئله

۳-۲-۱- کمینه‌سازی تلفات

هدف از خازن‌گذاری بهینه، کمینه‌سازی تلفات و هزینه خازن‌گذاری است که طبق تابع هدف F_1 تعریف می‌گردد:

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 5 -No. 2- autumn 2016 & winter 2017
[DOR: 20.1001.1.23222468.1395.5.2.4.6]

$$F_1 = \sum_{i=1}^{nb} k_p \cdot P_{loss}^i + \sum_{j=1}^{nc} k_c \cdot Q_c^j + \sum_{j=1}^{nc} k_e \cdot Q_{cs}^j \quad (۸)$$

در این رابطه، P_{loss}^i نشان دهنده تلفات سکشن iام، nb تعداد سکشن‌های شبکه، Q_c^j هزینه خازن ثابت j ام، nc تعداد نقاط خازن‌گذاری شده و Q_{cs}^j هزینه خازن سوئیچ شونده j ام، k_p هزینه هر کیلووات تلفات، k_c هزینه خازن ثابت بر کیلووار و k_e هزینه خازن سوئیچ شونده بر کیلووار را نشان می‌دهد. تابع تلفات خود از دو بخش تشکیل شده است، تلفات توان و تلفات انرژی پس ترم اول تابع F_1 به صورت $k_t TP_{loss} + k_d P_{loss}$ در می‌آید. که قسمت اول تلفات انرژی و قسمت دوم تلفات توان را تشکیل می‌دهند. حال با تعمیم رابطه (۸) در شرایط هارمونیکی P_{loss} در تابع هدف F_1 به صورت رابطه (۹) تغییر می‌کند.

$$P_{loss} = \sum_{h=1}^{H} \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{M} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{M} \frac{r_{ij}^h}{Z_{ij}^h} \left| V_i^h - V_j^h \right|^2 \quad (۹)$$

در رابطه (۹)، H بالاترین مرتبه هارمونیکی، M تعداد باس‌های شبکه توزیع و r_{ij}^h و Z_{ij}^h به ترتیب، مقاومت و امپدانس شاخه بین باس i و j در هارمونیک h است.

۳-۲-۲- کمینه‌سازی انحراف ولتاژ و انحرافات هارمونیکی هر باس

در بهبود پروفیل ولتاژ سعی بر این است که انحراف ولتاژ باس‌ها از یک مقدار مشخص تجاوز نکند. میزان انحراف با توجه به ولتاژ نامی (یک پریونیت) سنجیده می‌شود و می‌توان آن را در قالب هدف دوم مسئله مکان‌یابی خازن به صورت روابط ریاضی زیر نشان داد:

$$\Delta V_i = \left| 1 - V_{i,rms} \right| \quad (۱۰)$$

ولتاژ موثر، طبق استاندارد IEEE-519 در محدوده $V_{Max} = 1.1$ (بالاترین حد ولتاژ مجاز) و $V_{\min} = 0.9$ (مینیمم ولتاژ مجاز در هر باس) قرار داده می‌شود و دامنه آن طبق رابطه (۱۱) استخراج می‌گردد

$$V_{i,rms}^{L_i} = \sqrt{\left| V_i^{L_i}(f_1) \right|^2 + \sum_{h=1}^{H} \left| V_i^{L_i}(f_h) \right|} \quad (۱۱)$$

$$L_i = 1, \ldots, k \; ; \; j = 1, \ldots, \mathrm{M}$$

در این رابطه $V_i^{L_i}$ میزان انحراف ولتاژ باس iام در هارمونیک اصلی و hام می‌باشد. همچنین اعوجاج هارمونیکی کلیه باس‌ها توسط رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$THD_v^i = \frac{\sqrt{\sum_{h \neq 1}^{H} \left(V_i^h \right)^2}}{V_i^1} * 100 \quad (۱۲)$$

$$Max\left(THD_v^i \% \right) \leq THD_{V_{\max}}$$

حال تابع هدف دوم مسئله به صورت زیر بیان می‌گردد:

$$F_2 = F_{\Delta V} + F_{THD} \quad (۱۳)$$

از ترکیب دو تابع هدف بیان شده، تابع هدف کلی تعیین مکان بهینه خازن‌ها طبق رابطه زیر استخراج می‌گردد:

$$F_{Total} = \psi_1 F_{1,pu} + \psi_2 F_{2,pu} \quad (۱۴)$$

پارامترهای ψ_1 و ψ_2 ضرایب وزنی می‌باشند که نشانگر اهمیت نسبی آنها می‌باشد.

۳-۳- قیود مسئله بهینه‌سازی

۳-۳-۱- قید تعادل توان اکتیو در شبکه

برای حفظ تعادل بین توان تولیدی شبکه و مصرفی آن باید رابطه زیر برقرار باشد.

$$Q_{sys} + Q_{cap} = Q_d + Q_{loss} \quad (۱۵)$$

که Q_{sys} توان اکتیوی که شبکه بالا دست در اختیار شبکه توزیع مورد نظر قرار می‌دهد. Q_{cap} توان راکتیو تزریقی خازن به شبکه توزیع، Q_d توان راکتیو بارهای شبکه و Q_{loss} توان راکتیو تلف شده هستند.

۳-۳-۲- قید توان راکتیو

قید توان راکتیو طبق رابطه زیر بیان می‌گردد:

$$Q_{cap_i}^{\min} \leq Q_{cap_i} \leq Q_{cap_i}^{Max} \quad (۱۶)$$

۳-۳-۳- قید پخش بار

تمامی معادلات پخش بار در فرکانس اصلی سیستم را می‌توان بصورت رابطه (۱۷) نشان داد.

$$P_i = \left| V_i \right|^2 G_{ii} + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq i}}^{N} \left| V_i V_n Y_{in} \right| \cos\left(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i \right) \quad (۱۷)$$

$$Q_i = -\left| V_i \right|^2 B_{ii} - \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq i}}^{N} \left| V_i V_n Y_{in} \right| \sin\left(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i \right)$$

۳-۳-۴- قید تلفات

مقدار تلفات پس از خازن‌گذاری بهتر از حالت قبل از نصب است.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 5 -No. 2- autumn 2016 & winter 2017

[DOR: 20.1001.1.23222468.1395.5.2.4.6]

$$\sum \mathrm{P}_{loss}(with-cap) \le \sum P_{loss}(without-cap) \quad (۱۸)$$

۳-۳-۵- قید مقدار موثر ولتاژ در هر باس

کل مقدار موثر ولتاژ (مولفه اصلی و هارمونیکی) در گره j ام و سطح بار i ام بایستی بین مقادیر حداقل ($V_{\min}$) و حداکثر ($V_{\max}$) مطابق رابطه زیر محدود گردد:

$$V_{\min} \le \left|V_{i,j}\right| = \sqrt{\left|V_{i,j}^{1}\right|^2 + \sum_{h\neq 1}^{Nh}\left|V_{i,j}^{h}\right|^2} \le V_{\max} \quad (۱۹)$$

۳-۳-۶- قید ظرفیت خطوط

تمامی خطوط موجود در شبکه از نظر حرارتی محدودیتی دارند. در واقع جریان عبوری از خطوط نباید از مقدار مجاز حرارتی آن بیشتر باشد.

$$\left|I_i\right| \le \left|I_i^{rated}\right| \quad (۲۰)$$

۳-۳-۷- قید ظرفیت مجاز خازن‌ها

حداکثر اندازه مجاز خازن‌ها (شامل خازن‌های ثابت و سوئیچ شونده) برابر:

$$\sum\left(Cap_{(c)} + Cap_{(s)}\right) \le Cap_{Max} \quad (۲۱)$$

در این رابطه $Cap_{(c)}$، $Cap_{(s)}$ و Cap_{Max} به ترتیب ظرفیت خازن ثابت، سوئیچ شونده و حداکثر ظرفیت خازن قابل نصب می‌باشند.

۳-۳-۸- قید انحرافات هارمونیکی

کل انحراف هارمونیکی ولتاژ در گره j ام و سطح بار i ام بایستی به میزان حداکثر $THD_{\max}$ محدود گردد:

$$THD_{i,j}(\%) = 100\times\frac{\sqrt{\sum_{h\neq 1}^{Nh}\left|V_{i,j}^{h}\right|^2}}{\left|V_{i,j}^{1}\right|} \le THD_{\max} \quad (۲۲)$$

۳-۴- محاسبات پخش بار در شرایط هارمونیکی

برای شبکه توزیع، یک الگوریتم پخش بار برای تعیین تلفات و ولتاژ باس‌ها در فرکانس اصلی نیاز است. در این مقاله از روش مکمل پسرو - پیشرو استفاده شده است. بنابراین ابتدا یک ماتریس جریان تزریقی از باس به شاخه BIBC سه فاز بر پایه ساختار شبکه توزیع برای تعیین ارتباط بین جریان باس‌ها و شاخه‌ها تشکیل می‌شود. ولتاژ همه باس‌ها، طی فرآیند تکراری با استفاده از ماتریس BIBC محاسبه می‌شود. ولتاژ باس در هر سه فاز در kامین تکرار پخش بار با استفاده از رابطه (۲۳) محاسبه می‌شود[۹]:

$$[V]^k = [V_0] - [BIBC]^T [Z][BIBC][I]^{(k)} \quad (۲۳)$$

که $[V]^k$: برداری از ولتاژ باس، $[V_0]$: برداری از ولتاژ باس اسلک، $[BIBC]$: ماتریس جریان تزریقی از باس به شاخه، $[Z]$: ماتریس امپدانس اولیه و $[I]^{(k)}$: بردار جریان بار می‌باشد. در فرکانس‌های بالاتر، به دلیل اینکه مولفه‌های امپدانس سیستم قدرت با مرتبه هارمونیکی تغییر می‌کند، ماتریس ادمیتانس در هر مرتبه هارمونیکی اصلاح می‌شود.

اگر از اثر پوستی صرف‌نظر کنیم به ترتیب، ادمیتانس بار، ادمیتانس خازن و ادمیتانس فیدر در hامین فرکانس هارمونیکی در باس iام عبارت است از:

که P_{li} و Q_{li}به ترتیب، توان اکتیو و راکتیو بارهای غیرخطی باس iام

$$Y_{li}^{h} = \frac{P_{li}}{\left|V_i^1\right|^2} - j\,\frac{Q_{li}}{h\left|V_i^1\right|^2}$$

$$Y_{ci}^{h} = hY_{ci}^{1} \quad (۲۴)$$

$$Y_{i,i+1}^{h} = \frac{1}{R_{i,i+1} + jhX_{i,i+1}}$$

را نشان می‌دهند. بارهای خطی از یک مقاومت موازی با یک راکتانس تشکیل شده‌اند.

بارهای غیرخطی به‌صورت منابع جریان رفتار می‌کنند، بنابراین جریان تزریقی هارمونیکی توسط بارهای غیرخطی در باس iام از رابطه زیر استخراج می‌شود:

$$I_i^i = \left[\frac{P_{hi}+Q_{hi}}{V_i^i}\right]^* \quad (۲۵)$$

$$I_i^h = C(h)I_i^1 \quad (۲۶)$$

که P_{hi} و Q_{hi} به ترتیب، توان اکتیو و راکتیو بارهای غیرخطی باس iام را نشان می‌دهند. $C(h)$ از تست میدان و تحلیل فوریه تمام مصرف کننده‌های فیدر حاصل می‌شود و مقدار آن $C(h)=1/h$ می‌باشد. ولتاژهای هارمونیکی با حل معادله پخش بار (۲۷) محاسبه می‌شوند که از معادلات گره استخراج می‌شود.

$$\left[Y^{(h)}\right]\left[V^{(h)}\right] = \left[I^{(h)}\right] \quad (۲۷)$$

که $\left[Y^{(h)}\right]$، $\left[V^{(h)}\right]$ و $\left[I^{(h)}\right]$ به ترتیب، ماتریس ادمیتانس، بردار ولتاژ باس و بردار جریان تزریقی در hامین مرتبه هارمونیکی هستند.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 5 -No. 2- autumn 2016 & winter 2017

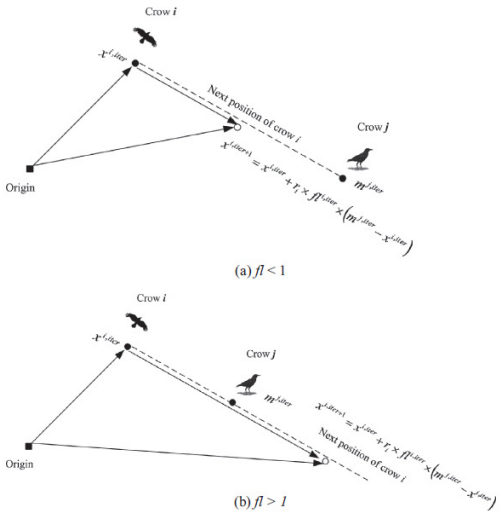
[DOR: 20.1001.1.23222468.1395.5.2.4.6]

۴- معرفی الگوریتم جستجوی کلاغ (CSA)

الگوریتم جستجوی کلاغ الهام گرفته از رفتار هوشمندانه کلاغ می‌باشد که در سال ۲۰۱۶ ارائه گردیده است[۸]. اصول الگوریتم CSA مبتنی بر چهار رفتار اساسی کلاغ‌ها می‌باشد:

۱) کلاغ‌ها در قالب گله زندگی می‌کنند.
۲) کلاغ‌ها موقعیت مکان‌های مخفی خود را به یاد می‌آورند.
۳) کلاغ‌ها یکدیگر را به منظور انجام سرقت دنبال می‌کنند.
۴) کلاغ‌ها انبارهای خود را در مقابل احتمال یک سرقت محافظت می‌کنند.

فرض می‌شود در یک مسئله بهینه‌سازی d بهدی (d تعداد متغیرها)، تعداد کلاغ‌ها N و موقعیت کلاغ (پاسخ) iام در فضای جستجو و در لحظه (تکرار) $iter$ ، به عنوان یک راه حل قابل قبول در مسئله بهینه‌سازی با $X^{i,iter}$ نشان داده شود که $X^{i,iter}$ موقعیت کلاغiام می‌باشد و $iter = 1,...,iter_{\max}$ و $i = 1,...,N$. همچنین، $iter_{\max}$ بیشترین تعداد تکرار می‌باشد. هر کلاغ یک حافظه دارد که موقعیت مخفیگاه آن در آن ذخیره شده است. در تکرار $iter$ام، موقعیت مخفیگاه کلاغ iام با $m^{i,iter}$ نشان داده می‌شود و بهترین موقعیتی است که کلاغ iام تاکنون کسب کرده است. در واقع در حافظه هر کلاغ، بهترین تجربه آن ذخیره شده است. کلاغ‌ها در فضای جستجو برای رسیدن به موقعیت‌های بهتر با منابه غذایی بیشتر (مخفیگاه بهتر) حرکت می‌کنند. فرض کنید در تکرار $iter$، کلاغ j ام می‌خواهد به موقعیت مخفیگاه خود $m^{j,iter}$ سر بزند. در این تکرار، کلاغ iام تصمیم می‌گیرد کلاغ j ام را دنبال کند تا به مخفیگاه کلاغ j ام برسد. شکل (۲) ساختار عملکرد الگوریتم جستجوی کلاغ را نشان می‌دهد.



شکل (۲): نحوه عملکرد الگوریتم جستجوی کلاغ[۸]

در این صورت دو حالت ممکن است رخ دهد:

حالت ۱: کلاغ j ام نمی‌داند که کلاغ iام آن را دنبال می‌کند، در نتیجه کلاغ iام به موقعیت مخفیگاه کلاغ j ام می‌رسد، در این حالت موقعیت جدید کلاغ iام به صورت زیر بدست می‌آید:

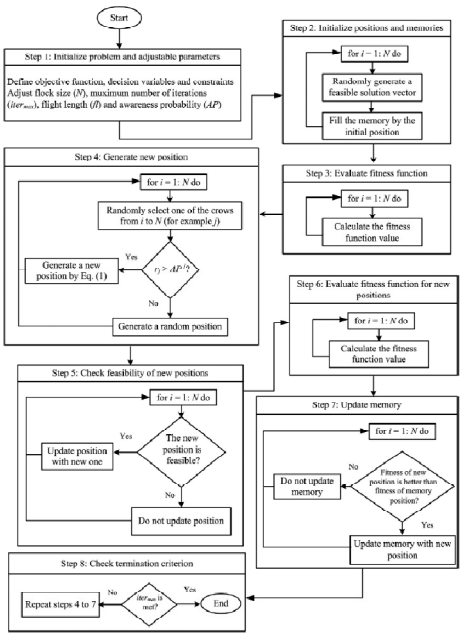
$$X^{i,iter+1} = X^{i,iter} + r_i \times fl^{i,iter} \times \left(m^{i,iter} - X^{i,iter}\right) \quad (۲۸)$$

که r_i یک عدد تصادفی با توزیع یکنواخت بین صفر و یک می‌باشد.همچنین $fl^{i,iter}$ طول پرواز کلاغ iام در تکرار $iter$ را نشان می‌دهد.مقادیر کوچک fl منجر به جستجوی محلی در مجاورت $X^{i,iter}$ و مقادیر بزرگ آن منجر به جستجوی کلی دور از $X^{i,iter}$ می‌شود.

حالت ۲: کلاغ j ام می‌داند که کلاغ iام آن را دنبال می‌کند در نتیجه کلاغ j ام به منظور جلوگیری از سرقت مخفیگاه خود توسط کلاغ iام، به سوی موقعیت دیگری از فضای جستجو پرواز می‌کند. بطور کلی حالت‌های ۱ و ۲ را می‌توان به صورت رابطه زیر بیان نمود.

$$X^{i,iter+1} = \begin{cases} X^{i,iter} + r_i \times fl^{i,iter} \times \left(m^{i,iter} - X^{i,iter}\right) & r_j \geq AP^{j,iter} \\ a \quad random \quad position & otherwise \end{cases} \quad (۲۹)$$

که r_i یک عدد تصادفی با توزیع یکنواخت بین صفر و یک می‌باشد. همچنین $AP^{i,iter}$ احتمال آگاهی کلاغ j ام در تکرار $iter$ را نشان می‌دهد. با کاهش پارامتر احتمال آگاهی، الگوریتم CSA فرایند جستجو را به سمت جستجوی محلی هدایت می‌کند. از طرفی با افزایش پارامتر AP، فرایند جستجوی کلی انجام شده و فضای وسیعتری جستجو می‌شود. لذا در این حالت تنوع جمعیتی و فضای جستجو به وجود می‌آید که از همگرایی زودرس الگوریتم جلوگیری می‌کند. شکل (۳) فلوچارت عملکرد الگوریتم جستجوی کلاغ را گام به گام نمایش می‌دهد.



شکل (۳): فلوچارت عملکرد الگوریتم جستجوی کلاغ[۸]

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 5 -No. 2- autumn 2016 & winter 2017

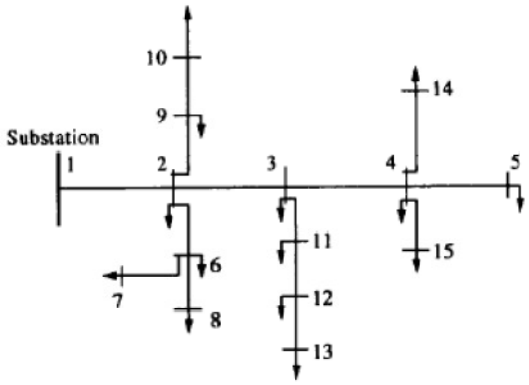
[DOR: 20.1001.1.23222468.1395.5.2.4.6]

۵- مطالعات عددی و تحلیل نتایج

در این بخش، الگوریتم جستجوی کلاغ (پیشنهادی) بر روی دو شبکه آزمون ۱۵ و ۳۴ شینه استاندارد IEEE پیاده سازی شده است.

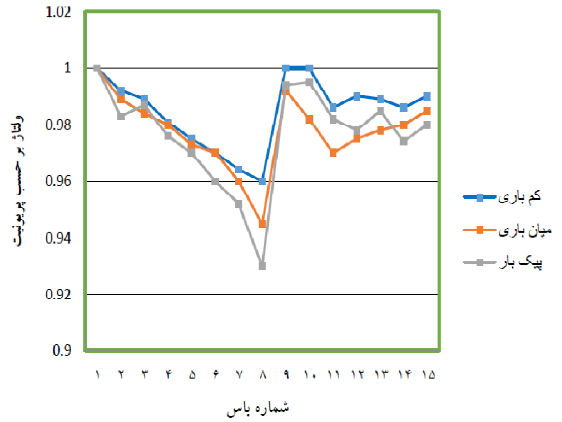
۵-۱- نتایج مکان‌یابی خازن‌ها در شبکه آزمون ۱۵ شینه

در این بخش، الگوریتم پیشنهادی، بر روی شبکه ۱۵ شینه استاندارد IEEE پیاده‌سازی شده است. این شبکه نمونه شامل ۱۵ شین بوده که نمودار تک‌خطی در شکل (۴) نمایش داده شده است[۵]، در این شبکه توان و ولتاژ مبنا و حداکثر ظرفیت خطوط به ترتیب $8.5MVA$، $12kV$ و $320A$ می‌باشد. بار این شبکه به صورت متغیر در نظر گرفته شده، به گونه‌ای که بار شبکه در حالت پیک ۱/۰۸ برابر حالت میان‌باری و در حالت کم‌باری ۰/۸۵ درصد بار میان‌باری است. کم‌باری مربوط به ساعات آخرشب تا اوایل صبح، میان‌باری مربوط به ساعات روز تا قبل از تاریکی و پیک‌بار مربوط مربوط به اوایل تا انتهای شب می‌باشد.

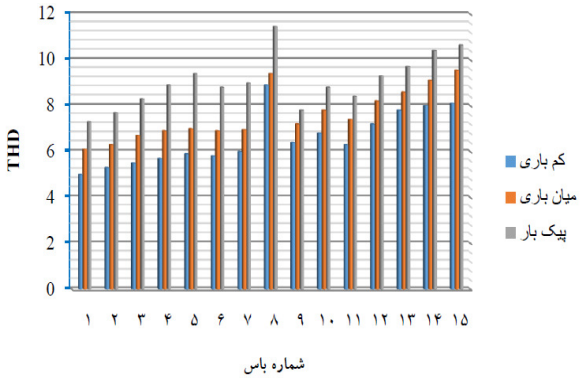


شکل (۴): شبکه ۱۵ شینه مورد مطالعه[۵]

پروفیل ولتاژ و انحرافات هارمونیکی در سه سطح بار در حالت بدون خازن‌گذاری در شکل (۵) و (۶) نشان داده شده است.



شکل (۵): پروفیل ولتاژ شبکه ۱۵ شینه در حالت بدون خازن‌گذاری

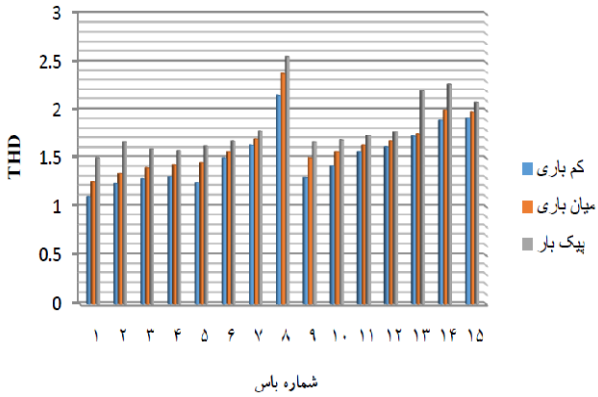


شکل (۶): پروفیل هارمونیکی شبکه ۱۵ شینه در حالت بدون خازن‌گذاری

پروفیل ولتاژ و انحرافات هارمونیکی در سه سطح بار در حالت خازن‌گذاری با الگوریتم پیشنهادی (CSA) در شکل‌های (۷) و (۸) نشان داده شده است.



شکل (۷): پروفیل ولتاژ شبکه ۱۵ شینه در حالت خازن‌گذاری با الگوریتم پیشنهادی (CSA)



شکل (۸): پروفیل هارمونیکی شبکه ۱۵ شینه در حالت خازن‌گذاری با الگوریتم پیشنهادی (CSA)

نتایج اجرای الگوریتم جستجوی کلاغ (CSA) بر روی شبکه ۱۵ شینه در جدول (۱) نشان داده شده است.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

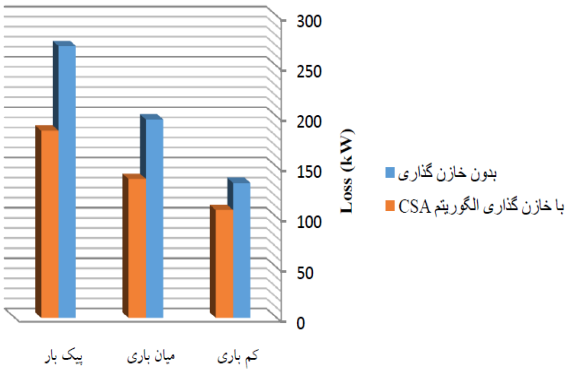
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 5 -No. 2- autumn 2016 & winter 2017

[DOR: 20.1001.1.23222468.1395.5.2.4.6]

جدول (۱): نتایج اجرای الگوریتم پیشنهادی (CSA) بر روی شبکه ۱۵ شینه

مقادیر	قبل از خازن‌گذاری	بعد از خازن‌گذاری
تلفات در کم‌باری (kW)	۱۳۴	۱۰۷
تلفات در میان‌باری (kW)	۱۹۷	۱۳۸
تلفات در پیک‌بار (kW)	۲۷۰	۱۸۶
هزینه تلفات $(\$/year)$	۱۳۷۵۲۳/۷	۱۰۳۳۲۷/۳
مکان خازن‌ها	------	۵،۹،۱۲
مقدار خازن‌ها $(n\times 215k\ \text{var})$	-----	۲،۴،۷
هزینه خازن $(\$/year)$	-----	۳۴۷/۸
$\%THD_{Max}$	۱۱/۴۵	۲/۵۶

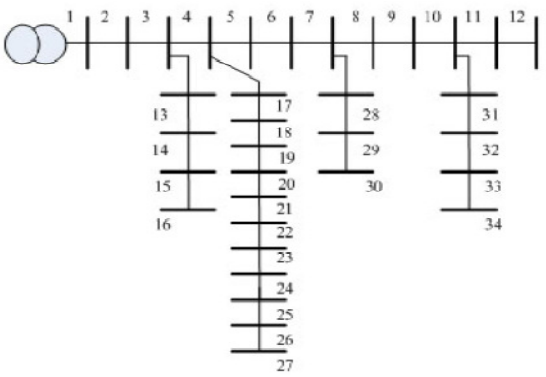
شکل (۹) تغییرات تلفات شبکه را قبل و بعد از خازن‌گذاری با الگوریتم CSA نمایش می‌دهد.



شکل (۹): تغییرات تلفات شبکه ۱۵ شینه قبل و بعد از خازن‌گذاری با الگوریتم پیشنهادی (CSA)

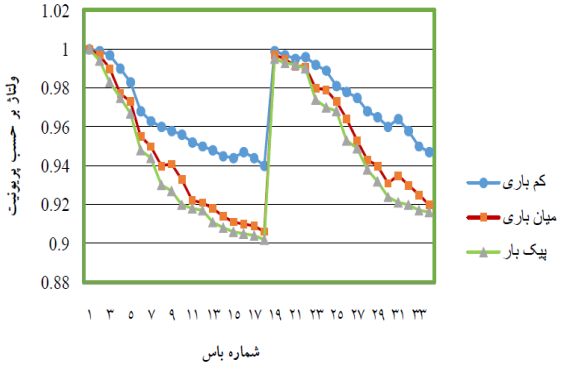
۵-۲- نتایج مکان‌یابی خازن‌ها در شبکه آزمون ۳۴ شینه

در این بخش، الگوریتم پیشنهادی، بر روی شبکه ۳۴ شینه استاندارد IEEE پیاده‌سازی شده است. این شبکه نمونه شامل ۳۴ شین بوده که نمودار تک‌خطی در شکل (۱۰) نمایش داده شده است[۷]. بار این شبکه به صورت متغیر در نظر گرفته شده، به گونه‌ای که بار شبکه در حالت پیک ۱/۰۸ برابر حالت میان‌باری و در حالت کم‌باری ۰/۸۵ درصد بار میان‌باری است. کم‌باری مربوط به ساعات آخرشب تا اوایل صبح، میان‌باری مربوط به ساعات روز تا قبل از تاریکی و پیک‌بار مربوط مربوط به اوایل تا انتهای شب می‌باشد.

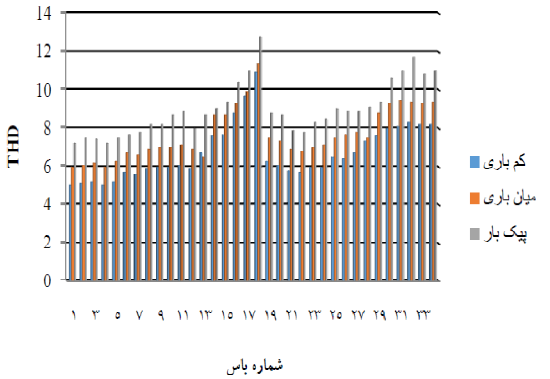


شکل (۱۰): شبکه ۳۴ شینه مورد مطالعه[۷]

پروفیل ولتاژ و انحرافات هارمونیکی در سه سطح بار در حالت خازن‌گذاری با الگوریتم جستجوی کلاغ (CSA) در شکل‌های (۱۱) و (۱۲) نشان داده شده است.



شکل (۱۱): پروفیل ولتاژ شبکه ۳۴ شینه در حالت بدون خازن‌گذاری

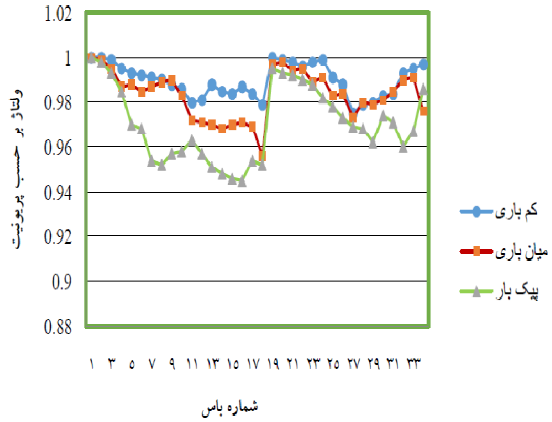


شکل (۱۲): پروفیل هارمونیکی شبکه ۳۴ شینه در حالت بدون خازن‌گذاری

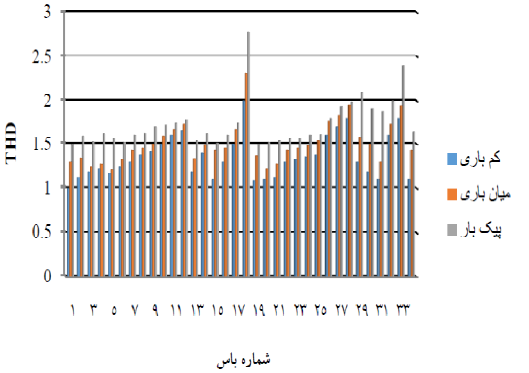
پروفیل ولتاژ و انحرافات هارمونیکی در سه سطح بار در حالت خازن‌گذاری با الگوریتم پیشنهادی (CSA) در شکل‌های (۱۳) و (۱۴) نشان داده شده است.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1395.5.2.4.6]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 5 -No. 2- autumn 2016 & winter 2017



شکل (۱۳): پروفیل ولتاژ شبکه ۳۴ شینه در حالت خازن‌گذاری با الگوریتم پیشنهادی (CSA)



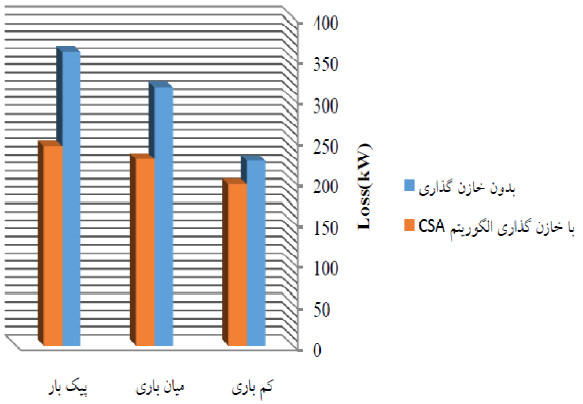
شکل (۱۴): پروفیل هارمونیکی شبکه ۳۴ شینه در حالت خازن‌گذاری با الگوریتم پیشنهادی (CSA)

نتایج اجرای الگوریتم جستجوی کلاغ (CSA) بر روی شبکه ۳۴ شینه در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول (۲): نتایج اجرای الگوریتم پیشنهادی (CSA) بر روی شبکه ۳۴ شینه

مقادیر	قبل از خازن‌گذاری	بعد از خازن‌گذاری
تلفات در کم‌باری (kW)	۲۲۵	۱۹۶
تلفات در میان‌باری (kW)	۳۱۵	۲۲۷
تلفات در پیک‌بار (kW)	۳۵۸	۲۴۳
هزینه تلفات $(\$/year)$	۱۴۷۶۴۳/۴	۱۱۵۸۴۲/۷
مکان خازن‌ها	------	۱۲،۱۸،۳۰،۳۴
مقدار خازن‌ها $(n\times 215k\ \text{var})$	-----	۷،۶،۳،۴
هزینه خازن $(\$/year)$	-----	۵۶۴/۴
$\%THD_{Max}$	۱۲/۶۸	۲/۷۳

شکل (۱۵) تغییرات تلفات شبکه را قبل و بعد از خازن‌گذاری با الگوریتم پیشنهادی CSA نمایش می‌دهد.



شکل (۱۵): تغییرات تلفات شبکه ۳۴ شینه قبل و بعد از خازن‌گذاری با الگوریتم پیشنهادی (CSA)

جدول (۳) نتایج حاصل از الگوریتم پیشنهادی (CSA) در این مقاله را در مقایسه با سایر روش‌های ارائه شده در دیگر پژوهش‌ها در شرایط یکسان را نشان می‌دهد.

جدول (۳): مقایسه نتایج مکان‌یابی خازن‌ها در این مقاله یا سایر روش‌ها

مراجع	درصد کاهش تلفات شبکه در میان باری	میانگین ولتاژ (pu) شبکه در میان باری
[۴] الگوریتم زنبور عسل مصنوعی ABC	٪۲۳/۵	۰/۹۸۹۵
[۵] الگوریتم گرده افشانی گل FPA	٪۲۹/۸	۰/۹۹۱۴
[۷] الگوریتم کرم شب‌تاب FA	٪۲۸	۰/۹۸۶۴
[۳] الگوریتم رشد گیاه PGSA	٪۲۳	۰/۹۷۴۱
الگوریتم جستجوی کلاغ (الگوریتم پیشنهادی)	٪۳۴	۰/۹۹۶۷

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله، جایابی بهینه خازن‌های ثابت و سوئیچ شونده در دو شبکه توزیع هارمونیکی ۱۵ و ۳۴ شینه با استفاده از الگوریتم جستجوی کلاغ (CSA) مورد بررسی قرار گرفت و در سطوح مختلف بار تحلیل گردید و سطح ولتاژ و اعوجاج هارمونیکی ولتاژ، مطابق استاندارد IEEE-519 محدود شد. برنامه پخش بار در شرایط هارمونیکی با روش بهینه‌سازی پیشنهادی متحد و منجر به ارضای کامل قیود در کلیه سطوح بار گردید. در فرمول‌بندی مسئله، تابع هدف بر اساس کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ در نظر گرفته شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی روش پیشنهادی نشان می‌دهد که خازن‌گذاری بهینه منجر به کاهش تلفات توان در کلیه سطوح بار و در نتیجه کاهش هزینه‌های شبکه گردیده است؛ ضمن اینکه با توجه به

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 5 -No. 2- autumn 2016 & winter 2017
[DOR: 20.1001.1.23222468.1395.5.2.4.6]

احتساب هارمونیکی بودن شبکه، اطمینان خاطر حاصل می‌شود که تشدید در فرکانس‌های متعدد هارمونیکی رخ نخواهد داد. همچنین با مقایسه نتایج استخراج شده از مقاله با سایر مراجع در شرایط یکسان (مطابق جدول (۳))، دقت، سرعت بالا و عملکرد عالی الگوریتم پیشنهادی (CSA) نسبت به سایر روش‌ها (دیگر مراجع) نشان داده شده است.

مراجع

[1] M. J. Wang, and A. Zhong *"A novel method for capacitor optimal placement considering voltage profiles"*, IEEE Trans. power delivery, Vol. 11, No. 4, 2011.

[2] M. S. Masouma, and W. Gradyd *"Optimal sizing and Placement of Fixed and Switched Capacitor Bank under Nonsinusoidal Operating Conditions"*, IEEE Trans. power delivery, Vol. 26, No. 10, 2010.

[3] R. S. Rao, and T. Kenje *"Optimal capacitor placement in a radial distribution system using plant growth simulation algorithm"*, IEEE Trans. power delivery, Vol. 7, No. 11, 2012.

[4] A. J. Fergany, and Y. Abdelaziz *"Artificial bee colony algorithm to allocate fixed and switched static shunt capacitors in radial distribution networks"*, IEEE Trans. power delivery, Vol. 23, No. 8, 2015.

[5] X. J. Yang, *"Flower pollination algorithm for global optimization"*, IEEE Trans. power delivery, Vol. 26, No. 3, 2013.

[6] C. J. Carlisle, and A. Keib *"A graph search algorithm for optimal placement of fixed and switched capacitors on radial distribution systems"*, IEEE Trans. power delivery, Vol. 15, No. 1, 2011.

[7] H. D. Pahwa, *"Optimal selection of capacitors for radial distribution systems using FA"*, IEEE Trans. power delivery, Vol. 3, No. 2, 2015.

[8] A. S. Askarzadeh, *"A novel metaheuristic method for solving constrained engineering optimization problems Crow Search Algorithm"*, Computers and Structures, Vol. 16, No. 9, 2016.

[9] Y. J. Baghzouz, *"Effects of nonlinear loads on optimal capacitor placement in radial feeders"*, IEEE Trans. power delivery, Vol. 6, No. 1, 2013.

[10] D. J. Das, *"Optimal placement of capacitors in radial distribution system using a Fuzzy-GA method"*, IEEE Trans. power delivery, Vol. 25, No. 3, 2014.

.



احسان اکبری در بروجرد متولد شده است (۱۳۶۶). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق- قدرت در دانشگاه مازندران (۱۳۸۹)، کارشناسی‌ارشد مهندسی برق- قدرت در دانشگاه علوم و فنون مازندران (۱۳۹۲) سپری کرده است. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه ادوات FACTS، کیفیت توان الکتریکی، الکترونیک قدرت و کاربرد آن در سیستم‌های قدرت، تولیدات پراکنده و شبکه‌های توزیع هوشمند می‌باشد.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 5 -No. 2- autumn 2016 & winter 2017

[DOR: 20.1001.1.23222468.1395.5.2.4.6]

Optimal Placement of Fixed and Switched Capacitor in harmonic distribution networks for power loss minimization and voltage profile improvement using Crow Search Algorithm

Ehsan Akbari[1]

[1] Department of Electrical Engineering, Mazandaran University of Science and Technology, Babol, Iran.

Abstract

Today, nonlinear and harmonic loads have been extensively developed in electrical energy distribution grids. Nonlinear loads create harmonics in distribution grids. When condensing in distribution grids, we need to consider the inkjet flow harmonics to ensure that the capacitors used do not increase the harmonic distortion and consequently do not increase the losses caused by the harmonics. In this paper, the optimal location of fixed and switchable capacitors in harmonic distribution grids using the Crow Search algorithm (CSA) is investigated. Using the proposed algorithm, optimal location of capacitors to reduce losses and Improvement of the voltage profile is determined in two distribution networks of 15 and 34 bus standards of IEEE. The results of the algorithm used in this study are based on the results of other algorithms in references such as artificial bee colony (ABC), flower pollination algorithm (FPA), FA, and plant growth simulation algorithm (PGSA), and it is found that the results of the simulation indicate the efficiency and superiority of the pattern The proposed irritation is in comparison with other methods.

[*] **Corresponding author:** akbari.ieee@gmail.com

Keywords: Crow Search Algorithm (CSA), Fixed and Switched Capacitor, voltage profile improvement, power loss minimization, harmonic.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1395.5.2.4.6]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 5 -No. 2- autumn 2016 & winter 2017