

## عنوان مقاله :

# مکان یابی و تخصیص قدرت DG بهینه در سیستم های توزیع بادر نظر گرفتن پایداری ولتاژ

نام و نام خانوادگی نویسنده اول (محمد کرمی فرد)

وابستگی سازمانی نویسنده (شرکت توزیع نیروی برق استان لرستان)

نام و نام خانوادگی نویسنده دوم (امین رضا برومند)

وابستگی سازمانی نویسنده (شرکت توزیع نیروی برق استان لرستان)

## چکیده

یکی از اساسی ترین مولفه های توسعه اقتصادی و اجتماعی و صنعتی کشور مبحث تولید انرژی است با افزایش میزان انرژی الکتریکی درخواستی توسط مشترکان، توجه روز افزون به کیفیت انرژی تحویلی به مصرف کنندگان و استقبال برنامه ریزان و بهره برداران مستقل سیستم قدرت از حضور منابع تولید پراکنده به عنوان تأمین کننده ی بخشی از نیازهای شبکه، تدوین چارچوبی فنی و اقتصادی برای حضور هر چه بهینه تر این منابع در شبکه ی قدرت ضروری به نظر می رسد. در این پایان نامه با استفاده از الگوریتم بهینه سازی رقابت استعماری برای پیدا کردن محل بهینه و مقدار ظرفیت منابع تولید پراکنده به منظور کیفیت توان در سیستم توزیع شعاعی و براساس پخش بار پسر و پیشرو مدل سازی صورت گرفته است. در این پایان نامه به دنبال بهینه سازی یا به حداقل رساندن تلفات-، ماکزیمم نمودن حاشیه پایداری ولتاژ، و بهینه نمودن هزینه می باشیم، و با استفاده فرمولاسیون های موجود در فصل روش- پیشنهادی کدگذاری را در متلب نوشته و نتایج با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری به دست آمده است. روش ارائه شده برای سیستم آزمایش ۳۳ با سه بکار می رود و نتایج بدست آمده به طور دقیق و کامل در فصل نتایج شبیه سازی، ارائه خواهد شد

**واژگان کلیدی:** ساینبدی- شاخص پایداری ولتاژ- حداقل نمودن تلفات توان- سیستم ۳۳ باس استاندارد- الگوریتم رقابت استعماری (ICA)

## مقدمه

یکی از اساسی ترین مولفه های توسعه اقتصادی و اجتماعی و صنعتی کشور مبحث تولید انرژی است. در سال های اخیر بحث های فراوانی در مورد تغییر در روش تولید انرژی و تجدیدپذیر بودن آن در سراسر دنیا شده است. با توجه به فرآیند گرم شدن زمین به عنوان یک معضل جهانی و افزایش گازهای گلخانه ای توجه ویژه ای در سال های اخیر به تولید انرژی تجدید پذیر شده است و از طرف مجامع بین المللی با حمایت های گسترده ای روبرو است. هم زمان با توسعه فناوری تقاضای انرژی الکتریکی در کشور رو به افزایش است و تحقیقات جدید به سمت روش های تولید انرژی تجدید پذیر در جریان است. انرژی الکتریکی در زندگی امروز بشر نقش مهمی را ایفا می کند، به گونه ای که احتمالاً امروزه هیچ کسی نمی تواند زندگی بدون استفاده از برق را در ذهن خود متصور شود. اگر در گذشته ی نه چندان دور نقش برق فقط در روشنایی خانه ها و اندکی پس از آن در یخچال ها و تلویزیون های کوچک برجسته می نمود امروز همه ی لحظه های زندگی بشر با این انرژی گره خورده است و انسان ها برای انجام همه ی امور خود در زندگی شخصی، شغلی و جامعه ی خود از ساده ترین امور گرفته مانند نظافت منزل تا پیچیده ترین کارها در تولید ابزارهای مهم صنعتی به انرژی الکتریکی وابسته هستند.

با این حال بشر در استفاده از این انرژی با چالش های زیادی نیز روبروست. از یک سو با رشد جمعیت و فناوری، هر روز بر شمار متقاضیان افزوده می شود، از سوی دیگر بنابر دلایل زیادی نمی توان با استفاده از همان روش های تولید سنتی نیاز انرژی امروز را برآورده کرد. از جمله مهمترین این دلایل پایان پذیری سوخت های فسیلی مانند نفت و گاز طبیعی است که در نیروگاه های احتراقی سنتی بکار می روند. از طرف دیگر نوسانات قیمت و هزینه ی زیاد این سوخت ها نیز به عنوان دلیلی دیگر محسوب می شود. دولتمردان و سرمایه داران، سوخت های فسیلی را به دلیل نوسانات شدید قیمتی و تأثیرپذیری زیاد از شرایط مختلف، حوزه ی مناسبی برای سرمایه گذاری در صنعت برق نمی دانند. در همین راستا متخصصان معتقدند ارزش افزوده ی سوخت های فسیلی در صورت استفاده در دیگر موارد، مانند تولید قطعات ریزپردازنده ی صنعتی می تواند بسیار بیشتر از سوزاندن آنها برای تولید انرژی الکتریکی باشد. در اینجا باید به انتقاد دوست داران محیط زیست نیز اشاره نمود که معتقدند روش های سنتی تولید انرژی الکتریکی با توجه به میزان بالای انتشار آلاینده های زیست محیطی می بایست متوقف گردد و یا حداقل رشد آنها کاهش یابد. اگر نیمنگاهی به گزارش هایی که در خصوص تغییرات آب و هوایی زمین ناشی از انتشار آلاینده های زیست محیطی و گازهای گلخانه ای و اثرات آن بر حیات موجودات در کره ی خاکی بیندازیم آن گاه می توانیم با اطمینان بگوییم دلیل آخر اتفاقاً مهم ترین دلیل بر کاهش استفاده از روش های سنتی تولید انرژی الکتریکی نیز است

## بیان مسئله در این تحقیق عبارتند از:

تولیدات پراکنده به واحدهای تولید انرژی الکتریکی اطلاق می شود که نسبت به نیروگاههای معمولی از حجم و ظرفیت تولید کمتری برخوردارند. این منابع معمولاً به شبکه های توزیع متصل می شوند. نیروگاههای تولید پراکنده دارای ظرفیت تولیدی از چند کیلو وات تا ۱۰ مگاوات هستند که جهت تولید انرژی الکتریکی در نقاط نزدیک به مصرف کنندگان به کار می روند از انواع آنها می توان به سلول های خورشیدی، پیل های سوختی، میکرو توربین ها، نیروگاههای بادی و... اشاره کرد. چنانچه این نیروگاه ها به شبکه متصل شوند، اثرات مختلفی روی شبکه از جمله کاهش تلفات شبکه، بهبود پروفیل ولتاژ و افزایش قابلیت اطمینان شبکه خواهند داشت. عدم جایابی مناسب نیروگاه های تولید پراکنده در شبکه باعث افزایش تلفات و بالا رفتن هزینه های تولید و انتقال انرژی وافت ولتاژ می شود بنابراین لازم است با روش های بهینه سازی، جایابی این نیروگاه ها در شبکه انجام گیرد؛ بدین ترتیب که تعداد نیروگاههای تولید پراکنده، محل نصب و ظرفیت آنها چنان تعیین شود که بیشترین کاهش تلفات شبکه با در نظر گرفتن قیود مسأله به وجود آید.

## اهداف در این تحقیق

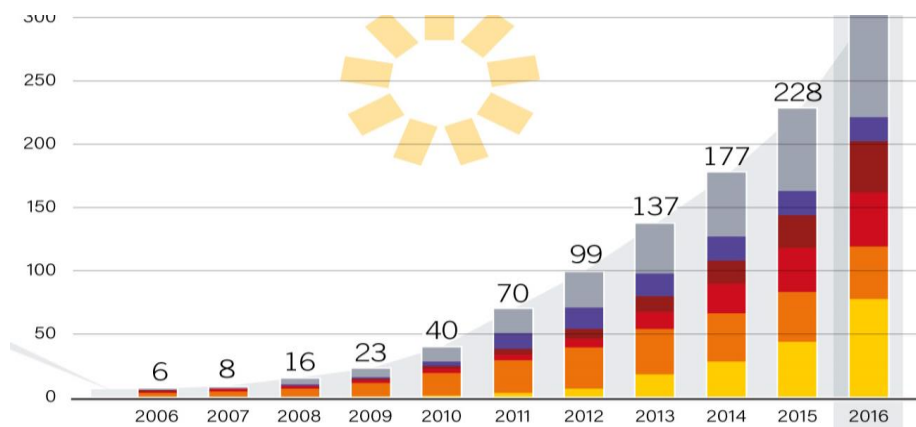
- افزایش حاشیه ولتاژ



- بهینه نمودن یا به حداقل رساندن هزینه کل
- کم نمودن تلفات توان و درنهایت به دنبال داشتن کیفیت توان عالی در سیستم های توزیع
- پیدا نمودن مکان بهینه و ظرفیت تولید منابع تولید پراکنده در سیستم توزیع نمونه

### تولیدات پراکنده و مسائل زیست محیطی

طبق پیمان کیوتو کشورهای عضو اتحادیه اروپا ملزم به کاهش اساسی در تولید گازهای گلخانه ای (Green House Gasses) خود شده اند. در کشورهای انگلستان، اسکاتلند و ولز، ۴۵ درصد از آلودگی های کربنی تا سال ۲۰۱۰ ناشی از تولید توان الکتریکی خواهد بود، بنابراین دولت در این کشورها تصمیم دارد که ۱۰ درصد از تولیدات برق خود را تا سال ۲۰۱۰ و ۲۰ درصد تا سال ۲۰۲۰ را از طریق منابع تجدیدپذیر انرژی تأمین نماید و به این ترتیب ۶۰ درصد از آلودگی های کربنی ناشی از تولید انرژی الکتریسیته را تا سال ۲۰۵۰ کاهش دهد. این تقاضای تولید بر اساس تولید برق توسط DGها و از منابع تجدیدپذیری نظیر انرژی باد، انرژی خورشید و بیوماس تأمین خواهد شد.



شکل ۱-۱- نرخ استحصال انرژی از منابع پاک در گذر زمان

همانطوری که در شکل ۱-۱ دیده می شود، نرخ استحصال انرژی از منابع پاک رو به افزایش است.

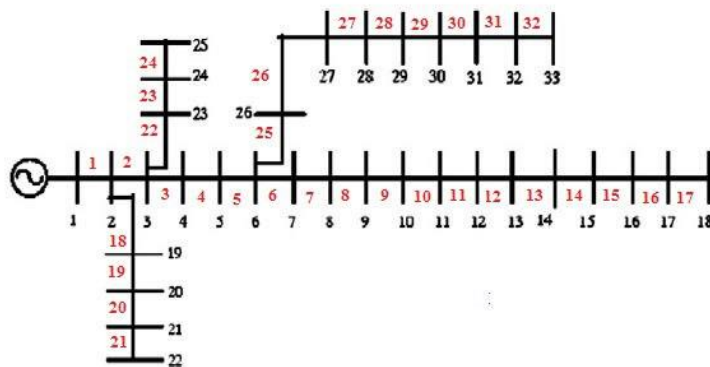
### کیفیت توان

جدا از مسئله قابلیت اطمینان که مربوط به افت ولتاژهای زیاد نزدیک به صفر می باشد، مسئله تغییرات و انحرافات ولتاژ به عنوان کیفیت توان از اهمیت زیادی برخوردار است. کیفیت نا مطلوب توان ناشی از عیب ها و عملکرد سوئیچینگ در شبکه، باعث فروآمدن ولتاژ، قطعی و به وجود آمدن حالت های گذرا می شود. هم چنین اغتشاشات شبکه ناشی از بارهای خاص، باعث ایجاد چشمک زدن ولتاژ می گردد. این امر باعث تغییرات سریع ولتاژ و ایجاد هارمونیک و عدم تعادل فازها می شود. نصب و اتصال واحد های تولید پراکنده باعث تاثیر بر روی فرکانس سیستم می گردد. از این رو در هنگام نصب تعداد زیادی از واحد های تولید پراکنده این مسئله باید با دقت بررسی شود. در هنگام اتصال واحدهای تولید پراکنده، انتقال توان از سطح ولتاژ پایین به سطوح ولتاژ متوسط رخ می دهد، در حالی که در سیستم

های انتقال، توان به صورت یک طرفه از سطح ولتاژ بالا به سطح ولتاژ پایین منتقل می شود. از این رو در هنگام اتصال واحدهای تولید پراکنده، طرح های حفاظتی مختلفی در هر دو سطح ولتاژ مورد نیاز است. از این رو وجود این واحد ها، موثر بودن اجزا حفاظتی را کاهش می دهد. مشتریان خواهان عمل کرد جزیره ای در طول قطع شبکه، باید فرض های اطمینان و تکنیکی مهم را، وقتی که شبکه توزیع دوباره عمل کردش را باز می یابد و سیستم تولید پراکنده دوباره با شبکه توزیع سنکرون می گردد، در نظر بگیرند. بعضی از تکنولوژی های تولید پراکنده نظیر فتوولتایی و پیل سوختی، جریان مستقیم تولید می کنند. از این رو این واحدها باید با شبکه که از طریق مبدل های DC/AC که منبع هارمونیک می باشند، وصل شوند. هم چنین بعضی اوقات نیاز است تا ولتاژی با فرکانس متغیر تولید شود

### شبکه ۳۳ باس استاندارد

شبکه های تولید پراکنده یکی از کارآمدترین رهیافت ها در تولید انرژی الکتریکی در دنیا می باشد. در سال های اخیر تحقیقات بسیاری در مورد شبکه های تولید پراکنده انجام شده و در زمینه طراحی و بهینه سازی این گونه سیستم ها پیشرفت های زیادی حاصل شده است. در این فصل عملکرد شبکه های تولید پراکنده متصل به شبکه توزیع ۳۳ باسه مورد بحث قرار می گیرد، و محل، سائز سیستم تولید پراکنده، و همچنین برای تخصیص بهینه توان راکتیو باتوجه به تلفات توان، در سیستم توزیع ۳۳ باسه مورد ارزیابی قرار گرفته شده است. در این فصل یک سیستم توزیع طراحی و پیاده سازی می شود که ترکیبی است از سیستم توزیع مورد مطالعه به همراه منابع تولید پراکنده می باشد. در شکل زیر نمای کلی این سیستم ۳۳ باسه مذکور را ملاحظه می کنید.



شکل ۲-۱: نمایان گریک سیستم ۳۳ باس استاندارد IEEE می باشد

فرمول ها و روابط ریاضی



۱. حداقل سازی تلفات:

$$F_1 = \sum_{h=1}^{24} \sum_{j=1}^{nLine} P_{LOSS,j,h} \quad (1-1)$$

۲. شاخص پایداری ولتاژ

$$VSI(n_i) = |V_{mi}|^4 - 4[P_{ni}(ni)R_{ni} + Q_{ni}(ni)X_{ni}]|V_{mi}|^2 - 4[P_{ni}(ni)R_{ni} + Q_{ni}(ni)X_{ni}]^2 \quad (1-2)$$

$$F_3 = \left( \frac{1}{\min(VSI(n_i))} \right)$$

۳. هزینه نصب DGها

$$C_1 = \sum_{i=1}^{N_{DG}} \sum_{k=1}^{K_{DG}} \text{cost}_{\text{installation};ik} \quad (1-3)$$

قید عبارتند از:

قید محدوده مجاز ولتاژ

$$V_{i,\min} \leq V_i \leq V_{i,\max} \quad (1-4)$$

است.  $i$  حداقل و حداکثر ولتاژ گره  $V_{i,\min}$  و  $V_{i,\max}$

قید ظرفیت خطوط

$$S_{li} \leq S_{li,\max} \quad (1-5)$$

DG مجموع ظرفیت

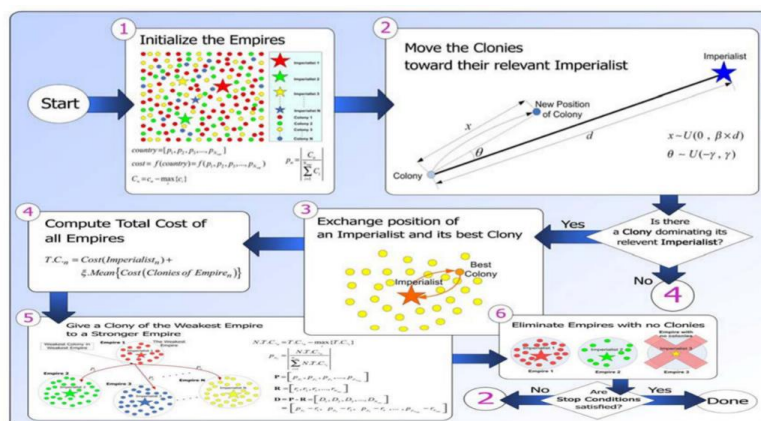
$$\sum P_{DG,i} = P_{demand}$$

(۶-۱)

است.  $PDG,i$  ظرفیت  $i$  امین  $DG$

## الگوریتم رقابت استعماری

در این بخش توضیح مختصری بر روش بهینه سازی الگوریتم رقابت استعماری داده می شود. با در نظر گرفتن الگوریتم های بهینه سازی مطرح شده، آنچه که قابل توجه است این است که اغلب روشهای بهینه سازی عام مطرح شده، شبیه سازی کامپیوتری فرایند های طبیعی هستند. شاید یک دلیل برای این کار، ملموس بودن و سادگی فرموله کردن و درک تکامل این فرایند ها است. در نقطه مقابل، در ارائه ی الگوریتمهای بهینه سازی، علی رغم توجه به تکامل زیستی انسان و سایر موجودات (الگوریتم های ژنتیک و ...)، به تکامل اجتماعی و تاریخی او به عنوان پیچیده ترین و موفق ترین حالت تکامل، توجه چندانی نشده است. الگوریتم جدید معرفی شده با الهام گیری از یک فرایند اجتماعی سیاسی، نسبت به روش های مطرح شده دارای توانایی بالایی بوده و تا حد بسیار زیادی نیز، سریع می باشد.



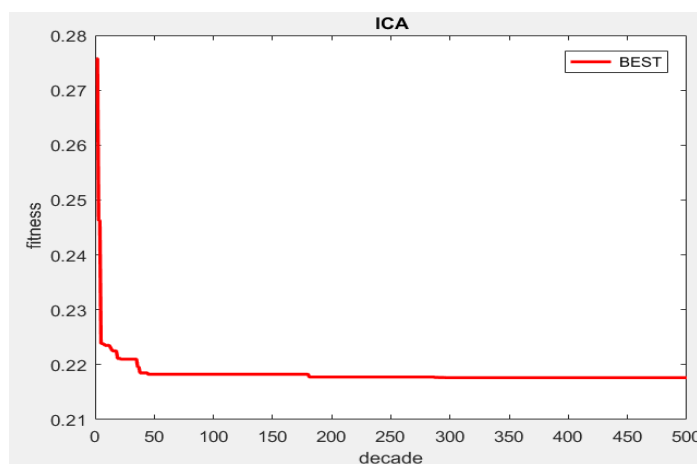
شکل ۳-۱: شمای کلی الگوریتم رقابت استعماری.

الگوریتم رقابت استعماری همانند سایر روش های بهینه سازی تکاملی، با تعدادی جمعیت اولیه شروع می شود.

## بحث و نتیجه گیری

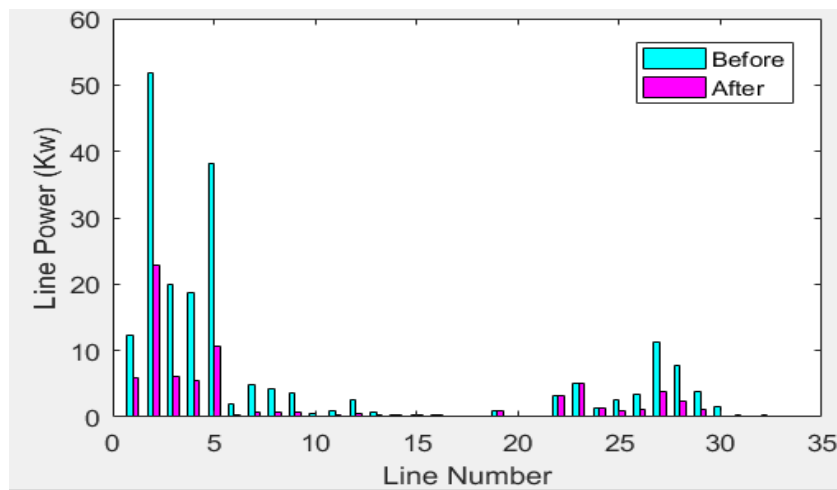
در این شبیه سازی بهبود پایداری ولتاژ؛ به حداقل رساندن تلفات توان در شبکه های توزیع با استفاده از منابع تولیدات پراکنده با الگوریتم ICA بر روی سیستم استاندارد ۳۳ باس IEEE مورد آنالیز قرار گرفته است که نتایج آن به صورت نمودار همگرایی ۴-۵ و نیز عددی به طور دقیق و کامل آورده شده است.

در این نمودار محور X تعداد تکرارها برای الگوریتم رقابت استعماری می باشد که در همه الگوریتم های بهینه سازی موجو است و محور Y نتیجه الگوریتم می باشد.



شکل ۴-۱ نمودار همگرایی الگوریتم بهینه سازی رقابت استعماری

بعد از شکل ۴-۱ نمودار ۵-۱ ظاهر خواهد شد، در واقع این نمودار بیانگر تلفات توان برای هر یک از باس ها قبل و بعد از نصب می باشد. در محور X این نمودار تعداد باس ها وجود دارد و در محور Y توان هر خط بر حسب کیلووات رانشان می دهد. همان طور که ملاحظه می شود رنگ سبز در نمودار میله ای زیر نمایانگر تلفات توان قبل از ورود منابع تولید پراکنده می باشد و همچنین رنگ صورتی نمایان گر تلفات توان باس ها بعد از لحاظ کردن می باشد. برای مثال در باس شماره ۲ و ۵ که ماکزیمم ترین حالت برای تلفات توان قبل از منابع تولید پراکنده می باشد، که توان خط به ۳۹۵۳ کیلووات رسیده است، این در حالی می باشد که در ماکزیمم ترین حالت برای تلفات توان بعد از نصب منابع تولید پراکنده، در باس های شماره ۲۰، ۱۸، ۱۷، ۱۶ و ۲۱ توان خط به صفر رسیده است و در مابقی باس ها نسبت به قبل (قبل از نصب) به حداقل رسیده است.



شکل ۵-۱: بیانگر توان خط در هر یک از باس ها می باشد

پس از نمودارها تعداد بهینه عناصر در محیط Command Window (پنجره ای در نرم افزار متلب که بلافاصله پس از نمودارها نتایج کل را به صورت عددی در این صفحه یا پنجره ظاهر می کند) چاپ می شود، که نتایج آن در زیر آمده است: در واقع با ۵۰۰ دوره یا تکرار (decade or Iteration) نتایج که شامل شماره باس هایی که منابع تولید پراکنده بر روی آن ها نصب شده است، سائز آن ها و همچنین درصد کلی تلفات توان در این سیستم به صورت زیر نشان داده شده است.

نتایج قبل از نصب منابع تولید پراکنده بر روی سیستم ۳۳ باس استاندارد

قبل از نصب منابع تولید پراکنده در سیستم ۳۳ شینه IEEE تلفات توان اعم از اکتیو، راکتیو و پایداری و لتاژ در جدول ۱-۱ نمایش داده شده است که به صورت زیر نمایش داده شده است.



جدول ۱-۱: نشانگر نتایج قبل از نصب DG می باشد

تلفات توان اکتیو (KW)	تلفات توان راکتیو (Kvar)	پایداری ولتاژ (VSI)
221.747	65.124	0.786

نتایج بعد از نصب منابع تولید پراکنده بر روی سیستم ۳۳ باس استاندارد

جدول ۱-۲: نشانگر نتایج بعد از نصب DG می باشد

سایز DG (Kw)	سایز DG (Kvar)	مکان DG	DG Pf	تلفات توان اکتیو	تلفات توان راکتیو	هزینه	پایداری ولتاژ (VSI)
1742.3	1433.5	25	0.77	70.74	19.33	0.2177\$	0.89

همان طور که مشاهده می کنید در جدول ۱-۱ تلفات توان اکتیو و راکتیو به ترتیب ۲۲۱/۷۴۷ کیلووات و ۶۵/۱۲۴ کیلووار و همچنین مقدار پایداری ولتاژ ۰/۷۸ می باشد، این در حالی است که در جدول ۱-۲ تلفات توان اکتیو و راکتیو نسبت به حالت قبل از نصب به مقدار قابل توجه ای کاهش پیدا کرده است و همچنین پایداری ولتاژ به ماکزیمم ترین حالت خود که ۰/۸۹ می باشد رسیده است. اگر بخواهیم به یک جمع بندی کلی دست پیدا کنیم به این نتیجه خواهیم رسید که با نصب نمودن DG ها بر روی سیستم های توزیع تلفات توان حداقل خواهد شد همچنین بهبود پایداری ولتاژ و بهبود پروفایل ولتاژ را به دنبال خواهد داشت که مهمترین اولویت و در واقع اهداف ما در این پژوهش خواهد بود.

## نتیجه گیری

در این مقاله با استفاده از الگوریتم بهینه سازی رقابت استعماری برای پیدا کردن محل بهینه و مقدار ظرفیت منابع تولید پراکنده به منظور کیفیت توان و حاشیه پایداری ولتاژ در سیستم توزیع شعاعی و براساس پخش بار پسر و پیشرو مدل سازی صورت گرفته است، همچنین

هزینه، کاهش تلفات، و بهبود پایداری و لتاژ به عنوان سه هدف اصلی در نظر گرفته شده است و با استفاده توابع هدف پیاده سازی در محیط نرم افزاری MATLAB و نیز شبکه ۳۳ باس استاندارد IEEE انجام گرفته است.

نتایج حاصل از شبیه سازی نشان میدهد قبل از نصب تولیدات پراکنده تلفات توان اکتیو و راکتیو به ترتیب ۲۲۱/۷۴۷ کیلووات و ۶۵/۱۲۴ کیلووار و همچنین مقدار پایداری و لتاژ ۰/۷۸ می باشد، این در حالی است که بعد از نصب تلفات توان اکتیو و راکتیو نسبت به حالت، قبل از نصب به مقدار قابل توجه ای کاهش پیدا کرده است و همچنین پایداری و لتاژ به ماکزیمم ترین حالت خود که ۸۹٪ می باشد رسیده است. اگر بخواهیم به یک جمع بندی کلی دست پیدا کنیم به این نتیجه خواهیم رسید که با نصب نمودن DG ها بر روی سیستم های توزیع تلفات توان حداقل خواهد شد همچنین بهبود پایداری و لتاژ و بهبود پروفایل و لتاژ را به دنبال خواهد داشت که مهمترین اولویت و در واقع اهداف ما در این پژوهش خواهد بود.

#### مراجع لاتین:

- [1] Li, Bin, et al. "Overcurrent protection coordination in a power distribution network with the active superconductive fault current limiter." IEEE Transactions on Applied Superconductivity, vol. 24, no. 5, pp. 1-4, Sep 2014.
- [2] C. J. Mozina, "Impact of smart grids and green power generation on distribution systems," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 49, no. 3, pp. 1079-1090, May 2013.
- [3] N. Nimpitiwan, G. T. Heydt, R. Ayyanar, and S. Suryanarayanan, "Fault current contribution from synchronous machine and inverter based distributed generators," IEEE Trans. Power Del., vol. 22, no. 1, pp. 634-641, Jan. 2017.
- [4] P. Tarasewich and P. R. McMullen, "Swarm intelligence: Power in numbers," Commun. ACM pp. 62-67, Aug. 2012. Available: <http://www.ccs.neu.edu/home/tarase/TaraseMcMullSwarm.pdf>.
- [5] T. K. Abdel-Galil et al., Protection Coordination Planning With Distributed Generation, CETC 2007-149/2007-09-14, Sep. 2007.
- [6] H. B. Funmilayo, J. A. Silva, and K. L. Butler-Purry, "Overcurrent protection for the IEEE 34-node radial test feeder," IEEE Trans. Power Del., vol. 22, no. 2, pp. 459-468, Apr. 2017.
- [7] P. Barker and R. DeMello, "Determining the impact of distributed generation on power systems. I. Radial distribution systems," in Proc. IEEE Power Eng. Soc. Summer Meeting, Seattle, WA, USA, 2016, pp. 1645-1656.
- [8] J. A. Silva, H. B. Funmilayo, and K. L. Butler-Purry, "Impact of distributed generation on the IEEE 34-node radial test feeder with overcurrent protection," in Proc. 39th North Amer. Power Symp. (NAPS), Las Cruces, NM, USA, 2017, pp. 49-57.
- [9] S. Chaitusaney and A. Yokoyama, "Prevention of reliability degradation from recloser-fuse miscoordination due to distributed generation," IEEE Trans. Power Del., vol. 23, no. 4, pp. 2545-2554, Oct. 2014.
- [10] H. Yazdanpanati, Y. W. Lei, and W. Xu, "A new control strategy to mitigate the impact of inverter-based DGs on protection system," IEEE Trans. Smart Grid, vol. 3, no. 3, pp. 1427-1436, Sep. 2012.



- [11] A. F. Naiem, Y. Hegazy, A. Y. Abdelaziz, and M. A. Elsharkawy, "A classification technique for recloser-fuse coordination in distribution systems with distributed generation," IEEE Trans. Power Del., vol. 27, no. 1, pp. 176–185, Jan. 2012.
- [12] B. Hussain, S. M. Sharkh, S. Hussain, and M. A. Abusara, "An adaptive relaying scheme for fuse saving in distribution networks with distributed generation," IEEE Trans. Power Del., vol. 28, no. 2, pp. 669–677, Apr. 2013.
- [13] S. Conti and S. Nicorta, "Procedures for fault location and isolation to solve protection selectivity problems in MV distribution networks with dispersed generation," Elect. Power Syst. Res., vol. 79, no. 1, pp. 57–64, Jan. 2015.
- [14] S. Conti, "Analysis of distribution network protection issues in presence of dispersed generation," Elect. Power Syst. Res., vol. 79, no. 1, pp. 49–56, Jan. 2009.
- [15] I. Erlich, W. Winter, and A. Dittrich, "Advanced grid requirements for the integration of wind turbines into the German transmission system," in Proc. IEEE PES Gen. Meeting, Montreal, QC, Canada, 2006, pp. 1–6.
- [16] H. H. Zeineldin, E. F. El-Saadany, and M. A. Salama, "Optimal coordination of directional overcurrent relays," in Proc. Power Eng. Soc. Gen. Meeting, 2005, pp. 1101–1106.
- [17] H. H. Zeineldin, "Optimal coordination of microprocessor based directional overcurrent relays," in Proc. Can. Conf. Elect. Comput. Eng. (CCECE), 2016, pp. 289–294.
- [18] W. K. A. Najy, H. H. Zeineldin, and W. L. Woon, "Optimal protection coordination for microgrids with grid connected and islanded capability," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 60, no. 4, pp. 1668–1677, Apr. 2013.
- [۱۹] C. W. So and K. K. Li, "Time coordination method for power system protection by evolutionary algorithm," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 36, no. 5, pp. 1235–1240, Sep./Oct. 2015.
- [۲۰] P.P. Bedekar, S.R. Bhide, Optimum coordination of directional overcurrent relays using the hybrid GA–NLP approach, IEEE Transactions on Power Delivery 26 (January (1)), 2012, pp (s) 109–119.