Optimal capacity allocation of solar resources in order to maximize penetration level and improve voltage profile of distribution system

Seyed Ali Hosseini Kordkheili, M.Sc Student, Ali Ghasemi-Marzbali *, Assistant Professor

Department of Electrical and Biomedical Engineering, Mazandaran University of Science and Technology, Babol, Iran ali.ghasemi@ustmb.ac.ir

Abstract:

The problem of determining the optimal capacity and location of distributed generation resources is one of the important topics in the design and operation of power systems. To address this issue, this paper proposes a multi-objective developed model for optimal allocation of solar resources in radial distribution systems based on objective functions such as improving voltage profile, reducing losses, and maximizing penetration level. The optimal values, in other words, the capacity of solar resources to meet the optimal voltage profile and minimize losses under high penetration levels of these resources, have been obtained. Since these objectives are conflicting, a multi-objective developed algorithm called Gray Wolf Optimizer has been proposed to solve them simultaneously. Compared to other multi-objective problem-solving methods, the proposed Gray Wolf Optimizer demonstrates a high capability in solving multi-objective problems and finding Pareto fronts, while avoiding local optima. Additionally, in order to enhance the capabilities of the Gray Wolf Optimizer, a social hierarchy-based modified method has been employed to reduce solution time and improve the allocation matrix. Finally, the proposed method and the intended model have been evaluated on a standard system under various operating conditions. The obtained results show that the proposed method has been able to maintain an acceptable voltage profile and significantly reduce losses compared to other multi-objective algorithms. For low to medium penetration levels, losses tend to decrease until reaching a minimum value, and for penetration levels above 100%, losses increase. Furthermore, at a penetration level of 300%, the efficiency of the system has improved by about 12% in terms of voltage profile using the optimal allocation, indicating the excellent efficiency of the proposed method even at high penetration levels. Additionally, it has been demonstrated that in comparison to other multi-objective optimization methods, the proposed method has performed well in terms of the inverted generational distance parameter.

Keywords: Penetration level, solar system, transmission line losses, voltage profile, optimization.

Submit date: 2022/0910 Accepted date: 2023/04/25

Corresponding author's name: Ali Ghasemi-Marzbali

Corresponding author's address: Department of Electrical and Biomedical Engineering, Mazandaran University of Science and Technology, Babol, Iran

تخصیص ظرفیت مطلوب منابع خورشیدی بهمنظور دستیابی به حداکثر سطح نفوذ و بهبود پروفایل ولتاژ در سیستم توزیع

نوع مطالعه: پژوهشی سید علی حسینی کردخیلی، کارشناسی ارشد، علی قاسمی مرزبالی*، استادیار گروه مهندسی برق و پزشکی- دانشگاه علوم و فنون مازندران- بابل- ایران *ali.ghasemi@ustmb.ac.ir

چکیدہ:

مسئله تعیین ظرفیت و موقعیت بهینه منابع تولید پراکنده یکی از موضوعات بااهمیت در طراحی و بهرهبرداری از سیستمهای قدرت است. برای پوشش دادن به این موضوع، در این مقاله یک مدل توسعهیافته چندهدفه برای تخصیص بهینه منابع خورشیدی در سیستمهای توزیع شعاعی مبتنی بر توابع اهدافی مانند بهبود پروفیل ولتاژ، کاهش تلفات و حداکثرسازی سطح نفوذ پیشنهاد شده است. مقادیر بهینه به عبارتی، ظرفیت منابع خورشیدی جهت بر آورده نمودن پروفایل ولتاژ بهینه و تلفات کمینه تحت سطوح نفوذ بالای این منابع به دست آمده است. نظر به اینکه، این توابع در تضاد یکدیگر بوده، برای حل همزمان آنها یک الگوریتم توسعهیافته چندهدفه گرگ خاکستری پیشنهاد شده است. نسبت به سایر روشهای حل مسائل چندهدفه، روش بهینهسازی چندهدفه گرگ خاکستری پیشنهادی قابلیت بسیار بالایی در حل مسائل چندهدفه و یافتن جبهههای پارتو دارد و از قرار گرفتن در بهینگیهای محلی جلوگیری مینماید. علاوه بر این بهمنظور ارتقای قابلیتهای روش گرگ خاکستری از روش سلسله مراتبی اجتماعی تصحیح شده برای کاهش زمان حل و بهبود ماتریس تخصیص استفاده شده است. در نهایت، روش پیشنهادی و مدل موردنظر بر روی یک سیستم استاندارد در شرایط کاری مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج به دست آمده نشان داده که روش پیشنهادی در مقایسه با سایر الگوریتمهای چندهدفه توانسته پروفیل ولتاژ را در حد قابل قبولی نگه داشته و تلفات را بهصورت قابل ملاحظهای کاهش دهد. برای سطوح نفوذ کم تا متوسط، تلفات تمایل به کاهش یافتن تا رسیدن به مینیمم مقدار را داشته و برای سطوح نفوذ بالاتر از ۱۰۰ درصد، تلفات افزایش می یابد. همچنین در سطح نفوذ ۳۰۰ درصد کارایی سیستم از منظر پروفایل ولتاژ با استفاده از تخصيص بهينه حدود ١٢ درصد بهبوديافته است كه اين نشانگر كارايي بسيار مناسب روش پيشنهادي حتى در سطوح نفوذ بالا میباشد. علاوه بر این اثبات گردید در مقایسه با سایر روشهای بهینهسازی چندهدفه روش پیشنهادی دارای عملکرد مناسبی از منظر یارامتر فاصله نسل معکوس بوده است.

واژههای کلیدی: سطح نفوذ، سیستم خورشیدی، تلفات خطوط انتقال، پروفایل ولتاژ، بهینهسازی.

تاریخ ارسال مقاله : ۱۴۰۱/۰۶/۱۹

تاریخ پذیرش مقاله : ۱۴۰۲/۰۲/۰۵

نام نویسندهی مسئول : علی قاسمی مرزبالی

نشانی نویسندهی مسئول : مازندران، بابل، دانشگاه علوم و فنون مازندران.

۱- مقدمه

چالشهای زیست محیطی، کاهش رزروهای سوخت فسیلی و ا فزایش وابستگی به نواحی ناپایدار از لحاظ سیاسی برای تأمین ا نرژی ف سیلی سبب افزایش اهمیت استفاده کارآمدتر از اخرژی فسیلی شده است. دولت های ک شورهای تو سعه یافته ا هداف مط لوبی را برای کاهش انتشارات گاز های گلخاخهای نظ بر CO2 و مصرف اخرژی را انت شار دادهاند. توليد توان الكتريكي ابتدا توسط توليدكن غدگان غيرمتمر كز و پراکنده صورت می گرفته است. متمر کزسازی شبکههای برق با هدف بهرهبرداری اقتصادی از تولید و اهداف اقتصادی تأمین کنندگان صورت می پذیرد. متمر کزسازی به رفاه اجتماعی نیز مرتبط است، زیرا تولید توان غیرمتمرکز موجب ناح یهی پرسرو صدا و موج بات آزار و اذ یت شهروندان می شود و بهرهبرداری از تولید نیازم ند ا فرادی متخ صص میباشد [1]. چالشی که در ارتباط با شبکههای متمرکز وجود دارد به تغییرات آب و هوایی مرتبط می شود. متمر کزسازی شبکه فا صله قا بل توجهی میان تأمین کننده و مصرفکننده ای جاد نهوده است. انت قال برق در شبکه در ولتاژهای مختلف به تلفات مقدار زیادی ا غرژی و نیز انتشارات گازهای گلخا خهای منجر می شود. نگرا خی دیگر از انت قال گازهای طبیعی پرفشار بر روی خطوط انتقال است که در ا غر تلفات انرژی ایجاد می شود [۲]. ناکار آمدی شبکه های ا خرژی متمر کز ا مری است که در دهههای اخیر موردنظر محققین قرار گرفته است. ام کان تولید انرژی در سمت تقاضا با عنوان تولید پراکنده مزا یای بسیاری از جمله افزایش بازده انرژی، کاهش تلفات خطوط انتقال، ارتقای ظرفیت رزرو تولید را دارد. علاوه بر این می توان از انرژی های حرار تی حین تولید برقی در واحدهای تولید همزمان استفاده نمود. زمینههای ا صلی در نصب ژنراتورهای تولید پراکنده در نزدیکی مصارف شامل کاهش یا حذف وابستگی به خطوط انتقال و توزیع و بهره برداری از انرژی حرارتی برای استفاده در سیستمهای حرارتی میباشد [۳].

توسعه منابع انرژی نو طی سالیان اخیر به طور چ شمگیری ا فزایش یافته است. امروزه در سیستمهای قدرت، منابع انرژی تجدید پذیر که شامل انرژیهای برقآبی، باد، خورشیدی، هیدروژن، زیستتوده، جذر و مد و زمین گرمایی می باشند، محبوبیت بسیاری یافته اند. تکنولوژی های انرژی نو می توانند انرژی پاک و پایدار از منابع تجدیدپذیر تولید کنند. این تکنولوژیها دارای پتانسیل برآورده کردن سهم عظیمی از تقاضای انرژی کشورها، بهبود کیفیت محیطزیست و ایجاد یک اقتصاد قوی انرژی را هستند. منابع انرژی ابتدا از طریق ژنراتور الکتری کی به برق تبدیل میشوند. انرژی خورشیدی میتواند مستقیماً به انرژی الکتریکی تبدیل شود. توان خورشیدی بر روی سطح زمین تنها یک کسر از توان خورشیدی خارج جو است که این به دلایل تلفات انعکاس، پراکندگی و جذب است [۴]. بازده خورشیدی از یک مکان به مکان دیگر تغییر می کند. سیستمهای فوتوولتائیک در دهههای اخ بر به دا بل مزا بای

متعدد آنها بیش از پیش مورد توجه قرار گرفتها خد. این سی ستمها انرژی الکتریکی را از طریق انرژی خورشیدی رایگان و تمام نشدنی به د ست می آور ند. فوا ید ا صلی سی ستمهای PV شامل موارد ز یر هستند: ۱) طبیعت انرژی خورشیدی به عنوان یک سوخت، ۲) تأثیرات محیطی اندک، ۳) کاهش در قبض برق م شتریان به علت دستر سی رایگان به نور خورشید ۴) طول عمر بالای ۳۰ سال با کمترین حفاظت، ۵) عملکرد خاموش. یکی از مفاهیم م هم در سیا ستمهای خور شیدی سطح نفوذ فوتوولتائيك مىباشد كه بهصورت مقدار توان تزريقي توسط سيستم فوتوولتائيك به فيدر تعريف مىشود. اخيراً محققين روشهايي را برای بررسی اثرات سطح نفوذ های جالای سی ستمهای خور شیدی متصل به شبکه بر روی کیفیت ولتاژ شبکه توزیع ارائه نمودهاند [۹–۵]. روش های بهینه سازی بسیاری برای تخ صیص بهد نه سد ستمهای خورشیدی در شبکه توزیع با اهداف مختلف نظیر حداکثرسازی سطح نفوذ ارائه شده است. اهداف مختلف مى تواند شامل ا هداف اقد صادى، تلفات توان، پروفایل ولتاژ و یا مباحث توان راکتیو باشد. در [۱۰] یک استراتژی ترکیبی احتمالاتی برای مدلسازی منابع تجدید پذیر و بار جهت تعیین میزان مجاز نفوذ منابع تولید پراکنده در شبکههای توزیع ارائه شده است. در ا ین مقاله کمینه سازی تله فات اکتیو و راکتیو و تضمين پايداري ولتاژ با لحاظ كردن تغييرات بار و موقعيتهاي مختلف و ضریب توانهای مختلف منابع تولید پراکنده مورد هدف قرار گرفته است. در [۱۱] روشی برای تعیین حداکثر ظرفیت مجاز منابع تولید پراکنده در شبکه توزیع با در نظر گرفتن پایداری ولتاژ ا ستاتیک ارا که شده است. در این مقاله ساختار شبکه توزیع و مدل محاسباتی پخش بار مورد ارزیابی قرار گرفته است. در [۱۲] روشی برای تعیین حداکثر سطح نفوذ منابع تولید پراکنده در شبکه توزیع با در نظر گرفتن ق یود هارمونیک و حفظ طرحهای هماهنگی حفاظتی ارا که شده است. در [۱۳] رو شی برای تع یین حداکثر سطح نفوذ میکروگر یدها در سیستمهای قدرت از منظر پایداری فرکانس ارائه شده است. در [۱۴] روشی مبتنی بر یک راهحل پخش بار و یک عملیات ماتریسی ارائه گردیده است که به طور مستقیم حداکثر توانی را تع یین می کند که توسط ژنراتورهای پراکنده به هر باس سیستم قابل تزریق میبا شد. در [10] اثرات افزایش سطح نفوذ منابع تولید پراک خده جر روی ول خاژ در شبکه توزیع مورد ارزیابی قرار گرفته است. این مقالمه چگونگی اثر گذاری سایز هر واحد تولید پراکنده بر روی حداکثر سطح نفوذ مجاز منابع توليد پراكنده در شبكه توزيع با حفظ قيود ولتاژ را مورد برر سي قرار داده است. در [۱۶] حداکثر سطح نفوذ منابع تولید پراکنده در یک شبکه توزیع تعیین شده است و در این مقاله یک روش مبتنی بر آنالیز حساسیت قیود بهرهبرداری ولتاژ و جریان در را ستای تع یین حداکثر سطح نفوذ منابع تولید پراکنده ارائه کرده است. در [۱۷] رو شی برای طراحی شبکههای توزیع فعال با در نظر گرفتن ا ثرات م نابع توا ید پراکنده ارائه شده است. در این مقاله اثر آرایش تولیدات پراکنده بر

روی مدیریت شبکه توزیع فعال برر سی شده است. در [۱۸] رو شی برای تنظیم ولتاژ بهینه شبکههای توزیع با رگلاتورهای ول تاژ آب شاری در حضور منابع فوتوولتائيک با نفوذ بالا ارائه شده است. در اين مر جع هدف کاهش قطع خروجی اینورتر خورشیدی نیز بوده ا ست. در [۱۹] روش تنظیم ولتاژ هماهنگ مبتنی بر مدل کنترل پیش بین در شبکه توزيع در حضور منابع توليد پراكنده ارائه شده است. در اين مقاله سطح نفوذ بالای منابع تولید پراکنده مدنظر قرار گرفته است. در [۲۰] روش کنترل ولتاژ مبتنی بر استفاده بهینه از منابع ذخیرهگر در حضور منابع خورشیدی با نفوذ بالا ارائه شده است. در [۲۱] تنه طیم ول تاژ در شبکه توزیع با استفاده از اینورترهای هوشمند خورشیدی انجام شده است. روش حریصانه نیز برای ارت قای قابل یت توان راکت یو اینورتر ها استفاده شده است. در [۲۲] روش تنظیم ولتاژ زمان حقیقی شبکههای توزيع با تجميع توان بادي ارائه شده است. در اين مرجع يک روش تنظيم ولتاژ زمان حقيقي براي شبكههاي توزيع ارائه شده است كه اين استراتژی قادر به تعیین طرح کنترلی شامل توان راکت یو من جع جادی توان ژنراتورها و کنترلرهای ولتاژ سنتی میبا شد. در [۲۳] یک روش تنظیم ولتاژ هماهنگ مبتنی بر OLTC و اینورتر برای شبکه توزیع با نفوذ بالای منابع فوتوولتائیک ارائه شده است. در این مقاله اشاره شده است که نوسانات ولتاژی ایجاد شده در ا ثر حضور منابع خور شیدی پایداری سیستم توزیع را به مخاطره می اندازد. در [۲۴] تعیین موقعیت و ظرفیت منابع فوتوولتائیک در شبکههای جریان مستقیم بهمنظور کاهش انتشارات گازی دیزل ژنراتورها مورد هدف قرار گرفته ا ست. در این مرجع منحنی بارهای متغیر با زمان و تولیدات تجدیدپذیر در حل مسئله مدنظر قرار گرفته است. در [۲۵] رو شی برای طرا حی بهیانه منابع انرژی تولید تجدیدپذیر نظیر خورشیدی و حداکثرسازی نفوذ این منابع در سیستمهای قدرت ارائه شده است. آرایش بهینه سی ستمهای انرژی در این پژوهش مورد هدف قرار گرفته است. در [۲۶] کاهش تلفات در شبکههای توزیع با و جود سطح نفوذ بالای منابع تولید پراکنده مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این مرجع تولید خود کار در مدل های شبکه فشار ضعیف در نواحی وسیع سرویس دهی ارا به شده ا ست. در [۲۷] روش تخ مین توان خرو جی و ظرفیت سیستمهای فوتوولتائیک برای تخمین خط پایه پاسخ تقاضا ارائه شده است. این مرجع از روش مجزا سازی بار-تولید فوتوولتائیک برای تع یین دق یق مدل بار و تولید مقطعی خورشیدی استفاده شده ا ست. در [۲۸] یک مدل برنامهریزی عدد صحیح ترکیجی غیرخطی برای حل مسئله تخ صیص بهینه منابع تولید پراکنده نظیر منابع خور شیدی در شبکههای توزیع ارائه شده است. در [۲۹] روشی برای تخصیص بهینه احتمالاتی سیستمهای خورشیدی و بادی ارائه شده است. در این مرجع یک روش بهینهسازی تصادفی چندهدفه برای حل مسئله ارتقای كارايي سيستم توزيع استفاده شده است. در اين مرجع ارتقاي قابليت اطمینان مبتنی بر اندیس انرژی تأمین نشده و کاهش تلفات مورد هدف قرار گرفته است. در [۳۰] روشی برای تخصیص بهینه منابع عدم

قطعی خورشیدی با لحاظ نمودن حضور خودروهای بر قبی پلا گین در شبکه توزیع ارائه شده است. در [۳۱] الگوریتم جدید بیگ بنگ برای تعیین سایز بهینه سیستم هیبریدی مستقل متشکل از سیستم بادی-خورشیدی و بادی استفاده شده است. بهینهسازی این مرجع به طور پیوسته برای برآورده نمودن تقا ضا با کمی نه نه مودن هزی نه کنونی سیستم ارائه شده است. در [۳۲] بهینه سازی و تجم یع سی ستمهای انرژی هیبریدی شامل سلول سوختی ه یدروژنی ارا به شده است. ارزیابی بحرانی مبتنی بر روشهای مختلف برای سیستم هیبر یدی در این روش ارائه شده است. به منظور جمع بندی از مقالات منتشر شده در این زمینه، جدول ۱ دسته بندی از این مقالات براساس نوآوری و نکات برجسته آنها ارائه می دهد.

جدول ۱- مقایسه و بررسی مقالات منتشرشده در زمینه تحقیقاتی

مور دنظر	
J J J	

موردنطر				
مزيت و جنبه برجسته	مرجع			
مدل احتمالاتي منابع تجديدپذير	[1.]			
كمينهسازى تلفات اكتيو و راكتيو				
پايدارى ولتاژ				
پايدارى ولتاژ	[11]			
قیود هارمونیک و حفظ طرحهای هماهنگی حفاظت	[17]			
حداقل انحرافات فركانسي	[١٣]			
پايدارى ولتاژ	[14]			
پايدارى ولتاژ	[١۵]			
آناليز حساسيت	[18]			
آرایش تولیدات پراکنده	[١٧]			
كاهش قطع خروجي اينورتر خورشيدي	[11]			
پایداری ولتاژ	[17]			
پايدارى ولتاژ	[١٩]			
آناليز حساسيت				
روش دروپ تطبیقی مبتنی بر سیستم ذخیرهگر				
پايدارى ولتاژ	[7.]			
روش حريصانه				
نفوذ بالاى منابع فوتوولتائيك				
پايدارى ولتاژ	[77]			
حضور OLTC و اینور تر				
منابع انرژی تولید تجدیدپذیر	[w]1			
آرایش بهینه سیستمهای انرژی	[10]			
تخصيص بهينه احتمالاتي				
روش بهینهسازی تصادفی چندهدفه	[79]			
ارتقاي قابليت اطمينان				
كمينەسازى تلفات اكتيو				
الگوريتم بيگ بنگ	[٣١]			
منابع انرژی تولید تجدیدپذیر				
كمينه نمودن هزينه سيستم				
سوختی هیدروژنی	[77]			

بهینهسازی و تجمیع سیستمهای انرژی هیبریدی

در اکثر پژوهشهای پیشین محققین روشهایی برای تخ صیص بهینه منابع فوتوولتائیک با اهداف مختلف ارائه کردهاند. در روشهای پیشین كمتر به بحث پيرامون سطح نفوذ منابع توليد پراكنده پرداخته شده است و این موضوع هدف اصلی این پژوهش قرار داده خوا هد شد. در اکثر روشهای پیشین از روشهای معمول بهینهسازی نظیر ژنت یک و ازدحام ذرات برای مسئله تخصیص استفاده شده ا ست. در ا ین را ستا نیز این پژوهش به دن جال بهره گیری از روش بهینه سازی چندهد فه گرگ خاکستری ترکیبی استفاده خواهد شد که رو شی خوین جرای از بین بردن مشکلاتی نظیر قرار گرفتن در بهینگیهای مح لی میبا شد. در این روش از روش سلسله مراتبی اجتماعی تصحیح شده برای بهبود کارایی روش چندهدفه گرگ خاکستری استفاده می شود که به غدرت در مقالات استفاده شده است. در اکثریت مسائل تخصیص منابع تولید پراکنده روش حل به صورت تک هدفه و یا دو هدفه بوده است که در این راستا نیز در این پژوهش م سئله به صورت چندهد فه حل شده است. الگوریتم پیشنهادی مبتنی بر ارت قای پروفا یل ولتاژ و کاهش تلفات میباشد. در حقیقت به مقادیر بهینه ظرفیت م نابع خور شیدی جهت برآورده نمودن پروفا يل ول تاژ بهينه و تل فات كمينه را تحت سطوح نفوذ بالاى اين منابع دست خواهد يافت.

در ادامه مقا له در بخش های زیر قا بل پیگیر است. در بخش دوم مدلسازی مسئله با ریاضیات مورد نیاز ارائه شده است. در بخش سوم الگوریتم چندهدفه پیشنهادی بیان گردیده است. در بخش چهارم نحوه اعمال الگوریتم بر مسئله مورد مطالعه ارا به گردیده است. در بخش پنجم نتایج شبیهسازی و آنالیزهای مربو طه در سناریوهای متعددی ارائه گردیده است. در نها یت، بخش ششم به نتیجه گیری از مقا له اختصاص یافته است.

۲- فرمولبندی مسئله

در این بخش هدف ارائه فرمول بندی مسئله تعیین ظرفیت های بهی نه سیستم فوتوولتائیک برای تمامی باسهای متصل در شبکه توزیع است. راهحل بهینهی مسئله بهینه سازی چندهد فه موارد ذیل را در نظر خواهد گرفت: سطح نفوذ منابع تولید خورشیدی، بهبود پروفیل ولتاژ و کاهش تلفات توان اکتیو.

۲-۱- آنالیز پخش بار

به طور کلی ماتریس امپدانس برای سیستم با k باس بهصورت زیر میباشد:

$$Z_{\text{bus}} = \begin{bmatrix} Z_1 & \cdots & -Z_{1k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ -Z_{1k} & \cdots & Z_{kk} \end{bmatrix}$$
(1)

تمامی شاخهها با مقادیر امپدانسشان در شکل ۱ نمایش داده شدهاند. برای امپدانس Zij ارتباط بین دو باس i و j خواهد بود. ولتاژ در هر باس i بهصورت زیر محاسبه میشود: $V_i = \sum_{i=1}^k Z_{ii} I_i$ (۲)

۲-۲- تلفات توان

بخشی از شبکه توزیع در شکل ۲ نمایش داده شده است که در آن دو باس i و j از طریق j و j از طریق λ از طریق X(n) و مقاومت X(n) نمایش داده شده است.





تلفات توان اکتیو و راکتیو در خط n با Ploss(n) و Qloss(n) نمایش داده می شود [۳۳]:

$$\begin{split} P_{loss}(n) &= R(n). \left((P^2 + Q^2) / |V_j|^2 \right) \eqno(4) \\ \text{or states} \\ \text{$$

توان اکتیو برای یک نیروگاه فوتوولتائیک در شبکه توزیع در رابطه ۳–۵ نمایش داده شده است که براساس روابط مرجع [۳۳] و [۳۴] می،باشد: $P_{pv} = \sqrt{\frac{V_i}{R_i}} P_{pvloss} - (P_i^2 + Q_i^2) + (Q_{pv}^2 - 2P_iP_{pv} - 2Q_iQ_{pv}(\frac{L}{L})$ (۵) که در این رابطه Ppv بیانگر توان حقیقی تغذیه شده توسط فوتوولتائیک می،باشد و Qpv توان راکتیو تزریق شده توسط فوتوولتائیک می،باشد. همچنین G و L به ترتیب فاصله از منبع فوتوولتائیک برحسب کیلومتر و مجموع طول فیدر از منبع به باس i می،باشد. بنابراین، کاهش تلفات توان برابر است با:

 $P_{NLR} = \frac{R_i}{V_i^2} \left(P_{PV}^2 + Q_{PV}^2 - 2P_i P_{pv} - 2Q_i Q_{pv} \right) \binom{G}{L}$ (۶) علامت مثبت P_{NLR} بیانگر کاهش تلفات سیستم در اثر حضور منابع فوتوولتائیک و علامت منفی آن نشانگر افزایش تلفات می باشد.

۳-۲- بهبود پروفیل ولتاژ

تابع هدف دوم مسئله به دنبال بهبود پروفایل ولتاژ میباشد که بدین منظور از اندیس %VPI استفاده خواهیم نمود که بهصورت زیر محاسبه میشود [۳۵]:

 $VPI\% = \begin{pmatrix} \left(\frac{\sum_{l=1}^{k} V_{l}L_{l} \right)_{PV} - \left(\sum_{l=1}^{k} V_{l}L_{l} \right)_{0}}{(\sum_{l=1}^{k} V_{l}L_{l} \right)_{0}} \right) * 100$ (Y) So et all the probability of the pr

۲-۴- سطح توان فوتوولتائيک

در رابطه زیر تابع هدف سوم که مربوط به سطح نفوذ توان منابع فوتوولتائیک میباشد آورده شده است: (۸) $F_{3,i} = CF * P_{installed}/C_{bus}$ میزان ظرفیت در رابطه فوق CF فاکتور ظرفیت، *P_{installed* میزان ظرفیت نصبشده و Cbus ظرفیت باس مربوطه میباشد. در حقیقت این میزان نسبت انرژی تزریقی تولید پراکنده به شبکه به میزان ظرفیت فیدر یا باس مربوطه میباشد.

۲-۵ قیود مسئله

قید حداکثر ظرفیت مجاز تولید پراکنده در هر باس به شرح زیر میباشد:

 $0 \le P_{DGi} \le P_{iDG}^{max} \tag{9}$

در این رابطه PDGi ماکزیمم ظرفیت مجاز در هر باس، PDGi توان تولیدی واحد خورشیدی میباشد. قیود پخش بار به شرح زیر میباشد: $P_{Gi} - P_{Li} - V_i \sum_{j \in Ni} V_j [G_{ij} \cos(\theta_{ij}) + B_{ij} \sin(\theta_{ij})) = 0$ (۱۰) $Q_{Gi} - Q_{Li} - V_i \sum_{j \in Ni} V_j [G_{ij} \sin(\theta_{ij}) - B_{ij} \cos(\theta_{ij})) = 0$ (۱۱) $C_{Gi} - Q_{Li} - V_i \sum_{j \in Ni} V_j [G_{ij} \sin(\theta_{ij}) - B_{ij} \cos(\theta_{ij})]$ V_{Ii} نار (۱۱) V_{Ii} در روابط فوق P_{Gi} توان اکتیو تولیدی روی باس i، V_i زاویه بین باس i و j Q_{Gi} توان تولیدی راکتیو روی باس i، Q_{Li} توان راکتیو بار روی باس i می باشند.

۳- الگوریتم چندهدفه گرگ خاکستری

در این بخش مفاهیم و روابط اساسی الگوریتم گرگ خاکستری ارائه شده است، خواننده علاقهمند برای جزییات بیشتر به [۳8] مراجعه کند. گرگهای مجموعه (۵) نیز این سه گرگ را به امید پیدا کردن پاسخ بهینه دنبال میکنند:

$$\vec{D} = \left| \vec{C} \, \vec{X_P} \, (t) - \vec{X}(t) \right| \tag{11}$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X_P}(t) - \vec{A}\vec{D}$$
(17)

که t نمایشگر تکرار کنونی است و A و C به ترتیب بردارهای ضرایب بوده و X نشانگر بردار موقعیت طعمه و X نشانگر موقعیت بردار گرگ خاکستری است. بردارهای A و C به صورت زیر محاسبه می شوند: $\vec{A} = 2\vec{a}\,\vec{r_1} - \vec{a}$ (۱۴) $\vec{C} = 2\vec{r_2}$ (۱۵) $\vec{C} = 2\vec{r_2}$ (۱۵) که در این روابط a به صورت خطی از ۲ تا صفر در تکرارها کاهش می یابد و T1 و 27 بردارهای تصادفی در بازه صفر تا یک می باشد. در می یابد و T1 و 27 بردارهای تصادفی در بازه صفر تا یک می باشد. در طی بهینه سازی به منظور شبیه سازی شکار و یافتن نواحی مطلوب در فضای جستجو خواهیم داشت [۳۶]: $\vec{D}_{\alpha} = |\vec{C_1}\,\vec{X}_{\alpha} - \vec{X}|$ (۱۶) $\vec{D}_{e} = |\vec{C_1}\,\vec{X}_{e} - \vec{X}|$ (۱۷)

$$\overrightarrow{D}_{\beta} = [\overrightarrow{C}_{1} \overrightarrow{X}_{\beta} \overrightarrow{X}]$$

$$\overrightarrow{D}_{\gamma} = [\overrightarrow{C}_{1} \overrightarrow{Y} \overrightarrow{Y}]$$

$$(11)$$

$$D_{\delta} = |C_{1} X_{\delta} - \dot{X}| \tag{1}$$
$$\overrightarrow{X} = \overrightarrow{X} - \overrightarrow{A} \overrightarrow{D} \tag{1}$$

$$\overline{X_1} = \overline{X_\alpha} - \overline{A_1} \overline{D_\alpha}$$

$$\overline{X_2} = \overline{X_\beta} - \overline{A_1} \overline{D_\beta}$$

$$(19)$$

$$\overrightarrow{X_3} = \overrightarrow{X_{\delta}} - \overrightarrow{A_1} \overrightarrow{D_{\delta}}$$
(1)

$$\vec{X}(t+1) = \frac{\vec{X_1} + \vec{X_2} + \vec{X_3}}{(t+1)^2}$$
(77)

به کارگیری بردار A با مقادیر تصادفی بزرگتر از یک یا کوچکتر از منفی یک تضمین می کند که عامل جستجو از ناحیه شکار واگرا نشود. دیگر مؤلفه بهینه سازی گرگ خاکستری بردار C میباشد. بردار C مقادیر تصادفی را در بازه صفر تا منفی ۲ تولید می کند که در آن وزنهای تصادفی برای شکار فراهم شده است تا به صورت تصادفی بر روی 1<C تأکید کند و از 1>C جلوگیری نموده تا از اثرات شکار در تعریف فاصله مربوطه جلوگیری نماید.

به منظور اجرای بهینه سازی چندهدفه توسط بهینه سازی گرگ خاکستری، دو مؤلفه جدید علاوه بر مؤلفه های خود بهینه سازی گرگ خاکستری در نظر گرفته می شود. اولین مورد یک آر شیو است که برای مرتب سازی جبهه های پارتوی غیر غالب استفاده می شود. دومین مورد استراتژی انتخاب رهبر است که به یافتن آلفا و بتا و دلتا کمک می کند تا در رویه شکار از میان موقعیت های آر شیو جستجو آسان تر شود. برای تعیین بهترین آر شیو از بهترین راه حل ها، انتخاب توسط روش چرخ رولت انجام می شود که با احتمال زیر برای هر هایپر کیوب صورت می گیرد:

$$P_i = \frac{c}{N_i}$$

که در این رابطه c یک مقدار ثابت بزرگتر از یک است و N تعداد به دست آمدهی راهحلهای پارتو در بخش i است. بهمنظور ارتقای عملکرد روش بهینه سازی چندهدفه گرگ خاکستری از روش سلسله مراتبی اجتماعی بهبودیافته استفاده خواهد شد و روش HMOGWO را برای حل مسئله تخصیص بهینه استفاده خواهیم نمود. در ادامه پیرامون این روش بحث خواهد شد. رویه رمزگذاری و کد کردن رویه ای مهم پیش از اعمال روش HMOGWO است. رویه

نشریه علمی- پژوهشی کیفیت و بهره وری صنعت برق ایران سال دوازدهم شماره ۲ شماره پیاپی ۳۱ تابستان ۱۴۰۲

(۳۳)

شامل دو بخش [\pi,N] میباشد که بخش اول به کدگذاری تخصیص بهینه (X(\pi) مربوط میشود و بخش دوم به ماتریس سطح نفوذ فوتوولتائیک (X(N) مربوط میشود.

مبتنی بر رویههای کدگذاری، هر راه حل توسط بردار جایگشت و ماتریس تخصیص ایجاد میشود. برای تضمین کیفیت بالای راهحلها، یکسوم از جمعیت اولیه متناظر با ماتریسهای تخصیص متفاوت ایجاد میشوند که توسط روش NEH برگرفته از مرجع [۳۷] میباشد. افراد دیگر نیز بهصورت تصادفی براساس رویه کدگذاری ایجاد میشوند.

ایده اصلی روش بهینهسازی گرگ خاکستری آن است که رویه جستجو توسط بهترین راهحلها یعنی گرگها هدایت شوند. در هر حال، به واسطه فضای غالب پارتو در روش چندهدفه، نتایج بهینه معمولاً به یک راه حل محدود نمی شوند و مجموعه ای از راه حل های غیر غالب با عنوان مجموعه سازشکارانه به دست میآید. در راه حل سازشکارانه، بهبود هر تابع هدف ممكن است به بدتر شدن وضعيت تابع هدف ديگر منجر شود. بنابراین هر راه حل به یک رتبه معادل با سطح غیرغالب مرتبط می شود. جمعیت را می توان به رتبه های سطوح مختلف مطابق با رابطه غالب پارتو تقسیم کرد. راهحلهای سطح اول یعنی راهحلهای سازشکارانه یا راهحلهای غیرغالب را میتوان با مجموعه lpha نمایش داد و راهحل.های سطوح دوم و سوم را با eta و δ نمایش داد. در این روش بهترین مجموعه از میان راه حل های سه سطح از طریق فرضیات زیر به دست می آید. الف) اگر جمعیت کنونی در سطح غیرغالب یا سطح اول است، δ ، β و α به صورت تصادفی از میان جمعیت انتخاب می شوند. ب) اگر جمعیت کنونی فقط دو رتبه داشته باشد، α و β به صورت تصادفی از رتبه اول و دوم انتخاب شده و δ از راهحلهای رتبه دوم انتخاب می شود. ج) اگر جمعیت کنونی بیش از دو رتبه داشته باشد، و δ به ترتیب از رتبه اول، دوم و سوم انتخاب می شوند. lpha ، eta

برای تضمین امکانپذیری راهحلهای به دست آمده، در این پژوهش از اپراتور جستجوی تصحیح شده متشکل از دو بخش استفاده میشود. بخش اول مربوط به جایگشت میشود که بهصورت زیر فرمول،ندی میشود:

در رابطه فوق (shift(x,d تابعی است که در آن عنصر x میتواند به راست یا چپ به میزان d واحد شیفت کند و این شیفت در باندهای تعریف شده میباشد. شایان ذکر است که C بردار کنترل میباشد و در این پژوهش برابر با یک قرار داده شده است. برای بخش دوم روش تصحیح شده، ماتریس تخصیص بهصورت زیر استفاده میشود: (۲۵)

 $X(\pi)_{i,j}^{t+1} = \begin{cases} X(N)_{i,j}^{t} \in \{ (X(N)_{\alpha ij}^{t}, X(N)_{\beta ij}^{t}, X(N)_{\gamma ij}^{t}) \text{ if } rand < a \\ X(N)_{i,j}^{t} \in X(N)^{t} \\ \omega \end{bmatrix}$

که در این رابطه $X(N)^{t+1}$ از دو اصل ایجاد می شود که شامل راه حلهای پیشین مناسب و انتخاب تصادفی می باشد. در قاعده اول، عنصر آزمایش از دو عنصر ماتریس تخصیص با احتمال a انتخاب می شوند که Tmax می شوند که t تکرار کنونی و Tmax ماکزیمم تکرار هستند. در انتخاب تصادفی نیز X هر مقدار تصادفی می تواند باشد.

از دو اپراتور نیز برای ارتقای روش گرگ خاکستری استفاده می شود. فاکتور اول می تواند نواحی غیرقابل مشاهده از فضای حل را با احتمال Pc به دست آورد. برای بخش اول یعنی (*π*) فاکتور نگاشت جزئی استفاده می شود تا بخش نگاشت به روزرسانی شود. برای بخش دوم روش دونقطه برای به روزرسانی ماتریس تخصیص استفاده می شود. این دو روش برگرفته از مراجع [۳۸] و [۳۹] می باشند. اپراتور دیگری نیز برای خارج شدن از فضای بهینگی محلی می باشد و بدین منظور از روش عناصر تغییر تصادفی برگرفته از مرجع [۴۰] استفاده می شود. یکی از معیارهای موردنظر برای بررسی عملکرد روش بهینه سازی چندهدفه گرگ خاکستری معیار فاصله نسل معکوس (IGD) برای (SP) و ماکزیمم گسترش (MS) نیز برای ارزیابی همگرایی استفاده

معیار تصحیح شدہ به صورت زیر فرمول بندی می شود:
$$IGD = rac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} d_{i}^{2}}}{n}$$
 (۲۶)

می شوند. فرمول بندی ریاضی IGD شبیه به فاصله نسل می باشد. این

که در این رابطه n تعداد راه حل بهینه پارتو و d_i بیانگر فاصله اقلیدسی بین راه حل بهینه صحیح iام و نزدیک ترین راه حلهای بهینه به دست آمده در مجموعه مرجع میباشد. فاصله اقلیدسی بین راه حلهای به دست آمده و مجموعه مرجع متفاوت میباشد. در IGD فاصله اقلیدسی برای هر راه حل صحیح با توجه به نزدیک ترین راه حلهای به دست آمده در فضای هدف محاسبه می شود.

فرمول بندی معیارهای SP و MS بهصورت زیر می باشند:

$$SP = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n} (\bar{d} - d_i)^2}$$
 (YV)

که در این رابطه \bar{d} متوسط تمامی diها میباشد و n مجموعه راهحلهای به دست آمده پارتو میباشد و di بهصورت زیر محاسبه میشود:

$$\begin{aligned} d_{i} &= Min\left(\left|f_{1}^{i}(\vec{x}) - f_{1}^{j}(\vec{x})\right|\right) + \left(\left|f_{2}^{i}(\vec{x}) - f_{2}^{j}(\vec{x})\right|\right) + \cdots \quad (\textbf{\textbf{\textbf{TA}}}) \\ & \text{ваچنین MS нь сест сул водес:} \\ MS &= \sqrt{\sum_{i=1}^{o} (d(a_{i}.b_{i}))} \end{aligned}$$

[‡] Spacing

§ Maximum Spread

[†] Inverted Generational Distance

که در این رابطه d تابعی برای محاسبه فاصله اقلید سی و ai ماکزیمم مقدار تابع هدف در هدف i و bi مینیمم مقدار تابع هدف و o تعداد اهداف میباشد.

۴- رویه حل مسئله تخصیص منابع فوتوولتائیک

فلوچارت روش پیشنهادی در شکل ۳ نمایش داده شده است. رو یه بهینهسازی گرگ خاکستری چندهد فه برای حل م سئله تخ صیص بهینه منابع فوتوولتائیک به این گونه است که ظرفیت و موقعیت بهینه منابع فوتوولتائیک با هدف کاهش تلفات و بهبود پروفایل ولتاژ انت خاب میشوند. روش پیشنهادی به شرح زیر میباشد. ابتدا جمعیت مطابق با روش بهینهسازی گرگ خاکستری و موارد ذ کر شده در بخش قبل مقداردهی اولیه میشود که شامل تعداد منابع فوتوولتائیک برای نصب در شبکه توزیع، حداکثر تکرار و سایز جمعیت میباشد.

ور سبع نوری معامر عرار و سیر بندیا می بید. می سند پس از آن متغیرهای طراحی تعریف می شود. هر منبع فوتوولتائیک نیاز به ظرفیت بهینهاش دارد. تعداد متغیر بهینه سازی به شرح زیر می باشد: (۳۰) (۳۰) اولین باس شبکه توزیع به عنوان باس اسلک انتخاب می شود که این باس نمی تواند برای انتخاب موقعیت منبع فوتوولتائیک ا ستفاده شود. باس نمی تواند برای انتخاب موقعیت منبع فوتوولتائیک ا ستفاده شود. قیود پایین Var که دومین باس و ظرفیت مینیمم می با شند به صورت قیود پایین Llim(f) به صورت این این این این گر باس و min; مینیمم ظرفیت وابسته به سطح نفوذ فوتوولتائیک خواهد بود.

قیود بالای متغیرهای طراحی شامل آ خرین باس و حداکثر ظرف یت خواهند بود. یعنی اگر باسهایی در شبکه توزیع بهصورت n....,2,2 و Npv=2 باشد آنگاه [busn,busn;Cmax;cmax]=(f)mill خوا هد بود و باس آخر آخرین باس مدنظر و Cmax حداکثر ظرفیت مبتنی بر سطح نفوذ فوتوولتائیک خواهد بود. پس از این مرح له یک ماتریس معیت مت شکل از ظرفیت و موقع یت تشکیل می شود که S و C بهعنیان موقعیت و ظرفیت نیروگاه خورشیدی متغیرهای آن میباشند. پس از این مرحله اطلاعات سی ستم توز یع پیاده سازی می شود و با پس از این مرحله اطلاعات سی ستم توز یع پیاده سازی می شود و با بهینه سازی گرگ خاکستری چندهدفه مبتنی بر سه هدف معرفی شده بهینه سازی گرگ خاکستری چندهدفه مبتنی بر سه هدف معرفی شده مود. یعنی کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ و سطح نفوذ ا جرا می شود. همچ نین در هن گام ا جرای شبیه سازی می بای ست سطح نوذ فوتوولتائیک مورد ارزیابی قرار گیرد و به عنوان یک قید مدنظر قرار



۵- نتیجه و آنالیز شبیهسازی

برای پیاده سازی روش پیشنهادی از برنامه متلب استفاده خوا هد شد که در این برنا مه از پیاده سازی روش تشریحی مبت نی بر روا بط تشریحی برای تخصیص منابع فوتوولتائیک، استفاده گردیده است. در حقیقت در این بخش هدف آن است که روش پیشنهادی تخ صیص منابع فوتوولتائیک را بر روی یکی از شبکههای آزمون پیاده سازی کرده و نتایج ارزیابی شود.

۵-۱- سیستم مورد مطالعه

حد

بهمنظور بررسی عملکرد روش پیشنهادی از شبکه توزیع ۳۳ با سه استاندارد استفاده می شود. در شکل ۴ دیاگرام تک خطی شبکه ۳۳ باسه توزیع نشان داده شده است [۴۱]. سیستم فوق دارای ۳۷۱۵ کیلووات و ۲۳۰۰ کیلووار تقاضا می باشد. در جدول ۲ اطلا عات شبکه تحت بررسی برای تخصیص بهینه آورده شده است.

له ۳۳ باسه توزيع.	ں ۲- اطلاعات شبا	ول
-------------------	------------------	----

توان راکتیو بار (kVar)	توان اکتيو بار (kW)	راکتانس (اهم)	مقاومت (اهم)	باس دريافت	باس ارسال	شمارہ خط
۶۰	۱۰۰	•/•۴٧٧	•/•977	٢	١	١
۴.	٩٠	•/٢۵١١	۰/۴۹۳	٣	٢	٢
٨٠	17.	·/1764	•/٣۶۶•	۴	٣	٣
٣٠	۶.	•/19۴1	۰/۳۸۱۱	۵	۴	۴
۲.	۶.	•/٧•٧•	٠/٨١٩٠	۶	۵	۵
۱۰۰	۲۰۰	·/۶۱۸۸	•/١٨٧٢	۷	۶	۶
۱۰۰	۲۰۰	•/8188	1/7114	٨	٧	۷
۲.	۶.	٠/٧۴	۱/۰۳۰	٩	٨	٨
۲.	۶.	٠/٧۴	۴/۱	۱.	٩	٩
۳۰	۴۵	•/•۶۵•	•/1988	11	١.	۱.
۳۵	۶.	•/١٢٣٨	•/٣٧۴۴	11	11	11
۳۵	۶.	1/100	١/۴۶۸۰	١٣	١٢	١٢
٨٠	17.	۰/۷۱۲۹	1/0418	14	۱۳	۱۳
١٠	۶.	•/۵۲۶•	٠/۵٩١٠	۱۵	14	14
۲.	۶.	•/۵۴۵•	•/٧۴۶٣	18	۱۵	۱۵
۲.	۶.	1.771.	١.٢٨٩	١٧	18	18
۴.	٩٠	•/۵V۴	۰/۷۳۲	۱۸	١٧	۱۷
۴.	٩٠	•/1686	•/194•	١٩	۲	۱۸
۴.	٩٠	۱/۳۵۵۴	۱/۵۰۴	۲۰	١٩	۱۹
۴.	٩٠	•/۴٧٨۴	۰/۴۰۹۵	۲۱	۲۰	۲.
۴.	٩٠	•/٩٣٧٣	٠/٧٠٨٩	77	۲۱	۲۱
۵۰	٩٠	۰/۳۰۸۳	•/4017	۲۳	٣	77
۲۰۰	47.	٠/٧٠٩١	•/٨٩٨٠	74	۲۳	۲۳
۲۰۰	47.	•/V•11	٠/٨٩٧	۲۵	74	74
۲۵	۶.	•/1•٣۴	•/٢•٣•	78	۶	۲۵
۲۵	۶.	•/1447	•/7847	۲۷	78	78
۲۵	۶.	•/٩٣٣٧	۱/۰۵۹	۲۸	۲۷	۲۷
٧٠	17.	•/Y••۶	•/***	۲۹	۲۸	۲۸
۶۰۰	۲۰۰	·/۲۵۸۴	•/ ۵ •¥۵	٣٠	۲۹	29
٧٠	۱۵۰	۰/٩۶۳۰	•/9744	۳۱	٣٠	٣٠
۱۰۰	۲۱۰	•/٣۶١٩	۰/۳۱۵۰	٣٢	۳۱	۳۱
۴.	۶.	۰/۵۳۰۲	•/٣۴١•	۳۳	٣٢	٣٢



۲-۵- نتایج شبیهسازی

در این بخش به تحلیل نتایج پیاده سازی روش پیشنهادی تخ صیص منابع فوتوولتائیک خواهیم پرداخت. تعریفهای بسیاری برای سطح نفوذ منابع فوتوولتائیک ارائه شده است [۴۲]. در این تحقیق، سطح نفوذ فوتوولتائیک به صورت نسبت ماکزیمم توان فوتوولتائیک به ماکزیمم توان ظاهری بار تعریف میشود [۴۳]. نفوذ به صورت در صد مج موع ظرفیت سیستم فوتوولتائیک درنظر گرفته شده است. به کارگیری فوتوولتائیک در سناریوها شامل بهره برداری در سطح

نفوذهای ۱۰۰ و ۳۰۰ درصدی از هر پیکبار سالیانه میباشد [۴۴]. در این قسمت روش پیشنهادی برای د ستیابی به تخ صیص بهینه سیستم فوتوولتائیک بر روی شبکه آزمون ۳۳ باس پیادهسازی میشود. نتایج شبیهسازی به دنبال تائید کارایی روش پی شنهادی در کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ میباشد. ظرفیت هر سی ستم فوتوولتا؛ یک ۲/۰۰۵ تا ۳/۱۰۷ مگاوات در موارد مختلف می با شد. موقعیت های به دست آمده و ظرفیتها در جدول ۳ نمایش داده شده است. نتایج حاکی از عملکرد مناسب روش پیشنهادی گرگ خاکستری بوده است. همچنان که در این جدول مشاهده می شود. در سطر اول هنگامی که ۲ عدد فوتوولتائیک مدنظر میباشد، باسهای متصل شامل باس های ۶ و ۱۸ با ظرفیتهای ۱/۹۳ و ۱/۵۶ می باشد و متوسط ولتاژ در این حالت ۰/۹۷۸ پریونیت بوده و تلفات نیز برحسب م گاوات به میزان ۰/۰۸۶ می باشد. برای حالت سه منبع فوتوولتا یک باس های ۱۴، ۲۴ و ۳۰ انتخاب شده و مقادیر ظرفیت آنها به ترتیب برا بر با ۰/۷۵، ۱/۰۹ و ۱/۰۹ بوده و متوسط ولتاژ در این حالت ۰/۹۷۲ پریونیت بوده و تله فات نیز برحسب مگاوات به میزان ۰.۰۷۲ می باشد. برای حالت چهار من جع

فوتوولتائیک باسهای ۶، ۱۸ و ۲۸ و ۱۶ انتخاب شده و مقادیر ظرفیت آنها به ترتیب برابر با ۱۸۵۴، ۱۹۴۴ و ۲۳۸ و ۲۳۸ بوده و متو سط ولتاژ در این حالت ۱۹۷۷، پریونیت بوده و تلفات نیز برحسب م گاوات به میزان ۲۰۵۵ می باشد. برای حالت پنج منبع فوتوولتائیک باس های ۶ و ۱۸ و ۲۸ و ۱۶ و ۱۳ انتخاب شده و مقادیر ظرفیت آنها به ترتیب برابر با ۱/۴۳، ۳۷/۰ و ۱۳/۰ و ۲۸/۰ و ۱۳/۰ بوده و متوسط ول تاژ در این حالت ۱۹۷۸، پریونیت بوده و تلفات نیز برحسب مگاوات به م یزان ۱۰۷۵ می باشد.

جدول ۳- عملکرد روش پیشنهادی برای حضور سیست_مهای فوتوولتائیک

تلفات (MW)	متوسط ولتاژ (pu)	ظرفيت سيستم فوتوولتائيك (MW)	باس،های متصل	تعداد PV
0.086	0.978	1.93;0.56	6,18	٢
0.072	0.972	0.75;1.09;1.09	14,24,30	٣
0.075	0.977	1.54;0.44;0.38;0.29	6,18,28,16	۴
0.075	0.978	1.43;0.37;0.34;0.28;0.31	6,18,28,16,31	۵

با استفاده از مجموعه مت پاور، یک آ خالیز در شبکه توز یع ۳۳ باس بدون حضور منابع فوتوولتائیک انجام شده است. پس از آن سیستمهای فوتوولتائیک به سیستم اضافه میشوند و آنالیز اثرات سطوح نفوذ منابع فوتوولتائیک تا ۳۰۰ درصد انجام شده است. در این آ خالیز، ظرفیت سیستم فوتوولتائیک برای هر باس با توان ظاهری بار تعیین شده است. برای مثال، اگر توان اکتیو در باس ۲ برابر با ۰/۱ مگاوات با شد و نفوذ فوتوولتائیک ۲۰۰ در صد با شد، در این صورت ظرفیت سی ستم فوتوولتائیک در جدول ۳ آورده شده است. مجموع توان مت صل شده سیستمهای فوتوولتائیک در شبکه برابر با ۱۱/۲ مگاوات می شده

۵-۳- بررسی اثر سطح نفوذ بر روی پروفایل ولتاژ

در این قسمت اثرات نفوذ بالا را بر روی پروفایل ولتاژ برر سی خواهیم نمود. با نصب منبع تولید پراکنده در سیستم قدرت، ا فزایش ول تاژ در سیستم توزیع در اثر تغییرات پ خش بار در شبکه رخ می د هد [۴۵]. زمانی که خروجی توان فوتوولتائ یک در ا ثر ا فزایش ناگ هانی تابش خورشید، به طور چشمگیری افزایش می یابد، اضافه ولتاژ در ف یدرهای توزیع اتفاق می افتد. افزایش ولتاژ ممکن است به تجه یزات صدماتی وارد کند و تجهیزات را دچار عمل کرد ا شتباه ک ند. برای شبکههای توزیع با نفوذ بالای سیستم فوتوولتائیک، ا ضافه ول تاژ مع مول بوده و می بایست در تحلیلهای برای تضمین بهره برداری مط مئن و ای من نظرفیت کامل از تولید فوتوولتائیک مورد ارز یابی قرار گ یرد. م سائل اضافه ولتاژ می بایست بهره برداری مط مئن و ای من نظرفیت کامل از تولید فوتوولتائیک مورد ارز یابی قرار گ یرد. م سائل نظرفیت کامل از تولید فوتوولتائیک مورد ارز یابی قرار گ یرد. م سائل نظرفیت کامل از تولید فوتوولتائیک مورد ارز یابی قرار گ یرد. م سائل نظرفیت کامل از تولید فوتوولتائیک مورد ارز یابی قرار گ یرد. م سائل نظرفیت کامل از تولید فوتوولتائیک مورد ارز یابی قرار گ یرد. م سائل نظرفیت کامل از تولید فوتوولتائیک مورد ارز میابی می بایست بهره برداری با نظرفیت کامل از تولید فوتوولتائیک مورد ارز یابی قرار گ یرد. م سائل نظرفیت کامل از تولید فوتوولتائیک مورد ارز یوابی قرار گویرد. ما کزیمم نظرفیت دریق می کند که ممکن است پخش توان راکتیو را در سی ستم شبکه تزریق می کند که ممکن است پخش توان راکتیو را در سی ستم

توان راکتیو افزایش مییابد. به طور معمول ولتاژ بهرهبرداری نر مال در محدوده ۲۰۸۵ تا ۱۸۰۵ پریونیت میباشد. شکل ۵ اثرات سطوح ن فوذ بالای فوتوولتائیک بر روی پروفایل ول تاژ سیاستم ۳۳ باس را نامایش میدهد. پروفایل ولتاژ در رنج قابل قبول در باس های ۱ تا ۷ و باس های ۱۹ تا ۲۷ میباشد. در باس های ضعیف سیستم آزمون یعنی باس های ۸ تا ۱۸ و ۲۸ تا ۳۳ ولتاژها در رنجهای قابل قبول نیاست. ماکزیمم ولتاژ در باس ۱۸ برای نافوذ ۲۰۰ در صد برا بر با ۱۰۸۲ پریون یت میباشد که ضعیفترین باس در شبکه مورد بررسی است. همچنان که در این شکل مشاهده میشود سطح نافوذ ۲۰۰ در صد و ۱۰۰ در صد میباشند. در حقیقت در حالت سیصد درصدی افزایش ولتاژ بسیار بالا میباشند. در حقیقت در حالت سیصد درصدی افزایش ولتاژ بسیار بالا میباشند. در حقیقت در حالت میصد درصدی افزایش ولتاژ بسیار بالا میباشند. در حقیقت در حالت میماد میکند که میبایا ست قاطع تول ید انجام شود تا شرایط به حالت مناسب برگردد. همچنین در حالت صفر درصد نفوذ نیز افت ولتاژ بالا میباشد.



شکل ۵- تأثیر سطح نفوذ منابع فوتوولتائیک بر روی پروفایل ولتاژ

4-4- بررسی اثر سطح نفوذ بر روی تلفات

به طور کلی، در صورتی که ظرفیت نصب شده نزد یک تر به بار با شد، سیستمهای تولید پراکنده مجموع تلفات را کاهش می دهند. مطال عات نشان می دهد که تلفات با افزایش سطح نفوذ ا فزایش می یا بد [۴۵]. شکل ۶ اثرات سطح نفوذ بر روی تلفات در شبکه ۳۳ باس را نمایش می دهد. شکل نمایش می دهد که تلفات در مقدار می نیمم است ا گر تولید نزدیک تر به بار باشد. برای سطوح نفوذ کم تا متو سط، تلفات تمایل به کاهش یافتن تا رسیدن به مینیمم مقدار را دارد. برای سطوح نفوذ بالاتر از ۱۰۰ درصد، تلفات افزایش می یابد. افزایش سطح نفوذ تا مهچنان که مشاهده می شود به ترین و ضعیت در سطح نفوذ ا در صدی رخ داده است و شرایط شبکه از ۱۰۰ درصد به بعد با افزایش تلفات روبرو می شود که نیاز به اصلاح خروجی فوتوولتائیک می باشد.





در بخش قبل ظرفیت منابع با توجه به توان ظاهری بار در هر باس تعیین شد که در نهایت نشان داده شد که حضور منابع منجر به افزایش ولتاژ می شود. م شکل ا فزایش ولتاژ به تعداد زیاد منابع فوتوولتائیک و حضور آنها باز می گردد که نیاز به یافتن ظرفیت بهد نه برای هر باس میباشد. بنابراین آنالیز نیاز به ۶۴ متغیر برای موقع یت و ظرفیت سیستمهای فوتوولتائیک دارد. الگوریتم گرگ خاکستری برای یافتن موقعیت و ظرفیت بهینه به کار میرود. شکل ۷ نتایج را تحت سطوح نفوذ مختلف نمایش میدهد. راهحل بهینه میبایست ا هداف بیان شده را برآورده سازد که شامل بهبود پروفیل ولتاژ و کاهش تلفات می با شد. در حقی قت در این بخش کلیه باس ها فرض شده که فوتوولتائیک در آنها نصب می شوند و برا ساس آن و برای موقع یت و ظرفیت ۶۴ متغیر تعریف شده است. می بایست سطح نفوذ ۳۰۰ درصد در نظر گرفته شود که برا ساس آن ۱۱/۱۴۵ مگاوات مج موع توان می شود. همچنین بهبود پروفیل ولتاژ که میبایست ول تاژ کو چکتر از ۱/۰۵ پریونیت شود مدنظر قرار گیرد. علاوه بر این کمینهسازی تل فات اکتیو در روابط بهینهسازی چندهد فه گرگ خاک ستری هدف گذاری شود. نتایج به دست آ مده در شکل حاکی از آن است که بالاترین ظرفیت در باسهای شروع شبکه یعنی باس ۲ و ۳ با ظرفیت ۱/۸۴ مگاوات می باشد. در مورد سطوح نفوذ پایین برای نصب ظرفیت سیسم فوتوولتا یک برای به بود پروفیل ولتاژ باس های انتهایی انتخاب می شوند. با توجه به نتایج استنباط می شود که نرخ سطح نفوذ بالا به ا ضافه ولتاژ در شبکه منجر می شود و برای حفظ پروفایل ولتاژ می بایست ظرفیت سیستم فوتوولتا کیک در باس های ابتدایی شبکه نصب شود. ماکزیمم و مینیمم ظرفیتها شامل ۱/۸۴ و ۰/۱۳ مگاوات مىباشد.



۳۰۰ درصد

تعیین مقدار مطلوب سطح نفوذ امر پیچیده است و نیاز به تنظیم دقیق Cmin و Cmax دارد. با توجه به نتایج و پس از شبیه سازی ها انت خاب مقدار Cmax=2 امری مطلوب برای د ستیابی به ا هداف مختلف و سطح نفوذ بالاتر میباشد. در شکل ۸ نیز نتایج آ نالیز شبکه تحت بهینه سازی 2=Cmax و 0.15=Cmin آورده شده است. در این شکل ظرفیت فوتوولتائیک در باس های مختلف به صورت شماتیک آورده شده است. همچنین در شکل ۹ نیز مصرف توان از شبکه بر ح سب م گاوات برای باس های مختلف نمایش داده شده است و در نهایت ولتاژ بر حسب پریونیت در باس های مختلف در شکل ۱۰ برای این حالت نمایش داده شده است.



نشریه علمی- پژوهشی کیفیت و بهره وری صنعت برق ایران سال دوازدهم شماره ۲ شماره پیاپی ۳۱ تابستان ۱۴۰۲



شکل ۹- مصرف توان شبکه برای حالت آنالیز شبکه تحت بهینهسازی

Cmax=2 e Cmax



بهينهسازي Cmax=2 و Cmin=0.15

در این بخش به بحث پیرامون حل سه هدفه مسئله شامل سطح ن فوذ، پروفایل ولتاژ و تلفات می پردازیم. در شکل ۱۱ جب هههای پارتو حل م سئله سههدفه از خرو جی روش بهینه سازی تصحیح شده گرگ خاکستری نمایش داده شده است. شایان ذکر است در این شکل مقدار میانگین ولتاژ واقعی برای fvoltage ن شان داده شده ا ست تا درک ارتقای پروفایل ولتاژ و نزدیک بودن به م قدار یک پریون یت وا ضحتر شود. همچنین مقصود از ولتاژ در خروجی تابع هدف مربوط به پروفایل ولتاژ میانگین ولتاژ کلیه باس ها می باشد. همچنان که در این شکل مشاهده می شود اکثریت مجموعه جوابها در سطح ن فوذ حدود ۱۰۰ پایین تر نیز وجود دارد. البته اکثریت جوابها در محدوده سطح ن فوذ پایین تر نیز وجود دارد. البته اکثریت جوابها در محدوده سطح ن فوذ مار دارند.



در نهایت در این قسمت به مقایسه روش پیشنهادی گرگ خاک ستری HMOGWO از منظر پارامترهای عملکرد روشهای چندهدفه با دو روش MOEA/D و MOPSO خواهیم پردا خت. جدول ۴ روش پیشنهادی و دو روش دیگر را از منظر پارامترهای معرفی شده در فصل سوم یعنی پارامتر های IGD و SP مقایسه نموده است. نتایج این جدول حاکی از آن است که روش پیشنهادی HMOGWO قادر است نتایج بهتری نسبت به دو روش دیگر بر حسب پارامتر آماری IGD ارائه دهد. در حقیقت روش OWOGWO دارای همگرایی و د قت بالاتری نسبت به دو روش دیگر می باشد و قادر است همگرایی بر تری را ارا نه دهد. علاوه بر این دو پارامتر SP و SN نیز عمل کرد قا بل قبولی در مقایسه با دو روش دیگر داشته است.

جدول ۴- مقایسه روش پیشنهادی با روشهای MOPSO و MOEA/D

	WIOLA/D			
	HMOGWO	MOPSO	MOEA/D	
متوسط IGD	0.226447	0.354635	0.500958	
انحراف معیار IGD	0.19644	0.207107	0.210402	
بدترین IGD	0.566855	0.618078	0.753663	
بهترین IGD	0.11297	0.054715	0.04453	
متوسط SP	0.011059	0.007532	0.008331	
انحراف معیار SP	0.004451	0.001027	0.000571	
بدترین SP	0.019401	0.009472	0.009472	
بهترین SP	0.006619	0.006847	0.006962	
متوسط MS	0.974119	0.984942	0.950348	
انحراف معیار MS	0.021647	0.027059	0.005462	
بدترین MS	0.909178	0.930825	0.928501	
بهترین MS	1.017413	1.028237	0.957995	
بهترین MS	1.017413	1.028237	0.957995	

point. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 8(4), 1430-1442.

[3] Argüello, A., Lara, J. D., Rojas, J. D., & Valverde, G. (2017). Impact of rooftop PV integration in distribution systems considering socioeconomic factors. IEEE Systems Journal, 12(4), 3531-3542.

[4] Elkadeem, M. R., Abd Elaziz, M., Ullah, Z., Wang, S., & Sharshir, S. W. (2019). Optimal planning of renewable energyintegrated distribution system considering uncertainties. IEEE Access, 7, 164887-164907.

[5] Zhuang, P., Zamir, T., & Liang, H. (2020). Blockchain for cybersecurity in smart grid: A comprehensive survey. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 17(1), 3-19.

[6] Erdinç, O., Taşcıkaraolu, A., Paterakis, N. G., Dursun, I., Sinim, M. C., & Catalao, J. P. (2017). Comprehensive optimization model for sizing and siting of DG units, EV charging stations, and energy storage systems. IEEE Transactions on Smart Grid, 9(4), 3871-3882.

[7] Ferruzzi, G., Cervone, G., Delle Monache, L., Graditi, G., & Jacobone, F. (2016). Optimal bidding in a Day-Ahead energy market for Micro Grid under uncertainty in renewable energy production. Energy, 106, 194-202.

[8] Li, P., Ji, J., Ji, H., Jian, J., Ding, F., Wu, J., & Wang, C. (2020). MPC-based local voltage control strategy of DGs in active distribution networks. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 11(4), 2911-2921.

[9] Truong, K. H., Nallagownden, P., Elamvazuthi, I., & Vo, D. N. (2020). A quasi-oppositional-chaotic symbiotic organisms search algorithm for optimal allocation of DG in radial distribution networks. Applied Soft Computing, 88, 106067.

[10] Naghdi, M., Shafiyi, M. A., & Haghifam, M. R. (2019). A combined probabilistic modeling of renewable generation and system load types to determine allowable DG penetration level in distribution networks. International Transactions on Electrical Energy Systems, 29(1), e2696.

[11] Hu, L., Liu, K. Y., Sheng, W., Diao, Y., & Jia, D. (2017). Research on maximum allowable capacity of distributed generation in distributed network under global energy internet considering static voltage stability. The Journal of Engineering, 2017(13), 2276-2280.

[12] Rahmani, R., Aghaee, S. S., Hosseinian, S. H., & Sadeghi, S. H. H. (2017, April). Determining maximum penetration level of distributed generation sources in distribution network considering harmonic limits and maintain protection coordination scheme. In 2017 Conference on Electrical Power Distribution Networks Conference (EPDC) (pp. 196-199). IEEE.

[13] Rahmani, R., Aghaee, S. S., Hosseinian, S. H., & Sadeghi, S. H. H. (2017, April). Determining maximum penetration level of distributed generation sources in distribution network considering harmonic limits and maintain protection coordination scheme. In 2017 Conference on Electrical Power Distribution Networks Conference (EPDC) (pp. 196-199). IEEE.

[14] Rahmani, R., Aghaee, S. S., Hosseinian, S. H., & Sadeghi, S. H. H. (2017, April). Determining maximum penetration level of distributed generation sources in distribution network considering harmonic limits and maintain protection coordination scheme. In 2017 Conference on Electrical Power Distribution Networks Conference (EPDC) (pp. 196-199). IEEE.

[15] Essackjee, I. A., & King, R. T. A. (2016, August). The impact of increasing Penetration Level of Small Scale Distributed Generations on voltage in a secondary distribution network. In 2016 IEEE International Conference on Emerging

م نابع خور شیدی در سیا ستمهای توزیع شعاعی استفاده گردید. الگوريتم پيشنهادي مبتني بر بهبود پروفيل ولتاژ و كاهش تلفات بوده، به نحوی که مقادیر بهینه ظرفیت منابع خور شیدی جهت برآورده نمودن يروفايل ولتاژ بهينه و تلفات كمينه تحت سطوح نفوذ بالاي اين منابع به دست آ مده ا ست. بهمنظور حل م سئله موردنظر از روش بهینهسازی چندهد فه گرگ خاکستری استفاده شده است. روش پیشنهادی با استفاده از مجموعه مت پاور، در شبکه توزیع ۳۳ باس ییادهسازی گردید. سیستمهای فوتوولتائیک به سیستم اضافه شدند و آناليز اثرات سطوح نفوذ منابع فوتوولتائيك تا ٣٠٠ درصد انجام شده است. در این آنالیز، ظرفیت سیستم فوتوولتائیک برای هر باس با خوان ظاهری بار تعیین شده است. مبتنی بر نتایج استنباط شده است که یروفایل ولتاژ در محدوده قابل قبول در باسهای ۱ تا ۷ و باسهای ۱۹ تا ۲۷ بوده است و در باس های ضعیف سیستم آزمون یعنی باس های ۸ تا ۱۸ و ۲۸ تا ۳۳ ولتاژها در محدودههای قابل قبول نیست. حداکثر ولتاژ در باس ۱۸ برای نفوذ ۳۰۰ در صد برابر با ۱/۰۸۲ پریونیت می،باشد که ضعیفترین باس در شبکه مورد بررسی ا ست. در صورتی که تولید به بار نزدیکتر باشد آنگاه تلفات در مقدار حداقل خود خواهد بود. برای سطوح نفوذ کم تا متوسط، تلفات تمایل به کاهش یافتن تا رسیدن به مینیمم مقدار را داشته و برای سطوح نفوذ بالاتر از ۱۰۰ درصد، تلفات افزایش می یابد. افزایش سطح نفوذ تا ۳۰۰ در صد منجر به افزایش تلفات از ۰/۲۲ به ۰/۴۸ مگاوات می شود. مبتنی بر بهینهسازی جهت تخصيص بهينه كليه باسها ۶۴ متغير تعريف شد و سطح ذ فوذ ۳۰۰ درصد در نظر گرفته شد که براساس آن ۱۱/۱۴۵ مگاوات مجموع توان می شود. نتایج به د ست آ مده حاکی از آن ا ست که بالاترین ظرفیت در باسهای شروع شبکه یع نی باس ۲ و ۳ با ظرف یت ۱/۸۴ مگاوات می باشد. در مورد سطوح نفوذ یایین برای نصب ظرفیت سیسم فوتوولتائیک برای به بود پروفیل ولتاژباس های انتهایی انتخاب می شوند. با توجه به نتایج استنباط می شود که نرخ سطح نفوذ بالا به

در این مقاله از یک روش توسعهیافته چندهدفه برای تخ صیص بهیا ه

می شوند. با نوجه به تایج استنباط می شود که نرح سطح نفود بالا به ا ضافه ول تاژ در شبکه منجر می شود و برای حفظ پروفا یل ول تاژ می ایست ظرفیت سیستم فوتوولتاهٔ یک در باس های ابتدایی شبکه نصب شود. حداکثر و حداقل ظرفیت ها شامل ۱/۸۴ و ۰/۱۳ مگاوات می باشد.

مراجع

[1] Ehsan, A., & Yang, Q. (2019). Active distribution system reinforcement planning with EV charging stations—Part I: Uncertainty modeling and problem formulation. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 11(2), 970-978.

[2] Li, P., Ji, H., Wang, C., Zhao, J., Song, G., Ding, F., & Wu, J. (2017). Coordinated control method of voltage and reactive power for active distribution networks based on soft open

⁶- نتيجه گيرى

modeling system approach. Ain Shams Engineering Journal, 11(2), 409-418.

[29] Swief, R. A., & El-Amary, N. H. (2020). Optimal probabilistic reliable hybrid allocation for system reconfiguration applying WT/PV and reclosures. Ain Shams Engineering Journal, 11(1), 109-118.

[30] Ali, A., Raisz, D., Mahmoud, K., & Lehtonen, M. (2019). Optimal placement and sizing of uncertain PVs considering stochastic nature of PEVs. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 11(3), 1647-1656.

[31] Yahiaoui, A., Benmansour, K., & Tadjine, M. (2016). Control, analysis and optimization of hybrid PV-Diesel-Battery systems for isolated rural city in Algeria. Solar Energy, 137, 1-10.

[32] EEriksson, E. L. V., & Gray, E. M. (2017). Optimization and integration of hybrid renewable energy hydrogen fuel cell energy systems–A critical review. Applied energy, 202, 348-364.

[33] Rao, R. S., Ravindra, K., Satish, K., & Narasimham, S. V. L. (2012). Power loss minimization in distribution system using network reconfiguration in the presence of distributed generation. IEEE transactions on power systems, 28(1), 317-325.

[34] Tolabi, H. B., Ali, M. H., & Rizwan, M. (2014). Simultaneous reconfiguration, optimal placement of DSTATCOM, and photovoltaic array in a distribution system based on fuzzy-ACO approach. IEEE Transactions on sustainable Energy, 6(1), 210-218.

[35] Aman, M. M., Jasmon, G. B., Bakar, A. H. A., Mokhlis, H., & Karimi, M. (2014). Optimum shunt capacitor placement in distribution system—A review and comparative study. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 30, 429-439.

[36] Mirjalili, S., Saremi, S., Mirjalili, S. M., & Coelho, L. D. S. (2016). Multi-objective grey wolf optimizer: a novel algorithm for multi-criterion optimization. Expert Systems with Applications, 47, 106-119.

[37] Emary, E., Zawbaa, H. M., & Hassanien, A. E. (2016). Binary grey wolf optimization approaches for feature selection. Neurocomputing, 172, 371-381.

[38] Jayakumar, N., Subramanian, S., Ganesan, S., Elanchezhian, E.B., 2016. Grey wolf optimization for combined heat and power dispatch with cogeneration systems. Int. J. Electr. Power Energy Syst. 74, 252–264

[39] Lu, C., Xiao, S., Li, X., Gao, L., 2016. An effective multiobjective discrete grey wolf optimizer for a real-world scheduling problem in welding production. Adv. Eng. Softw. 99, 161–176.

[40]Precup, R.E., David, R.C., Petriu, E.M., 2016b. Grey wolf optimizer algorithm-based tuning of fuzzy control systems with reduced parametric sensitivity. IEEE Trans. Ind. Electron.

[41] Wazir, A., & Arbab, N. (2016). Analysis and optimization of IEEE 33 bus radial distributed system using optimization algorithm. Journal of Emerging Trends in Applied Engineering, 1(2), 17-21.

[42] Nor, N. M., Ali, A., Ibrahim, T., & Romlie, M. F. (2017). Battery storage for the utility-scale distributed photovoltaic generations. IEEE Access, 6, 1137-1154.

[43] Olowu, T. O., Sundararajan, A., Moghaddami, M., & Sarwat, A. I. (2018). Future challenges and mitigation methods for high photovoltaic penetration: A survey. Energies, 11(7), 1782.

[44] Cheng, D., Mather, B. A., Seguin, R., Hambrick, J., & Broadwater, R. P. (2015). Photovoltaic (PV) impact assessment for very high penetration levels. IEEE Journal of photovoltaics, 6(1), 295-300.

Technologies and Innovative Business Practices for the Transformation of Societies (EmergiTech) (pp. 245-250). IEEE. [16] Rahmani, R., Aghaee, S. S., Hosseinian, S. H., & Sadeghi, S. H. H. (2017, April). Determining maximum penetration level of distributed generation sources in distribution network considering harmonic limits and maintain protection coordination scheme. In 2017 Conference on Electrical Power Distribution Networks Conference (EPDC) (pp. 196-199). IEEE.

[17] Rahmani, R., Aghaee, S. S., Hosseinian, S. H., & Sadeghi, S. H. H. (2017, April). Determining maximum penetration level of distributed generation sources in distribution network considering harmonic limits and maintain protection coordination scheme. In 2017 Conference on Electrical Power Distribution Networks Conference (EPDC) (pp. 196-199). IEEE.

[18] Chamana, M., & Chowdhury, B. H. (2018). Optimal voltage regulation of distribution networks with cascaded voltage regulators in the presence of high PV penetration. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 9(3), 1427-1436.

[19] Guo, Y., Wu, Q., Gao, H., Chen, X., Østergaard, J., & Xin, H. (2018). MPC-based coordinated voltage regulation for distribution networks with distributed generation and energy storage system. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 10(4), 1731-1739.

[20] Jamroen, C., Pannawan, A., & Sirisukprasert, S. (2018, September). Battery energy storage system control for voltage regulation in microgrid with high penetration of PV generation. In 2018 53rd International Universities Power Engineering Conference (UPEC) (pp. 1-6). IEEE.

[21] Nguyen, T. A., Rigo-Mariani, R., Ortega-Vazquez, M. A., & Kirschen, D. S. (2018, August). Voltage Regulation in Distribution Grid Using PV Smart Inverters. In 2018 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM) (pp. 1-5). IEEE.

[22] Cui, T., Shen, Y., Liang, L., Zhang, B., Guo, H., & Zuo, J. (2018, November). Real-time voltage regulation of distributed power grids with wind power integration. In 2018 International Conference on Power System Technology (POWERCON) (pp. 2102-2107). IEEE.

[23] Liu, J., Li, Y., Rehtanz, C., Cao, Y., Qiao, X., Lin, G., ... & Sun, C. (2019). An OLTC-inverter coordinated voltage regulation method for distribution network with high penetration of PV generations. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 113, 991-1001.

[24] Montoya, O. D., Grisales-Noreña, L. F., Gil-González, W., Alcalá, G., & Hernandez-Escobedo, Q. (2020). Optimal location and sizing of PV sources in DC networks for minimizing greenhouse emissions in diesel generators. Symmetry, 12(2), 322.

[25] Cheng, Y., Zhang, N., Kirschen, D. S., Huang, W., & Kang, C. (2020). Planning multiple energy systems for low-carbon districts with high penetration of renewable energy: An empirical study in China. Applied Energy, 261, 114390.

[26] Ma, C., Menke, J. H., Dasenbrock, J., Braun, M., Haslbeck, M., & Schmid, K. H. (2019). Evaluation of energy losses in low voltage distribution grids with high penetration of distributed generation. Applied Energy, 256, 113907.

[27] Li, K., Wang, F., Mi, Z., Fotuhi-Firuzabad, M., Duić, N., & Wang, T. (2019). Capacity and output power estimation approach of individual behind-the-meter distributed photovoltaic system for demand response baseline estimation. Applied Energy, 253, 113595.

[28] Montoya, O. D., Gil-González, W., & Grisales-Noreña, L. F. (2020). An exact MINLP model for optimal location and sizing of DGs in distribution networks: A general algebraic

[45] Hraiz, M. D., García, J. A. M., Castañeda, R. J., & Muhsen, H. (2020). Optimal PV size and location to reduce active power losses while achieving very high penetration level with improvement in voltage profile using modified Jaya algorithm. IEEE Journal of Photovoltaics, 10(4), 1166-1174.

٧٠