



اثر قیمت برق بر تاب آوری شبکه توزیع برق

غلامرضا کیایی پور منصور^۱، فواد نجابت^۲، حسام ثابتی^۳

۱- کارشناسی ارشد مهندسی برق (شرکت توزیع نیروی برق خوزستان)

۲- کارشناسی ارشد اقتصاد انرژی (شرکت توزیع نیروی برق خوزستان)

۳- کارشناسی ارشد مهندسی برق (شرکت توزیع نیروی برق خوزستان)

خلاصه

در سال های اخیر سرمایه گذاران بخش خصوصی در کشورهای مختلف اقدام به سرمایه گذاری در توسعه واحد های تولید پراکنده اعم از تجدید پذیر و غیر تجدید پذیر در شبکه توزیع کرده اند. در ابتدای شروع به کار این واحدها نگرانیهایی در مورد هزینه آنها مطرح میشد ولی با گذشت زمان و پیشرفت تکنولوژیکی این واحدها این نگرانی ها نیز مرتفع شدند. اقتصادی ترین شیوه برای قیمت گذاری واحدهای تولید پراکنده استفاده از قیمت گذاری گره ای است که سیگنال های اقتصادی مناسبی را به مالکان و سرمایه گذاران در بخش شبکه توزیع ارسال می کند که بر اساس آن اقدام به بهره برداری و سرمایه گذاری کنند. هدف این تحقیق بررسی اثر قیمت برق بر تاب آوری شبکه توزیع برق ایران می باشد که با استفاده از زنجیره مارکوف به ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه توزیع و سپس به بررسی و محاسبه سهم واحدهای تولید پراکنده در بهبود قابلیت اطمینان پرداخته شده است. یافته ها حاکی از آن است که کاهش حجم محاسبات مربوط به ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه توزیع با استفاده از مفهوم ناحیه بندی بر اساس موقعیت کلیدهای حاضر در شبکه توزیع می باشد.

کلیدواژه: قیمت برق، تاب آوری، توزیع برق، زنجیره مارکوف



۱- مقدمه

در سال های اخیر سرمایه گذاران بخش خصوصی در کشورهای مختلف اقدام به سرمایه گذاری در توسعه واحدهای تولید پراکنده اعم از تجدید پذیر و غیر تجدید پذیر در شبکه توزیع کرده اند. در ابتدای شروع به کار این واحدها نگرانیهایی در مورد هزینه آنها مطرح میشد ولی با گذشت زمان و پیشرفت تکنولوژیکی این واحدها این نگرانی ها نیز مرتفع شدند. از جمله عوامل موثر بر گسترش این واحدها میتوان به نقش آنها در کاهش تلفات، بهبود قابلیت اطمینان، کاهش آلاینده‌گی، بهبود پروفیل ولتاژ و بهبود کیفیت توان و کاهش بارگذاری خطوط و در نتیجه آن کاهش هزینه سرمایه گذاری خطوط انتقال و انتقال زمان سرمایه گذاری به آینده اشاره کرد. با توسعه های اخیر در حوزه های اتوماسیون و تبادل اطلاعات، شبکه های توزیع به شبکه های هوشمند تبدیل شده اند که حضور واحدهای تولیدپراکنده در این شبکه های هوشمند بر شاخصهای ذکر شده بسیار موثر خواهند بود. لذا برای تشویق سرمایه گذاران، باید مکانیزم های قیمت گذاری مناسبی طراحی شوند که قیمت گذاری گره های با توجه به مشخصه های ویژه اش مورد استفاده قرار میگیرد. در سالیان اخیر با توجه به رشد مصرف انرژی و آلودگی های محیط زیست، بالا رفتن قیمت سوختهای فسیلی، افزایش تولید گازهای گلخانه ای، تشکیل بازارهای برق و تغییر ساختار شبکه از حالت سنتی به حالت رقابتی توجهات نسبت به استفاده از منابع تولید پراکنده اعم از منابع تجدید پذیر و منابع غیر تجدید پذیر را در شبکه توزیع جلب کرده است. در ادامه، به تشریح بیان مسأله، اهمیت و ضرورت انجام تحقیق، اهداف و فرضیات تحقیق و همچنین چارچوب تحقیق پرداخته شده است.

۲- بیان مسئله

امروزه واحدهای تولید پراکنده با تمرکز زدایی و کاهش انتشار گازهای گلخانه ای و با توجه به تنوع این واحدها، یک جایگزین مناسب برای سوخت های فسیلی نقش مهمی در شبکه های توزیع دارند. در سالیان اخیر با توجه به مزایای اقتصادی موثری که واحدهای تولید پراکنده به شبکه می آورند، مورد توجه زیادی قرار گرفته اند. با توجه به نصب این واحدها در نزدیکی بارها، هزینه های مربوط شبکه توزیع کاهش چشمگیری می یابند. در کنار این مزیت با توجه به مشکلات توسعه شبکه و هزینه های مربوط به آن واحدهای تولید پراکنده این مشکلات را مرتفع کرده و در مقایسه با نیروگاه های سنتی سرمایه گذاران با ریسک کمتر و زمان نصب کوتاه تر مواجه خواهند بود. (لاریمی و همکاران، ۱۳۹۸) علاوه بر آنها می توان به نقش موثر واحدهای تولید پراکنده در کاهش تلفات، بهبود قابلیت اطمینان، به تعویق انداختن زمان سرمایه گذاری در توسعه شبکه های انتقال و توزیع، کاهش آلاینده‌گی (برای واحدهای تولید پراکنده تجدید پذیر) و بهبود پروفیل ولتاژ اشاره کرد. لذا با توجه به مزایایی که واحدهای تولید پراکنده با حضور خود در شبکه توزیع به همراه می آورند سرمایه گذاران و بهره برداران شرکت های توزیع را ترغیب به استفاده و بهره برداری از این واحدها می کند که در نهایت هزینه های شبکه را کاهش می دهد. در سالیان اخیر با توجه به رشد مصرف انرژی و آلودگی های محیط زیست، بالا رفتن قیمت سوخت های فسیلی، افزایش تولید گازهای گلخانه ای، تشکیل بازارهای برق و تغییر ساختار شبکه از حالت سنتی به حالت رقابتی توجهات نسبت به استفاده از منابع تولید پراکنده اعم از منابع تجدید پذیر و منابع غیر تجدید پذیر را در شبکه توزیع جلب کرده است. در شبکه توزیع، برق

منطقه ای مالکیت پستهای فوق توزیع و شبکه را در اختیار دارد که بار مورد نیاز شبکه را از شبکه بالا دست و از بازار عمده فروشی خریداری می کند. (فرسانی و همکاران، ۲۰۲۱) با حضور واحدهای تولید پراکنده بخشی از بار مورد نیاز شبکه از طریق این واحدها تامین می شود و در نتیجه توان خریداری شده از بازار عمده فروشی کاهش می یابد. حال این که قیمت تخصیص یافته به این واحدها چه باشد بستگی به قیمت باس مرجع در شبکه و نقش واحدها در بهبود شاخص های مورد مطالعه شبکه دارد. هر چه میزان اثرگذاری واحدها در شبکه بیشتر باشد، قیمت تخصیص یافته به آن ها نیز طبیعتاً بیشتر خواهد بود. محل نصب و ظرفیت هر واحد نقش مستقیمی در پول دریافتی آن ها خواهد داشت که البته مطالعاتی در زمینه جایابی واحدها در سالیان اخیر صورت گرفته است. اقتصادی ترین شیوه برای قیمت گذاری واحدهای تولید پراکنده استفاده از قیمت گذاری گره های است که سیگنال های اقتصادی مناسبی را به مالکان و سرمایه گذاران در بخش شبکه توزیع ارسال می کند که بر اساس آن اقدام به بهره برداری و سرمایه گذاری کنند.

بنابراین در این تحقیق ما بر آن هستیم که به بررسی اثر قیمت برق بر تاب آوری سیستم توزیع برق ایران بپردازیم.

۴- اهمیت و ضرورت انجام تحقیق

این تحقیق از نظر ابعاد و مولفه های مهمی همچون بعد عملی یا کاربردی نتایج و هم چنین توجه به دانش، نظریات و ادبیات موجود، دلایل مهمی برای اهمیت و ضرورت خود را دارا می باشد. فلذا ضرورت تحقیق موضوع با توجه به آمار موجود و نتایج پیشنهادات پژوهش های انجام شده توسط دیگران به اثبات رسیده و می توان در این باره استدلال نمود. ضرورت موضوع را از این جهت می توان بررسی کرد که در سال های اخیر سرمایه گذاران بخش خصوصی در کشورهای مختلف اقدام به سرمایه گذاری در توسعه واحد های تولید پراکنده اعم از تجدید پذیر و غیر تجدید پذیر در شبکه توزیع کرده اند. در ابتدای شروع به کار این واحدها نگرانی هایی در مورد هزینه آنها مطرح می شد ولی با گذشت زمان و پیشرفت تکنولوژی این واحدها این نگرانی ها نیز مرتفع شدند.

۴-۱- اهداف تحقیق

- تخصیص سهم واقعی هر ناحیه بر اساس مشارکت در بهبود قابلیت اطمینان شبکه
- اثر قیمت برق بر تاب آوری سیستم توزیع برق ایران
- صفر کردن اختلاف منفعت دو حالت حضور و عدم حضور ناحیه های شبکه توزیع



۲-۴- فرضیات تحقیق

- میان تخصیص سهم واقعی در هر ناحیه با میزان مشارکت در بهبود قابلیت اطمینان شبکه رابطه مستقیم و معناداری وجود دارد.
- بین تأثیر قیمت برق با تاب آوری سیستم توزیع برق در ایران ارتباط مثبت و معناداری وجود دارد.
- ارتباط میان صفر کردن اختلاف منفعت با تاکید بر دو حالت حضور و عدم حضور ناحیه های شبکه توزیع به صورت رابطه ای مستقیم و معناداری است.

۵- تولید پراکنده

تولید پراکنده، تولید نامتمرکز، انرژی نامتمرکز یا انرژی پراکنده که در زبان انگلیسی به اختصار (DG) نامیده می شود که مخفف (Distributed Generation) است به تولید برق از منابع کوچک انرژی گفته می شود. تولید پراکنده به مواردی اطلاق می شود که برق در همان محل مصرف یا در نزدیکی محل مصرف تولید می شود. تولید پراکنده نیروگاههای مقیاس کوچکی هستند که ظرفیت حداکثری تولید آنها ۲۵ مگاوات می باشد. تولید پراکنده به آن دلیل به وجود آمد که در برخی از نقاط افت جریان و ولتاژ مشاهده می شد. این طرح جهت پرکردن این نقایص مطرح شد.

تولید پراکنده به دو دسته تولید همزمان برق و حرارت و نیز برق، سرما و حرارت (CCHP) که مخفف Combined Cooling Heat and Power تقسیم می شود. منظور از تولید همزمان، تولید برق در کنار صورت دیگر انرژی و استفاده از همه موارد به طور همزمان است.

مولد تولید همزمان مولدی است که اتلاف حرارت آن مستقیماً مورد استفاده قرار گرفته یا برای تولید آب گرم، بخار یا کاربردهای دیگر بازیافت می شود.

از مزایای مهم تولید همزمان این است که بازده الکتریکی مؤثر آن بیش از ۱/۵ برابر بازده نیروگاههای حرارتی است. در حال حاضر، کشورهای صنعتی بیشتر برق خود را در تاسیسات بزرگ متمرکز مثل سوخت فسیلی (زغال سنگ، گاز)، هسته ای یا برق آبی تولید می کنند. این نیروگاهها هزینه ها را به خوبی کاهش می دهند، اما برق را معمولاً به مسافت های دور منتقل می کنند و محیط زیست را تحت تاثیر قرار می دهند. (گیرگیس، ۲۰۲۰)

تولید پراکنده اگرچه مفهومی نوین در ادبیات اقتصادی صنعت برق است ولی ماهیت واقعی آن چندان جدید نیست. در روزهای نخستین تولید برق، تولید پراکنده یک اصل فراگیر بود، به این گونه که اولین نیروگاههای برق تنها مشترکان نزدیک و همسایه خود را تغذیه می کردند. با توجه به این که شبکه های جریان مستقیم اولین شبکه های برق بودند به منظور ایجاد تعادل بین تولید و مصرف از منابع ذخیره موجود در محل مانند باتری ها استفاده می شد. بعدها و بر اثر پیشرفت فناوری (مانند به وجود آمدن شبکه های جریان متناوب) این امکان پیدا شد که برق در مسافت های طولانی انتقال پیدا کند. تولید پراکنده روش دیگر است.



این روش حجم تلفات انرژی در برق منتقل شده را کم می‌کند زیرا برق بسیار نزدیک جایی که در آن مصرف می‌شود، یا حتی در همان ساختمان، تولید می‌شود. این کار اندازه و تعداد خطوط قدرتی که باید ساخته شوند را کم می‌کند. اندک اندک سیستم‌های عظیم الکتریکی شامل نیروگاه هاو شبکه‌های بزرگ انتقال و توزیع به وجود آمد. تعادل بین تولید و مصرف از طریق میانگین اثر تعداد زیادی از بارهای لحظه‌ای انجام شد و امنیت این شبکه‌های بزرگ افزایش پیدا کرد به این صورت که در صورت وقوع خطا و از مدار خارج شدن یکی از منابع، دیگر منابع موجود به شبکه وظیفه جبران تولید را بر عهده می‌گرفتند.

در دهه‌های اخیر، پیشرفت‌های فناوری، تغییرات اقتصادی و مقررات زیست‌محیطی سبب شده که نسبت به مفهوم تولید پراکنده علاقه‌مندی‌های فراوانی به وجود آید. آژانس بین‌المللی انرژی در سال ۲۰۰۲ اعلام کرد که این ۵ عامل اساسی در فراگیر شدن مفهوم تولید پراکنده نقش داشته است: توسعه فناوریهای تولید پراکنده، محدودیت در ساخت خطوط انتقال، افزایش تقاضای انرژی پایدار از سوی مشترکان، خصوصی سازی بازار برق و نگرانی‌های تغییرات آب‌وهوا.

۱-۵- اهداف استفاده از تولیدات پراکنده

اهداف استفاده از تولیدات پراکنده از دید شرکت توزیع و از دید مشترک متفاوت است. در واقع اگر مالک DG شرکت توزیع باشد، اهداف مورد نظر می‌تواند آزادسازی ظرفیت شبکه توزیع، بهبود قابلیت اطمینان سیستم، تولید همزمان برق و حرارت، بهبود کیفیت توان و پروفیل ولتاژ و کاهش تلفات باشد. اگر مالکیت DG در اختیار مشترک باشد، این اهداف می‌تواند فروش برق و شرکت در بازار انرژی، فروش برق به عنوان سرویس جانبی، بهبود قابلیت اطمینان خود و یا تشویق‌های دریافتی از شرکت توزیع و... باشد. متأسفانه چون مالکیت بیشتر تولیدات پراکنده در اختیار مشترکین می‌باشد، لذا شرکت‌های توزیع کنترل کمتری روی اندازه و محل نصب تولیدات پراکنده دارند. در نتیجه برای جلوگیری از تأثیرگذاری منفی تولیدات پراکنده بر پارامترهای مختلف سیستم، باید یک استاندارد کلی و جامع برای کنترل، نصب و جایابی این تولیدات وجود داشته باشد. بطور کلی هدف استفاده از منابع تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع، تأمین تمام یا قسمتی از توان مصرفی شبکه بصورت تمام وقت یا پاره وقت می‌باشد که در این میان هدف اصلی تولید توان اکتیو است (پیرمنس، ۲۰۲۱).

عوامل محرک فراوانی باعث افزایش تمایل به کارگیری سیستم‌های تولید پراکنده شده است که به طور کلی این عوامل را می‌توان در پنج گروه به شرح زیر تقسیم بندی نمود:

- پیشرفت‌های صنعتی چشمگیر در ساخت و بکارگیری تکنولوژی‌های مرتبط
- محدودیت‌ها موجود در احداث خطوط انتقال نیرو
- ورود بحث بازار برق و مسائل مرتبط با آن در سیستم قدرت
- افزایش تقاضای مشترکین برای سرویس با قابلیت اطمینان بالا
- حساسیت بالا در خصوص آلودگی‌های محیط زیست



۲-۵- مزایای اقتصادی DG از دید مشترکین

- ۱- کاهش هزینه های خرید انرژی، بخصوص در مورد بارهای حرارتی (بخار، آب گرم و سیستم خنک کننده)؛ در روش تولید همزمان برق و حرارت (CHP) می توان بخار یا آب گرم مورد نیاز فرآیندهای مختلف را تأمین کرده و یا در مواردی که نیاز به گرم سازی و یا خنک سازی محیط باشد از آن استفاده کرد.
- ۲- کاهش نگرانی های ناشی از نوسانات نرخ انرژی DG: به مشترکین این امکان را می دهد که ریسک بیشتری در بازار انرژی داشته باشند، چون که در حقیقت مشترکین با استفاده از DG خود را از این نوسانات رهایی داده اند.
- ۳- افزایش قابلیت اطمینان DG: می تواند سبب کاهش خاموشی های ناشی از شبکه شود که این امر خود سبب کاهش زمان خاموشی و همچنین کاهش نگرانی های موجود در زمینه ایمنی می شود.
- ۴- بهبود کیفیت توان DG: می تواند توان و انرژی با کیفیت بالا به مشترکین تحویل دهد و لذا این امر سبب کاهش و یا از بین رفتن نگرانی های موجود در زمینه نوسانات ولتاژ شبکه و هارمونیک هایی می شود که بر روی بارهای حساس مشترکین تأثیر می گذارد.
- ۵- منبع جدید درآمد DG: این امکان را به مشترکین می دهد که بتوانند انرژی تولیدی خود را به فروش رسانده و یا حالت کمکی برای بازاریابی داشته باشد. (سیمبا، ۲۰۲۰).

۳-۵- مزایای اقتصادی DG از دید شرکت توزیع الکتریکی

- ۱- جلوگیری از افزایش ظرفیت شبکه DG: به عنوان یک منبع کمکی و اضافی به تأمین انرژی می پردازد و لذا می تواند تا حدودی شرکت توزیع را از ایجاد سیستم جدید تولید، انتقال و توزیع بازدارد.
- ۲- کاهش تلفات الکتریکی در بخش انتقال و توزیع: با نصب DG، شبکه انتقال و توزیع به منظور حمل و ارائه انرژی به مشترکین کوچکتر شده و لذا تلفات نیز کاهش می یابد.
- ۳- به تأخیر انداختن و به روزآوری شبکه های انتقال و توزیع: با استفاده از DG، شرکت های توزیع می توانند جوابگوی رشد بار بوده و لذا با تأخیر زمانی نسبت به بهبود ظرفیت اقدام کنند.
- ۴- تأمین توان راکتیو: برخی تکنولوژی های DG مانند موتورهای رفت و برگشتی می توانند تولید توان راکتیو کنند. این امر سبب کمک به تقویت و پایداری ولتاژ شبکه می شود.
- ۵- کاهش تراکم دیماند و انتقال انرژی: با نصب سیستم تولید توان در محل مصرف و یا نزدیک به آن، طول مؤثر شبکه انتقال و توزیع افزایش می یابد و ظرفیت شبکه برای جوابگویی به سایر مشترکین آزاد می شود.
- ۶- پیک سائی DG: می تواند سبب کاهش دیماند مشترکین در ساعات اوج مصرف شود که این امر سبب کاهش هزینه ها خواهد شد.
- ۷- کاهش حاشیه رزرو: با نصب DG میزان دیماند کلی شبکه پایین آمده و ظرفیت تولید بهبود می یابد و لذا نیاز به رزرو کمتری در شبکه است.



- ۸- بهبود کیفیت توان: با نصب DG ، اثرات منفی کیفیت توان از جمله ولتاژ و فرکانس نامطلوب در شبکه کاهش می یابد.
- ۹- افزایش قابلیت توان: استفاده از DG می تواند سبب کاهش و یا حذف خاموشی در نقاط معینی از شبکه توزیع شود.

۴-۵- معایب استفاده از تولیدات پراکنده

علیرغم تمام مزایای DG باید توجه خاصی به اثرات منفی احتمالی آن روی شبکه توزیع داشته باشیم که شاید بیشترین این تأثیرات، مسائل مربوط به سطح ولتاژ و هماهنگی حفاظتی باشد.

همچنین موجب پیچیده شدن شبکه و در نتیجه توسعه سیستم حفاظت شبکه شده و نیز بهره برداری و کنترل شبکه را نیز مشکل می سازد.

اتصال DG ها به شبکه باعث ایجاد هارمونیک در شبکه و کاهش امپدانس اتصال کوتاه می شود. ضمناً اگر در هنگام خاموشی، DG متصل به شبکه به صورت جزیره ای کار کند می تواند برای تعمیرکاران شبکه خطرناک باشد.

۶-۵- کاربردهای تولید پراکنده

به طور کلی واحدهای تولید پراکنده قابلیت بهره برداری در دو حالت کاری دارند: بهره برداری در حالت اتصال به شبکه و بهره برداری در حالت جزیره ای. در حالت بهره برداری در حالت اتصال به شبکه واحدهای تولید پراکنده به صورت موازی با شبکه بالا دست بهره برداری میشوند و در حالت بهره برداری جزیره ای واحدها در اثر وقوع خطا در شبکه توزیع، پایین دست خطا با شرط حضور واحد در ناحیه پایین دست خطا قابلیت بهره برداری دارد که منجر به بهبود قابلیت اطمینان ناحیه جزیره ای شده میشود. هدف اصلی این واحدها تامین بخشی از توان مورد نیاز شبکه است که البته برخی از واحدهای نظیر مزارع بادی قادر به تامین بارهای راکتیو نیز هستند. با توجه به نوع بارهای شبکه و واحدهای در دسترس، کاربردهای فراوانی برای واحدهای تولید پراکنده وجود دارد که بخشی از آنها عبارت اند از:

- کاهش پیک بار در زمان اوج مصرف و در نتیجه آن کاهش هزینه برق مصرفی مصرف کنندگان • کاهش آلاینده‌گی های زیست محیطی واحدهای تجدید پذیر در مقایسه با آلاینده‌گی واحدهای سنتی.
- تولید توان به عنوان تامین بار پایه
- تولید برق و گرما برای گرمایش محیط/آب یا تولید بخار
- استفاده به عنوان منبع برق غیر قابل قطع
- UPS استفاده به عنوان منبع پشتیبان در حین بروز خطا در ناحیه جزیره ای شده.
- بهبود پروفیل ولتاژ
- بهبود افق تقویت شبکه توزیع
- بهبود کیفیت توان



۷-۵- نقاط اتصال به شبکه توزیع

واحدهای تولید پراکنده عموماً در باسهای انتهایی شبکه توزیع نصب میشوند. به طور کلی این واحدها میتوانند به طور مستقیم به نقاط بار متصل شوند و یا در مکانهایی که در فاصله ای بسیار دور از شبکه اصلی هستند نصب شوند. این واحدها با نصب در نقاط انتهایی شبکه توزیع نسبت به دیگر نقاط شبکه اثر خود را در بهبود قابلیت اطمینان شبکه نشان میدهند که سهم بسیار زیادی در کاهش هزینه های قطعی شبکه دارند.

۸-۵- اثرات واحدهای تولید پراکنده بر روی شاخص های شبکه توزیع

۱-۸-۵- تغییر توان عبوری از خطوط و توان عبوری از شبکه

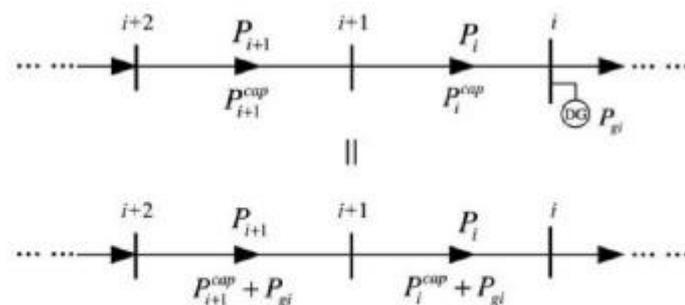
با حضور واحدهای تولید پراکنده در شبکه توزیع، توان عبوری از شبکه توزیع نیز دستخوش تغییر میشود که این تغییرات میتواند نقش مثبت یا منفی با خود به همراه داشته باشد. تولید توان از سوی واحدهای تولید پراکنده توان عبوری از خطوط پایین دست واحد را تغییر نمیدهد ولی با توجه به میزان تولید واحدها ممکن است با توجه به تامین شدن بارهای پایین دست، توان اضافی به نقاط بالا دست منتقل شود که منجر به ایجاد توان معکوس در خطوط میشود. با در نظر گرفتن اینکه عبور توان معکوس اثر بسیار مهمی بر پروفیل ولتاژ دارد، ظرفیت واحد متصل به شبکه توزیع به گونه ای انتخاب میشود که جهت معمول توان عبوری از خطوط تضمین شود. لذا مجموع توان تزریق شده به پایین دست باید از مجموع بار پایین دست کمتر باشد. عبور توان در جهت معکوس به جز در خطوط بین DG و نقطه مشترک اتصال به شبکه مجاز نیست (جینگ، ۲۰۱۸).

با نصب DG در یک باس، توان عبوری از خطوط بالا دست باس مورد نظر باید از رابطه (۲-۱) تبعیت کند:

$$(2-1)$$

$$P_j^{\max} \geq P_j - P_{gk}$$

از رابطه (۲-۲) مشخص میشود که توسعه ظرفیت شبکه، معادل افزایش ظرفیت هر خط بالادست نقطه تزریق DG است.



شکل ۲-۱- اثر حضور DG بر توان عبوری از خطوط در شبکه توزیع شعاعی

۲-۸-۵- تغییر تلفات شبکه

تغییر توان عبوری از خطوط ناشی از حضور واحدهای تولید پراکنده منجر به تغییرات تلفات خطوط می شود که با توجه به موقعیت واحدها میتواند اثر مثبت یا منفی در تلفات داشته باشند. برای حداقل کردن تلفات شبکه توزیع به یافتن موقعیت، اندازه و ضریب قدرت بهینه پرداخته میشود. تغییرات تلفات نسبت به ظرفیت تولیدی واحدهای تولید پراکنده یک نمودار U شکل است که با افزایش ظرفیت تلفات تا یک مقدار مشخص به صورت نزولی رفتار میکند و پس از آن تلفات شبکه با افزایش ظرفیت بیشتر میشود. با نصب واحدهای تولید پراکنده در برخی باس ها حتی امکان افزایش تلفات نیز وجود دارد. لذا موقعیت و مقدار توان تولیدی بر افزایش یا کاهش تلفات بسیار موثر خواهد بود. یافتن موقعیت بهینه برای نصب واحدهای تولید پراکنده به عوامل متفاوتی نظیر سطح بار، ظرفیت واحدها و چگونگی بهره برداری از واحد بستگی دارد (جسوس، ۲۰۱۹).

۳-۸-۵- تغییر پروفیل ولتاژ

با حضور واحدهای تولید پراکنده، علاوه بر تامین بارهای اکتیو که هدف اصلی به شمار میرود، ولتاژ سیستم نیز بهبود می یابد. از آنجایی که این واحدها میتوانند به عنوان باسهای PV ، PQ و $(V) PQ$ مدل شوند، لذا هر یک از این مدل سازیها با توجه به تکنولوژی واحدهای تولید پراکنده مورد استفاده، اثرات متفاوتی بر تغییر پروفیل ولتاژ خواهند داشت. در دو حالت PQ و PV ولتاژ باسهای شبکه بهبود مییابد ولی در حالت $(V) PV$ که توان اکتیو DG ثابت در نظر گرفته میشود پروفیل ولتاژ کاهش مییابد که دلیل آن را میتوان در توان راکتیو جذب شده از سوی DG جستجو کرد. در حالت PV نسبت به PQ بهبود پروفیل ولتاژ به دلیل تزریق توان راکتیو بیشتر است.



با توجه به افزایش بار در شبکه توزیع، حضور واحدهای تولید پراکنده مشکل افت ولتاژ را بدون نیاز به ترانسفورماتور که برای جبران افت ولتاژ نصب میشوند را مرتفع میکند چرا که در این حالت توان عبوری از خطوط کاهش مییابد و بارهای مجاور به محل نصب DG به صورت محلی تامین میشوند.

۴-۸-۵- بهبود قابلیت اطمینان شبکه توزیع

قابلیت اطمینان به عنوان توانایی سیستم در اجرای عملکردش تحت شرایط مشخص در یک بازه زمانی مشخص است. از آنجایی که اختلال در شبکه های توزیع مستقیماً مصرف کنندگان را تحت تاثیر قرار میدهد لذا از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. با توجه به اینکه اغلب شبکه های توزیع ساختاری شعاعی دارند، لذا با وقوع یک خطا بارهای بسیاری تحت تاثیر قرار می گیرند (جسوس، ۲۰۱۹).

بررسی قابلیت اطمینان در شبکه توزیع از دو دیدگاه قابل تشریح و بررسی است. از دیدگاه سیستم تولید، حضور واحدهای تولید پراکنده با توجه به افزایش میزان تولید، موجب بهبود قابلیت اطمینان شبکه میشود و چنانکه پیشتر ذکر شد نیاز به سرمایه گذاری در حوزه تقویت خطوط و احداث نیروگاهها را برای یک بازه مشخص به تعویق می اندازد. حضور واحدهای تولید پراکنده از سوی دیگر از دیدگاه شبکه توزیع، چندین اثر بر قابلیت اطمینان دارد:

حضور واحدهای تولید پراکنده در بیشتر مواقع بارگذاری خطوط را در شبکه کاهش میدهد و از آنجایی که نرخ وقوع خطا با این عامل رابطه مستقیم دارد، لذا انتظار میرود حضور واحدهای تولید پراکنده منجر به کاهش تعداد دفعات قطعی در خطوط شوند و در نتیجه تعداد خاموشیها در شبکه با کاهش روبرو شود.

با توجه به شعاعی بودن شبکه توزیع فقط یک مسیر مستقیم برای تامین بارها وجود دارد که با قطع یک قسمت از مسیر، ناحیه پایین دست دچار قطعی میشود. با حضور واحدهای تولید پراکنده مسیرهای در دسترس برای تامین بار افزوده میشود و با استفاده از کلیدهای موجود در شبکه، در حین بروز خطا فیدرها از طریق کلیدهای در حالت عادی باز بسته میشوند و فیدرها برق دار میشوند.

۵-۸-۵- تاثیر در عملکرد حفاظتی شبکه توزیع

با حضور واحدهای تولید پراکنده در شبکه توزیع امکان تغییر جهت توان عبوری از خطوط وجود دارد و شبکه توزیع از حالت یک سو تغذیه به حالت دو یا چند سو تغذیه تبدیل میشود. اثر واحدهای تولید پراکنده بر جریانهای اتصال کوتاه میتواند چشمگیر باشد که منجر به تاثیر گذاری بر قابلیت اطمینان و امنیت شبکه توزیع شود.

سهام یک واحد در افزایش جریان اتصال کوتاه ممکن است زیاد نباشد ولی حضور چندین DG سطوح جریان اتصال کوتاه را به اندازه کافی تغییر میدهند که منجر به عدم هماهنگی حفاظت اضافه جریان (فیوزها)، جریانهای اتصال کوتاه اضافی، بهره برداری اشتباه از فیوزها و ... شوند که این امر میتواند موجب تاخیر یا تعجیل در عملکرد فیوزها شود. البته قابل ذکر است که این واحدها میتوانند موجب حفظ ولتاژ در یک سطح خاص و کاهش جریان خطا در پست فوق توزیع شوند. با توجه این توضیحات، سیاستهای اجرا شده برای شبکه های توزیع باید با توجه به حضور و عملکرد واحدهای تولید پراکنده تغییر کنند. تا از تبادل توان میان

واحدها یا جزیره ای شدن ناخواسته جلوگیری شود. این نکته مهم باید ذکر شود که حالت جزیره ای شدن ناخواسته از نظر بهره برداری امر مطلوبی محسوب نمیشود چرا که مسائل مربوط به کیفیت توان را با خود به همراه دارد. نگرانی دیگر غیر هم فاز بودن کلید باز و بست است که منجر به آسیب رسیدن به DG، بارهای مجاور و تجهیزات شرکت توزیع می شود. در صورت بزرگتر بودن توان تولیدی واحدها نسبت به بارهای ناحیه جزیره ای شده، امکان بهره برداری از این واحدها در صورت هماهنگی حفاظتی و کنترلی وجود دارد که منجر به تامین بخشی از بار شبکه و در نتیجه کاهش هزینه قطعی میشود (جسوس، ۲۰۱۹).

۶- قیمت گذاری واحدهای تولید پراکنده در شبکه های توزیع

حضور واحدهای تولید پراکنده در شبکه سیستم با بهبود تکنولوژی این نوع واحدها با روندی صعودی در حال تبدیل میکنند. یا به حالت فعال توسعه در شبکه های توزیع هستند که شبکه های توزیع را از یک حالت غیر فعال باتوجه به مشابهت های میان شبکه های انتقال با شبکه های توزیع، روشهای استفاده شده در شبکه های انتقال در شبکه های توزیع نیز قابل اعمال هستند که در اثر این مشابهت ها، قیمت گذاری گره ای در شبکه های توزیع مورد استفاده قرار میگیرد. از آن جایی که حضور این واحدهای تولید پراکنده منافع بسیار زیادی را با خود به همراه دارند، لذا سرمایه گذاران ترغیب به حضور و شرکت در شبکه های توزیع میشوند که در نتیجه آن باید سیاست های تشویقی در این مورد به کار برده شود تا سرمایه گذاران بخش خصوصی به سرمایه گذاری در این بخش بپردازند که هر دو سمت تولید و مصرف از این سرمایه گذاری منتفع خواهند شد (لاریمی، ۲۰۱۷). قیمت گره ای غالب ترین روش استفاده شده در سیستم های قدرت هستند که با توجه به کارایی آنها به شدت مورد استقبال واقع شد و در بسیار از بازارهای برق کشورهای مختلف مورد استفاده قرار گرفت.

۶-۱ اجزای تشکیل دهنده قیمت گره ای

در شبکه توزیع، قیمت گره ای حاصل شده از پخش اقتصادی بار که تابعی از تولید، محدودیتهای ولتاژی و سایر قیود است که هر یک از آنها قسمتی از قیمت گره ای را شامل میشوند که به صورت کلی به سه بخش انرژی، پرشدگی و تلفات قابل تقسیم است که بخش تلفات یکی از مهم ترین بخشهای قیمت گره ای در شبکه توزیع است چرا که در این شبکه ها به دلیل بالا بودن نسبت مقاومت به راکتانس، تلفات بسیار بالا بوده و لذا اثر بسیار زیادی در قیمت گره ای خواهد داشت. از طرف دیگر بخش پرشدگی معمولا در شبکه های توزیع شعاعی وجود ندارند و لذا قابل صرف نظر کردن است. سه بخش قیمت گره ای به صورت زیر قابل بازنویسی است.

$$\pi_{p,k} = \sum_i \frac{\partial f_i}{\partial p_k} + \sum_i \lambda_i \frac{\partial g_i}{\partial p_k} + \sum_i \rho_i \frac{\partial h_i}{\partial p_k} \quad (7-2)$$



با انجام پخش اقتصادی بار بهینه، قیمت گره ای هر باس مشخص میشود که تجزیه این قیمت به این سه بخش تشکیل شده آن، تابعی از باس مرجع است که با تغییر باس مرجع قیمت گره ای ثابت می ماند ولی مقادیر سه بخش قیمت گره ای دستخوش تغییر خواهند شد. لذا انتخاب باس مرجع بسیار اثر گذار خواهد بود که این مشکل در مقاله حل میشود. مدل پیشنهادی با استفاده از پخش اقتصادی بار، اثر حاشیه ای واقعی تغییرات بار را در نظر میگیرد که در انتها اثبات میکند که تغییر باس مرجع بر قیمت های پرشدگی و تلفات تاثیر گذار نخواهد بود.

۲-۶- قیمت گذاری انرژی و تلفات در شبکه توزیع

در سالهای اخیر نیز قیمت گذاری های ذکر شده در سیستمهای توزیع مورد قرار میگیرند که تشریح قیمت گذاری گره ای در شبکه توزیع برای اولین بار انجام شد که یک روش اقتصادی بهینه برای کاهش تلفات در شبکه توزیع مورد استفاده واقع شد. در این مقاله مسئله بهینه سازی برای توان تولیدی واحدهای تولید پراکنده و توان تزریقی از سوی باس مرجع با هدف حداقل سازی هزینه تولید در هر بازه زمانی به صورت زیر قابل بیان است:

$$\min \sum_i \sum_{gen} Cost_{i,gen}(P_{i,gen,t}, P_{i,gen,t}) \quad (8-2)$$

که شرط تعادل توان در هر باس نیز باید رعایت شود. با استفاده از شرایط KKT و با تعریف توان خالص تزریقی در هر باس، به صورت زیر قیمت توان اکتیو و قیمت توان راکتیو در هر باس به صورت گره ای محاسبه میشود:

$$\lambda_{i,t}^{active} = \lambda_i^{ref} \times \left(1 - \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{k,t}}\right) \quad (9-2)$$

$$\lambda_{i,t}^{reactive} = \lambda_i^{ref} \times \left(1 - \frac{\partial P_{loss}}{\partial Q_{k,t}}\right) \quad (10-2)$$

۷- روش تحقیق

برق منطقه ای مالکیت پستهای فوق توزیع و شبکه را در اختیار دارد که بار مورد نیاز شبکه را از شبکه بالا دست و از بازار عمده فروشی خریداری می کند. با حضور واحدهای تولید پراکنده بخشی از بار مورد نیاز شبکه از طریق این واحدها تامین می شود و در نتیجه توان خریداری شده از بازار عمده فروشی کاهش می یابد. حال اینکه قیمت تخصیص یافته به این واحدها چه باشد بستگی به قیمت باس مرجع در شبکه و نقش واحدها در بهبود شاخص های مورد مطالعه شبکه دارد. هر چه میزان اثرگذاری واحدها در شبکه بیشتر باشد، قیمت تخصیص یافته به آنها نیز طبیعتاً بیشتر خواهد بود. محل نصب و ظرفیت هر واحد نقش مستقیمی در پول دریافتی آنها خواهد داشت که البته مطالعاتی در زمینه جایابی واحدها در سالیان اخیر صورت گرفته است.



اقتصادی‌ترین شیوه برای قیمت‌گذاری واحدهای تولید پراکنده استفاده از قیمت‌گذاری گره ای است که سیگنالهای اقتصادی مناسبی را به مالکان و سرمایه‌گذاران در بخش شبکه توزیع ارسال می‌کند که بر اساس آن اقدام به بهره‌برداری و سرمایه‌گذاری کنند.

قیمت گره‌ای حاصل شده از تسویه بازار برای هر باس شامل سه مولفه متفاوت است: قیمت انرژی، قیمت تلفات و قیمت تراکم. در سیستم توزیع به دلیل بالا بودن نسبت مقاومت به راکتانس، تلفات بسیار بالا است و از طرفی با توجه به اینکه بیشتر شبکه‌های توزیع به صورت شعاعی هستند لذا پر شدگی در آنها معمولاً در نظر گرفته نمی‌شود و لذا قیمت گره‌ای از دو مولفه انرژی و تلفات تشکیل خواهد شد. معمولاً برای تسویه بازار از پخش اقتصادی بار استفاده می‌شود که این روش با توجه به تمام مزایایی که با خود دارد، دچار اشکالاتی نیز هست که منجر به پیشنهاد روش‌های جایگزین در مقالات و مطالعات مختلف شده‌است. در این تحقیق روشی برای تخصیص قیمت به واحدهای تولید پراکنده بر اساس سهم آنها در بهبود قابلیت اطمینان شبکه با استفاده از نظریه بازی‌ها ارائه شده است که برخی مشکلات مربوط به قیمت‌گذاری‌های مورد استفاده در مقالات پیشین را مرتفع می‌کند. در این تحقیق با استفاده از زنجیره مارکوف به ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه توزیع و سپس به بررسی و محاسبه سهم واحدهای تولید پراکنده در بهبود قابلیت اطمینان پرداخته خواهد شد.

۸- روش گردآوری اطلاعات

برای بررسی و ارائه یک روش قیمت‌گذاری مناسب ابتدا باید به پیشینه مطالعات صورت گرفته در این حوزه پرداخته شود و با مرور دقیق آنها ایرادات موجود در هر یک از مقالات و منابع ذکر شوند و با توجه به آنها یک روش قیمت‌گذاری برای واحدهای تولید پراکنده در شبکه توزیع پیشنهاد خواهد شد. لذا با انجام مراحل بیان شده، یک روش قیمت‌گذاری مبتنی بر مشارکت آنها در بهبود شاخص‌های مختلف شبکه توزیع، با استفاده از نظریه‌بازی‌های مشارکتی، قیمت‌گذاری واحدهای تولید پراکنده انجام می‌پذیرد. در نهایت نیز عملکرد مدل ارائه شده نسبت به مطالعات پیشین سنجیده می‌شود و کارایی روش مذکور نشان داده خواهد شد.

۹- روش تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این تحقیق به شبیه‌سازی مدل پیشنهادی خواهیم پرداخت. و در نهایت آنالیز حساسیت صورت می‌گیرد و در کنار آن ایرادات مدل پیشنهادی مطرح خواهد شد. برای محاسبات مربوط به قابلیت اطمینان شبکه توزیع از زنجیره مارکوف بهره گرفته می‌شود. با استفاده از نظریه بازی، مشارکت هر ناحیه در بهبود قابلیت اطمینان شبکه توزیع محاسبه خواهد شد و طبق مشارکت ناحیه‌های دارای واحد تولید پراکنده، یک قیمت برای هر یک از آنها به دست خواهد آمد.

همانطور که بیان شد. در این تحقیق به ارزیابی قابلیت اطمینان در شبکه توزیع پرداخته خواهد شد و سپس با استفاده از مفاهیم ناحیه بندی، حالت جزیره ای و نظریه بازی به ارزیابی قابلیت اطمینان و سپس قیمت‌گذاری واحدهای تولید پراکنده بر اساس



بهبود شاخص قابلیت اطمینان صورت خواهد گرفت. قیمت گذاری مورد نظر در تحقیق به صورت ناحیه ای می باشد که مشارکت هر ناحیه در بهبود قابلیت اطمینان شبکه به عنوان شاخصی برای قیمت گذاری مورد استفاده قرار خواهد گرفت. ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه توزیع: برای ارزیابی قابلیت اطمینان در شبکه توزیع روشهای مختلفی از جمله شبیه سازی مونت کارلو و فرآیند حالت مارکوف وجود دارد که روش دوم اخیراً مورد استفاده قرار گرفته است. در روش مورد استفاده ابتدا مفهوم ناحیه بندی تشریح می شود و بر اساس تقسیم بندی شبکه به چند ناحیه و در نظر گرفتن حالت جزیره ای در حضور DG قابلیت اطمینان شبکه توزیع ارزیابی می شود.

نظریه بازی: نظریه بازی یک مدل ریاضی است که در آن به حل مسئله تضاد منافع میان اعضای یک مجموعه می پردازد. به صورت کلی نظریه بازی به دو دسته بازی های رقابتی و مشارکتی قابل تقسیم بندی است. در بازی های رقابتی، بر هم کنش و تعامل عامل های یک مجموعه بین اشخاص یا گروه ها مورد بررسی قرار می گیرد که در این نوع دسته بندی از بازیها، هر یک از عامل ها به دنبال حداکثر کردن عایدی خود از بازی متناسب با رفتار صورت گرفته از عامل های دیگر است. در بازیهای مشارکتی، عامل های حاضر در محیط حاضرند برای افزایش عایدی خود ائتلاف هایی را تشکیل دهند. در این نوع بازیها، مسئله بسیار مهمی که عامل های حاضر در محیط با آن مواجه هستند چگونگی تخصیص عایدی کسب شده است که برای حل این مسئله راه حل های بسیاری در نظریه بازیها مشارکتی معرفی شده اند که در ادامه به بحث در مورد ویژگی های ممکن یک توافق بر تقسیم عادلانه و پایدار که در آن هیچ ائتلافی تمایل و قدرت بر هم زدن آن را نداشته باشد.

۱۰- بررسی اثر واحدهای تولید پراکنده بر شبکه توزیع:

با ورود واحدهای تولید پراکنده به شبکه توزیع، به دلیل اثرگذاری مثبت آنها در کاهش زمان قطعی و مقدار بار قطع شده، هزینه قطعی تحمیلی به شبکه توزیع با کاهش روبرو خواهد شد. در حالت بروز قطعی در خطوط و جدا شدن فیدهای پایین دست از پست فوق توزیع عملاً وظیفه تامین بارهای قطع شده بر دوش واحدهای تولید پراکنده حاضر در ناحیه جدا شده از شبکه توزیع است. لذا برای ترغیب این واحدهای تولیدی به شرکت در بازار و تامین بارهای قطع شده، باید مکانیزمی عادلانه و واضح برای قیمت گذاری به واحدها صورت گیرد تا آنها ظرفیت خود را در دسترس شبکه توزیع قرار دهند.

ناحیه بندی مجازی: با مقایسه قیمت محاسبه شده در بخشهای (۳-۴-۲-۱) و (۳-۴-۲-۱) مشخص می شود که این دو قیمت با یکدیگر برابر نیستند، لذا باید فرآیند یکسان سازی قیمت صورت گیرد. به عنوان یک راه حل، یک مفهوم با عنوان " ناحیه بندی مجازی " پیشنهاد می شود که بر اساس آن شبکه به ناحیه های مختلفی به صورت مجازی تقسیم بندی میشود. این ناحیه بندی صورت گرفته بر اساس کلیدهای جدا کننده در شبکه توزیع تعریف نمی شود بلکه هدف از این ناحیه بندی مجازی یافتن ناحیه بندی خاصی از شبکه است. ولی نکته بسیار مهم آن است که پولی که بین واحدها تقسیم می شود باید بر اساس سهم واقعی آنها در بهبود قابلیت اطمینان و با توجه به ناحیه بندی فیزیکی واقعی شبکه توزیع انجام شود. لذا علاوه بر شرط تساوی قیمت ها، شرط تساوی بار تامین نشده دو حالت فیزیکی و مجازی برقرار باشد.



۱۱- نتیجه گیری

- کاهش حجم محاسبات مربوط به ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه توزیع با استفاده از مفهوم ناحیه بندی بر اساس موقعیت کلیدهای حاضر در شبکه توزیع
- ارائه روشی جدید برای پرداخت پول قابلیت اطمینان به واحدهای تولید پراکنده بر اساس سهم ناحیه‌ها در بهبود قابلیت اطمینان شبکه توزیع با استفاده از فرآیند مارکوف
- صفر کردن اختلاف منفعت دو حالت حضور و عدم حضور ناحیه‌های شبکه توزیع.
- تخصیص سهم واقعی هر ناحیه بر اساس میزان مشارکت در بهبود قابلیت اطمینان شبکه
- افزایش قیمت تخصیص یافته به ناحیه دارای DG ناشی از افزایش ظرفیت DG در ناحیه متناظر. باید بهره برداری از واحدهای خصوصی به گونه ای باشد که علاوه بر تأمین اهداف مالک واحد خصوصی، اهداف شرکت توزیع نیز در نظر گرفته شوند. با توجه به این موضوع، مشوق ها باید به گونه ای تنظیم شوند که علاوه بر در نظر گرفتن سود واحد خصوصی، شاخص های شبکه توزیع نیز بهبود یابند. در یک روش تشویقی برای بهره برداری از واحدهای خصوصی به گونه ای که منجر به کاهش تلفات شوند روشی ارائه می شود. بنابراین در حالت کلی نحوه بهره برداری واحدهای خصوصی برای بهره بردار شبکه نامشخص و همراه با عدم قطعیت است.

۱۲- پیشنهادات

- اضافه کردن ذخیره‌سازهای انرژی و نحوه قیمت‌گذاری آنها.
- بررسی اثر عدم قطعیت بارهای شبکه توزیع.
- تاکنون در کشور نهاد تنظیم مستقل ایجاد نشده است. تأسیس و اداره نهاد تنظیم مستقل از بنگاه‌ها در حال حاضر مجموعه وزارت نیرو و توانیر پیش شرط واگذاری فعالیت‌هاست که باید مد نظر قرار گیرد.
- بررسی اثر حضور واحدهای تولید پراکنده تجدیدپذیر
- بخش تولید در صنعت برق به صورت بالقوه دارای قابلیت فعالیت رقابتی است؛ چرا که امکان مشارکت تعداد زیادی بنگاه که در بازار برق کالای خود را عرضه می‌کنند وجود دارد. ضمن آنکه تولید رقابتی برق مقدمه افزایش کارایی صنعت، ایجاد بازار برق و در نهایت توزیع برق به صورت خصوصی است. پس پیشنهاد می‌گردد مطابق تجارب جهانی، فرایند خصوصی‌سازی با واگذاری نیروگاه‌ها آغاز شده و در ادامه با کسب تجارب در این بخش، واگذاری شرکت‌های توزیع آغاز شود.



منابع

1. G. Pepermans, J. Driesen, D. Haeseldonckx, R. Belmans, and W. D'haeseleer, "Distributed generation: definition, benefits and issues," *Energy policy*, vol. 33, pp. 787-798, 2021.
2. E. A. Farsani, H. A. Abyaneh, M. Abedi, and S. Hosseinian, "A novel policy for Imp calculation in distribution networks based on loss and emission reduction allocation using nucleolus theory," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 31, pp. 143-152, 2021.
3. Y. M. Atwa and E. F. El-Saadany, "Reliability evaluation for distribution system with renewable distributed generation during islanded mode of operation," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 24, pp. 572-581, 2021.
4. S. Favuzza, G. Graditi, M. G. Ippolito, and E. R. Sanseverino, "Optimal electrical distribution systems reinforcement planning using gas micro turbines by dynamic ant colony search algorithm," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 22, pp. 580-587, 2020.
5. M. Simab and M. R. Haghifam, "Quality performance based regulation through designing reward and penalty scheme for electric distribution companies," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 43, pp. 539-545, 2020.
6. R. Billinton and Z. Pan, "Historic performance-based distribution system risk assessment," *IEEE transactions on power delivery*, vol. 19, pp. 1759-1765, 2020.
7. R. Ebrahimi, M. Ehsan, and H. Nouri, "U-shaped energy loss curves utilization for distributed generation optimization in distribution networks , " *Journal of Zhejiang University SCIENCE C*, vol. 14, pp. 887-898, 1399.
8. H. Falaghi and M.-R. Haghifam, "Distributed generation impacts on electric distribution systems reliability: Sensitivity analysis," in *Computer as a Tool*, 1399. EUROCON 2005. The International Conference on, 1399, pp. 1465-1468.

9. K. Shaloudegi, N. Madinehi, S. Hosseinian, and H. A. Abyaneh, "A novel policy for locational marginal price calculation in distribution systems based on loss reduction allocation using game theory," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 27, pp. 811-820, 1398.
10. S. M. M. Larimi, M. R. Haghifam, and K. Alipour, "Reliability improvement assignment to distributed generation in distribution network," 1398.
11. A. Girgis and S. Brahma, "Effect of distributed generation on protective device coordination in distribution system," in Power Engineering, 2001. LESCOPE'01. 2001 Large Engineering Systems Conference on, 20^{۰۱}, pp. 115-119.
12. S. M. Abedi and M. R. Haghifam, "Second revenue stream for distributed generation in the presence of reliability insurance," International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 59, pp. 29-35, 201^۹.
13. Z. Jing, L. Bin, L. Shuiying, L. Zhufeng, and B. Daiyuan, "Islanding algorithm for different type of distributed generators in intelligent distribution system," in Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2014 IEEE PES Asia-Pacific, 201^۴, pp. 1-5.
14. P.-D. Jesus, M. P. De Leão, J. Yusta, H. Khodr, and A. Urdaneta, "Uniform marginal pricing for the remuneration of distribution networks," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 20, pp. 1302-1310, 20^{۰۱}.
15. S. M. Larimi, M. Haghifam, and A. Ghadiri, "Determining the guaranteed energy purchase price for Distributed Generation in electricity distribution networks," Utilities Policy, vol. 41, pp. 118-127, 201^۷.