کنترل هماهنگ بهینه ولتاژ در شبکه‌های توزیع در حضور مولدهای بادی و خورشیدی با درنظر گرفتن عدم قطعیت‌ها

علی‌رضا توکلی*[۱] ، مجید مقامی[۲]

*۱- استادیار،گروه مهندسی برق، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران، a.tavakoli @iauahvaz.ac.ir
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد،گروه مهندسی برق، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز ، ایران، majid.maghami81@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۱۱

چکیده: در دهه اخیر میزان تولیدات پراکنده متصل به شبکه توزیع در حال افزایش است. حضور منابع تولید پراکنده در سیستم‌های توزیع تأثیرات زیادی بر رفتار آن می‌گذارد و لازم است تأثیر این منابع در طراحی شبکه توزیع لحاظ شود. در این تحقیق روش کنترل هماهنگ بهینه ولتاژ (OCVC) با استفاده از مولدهای بادی و خورشیدی با در نظر گرفتن عدم قطعیت مولدها به‌منظور حل مسئله بهینه‌سازی چند هدفه، با هدف حداقل کردن خطای ولتاژ در باس نمونه، تغییرات توان راکتیو و خطای ولتاژ در مولدها ارائه می‌شود. کنترل هماهنگ بهینه ولتاژ از بهینه‌سازی پارتو برای یافتن مقادیر بهینه ولتاژ استفاده می‌کند. این روش با استفاده از ترکیب مولدهای بادی و خورشیدی بر روی شبکه‌های تست ۱۳ و ۳۴ شینه IEEE شبیه سازی شده و عدم قطعیت مولدهای بادی و خورشیدی نیز به‌وسیله روش مونت کارلو مدل‌سازی شده است. نتایج به‌دست آمده مؤثر بودن روش ارائه شده در کنترل ولتاژ و کاهش تلفات را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: کنترل هماهنگ بهینه ولتاژ، منابع تولید پراکنده، بهینه‌سازی پارتو، عدم قطعیت، مونت‌کارلو.

۱- مقدمه

در شبکه‌های توزیع تجهیزات تنظیم‌کننده‌ی ولتاژ و توان راکتیو به صورت غیرمتمرکز، محلی و با فرض کاهش ولتاژ در طول فیدر براساس یک برنامه زمانی از پیش تعیین شده کنترل می‌شوند. این نحوه کنترل احتمال عملکرد ناهماهنگ تجهیزات را افزایش می‌دهد. همچنین افزایش بهره‌برداری از تولیدات پراکنده منجر به تغییر پروفیل ولتاژ و ایجاد اختلال در نحوه عملکرد تجهیزات تنظیم‌کننده ولتاژ می‌گردد. بنابراین لازم است ساختارهای کنترلی به نحوی طراحی شوند، تا اثر این واحدها در فرآیند کنترل درنظرگرفته شود. دراین مقاله روش کنترل هماهنگ بهینه ولتاژ (OCVC) ارائه می‌شود که قادر به هماهنگی نواحی مختلف شبکه از جمله تمام منابع توان اکتیو و راکتیو موجود در شبکه توزیع می‌باشد. سپس مقادیر بهینه به گونه‌ای پیدا می‌شود تا شبکه کمترین تلفات را داشته باشد.

امروزه رشد روزافزون قیمت گاز طبیعی و نفت، کاهش سوخت‌های فسیلی، افزایش گازهای گلخانه‌ای و آلودگی‌های زیست محیطی موجب شده است که استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به‌عنوان منبعی تمیز، نامحدود و سازگار با محیط زیست مورد توجه بیشتری قرارگیرد. همچنین باتوجه به افزایش مصرف انرژی الکتریکی و هزینه مصرف آن نیاز شدیدی به افزایش راندمان تولید، توزیع و مصرف الکتریسیته به‌وجود آمده است. با تحقیقات گسترده‌ای که در زمینه انرژی صورت‌گرفته، یکی از گزینه‌های حل این مشکل حرکت به سمت منابع تولید پراکنده (DG)[۱] به‌ویژه منابع انرژی تجدیدپذیر می‌باشد. اما در بین منابع تولید پراکنده، انرژی بادی و خورشیدی به دلایل فراوانی، دسترسی آسان و سهولت تبدیل شدن به انرژی

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.1.3.4]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 1- Spring 2019

الکتریکی از محبوبیت ویژه‌ای برخوردارند. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های این نوع انرژی‌ها عدم قطعیت خروجی آن‌ها می‌باشد. از این رو باید در برنامه‌ریزی تولید و بهره‌برداری سیستم‌های قدرت این عدم قطعیت‌ها به‌نحو مناسبی درنظرگرفته شوند. سیاست‌گذاران انرژی درآینده امیدوارند انرژی‌های نو سهم به سزایی در تأمین انرژی مورد نیاز بشر داشته باشند. اتصال تولیدات پراکنده به شبکه توزیع منجر به ظهور مشکلات مختلفی در زمینه حفاظت، پایداری، کنترل ولتاژ، کیفیت توان، تلفات و ولتاژ حالت ماندگار می‌گردد. مولدهای پراکنده ممکن است باعث تغییرات ولتاژ در شبکه توزیع شوند و جهت پخش توان را در شبکه توزیع تغییر دهند. افزایش ولتاژ بستگی به مقدار توان اکتیو و راکتیو تزریق شده به‌وسیله آن‌ها دارد و جهت کنترل ولتاژ و توان راکتیو نیاز به روش‌های کنترلی جدیدی می‌باشد [۱].

کنترل هماهنگ ولتاژ (CVC)[۲] در شبکه توزیع، ولتاژ را در باس‌های اصلی تنظیم می‌کند. کنترل هماهنگ به این معنی است که تجهیزات کنترل ولتاژ و توان راکتیو علاوه بر عملکرد محلی، از راه دور با هماهنگی جامع و گسترده کنترل و تنظیم خواهند شد، تا پروفیل ولتاژ و پخش توان راکتیو بهینه‌ای فراهم شود. این‌روش برای حداقل‌کردن تغییرات ولتاژ در باس نمونه که آسیب پذیرترین باس در برابر تغییرات ولتاژ شبکه است از تابع چند هدفه (MO)[۳] استفاده می‌کند. بنابراین مسأله‌ای که باید حل شود، مینیمم‌کردن تغییرات ولتاژ در باس نمونه، توان راکتیو و ولتاژ مولدها می‌باشد سپس حل بهینه‌سازی منجر به مقدار واحدی می‌شود که مصالحه‌ای میان تمام اهداف ایجاد می‌کند. تحقیقات کمی وجود دارد که نواحی مختلف شبکه توزیع را هماهنگ کند و بر استفاده بهتر از توان راکتیو مولدهای پراکنده در شبکه‌های توزیع با بار نامتعادل تمرکز کند. از آنجایی که بیشتر اهداف با همدیگر متناقض بوده اما به‌دست آوردن جواب بهینه‌ای که توابع هدف را کمینه کند امکان‌پذیر است [۲].

مرجع [۳] مسأله کنترل ولتاژ و توان راکتیو در حضور توربین بادی و با استفاده از کنترل محلی و متمرکز انجام شده است. در این مرجع خازن‌های فیدر از طریق کنترل‌کننده محلی نوع ولتاژ کنترل می‌شوند. ولی خازن‌های پست و تپ چنجر قابلیت کنترل از راه دور را داشته و از این طریق براساس پیش‌بینی بار روزانه کنترل می‌شوند. در [۴] کنترل ولتاژ و توان راکتیو در حضور منابع تولید پراکنده مبتنی بر ژنراتور سنکرون صورت گرفته است و فرض بر این است که تمام تجهیزات تنها قابلیت کنترل محلی را دارا می‌باشند. در [۵] یک روش چند سطحی برای مشارکت بهینه مزارع بادی به منظور تعادل توان راکتیو در سیستم توزیع انرژی را مورد بررسی قرار داده‌اند. در این مقاله از روش کنترلی استفاده شده که مزیت اصلی آن مقاوم بودن و عدم تأثیرپذیری در برابر تغییرات ناگهانی سرعت باد می‌باشد. از جمله معایب اصلی این مرجع چند هدفه نبودن تابع هدف می‌باشد.

مرجع [۶] تأثیر بر روی ولتاژ، کاهش تلفات و تعیین اندازه و محل بهینه مولدهای پراکنده را مورد مطالعه قرار داده است. مطابق نتایج به‌دست‌آمده در این مرجع، اندازه و محل نامناسب منابع تولید پراکنده سبب افزایش تلفات توان و ایجاد مشکلات در پروفیل ولتاژ می‌شود. بررسی نتایج صورت گرفته در این مقاله نشان می‌دهد که روش مذکور نتوانسته است هماهنگی در کنترل ولتاژ و تلفات ایجاد کند. در [۷] یک روش کنترل هماهنگ بهینه ولتاژ برای شبکه توزیع در حضور منابع تولید پراکنده را ارائه شد. در این مرجع تابع هدف به‌صورت مجموع سه تابع تغییرات ولتاژ در باس نمونه، تغییرات توان راکتیو و ولتاژ در باس ژنراتور می‌باشد. الگوریتم بهینه‌سازی که در اینجا برای حل مسأله استفاده شده است الگوریتم ژنتیک می‌باشد. نتایج به‌دست‌آمده عملکرد مناسب روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.

مرجع [۸] یک مدل جدید چند هدفه جهت برنامه‌ریزی تولید پراکنده شبکه‌های توزیع با استفاده از روش‌های فازی و بهینه‌سازی ازدحام ذرات برای انتخاب راه‌حل نهایی ارائه کرده است. مدل پیشنهادی سه تابع هدف یعنی ضعف ولتاژ، هزینه‌ها و مشکلات زیست‌محیطی را به حداقل می‌رساند. سطح جریان اتصال‌کوتاه شبکه به‌عنوان محدودیتی درنظرگرفته شده که نمی‌تواند به‌وسیله واحدهای تولید پراکنده فراتر رود. در [۹] روش بهینه‌سازی را جهت تعیین مکان و اندازه بهینه واحدهای تولید پراکنده مورد مطالعه قرار داده است. نتایج به‌دست‌آمده این تحقیق با روش تکرار پخش‌بار مقایسه شده‌است. نتایج نشان می‌دهند اندازه و مکان نامناسب مولدهای پراکنده سبب افزایش تلفات توان و ایجاد مشکلات در پروفیل ولتاژ می‌شود. در [۱۰] مدل دینامیکی احتمالی برای برنامه‌ریزی تولید پراکنده چند هدفه با استفاده از الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب ارائه شد. همچنین تقویت شبکه در حضور عدم قطعیت مولد پراکنده همراه مقادیر بار، توان تولیدی توربین‌های بادی و قیمت بازار برق درنظر گرفته شده است. فرایند برنامه‌ریزی با مسأله تابع دو هدفه مطرح می‌باشد. هدف اول کاهش قیمت نهایی هزینه سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری واحدهای تولید پراکنده است که شامل پرداخت هزینه‌های خرید انرژی از شبکه اصلی و تقویت شبکه می‌باشد. هدف دوم کاهش ریسک فنی تعریف شده است که شامل احتمال نقص بهره‌برداری ایمن محدودیت‌های فنی است. در [۱۱] نصب تپ‌چنجر زیر بار (OLTC)[۴] به‌منظور بهینه‌سازی شبکه هوشمند متناوب را مطرح کرده است. همچنین دراین مرجع تپ‌چنجرهای مختلف ارزیابی شده‌اند. تپ‌چنجر زیر بار در فرمول‌بندی مسأله بهینه‌سازی به‌وسیله محدودیت‌های ولتاژ اضافی و کم‌کردن محدودیت‌هایی در قالب تابع جریمه استفاده می‌شود.

در مرجع [۱۲] روش کنترل هماهنگ بهینه ولتاژ درشبکه توزیع برای حل مسأله بهینه‌سازی چند هدفه با هدف حداقل کردن خطای ولتاژ در باس‌های نمونه، تغییرات توان راکتیو و خطای ولتاژ در ژنراتورها ارائه شد. این مقاله اغتشاشات در شبکه توزیع، مشارکت بهینه توان راکتیو مولد پراکنده در شبکه توزیع نامتعادل، حداقل کردن تلفات و دست‌یابی به اهداف تابع چند هدفه را به‌صورت جداگانه بررسی می‌کند.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.1.3.4]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 1- Spring 2019

امروزه با تولید انبوه و اقتصادی انواع توربین‌های بادی و خورشیدی، استفاده از انرژی‌های بادی و خورشیدی برای تأمین نیاز انرژی ساختمان‌ها و استقلال انرژی آن‌ها و حتی فروش انرژی مازاد آن‌ها به شرکت‌های برق بسیار مورد توجه قرارگرفته است. در این تحقیق روش کنترل هماهنگ بهینه ولتاژ (OCVC)[۵] با استفاده از مولدهای بادی و خورشیدی با درنظر گرفتن عدم قطعیت آن‌ها ارائه خواهد شد که می‌تواند بین نقاط مختلف شبکه از جمله منابع توان اکتیو و راکتیو شبکه توزیع تعادل برقرار کند. برای حل مسأله کنترل هماهنگ بهینه ولتاژ از الگوریتم بهینه‌سازی پارتو[۶] برای حل اهداف گوناگون تابع چند هدفه به‌طور جداگانه استفاده می‌شود و مقادیر بهینه به گونه‌ای پیدا می‌شود که شبکه کمترین تلفات را داشته باشد. لازم به ذکر است که کلیه شبیه‌سازی‌ها در نرم‌افزار MATLAB/SIMULINK صورت می‌گیرد.

در بخش ۲ به بیان مدل‌سازی مسأله عدم قطعیت مولدهای بادی و خورشیدی پرداخته شده است. در بخش ۳ مسأله کنترل هماهنگ ولتاژ در شبکه توزیع مورد بررسی قرار گرفته است. در بخش ۴ به بیان نتایج شبیه‌سازی مولدهای بادی و خورشیدی و عدم قطعیت آن‌ها برای شبکه‌های استاندارد ۱۳ و ۳۴ باس IEEE پرداخته شده است و نتیجه‌گیری از مقاله ارائه شده نیز در بخش ۵ آمده است.

۲- مدل‌سازی عدم‌قطعیت مولدهای بادی و خورشیدی

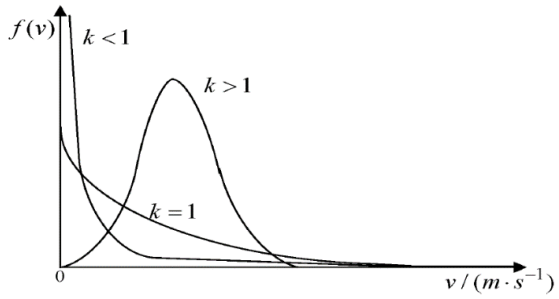
برای بررسی عدم قطعیت انرژی‌های تجدیدپذیر به توزیع احتمالی سرعت باد و تابش خورشید نیاز می‌باشد. به‌منظور درنظرگرفتن عدم قطعیت توان تولیدی واحدهای تجدیدپذیر بادی و خورشیدی در ابتدا توزیع احتمالی سرعت باد و تابش خورشید بررسی می‌شود.جهت بررسی احتمالی تغییرات مقادیر کمیت‌های سرعت باد و تابش خورشید از تابع چگالی احتمال[۷] این متغیرها استفاده می‌شود.

۲-۱- عدم‌قطعیت توان بادی

تابع توزیع ویبول دارای بیشترین کاربرد در عدم قطعیت تولید بادی می‌باشد و در مقالات مدل قابل قبولی برای انرژی باد می‌باشد. در این مقاله نیز از این مدل استفاده شده است. عدم قطعیت توان بادی یکی از مشخصه‌های ذاتی این نوع انرژی می‌باشد. لذا در هنگام بهره‌برداری از این نوع تولیدکننده‌ها درنظر گرفتن عدم قطعیت آنها امری ضروری می‌باشد. عدم قطعیت انرژی بادی اساساً به علت عدم قطعیت سرعت باد در ساعات مختلف می‌باشد. با مطالعه اطلاعات گذشته سرعت باد می‌توان توزیع سرعت باد برای مناطق مختلف را به‌دست آورد. توزیع سرعت باد برای یک منطقه مشخص نشان‌دهنده انرژی باد در دسترس آن منطقه می‌باشد. در نتیجه با به‌دست آوردن توزیع احتمالاتی سرعت باد پتانسیل انرژی باد مشخص می‌شود.آزمایش‌های زیادی نشان داده است که سرعت تصادفی باد از تابع توزیع ویبول پیروی می‌کند. زیرا تابع توزیع ویبول مطابقت بهتری با داده‌های باد دارد و تا حد زیادی مشخصات باد یک منطقه را مدل می‌کند. تابع توزیع احتمالاتی ویبول به‌وسیله رابطه (۱) بیان می‌شود:

$$f(v)=\frac{k}{c^{k}}v^{(k-1)}e^{-(v/c)^{k}},\quad 0\le v\le\infty \qquad (۱)$$

در معادله فوق V سرعت باد (m/s)، K ضریب شکل و C ضریب مقیاس (m/s) است. تابع فوق در شکل (۱) ترسیم شده است [۱۳].



شکل (۱): توزیع ویبول سرعت باد[۱۳]

در نتیجه تابع توزیع احتمال توان خروجی یک واحد بادی به‌صورت معادله (۲) می‌باشد:

$$P_w=\begin{cases}0 & V\le V_{ci}\quad \text{or}\quad V\ge V_{co}\\ p_r.\dfrac{V-V_{ci}}{V_r-V_{ci}} & V_{ci}\le V\le V_r\\ P_r & V_r\le V\le V_{co}\end{cases} \qquad (۲)$$

P_w: توان خروجی توربین بادی (کیلووات)

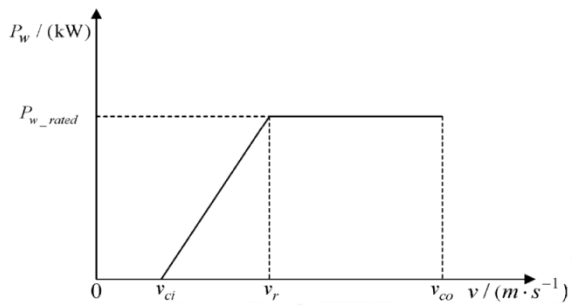
Vci: سرعت وصل توربین بادی یا حداقل سرعت باد (متر بر ثانیه). یعنی کمترین مقدار سرعت بادی که برای سرعت‌های کمتر از آن توربین قادر به تولید برق نمی‌باشد.

V: سرعت باد (متر بر ثانیه)

Vco: سرعت قطع توربین بادی یا حداکثر سرعت باد (متر بر ثانیه). در این سرعت توربین‌های بادی به‌دلیل حفظ ایمنی خاموش می‌شود چون در سرعت‌های بالای باد نیرویی از سوی باد بر پره‌های توربین اعمال و چرخش مناسب پره‌ها جلوگیری می‌کند.

Pr: توان نامی یا توان تثبیت شده (کیلووات)

بنابراین رابطه توان خروجی و سرعت باد مطابق شکل (۲) می‌باشد[۱۳].



شکل (۲): رابطه بین توان خروجی و سرعت باد[۱۳]

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.1.3.4]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 1- Spring 2019

۲-۲- عدم‌قطعیت توان خورشیدی

اغلب شدت تابش به‌عنوان یک عامل اصلی در تولید واحدهای خورشیدی به‌حساب می‌آید. توان خروجی سلول‌های خورشیدی مرتبط با تابش خورشیدی است. بنابراین مدل‌سازی توان خروجی آن به مدل‌سازی تابش خورشیدی بستگی دارد. توان خروجی سلول خورشیدی به‌عنوان تابعی از تابش به‌نام منحنی توان-تابش بیان می‌شود. مراحل تعیین تابع چگالی احتمال تابش خورشید مشابه نحوه تعیین تابع چگالی احتمال سرعت باد می‌باشد با این تفاوت که میزان تابش خورشید در برخی از ساعات شبانه‌روز صفر است و برای این ساعات نیازی به محاسبه تابع چگالی احتمال نمی‌باشد.

بنابراین رابطه بین شدت تابش و توان خروجی به‌صورت زیر می‌باشد:

$$P_s = \begin{cases} P_{s_rated}\frac{s}{s_r}, & 0 \le s \le s_r \\ P_{s_rated}, & s_r \le s \end{cases} \quad (۳)$$

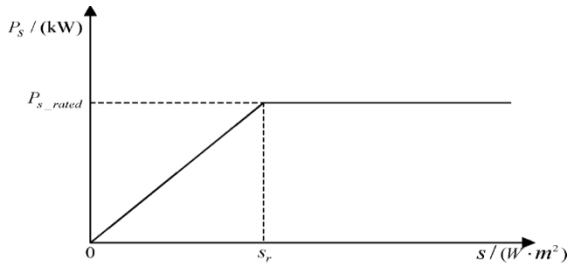
P_s: توان خروجی سلول خورشیدی (کیلووات)

P_{s_rated}: توان نامی سلول خورشیدی (کیلووات)

S: شدت تابش (وات بر مترمربع)

S_r: شدت تابش استاندارد (وات بر مترمربع)

و منحنی توان- تابش آن نیز در شکل (۳) آمده است [۱۴].



شکل (۳): رابطه بین توان خروجی و شدت تابش [۱۴]

۲-۳- مدل‌سازی به روش مونت کارلو

مونت کارلو یکی از روش‌های شبیه‌سازی پرکاربرد می‌باشد.که برمبنای تولید اعداد تصادفی و استفاده از روابط احتمالی جهت مدل‌سازی رفتار سیستم می‌باشد. الگوریتم ارائه شده برای روش مونت کارلو بدین صورت است که پس از تولید تابع چگالی احتمال سرعت باد و تابش خورشید جمعیت اولیه تعیین می‌شود. جمعیت اولیه باید به‌گونه‌ای تعیین شود که همه ذرات در فضای شدنی پاسخ مسأله قرار گیرند. به همین دلیل پس از تولید هر ذره، ابتدا شاخص‌های ولتاژ و تلفات با در نظرگرفتن عدم قطعیت توان تولیدی واحدهای تجدیدپذیر برای آن سناریو محاسبه می‌شود. در صورتی که شاخص ولتاژ و تلفات تعیین شده در فضای شدنی مسئله قرار داشته باشد، این ذره در جمعیت اولیه قرار می‌گیرد و این روند تا زمان تعیین جمعیت اولیه موردنظر ادامه می‌یابد.

۳- مسأله کنترل هماهنگ ولتاژ در شبکه توزیع

ولتاژ در شبکه توزیع در تعدادی از باس‌های انتخاب شده (باس‌های نمونه)، تولید توان راکتیو و تغییرات ولتاژ ژنراتور هم‌گره می‌شوند. هر افزایش یا کاهش ولتاژ در باس‌های نمونه، به‌ترتیب تولید توان راکتیو و ولتاژ ژنراتور را افزایش یا کاهش می‌دهد.

در شبکه‌های توزیع، CVC ولتاژ را در باس‌های نمونه تنظیم می‌کند. در یک فرم ریاضی، مسأله را می‌توان به‌صورت زیر نوشت [۱۵].

$$F_1 = \sum_{i \in P} \lambda_i \left[k\,(V_i^{ref} - V_i) - \sum_{k \in G} C_{i,k}^{V} . \Delta V_k \right]^2 \quad (۴)$$

در رابطه بالا P و G مجموعه شاخص‌های باس نمونه و ژنراتور هستند. Vi^{ref}، V_i و ΔV_k، ولتاژ نقطه تنظیم، ولتاژ واقعی و تغییرات ولتاژ در شین i یعنی اختلاف در مقدار ولتاژ دو گام محاسباتی است. $C^{V}_{i,k}$ ضریب ماتریس حساسیت است که به ترتیب تغییر ولتاژ در شین i و k را به هم مرتبط می‌کند. λ_i و k به ترتیب ضریب وزنی و بهره رگولاتور هستند.

هدف دوم انحراف نسبت تولید توان راکتیو است. در OCVC این موضوع بیانگر مدیریت توان راکتیو DG در یک ناحیه کنترل شده است. این هدف به‌صورت زیر فرمول‌بندی می‌شود [۱۶].

$$F_2 = \sum_{i \in G} \lambda^{q}_{\ i} \left[k\,(q^{ref} - \frac{Q_i}{q_i^{MAX}}) - \sum_{k \in G} C_{i,k}^{V} . \Delta V_k \right]^2 \quad (۵)$$

در رابطه بالا Q_i و Qi^{MAX} به ترتیب توان راکتیو و ماکزیمم توان راکتیو تولید شده در شین i است. q^{ref} مقدار مرجع توان راکتیو در ناحیه کنترل شده است.

کنترل هماهنگ بهینه ولتاژ در شبکه‌های توزیع ولتاژ ژنراتورها را تنظیم می‌کند. مدل ریاضی برای سومین هدف به‌صورت زیر است.

$$F_3 = \sum_{i \in G} \lambda^{v}_{\ i} \left[k\,(V_i^{ref} - V_i) - \Delta V_i \right]^2 \quad (۶)$$

۳-۱- روش کنترل هماهنگ بهینه ولتاژ (OCVC) مورد مطالعه

کنترل هماهنگ بهینه ولتاژ یک روش چند سطحی برای مشارکت بهینه در متعادل کردن توان راکتیو مولد پراکنده متصل به شبکه توزیع ارائه می‌دهد و ضرایب وزنی را به‌صورت دینامیکی براساس مقدار ولتاژ درباس نمونه، مقدار ولتاژ درباس ژنراتور و مقدار توان راکتیو موجود تنظیم می‌کند. کنترل هماهنگ بهینه ولتاژ از روش بهینه‌سازی پارتو برای پیدا کردن بهترین ضرایب استفاده می‌کند و وزن‌ها را براساس دسترس پذیری منابع در شبکه تغییر می‌دهد [۱۲و۱۸].

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.1.3.4]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 1- Spring 2019
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

۳-۲- مراحل کنترل ولتاژ در روش OCVC

برای انجام کنترل ولتاژ لازم است که حلقه کنترلی به‌ازای هر بازه محاسبات شبکه تکرار شود. در هر بار اجرای الگوریتم کنترلی مراحل زیر انجام می‌شود [۱۷]:

۱ - محاسبات پخش بار شبکه توزیع باتوجه به توپولوژی تعریف شده برای شبکه.

۲ - در صورتی که پس از انجام محاسبات شبکه، ولتاژ باس نمونه در محدوده مجاز قرار نداشته باشد، الگوریتم OCVC فعال می‌شود. در غیر این صورت مرحله ۶ ادامه می‌یابد.

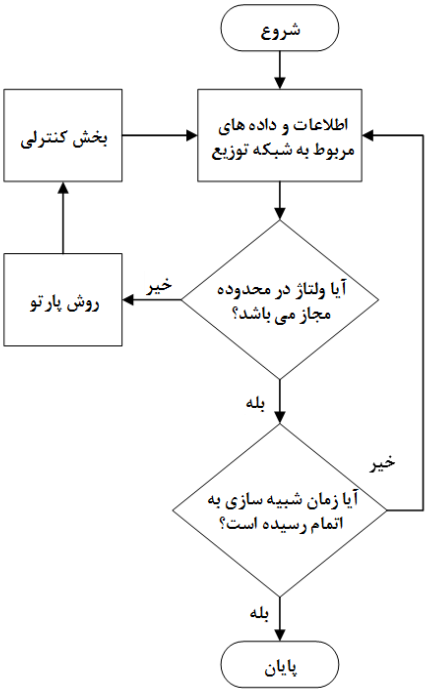
۳ - توابع هدف F_1، F_2 و F_3 که به ترتیب خطای ولتاژ باس نمونه، تغییرات توان راکتیو و تغییرات ولتاژ مولدهای پراکنده را نشان می‌دهند، محاسبه و بهینه‌سازی می‌شوند. از آنجا که مسأله دارای سه تابع هدف است از بهینه‌سازی پارتو برای پیدا کردن مجموعه نقاط بهینه پارتو استفاده می‌شود.

۴ - از یک الگوریتم بهینه برای تصمیم‌گیری درباره ضرایب وزنی توابع هدف استفاده می‌شود. با مشخص شدن این ضرایب وزنی، نقطه بهینه از بین مجموعه نقاط بهینه پارتو انتخاب می‌شود.

۵ - با داشتن ولتاژ مرجع، ولتاژ بهینه تپ‌چنجر که ابزار کنترلی این روش است محاسبه می‌شود.

۶ - پس از اعمال کنترل بر روی ولتاژ و توان راکتیو (در صورت لزوم) شبیه‌سازی برای زمان محاسباتی بعدی انجام می‌گیرد. برای این منظور مراحل محاسبه و کنترل از مرحله ۱ مجدداً آغاز می‌شود.

شکل(۴) فلوچارت روش مورد استفاده در این تحقیق که مطابق مراحل فوق بوده را نشان می‌دهد.



شکل (۴): فلوچارت الگوریتم ارائه شده در مقاله

لازم به ذکر می‌باشد که روش بهینه‌سازی پارتو[۸]، تابع چند هدفه را به‌صورت جداگانه حل می‌کند. هدف آن پیدا کردن و مقایسه راه‌حل‌های قابل‌قبول و ارائه آن‌ها به تصمیم‌گیرندگان(بهره برداران) است که در بین آن‌ها راه‌حل نهایی را انتخاب می‌کنند.

۳-۳- قیود بهینه‌سازی

قیود مسأله کنترل هماهنگ ولتاژ در شبکه‌های توزیع، مسائل فنی و اقتصادی را در شبکه توزیع درنظر گرفته‌اند. در این مسأله مهم‌ترین قیود عبارت‌اند از: قید حدود ولتاژ، ، قید توان راکتیو و قید وزن‌ها [۱۸].

۳-۴- قیود ولتاژ

بهره برداری مناسب از سیستم‌های توزیع مستلزم ثابت نگه داشتن پروفیل ولتاژ باس‌های شبکه می‌باشد.

قیود ولتاژ در باس‌های ژنراتور و نمونه برای تعیین مقادیر عملکرد ایمن استفاده می‌شود. در شبکه‌های توزیع یک محدوده ولتاژ پایدار قابل‌قبول درنظر گرفته می‌شود [۱۷].

$$|V_i| \le \Delta V_i^{MAX} \quad for\ i \in G \qquad (۷)$$

۳-۵- قیود توان راکتیو

در این مسأله، کنترل تولید توان راکتیو بسیار مهم است بنابراین می‌توان تابع زیر را تعریف نمود.

$$q^{ref} = \frac{\sum_{i \in G} Q_i}{\sum_{i \in G} Q_i^{MAX}} \qquad (۸)$$

Where $|Q_i| \le Q_i^{MAX}$

۳-۶- قیود وزن‌ها

وزن اهداف به دلیل اینکه بیانگر اولویت اهداف بوده و به شرایط کاری وابسته هستند، اهمیت دارند. رابطه این وزن‌ها به‌صورت زیر توصیف می‌شود:

$$\lambda_i + \lambda_i^q + \lambda_i^v = 1 \qquad (۹)$$

مسأله بهینه‌سازی ۱ تا ۶ از یک پروفیل ولتاژ بهینه در شبکه توزیع اطمینان می‌دهد. حل بهینه‌سازی منجر به مقدار واحدی می‌شود که بیانگر مصالحه در بین تمام اهداف است.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.1.3.4]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 1- Spring 2019

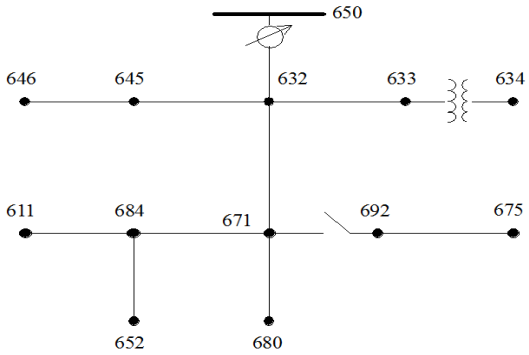
۴- نتایج شبیه‌سازی

در این مقاله مولدهای بادی و خورشید به‌صورت ترکیبی و همزمان و هم‌چنین بار سه فاز متعادل به سیستم متصل می‌شوند. این دو منبع توسط توابع احتمالیشان مدل‌سازی شده‌اند و حال عدم قطعیت ورود این منابع به شبکه به روش مونت کارلو مورد بررسی قرار می‌گیرد. جهت شبیه‌سازی مولدهای بادی و خورشیدی در این مقاله از اطلاعات باد منطقه لوتک زابل [۱۹] و اطلاعات تابش خورشید ایالت کلیفرنیای آمریکا [۲۰] استفاده شده است. هدف در این شبیه‌سازی این است که آیا در این حالت و با حضور سیستم کنترلی همگرایی حاصل می‌شود یا خیر. در واقع اگر همگرایی در تعداد سناریوهای مختلف حاصل شد آنگاه می‌توان گفت که سیستم مذکور و روش کنترلی در برابر عدم قطعیت منابع بادی و خورشیدی به‌خوبی عمل کرده‌اند.

به منظور بررسی عملکرد و مؤثر بودن روش پیشنهادی بر روی دو شبکه استاندارد ۱۳ و ۳۴ باس IEEE پیاده‌سازی شده است. برای مطالعه رفتار کنترلر در برابر تغییرات ولتاژ در هر شبکه، مولدهای بادی و خورشیدی و یک بار سه‌فاز نامتعادل در سناریوهای مختلف به شبکه اضافه شده و تغییرات پروفیل ولتاژ، تلفات توان اکتیو و تلفات توان راکتیو و واکنش کنترلر به آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

۴-۱- نتایج شبکه استاندارد ۱۳ باس IEEE

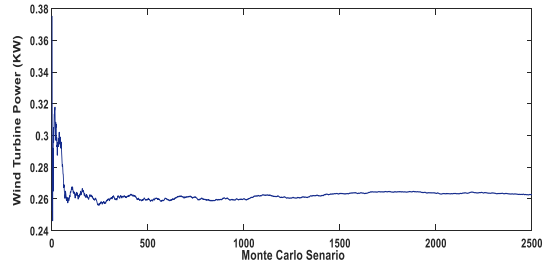
شبکه توزیع ۱۳ باس IEEE دارای سطح ولتاژ توزیع ۴,۱۶ کیلوولت در بیشتر باس‌های خود است. توپولوژی این شبکه، محل باس نمونه، مقدار بار نامتعادل باس‌ها و همچنین محل OLTC در شکل (۵) نمایش داده شده است. مشخصات شبکه استاندارد ۱۳ باس مطابق جداول (۱) و (۲) می‌باشد.



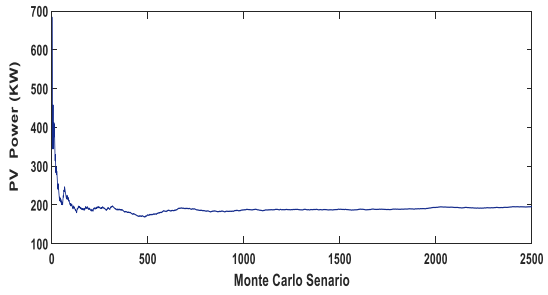
شکل (۵): شبکه استاندارد ۱۳ باس IEEE [۱۲]

دو مولد بادی و خورشیدی به‌ترتیب با ظرفیت‌های ۳۸۰ کیلووات و ۷۰۰ کیلووات به‌صورت ترکیبی و همزمان به باس ۶۷۵ در لحظه شروع شبیه‌سازی وارد می‌شود. سپس یک بار سه‌فاز نامتعادل به مقدار ۱۲۰۰ کیلووات و ۸۰۰ کیلووار در باس نمونه (باس ۶۷۱) به منظور بررسی اغتشاشات شبکه توزیع در سناریوهای مختلف به شبکه اضافه می‌شود.

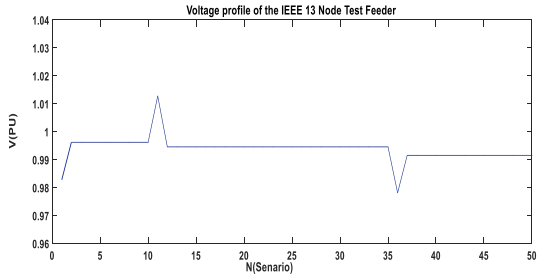
شکل‌های (۶) و(۷) به‌ترتیب توان توربین بادی و خورشیدی در طی سناریوهای مختلف روش مونت کارلو را نشان می‌دهد که تقریباً پس از ۲۵۰۰ مرحله سیستم همگرا می‌شود. در اینجا ۲۵۰۰ سناریو تولید می‌شود که در هریک مقدار وزش باد و نیز میزان تابش خورشید مشخص می‌شوند. انتخاب تعداد سناریوهای بیشتر منجر به دقت بیشتری خواهد شد اما حجم محاسبات را افزایش می‌دهد. همچنین شکل‌های (۸)، (۹) و(۱۰) به‌ترتیب منحنی‌های مربوط به پروفیل ولتاژ، تلفات توان اکتیو و راکتیو با بررسی عدم قطعیت مولدهای بادی و خورشیدی برای شبکه ۱۳ باس را نشان می‌دهد.



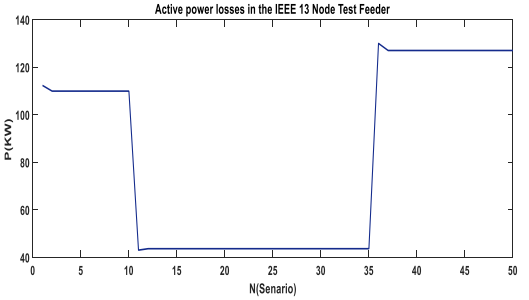
شکل (۶): توان توربین بادی در سناریوهای مختلف روش مونت کارلو (شبکه ۱۳ باس)



شکل (۷): توان منبع خورشیدی در سناریوهای مختلف روش مونت کارلو (شبکه۱۳ باس)

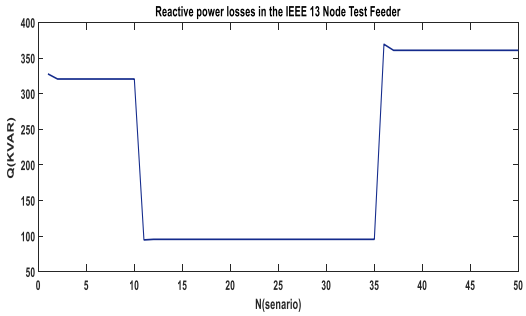


شکل (۸): همگرایی پروفیل ولتاژ با در نظرگرفتن عدم قطعیت (شبکه ۱۳ باس)



شکل (۹): همگرایی تلفات توان اکتیو با در نظرگرفتن عدم قطعیت (شبکه ۱۳ باس)

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.1.3.4]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 1- Spring 2019
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

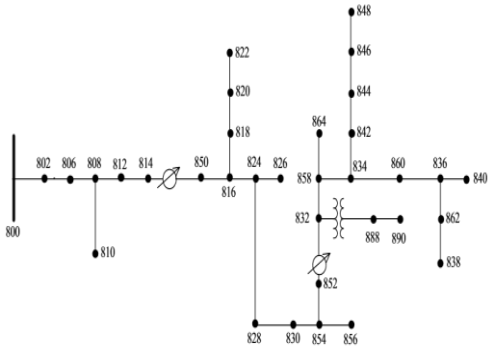


شکل (۱۰): همگرایی تلفات توان راکتیو با در نظرگرفتن عدم قطعیت (شبکه ۱۳ باس)

همان‌گونه که مشاهده می‌شود تلفات اکتیو در روش OCVC به‌دلیل مدیریت بهینه توان راکتیو در شبکه کمتر است. زیرا در این مورد OCVC به‌صورت بهینه تحویل توان راکتیو را برای کاهش تلفات هماهنگ می‌کند. مطابق نتایج به‌دست آمده مقادیر ولتاژ با استفاده از روش OCVC کمترین تغییرات را در اثر اغتشاشات و ورود و خروج مولدهای پراکنده در شبکه نشان می‌دهند. این عملکرد سلسله مراتبی در تلفات اکتیو و راکتیو نیز صدق می‌کند و باعث کاهش تلفات اکتیو و راکتیو در سیستم شده است.

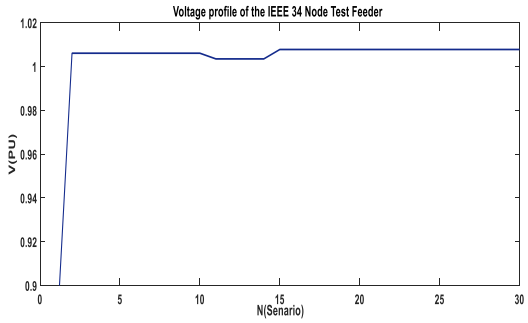
۴-۲- نتایج شبکه استاندارد ۳۴ باس IEEE

شبکه توزیع ۳۴ باس IEEE دارای دو سطح ولتاژ توزیع ۴,۱۶ و ۲۴,۹ کیلوولت در باس‌های خود است. توپولوژی این شبکه، محل باس نمونه، مقدار بار نامتعادل باس‌ها و همچنین محل OLTC در شکل (۱۱) نمایش داده شده است. مشخصات شبکه استاندارد ۳۴ باس مطابق جداول (۳) و (۴) می‌باشد.

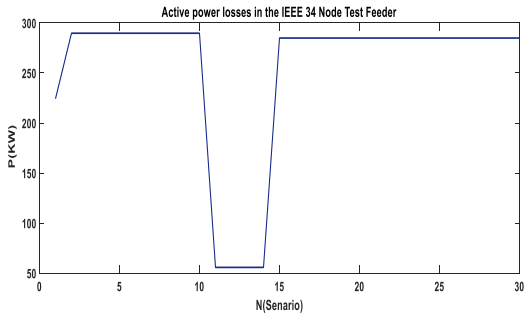


شکل (۱۱): شبکه استاندارد ۳۴ باس [۱۷]

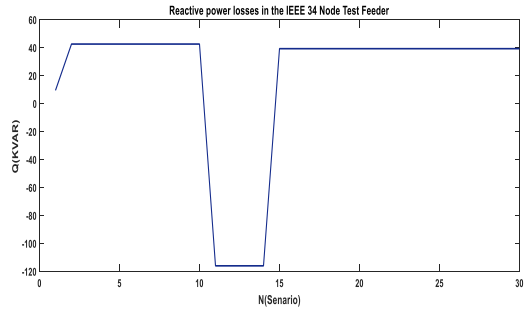
نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی رفتار کنترلر در این شبکه در سناریوهای مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد. لازم به ذکر می‌باشد که برای مطالعه رفتار کنترلر در برابر تغییرات ولتاژ، مولدهای بادی و خورشیدی به‌ترتیب با ظرفیت‌های ۳۲۰ کیلووات و ۷۰۰ کیلووات و به‌صورت ترکیبی و همزمان در ابتدا با نصف ظرفیت، سپس با تمام ظرفیت در باس شماره ۸۴۴ وارد می‌شود. همچنین در ادامه یک بار سه‌فاز نامتعادل به مقدار ۱۰۰۰ کیلووات و ۶۶۶ کیلووار در باس ۸۳۲ به شبکه اضافه می‌شود. در OCVC تغییر ولتاژ را می‌توان به‌وسیله توان راکتیو خروجی منابع تولید پراکنده کنترل کرد. هم‌چنین تأثیر منابع تولید پراکنده بر روی تلفات بستگی به اندازه و محل مولدهای پراکنده دارد. هم‌چنین شکل (۱۲) منحنی مربوط به پروفیل ولتاژ شبکه ۳۴ باس را نشان می‌دهد که ولتاژ شبکه با ورود واحدهای تجدیدپذیر در محدوده مجاز و قابل قبول قرار دارد. شکل‌های (۱۳) و (۱۴) منحنی‌های تلفات اکتیو و راکتیو شبکه ۳۴ باس را نشان می‌دهد که اضافه شدن مولدهای بادی و خورشیدی باعث کاهش تلفات در شبکه توزیع شده است. شکل (۱۵) توان توربین بادی شبکه ۳۴ باس با در نظرگرفتن عدم قطعیت را نشان می‌دهد که در سناریو ۲۵۰۰ به مقدار توان خروجی ۲۶۵ کیلووات رسیده است. شکل (۱۶) توان واحد خورشیدی با وجود عدم قطعیت می‌باشد که در سناریو ۲۵۰۰ به مقدار توان خروجی ۲۰۰ کیلووات رسیده است.



شکل (۱۲): همگرایی پروفیل ولتاژ با در نظرگرفتن عدم قطعیت (شبکه ۳۴ باس)

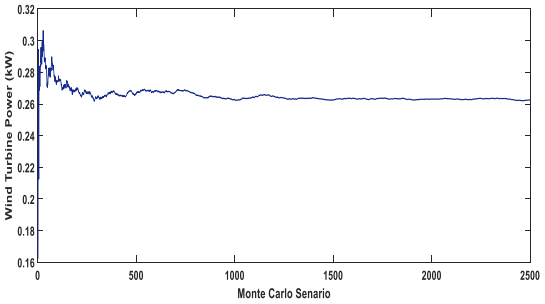


شکل (۱۳): همگرایی تلفات توان اکتیو با در نظرگرفتن عدم قطعیت (شبکه ۳۴ باس)

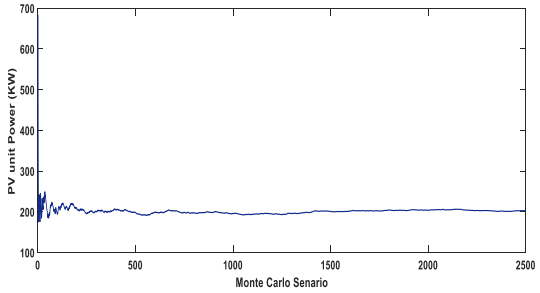


شکل (۱۴): همگرایی تلفات توان راکتیو با در نظرگرفتن عدم قطعیت (شبکه ۳۴ باس)

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.1.3.4]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 1- Spring 2019
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]



شکل (۱۵): توان توربین بادی در سناریوهای مختلف روش مونت کارلو (شبکه ۳۴ باس)



شکل (۱۶): توان منبع خورشیدی در سناریوهای مختلف روش مونت کارلو (شبکه۳۴باس)

همان‌گونه که مشاهده می‌شود در شبکه ۳۴ باس نیز سیستم مذکور همگرایی خود را حفظ کرده است و منحنی‌های مربوط به آن مشابه حالتی است که عدم قطعیت وجود ندارد. ورود مولدهای بادی و خورشیدی به شبکه نیز باعث کاهش تلفات اکتیو و راکتیو و بهبود پروفیل ولتاژ در شبکه توزیع شده است. لازم به ذکر است که عدم قطعیت در منابع به‌طور کلی سبب افزایش تلفات توان در سیستم قدرت می‌شود که با توجه به‌اینکه در این‌جا بسیار ناچیز است روش کنترل هماهنگ بهینه ولتاژ در شبکه توزیع و هم‌چنین ترکیب واحدهای بادی و خورشیدی باعث کاهش عدم قطعیت منابع مذکور در شبکه شده است.

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق روش کنترل هماهنگ بهینه ولتاژ براساس مرز پارتو ارائه شد که برای بهینه‌سازی چند هدفه مسأله ولتاژ استفاده شده است. این روش به‌عنوان یک بهینه‌سازی چند سطحی با مشارکت توان اکتیو و راکتیو تولیدات پراکنده متصل به شبکه توزیع ارائه شد. برای این منظور از روش مرز پارتو به منظور حل تمام سه هدف مختلف مسأله چند هدفه به‌صورت جداگانه با وزن‌های دینامیکی استفاده شد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که روش OCVC تمام مسائل مربوط به ولتاژ از جمله اضافه ولتاژ منابع تولید پراکنده را برطرف می‌کند و پروفیل ولتاژ شبکه توزیع در یک محدوده ثابت در اطراف مقادیر مرجع باقی می‌ماند. همچنین OCVC می‌تواند یک روش مؤثر برای کاهش یا حذف سرمایه‌گذاری‌های آینده در تنظیم کلاسیک توان راکتیو و ولتاژ باشد. نتایج نشان می‌دهد که کنترل هماهنگ بهینه ولتاژ منابع تولید پراکنده در شبکه توزیع باعث بهبود پروفیل ولتاژ و حفظ آن در محدوده مجاز و کاهش تلفات می‌شود. هم‌چنین بررسی نتایج نشان می‌دهد درنظر گرفتن مسأله عدم قطعیت در سیستم مورد مطالعه موجب می‌شود نتایج به‌دست آمده به واقعیت نزدیک‌تر باشد و بتوان از خروجی‌های نتایج در شرایط واقعی نیز استفاده کرد. همچنین استفاده از مولدهای بادی و خورشیدی به صورت ترکیبی باعث کاهش عدم قطعیت منابع بادی و خورشیدی می‌شود.

ضمایم

اطلاعات شبکه های ۱۳ و ۳۴ باسه

جدول (۱): اطلاعات خطوط بین باس‌های شبکه ۱۳ باس [۱۲]

طول (فوت)	گره B	گره A
۵۰۰	۶۴۵	۶۳۲
۵۰۰	۶۳۳	۶۳۲
۰	۶۳۴	۶۳۳
۳۰۰	۶۴۶	۶۴۵
۲۰۰۰	۶۳۲	۶۵۰
۸۰۰	۶۵۲	۶۸۴
۲۰۰۰	۶۷۱	۶۳۲
۳۰۰	۶۸۴	۶۷۱
۱۰۰۰	۶۸۰	۶۷۱
۰	۶۹۲	۶۷۱
۳۰۰	۶۱۱	۶۸۴
۵۰۰	۶۷۵	۶۹۲

جدول (۲): اطلاعات بارهای شبکه۱۳ باس [۱۲]

گره	فاز ۱ kW	فاز ۱ kVAr	فاز ۲ kW	فاز ۲ kVAr	فاز ۳ kW	فاز ۳ kVAr
۶۳۴	۱۶۰	۱۱۰	۱۲۰	۹۰	۱۲۰	۹۰
۶۴۵	۰	۰	۱۷۰	۱۲۵	۰	۰
۶۴۶	۰	۰	۲۳۰	۱۳۲	۰	۰
۶۵۲	۱۲۸	۸۶	۰	۰	۰	۰
۶۷۱	۳۸۵	۲۲۰	۳۸۵	۲۲۰	۳۸۵	۲۲۰
۶۷۵	۴۸۵	۱۹۰	۶۸	۶۰	۲۹۰	۲۱۲
۶۹۲	۰	۰	۰	۰	۱۷۰	۱۵۱
۶۱۱	۰	۰	۰	۰	۱۷۰	۸۰
مجموع	۱۱۵۸	۶۰۶	۹۷۳	۶۲۷	۱۱۳۵	۷۵۳

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.1.3.4]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 1- Spring 2019

جدول (۳): اطلاعات خطوط بین باس‌های شبکه ۳۴ باس [۱۲]

طول (فوت)	گره B	گره A
۲۵۸۰	۸۰۲	۸۰۰
۱۷۳۰	۸۰۸	۸۰۲
۳۲۲۳۰	۸۱۰	۸۰۶
۵۸۰۴	۸۱۲	۸۰۸
۳۷۵۰۰	۸۱۴	۸۰۸
۲۹۷۳۰	۸۵۰	۸۱۲
۱۰	۸۱۸	۸۱۴
۱۷۱۰	۸۲۴	۸۱۶
۱۰۲۱۰	۸۲۰	۸۱۶
۴۸۱۵۰	۸۲۲	۸۱۸
۱۳۷۴۰	۸۲۶	۸۲۰
۳۰۳۰	۸۲۸	۸۲۴
۸۴۰	۸۳۰	۸۲۸
۵۲۰	۸۵۴	۸۳۰
۴۹۰۰	۸۵۸	۸۳۲
۰	۸۸۸	۸۳۲
۲۰۲۰	۸۶۰	۸۳۴
۲۸۰	۸۴۲	۸۳۴
۸۶۰	۸۴۰	۸۳۶
۲۸۰	۸۶۲	۸۳۶
۱۳۵۰	۸۴۴	۸۴۲
۳۶۴۰	۸۴۶	۸۴۴
۵۳۰	۸۴۸	۸۴۶
۳۱۰	۸۱۶	۸۵۰
۳۱۰	۸۳۲	۸۵۲
۲۳۳۳۰	۸۵۶	۸۵۴
۱۰۵۶۰	۸۹۰	۸۸۸

جدول (۴): اطلاعات بارهای شبکه استاندارد ۳۴ باس [۱۲]

گره	فاز ۱ kW	فاز ۱ kVAr	فاز ۲ kW	فاز ۲ kVAr	فاز ۳ kW	فاز ۳ kVAr
۸۶۰	۲۰	۱۶	۲۰	۱۶	۲۰	۱۶
۸۴۰	۹	۷	۹	۷	۹	۷
۸۴۴	۱۳۵	۱۰۵	۱۳۵	۱۰۵	۱۳۵	۱۰۵
۸۴۸	۲۰	۱۶	۲۰	۱۶	۲۰	۱۶
۸۹۰	۱۵۰	۷۵	۱۵۰	۷۵	۱۵۰	۷۵
۸۳۰	۱۰	۵	۱۰	۵	۲۵	۱۰
مجموع	۳۴۴	۲۲۴	۳۴۴	۲۲۴	۳۵۹	۲۲۹

مراجع

[1] Theo, Wai Lip, et al.; "Review of distributed generation (DG) system planning and optimisation techniques: Comparison of numerical and mathematical modelling methods. "Renewable and Sustainable Energy Reviews 67,pp.531-573, 2017.

[2] Ahmed, Musse Mohamed, and W. L. Soo.; "Supervisory control and data acquisition system (scada) based customized remote terminal unit (rtu) for distribution automation system. " Power and Energy Conference, 2008. PECon 2008. IEEE 2nd International. IEEE, 2008.

[3] Ebrahimi A, Ahmadian M, Shivaie M, Ghoubadi M.; "Real time volt & var controls in distribution networks considering distributed generation by imperialist competitive algorithm and fuzzy theory". JEM, 2011.

[4] El-Ela, AA Abou, Sm M. Allam, and M. M. Shatla.; "Maximal optimal benefits of distributed generation using genetic algorithms. " Electric Power Systems Research 80.7, pp.869-877,2010.

[5] Moradi, Mohammad Hasan, and M. Abedini.; "A combination of genetic algorithm and particle swarm optimization for optimal DG location and sizing in distribution systems. " International Journal of Electrical Power & Energy Systems 34.1,pp.66-74 ,2012.

[6] Agalgaonkar, Yashodhan P., Bikash C. Pal, and Rabih A. Jabr.; "Distribution voltage control considering the impact of PV generation on tap changers and autonomous regulators. " IEEE Transactions on Power Systems 29.1,pp.182-192, 2014.

[7] Richardot, Olivier, et al.; "Coordinated voltage control in distribution networks using distributed generation. " Transmission and Distribution Conference and Exhibition, 2005/2006 IEEE PES, 2006.

[8] Habibi, A.; Nayeripour, M.; Aghaei, J.; "Secure multi-objective distributed generation planning in distribution network",21st Iranian conference on electrical engineering, pp.1– 6,2013.

[9] Anwar, A.; Pota.; HR.; "Loss reduction of power distribution network using optimum size and location of distributed generation",21stAustralasian universities power engineering conference (AUPEC), pp. 1–6,2011.

[10]Soroudi, A.; Caire, R.; Hadjsaid, N.; Ehsan, M.; "Probabilistic dynamic multi-objective model for renewable and non-renewable distributed generation planning", IET Gener Transm Distrib,No.5, pp.1173–82,2011.

[11]Nijhuis, M.; M, Gibescu.; J, F.; G, Cobben.; "Incorporation of on-load tap changer transformers in low-voltage network planning", PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe),2016.

[12]José Raúl, Castro.; Maarouf, Saad.; Serge, Lefebvre.; Dalal , Asber.; Laurent, Lenoir.; "Optimal voltage control in distribution network in the presence of DGs", International Journal of Electrical Power & Energy Systems,No. 78, pp. 239-247,2016

[۱۳] میلاد غلامی فرد، نیما امجدی، حسین شریف‌زاده. «پخش بار بهینه احتمالاتی به‌منظور تعیین قیمت‌های حاشیه‌ای محلی در حضور تولید بادی»، مدل‌سازی در مهندسی،۱۸۲-۱۶۵، ۱۳۹۶.

[14] " Stochastic Planning of Renewable Energy sources and Demand Response in a Stand-alone Microgrid Under Uncertainties", Quarterly Journal of Energy Policy and Planning Research.;2018,pp.29-56

[15] Viawan, Ferry A., and Daniel Karlsson.; "Voltage and reactive power control in systems with synchronous machine-

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.1.3.4]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 1- Spring 2019
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

based distributed generation. “ IEEE Transactions on Power Delivery 23.2,pp.1079-1087, 2008.

[16] Ouyang, Wu, et al.; “Distribution network planning method considering distributed generation for peak cutting. “ Energy Conversion and Management 51.12,pp.2394-2401, 2010.

[17] Saravanakathir, B., and R. M. Sasiraja.; “Optimal Coordinated Voltage Control Method for Distribution Network in Presence of Distributed Generators. “ International Journal of Engineering Science 12117, 2017.

[18] Saini, Sunaina, and Gagandeep Kaur.; “Real power loss reduction in distribution network through Distributed Generation integration by implementing SPSO. “ Electrical Power and Energy Systems (ICEPES), International Conference on. IEEE, 2016.

[۱۹] محمد ساتکین، «تحلیل رژیم باد و مدل‌سازی یک نیروگاه بادی ۵۰۰ مگاواتی در منطقه لوتک زابل»، بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق ،تهران ، شرکت توانیر ، پژوهشگاه نیرو، ۱۳۸۸.

[20] “Optimal placement of solar power plants in Distribution Network for Improvement of loss and Reliability using Multi-objective particle Swarm Optimization Method“ ,pp.46-54, 2016

رزومه

علی‌رضا توکلی در اهواز متولد شده است (۱۳۶۳). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق – قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب (۱۳۸۵)، کارشناسی ارشد مهندسی برق – قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول (۱۳۸۸) و دکتری مهندسی برق – قدرت از دانشگاه شیراز (۱۳۹۵) سپری کرده است. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه دینامیک سیستم‌های قدرت و کنترل ماشین‌های الکتریکی است و در حال حاضر استادیار گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز می‌باشد.

مجید مقامی در شوشتر متولد شده است (۱۳۶۰). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق – قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر (۱۳۸۴) و از سال ۱۳۹۴ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق – قدرت در گروه مهندسی برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز می‌باشد. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه پست‌های برق فشار قوی و بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت است و در حال حاضر کارشناس بهربرداری پست برق ۴۰۰ کیلوولت شوشتر در شرکت برق منطقه‌ای خوزستان می‌باشد.

زیرنویس‌ها

۱ Distributed Generation

۲ Coordinated Voltage Control

۳ Multi-Objective

۴ On Load Tap Changer

۵ Optimal Coordinated Voltage Control

۶ Pareto Optimization

۷ Probability Density Function

8 Pareto Front

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.1.3.4]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 1- Spring 2019

Optimal Coordinated Voltage Control in Distribution Networks in presence of Solar and Wind Power Plants Considering Uncertainties

Alireza Tavakoli[1*], Majid Maghami[2]

*1-Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran, a.tavakoli@iauahvaz.ac.i

2- MSc Student, Department of Electrical Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

Abstract: In the last decade, the amount of distributed generation connected to the distribution network is increasing. The presence of distributed generation resources in distribution systems has a great influence on its behavior and it is necessary to consider the impact of these resources on the distribution network design. In this study, Optimal Coordinated Voltage Control (OCVC) using wind and solar power plants considering uncertainty of generators for solving multi-objective optimization problem, with the aim of minimizing voltage error in pilot bus, reactive power variations and voltage error in generators is presented. Optimal Coordinate Voltage Control uses Pareto optimization to find the optimal voltage. This method is performed using a combination of wind and solar power plants on the IEEE 13-bus and 34-bus test networks and the uncertainty of solar and wind power plants is also modeled by the Monte Carlo method. The obtained results show the effectiveness of proposed method in controlling voltage and reducing losses.

Keywords: Optimal Coordinated Voltage Control, Distributed generation, Pareto optimization, Uncertainty, Monte Carlo method.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.1.3.4]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 1- Spring 2019
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]