

constech international network
on virtual universities
CINVUAvicenna International
Community College LLC

تأثیر نفوذ منابع تولید پراکنده بر پایداری ولتاژ در شبکه توزیع نامتعادل با در نظر گرفتن مدل بار در فیدر دوآب چالوس با استفاده از الگوریتم PSO

علی معصومی میری^۱، میلاد سنایی^۲، حمید ملکی زاده^۳

۱- شرکت توزیع نیروی برق غرب مازندران

۲- موسسه آموزش عالی علامه حلی چالوس

۳- موسسه آموزش عالی علامه حلی چالوس

چکیده

پایداری استاتیکی ولتاژ به عنوان یکی از مسائل اصلی برای شناسایی اولیه قبل از فروپاشی ولتاژ در سیستم های توزیع در نظر گرفته میشود. تغییرات سریع و انواع بارها در شبکه های توزیع تأثیر قابل توجهی بر حداکثر قابلیت بارگذاری در کل سیستم خواهد داشت. در این مقاله، یک شاخص پایداری ولتاژ اصلاح شده با توجه به واحدهای تولید پراکنده به همراه مدل بار دو لایه ارائه شده است. در ادامه نشان داده شده است که سطح نفوذ DG می تواند بر قابلیت بارگذاری سیستم و همچنین بهبود عملکرد ولتاژی سیستم تأثیر بگذارد. نتایج شبیه سازی روی فیدر تست استاندارد اصلاح شده ۱۳ با سه چالوس دقت روش مطالعات و محدودیت های توانایی بار در سیستم را با در نظر گرفتن سطح نفوذ بالای واحدهای تولید پراکنده نشان می دهد.

واژگان کلیدی: شاخص پایداری ولتاژ اصلاح شده، حداکثر قابلیت بارگذاری، سطح نفوذ تولید پراکنده،

مدل سازی بار

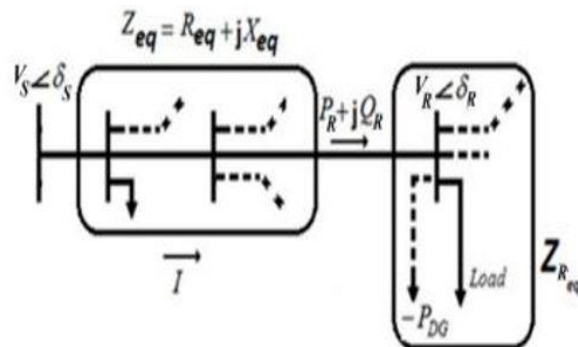


۱ مقدمه

مقالات امروزه سیستم‌های توزیع به دلیل افزایش تقاضای بار، حل مشکلات زیست محیطی و توسعه ساختارهای DG فعلی، با سطح نفوذ بالای تولیدات پراکنده (DGs) مواجه شده اند. از جمله مزایای نفوذ منابع پراکنده در شبکه برق می توان به: کاهش تلفات، بهبود پایداری ولتاژ، کیفیت توان و بهبود امنیت شبکه اشاره کرد. برای دستیابی به این مزایا، مکان یابی و اندازه منابع تولید پراکنده توسط بسیاری از محققین مورد توجه قرار گرفته است [۱-۲]. همچنین برخی از محققان نشان دادند که وجود DGها منجر به کاهش صورتحساب برق مصرف کننده می شود، از این رو، از نظر مالی و اقتصادی، نفوذ DG توصیه می شود [۳]. موضوع مطالعات پایداری ولتاژ در سیستم های توزیع برق به دلیل رشد سریع استفاده از منابع تولید پراکنده و همچنین نسبت R به X بالا در فیدرهای توزیع اهمیت بیشتری پیدا می کند که می تواند منجر به پدیده فروپاشی ولتاژ قبل از رسیدن به حداکثر قابلیت بارگذاری فیدر شود. به این معنی که اگر سیستم توزیع در مطالعات پایداری ولتاژ در نظر گرفته نشود، منجر به خطا در تعیین حداکثر قابلیت بارگذاری سیستم می شود. از سوی دیگر، یکی از ویژگی های شبکه توزیع، نامتعادلی ذاتی است که ناشی از مدل بار است. از این رو، تاثیر نفوذ منابع تولیدات پراکنده بر شاخص پایداری ولتاژ با در نظر گرفتن مدل بار در شبکه توزیع نامتعادل واقعی اهمیت بالایی پیدا می کند. روش های تحلیلی زیادی برای ارزیابی ناپایداری ولتاژ و پیش بینی فروپاشی ولتاژ مورد مطالعه قرار گرفته اند. مرجع [۴]، به موضوع بهبود پایداری ولتاژ با استفاده از بهینه سازی شاخص پایداری ولتاژ LVSI پرداخته است. از این رو، برای حل مسئله بهینه سازی از الگوریتم ازدحام سالپ استفاده کرده است. در مرجع [۵]، پایدار ولتاژ استاتیکی ولتاژ از روش تخمین دو نقطه ای و پخش بار پیوسته با در نظر گرفتن تصادفی واحدهای منابع تولید پراکنده مورد بررسی قرار گرفته است. در مرجع [۶]، دو شاخص پایداری ولتاژ بر اساس شاخص چاکروورتی [۷] و زیرساخت های شبکه هوشمند، در شبکه های شعاعی توضیح داده شده است. با این حال، این شاخص ها فقط به ولتاژ باس بستگی دارد. مرجع [۸]، به بررسی مطالعات پایداری ولتاژ برای شبکه های توزیع نامتعادل در حضور DG پرداخته و نشان می دهد که عدم تعادل بار در شبکه توزیع تاثیر منفی بر حاشیه پایداری ولتاژ می گذارد برای به حداکثر رساندن مزایای استفاده از واحدهای تولید پراکنده در سیستم توزیع، بررسی ضریب حساسیت و یا به عبارت دیگر تاثیر نفوذ بهینه DG در میزان حداکثر بارگذاری شبکه مورد نیاز است. با توجه به جنبه های برجسته PSO مانند همگرایی با سرعت بالا، این روش بهینه سازی همراه با پخش بار جارو پسرو/ پیشرو و همچنین تعریف شاخص پایداری ولتاژ اصلاح شده (MVSI) در شبکه توزیع شعاعی نامتعادل استفاده می شود. در ادامه این نوشتار حداکثر بارگذاری سیستم توزیع با در نظر گرفتن حدپایداری ولتاژ و نفوذ DG بر روی شبکه ۱۳ باس IEEE و اصلاح شده چالوس، مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۱ شاخص پایداری اصلاح شده ولتاژ

مدار معادل شبکه توزیع از دید هر باس در شکل ۱ نظر گرفته بگیرید. فرض می شود که DG در باس گیرنده قرار دارد که با ضریب توان واحد کار می کند. معادله ولتاژ اصلی فاز ۱ را می توان به صورت معادله (۱) نوشت:



شکل ۱: مدار معادل تونن شبکه توزیع

$$1) \quad \vec{V}_{R,i} = \vec{V}_{S,i} - \vec{Z}_{eq} \cdot \vec{I}_{R,i}$$

معادلات توان و جریان را نیز می توان بصورت زیر بیان کرد:

$$2) \quad (P_{S,i} + jQ_{S,i}) - (P_{R,i} + jQ_{R,i}) = (R_{eq,i} + jX_{eq,i}) |\vec{I}_i|^2$$

$$3) \quad \vec{I}_i = \left(\frac{\vec{V}_{S,i} - \vec{V}_{R,i}}{R_{eq,i} + jX_{eq,i}} \right)$$

پس از حل معادلات، یک شاخص پایداری ولتاژ اصلاح شده با حضور DG به صورت زیر بدست می آید [۹].

$$MVSI_i = \frac{2[R_{eq,i}(P_{R,i} - P_{DG,i}) + X_{eq,i}Q_{R,i}] + 2\sqrt{(R_{eq,i}^2 + X_{eq,i}^2)[(P_{R,i} - P_{DG,i})^2 + Q_{R,i}^2]}}{|V_{S,i}|^2} \leq 1 \quad (4)$$

سیستم توزیع مورد مطالعه زمانی پایدار خواهد بود که مقدار شاخص تعریف شده برای هر باس در تمام فازها کمتر یک باشد.

۲ مدل کردن بارها

مدل های بار چند جمله ای (ZIP) نمی توانند به طور کامل از دست دادن سریع بار را در هنگام کاهش ولتاژ شین زیر ۰.۷ p.u مدل سازی کنند، مدل بار دو لایه برای حل این مشکل ارائه می شود. در این مورد، هر بار زمانی که ولتاژ نزدیک به ولتاژ نامی است و زمانی که بزرگی ولتاژ در محدوده ولتاژ نامی شین ها قرار دارد، به عنوان یک مدل ZIP مدل سازی می شود و هنگامی که ولتاژ شین ها به ۰.۳ p.u تا ۰.۷ p.u، بار به عنوان یک مدل امپدانس ثابت مدل سازی می شود مدل بار ZIP را می توان با امپدانس ثابت، جریان ثابت و بارهای توان ثابت به صورت زیر بیان کرد [۹].

$$5) \quad P = P_{0i}[\alpha_1 |\vec{V}_1|^2 + \alpha_2 |\vec{V}_i| + \alpha_3] * \lambda$$

$$6) \quad Q = Q_{0i}[\beta_1 |\vec{V}_1|^2 + \beta_2 |\vec{V}_i| + \beta_3] * \lambda$$

جاییکه، α_j ($j = 1, 2, 3$) به ترتیب به عنوان بخش های امپدانس ثابت، جریان ثابت و بارهای توان ثابت و β_j به عنوان ضرایب نسبت بار توان راکتیو در نظر گرفته می شود. V_i دامنه ولتاژ شین است و P_0 و Q_0 به ترتیب مقدار توان اکتیو اسمی و توان راکتیو هستند. ضریب λ به عنوان قابلیت بارگذاری در نظر گرفته می شود که از مقدار صفر تا حداکثر مقدار بارگذاری (λ_{max}) تعریف می شود.



۳ تابع هدف

تابع هدف مورد استفاده در این مقاله را می توان به صورت معادله ۷ بیان کرد:

$$V(f = \min\{\sum_{k=1}^{nb} (R_{k.a} |\bar{I}_{k.a}|^2 + R_{k.b} |\bar{I}_{k.b}|^2 + R_{k.c} |\bar{I}_{k.c}|^2) MVSI_i\})$$

با قید:

$$(\lambda) \quad 0 \leq P_{DG} \leq \frac{25}{100} \sum_{j=1}^n P_{Load j}$$

که در آن nb تعداد شاخه های سیستم توزیع، n تعداد باس ها، P_{DG} توان اکتیو تزریق شده توسط واحد تولید پراکنده و P_{Load} بارهای اکتیو متصل به هر باس است. مقدار ولتاژ در ابتدای فیدر (که به عنوان یک باس بی نهایت در نظر گرفته می شود) با زاویه ۰ درجه روی ۱.۰۰ (p.u.) تنظیم شده است. محدوده ولتاژ برای باس های دیگر با قید:

$$9) \quad V_{j.min} \leq V_j \leq V_{j.max} \quad j = 2 \dots n$$

محدودیت ولتاژ برای $V_{j.max}$ و $V_{j.min}$ به ترتیب ۱.۰۵ و ۰.۹۵ پریونیت است.

۴ نتایج شبیه سازی

متن با ذکر مثالی با توجه به شکل ۱ برای یک شبکه دو باس شاخص های PSI و MVSI را بررسی می کنیم. فرض کنید $V_S = 1 pu$ و $\delta_S = 0$ و همچنین برای مشخصات خط داریم:

$R_{eq} + jX_{eq} = 0.05 + j0.1 pu$ و همچنین بار سمت باس: گیرنده نیز: $P_R + jQ_R = 0.5 + j1 pu$ و با در نظر

گرفتن ضریب توان واحد DG نتایج برای دو شاخص ذکر شده در جدول ۱ برای بارگذاری متفاوت آورده شده است.

جدول ۱: قابلیت بارگذاری شبکه توزیع در زمانی که توان اکتیو و راکتیو بارها با ضریب توان ثابت افزایش می یابند

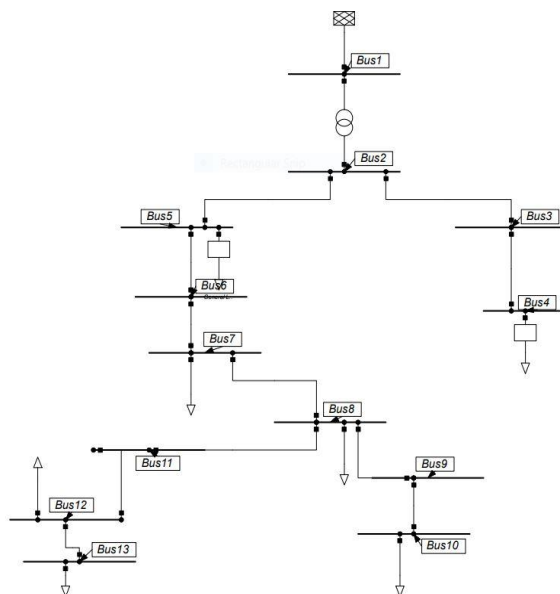
λ	منحنی V-P		MVSI	PSI
	$V_{high}(pu)$	$V_{low}(pu)$		
۱	۰.۸۶۲۵	۱.۲۰۱۰	۰.۴۷۷۲	۰.۴۷۶۲
۱.۴۶۶	۰.۷۶۵۲	۰.۲۲۲۲	۰.۷۲۷۵	۰.۷۲۷۴
۲	۰.۵	۰.۴۹۹۹	۱	۱



۵ شبکه مورد مطالعه

با توجه به نامتعادلی ذاتی و وجود اطلاعات کامل و دقیق، از شبکه IEEE ۱۳ باسه برای تحلیل نتایج و شبیه سازی استفاده شده است. سیستم مورد مطالعه یک شبکه توزیع نامتعادل IEEE ۱۳ با ولتاژ ۴.۱۶ کیلو ولت و بار نقطه ای کل ۳۲۶۶ کیلووات، ۱۹۸۶ کیلووآر بار و بار توزیعی ۲۰۰ کیلووات، ۱۱۶ کیلو وار، یک ترانسفورماتور تپ چنجر و یک ترانسفورماتور ۱۶/۰.۴ کیلو ولت به ۰.۴ کیلو ولت است. دو بانک خازنی در باس های ۱۳ و ۱۰ جزئیات خطوط شبکه توزیع و داده های بار در مرجع [۱۰] ارائه شده است.

در انتهای این نوشتار از شبکه اصلاح شده فیدر دوآب چالوس، که دارای مجموع بارهایی با دیمانند مشابه IEEE 13 باسه بوده کمی بابت نزدیکی به هم اصلاح شده است، برای بررسی تاثیر نفوذ DG بر حداکثر بارگذاری سیستم استفاده شده است. مجموع دیمانند فیدر دوآب یا سطح ولتاژ ۲۰ کیلوولت، ۳۱۵۰ کیلووات و ۱۸۵۵ کیلوآر بوده است که اطلاعات آن از سامانه GIS گرفته شده است. شبکه واقعی دوآب چالوس نیز در شکل ۲ قابل مشاهده است.



شکل ۲: شبکه ۱۳ باسه اصلاح شده دوآب چالوس

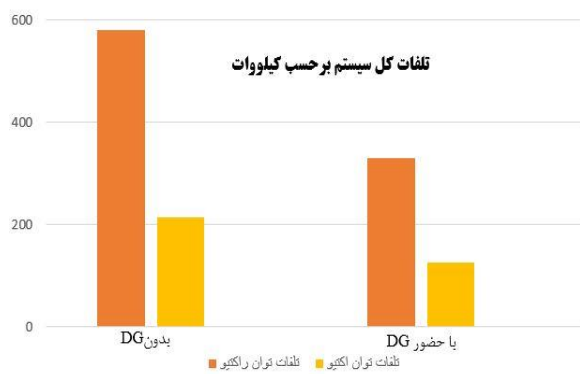
۶ تاثیر مکان بهینه منابع تولید پراکنده بر پایداری ولتاژ

بر اساس الگوریتم بهینه سازی تعریف شده، باس شماره ۱۳ به عنوان بهترین مکان برای نصب DG شناسایی شده است. شکل ۳ کاهش تلفات توان ناشی از قرارگیری بهینه DG در باس ۱۳ را نشان می دهد که در آن مجموع تلفات توان اکتیو تقریباً ۷/۴۰ درصد کاهش یافته است. جدول ۱ اندازه بهینه DG و کل تلفات سیستم در هر فاز را نشان می دهد. مشاهده می شود که مقدار کل تلفات توان اکتیو از ۴۰/۲۱۳ کیلووات به ۵۵/۱۲۶ کیلووات کاهش می یابد، زیرا تپ ترانسفورماتور



برای تمام فازها روی ۵ تنظیم شده است. اندازه بهینه DG در حالت بار معمولی که با در نظر گرفتن DG بهینه مشاهده می شود، پروفایل ولتاژ به طور قابل توجهی بهبود می یابد.

تاثیر بیشترین میزان بارگذاری سیستم با توجه به ضریب توان DG را می توان در جدول ۳ مشاهده کرد. همانطور که در جدول ۳ نمایان است، بیشترین بارگذاری سیستم در زمانی است که DG در حالت پیش فاز استفاده گردد.



شکل ۳: تلفات کل سیستم در حضور و بدون حضور DG در باس ۱۳

تلفات توان کل سیستم با حضور و بدون حضور DG با تپ وسط در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲: تلفات کل سیستم بدون و با حضور DG در باس ۱۳

تلفات توان راکتیو (KVAR)	تلفات توان اکتیو (KW)	اندازه DG (KW)	شماره باس	
۵۷۶/۵	۲۱۳/۴	-		بدون DG
۳۴۰/۱	۱۲۶/۵۵	۲۸۹/۴	۱۳	در حضور DG

جدول ۳: تاثیر ضریب توان DG در میزان بارگذاری سیستم

ضریب توان ۰/۹ پس فاز	ضریب توان ۰/۹ پیش فاز	ضریب توان واحد	ماکزیمم بارگذاری سیستم λ_{max}
۱/۳۰	۱/۷۲	۱/۵۰	

۸ تاثیر نفوذ منابع تولیدات پراکنده بر پایداری ولتاژ

با در نظر گرفتن ضریب حساسیت بارگذاری بصورت معادله ۱۰:

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda_{max}(i) - \lambda_{max}(i-1)}{\lambda_{max}(without_DG)} \quad (10)$$

10th International Conference on Applied Research in Basic Sciences, Engineering and Technology

September 17, 2024

Tbilisi - Georgia



که در آن آبیانگر هر مرحله یا استپ است، به بررسی تاثیر نفوذ DG بر ماکزیمم بار گذاری و در نتیجه پایداری و لثاژ سیستم می پردازیم. لازم به ذکر است که ماکزیمم ظرفیت DG معادل ۸۰٪ کل دیماند بار، با تغییر ۵٪ در هر مرحله یا استپ فرض می شود.

جدول ۴: سطح نفوذ DG در باس ۱۳ بادر نظر گرفتن بیشترین بار گذاری

$\Delta\lambda(\%)$	λ_{max}	سطح نفوذ (%)DG
۰	۱/۳	۰
۳/۸۵	۱/۳۵	۵
۶/۹۲	۱/۴۶	۱۰
۴/۶۱	۱/۵۲	۱۵
۵/۳۸	۱/۵۹	۲۰
۶/۱۵	۱/۶۷	۲۵
۶/۹۲	۱/۷۶	۳۰
۶/۹۲	۱/۸۵	۳۵
۷/۶۹	۱/۹۵	۴۰
۷/۶۹	۲/۰۵	۴۵
۷/۶۹	۲/۱۵	۵۰
۶/۹۲	۲/۲۴	۵۵
۶/۹۲	۲/۳۳	۶۰
۶/۱۵	۲/۴۱	۶۵
۵/۳۸	۲/۴۸	۷۰
۵/۳۸	۲/۵۵	۷۵
۲/۳۱	۲/۵۸	۸۰

همانگونه که از جدول ۴ مشاهده می شود، در ۴۰ تا ۵۰ درصد سطح نفوذ DG، بیشترین حساسیت افزایش بار گذاری مشهود است و پس از آن بار گذاری ماکزیمم رو به کاهش داشته و بهینه ترین سطح نفوذ برای نصب DG در باس ۱۳ همان میزان ۴۰ تا ۴۵ درصد است.



جدول ۵: سطح نفوذ DG در باس ۸ با در نظر گرفتن بیشترین بارگذاری

$\Delta\lambda(\%)$	λ_{max}	سطح نفوذ (%)DG
۰	۱,۴۵	۰
۳/۴۵	۱,۵۰	۵
۴/۱۳	۱,۵۶	۱۰
۴/۸۲	۱/۶۳	۱۵
۵/۵۱	۱/۷۱	۲۰
۶/۲۰	۱/۸۰	۲۵
۶/۸۹	۱/۹۰	۳۰
۷/۵۸	۲/۰۱	۳۵
۷/۵۸	۲/۱۲	۴۰
۸/۲۷	۲/۲۴	۴۵
۷/۵۸	۲/۳۵	۵۰
۷/۵۸	۲/۴۶	۵۵
۶/۸۹	۲/۵۶	۶۰
۶/۲۰	۲/۶۵	۶۵
۵/۵۱	۲/۷۳	۷۰
۴/۸۲	۲/۸۰	۷۵
۴/۱۳	۲/۸۶	۸۰

تاثیر نفوذ DG بر شبکه واقعی اصلاح شده ۱۳ باسه فیدر دو آب چالوس در جدول ۴ نشان داده شده است. با کمک ضریب بارگذاری و حساسیت تعریف شده در معادله ۱۰ به تاثیر نفوذ منابع تولید پراکنده بر بارگذاری سیستم پرداخته می شود. همانند فیدر IEEE 13 باسه، نفوذ DG با استپ ۵ درصد تا رسیدن به نفوذ ۸۰ درصد ادامه یافته و پس از آن با بررسی تاثیر گذاری بهینه DG نصب شده در باس بحرانی ۸ در جدول ۴ می توان دریافت که همانند قبل تاثیر بهینه DG در ضریب نفوذ پذیری ۴۰-۴۵ درصد است و افزایش ظرفیت DG پس از آن با کاهش ضریب حساسیت همراه است.

۷ نتیجه گیری

مطالعه ای بر شبکه IEEE ۱۳ نامتعادل که بهترین مورد از نظر نامتعادلی ذاتی شبکه توزیع است، در نظر گرفته شده است و یک شاخص پایداری ولتاژ اصلاح شده (MVSI) در یک سیستم توزیع سه فاز نامتعادل در حضور واحدهای تولید پراکنده



ارائه شد. با در نظر گرفتن مدل بار و بهترین اندازه DG، می توان به تأثیر قابل توجهی بر پروفیل ولتاژ و پایداری ولتاژ در سیستم توزیع سه فاز نامتعادل دست یافت. علاوه بر این شبکه ۱۳ باسه دوآب چالوس نیز از منظر حداکثر بارگذاری و ضریب حساسیت نفوذ DG مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج نشان دهنده نفوذ ۴۵ درصدی مولد تولید پراکنده بوده است.

۸ منابع

- [1] Y. M. Atwa, E. F. El-Saadany, M. M. A. Salama, R. Seethapathy, "Optimal renewable resources mix for distribution system energy loss minimization," IEEE Trans. Power Syst., vol. 25, no. 1, pp. 360-370, 2010.
- [2] M. Ettehad, H. Ghasemi, S. Vaez-Zadeh, "Voltage Stability-Based DG Placement in Distribution electricity networks," IEEE Trans. Power Del., vol. 28, no. 1, 2013.
- [3] S. Ghaemi, K. Zare, "A New Method of Distribution Marginal Price Calculation in Distribution Networks by Considering the Effect of Distributed Generations Location on Network Loss", J. Oper. Autom. Power Eng., vol. 5, No. 2, Dec. 2017, Pages: 171-180.
- [4] S. Khunkitti and S. Premrudeepreechacharn, "Voltage Stability Improvement Using Voltage Stability Index Optimization," 2020 International Conference on Power, Energy and Innovations (ICPEI), Chiangmai, Thailand, 2020, pp. 193-196.
- [5] K. Liu, W. Sheng, L. Hu, Y. Liu, X. Meng, D. Jia, "Simplified probabilistic voltage stability evaluation considering variable renewable distributed generation in distribution systems", IET Gener. Transm. Distrib., 2015, vol. 9, no. 12, pp. 1464-1473.
- [6] S. Derafshi Beigvand, H. Abdi, S. N. Singh, "Voltage stability analysis in radial smart distribution grids," IET Gener. Transm. Distrib., vol. 11 no. 15, pp. 3722-3730, 2017.
- [7] M. Chakravorty, D. Das, "Voltage stability analysis of radial distribution networks," Elsevier Sci. Ltd., Electr. Power Energy Syst., 23 (2001) 129-135.
- [8] A. K. Bharati and V. Ajjarapu, "Investigation of Relevant Distribution System Representation With DG for Voltage Stability Margin Assessment," in IEEE Transactions on Power Systems, vol. 35, no. 3, pp. 2072-2081, May 2020.
- [9] M. Kazeminejad1, M. Banejad1,* , U. D. Annakkage2, N. Hosseinzadeh, 'The Effect of High Penetration Level of Distributed Generation Sources on Voltage Stability Analysis in Unbalanced Distribution Systems Considering Load Model' Journal of Operation and Automation in Power Engineering Vol. 7, No. 2, Oct. 2019, Pages: 196-205.
- [10] IEEE PES Distribution Systems Analysis Subcommittee Radial Test Feeders. <http://sites.ieee.org/pestestfeeders/re-sources>