Double phase fault location in microgrids with the presence of electric vehicles and distributed parameters line model

Mohammad Daisy¹, Mahmood Hosseini Aliabadi², Shahram Javadi³, Hasan Meyar Naimi⁴

1- Ph.D. Candidate, Department of Electrical Engineering, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, moh.daisy.eng@iauctb.ac.ir

2- Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, mah.hosseini-aliabadi@iauctb.ac.ir

3- Associate Professor, Intelligent Power System Research Center, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, (Corresponding author) sh.javadi@iauctb.ac.ir

4- Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Central Tehran Branch, Islamic Azad

University, Tehran, Iran, h.meyar.naimi@gmail.com

Abstract:

Nowadays, renewable energy is increasingly used in smart grids and microgrids to reduce the use of fossil fuels and improve network efficiency. Like all power system devices, microgrids are subject to transient and steady-state faults, such as short circuits. These faults impair reliability and consumer dissatisfaction. To accurately, automatically, and economically determine the location of a fault, a robust fault location method is needed to stabilize and repair the damaged part of the network. Given the access to the data of all nodes, the fault in these networks can be located based on the data on the two terminals. Accordingly, this paper proposes a method for determining fault distance and faulty section in the island and grid-connected microgrids. The proposed method uses distributed parameters line model and calculates the location of double-phase faults in the microgrid based on voltage and current data on both sides of each section, taking renewable energies and electric vehicles into account. At first, the measurement devices receive and store the current and voltage data at the beginning and end of each section. If a fault occurs, the fault distance is determined by calculating the difference between voltages and currents on both sides of the fault. According to the sampling rate, many voltage and current samples are obtained during the fault. The proposed method calculates a fault distance for each sample. As a result, many fault distances are obtained. These calculations are done for all sections. In the next step, the distances obtained for each section are plotted on the coordinate axis, and a curve is obtained for each section. Among the curves obtained, one curve has a global minimum, which indicates the faulty section. Other curves are ascending or descending. In addition, the global minimum point indicates the calculated distance of the fault from the beginning of the section. This method is not sensitive to electric vehicle models and distributed generation sources and uses only less than half-cycle data to execute the algorithm. The performance of the method is investigated with the simulation of a 9-bus microgrid in MATLAB/SIMULINK. The effects of changes in line parameters (two scenarios), different fault locations, fault resistance (0, 25, and 50 Ω), fault inception angles (36, 90, 180, and 270 degrees), different DGs operation modes (three scenarios), and measurements error $(\pm 3\%)$ are studied. The maximum and minimum errors of this method are obtained to be 0.97% and 0.02%, respectively. The results indicate the high accuracy of the proposed method compared to other fault location methods.

Keywords: Microgrid, Fault Location, Electric Vehicles, Distributed Parameters Line Model

Submit date: 2022/05/06 Accepted date: 2022/05/31

Corresponding author's Name: Shahram Javadi and Mahmood Hosseini Aliabadi Corresponding author's address: sh.javadi@iauctb.ac.ir, mah.hosseini-aliabadi@iauctb.ac.ir

Iranian Electric Industry Journal Quality & Productivity Vol. 12 / No. 1/ Spring 2023

مکانیابی خطاهای دوفاز در ریزشبکهها با حضور خودرو برقی و استفاده از مدل گسترده خط

نوع مطالعه: پژوهشی

محمد دیسی'، دانشجوی دکتری، محمود حسینی علی آبادی'، استادیار، شهرام جوادی^{(۲۰}، دانشیار، حسن میارنعیمی'، استادیار.

۱ - دانشکده فنی مهندسی- واحد تهران مرکز - دانشگاه آزاد اسلامی- تهران- ایران

۲- مرکز تحقیقات برق هوشمند و اتوماسیون، دانشکده فنی و مهندسی، واحد تهران مرکز - دانشگاه آزاد اسلامی - تهران - ایران moh.daisy.eng@iauctb.ac.ir, mah.hosseini-aliabadi@iauctb.ac.ir sh.javadi@iauctb.ac.ir, h.meyar.naimi@gmail.com

چکیده: امروزه استفاده از انرژیهای تجدید پذیر در شبکههای هوشمند و ریزشبکهها بمنظور کاهش استفاده از سوختهای فسیلی و افزایش کارایی شبکه رو به افزایش است. مشابه تمام دستگاههای شبکه برق، ریزشبکهها نیز تحت خطاهای گذرا و ماندگار مانند اتصال کوتاه قرار دارند. این خطاها منجر به کاهش قابلیت اطمینان، نارضایتی مصرف کنندهها و تحمیل خسارتهای مالی به شرکتهای برق می شود. برای تعیین دقیق، خودکار و اقتصادی یافتن محل خطا، برای ایجاد ثبات و ترمیم بخش آسیب دیده شبکه، یک روش دقیق و خودکار مکانیابی خطا موردنیاز است. با توجه به قابلیت رویت پذیری در ریزشبکهها، می توان مکان خطا را بر اساس دادههای ولتاژ و جریان در دو پایانه انجام داد. بر این اساس، در این مقاله یک روش تعیین فاصله و بخش خطا در ریزشبکههای جزیرهای و متصل به شبکه پیشنهاد شده است. روش پیشنهادی با استفاده از مدل گسترده خط و بر اساس اطلاعات ولتاژ و جریان دو سمت هر بخش، مکان خطاهای دوفاز را با در نظر گرفتن انرژیهای تجدید پذیر و خودرو برقی محاسبه می کند. این روش به مدل خودرو برقی و منابع تولید پراکنده حساس نیست و فقط از دادههای کمتر از نیمی از چرخه برای اجرای الگوریتم استفاده می کند. عملکرد روش پیشنهادی با کمک یک ریزشبکه ۹ شینه در نرمافزار متلب بررسی شده است. تأثیر تغییرات در پارامترهای خط، می کند. این روش به مدل خودرو روش پیشنهادی با کمک یک ریزشبکه ۹ شینه در نرمافزار متلب بررسی شده است. تأثیر تغییرات در پارامترهای خط، مکانهای مختلف خطا، مقاومتها و زاویههای شروع خطا، حالتهای مختلف عملکرد منابع تولید پراکنده و خطاهای اندازه گیری موردمطالعه

واژه های کلیدی: ریز شبکه، مکان یابی خطا، خودرو برقی، مدل گسترده خط.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۱/۰۲/۱۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۳/۱۰

نام نویسندگان مسئول: شهرام جوادی، محمود حسینی علی آبادی

نشانی نویسندهی مسئول: دانشکده فنی و مهندسی، واحد تهران مرکز، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۱- مقدمه

شـبكههاي توزيع، ارتباط ميان شـبكه انتقال انرژي الكتريكي و مصــرفکنندهها را فراهم میســازند. اکثر زمانهای برونرفتی که مشترکین تجربه می کنند، به دلیل وقوع خطا بر روی شبکه توزیع ولتاژ متو سط و پایین است. سیستمهای برق در پنجاه سال گذشته بهسرعت رشد کرده و این امر موجب افزایش تعداد خطوط و طول کل آنها شده است. این خطوط خطاهایی را تجربه میکنند که توسط طوفان، رعدوبرق، برف، باران، خرابی عایق، فرسودگی تجهیزات، اتصال کوتاه ناشی از پرندگان و سایر اجسام خارجی ایجاد میشوند (غفارزاده, ١٣٩٢). وقوع خطا مي تواند باعث بروز مشكلاتي نظير صدمه ديدن تجهیزات شبکه، ایجاد وقفه در سرویسدهی به مصرفکنندگان، خارج شدن شبكه از حالت پايدار و درنهايت پايين آمدن قابليت اطمينان شــبکه گردد که تمامی این موارد باعث تحمیل خسـارتهای مالی به مصرف کنندگان و شرکت برق می گردد. از طرفی خصوصی شدن شـرکتهای برق باعث ایجاد رقابت بین آنها در زمینه افزایش سـطح کیفیت و قابلیت اطمینان شبکه برقر سانی شده است. بنابراین تلاش شرکتهای برق بر این امر است که اولاً از این خطوط در برابر خطا حفاظت و ثانياً در صورت وقوع خطا، مكان خطا در اسرع وقت شنا سایی شده تا عملیات لازم جهت ترمیم شبکه و برقراری مجدد انرژی الکتریکی انجام شود. این عمل لازم است به گونهای صورت گیرد که میزان خسارت ناشیی از عدم فروش برق در زمان قطع شبکه به حداقل ممکن برسد. مکانیابی خطا مزایایی چون صرفهجویی در زمان و نیروی انسانی، بهبود آمادگی سیستم در تداوم برقر سانی، اصلاح برنامهریزی آینده و بهبود فاکتورهای اقتصادی را به دنبال دارد و درنهایت سبب رضایتمندی مشترکین و افزایش قابلیت اطمینان سی ستم می گردد (Dashti et al., 2014). بر ا ساس مطالعات انجام شده، سیر تکاملی راهکارهای شناخت مکان خطا را میتوان به صورت تماس مشترکین و ابراز مشاهدات خود، ورود گروه بهرهبرداران در طول خط، استفاده از دستگاه خطا یاب off-line و استفاده از دستگاه خطا یاب بلادر نگ بر شـمرد که اغلب روش های بلادر نگ جهت مکانیابی خطا مورد توجه قرار گرفتهاند.

چالشبرانگیزترین مشکل در بخش حفاظت از شبکه های هوشمند و ریزشبکهها، ادغام منابع انرژی تجدید پذیر و تجهیزاتی ازجمله خودرو برقی و غیره است که منجر به پخش بار دوطرفه و همچنین سطوح مختلف جریان خطا در حالتهای متصل به شبکه یا جزیرهای می شود. اد غام خودرو های برقی با شبکه های توزیع، چالشهای جدیدی را برای مدیریت بار ایجاد می کند و فر صتهایی را برای صرفهجویی و تولید انرژی الکتریکی به ارمغان می آورد (Wang) برای مرفه ویی و تولید انرژی الکتریکی به ارمغان می آورد (Wang) برای حفور دا شته با شند، می تواند از حالت تزریق به شبکه (V2G) برای پشتیبانی و تثبیت عملکرد شبکه در هنگام خطا استفاده شود

(Katić et al., 2019). مديريت خطا و بهبود اثربخشي، جبران توان راکتیو و متعادل کردن ولتاژ، برخی از مزایا و کاربردهای این خودروها در شبکه هستند . با توجه به توضيحات ذکرشده، بررسي تأثيرات ح ضور و عملکرد خودروهای برقی در ریز شبکهها بسیار حائز اهمیت است(Mazumder et al., 2020; Lu et al., 2015). مسائل ذکرشده منجر به طبقهبندی اشتباه خطاها یا عدمتشخیص آنها می شود. علاوه بر این، اگر ریزشبکه در حالت جزیرهای باشد، ممکن است مؤلفهی جریان خطای ناشی از منابع انرژی به سطح پیکاپ دستگاه حفاظتی برای تشـخیص خطا نرسـد؛ بنابراین حسـگرها باید نرخ نمونهبردارى بالايى داشته باشند و سيستم ارتباطى بايد بسيار سريع و قابل اطمینان باشد. از طرف دیگر، پارامترهای خط ممکن است به دليل عمر و شرايط آبوهوا تغيير كنند. ازاينرو، الگوريتم مكانيابي خطا نباید توسط انرژیهای تجدید پذیر، تغییر در پارامترهای خط و شرایط مختلف خطا مانند مقاومتها، فاصله ها و زاویههای شروع Dashti, Daisy, Mirshekali, et al.,) مختلف خطا به خطر بيفتد .(2021

استفاده از اندازه گیرهای ولتاژ و جریان در ابتدا و انتهای هر بخش از شبکههای توزیع به دلایل اقتصادی و تعمیر و نگهداری قابل توجیه نیست؛ اما در ریزشبکهها به دلیل تعداد محدود گرمها و کاربردهای حساس ازجمله مناطق نظامی یا بیمارستان، استفاده از اندازه گیرهای هر دو سمت بخش، قابل توجیه است. لذا روشهای گوناگونی در زمینه مکانیابی خطا در ریزشبکهها که از اطلاعات ولتاژ و جریان در هر دو سمت بخش استفاده می کنند، ارائه شده است. در سالهای گذشته چندین الگوریتم مکانیابی خطا در شبکههای توزیع و ریزشبکهها ارائه شده است. بهطور خلاصه میتوان به روشهای امپدانس محور (Orozco-Henao et al., 2019)، روش های هوشمند (192) al., 2020) و امواج سيار (Liang et al., 2019) اشاره کرد. روش های امپدانسی با محاسبه هارمونیکهای اصلی ولتاژ و جریان، فقط فاصله خطا را تعیین می کنند. این روش در برابر مقاومت خطا و تأثیر متقابل فازها بسيار حساس است. علاوه بر اين، روش امپدانسي با مشكل چند پاسخی در شبکه توزیع مواجه است (Dashti et al., 2018). دیدگاه دیگری که میتواند در صورت در اختیار داشتن دادههای مناسب، با سرعت بالاترى مكان خطا را تعيين نمايد، استفاده از روش امواج سيار است. اصول این روشها بر اساس محاسبه و یا سنجش زمان موردنیاز برای حرکت موج از محل قرار گرفتن مکانیاب خطا تا محل خطا است. این روشها نیز دارای محدودیتهایی هستند که ازجمله آنها میتوان اشکال در تشخیص بین امواج سیار بازگشتی از نقطه خطا و از انتهای خط، وجود معادلات و ساختار عملياتي پيچيده اشاره كرد. اين روش مانند روش امپدانسی، فقط فاصله خطا را محاسبه می کند. همچنین دقت این روشها به نوع خطا، زاویه ولتاژ هنگام وقوع خطا و موقعیت خطا وابسته است که در این موارد روشهای امپدانسی با مشکلات کمتری روبرو بوده و ساده و کم هزینه تر هستند (Naidu et al., 2020). گروه

	-					-				
روش پیشنهادی	(دشتی) et al., (1397	et ديسى) al., (1396	Mirshekali) (et al., 2020	Aboshady) (et al., 2019	Gord et) al., (2019	Dashti) et al., (2018	Gabr) et al., (2017	Chen) et al., (2017	Daisy) et al., (2016	مرجع
گسترده	π	گسترده	گسترده	گسترده	گسترده	π	كوتاه	كوتاه	گسترده	مدل خط
	\checkmark	\checkmark	\checkmark		\checkmark	\checkmark	-	-		سيستم نامتعادل
	-	-	\checkmark	-	-	-	-	-	-	ريزشبكه
\checkmark	-	-	\checkmark	-	-	\checkmark	-	\checkmark	-	حضور منابع تجدید پذیر
\checkmark	-	-	-	-	-	-	-	-	-	حضور خودرو برقی
\checkmark	-	-	-	-	-	-	-	-	-	بررسی تغییر پارامترهای خط

جدول (۱): بررسی مقالات مختلف در زمینه مکانیابی خطا در شبکههای توزیع انرژی الکتریکی

بعد الگوریتمهای هوشـمند هسـتند. این الگوریتمها ابتدا شـاخص یا مجموعه شـاخصهایی را تعریف مینمایند که رفتار یکتایی جهت هر خطا در هر مکان داشته باشند. برخی روشها به ازای خطاهای مختلف در مکانهای مختلف آموزش لازم به سیستم داده می شود. آنگاه اگر خطایی در سیستم رخ دهد شاخص یا مجموعه شاخصهای موردنظر محاسبه و با دادههای آموزشی مقایسه شده و بدین صورت نوع و مکان خطا تعیین می گردد. مشـکل بزرگ این روش ها، نیاز به بانک داده حجیم است که با تو سعه یا تغییر شبکه نیز لازم است این بانک داده بهروز گردد (2016, Dashy & Dashti, 2016). چندین روش ارائهشـده مرتبط با این موضوع در جدول (۱) بررسی شده است.

در این مقاله روش جدیدی جهت تعیین فاصله و بخش خطا در ریز شبکههای حالت جزیرهای و متصل به شبکه با حضور منابع تجدید پذیر ارائهشده است. در این روش، با فرض رؤیت پذیری شبکه و با استفاده از اطلاعات ولتاژ و جریان در ابتدا و انتهای هر بخش، مکان خطا تعیین شده است. همچنین حضور خودرو برقی در حالت تزریق به شبکه (V2G) و تأثیر آن بر عملکرد روش، مورد ارزیابی قرار گرفته است. با توجه به تغییر پارامترهای خط براثر شرایط آب و هوایی و عمر نظوط، این پارامترها به صورت متغیر در نظر گرفته شده اند. به منظور افزایش دقت روش پیشنهادی از مدل گسترده خط استفاده شده است. این روش به حضور منابع تجدید پذیر و خودروهای برقی حساس قرار گرفته و تأثیر مکان های مختلف، مقاو مت ها و زاویه های مختلف شروع خطا، خطاهای اندازه گیری و تغییر توان تولید شده تو سط منابع بر دقت روش پیشنهادی برسی شده است.

بخشبندی این مقاله به صورت زیر است. در بخش دوم روش پیشنهادی جهت محاسبه فاصله و بخش خطا بیان شده است. سپس نتایج شبیه سازی و مقایسه با دیگر روش ها در بخش سوم موردبررسی

قرار گرفته است. نهایتاً، در بخش چهارم به نتیجه گیری پرداخته شده است.

۲- روش پیشنهادی

این روش در قالب دو قسمت ارائه شده است. ابتدا فاصله خطا برای خطاهای دوفاز و در نظر گرفتن مدل گسترده خط، بررسی شده است. سپس بخش خطادار برای خطاهای ذکرشده محاسبه شده است. در ادامه، مدل گستره خط بررسی و سپس به محاسبه مکان خطا پرداخته شده است.

۱-۲- مدل گستره خط

مدل گسترده خط بهصورت شکل (۱) در نظر گرفتهشده که در آن 'y و 'z به ترتیب ادمیتانس موازی و امپدانس سری با جزییات مربوط به مدل خط گسترده ارائه گردیده است. روابط مدل گسترده خط در (Stevenson, 1975) بهصورت کامل تشریح شدهاند.



شکل (۱): مدار معادل خط گسترده (Stevenson, 1975)

۲-۲- محاسبه فاصله خطا با استفاده از دادههای ولتاژ

و جریان خطا در هر بخش

شکل (۲) مدار معادل یک بخش از ریزشبکه با در نظر گرفتن مدل گسترده خط درصورتی که خطای دوفاز رخ داده باشد را نشان میدهد. با توجه به این شکل، مشاهده میشود که در زمان وقوع خطا، دادههای ولتاژ و جریان به دو قسمت در ابتدا و انتهای بخش دسته بندی شدهاند.

Downloaded from ieijqp.ir on 2025-08-20

$$-v_{a1} + \left(r_{aa}I_1 + L_{aa}\frac{di_1}{dt} + L_{ab}\frac{di_3}{dt} + L_{ac}\frac{di_5}{dt}\right) \times x + v_{fa} - \left(\left(L_{bb}\frac{di_3}{dt} + L_{bc}\frac{di_1}{dt} + L_{bc}\frac{di_5}{dt}\right) + r_{bb}I_3\right) \times x + v_{b1} = 0$$

$$(1)$$

$$-v_{f} + r_{aa}(l-x)I_{2} + \left(L_{aa}\frac{di_{2}}{dt} + L_{ab}\frac{di_{4}}{dt} + L_{ac}\frac{di_{6}}{dt}\right) \times (l-x) + v_{a2} - v_{b2} + \left(L_{bb}\frac{di_{4}}{dt} + L_{ba}\frac{di_{2}}{dt} + L_{bc}\frac{di_{6}}{dt}\right) \times (l-x) = 0$$

$$(11)$$

$$\begin{aligned} -v_{a1} + \left(r_{aa} \left(I_{a1} - \frac{c'}{2} \frac{dv_{a1}}{dt} x \right) + \\ L_{aa} \frac{d(I_{a1} - \frac{c'dv_{a1}}{2} x)}{dt} + L_{ab} \frac{d(I_{b1} - \frac{c'dv_{b1}}{2} x)}{dt} + \\ L_{ac} \frac{d(I_{c1} - \frac{c'dv_{c1}}{2} x)}{dt} \right) \times x + v_{fa} - \\ \left(\left(L_{bb} \frac{d(I_{b1} - \frac{c'dv_{b1}}{2} x)}{dt} + L_{ba} \frac{d(I_{a1} - \frac{c'dv_{a1}}{2} x)}{dt} + \\ L_{bc} \frac{d(I_{b1} - \frac{c'dv_{b1}}{2} x)}{dt} \right) + r_{bb} \left(I_{b1} - \frac{c'}{2} \frac{dv_{b1}}{dt} x \right) \right) \times x + \\ v_{b1} = 0 \end{aligned}$$

$$-v_{f} + r_{aa}(l-x)\left(I_{a2} + \frac{c'}{2}\frac{dv_{a2}}{dt}(l-x)\right) + \left(L_{aa}\frac{d\left(I_{a2} + \frac{c'dv_{a2}}{2}(l-x)\right)}{dt} + L_{ab}\frac{d\left(I_{b2} + \frac{c'dv_{a2}}{2}(l-x)\right)}{dt} + L_{ac}\frac{d\left(I_{c2} + \frac{c'dv_{c2}}{2}(l-x)\right)}{dt}\right) \times (l-x) + v_{a2} - v_{b2} - \left(L_{bb}\frac{d\left(I_{b2} + \frac{c'dv_{b2}}{2}(l-x)\right)}{dt} + L_{ba}\frac{d\left(I_{a2} + \frac{c'dv_{a2}}{2}(l-x)\right)}{dt} + L_{ba}\frac{d\left(I_{a2} + \frac{c'dv_{a2}}{2}(l-x)\right)}{dt} + L_{bc}\frac{d\left(I_{c2} + \frac{c'dv_{c2}}{2}(l-x)\right)}{dt}\right) \times (l-x) - r_{bb}(l-x)$$

شکل (۲): مدار معادل یک بخش از ریزشبکه با در نظر گرفتن مدل گسترده خط در صورت بروز خطای دوفاز با اعمال KCL در گره ۱ در شکل (۲) خواهیم داشت:

$$I_{a1} = I_1 + I_{c1a} \Rightarrow I_1 = I_{a1} - I_{c1a}$$
(1)

$$I_{c1a} = \frac{c'}{2} \frac{dv_{a1}}{dt} x \tag{(7)}$$

با توجه به مدل گسترده خط، مقدار 2⁄′C از (۳) به دست میآید:

$$\frac{c'}{2} = \frac{c}{2} \tanh(\frac{\gamma l}{2}) \tag{(7)}$$

که γ : ثابت انتشار، l: طول خط، x فاصله خطا از ابتدای بخش می باشند.

va1 و va2: ولتاژ ابتدا و انتهای بخش

و I_{a2} و I_{a2} : جریان ابتدا و انتهای بخش I_{a1}

و همچنین با اعمال KCL در گره ۲ از شکل (۲)، معادلات (۴) و (۵) بدست میآیند:

$$I_2 = I_{a2} + I_{c2a} \tag{(f)}$$

$$I_{c2a} = \frac{c'}{2} \frac{dv_{a2}}{dt} (l - x)$$
 (b)

با اعمال KCL در گرههای ۳ و ۴۰ روابط (۹-۴) به دست میآید:

$$I_{b1} = I_3 + I_{c1b} \Rightarrow I_3 = I_{b1} - I_{c1b}$$
(?)

$$I_{c1b} = \frac{1}{2} \frac{dt}{dt} x \tag{(Y)}$$

$$I_4 = I_{b2} + I_{c2b} \tag{A}$$

$$I_{c2b} = \frac{c}{2} \frac{dv_{b2}}{dt} (l - x)$$
(9)

(۱۳)

نشریه علمی- پژوهشی کیفیت و بهره وری صنعت برق ایران سال دوازدهم شماره ۱ شماره پیاپی۳۰ بهار ۱۴۰۲

[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-08-20]

می آید. اگر فاصلههای به دست آمده در هر بخش به صورت یک نمودار در محور x و y نشان داده شود، فقط بخش اصلی خطا دارای یک مقدار کمینه مطلق (Global Minimum) است و دیگر نمودارها به صورت صعودی یا نزولی می باشند. این محاسبات با استفاده از معادله (۱۵) انجام می شود.

$$f_m = \min \sum f(x_i, s_i) \tag{12}$$

که:

 $x_i = v_s, i_s, v_r, i_r, x$ $s_i = i^{th} section$

 $0 < x_i < l$

f (ولتاژ نقطه خطا در ابتدای بخش) – (ولتاژ نقطه خطا در انتهای بخش)، f_m (ولتاژ نقطه خطا در ابتدای بخش) – (ولتاژ نقطه خطا در انتهای بخش)، f_m مقدار کمینه، v_s و v_s و v_s و انتهای بخش، i_s و تعداد کل و انتهای بخش و l بهعنوان طول بخش است. s_i نیز بین ۱ و تعداد کل بخشها (n) متغیر است. همچنین i نیز تعداد بخشها است. بهعنوان مثال، شکل (۳)، خروجی معادلات (۱۴) و (۱۵) را نشان می دهد.



شکل (۳): خروجی معادله (۱۴) در یک بخش از ریزشبکه (الف) با حضور خطا (ب) بدون حضور خطا

شکل (۳) (الف) خروجی معادله (۱۴) را در یک بخش از ریزشبکه به طول ۲/۷ کیلومتر و با در نظر گرفتن یک خطای دوفاز به زمین در فاصله ۲/۶ کیلومتری از ابتدای بخش را نشان میدهد. همچنین شکل (۳) (ب) خروجی این معادله را در یک بخش بدون خطا نشان میدهد. دایرههای نشان دادهشده در این شکل، مکانهای احتمالی خطا را با استفاده از معادله (۱۴) نشان میدهند. مقدار کمینه مطلق این دایرهها در محور ۲، فاصله واقعی خطا در بخش معیوب است که با استفاده از معادله (۱۵) بدست آمده است. با قرار دادن رابطه (۱۳) در (۱۲) به رابطه (۱۴) میرسیم:

$$\begin{pmatrix} r_{aa} \left(I_{a1} - \frac{c'}{2} \frac{dv_{a1}}{dt} x \right) + L_{aa} \frac{d\left(I_{a1} - \frac{c'dv_{a1}}{2} \frac{dt}{dt} \right)}{dt} + L_{ab} \frac{d\left(I_{b1} - \frac{c'dv_{b1}}{2} \frac{dt}{dt} \right)}{dt} + L_{ac} \frac{d\left(I_{a1} - \frac{c'dv_{a1}}{2} \frac{dt}{dt} \right)}{dt} \right) \times x - \\ \left(\left(L_{bb} \frac{d\left(I_{b1} - \frac{c'dv_{b1}}{2} \frac{dt}{dt} \right)}{dt} + L_{ba} \frac{d\left(I_{a1} - \frac{c'dv_{a1}}{2} \frac{dt}{dt} \right)}{dt} \right) + x - \\ L_{bc} \frac{d\left(I_{b1} - \frac{c'dv_{b1}}{2} \frac{dt}{dt} \right)}{dt} \right) + r_{bb} \left(I_{b1} - \frac{c'}{2} \frac{dv_{b1}}{dt} x \right) \right) \times x + \\ r_{aa} (l - x) \left(I_{a2} + \frac{c'}{2} \frac{dv_{a2}}{dt} (l - x) \right) + \\ \left(L_{aa} \frac{d\left(I_{a2} + \frac{c'dv_{a2}}{2} \frac{dt}{dt} (l - x) \right)}{dt} + L_{ab} \frac{d\left(I_{b2} + \frac{c'dv_{a2}}{2} \frac{dt}{dt} (l - x) \right)}{dt} \right) + \\ L_{ac} \frac{d\left(I_{c2} + \frac{c'dv_{b2}}{2} \frac{dt}{dt} (l - x) \right)}{dt} + L_{ba} \frac{d\left(I_{a2} + \frac{c'dv_{a2}}{2} \frac{dt}{dt} (l - x) \right)}{dt} + \\ L_{bc} \frac{d\left(I_{c2} + \frac{c'dv_{b2}}{2} \frac{dt}{dt} (l - x) \right)}{dt} \right) \times (l - x) - \\ \left(L_{bb} \frac{d\left(I_{c2} + \frac{c'dv_{b2}}{2} \frac{dt}{dt} (l - x) \right)}{dt} \right) \times (l - x) - r_{bb} (l - x) \right) + \\ L_{bc} \frac{d\left(I_{c2} + \frac{c'dv_{c2}}{2} \frac{dt}{dt} (l - x) \right)}{dt} \right) \times (l - x) - r_{bb} (l - x) \left(I_{b2} + \frac{c'dv_{b2}}{2} \frac{dt}{dt} (l - x) \right) = (v_{a1} - v_{a2}) + \\ (-v_{b1} + v_{b2})$$

با حل معادله (۱۴)، فاصله خطاهای دوفاز (L-L) از ابتدای بخش به دست میآید. به همین طریق، معادلات محاسبه فاصله خطا برای خطاهای دوفاز به زمین (L-L-G) را میتوان بدست آورد. معادلات جریانها مشابه معادلات جریانی بدست آمده در خطای دو فاز به هم میباشند، تنها تفاوت در معادلات حلقهها است که یک مقاومت به مقاومت خطا افزوده خواهد شد. درنهایت معادله نهایی مشابه معادله (۱۴) است. با استفاده از این معادله، به ازای هر بخش از ریزشبکه، یکفاصله خطا به دست میآید. تخمین بخش اصلی خطا در بخش بعد بهصورت کامل بررسی شده است.

۲-۳- محاسبه بخش خطا

با استفاده از معادله (۱۴) میتوان فاصله خطا را از ابتدای بخش بدست آورد. این معادله، هنگامی که یک خطا رخ میدهد، به ازای ولتاژها و جریانهای مختلف، فواصل خطای مختلفی را محاسبه می کند. ازاینرو، برای هر خطا، چندین بخش و فاصله خطا به دست

۴-۲- فلوچارت روش پیشنهادی

در این روش، ابتدا دادههای جریان و ولتاژ در ابتدا و انتهای هر بخش و توپولوژی شبکه دریافت میگردد. در این مرحله از سیگنالهای دریافت شده توسط تجهیزات حفاظتی برای تشخیص bashti, Daisy, & Aliabadi, 2021;) خطا استفاده شده است Dashti, Daisy, Javadi, et al., 2021). سپس در صورت وقوع خطا، با استفاده از معادله (۱۴) فاصله خطا محاسبه میگردد. بدیهی است که به ازای ولتاژها و جریانهای مختلفی که در لحظه وقوع خطا ثبت می شوند، فاصله های متعددی از خطا به دست می آیند. این محاسبات برای همه بخشها انجام خواهد داشت. در مرحله بعد، فاصلههای بهدست آمده باید با استفاده از (۱۵) تجزیه وتحلیل شوند تا بخش واقعی خطا به دست آید. اگر $f(x_i, s_i)$ برای هر بخش کمینه مطلق را ایجاد کند، بخش معیوب را نشان میدهد (همانطور که در شکل (۳) (الف) نشان دادهشده است). سایر بخشها بهصورت صعودی یا نزولی هستند (همان طور که در شکل (۳) (ب) نشان داده شده است). علاوه بر این، x، که کمینه مطلق را در بخش موردنظر نشان میدهد، فاصله خطای محاسبه شده را در آن بخش مشخص می کند. شکل (۴) فلوچارت روش پیشنهادی را نشان میدهد.





۳- نتایج شبیهسازی

۱-۳- ریزشبکه موردمطالعه

ارزیابی روش پیشنهادی با در نظر گرفتن یک ریز شبکه ۲۰ kV با ۹ گره مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل (۵): ریزشبکه موردمطالعه

فرکانس سیستم Hz و طول کل این شبکه ۱۵/۸ کیلومتر میباشند. ریزشبکه موردمطالعه دارای منابعی ازجمله توربین بادی، سیستم فتوولتائیک، پیل سوختی و خودرو برقی است. این شبکه با استفاده از نرمافزار متلب شبیهسازیشده و خطاهای دو فاز با مقاومتهای ۰، ۲۵ و ۵۰ اهم در حالتهای جزیرهای و متصل به شبکه مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین حساسیت این روش در زاویههای مختلف شروع خطا (۳۶، ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ درجه)، تأثیر تغییر پارامترهای خط، خطاهای اندازه گیری و تغییر توان تولید شده در منابع مورد ارزیابی قرار گرفته است. شبکه است. این روش در

مشخصات توربین بادی موردمطالعه

در این مدل، یک توربین بادی ۱/۵ مگاواتی متصل به ریزشبکه ۲۰ کیلوولت برق را به شبکه صادر می کند. توربین بادی با استفاده از یک ژنراتور القایی دوسو تغذیه *، از یک ژنراتور القایی روتور سیمپیچی شده و یک مبدل IGBT (AC/DC/AC) مبتنی بر PWM مدل سازی شده توسط منابع ولتاژ، تشکیل شده است. سیمپیچ استاتور مستقیماً به شبکه ۵۰Hz متصل میشود. در حالی که روتور از طریق یک مبدل به شبکه ZC/DC/AC با فر کانس متغیر تغذیه میشود. در این مدل سرعت باد در ۱۵ متر بر ثانیه ثابت است. سیستم کنترل از یک کنترل کننده گشتاور برای حفظ سرعت در ۲/۲ پریونیت استفاده می کند. توان راکتیو تولیدشده توسط توربین بادی در صفر مگاوار تنظیم شده است. برای اتصال مبدل به شبکه از یک ترانسفورماتور اتصال سه فاز اتصال مبدل به شبکه از یک ترانسفورماتور اتصال سه فاز

مشخصات پیل سوختی موردمطالعه

در این سیستم از یک پیل سوختی ۵۰ کیلووات که از طریق اینورتر IGBT به ریزشبکه متصل می شود، استفاده شده است. اینورتر از سوئیچینگ هیسترزیس استفاده می کند و با فعال کردن جریان محور مستقیم درحالی که توان راکتیو را در صفر وار نگه می دارد، توان اکتیو را کنترل می کند. برای اتصال مبدل به شبکه از یک ترانسفورماتور

اتصال سه فاز (۲۰۰kV/۲۰۰۷) استفاده شده است. اطلاعات بیشتر از این پیل سوختی در (Zhu et al., 2002) نشان داده شده است.

مشخصات سيستم فتوولتائيك موردمطالعه

مزرعه PV شامل چهار آرایه PV است که ۱۰۰ کیلووات را با تابش خورشید PV شامل چهار آرایه PV میدهد. یک بلوک آرایه PV متشکل از ۶۴ رشته موازی است که هر رشته دارای ۵ ماژول است که بهصورت سری متصل شدهاند. هر آرایه PV به یک مبدل DC/DC متصل است. خروجیهای مبدلهای تقویت کننده به یک گره DC مشتر ک با ولتاژ مستقیم را به ۲۶۰ ولت جریان متناوب تبدیل کرده و ضریب توان واحد را حفظ می کند. برای اتصال مبدل به شبکه از یک ترانسفورماتور اتصال سه فاز (۲۶۰۷/۲۶۰۷) استفاده شده است.

مشخصات خودرو برقى موردمطالعه

این مدل متشکل از ده خودرو بوده و هر خودرو دارای دو باتری است. توان و ظرفیت نامی هر باتری به ترتیب ۲۰ کیلووات و ۸۵ کیلووات ساعت و بازده این سیستم ۹۰٪ میباشند. این سیستم در حالت تزریق به شبکه (Vehicle-to-Grid) طراحیشده و در صورت بروز حادثه، از توان موجود برای تنظیم شبکه استفاده می کند. برای اتصال این سیستم به شبکه از یک ترانسفورماتور اتصال سه فاز (۲۰kV/۶۰۰۷) استفاده شده است.

مشخصات خطوط و بارها

للاول (۱). طول خطوط	خطوط	طول	:(۲)	دول
---------------------	------	-----	------	-----

۹–۸	۸-۶	γ_۶	8-4	۵-۴	4-1	۳-۱	۲-۱	شماره بخش
١	• /۶	١/٩	۲/۴	Υ/Υ	۲/۴	۲/۱	۲/۷	طول (km)
حدول (۳): مشخصات بارامت های خط								

[C ₁ C ₀] (F/m)		[L ₁ L ₀] (H/m)	*[$R_1 R_0$] (Ω/m)			
۱/۳·۶۵×۱۰ ^{-۱۱}		$\Lambda/\Lambda \Delta \Lambda \boldsymbol{\cdot} \times \boldsymbol{1} \boldsymbol{\cdot}^{-Y}$	$1/\Delta T V \cdot \times 1 \cdot -\Delta$			
4/302×1.		2/8074×18	4/812•×1•- ^Δ			
* اندیسهای ۰ و ۱ نشاندهنده توالیهای مثبت و صفر هستند.						
جدول (۴): مشخصات بارها						

۶	٩&۴	١	شماره گره
R=700 Ω, L=1.7 H, 1 φ (phase B)	R=640 Ω, L=1.52 H 3 φ	R=1000 Ω, L=2 H, 1 φ (phase A)	مشخصات بار

۲-۳- بررسی روش پیشنهادی

با قرار دادن یک خطای دوفاز (A-B-G) با طول ۰/۴ کیلومتر از ابتدای بخش ۴-۶ و مقاومت ۲۰Ω، الگوریتم پیشنهادی بهمنظور یافتن طول و بخش اصلی خطا اجرا شده است. در این آزمون، ریزشبکه در حالت جزیرهای قرار داشته است. شکلهای (۶) و (۷) به ترتیب شکل موجهای ولتاژ و جریان را در لحظه خطا نشان میدهند. پس از اجرای

الگوریتم پیشنهادی، به ازای هر بخش یک نمودار به دست میآید. نمودارهایی که بهصورت صعودی یا نزولی باشند، بخش خطادار را نشان نمیدهند. تنها نموداری که یک نقطه کمینه مطلق را نشان دهد، بخش اصلی خطا است. شکل (۸) نتایج اجرای الگوریتم پیشنهادی در تمام بخشها را نشان میدهد. مشاهده میشود که فقط نمودار بخش ۴–۶ با طول خطای ۴/۰ دارای کمینه مطلق است و دیگر نمودارها بهصورت نزولی هستند. درنتیجه بخش ۴–۶ بهعنوان بخش خطادار بافاصله خطای ۴/۰ کیلومتر بهعنوان مکان خطا به دست میآید.



ارزیابی روش پیشنهادی در مکانهای مختلف خطا

در این قسمت، شش مکان مختلف با مقاومت خطای ۲۰۵ جهت اعمال خطای واقعی و آزمودن الگوریتم پیشنهادی در مکانهای مختلف خطا بررسی شده است. بهمنظور به دست آوردن دقت روش پیشنهادی از معادله (۱۶) استفاده می شود.

نتایج این آزمونها در جدول (۵) نشان داده شده است. با توجه به جدول (۵)، مشاهده می شود که بیشینه خطای این روش ۰/۳۷ در بخش ۸-۹ و کمینه خطا ۰/۰۲ در بخش ۱-۲ است. نتایج به دست آمده نشان دهنده عدم حساسیت روش پیشنهادی به مکان های مختلف خطا است.



شکل (۸): نتایج شبیهسازی خطا در بخش ۴–۶ بافاصله ۰/۴ کیلومتر از ابتدای بخش

جدول (۵): نتایج شبیهسازی در مکانهای مختلف

·///	فاصله محاسبهشده	فاصله خطا	بخش	المغرم ا
حط./	خطا (كيلومتر)	(كيلومتر)	خطادار	نوع خطا
•/•٢	2/2048	۲/۲	۲-۱	A-C-G
•/1٨	•/۵۲۹١	• /۵	۵-۴	B-C-G
•/11	۰/۸۸۱۹	٠/٩	۶-۴	A-B-G
٠/١۴	١/٣٢٢٨	١/٣	γ_۶	A-B
۰/۳۲	۱/۸۵۱۹	١/٨	۳-۱	A-C
۰/۳۷	•/۴۴•٩	• /۵	۹–۸	B-C

ارزیابی الگوریتم پیشنهادی با مقاومتها و زاویههای مختلف شروع
 خطا

بهمنظور ارزیابی دقت روش پیشنهادی، چندین خطای دوفاز در بخش ۶–۸ و در فاصله ۲/۳ کیلومتری از ابتدای بخش با چهار زاویه شروع خطا (۳۶، ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ درجه) و سه مقاومت مختلف خطا (۰، ۲۵ و ۵۰ اهم) شبیهسازی شده است. نتایج حاصل از این آزمونها در جدول (۶) نشان داده شده است. با توجه به جدول (۶) می توان دریافت که الگوریتم پیشنهادی مستقل از مقاومت و زاویه شروع خطا است.

جدول (۶): تاثیر مقاومتها و زاویههای مختلف شروع خطا در بخش

۶-

(خطا (درجه)	زاويه شروع			
(١٨٠)	(77.)	(٩٠)	(۳۶)	مقاومت خطا (Ω)	نوع خطا
	طا./	ż			
۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳		B-C
۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	·	A-B
۳۳/	۳۳/	۳۳ /	۰/۳۳	~ .	B-C
۳۳/ ۰	۰/٣٣	۰/۳۳	۰/۳۳	۲۵	B-C-G
۳۳/	۳۳/	۳۳ /	۰/۳۳		A-B-G
۰/۳۳	• /٣٣	۰/۳۳	۰/۳۳	۵۰	B-C-G

تأثیر تغییر پارامترهای خط بر دقت روش پیشنهادی

به دلیل تغییرات شرایط آب و هوایی و عمر خطوط، پارامترهای خط دچار تغییرات میشود. این تغییرات میتوانند بر دقت روشهای مکانیابی خطا تأثیر منفی داشته باشند. در این قسمت با متغیر فرض کردن پارامترهای

خط، دقت روش پیشنهادی ارزیابی شده است. جدول (۲) مقادیر جدید پارامترهای خط را در قالب دو سناریو نشان میدهد.

جدول (۷): مفادير جديد پارامىرھاي خط							
[C ₁ C ₀] (F/m)	[L ₁ L ₀] (H/m)	$\left[\begin{array}{c} R_1 R_0 \right] \left(\Omega / m \right)$	سناريو				
1/8198×1+-11	۸/۹۴۶۶×۱۰ ^{-۰۷}	1/2224×1,	1.1				
۴/۳۹۸۵×۱۰-۱۲	۲/۶ <i>۸۴۰</i> ×۱۰ ^{-۰۶}	۴/۶۵۸۱×۱۰-۰۵	اول				
1/8984×111	۸/۷۶۹۴×۱۰ ^{-۰۷}	1/2218×1,					
4/3114×1.	۲/۶۳·۸×۱۰ ^۶	۴/۵۶۵۸×۱۰-۰۵	دوم				

در سناریوی اول این پارامترها ۱٪ نسبت به مقادیر اولیه افزایش و در سناریوی دوم ۱٪ نسبت به مقادیر اولیه کاهش یافتهاند. بدین منظور یک خطای (A-C-G) با طول ۱/۲ کیلومتر از ابتدای بخش ۴–۵ و مقاومت خطای Δ۰۵ شبیهسازی شده است. مکان محاسبهشده توسط الگوریتم پیشنهادی با احتساب مقادیر اولیه پارامترهای خط ۱/۲۳ کیلومتر، در سناریوی اول ۱/۲۲ کیلومتر و در سناریوی دوم ۱/۲۴ کیلومتر به دست آمده است. نتایج این بررسیها در جدول (۸) نشان داده شده است.

جدول (۸): تأثیر تغییر پارامترهای خط بر دقت روش پیشنهادی

مقادير اوليه	سناريوي دوم	سناريوي اول
	درصد خطاى الگوريتم پيشنهادى	
• /٢	• /٣	• / \

با توجه به این نتایج میتوان دریافت که تغییر در پارامترهای خطوط نمیتواند بر دقت این روش تأثیرگذار باشد.

تأثیر خطای اندازه گیرها بر دقت روش پیشنهادی

در عمل، اندازه گیری جریان و ولتاژ دارای خطاهایی می اشند که دادهها را با درصدی خطا مواجه می سازند. در این قسمت تأثیر غیر ایده آل بودن اندازه گیری بر الگوریتم مکان یابی خطا مورد ارزیابی قرار گرفته است. در ادامه، انواع مختلف خطاهای دوفاز در مکانهای متفاوت و شرایط مختلف، شبیه سازی شده است. به منظور ارزیابی این تأثیرات بر روش پیشنهادی، ابتدا نمونه های ولتاژ ثبت شده در ابتدا و انتهای هر بخش را با در صدی خطای تصادفی همراه ساخته و داده های به دست آمده را به عنوان ورودی الگوریتم در نظر می گیریم. این اعداد تصادفی به علت اینکه کد هسته حفاظتی ترانس های معمول اندازه گیری ولتاژ EL-۲ یا T-۲ است، بین ۳+٪ تا ۳-٪ اعمال می شود. به عنوان مثال فرض می شود که یک خطای

(A-C-G) به زمین در فاصله ۱/۲ کیلومتر از ابتدای بخش ۴–۵ و مقاومت خطای ۲۰۰۵ رخ دهد. الگوریتم پیشنهادی مکانیابی خطا، به ازای اعداد تصادفی متفاوت، ۳۰۰۰ بار اجراشده و مقدار خطای روش در هر تکرار به دست میآید. مقدار متوسط این خطاها بهعنوان شاخصی جهت ارزیابی اثرگذاری خطای اندازه گیرها بر دقت روش پیشنهادی در نظر گرفته شده است. متوسط درصد خطای روش پیشنهادی برای خطای ذکرشده ۹/۰ است. متوسط درصد خطای روش پیشنهادی برای خطای ذکرشده ۹/۰ درصد بوده است. بهمنظور بررسی بیشتر، چندین خطا در مکانهای مختلف و مقاومتهای مختلف انجامشده که نتایج آن در جدول (۹) نمایش داده شده است. با توجه به جدول (۹) مشاهده میشود که بیشینه خطای روش پیشنهادی ۲۰/۷/است.

جدول (۹): تأثیر خطای اندازهگیرها بر دقت روش پیشنهادی

	خطا (Ω)	مقاومت -			فاصله خطا	
·	١٠	۲.	٣٠	بخش خطا	(km)	نوع خطا
	ط خطا	٪ متوس		-	(kiii)	
٠/٢٧	٠/٩٧	٠/٩٧	٠/٩٧	۵-۴	١/٢	A-C-G
٠/٢٨	•/۴١	٠/۴١	۰/۴۱	8-4	٠ /٣	B-C-G
۰/۲۳	• /٣٣	٠/٣٣	٠/٢٣	۲-۱	١	A-B

• حالتهای مختلف عملکرد منابع تولید پراکنده

ادغام در مقیاس بزرگ تولید نیروی باد، انرژی خورشیدی و ... اینرسی معادل یک سیستم قدرت را کاهش می دهد. از طرف دیگر، تولیدات این منابع می تواند در طول شبانه روز و شرایط مختلف آب و هوایی، به کمینه یا بیشینه خود برسند. با توجه به ویژگیهای نامنظم، غیر خطی و غیر ثابت این منابع، چالشهای مهمی در تنظیم فرکانس و توان سیستم به وجود می آید. این تغییرات می توانند الگوریتمهای مکانیابی خطا را دچار مشکل کنند؛ بنابراین، بررسی عدم قطعیت در منابع تجدید پذیر و خودروهای برقی بسیار مهم است. در این قسمت تأثیر عدم قطعیت بر روش پیشنهادی، در قالب سه سناریو بررسی شده است. جدول (۱۰) مقادیر جدید منابع را نشان می دهد.

جدول (۱۰): سناریوهای مختلف عملکرد منابع تولید پراکنده

پیل سوختی	خودرو برقى	فتوولتائيك	توربين بادى	سناريو
۵۰ kW	۴۰۰ kW	۱۰۰ kW	۳ MW	اول
۵۰ kW	$\wedge \cdot \cdot kW$	۳۰۰ kW	${\scriptstyle \Delta \cdots kW}$	دوم
· kW	۱۲۰۰ kW	· kW	$1/\Delta$ MW	سوم

خطا.⁄	فاصله محاسبهشده خطا (کیلومتر)	فاصله خطا (کیلومتر)	بخش محاسبەشدە	بخش خطادار	سناريو
• / • ٢	7/7 • 48	۲/۲	۲-۱	۲-۱	اول
۰/۱۴	1/8228	١/٣	۷-۶	۷-۶	دوم
• /٣٢	١/٨۵١٩	١/٨	۳-۱	۳-۱	سوم

نتایج حاصل از این شبیه سازی ها در جدول (۱۱) نشان داده شده است. در این جدول، نتایج اعمال خطاهایی از نوع A-C، A-C و C-A برای

سناریوهای ۱ تا ۳ در نظر گرفته شده است. با مقایسه جدول (۱۱) با جدول (۵) می توان دریافت که در نظر گرفتن تغییر در تولید منابع، دقت روش پیشنهادی هیچگونه تغییری نداشته است.

حالت متصل به شبکه

در این بخش، تأثیر حالت متصل به شبکه بر دقت روش پیشنهادی بررسی شده است. به این منظور، چندین خطای دوفاز در مکانهای مختلف، مقاومتهای مختلف خطا و زاویههای مختلف شروع خطا شبیهسازیشده و نتایج آنها در جدولهای (۱۲) و (۱۳) نشان داده شده است.

جدول (۱۲): نتایج شبیهسازی در مکانهای مختلف

خطا./	فاصله محاسبهشده	فاصله خطا	بخش		
	خطا (كيلومتر)	(كيلومتر)	خطادار	نوع خطا	
٠/١٢	۲/۳۸۱۰	۲/۴	۲-۱	A-B-G	
•/\٨	·/۵۲۹١	• /۵	۵-۴	B-C-G	
۰/۰۳	۰/۷ · ۵۵	• /Y	۶-۴	A-B-G	
٠/١۴	1/8228	١/٣	γ_۶	A-B	
۰/۳۲	١/٨۵١٩	١/٨	۳-۱	A-C	
٠/٣٧	•/44•9	• /۵	۹–۸	B-C	

جدول (۱۳): مقاومتها و زاویههای مختلف شروع خطا در بخش ۶-۸

-		5	زاويه شروع	خطا (درجه)	(
خطا	مقاومت خطا (Ω)	(۳۶)	(٩٠)	(277)	(۱۸۰)
		خطا./			
В		۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳
А	·	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳
В	24	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳
В-0	10	۰/۳۳	۰/۳۳	۰ /۳۳	۰/۳۳
A-l	۸.	۰/۳۳	۰/۳۳	۰ /۳۳	۰/۳۳
В-0	ω•	۰/۳۳	٠/٣٣	۰/۳۳	۳۳/

با توجه به جداول (۱۲) و (۱۳) مشاهده می شود که بیشینه خطای روش پیشنهادی ۳۷/۰۰٪ در حالت متصل به شبکه است. همچنین مقاومتها و زاویههای مختلف شروع خطا تأثیری بر دقت این الگوریتم نداشته است. درنتیجه، با توجه به این جداول می توان دریافت که روش پیشنهادی مستقل از حالتهای جزیرهای و متصل به شبکه است.

۳-۳- مقایسه الگوریتم پیشنهادی با دیگر روشهای ارائهشده در سالهای اخیر

تمرکز این مقاله بر روی محاسبه فاصله و بخش خطا در ریزشبکههای جریان متناوب در حالتهای جزیرهای و متصل به شبکه است. از مزایای این روش نسبت به دیگر روشها میتوان به سرعتبالا، سادگی و استفاده از مدل گسترده خط اشاره کرد. علاوه بر این، عدم حساسیت به حضور منابع تجدید پذیر، خودروهای برقی، تغییر پارامترهای خطا، زاویههای مختلف شروع خطا، مکانها و مقاومتهای مختلف خطا و حالتهای مختلف عملکرد منابع تولید پراکنده را نیز میتوان از دیگر مزایای این روش نام برد. جدول (۱۴) نتایج مقایسه روش

Bretas, A., Orozco-Henao, C., Marín-Quintero, J., Montoya, O., Gil-González, W., & Bretas, N. (2021). Microgrids physics model-based fault location formulation: Analytic-based distributed energy resources effect compensation. *Electric power systems research*, *195*, 107178.

Chen, R., Lin, T., Bi, R., & Xu, X. (2017). Novel strategy for accurate locating of voltage sag sources in smart distribution networks with inverter-interfaced distributed generators. *Energies*, *10*(11), 1885.

Daisy, M., & Dashti, R. (2016). Single phase fault location in electrical distribution feeder using hybrid method. *Energy*, *103*, 356-368.

Dashti, R., Daisy, M., Mirshekali, H., Shaker, H. R., & Aliabadi, M. H. (2021). A Survey of Fault Prediction and Location Methods in Electrical Energy Distribution Networks. *Measurement*, 109947.

Dashti, R., Ghasemi, M., & Daisy, M. (2018). Fault location in power distribution network with presence of distributed generation resources using impedance based method and applying π line model. *Energy*, *159*, 344-360.

Dashti, R., Daisy, M., & Aliabadi, M. H. (2021). Healthy and faulty mode detection in power distribution networks based on park transformation. *Electric power systems research, 191*, 106867.

Dashti, R., Daisy, M., Javadi, S., & Aliabadi, M. H. (2021). Proposing a new method to improve the longitudinal differential relay performance using the Clarke transformation: Theory, simulation, and experiment. *Measurement*, *168*, 108450.

Dashti, R., & Sadeh, J. (2014). Accuracy improvement of impedance-based fault location method for power distribution network using distributed-parameter line model. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 24(3), 318-334.

Duan, J., Zhang, K., & Cheng, L. (2015). A novel method of fault location for single-phase microgrids. *IEEE Transactions on smart grid*, 7(2), 915-925.

Gabr, M. A., Ibrahim, D. K., Ahmed, E. S., & Gilany, M. I. (2017). A new impedance-based fault location scheme for overhead unbalanced radial distribution networks. *Electric power* systems research, 142, 153-162.

Ganivada, P. K., & Jena, P. (2021). A Fault Location Identification Technique for Active Distribution System. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*.

Gholami, M., Abbaspour, A., Moeini-Aghtaie, M., Fotuhi-Firuzabad, M., & Lehtonen, M. (2019). Detecting the location of short-circuit faults in active distribution network using PMUbased state estimation. *IEEE Transactions on smart grid*, *11*(2), 1396-1406.

Gord, E., Dashti, R., Najafi, M., & Shaker, H. R. (2019). Real fault section estimation in electrical distribution networks based on the fault frequency component analysis. *Energies*, *12*(6), 1145. Hassani, H., Razavi-Far, R., & Saif, M. (2020). Fault location in smart grids through multicriteria analysis of group decision support systems. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, *16*(12), 7318-7327.

Katić, V. A., Aleksandar, M., Dumnić, B. P., & Popadić, B. P. (2019). *Impact of V2G operation of electric vehicle chargers on distribution grid during voltage dips.* Paper presented at the IEEE EUROCON 2019-18th International Conference on Smart Technologies.

Liang, R., Peng, N., Zhou, L., Meng, X., Hu, Y., Shen, Y., & Xue, X. (2019). Fault location method in power network by applying accurate information of arrival time differences of modal traveling waves. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, *16*(5), 3124-3132.

Lu, J., & Hossain, J. (2015). Vehicle-to-grid: linking electric vehicles to the smart grid: Institution of Engineering and Technology.

پیشنهادی را با دیگر مقالات نشان میدهد. با توجه به این جدول، بیشینه خطای روش پیشنهادی در قسمت تخمین فاصله خطا با در نظر گرفتن خطای اندازه گیری، ٪۹۹/۲ و بدون آن ۰/۳۷٪ است که نشان دهنده دقت بالای این روش نسبت به دیگر روشها است.

جدول (۱۴): مقایسه روش پیشنهادی با دیگر روشهای ارائهشده

٪ خطا (فاصلەيابى)	تخمین بخش خطا	حضور خودرو برقی	بررسی تغییر پارامترهای خط	مدل خط	مرجع
Λ/Δ	\checkmark	-	-	گسترده	Gholami et) (al., 2019
۱/۵	-	-	-	π	Dashti et) (al., 2018
١/٣٨	-	-	-	π	Bretas et) (al., 2021
٣		-	\checkmark	كوتاه	(Ganivada et al., 2021)
١	-	-	-	كوتاه	(Bahmanyar et al., 2017)
۱.	-	-	-	گسترده	(Duan et al., 2015)
٠/٩٧		\checkmark	\checkmark	گسترده	روش پیشنهادی

۴- نتیجه گیری

در این مقاله روشی جدید جهت تعیین مکان دقیق خطاهای دوفاز در ریز شبکههای حالت جزیرهای و متصل به شبکه بر اساس اطلاعات ثبت شده در ابتدا و انتهای هر بخش و مدل گسترده خط ارائه شده است. درروش پیشنهادی ابتدا ریزشبکه موردنظر در نرمافزار متلب مدل سازی و سیس خطا در چندین نقطه با فواصل مختلف و در بخش های متفاوت شبیه سازی شده است. برای هر خطا اطلاعات ولتاژ و جریان ثبت شده در ابتدا و انتهای هر بخش، به صورت آنلاین فراخوانی و ذخیره می گردد. سیس با استفاده از اطلاعات ذخیره شده و بر ا ساس الگوریتم پیشنهادی، بخش خطادار و فاصله دقیق خطا شنا سایی شده است. این روش به حضور منابع تجدید پذیر و خودروهای برقی حساس نبوده و نتایج شبیهسازی مستقل بودن این روش در برابر مکانهای مختلف خطا، مقاومتها و زوایای مختلف شروع خطا، تغییر پارامترهای خط و حالت های مختلف عملکرد منابع تولید پراکنده را اثبات کرده است. حداکثر خطای این روش با در نظر گرفتن خطاهای اندازه گیری ۰//۹۷ و بدون آن ۰/۳۷٪ است که در مقایسه با دیگر مقالات نشاندهنده دقت بالای این روش است.

مراجع

Aboshady, F., Thomas, D. W., & Sumner, M. (2019). A wideband single end fault location scheme for active untransposed distribution systems. *IEEE Transactions on smart grid*, 11(3), 2115-2124.

Bahmanyar, A., & Jamali, S. (2017). Fault location in active distribution networks using non-synchronized measurements. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 93, 451-458.

Mazumder, M., & Debbarma, S. (2020). EV Charging Stations With a Provision of V2G and Voltage Support in a Distribution Network. *IEEE Systems Journal*, 15(1), 662-671.

Mirshekali, H., Dashti, R., Keshavarz, A., Torabi, A. J., & Shaker, H. R. (2020). A novel fault location methodology for smart distribution networks. *IEEE Transactions on smart grid*, *12*(2), 1277-1288.

Naidu, O., & Pradhan, A. K. (2020). Precise Traveling Wave-Based Transmission Line Fault Location Method Using Single-Ended Data. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, *17*(8), 5197-5207.

Orozco-Henao, C., Mora-Florez, J., Marín-Quintero, J., Velez, J. C., Da Silva, M., & Perez-Londoño, S. (2019). *Fault Location System for Active Distribution Networks*. Paper presented at the 2019 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference-Latin America (ISGT Latin America).

Stevenson, W. D. (1975). Element of Power System. Analysis, Second Edition, McGraw H, 111.

Wang, Y., Sheikh, O., Hu, B., Chu, C.-C., & Gadh, R. (2014). Integration of V2H/V2G hybrid system for demand response in distribution network. Paper presented at the 2014 IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm).

Zhu, Y., & Tomsovic, K. (2002). Development of models for analyzing the load-following performance of microturbines and fuel cells. *Electric power systems research*, *62*(1), 1-11.

دشتی، ر، دیسی، م، جوادی، ش، (۱۳۹۷). مکانیابی خطای تک فاز به روش امپدانسی با بهرهگیری از روشهای شناسایی الگو[،] *کیفیت و بهرموری در*

صنعت برق ایران، ۲(۲) (پیاپی ۱۴)، صص ۱۱–۱۹.

دیسی، م، دشتی، ر، مکانیابی خطا در شبکههای توزیع با استفاده از ترکیب

روش امپدانسی و فرورفتگی ولتاژ[،] (۱۳۹۶). مهندسی برق و مهندسی کامییوتر ایران – الف مهندسی برق، ۱۵(۱)، صص ۱۲-۲۰.

غفارزاده، ن، اکبری، م، **مروری برروش** *های مکان یابی خطا درسیستم های*

توزیع برق، (دی ۱۳۹۲). هشتمین کنفرانس تخصصی حفاظت و کنترل سیستمهای قدرت، انجمن مهندسی برق و الکترونیک ایران، تهران، ایران.

] [Downloaded from ieijqp.ir on 2025-08-20]