

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

بررسی دسته‌بندی هوشمند انواع خطا در خطوط انتقال دو مداره جبران شده سری مبتنی بر تحلیل فضای فاز و الگوریتم یادگیری رگرسیون لجستیک در شرایط مختلف

داریوش فرهادی (نویسنده مسئول)^۱، مصطفی سرلک^۲

^۱ کارشناس ارشد برق، گرایش سیستم‌های قدرت، خوزستان، ایران farhadi.dariush71@gmail.com

استادیار، گروه قدرت، دانشگاه صنعتی جندی شاپور، دزفول sarlak@jsu.ac.ir

چکیده

در این مقاله، بررسی روش دسته‌بندی خطاها در خطوط انتقال دومداره جبران شده سری با استفاده از تحلیل فضای فاز و الگوریتم یادگیری رگرسیون لجستیک ارائه شده است. بر این اساس، الگوریتمی طراحی شده است که در آن، ابتدا سیگنال‌های جریان و ولتاژ شش‌فاز در یک سمت خط انتقال اندازه‌گیری و نمونه‌برداری می‌شوند. سپس، پس از تحلیل فضای فاز نمونه‌های جریان و ولتاژ، بردار ویژگی‌های آماری خروجی تحلیل مذکور محاسبه می‌گردد. در پایان، بردار ویژگی به مدل هوشمند از قبل آموزش داده شده، برای تعیین نوع خطای رخ داده، اعمال می‌شود. الگوریتم پیشنهادی بر روی شبکه نمونه‌ای که در شرایط مختلف وقوع خطا شامل مقادیر مختلف مقاومت خطا، لحظه وقوع خطا، فرکانس‌های نمونه برداری مختلف، انواع طول خط انتقال، سطح جبران‌سازی، میزان بار انتقالی بر روی خط انتقال و مکان وقوع خطا در نرم‌افزار PSCAD شبیه‌سازی شده است، بررسی و مورد آزمایش واقع شد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی مبین دقت تشخیص ۱۰۰ درصدی است. این میزان دقت فقط با در نظر گرفتن طول پنجره داده پس از وقوع خطا برابر با ۵/۶ میلی‌ثانیه حاصل شده است که نشانگر کمتر بودن میزان اطلاعات لازم نسبت به روش‌های دیگر است.

واژه‌های کلیدی

خطوط انتقال دومداره، جبران‌سازی سری، دسته‌بندی خطا، رگرسیون لجستیک، تحلیل فضای فاز.

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

۱. مقدمه

خطوط انتقال یکی از ارکان اساسی سیستم قدرت هستند و مانند همه تجهیزات دیگر سیستم قدرت در معرض انواع خطاها قرار دارند. توجه به چنین موضوعی، خطوط انتقال را یکی از ارکان اساسی سیستم قدرت قرار داده است. که مانند همه تجهیزات دیگر سیستم قدرت در معرض انواع خطاها قرار دارند [۱]. خطوط انتقال دو مداره با توجه به افزایش مصرف انرژی، محدودیت سیستم‌های انتقال توان الکتریکی و محدودیت‌های زیست محیطی به طور گسترده‌ای در سیستم‌های قدرت مدرن استفاده شده‌اند. همچنین به منظور افزایش قابلیت انتقال توان، افزایش پایداری و میرایی نوسانات سیستم قدرت در خطوط انتقال بلند، کاهش تلفات، کاهش تأثیرات محیطی، از ادوات جبران‌سازی سری (SC)، از جمله بانک خازن سری، استفاده می‌گردد که این جبران‌سازی‌ها، معمولاً توسط دستگاه برقی در مقابل اضافه ولتاژها محافظت می‌شود [۲]. اگر چه، مزایای ذکر شده حاکی از کاهش راکتانس کل خط است، اما این کاهش راکتانس مشکلاتی در زمان تنظیمات رله دیستانس به دلیل تأثیر مستقیم بر امپدانس اندازه‌گیری توسط رله دیستانس ایجاد می‌کند. شایان ذکر است که در طول دوره خطا، جریان خطای عبوری از خازن باعث تولید اضافه ولتاژ در ترمینال‌های خازن سری می‌شود. اضافه ولتاژهای ظاهر شده در خط محافظت شده، باعث بروز قوس در شاخک‌های موازی بانک خازنی سری می‌شود، بنابراین برای محدود کردن ولتاژ دو سر خازن از حفاظت MOV^۱ که ولتاژ دو سر خازن را در محدوده مجاز حفظ می‌کند، استفاده می‌شود. هم‌چنین، به دلیل اثرات راکتانس جبران‌سازی، تجهیزات حفاظتی خازن سری، مانند MOV، بر امپدانس اندازه‌گیری شده در خطای اتصال کوتاه تأثیرگذار هستند [۳].

رله‌های دیستانس، مهم‌ترین ادوات برای حفاظت چنین تجهیزاتی هستند که به‌طور کلی در قالب دو دسته (۱) رله‌های دیستانس ساده و (۲) رله‌های دیستانس مجهز به مازول دسته‌بندی کننده نوع خطا، تولید و مورد استفاده قرار می‌گیرند. سرعت و دقت مازول دسته‌بندی نوع خطا در رله‌های دیستانس دسته دوم، نقش کلیدی زیادی در موفقیت رله دیستانس دارند و کند بودن آن سبب می‌شود تا مدت زمان پاک شدن خطا طولانی شود و عدم تشخیص صحیح نوع خطا توسط آن ممکن است منجر به عدم تشخیص خطا گردد [۴، ۱]. به علاوه، اکثر خطاهایی که در خطوط انتقال فشارقوی رخ می‌دهند از نوع خطاهای گذرا هستند. چنین خطاهایی می‌توانند از طریق بازبست خودکار تک‌فاز برطرف شوند که این امر موجب بهبود پایداری گذرا و افزایش قابلیت اطمینان سیستم قدرت می‌گردد. برای انجام این کار، ابتدا رله بازبست نیازمند تشخیص فاز خطا دار است که خروجی حل مسئله طبقه‌بندی خطا است. به دلیل اهمیت موضوع دسته‌بندی نوع خطا در خطوط انتقال دوماداره جبران شده سری، تحقیقاتی انجام گرفته است. در [۵]، از تبدیل موجک گسسته به همراه الگوریتم درخت-تصمیم، برای تشخیص نوع خطا برای حفاظت از خطوط دو مداره جبران شده سری استفاده نموده است. شایان ذکر است که بار محاسباتی این روش برای پیاده‌سازی آنلاین قابل توجه است و هم‌چنین، مسألی از قبیل این‌که چه موجک مادری بهینه است در این دسته از روش‌ها وجود دارد. در [۶]، الگوریتمی ارائه شده است که در ابتدا ویژگی‌هایی مبتنی بر تبدیل موجک گسسته استخراج و سپس با استفاده از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه، دسته‌بندی صورت پذیرفته است. در این روش انواع لحظه وقوع خطا در نظر گرفته نشده و ممکن است در زمان‌های مختلف خطا دقت کافی را نداشته باشد. در [۷]، مسئله دسته‌بندی خطا در خطوط انتقال دو مداره جبران شده سری مبتنی بر تبدیل موجک بر پایه مولفه مودال بدست آمده از دامنه اولین امواج سیار جریان خطا پیشنهاد شده است. اگر چه، الگوریتم مذکور در زمان‌های مختلف وقوع خطا بررسی نشده است. در [۸]، طرح هوشمندی با استفاده از آموزش تجزیه سیگنال به مولفه‌های مود ذاتی، شاخص‌های استخراج و مبتنی بر الگوریتم ترکیبی نایو بیس، شبکه عصبی احتمالی و ماشین بردار پشتیبان برای شناسایی خطای بین-مداری استفاده شده است. اگر چه، ماشین بردار پشتیبان دسته‌بندی کننده خوبی برای خط جبران شده سری غیرخطی است. اما، در صورت عدم وجود روش مشخص، پارامترهای آن باید با استفاده از روش آزمایش و خطا برای هر برنامه جدید تصمیم بگیرند.

باتوجه به روش‌های پیشنهادی مورد اشاره در پاراگراف بالا، این نکته مشهود است که علی‌رغم ارائه ویژگی‌های مختلف، به تعیین ارائه ویژگی در حوزه فضای فاز در خطوط انتقال دو مداره جبران شده سری پرداخته نشده است. در واقع، با انتقال سیگنال‌های ولتاژ و جریان به این حوزه، اطلاعات شکل سیگنال‌های مذکور بصورت واضح‌تری نمایان می‌شوند. در این پژوهش سعی شده است ابتدا، با استفاده از تحلیل اطلاعات پس از وقوع خطای سیگنال‌های ولتاژ و جریان در حوزه فاز، ویژگی‌های با قابلیت تمایز مابین انواع مختلف خطا استخراج

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

گردد. سپس، مبتنی بر الگوریتم یادگیری رگرسیون لجستیک^۲، طرحی هوشمند آماده شود. نتایج به دست آمده از پیاده سازی روش پیشنهادی بر شبکه نمونه، حاکی از سرعت و دقت مناسب مدل و در عین حال نیاز کمتر آن به حجم اطلاعات پس از وقوع خطا نسبت به سایر روش های ارائه شده تاکنون دارد.

به طور مشخص مهم ترین نوآوری های این مقاله عبارتند از:

- ارائه روشی مبتنی بر تحلیل فضای فاز برای استخراج ویژگی های پنهان با توانایی جداپذیری بهتر نسبت به داده های خام بدون پردازش، جهت تزریق به الگوریتم هوشمند (در این مقاله رگرسیون لجستیک) در خط دو مداره جبران شده سری است. که بر خلاف روش های تحلیل مرسوم مبتنی بر تبدیل فوری و تبدیل موجک نیازمند حل هیچ رابطه انتگرالی نیست و از این حیث از حجم محاسبات کمی برخوردار است.

- روش پیشنهادی بر روی خط انتقال دومداره جبران شده سری در شرایط مختلف پیاده سازی و مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج حاکی از سرعت بالا و کاهش چشم گیر حجم اطلاعات مورد نیاز پس از وقوع خطا و دقت قابل قبول آن است. ساختار مقاله بدین صورت می باشد، در بخش دوم تئوری حل مسئله مطرح می گردد. سپس، نتایج مورد بحث و بررسی در بخش سوم توضیح داده می شود. پس از آن، در بخش چهارم، نتیجه گیری کلی بیان می گردد.

۲. تئوری حل مساله

در این مقاله، ابتدا از روش تحلیل فضای فاز برای استخراج ویژگی استفاده شده است. سپس، مبتنی بر این ویژگی ها مدلی هوشمند با استفاده از الگوریتم یادگیری رگرسیون لجستیک برای دسته بندی انواع خطا در یک خط دو مداره جبران شده سری طراحی شده است. برای کاهش مدت زمان تصمیم گیری در این خصوص دو کار بایستی انجام گیرد: (۱) کاهش میزان داده پس از وقوع خطای مورد نیاز برای تصمیم گیری و (۲) کاهش مدت زمان اجرای الگوریتم دسته بندی نوع خطا. در این پژوهش، سعی شده تا با انتقال داده های ولتاژ و جریان با حجم کم (پس از وقوع خطا) دریافتی از ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان به حوزه فاز و استخراج ویژگی های با قابلیت تفکیک پذیری بالا، مورد اول برای کاهش زمان تصمیم گیری انجام گیرد. هم چنین، برای کاهش مدت زمان مورد نیاز برای اجرای الگوریتم از روش تحلیل فضای فاز و روش هوشمند رگرسیون لجستیک که الگوریتمی سریع است، استفاده شده است. در ادامه این زیربخش به موضوع فضای فاز پرداخته می شود.

۱.۲. فضای فاز

در ریاضیات و فیزیک، یک سیستم دینامیکی معمولاً توسط فضای فاز (حالت) تعریف می شود و هر مختصات متعامد، متناسب با آن، بیانگر یکی از متغیرهای مورد نیاز برای تعیین حالت لحظه ای سیستم است [۹]. برای سیستمی حقیقی، برای تعیین فضای فاز سیستم، بایستی همه متغیرهای فاز (حالت) آن اندازه گیری شوند. لیکن، به دلیل آن که اندازه گیری همه این متغیرهای به صورت عملی در بسیاری از موارد امکان پذیر نمی باشد، به دست آوردن فضای فاز سیستم مذکور به صورت مستقیم می تواند قابل حصول نباشد. برای رفع این مساله، تئوری جاسازی مطرح شده است [۹] که با پشتوانه آن می توان با کمک اندازه گیری های قابل دسترس از سیستم، شکل فضای فاز سیستم را تخمین زد. یکی از مرسوم ترین روش های تخمین فضای فاز سیستم، روش تاخیری می باشد. در این روش، در صورت دسترسی به سری زمانی اندازه گیری ها از یک سیستم، با استفاده از رابطه (۱)، می توان فضای فاز را تخمین زد [۱۰]:

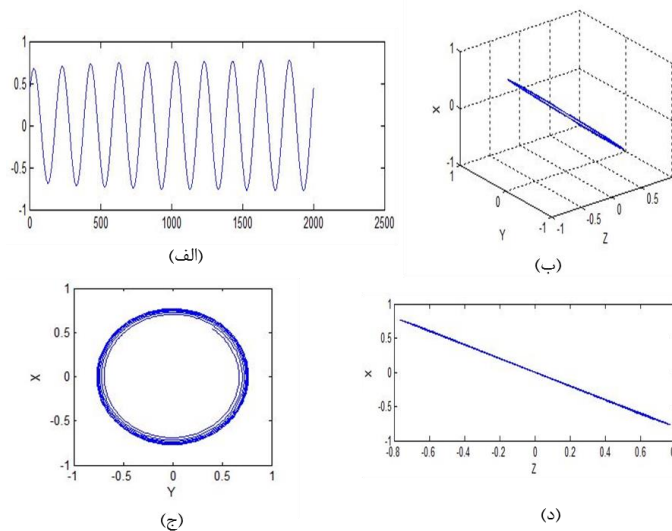
$$\begin{aligned} x_n &\rightarrow y_n \\ y_n &= [x_{n+(m-1)\tau}, x_{n+(m-2)\tau}, \dots, x_n] \end{aligned} \quad (1)$$

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

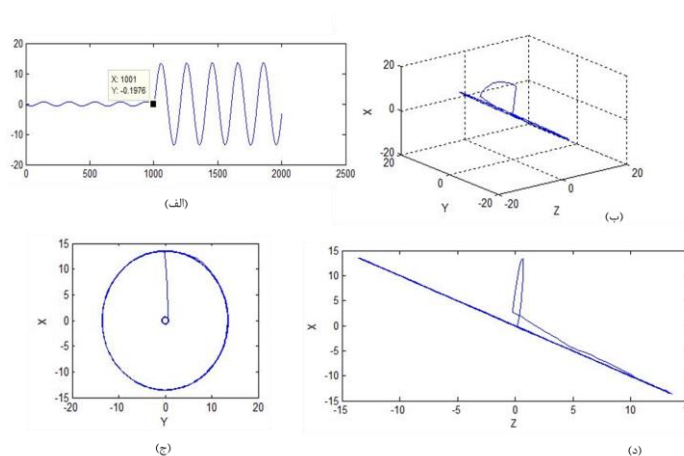
11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

که در آن m و τ به ترتیب عبارتند از تعداد بعد (تعداد متغیرهای فاز) سیستم و تأخیر زمانی در فضای فاز. همچنین بردار y_n متناظر با x_n در فضای فاز است. طبق مرجع [۱۰]، در صورتی که m و τ به درستی انتخاب شوند، فضای فاز دارای مشخصات مشابه با فضای فاز (فضای حالت) حقیقی سیستم مورد نظر خواهد بود. در این مقاله، بعد فضا و زمان تأخیر به ترتیب ۳ و ۵ میلی ثانیه در نظر گرفته شده‌اند. دلیل اینکه بعد فضا و زمان تأخیر این مقادیر انتخاب شده‌اند، در مقاله [۱۱] بیان شده است. بنابراین، شکل فضای فاز سیستم با در نظر گرفتن ابعاد سه گانه سیستم x ، y و z برای فضای ۳ بعدی با زمان تأخیر ۵ میلی ثانیه توصیف شده است. به عنوان نمونه، در شکل (۱)، فضای فاز استخراج شده مبتنی بر سری زمانی نمونه‌های جریان در شرایط عدم وقوع خطا آورده شده است. همچنین، در شکل (۲) فضای فاز استخراج شده مبتنی بر سری زمانی نمونه‌های جریان در شرایط وقوع خطای تک فاز نشان داده شده است.



شکل ۱. (الف) سری زمانی نمونه‌های جریان، (ب) فضای فاز بازسازی شده، (ج) تصویر فضای فاز بر روی صفحه X-Y و (د) تصویر فضای فاز بر روی صفحه X-Z



یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

شکل ۲. (الف) سری زمانی نمونه‌های جریان، (ب) فضای فاز بازسازی شده، (ج) تصویر فضای فاز بر روی صفحه X-Y و (د) تصویر فضای فاز بر روی صفحه X-Z

در این مقاله، برای استخراج ویژگی‌ها، ابتدا تصویر فضای فاز سیستم بر روی صفحه X - Z به دست آمده، سپس رابطه زیر محاسبه شده است:

$$f(x, z) = \sqrt{x^2 + z^2} \quad (2)$$

در انتها و مبتنی بر مقادیر (۱) انحراف معیار، (۲) ماکزیمم، (۳) مینیمم و (۴) میانه، برای خروجی‌های رابطه (۲)، ویژگی‌ها محاسبه شده‌اند. شایان ذکر است که در مورد نحوه استخراج ویژگی‌ها و شبکه قدرت نمونه، در مقاله [۱۲، ۱۳] بحث شده است.

۲.۲. الگوریتم رگرسیون لجستیک

رگرسیون لجستیک، که به نام رگرسیون اسمی نیز نامیده می‌شود، یکی از تکنیک‌های کاربردی برای تحلیل داده‌های طبقه‌بندی شده است. به عنوان نمونه، اگر نتیجه آزمایشی به صورت خطا یا عدم خطا تعریف شود، در این حالت، متغیر پاسخ دیگر پیوسته نبوده بلکه به صورت باینری خواهد بود. این روش مشابه رگرسیون خطی است، اما به جای یک متغیر هدف عددی، یک متغیر کیفی (مانند متغیر اسمی) را می‌پذیرد. این روش می‌تواند هم با مدل‌های دو جمله‌ای (برای هدف‌هایی که دارای دو دسته جدا از هم باشند) و هم با مدل‌های چند جمله‌ای (برای هدف‌هایی که دارای بیش از دو دسته باشند) کار کند. رگرسیون لجستیک با ساختن یک مجموعه از معادله‌ها کار می‌کند که مقادیر متغیر ورودی را به احتمالات مربوط به هر یک از دسته‌های ممکن برای آن متغیر (فیلد خروجی) مرتبط می‌سازد. هنگامی که مدل ایجاد شد، می‌توان آن را برای تخمین زدن احتمالات برای داده‌های جدید به کار برد. برای هر کلاس، یک احتمال عضویت برای هر یک از دسته‌های ممکن خروجی محاسبه می‌شود [۱۴]. آن دسته هدف که دارای بیشترین میزان احتمال باشد، به عنوان مقدار پیش‌بینی شده خروجی برای آن کلاس در نظر گرفته خواهد شد. و با توجه به رابطه‌های زیر دسته‌بندی صورت می‌گیرد:

$$P = P_r(y_i = 1|x) = \frac{e^{\alpha + \beta_1 x_{1,i} + \dots + \beta_m x_{m,i}}}{1 + e^{\alpha + \beta_1 x_{1,i} + \dots + \beta_m x_{m,i}}} \quad (3)$$

که در آن x_i متغیری است که وقوع یا عدم وقوع در i -امین اتفاق و p_i احتمال وقوع را نشان می‌دهد. β_0 ضریب ثابت، β ها ضرایب متغیرها، ε مقدار خطا، y_i برچسب کلاس می‌باشند.

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & x_1^2 & \dots & x_1^m \\ 1 & x_2 & x_2^2 & \dots & x_2^m \\ 1 & x_3 & x_3^2 & \dots & x_3^m \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_n & x_n^2 & \dots & x_n^m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \dots + \beta_m x_i^m + \varepsilon_i \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{If } y_i = j \\ 0 & \text{If } y_i \neq j \end{cases}, \quad j=1, 2, \dots, j-1 \quad (6)$$

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

که در آن متغیر z برچسب کلاس، و متغیر y_{ij} احتمال عضویت در کلاس مشاهده شده را در نمونه x_i نشان می‌دهد [۱۴].

- شایان ذکر است که در مقاله [۱۵]، الگوریتم دسته بندی انواع خطای پیشنهادی، نحوه شبیه سازی شبکه قدرت نمونه، تولید داده، و نحوه طراحی مدل هوشمند بیان شده است.

۳. بحث و بررسی

۱.۳. بررسی تأثیر سطح جبرانسازی

روش پیشنهادی در صورت تغییر سطح جبرانسازی ۲۰٪ و ۴۰٪ با احتساب داده‌های خطاهای بین - مداری (مقاطع آ) ۷۲۰۰ داده، دقت قابل قبولی دارد. به طوری که در شرایط مختلف انواع خطا، دقت ۱۰۰ درصد حاصل شده است. بنابراین الگوریتم پیشنهادی به میزان تغییر در سطح جبرانسازی وابستگی ندارد، این مطلب نشان از دقت کامل الگوریتم پیشنهادی است. در جدول (۱) تأثیر سطح جبرانسازی مختلف بر روی کل نمونه‌های شبیه‌سازی، نشان داده شده است.

جدول ۱. تأثیر سطح جبرانسازی بر الگوریتم پیشنهادی

سطح جبرانسازی	تعداد نمونه‌های آموزش و تست	تعداد موارد تصمیم‌گیری اشتباه	دقت %
۲۰٪، ۴۰٪	۱۲۰۰۰	۰	۱۰۰
۲۰٪، ۴۰٪	۱۲۰۰۰	۰	۱۰۰
۲۰٪، ۴۰٪	۷۲۰۰	۰	۱۰۰
تعداد کل نمونه‌ها	۳۱۲۰۰	۰	۱۰۰

۲.۳. بررسی تأثیر فرکانس نمونه برداری بر روش پیشنهادی

در این بخش، اثر فرکانس نمونه برداری بر روش دسته‌بندی انواع خطا در خط دو مداره جبران شده سری توسط الگوریتم پیشنهادی بررسی گردیده است. در این بررسی، عملکرد روش پیشنهاد شده در فرکانس‌های نمونه برداری ۵، ۱۰ و ۲۰ کیلوهرتز مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج در جدول (۲) نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، تعداد موارد اشتباه تصمیم‌گیری الگوریتم پیشنهادی برای هر دو فرکانس نمونه برداری ۱۰ و ۲۰ کیلوهرتز برابر با صفر و برای فرکانس نمونه برداری ۵ کیلوهرتز برابر با ۲۸ نمونه است. این نتایج بیانگر مقاوم بودن الگوریتم پیشنهادی در برابر کاهش نرخ نمونه برداری است و با کاهش نرخ نمونه برداری پیشنهادی ۱۰ کیلوهرتز به ۵ کیلوهرتز، هم‌چنان دقت الگوریتم در حد قابل قبولی باقی می‌ماند. علی‌رغم دقت قابل قبول (تعداد موارد اشتباه ۲۸ مورد از ۹۳۶۰ مورد تست) نرخ نمونه برداری ۵ کیلوهرتز، نظر به این‌که دقت الگوریتم دسته‌بندی نوع خطا در حفاظت خطوط انتقال دو مداره جبران شده سری با رله‌های دیستانس اهمیت خیلی زیادی دارد، نرخ نمونه برداری بهینه از منظر دسته‌بندی نوع خطا در خطوط انتقال دو مداره جبران شده سری، در این مقاله برابر با ۱۰ کیلوهرتز پیشنهاد شده است که متضمن دقت ۱۰۰ درصدی بر روی داده‌های است.

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

جدول ۲. تاثیر فرکانس نمونه برداری بر صحت الگوریتم پیشنهادی

تعداد موارد	طول پنجره داده پس از وقوع خطا (تعداد نمونه)	فرکانس نمونه برداری (kHz)
تصمیم گیری اشتباه (از ۹۳۶۰ مورد تست)	۲۸	۵
	۵۶	۱۰
	۱۱۲	۲۰

۳.۳. بررسی تاثیر طول خط انتقال دو مداره جبران شده سری بر روش پیشنهادی

در جدول (۳) تاثیر طول خط انتقال دو مداره جبران شده سری بر روی روش پیشنهادی نشان داده شده است، به طوری که در هر سناریو یک طول خط دو مداره جبران شده سری را انتخاب نموده و سپس تاثیر طول خط انتقال بر روش پیشنهادی مورد ارزیابی قرار گرفته است. همان طور که مشاهده می شود در صورت اینکه طول خط انتقال دو مداره جبران شده سری از ۱۰۰ کیلومتر به ۳۰۰ کیلومتر افزایش یابد، طول پنجره داده پس از وقوع خطا از ۴۷ نمونه به ۵۶ نمونه افزایش پیدا می کند. و در صورتی که طول خط انتقال را به ۴۰۰ کیلومتر افزایش داده شود، الگوریتم پیشنهادی برای متضمن دقت ۱۰۰ درصدی نیاز به داده پس از وقوع خطای بیشتری دارد.

جدول ۳. تاثیر طول خط انتقال بر الگوریتم پیشنهادی

جبران سازی	طول خط انتقال (کیلومتر)	طول پنجره داده پس از وقوع خطا (تعداد نمونه)	دقت (%)
	۱۰۰	۴۷	۱۰۰
٪۲۰، ٪۴۰	۲۰۰	۵۱	۱۰۰
	۳۰۰	۵۶	۱۰۰
	۴۰۰	۶۳	۱۰۰

۴.۳. بررسی الگوریتم های یادگیری دیگر بر روی روش های پیشنهادی

همانگونه که در جدول (۴) مشاهده می شود روش پیشنهادی با الگوریتم های یادگیری دیگر، نتایج قابل قبولی را نشان می دهد. نتایج حاصل از به کارگیری این الگوریتم با دو تا از مرسوم ترین الگوریتم های درخت تصمیم Random Forest [۲۷-۲۸]، J48 [۲۹]، مقایسه شده است. شایان ذکر است که طول پنجره داده پس از وقوع خطا برای هر سه روش یکسان و برابر با ۵۶ در نظر گرفته شده است.

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

جدول ۴. بررسی الگوریتم‌های یادگیری دیگر بر روی روش پیشنهادی در خط دو مداره جبران شده سری

نوع الگوریتم یادگیری	طول پنجره داده (تعداد نمونه)	تعداد موارد تصمیم‌گیری اشتباه (از ۹۳۶۰ مورد تست)	
		تست	دقت (%)
J48	۵۶	۳۳	۹۸/۸۳
Random Forest	۵۶	۹	۹۹/۷
Logistic Regression	۵۶	۰	۱۰۰

۴.۳. بررسی تأثیر نوع ویژگی انتخابی بر روش پیشنهادی

همان‌طور که در جدول (۵) مشاهده می‌شود، مجموع نتایج حاکی از آن است که محاسبه ویژگی‌ها در صفحه $X-Z$ دقت مناسب‌تری نسبت به صفحه $X-Y$ در فضای فاز دارد. به همین دلیل، در این پژوهش، محاسبه ویژگی‌ها در صفحه $X-Z$ نسبت به صفحه $X-Y$ ترجیح داده شده است. به طور کلی، در حل مسائل دسته‌بندی هر چه ویژگی‌های انتخابی به منظور آموزش شبکه هوشمند دارای تفکیک-پذیری بیشتری باشند حجم محاسبات و پیچیدگی سیستم طراحی شده کاسته خواهد شد.

جدول ۵. تأثیر نوع ویژگی بر الگوریتم پیشنهادی در خط دو مداره جبران شده سری

نوع ویژگی	طول پنجره داده پس از وقوع خطا	دقت (%)
ویژگی‌های مستخرج از صفحه $(x-y)$ در فضای فاز	۴۰	۸۷/۳۲
ویژگی‌های مستخرج از صفحه $(x-z)$ در فضای فاز	۴۶	۹۳/۵۹
ویژگی‌های مستخرج از صفحه $(x-z)$ در فضای فاز	۵۶	۹۹/۱
ویژگی‌های مستخرج از صفحه $(x-z)$ در فضای فاز	۴۰	۹۹/۱۶
ویژگی‌های مستخرج از صفحه $(x-z)$ در فضای فاز	۴۶	۹۹/۸۱
ویژگی‌های مستخرج از صفحه $(x-z)$ در فضای فاز	۵۶	۱۰۰

۵.۳. بررسی تأثیر افزایش مقاومت خطا بر روش پیشنهادی

از آنجایی که مقدار مقاومت خطا در دسته بندی نوع خطا و دقت الگوریتم پیشنهادی تأثیرگذار است. در صورتی که مقدار مقاومت خطا از ۵۰ اهم به ۶۵ اهم افزایش داده شود دقت الگوریتم پیشنهادی ۱۰۰ درصد است. و هم‌چنین، روش پیشنهادی برای مقاومت خطا ۷۵ تا ۱۰۰ اهم نیز دقت قابل قبولی نشان داده است. در جدول (۶) همان‌طور که مشاهده می‌شود طول پنجره داده پس از وقوع خطا برای تمامی مقاومت خطا ۵/۶ میلی‌ثانیه (۵۶ داده) با فرکانس نمونه برداری ۱۰ کیلوهرتز انتخاب شده است.

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

جدول ۶. تاثیر مقدار مقاومت خطا بر صحت الگوریتم پیشنهادی

مقدار مقاومت خطا(اهم)	طول پنجره داده (تعداد نمونه)	دقت(%)
۰,۰۱,۲۵,۵۰	۵۶	۱۰۰
۶۵	۵۶	۱۰۰
۷۵	۵۶	۹۹/۷۹
۱۰۰	۵۶	۹۹/۵۱

۴. نتیجه گیری

در این مقاله، بررسی مساله دسته بندی نوع خطا در خطوط انتقال دومداره جبران شده سری در شرایط مختلف مدنظر بوده است. برای ارزیابی الگوریتم پیشنهادی، شبکه نمونه کمیته حفاظت IEEE برای بررسی الگوریتم های حفاظت خطوط انتقال در محیط نرم افزاری PSCAD در شرایط مختلف مقادیر مقاومت خطا، تاثیر سطح جبران سازی و فرکانس نمونه برداری، مقایسه و ارزیابی با الگوریتم های یادگیری دیگر و تاثیر نوع ویژگی انتخابی شبیه سازی شد. سپس، داده های مختلف برای تحلیل و بررسی و استخراج خصوصیت ها به نرم افزار متلب و سپس برای آموزش و تست به نرم افزار WEKA انتقال داده شدند. نتایج حاکی از دقت قابل قبول طرح پیشنهادی در شرایط مختلف بر روی شبکه نمونه است.

شایان ذکر است که علی رغم مزیت ها، از آنجا که روش پیشنهادی بر مبنای تعیین دقیق زمان وقوع خطا استوار است. احتمال همراه با اشتباه بودن خروجی های آن در پی تعیین غیر دقیق زمان مذکور وجود داشته باشد. هم چنین، اثر پدیده نوسان توان بر مساله دسته بندی خطا در خطوط دو مداره جبران شده سری هم از موضوعاتی است که لازم است تا در پژوهش های بعدی مورد توجه قرار گیرد.

منابع

- [1] Phadke, A. G. Thorp, J. S., 1988. Computer Relaying for Power Systems, New York: Wiley.,.
- [2] Saha, M. M., Izykowski, J., Rosolowski, E., Kasztenny, B., 2011. A novel fault-location algorithm for long transmission lines compensated by series FACTS devices, IEEE Transactions on Power Delivery, 26.4, 2299–2308.
- [3] Murari, M. Saha, 2001. First Zone Algorithm for Protection of Series Compensated Lines, IEEE Transactions on Power Delivery, 16.2, .
- [4] ز. مروج، م. قرجه لو و ک. مظلومی، ۱۳۹۶. هماهنگی بهینه رله های دیستانس و اضافه جریان جهت با استفاده از الگوریتم ژنتیک، مجله مدل سازی در مهندسی، ۱۵، ۲۱۶–۲۰۱.
- [5] Aleena Swetapadma, Anamika Yadav, Almoataz Y. Abdelazi, 2019. Intelligent schemes for fault classification in mutually coupled seriescompensated parallel transmission lines, Neural Computing and Applications.,.
- [6] Swetapadma Aleena, Mishrab Praveen, Yadavb Anamika, A non-unit protection scheme for double circuit series capacitorcompensated transmission lines, Electric Power Systems Research, 311–325, 2017.

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

[7] م. حیدریزاده، سید قدرت اله سیف السادات، علیرضا صفاریان، ۱۳۹۵. شناسایی، دسته‌بندی و مکان‌یابی خطا در خطوط انتقال دو مداره جبران شده سری با استفاده از مدل خط با پارامترهایی توزیع شده، یازدهمین کنفرانس حفاظت و اتوماسیون در سیستم‌های قدرت، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران.

[8] Singh Sunil, Vishwakarma D. N., 2017. A Novel Methodology for Identifying Cross-Country Faults in Series- Compensated Double Circuit Transmission Lines, 6th International Conference on Smart Computing and Communications, ICSSCC, 427-433.

[9] Aker, G.L., Golub, J.P., 1990. Chaotic dynamics: an introduction., Cambridge University Press.

[10] T.Y., Ji, Q.H., Wu L., Jiang, Y. S. Xue., 2011. Disturbance detection, location and classification phase Space. IET Generation, Transmission & Distribution, 5.2, 257 - 265.

[11] داریوش فرهادی، مصطفی سرلک، ۱۳۹۹. مدلی هوشمند بر پایه تحلیل فضای فاز برای دسته‌بندی خطا در خطوط انتقال تک‌مداره، مجله مدل‌سازی در مهندسی، ۱۸، ۸۸-۶۸.

[12] داریوش فرهادی، محمد سلیمی، ۱۳۹۹. مدلی هوشمند برای دسته‌بندی انواع خطا در خطوط انتقال تک‌مداره جبران شده سری با استفاده از تحلیل فضای فاز و الگوریتم یادگیری رگرسیون لجستیک، ششمین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی در مهندسی برق، مکانیک و مکاترونیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران، ۱۶-۱.

[13] داریوش فرهادی، مصطفی سرلک، ۱۳۹۶. دسته‌بندی هوشمند انواع خطا در خطوط انتقال تک‌مداره مبتنی بر تحلیل فضای فاز و الگوریتم یادگیری رگرسیون لجستیک، دوازدهمین کنفرانس حفاظت و اتوماسیون در سیستم‌های قدرت، دانشگاه علم و فناوری مازندران.

[14] Firmkranz, J., 2005. Logistic Model Trees, Conference Machine Learning, 59, 164-168.

[15] داریوش فرهادی، مصطفی سرلک، ۱۳۹۹. دسته‌بندی هوشمند انواع خطا در خطوط انتقال دو مداره جبران شده سری مبتنی بر تحلیل فضای فاز و الگوریتم یادگیری رگرسیون لجستیک، پانزدهمین کنفرانس حفاظت و اتوماسیون در سیستم‌های قدرت، دانشگاه شیراز.

1. Metal Oxide Varistor
2. Logistic Regression
3. Crossover