

۱- عنوان پروژه به زبان فارسی :

توسعه مدل تخمین طول عمر ترانسفورماتورهای توزیع با استفاده از شبکه عصبی پرسپترون (Perceptron Neural Network(PNN) نوع ۲- فازی (Type-2 Fuzzy System(T2FS)) و تحلیل داده‌های عملیاتی در محیط MATLAB، به منظور پیشگیری از خرابی‌ها و بهبود زمان‌بندی تعمیرات.

۲- عنوان پروژه به زبان انگلیسی :

Development of a Model for Estimating the Lifetime of Distribution Transformers Using a Type-2 Fuzzy Perceptron Neural Network (T2FS-PNN) and Operational Data Analysis in the MATLAB Software Environment, Aimed at Failure Prevention and Maintenance Scheduling Improvement.

۳-۲- بررسی سابقه موضوع از لحاظ نظری و تجربی همراه با ذکر منابع اساسی (در صورت انجام طرح مشابه تفاوتها این طرح با طرحهای مشابه ذکر شود)

ترانسفورماتورهای قدرت و توزیع از اجزای اساسی و حیاتی در ساختار شبکه‌های انتقال و توزیع برق به شمار می‌روند [۱]. این تجهیزات نقش کلیدی در تأمین ولتاژ مناسب برای مصرف‌کننده نهایی ایفا می‌کنند. مصرف‌کنندگان انتظار دارند که شبکه برق از پایداری و قابلیت اطمینان بالایی برخوردار باشد، زیرا بروز هرگونه اختلال یا خرابی می‌تواند عملکرد بخش‌های مختلف سیستم را با مشکل مواجه سازد و پیامدهای گسترده‌ای به دنبال داشته باشد. به همین دلیل، تضمین قابلیت اطمینان یکی از اولویت‌های اصلی در طراحی و بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت است [۲]. هدف از طراحی شبکه‌های قدرت، فراهم‌سازی انرژی الکتریکی با بیشترین سطح اطمینان، کیفیت و دسترسی‌پذیری ممکن است. با این حال، فرسودگی تجهیزات در طول زمان یکی از چالش‌های مهم در تحقق این هدف محسوب می‌شود. کاهش عمر مفید تجهیزات، هم قابلیت اطمینان اجزای منفرد و هم کل شبکه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از این رو، تخمین دقیق طول عمر تجهیزات کلیدی، به‌ویژه ترانسفورماتورها، اهمیت بسزایی دارد. شرکت‌های بهره‌بردار سعی دارند با ارزیابی دقیق وضعیت ترانسفورماتورها، پیش از بروز نقص‌های جدی، اقدامات پیشگیرانه‌ای اتخاذ کنند تا عملکرد شبکه پایدار باقی بماند. علاوه بر این، شناسایی زودهنگام علائم خرابی، فرایند فرسایش تجهیزات را کندتر کرده و از خسارات احتمالی جلوگیری می‌کند. به‌طور خلاصه، اهمیت تخمین عمر مفید ترانسفورماتورها را می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد [۳]:

- ارتقاء سطح اطمینان شبکه‌های برق‌رسانی؛
- کاهش هزینه‌های ناشی از تعویض زودهنگام ترانسفورماتورها؛
- برنامه‌ریزی دقیق برای جایگزینی تجهیزات فرسوده؛
- تعیین بازه‌های زمانی بهینه برای بهره‌برداری مؤثر از ترانسفورماتورها؛
- تدوین راهبردهای منظم برای تعمیر و نگهداری.

در سال‌های اخیر، رویکردهای مختلفی برای تخمین طول عمر ترانسفورماتورها مطرح شده‌اند. برخی از این روش‌ها بر تحلیل تأثیر دمای نقطه داغ (hot spot temperature) بر عمر مفید ترانسفورماتور تمرکز دارند، در حالی که برخی دیگر از طریق بررسی درجه پلیمریزاسیون (Degree of Polymerization - DP) وضعیت عایق را ارزیابی می‌کنند. استانداردهای IEEE C57-91، IEEE 60076-7 و IEC 60076-7، C57-110 چارچوب‌هایی برای محاسبه دمای نقطه داغ و میزان کاهش عمر (Loss of Life - LOL) ارائه کرده‌اند [۴].

از جمله تکنیک‌های تشخیصی مؤثر در ارزیابی وضعیت عایق، می‌توان به تخلیه جزئی (Partial Discharge - PD)، و تحلیل گازهای محلول (Dissolved Gas Analysis - DGA) اشاره کرد که در تعیین DP نیز کاربرد دارند [۵-۸].

برای ارزیابی وضعیت سلامت ترانسفورماتور قدرت، یکی از روش‌های رایج، مدل امتیازدهی-وزن‌دهی (scoring-weighting method) است. این روش در دو مرحله انجام می‌شود: ابتدا برای هر پارامتر بر اساس جداول امتیازدهی، امتیازی اختصاص داده می‌شود و سپس با توجه به اهمیت نسبی، وزن مناسبی به آن تعلق می‌گیرد. تعیین این وزن‌ها معمولاً توسط کارشناسان خبره صورت می‌گیرد [۹-۱۵]. به‌منظور بهینه‌سازی این فرایند، از روش تحلیل سلسله مراتبی (Analytical Hierarchy Process - AHP) بهره گرفته می‌شود، که بر مبنای نظر متخصصانی با تجربه گسترده در حوزه پایش وضعیت، تحلیل خطا و مدیریت دارایی‌های شبکه طراحی شده است [۱۶، ۱۷]. از سوی دیگر، ترکیب امتیازهای به‌دست‌آمده با شاخص‌هایی که بیانگر وضعیت سلامت ترانسفورماتورها هستند، در کنار در نظر گرفتن عدم قطعیت موجود در داده‌ها، فرآیندی پیچیده و چالش‌برانگیز محسوب می‌شود. روش‌های سنتی محاسبه شاخص سلامت (HI) هنوز با محدودیت‌هایی روبه‌رو هستند. با پیشرفت‌های اخیر در حوزه علوم داده و یادگیری ماشین، رویکردهای نوینی برای ارزیابی سلامت ترانسفورماتورها بر پایه تحلیل کلان‌داده‌ها شکل گرفته‌اند [۱۸ و ۱۹].

برای مثال، در پژوهش [۲۰] با بهره‌گیری از داده‌های حاصل از تحلیل گازهای محلول (DGA)، آزمایش‌های مربوط به روغن، و پارامترهای مربوط به گازهای فوران، یک مدل مبتنی بر هوش مصنوعی برای تخمین وضعیت سلامت ترانسفورماتور توسعه یافت. هرچند دقت این روش به علت محدودیت منابع داده تنها به ۵۶.۳ درصد رسید.

در مطالعه‌ای دیگر [۲۱]، از یک سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی (ANFIS) برای تحلیل حساسیت شاخص سلامت ترانسفورماتور استفاده

شد و به منظور بهینه‌سازی عملکرد، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) به کار گرفته شد. همچنین، در پژوهش [۲۲]، از مدل زنجیره مارکوف احتمالاتی برای پیش‌بینی وضعیت آینده ترانسفورماتور بهره برده شد؛ مدلی که با استفاده از یک الگوریتم بهینه‌سازی غیرخطی شاخص سلامت را محاسبه می‌کرد. در تحقیق دیگری [۲۳]، یک مدل ارزیابی وضعیت بر پایه ماشین بردار پشتیبان (SVM) طراحی شد که علاوه بر پارامترهای فنی، نظرات کارشناسان برق و استانداردهای رایج صنعت را نیز در تحلیل خود لحاظ می‌کرد. همچنین، در [۲۴] یک چارچوب طبقه‌بندی نوین بر اساس هوش مصنوعی ارائه شد که ترانسفورماتورها را در چهار سطح "خوب"، "متوسط"، "ضعیف" و "بسیار ضعیف" دسته‌بندی می‌کرد. این مدل با استفاده از شبکه عصبی رگرسیون عمومی (GRNN) توسعه یافت. در مطالعه‌ای دیگر [۲۵، ۲۶] نیز دو روش تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره، شامل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)، برای پیش‌بینی وضعیت سلامت ترانسفورماتور با تکیه بر دانش تجربی متخصصان پیشنهاد شده‌اند. در مطالعات پیشین، استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای تخمین طول عمر ترانسفورماتورها مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. الگوریتم‌هایی نظیر جنگل تصادفی (RF)، نزدیک‌ترین همسایه (kNN) با k ، شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)، ماشین بردار پشتیبان (SVM) و درخت تصمیم، از جمله ابزارهایی هستند که در پژوهش [۲۳] جهت خودکارسازی فرآیند ارزیابی سلامت ترانسفورماتورها به کار گرفته شده‌اند. با وجود پوشش گسترده این روش‌ها در ادبیات، همچنان یکی از چالش‌های اصلی، محدودیت دقت ناشی از کمبود داده‌های قابل اعتماد و وجود عدم قطعیت در داده‌های ورودی است. در مطالعه‌ای که در [۲۷] ارائه شده، چندین الگوریتم یادگیری ماشین با رویکردی احتمالاتی جهت ارزیابی عمر ترانسفورماتورهای قدرت مقایسه شده‌اند. همچنین، در [۲۸] عملکرد چندین مدل هوشمند در شناسایی شاخص سلامت ترانسفورماتور مورد ارزیابی قرار گرفته است. با این حال، با وجود تنوع روش‌های هوش مصنوعی موجود، لزوم انجام مطالعات جامع‌تر برای افزایش دقت این مدل‌ها، به‌ویژه در شرایطی که داده‌ها ناقص یا دارای عدم قطعیت هستند، همچنان احساس می‌شود. در این راستا، پژوهش [۲۹] از یک چارچوب نرمال برای مدل‌سازی عدم قطعیت استفاده کرده و موفق به دستیابی به دقتی در حدود ۹۵٪ برای تخمین عمر ترانسفورماتور شده است. با این حال، نتایج به‌دست‌آمده همواره با واقعیت‌های عملی منطبق نبوده‌اند. در [۳۰]، تأثیر مستقیم عدم قطعیت داده‌ها بر قابلیت اعتماد و دقت تخمین عمر بررسی شده است، و اصلی‌ترین دلیل این عدم قطعیت، ناکافی بودن اطلاعات موجود شناسایی شده است. در مطالعه دیگری [۳۱]، به تأثیر غیبت داده‌ها بر فرآیند ارزیابی پرداخته شده و روشی مبتنی بر الگوریتم RF برای پیش‌بینی داده‌های مفقود و بهبود تخصیص وزن به امتیازهای سلامت پیشنهاد شده است. با این وجود، توسعه مدل‌هایی که به‌طور دقیق بتوانند با تکیه بر هوش مصنوعی، مدیریت عدم قطعیت داده‌ها را در فرآیند تخمین عمر انجام دهند، همچنان به تحقیقات بیشتری نیاز دارد و امکان‌سنجی کاربرد عملی آن‌ها به‌طور کامل بررسی نشده است.

مشارکت اصلی این پروژه در طراحی و پیاده‌سازی یک مدل پیش‌بینی برای تخمین طول عمر باقی‌مانده ترانسفورماتورهای شبکه توزیع برق استان ایلام است که با تکیه بر داده‌های واقعی عملکردی و به‌کارگیری شبکه عصبی در محیط MATLAB توسعه یافته است. برخلاف رویکردهای سنتی که معمولاً متکی بر تحلیل‌های ایستا هستند، این مدل امکان تحلیل داده‌های عملیاتی و ارائه پیش‌بینی دقیق از وضعیت سلامت تجهیزات را فراهم می‌سازد. نتیجه این مشارکت، اطلاعاتی کاربردی برای بهینه‌سازی فرایند نگهداری پیشگیرانه، کاهش هزینه‌های تعمیرات اضطراری و ارتقاء پایداری شبکه خواهد بود.

[۱] سعید مرتضی، زین الدینی میمند حامد. "ارزیابی تأثیر پارامترهای روغن ترانسفورماتور بر شاخص سلامت ترانسفورماتور با استفاده از روش رگرسیون تخمین منحنی." (۲۰۲۳): ۱۸۷-۱۹۶.

[۲] آرین نیک محمد رضا، رضی کاظمی علی اصغر. "تخمین طول عمر ترانسفورماتورهای روغنی بر مبنای درجه پلیمریزاسیون." (۲۰۱۹): ۹۹۵-۱۰۰۶.

[3] IEEE guide for loading mineral-oil-immersed Transformers and Step-Voltage Regulators, pp. 1–123, 2012.

[4] IEEE Recommended Practice for Establishing Liquid- Immersed and Dry-Type Power and Distribution Transformer Capability When Supplying Nonsinusoidal Load Currents, pp. 1–68, 2018.

[5] Müllerová E, Hruza J, Velek J, Ullman I, Střiska F. Life cycle management of power transformers: results and discussion of case studies. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 2015 Aug 11;22(4):2379-89.

[6] Montanari GC. Aging and life models for insulation systems based on PD detection. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 2002 Aug 6;2(4):667-75.

[7] Wang XF, Wang ZD, Liu Q, Wilson G, Walker D, Smith PW. Dissolved gas analysis (DGA) of mineral oil under thermal faults with tube heating method. In 2017 IEEE 19th International Conference on Dielectric Liquids (ICDL) 2017 Jun 25 (pp. 1-4). IEEE.

[8] Gorginpour H, Ghimatgar H, Toulabi MS. Lifetime estimation and optimal maintenance scheduling of urban oil-immersed distribution-transformers considering weather-dependent intelligent load model and unbalanced loading. IEEE transactions on power delivery. 2022 Jan 27;37(5):4154-65.

[9] Naderian A, Cress S, Piercy R, Wang F, Service J. An approach to determine the health index of power transformers. In Conference Record of the 2008 IEEE International Symposium on Electrical Insulation 2008

Jun 9 (pp. 192-196). IEEE.

- [10] Ortiz F, Fernandez I, Ortiz A, Renedo CJ, Delgado F, Fernandez C. Health indexes for power transformers: A case study. IEEE Electrical Insulation Magazine. 2016 Aug 26;32(5):7-17.
- [11] Islam M, Lee G, Hettiwatte SN, Williams K. Calculating a health index for power transformers using a subsystem-based GRNN approach. IEEE Transactions on Power Delivery. 2017 Nov 7;33(4):1903-12.
- [12] Guo H, Guo L. Health index for power transformer condition assessment based on operation history and test data. Energy Reports. 2022 Nov 1;8:9038-45.
- [13] Zeinoddini-Meymand H, Vahidi B. Health index calculation for power transformers using technical and economical parameters. IET Science, Measurement & Technology. 2016 Oct;10(7):823-30.
- [14] Ashkezari AD, Ma H, Saha TK, Ekanayake C. Application of fuzzy support vector machine for determining the health index of the insulation system of in-service power transformers. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 2013 May 24;20(3):965-73.
- [15] En-Wen L, Bin S. Transformer health status evaluation model based on multi-feature factors. In 2014 International Conference on Power System Technology 2014 Oct 20 (pp. 1417-1422). IEEE.
- [16] Islam N, Khan R, Das SK, Sarker SK, Islam MM, Akter M, Muyeen SM. Power transformer health condition evaluation: A deep generative model aided intelligent framework. Electric Power Systems Research. 2023 May 1;218:109201.
- [17] Taengko K, Damrongkulkamjorn P. Risk assessment for power transformers in PEA substations using health index. In 2013 10th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology 2013 May 15 (pp. 1-6). IEEE.
- [18] Prasojo RA, Setiawan A, Maulidevi NU, Soedjarno BA. Development of analytic hierarchy process technique in determining weighting factor for power transformer health index. In 2019 2nd International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS) 2019 Oct 1 (pp. 1-5). IEEE.
- [19] Eskandari N, Jalilzadeh S. Electrical load manageability factor analyses by artificial neural network training. Journal of Operation and Automation in Power Engineering. 2019 Oct 1;7(2):187-95.
- [20] Da Silva IN, Hernane Spatti D, Andrade Flauzino R, Liboni LH, dos Reis Alves SF, da Silva IN, Hernane Spatti D, Andrade Flauzino R, Liboni LH, dos Reis Alves SF. Artificial neural network architectures and training processes. Springer International Publishing; 2017.
- [21] Kadim EJ, Azis N, Jasni J, Ahmad SA, Talib MA. Transformers health index assessment based on neural-fuzzy network. Energies. 2018 Mar 22;11(4):710.
- [22] Wani NU, Ranga C. A review of health index-based condition assessment techniques for power and distribution transformers. Insight-Non-Destructive Testing and Condition Monitoring. 2023 Nov 1;65(11):625-30.
- [23] Taha IB. Power transformers health index enhancement based on convolutional neural network after applying imbalanced-data oversampling. Electronics. 2023 May 25;12(11):2405.
- [24] Yahaya MS, Azis N, Ab Kadir MZ, Jasni J, Hairi MH, Talib MA. Estimation of transformers health index based on the markov chain. Energies. 2017 Nov 10;10(11):1824.
- [25] Ashkezari AD, Ma H, Saha TK, Ekanayake C. Application of fuzzy support vector machine for determining the health index of the insulation system of in-service power transformers. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 2013 May 24;20(3):965-73.
- [26] Tee S, Liu Q, Wang Z. Insulation condition ranking of transformers through principal component analysis and analytic hierarchy process. IET Generation, Transmission & Distribution. 2017 Jan;11(1):110-7.
- [27] Aizpurua JI, Stewart BG, McArthur SD, Lambert B, Cross JG, Catterson VM. Improved power transformer condition monitoring under uncertainty through soft computing and probabilistic health index. Applied Soft Computing. 2019 Dec 1;85:105530.
- [28] Condition Assessment of Power Transformers, CIGRE, Document 761, 2019.
- [29] Wouters PA, van Schijndel A, Wetzer JM. Remaining lifetime modeling of power transformers: individual assets and fleets. IEEE Electrical Insulation Magazine. 2011 Jul 14;27(3):45-51.
- [30] Rediansyah D, Prasojo RA. Study on artificial intelligence approaches for power transformer health index assessment. In 2021 international conference on electrical engineering and informatics (ICEEI) 2021 Oct 12 (pp. 1-4). IEEE.
- [31] Ghoneim SS, Taha IB. Comparative study of full and reduced feature scenarios for health index computation of power transformers. IEEE Access. 2020 Oct 5;8:181326-39.

* در صورت لزوم، توضیحات اضافی در صفحات پیوست آورده شود.

توجه : نوشتن حداقل دو خط خلاصه از مطالب فوق در این قسمت الزامی است.

این پروژه با پیش‌بینی طول عمر ترانسفورماتورها از طریق شبکه عصبی، دقت پایش سلامت تجهیزات را افزایش داده و ریسک خرابی و هزینه‌های نگهداری را کاهش می‌دهد. اجرای آن منجر به ارتقاء فنی شبکه، بهبود خدمت‌رسانی، صرفه‌جویی اقتصادی و کاهش آثار زیست‌محیطی خواهد شد.

* در صورت لزوم، توضیحات اضافی در صفحات پیوست آورده شود.

۴- مشخصات اجرایی پروژه

۴

۴-۲- شرح دقیق روش‌ها و فنون اجرایی پروژه براساس تئوری حل مسئله ارائه شده در بند ۱-۳ (در این قسمت باید روش‌های مورد عمل در فعالیت‌های پروژه به طور کلی با ارایه بلوک دیاگرام، نمودار، نقشه و ... و مشخصات فنی محصول پروژه شرح داده شود):

الف) پایش و جمع‌آوری داده‌های عملیاتی

۱. شناسایی پارامترهای کلیدی

- تعیین مجموعه پارامترهای اثرگذار بر عمر ترانسفورماتور (دمای روغن، جریان و ولتاژ بار، رطوبت و فشار محیط).
- تحلیل اولیه و تهیه گزارش وضعیت فعلی:
 - استخراج نمای کلی تغییرات پارامترها در بازه‌های هفتگی و ماهانه.
 - تهیه گزارش وضعیت اولیه سلامت ترانسفورماتورها بر مبنای معیارهای ساده آماری یا شاخص‌های موجود.

در گام نخست، داده‌های مورد نیاز پروژه از طریق همکاری مستقیم با واحد تعمیرات مهندسی شرکت توزیع برق استان ایلام تأمین می‌گردد. این داده‌ها شامل اطلاعات میدانی ثبت‌شده در طول دوره بهره‌برداری، نتایج آزمون‌های دوره‌ای روغن و گازهای محلول (DGA)، سوابق تعمیرات، دمای عملکرد، بارهای اعمال‌شده، میزان رطوبت، و سایر پارامترهای فنی مرتبط با ترانسفورماتورهاست. این اطلاعات به صورت ساختاریافته یا نیمه‌ساختاریافته در قالب فرم‌های دیجیتال، فایل‌های اکسل یا گزارش‌های PDF ارائه می‌شوند که نیازمند پالایش و دسته‌بندی اولیه برای ورود به مرحله تحلیل هستند. پس از گردآوری، داده‌ها در یک پایگاه داده متمرکز طبقه‌بندی می‌گردند تا هر ترانسفورماتور با شناسه مشخص و تاریخچه کامل عملیاتی قابل ردیابی باشد. در این فاز، هدف اصلی اطمینان از جامعیت و صحت داده‌ها برای ایجاد یک پایگاه اطلاعاتی استاندارد است که بتواند زمینه‌ساز آموزش مدل شبکه عصبی و پیش‌بینی دقیق وضعیت سلامت و طول عمر باقی‌مانده ترانسفورماتورها باشد. تعامل منظم با واحد تعمیرات مهندسی نیز در طول پروژه برای به‌روزرسانی مستمر داده‌ها و دریافت بازخوردهای تخصصی پیش‌بینی شده است.

ب) پیش‌پردازش و استخراج ویژگی

۱. پاک‌سازی و نرمال‌سازی داده‌ها

- اصلاح یا حذف داده‌های ناقص و پرت (Outlier) بر اساس بازه‌های مرجع استاندارد.
- نرمال‌سازی مقیاس مقادیر جهت همسان‌سازی ورودی‌ها

۲. هماهنگ‌سازی زمانی و تکمیل شکاف‌ها

- پر کردن مقادیر گمشده با استفاده از میانگین‌های متحرک یا مدل‌های بازسازی ساده.

۳. تحلیل همبستگی و انتخاب اولیه متغیرها

- تهیه ماتریس همبستگی برای شناسایی پارامترهای وابسته و کاهش تعداد ورودی‌ها.
- حذف متغیرهای کم‌اثر یا دارای هم‌خطی شدید.

۴. استخراج ویژگی‌های پیشرفته

- تفکیک اجزای گذرا و پایدار سیگنال‌ها
- استخراج نمایه‌های زمانی و فرکانسی نظیر میانگین متحرک، دامنه نوسان و نرخ تغییرات.

پس از دریافت داده‌ها از واحد تعمیرات مهندسی، اطلاعات جمع‌آوری‌شده نیازمند بررسی دقیق، پالایش و تبدیل به ساختار قابل تحلیل برای مدل‌سازی هستند. در این مرحله، داده‌های خام شامل مقادیر گمشده، مقادیر (outlier) و مقیاس‌های ناهمگون هستند که می‌توانند باعث کاهش دقت مدل شوند. بنابراین ابتدا پاک‌سازی داده‌ها با استفاده از روش‌های آماری و منطق مهندسی انجام می‌شود. در گام بعد، تمامی پارامترها به صورت عددی، یکنواخت و همگام‌سازی‌شده در یک ساختار جدولی سازماندهی می‌گردند. به منظور کاهش پیچیدگی و تمرکز بر متغیرهای کلیدی مؤثر بر تخریب عایق و کاهش عمر مفید ترانسفورماتورها، از روش‌های تحلیل داده مانند انتخاب ویژگی و تحلیل همبستگی استفاده می‌شود تا مؤثرترین پارامترها برای ورودی مدل شناسایی و انتخاب شوند. این مرحله نقش زیربنایی در کیفیت آموزش شبکه عصبی ایفا می‌کند و هرگونه خطا در آن می‌تواند به صورت مستقیم بر عملکرد نهایی مدل تأثیرگذار باشد. از این رو دقت، نظم و بازبینی‌های چندمرحله‌ای در آن پیش‌بینی شده است.

پ) توسعه و آموزش مدل شبکه عصبی

۱. طراحی ساختار مدل

- تعیین تعداد لایه‌ها و نوروها بر اساس پیچیدگی مسأله و حجم داده.
- انتخاب تابع فعال‌سازی و معیار خطا متناسب با نوع خروجی (درصد عمر باقی‌مانده).

۲. آماده‌سازی داده‌های آموزشی و آزمایش

- تقسیم داده‌ها به مجموعه‌های آموزشی، اعتبارسنجی و آزمایش با نسبت‌های استاندارد.
- اعمال تکنیک‌های بهینه‌سازی ساده جهت جلوگیری از بیش‌برازش (Regularization).

۳. فرآیند آموزش

- حلقه‌های آموزش تدریجی با پایش مستمر معیارهای خطا و تنظیم پارامترهای مدل.
- متوقف کردن آموزش در نقطه‌ای که ارزیابی مدل دیگر بهبود نمی‌یابد. (Early Stopping)

۴. اعتبارسنجی و اصلاح مدل

- ارزیابی دقت پیش‌بینی روی داده‌های اعتبارسنجی.
- اصلاحات جزئی در ساختار یا پارامترها براساس نتایج آزمون و خطا تا رسیدن به معیار اهداف پروژه.

در این بخش، بر اساس داده‌های آماده‌شده، یک مدل شبکه عصبی مصنوعی طراحی و آموزش داده می‌شود تا بتواند طول عمر باقیمانده ترانسفورماتورها را پیش‌بینی کند. معماری شبکه به گونه‌ای تنظیم می‌شود که توانایی یادگیری روابط پیچیده بین پارامترهای عملکردی ترانسفورماتور و شاخص‌های سلامت را داشته باشد. در فرآیند آموزش، شبکه با داده‌های نمونه تغذیه شده و به تدریج بهینه می‌شود تا بتواند الگوهای پنهان در داده‌ها را شناسایی کرده و به درستی پیش‌بینی نماید. برای ارزیابی دقت مدل، داده‌ها به دو بخش آموزشی و آزمایشی تقسیم می‌شوند و عملکرد مدل بر اساس خطاهای پیش‌بینی تحلیل می‌گردد. در صورت نیاز، اصلاحات لازم در ساختار شبکه یا ورودی‌های آن اعمال می‌شود. هدف این مرحله دستیابی به مدلی پایدار و دقیق است که در مواجهه با داده‌های جدید از ترانسفورماتورهای مختلف نیز بتواند عملکرد قابل اعتمادی ارائه دهد و نتایج آن مبنای تصمیم‌گیری فنی و مدیریتی در حوزه نگهداری و تعمیرات قرار گیرد.

ت) بررسی و تحلیل نتایج نهایی

در مرحله ارزیابی و تحلیل نهایی، عملکرد مدل شبکه عصبی توسعه یافته با داده‌های واقعی ترانسفورماتورهای بهره‌برداری شده در شبکه توزیع برق استان ایلام آزمون می‌شود. هدف این مرحله سنجش دقت، پایداری و قابلیت تعمیم مدل در شرایط واقعی بهره‌برداری است. برای این منظور، خروجی‌های پیش‌بینی‌شده مدل (طول عمر باقی‌مانده و سطح سلامت ترانسفورماتورها) با سوابق واقعی تعمیرات و روش‌های دیگر مقایسه می‌گردد تا میزان همخوانی و عملکرد روش پیشنهادی در نتایج مشخص شود. همچنین با استفاده از شاخص‌هایی دقت عددی مدل تحلیل شده و حساسیت آن نسبت به متغیرهای کلیدی مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج این مرحله نشان‌دهنده میزان آمادگی مدل در فرایند نگهداری پیشگیرانه خواهد بود و در صورت نیاز، اصلاحات ساختاری انجام خواهد شد.

* در صورت لزوم، توضیحات اضافی در صفحات پیوست آورده شود.

۳-۴- مراحل اجرا با ذکر نوع فعالیت‌های مورد نیاز جهت هر مرحله و نتایج مورد انتظار از اجرای هر مرحله: (در مورد پروژه‌های نرم افزاری و همچنین پروژه‌هایی که با ساخت وسیله ای منتج می شود ارایه فعالیت های مربوط به آزمایش ها با ذکر اسامی آزمون ها و استانداردهای ذیربط در هر مرحله الزامی است که در ستون ملاحظات قید می شود)

مراحل اجرا با ذکر نوع فعالیت‌های مورد نیاز و نتایج مورد انتظار:

مرحله ۱: پایش و جمع‌آوری داده‌های عملیاتی

- فعالیت‌ها:

- هماهنگی با واحد تعمیرات مهندسی برای دستیابی به آرشیو دیتای میدانی (گزارش‌های دوره‌ای، لاگ‌های بار و دما، تاریخچه تعمیرات).
- تدوین فرم‌ها و قالب‌های استاندارد جهت دریافت فایل‌های اکسل/PDF و واردسازی آن‌ها در پایگاه داده مرکزی.
- اعتبارسنجی اولیه داده‌ها (تطبیق شناسه ترانسفورماتورها، برچسب‌های زمانی، فرمت‌های عددی).

