



# مقایسه روش‌های شناسایی الگو برای تفسیر نتایج آزمایش‌های انجام شده بر مدل سیمپیچ ترانس قدرت جهت تشخیص عیوب محوری و شعاعی

حسن علی آل‌حسینی، گئورگ قره‌پتیان

دانشکده مهندسی برق

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

تهران، ایران

مریم السادات اخوان حجازی، مریم صباغ‌پور آرانی

دانشکده مهندسی برق

دانشگاه کاشان

کاشان، ایران

بدلیل عدم دسترسی بداخل ترانسفورماتور به سختی قابل تشخیص است، تغییرات مکانیکی در هندسه و ساختار سیم‌پیچی‌های ترانسفورماتور است. لذا تشخیص، عیبیابی و مکان‌یابی تغییر شکل سیم‌پیچی به خصوص در مراحل اولی خرابی آنها در افزایش عمر ترانسفورماتورها بسیار با اهمیت است.

از روش‌های موجود برای مانیتورینگ سیم‌پیچ می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- روش تست اتصال کوتاه
- روش آزمایش ضربه فشار ضعیف
- روش تحلیل پاسخ فرکانسی یا تابع تبدیل
- روش امواج مافوق صوت [۲]

با توجه به نواقص روش‌های پیشین، ارائه روشی که دارای دو مشخصه زیر باشد، از اهمیت بالایی برخوردار است: اولاً به صورت برخط اجرا شود تا از وجود عیب در ترانس در کمترین زمان ممکن مطلع شویم و بیشترین امکان تکرارپذیری را داشته باشد، ثانیاً نوع و محل عیب سیم‌پیچ را نشان دهد. لذا استفاده از امواج الکترومغناطیسی بهترین گزینه برای سیستم‌های مانیتورینگ می‌باشد. در این روش، برپایه همجوشی اطلاعات<sup>۲</sup> سنسورهای مختلف، وضعیت سیستم ارزیابی می‌شود [۳].

در ترانس به علت اینکه با یک سیستم ساکن سروکار داریم، در صورتی که بتوان اثر محیط انتشار موج را ثابت در نظر گرفت و یا رفتار آن را پیش

چکیده — به منظور کاهش زمان خارج از مدار بودن ترانسفورماتور، طراحی روش‌های مانیتورینگ برخط اهمیت ویژه‌ای دارد. جابجایی مکانیکی سیم‌پیچ ترانس در راستای عمودی (جابجایی محوری) و در راستای شعاع (تغییر شکل شعاعی) یکی از عوامل اصلی خرابی و از بین رفتن آن می‌باشد. یکی از بهترین روش‌های ارائه شده جهت تفکیک عیب محوری از شعاعی و تشخیص میزان آنها استفاده از امواج الکترومغناطیسی برای مانیتورینگ ترانسفورماتور می‌باشد. در این مقاله هدف، مشخص کردن بهترین سیستم شناسایی الگو برای تشخیص میزان جابجایی محوری و تغییر شکل شعاعی سیم‌پیچ ترانس می‌باشد. داده‌های ورودی این تحقیق نتایج اندازه‌گیری پارامترهای پراکندگی در حوزه فرکانس و نتایج اندازه‌گیری پالس‌های برگشتی از مدل ترانس در حوزه زمان برای کلاس‌های تعریف شده‌ای از عیوب محوری و شعاعی با مقادیر مختلف می‌باشد.

واژه‌های کلیدی — مانیتورینگ ترانسفورماتور؛ شناسایی الگو؛

جابجایی محوری؛ تغییر شکل شعاعی

## ۱. مقدمه

ترانسفورماتورهای قدرت از عناصر اصلی شبکه تولید، انتقال و توزیع نیروی برق می‌باشند و کارکرد درست آنها نقش مهمی در بالا رفتن قابلیت اطمینان شبکه قدرت و ارزش زیادی در اتصال شبکه‌ها خواهد داشت [۱]. عیوب در ترانسفورماتورهای قدرت صرف‌نظر از عامل بوجود آورنده آنها شامل عیوب مکانیکی و عیوب الکتریکی است. از جمله این عیوب که

<sup>۲</sup> information fusion

<sup>۱</sup> on line

## ۲.۱. روش‌های پیش پردازش داده‌ها و استخراج

### ویژگی:

پیش پردازش داده‌ها شامل همه تبدیلاتی است که بر روی داده‌های خام صورت می‌گیرد و آن‌ها را به صورتی درمی‌آورد که برای پردازش‌های بعدی نظیر استفاده در کلاسه‌بندی، ساده‌تر و مؤثرتر می‌سازد.

استخراج ویژگی به معنی تبدیل داده‌های اولیه (با همه متغیرها) به یک مجموعه داده با تعداد کمتری متغیر می‌باشد. روش‌های مختلفی برای کاهش ابعاد داده‌ی مبتنی بر استخراج ویژگی وجود دارد مانند آنالیز اجزاء اصلی PCA<sup>۱</sup> [۴]، تبدیل فوریه [۵]، و تبدیل موجک [۶].

تبدیل موجک به عنوان روشی جایگزین برای تبدیل فوریه زمان کوتاه ارائه شد که هدف آن، بهبود مشکلات مربوط به رزولوشن در تبدیل فوریه زمان کوتاه است، که به دلیل ویژگی نوسانی، شرایطی را فراهم می‌آورد که بتوان یک آنالیز فرکانسی زمانی از یک سیگنال انجام داد [۷].

## ۲.۲. روش‌های تشخیص الگو و کلاسه بندی

در کلاسه‌بندی داده‌ها یکی از مواردی که قبل از طراحی کلاسه‌بندی کننده باید مشخص شود، ویژگی‌هایی از داده است که براساس آنها می‌توان بین ورودی‌ها فرق گذاشته و آنها را به کلاس‌هایی که می‌خواهیم تقسیم کنیم. روش‌های به‌کار گرفته شده برای تشخیص الگو و کلاسه‌بندی شامل بیزین، پنجره پارزن، K نزدیکترین همسایه (KNN)، ماشین‌های بردار پشتیبان و شبکه‌های عصبی می‌باشد. که اساس این روش‌ها، قانون بیز می‌باشد [۸].

در کلاسه بندی بیزین، یک تابع توزیع احتمال کلی و مشخص برای هر کلاس فرض می‌شود. این فرض در برخی مسائل عملی، غیر واقعیت‌ناهن و با خطای بسیار همراه است. برای رفع این مشکل در دسته‌بندی به روش KNN تابع توزیع احتمال به صورت محلی در فضای ورودی برای هر کلاس تخمین زده می‌شود. این روش از تابع توزیع مشخصی که با تعیین چند پارامتر کاملاً معلوم شود استفاده نمی‌کند. در پنجره پارزن برای داده‌ها به صورت محلی تابع چگالی احتمال را تخمین زده و براساس آن داده‌ها در کلاس‌های مختلف کلاسه‌بندی می‌شود.

بینی نمود، می‌توان ادعا کرد که تغییر دامنه و فاز امواج برگشتی تنها تابع تغییر شکل در سیم‌پیچی‌های ترانس خواهد بود.

در بخش ۲ این مقاله مراحل استفاده از امواج الکترومغناطیسی برای تشخیص عیب سیم‌پیچی بیان می‌شود، که در دو حوزه زمان و فرکانس انجام می‌شود. در بخش ۳ آزمایش‌ها و شبیه‌سازی‌های انجام شده در حوزه فرکانس شرح داده می‌شود. در حوزه فرکانس امواج الکترومغناطیسی توسط یک آنتن به سیم‌پیچ ترانس تابانده شده و امواج برگشتی از آن توسط همان آنتن دریافت می‌شود و این نتایج (پارامترهای پراکندگی) برای حالات سالم و معیوب در بانک اطلاعاتی ذخیره می‌شوند. با مقایسه حالات سالم و معیوب میتوان به ایجاد تغییر در سیم‌پیچ پی برد. در بخش ۳ آزمایشات و شبیه‌سازی‌های صورت گرفته در حوزه زمان ارائه می‌گردد. با استفاده از یک فرستنده و گیرنده، امواج (پالس‌های گوسی فرابهن باند (UWB)) به طرف سیم‌پیچ ارسال می‌شوند و با تحلیل موج برگشتی وجود عیب در سیم‌پیچ آشکار می‌شود.

## ۲. مراحل استفاده از امواج الکترومغناطیسی برای

### تشخیص عیب سیم‌پیچی

در این روش امواج توسط آنتن فرستنده به سمت سیم‌پیچ ترانسفورماتور ارسال و بازتاب امواج در گیرنده دریافت می‌شود از آنجا که بازتاب امواج بستگی به شکل ظاهری (هندسی) سیم‌پیچ دارد، امواج برگشتی از ترانسفورماتور در دو حالت سالم و معیوب به علت تغییر شکل ظاهری سیم‌پیچ متفاوت خواهد بود.

در صورتیکه بتوان از اثر سایر عوامل تغییر دهنده سیگنال برگشتی از سیم‌پیچ ترانس صرف نظر نموده یا به نحوی آن را مدل نمود می‌توان از تغییر سیگنال برگشتی جابجایی محوری و تغییر شکل شعاعی سیم‌پیچ ترانس را تشخیص داد.

داده‌های خام بدست آمده از اندازه‌گیری معمولاً دچار مشکلاتی مانند نویز، تغییرات شدید در بازه دینامیکی و نمونه‌برداری هستند و استفاده از آنها به همین صورت موجب تضعیف طراحی‌های بعدی خواهد شد.

<sup>1</sup> Principal Components Analysis

### ۳. آزمایش‌ها و شبیه‌سازی‌های حوزه فرکانس

روش استفاده شده در حوزه فرکانس، غی‌تماسی و برپا بی اندازه‌گیری ضریب انعکاس (دامنه و فاز) می‌باشد. ضریب انعکاس، نسبت موج انعکاسی از ماده به موج ارسال می‌است. هدف این روش، استخراج اطلاعات (آشکارسازی، تعیین موقعیت، شکل و سایه خطی) از طریق اندازه‌گیری میزان نزدیکی ضریب انعکاس توسط یک موجبر مستطیلی است.

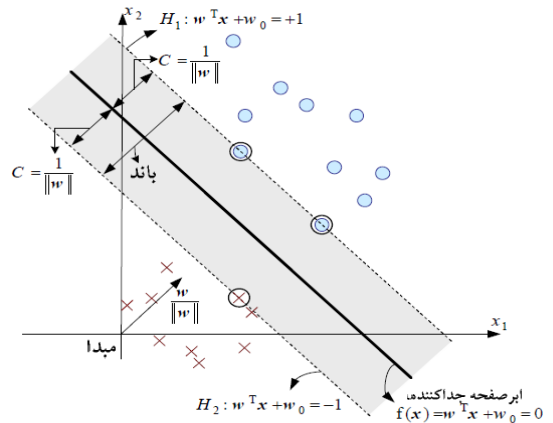
در این حوزه استفاده از پارامترهای پراکندگی برای تشخیص جابجایی و تغییر شکل سیمپیچ ترانس بیان می‌شود. در روش بکار گرفته شده، پارامترهای پراکندگی به عنوان اثر انگشت ترانسفورماتور تعریف می‌شوند. با مقایسه پارامتر پراکندگی حالت عیب با حالت سالم مدل سیمپیچ ترانس می‌توان عیب بوجود آمده در سیمپیچ ترانس را تشخیص داد [۹].

#### ۳.۱. مدل ساخته شده و شبیه‌سازی شده برای آزمایش‌های حوزه فرکانس

ساخت مدلی در ابعاد واقعی ترانسفورماتور قدرت برای تست این روش مقرون به صرفه نمی‌باشد. از این رو ترانس در مقیاس ۰/۰۵ ساخته شد. در مدل‌سازی به علت تقارن به جای سه فاز فقط یک فاز شده و محیط انتشار موج، هوا در نظر گرفته شده است. برای شبیه‌سازی هاز نرم‌افزار HFSS استفاده شده است.

از آنجا که از دید امواج با توجه به آنچه که از نسبت فاصله دیسکها به طول سیم پیچ HV در یک ترانس واقعی می‌دانیم فاصله دیسکها که در حالت واقعی ۰/۶ cm می‌باشد. در مقیاس کوچکی که برای شبیه‌سازی انتخاب کرده ایم بسیار کوچکتر از طول موج شبیه‌سازی است که در فرکانس  $f=9.5 \text{ GHz}$  تقریباً برابر  $\lambda=31.6 \text{ mm}$  میباشد، موج از فاصله بین دیسکها عبور نخواهد کرد. همانطور که در شکل ۳ ملاحظه می‌شود به سادگی می‌توان سیمپیچ HV و LV را به صورت یک استوانه فلزی در نرم‌افزار مدل نمود. با طول موج انتخاب شده مجموعه هسته و سیمپیچهای فشار ضعیف و فشار قوی بصورت یک استوانه فلزی دیده میشوند و مدل نمودن داخل سیمپیچها ضرورتی ندارد. مدل شبیه‌سازی شده دقیقاً مطابق با مدل ساخته شده است [۱۰].

ماشین بردار پشتیبان روشی است که به کمک آن می‌توان داده‌های موجود در بانک اطلاعاتی را به دو کلاس تقسیم کرد. همان گونه که در شکل ۱ دیده می‌شود در این روش با استفاده از یک سری خطوط جدا کننده اطلاعات کلاسه‌بندی می‌شوند. هدف تعیین پارامترهای این خطوط (صفحات) جدا کننده به نحوی است که دارای بیشترین فاصله از یکدیگر باشند. پارامترهای  $w$  و  $b$  پارامترهای کنترل کننده تابع هستند و به آنها بردارهای وزن و بایاس می‌گویند.  $w$  و  $b$  را می‌توان با بهینه‌سازی تابع هدف مشخص نمود.



شکل ۱: چگونگی عملکرد روش ماشین بردار پشتیبان

روش استفاده از شبکه عصبی برای تشخیص الگو و کلاسه بندی از عناصر عملیاتی ساده‌ای به صورت موازی ساخته شده است. این عناصر از سیستم‌های عصبی زیستی الهام گرفته شده اند. در طبیعت، ساختار شبکه‌های عصبی از طریق نحوه اتصال بین اجزا تعیین می‌شود. بنابراین می‌توان یک ساختار مصنوعی به تقلید از شبکه‌های طبیعی ساخته و با تنظیم مقادیر هر اتصال تحت عنوان وزن اتصال نحوه ارتباط بین اجزای آن را تعیین کرد. در شکل ۲ روند کلی پردازش داده‌های دریافتی برای تشخیص عیوب سیمپیچ را مشاهده می‌نمایید.

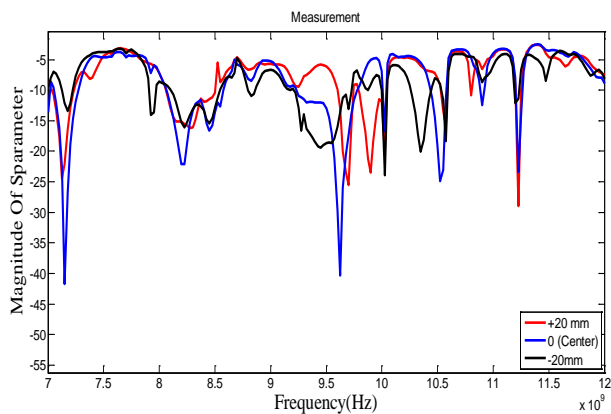


شکل ۲: پردازش داده‌های دریافتی برای تشخیص عیوب سیمپیچ

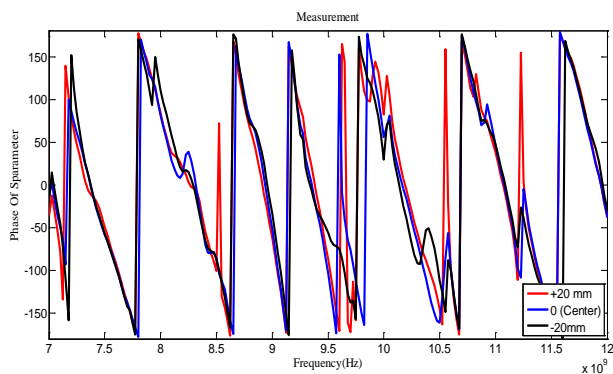
آزمایش در این حوزه با ارسال سیگنال سینوسی با جاروب فرکانسی انجام می‌شود. آزمایش‌ها در محدوده فرکانسی ۷-۱۲ گیگاهرتز با گام‌های ۲۵ مگاهرتز انجام شده‌اند و به ازای هر فرکانس، پارامتر پراکندگی به صورت یک عدد مختلط در بانک اطلاعات ذخیره شده است. برای آموزش و تست سیستم تشخیص الگو از قسمت حقیقی پارامتر پراکندگی به دلیل اینکه نسبت به میزان عیب حساسیت بیشتری نشان می‌دهد، استفاده می‌شود.

### ۳.۱.۱. تست جابجایی محوری

استوانه در راستای عمودی از پایین‌ترین تا بالاترین موقعیت با گام‌های ۰.۱ میلی‌متر جابجا کرده و برای هر موقعیت پارامتر پراکندگی ترانس را از فرکانس ۷ تا ۱۲ گیگاهرتز با گام‌های ۲۵ مگاهرتز ثبت می‌شود. در شکل ۵ و ۶ به ترتیب دامنه و فاز پارامتر پراکندگی برای موقعیت‌های ۲۰+، ۰ و ۲۰- نشان داده شده است.

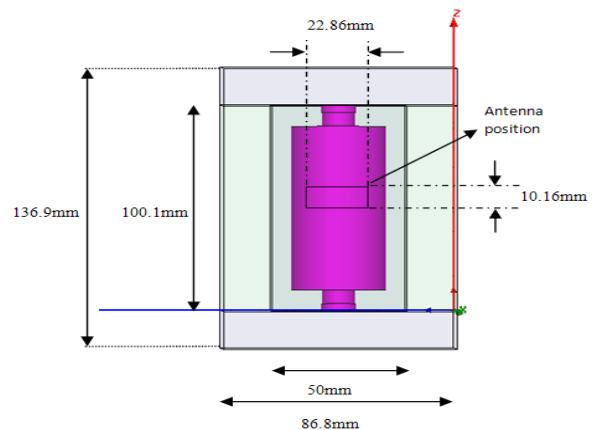
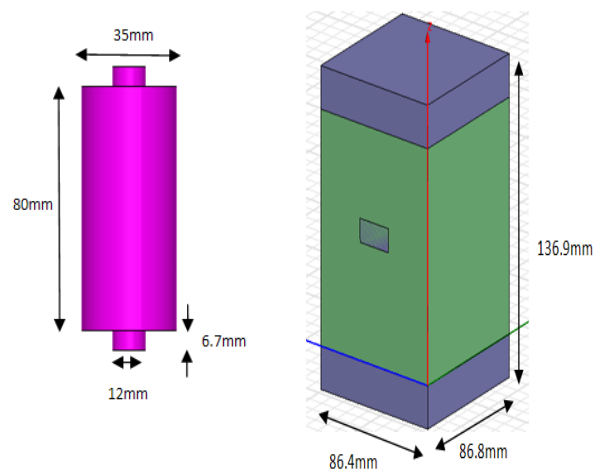


شکل ۵: دامنه پارامتر پراکندگی داده‌های اندازه‌گیری برای موقعیت‌های ۲۰+ و ۰ و ۲۰- میلی‌متر



شکل ۶: فاز پارامتر پراکندگی داده‌های اندازه‌گیری برای موقعیت‌های ۲۰+ و ۰ و ۲۰- میلی‌متر

در شکل ۴ نمای کاری مدل ساخته شده برای ترانس جهت آزمایش در حوزه فرکانس و پارامترهای استفاده شده برای مدل را در جدول ۱ مشاهده می‌کنید.



شکل ۳: نقشه مدل ترانسفورماتور در حوزه فرکانس

جدول ۱: ابعاد مدل اصلی (مدل سیم پیچ سالم)

۸۰ mm	ارتفاع استوانه بزرگ
۳۵ mm	قطر استوانه بزرگ
۱۲ mm	قطر استوانه کوچک



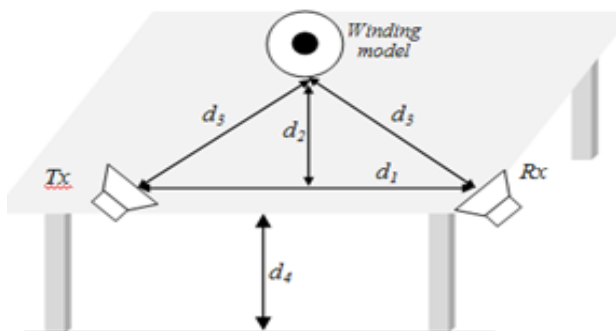
شکل ۴: مدل ساخته شده برای ترانس جهت آزمایش در حوزه فرکانس

### ۳.۱.۲. تست تغییر شکل شعاعی

#### ۴. آزمایش‌ها و شبیه‌سازیهای حوزه زمان

در حوزه زمان با استفاده از دو آنتن فرستنده و گیرنده، امواج (پالس‌های گوسی فرابهن باند (UWB)) به طرف سیم‌پیچ ارسال می‌شوند و با تحلیل موج برگشتی وجود عیب در سیم‌پیچ آشکار می‌شود. اندازه‌گیریها با دستگاه PulseOn 220 انجام می‌شود.

اساس کار به این صورت می‌باشد که ابتدا با شماتیک آزمایشگاهی که در شکل ۸ نشان داده شده است، پالس‌های UWB به مدل سیم‌پیچ ترانسفورماتور در مدت زمان T تابانده می‌شوند. پالس‌های ارسالی دارای عرض باند ۳/۲ GHz و فرکانس مرکزی ۴/۷ GHz می‌باشند. با توجه به اینکه تغییراتی که بر روی ترانسفورماتور ایجاد می‌گردند به صورت آنی و لحظه‌ای می‌باشند و ماهیت تکرار شونده ندارند، در نتیجه فاصله ارسال پالس‌ها با یکدیگر فاکتور مهمی به شمار نمی‌آید. فاصله دو آنتن از هم  $d_1$ ، فاصله مدل از مرکز خط واصل دو آنتن  $d_2$  و  $d_3$  فاصله فرستنده و گیرنده از مدل، می‌باشند. فاصله آنتن‌ها از زمین  $d_4$  است. پارامترهای مجموعه آزمایشگاهی در جدول ۳ ارائه شده است [۱۱].



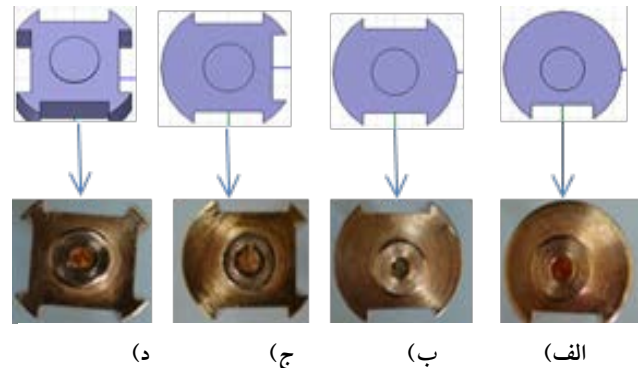
شکل ۸: نحوه قرارگیری تجهیزات اندازه‌گیری و مدل سیم‌پیچ ترانسفورماتور

جدول ۳: پارامترهای چیدمان آزمایشگاهی در حوزه زمان

پارامتر	D1	D2	D3	D4	Ts	Tl
اندازه	۱۳۰cm	۸۰cm	۱۰۳cm	۱۰۰cm	۳۱.۷۹ns	۱۰۰ms

ساختار اصلی همانند مدل محوری است و تنها سیم پیچ با چهار نمونه دارای تغییر شکل شعاعی تعویض شده است.

در شکل ۷ چهار مدل شبیه‌سازی شده و ساخته شده جهت اندازه‌گیری تغییر شکل شعاعی را نشان می‌دهد.



شکل ۷: ۴ ساختار مختلف شبیه‌سازی شده و ساخته شده برای تغییر شکل شعاعی: (الف) نمونه یک (ب) نمونه دو (ج) نمونه سه (د) نمونه چهار

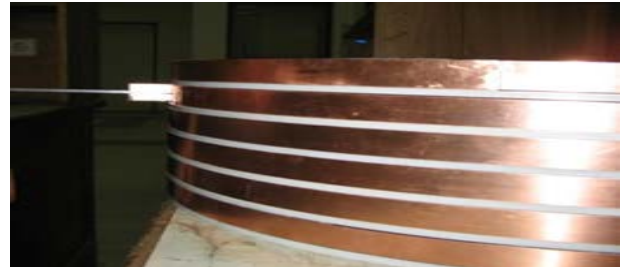
این مدل‌ها حالتی را توصیف می‌کنند که به ترتیب یک، دو، سه و یا چهار فرورفتگی در یک جهت بطور سراسری در سیم پیچ ترانس رخ داده باشد. استوانه سالم با هر یک از مدل‌های ۱ تا ۴ جایگزین نموده، و برای هر کدام از مدل‌ها استوانه را از زاویه صفر درجه تا ۳۶۰ درجه با گام‌های ۵ درجه می‌چرخانیم. برای هر موقعیت پارامتر پراکندگی ترانس را از فرکانس ۷ تا ۱۲ گیگا هرتز با گام‌های ۲۵ مگا هرتز ثبت می‌شود.

### ۳.۲. تحلیل نتایج

با توجه به آزمایش‌ها و شبیه‌سازیهای انجام شده در حوزه فرکانس که در بخش‌های قبلی توضیح داده شد، داده‌ها و کلاس‌ها برای آموزش و تست سیستم به منظور کلاسه‌بندی طراحی می‌شود. تحلیل داده‌های دریافتی توسط پنج روش پرکاربرد در شناسایی الگو صورت گرفت. سیستم‌های طراحی شده برای شناسایی الگو در مرحله اول عیب شعاعی از محوری را تشخیص داده و سپس میزان عیب جابجایی محوری و محل عیب شعاعی را مشخص می‌کند. درصد درستی روش‌های مختلف در جدول ۲ نشان داده شده است [۱۰].

## ۴.۱. تست جابجایی محوری

برای ساختن مدل، از پلکسی گلاس با لایه ای از مس پوشیده استفاده شده است. همانطور که در شکل ۹ نشان داده شده است، این مدل از ۶ دیسک با لایه های مس ساخته شده است که ابعاد آنها در جدول ۴ آماده است.

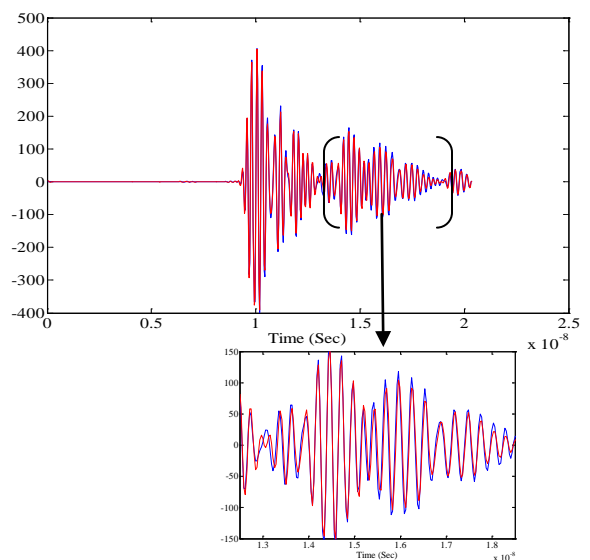


شکل ۹: نمایی از مدل نمونه آزمایشگاهی ساخته شده

جدول ۴: مشخصات دیسکهای ساخته شده برای مدل سیمپیچ

قطر دیسک اصلی	۶۰cm
قطر دیسک فاصلهانداز	۶۰cm
ضخامت دیسک اصلی	۲ mc
ضخامت دیسک فاصلهانداز	۰.۵cm

برای جابجایی محوری از یک بالابر استفاده شده است که توانایی جابجایی در راستای محوری با گامهای ۰.۱ میلیمتر را دارد. در آزمایش انجام شده گامهای جابجایی محوری برابر ۰.۲ میلیمتر در نظر گرفته شده است. میزان جابجایی محوری برابر ۳ سانتیمتر (بازهی ۱۵- میلیمتر تا ۱۵+ میلیمتر) میباشد. شکل ۱۰ موج دریافتی توسط گیرنده در حالت بدون عیب و جابجایی محوری ۱ سانتی متر نشان می‌دهد.



شکل ۱۰: موج دریافتی توسط گیرنده در حالت بدون عیب و جابجایی

محوری ۱ سانتیمتر

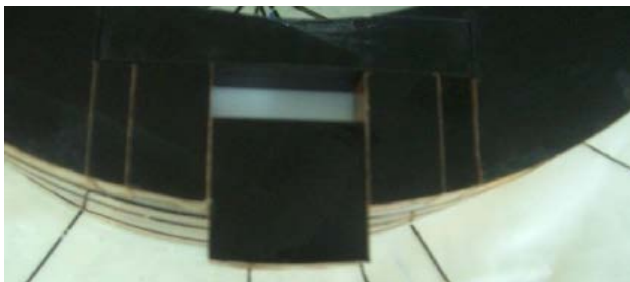
## ۴.۲. تست تغییر شکل شعاعی

برای مدل کردن تغییر شکل شعاعی، همانند مدل قبلی، قطعه‌هایی با پهنای ۰.۵، ۱، ۲ و ۴ سانتی متر بر روی یکی از دیسک‌ها ایجاد شده است. در این مدل قطعه‌ها قابلیت حرکت در بازه ۲.۵- سانتی متر تا ۲.۵+ سانتی متر را دارا هستند. جدول ۵ ابعاد قطعه‌های ایجاد شده را نشان می‌دهد.

جدول ۵: مساحت شارهای ایجاد شده بر روی شیشه ساز

شماره‌های ایجادشده	ابعاد قطاع (cm×cm)	مساحت قابل جابجایی
S۱	۲×۰.۵	۱
S۲	۲×۱	۲
S۳	۲×۲	۴
S۴	۲×۴	۸

باتوجه به شکل ۱۱ که نمایی از بالای مدل سیمپیچی ساخته شده است، مشخص است که شیارهای ایجادشده عمود بر قطر دیسک می‌باشند. بنابراین برای مدل کردن تغییر شکل شعاعی قطعه‌ها مستقیماً به سمت بیرون کشیده می‌شوند.

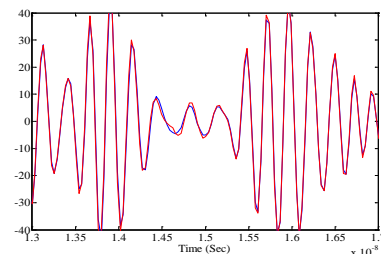
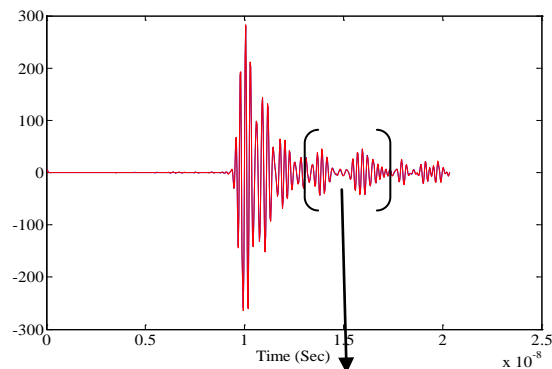


شکل ۱۱: نمونه از قطعه‌های ایجاد شده بر روی مدل سیمپیچ

قابل ذکر است که برای تفکیک عیوب تغییر شکل شعاعی مختلف مجموع حجم برآمدگی قطعه‌ها در نظر گرفته شده است. در شکل ۱۲ موج دریافتی توسط گیرنده در حالت بدون عیب و تغییر شکل شعاعی به میزان ۱ سانتیمتر و مساحت ۲×۲ سانتیمتر مربع نشان داده شده است.

### ۴.۳. تحلیل نتایج

در نهایت با تحلیل اطلاعات به دست آمده از اندازه گیری ها و استفاده از روش های مختلف تشخیص الگو و کلاسه بندی می توان عیب محوری و عیب شعاعی از یکدیگر تفکیک و میزان عیب محوری و محل عیب شعاعی تشخیص داده شود. درصد درستی روش های به کار گرفته شده در جدول ۶ آمده است.



شکل ۱۲: موج دریافتی توسط گیرنده در حالت بدون عیب و تغییر شکل شعاعی به میزان ۱ سانتیمتر و مساحت ۲\*۲ سانتی متر مربع

جدول ۲: درصد درستی روش های به کار گرفته شده در حوزه فرکانس

	درصد درستی کلاسه بندی به روش بیزین برای داده های اندازه گیری	درصد درستی کلاسه بندی به پنجری پارزن برای داده های اندازه گیری	درصد درستی کلاسه بندی به روش KNN برای داده های اندازه گیری	درصد درستی کلاسه بندی به روش ماشین بردار پشتیبان برای داده های اندازه گیری	درصد درستی کلاسه بندی به روش شبکه عصبی برای داده های اندازه گیری
	درصد درستی کلاسه بندی به روش بیزین برای داده های شبیه سازی	درصد درستی کلاسه بندی به پنجری پارزن برای داده های شبیه سازی	درصد درستی کلاسه بندی به روش KNN برای داده های شبیه سازی	درصد درستی کلاسه بندی به روش ماشین بردار پشتیبان برای داده های شبیه سازی	درصد درستی کلاسه بندی به روش شبکه عصبی برای داده های شبیه سازی
تفکیک عیب محوری و چهار حالت مختلف عیب شعاعی از یکدیگر	۱۰۰	۹۶/۸۵	۹۹/۲۱	۹۹/۲۲	۹۹/۲۲
تشخیص میزان عیب محوری	۹۷/۶۴	۸۸/۹۸	۸۶/۶۱	۹۸/۴۳	۹۷/۶۴
تشخیص میزان عیب شعاعی مدل اول	۹۶/۷۷	۹۳/۵۵	۸۳/۸۷۱	۹۳/۵۴	۹۳/۵۴
تشخیص میزان عیب شعاعی مدل دوم	۹۳/۵۵	۹۳/۵۵	۸۰/۶۵	۸۹/۱	۸۹/۱
تشخیص میزان عیب شعاعی مدل سوم	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
تشخیص میزان عیب شعاعی مدل چهارم	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
	۷۵	۷۰/۸۳	۷۰/۸۳	۹۵/۸۳	۹۵/۸۳
	۸۷/۵۰	۸۷/۵	۹۱/۶۶	۹۱/۶۶	۹۱/۶۶
	۹۱/۶۶	۱۰۰	۱۰۰	۹۵/۸۳	۹۵/۸۳
	۶۶/۶۷	۶۲/۵	۶۲/۵	۷۰/۸۳	۷۰/۸۳
	۵۰	۴۱/۶۶	۵۴/۱۶۶۷	۶۶/۶۶	۶۶/۶۶



جدول ۶: درصد درستی روش های به کار گرفته شده در حوزه زمان

درصد درستی کلاسه بندی به روش شبکه عصبی برای داده های اندازه گیری	درصد درستی کلاسه بندی به روش ماشین بردار پشتیبان برای داده های اندازه گیری	درصد درستی کلاسه بندی برای داده-KNN به روش های اندازه گیری	درصد درستی کلاسه بندی به پنجره ای پارزن برای داده های اندازه گیری	درصد درستی کلاسه بندی بندی به روش بیزین برای داده های اندازه گیری	
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	تفکیک عیب محوری و چهار حالت مختلف عیب شعاعی از یکدیگر
۹۲/۱۵	۹۶/۰۷	۷۶/۷۰	۸۰/۳۹	۹۴/۱۱	تشخیص میزان عیب محوری
۹۸/۱۱	۱۰۰	۸۶/۷۹	۸۴/۹۰	۹۶/۲۲	تشخیص میزان عیب شعاعی مدل اول

## منابع

## ۵. نتیجه گیری

در این مقاله روش کلی مونیتورینگ سیم پیچی ترانسفورماتور قدرت با استفاده از امواج الکترومغناطیسی در دو حوزه فرکانس و زمان جهت تشخیص جابجایی و تغییر شکل شعاعی بررسی شد. پردازش داده های خام بدست آمده از اندازه گیری ها و شبیه سازی ها با استفاده از روش های ذکر شده به منظور کلاسه بندی برای تفکیک و تشخیص عیوب انجام شد. همانطور که از نتایج بدست آمده پیداست، روش های تشخیص الگو دارای دقت مناسبی است و برای تفکیک عیب محوری و حالت های مختلف عیب شعاعی از یکدیگر برای آزمایش های حوزه ی زمان و فرکانس تمامی روش ها نتایج خوبی دادند و برای تشخیص میزان عیب محوری برای آزمایش های حوزه ی فرکانس ماشین بردار پشتیبان و بیزین و برای آزمایش های حوزه ی زمان ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی بهترین جوابها را دادند و برای تشخیص محل عیب شعاعی برای آزمایش های حوزه ی فرکانس و میزان عیب شعاعی برای آزمایش های حوزه ی زمان ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی بهترین جوابها را دادند.

- [1] C. Bengtsson, "Status and trends in transformer monitoring," Power Delivery, I.E.E.E. Transactions on , vol.11, no.3, pp.1379-1384, Jul 1996
- [۲] م. اخوان حجازی، "تشخیص جابجایی و تغییر شکل سیم پیچی ترانس قدرت بوسیله امواج الکترومغناطیسی" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، شهریور ۱۳۸۵، تهران، ایران.
- [3] Feng LV, Hai-lian DU , Hao Sun , Zhan-feng Wang, Yuan LI "Power Transformer Fault Diagnosis Based on Data Fusion" Proceedings of the 17th World Congress The International Federation of Automatic Control Seoul, Korea, July 6-11, 2008
- [4] Lindsay I Smith, A tutorial on Principal Components Analysis, February 26, 2002 Journal of Educational Psychology, 24:417-441, 1933.
- [5] R.R. Coifman, M.V. Wickerhauser "Entropy-based algorithms for best basis selection," IEEE Trans. on Inf. Theory, Vol. 38, No. 2, pp. 713-718, 1992.
- [6] A. Nasiri, J. Poshtan, M.H. Kuaei, and F. Taringoo, "Wavelet packet decomposition as a proper method for fault detection in three phase induction motor," in Proc. IEEE Int. Conf. Mechatronics, Jun. 3-5, 2004.
- [۷] جواد ابراهیمی، گئورگ قره پتیان، حمیدرضا امین داور، مریم السادات اخوان حجازی "کاربرد تبدیل ویولت گسسته برای تشخیص برخط تغییر شکل شعاعی سیم پیچ ترانسفورماتور با توجه به اندازه گیری های انجام شده توسط سنسورهای فراهین باند" PSC 2010، تهران، ایران
- [۸] ع. آل حسینی، "استخراج ویژگی و شناسایی الگو برای تفسیر نتایج آزمایش های انجام شده بر مدل سیم پیچ ترانس قدرت جهت تشخیص عیوب محوری و شعاعی" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه امیرکبیر، بهمن ۱۳۸۹، تهران، ایران
- [۹] م. اخوان حجازی، "تشخیص جابجایی و تغییر شکل سیم پیچی ترانس قدرت بوسیله امواج الکترومغناطیسی" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، شهریور ۱۳۸۵، تهران، ایران.
- [۱۰] مریم السادات اخوان حجازی علی آل حسینی و گئورگ قره پتیان، "ارائه شاخص جهت تشخیص میزان جابجایی محوری سیم پیچ ترانسفورماتور به روش استفاده از پارامترهای پراکندگی"، بیست و پنجمین کنفرانس بین المللی برق، ۱۷-۱۹ آبان ۱۳۸۹ تهران- ایران.
- [11] G. Mokhtari, G. B. Gharehpetian, R. Faraji-Dana and M. A. Hejazi, "Modelling of Tank Effect in Transformer Winding Radial Deformation Monitoring Using UWB Sensors", 19th Iranian Conference on Electrical Engineering, Tehran, Iran, 17-19 May 2011