

برنامه ریزی تعمیرات و نگهداری پیش‌گویانه ایستگاههای گاز با رویکرد ترکیبی

PCA و شبکه‌های عصبی فازی

امیر افسر^۱، محمد رضا صادقی مقدم^۲، دکتر احمد جعفرنژاد^۳

چکیده

نگهداری و تعمیرات (نت) پیش‌گویانه شامل جمع‌آوری، تفسیر پیوسته داده‌های مربوط به شرایط تولید و عملیات اجزای اصلی تجهیزات، پیش‌گویی وقوع خرابی و تعیین استراتژی‌های نت مناسب است. حالت مطلوب این خواهد بود که قبل از وقوع شکست، آن را پیش‌بینی نموده و فرصت کافی برای تعویض قطعه معیوب قبل از بروز خرابی و توقف تولید وجود داشته باشد.

در شرکت ملی گاز ایران، لوله‌های انتقال گاز طبیعی از جنس فولاد می‌باشند که جهت ایمنی بیشتر در مقابل ضربه‌های مکانیکی معمولاً در زیر زمین دفن می‌گردند. اما این عمل پدیده خوردگی و در اصطلاح عامل زنگ زدگی را پیش می‌آورد. این تحقیق با رویکرد استقرار سیستم تعمیرات و نگهداری پیش‌گویانه در شرکت ملی گاز ایران انجام و جهت انجام آن شاخص‌های تاثیرگذار بر پتانسیل شبکه در ایستگاههای حفاظت شرکت‌های تابعه شرکت ملی گاز ایران، به مدت ۴ سال و در دوره‌های زمانی ۱۵ روزه جمع‌آوری شده است. با توجه به اهمیت بکارگیری نت پیش‌گویانه، در این تحقیق، از یک مدل ترکیبی تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و شبکه‌های عصبی فازی جهت کنترل و پیش‌بینی زمانهای خرابی استفاده شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که مدل ارائه شده ۲۵ درصد از هزینه‌های بازرسی را کاهش می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: شبکه‌های عصبی فازی، تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی، شبکه‌های عصبی مصنوعی،

نگهداری و تعمیرات پیش‌گویانه، خوردگی لوله‌های گاز

^۱ - دانشجوی دکتری مدیریت دانشگاه علامه طباطبایی

^۲ - دانشجوی دانشگاه تهران

^۳ - دانشیار دانشگاه تهران

۱- مقدمه

با توجه به اهمیت و نقش فرایندهای نگهداری و تعمیرات در قابلیت اطمینان سیستمها و استمرار در ارائه خدمات، لزوم بکارگیری تکنیک های نوین جهت دستیابی به اهداف تعیین شده نگهداری و تعمیرات بهره ور جامع^۱ (TPM) بیش از پیش ضروری می نماید. هر چند که جایگاه و خواستگاه اولیه سیستم های نت ایالات متحده بوده است، لیکن دیدگاه و فلسفه های نوین مطروحه در آن خصوص غالباً در ژاپن شکل گرفت. هنگامی خرابی ماشینی رخ می دهد که یک جزء، ساختار یا سیستم نمی تواند هدف برنامه ریزی شده را برآورده سازد. نت شامل فعالیتهای برنامه ریزی شده و نشده ای است که باعث می شوند سیستم در حالت قابل قبول قرار گیرد [۱].

دوره های قبل از ۱۹۵۰ را می توان دوره های تعمیرات بدون پیشگیری نامید. نت پیشگیرانه^۲ در دهه ۱۹۵۰ و نت بهره ور در دهه ۱۹۶۰ رواج یافت. تا سال ۱۹۷۰، امور نت پیشگیرانه عمدتاً شامل پیشگیری متکی بر زمان، که بر اساس سرویس های دوره ای و تعمیرات اساسی دوره ای عمل می نماید، می بود. توسعه TPM از سال ۱۹۷۰ آغاز گردید. موفقیت TPM وابسته به توان ما در آگاهی مداوم و مستمر از شرایط فنی تجهیزات است تا بتوانیم آن را پیش گویی نماییم. TPM را معمولاً رویکردی می دانند که فقط برای بخش های تولید در حجم بالا و متوسط قابل بکارگیری است و برای بکارگیری در این زمینه ها مشهور شده است. دلیل آن احتمالاً این است که نتایج اجرای TPM در زمینه های تولید حجم بالا کاملاً چشمگیر بوده و مزایای قابل توجهی برای یک موسسه در بر دارد، اما به عکس TPM را نباید به زمینه های تولیدی در حجم بالا تا حجم متوسط محدود کرد و همچنین نباید آن را رویکردی تلقی کرد که فقط برای ماشین آلات تولیدی در داخل کارگاه قابل بکارگیری

^۱ - Total predictive maintenance
^۲ -

است. TPM، فلسفه ای است که باید در سراسر شرکت های عملیاتی نفوذ و انتشار یابد و به همه افراد در کلیه سطوح سازمانی سرایت کند [۲].

با استفاده از TPM می توان برنامه های زمانی نگهداری پیشگیرانه را در نتیجه رویکرد یکپارچه کلیه کارکنان تولید و نگهداری و بهبود در اطلاعات جمع آوری شده معنی دارتر کرد. همچنین TPM باعث آزاد شدن وقت متخصصان نگهداری و به وجود آمدن فرصت برای انجام نگهداری های برنامه ریزی شده و پیشگیرانه می گردد و از همه مهمتر به آنها امکان می دهد که سیستم را روزآمد کنند، به گونه ای که وظایف پیشگیرانه، دفعات انجام این وظایف، ربط و اثربخشی هزینه ای آنها را بتوان بطور دائم مرور کرد. این امر همچنین در مورد برنامه های نگهداری پیشگیرانه، به ویژه توسعه و بکارگیری نگهداری پیش گوینه به عنوان جایگزینی برای رویکرد پیش گیرانه، مصداق دارد [۳].

در دهه ۱۹۸۰ نت پیش گوینه^۱ یا نت متکی بر شرایط و وضعیت تجهیزات جایگزین نت پیش گیرانه گردید. نت پیش گوینه نقش مهمی را در TPM ایفا می نماید. به این دلیل که نت پیش گوینه با استفاده از شیوه های مدرن بررسی شرایط فنی تجهیزات، وضعیت آنها را در زمانی که تحت بهره برداری هستند با تشخیص علائم استهلاک و یا امکان خرابی های قریب الوقوع، معین می نماید [۴].

نت پیش گوینه شامل جمع آوری، و تفسیر پیوسته داده های مربوط به شرایط تولید و عملیات اجزای اصلی تجهیزات، پیش گویی وقوع خرابی، و تعیین استراتژی های نت مناسب است [۵].

در سالهای اخیر، شبکه های عصبی مصنوعی بطور موفق در کارهای تشخیص الگو و حل مسایل تشخیص خرابی مورد استفاده قرار گرفته اند. یکی از مزایای اصلی استفاده از شبکه های

¹ - Predictive maintenance

عصبی مصنوعی، توان تشخیص الگوهایی است که نادقیق^۱ یا فازی^۲ هستند. این تحقیق به دنبال پیاده سازی شبکه های عصبی فازی در نت پیش گوینه است [۶].

۲- ادبیات موضوع

برخی از محققان، کاربرد شبکه های عصبی در مسایل تشخیص خرابی را مورد بررسی قرار داده اند. He, Wu و Gong [۷] کاربرد یک شبکه چندلایه پیشخور^۳ بر مبنای روش تشخیص وضعیت ماشین را مطالعه نموده اند. آنها روابط فازی مشخصی بین نشانه های شکست و دلایل آنها با روابط غیرخطی زیاد بین ورودی ها و خروجی های شبکه ارائه داده اند. Knapp و Wang [۸] کاربرد شبکه عصبی پس انتشار خطا^۴ را در تشخیص خرابی ماشین CNC با استفاده از داده های نوسانی بررسی نموده اند. Lee و Becraft [۹] توسعه یک سیستم هوشمند مصنوعی را به عنوان یک ابزار برای تشخیص خرابی در کارخانه های فرایند شیمی با ابعاد بزرگ مطالعه نموده اند. Knapp, Javadpur و Wang [۱۰] یک شبکه عصبی زمان واقعی^۵ بر مبنای سیستم کنترل وضعیت برای گردش تجهیزات مکانیکی ارائه داده اند. در آن تحقیق، نوع دیگری از شبکه های عصبی به نام ARTMAP توسعه داده شده که در آن بطور پیوسته داده های نوسانی، ماشین را برای آنکه آیا در تلاش برای نشان دادن اطلاعات جدید درباره وضعیت ماشین است یا نه، کنترل می نماید. Knapp [۱] و Javadpur به رویکرد شبکه های عصبی فازی جهت نظارت بر وضعیت ماشین آلات پرداخته اند. علاوه بر آن، Bansal, Evans, و Jones [۱۱] تحقیقی در مورد کاربرد سیستم تعمیرات و نگهداری زمان واقعی برای ماشین آلات تولیدی انجام داده اند.

¹ - Imprecise
² - Fuzzy
³ - Feedforward
⁴ - Backpropagation
⁵ - Real Time

در سالهای اخیر، تلاش های زیادی در ایجاد یک ترکیب از منطق فازی و شبکه های عصبی برای عملکرد بهتر در سیستم های تصمیم گیری صورت پذیرفته است. عدم اطمینان ها شامل شرح ورودی و تصمیم خروجی ایجاد شده بوسیله مفاهیم مجموعه های فازی است، درحالیکه تئوری شبکه های عصبی در ایجاد منطقه تصمیم مورد نیاز کمک می کند. بدنه درحال رشد و بزرگی از ادبیات مربوط به بهم پیوستن سیستم های فازی و شبکه های عصبی وجود دارد که بسیاری از این مقالات درباره مسایل زیر بحث می کنند.

- بکارگیری شبکه های عصبی برای سازگاری سیستم های فازی
- ترکیب سیستم های فازی و شبکه های عصبی که سیستم های پیوندی خوانده می شوند.
- بکارگیری شبکه های عصبی برای تخمین سیستم فازی [۱]

۳- شبکه های عصبی فازی

شبکه های عصبی ابزار محاسباتی ساده ای برای آزمون داده ها و ایجاد مدل از ساختار داده ها است. داده هایی که برای ایجاد مدلها استفاده می شوند، به داده های آموزشی مشهور هستند. هر گاه شبکه عصبی از داده های آموزشی برای یادگیری الگوهای موجود در داده ها استفاده کند، می تواند آنها را برای دستیابی به خروجی ها و نتایج مختلف بکار بگیرد. انواع مختلفی از شبکه های عصبی مصنوعی با توجه به اهداف تحقیق می توانند مورد استفاده قرار گیرند که یکی از معروف ترین آنها، شبکه عصبی چند لایه پیش خور^۱ (MFNN) می باشد که بر طبق مطالعات اخیر، بیش از پنجاه درصد مطالعات کاربردی بازرگانی شبکه عصبی گزارش شده، از شبکه های عصبی چند لایه پیش خور (MFNN ها) با قوانین الگوریتم یادگیری پس انتشار استفاده کرده اند [۱۲]. این نوع شبکه

^۱ - Multilayered Feedforward Neural Network

عصبی بدلیل کاربردهای گسترده در بسیاری از ابعاد مسائل مربوط به مدیریت، مانند پیش بینی اصولی، طبقه بندی و مدلسازی، بسیار محبوب است. MFNN برای حل مسائلی که شامل یادگیری ارتباط بین یک مجموعه ورودی ها و خروجی های مشخص هستند، مناسب می باشد. که در حقیقت یک تکنیک آموزش با ناظر برای یادگیری ارتباطهای بین داده ها با استفاده از مجموعه داده های آموزش است.

اگرچه شبکه های عصبی مصنوعی و سیستم های فازی با یکدیگر از نظر ساختاری متفاوت هستند، اما اگر به نقاط ضعف و قوت آنها نگریده شود، مشاهده می شود که این دو سیستم دارای ماهیت مکمل نسبت به یکدیگر هستند. در این بخش، امکان ترکیب سیستم های فازی و شبکه های عصبی مصنوعی آزمایش خواهد شد و قابلیت های یادگیری شبکه های عصبی وارد سیستم های فازی خواهند شد.

بطور کلی، شبکه های عصبی مصنوعی برای مقصودی که ما از آن استفاده می کنیم، توانایی بالایی در توسعه یک مدل در زمانی منطقی را ندارد. از سوی دیگر، مدلسازی فازی برای کاربرد ادغام تصمیمات از متغیرهای متفاوت، نیازمند یک رویکردی جهت یادگیری از تجربیات (داده های جمع آوری شده) است. در میان روشهای مدلسازی نوین، سیستم های فازی جایگاه ویژه ای را کسب نموده اند. این امر را می توان معلول توانایی پیاده سازی دانش بشری با استفاده از مفهوم برچسب های زبانی و قواعد فازی، غیر خطی بودن و قابلیت تطبیق پذیری این نوع سیستمها دانست. بطور خلاصه یک سیستم فازی یک سیستم مبتنی بر قواعد منطقی اگر - آنگاه است. نقطه شروع ساخت یک سیستم فازی به دست آوردن مجموعه ای از قواعد اگر - آنگاه فازی از دانش فرد خبره یا دانش حوزه مورد نظر است. به دست آوردن این قواعد مهمترین و سخت ترین مرحله کار است. چراکه نیازمند دانش

بالای فرد متخصص و پیاده سازی صحیح آن است. داشتن روشی که در کنار دانش بشری بتوان از اطلاعات عددی موجود برای ساخت قواعد استفاده کرد نیز می تواند در این مرحله بسیار مفید باشد. به این صورت موفق به پیاده سازی یک سیستم فازی به گونه ای شده ایم که قابلیت یادگیری داشته باشد و قادر خواهیم بود تا خطای پیش بینی را کاهش دهیم.

فرآیند یادگیری در شبکه های عصبی فازی عبارت است از تغییر پارامترها یا ضرایب شبکه با استفاده از مثالهایی که قبلاً تجربه شده اند. این عملیات با تنظیم ضرایب شبکه به نحوی که یک شاخص تعریف شده به جواب اقناع کننده برسد (به کمترین یا بیشترین مقدار ممکن برسد) محقق می گردد. لازمه این امر داشتن مجموعه ای از زوج مرتبهای ورودی و خروجی و نیز وجود شاخصی است که بهترین شکل نگاشت ورودیهای x_k را به مقادیر خروجی مورد نظر t_k بیان کند.

یادآوری می شود که یکی از تفاوتهای مهم نرونهای معمولی و فازی در نحوه تعریف ارتباطات بین نرونها قرار دارد. در نرونهای معمولی ارتباطات سیناپسی بین نرونها خطی هستند و از ضرب ضرایب در آنها بدست می آیند و فرآیند یادگیری با تغییر در مقادیر ضرایب w حاصل می شود. اما در نرونهای فازی ارتباطات سیناپسی به صورت رابطه فازی دو بعدی یا دو متغیره تعریف می شود که این رابطه بین ورودیها و خروجیها تعریف می گردد. بنابراین یادگیری در نرونهای فازی عبارت از تغییر صفحه رابطه دو بعدی در هر رابطه با سیناپس است.

۴- بررسی تجربی پیش بینی زمانهای از کار افتادگی

در شرکت ملی گاز ایران لوله‌های انتقال گاز طبیعی از جنس فولاد می باشند که جهت ایمنی بیشتر در مقابل ضربه های مکانیکی معمولاً در زیر زمین دفن می گردند. اما این عمل پدیده خوردگی و در اصطلاح عامل زنگ زدگی را پیش می آورد. علم خوردگی جهت جلوگیری از این واکنش شیمیایی در شبکه‌های گازرسانی مبادرت به حفاظت کاتدیک نموده که در این روش با اعمال پتانسیل به مقدار لازم در جهت عکس پتانسیل گالوانیکی لوله نسبت به محیط اطرافش می تواند از خوردگی جلوگیری کند. در این روش با اعمال جریان توسط یک ترانس رکتی فایر در ایستگاههای حفاظت کاتدیک در نقاط مختلف شبکه از آن حفاظت می گردد. در عمل پتانسیل آهن ۴۵۰- میلی ولت می باشد که جهت جلوگیری از اکسید شدن می بایست پتانسیل را تا حدود ۸۵۰- میلی ولت افزایش داد اما جهت حفاظت لوله های زیر زمینی توسط ترانس رکتی فایر می بایست پتانسیل تزریقی را آنقدر افزایش داد تا حتماً در انتهای خطوط شبکه حفاظت ۸۵۰- میلی ولت را داشته باشیم. از سوی دیگر، پتانسیل بالاتر از ۲۱۰۰- میلی ولت باعث ازدیاد حباب‌های هیدروژن در پوشش‌های گرم شده و این حباب‌ها خود باعث جدایی پوشش از لوله و ترک روی پوشش‌ها می گردد. اهمیت بکارگیری نت پیش گویانه در این شرکت از آنجا دارای اهمیت مضاعف می گردد که در صورت بروز عیب‌های متوالی علاوه بر اینکه ارائه خدمات شرکت متوقف می شود، احتمال خطرات جانی و بروز انفجار زیاد می باشد.

این تحقیق با رویکرد استقرار سیستم تعمیرات و نگهداری پیش گویانه در شرکت ملی گاز ایران انجام شده و برای مدل‌سازی پیش‌بینی زمانهای خرابی از روش شبکه‌های عصبی فازی استفاده شده است. بدین منظور، شاخص‌های تاثیرگذار بر پتانسیل شبکه در ایستگاههای حفاظت شرکت‌های تابعه شرکت ملی گاز ایران به مدت ۴ سال و در دوره های زمانی ۱۵ روزه از فروردین ماه ۱۳۸۰ تا

فروردین ماه ۱۳۸۴ جمع‌آوری شده و در جدول ۱ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود،

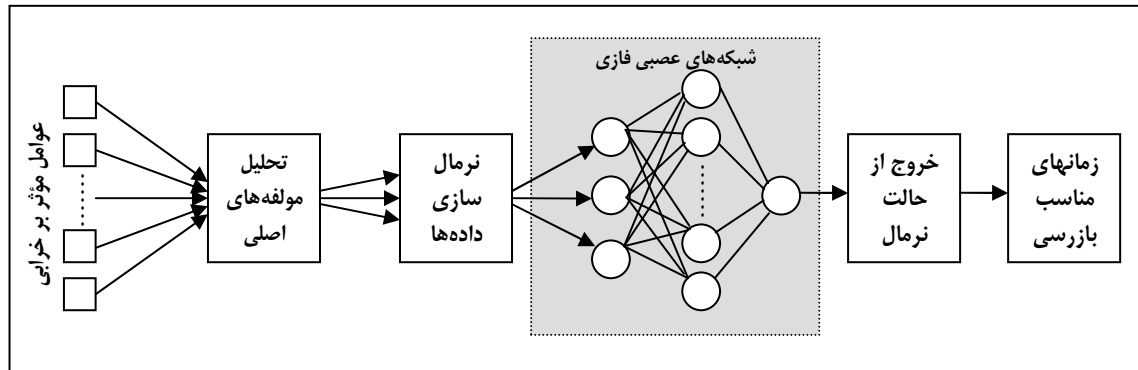
شش شاخص مؤثر شناسایی شده است.

جدول ۱: داده‌های واقعی خوردگی لوله‌های گاز

| ردیف | ولتاژ | | | تنظیم قبل | | | تنظیم ایستگاه | | | درجه | ردیف | ولتاژ | | | تنظیم قبل | | | تنظیم ایستگاه | | | درجه | ردیف |
|------|-------|-------|--------|-----------|--------|-------|---------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-----------|--------|-------|---------------|--|--|------|------|
| | ترانس | ولتاژ | آمپراژ | ولتاژ | آمپراژ | ولتاژ | آمپراژ | ولتاژ | آمپراژ | | | ترانس | ولتاژ | آمپراژ | ولتاژ | آمپراژ | ولتاژ | آمپراژ | | | | |
| 12 | 2.23 | 17 | 38 | 14 | 38 | 2100 | 41 | 18 | 3 | 14.25 | 44 | 13.25 | 41 | 2040 | 1 | | | | | | | |
| 15 | 2.23 | 17 | 38 | 17 | 38 | 2100 | 42 | 25 | 3.1 | 14.5 | 45 | 14 | 44 | 2060 | 2 | | | | | | | |
| 10 | 2.28 | 16 | 36.5 | 15.25 | 36 | 2050 | 43 | 27 | 3.1 | 14.75 | 46 | 14.5 | 45 | 2060 | 3 | | | | | | | |
| 10 | 2.33 | 16.25 | 38 | 16.25 | 38 | 2100 | 44 | 25 | 3.1 | 14.5 | 46 | 14 | 45 | 2020 | 4 | | | | | | | |
| 14 | 2.3 | 16 | 38 | 16 | 38 | 2100 | 45 | 40 | 3.1 | 14.5 | 46 | 14.5 | 46 | 2100 | 5 | | | | | | | |
| 15 | 2.3 | 16 | 38 | 16 | 38 | 2100 | 46 | 25 | 3.2 | 15 | 48 | 14.5 | 46 | 1980 | 6 | | | | | | | |
| 22 | 2.5 | 16 | 40 | 16 | 40 | 2100 | 47 | 35 | 3.1 | 15.5 | 49 | 15.5 | 47 | 2100 | 7 | | | | | | | |
| 20 | 2.5 | 15.75 | 40 | 15.25 | 38.75 | 2060 | 48 | 30 | 3.2 | 15.5 | 50 | 15.5 | 50 | 2100 | 8 | | | | | | | |
| 24 | 2.54 | 15.5 | 39.5 | 15.5 | 39.5 | 2100 | 49 | 35 | 3.2 | 15.5 | 49 | 15.5 | 49 | 2100 | 9 | | | | | | | |
| 14 | 2.59 | 15.25 | 39.5 | 15.25 | 39.5 | 2100 | 50 | 35 | 3.2 | 15 | 48 | 15 | 48 | 2100 | 10 | | | | | | | |
| 32 | 2.9 | 15.75 | 41.5 | 15.75 | 41.5 | 2100 | 51 | 35 | 3 | 16 | 49 | 15.5 | 48 | 2050 | 11 | | | | | | | |
| 35 | 2.9 | 15.75 | 41.5 | 15.75 | 41.5 | 2100 | 52 | 30 | 3.1 | 16 | 50 | 16 | 50 | 2100 | 12 | | | | | | | |
| 20 | 2.9 | 16 | 42 | 16 | 42 | 2100 | 53 | 40 | 3 | 15.5 | 46 | 16.25 | 48 | 2160 | 13 | | | | | | | |
| 30 | 2.6 | 15.5 | 41 | 15.5 | 41 | 2100 | 54 | 24 | 3.3 | 15 | 49 | 15 | 49 | 2100 | 14 | | | | | | | |
| 36 | 2.6 | 16.5 | 42.75 | 15.5 | 40.75 | 2020 | 55 | 20 | 3.1 | 14.5 | 45 | 16 | 51 | 2180 | 15 | | | | | | | |
| 38 | 2.5 | 16.5 | 42.75 | 16.5 | 42.75 | 2100 | 56 | 8 | 3.3 | 14.75 | 50 | 14.75 | 50 | 2100 | 16 | | | | | | | |
| 35 | 2.5 | 17 | 42.75 | 17.5 | 44 | 2150 | 57 | 14 | 3.5 | 14 | 49 | 14 | 49 | 2100 | 17 | | | | | | | |
| 35 | 2.5 | 15 | 37.5 | 17 | 41.25 | 2150 | 58 | 12 | 3.5 | 14 | 49.5 | 14 | 49.5 | 2100 | 18 | | | | | | | |
| 32 | 2.4 | 16.5 | 40 | 15.25 | 38 | 2150 | 59 | 16 | 3.69 | 13.25 | 49 | 12.5 | 48 | 2000 | 19 | | | | | | | |
| 28 | 2.3 | 17.5 | 41 | 17.5 | 41 | 2060 | 60 | 6 | 2.8 | 15 | 43 | 15 | 43 | 2100 | 20 | | | | | | | |
| 26 | 2.2 | 17.75 | 40 | 17.75 | 40 | 2100 | 61 | 15 | 2.8 | 15 | 44 | 15.5 | 44 | 2100 | 21 | | | | | | | |
| 20 | 2.2 | 17.75 | 40 | 17.75 | 40 | 2100 | 62 | 6 | 2.6 | 16 | 41 | 16 | 41 | 2100 | 22 | | | | | | | |
| 20 | 2.4 | 17.25 | 42.9 | 19 | 44.25 | 2140 | 63 | 18 | 22.6 | 16 | 41 | 16 | 41 | 2100 | 23 | | | | | | | |
| 12 | 2.2 | 19.5 | 43 | 19.5 | 43 | 2100 | 64 | 22 | 2.5 | 15.5 | 39 | 16 | 41 | 2150 | 24 | | | | | | | |
| 16 | 2.19 | 18.75 | 41 | 18.75 | 41 | 2100 | 65 | 15 | 2.5 | 15.5 | 39 | 15.5 | 39 | 2100 | 25 | | | | | | | |
| 9 | 2.2 | 17.75 | 39.5 | 18 | 41.5 | 2200 | 66 | 16 | 2.5 | 15.5 | 39 | 15.5 | 39 | 2100 | 26 | | | | | | | |
| 10 | 2.5 | 16 | 40 | 24 | 40 | 2400 | 67 | 18 | 2.6 | 16.5 | 42.5 | 15 | 39 | 2010 | 27 | | | | | | | |
| 10 | 3.25 | 12 | 39 | 12 | 39 | 2100 | 68 | 26 | 2.6 | 16 | 41 | 17.25 | 43 | 2150 | 28 | | | | | | | |
| 10 | 3.7 | 11.25 | 42 | 11.25 | 42 | 2100 | 69 | 40 | 2.6 | 15.25 | 39.5 | 15.25 | 39.5 | 2100 | 29 | | | | | | | |
| 12 | 3.7 | 11.25 | 42 | 11.25 | 42 | 2100 | 70 | 34 | 2.5 | 15.25 | 38.75 | 15.25 | 38.75 | 2100 | 30 | | | | | | | |
| 18 | 3.6 | 11.5 | 41.5 | 11.5 | 41.5 | 2100 | 71 | 35 | 2.5 | 16 | 39.5 | 16 | 39.5 | 2100 | 31 | | | | | | | |
| 18 | 3.47 | 13.25 | 46 | 11.5 | 42 | 2020 | 72 | 40 | 2.5 | 16 | 39.5 | 16 | 39.5 | 2100 | 32 | | | | | | | |
| 24 | 3.38 | 13 | 44 | 13.75 | 46 | 2140 | 73 | 40 | 2.5 | 16 | 39.5 | 16 | 39.5 | 2100 | 33 | | | | | | | |
| 18 | 3.2 | 13 | 42 | 13 | 42 | 2100 | 74 | 35 | 2.47 | 17 | 42 | 15.5 | 39.5 | 2050 | 34 | | | | | | | |
| 25 | 3.6 | 11 | 40 | 12.5 | 43 | 2160 | 75 | 30 | 2.3 | 17 | 39 | 18.75 | 42.5 | 2180 | 35 | | | | | | | |
| 24 | 3.5 | 12 | 42 | 12 | 42 | 2100 | 76 | 40 | 2.3 | 16.5 | 38.5 | 16.5 | 38.5 | 2100 | 36 | | | | | | | |
| 28 | 3.6 | 12.5 | 46 | 11 | 42 | 2040 | 77 | 40 | 2.3 | 16.5 | 38.5 | 16.5 | 38.5 | 2100 | 37 | | | | | | | |
| 40 | 3.4 | 11.5 | 40 | 12.5 | 46 | 2160 | 78 | 30 | 2.2 | 18 | 40 | 18 | 40 | 2100 | 38 | | | | | | | |
| 38 | 3.4 | 11.75 | 40 | 11.75 | 40 | 2100 | 79 | 30 | 2.2 | 18 | 40 | 18 | 40 | 2100 | 39 | | | | | | | |
| 40 | 3.6 | 12 | 40 | 12 | 40 | 2100 | 80 | 16 | 2.23 | 17 | 38 | 17 | 38 | 2100 | 40 | | | | | | | |

۵- طراحی سیستم نت پیش گویانه

در این تحقیق، یک سیستم نت پیش گویانه بر مبنای روش های شبکه های عصبی فازی و تحلیل مؤلفه های اصلی پیشنهاد می شود تا هزینه های TPM به حداقل ممکن برسد. سیستم پیشنهادی این تحقیق به شرح شکل ۱ می باشد.



شکل ۱: سیستم پیشنهادی نت پیش گویانه

۵-۱- تحلیل مؤلفه های اصلی

همانطور که در جدول ۱ نشان داده شده است، در این تحقیق ۶ عامل مؤثر بر خرابی ماشین آلات شناسایی شده است. به منظور عملکرد بهتر شبکه های عصبی فازی، می توان با استفاده از روش تحلیل مؤلفه های اصلی، تعداد ورودی ها را کمتر نمود تا بتوان مدل قوی تری برای شبکه های عصبی طراحی نمود [۱۳]. شاخص های مؤثر در این تحقیق با استفاده از روش تحلیل مؤلفه های اصلی به سه عامل کاهش داده شده اند و خروجی تحلیل مؤلفه های اصلی به عنوان ورودی شبکه های عصبی در نظر گرفته شده است.

۵-۲- نرمال سازی داده ها

قبل از پردازش داده‌ها بوسیله شبکه‌های عصبی فازی، می‌توان داده‌ها را نرمال سازی نمود تا توان پیش بینی بالاتر رود. بنابراین تبدیلی بر روی داده‌های ورودی به شبکه انجام می‌شود که داده‌ها در فاصله $[L, H]$ قرار گیرند. این کار با استفاده از رابطه زیر انجام می‌شود:

$$X_{scaled} = mX_i + b$$

که در این رابطه:

$$m = \frac{H - L}{X_{max} - X_{min}}, \quad b = \frac{X_{max} \cdot L - X_{min} \cdot H}{X_{max} - X_{min}}$$

در این رابطه، H و L حد بالا و پایین فاصله نرمال سازی هستند و معمولاً برابر 1 و -1 در نظر گرفته می‌شوند، X_{max} ، X_{min} نیز به ترتیب مقادیر کمینه و بیشینه X_i ها هستند. در این صورت رابطه ذکر شده به شکل ساده‌تر زیر که اغلب مورد استفاده قرار می‌گیرد، تبدیل می‌شود:

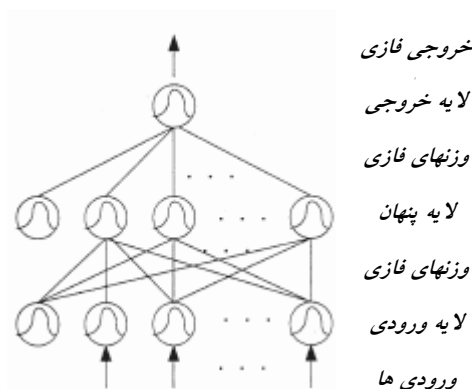
$$X_n = \frac{2(X - X_{min})}{X_{max} - X_{min}} - 1$$

انتخاب فاصله $[L, H]$ بسته نوع مسئله مورد نظر و تابع تبدیل انتخاب شده، متفاوت است. فاصله‌هایی که بیشتر از بقیه مورد استفاده قرار می‌گیرند، $[1 و 0]$ و $[1 و -1]$ هستند، که برای توابع تبدیل هیپربولیک و لجستیک بکار می‌روند [۱۴]. در این تحقیق داده‌ها در فاصله $[1 و -1]$ نرمال سازی شده‌اند.

۵-۳- طراحی مدل شبکه‌های عصبی فازی

ساختارهای مختلفی برای پیاده‌سازی یک سیستم فازی توسط شبکه‌های عصبی پیشنهاد شده‌اند که یکی از پر قدرت‌ترین این ساختارها، ساختار موسوم به شبکه عصبی انطباقی بر مبنای سیستم

استدلال فازی^۱ (ANFIS) است که توسط Jang ابداع گردیده است [۱۵]، [۱۶]. معماری سیستم استدلال عصبی فازی در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: معماری شبکه عصبی فازی

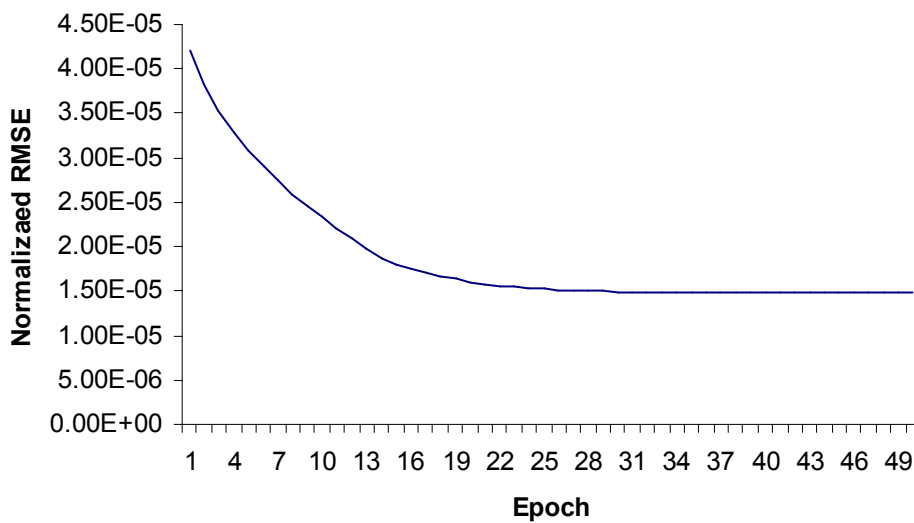
در طراحی مدل شبکه های عصبی فازی از شبکه عصبی چند لایه پیش خور (MFNN) با الگوریتم یادگیری پس انتشار خطا^۲ استفاده شده است. برای طراحی سیستم بهینه شبکه عصبی فازی، از طریق تغییر مداوم تعداد لایه ها و تعداد نرون های لایه های پنهان، توپولوژی مناسب شبکه عصبی مورد بررسی قرار گرفت و از طریق تغییر مداوم توابع عضویت مختلف و تعداد توابع عضویت، سیستم مناسب پایگاه استنتاج فازی طراحی شد. سیستم استنتاج فازی مورد استفاده در طراحی شبکه های عصبی فازی، سیستم استنتاج فازی سوگنو^۳ می باشد که از سه نوع تابع استفاده می کند. این توابع عبارتند از: تابع ورودی، تابع خروجی و تابع غیرفازی سازی. در این تحقیق، پس از مقایسه توابع مختلف، از تابع ورودی "تفاوت دو تابع سیگموئید" و تابع خروجی خطی استفاده شده و برای غیرفازی نمودن نیز از تابع میانگین متحرک استفاده گردید. این سیستم دارای ۸ تابع عضویت برای هر متغیر ورودی است و سایر پارامترهای آن عبارتند از: تعداد مراحل آموزش = ۳۰۰، تولرانس خطا = ۰.

^۱ - Adaptive-Network-based Fuzzy Inference Systems

^۲ - Backpropagation

^۳ - Sugeno

نرخ‌های یادگیری برای لایه اول و دوم = 0.05 و پارامترهای شبکه با استفاده از سعی و خطا تعیین شده است. در ضمن، ۶۰ درصد از داده‌ها به عنوان داده‌های آموزشی و ۴۰ درصد از داده‌ها به عنوان داده‌های آزمایشی و اعتبارسنجی انتخاب شده‌اند. شکل ۳ مقدار RMSE را در تکرارهای آموزش شبکه‌های عصبی با استفاده از داده‌های نرمالایز شده نشان می‌دهد.



شکل ۳: کاهش خطای پیش‌بینی در تکرارهای شبکه‌های عصبی فازی

۴-۵- ارزیابی عملکرد پیش‌بینی

برای نشان دادن چگونگی یادگیری ارتباط‌های داده‌ها، از برخی معیارهای عملکرد در شبکه‌های عصبی فازی استفاده می‌شود. برای مسائل پیش‌بینی، این معیارها عمدتاً مربوط به خطای بین خروجی‌های پیش‌بینی شده و خروجی مطلوب واقعی است. در این تحقیق از ۶ معیار ارزیابی عملکرد استفاده می‌شود که سه مورد اول از خانواده محاسبات میانگین خطای استاندارد هستند: مربع میانگین خطای استاندارد (MSE)، مربع مجذور میانگین خطا (RMSE)، و مربع میانگین خطای استاندارد نرمال شده (NMSE). مورد بعدی، R^2 (ضریب تعیین) است و در ارتباط با NMSE است و $NMSE = 1 - R^2$.

مقدار R^2 بین صفر تا یک است و مقدار یک نشان دهنده تطابق کامل داده هاست، دو معیار بعدی در مورد خطای مطلق هستند: میانگین قدر مطلق خطا (MAE) و میانگین قدر مطلق درصد خطا (MAPE). از آنجا که هر یک از معیارهای ارزیابی عملکرد، جنبه خاصی را مورد ارزیابی قرار می دهد، برای ارزیابی عملکرد روشهای شبکه های عصبی فازی از هر شش معیار فوق استفاده شده است. نتایج معیارهای ارزیابی عملکرد برای روش شبکه های عصبی فازی در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲: مقادیر معیارهای ارزیابی عملکرد برای روش شبکه های عصبی فازی

| R^2 | MAE | MAPE | NMSE | MSE | RMSE | روش پیش بینی |
|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------------------|
| ۰/۹۹۹۹ | ۱۶/۹۶۳۷ | ۰/۲۸۹۲ | ۰/۰۰۰۱۷ | ۲۶۶۸/۶ | ۵۱/۶۵۸۸ | شبکه های عصبی فازی |

خروجی داده های پیش بینی شبکه های عصبی فازی در جدول ۳ آورده شده است. همانطور که ملاحظه می شود، برخی از موارد نیاز به بازرسی نبوده است، ولی بازرسی انجام شده است. بنابراین با پیش بینی موارد مورد نیاز بازرسی می توان هزینه های بازرسی را بطور قابل توجهی کاهش داد. حدود مورد قبول ولتاژ که نیازی به بازرسی نمی باشد، $2140 < x < 2060$ است. بنابراین، در ۸ مورد از داده های آزمایشی (داده های ۴۹ تا ۸۰) نیاز به بازرسی نمی باشد و ۲۵ درصد در هزینه های بازرسی صرفه جویی می شود.

جدول ۳: خروجی داده های پیش بینی شبکه های عصبی فازی

| ردیف | ولتاژ | وضعیت | ردیف | ولتاژ | وضعیت | ردیف | ولتاژ | وضعیت | ردیف | ولتاژ | وضعیت |
|------|-------|------------|------|-------|------------|------|--------|------------|------|--------|------------|
| ۱ | ۲۰۴۰ | بازرسی | ۲۱ | ۲۱۰۰ | عدم بازرسی | ۴۱ | ۲۱۷۶/۸ | بازرسی | ۶۱ | ۲۱۲۴/۶ | عدم بازرسی |
| ۲ | ۲۰۶۰ | بازرسی | ۲۲ | ۲۱۰۰ | عدم بازرسی | ۴۲ | ۲۱۰۶/۶ | عدم بازرسی | ۶۲ | ۲۱۸۸/۵ | بازرسی |
| ۳ | ۲۰۶۰ | بازرسی | ۲۳ | ۲۱۰۰ | عدم بازرسی | ۴۳ | ۲۱۸۹/۶ | بازرسی | ۶۳ | ۲۱۹۰ | بازرسی |
| ۴ | ۲۰۲۰ | بازرسی | ۲۴ | ۲۱۵۰ | بازرسی | ۴۴ | ۲۱۲۳/۸ | عدم بازرسی | ۶۴ | ۲۱۹۰ | بازرسی |
| ۵ | ۲۱۰۰ | عدم بازرسی | ۲۵ | ۲۱۰۰ | عدم بازرسی | ۴۵ | ۲۰۹۵/۶ | عدم بازرسی | ۶۵ | ۲۱۹۰ | بازرسی |
| ۶ | ۱۹۸۰ | بازرسی | ۲۶ | ۲۱۰۰ | عدم بازرسی | ۴۶ | ۲۰۸۹/۲ | عدم بازرسی | ۶۶ | ۲۱۹۰ | بازرسی |
| ۷ | ۲۱۰۰ | عدم بازرسی | ۲۷ | ۲۰۱۰ | بازرسی | ۴۷ | ۲۱۲۶/۴ | عدم بازرسی | ۶۷ | ۲۱۹۰ | بازرسی |
| ۸ | ۲۱۰۰ | عدم بازرسی | ۲۸ | ۲۱۵۰ | بازرسی | ۴۸ | ۲۱۶۰ | بازرسی | ۶۸ | ۲۱۸۵/۲ | بازرسی |
| ۹ | ۲۱۰۰ | عدم بازرسی | ۲۹ | ۲۱۰۰ | عدم بازرسی | ۴۹ | ۲۱۶۹ | بازرسی | ۶۹ | ۲۱۹۰ | بازرسی |
| ۱۰ | ۲۱۰۰ | عدم بازرسی | ۳۰ | ۲۱۰۰ | عدم بازرسی | ۵۰ | ۲۱۴۳ | بازرسی | ۷۰ | ۲۱۹۰ | بازرسی |
| ۱۱ | ۲۰۵۰ | بازرسی | ۳۱ | ۲۱۰۰ | عدم بازرسی | ۵۱ | ۲۰۷۷/۸ | عدم بازرسی | ۷۱ | ۲۱۹۰ | بازرسی |
| ۱۲ | ۲۱۰۰ | عدم بازرسی | ۳۲ | ۲۱۰۰ | عدم بازرسی | ۵۲ | ۲۰۷۳/۱ | عدم بازرسی | ۷۲ | ۲۱۹۰ | بازرسی |
| ۱۳ | ۲۱۶۰ | بازرسی | ۳۳ | ۲۱۰۰ | عدم بازرسی | ۵۳ | ۲۱۵۷/۶ | بازرسی | ۷۳ | ۲۱۲۱/۵ | عدم بازرسی |
| ۱۴ | ۲۱۰۰ | عدم بازرسی | ۳۴ | ۲۰۵۰ | بازرسی | ۵۴ | ۲۱۶۳/۵ | بازرسی | ۷۴ | ۲۱۸۷/۲ | بازرسی |
| ۱۵ | ۲۱۸۰ | بازرسی | ۳۵ | ۲۱۸۰ | بازرسی | ۵۵ | ۲۰۶۰/۴ | بازرسی | ۷۵ | ۲۱۹۰ | بازرسی |
| ۱۶ | ۲۱۰۰ | عدم بازرسی | ۳۶ | ۲۱۰۰ | عدم بازرسی | ۵۶ | ۲۲۰۰/۲ | بازرسی | ۷۶ | ۲۱۹۰ | بازرسی |
| ۱۷ | ۲۱۰۰ | عدم بازرسی | ۳۷ | ۲۱۰۰ | عدم بازرسی | ۵۷ | ۲۱۹۰ | بازرسی | ۷۷ | ۲۱۹۰ | بازرسی |
| ۱۸ | ۲۱۰۰ | عدم بازرسی | ۳۸ | ۲۱۰۰ | عدم بازرسی | ۵۸ | ۲۱۰۰/۸ | عدم بازرسی | ۷۸ | ۲۱۹۰ | بازرسی |
| ۱۹ | ۲۰۰۰ | بازرسی | ۳۹ | ۲۱۰۰ | عدم بازرسی | ۵۹ | ۲۰۹۵/۹ | عدم بازرسی | ۷۹ | ۲۱۹۰ | بازرسی |
| ۲۰ | ۲۱۰۰ | عدم بازرسی | ۴۰ | ۲۱۰۰ | عدم بازرسی | ۶۰ | ۲۱۹۸/۱ | عدم بازرسی | ۸۰ | ۲۱۹۰ | بازرسی |

۶- نتیجه گیری

در این تحقیق، یک مدل ترکیبی تحلیل مؤلفه های اصلی (PCA) و شبکه های عصبی فازی جهت کنترل و پیش بینی زمانهای خرابی طراحی شد. بدین منظور، ابتدا ۶ عامل مؤثر بر خرابی لوله های گاز بررسی شده و سپس با استفاده از تحلیل مؤلفه های اصلی، حجم داده ها از ۶ سری زمانی به ۳ سری زمانی کاهش داده شد و سری های زمانی خروجی تحلیل مؤلفه های اصلی به عنوان متغیرهای

مستقل ورودی شبکه های عصبی فازی در نظر گرفته شد. پس از محاسبه زمانهای از کار افتادگی با استفاده از شبکه های عصبی، نتایج با حالت بررسی لوله ها بر اساس زمانهای ثابت ۱۵ روزه مقایسه شد و نتایج تحقیق بیانگر آن است که مدل پیش بینی شبکه های عصبی فازی، میزان هزینه های بازرسی را ۲۵ درصد نسبت به حالت بازرسی زمان ثابت کاهش داده است. بنابراین با استفاده از این مدل می توان ضمن جلوگیری از بروز عیب های متوالی که علاوه بر اینکه ارائه خدمات شرکت متوقف می شود، احتمال خطرات جانی و بروز انفجار نیز وجود دارد، هزینه های بازرسی را به میزان قابل توجهی کاهش داده داد.

منابع

- [1] Javadpour R. Knapp GM, (2003) A fuzzy neural network approach to machine condition monitoring. J Computers and industrial engineering; 323-330.
- [۲] دیویس، روی (مؤلف) عرب شمالی احمد (ترجمه) (۱۳۸۰) بهبود بهره وری از طریق نگهداری بهره ور جامع. تهران منشور بهره وری، صفحات ۲۱ تا ۲۹.
- [۳] داوری، دردانه (مؤلف) (۱۳۷۸) نت خود کنترلی. تهران نشر کیوان وانجمن مدیریت کیفیت ایران، صفحات ۳۳ تا ۳۸.
- [۴] حاج شیر محمدی، علی (ترجمه) (۱۳۷۹) نگهداری و تعمیرات بهره ور. تهران سازمان مدیریت صنعتی، صفحات ۷ تا ۷۶.
- [5] Swanson I, (2001) Linking maintenance strategies to performance. J Production economic; 237-244.
- [6] Mitra S. Pal S K, (1995) Fuzzy multi-layer perceptron, inferencing and rule generation. IEEE Transactions on Neural Networks; 51-63.
- [7] He Z. Wu M. Gong B, (1992) Neural network and its application on machinery fault diagnostics. IEEE International Conference on Systems Engineering; 576-579.
- [8] Knapp GM. Wang HP, (1992) Machine fault classification: A neural network approach. J Production Research; 811-823.
- [9] Becraft WR. Lee P L, (1993) An integrated neural network/expert system approach for fault diagnosis. J Computers and Chemical Engineering; 1001-1014.
- [10] Knapp G M. Javadpour R. Wang HP, (2000) An ARTMAP neural network-based machine condition monitoring system. J Quality in Maintenance Engineering; 86-105.

- [11] Bansal D. Evansb DJ. Jones B,(2005) Application of a real-time predictive maintenance system to a production machine system . J Machine tools and manufacture; 1210-1221 .
- [12] Wittkemper H.Steiner M,(1996)Using neural networks to forecast the systematic risk of stocks. J European Journal of Operational research; 577-588.
- [13] Kim Yong Seog,(2004) An intelligent system for customer targeting: a data mining approach .J Decision Support Systems; 215– 228 .
- [14] Wilson ID. Paris SD. Ware JA. Jenkins DH, (2002)Residential property price time series forecasting with neural networks, Knowledge-based systems; 335-341.
- [15] Jang JS R, (1991) Fuzzy Modeling Using Generalized Neural Networks and Kalman Filter Algorithm, Proc. of the Ninth National Conf. on Artificial Intelligence (AAAI-91); 762-767.
- [16] Jang JSR, (1993) ANFIS: Adaptive-Network-based Fuzzy Inference Systems . IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics; 665-685.