مقاله

نگه‌داری و تعمیرات خودرو به‌کمک شبکهٔ عصبی

مصطفی زمانی محی‌آبادی *
عضو هیئت علمی گروه پژوهشی پیل سوختی حرارت‌بالا
دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان
m.zamani@vru.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۲/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۴/۱۴

چکیده

استفاده از فناوری و رایانه برای کمک به تصمیم‌گیری در زمینه‌های تخصصی از جمله مقوله‌هایی است که امروزه در تصمیم‌گیری‌های مهندسان نگه‌داری و تعمیرات بسیار مورد توجه قرار گرفته است. چون در بحث نگه‌داری و تعمیرات اعمال و تصمیمات انسانی نقش بسزایی دارد و در این میان شرایط محیطی و روحی می‌تواند بر این تصمیمات تأثیرگذار باشد، افزایش خطا و در نتیجهٔ آن افزایش هزینه‌های ناشی از تعمیرات، تعویض قطعات و نگه‌داری امری اجتناب‌ناپذیر است. لذا استفاده از روش‌هایی که بتواند این خطاها را کاهش داده یا از بین ببرد ضروری می‌نماید. در این مقاله سعی شده است سیستم خبره‌ای جهت تشخیص خودکار خرابی‌ها و عیوب خودرو به‌عنوان ابزاری در نگه‌داری و تعمیرات، بررسی، طراحی و پیاده‌سازی شود. از دانش خبرگان، کاتالوگ‌های مربوطه و کتاب‌های موجود در زمینهٔ نگه‌داری و تعمیرات جهت ایجاد پایگاه دانش و از شبکهٔ عصبی مصنوعی (شبکهٔ عصبی پرسپترون چندلایه) به‌عنوان موتور استنتاجی سیستم خبره استفاده شده است. در مقایسهٔ نتایج حاصل از سیستم خبره و خبرگان مشاهده می‌شود که پاسخ‌های سیستم صد درصد با واقعیت خرابی‌ها، آنچه که در عمل اتفاق افتاده است، تطابق دارد؛ در حالی‌که پاسخ افراد خبره ۸۴/۹۹ درصد با واقعیت خرابی‌ها تطابق دارد.

واژگان کلیدی: نگه‌داری و تعمیرات، شبکهٔ عصبی، پرسپترون چندلایه، الگوریتم پس انتشار خطا

۱. مقدمه

با توجه به اهمیت و نقش فرایندهای نت در قابلیت اطمینان سیستم‌ها و تداوم در ارائهٔ خدمات، لزوم به‌کارگیری روش‌های نوین به‌منظور دستیابی به اهداف تعیین‌شدهٔ نگه‌داری و تعمیرات بهره‌ور جامع[1] بیش از پیش ضروری می‌نماید. خرابی ماشین زمانی رخ می‌دهد که یک جزء، ساختار یا سیستم نتواند هدف برنامه‌ریزی شده را برآورد. نت شامل فعالیت‌های برنامه‌ریزی شده و نشده‌ای است که سبب می‌شوند سیستم در حالت قابل قبول قرار بگیرد [۱]. دوره‌های قبل از ۱۹۵۰ م را می‌توان دوره‌های تعمیرات بدون پیشگیری نامید. نت پیشگیرانه در دههٔ ۱۹۵۰ م و نت

بهره‌ور در دهۀ ۱۹۶۰ رواج یافت. تا سال ۱۹۷۰ م، امور نت پیشگیرانه اغلب شامل پیشگیری متکی بر زمان و براساس سرویس‌ها و تعمیرات اساسی دوره ای بود [۲]. در دهۀ ۱۹۸۰، نت پیشگویانه یا نت متکی بر شرایط وضعیت تجهیزات، جایگزین نت پیشگیرانه گردید. نت پیشگویانه به این دلیل که با استفاده از شیوه‌های جدید بررسی شرایط فنی تجهیزات، وضعیت آنها را در زمانی‌که در حال بهره‌برداری هستند با تشخیص علائم استهلاک و یا امکان خرابی‌های قریب‌الوقوع، مشخص می‌سازد نقش مهمی در نگه‌داری و تعمیرات بهره‌ور جامع ایفا می‌کند [۳].

در سال‌های اخیر، شبکه‌های عصبی مصنوعی به‌طور موفق در کارهای تشخیص الگو و حل مسائل تشخیص خرابی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از جمله مزایای اصلی استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، توان تشخیص الگوهایی است که چندان دقیق[۲] نیستند [۴]. برخی از محققان، کاربرد شبکه‌های عصبی در مسائل تشخیص خرابی را مورد بررسی قرار داده‌اند. هی[۳] و همکاران (۱۹۹۲) کاربرد یک شبکۀ چندلایه پیشخور[۴] برمبنای روش تشخیص وضعیت ماشین را مطالعه کرده، روابط فازی مشخصی بین نشانه‌های شکست و دلائل آنها با روابط غیرخطی زیاد بین ورودی‌ها و خروجی‌های شبکه ارائه داده‌اند [۵]. ناپ[۵] و وانگ[۶] (۱۹۹۲) نیز کاربرد شبکۀ عصبی پس انتشار خطا[۷] را در تشخیص خرابی ماشین سی. ان. سی.[۸] با استفاده از داده‌های نوسانی بررسی کرده‌اند [۶]. بکرافت و لی (۱۹۹۳) توسعۀ یک سیستم هوشمند مصنوعی را به‌عنوان ابزاری برای تشخیص خرابی در کارخانه‌های فرایند شیمی با ابعاد بزرگ مطالعه کرده‌اند [۷]. ناپ و همکاران (۲۰۰۰) یک شبکۀ عصبی بی‌درنگ، برمبنای سیستم کنترل وضعیت برای گردش تجهیزات مکانیکی ارائه داده‌اند [۸]. جوادپور و ناپ (۲۰۰۳) به رویکرد شبکه‌های عصبی فازی جهت نظارت بر وضعیت ماشین‌آلات پرداخته‌اند و برای رده‌بندی ورودی‌ها از ویژگی‌های مجموعه‌های فازی و مقادیر عضویت، که بین صفر و یک است، استفاده کرده‌اند [۱].

علاوه بر آن، بانسال و همکاران (۲۰۰۵) تحقیقی در مورد کاربرد سیستم نگهداری و تعمیرات پیشگویانه زمان واقعی برای ماشین‌آلات تولیدی مبتنی بر رویکرد شبکۀ عصبی انجام داده‌اند. در این تحقیق از ویژگی یادگیری شبکۀ عصبی جهت نگاشت‌های غیرخطی برای شناخت پارامترهای ماشین برای اجازۀ حرکت استفاده و با این کار از هزینه‌های گزاف اندازه‌گیری پارامترها جلوگیری می‌شود [۹]. مولینا و همکاران (۲۰۰۰) نیز شبکه‌های عصبی را با سیستم‌های خبره جهت تعمیرات پیشگیرانه ترکیب کردند [۱۰].

۲. انواع تعمیرات و روش‌های مواجه با آن

الف: تعمیرات اضطراری: نوعی از تعمیرات که پس از بروز مشکل یا توقف ماشین صورت می‌پذیرد.

ب: تعمیرات پیشگیرانه: تعمیری است که قبل از توقف ماشین و براساس تجزیه و تحلیل مسائل گذشته صورت می‌پذیرد و به‌منظور جلوگیری از توقف ناگهانی و ناخواسته براساس برنامه‌ریزی قبلی انجام می‌شود.

ج: کنترل و بازدید: نوعی از تعمیرات است که در آن براساس برنامۀ زمان‌بندی مشخص، کنترل‌ها و بازیدهایی از نقاط مختلف ماشین صورت پذیرفته، تعمیرات سطحی انجام و اطلاعات جمع‌آوری‌شده جهت تصمیم‌گیری در مورد تعمیرات پیشگیرانه ثبت می‌شود.

د: تعمیرات اساسی: نوعی از تعمیرات است که اگر انجام تعمیرات پیشگیرانه با زمان‌بندی کم ناممکن و قسمت‌های زیادی از ماشین دچار مشکل باشد، با برنامه‌ریزی قبلی و معمولاً در ایام تعطیلی انجام می‌شود [۱۱].

۳. معرفی شبکه‌های عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی الهام‌گرفته از عملکرد و نحوۀ کار شبکه‌های عصبی بیولوژیکی می‌باشند و در واقع مدل‌هایی ریاضی برای پردازش سریع و دقیق اطلاعات‌اند. امروزه شبکه‌های عصبی چه در بعد تحلیل و توسعۀ

ساختاری و چه در بعد پیاده‌سازی سخت‌افزاری از نظر کمی و کیفی در حال رشد و پیشرفت می‌باشند [۱۲-۱۳]. از جمله موارد کاربرد شبکه‌های عصبی عبارت است از:

۱. سیستم تحلیل ریسک
۲. ردیابی انحراف هواپیما
۳. سیستم راهنمایی خودکار خودرو
۴. سیستم‌های بازرسی کیفیت
۵. تحلیل طراحی محصول شیمیایی
۶. مدیریت و برنامه‌ریزی
۷. اکتشاف روغن و گاز
۸. کنترل مسیر در دستگاه‌های خودکار و ربات
۹. سیستم‌های بصری
۱۰. اختصار سخن
۱۱. کلاسه‌بندی صوتی
۱۲. سیستم‌های مشاوره‌ای محاسبهٔ هزینه موجودی
۱۳. خدمات اطلاعاتی خودکار
۱۴. کلاسه‌بندی انواع سلول‌ها، میکروب‌ها و نمونه‌ها
۱۵. پیش‌بینی وضعیت بازار

۴. معرفی شبکه‌های عصبی پرسپترون چندلایه

شبکه‌های عصبی از لایه‌هایی شامل اجزای ساده پردازشگر بنام نرون تشکیل شده‌اند که به‌صورت موازی با هم عمل می‌کنند. هر لایهٔ ورودی به یک یا تعداد بیشتری لایهٔ میانی[9] مرتبط می‌باشد، لایه‌های میانی نیز به لایه‌های خروجی مرتبط می‌شوند. جواب شبکه نیز نقش خروجی را برای سیستم ایفا می‌کند. هر لایه می‌تواند از تعدادی نرون با توابع تبدیل متفاوت برخوردار باشد؛ یعنی مدل‌های نرون‌ها در لایه‌ها می‌توانند متفاوت در نظر گرفته شوند. مشخصه‌های قابل توجه شبکه‌های عصبی قابلیت یادگیری آنهاست، به‌طوری‌که قادرند هر بار وزن‌هایشان را با نمونهٔ ورودی اصلاح کنند. در یک جمله، شبکه‌های عصبی همچون موجودات زنده قابلیت یادگیری دارند. این آموزش استنتاجی ممکن است در تشخیص صدا، شبیه‌سازی مسیر و یا عیوب خودرو باشد.

از جمله شبکه‌های عصبی، شبکهٔ پرسپترون است که به‌صورت پرسپترون تک‌لایه و چندلایه موجود هستند. شبکه‌های عصبی پرسپترون جزء شبکه‌های عصبی پیش‌خور طبقه‌بندی می‌شوند. پرسپترون تک‌لایه می‌تواند مسائل مجزای خطی را دسته‌بندی کند و برای مسائل پیچیده‌تر لازم است از تعداد بیشتری لایه استفاده کنیم. شبکه‌های پیش‌خور چندلایه از تعداد لایه‌های میانی بیشتری تشکیل شده‌اند [۱۲-۱۳].

۴-۱. الگوریتم پس انتشار خطا

این الگوریتم از نوع یادگیری با ناظر است. در یادگیری با ناظر وقتی ورودی به شبکه اعمال می‌شود، شبکه با جواب هدفی که برای آن تعیین کرده‌ایم مقایسه می‌شود و سپس خطای یادگیری محاسبه می‌شود، به‌گونه‌ای که اگر دفعهٔ بعد به شبکه همان ورودی اعمال شود، خروجی شبکه به جواب هدف نزدیک‌تر می‌گردد.

الگوریتم BP[10] یک قانون یادگیری برای پرسپترون‌های چندلایه است. این الگوریتم برپایهٔ قانون دلتا و با استفاده از مجموع اندازهٔ مجذور خطا برای نرون‌های خارجی طراحی گردیده است [۱۲-۱۳].

۵. مواد و روش‌ها

۵-۱. خرابی‌های موتور و علائم مربوط به آن (ایجاد پایگاه دانش)

برای تشخیص خرابی‌های به‌وجود آمده در قسمت موتور نیاز به مجموعه‌ای از اطلاعات اولیه یا علائمی است که با ملاحظه این علائم بتوان وقوع عیب یا خرابی را تشخیص داد. این علائم باید به‌صورتی باشد که کاربر خودرو به‌راحتی و با دانستن اطلاعات کمی از موتور بتواند آنها را تشخیص دهد. در این راستا پرسشنامه‌هایی جهت بررسی علائم خرابی و عیوب مرتبط با این علائم تهیه و توسط خبرگان و

کاربران تکمیل شد. همچنین خرابی‌های موتور و علائم آنها، در چند تعمیرگاه خودرو از نزدیک مورد تحقیق و بررسی قرار گرفت. با بررسی منابع فنی و مشاوره با کارشناسان فنی و تعمیرکاران خبره و کاربران خودرو مجموعه علائم خرابی یا عیوبی که با استفاده از پرسشنامه‌ها جمع‌آوری گردید و عموماً در حین استفاده از خودرو ممکن است کاربر با آنها رو برو شود، شناسایی شد. در مدلسازی شبکهٔ عصبی این ۵۸ علامت در واقع ورودی‌های شبکه را تشکیل می‌دهند. در بعضی مواقع یک نشانه هم برای تشخیص خرابی کافی است اما گاهی اوقات برای تشخیص خرابی وجود چند علامت با هم لازم است. به هرحال نیاز است رابطهٔ بین این علائم و وجود عیب به‌صورت جدول دسته‌بندی شود. در جدول ۱ ارتباط بین علائم و خرابی‌های موجود مشاهده می‌شود.

مجموعه علائم شناسایی‌شده (که بعضی از آنها در خودروهای دیزلی و بنزینی مشترک می‌باشند) در زیر آورده شده است [۱۴]:

۱. روشن‌نشدن ماشین
۲. نبودن برق پشت آمپر
۳. روشن‌نشدن چراغ‌ها
۴. کارنکردن برف‌پاک‌کن
۵. استارت‌نخوردن خودرو
۶. نیامدن برق به دلکو
۷. نیامدن بنزین به کاربراتور و یا گازوئیل به پمپ انژکتور
۸. نداشتن مکش پمپ بنزین و یا پمپ سه‌گوش دیزلی
۹. بالابودن مصرف سوخت
۱۰. ریپ‌زدن خودرو
۱۱. کشش‌نداشتن خودرو
۱۲. کم‌شدن آب رادیاتور
۱۳. ریزش آب از زیر پمپ آب
۱۴. ریزش آب از زیر رادیاتور
۱۵. سخت جارفتن دنده‌ها
۱۶. خودرو دود آبی می‌کند
۱۷. کم‌کردن روغن موتور
۱۸. دیده‌شدن روغن در سطح آب رادیاتور
۱۹. خودرو دود سیاه می‌کند
۲۰. کمپرس‌داشتن موتور
۲۱. آغشته به روغن بودن زیر گیربکس
۲۲. آغشته به روغن بودن درب کارتل
۲۳. کاهش سطح روغن ترمز
۲۴. چرخ‌ها روغن زده است
۲۵. جوش‌آوردن موتور
۲۶. کاهش سطح آب رادیاتور
۲۷. زوزه‌کشیدن خودرو در سرعت بالا
۲۸. ترمزنگرفتن خودرو
۲۹. شنیدن صدای سوت هنگام ترمزگیری
۳۰. عمل‌نکردن ترمز
۳۱. شنیدن صدا از جلوی خودرو هنگام ترمز ناگهانی
۳۲. له‌شدن پشت صفحات مشبک رادیاتور
۳۳. فرمان‌زدن در سرعت‌های بالای ۶۰ کیلومتر
۳۴. ساییده‌بودن لاستیک‌ها
۳۵. ساییده‌بودن چرخ‌های عقب
۳۶. شنیدن صدای ضربه هنگام تغییر جهت خودرو
۳۷. خودرو روشن است اما حرکت نمی‌کند
۳۸. خودرو روشن است اما بسیار آهسته حرکت می‌کند
۳۹. سالم‌بودن پلوس
۴۰. بازبودن کلید برق
۴۱. هنگام استارت‌زدن آمپرمتر بین ۰ و ۳ آمپر به‌طرف دشارژ نوسان می‌نماید
۴۲. هنگام استارت‌زدن آمپرمتر ۳ آمپر دشارژ نشان می‌دهد، اما نوسان نمی‌کند
۴۳. هنگام استارت‌زدن آمپرمتر ۲۵ الی ۳۰ آمپر دشارژ نشان می‌دهد
۴۴. هنگام استارت‌زدن آمپرمتر از روی صفر حرکت نمی‌کند
۴۵. بد کارکردن موتور

۴۶. گرم‌شدن موتور
۴۷. کاهش قدرت موتور
۴۸. شنیده‌شدن صدا از موتور
۴۹. ریختن بنزین از زیر پمپ بنزین
۵۰. خاموش‌شدن موتور
۵۱. ورود روغن کارتر از کنار پیستون پس از رسیدن بنزین به محفظهٔ انفجار
۵۲. ریختن بنزین از سوراخ تهویهٔ پمپ
۵۳. بالارفتن سطح سوخت از حد معمول در کاربراتور
۵۴. سوختن پلاتین‌های دلکو
۵۵. روشن‌نشدن چراغ دینام
۵۶. –خوب شارژ نشدن باتری
۵۷. شنیدن صدا از خودرو در دست‌اندازها
۵۸. شنیدن صدا از فرمان هنگام تغییر جهت

جدول ۱. ارتباط علائم و خرابی‌ها

انواع خرابی	ورودی‌ها جهت تشخیص خرابی
خالی‌شدن باتری	۱–۲–۳–۴
سوختن فیوز دلکو	۱–۲–۶
خرابی مغزی سوئیچ	۱–۵
گیرکردن آشغال در صفحات فیلتر پمپ بنزین	۱–۷
خرابی پمپ بنزین	۱–۷–۸
گیرکردن سوزن کاربراتور	۱
عدم تنظیم کاربراتور با دلکو	۹–۱۰
عدم عملکرد درست شمع‌ها	۹–۱۱
کثیف‌بودن فیلتر هوا	۹
خرابی واتر پمپ	۱۲–۱۳
سوراخ‌بودن رادیاتور	۱۲–۱۴
ترک‌داشتن سرسیلندر	۱۲
تمام‌شدن دیسک و صفحه‌کلاچ	۱۱–۱۵
خراب‌شدن چرخ‌دنده‌های گیربکس	۱۵
آب و روغن مخلوط‌کردن موتور	۱۶–۱۷–۱۸
خرابی رینگ‌های داخل موتور	۱۷–۱۹–۲۰
خرابی واشر گیربکس	۱۷–۲۱
خرابی لوازم ترمز چرخ	۲۳–۲۴
خرابی لوازم پمپ ترمز	۲۳

جدول ۱. ارتباط علائم و خرابی‌ها (ادامه)

انواع خرابی	ورودی‌ها جهت تشخیص خرابی
سوختن واشر سرسیلندر	۲۶-۲۵
خرابی لوازم داخل دیفرانسیل	۲۷
تمام‌شدن لنت ترمز	۲۹-۲۸
خالی‌بودن جعبهٔ روغن‌ترمز	۳۰
خراب‌بودن دسته موتور	۳۲-۳۱
خراب‌بودن جلوبندی ماشین	۳۴-۳۱
بالانس‌نبودن چرخ‌های جلو	۳۳
خراب‌بودن فنرهای اصلی	۳۵
خراب‌بودن بلبرینگ چرخ جلو	۳۶
خرابی پلوس	۳۷
پاره‌شدن لاستیک درب کاربراتور	۳۸
خرابی میل‌گاردن	۳۹-۳۷
خراب‌بودن مدار ثانویه برق	۴۱-۴۰-۱
خراب‌بودن مدار اولیهٔ دستگاه برق	۴۲-۴۰-۱
اتصالی سیم واقع بین کلید برق و کوئل	۴۳-۴۰-۱
قطع‌شدن مدار اولیه در یک نقطه	۴۴-۴۰-۱
خرابی آمپرمتر	۴۴-۴۰
آوانس‌بودن بیش از حد موتور	۴۷-۴۶-۴۵
ریتارد زیاد	۴۸-۴۷-۴۶
خرابی واشر پمپ بنزین	۵۲-۴۹
خرابی شناور داخل پیالهٔ کاربراتور	۵۳-۵۱-۵۰
خرابی فیوز دلکو	۵۴-۱
خرابی آفتامات دینام	۵۶-۵۵
خرابی کمک‌فنرها	۵۷
خرابی جعبه‌فرمان	۵۸
پاره‌شدن تسمهٔ رادیاتور	۲۵

هدف ما از این مدلسازی طراحی سیستمی است که به‌کمک شبکه‌های عصبی قادر به شناسایی خرابی‌ها و گزارش آن به‌صورت خودکار باشد. وقتی این سیستم طراحی شد می‌توان از آن مدل سخت‌افزاری تهیه و داخل سیستم اصلی خودرو نصب کرد.

۶. نتایج مدلسازی

۶-۱. شبکهٔ پس انتشار خطا[11]

همان‌گونه که در جدول ۱ مشاهده شد، با ۵۸ نمونهٔ ورودی می‌توان ۴۵ مورد خرابی را حدث زد. برای دادن اطلاعات به‌دلیل وسعت آنها از برنامهٔ اکسل[12] استفاده و وجود یا عدم وجود عاملی را با ۱ یا ۰ نشان می‌دهیم. سپس توسط قابلیت excel link ماتریس مورد نظر را در نرم‌افزار متلب[13] فراخوانی می‌کنیم. در این بخش شبکه‌هایی با تعداد لایه‌ها، تعداد نرون‌ها و توابع تحریک مختلف مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۲ آمده است. در این آزمایشات از تابع آموزش Traingdm به‌دلیل سرعت آن نسبت به توابع دیگر استفاده شده است. در ضمن، برای تعیین تابع محرک و تعداد نرون‌ها به روش سعی و خطا عمل می‌کنیم.

جدول ۲. نتایج شبیه‌سازی

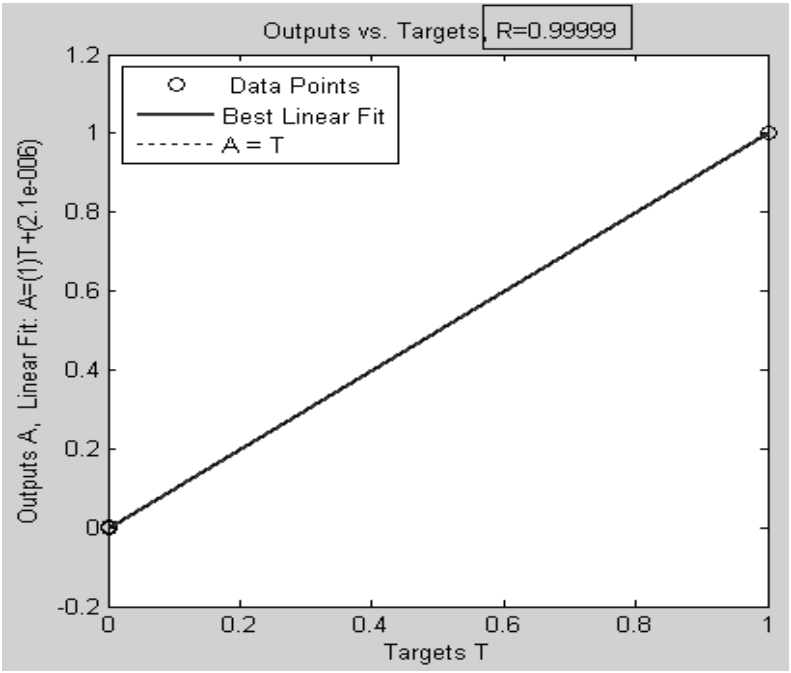
ANN Topology	Neurons in layer	lr	Error (MSE)	pe	R	performance	remarks
Purelin- Purelin	[150,45]	0.05000	0.00050	0.04000	0.99990	good	select
Purelin- Purelin	[150,45]	0.01000	0.00148	0.06100	0.93800	Ngood[15]	Nselect[14]
Purelin- Purelin	[120,45]	0.05000	0.00051	0.10400	0.99960	Ngood	Nselect
Purelin- Purelin	[120,45]	0.01000	0.00142	0.06100	0.98800	Ngood	Nselect
Purelin- Purelin	[100,45]	0.05000	0.00057	0.11000	0.99700	Ngood	Nselect
Purelin- Purelin	[100,45]	0.01000	0.00130	0.57200	0.99860	Ngood	Nselect
Purelin- Purelin	[58,45]	0.05000	0.00160	0.18500	0.97500	Ngood	Nselect
Purelin- Purelin	[58,45]	0.01000	0.00390	20.77000	0.93700	Ngood	Nselect
Logsig- Purelin	[58,45]	0.05000	0.01300	56.00000	0.79600	Ngood	Nselect
logsig- Purelin	[58,45]	0.01000	0.03000	69.50000	0.60000	Ngood	Nselect
Logsig- Logsig- Logsig	[58,40,45]	0.01000	0.04300	0.33600	0.03100	Ngood	Nselect
Satlin- satlin- satlin	[58,40,45]	0.01000	0.01300	61.77000	0.91700	Ngood	Nselect
Purelin- Purelin	[10,45]	0.05000	0.01700	64.12000	0.51000	Ngood	Nselect

توسط تابع postreg نمودار رگرسیون جواب واقعی و هدف رسم می‌شود (شکل۱). در این مثال با توجه به خطای ناچیز که شبکه دارد، شبکه به هر ۴۵ تشخیص پاسخ مناسب داده است و درصد خطا صفر می‌باشد که این نشانگر آموزش کاملاً صحیح شبکه است.

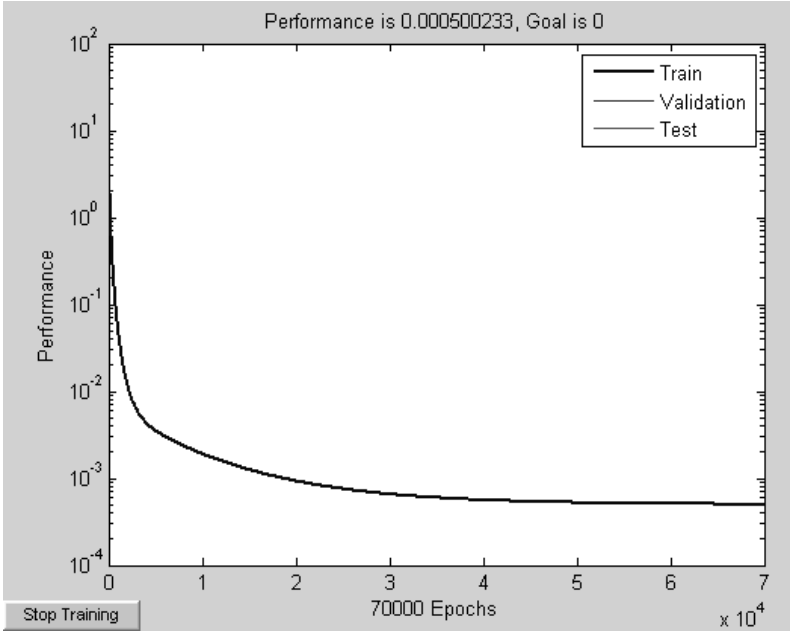
۷. آزمایش

جهت آزمایش سیستم، پرسشنامه‌ای با پانزده سئوال که دربرگیرندهٔ علائم خرابی بود، به چهار فرد خبره ارائه و جواب‌های هر یک بررسی شد. همین سئوالات (علائم خرابی) نیز در صفحهٔ محاوره‌ای سیستم خبره‌شده، وارد شد و جواب‌های نرم‌افزار خبره (تشخیص عیوب در ازای دادن

علامت خرابی) نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از نرم‌افزار خبره، تشخیص عیوب در ازای دادن ورودی (علائم خرابی)، در مقایسه با خبرگان (تعمیرکاران) که در مقابل ۱۵ سئوال مرتبط (۱۵ علامت خرابی) پاسخ‌های تخصصی خود را بیان کرده بودند، با آنچه در واقعیت اتفاق می‌افتد در جدول ۳ مشاهده می‌شود.



شکل ۱. ارتباط بین مقادیر واقعی با مقادیر برآوردشده توسط شبکهٔ عصبی



شکل ۲. نمودار همگرایی شبکهٔ عصبی

جدول ۳. آزمایش سیستم

شمارهٔ سئوال	خبرهٔ ۱	خبرهٔ ۲	خبرهٔ ۳	خبرهٔ ۴	سیستم خبره
۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲	۱	۱	۱	۱	۱
۳	۱	۰	۰	۱	۱
۴	۱	۱	۱	۰	۱
۵	۰	۱	۱	۱	۱
۶	۱	۱	۱	۱	۱
۷	۱	۱	۱	۱	۱
۸	۱	۱	۱	۱	۱
۹	۰	۱	۱	۱	۱
۱۰	۱	۱	۱	۰	۱
۱۱	۱	۱	۰	۱	۱
۱۲	۱	۱	۰	۱	۱
۱۳	۱	۱	۱	۱	۱
۱۴	۱	۱	۱	۰	۱
۱۵	۱	۱	۱	۱	۱

جدول ٤. مقایسهٔ پاسخ‌های نرم‌افزار خبره با خبرگان و درصد احتمال پاسخگویی صحیح

	تعداد پاسخ صحیح	تعداد پاسخ غلط	درصد احتمال پاسخگویی صحیح
نرم‌افزار خبره	۱۵	۰	۱۰۰
خبرهٔ ۱	۱۳	۲	۸۶/۶
خبرهٔ ۲	۱۴	۱	۹۳/۳
خبرهٔ ۳	۱۲	۳	۸۰
خبرهٔ ۴	۱۲	۳	۸۰
متوسط درصد احتمال پاسخگویی صحیح خبرگان			۸۴/۹۹

همان‌طور که در این جدول مشاهده می شود، پاسخ‌های صحیح با عدد ۱ و پاسخ‌های غلط با عدد صفر مشخص شده است (واقعیت بر این اساس است که تمامی جواب‌ها باید ۱ باشد). در مقایسهٔ نتایج حاصل از سیستم خبره (شبکهٔ عصبی) و خبرگان مشاهده می‌شود که پاسخ‌های سیستم ۱۰۰ درصد با واقعیت خرابی‌ها، آنچه که در عمل اتفاق افتاده است، تطابق دارد، در حالی‌که پاسخ افراد خبره ۸۴/۹۹ درصد با واقعیت خرابی‌ها تطابق دارد (جدول۴). حال با توجه به جدول ۴ که به بررسی درصد احتمال پاسخگویی صحیح نرم‌افزار و خبرگان در تشخیص صحیح

عیوب موتورخودرو می‌پردازد، می‌توان به ارزیابی سیستم طراحی‌شده پرداخت. با توجه به نتایج حاصل پاسخ‌های نرم‌افزار خبره در مقایسه با افراد خبره، تطابق بیشتری با واقعیت خرابی‌ها دارد و با اطمینان بیشتری عیوب و خرابی‌ها را مشخص می‌کند. بدین ترتیب با توجه به عملکرد مناسب سیستم خبرهٔ ایجادشده در عیب‌یابی خودرو می‌توان بدون اینکه نیازی به روش‌های مشکل عیب‌یابی مانند بازکردن قطعات موتور و جز این‌ها باشد، به عیب مورد نظر پی‌برد.

۷. نتیجه‌گیری

به‌کارگیری سیستم خبره (سیستمی بر پایهٔ دانش)، جهت تشخیص عیوب خودرو سبب افزایش دقت در تشخیص خرابی‌ها و در نتیجهٔ آن کاهش زمان تعمیرات و همچنین کاهش هزینه‌های تعمیرات و نگه‌داری خواهد شد. کاهش زمان خرابی و کاهش هزینه‌های تعمیراتی ناشی از خطاهای انسانی می‌تواند بهره‌وری و سود بیشتری را در سیستم در برداشته باشد. نتایج ارزیابی و مقایسهٔ پاسخ‌های نرم‌افزار خبره با پاسخ‌های خبرگان و متخصصان، مبین این حقیقت است که نرم‌افزار پاسخ‌هایی با درصد اطمینان بالاتری (واقعیت) را در تشخیص عیوب خودرو به‌وجود می‌آورد. در این تحقیق خرابی‌های خودرو به‌عنوان نمونه مطرح شده است، روشی که در این تحقیق ارائه شد را می‌توان بسط داد و خرابی دستگاه‌های پیچیده را مدلسازی کرد، در نتیجه شناسایی عیوب و خرابی تجهیزات بدون حضور متخصص امکان‌پذیر خواهد شد.

۸. مآخذ

[1] Javadpour, R, G.M. Knapp. "A fuzzy neural network approach to machine condition monitoring." *Computers and industrial engineering*, 2003: 323-330.

[۲] روی، دیویس. *بهبود بهره‌وری از طریق نگهداری بهره‌ور جامع*، تهران: منشور بهره‌وری، ۱۳۸۰.

[۳] حاج شیرمحمدی، علی. نگهداری و تعمیرات بهره‌ور. تهران: سازمان مدیریت صنعتی، ۱۳۷۹.

[4] Mitra, S, S.K. Pal. "Fuzzy multi-layer perceptron, inferencing and rule generation." I*EEE Trans Neural Netw*, 1995: 6(1):51-63.

[5] He, Z., M. Wu, B. Gong. "Neural network and its application on machinery fault diagnostics." *IEEE International Conference on Systems Engineering*, IEEE, 1992: 576-579.

[6] Knapp, G.M., H.P. Wang. "Machine fault classification: A neural network approach." *Production Research*, 1992: 811-823.

[7] Becraft, W.R., P.L. Lee. "An integrated neural network/expert system approach for fault diagnosis." *Computers and Chemical Engineering*, 1993: 1001-1014.

[8] Knapp, G.M., R. Javadpour, H.P. Wang. "An ARTMAP neural network-based machine condition monitoring system." *Quality in Maintenance Engineering*, 2000: 86-105.

[9] Bansal, D., D.J. Evansb, B. Jones. "Application of a real-time predictive maintenance system to a production machine system." *Machine tools and manufacture*, 2005: 1210-1221.

[10] Molina, J.M., P. Isasi, A. Berlanga, A. Sanchis. "Hydroelectric power plant management relying on neural networks and expert system integration." *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2000: 357-369.

[۱۱] ریاحی، م. طراحی، "تجزیه و تحلیل سیستم مکانیزه مهندسی نگاهداشت پیشگیرانه"، سایت انجمن مهندسی تعمیرات و نگهداری ایران.

[۱۲] البرزی، م. *آشنایی با شبکه عصبی مصنوعی*، چاپ اول، انتشارات. تهران: دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۰.

[۱۳] منهاج، باقر. *شبکه‌های عصبی مصنوعی*. تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۷.

[۱۴] نبهی، عبدالجواد. *مکانیک عمومی خودرو و شناسایی خودرو*، ۱۳۷۹.

پی‌نوشت

1. Total predictive maintenance
2. Imprecise
3. He
4. Feed forward
5. Knapp
6. Wang
7. Back propagation
8. CNC
9. Hidden Layer
10. Back propagation
11. Back Propagation
12. excel
13. Matlab
14. Not select
15. Not good