

## تشخیص و شناسایی خطا در سیستم سوزن با روش الگوریتم فازی

احمد میرآبادی (نویسنده مسئول)، استادیار، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران  
خدیدجه زارعی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران  
محمد علی صندیدزاده، استادیار، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

E-mail: mirabadi@iust.ac.ir

### چکیده

سیستم سوزن به لحاظ نقش عملکردی از مهم ترین و حساس ترین زیر بخشها و عناصر سیستم ریلی به شمار می آید. این سیستم شامل ماشین سوزن، ادوات ریلی و مکانیزمهای واسط آنهاست. در این مقاله ضمن مروری کلی بر روشهای قابل استفاده جهت تشخیص و شناسایی خطا در سیستمهای مهندسی مشابه، نتایج حاصل از بکارگیری الگوریتم فازی جهت تشخیص و شناسایی خطاهای سیستم مورد بررسی قرار گرفته است. قوانین فازی بر اساس داده های استخراج شده از سیستم ماشین سوزن موجود در دانشکده مهندسی راه آهن توسعه یافته و بر روی سیستم مزبور، در حالت های مختلف عملکردی سالم و خطای آن مورد آزمون قرار گرفته است. الگوریتم مورد استفاده قابلیت تشخیص و شناسایی اغلب خطاهای مجموعه سوزن و ماشین سوزن را دارد. در انتهای مقاله نتایج حاصل برای آزمون الگوریتم در مورد یک خطا ارائه شده است.

واژه های کلیدی: سیستم سوزن، تشخیص و شناسایی خطا، الگوریتم فازی

## ۱. مقدمه

عبارت "خطا" در مباحث تشخیص و شناسایی خطا به انحراف از محدوده قابل قبول متغیر یا پارامتر مورد نظر اندازه‌گیری یا محاسبه شده، اطلاق می‌شود. به عبارتی خطا انحراف غیر مجاز حداقل یکی از خصوصیات فیزیکی سیستم از شرایط عادی است. در سیستمهایی که ایمنی و قابلیت اعتماد به عنوان شاخصهای اصلی کیفیت سیستم مطرح می‌شوند، تشخیص و شناسایی خطا به عنوان روشی در بهبود شاخصهای مزبور مطرح اند. در صنعت ریلی سیستمهای کنترل و سیگنالینگ به علت حساسیت عملکردی بالا در زمره سیستمهایی محسوب می‌شوند که باید از ایمنی و قابلیت اطمینان بسیاری برخوردار باشند. چه بسا سانحه‌ای هرچند کوچک در اثر خطا و خرابی ادوات و تجهیزات، تلفات جانی و هزینه های مالی هنگفتی را در پی خواهد داشت.

با استفاده از روشهای تشخیص و شناسایی خطا، امکان مدیریت خطا و همچنین نگهداری و تعمیر بهنگام فراهم می‌شود. شناسایی محل خطا، باعث بهبود تعمیرپذیری و کاهش هزینه‌های نگهداری سیستم می‌شود. این امر ضمن کاهش هزینه های مستقیم و غیر مستقیم بهره برداری، به افزایش ایمنی و قابلیت اعتماد سیستم یاری می‌کند. با انتشار خطا در سیستم، علاوه بر گسترش سطح خسارات، شناسایی علت اولیه آن بسیار دشوارتر می‌شود. بنابراین، یک روش تشخیص و شناسایی دقیق و سریع خطا، می‌تواند از انتشار خطا در سیستم و پیامدهای ناشی از آن جلوگیری کند.

بر طبق آمار ارائه شده توسط شرکت راه آهن جمهوری اسلامی ایران در سال ۱۳۸۴، ۹۰٪ سوانح در ایستگاه تهران بر روی سیستم سوزن رخ داده است. از این میزان ۴۰٪ به دلیل عدم دقت در مانور، ۲۵٪ تنظیم مسیر اشتباه، ۲۵٪ خرابی سوزن و ۱۰٪ نیز برخورد دیزل با واگن یا دیزل در تقاطعهای خطوط دپو و واگن خانه است. همچنین بین سالهای ۱۳۷۵ تا ۱۳۷۸، ۳۵٪ از مجموع عوامل خروج از خط مربوط به سوزن نیمه باز بوده است. این اعداد نشان می‌دهد که سیستم سوزن یکی از اجزای بسیار مهم و حیاتی در حمل‌ونقل ریلی است که هر گونه خطا یا خرابی در آن می‌تواند موجب

رویدادهای جبران ناپذیری شود. [خط و ابنیه راه آهن، ۱۳۸۱]

با استفاده از روشهای تشخیص و شناسایی خطا، عملکرد سیستم مانیتور شده و وقوع هرگونه خطا در سیستم، قبل از آنکه به حوادث جبران ناپذیری منجر شود، به واحد تعمیرات اطلاع داده می‌شود.

## ۲. روشهای تشخیص و شناسایی خطا

هدف از بکارگیری روشهای تشخیص و شناسایی خطا، اعمال نظارت پیشرفته، مدیریت خطا، بهبود قابلیت اطمینان و دسترس‌پذیری، کاهش سوانح و میزان پیامدهای آنها و همچنین اعمال تعمیر و نگهداری بهینه است. این قابلیتها از طریق نظارت پیوسته بر فرآیند، پایش کمتهای قابل اندازه‌گیری و استفاده از الگوریتمهای مناسب جهت تحلیل تامین می‌شوند.

پژوهشگران، روشها و الگوریتمهای متنوعی را جهت تشخیص و یا شناسایی خطا در سیستمهای مختلف ارائه کرده اند. آشکار است که ماهیت سیستم، ماهیت خطاها، میزان آشنایی طراح با عملکرد و رفتار سیستم، نوع و تعداد سیگنالهای قابل اندازه‌گیری و همچنین پوشش دهی خطاها توسط سیگنالهای مورد اندازه‌گیری، درانتخاب روش تشخیص و شناسایی خطا تاثیرگذار است. [Isermann, 2004 and Isermann, 2002]، مروری بر روشهای موجود در تشخیص و شناسایی خطا را ارائه کرده اند. به طور کلی روشهای تشخیص خطا به دو گروه اصلی مبتنی بر آنالیز سیگنال و مبتنی بر مدل فرایند دسته بندی می‌شوند. در روشهای مبتنی بر آنالیز سیگنال، یک یا چند سیگنال قابل اندازه‌گیری از سیستم با استفاده از الگوریتمهای مختلفی چون آنالیز طیف فرکانسی، آنالیز دامنه و یا آنالیز روند تغییرات سیگنال و ... مورد تحلیل قرار گرفته و هر گونه تغییر غیر مجاز در خصوصیات سیگنال، بیانگر وقوع خطا در سیستم است. روشهای مبتنی بر سیگنال از متداول ترین روشهای تشخیص خطا هستند که با اندازه‌گیری مستقیم سیگنال  $y$  میسر می‌شوند. برای هر سیگنال دو آستانه حداقل و حداکثر  $y_{min}$  و  $y_{max}$  تعریف می‌شود. در حالت نرمال مقدار اندازه‌گیری شده  $y$  بین دو مقدار حدی قرار دارد  $(y_{min} < y < y_{max})$  و در صورتی که از این محدوده

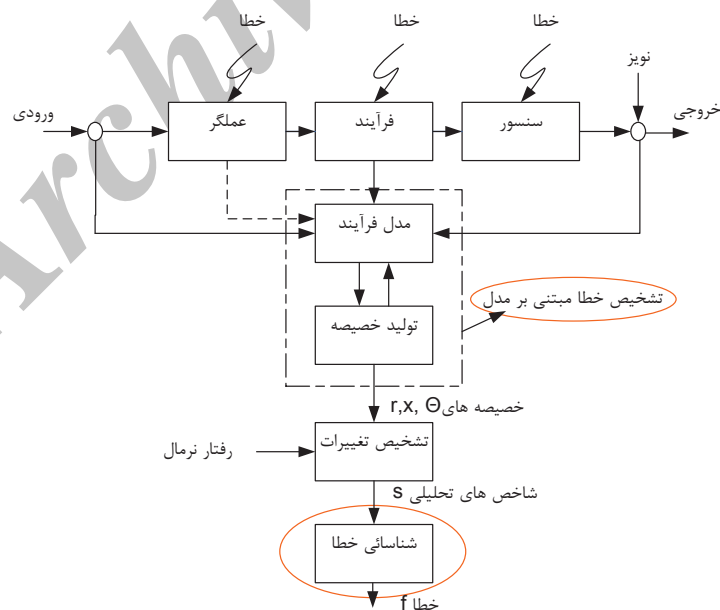
## تشخیص و شناسایی خطا در سیستم سوزن با روش الگوریتم فازی

$Y$  توسط یک مدل ریاضی ارائه می شود. در روشهای مبتنی بر مدل فرآیند ویژگیهای مشخص از سیستم مانند پارامترهای  $\theta$ ، متغیرهای حالت  $X$ ، خروجی  $Y$  و یا باقیمانده  $r$  مورد بررسی قرار می گیرند و با مقایسه این مقادیر با مقادیر اسمی آنها که از مدل استخراج می شود و اعمال روشهای تشخیص تغییرات، علائم یا شاخصهای  $S$  تولید می شوند. این شاخصها مبنای تشخیص و به دنبال آن شناسایی خطا در فرآیند هستند.

مراجع [Kallesoe, 2006 and Marquez, 2007] تشخیص و شناسایی خطا با استفاده از رویکرد حالت و فیلتر کالمن به ترتیب در موتور القایی سه فاز و سیستم ماشین سوزن را معرفی می کنند. نیاز به اطلاعات دقیق از سیستم برای ارائه یک مدل دقیق و همچنین عدم پوشش دهی همه خطاهای مهم سیستم در مرحله تشخیص و یا شناسایی از جمله معایب روش مذکورند.

در مراجع [Arkio, 2008 and Yang, 1995] استفاده از سیستمهای خبره و الگوریتمهای هوشمند در سیستمهایی با تنوع سیگنال و یا سیستمهای با عدم امکان ارائه مدلهای دقیق از فرآیند عملکردی سیستم، توصیه شده است.

خارج شود، نشان دهنده وقوع خطاست. [Benbouzid, 2002] تشخیص و شناسایی خطا به روش آنالیز سیگنال جریان ورودی در یک موتور القایی سه فاز و [Bianchini, 2011] تشخیص و شناسایی خطاهای بلبرینگهای خطی در یک موتور خطی را به روش آنالیز سیگنال ارتعاشی اندازه گیری شده توسط شتاب سنج ارائه می کنند. نتایج ارائه شده در هر دو مرجع بیانگر قابلیتهای قابل توجه روشهای مزبور در پوشش دهی برخی از خطاهای موتور القایی است، اما عدم امکان تشخیص و یا شناسایی برخی از خطاها در موتور از یک طرف و محدود بودن روش به مانیتورینگ موتور، مجزا از مکانیزمها و سیستمهای انتقال قدرت مکانیکی، کاربردی بودن آن را تضعیف می کند. در روشهای تشخیص خطا بر مبنای مدل فرآیند، با اندازه گیری یک یا چند متغیر و با استفاده از ارتباط تعریف شده بین پارامترهای سیستم، ورودیها، خروجیها و متغیرهای حالت، به تشخیص تغییراتی که می تواند توسط خطا ایجاد شده باشد، پرداخته می شود. شکل ۱ فرآیند تشخیص خطا براساس مدل فرآیند را نشان می دهد که در آن ارتباط بین ورودی  $U$  و خروجی



شکل ۱. تشخیص و شناسایی خطا مبتنی بر مدل فرآیند

### ۳. تشخیص و شناسایی خطا با روش فازی

شناخت و مدل‌سازی دقیق سیستم‌های نسبتاً پیچیده، بسیار مشکل و در برخی موارد غیر ممکن است، لازمه مدل‌سازی دقیق این سیستمها، بررسیهای گسترده و دقیق تعداد زیاد زیر سیستمها و اثرات متقابل آنهاست که در برخی موارد حتی در صورت امکان‌پذیر بودن، بسیار زمانبر و پرهزینه است. با توجه به مدهای خرابی بسیار متنوع و گسترده در این سیستمها، تشخیص و شناسایی خطا از طریق روشهای مبتنی بر مدل کاری مشکل است. معمولاً استفاده از مدل‌های فازی، قابلیت تشخیص و شناسایی خطا را برای کار با سیستمهای پیچیده، در شرایط فقدان اطلاعات کافی و همچنین در مواردی که اندازه‌گیریها از دقت نسبی کمتری برخوردارند، افزایش می‌دهد. الگوریتمهای فازی هر چند به دلیل ساختار خاص خود با معادلات پیچیده ریاضی مواجه نیستند، اما لازم است تا از پایگاه دانش قوی برخوردار باشند. این دانش می‌تواند شامل دانش افراد خیره، مطالعات تجربی و مشخصات فنی سیستم موجود باشد.

از مزایای منطق فازی، امکان بیان رفتار سیستم در قالب روابط مفهومی ساده "اگر-آنگاه" است. بدیهی است پایگاه دانش مورد اشاره برای تعیین قوانین "اگر-آنگاه" بسیار مهم است، زیرا کیفیت عملکرد یک الگوریتم فازی، به درستی و صحت قوانین حاکم بر آن بستگی دارد. [تشنه لب، ۱۳۸۵]

پژوهشهای متنوعی در زمینه استفاده از الگوریتمهای فازی در تشخیص و شناسایی خطا در سیستمهای مهندسی به انجام رسیده است. به عنوان مثال [D'Angelo, 2011] با اندازه‌گیری جریانهای سه فاز موتور القائی، آنها را به عنوان ورودی سیستم فازی استفاده و نوع خطاهای تشخیص داده شده در موتور را به عنوان خروجیهای الگوریتم فازی معرفی کرده است. در مقاله

[Mendonca, 2008] نیز تشخیص و شناسایی خطا با استفاده از روشهای فازی در یک سیستم شبیه ساز شیرهای صنعتی ارائه شده است. در این مقاله روش فازی برای مدل‌سازی فرآیندهای غیر خطی و تولید باقیمانده جهت تشخیص خطا و همچنین الگوریتم تصمیم‌گیری فازی جهت شناسایی خطا بکار گرفته شده است. در مقاله [Yang, 1995] نیز شناسایی خرابیهای سیستم به کمک آنالیز درخت خطا و تحلیل فازی در فرآیند شیمیائی اسید نیتریک مورد بررسی قرار گرفته است.

با فرض اینکه بردار  $R$  بیانگر مجموعه باقیمانده‌ها یا نشانه‌های  $r_1$  و بردار  $F$  بیانگر انواع خطاهای قابل پیش‌بینی باشد، الگوریتم فازی به صورت شکل ۲ بیان می‌گردد که ورودی آن بردار  $R$  خروجی آن بردار  $F$  است. [Kothamasu, 2007]

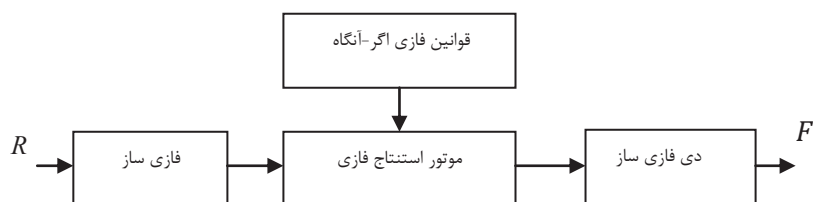
$$F = \{f_1, f_2, f_3, \dots, f_m\} \text{ و } R = \{r_1, r_2, r_3, \dots, r_n\}$$

برای هر عضو  $r_i$  از بردار  $R$ ، تابع عضویتی بر اساس دانش موجود از سیستم، به صورت مجموعه متغیرهای زبانی  $\{r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im}\}$  تعریف می‌شود. ارتباط بین خطاها و تغییرات صورت پذیرفته در باقیمانده‌ها یا نشانه‌ها می‌تواند به صورت قوانین "اگر-آنگاه" به صورت زیر بیان شود:

$IF (r_{1p}) \text{ AND } (r_{2q}) \text{ AND } \dots \text{ then (fault } f_1 \text{ is ocured)}$

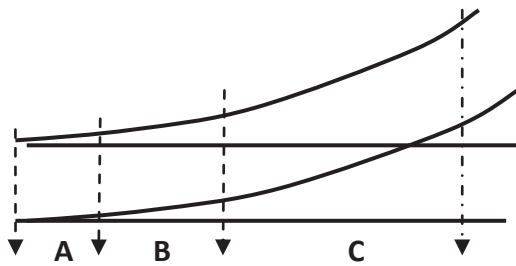
$IF (r_{2p}) \text{ OR } (r_{3q}) \text{ AND } \dots \text{ then (fault } f_2 \text{ is ocured)}$

موتور استنتاج الگوریتم فازی که بخش تحلیلی و مفهومی الگوریتم فازی است، با توجه به قوانین فازی مذکور و همچنین ورودیهای سیستم در هر لحظه، خروجی را تولید می‌کند. در این تحقیق، خروجی الگوریتم اعلام وقوع یا عدم وقوع خطاست. در بخش دی فازی ساز، به عنوان آخرین فاز از فرآیند، با توجه به



شکل ۲. فرآیند بکارگیری الگوریتم فازی در تشخیص و شناسایی خطا

## تشخیص و شناسایی خطا در سیستم سوزن با روش الگوریتم فازی



شکل ۴. ادوات ریلی سیستم سوزن

الکترومکانیکی SV۰۰ ساخت شرکت زیمنس است. جدول ۱ مشخصات فنی ماشین سوزن مزبور را ارائه می کند.

جدول ۱. مشخصات فنی ماشین سوزن B700k

ردیف	نام اجزا	مشخصات
۱	نوع الکتروموتور	سه فاز ۳۸۰ ولت، ۵۵۰ وات
۲	میزان جابجایی	۲۲۰ میلیمتر
۳	زمان تغییر وضعیت	۶ ثانیه
۴	نیروی بیرون انداز	۵۰۰۰N
۵	نیروی نگهداری	۷۰۰۰N
۶	وزن	۱۳۰ کیلوگرم

### ۵. مانیتورینگ سیستم سوزن

برای مانیتورینگ وضعیت سوزن و ماشین سوزن، نیاز به اندازه‌گیری پارامترهایی از ماشین سوزن است که تا حد امکان، قابلیت ارائه برآورد صحیحی از شرایط عملکردی و خطاهای سیستم را داشته باشد. اندازه‌گیری میزان بار وارده بر موتور از طریق سنسور بار، اندازه‌گیری میزان نیروی وارده به موتور از طریق اندازه‌گیری جریان ورودی، نیروی وارده بر ریل از طریق کرنش‌سنج‌های نصب‌شونده بر روی ریل و تیغه‌ها و یا حتی اندازه‌گیری سیگنال‌های ارتعاشی سیستم با استفاده از شتاب‌سنج‌ها،

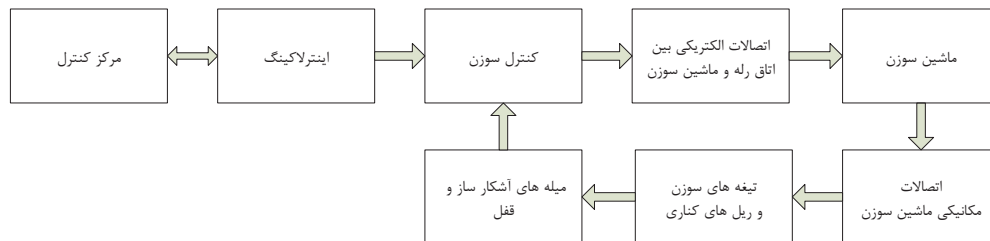
سطحی که در مرحله استنتاج به دست آمده است، مقادیر فازی به مقادیر غیر فازی تبدیل می‌شوند.

### ۴. معرفی سیستم سوزن

در متون فارسی، سوزن "دوراهه" نیز نامیده می‌شود و شامل ماشین سوزن، ادوات ریلی و مکانیزم‌های واسط آنهاست. این سیستم با توجه به ویژگی‌های هندسی و مکانیکی خود، امکان اتصال خطوط مختلف به یکدیگر و نیز انتقال وسایل نقلیه ریلی از یک خط به خط دیگر را فراهم می‌کند.

شکل ۳ دیاگرام عملکرد و ارتباطات بین اجزای سیستم سوزن را نشان می‌دهد. در شرایط عادی عملکرد سیستم، درخواست تخصیص مسیر از مرکز کنترل به اینترلاکینگ ارسال می‌شود. سیستم اینترلاکینگ پس از بررسی شرایط و اطمینان از ایمنی سیستم، فرمان تغییر وضعیت سوزن را متناسب با مسیر درخواستی صادر می‌کند. فرمان صادر شده در بخش کنترل سیستم سوزن به سیگنال قدرت جهت تحریک موتور ماشین سوزن تبدیل می‌شود. در شکل ۴ نمای شماتیک ادوات ریلی سیستم سوزن نشان داده شده است که از نظر ساختاری به سه بخش اصلی تقسیم می‌شود. ناحیه (A) شامل قسمتهای متحرک و حساس سوزن است و به همین علت ضعیف‌ترین قسمت آن به شمار می‌آید. قسمت (B) ناحیه هدایت است که قطار در مسیر مورد نظر هدایت می‌شود. بخش (C) به قسمت تکه مرکزی نامیده می‌شود. طبق آمار شرکت راه آهن جمهوری اسلامی ایران، ۷۰٪ سوانح در بخش A، ۵٪ در بخش B و ۲۵٪ در بخش C رخ می‌دهد.

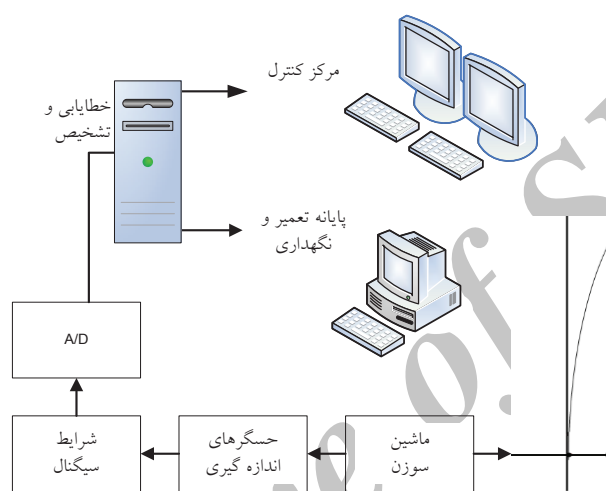
ماشین سوزن مورد بررسی در این پژوهش از نوع ماشین سوزن



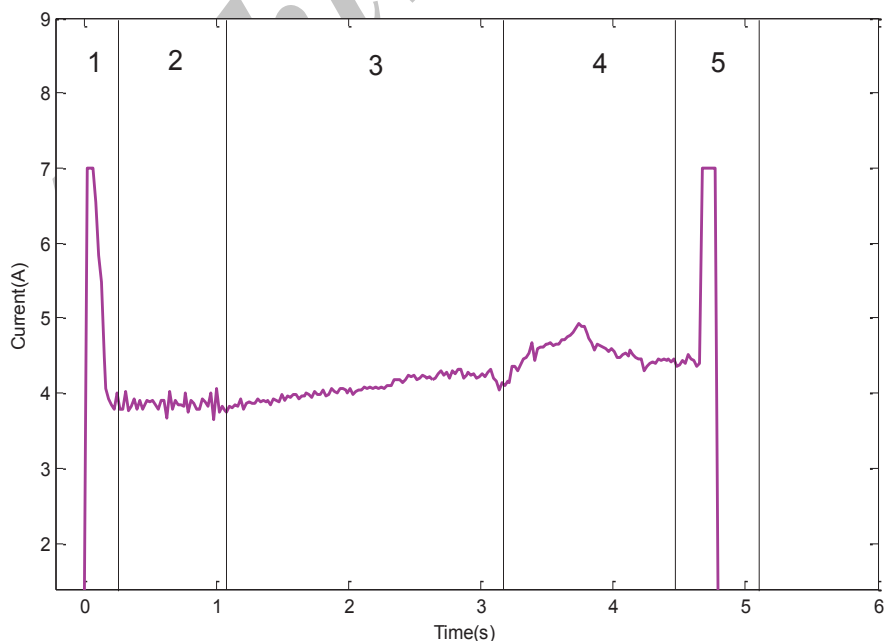
شکل ۳. دیاگرام بلوکی فرآیند عملکردی سیستم سوزن

نویز، واحد تشخیص و شناسایی خطا و سیستم هشدار است که البته واحد هشدار می تواند در ایستگاه و یا در مرکز کنترل جهت اطلاع رسانی به اپراتور و یا واحد تعمیر و نگهداری منتقل شود. شکل ۶ جذر میانگین مربعات<sup>۱</sup> سیگنال جریان ورودی ماشین سوزن، در یک سیکل جابجایی نرمال به معکوس را نشان می دهد. همان طور که در شکل نشان داده شده است، سیکل عملکرد ماشین می تواند به پنج فاز تفکیک شود.

بخشی از انتخابهای موجود در نصب سنسور و اندازه گیری سیگنال انجام می شود. بررسیهای انجام شده در این پژوهش نشان می دهند که اندازه گیری جریان ورودی می تواند بیانگر بخش عمده ای از شرایط متنوع عملکردی سیستم در شرایط سالم و ناسالم باشد. شکل ۵ سیستم مانیتورینگ استفاده شده در این پژوهش را به طور شماتیک نشان می دهد. سیستم مانیتورینگ مزبور شامل سنسورها و تجهیزات اندازه گیری سیگنال، واحد نمونه گیری و حذف



شکل ۵. مانیتورینگ و شناسایی خطا در سیستم سوزن



شکل ۶. فازهای عملیاتی سیگنال جریان یک سیکل حرکتی ماشین سوزن

## تشخیص و شناسایی خطا در سیستم سوزن با روش الگوریتم فازی

فازی جهت مانیتورینگ و تشخیص و شناسایی خطاها محسوب می شود. در این بخش لازم است تا توابع عضویت بر اساس دیتای واقعی حاصل شده از سیستم در تمامی مدهای عملکردی، شامل حالتهای سالم و حالتهای ناسالم، تعریف شوند.

این الگوریتم با توجه به ساده و قابل درک بودن و همچنین کارایی خود، از الگوریتمهای بسیار کاربردی محسوب می شود. لازم به ذکر است که توسعه الگوریتمهای فازی بر اساس مطالعات انجام شده در تحلیل درخت خطا (FTA) و تحلیل مدها و اثرات خرابی (FMEA) انجام می پذیرد که خود بر پایه اطلاعات و تجربه افراد خبره شکل می گیرند.

در این تحقیق داده های لازم، در مدهای مختلف سالم و خراب ماشین استخراج و دامنه تغییرات سیگنال برای هر نوع خرابی محاسبه شد. شکل ۷ نمونه ای از داده های استخراج و تحلیل شده را برای سه نوع خرابی سیستم نشان می دهد.

با توجه به توضیحات بخش قبل سه پارامتر جریان ورودی، فازهای عملکرد ماشین و همچنین قفل سوزن می توانند به عنوان ورودیهای الگوریتم فازی مد نظر قرار گیرند. جریان ورودی موتور می تواند با توجه به سطوح عملکردی به پنج سطح "خیلی کم"، "کم"، "متوسط"، "زیاد" و "خیلی زیاد" تقسیم بندی شوند. در شکل ۸ این سطوح به نام های  $I_0, I_1, I_2, I_3, I_4$  نامگذاری شده اند.

زمان نمونه برداری داده ها نیز می تواند به عنوان ورودی دیگری برای الگوریتم فازی در نظر گرفته شود. زمان نمونه برداری بر حسب فازهای عملکرد ماشین به پنج فاز مختلف  $T_{Start}, T_{GM}, T_{PM}, T_{Lock}, T_{end}$  تقسیم شده است، به طوری که  $T_{Start}$  فاز شروع حرکت ماشین،  $T_{GM}$  فاز درگیر شدن گیربکس،  $T_{PM}$  فاز حرکت سوزن و جابجا کردن تیغه ها،  $T_{Lock}$  فاز قفل شدن سوزن و  $T_{end}$  زمان انتهای حرکت که انتظار می رود سیکل حرکتی ماشین به انتها رسیده باشد. (شکل ۹)

زمان قفل شدن سوزن که بیانگر تکمیل سیکل حرکتی سوزن و درگیر شدن کامل زبانه قفل است، حائز اهمیت و بررسی است. عمل قفل شدن ماشین سوزن از طریق عمل کردن میکروسوییچ مربوطه و جذب رله قفل ماشین در هر یک از دو انتهای چرخه

۱. فاز اول: فاز راه اندازی موتور است. در هنگام راه اندازی موتور، جریان زیادی کشیده می شود و تا رسیدن موتور به دور نامی، این جریان نیز به مقدار نامی خود می رسد. این فاز، جریان در یک لحظه بسیار کوتاه (حدود ۳۰۰ میلی ثانیه)، دوره گذار را طی می کند. پایین بودن قابل توجه سطح جریان در این فاز، می تواند ناشی از وجود عیب در بخش تغذیه و یا کابلهای تغذیه باشد.

۲. فاز دوم: فاز خلاص نامیده می شود. در این فاز موتور بدون درگیری با بار (مکانیزمهای سوزن) می گردد. در این فاز گردش موتور از طریق چرخ دنده و میله راهنما منتقل شده و صرف باز کردن قفل سیستم می شود. این فاز تقریباً ۱/۵ ثانیه به طول می انجامد. هر نوع اضافه جریان و تغییرات شدید جریان در این ناحیه نشان دهنده خرابی موتور و یا سیستم چرخ دنده و کلاچ است.

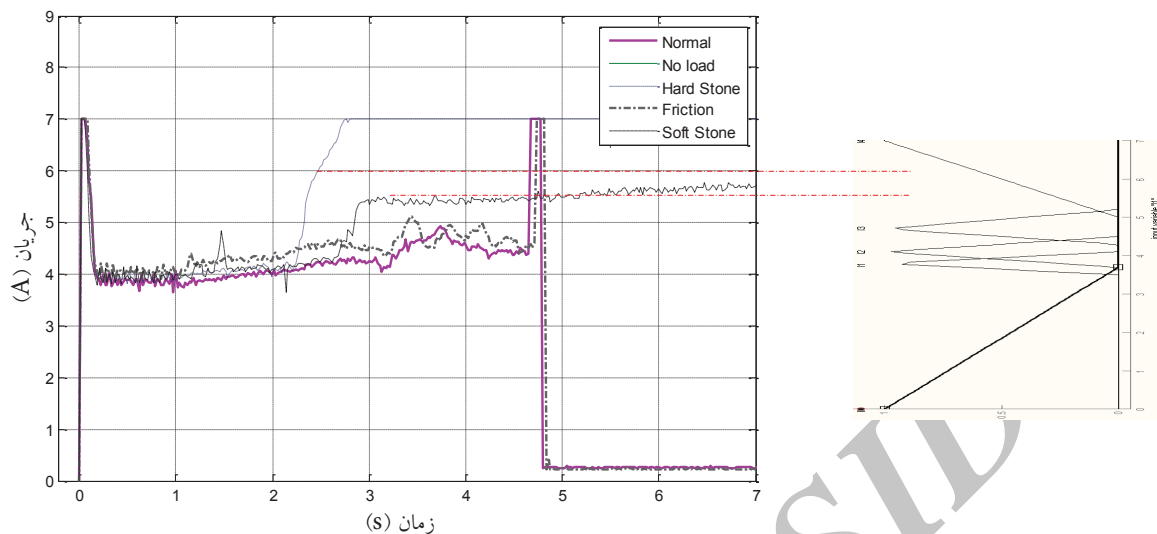
۳. فاز سوم: در این ناحیه قفل سوزن آزاد شده است و موتور با بار درگیر می شود. حرکت خطی ایجاد شده توسط میله راهنما، تیغه های سوزن را جابجا می کند. این فاز حدود ۲/۵ ثانیه به طول می انجامد. خرابیهای این منطقه متعلق به صفحه سرسره و تیغه های سوزن و سیستم رهایی قفل است که اگر اصطکاک صفحه سرسره وجود داشته باشد بر روی جریان موتور تاثیر می گذارد و هر نوع اعوجاج در صفحه سرسره به جریان منتقل می شود.

۴. فاز چهارم: در این ناحیه قفل سوزن مجدداً عمل می کند و سپس به رله های ماشین سوزن فرمان می دهد تا جریان را قطع کند. این فاز حدود یک ثانیه طول می کشد. گیر کردن مانع لای تیغه، زنگ زدگی قفل و یا اصطکاک شدید بین اجزای قفل می تواند موجب افزایش جریان موتور از مقدار نامی شوند.

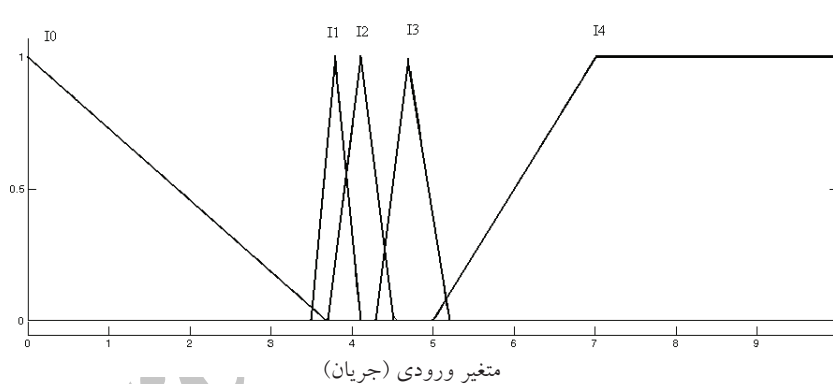
۵. فاز پنجم: در این فاز بعد از عملکرد رله موتور و قطع شدن برق ورودی، جریان به صفر می رسد. خرابیهای مختلفی از جمله گیرکردن مانع لای تیغه، خمیدگی یا تنظیم نبودن میله ها، عدم اتصال ماشین سوزن به سوزن و غیره می توانند موجب تغییر زمانبندی این فاز و عدم قطع جریان در زمان مورد انتظار شوند.

## ۶. طراحی الگوریتم فازی

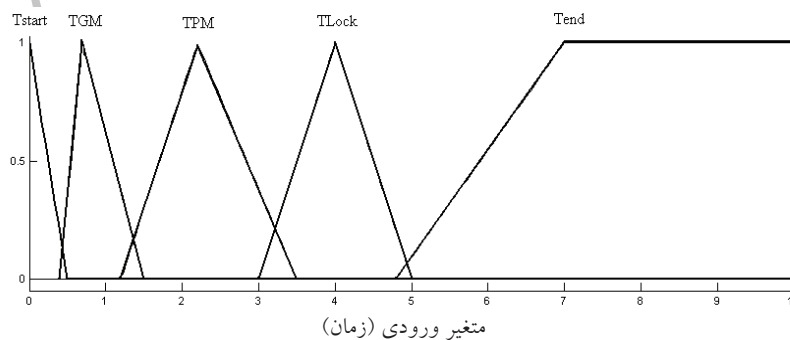
طراحی توابع عضویت از مهم ترین بخشهای طراحی الگوریتم



شکل ۷. مقایسه منحنی های جریان برای سه حالت خرابی و نحوه تعیین مجموعه های فازی



شکل ۸. تابع عضویت جریان ورودی موتور



شکل ۹. تابع عضویت زمان عملکرد ماشین



## تشخیص و شناسایی خطا در سیستم سوزن با روش الگوریتم فازی

ممکن خرابی منبع تغذیه و چرخ دنده هستند:

If  $I=I_0$  and  $Time=T_{start}$  then (power is failed)

If  $I=I_3$  and  $Time=T_{GM}$  then (clutch and/or gear box are failed)

برای بررسی و ارزیابی الگوریتم طراحی شده، قابلیت تشخیص و شناسایی خطا در مدهای مختلف سیستم مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از جعبه ابزار فازی در محیط شبیه سازی شده، با در نظر گرفتن داده های جریان، زمان و قفل به عنوان سه ورودی، می توان خروجی را در قالب یک ماتریس هشت ستونه دریافت کرد.

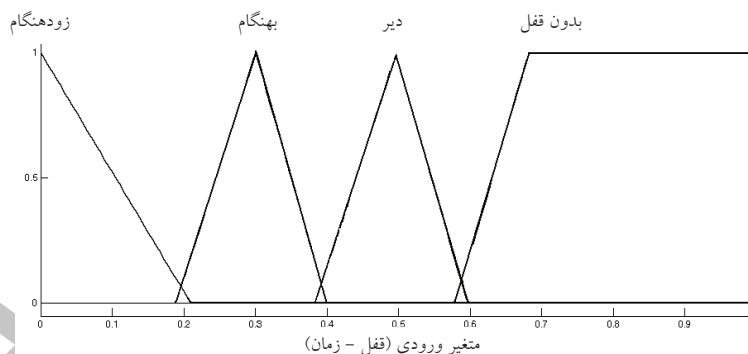
به عنوان نمونه، داده جریان مربوط به گیر کردن مانع بین تیغه سوزن و ریل کناری در حالتی که این مانع از جنس کلوخ باشد، ارائه شده است. بعد از آنکه سوزن، تیغه ها را از قفل آزاد کرده و حرکت می دهد ناگهان به مانعی برخورد می کند. این مانع باعث می شود تا جریان بیشتری از موتور کشیده شود و منحنی جریان افزایش یابد. بعد از آنکه در اثر نیروی اعمالی از سوزن مقداری از کلوخ شکسته می شود، سوزن با مانع محکم تری برخورد کرده و منحنی جریان افزایش بیشتری را نشان می دهد. به علت وجود مانع، سیکل حرکتی

حرکتی آن صورت می پذیرد. در شرایط نرمال عملکرد ماشین، قفل سوزن در ثانیه های  $4/8$  تا  $5/3$  و در صورت وجود مانع نرم همچون اصطکاک و یا کلوخ بین تیغه ها این عملکرد به زمانهای  $5/3$  تا  $10$  ثانیه بعد از ارسال فرمان ماشین صورت می پذیرد. شکل ۱۰ تابع عضویت ورودی زمان قفل سوزن را نشان می دهد.

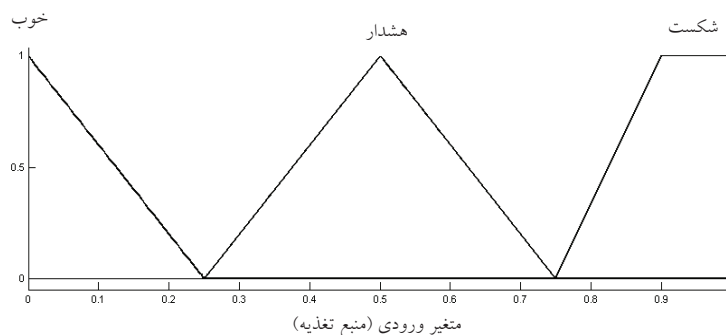
در این تحلیل، خرابیهای ماشین سوزن به هشت دسته مختلف تقسیم بندی شده اند، به طوری که هر خروجی نشان دهنده دسته ای از خرابیهای سوزن و ماشین سوزن است. هر خروجی دارای تابع عضویت به سه حالت "نرمال"، "هشدار" و "خراب" تعریف شده است (شکل ۱۱).

### ۶-۱ قوانین فازی

با توجه به تحلیل انجام شده و داده های گردآوری و تحلیل شده از عملکرد سوزن و ماشین و همچنین با استفاده از تجربه و دانش کارشناسان سیستم، تعداد ۱۸ قانون مختلف در قالب قوانین اگر-آنگاه تدوین شده است. به عنوان مثال دو قانون زیر بیانگر شرایط



شکل ۱۰. تابع عضویت ورودی زمان قفل سوزن



شکل ۱۱. خروجی فازی

شناسایی شده است. همچنین در حالت سالم نیز در مواردی، وجود عیوب مختلف در سیستم شناسایی شده است.

### ۷. نتیجه گیری

در این مقاله، با استفاده از الگوریتم فازی توسعه یافته، بر اساس دانش فنی و تجربی از ساختار و عملکرد سیستمهای سوزن در راه آهن، امکان تشخیص و شناسایی خطاهای ماشین سوزن فراهم شده است. آزمونهای گسترده انجام شده بر روی سوزن و ماشین مربوطه، در آزمایشگاه علائم و ارتباطات دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت در حالات مختلف سالم و خطا دار سیستم، نشانگر توانایی مناسب الگوریتم در مانیتورینگ ماشین سوزن است.

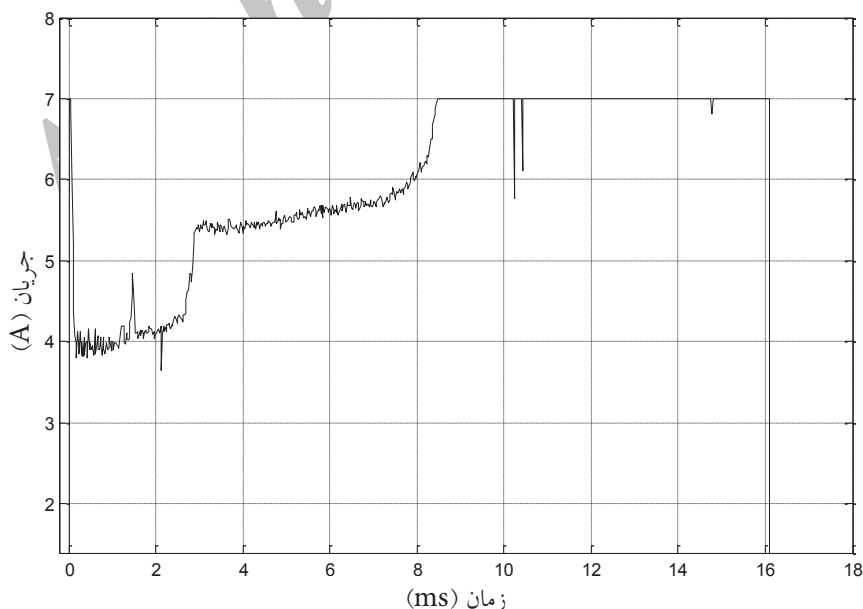
الگوریتمهای ارائه شده می توانند وقوع خرابی در سیستم، در همه حالات خطای سیستم سوزن و ماشین سوزن، که بر روی دامنه سیگنال جریان تاثیر می گذارند را تشخیص دهند. همچنین قابلیت شناسایی خطاها در هشت گروه مجزاست. البته توسعه الگوریتم جهت شناسایی جزئی تر خطاهای سیستم، نیازمند افزایش اندازه گیریها از طریق افزایش حسگرها و یا بکارگیری روشهای شناسایی و تشخیص مبتنی بر مدل است.

سوزن به اتمام نمی رسد و قفل سیستم عمل نمی کند. بعد از ۱۵ ثانیه رله زمانی عمل کرده و تغذیه موتور قطع می شود. (شکل ۱۲).

خروجی الگوریتم فازی در شکل ۱۳ ارائه شده است. در این شکل سه ستون اول ورودیها و ۸ ستون بعد، خروجیها را که بیانگر دسته بندی خطاها هستند، نشان می دهد. در این روش ۸ گروه خطای مربوط به ماشین سوزن، منبع تغذیه، ادوات ریلی و خطی را پوشش داده شده است. در جدول ۲ عناوین توابع مورد استفاده در شکل ۱۳ فهرست شده است.

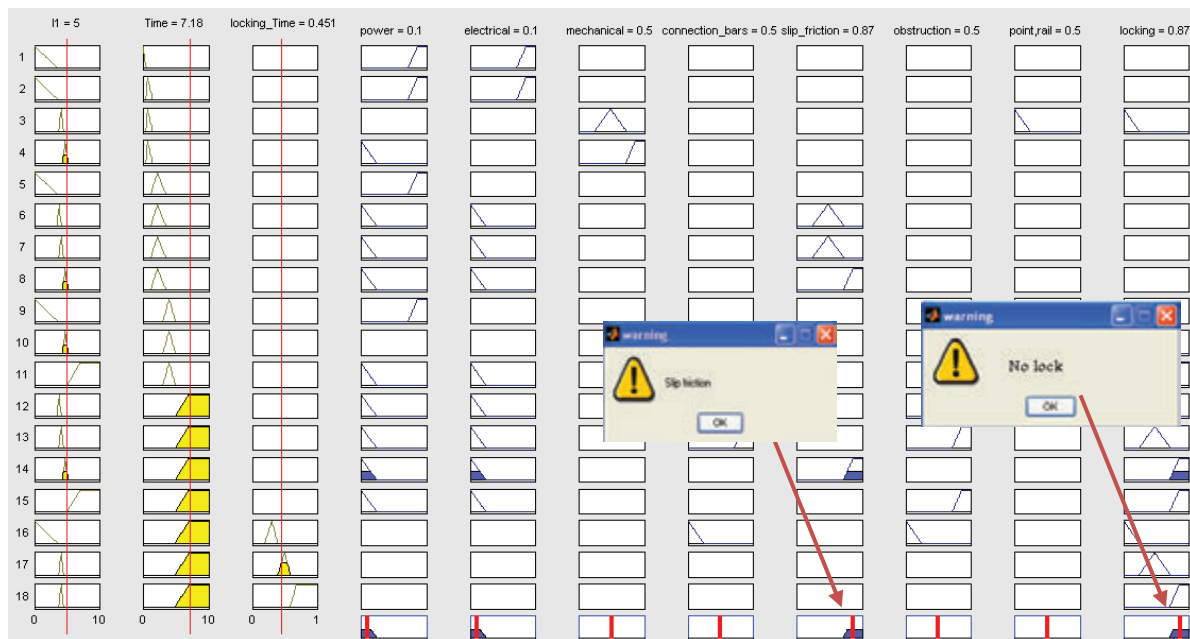
همان طور که خروجی حاصل قابل تشخیص است، الگوریتم در شناسایی نوع خطا موفق بوده است. در این تحقیق، الگوریتم فازی جهت تشخیص خطا، بر سیگنالهای جریان ماشین در حالتیهای مختلف خطای ماشین، اعمال شده است. نتایج حاصل بیانگر قابلیت الگوریتم برای تشخیص همه خطاهای بررسی شده است، هر چند قابلیت شناسایی خطاها در موارد نادری از آزمون، بیانگر نیاز به داده های بیشتر از سیستم بوده است، جدول (۳).

به عنوان مثال وجود سنگ سخت و یا سنگ نرم در بین تیغه های ماشین به ترتیب در ۷/۷ و ۹ درصد موارد، به عنوان خطای اصطکاک در صفحات سرسره سوزن شناسایی شده است و یا خطای اصطکاک در ۲/۲ درصد موارد به عنوان خطای قفل



شکل ۱۲. منحنی جریان در حالت سنگ کلوخ مابین تیغه و ریل کناری

## تشخیص و شناسایی خطا در سیستم سوزن با روش الگوریتم فازی



شکل ۱۳. خروجی الگوریتم فازی در تشخیص خرابیهای سیستم سوزن

جدول ۲. معادل فارسی توابع استفاده شده در شکل ۱۳

معادل انگلیسی خطا	نوع خرابی	ردیف
<i>Power</i>	منبع تغذیه، کابل های ورودی به ماشین و قطع برق ( <i>P</i> )	۱
<i>Electrical</i>	ترمینال و میکروسوییچ ( <i>E</i> )	۲
<i>Mechanical</i>	کلاچ و چرخ دنده ( <i>M</i> )	۳
<i>Connection Bars</i>	میله های اتصالی، تراورس، بالاست، شل بودن پیچ و مهره ها ( <i>B</i> )	۴
<i>Slip friction</i>	زنگ زدگی صفحه سرسره و اصطکاک ( <i>S</i> )	۵
<i>Obstruction</i>	افتادن شی لای تیغه های سوزن و یا خرابی قفل کلنگی ( <i>O</i> )	۶
<i>Point-Rail</i>	خرابی تیغه سوزن و ریل کناری ( <i>PR</i> )	۷
<i>Locking</i>	گیر کردن قفل سوزن ( <i>L</i> )	۸

جدول ۳. بررسی عملکرد مدل فازی تحلیل شده برای سیستم شناسایی خطا در سیستم سوزن

حالت های مختلف داده	P	E	M	B	S	O	PR	L
سالم	٪۹۹/۸	٪۹۹/۹	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۹۹/۲	٪۱۰۰	٪۹۷/۸
اصطکاک	٪۹۹/۸	٪۹۹/۹	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۹۹/۲	٪۱۰۰	٪۹۷/۸
سنگ نرم	٪۹۹/۸	٪۹۹/۸	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۹۲/۳	٪۹۹/۹	٪۱۰۰	٪۱۰۰
سنگ سخت	٪۹۹/۷۵	٪۹۹/۷۵	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۹۱	٪۹۹/۸	٪۱۰۰	٪۱۰۰
قفل نشدن	٪۹۹/۷	٪۹۹/۷	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۹۹/۸	٪۱۰۰	٪۱۰۰

*P=Power, E=Electrical, M=mechanical, B=Bars, S=Sliding Chairs, O=Obstruction, PR=Point Rail, L=Locking*

## ۸. پی نوشتها

Kallesoe, C. S., Vadstrup, P., Rasmussen, H. and Zamanabadi, R. (2006) "Observer based estimation of stator winding faults in delta-connected induction motors, a LMI approach", Industry Applications Conf., 41st, IAS Annual Meeting, pp. 2427 – 2434.

Kothamasu, R. and Huang, S. H. (2007) "Adaptive Mamdani fuzzy model for condition based maintenance", Journal of Fuzzy Sets and Systems, Vol. 158, pp. 2715-2733.

Marquez, F. and Schmid, F. (2007) "A digital filter-based approach to the remote condition monitoring of railway turnouts", Journal of Reliability Engineering and System Safety, Vol. 92, pp. 830–840.

Mendonca, L. Sousa, J. and Costa, J. (2008) "An architecture for fault detection and isolation based on fuzzy methods", Expert Systems with Applications.

Tran, V. T. B., Yang, B. and M. Suckoh (2009) "Fault diagnosis of induction motor based on decision trees and adaptive neuro-fuzzy inference", Journal of Expert Systems with Applications, Vol. 36, pp. 1840-1849.

Yang, H. W., Chang, W. and Huang, Ch. (1995) "Power system distributed on-line fault section estimation using decision tree based neural nets approach", Power Delivery, IEEE Transactions on Vol. 10, pp. 540 – 546.

Yang, Z. and K. Suzuki (1995) "Fuzzy fault diagnostic system based on fault tree analysis", IEEE International Conference on Fuzzy Systems, pp. 165-175.

1- Root Mean Square (RMS)

## ۹. مراجع

راه آهن جمهوری اسلامی ایران. گروه خط و ابنیه (۱۳۸۱)  
"مقدمه‌ای بر سیستم جامع مدیریت تعمیر و نگهداری خطوط راه آهن" انتشارات راه آهن ج.ا.ا.  
تشنه لب، محمد (۱۳۸۵) "سیستم های فازی و کنترل فازی"، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

D'Angelo, M., Palhares, R. M., Takahashi, R. H. C., Loschi, R. H., Baccarini, L. M. R. and Caminhas, W. M. (2011) "Incipient fault detection in induction machine stator-winding using a fuzzy-Bayesian change point detection approach", Journal of Applied Soft Computing, Vol. 11, Issue 1.

Benbouzid, M. and Nejjari, H. (2000) "A simple fuzzy logic approach for induction motors stator condition monitoring", IEEE Proc. Electronic Power Application, pp. 634-639.

Bianchini, C., Immovilli, F. Cocconcelli, M. Rubini, R. and Bellini, A. (2011) "Fault detection of linear bearings in brushless AC linear motors by vibration analysis", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Volume: 58 , Issue: 5, pp. 1684 – 1694.

Isermann, R. (2004) "Model-based fault-detection and diagnosis-status and applications", Journal of Annual Review in Control, Vol. 29, pp.71-85.

Isermann, R. (2005) "Fault –diagnosis systems- an introduction from fault detection to fault tolerance", Springer.