Archive of SID

مروری بر روشهای شناسایی و تشخیص خرابی در صنعت ریلی

و کاربرد *FTA* در تشخیص خرابی سیستم ماشین سوزن

خدیجه زارعی[1]،دکتر احمد میرآبادی[2]

kh_zareei@rail.iust.ac.ir[1]

mirabadi@iust.ac.ir[2]

دانشکده مهندسی راه آهن – دانشگاه علم و صنعت ایران

۱- چکیده

مجموعه سوزن و ماشین سوزن، به لحاظ وظیفه عملکردی و تبعات خطرناک آن در صورت خرابی، از مهمترین و حساسترین زیر بخشها و عناصر سیستم ریلی محسوب میشوند.
در این مقاله ضمن بررسی اهمیت سیستم مزبور، به روشهایی که میتوانند در تشخیص و شناسایی خطاها و خرابی های سیستم مزبور مورد استفاده قرار گیرند پرداخته شده است. ضمن مروری کلی بر روشهای قابل استفاده در تشخیص و شناسائی خطا و ارائه آمارهای مرتبط با سوانح مربوط به سوزن و نرخ خرابی های اجزای سوزن، روش*FTA* بر روی ماشین سوزن *B700K* که بطور گسترده در راه آهن ایران مورد استفاده قرار میگیرد، انجام پذیرفته و نتایج حاصل از آن تشریح گردیده است..

۲- مقدمه

در سیستمهایی که ایمنی و قابلیت اعتماد به عنوان شاخصهای اصلی کیفیت سیستم مطرح می باشند، شناسایی و تشخیص خرابی و خطا نیز بعنوان روشهایی در بهبود شاخصهای مزبور مطرح می باشند. سستمهای کنترل و سیگنالینگ در صنعت ریلی در زمره اینگونه سیستمها محسوب میگردند.
با استفاده از روشهای تشخیص و شناسائی خطا، امکان مدیریت خطا و بالتبع امکان تعمیرات و نگهداری بهنگام، آسانتر و ارزانتر فراهم میگردد. این امر ضمن کاهش هزینه های مستقیم و غیر مستقیم سیستم، به افزایش ایمنی و قابلیت اعتماد سیستم کمک می نماید.
بر طبق آمار ارائه شده راه آهن جمهوری اسلامی ایران، ۹۰٪ سوانح در ایستگاه تهران بر روی سوزن رخ می دهد این اعداد نشان می دهد سوزن یکی از اجزای بسیار مهم و حیاتی در راه آهن می باشد که در اثر بوجود آمدن انواع خطاها و خرابی ها در آن، حوادث جبران ناپذیری رخ داده است همچنین قسمت ابتدائی سوزن هم مهمترین قسمت آن می باشد که در این مقاله از روش تحلیل خطا در این قسمت بررسی شده است.
بنابراین با استفاده از روش های شناسائی و تشخیص خطا، خرابی ها مانیتور شده و قبل از آنکه به حوادث جبران ناپذیری منجر شود به واحد تعمیرات اطلاع داده می شود، با این روش ها ایمنی سیستم بالاتر رفته و خسارات جانی و مالی نیز کاهش می یابد.

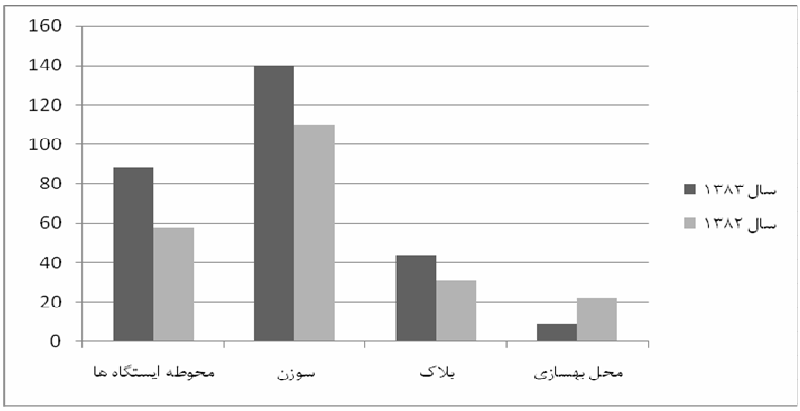
۳- اهمیت سوزن در سوانح ریلی

بر طبق آمار ارائه شده راه آهن جمهوری اسلامی ایران، ایستگاه تهران با ۳۱ مورد سانحه در ایستگاههای کشور دارای مقام اول می باشد و ۹۰٪ سوانح در ایستگاه تهران بر روی سوزن رخ می دهد که۴۰٪ آن به دلیل عدم دقت در مانور ، ۲۵٪ مسیر اشتباهی ، ۲۵٪ خرابی سوزن و ۱۰٪ نیز برخورد دیزل با استیم ،واگن و یا دیزل در تقاطع های خطوط دپو و واگن خانه می باشد.
همچنین از سوانح رخ داده بر روی سوزن ۷۰٪ سوانح سوزن بر روی تیغه سوزن (ابتدای سوزن) و حدود ۵٪ مربوط به قسمت هادی سوزن و ۲۵٪ خرابی ها هم به قسمت تکه مرکزی مرتبط می باشد.
نمودار زیر آمار سوانح خروج از خط را در دو سال متوالی ۸۲ و ۸۳ نشان می دهد که بیانگر این موضوع است که اغلب سوانح خروج از خط در محل سوزن و سپس در محوطه ایستگاه ها غیر از محل سوزن رخ داده که اهمیت و خطر خیز بودن سوزن

www.SID.ir

Archive of SID

و بطورکلی محدوده ایستگاه را به لحاظ نرخ سوانح خروج از خط نشان می دهد.



شکل ۱ : دسته بندی محل های مختلف خروج از خط در سال های ۸۲و ۸۳ (2)

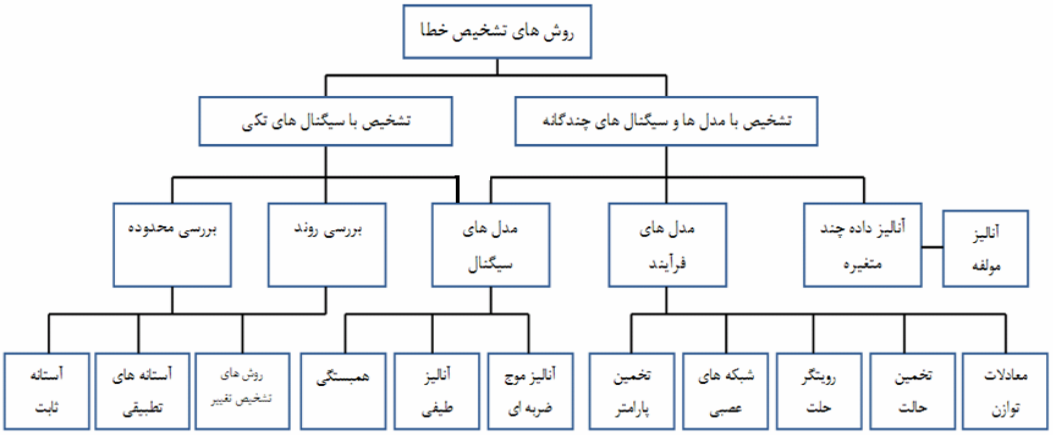
۴- روش های تشخیص و شناسایی خطا

تشخیص و شناسائی بهنگام خطا در سیستم های پردازش صنعتی قبل از آنکه باعث ضرر و آسیب زیادی شود، بسیار مهم می باشد. به علاوه اگر خطا در سیستم منتشر شود شناسائی علت ریشه ای خطا بسیار سخت می شود. بنابراین یک روش تشخیص و شناسائی خوب خطا برای سلامتی و صحت سیستم الزامی می باشد.

عبارت "خطا" در تشخیص خطا به منظور انحراف از محدوده قابل قبول متغیر مشاهده شده یا پارامتر محاسبه شده می باشد. به عبارتی خطا به عنوان انحراف غیر مجاز حداقل یکی از خصوصیات سیستم از شرایط عادی می باشد که این خصوصیات می تواند هرگونه مقدار فیزیکی باشد. (4,3)

اهداف روش های شناسائی و تشخیص خطا شناسائی سریع خطا، نظارت بر فرآیندها ،تعمیر و نگهداری بر اساس شرایط فرآیند،کنترل کیفیت عالی محصول در ساخت، شناسائی خطا از راه دور با استفاده از روش های مخابراتی، مدیریت خطا و هدف نهائی آن، نظارت پیشرفته، اصلاح قابلیت اطمینان، دسترس پذیری و تعمیر و نگهداری بهینه می باشد.

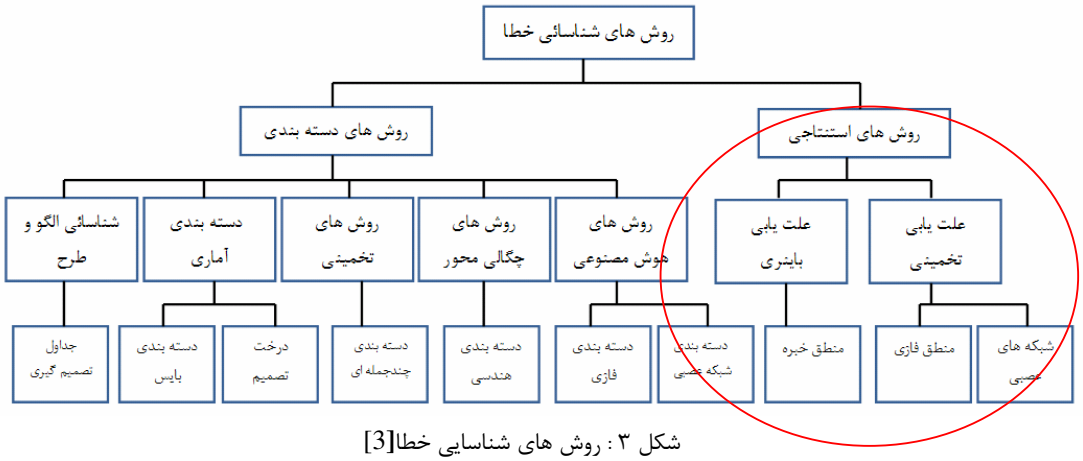
برای راه آهن انتظار آن می رود که سطح دسترس پذیری، قابلیت اعتماد، ایمنی و امنیت بالا باشد که یکی از ابزارهای بالا بردن قابلیت اعتماد استفاده از سیستم های پایش وضعیت می باشد. شکل ۲ و ۳ انواع روش های تشخیص و شناسائی خطا را نشان می دهند.



شکل ۲ : روش های تشخیص خطا [3]

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳ : روش های شناسایی خطا[3]

۴-۱-۳ روش رویتگرها

سیستم دینامیکی ای که متغیرهای حالت آن، تخمینی از متغیرهای حالت سیستم دیگری باشند، رویتگر آن سیستم می نامند. این عبارت اولین بار توسط لیونبرگر در سال ۱۹۶۳ وارد نظریه سیستم های خطی شد. لیونبرگر نشان داد که می توان برای هر سیستم خطی رؤیت پذیر، رویتگری با این خاصیت طراحی نمود که خطای تخمین آن (یعنی تفاضل بین حالت واقعی سیستم و حالت رویتگر) صفر گردد.(5) در واقع رویتگر، سیستمی دینامیکی است که ورودیهای آن ورودی و خروجی سیستم و خروجی آن متغیرهای حالت تخمین زده شده هستند. اگر پارامترهای سیستم شناخته شده اند، از رویتگر حالت می توان استفاده کرد. همچنین روش های لیونبرگر و فیلتر کالمن نیز کاربرد دارند.

۴-۲- روش های شناسائی خطا

هدف از شناسائی خطا عبارت است از تعیین نوع خطا شامل اندازه، موقعیت و زمان تشخیص خطا که ساختار شناسائی بر اساس تحلیل مشاهدات و علائم ذهنی و ابتکاری از فرآیند می باشد. ورودی های یک سیستم شناسائی دانش محور تمام علائم در دسترسی است که به عنوان حقایق و دانش مرتبط با خطا درباره فرآیند می باشد و این علائم ممکن است به صورت باینری یا فازی مطرح شوند.(3,4)

۴-۲-۱ روش دسته بندی

مطابق شکل بردار مرجع Sn، به عنوان رفتار نرمال می باشد و بردارهای ورودی علائم S به طور تجربی با بردارهای خطا Fj

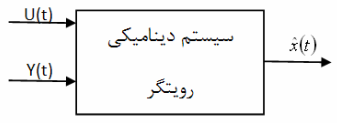
۴-۱- روش های تشخیص خطا

۴-۱-۱ روش بررسی محدوده

از متداولترین و آسانترین روش تشخیص خطا می‌باشد که با اندازه‌گیری مستقیم y(t) میسر می شود. برای هر مقداری دو آستانه $y_{\min}$ و $y_{\max}$ تعریف می‌شود، در حالت نرمال $y_{\min}\langle y\langle y_{\max}$ می باشد که نشان دهنده وضعیت نرمال فرآیند با یک تلورانس می‌باشد و خارج شدن از ین محدوده خطا می‌باشد.

۴-۱-۲ معادلات توازن

یکی از روش‌های تشخیص خطاهای فرآیند، مقایسه رفتار فرآیند با یک مدل فرآیند می‌باشد، اختلاف سیگنال‌های فرآیند و مدل به صورت باقیمانده می‌باشد. طراحی باقیمانده می‌تواند با توابع انتقال یا فرمول‌های فضای حالت نوشته شوند. در نهایت هدف بدست آوردن بردارهای باقیمانده است که مشخص کننده خطای وارد بر سیستم می باشد.

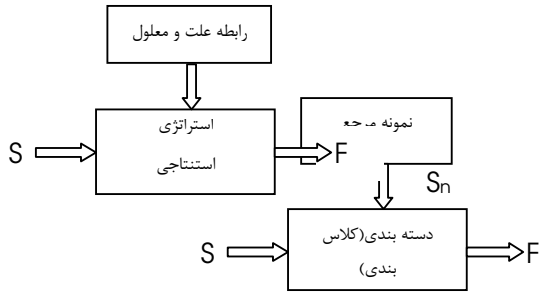


شکل ۴– سیستم رویتگر

فرض کنید سیستم دینامیکی در نمایش معمول فضای حالت به صورت $\dot{x}$ (t)=Ax(t)+Bu(t) نشان داده شود، بنابراین معادله فضای حالت سیستم دینامیکی رویتگری را که ورودیهای آن u و y و خروجی آن x باشد به صورت $\dot{\hat{x}}(t)=\hat{A}\hat{x}(t)+\hat{B}u(t)+Ly(t)$ می باشد که خطای بین آنها به صورت $e(t)=x(t)-\hat{x}(t)$ می شود.(5)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵ – روش دسته بندی

شکل ۶– روش استنتاجی

۴-۲-۲ روش استنتاجی

همانطور که در شکل ۷ مشخص است روشهای شناسائی خطا با روش علت یابی انجام می شود چون برای بعضی از فرآیندهای تکنیکی، حداقل بخشی از ارتباطات بین خطاها و علائم مشخص است بنابراین دانش اولیه به صورت روابط علت و معلولی به کمک آن می آید و به صورت (خطا رخداد علائم) می باشد. در شکل ۶ این روش مشخص می باشد. (4)

۴-۲-۳ درخت خطا

در این مقاله روش مفهومی آنالیز درخت خطا برای شناسائی خطا استفاده می شود به طوریکه علل ریشه ای خرابی مشخص گردد و در واقع این روش زیرمجموعه ای از روش های استنتاجی می باشد.

درخت خطا برای آنالیز قابلیت اطمینان و ایمنی سیستم استفاده می شود که اولین بار در سال ۱۹۶۱ در آزمایشگاه تلفن بل ایجاد شد. درخت خطا یک درخت منطقی است و در آن از گیت های AND و OR برای ارتباط بین رویدادها استفاده می شود.(7)

آنالیز درخت خطا شامل ۴ مرحله می باشد:

۱- تعریف سیستم
۲- ساخت درخت خطا
۳- ارزیابی کیفی درخت خطا
۴- ارزیابی کمی درخت خطا

قبل از ساخت درخت خطا، طراح باید فهم کاملی از سیستم داشته باشد، درحقیقت تشریح سیستم بخشی از مستندات طراح می باشد. درخت خطا با پرسیدن سوالاتی چون " چه چیزی یک رویداد پایه را بوجود می آورد؟" ساخته می شود. در پاسخ به این سوال اتفاقات مختلف ممکن است با گیت های AND و OR به هم متصل شوند.

درخت خطا تا جایی ادامه پیدا می کند که دیگر رویداد پایه تری برای آن نتوان تعریف کرد. درخت خطا یک بار ایجاد می شود و در گام های بعد طراح آن را ارزیابی می کند.

ارزیابی کیفی با ایجاد مجموعه های حداقل برش[1] می باشد که تعریف آن مجموعه ای از خطاهای اصلی است که برای ایجاد خرابی در سیستم ضروری هستند، حداقل برش در اصل خرابیهای قطعه اصلی را مشخص می کنند و برای ارزیابی قابلیت اطمینان استفاده می شود.

در ارزیابی کمی احتمال رخداد اتفاقات پایه برای محاسبه احتمال رویداد پایه می باشد و هدف آن محاسبه ریسک سیستم می باشد.

آنالیز درخت خطا در صورتیکه به بررسی تمامی علل خطا بپردازد کامل می باشد و متاسفانه تابحال هیچ روش قراردادی برای صحه گذاری آن وجود ندارد.(7)

۴-۲-۴ سیستم های خبره

معمولا روش های کیفی مبتنی بر سیستم های خبره هستند. سیستم های خبره ترکیب دانش بشر با فرآیندهای علت و معلول می باشد که برای تصمیم گیری استفاده می شود.

سیستم های خبره شامل پایه دانش به همراه موتور استنتاج می باشند و پایه دانش در شکل روابط علت و معلول ارائه می شود. مثال زیر از دانش پایه می باشد:

If current >=30A Then tight Bearing

مشکل اساسی این دستاورد این است که ممکن است شامل تمامی مفاهیم فیزیکی سیستم نباشد به عبارتی اگر در سیستم اتفاق ناشناخته ای رخ دهد ممکن است این پایه دانش قادر به شناسائی علت اتفاق نباشد.(7)

متناظر هستند. رابطه بین F و S بطور تجربی آموخته می شوند و ذخیره می گردند. با مقایسه S های رویت شده با مرجع نرمال S_n خطاهای F قابل محاسبه می شوند شکل ۵ نشان دهنده این موضوع می باشد.(4)

[1] Minimum cuts

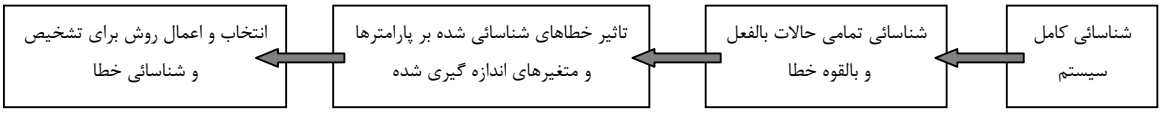
www.SID.ir

Archive of SID

معمولا سیستم های خبره با درخت خطا ترکیب می شوند، منطق فازی با درخت خطا اهمیت بیشتری برای سیستم شناسائی ایجاد می کند. با کمک درخت خطا می توان انواع خرابی ها و علل آنها را شناسائی کرد و با کمک روش فازی و داده هائی که از سنسورهای متصل به سیستم منتقل می شود و محدوده های تغییرات آن به نوع خرابی دست پیدا کرد.

۴-۳- روند بکارگیری روش های تشخیص و شناسائی خطا برای سیستم سوزن

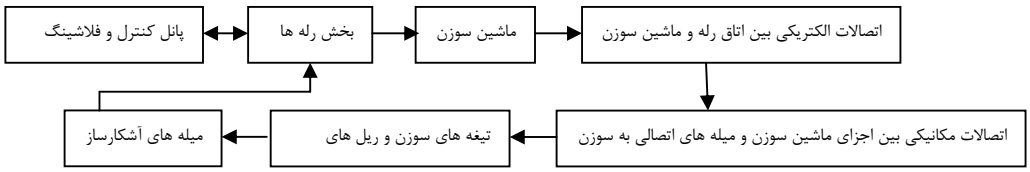
برای به کار بردن روش های تشخیص و شناسائی خطا و انتخاب یکی از آنها برای سیستم مورد نظر نکاتی را باید رعایت کرد که در شکل زیر آمده است.



شکل ۷ : بکارگیری روش های تشخیص و شناسائی خطا

۵- بررسی و تعریف سیستم سوزن

در متون فارسی سوزن به نام "دوراهه" می باشد و در راه آهن ج.ا.ا به دو بخش سیگنالینگ و خط مرتبط می باشد یعنی مجموعه ای از ریل و ادوات اتصالی آن (در واقع ترکیبی از ریل تیغه و تکه مرکزی و ریل محصور بین این دو قطعه که آنها را بهم متصل می کند) و ماشین سوزن و ادوات اتصالی آن (میله های نگهدار و نشان دهنده و اتصالات آنها) می باشد که به خاطر ویژگی هندسی خطی آن امکان پیوستن خطوط به یکدیگر و نیز انتقال وسایل نقلیه ریلی از یک خط به خط دیگر را فراهم می آورد و در بلوک نمودار زیر روابط آنها مشخص می باشد.

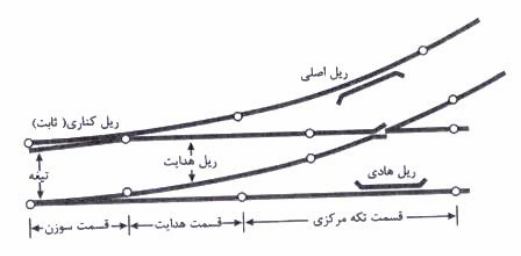


شکل ۸ : تعریف سیستم سوزن الکترومکانیکی

قسمت خطی سوزن که شامل قسمت های متحرک شامل ریل پهلوئی و تیغه سوزن می باشد و ماشین سوزن آن را حرکت می دهد، بسیار حساس است و به همین خاطر ضعیف ترین قسمت خط به شمار می آید و در شکل زیر نشان داده شده است که همان ابتدای سوزن می باشد.

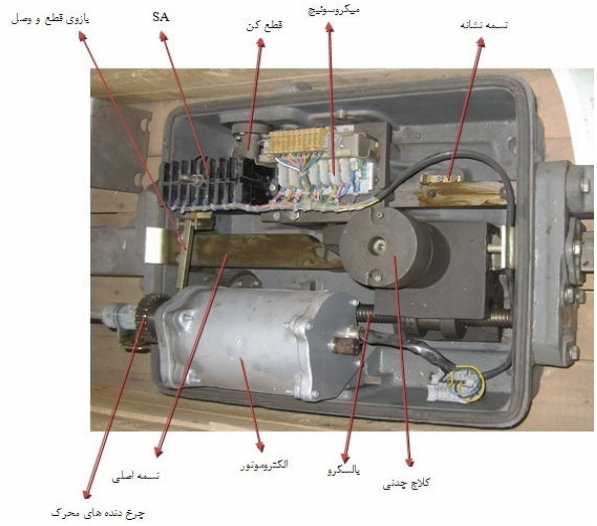
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۹– قسمت خطی سوزن

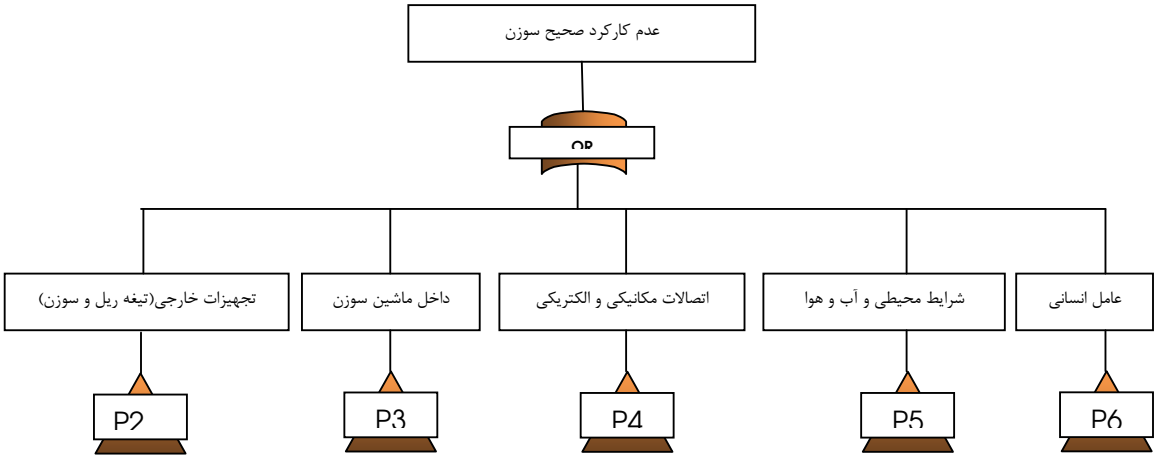
سیستم ماشین سوزن *B700k* شامل اجزای مختلف است که در شکل ۱۰ مشخص می باشد.



شکل ۱۰– ماشین سوزن B700k

۶– تحلیل خرابی سیستم سوزن

با توجه به روش *FTA* خرابی های سیستم سوزن به ۵ دسته تقسیم می شود که این تقسیم بندی شامل عامل انسانی، شرایط محیطی، اتصالات مکانیکی و الکتریکی، ماشین سوزن و تجهیزات خارجی (خط) تقسیم شده است. شکل ۱۵و ۱۶ دو مورد آنالیز درخت خطای استفاده شده در تحلیل را آورده است.



شکل ۱۱- دسته بندی کلی خطاهای سیستم سوزن با روش FTA

www.SID.ir

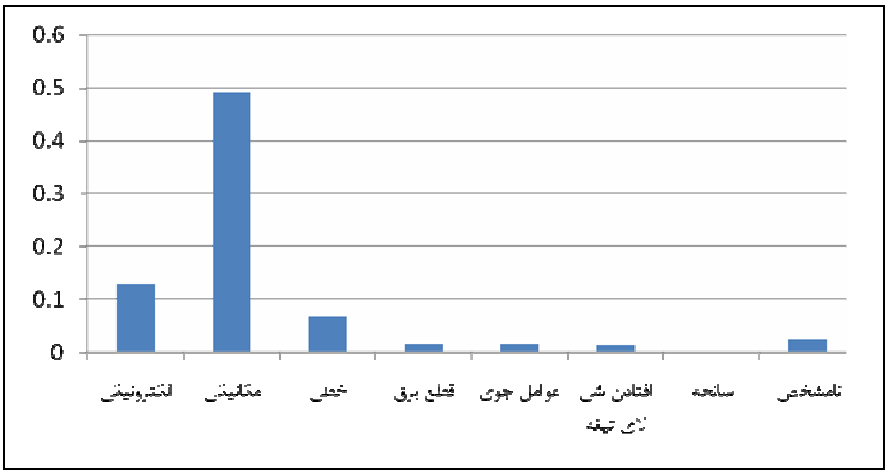
Archive of SID

با توجه به حساس بودن سیستم سوزن، تحلیل خرابی بسیار کامل انجام شده است اما به دلیل محدودیت در این مقاله چند درخت آن را به طور نمونه برای دو حالتی که بیشترین آمار خرابی ماشین سوزن و سوزن متعلق به آن است آورده شده است.

۶-۱- آمار مربوط به خرابی ماشین سوزن

طبق آماری که از راه آهن ج.ا.ا بدست آمده است خرابی های متعلق به ماشین سوزن *B700k* و *M700k* در سال ۸۷ در چند دسته تقسیم شده است که در شکل زیر مشخص می باشد.

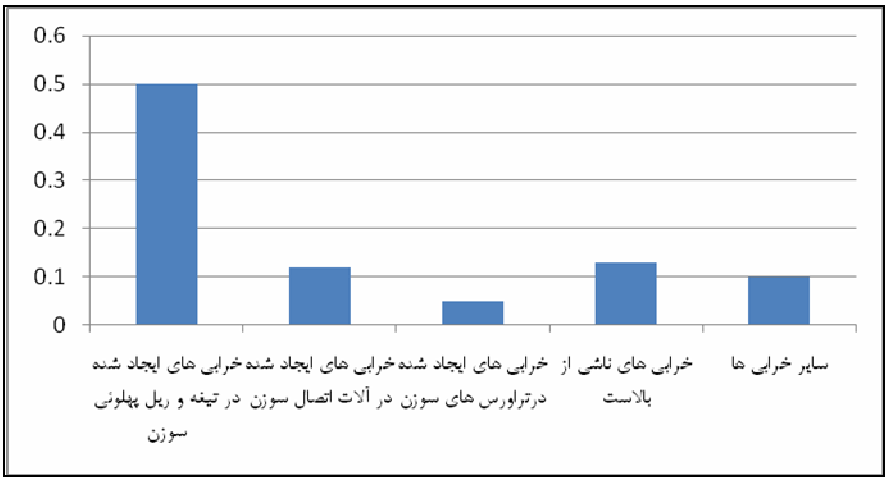
لازم به ذکر است خرابی های مکانیکی و الکترونیکی ذکر شده مربوط به علائم می باشد، همچنین خرابی مکانیکی شامل عدم تنظیم، خرابی میله های سوزن، خرابی کلاچ و خرابی بالسکرو می باشد و خرابی های الکترونیکی شامل خرابی الکتروموتور ماشین سوزن، میکرو سوئیچ و قطع کابل است. با توجه به شکل ۱۲ مشخص است که بیشترین خرابی متعلق به خرابی مکانیکی می باشد



شکل ۱۲: نرخ خرابی(λ) متعلق به اجزایه ماشین سوزن ***B700k*** و ***M700k*** در یک سال

۶-۲- آمار مربوط به خرابی خطی سوزن

با توجه به نظرات کارشناسان اداره خط و آمار موجود در اداره خط راه آهن خرابیهای خط به ۶ گروه اصلی تقسیم شده است که در شکل ۱۳ به همراه نرخ خرابیهای آنها مشخص است و نشان می دهد که آمار خرابی های مربوط به تیغه و ریل پهلوئی بیشتر از سایر خرابی ها می باشد.



شکل ۱۳ : نرخ خرابی مربوط به اجزای خطی سوزن در یک سال

www.SID.ir

Archive of SID

۷- کاربرد روش تحلیل خطا در پیشگیری از سوانح

با توجه به اینکه تمامی علل خرابی با روش تحلیل خطا بدست می آیند بنابراین تحلیل سوانح راحت تر می شود. برای ثبت سوانح و خرابی های موجود در راه آهن پیشنهاد می شود از فرمت های خاصی برای ثبت خرابی ها و سوانح استفاده گردد که هم تعمیرات آسانتر و هم ثبت سوانح و پیشگیری از شرایط خطر ساز کاهش یابد. فرم زیر را به عنوان پیشنهاد برای ثبت خرابی ها و ایجاد یک پایگاه داده برای ثبت خرابی ها و علل ریشه ای آن پییشنهاد می گردد.

وابنیه فنی اداره کل خط | **فرم تکمیل خرا بی های سوزن**

علل خرابی ها و شدت و اثرات آنها در فرم ضمیمه آمده است که با ت.جه به کد ها و ارقام پر گردد و در صورت نبودن مورد بخصوص آن موارد ذکر گردد.

اداره کل راه آهن : ناحیه: ایستگاه:

ردیف	تاریخ خرابی	نوع تجهیزات	فوس دار (مستقیم)	شعاع	کشور سازنده	نوع خرابی	علت خرابی	محل خرابی	مدت زمان خرابی	اثر خرا:

مهر و تاریخ تنظیم :

شکل ۱۴ : فرم پیشنهادی برای ثبت علل سوانح سوزن

۸- نتیجه گیری

شناسائی خطا مهمترین گام برای ارزیابی قابلیت اطمینان و پایش وضعیت می باشد که در اینجا از روش آنالیز درخت خطا استفاده شده است که به تمامی خطاها و عوامل ریشه ای آن می پردازد.

با توجه به کاربردی بودن این روش برای بالا بردن ایمنی و جلوگیری از سوانح ریلی پیشنهاداتی در جهت ایجاد برخی از سیستم های مستند سازی و کمک آن در پیشگیری و بررسی از سوانح می باشد. و کاربرد آن برای شناسائی تمامی علل خطا می توان با توجه به نشانه های بدست آمده از سنسورها به نوع خطا پی برد و علل ریشه ای آن را بدست آورد.

۹- مراجع

(1) مقدمه ای بر سیستم جامع مدیریت تعمیر و نگهداری خطوط راه آهن- گروه خط و ابنیه-۱۳۸۱

(2)بررسی اهمیت ایمنی در سیر و حرکت راه آهن

(3) *"Fault –Diagnosis Systems-An introduction from fault detection to fault tolerance", Rolf Isermann, springer,2005*

(4) *"Model-based fault-detection and diagnosis-Status and applications", Rolf Isermann, Annual Review in control, 2004*

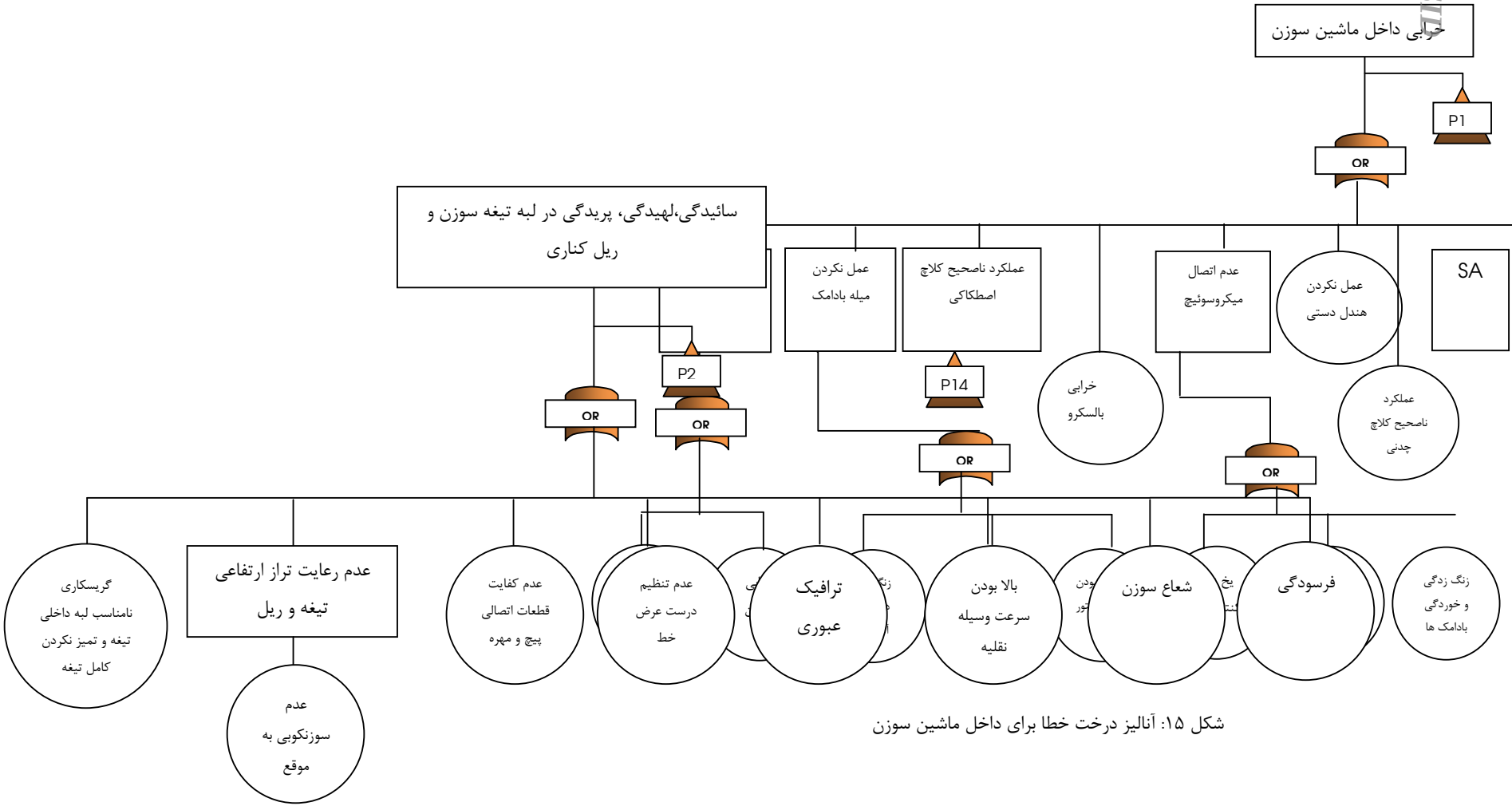
(5) *"Applied optimal control & Estimation", Frank L.Lewis*

(6) "A review of process fault detection and diagnosis", Part II :Qualitative models and search strategies, Venkat Venkatasubramanian, Raghunathan Rengaswamy, Surya N.Kavuri, Kewen Yin, Computer & Chemical Engineering,2002

(7) "Concepts and Techniques for railway condition monitoring", R.M.Goodall,C.Roberts

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۵: آنالیز درخت خطا برای داخل ماشین سوزن

www.SID.ir

شکل ۱۶: آنالیز درخت خطا برای خرابیهای تیغه سوزن و ریل کناری

Archive of SID

www.SID.ir