ارایه الگوریتم و مدل ارزیابی تحلیل سوانح ریلی با استفاده از سیستم‌های هوشمند عصبی- فازی
(مطالعه موردی خروج از خط)

ناصر پورمعلم، استادیار، دانشکده فنی- مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران.
رضا دزفولیان، کارشناس ارشد، وزارت راه و ترابری، تهران، ایران.
E-mail: dnpm@ikiu.ac.ir

چکیده
سانحه ریلي از مسایل مهمي است که آگاهی و شناخت علل ایجاد آن، نقش مؤثری در افزایش ضریب ایمنی و کاهش خسارات جانی و مالی در حمل‌ونقل ریلی خواهد داشت. با بررسي آمار سوانح ریلي در مي‌یابیم که از بین انواع سوانح ریلي، خروج از خط داراي بیشترین سهم مي‌باشد. معمولاً شناخت و تحلیل تخصصی عوامل و علل خروج از خط (خطی، خطای انسانی، وسایل نقلیه ریلي و عوامل طبیعی) به دلیل پیچیدگي و مبهم بودن رفتار بین خط و هریك از علل، آسان نخواهد بود و یك رابطه کمي-کیفي است. بررسي سوانح ریلي حاکي از آن است که در تحلیل جامع آنها به تعداد معدود، به مدل‌هاي تحلیلي سنتي پرداخته شده است. در این میان، محدودیت‌هاي این مدل‌ها چون: تك بعدي بودن (کمي)، عدم لحاظ شرایط مؤثر در ارزیابي‌هاي کمي ، پیچیدگي در توصیف رفتاري و عدم استنتاج از آنها جهت تصمیم سازي‌هاي چند منظوره به وضوح نمایان مي‌باشد. در این تحقیق با کاربرد روش‌هاي ترکیبي استنتاجي هوشمند عصبي- فازي، نسبت به ساده‌سازي توصیف رفتاري کمي-کیفي، بسترسازي و ارزیابي کمي-کیفي و استنتاج شرطي جهت تصمیم‌سازي هاي چند منظوره در ارزیابي سوانح ریلي و در نهایت ارایه یك مدل پیش‌بیني گام برداشته مي‌شود. لازم به ذکر است که علیرغم وجود مسایلي چون پیچیدگي رفتاري بین عوامل تأثیرگذار در سوانح و عدم جامع بودن آمار و اطلاعات موجود، محققان این تحقیق تلاش نموده تا با شناخت و آگاهي کامل از کلیه مشکلات و مسایل و با توجه به بضاعت موجود، الگوریتم انجام طرح را در این تحقیق به صورت موردي و قابل تعمیم براي تحلیل جامع تر و ارزیابي چند بعدي معیارها و علل سوانح ارایه نمایند. مطمئناً مدل پیش‌بیني ارایه شده و الگوبرداري از آن زمینه مناسب جهت برنامه‌ریزي مدیریت ایمني در سوانح ریلي را فراهم خواهد ساخت.

واژه‌های کلیدی: خروج از خط، سیستم‌های هوشمند عصبی- فازی، الگوریتم، مدل ارزیابی، سوانح ریلی.

۱. مقدمه
با بررسی نظام‌های اصلی حمل‌ونقل و مقایسه آنها، می‌توان به تحرک و کارایی نسبتاً مناسب حمل‌ونقل ریلی پی برد[۱]. جهت پاسخگویی به تقاضای فزآینده استفاده از این شیوه حمل‌ونقل، نیازمند مدیریت در کلیه زیربخش‌های ریلی چون: ایمنی، بهره‌برداری ناوگان و خطوط، تخصیص بودجه، آموزش و بکارگیری نیروی متخصص و تعمیر و نگهداری خطوط، ابنیه و ناوگان خواهیم بود که در این تحقیق موضوع ایمنی را مورد بررسی قرار خواهیم داد. برطبق آمار و اطلاعات در ۱۰ سال گذشته (۱۳۸۶-۱۳۷۷)، شمارسوانح خروج از خط قطار در ایران حدود ۵۰٪ سوانح راه‌آهن را تشکیل داده است[۲]. این

معضل از مسایل مهمی است که در حمل‌ونقل ریلی مطرح می‌باشد. در بعضی موارد دلایل خروج از خط به وضوح مشهود می‌باشند اما در اکثر پیشامدها بدین سادگی نبوده و نیاز به بررسی بیشتر را طلب می‌نماید. به عنوان مثال با توجه به بررسی‌های صورت گرفته و طبق آمار و اطلاعات موجود، تعدادی از سوانح ریلی هنگامی اتفاق می‌افتند که وضعیت و ثبات قطارها و خطوط از حدود و استانداردهای تعیین شده‌ای که جهت ایمنی آنها وضع شده‌اند، بیشتر نمی‌باشند و بالعکس. با بررسی تجربیات حاصل از تعدادی از سوانح خروج از خط قطارهای باری در می‌یابیم که علیرغم اینکه فاکتورهای مؤثر در خروج از خط بیش از حدود تعیین شده و استاندارد بوده‌اند، سانحه روی نداده است، اگرچه چرخهای وسایل نقلیه ریلی به حالت معلق در آمده باشند[۵و٤و۳]. موارد نامبرده فوق الذکر لزوم بررسی جامع و تخصصی موضوع را طلب می‌نماید. در این گونه موارد با استفاده از روش‌های تحلیلی ساده صرفاً مبتنی بر تجربه و یا آمار ناقص نمی‌توان به ارزیابی کامل سوانح خروج از خط پرداخت. با بررسی نتایج حاصل از سوانح خروج از خط در می‌یابیم که در بررسی هر سانحه باید اثرات متقابل علل مؤثر در سانحه چون عوامل مربوط به شرایط وسایل نقلیه ریلی، خطوط ریلی و شرایط بهره‌برداری مورد بررسی دقیق واقع شود. شایان ذکراست که ترکیب هر یک از عوامل نامبرده می‌تواند در شرایطی ویژه موجب خروج از خط قطار گردد. تنها راه کاهش سوانح خروج از خط، یافتن دلایل واقعی مؤثر بر سوانح، بدست آوردن حدود مجاز مربوط به هریک و در نهایت ارایه یک مدل تحلیلی پیش‌بینی سوانح می‌باشد [٦و۳]. در این تحقیق تلاش می‌گردد با کاربرد یک روش هوشمند تحلیلی، در قالب یک مثال موردی به توانایی روش‌های نوین عصبی- فازی در ارزیابی سوانح خروج از خط و ارایه یک مدل پیش بینی پرداخته شود.

۱-۱ اهمیت موضوع، مواضع و مشکلات

امروزه علیرغم تلاش‌های بسیاری که در دنیا به منظور کاهش سوانح ریلی انجام می‌گیرد نظاره‌گر سوانحی می‌باشیم که علاوه بر خسارات مالی، موجب تلفات جانی و جبران ناپذیری خواهد شد. بدین منظور جهت رفع آن سرمایه‌های بسیاری جهت بهبود استانداردهای ایمنی ریلی و مدیریت صحیح سوانح صرف شده است[۷]. با توجه به تاریخچه و مطالعه مدل‌های تحلیلی سنتی سوانح ریلی می‌توان به مسایل و مشکلاتی همچون تک بعدی بودن مدلها (کمی)، عدم لحاظ کلیه شرایط مؤثر در ارزیابی‌های کمی، پیچیدگی مدل‌ها در توصیف رفتاری و عدم استنتاج از مدل‌ها جهت تصمیم‌سازیهای چند منظوره اشاره کرد. همچنین عدم جامعیت آمار مورد نیاز موجود از دیگر مسایلی است که رفع آن نقش مؤثری در ارزیابی‌ها خواهد داشت. آشنایی با توان ساختار ارایه شده عصبی- فازی در این تحقیق و همچنین توسعه و الگوبرداری از آن نقش مؤثری در ارزیابی و پیش بینی سوانح ریلی، کاهش تلفات جانی و خسارات مالی خواهد داشت. بر این اساس ارایه یک مدل تحلیلی پیش‌بینی سوانح ریلی نیازمند شناخت و آگاهی‌از جزییات هریک از سوانح می‌باشد. عدم انجام این مهم از مسایل و مشکلات اساسی است که طرح یک مدل هوشمندانه تحلیل سوانح را با نقصان روبرو می‌سازد. عموماً بلایا و وقایع طبیعی، خرابکاری و عملیات تخریب، وجود عیوب و نقصان در اجزای تشکیل دهنده خط و وسایل نقلیه ریلی، قصور، غفلت نیروی انسانی مرتبط و فقدان درک و فرهنگ ایمنی و محدودیت سیستم را می‌توان علل ایجاد یک سانحه دانست[۷]. در این ارتباط ایمنی در حمل و نقل ریلی با ترکیبی از فناوری مناسب، کاربرد قوانین و قواعد مربوط به طراحی، اجرا، نگهداری و تعمیر خط،اجزای آنها و موارد مشابه مربوط به وسایل‌نقلیه‌ریلی و بهره‌برداری‌صحیح‌از آنها و همچنین استفاده از نیروی متخصص و آموزش دیده واجد شرایط به دست می‌آید[۸]. براساس آمار حوادث و سوابق، خطای نیروی انسانی همواره عامل وقوع بالغ بر نیمی از حوادث راه‌آهنی بوده است و چنانچه نقش غیرمستقیم عوامل انسانی در نظر گرفته شود، این میزان فراتر نیز خواهد رفت. عامل خط و واگن در رتبه‌های بعدی قرار دارند[۲]. شناخت عوامل و متغیرهای مؤثر در غفلت و خطای نیروی‌انسانی از مهمترین مواردی است که مورد بحث و بررسی می‌باشد. عواملی چون آموزش، تنبیه، ایجاد انگیزه مناسب و تشویق، تسهیلات‌مناسب‌حین کار، معاینات پزشکی مستمر و ...از مواردی می‌باشند که از وقوع مکرر اشتباهات و قصور کارکنان می‌کاهند. در این تحقیق به **عوامل بهره برداری و خطای نیروی انسانی** به عنوان یکی از مهمترین علل سوانح ریلی ایران پرداخته می‌شود.

۲. سوانح در سیستم حمل‌ونقل ریلی ایران

سوانح در سیستم حمل‌ونقل ریلی ایران به ۲ دسته حوادث راه‌آهنی و حوادث غیر راه‌آهنی تقسیم می‌شوند. حوادث خروج از خط، برخورد وسایل نقلیه ریلی به یکدیگر، آتش‌سوزی، فرار قطار و واگن و سایر حوادث (ریزش کوه و غیره) به عنوان حوادث راه‌آهنی مد نظر قرار می‌گیرند. در حالی که منظور از حوادث غیر راه‌آهنی برخورد با وسایل نقلیه جاده‌ای در محل تقاطع همسطح، برخورد با عابر، سقوط مسافر از قطار، پرتاب سنگ و ... می‌باشد[۹]. در ادامه با توجه به درصد بالای سوانح خروج از خط نسبت به دیگر سوانح، به عوامل ایجاد سوانح خروج از خط خواهیم پرداخت.

۲-۱ عوامل ایجاد سوانح خروج از خط

اداره کل حفاظت و ایمنی سیر و حرکت، عوامل ایجاد سوانح ریلی را به صورت عوامل مربوط به نیروی انسانی، عوامل مربوط به خط، عوامل مربوط به لکوموتیو و واگن، عوامل مربوط به علایم و غیره دسته‌بندی می‌نماید[۱۱و۱۰]. در ادامه به عواملی که منجر به خروج از خط می‌شوند می‌پردازیم:

الف- عوامل بهره‌برداری و خطای نیروی انسانی: چون عدم دگاژ، حرکت قبل از قفل شدن سوزن، دادن مسیر غلط، حرکت قبل از اخذ مسیر، وجود جسم خارجی درخط یا سوزن، عدم مهار واگنهای متوقف ضربه به واگن، بارگیری غلط و عدم مهار صحیح واگنها، عبور از روی سوزن غلط و... و همچنین سرعت غیرمجاز خواهد بود. به عنوان مصادیقی از سرعت غیرمجاز که ممکن است باعث ایجاد خروج از خط گردد می‌توان به سرعت بیش از حد مجاز، سرعت بسیار کم، خروج از خط ناشی از تغییرات شتاب (افزایش سریع سرعت/ زمان) در محل اتمام محدوده کاهش سرعت (منطقه تقلیل سرعت) یا افزایش سریع آن در شرایط عادی سیر (فراز- شیب)، خروج از خط ناشی از تغییرات شتاب (کاهش سریع سرعت/ زمان) در محل شروع محدوده کاهش سرعت (منطقه تقلیل سرعت) یا کاهش سریع آن در شرایط عادی سیر(شیب- فراز) اشاره کرد[۳].

ب- علل‌خطی: چون اشکال در راستای خط، افتادگی خط، پیچش خط، خرابی اجزای خط، کمبود و پروفیل نامناسب بالاست، فرار خط، خرابی زیرسازی، خرابی در قوس و ... .

ج) **علل مربوط به وسایل نقلیه ریلی:** چون اشکال در ترمز، خرابی محور، بریدگی سر محور، چسبندگی بالشتک، شکستگی شاسی، در آمدن و لقی طوقه و ... .

د) علایم و عوامل طبیعی: همچون وجود علامت غلط در ورود
و خروج به ایستگاه، سیل، زلزله، رانش زمین، طوفان، ریزش کوه و مسدودی خط و .... در خصوص ساز و کار خروج از خط و تئوری‌های موجود در این زمینه می‌توان به تحقیقات انجام گرفته مراجعه نمود[۱۱].

۳. عوامل مؤثر بر ایجاد خطای انسانی و بهره‌برداری

آگاهی از عوامل مؤثر بر ایجاد خطای انسانی و بهره‌برداری، نقش مؤثری در انتخاب متغیرهای ساخت مدل خواهد داشت. با بررسی آمار سوانح ملاحظه می‌گردد که درصد قابل ملاحظه‌ای از حوادث ریلی کشور به عوامل خطای انسانی باز می‌گردد. خطاهای انسانی به عنوان مهمترین عامل سوانح ریلی کشور، خود از عوامل مختلفی همچون اثرات فیزیکی و جسمانی، روانی و رفتاری، اقتصادی، محیطی، تسهیلات و خدمات بهداشتی و تفریحی و عامل فرهنگی - آموزشی تأثیر می‌پذیرد. این موارد در ابعاد گوناگون و به صورت مستقیم یا غیرمستقیم بر بروز سوانح اثر دارند[۱۴و۱۳و۱۲]. خطای انسانی و بهره‌برداری می‌تواند توسط تعدادی از مأمورین و پرسنل مرتبط با سیر و حرکت و ایمنی چون (لکوموتیوران و...) و در مواردی اندک، مسافرین و حاشیه‌نشینان روی می‌دهد. به عنوان نمونه‌هایی از خطاهای مأمورین و پرسنل می‌توان به سوزن غلط یا نیمه باز، عدم توجه به علایم، عدم رعایت سرعت مجاز، عدم آشنایی برخی لکوموتیوران‌ها با مسیر، عدم دقت در کنترل ترمز و صدور جواز، عدم رعایت اصول بارگیری، عدم تصمیم گیری به‌موقع نیروی انسانی، عدم دقت در بازدید قطار و ... اشاره کرد. همچنین مواردی همچون بی‌توجهی مسافر در پیاده و سوار شدن به قطار، پرتاب سنگ و زخمی کردن مسافرین و مأمورین، ورود کودکان برای بازی در خط و .... در گروه خطای مسافرین و حاشیه‌نشینان طبقه‌بندی می‌شود[۱۴].

با توجه به بررسی کلی آمار سوانح و نقش موارد یاد شده، می‌توان نقش عوامل موثر در ایجاد خطا چون تجربه، سن و میزان تحصیلات و ... را مورد بررسی قرار داد.

سن عامل تعیین کننده‌ای در توانایی افراد در انجام مناسب امور می‌باشد. با بالا رفتن سن توانایی جسمی و فکری تحلیل رفته و قدرت عکس‌العمل در هنگام حادثه به نحوه چشمگیری کاهش می‌یابد. از طرفی میزان مقاومت شخص در شرایط سخت کار کاهش یافته، احساس خستگی بیشتر شده و احتمال بروز سانحه نیز افزایش می‌یابد. در مقابل هرچه تجربه بیشتر باشد، میزان شناخت و احاطه بیشتر بوده و احتمال بروز حادثه کمتر است. نتایج یک تحقیق نشان می‌دهد لکوموتیورانان بیشتر در سنین ابتدای خدمت (۲۱ تا۳۰ سالگی) مرتکب سانحه شده‌اند که علت این امر عدم تجربه کافی با توجه به حساسیت شغل و اثر عوامل روحی روانی با توجه به شرایط جوان بودن است[۱٤]. از طرف دیگر هرچه سطح تحصیلات بالاتر باشد، دید بر شرایط کار وسیع‌تر و کلان‌تر بوده و احتمال بروز اشتباه و سانحه کمتر است. آمار و اطلاعات موجود در راه‌آهن نیز گویای این واقعیت است[۱٤و۱۲].

۳-۱ نقاط تقلیل سرعت/ نقاط عادی سیر و ارتباط آن با خطای انسان

تقلیل سرعت عبارت است از پایین آوردن سرعت در سیر نرمال و حرکت در محلهای خاصی از مسیر با سرعتی مشخص و کمتر. این مسأله ممکن است به دلایلی همچون عوامل مربوط به زیرسازی، روسازی، ناوگان، عوامل طبیعی و ... اعمال گردد. مطالعه سوانح نشان داده است که بخشی از سوانح مربوط به محلهای تقلیل سرعت است. در واقع مناطق تقلیل سرعت از نقاط ضعف مسیر محسوب می‌شود و خطای انسانی در عدم رعایت مقررات عبور، ممکن است موجب ایجاد سانحه گردد[۱۵]. در این خصوص استفاده از لکوموتیورانان واجد شرایط و استفاده از ابزارهای هشدار دهنده، باعث کاهش سوانح خواهد بود. همچنین از موارد منجر به عدم رعایت سرعت مجاز در منطقه عادی سیر و همچنین در نقاط تقلیل سرعت می‌توان به سهل انگاری، عدم هوشیاری، بی‌دقتی و فراموشی لکوموتیوران، عدم صدور حکم احتیاط، کنده شدن یا افتادگی تابلوهای سرعت، و... اشاره کرد[۱۵].

٤. مدل‌های پیش‌بینی

در حالت کلی مدل‌های پیش‌بینی را می‌توان به سه گروه مدل‌های کیفی، کمی و ترکیب هوشمند مدل‌های کمی- کیفی تقسیم نمود. مدل‌های کیفی به گروه‌هایی چون روش دلفی، روش گروه اعتباری و روش متکی بر اطلاعات گذشته و مدل‌های کمی به گروه‌هایی چون روش میانگین ساده، میانگین ساده متحرک، میانگین وزنی متحرک، نمایی یکنواخت، نمایی یکنواخت دوگانه و ... تقسیم می‌شوند، خوانندگان می‌توانند به مراجع مربوط مراجعه نمایند[۱٦]. با توسعه سریع علم اطلاعات در دهه ۸۰، روش تحلیلی فرا ترکیبی[۱] توسط *QIAN Xueseng* پیشنهاد گردید. در اصل این روش، یک سیستم ترکیبی انسان- ماشین است که متشکل از گروه کارشناسان، داده، سیستم اطلاعات و رایانه می‌باشد. بر اساس داده‌ها و اطلاعات مشاهده‌ای موجود، مدل‌های هوشمند ترکیبی کمی – کفی با استفاده از انواع روش‌های جدید، ریاضیات و رایانه ساخته شده است. در ارزیابی سوانح خروج از خط که بر پایه فناوری هوشمند می‌باشد، موضوع کلیدی آن است که چگونه علل اصلی سوانح خروج از خط را به وسیله روش‌های هوشمند تحلیل نموده و چگونه به ترکیب هوشمندی فراتر از تمام روش‌های تحلیلی موجود نایل آییم[۳].

۵. تحلیل هوشمند حوادث

با توجه به کاربرد هوش مصنوعی[۲] و هوش محاسباتی[۳] در نقش بازشناسی و تشخیص عیوب، پیش بینی و ...، فناوری پردازش هوشمند اطلاعات که براساس دانش ذاتی و هوش محاسباتی عمل می‌نماید به عنوان راه حل مناسبی جهت تحلیل حوادث معرفی گردیده است[۳]. در این تحقیق با توجه به کاربرد موفق تکنیک‌های هوش مصنوعی در تشخیص عیوب و پیش‌بینی سعی گردیده تا با در نظر گرفتن علل سوانح، از منطق فازی و شبکه‌های عصبی جهت تحلیل کمی- کیفی سوانح خروج از خط استفاده شود.

۵-۱ فناوری هوشمند و تحلیل خروج از خط

سیستم حمل و نقل ریلی، سیستم گسترده‌ای است که نقش تحلیل خروج از خط یک سانحه در آن بسیار مهم می‌باشد. در

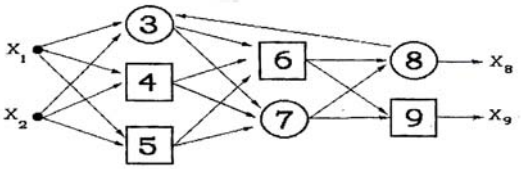
ادامه به معرفی و کاربرد تعدادی از روش‌ها و مدل‌های تحلیلی هوشمند سوانح خواهیم پرداخت.

۵-۱-۱ شبکه‌های عصبی و تحلیل سانحه

شبکه‌های عصبی با الهام از عملکرد مغز انسان ساخته شده‌اند. مغز، سیستم پردازش داده‌ای بسیار پیچیده غیرخطی و موازی است که از واحدهای ساختاری به نام سلول عصبی یا نرون تشکیل شده است. این نرون‌ها یا سلول‌های عصبی از اتصالات بسیاری با هم تشکیل شده‌اند. شبکه‌های عصبی مصنوعی احتیاج به مدل ریاضیاتی ندارند. این شبکه‌ها مانند انسان تجربه می‌اندوزند و سپس این تجربیات را تعمیم می‌دهند. امروزه این شبکه‌ها برای حل مسائل بسیاری از قبیل پیش بینی، تخمین، تشخیص الگو، طبقه‌بندی و خوشه‌بندی به کار می‌روند[۱۸و۱۷]. در حالت کلی شبکه‌های عصبی می‌توانند به عنوان جعبه‌های سیاهی در نظر گرفته شوند که ورودی را دریافت نموده و با استفاده از توابع ترکیب و انتقال خروجی ایجاد می‌کنند. برای حل مسائل شبکه‌های عصبی سه مرحله آموزش، تعمیم (آزمایش) و اجرا طی می‌شود. شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده‌های بسیاری همچون پردازش چند منظوره، پیش‌بینی، حافظه یادگیری و... دارند. با توجه به کاربرد مناسب شبکه‌های عصبی در پردازش اطلاعات سانحه به راحتی می‌توان از آنها جهت تشخیص موضوع مورد بررسی، تحلیل و دسته‌بندی، انتخاب ترکیب، آموزش الگو و ... استفاده نمود[۱۹و۳].

۵-۱-۲ تحلیل خروج از خط براساس منطق فازی

نظریه مجموعه‌های فازی نظریه‌ای برای اقدام در شرایط عدم اطمینان است. این نظریه قادر است بسیاری از مفاهیم، متغیرها و سیستم‌هایی که نادقیق و مبهم هستند را صورت‌بندی ریاضی بخشد و زمینه را برای استدلال، استنتاج، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد. این نظریه، یک تعمیم یا گسترش طبیعی نظریه مجموعه‌های معمولی است که با زبان و فهم طبیعی انسانها نیز موافق است[۲۰و۱۸]. مشخصه مهم تئوری مجموعه فازی آن است که به وسیله آن به طور برجسته می‌توان مدل تفکر و تجربیات انسان را در قالب قوانین فازی بیان نمود و با توجه به سنجش فازی، تشخیص و استدلال یک تصمیم پیچیده را آسان کرد. اساس شناخت مجموعه فازی، آگاهی از تئوری منطق فازی می‌باشد که در آن درجه تابع تعلق، ارتباط بین عضو و مجموعه را شرح می‌دهد. در حقیقت منطق فازی به عضو اجازه می‌دهد تا در حالت بینابینی به یک مجموعه متعلق باشد[۳]. در ادامه و به دلیل ارتباط موضوعی، به اختصار به شبکه‌های تطبیقی (سیستم های استنتاجی عصبی- فازی تطبیقی) ANFIS[۴] نیز اشاره می‌شود. شبکه‌های تطبیقی را می‌توان ابر مجموعه شبکه‌های عصبی دانست. به طور کلی یک شبکه تطبیقی، شبکه‌ای است متشکل از تعدادی گره است که از طریق اتصالات جهت دار به یکدیگر متصل شده‌اند. هرگره بیان کننده یک واحد پردازشی است و اتصالات بین گره‌ها، ارتباط بین گره‌های متصل شده را نشان می‌دهد که در آن قسمتی یا تمامی گره‌ها تطبیقی هستند. در شکل۱ نمونه‌ای از یک شبکه تطبیقی ریکارنت با دو ورودی و دو خروجی نشان داده شده است که در آن یک اتصال پس‌خور یک مسیر حلقوی را در شبکه شکل می‌دهد.



شکل ۱. شبکه تطبیقی ریکارنت[۱۸]

در ادامه یک سیستم استنتاج فازی مورد نظر با دو ورودی x و y و یک خروجی z را نشان می‌دهیم. برای مدل فازی سوگینو مرتبه اول[۵] مجموعه قوانین اگر – آنگاه[۶] فازی به صورت زیر است:

(۱)

Rule 1: if x is A_1 and y is B_1 then $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$
Rule 2: if x is A_2 and y is B_2 then $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$

شکل (۲) (a) مکانیزم استدلال را برای این مدل سوگینو نشان می‌دهد. معماری ANFIS مربوط به آن در شکل (۲) (b) در جایی که گره‌های هر لایه توابع مشابه دارند نشان داده شده است.

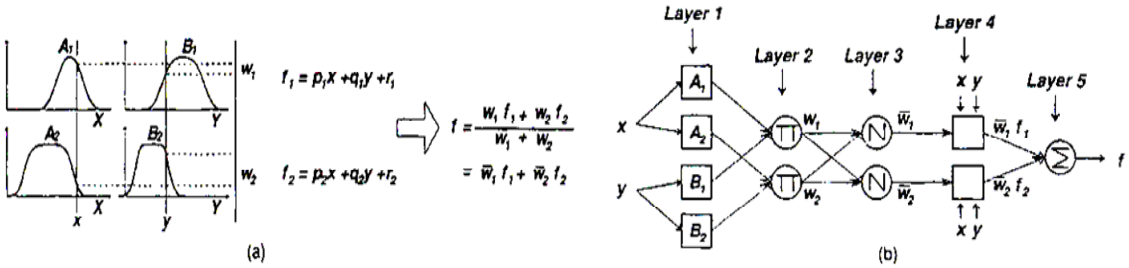
٦. نوآوری تحقیق و روش انجام مطالعه

ارایه یک مدل جامع و کاربردی در تحلیل سوانح ریلی مستلزم آگاهی کافی از علل تأثیرگذار بر ایجاد سانحه و در نظر گرفتن اثرات متقابل آنها بر یکدیگر می‌باشد. گستردگی و حجم فعالیت مورد نظر به حدی است که علاوه بر زمان مورد نیاز

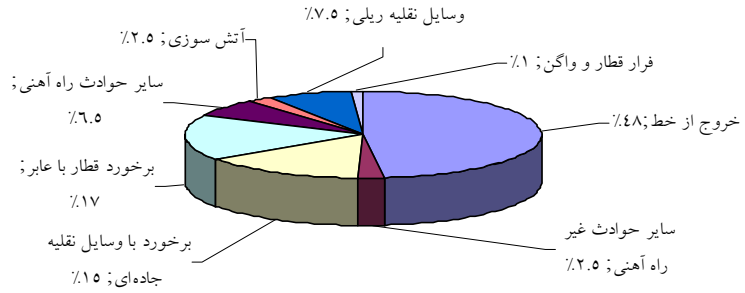
انجام آن، همکاری چند گروه تخصصی را طلب می‌نماید. در این تحقیق تلاش گردیده است علیرغم تمام محدودیت‌های موجود به ارایه مدل و ساختاری جدید پرداخته شود. بدون تردید با توسعه مدل و الگوی پیشنهادی تحلیل سوانح و در نظر گرفتن تمامی عوامل می‌توان به یک مدل جامع تحلیل سوانح (پیش بینی) دست یافت. در ادامه با توجه به بررسی آمار و اطلاعات و محدودیت‌های موجود، در قالب مدل عصبی-فازی، به مهمترین عامل مؤثر در ایجاد سوانح ریلی، خطای انسانی و بهره‌برداری و شرایط لکوموتیوران در انجام سرعت غیر مجاز و نهایتاً وقوع سانحه خروج از خط پرداخته می‌شود.

در اشکال زیر آمار و اطلاعات انواع و عوامل ایجاد سوانح ریلی ایران سالهای ۸۵ و ۸۶ ارایه شده است[۲۱].

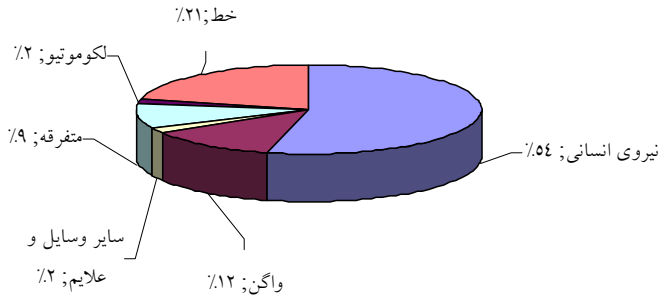
آنچنان که ملاحظه می‌گردد، از بین انواع سوانح ریلی ایران، خروج از خط بیشترین درصد را به خود اختصاص داده و از بین عوامل تأثیرگذار بر ایجاد سوانح، خطای انسانی و بهره برداری بیشترین نقش را داشته است. با توجه به این موضوع و به منظور ارزیابی و تحلیل سوانح استفاده از توانایی شبکه‌های عصبی-فازی در ارایه یک مدل و ساختار تحلیلی (پیش بینی) مد نظر قرار گرفته است. به همین منظور و به جهت نیل به هدف مذکور آمار ۳۰۶ سانحه مربوط به سالهای ۷۹ الی۸۳ با کمک فرمهای ثبت سوانح مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت با توجه به عدم انطباق کامل اطلاعات موجود با متغیرهای مورد نیاز، به جهت ارایه الگوریتم و نمایش ساختار مدل دو شاخص تجربه و تحصیلات به عنوان متغیرهای ورودی و ۱ متغیر خروجی مد نظر قرار گرفت.



شکل ۲. مدل فازی مرتبه اول سوگینو با دو ورودی و دو قانون[۱۸].



شکل ۳. سهم انواع سوانح ریلی طی سالهای ۸۵ و ۸۶



شکل ٤. سهم عوامل ایجاد سوانح ریلی طی سالهای ۸۵ و ۸۶

روش انجام مطالعه در قالب مراحل زیر اشاره می‌گردد:

مرحله اول: بررسی انواع سوانح در سیستم حمل‌ونقل ریلی ایران و انتخاب خروج از خط با بیشترین سهم.

مرحله دوم: بررسی عوامل ایجاد سوانح در سیستم حمل و نقل ریلی- تحلیل اطلاعات نشان می‌دهد که عوامل مربوط به نیروی انسانی بیشترین تأثیر را در ایجاد سوانح داشته و در مدل مورد بررسی قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است که دستیابی به اطلاعات جزء و کامل مربوط به هریک از عوامل ایجاد سوانح بسیار مهم بوده و تجزیه و تحلیل هریک از علل و یا اثرات ترکیبی آنها مستلزم وجود فرم‌ها و دستورالعمل‌هایی جهت جمع آوری، طبقه‌بندی و مستندسازی تخصصی اطلاعات می‌باشد.

مرحله سوم: شامل دو بخش بررسی مشاغل سیر و حرکت مرتبط با خطاهای انسانی و بررسی عوامل انسانی باعث خروج از خط. نکته قابل توجه این است که خطاهای انسانی محدوده شغلی چه افرادی را در بر می‌گیرد و یا به بیان دیگر خطای انسانی ایجاد شده مربوط به چه افرادی می باشد. به همین منظور در ابتدا مشاغل سیر و حرکت مرتبط با خطاهای انسانی مورد توجه قرار گرفته و همزمان، بررسی عوامل خطاهای انسانی و بهره‌برداری (نوع خطاهای انسانی) نیز بررسی گردید. در نهایت با توجه به بررسی انجام گرفته به شغل "لکوموتیورانی" و به "سرعت غیر مجاز" به عنوان خطایی که لکوموتیوران آن را انجام می‌دهد خواهیم پرداخت.

آنچنان که اشاره شد، سرعت غیر مجاز در مناطق تقلیل سرعت و همچنین در شرایط عادی سیر(بدون تقلیل سرعت) ممکن است رخ دهد. خطاهای احتمالی لکوموتیوران در مناطق تقلیل سرعت ناشی از عدم توجه، بی‌دقتی به دستور احتیاط و علایم هشدار دهنده منطقه و... می‌باشد. در شرایط عادی سیر نیز عدم رعایت سرعت مجاز مربوط به هر مسیر و افزایش یا کاهش سریع سرعت (فراز/نشیب) موجب خروج از خط می‌گردد. سوالی که در این قسمت مطرح می‌باشد آن است که چه عواملی بر بروز خطای انسانی و در پی آن سرعت غیر مجاز و نهایتاً خروج از خط مؤثر می‌باشند. با مطالعه در عرصه جهانی می‌توان دریافت که توان و دقت لکوموتیوران در آگاهی کامل از شرایط محیطی، انجام عکس العمل به موقع، رعایت ضوابط ایمنی و عدم انجام خطا از پارامترهایی چون وضعیت فیزیکی، روحی و رفتاری، خودباوری بیش از حد، ارزشها، شرایط اجتماعی، اقتصادی، تجربه، میزان تحصیلات و شرایط فرهنگی تأثیر می‌پذیرد. با آگاهی از موارد نامبرده تصمیم بر آن شد که علل ایجاد خطا در چهار بخش مهارت و تجربه، میزان تحصیلات، شرایط فیزیکی و جسمانی و شرایط روانی و رفتاری به صورت کمی-کیفی مورد بررسی قرار گیرد.

مهارت یاتجربه: میزان تجربه لکوموتیوران به عنوان یک مقدار کمی و به عنوان متغیر ورودی X_1 ، جهت ساخت مدل مورد نظرخواهد بود. لازم‌به‌ذکر است در زمان انجام تحقیق اطلاعات قابل دسترس و ثبت شده مورد بررسی قرار گرفت و اطلاعات کامل سن هر لکوموتیوران در هر سانحه و در تعدادی از موارد تجربه کاری هر لکوموتیوران بدست آمد. لیکن با توجه به این مشاهدات و با در نظر گرفتن این فرض که تمای افرادی که به عنوان لکوموتیوران مشغول به خدمت می‌باشند حداقل دوره کارآموزی مربوط به کمک لکوموتیورانی را سپری کرده و در سنین جوانی به این کار مشغول گردیده‌اند وهمچنین رابطه مستقیم تجربه و سن، شاخص تجربه استخراج گردید.

تحصیلات: هرچه سطح تحصیلات پرسنل بالاتر باشد، احتمال بروز اشتباه و سانحه از طرف آنها کمتر است. با بررسی آمار سوانح می‌توان به نحوه دسته‌بندی میزان تحصیلات لکوموتیوران پرداخت و در قالب شاخص مناسب آن را ارزش‌گذاری نمود(متغیر ورودی X_2).این دسته‌بندی به‌صورت کم‌سواد(دوره لکوموتیورانی)، نهضت سوادآموزی، پنجم دبستان، سوم راهنمایی و دیپلم در نظر گرفته شده است. کل دوره تحصیل در این مطالعه دارای ارزش ۱۲ فرض شده و تحصیل در مقاطع بینابین به صورت زیر ارزش‌گذاری شده است:

- ***کم سواد:*** تحصیل در دوره لوکوموتیورانی دارای ارزش ۰/۵ از ۱۲. (مقدار ۰/۰۴۲)
- ***نهضت سوادآموزی:*** تحصیل در یکی از کلاس‌های اول تا چهارم دارای ارزش ۲ از ۱۲. (مقدار ۰/۱۷)
- ***پنجم دبستان:*** تحصیل در یکی از کلاسهای پنجم، اول و یا دوم راهنمایی دارای ارزش ۵ از ۱۲. (مقدار ۰/۴۲)
- ***سوم راهنمایی:*** دارای مدرک مقطع راهنمایی و یا تحصیل در یکی از سال‌های مقطع دبیرستان (قبل از دیپلم) دارای ارزش ۸ از ۱۲. (مقدار ۰/۶۷)

• ***دیپلم:*** دارای آخرین مدرک مقطع متوسطه دارای ارزش ۱۲ از ۱۲ (یعنی یک)

شایان ذکر است که مقادیر در نظر گرفته شده به صورت اختیاری بوده و می توان ارزش آنها را با تعریف دیگری در نظر گرفت. مقادیر ارزشی هریک از دوره‌های تحصیلی نامبرده عبارت است از:

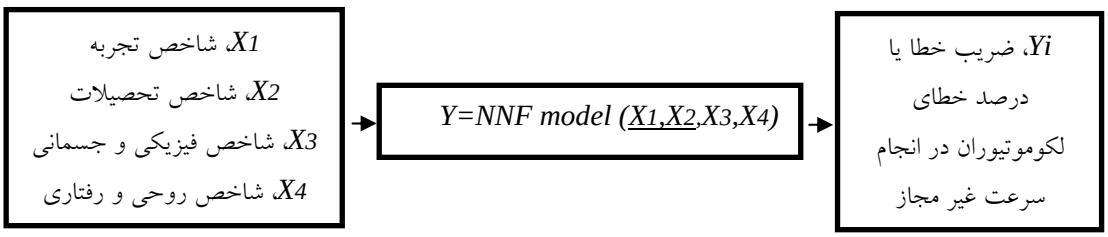
شاخص فیزیکی و جسمانی: با انجام آزمایش‌های دوره‌ای پزشکی، سلامت جسمی لکوموتیوران ارزیابی می‌شود و مواردی همچون بینایی، شنوایی، زمان عکس العمل، به خاطر سپردن دستورات (فراموشی)، قدرت تحلیل مسایل و ... مورد بررسی قرار می‌گیرد. با توجه به آگاهی از مقادیر و ارزشهای کمی و کیفی هریک می‌توان یک مقدار کمی برای ارزش کلی شرایط به‌صورت شاخص کمی بدست آورده و به عنوان متغیر ورودی X_3، برای ساخت مدل در نظر گرفت. لازم به ذکر است که در حال حاضر شاخص مربوط به شرایط فیزیکی و جسمانی در اطلاعات ایران وجود ندارد. این موضوع می‌تواند با سن تناسب داشته باشد.

شاخص روانی و رفتاری: دستیابی به مقدار این شاخص که می‌تواند از پیچیده‌ترین علل مؤثر بر خطای انسانی باشد دشوار است. این شاخص تابعی از متغیرهای تأثیرگذار بر آن همچون مشکلات اقتصادی، شرایط محیط کار، تسهیلات و خدمات آموزشی، بهداشتی، تفریحی و فرهنگی، مشکلات خانوادگی و ... می باشد. جهت آگاهی از وضعیت هریک از موارد نامبرده نیازمند بهره جستن از متخصصین روانشناسی، اقتصادی، اجتماعی و پزشکی می‌باشیم. این شاخص نیز در آمار و اطلاعات سوانح ریلی ایران وجود ندارد و می‌توان جهت ارایه یک مدل جامع تحلیل سوانح آن را به دست آورد. از مقدار این شاخص نیز به متغیر ورودی X_4، تعبیر می‌شود،

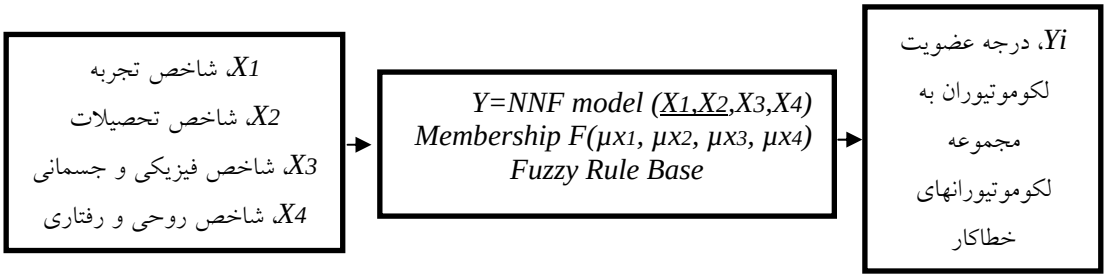
مرحله چهارم: انتخاب آمار و اطلاعات و استخراج متغیرهای ورودی و خروجی- جامعه آماری تحلیل سوانح شامل ۳۰۶ سانحه می‌باشد. با توجه به محدودیت‌ها و آمار موجود، دو متغیر سن (تجربه) و میزان تحصیلات به‌عنوان متغیرهای ورودی و مقصر بودن یا نبودن لکوموتیوران در سانحه به‌عنوان متغیرخروجی در نظر گرفته شده است. به بیان دیگر می‌توان گفت اگر در علل سانحه، سرعت غیر مجاز ذکر گردیده، به متغیر مشاهده‌ای خروجی ارزش ۱ و در غیر این صورت ارزش صفر داده شود. پس از وارد نمودن اطلاعات در *Excel* نسبت به آماده‌سازی آمار موجود مطابق با قالب شبکه‌های عصبی اقدام می‌نماییم.

مرحله پنجم: استفاده از شبکه‌های عصبی هوشمند جهت پردازش و ارایه مدل- پس از تهیه آمار و اطلاعات، پردازش اطلاعات با استفاده از شبکه‌های عصبی فرا می‌رسد. برای این منظور از نرم افزار *MATLAB* استفاده شده است. در این مرحله پس از تعیین ساختار شبکه عصبی، نسبت به آموزش و تست شبکه اقدام می‌نماییم. کل آمار موجود سوانح، به دو دسته کلی ۲۰۶ سانحه جهت آموزش و ۱۰۰ سانحه جهت تست شبکه تقسیم گردیده‌اند.

مرحله ششم: استفاده از شبکه‌های استنتاجی عصبی- فازی، پس از بررسی نتایج شبکه عصبی، ملاحظه می‌گردد که تنها مقادیر خروجی اعداد کمی بوده و مدل ساخته شده برای انسان قابل استنتاج نمی‌باشد. جهت رفع این معضل از شبکه‌های عصبی- فازی استفاده کرده و قوانین مورد نظر را از اعداد کمی استخراج می‌نماییم. با وجود این قوانین به راحتی می‌توان از ساختار اعداد کمی ارایه شده آگاهی پیدا نمود و برنامه‌ریزی لازم برای کاهش خطاهای لکوموتیوران و افزایش ضریب ایمنی را انجام داد. در شکلهای ۵ و ٦ ساختار عملکردی شبکه عصبی و شبکه عصبی- فازی ارایه شده‌اند.



شکل ۵. ساختار عملکرد شبکه عصبی (کمی-*NNF*[۷])



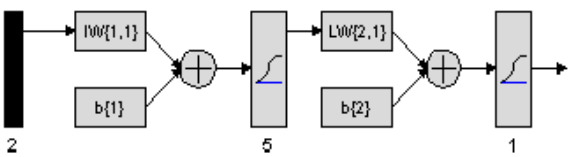
شکل ٦. ساختار عملکرد شبکه عصبی- فازی (کمی-کیفی)

۷. آنالیز و بررسی نتایج

پس از متغیرشناسی، جمع‌آوری و طبقه‌بندی اطلاعات، زمان پردازش اطلاعات و آمار آغاز می‌گردد. بدین ترتیب که ابتدا با توجه به ماهیت موضوع، مدل شبکه عصبی ساخته می‌شود و اطلاعات حاصل از آن استخراج و مورد بررسی قرار می‌گیرد. از آنجا که آمار به دست آمده فقط به صورت اعداد کمی بوده و دارای مدل و ساختار (قوانین) قابل درک انسان نمی‌باشد، این نیاز، سرآغاز استفاده از شبکه‌های استنتاجی عصبی- فازی تطبیقی خواهد بود. به همین منظور اطلاعات دسته‌بندی شده را به شبکه مورد نظر وارد نموده و قوانین و مدل مورد نیاز را مطابق با اهداف استخراج می‌نماییم.

۷-۱ تشکیل ساختار شبکه عصبی و بررسی خروجی حاصل از آن

در ساخت شبکه عصبی در این تحقیق، ساختارهای گوناگونی بررسی گردیده است. بدین گونه که با تغییر ساختار مدل هوشمند تحلیلگر در حالت‌های مختلف، تعداد لایه‌ها و نرونهای مربوط به هر لایه را تغییر دادیم. این امر خود موجب انتخاب بهترین مدل و ساختار از بین شبکه‌های گوناگون ساخته شده گردیده است. مطابق با شکل (۷) این شبکه دارای ۲ لایه می‌باشد که در لایه اول (نهانی) ۵ نرون و در لایه دوم (خروجی) مطابق با تعداد متغیر خروجی ۱ نرون در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۷. نمایش مدل شبکه ساخته شده *(NET1)*

در این مسأله، هدف تعیین شبکه‌ای با بالاترین درصد پیش‌بینی و انطباق با مقادیر مشاهده‌ای می‌باشد. با بررسی آمار مشاهده‌ای ملاحظه می‌گردد که در ۸۱ سانحه از مجموع ۳۰٦ آمار ثبت شده، لکوموتیوران به دلیل عدم رعایت سرعت مجاز موجب ایجاد سانحه و خروج از خط گردیده‌اند. این بدان معنا است که در ۲٦/٤٪ سوانح لکوموتیوران مقصر بوده است. این مقدار برای داده های آموزشی حدود ۲۷٪ و برای داده های تست ۲٦٪ بوده است. اگر مقدار خروجی حاصل از شبکه عصبی را Yi، بنامیم در این‌صورت خواهیم داشت:

(۲)

$$\frac{\sum_{i=1}^{100} Yi}{100} = \frac{28.4}{100} = 0.284 \qquad \frac{\sum_{i=1}^{306} Yi}{306} = \frac{81.71}{306} = 0.267$$

$$\frac{\sum_{i=1}^{206} Yi}{206} = \frac{53.4}{206} = 0.259$$

در این روابط، Yi: ضریب خطا و یا درصد خطای هر لکوموتیوران در انجام سرعت غیر مجاز است.

با مقایسه مقادیر حاصل از شبکه عصبی و مقادیر حاصل از داده‌های مشاهده‌ای می‌توان به اختلاف اندک خروجی‌ها و قابل قبول بودن شبکه NET1 اشاره کرد. نکته مهم آن است که می‌توان حسب نیاز تعابیر دیگری نیز بر روی خروجی‌های حاصل از شبکه عصبی انجام داد. با بررسی خروجی شبکه عصبی ملاحظه می‌گردد که مقدار بدست آمده تنها یک مقدار کمی بوده و علاوه بر مشخص نبودن ساختار مدل استفاده شده (خطی/غیرخطی)، در ساخت مدل عصبی از مفاهیم زبانی و تجربی، قوانین شرطی و استنتاجی قابل درک انسان استفاده نگردیده است. رفع این ضعف و تکمیل آن استفاده از شبکه‌های عصبی- فازی را طلب می‌نماید. در واقع با استفاده از شبکه‌های عصبی- فازی می‌توان از ساختار مدل ساخته شده و نحوه بدست آمدن مقدار نهایی Yi، آگاهی پیدا نمود و نسبت

به بهبود مقادیر کمی‌شبکه عصبی با وارد نمودن قوانین استنباطی و شرطی اقدام کرد.

۷-۲ تشکیل ساختار شبکه استنتاجی عصبی- فازی تطبیقی

در این حالت نیز همچون شبکه‌های عصبی اطلاعات دسته‌بندی شده را جهت آموزش و تست به شبکه وارد می‌نماییم. در ساخت این شبکه از توابع عضویت ذوزنقه‌ای،۳ تابع عضویت برای متغیر اول و ۵ تابع عضویت برای متغیر دوم استفاده می‌نماییم. لازم به ذکر است که انتخاب تعداد توابع عضویت و نوع آنها در جواب خروجی بسیار تأثیر گذار است. در این تحقیق شبکه عصبی- فازی ساخته شده را *ANFIS1* می‌نامیم.

۷-۳ بررسی نتایج حاصل از شبکه منتخب *ANFIS1*

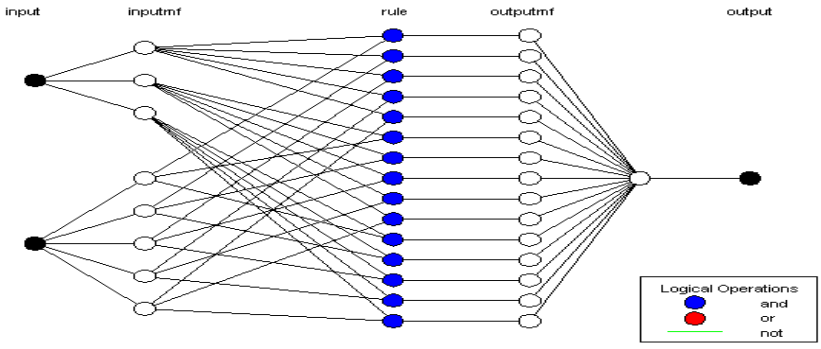
همانگونه که ذکر گردید در۲۶/۴٪ سوانح لکوموتیوران مقصر بوده است و این مقدار برای داده‌های آموزشی حدود ۲۷٪ و برای داده‌های تست ۲۶٪ بوده است. اگر مقدار حاصل از شبکه عصبی- فازی را Yi، بنامیم خواهیم داشت:

(۳)

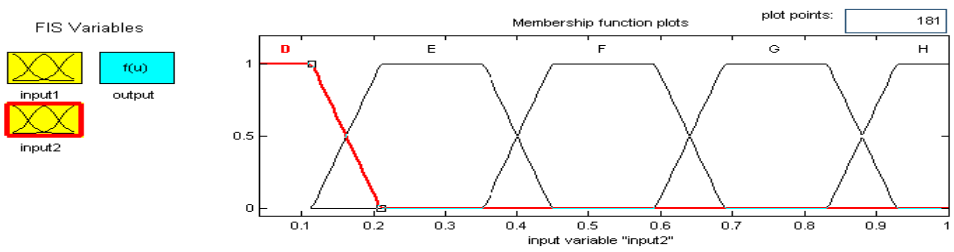
در روابط (۳) Yi، درجه عضویت هر لکوموتیوران به مجموعه لکوموتیوهای خطاکار است.

با مقایسه مقادیر نهایی در روابط (۳) و مقادیر حاصل از داده‌های مشاهده‌ای ملاحظه می‌گردد که اختلاف بین مقادیر حاصل از شبکه عصبی- فازی و مقادیر مشاهده‌ای بسیار اندک می‌باشد، که این مهم درمورد داده‌های تست نیز دارای اهمیت قابل توجهی می‌باشد. با توجه به ماهیت Yi این مقدار بین صفر و یک تغییر می‌کند. هرچه این مقدار به عدد ۱ نزدیکتر باشد وقوع سانحه با درصد بالاتری را می‌توان انتظار داشت. با مقایسه مقادیر حاصل از شبکه عصبی- فازی با مقادیر حاصل از شبکه عصبی ملاحظه می‌گردد که مقادیر حاصل از شبکه عصبی- فازی به واقعیت نزدیک‌تر شده و به بیان دیگر شبکه عصبی بهبود یافته است. در ادامه می‌توان نشان داد که با وارد نمودن قوانین شرطی و توابع عضویت، شبکه عصبی- فازی ساخته شده دارای ساختار مناسبی در استخراج مقادیر کمی-کیفی شده است. در شکل ۹، حدود تقسیم‌بندی توابع عضویت متغیر دوم نمایش داده شده است. در شکل ۱۰ نیز قوانین شرطی (۱۵ قانون) و مدلهای تحلیلی نشان داده شده است.

$$\frac{\sum_{i=1}^{306} Yi}{306} = \frac{81.75}{306} = 0.267 \qquad \frac{\sum_{i=1}^{206} Yi}{206} = \frac{55.24}{206} = 0.268 \qquad \frac{\sum_{i=1}^{100} Yi}{100} = \frac{26.51}{100} = 0.265$$



شکل ۸. ساختار مدل نهایی شبکه شکل گرفته *(ANFIS1)*

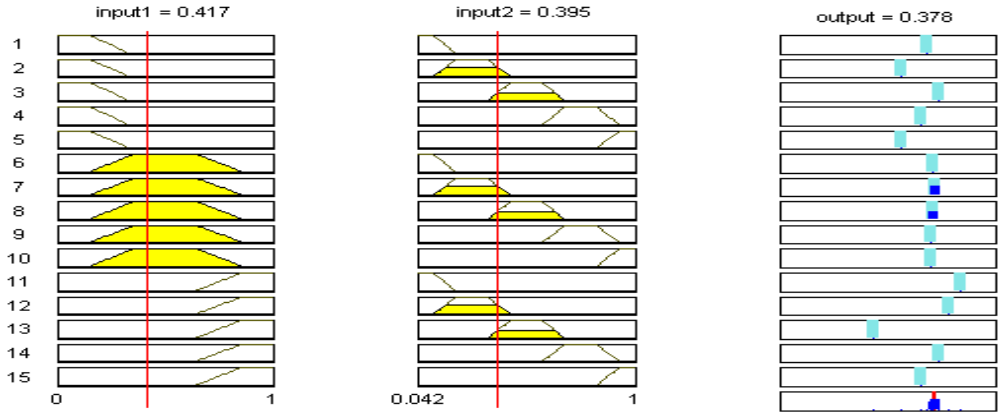


شکل ۹. نمایش حدود توابع عضویت متغیر دوم

3. If (input1 is A) and (input2 is F) then (output is Y3) (1)
4. If (input1 is A) and (input2 is G) then (output is Y4) (1)
5. If (input1 is A) and (input2 is H) then (output is Y5) (1)
6. If (input1 is B) and (input2 is D) then (output is Y6) (1)
7. If (input1 is B) and (input2 is E) then (output is Y7)(1)
8. If (input1 is B) and (input2 is F) then (output is Y8) (1)
9. If (input1 is B) and (input2 is G) then (output is Y9) (1)
10. If (input1 is B) and (input2 is H) then (output is Y10) (1)
11. If (input1 is C) and (input2 is D) then (output is Y11) (1)
12. If (input1 is C) and (input2 is E) then (output is Y12) (1)
13. If (input1 is C) and (input2 is F) then (output is Y13) (1)

Y1 = -1.75 XA1 + 0.11 XD2 + 0.62
Y2 = -7.6 XA1 + 0.33 XE2 + 1.39
Y3 = -1.22 XA1 + 0.42 XF2 + 0.95
Y4 = -2.02 XA1 + 0.18 XG2 + 0.27
Y5 = -6.04 XA1 + 0.59 XH2 + 0.59
Y6 = -1.46 XB1 + 0.10 XD2 + 0.93
Y7 = -0.92 XB1 + 0.12 XE2 + 0.76
Y8 = 0.62XB1 + 0.02 XF2 + 0.03
Y9 = -0.21 XB1 + 0.12 XG2 + 0.18
Y10 = 0.24 XB1 + 0.06 XH2 + 0.06
Y11 = - 1.74 XC1 + 0.58 X D2 + 2.5
Y12 = -3.17 XC1 - 0.20 XE2 + 2.66
Y13 = 8.02 XC1 – 2.37 XF2 – 5.78
Y14 = -1.22 XC1 + 0.64 XG2 + 0.96
Y15 = 2.41 XC1 – 1.05 XH2 – 1.05

شکل ۱۰. ترکیب قوانین شرطی و ارایه مدل‌های تحلیلی (۱۱ قانون نمونه)



شکل ۱۱. خروجی گرافیکی نتایج تحلیل

همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد شبکه ANFIS1 دارای این توانایی می‌باشد که در قالب هریک از قوانین ترکیبی در انتها به یک مدل دست‌یابد. در این تحقیق با توجه به ترکیب توابع عضویت مربوط به ۲ متغیر ورودی به ۱۵ شرط و قانون رسیده‌ایم که در قالب ۱۵ مدل خطی ارایه شده‌اند. پس از بدست آوردن ۱۵ مدل خطی فوق نسبت به ترکیب وزنی آنها در قالب سیستم فازی سوگنو اقدام خواهد شد و در نهایت مقدار خروجی حاصل از شبکه عصبی- فازی که درجه عضویت هر لکوموتیوران به مجموعه لکوموتیورانهای خطاکار نامیده می‌شود بدست خواهد آمد.

یکی از قابلیت‌های شبکه عصبی- فازی، نمایش گرافیکی خروجی مربوط به مدل‌های ساخته شده می‌باشد. با وجود این امکان به راحتی می‌توان برای هر متغیر ورودی مقدار خروجی نهایی را مشاهده نمود (تحلیل حساسیت).

۸. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

چنان که بیان شد هدف از انجام این تحقیق بررسی توانایی‌های روشهای نوین، شبکه‌های عصبی- فازی در تحلیل سوانح ریلی(مطالعه موردی خروج از خط) و در قالب یک مدل تحلیلی (پیش بینی) می‌باشد. در حقیقت با ارایه یک ساختار هوشمند زمینه و چارچوب مناسب جهت توسعه و تکمیل مدل فراهم آمده است. با بررسی نتایج می‌توان بدین‌گونه استنباط کرد که تحلیل خروج از خط یک تحلیل کمی- کیفی بوده و استفاده از روشهای عصبی- فازی نسبت به شبکه‌های عصبی برتری خواهد داشت. همچنین از آنجا که ساختار مقادیر مشاهده‌ای از نوع داده‌های گسسته و به صورت ۰ یا ۱ می‌باشد بررسی همگرایی مقادیر خروجی و ورودی با منطق فازی بهتر قابل بیان می‌باشد. در واقع با استفاده از شبکه‌های عصبی- فازی با توجه به وارد نمودن قوانین شرطی، مفاهیم زبانی و

تجربی امکان استخراج یک مدل قابل درک از مقادیر خروجی فراهم می‌آید. با بررسی سوابق مدلهای سنتی مربوط به تحلیل خروج از خط می‌توان به مشکلات و ضعف‌هایی چون: تک بعدی بودن مدل‌ها، عدم لحاظ کلیه شرایط مؤثر در ارزیابی‌های کمی‌وکیفی، پیچیدگی این مدل‌ها در توصیف رفتاری و عدم استنتاج از آنها جهت تصمیم سازی‌های چند منظوره پی برد. جهت رفع مشکلات و بهبود موارد مذکور از ساختار شبکه‌های هوشمند عصبی و عصبی- فازی استفاده گردید.

در شبکه‌های عصبی به ضریب خطا و یا درصد خطای لکوموتیوران در انجام سرعت غیر مجاز (خروج از خط) و در شبکه عصبی- فازی به درجه عضویت هر لکوموتیوران به مجموعه لکوموتیوران‌های خطا کار، توابع عضویت، قوانین شرطی- استنتاجی و ساختار مدل استخراج شده از مقادیر خروجی دست یافتیم. بدیهی است هرچه درصد خطای یک لکوموتیوران بیشتر باشد نقش ایشان در بروز سرعت غیر مجاز (خروج از خط) بیشتر خواهد بود. همین تعبیر را با مفهوم فازی در شبکه عصبی- فازی نیز می‌توان بیان نمود، به این معنا که هرچه مقدار خروجی به عدد ۱ نزدیکتر باشد خطاکاری ایشان بیشتر از دیگر افرادی است که دارای درجه عضویتی کمتر از آن می‌باشند (مفهوم نسبی) یا به عبارت دیگر وقوع سانحه با درصد بالاتری را می‌توان انتظار داشت. با آگاهی از توانایی شبکه‌های استنتاجی عصبی- فازی تطبیقی در قالب مثال ارایه شده، می‌توان به نقش مؤثر آنها در تحلیل کمی-کیفی سوانح ریلی پی برد. در انتها یادآوری می‌گردد با توجه به محدودیت‌های آماری و اطلاعاتی موجود آنچه در این تحقیق ارایه شده است ارایه مراحل تهیه الگوریتم و ساختار یک مدل پیش بینی با استفاده از روش‌های هوشمند تحلیلی عصبی و عصبی- فازی می‌باشد. مطئناً با الگوبرداری از ساختار، روش عصبی- فازی و توسعه آن در قالب طرح ملی و در نظرگرفتن ترکیب کلیه عوامل مؤثر در خروج از خط، یک مدل تکمیلی جامع تحلیل سوانح (پیش بینی) نتیجه خواهد شد. جهت نیل به این هدف تشکیل گروه‌های تخصصی، استفاده از فناوری‌های روز دنیا، مستندسازی اطلاعات سوانح بر اساس الگوی مورد نیاز و در نظر گرفتن شرایط زمان و هزینه لازم است.

۹. سپاسگزاری

در انتها لازم می‌دانیم از استاد ارجمند دانشکده مهندسی راه‌آهن دانشگاه علم و صنعت، جناب آقای دکتر سید جواد میرمحمد صادقی، استاد محترم دانشکده علوم پایه دانشگاه بین المللی حضرت امام خمینی (ره)- قزوین جناب آقای دکتر سعید عباس بندی و مسوولان محترم راه‌آهن که در دوره انجام تحقیق ما را یاری نمودند تقدیر و تشکر به عمل آوریم.

۱۰. پانویس‌ها

1- Metasynthetic Intelligent Technology
2- Artifical Intelligence
3- Computation Intelligence
4- Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)
5- First order sugeno
6- IF-Then
7- Neural Network Function (NNF)Linguistic Lable

۱۱. مراجع

۱- جوتین خیستی، کنت لال، ترجمه محمود صفارزاده (۱۳۷۹). "مهندسی ترابری و ترافیک، جلد اول(ترابری)"، دفتر نشر آثار علمی دانشگاه تربیت مدرس، ص. ۲۰-۲۱.

۲- یحیایی، سعید (۱۳۸۸) "بررسی آمار سوانح کشور در ۱۰ سال گذشته"، گزارش مدیریتی، مرکز تحقیقات راه‌آهن، ص ۵-۱۱.

3- Wanming, ZHAI., Zhi, ZHANG. (2004) "Application of Artifical Intelligence Approach in the Analyses of Train Derailment Accidents", pp.1-9.

4-Wang Weidong, Zeng and Yuqing and etc, (2000) "Report of freight train linear derailment examination at ring line. Beijing", china Academy of Railway sciences.

5- china Academy of Railway Sciences, (1997) "Report of freight train derailment examination at Da-Qin & South Jing-Pu line", Beijing Railway Administrations.

6- Gary P.wolf. (2000) "New strategies for derailment prevention", Foreign Rolling Stock ,38(2), pp .34-39.

7- Mundrey, J.S (2004), "Railway Track Engineering", Tata MCGraw-Hill Publishing Company limited , pp. 601-603.

8- Terje Anderson, 16th ESREDA Seminar (2000) " Human Reliability and Railway Safety", Safety and Reliability in Transport ,pp.1-3.

۹- اویسی، علی، خرازی، فرشاد (۱۳۸۸) "مقایسه آماری سوانح راه‌آهن ایران با سایر کشورهای عضو UIC"، گزارش مدیریتی، مرکز تحقیقات راه‌آهن، ص. ۵.

۱۰- آمار سوانح اداره کل حفاظت و ایمنی سیر و حرکت (۱۳۸۱ و۱۳۸۲ و سالهای اخیر) راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران.

۱۱- مختاری، محمد (۱۳۸۳) "بررسی عوامل مؤثر بر خروج از خط قطار"، پروژه تخصصی مهندسی خط و سازه‌های ریلی، مقطع لیسانس، به راهنمایی دکتر جبارعلی ذاکری.

۱۲- بهره‌مند، علی (۱۳۸٤) "نقش نیروی انسانی در بروز یا کاهش سوانح ریلی"، شماره ۱۵۸، مرکز تحقیقات راه‌آهن، ص. ۱-٤.

۱۳- لاریجانی، زهره (۱۳۸٤) " ارزیابی نقش نیروی انسانی در ارتقاء ایمنی راه‌آهن"، شماره ۱۹۰، مرکز تحقیقات راه‌آهن، ص. ۱-۲.

۱٤- دهقان منشاوی، علیرضا (۱۳۸۰) " تجزیه و تحلیل سوانح ریلی و ارایه مدی شبیه‌سازی برای سوانح خروج از خط "، رساله مقطع کارشناسی ارشد، به راهنمایی دکتر افندی‌زاده، ص. ۷۸- ۸۷.

۱۵- رشیدی، خسرو (۱۳۷۸). "بررسی سوانح در محل‌های تقلیل سرعت، طراحی و ساخت دستگاه هشداردهنده مناطق تقلیل سرعت"، سومین همایش ارتقاء ایمنی و تحلیل سوانح، ص. ۲-۷.

۱٦- سید حسینی، سید محمد (۱۳۸۰) "برنامه ریزی مهندسی حمل‌ونقل و تحلیل جابجایی مواد" ، مرکز انتشارات دانشگاه علم و صنعت، ص. ۵۳-۸۰.

۱۷- منهاج، محمد باقر (۱۳۸۱). " مبانی شبکه های عصبی، جلد اول، هوش محاسباتی"، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ص.۲۰-۵۷.

۱۸- بت‌شکن، محمد (۱۳۸۰) " پیش بینی قیمت سهام با استفاده از شبکه‌های عصبی- فازی و مقایسه آن با الگوهای خطی پیش‌بینی"، رساله مقطع کارشناسی ارشد، به راهنمایی دکتر راعی، ص. ٦۱-۱۳۷.

19- Simon Iwnicki, Howard Parkinson, Julian Stow,(2004) "Assessing railway vehicle derailment potential using Neural Networks", Rail Technology Unit, Manchester Metropolian University, Kennedy and Donkin Ltd, pp.1-9.

۲۰- لی وانگ، ترجمه محمد تشنه لب (۱۳۷۸). " سیستمهای فازی و کنترل فازی"، مرکز نشر دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.

۲۱- آمار سوانح اداره کل حفاظت و ایمنی سیر و حرکت، ۱۳۸۵و۱۳۸٦، راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران.