

تحلیل خطای انسانی در حوادث ناشی از کار در صنایع نیروگاهی با استفاده از تلفیق FTA و الگوریتم‌های فرا ابتکاری

منوچهر امیدواری^{۱*} - مسعود رسولی گرمارودی^۲

omidvari88@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۴/۴/۲۱

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۱/۱۸

چکیده

مقدمه: یکی از مهم‌ترین چالش‌های موجود در صنایع حوادث ناشی از کار است. برای کنترل حوادث لازم است علل اصلی آن‌ها را ریشه‌یابی نمود. برای ریشه‌یابی حوادث مدل‌های مختلفی ارایه شده است. یکی از پرکاربردترین آن‌ها FTA است. روش FTA می‌تواند به صورت گرافیکی ریشه حوادث را مشخص نماید. روش FTA از توابع غیر خطی تبعیت می‌کند که برای به دست آوردن عدد قطعی آن می‌توان از الگوریتم فرا ابتکاری استفاده نمود.

روش کار: این تحقیق در صنایع نیروگاهی در فاز ساخت و ساز انجام گرفت. در این تحقیق با تلفیق الگوریتم‌های شبکه عصبی در مدل تحلیلی FTA به ارایه الگویی برای تحلیل خطای انسانی در حوادث ناشی از کار پرداخته شده است که در نهایت با استفاده از الگوی عرضه شده درجه احتمالی بروز و تاثیر هر علت ارزیابی شده است.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که مهم‌ترین عامل موثر بر خطای انسانی در حوادث ناشی از کار عدم رعایت اصول ایمنی، آموزش و سن افراد بوده است. همچنین نتایج نشان داد که شرایط فردی تاثیر بیشتری را بر خطای انسانی در بروز حوادث ناشی از کار دارد.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان نتیجه‌گیری نمود که با آموزش، انتخاب صحیح افراد با توجه به نوع شغل و ایجاد شرایط مناسب ایمنی می‌توان به میزان زیادی خطاهای انسانی را کاهش داد.

کلمات کلیدی: حوادث شغلی، تجزیه و تحلیل درخت خطا، شبکه عصبی، صنایع نیروگاهی

۱- استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین

۲- کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشکده صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین

مقدمه

حوادث یکی از مهم‌ترین علل بروز خسارات در یک سازمان می‌باشد. حوادث می‌تواند به صورت مستقیم و غیر مستقیم سبب بروز خسارات مالی و جانی در یک سازمان تولیدی شود. کنترل حوادث یکی از چالش‌هایی است که امروزه ذهن اکثر مدیران را به خود اختصاص داده است. با تعیین علل حوادث و ریشه‌های آن می‌توان آن‌ها را به طور اساسی کنترل نمود و از بروز دوباره آن جلوگیری کرد. سازمان‌ها معمولاً نیاز به سیستمی دارند که علاوه بر ارزیابی فعالیت‌ها و فرآیندشان بتوانند در خصوص عوامل موثر بر حادثه، در تعیین علل ریشه ای حوادث به صورت سیستماتیک عمل نموده و حوادث را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد (Kazunobu, 2012). با توجه به پیچیدگی فعالیت هر صنعت، نوع سیستمی که بتواند آنان را به هدف مذکور برساند متفاوت است. یک خطا ممکن است منجر به وقوع سایر خطاها شود و زنجیره از تعاملات می‌تواند منجر به وقوع حادثه نامطلوب شود. تعیین مهم‌ترین علل ریشه ای حوادث از اصلی‌ترین چالش‌ها می‌باشد که لازم است برای تعیین این مهم روش سیستماتیکی را ارایه نمود (Yazi Moghadam et al., 2009). روش‌های پیش‌بینی عمدتاً کمی هستند ولی از آن‌جا که انجام برآورد کمی یک پارامتر مشکل است لذا بیشتر روش‌های تحلیل حوادث بر روش‌های کیفی استوار است (Peters, 2004; Renjith, 2010). یکی از روش‌های کاربردی در خصوص تحلیل حوادث استفاده از FTA است که در این روش تمام عوامل موثر بر وقوع یک حادثه نامطلوب شناسایی می‌شوند و سپس با استفاده از مدل‌های گرافیکی به علل ریشه ای و احتمال آن‌ها می‌پردازد (Meng et al., 2014; Xia et al., 2012; Nouri et al., 2014).

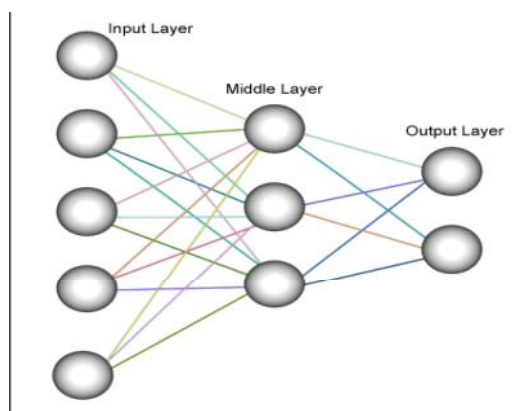
تحقیقاتی که در زمینه کاربرد FTA در صنایع شیمیایی صورت گرفته است بیان کننده این واقعیت بوده که مهم‌ترین علل حادثه در این صنایع انفجار راکتورهای شیمیایی است که عمده‌ترین علل آن ضعف در طراحی این راکتورها بوده است. این مساله بیان کننده این واقعیت است که خطاهای انسانی در مراحل مختلف می‌تواند در عملکرد یک فرایند تاثیر بگذارد (Aqaln and Ali, 2014). در تحقیقی که توسط ساستر (۲۰۰۷) در گروه مهندسی شیمی دانشگاه OVIDEO اسپانیا و با عنوان ارزیابی ایمنی سیستم اختلاط هوا - آمونیاک در کارخانه تولید اسید نیتریک انجام گرفته است، با استفاده از FTA علت انفجار راکتور کارخانه مورد بررسی قرار گرفته و نقاط ضعف پنهان کارخانه با مطالعات آماری آشکار و توصیه‌های لازم انجام شده است. در این مقاله به نقاط ضعفی که لازم است در تعیین میزان احتمال هر عامل در مدل FTA مشخص گردد، اشاره می‌کند و پیشنهاد می‌نماید که از مدل‌های کمی سازی در این رابطه استفاده گردد (Saster, 2007). در بررسی دیگری که توسط (۲۰۰۹) گرابسکی و مارش با عنوان ارزیابی تجزیه و تحلیل خطر بر روی لوله‌های انتقال کلرین در انگلستان انجام شد ضمن آنالیز کیفی خطر، آنالیز کمی نیز انجام شد. در این مقاله برای تعیین میزان احتمال علل ریشه ای درخت خطا از آمار موجود در صنعت استفاده شده است که پیشنهاد می‌کند از مدل‌های احتمالی در تعیین میزان احتمال شکست هر علت ریشه ای استفاده گردد (Grabski and Marsh, 2009). در مدل FTA احتمالی بودن رخداد و تبعیت از مدل‌های غیر خطی سبب می‌گردد که نتوان بروز یک خطا و به تبع آن بروز یک حادثه را تعیین نمود. استفاده از ابزارهایی که بتواند این مساله را رفع کند در تحلیل حوادث

(and Yanagi., 2008; Hauptmanns *et al.*, 2004 در این تحقیق از ترکیب روش FTA و الگوریتم‌های فرا ابتکاری برای ارزیابی حوادث در صنعت نیروگاهی استفاده شد. یکی از سوالات اصلی این تحقیق تعیین بهترین نوع شبکه عصبی برای حل این گونه مسائل و نحوه استفاده از شبکه عصبی در تعیین میزان احتمال شکست هر علت ریشه ای می‌باشد.

شبکه عصبی

شبکه‌های عصبی را می‌توان با اغماض از سری مدل‌های الکترونیکی ساختار عصبی مغز انسان نامید. شبکه‌های عصبی فرایند پردازش اطلاعات را به گونه‌ای استوار است. مدل‌های الکترونیکی شبکه‌های عصبی طبیعی نیز براساس همین الگو بنا شده اند. یک شبکه عصبی مصنوعی ایده ای است برای پردازش اطلاعات که از سیستم عصبی زیستی الهام گرفته شده است. شبکه‌های عصبی مصنوعی از سه لایه اصلی تشکیل شده است: لایه ورودی، لایه پنهان و لایه خروجی. این شبکه‌ها برای حل یک مساله با هم هماهنگ عمل می‌کند.

اهمیت زیادی دارد. تجزیه و تحلیل درخت خطا یک مدل کیفی است که می‌توان آنرا به شکل کمی اجرا نمود. به‌عنوان مثال با استفاده از منطق فازی می‌توان تمامی دروازه‌های درخت خطا را ارزیابی و به‌صورت قطعی میزان احتمال بروز هر یک از علل را محاسبه نمود. استفاده از منطق فازی این قابلیت را ایجاد می‌کند که بتوان با استفاده از سری‌های فازی میزان احتمال بروز یک حادثه را حدس بزنیم (Renjit *et al.*, 2010; Menten and Helvacioqlu, 2011; Kim *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2013). در مطالعه‌ای که امیدواری و همکاران در سال ۲۰۱۴ در فرایند برج تقطیر پالایش‌گاه انجام دادند، استفاده از درخت خطا را به‌عنوان یکی از روش مناسب در برآورد میزان احتمال بروز یک شکست معرفی نمودند. در این تحقیق نیز به غیر قطعی بودن دروازه‌های درخت خطا و کاربرد مدل‌های غیر خطی در افزایش دقت فرایند FTA اشاره شد (Omidvari *et al.*, 2014). همچنین با استفاده از شبکه‌های عصبی و سایر مدل‌های فرا ابتکاری و ابتکاری، می‌توانیم تمامی دروازه‌های درخت خطا را مورد ارزیابی قرار داده و به‌صورت قطعی میزان احتمال بروز هر یک از علل را محاسبه نماییم (Durga *et al.*, 2009; Yuge



شکل ۱. بیان ساده ای از یک شبکه عصبی

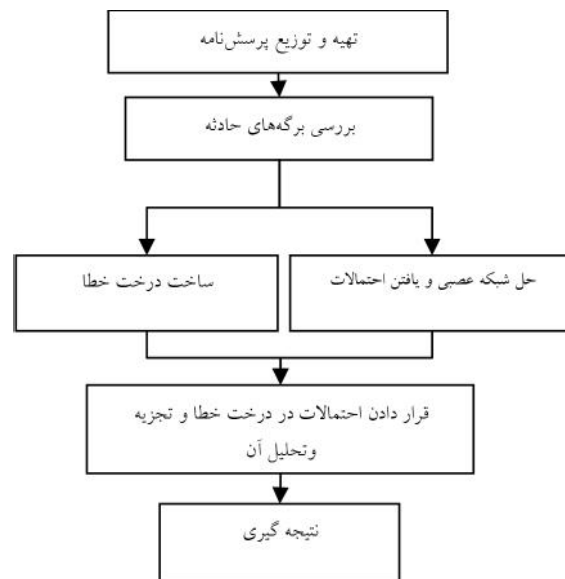
بسیار پیچیده و دشوار است به کار گرفته می‌شوند. یک شبکه عصبی تربیت یافته می‌تواند به عنوان یک متخصص در مقوله اطلاعاتی که برای تجزیه و تحلیل به آن داده شده به حساب آید. از این الگوریتم می‌توان برای بر آورد وضعیت‌های دلخواه جدید و جواب سوال‌های "آیا ...؟" استفاده کرد (Hajek, 2005).

روش کار

این تحقیق از نوع توصیفی گذشته نگر- تحلیل حل مدل است که در آن با استفاده از آمار ۳ سال گذشته پروژه‌های ساخت نیروگاه ... در این تحقیق نقش عوامل موثر در خطای انسانی بر حوادث مورد ارزیابی قرار گرفت. در این تحقیق جهت ارزیابی علل ... و به منظور تعیین میزان تاثیر هر یک از این عوامل در وقوع حوادث، از الگوریتم شبکه عصبی استفاده شد.

ANN ها، نظیر انسان‌ها، با مثال یاد می‌گیرند. یک ANN برای انجام وظیفه‌ای مشخص، مانند شناسایی الگوها و دسته بندی اطلاعات، در طول یک فرآیند یادگیری، تنظیم می‌شود. در سیستم‌های زیستی یادگیری با تنظیماتی در اتصالات سیناپسی که بین اعصاب قرار دارد همراه است، این روش ANN ها نیز است. یک شبکه عصبی مصنوعی شامل تعداد زیادی از نورون‌هاست که بر اساس یک الگوی اتصال ... تقسیم می‌شوند: نورون‌های ورودی، که ورودی را برای پردازش دریافت می‌کنند. نورون‌های خروجی که حاوی نتیجه پردازش هستند و نورون‌های میانی که به نام نورون‌های پنهان نامیده می‌شوند. شکل 1 بیان ساده ای از یک شبه عصبی ساده را معرفی می‌کند.

شبکه‌های عصبی، با قابلیت قابل توجه در استنتاج معانی از داده‌های پیچیده یا مبهم، برای استخراج الگو و شناسایی روش‌هایی که آگاهی از آن‌ها برای انسان و دیگر تکنیک‌های کامپیوتری



شکل ۲. الگوریتم مراحل اجرای تحقیق

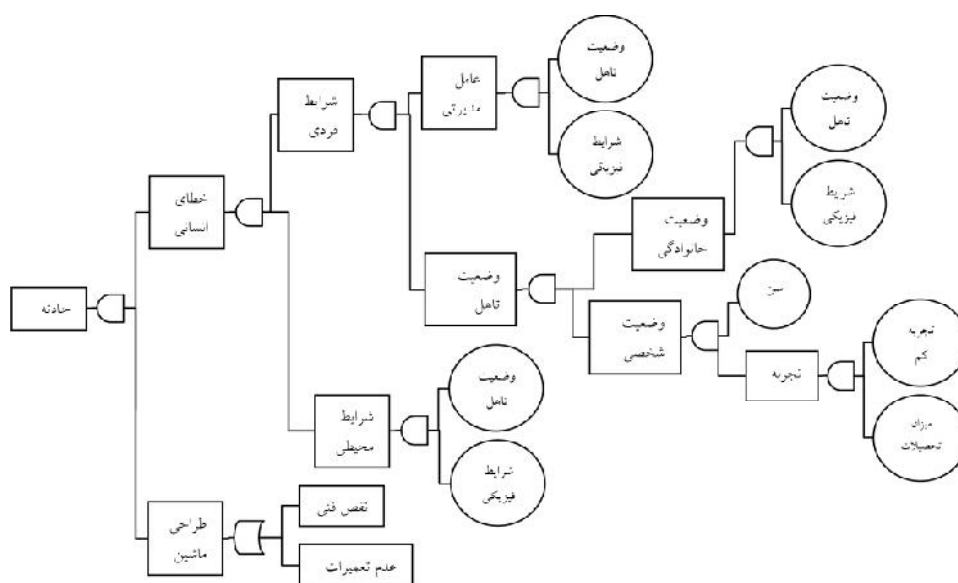
(شرایط) نا امن محیطی و اعمال نا امن می‌باشد. که به علت پیچیدگی فقط اعمال نا امن را در نظر می‌گیریم. اگر یک واقعه قابل تجزیه به وقایع کوچکتر باشد در داخل مستطیل قرار می‌گیرد و اگر وقایع قابل تجزیه به وقایع کوچکتر نباشند، درون دایره قرار می‌گیرند.

به‌عنوان مثال تجربه به دو عامل تجربه کم و تحصیلات کم قابل تقسیم می‌باشد و داخل مستطیل قرار می‌گیرد ولی این دو عامل به عوامل کوچکتر قابل تقسیم نیستند و داخل دایره قرار می‌گیرند. در مورد علایم دروازه‌ای (Gate Symbol sand) نیز باید به این نکته اشاره نمود که اگر برای وقوع عامل خروجی نیاز باشد تا تمام عوامل ورودی به طور هم‌زمان و همراه با هم پیش آمد کنند از AND استفاده می‌شود که بر اساس رابطه

$$P(Z)=P(A) \times P(B) \quad (1)$$

اگر وقوع هر کدام از عوامل ورودی (به تنهایی و یا هر ترکیب ممکن) موجب وقوع عامل خروجی شود

قابل ذکر است که به‌دلیل ساختار گرافیکی FTA، این روش کاربرد زیادی در مدل‌های شبکه عصبی، برای حل مدل‌های این چنین دارد. در انتها برای تعیین میزان تاثیر وقایع در وقوع حادثه، به تجزیه و تحلیل کمی درخت خطا پرداخته شد. الگوریتم مراحل اجراء این مطالعه در شکل ۲ ارائه شده است. در این مطالعه، برای تحلیل و ارزیابی ایمنی HSE، اطلاعات مربوط به افراد حادثه دیده (۱۶۹ نفر) جمع‌آوری گردید (تعداد این افراد ۱۶۹ نفر است). جهت رسم درخت خطا، از افراد خبره می‌خواهیم که عوامل موثر در خطای انسانی را در بروز یک حادثه که همان واقعه نهایی (TOP EVENT) می‌باشد، لیست کنند. این عوامل شامل عوامل



شکل ۳. درخت خطا

برای حل، مدل ورودی ما یک ماتریس 9×338 است که سطر آن ورودی شبکه و ستون آن نمونه‌های ما می‌باشد. (این ماتریس از کنار هم قرار گرفتن اطلاعات افراد حادثه دیده و کسانی که دچار حادثه نشده اند به دست می‌آید). شبکه

شبکه مورد استفاده ما دارای تعداد نرون‌های لایه اول برابر 9 (9 نرون ورودی + 1 نرون خروجی) و لایه دوم برابر 30 و لایه سوم برابر با تعداد خروجی یعنی یک است. در شبکه‌های عصبی BP با نوع لایه داریم که لایه اول ورودی است و لایه آخر خروجی است و بین این لایه‌ها با توجه به نوع نمونه‌ها چندین لایه تعریف می‌شوند که به لایه‌های test و آموزش معروف می‌باشند. در این تحقیق هم این سه لایه تعریف شده است. همچنین توابع انتقال نیز به ترتیب purelin ، logsig ، tansig و test 25%، 25%، 25% و 50% نیز برای آموزش در نظر گرفته می‌شود. همچنین جهت آموزش از الگوریتم

ردیف	پارامتر	پارامتر نهایی	تعریف
۱	عامل مدیریت	برگزاری دوره‌های آموزشی	ایجاد امکانات مالی و فنی جهت برگزاری دوره‌های آموزشی
		رعایت اصول ایمنی	نصب تابلوهای ایمنی و تهیه لوازم حفاظت ایمنی
		وضعیت	وضعیت تاهل بر وقوع حوادث
۲	خانوادگی	شرایط خانوادگی	حاصل تقسیم در آمد فرد بر تعداد اعضا خانواده و مقایسه آن با حداقل دستمزد
		سن	تأثیر عامل سن بر کاهش اعمال نا امن
۳	وضعیت شخصی	تجربه کم	سابقه کاری و مهارت فرد
		تجربه	میزان تحصیلات لازم در آن شغل
۴	شایستگی کاری	میزان تحصیلات	تأثیر ساعات کاری بر وقوع حوادث
		شرایط فیزیکی نامناسب	شرایط فیزیکی محیط مانند عوامل استرس زا، نور، صدا و...

trainlm استفاده می‌کنیم (Manno *et al.*, 2012). علت این‌که از شبکه‌ای با مشخصات بالا استفاده کردیم این است که ما به دنبال حداقل کردن مقدار میانگین مربعات خطا (MSE) هستیم که با آزمون و خطا مناسب‌ترین حالت را پیدا می‌کنیم. حال با تعیین میزان میانگین مربعات خطا برای هر عامل ورودی و تقسیم آن بر میزان کل میانگین مربعات خطا (MSET) می‌توان میزان تاثیر آن عامل بر بروز خطا را محاسبه نمود. قابل ذکر است که یکی از شرایط اصلی، استفاده از این نوع شبکه همبستگی بین پارامترهای ورودی شبکه است که در این تحقیق برای تعیین میزان همبستگی بین پارامترهای ورودی شبکه نیز بسیار به یک نزدیک است که بیان‌کننده همبستگی بالای پارامترهای ورودی شبکه است ($R=0.994$). کدهای محاسباتی متلب و مراحل انجام حل مدل به تفصیل در ضمیمه 1 مقاله ارائه شده است.

یافته ها

یکی از پارامترهای مهم موثر بر حادثه که مورد ارزیابی قرار گرفت سن بوده است. نتایج نشان داد که بین میانگین سنی افراد حادثه دیده (میانگین سن افراد جامعه 34) و میانگین سن افراد حادثه دیده (32) مطالعه (میانگین سن افراد حادثه دیده 32) ($P>0.05$) یکی

دیگر از پارامترهای مهم موثر بر حادثه که مورد ارزیابی قرار گرفت میزان تحصیلات بود که نتایج نشان داد که با افزایش تحصیلات حوادث کاهش می‌یابند. یا به عبارتی اختلاف معناداری بین تعداد حوادث بین افراد تحصیل کرده و غیر تحصیل کرده وجود دارد ($P>0.05$). یکی دیگر از پارامترهای مهم موثر بر حادثه که مورد ارزیابی قرار گرفت ساعات آموزش ایمنی بود که نتایج آن نشان داد متوسط آموزش افراد حادثه دیده 15 و افراد حادثه ندیده 18 و افراد حادثه ندیده 21 دقیقه بوده است. این موضوع نشان داد که بین ساعت آموزش افراد حادثه و غیر حادثه دیده اختلاف معناداری وجود دارد. این مساله به این معنا است که افزایش آموزش حوادث کاهش می‌یابد ($P>0.05$).

همان‌طور که اشاره شد با استفاده از شبکه‌های عصبی مقدار میانگین مربعات خطای هر یک از عوامل را به دست می‌آوریم. با تقسیم MSE هر یک از این عوامل بر MSE کل می‌توان میزان تاثیر عوامل در وقوع حوادث را محاسبه نمود. نتایج این بخش تحقیق در جدول 3 ارائه شده است. در نهایت با تلفیق پارامترهای فوق با یکدیگر نتایج خطا پارامترهای اصلی به شرح شکل 3 میزان احتمال وقوع حادثه مشخص می‌گردد. نتایج نشان داد که بالاترین علت ریشه‌ای که در وقوع حادثه در صنایع نیروگاهی موثر است به ترتیب

جدول 2. توزیع تحصیلات افراد

تحصیلات		ابتدایی		راهنمایی		دبیرستان		دانشگاه	
		تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد
جامعه مورد مطالعه		47	14	98	29	121	39	62	18
کل افراد جامعه		45	96	64	65	45	34	15	24
افراد حادثه دیده		2	4	24	35	86	66	47	76

3. برآورد میزان تأثیر پارامترها بر MSE

ردیف	پارامترها	میزان تأثیر پارامتر وقایع نهایی	MSE
۱	ساعات آموزش	۱۴/۵	$10^{-5.05}$
۲	رعایت اصول ایمنی	۱۹/۹۵%	$10^{-4.9}$
۳	وضعیت تاهل	۶/۳%	$10^{-5.4}$
۴	شرایط خانوادگی	۱۰%	$10^{-5.2}$
۵	سن	۱۲/۵%	$10^{-5.1}$
۶	تجربه کم	۷/۹۴%	$10^{-5.3}$
۷	تحصیلات	۳/۱۶%	$10^{-5.55}$
۸	شیفت کاری	۶/۳%	$10^{-5.4}$
۹	شرایط فیزیکی	۱۰%	$10^{-5.2}$
		MSE _T کل	$10^{-6.2}$

4. میزان احتمال وقایع میانی

پارامترها میانی ۲	میزان تأثیر پارامتر	پارامترهای میانی ۱	میزان تأثیر پارامتر
وضعیت خانوادگی	۱۵/۶۷%	شرایط فردی	۵۴/۹۶%
عامل مدیریت	۳۱%		
وضعیت شخصی	۲۱/۹۸%		
وضعیت شاغل	۳۴/۳۰%	شرایط محیطی	۱۵/۶۷%
تجربه	۱۰/۸۴%		
خطای انسانی	۶۲/۰۲%		

که میزان خطای انسانی ۶۲/۰۲% می‌باشد. نتایج نشان داد که کمترین میزان حوادث در شروع روز بوده و با افزایش خستگی به تدریج حوادث افزایش پیدا می‌کنند. در این مورد تعداد حوادث رخ داده ۱۸ نفر و ۱ نفر در ۶ صبح بیشتر از سایر بازه‌های زمانی می‌باشد.

۳-۳-۱. نتایج

همان‌طور که نتایج نشان داد سه پارامتر رعایت اصول ایمنی، سن و آموزش مهم‌ترین عوامل در بروز خطاهای انسانی موثر در حوادث بوده است، بطوری‌که بیشترین درصد خطا (تقریباً ۶۵%) در سنین جوانی (۲۰ تا ۳۵ سال) رخ داده است. بالا بودن میزان حوادث در میان افراد جوان علل مختلفی دارد. یکی از علل مهم وجود رابطه مستقیم سن و

اولویت، شامل عدم رعایت اصول ایمنی توسط فرد، آموزش، سن و شرایط خانوادگی می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که شیفت کاری و تحصیلات و وضعیت تاهل از الویت‌های کمی برخوردار بوده و کمترین میزان MSE در این جدول بیان‌گر این مساله است که با حذف هر یک از این عوامل می‌توان احتمال وقوع حوادث را به میزان ارایه شده برای وقایع نهایی کاهش داد. (قابل ذکر است که این جمع می‌تواند مقداری کمتر یا بیشتر از ۱۰۰% باشد). در این مطالعه ۴۰۰ نفر از ۴۰۰ نفر شرکت‌کننده در جدول ۴ احتمال وقایع میانی در جدول ۴ است که بیان‌گر نتایج به‌دست آمده از تجزیه و تحلیل کمی درخت خطا می‌باشد. با توجه به نتایج حاصل از تحلیل کمی درخت خطا (۴۰۰ نفر)

به سزایی خواهد داشت. (Soori and Rahimi, 2006). از طرفی در مطالعه وزیری نژاد و همکاران میزان فراوانی حوادث در افراد کم سواد نسبت به افراد با سوادتر بیشتر بوده است. این نتایج می‌تواند بر این مساله دلالت داشته باشد که با افزایش میزان سن و سابقه کار، افراد با احتیاط بیشتری کار می‌کنند و میزان ریسک پذیری آن‌ها پایین می‌آید (Vaziri nejad et al., 2009). همان‌طور که مشخص است نتایج این تحقیق در ارتباط با تأثیر وضعیت تأهل بر وقوع حوادث بوده است که این تأثیر نیز در تحقیق حاضر مورد تایید قرار گرفته است. هر چند که میزان تأثیر آن نسبت به سایر پارامترهای موثر از الویت کمتری برخوردار است. ساعت کاری و تأثیر آن بر احتمال بروز حادثه از دیگر عوامل موثر بر حوادث است که این موضوع در مطالعات کازانبو نیز مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از این بخش تحقیق با نتایج ارایه شده در مطالعه کازانبو هم‌خوانی داشته و ایشان نیز به تأثیر ساعت کاری و وضعیت کاری بر بروز حوادث اشاره کرده‌اند (Kazunobu, 2012). از طرفی قابل ذکر است که میزان تأثیر این عامل بر بروز خطای انسانی منجر به حادثه زیاد نشده که بیان می‌کند شیفت کاری نسبت به سایر عوامل از اولویت کمتری برخوردار است. این وجه تفاوت به دلیل ساختار کاری و نوع فرایند مورد مطالعه است که در فرایندهای نیروگاهی معمولاً در شیفت شب نسبت به شیفت روز کارهای کم خطر تر اجراء می‌گردد (Kazunobu, 2012). این مساله نیز در مطالعه ای که محمد فام و همکارانش در سال 2001 در مورد بررسی تأثیر توجه قرار گرفته است بطوریکه در این تحقیق اشاره شده است که چهل و شش درصد حوادث

سابقه کار است. معمولاً افراد جوان از سابقه کمتری برخوردار هستند، آموزش‌های کمتری دیده‌اند و به دلیل حس کنجکاوی و ماجراجویی خطر پذیری بالایی دارند. سوری و همکاران در مطالعات خود نتایج مشابهی را منتشر کردند و گزارش نمودند که افراد جوان‌تر و کارکنان کم تجربه تر بیشتر خطا پذیر بوده و به همین علت بیشتر در معرض خطر قرار می‌گیرند (Soori et al., 2003).

همچنین نتایج نشان داد که تحصیلات از دیگر پارامترهایی است که در خطا پذیری فرد تأثیر دارد. سوری و همکاران در مطالعه خود اشاره کرده‌اند که افرادی با تحصیلات بالاتر، احتمال بروز حوادث کمتری دارد. ولی همان‌طور که نتایج نشان داد در صنعت مورد مطالعه این میزان از درصد بالایی برخوردار نیست. در مطالعه دیگری که سوری و رحیمی در سال 2006 انجام داد مشخص شد که تجربه و تحصیلات می‌تواند در احتمال بروز حوادث تأثیر بگذارد ولی همان‌طور که ذکر گردید بر خلاف تحقیق یاد شده، در تحقیق حاضر میزان درصد بالایی را برای این عامل به دست نیامده که وجه تفاوت این تحقیق با تحقیق سوری و رحیمی است. مهم‌ترین عامل این اختلاف در نوع صنعت و ماهیت کار است. در هر حال نقش تحصیلات را نمی‌توان در بروز خطای انسانی نادیده گرفت که بیان‌گر جایگاه اصلی تحصیلات به عنوان منبع تأمین کننده آگاهی و تقویت مهارت افراد در پذیرش مسوولانه و ایمن مشاغل دارای خطر با بهره‌گیری از آموزش‌های لازم بوده است و تأکیدی است بر انتخاب افراد با صلاحیت و سطح سواد مناسب در این گروه شغلی. بنابراین وجود الزاماتی در خصوص تعیین محدوده تحصیلی برای استخدام و آموزش کارکنان در صنایع مختلف می‌تواند به بهبود کیفیت نتیجه حاصل از برنامه‌های آموزشی، تأثیر

یکنواخت نبوده و در شرایط مساوی سه چهارم از حوادث برای یک چهارم افراد در معرض خطر اتفاق می افتد و به همین علت عامل انسانی را می توان به عنوان مهم ترین و اصلی ترین عامل در بروز حوادث شغلی دانست. کنترل عوامل موثر بر خطای انسانی از مهم ترین پارامترهای موثر بر کنترل حوادث است که لازم است در فرایندهای مختلف نقش این عوامل مشخص شده تا به صورت هدفمند نسبت به کنترل آنها اقدام شود.

ضمیمه

کدهای محاسباتی مطلب با تشریح توضیحات آن:

```
clc
```

```
clear all
```

```
close all
```

ابتدا اطلاعات را به کامپیوتر می دهیم YES

اطلاعات افراد حادثه دیده می باشد NO
افراد حادثه ندیده می باشد

```
YES=xlsread('C:\Users\fanavaran\Desktop\masoud.rasouli2008\yes.xlsx');
```

```
NO=xlsread('C:\Users\fanavaran\Desktop\masoud.rasouli2008\no.xlsx');
```

```
YES=YES(2:10,:);
```

```
NO=NO(2:10,:);
```

با این دستور ورودی برنامه را تعریف می کنیم، که از کنار هم قرار دادن تران هاده ماتریسهای بالا به دست می آید.

```
inputdata=cat(2,YES,NO);
```

با این دستور خروجی برنامه را تعریف می کنیم. که عدد یک به معنای وقوع حادثه و عدد صفر به معنای عدم وقوع حادثه است.

```
outputdata=cat(2,ones(1,169),zeros(1,169));
```

25% TEST برای ارزیابی

معمولا در ساعات شیفت شب کاری رخ داده اند. همان طور که نتایج نشان داد کمترین میزان حوادث در شروع روز بوده و با افزایش خستگی به تدریج حوادث افزایش پیدا می کنند. که این امر مقدار زیادی به خستگی، شرایط نا ایمن (کمبود روشنائی و ...) بستگی دارد. علت دیگر را می توان خواب آلودگی و کاهش دقت در این زمینه ها (Mohammadfam et al., 2001) در مطالعه قدس و همکاران به این ارتباط معنا دار اشاره شده، بطوری که بیشترین حوادث در شیفت صبح و کمترین آن ها در شب رخ داده است (Ghods et al. 2008).

در مطالعه ای که ابوترابی و همکارانش در سال 1393 در مورد عوامل فردی در بروز حوادث اشاره نمودند. آن ها مهم ترین عامل بروز حوادث را خطای انسانی و شرایط محیطی را به عنوان بیشترین عامل در بروز خطای انسانی دانسته که تفاوت این نتایج با نتایج این تحقیق به دلیل روش مطالعه و تفاوت در شرایط (Aboutorabi et al., 2014) است.

نتیجه گیری

با کمک تجزیه و تحلیل کمی درخت خطا و با استفاده از احتمالاتی که از طریق شبکه عصبی به دست آوردیم، 62/02 از حوادث به دلیل خطاهای انسانی می باشد. این مساله بیان گر این موضوع است که علی رغم پیشرفت روز افزون تکنولوژی و حرکت آن به سوی خودکار شدن بیشتر و محدود شدن خطای انسانی در سیستم ها بر عهده دارد. بررسی آمار حوادث در اکثر کشورها نشان می دهد که پراکندگی حوادث در اشخاص در معرض خطر

□ 50% نیز برای آموزش در نظر گرفته می‌شود. با دستورات زیر این ورودی‌ها را انتخاب می‌کنیم.

```
p=inputdata;
t=outputdata;
[m,n]=size(p);
test=2:4:n;
val=4:4:n;
tr=[1:4:n 3:4:n];
vv.P=p(:,val);
vv.T=t(:,val);
tv.P=p(:,test);
tv.T=t(:,test);
ptr=p(:,tr);
ttr=t(:,tr);
```

ایجاد می‌کنیم newff شبکه را با دستور
net=newff(minmax(ptr),[6,30,1],{'logsig','tansig','purelin'},'trainlm');

□ □ □ □ □ 100 قرار می‌دهیم.

□ □ □ □ □ epochs

```
net.trainParam.epochs=100;
```

%Maximum number of epochs to train

مقدار خطای مورد انتظار را برابر صفر قرار می‌دهیم
net.trainParam.goal=0;%Performance goal

نرخ یادگیری را برابر 0,1 قرار می‌دهیم
net.trainParam.lr=.1; %Learning rate

حداکثر خطا را برابر 10 قرار می‌دهیم
net.trainParam.max_fail=10;

%Maximum validation failures

```
net.trainParam.min_grad=1e-50;
```

%Minimum performance gradient

```
net.trainParam.show=10;
```

%Epochs between showing progress

```
net.trainparam.mu_max=1e10;
```

حال شبکه را آموزش می‌دهیم:

```
[net,tr]=train(net,ptr,ttr,[],[]);
```

Aboutorabi SM., Mehrno H., Omidvari M., (1393), Presenting a model for risk assessment of safety in the construction industry using grey multiple attribute decision making, Journal of Health and Safety at Work, 3(4),67-74. [in Persian]

Aqaln, F., Ali, E. M., (2014). Integrating lean principles and FTA for risk assessment in chemical industry, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 29(8), 39-48.

Durga R, Gopika V., Sanyasi V., Kushwaha H.,(2009), Dynamic fault tree analysis using Monte Carlo simulation in probabilistic safety assessment fault, Reliability Engineering & System Safety, 94(4), 872-883.

Ghods, A.A., Alhani, F., Anosheh, M., Kahoei, M., (2008), Epidemiology of occupational accident in semnan (2006-2008). Journal of semnan university of medical sciences, 2(10), 95-100.

Grabski, S.V., Marsh, R.J., (2009), Assessment of risk analysis on chlorine Pipes, Journal of Information Systems. 8(2), 61-80.

Hajek, M., (2005), Neural Networks, University of KwaZulu-Natal, Cap1,2.

Hauptmanns, U.,(2004), Semi-quantitative fault tree analysis for process plant safety using frequency and probability ranges, Journal of Loss prevention in the process industries 17(5), 339-345.

Kazunobu, H.,(2012), Retracted: FTA vs. Tripod-Beta, which seems better for the analysis of major accidents in chemical process industries?, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 26(1), 52-58

Kim C., Ju Y., Gens M.,(2011), Multilevel fault tree

- using expert elicitation, *Journal of Hazardous Materials*, 183(5), 103-110.
- Saster, N., (2007), Safety assessment of ammonia-air mixing system, *Safety Science*, 42(4), 237-270.
- Soori H, Rahimi M, Mohseni, H., (2006), Association between job stress and work-related injuries: A case-control. *Iranian journal of Epidemiology*, 1(2), 53-58. [in Persian]
- Soori, H, Hatami Sadabadi AR, (2003), A study on job stress among employed women in Ahwaz; *Hakim research journal*, 6 (1), 65-69. [in Persian]
- Vaziri nejad R, Esmaeeli A, (2009), One-Year Incidence Rates of Job-related Accident in one of the Biggest Iranian Lopper Factories (2003-2004): A New Method to Assess Job-Related Accident severity *Journal of Rafsanjan Univer*, 2(8), 79-88.
- Wang, D., Zhang P., Chen L., (2013), Fuzzy fault tree analysis for fire and explosion of crude oil tanks, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 26(6), 1390-1398.
- Xia, M., Li, X., Jiang, F., Shuyun Wang, S., (2012), Cause Analysis and Countermeasures of Locomotive Runaway Accident based on Fault Tree Analysis Method, *Procedia Engineering*, 45, 38-42.
- Yazi, Moghadam H, Estaji Z. (2009), Assessment quality of life of nurses in hospitals of Sabzevar in 84-85. *Journal of Sabzevar University of Medical Sciences*; 11(6), 50-56.
- Yuge, T., Yanagi S., (2008), Quantitative analysis of a fault tree with priority and gates fault, *Reliability Engineering & System Safety*, 93(11), 1577-1583.
- analysis using fuzzy numbers, *Computers & Operations Research*, 23(7), 695-703.
- Manno, G., Chiacchio, F., Compagno, L., D'Urso, D., Trapani, N., (2012), MatCarloRe: An integrated FT and Monte Carlo Simulink tool for the reliability assessment of dynamic fault tree, *Expert Systems with Applications*, 39(12), 10334-10342.
- Meng, Z., Vladislav K., Dragan K., (2014), Investigation of haul truck-related fatal accidents in surface mining using fault tree analysis, *Safety Science*, 65(2), 106-117.
- Mentes, A., Helvacioqlu, I., (2011), An application of fuzzy fault tree analysis for spread mooring systems, *Ocean Engineering*, 38(2), 285-294.
- Mohammadfam L., (2001), Evaluation of occupational accidents and their related factors in Iranian aluminum company in 1999, *Scientific J. Of Kurdistan University of Medical Sciences*, 5(3), 18-23.
- Nouri, A., Mokhtari, A., Khodayari, AA., Ataie, M., (2014), Fault tree analysis of failure cause of crushing plant and mixing bed hall at Khoy cement factory in Iran, *Case Studies in Engineering Failure Analysis*, 2(1), 33-38.
- Omidvari, M., Lavasani SMR., Mirza S., (2014), Presenting of failure probability assessment pattern by FTA in Fuzzy logic (case study: Distillation tower unit of oil refinery process), *J. Chem. Health Safet.*, 21(6), 14-22.
- Peters, M. (2004), New Federal Transportation Safety Initiative: Implications for the States Spectrum: *J. State Government*, 77, 25-26
- Renjith V., Madhu G., Lakshmana V., (2010), Two-dimensional fuzzy fault tree analysis for chlorine release from a chlor-alkali industry

Analysis of human error in occupational accidents in the power plant industries using combining innovative FTA and meta-heuristic algorithms

M. Omidvari^{1*}; M. R. Gharmaroudi²

¹Assistant professor of industrial engineering Department, Faculty of industrial and Mechanical engineering, Islamic Azad University, Qazvin Branch, Qazvin Iran

²Master of science of industrial engineering, Faculty of industrial and Mechanical engineering, Islamic Azad University, Qazvin Branch, Qazvin Iran

Abstract

Introduction: Occupational accidents are of the main issues in industries. It is necessary to identify the main root causes of accidents for their control. Several models have been proposed for determining the accidents root causes. FTA is one of the most widely used models which could graphically establish the root causes of accidents. The non-linear function is one of the main challenges in FTA compliance and in order to obtain the exact number, the meta-heuristic algorithms can be used.

Material and Method: The present research was done in power plant industries in construction phase. In this study, a pattern for the analysis of human error in work-related accidents was provided by combination of neural network algorithms and FTA analytical model. Finally, using this pattern, the potential rate of all causes was determined.

Result: The results showed that training, age, and non-compliance with safety principals in the workplace were the most important factors influencing human error in the occupational accident.

Conclusion: According to the obtained results, it can be concluded that human errors can be greatly reduced by training, right choice of workers with regard to the type of occupations, and provision of appropriate safety conditions in the work place.

Keywords: *Work-related accidents, Fault Tree analysis, neural networks, power plant industries*

* Corresponding Author Email: : omidvari88@yahoo.com