

# تخمین و بهبود قابلیت اطمینان حرکت گلوله ۲۳ میلی متری در لوله‌ی سلاح با استفاده از شبکه‌های بیزین و تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی با نظریه‌ی فازی

هدی کرباسیان\* (دانشیار)

بیژن خیام‌باشی (استادیار)

ام‌البنین یوسفی (استادیار)

پوریا ناصری (دانشجوی کارشناسی ارشد)

دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

مهندسی صنایع و مدیریت شریف، زمستان ۱۳۹۴ (دوره ۱ - شماره ۲/ص. ۸۱-۷۳)

روند فعلی موجود در صنایع مختلف این نکته را اذعان می‌دارد که برقراری سیستمی با قابلیت ارجاع سریع میزان خرابی‌های محصول یا برآورد قابلیت اطمینان آن، از ضروریات هر صنعت است. یکی از محصولات صنایع نظامی گلوله‌های ضد هوایی است که در برابر تهدیدات دشمن مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تحقیق برای محاسبه‌ی قابلیت اطمینان و ارتقاء عملکرد سامانه‌ی سلاح مهمات، ابتدا با استفاده از نمودار جریان کارکردی محصول (FFBD)<sup>۱</sup> و نمودار کارکردی (FBD)<sup>۲</sup> تمام بخش‌های محصول، و در ادامه با استفاده از FBD سطوح بالای مربوط به تحلیل درخت خطا (FTA)<sup>۳</sup> شناسایی می‌شود. پس از آن نمودار قابلیت اطمینان (RBD)<sup>۴</sup> تهیه و با استفاده از تکنیک بیزین فازی قابلیت اطمینان تخمین زده می‌شود. سپس با استفاده از تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی و آثار آن (FMEA)<sup>۵</sup> به صورت فازی خطاهای طراحی را شناسایی کرده و آن را بهبود می‌بخشند.

واژگان کلیدی: قابلیت اطمینان، جریان کارکردی محصول (FFBD)، تحلیل درخت خطا (FTA)، شبکه‌ی بیزین فازی، تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی و آثار آن (FMEA).

mkarbasi@mut-es.ac.ir  
khayambj@yahoo.com  
oyousefi@iust.ac.ir  
tala8617@gmail.com

## ۱. مقدمه

در سال ۱۹۸۸ با استفاده از شبکه‌های بیزین برای محاسبه‌ی قابلیت اطمینان، به‌خوبی سادگی و نیز کارایی بالای این روش در محاسبه‌ی قابلیت اطمینان نشان داده شد.<sup>[۱]</sup> برخی از محققین در مطالعات خود نوآوری‌هایی از شبکه‌های بیزین برای تخمین قابلیت اطمینان سیستم‌های جزء محور ارائه کردند.<sup>[۲-۵]</sup> در سال ۲۰۰۰ نیز با استفاده از شبکه‌های بیزین مطالعاتی به‌منظور تخمین قابلیت اطمینان نرم‌افزاری انجام شد.<sup>[۶]</sup> سپس در سال ۲۰۰۱ در راستای استفاده از شبکه‌های بیزین در سیستم‌های ردیابی خطا پژوهش‌هایی انجام شد.<sup>[۷]</sup> در این سال برخی از محققین با ایجاد یک مدل عمومی قابلیت اطمینان و با استفاده از شبکه‌های بیزین، تأثیر فراوانی بر این مدل گذاشتند. آنها در کار خود نشان دادند که به‌راحتی می‌توان درخت خطا را به شبکه‌های بیزین تبدیل کرد.<sup>[۸]</sup> در سال ۲۰۰۳، محققین برای ارزیابی کیفیت مدل با استفاده از داده‌های واقعی، از شبکه‌های بیزین استفاده کردند.<sup>[۹]</sup> در سال ۲۰۰۶ با پیاده‌سازی شبکه‌های بیزین مطالعات جدیدی درخصوص تخمین قابلیت اطمینان سیستم‌های دینامیکی صورت گرفت.<sup>[۱۰]</sup> در ادامه، در سال ۲۰۰۷، گسترش

روند توسعه و گسترش صنایع پیشرفته با انبوهی از حجم تولیدات صنعتی در عصر حاضر، ضرورت هرچه بیشتر اجرای روش‌های پیشگویانه در مقابله با وقوع خرابی‌های احتمالی را آشکار می‌سازد. این ضرورت به‌خصوص در صنایع تولیدکننده‌ی بی‌ارزش حقیقی محصول تولیدی‌شان حجم عظیمی از دارایی‌های بالقوه‌ی آنها را تشکیل می‌دهد -- نظیر صنعت مهمات‌سازی -- بیشتر مشهود است. محصولات مهندسی مدرن از تک‌تک قطعات تا سامانه‌های بزرگ باید به‌گونه‌ی طراحی و تولید شوند که در طول مدت زمان مأموریت‌شان از قابلیت اطمینان لازم برخوردار باشند. از کار افتادن یا بروز اختلال در یک سیستم در هر صنعتی از جنبه‌های مختلف اقتصادی، انسانی، سیاسی و... مخاطره‌آمیز و زیان‌بار است. قابلیت اطمینان، یکی از مهم‌ترین شاخصه‌های کیفی قطعات، محصولات و سیستم‌های پیچیده و بزرگ است و نقش حیاتی در عملکرد این‌گونه تجهیزات ایفا می‌کند.<sup>[۱]</sup>

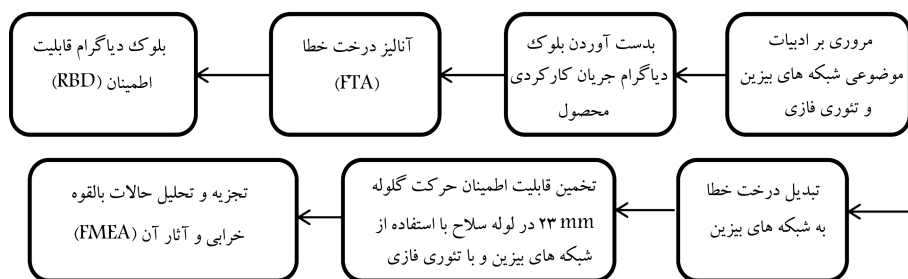
\* نویسنده مسئول

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۸/۵، اصلاحیه ۱۳۹۲/۱۲/۸، پذیرش ۱۳۹۳/۱/۲۵

استفاده از شبکه‌های بیزین در داده‌های چندسطحی گسسته و بحث چگونگی استنباط مشترک درمورد تمامی شبکه‌ها مورد بررسی قرار گرفت و استفاده از این روش منوط به پیچیدگی بیش از حد ساختار سیستم ارائه شده توسط درخت خطا اعلام شد.<sup>[۱۱]</sup> در سال ۲۰۰۸ با استفاده از یک الگوریتم تکرارپذیر جدید و نیز با در نظر گرفتن الگوریتم تکثیر قوی روی اتصال ساختارهای درخت، کسب نتیجه در شبکه‌های بیزین هیبریدی پیگیری شد، به طوری که با استفاده از این مدل بتوان قابلیت اطمینان سیستم را تخمین زد.<sup>[۱۲]</sup> در همین سال محققین با ارائه RADYBAN (تحلیل قابلیت اطمینان با شبکه‌های بیزین پویا) که یک ابزار نرم‌افزاری است، و نیز با تکیه بر تجزیه و تحلیل درخت خطای پویا، آن را به شبکه‌های بیزین تبدیل کردند؛ و با استفاده از ابزار الگوریتم مدولار به صورت خودکار درخت خطای پویا را به شبکه‌های بیزین پویا تبدیل کردند، و سپس با به کارگیری الگوریتم‌های کلاسیک درصد دست آوردن قابلیت اطمینان به وسیله شبکه‌های بیزین پویا برآمدند.<sup>[۱۳]</sup> در سال ۲۰۰۹ روش استفاده از داده‌های پیشین درمورد سیستم معرفی شد تا مدل به صورت شبکه‌های بیزین باشد؛ همچنین روش‌های کارآمدی برای ساختار خودکار مدل شبکه‌های بیزین فراهم شد تا از این طریق بتوان قابلیت اطمینان را تخمین زد.<sup>[۱۴]</sup> در این رابطه  $K_2$  یک الگوریتم داده‌کاو است که برای پیدا کردن ارتباط بین اجزای سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد و سپس مدل شبکه‌های بیزین ایجاد می‌شود. در همین سال محققین با تمرکز بر مشکلات و خلاصه‌ی برخی از تحقیقات دهه‌ی گذشته، قابلیت اطمینان انسان را به وسیله شبکه‌های بیزین هیبریدی تخمین زدند.<sup>[۱۵]</sup> مطالعات انجام شده در سال ۲۰۱۰ نشان داد که چگونه می‌توان از الگوریتم‌های شبکه‌های بیزین با مدل زمان توزیع شکست، و نیز از تحلیل قابلیت اطمینان سیستم‌های پیچیده در یک روش یک پارچه و ساده استفاده کرد؛<sup>[۱۶]</sup> در این صورت الگوریتم کار برای شبکه‌های بیزین هیبریدی می‌تواند مخلوطی از متغیرهای گسسته و پیوسته باشد. در سال ۲۰۱۱، عملکرد شبکه‌های بیزین در سیستم‌های تحلیل ایمنی بررسی شد. این بررسی شامل دو بخش است، بخش اول جنبه‌های مشترک مدل‌سازی بین درخت خطا و شبکه‌های بیزین را دربر می‌گیرد که به علت داشتن ویژگی توانایی به روزرسانی احتمالات در شبکه‌های بیزین، اولویت به شبکه‌های بیزین داده می‌شود. بخش دوم به ویژگی‌های مدل‌های مختلف شبکه‌های بیزین می‌پردازد که به گنجانیدن چند حالت متغیر، وابستگی شکست‌ها، عدم اطمینان عملکرد و نظر کارشناسان اختصاص یافته است. غالباً در تجزیه و تحلیل ایمنی با این موارد مواجه می‌شویم که اینها توسط درخت خطا در نظر گرفته نمی‌شود. در مطالعه‌ی یادشده آمده است که شبکه‌های بیزین در تجزیه و تحلیل ایمنی، به دلیل ساختار انعطاف‌پذیرش، تکنیک برتر است.<sup>[۱۷]</sup> در سال ۲۰۱۲ روش جدیدی برای تخمین قابلیت اطمینان شبکه‌های خدمات ارائه شد که نیازی به دانش قبلی درمورد ساختار سیستم شبکه ندارد. این روش مبتنی

است بر الگوریتم داده‌کاو  $K_2$  برای کشف ساختار سیستم شبکه از سیستم اولیه‌ی داده، که اجازه می‌دهد برای یافتن درخت پوشای حداقل منبع (MRST) در داخل شبکه و پس از آن با استفاده از شبکه‌های بیزین، قابلیت اطمینان مدل MRST و خدمات شبکه تخمین زده شود.<sup>[۱۸]</sup> در همین سال محققین توسعه‌ی شبکه‌های بیزین فازی را برای بهبود کمی تأثیرات سازمانی در چارچوب مجموعه‌ی فعالان حقوق بشر (تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان انسان) را بررسی کرده‌اند.<sup>[۱۹]</sup> در مطالعه یادشده ابتدا یک چارچوب مفهومی بیان‌گر علت در نظر گرفته شده تا روابط علت و معلولی بین عوامل سازمانی و قابلیت اطمینان انسان یا خطای انسانی تجزیه و تحلیل شود. پس از آن مدل استنتاج احتمال برای مجموعه‌ی فعالان حقوق بشر با ترکیب چارچوب مفهومی علت و معلولی با شبکه‌های بیزین برای پیاده‌سازی استنتاج علت و معلولی و تشخیصی در نظر گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی شامل ترکیب مدل مفهومی علت و معلولی با رویکرد شبکه‌های بیزین نمی‌تواند به تنهایی یک مدل کیفی روابط علت و معلولی بین عوامل سازمانی و قابلیت اطمینان انسان باشد، بلکه اندازه‌گیری کمی قابلیت اطمینان عملیاتی انسان و شناسایی علت‌های ریشه‌ی با احتمال زیاد یا اولویت‌بندی ریشه می‌تواند به بروز خطای انسانی بینجامد.<sup>[۱۹]</sup> در ادامه پژوهش‌گران رویکرد یکپارچه‌سازی درخت خطای فازی (FFT) را با شبکه‌های بیزین ارائه کردند و طی آن ابتدا با استفاده از درخت خطای فازی، مدل تاکاجی و سوگینو را که می‌تواند به عدم قطعیت در روابط میان اتفاقات مختلف منجر شود معرفی، و سپس نقش تبدیل درخت خطای فازی به شبکه‌های بیزین را ارائه داده‌اند.<sup>[۲۰]</sup> دیگر محققین نیز قابلیت اطمینان دو ترکیب سیستم‌های کنترل BOP زیردریایی - شامل افزونگی مدولار سه‌گانه و سیستم‌های کنترل افزونگی مدولار دوگانه - را با استفاده از شبکه‌های بیزین ارزیابی کرده‌اند؛<sup>[۲۱]</sup> در این ارزیابی دو ویژگی علت شکست مشترک و پوشش ناقص اطلاعات مورد توجه بوده است.

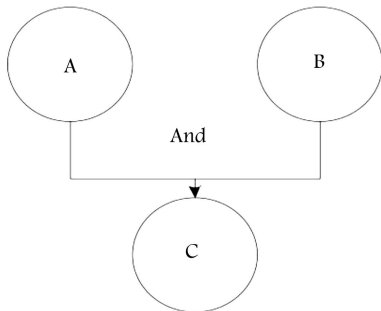
در تحقیق حاضر قابلیت اطمینان گلوله‌ی ۲۳ میلی‌متری را با استفاده از شبکه‌های بیزین به دست می‌آوریم. در واقع برای این که نتیجه‌ی نهایی از دقت بالایی برخوردار باشد داده‌های به دست آمده از نظرات خبرگان را به صورت فازی درمی‌آوریم تا حد بالا و پایین برای قابلیت اطمینان حاصل شود. برای به دست آوردن قابلیت اطمینان با استفاده از شبکه‌های بیزین فازی، ابتدا بلوک نمودار جریان کارکردی محصول را تهیه و در مرحله‌ی بعد درخت خطای محصول را رسم می‌کنیم. سپس بلوک نمودار قابلیت اطمینان رسم می‌شود و با تبدیل درخت خطا به صورت شبکه‌های بیزین، قابلیت اطمینان محصول برآورد و در آخر با استفاده از تجزیه و تحلیل حالات بالقوه‌ی خرابی و آثار آن (FMEA) به صورت فازی، خطاهای طراحی شناسایی و اولویت‌بندی و بهبود داده می‌شود. در شکل ۱ مدل مفهومی تحقیق ارائه شده است.



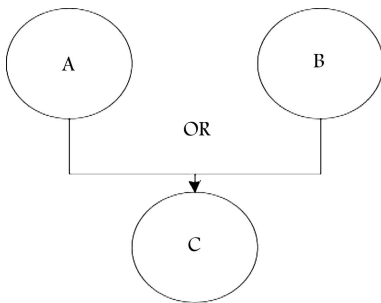
شکل ۱. مدل مفهومی تحقیق.

## ۲. شبکه‌ی بیزین

شبکه‌های بیزین نمونه‌یی از مدل‌های گرافیکی‌اند که گره‌هایی برای متغیرها و یال‌هایی جهت‌دار به‌منظور نشان دادن روابط میان این گره‌ها دارند. این شبکه‌ها از جمله گراف‌های فاقد دور هستند. از این شبکه‌ها برای محاسبه‌ی احتمال یک رخداد (پائین‌ترین گره) که متأثر از چندین متغیر دیگر است استفاده می‌شود. برای محاسبه‌ی احتمال هر گره والد ابتدا احتمالات گره‌های ریشه با استفاده از توابع توزیع خاص، مشاهدات یا نظرات خبره استخراج می‌شود و سپس، با بهره‌مندی از قاعده‌ی احتمالی بیز، احتمال گره والد به دست می‌آید.



شکل ۴. شبکه‌ی بیزین به‌صورت موازی.



شکل ۵. شبکه‌ی بیزین به‌صورت سری.

### ۱.۲. تبدیل درخت خطا به شبکه‌های بیزین

درخت‌های خطا را می‌توان به‌راحتی به شبکه‌های بیزین تبدیل کرد. چنان‌که در شکل‌های ۲ و ۳ مشاهده می‌شود، می‌توان پیشامدهای خرابی را به‌عنوان گره‌های شبکه‌ی بیزین و در نتیجه‌های AND و OR را نیز به‌عنوان یال‌ها در نظر گرفت. تفاوت بین نوع درجه‌ها بر احتمالات شرطی که در شبکه‌های بیزین بین متغیرها تعریف می‌شود اثر می‌گذارد.

شبکه‌ی بیزین مربوط به شکل ۲ با گره AND به‌صورت شکل ۴ خواهد بود. براساس شکل ۴، روابط شرطی مربوط به شبکه‌ی بیزین موازی عبارت است از:

$$\begin{aligned} P\{C = \text{AND} \mid A = \circ, B = \circ\} &= \circ \\ P\{C = \text{AND} \mid A = \circ, B = \text{AND}\} &= \circ \\ P\{C = \text{AND} \mid A = \text{AND}, B = \circ\} &= \circ \\ P\{C = \text{AND} \mid A = \text{AND}, B = \text{AND}\} &= \text{AND} \end{aligned} \quad (1)$$

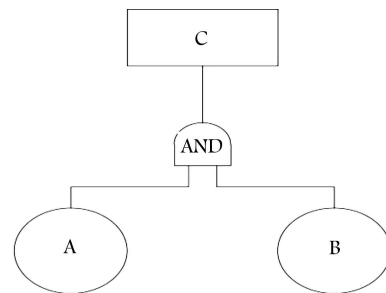
$$\begin{aligned} P(C = \text{AND}) &= P(C = \text{AND} \mid A = \circ, B = \circ) \cdot P(A = \circ, B = \circ) \\ &+ P(C = \text{AND} \mid A = \circ, B = \text{AND}) \cdot P(A = \circ, B = \text{AND}) \\ &+ P(C = \text{AND} \mid A = \text{AND}, B = \circ) \cdot P(A = \text{AND}, B = \circ) \\ &+ P(C = \text{AND} \mid A = \text{AND}, B = \text{AND}) \cdot P(A = \text{AND}, B = \text{AND}) \end{aligned} \quad (2)$$

در ادامه شبکه‌ی بیزین مربوط به شکل ۳ با گره OR مطابق شکل ۵ است. مطابق شکل ۵، روابط شرطی شبکه‌ی بیزین سری عبارت است از:

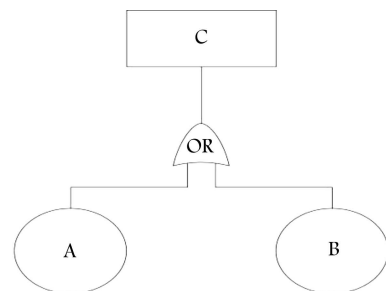
$$\begin{aligned} P\{C = \text{OR} \mid A = \circ, B = \circ\} &= \circ \\ P\{C = \text{OR} \mid A = \circ, B = \text{OR}\} &= \text{OR} \\ P\{C = \text{OR} \mid A = \text{OR}, B = \circ\} &= \text{OR} \\ P\{C = \text{OR} \mid A = \text{OR}, B = \text{OR}\} &= \text{OR} \end{aligned} \quad (3)$$

احتمال وقوع  $C$  در این حالت هم مشابه مورد قبلی از رابطه‌ی ۲ به دست می‌آید.<sup>[۸]</sup>

و در نهایت، احتمال وقوع  $C$  از رابطه‌ی ۲ محاسبه می‌شود:



شکل ۲. درخت خطا به‌صورت موازی.



شکل ۳. درخت خطا به‌صورت سری.

## ۳. اعداد فازی مثلثی

اعداد فازی مثلثی به‌وسیله‌ی سه عدد حقیقی به‌صورت  $(u, m, l)$  تعریف می‌شود.  $m$  محتمل‌ترین مقدار یک عدد فازی است. اعداد فازی مثلثی توابعی عضویتی دارند مشتمل بر دو بخش خطی چپ و راست، که در رأس  $(m, 1)$  به هم متصل می‌شوند. نکته‌ی بسیار مهم آن است که اعداد فازی مثلثی براساس اطلاعات اندک ساخته می‌شود و انجام عملیات چهارگانه نیز بر روی این اعداد آسان است، و غالباً در مواردی مانند کنترل‌کننده‌های فازی، تصمیم‌گیری‌های مدیریتی، بازرگانی و مالی، مقایسه‌ها و ارزیابی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.<sup>[۲۲]</sup>

بخش اصلی و مهم نظریه‌ی مجموعه‌های فازی، گرفتن اطلاعات از خبره‌هاست. بنابراین، قضاوت یک خبره نقش حیاتی در ارزیابی قابلیت اطمینان دارد. قابلیت

## ۵. تحلیل درخت خطا

روش تحلیل درخت خطا یک نمودار منطقی و گرافیکی از بالا به پایین است که خرابی و علت‌های آن را توصیف می‌کند.<sup>[۲۳]</sup> نمودار تحلیل درخت خطا از نظر گرافیکی، نمایان‌گر تمامی خرابی‌های سامانه، زیرسامانه‌ها و مجموعه است که برای نمایش روابط بین خرابی‌ها و علت‌های آن از یک سری علائم و نمادها استفاده می‌کند. در شکل ۷ درخت خطای مربوط به حرکت پرتابه در لوله‌ی سلاح را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

## ۶. بلوک نمودار قابلیت اطمینان

بلوک نمودار نمایشی از چیدمان فیزیکی اجزای سیستم است که نشان می‌دهد چگونه هر جزء باید برای موفقیت سیستم عمل کند. در شکل ۸ بلوک نمودار قابلیت اطمینان اشکال در حرکت پرتابه، که از درخت خطای مربوطه به دست می‌آید، نمایش داده شده است.<sup>[۲۴]</sup>

## ۷. تبدیل تحلیل درخت خطا به شبکه‌های بی‌زین

برای تبدیل درخت خطای اشکال در حرکت پرتابه به شبکه‌ی بی‌زین باید از الگوی ارائه شده در بخش ۱.۲ استفاده کرد (شکل ۹). از آنجا که در رابطه‌ی ۲، دو نوع احتمال شرطی و حاشیه‌ی وجود دارد، رویکردهای حل به این صورت است که مقدار احتمالات حاشیه‌ی وجود داشته و احتمالات شرطی را باید محاسبه کرد.

## ۸. محاسبه‌ی قابلیت اطمینان

در این تحقیق مقادیر احتمالات حاشیه‌ی وجود افراد خبره استخراج و در جدول ۱

اطمینان ابتدایی به صورت عدد فازی  $[l, r]$  در نظر گرفته می‌شود، که ارزش قطعی یا میانی عدد فازی مثلثی  $(m)$  برابر است با جمع این دو عدد تقسیم بر دو. مقدار فازی اطلاعات ورودی از نظر  $n$  نفر خبره به صورت عدد فازی مثلثی زیر به دست می‌آید:

$$E^i = (m^i - d^i, m^i, m^i + d^i) \quad (4)$$

اما لازم است از نظرات خبره‌ها به ارزش واحدی برای قابلیت اطمینان PRO-BIST رسید. با استفاده از برش  $\alpha$  در عبارت فازی می‌توان عدد فازی را در سطوح مختلف به دست آورد و متناسب با عملکرد، یک سطح را انتخاب کرد. هدف استفاده از برش  $\alpha$  افزایش دقت در محاسبات و افزایش حیطه‌ی انتخاب تصمیم‌گیرندگان است. اگر احتمال شکست جزء  $i$ ام باشد و آن را به صورت عدد فازی مثلثی با سه مؤلفه  $p_i = (p_{i1}, p_{i2}, p_{i3})$  تعریف کنیم. با داشتن هر برش  $\alpha$  داریم:

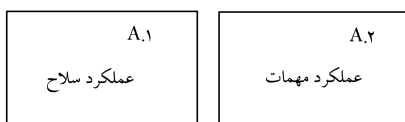
$$[p_i]_\alpha = [p_{i1} + \alpha(p_{i2} - p_{i1}), p_{i2} - \alpha(p_{i2} - p_{i2})] \quad (5)$$

$$[p_i]_\alpha \cdot [p_j]_\alpha = \{ \{ p_{i1} + \alpha(p_{i2} - p_{i1}) \cdot p_{j1} + \alpha(p_{j2} - p_{j1}) \}, \{ p_{i2} - \alpha(p_{i2} - p_{i2}) \cdot p_{j2} - \alpha(p_{j2} - p_{j2}) \} \} \quad (6)$$

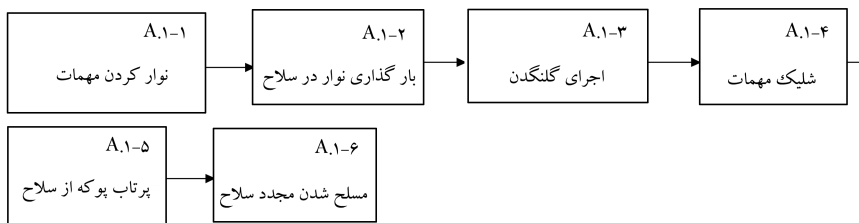
## ۴. بلوک نمودار تابع عملکرد (FFBD)

تحلیل عملکرد فرایند، تعریف توصیف و تشریح توابع یک سیستم است که در راستای تحقق اهداف و مقاصد آن قرار دارد. FFBD توالی زمان وقایع عملکرد را نشان می‌دهد، بدین معنا که هر تابع به نمایندگی بلوک پس از تابع قبلی رخ می‌دهد. شکل ۶ بلوک نمودار تابع عملکرد را نمایش می‌دهد.

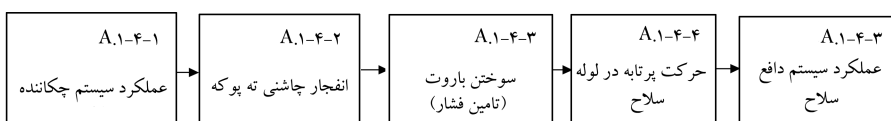
TOP LEVEL



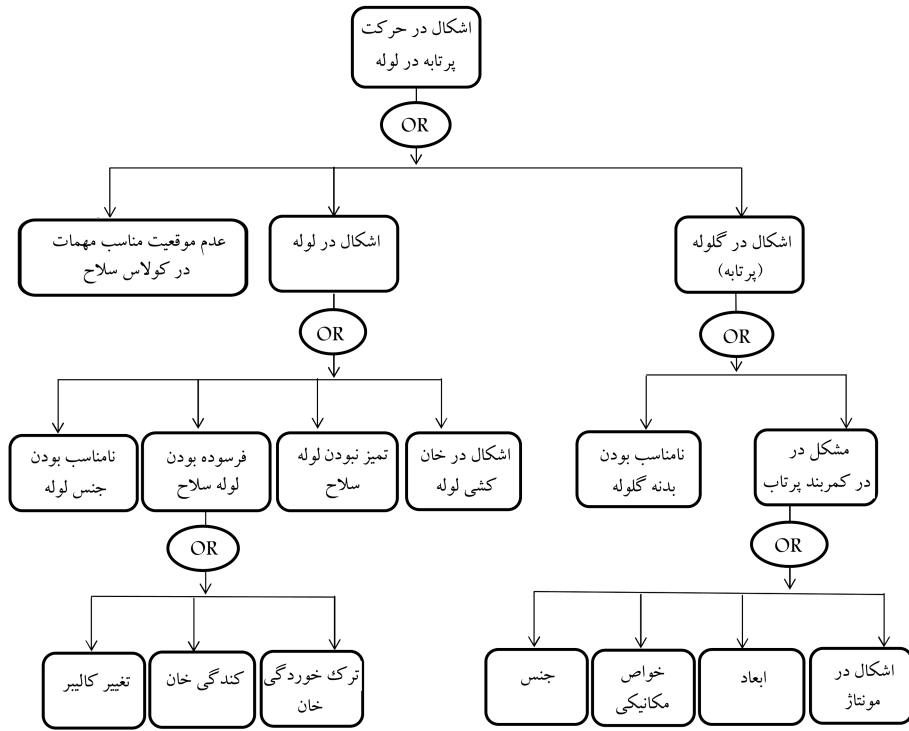
LEVEL ۱



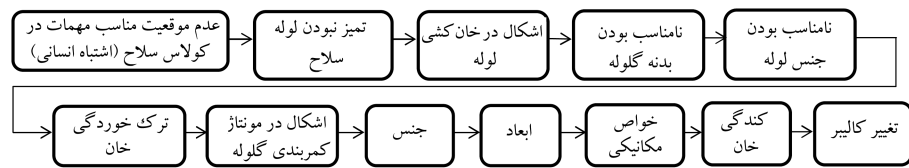
LEVEL ۲



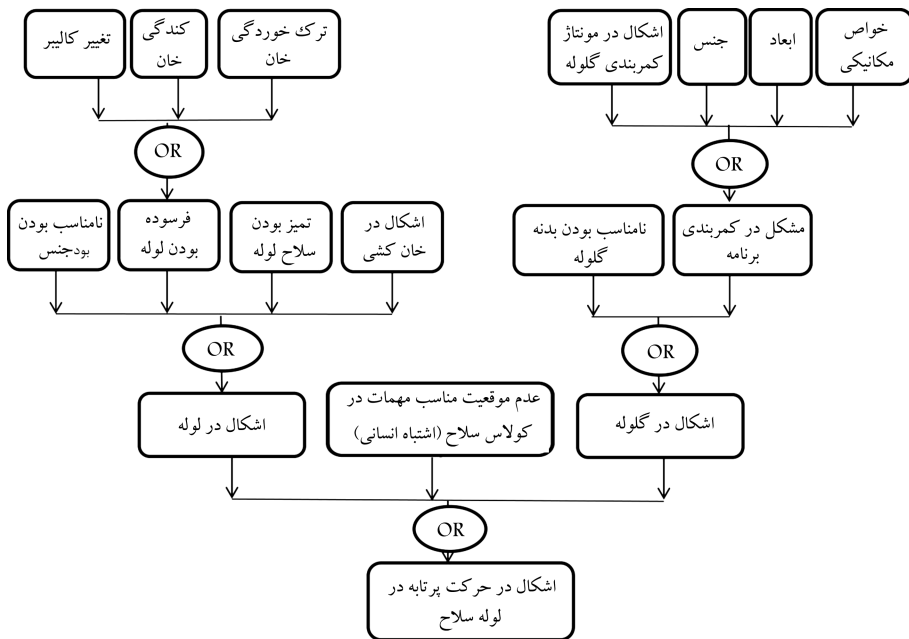
شکل ۶. بلوک نمودار تابع عملکرد گلوله ۲۳ میلی متری.



شکل ۷. درخت خطای مربوط به حرکت پرتابه در لوله‌ی سلاح.



شکل ۸. بلوک نمودار قابلیت اطمینان حرکت پرتابه در لوله‌ی سلاح.



شکل ۹. تبدیل تحلیل درخت خطا به شبکه‌های بی‌زین اشکال در حرکت پرتابه در لوله‌ی سلاح.

جدول ۱. قابلیت اطمینان عوامل خرابی و رخدادها در حرکت پرتابه در لوله‌ی سلاح.

رخدادها	عوامل خرابی	$R_i = 1 - p_i$
$R_1$	عدم موقعیت مناسب مهمات	$(0,900 \text{ و } 0,925 \text{ و } 0,950)$
$r_1$	در کولاس سلاح	$(0,980 \text{ و } 0,985 \text{ و } 0,990)$
$r_3$	نامناسب بودن جنس لوله	$(0,990 \text{ و } 0,9945 \text{ و } 0,999)$
$r_4$	تمیز نبودن لوله‌ی سلاح	$(0,990 \text{ و } 0,9945 \text{ و } 0,999)$
$r_5$	اشکال در خان‌کشی لوله	$(0,980 \text{ و } 0,985 \text{ و } 0,990)$
$s_1$	ترک خوردن خان	$(0,980 \text{ و } 0,985 \text{ و } 0,990)$
$s_2$	کندگی خان	$(0,980 \text{ و } 0,985 \text{ و } 0,990)$
$s_3$	تغییر کالیبر	$(0,980 \text{ و } 0,985 \text{ و } 0,990)$
$r_5$	نامناسب بودن بدنه‌ی گلوله	$(0,990 \text{ و } 0,9945 \text{ و } 0,999)$
$s_4$	اشکال در مونتاژ	$(0,997 \text{ و } 0,9975 \text{ و } 0,998)$
$s_5$	ابعاد	$(0,997 \text{ و } 0,9975 \text{ و } 0,998)$
$s_6$	جنس	$(0,997 \text{ و } 0,9975 \text{ و } 0,998)$
$s_7$	خواص مکانیکی	$(0,997 \text{ و } 0,9975 \text{ و } 0,998)$

در مجموعه‌ی ماسوره‌ی مکانیکی با شرایط حاکم بر چهار زیرعامل آن آورده شده است.

$$\begin{aligned}
 P(R|R_1, R_r, R_r) &= \tau_1 P(R_1) P(R_r) P(R_r) + \tau_r P(R_1) P(R_r) \\
 & (\quad - P(R_r)) + \tau_r P(R_1) (\quad - P(R_r)) P(R_r) \\
 & + \tau_r (\quad - P(R_1)) P(R_r) P(R_r) + \tau_5 P(R_1) \\
 & (\quad - P(R_r)) (\quad - P(R_r)) + \tau_r (\quad - P(R_1)) \\
 & P(R_r) (\quad - P(R_r)) + \tau_v (\quad - P(R_1)) \\
 & (\quad - P(R_r)) P(R_r) + \tau_8 (\quad - P(R_1)) \\
 & (\quad - P(R_r)) (\quad - P(R_r)) \quad (8)
 \end{aligned}$$

در جدول ۲ مقدار قابلیت اطمینان هرکدام از زیرعامل‌های مربوط به حرکت پرتابه در لوله‌ی سلاح را در سطوح مختلف  $\alpha$  نشان می‌دهد. در نهایت قابلیت اطمینان حرکت پرتابه در لوله‌ی سلاح در سطوح مختلف  $\alpha$  در جدول ۳ آورده شده است.

## ۹. تحلیل حالت بالقوه خرابی و آثار شکست (FMEA)

### به صورت فازی

FMEA تکنیک مهمی است که برای شناسایی و از بین بردن خرابی‌های بالقوه مورد استفاده قرار می‌گیرد. این تکنیک برای افزایش قابلیت اطمینان و ایمنی سیستم‌های پیچیده کاربرد دارد و برای ارائه‌ی اطلاعات برای تعیین تصمیمات مدیریت ریسک در نظر گرفته می‌شود.<sup>[۲۵]</sup> در جدول ۴ تحلیل حالت بالقوه خرابی و آثار شکست (FMEA) حرکت پرتابه در لوله‌ی سلاح به صورت فازی ارائه شده است. منظور از «وقوع»، نوعی درجه‌بندی یا ارزش است که به منظور احتمال رخداد هر علت تخمین زده می‌شود. با حذف یا کنترل تعدادی از علت‌ها یا سازوکارها می‌توان احتمال وقوع خطا را کاهش داد. برای تعیین میزان وقوع هر یک از علت‌ها می‌توان از علم ریاضیات، مقیاس صلاحیت فرایند اطمینان کالا، احتمالات بالقوه یا مجموع تعداد شکست اجزا استفاده کرد. منظور از «تشخیص» نیز کنترل‌هایی است که در حد امکان از وقوع حالت خرابی پیشگیری، یا در صورت وقوع حالت خرابی آن را شناسایی می‌کند.

بر اساس نتایج حاصله از جدول ۴ و مقایسه‌ی آن با معیار RPN، درمی‌یابیم که اشکال در خان‌کشی و همچنین فرسوده‌بودن لوله مهم‌ترین علت‌های خرابی بالقوه‌اند و دارای بیشترین حد بالا و پایین RPN هستند که متناسب با هرکدام، کنترل‌های پیشگیرانه و تشخیصی در جدول ۴ در نظر گرفته شده است.

## ۱۰. نتیجه‌گیری

آنچه این تحقیق را از تحقیقات دیگر متمایز می‌کند داشتن یک نگاه فازی به شبکه‌ی بیزین و تحلیل حالات بالقوه‌ی خرابی و آثار شکست برای به دست آوردن دقیق‌تر قابلیت اطمینان، و نیز نگاهی دقیق به خرابی‌های مؤثر و آثار آنها در عرصه‌ی صنعت برای محصولات در حین فرایند طراحی و آغاز تولید است که موجب برنامه‌ریزی دقیق‌تر برای ارتقاء سطح محصول می‌شود.

در این تحقیق قابلیت اطمینان گلوله‌ی ۲۳ میلی‌متری را با استفاده از شبکه‌های بیزین به دست آوردیم و برای این که نتیجه‌ی نهایی از دقت بالایی برخوردار باشد

نمایش داده شده است. احتمالات شرطی نیز با استفاده از روش زنجیره‌ی مارکوف مونت کارلو (MCMC) محاسبه می‌شود.<sup>[۸]</sup>

در جدول ۱ احتمالات حاشیه‌ی و قابلیت اطمینان عوامل خرابی و رخدادها در حرکت پرتابه در لوله‌ی سلاح ارائه شده است.

برای محاسبه‌ی احتمال درست کارکردن حرکت پرتابه در لوله‌ی سلاح از رابطه‌ی ۷ استفاده می‌شود. در محاسبات  $R_1$  مربوط به عدم موقعیت مناسب مهمات در کولاس سلاح (اشتباه انسانی) به عنوان احتمال حاشیه‌ی حرکت پرتابه در لوله‌ی سلاح مطرح و  $r_2$  مربوط به فرسودگی لوله‌ی سلاح است که دارای احتمال شرطی است و به احتمالات حاشیه‌ی  $s_1, s_2, s_3$  وابسته است. احتمالات  $R_1, R_r, R_r$  و  $r_6$  احتمالات شرطی‌اند.

$$\begin{aligned}
 P(R) &= P(R|R_1, R_r, R_r) P(R_1|r_1, r_2, r_3, r_4) P(R_r|r_5, r_6) \\
 & P(r_7|s_1, s_2, s_3) P(r_8|s_4, s_5, s_6, s_7) P(R_r) P(r_1) P(r_2) \\
 & P(r_3) P(r_4) P(r_5) P(s_1) P(s_2) P(s_3) P(s_4) P(s_5) P(s_6) P(s_7) \quad (9)
 \end{aligned}$$

مقادیر احتمالات شرطی طبق رابطه‌ی ۲ و روش زنجیره‌ی مارکوف مونت کارلو محاسبه می‌شود. در رابطه‌ی ۸ نحوه‌ی محاسبه‌ی احتمال شرطی درست کار کردن سوزن

جدول ۲. قابلیت اطمینان هر کدام از زیر عامل‌های مربوط به حرکت پرتابه در لوله سلاح در سطوح مختلف  $\alpha$ .

$\alpha$	مشکل در کمربند پرتاب		فرسوده بودن لوله سلاح		اشکال در گلوله		اشکال در لوله	
	پایین	بالا	پایین	بالا	پایین	بالا	پایین	بالا
۰٫۰	۰٫۹۴۲۷	۰٫۹۶۶۹	۰٫۸۹۲۵	۰٫۹۳۵۵	۰٫۹۳۴۹	۰٫۹۵۹۱	۰٫۸۹۴۸	۰٫۹۳۸۳
۰٫۱	۰٫۹۴۳۱	۰٫۹۶۶۵	۰٫۸۹۷۲	۰٫۹۳۳۵	۰٫۹۳۵۹	۰٫۹۵۸۱	۰٫۸۹۶۵	۰٫۹۳۷۸
۰٫۲	۰٫۹۴۳۶	۰٫۹۶۶۰	۰٫۸۹۹۳	۰٫۹۳۱۵	۰٫۹۳۶۸	۰٫۹۵۷۱	۰٫۸۹۸۳	۰٫۹۳۷۳
۰٫۳	۰٫۹۴۴۰	۰٫۹۶۵۶	۰٫۹۰۱۳	۰٫۹۲۹۵	۰٫۹۳۷۸	۰٫۹۵۶۱	۰٫۹۰۰۱	۰٫۹۳۶۸
۰٫۴	۰٫۹۴۴۴	۰٫۹۶۵۲	۰٫۹۰۳۳	۰٫۹۲۷۵	۰٫۹۳۸۸	۰٫۹۵۵۱	۰٫۹۰۱۸	۰٫۹۳۶۳
۰٫۵	۰٫۹۴۴۹	۰٫۹۶۴۷	۰٫۹۰۵۳	۰٫۹۲۵۵	۰٫۹۳۹۸	۰٫۹۵۴۱	۰٫۹۰۳۶	۰٫۹۳۵۹
۰٫۶	۰٫۹۴۵۳	۰٫۹۶۴۳	۰٫۹۰۷۴	۰٫۹۲۳۵	۰٫۹۴۰۸	۰٫۹۵۳۱	۰٫۹۰۵۳	۰٫۹۳۵۴
۰٫۷	۰٫۹۴۵۷	۰٫۹۶۳۸	۰٫۹۰۹۴	۰٫۹۲۱۵	۰٫۹۴۱۸	۰٫۹۵۲۱	۰٫۹۰۷۴	۰٫۹۳۴۹
۰٫۸	۰٫۹۴۶۲	۰٫۹۶۳۴	۰٫۹۱۱۴	۰٫۹۲۹۵	۰٫۹۴۲۸	۰٫۹۵۱۱	۰٫۹۰۸۸	۰٫۹۳۴۴
۰٫۹	۰٫۹۴۶۶	۰٫۹۶۳۰	۰٫۹۱۳۴	۰٫۹۲۷۴	۰٫۹۴۳۸	۰٫۹۵۰۱	۰٫۹۱۰۶	۰٫۹۳۳۹
۱٫۰	۰٫۹۴۷۰	۰٫۹۶۲۵	۰٫۹۱۵۴	۰٫۹۱۵۴	۰٫۹۴۴۸	۰٫۹۴۹۱	۰٫۹۱۲۴	۰٫۹۳۳۴

جدول ۳. قابلیت اطمینان حرکت پرتابه در لوله‌ی سلاح در سطوح مختلف  $\alpha$ .

$\alpha$	حرکت پرتابه در لوله سلاح	
	حد بالایی	حد پایینی
۰٫۰	۰٫۸۱۴۰	۰٫۷۰۶۰
۰٫۱	۰٫۸۱۰۷	۰٫۷۰۹۹
۰٫۲	۰٫۸۰۷۲	۰٫۷۱۴۱
۰٫۳	۰٫۸۰۳۸	۰٫۷۱۸۱
۰٫۴	۰٫۸۰۰۶	۰٫۷۲۲۲
۰٫۵	۰٫۷۹۷۲	۰٫۷۲۶۴
۰٫۶	۰٫۷۹۳۹	۰٫۷۳۰۶
۰٫۷	۰٫۷۹۰۶	۰٫۷۳۵۰
۰٫۸	۰٫۷۸۷۳	۰٫۷۳۸۹
۰٫۹	۰٫۷۸۳۹	۰٫۷۴۳۰
۱٫۰	۰٫۷۸۰۵	۰٫۷۴۷۳

داده‌های به دست آمده از نظرات خبرگان را به صورت فازی تبدیل کردیم تا یک حد بالا و پایین برای قابلیت اطمینان به دست آید. برای به دست آوردن قابلیت اطمینان با استفاده از شبکه‌های بی‌زین فازی، ابتدا بلوک نمودار جریان کارکردی محصول را به دست می‌آوریم و سپس عواملی که موجب می‌شود حرکت پرتابه در لوله‌ی سلاح قابل اعتماد نباشد یا باعث کاهش اعتماد آن شود را به صورت درخت خطا -- یکی از ابزار محاسبه‌ی قابلیت اطمینان -- ارائه و سپس بلوک نمودار قابلیت اطمینان را رسم کردیم. با تبدیل درخت خطا به شبکه‌های بی‌زین، قابلیت اطمینان محصول برآورد می‌شود و در آخر، با استفاده از تجزیه و تحلیل حالات بالقوه‌ی خرابی و آثار آن (FMEA) به صورت فازی خطاهای طراحی شناسایی و اولویت‌بندی و بهبوددهی می‌شود. واحدهای تولیدکننده می‌توانند با این روش و با در نظر گرفتن سطح  $\alpha$  مناسب مورد نظر خود قابلیت اطمینان محصول خود را محاسبه کنند و متناسب با آن برنامه‌ریزی‌های آتی را انجام دهند و از آن به عنوان یک مزیت رقابتی بهره ببرند.

در مطالعات آتی می‌توان موارد زیر را برای تحقیق و بررسی مد نظر قرار داد:

۱. پیشنهاد الگوریتمی کارآ به منظور از بین بردن نقش خبره در محاسبه‌ی قابلیت اطمینان از طریق شبکه‌های بی‌زین؛
۲. ایجاد روشی جدید برای محاسبه‌ی احتمالات حاشیه‌ی و شرطی در صورت فقدان داده مورد نیاز در روش شبکه‌های بی‌زین.

جدول ۴. تحلیل حالت بالقوه خرابی و آثار شکست (FMEA) حرکت پرتابه در لوله سلاح به صورت فازی.

R.P.N	تشخیص	کنترل‌های جاری		وقوع	عمل خرابی بالقوه	شدت	آثار خرابی بالقوه	حالات خرابی بالقوه	شرح فرایند یا محصول
		تشخیصی	پیشگیرانه						
(۲۵۶۴۰۵۶۰۰)	(۴۰۵۶)	انجام کنترل‌های لازم با استفاده از دوربین که مسیر لوله را نشان می‌دهد	استفاده از لوله جدید پس از چندین بار شلیک مطابق دستورالعمل استفاده از لوله کنترل لوله و خان سلاح قبل	(۸۰۹۱۰)	فرسوده بودن لوله		اشکال در گارله شلیک شده ایجاد می‌شود که منجر به گیر کردن گارله و یا عدم عملکرد ماسوره می‌شود.	عدم تنظیم پارامترهای پرس و برهم خوردن دانسیته مواد تشکیل دهنده دتاتور	وقتی فشنگ در وضعیت شلیک قرار گرفت سیستم چکاننده عمل کرده و با انفجار چاشنی باروت شروع به سوختن می‌کند، با ایجاد فشار گاز باروت گارله در لوله سلاح حرکت می‌کند.
(۳۳۶۵۰۴۰۷۲۰)	(۷۰۸۰۹)	روشی ندارد	از استفاده با استفاده از دوربین	(۶۰۷۰۸)	اشکال در خان کشی	(۸۰۹۱۰)			
(۱۲۰۲۱۶۳۵۰)	(۳۰۴۰۵)	با نگاه کردن در لوله و یا استفاده از دستمال سفید	تمیز کردن لوله پس از هر بار شلیک	(۵۰۶۰۷)	تمیز نبودن لوله				
(۲۲۴۳۶۰۵۴۰)	(۷۰۸۰۹)	انجام آنالیز	روشی ندارد	(۴۰۵۰۶)	نامناسب بودن جنس لوله				

### پانوشتها

1. function flow block diagram
2. function block diagram
3. fault tree analysis
4. reliability block diagram
5. failure mode and effect analysis

### منابع (References)

1. Bloom, N.B., *Reliability Centered Maintenance Implementation Made Simple*, 2nd ed., McGraw-Hill, Inc., New York (2006).
2. Barlow, R.E. "Using influence diagrams", *Accelerated Life Testing and Experts' Opinions in Reliability* (1988).
3. Xie, M. and Wohlin, C. "An additive reliability model for the analysis of modular software failure data", *Proceedings of the Sixth International Symposium on Software Reliability Engineering*, pp. 188-193 (1996).
4. Krishnamurthy, S. and Mathur, A.P. "On the estimation of reliability of a software system using reliabilities of its components", *Proceedings of the Ninth International Symposium on Software Reliability Engineering*, pp. 146 (1997).
5. Gokhale, S., Lyu, M.R. and Trivedi, K.S. "Reliability simulation of component based software systems", *Proceedings of the International Symposium on Software Reliability Engineering* (1998).
6. Gran, B.A., Dahll, G., Eisinger, S., Lund, E.J., Norstrom, J.G., Strocka, P. and Ystanes, B.J. "Estimating dependability of programmable systems using BBns", *Proceedings of the Safecom*, pp. 309-320 (2000).
7. Jensen, F.V., *Bayesian Networks and Decision Graphs*, Springer-Verlag New York, Inc. Secaucus, NJ, USA (2001).
8. Bobbio, A., Portinalea, L., Minichino, M. and Ciancamerla, E. "Improving the analysis of dependable systems by mapping fault trees into bayesian networks", *Reliability Engineering and System Safety*, **71**, pp. 249-260 (2001).
9. Amasaki, S., Takagi, Y., Mizuno, O. and Kikuno, T. "A Bayesian belief network for assessing likelihood of fault content", *Proceedings of the 14th International Symposium on Software Reliability Engineering*, pp. 215-226 (2003).
10. Boudali, H. and Dugan, A. "A continuous-time bayesian network reliability modeling and analysis framework", *IEEE Trans Reliability*, **55**(1), pp. 86-97 (2006).
11. Wilson, A.G. and Huzurbazar, A.V. "Bayesian networks for multilevel system reliability", *Reliability Engineering and System Safety*, **92**, pp. 1413-1420 (2007).
12. Neil, M., Tailor, M., Marquez, D., Fenton, N. and Hearty, P. "Modelling dependable systems using hybrid Bayesian network", *Reliability Engineering and System Safety*, **93**, pp. 933-939 (2008).
13. Portinale, L., Montani, S., Bobbio, A. and Codetta-Raiteri, D. "Radyban: A tool for reliability analysis of dynamic fault trees through conversion into dynamic Bayesian networks", *Reliability Engineering and System Safety*, **93**(7), pp. 922-932 (2008).
14. Doguc, O. and Ramirez-Marquez, J.E. "A generic method for estimating system reliability using Bayesian networks", *Reliability Engineering and System Safety*, **94**, pp. 542-550 (2009).



15. Langseth, H., Nielsen, T.D., Rumi', R. and Salmero'n, A. "Inference in hybrid Bayesian networks", *Reliability Engineering and System Safety*, **94**, pp. 1499-1509 (2009).
16. Marquez, D., Neil, M. and Fenton, N. "Improved reliability modeling using Bayesian networks and dynamic discretization", *Reliability Engineering and System Safety*, **95**, pp. 412-425 (2010).
17. Khakzad, N., Khan, F. and Amyotte, P. "Safety analysis in process facilities: Comparison of fault tree and Bayesian network approaches", *Reliability Engineering and System Safety*, **96**, pp. 925-932 (2011).
18. Doguc, O. and Ramirez-Marquez, J.E. "An automated method for estimating reliability of grid systems using Bayesian networks", *Reliability Engineering and System Safety*, **104**, pp. 96-105 (2012).
19. Peng-cheng, L., Guo-hua, C., Li-cao, D. and Li, Z. "A fuzzy Bayesian network approach to improve the quantification of organizational influences in HRA frameworks", *Safety Science*, **50**, pp. 1569-1583 (2012).
20. Yanfu, W. and Min, X. "Approach to integrate fuzzy fault tree with Bayesian network", *International Symposium on Safety Science and Technology*, *Procedia Engineering*, **45**, pp. 131-138 (2012).
21. Cai, B., Liu, Y., Fun, Q. and Zhang, Y. "Application of Bayesian networks to reliability evaluation of software system for subsea blowout preventer", *International Journal of Control and Automation*, **6**(1), pp. 47-60 (2013).
22. Verma, A.K., Srividya, A., Prabhu Gaonkar, R. "Pro-fust reliability evaluation: An application to degrading diesel engine power plant", in *proceedings of the International Conference on Sustainable Habitat for Cold Climates* (16-18 Semptember 2004).
23. Clemens, P.L., *Fault Tree Analysis*, Fourth Edition, Lecture Presentation, Sverdrup Technology, Inc (1992).
24. Clemens, P.L., *Transformation Fault Tree/Reliability Block Digram/Event Tree*, Lecture Presentation, Sverdrup Technology, Inc (1992).
25. Estorilio, C. and Posso, R. "The reduction of irregularities in the use of process FMEA" *International Journal of Quality & Reliability Management*, **27**(6), pp. 721-733 (2010).