تخمین قابلیت اطمینان مکانیزم مجموعه روتور در ماسوره مکانیکی $F^{۲۳۲}G$ با استفاده از شبکه‌های بیزین فازی

پوریا ناصری*

کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی مالک اشتر

مهدی کرباسیان

دانشیار دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی مالک اشتر

بیژن خیامباشی

استادیار دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی مالک اشتر

ام البنین یوسفی

استادیار دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی مالک اشتر

download date: 1/26/2026

https://www.magiran.com/p1546536

چکیده روند فعلی موجود در صنایع مختلف این نکته را اذعان می‌دارد که بر قراری سیستمی با قابلیت ارجاع سریع میزان خرابی‌های محصول و یا برآورد قابلیت اطمینان آن، از ضروریات هر صنعت است. قابلیت اطمینان در صنایع نظامی دارای اهمیت دو چندان می‌شود. یکی از محصولات صنایع نظامی گلوله‌های ضدهوایی است که در برابر تهدیدات دشمن مورد استفاده قرار می‌گیرد و عمل نکردن یا به موقع عمل نکردن این محصول می‌تواند خسارت‌های جبران ناپذیری را در پی داشته باشد و این بر اهمیت این محصول می‌افزاید. در این تحقیق چون ماسوره مکانیکی$F^{۲۳۲}G$ در مرحله طراحی است و هیچ داده قبلی یا آزمایشی در دست نیست، کمبود داده‌ها اصلی‌ترین مشکل به حساب می‌آید و برای رفع این مشکل از شبکه‌های بیزین استفاده می‌کنیم و با توجه به عدم شناخت از قابلیت اطمینان اجزا در مرحله طراحی و نبود آگاهی کافی و دقیق خبرگان از قابلیت اطمینان اجزا، برای قابلیت اطمینان هر عضو بازه‌ای در نظر گرفته می‌شود و از تئوری فازی برای بدست آوردن قابلیت اطمینان استفاده می‌شود. برای بدست آوردن قابلیت اطمینان با استفاده از شبکه‌های بیزین فازی ابتدا درخت خطای محصول را رسم می‌کنیم و با تبدیل درخت خطا به صورت شبکه‌های بیزین قابلیت اطمینان محصول برآورد می‌شود.

کلمات کلیدی قابلیت اطمینان، شبکه بیزین، تئوری فازی، ماسوره مکانیکی $F^{۲۳۲}G$، مجموعه روتور، آنالیز درخت خطا (FTA)

۱- مقدمه

روند توسعه و گسترش صنایع پیشرفته با انبوهی از حجم تولیدات صنعتی در عصر حاضر، نیاز هرچه بیشتر به اجرای روش‌های پیشگویانه در مقابله با وقوع خرابی‌های احتمالی را آشکار می‌سازد. این ضرورت بخصوص در صنایع تولید کننده‌ای که ارزش حقیقی محصول تولید شده حجم عظیمی از دارایی‌های بالقوه آنها را تشکیل می‌دهد نظیر صنعت مهمات سازی، بیشتر مشهود است. محصولات مهندسی مدرن از تک تک قطعات تا سامانه‌های بزرگ باید به گونه‌ای طراحی و تولید شوند که در طول مدت زمان ماموریت خود از قابلیت اطمینان لازم برخوردار باشند. در هر صنعت هنگامی که یک سیستم از کار می‌افتد یا دچار اختلال می‌شود، از جنبه‌های مختلفی نظیر جنبه‌های اقتصادی، انسانی، سیاسی مخاطره آمیز و زیان‌بار است. قابلیت اطمینان از مهم‌ترین مشخصه‌های کیفی قطعات، محصولات و سیستم‌های پیچیده و بزرگ است که نقش حیاتی در عملکرد اینگونه تجهیزات ایفا می‌کند [۲]. ربارلو[۱] [۳] از شبکه‌های بیزین برای محاسبه قابلیت اطمینان استفاده نمود و به خوبی توانست سادگی و همچنین کارایی بالای این روش را برای محاسبه قابلیت اطمینان نشان دهد.

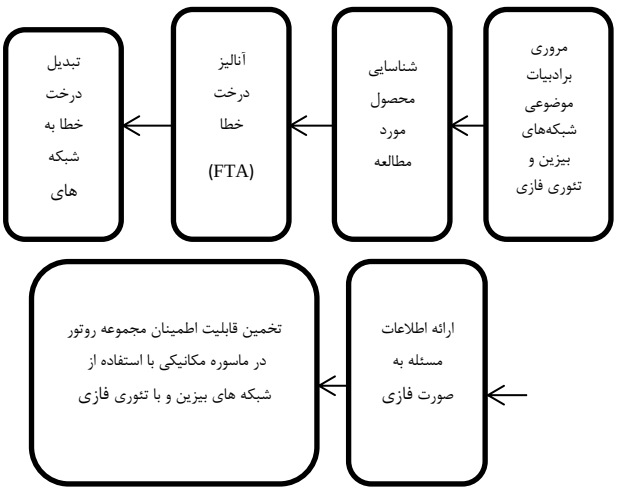
تاریخ دریافت: ۹۲/۱۱/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱/۸

*(Corresponding author) tala۸۶۱۷@gmail.com

ایکسی[۲] و همکاران، کریشن مرسیس[۳] و همکاران، گوکال[۴] و همکاران [۴-۶] نوآوری‌هایی را در مقالات خود از شبکه‌های بیزین برای تخمین قابلیت اطمینان سیستم‌های جزء محور به کار بردند. گرن[۵] و دال[۶] [۷] در مقاله خود به منظور تخمین قابلیت اطمینان نرم افزاری از شبکه‌های بیزین بهره بردند. جنسین[۷] [۸] کاری در راستای استفاده از شبکه‌های بیزین در سیستم‌های ردیابی خطا ارائه داد. بابیو[۸] [۹] با ایجاد یک مدل عمومی قابلیت اطمینان با استفاده از شبکه‌های بیزین، تاثیر فراوانی بر روی این مدل گذاشت. همچنین او در کار خود نشان داد به راحتی می‌توان درخت خطا را به شبکه‌های بیزین تبدیل نمود. آماساکی[۹] [۱۰] برای ارزیابی کیفیت مدل با استفاده از داده‌های واقعی از شبکه‌های بیزین استفاده کرد. بودالی[۱۰] [۱۱] کار جدیدی را با پیاده‌سازی شبکه‌های بیزین برای تخمین قابلیت اطمینان سیستم‌های دینامیکی ارائه داد. ویلسون[۱۱] و همکاران [۱۲] گسترش استفاده از شبکه‌های بیزین در داده‌های چند سطحی گسسته و بحث چگونگی استنباط مشترک در مورد همه شبکه‌ها را مورد بررسی قرار داده‌اند و استفاده از این روش را منوط به این دانسته‌اند که ساختار سیستم ارائه شده توسط درخت خطا بیش از حد پیچیده شده باشد. مارتین نیل و همکاران [۱۳] با به کار بردن یک الگوریتم تکراری جدید و با در نظر گرفتن الگوریتم تکثیر قوی روی اتصال ساختارهای درخت به دنبال گرفتن نتیجه در شبکه‌های بیزین هیبریدی هستند که با استفاده از این مدل بتوان قابلیت اطمینان سیستم را تخمین زد. مونتانی[۱۲] و همکاران [۱۴] با ارائه RADYBAN (آنالیز قابلیت اطمینان با شبکه‌های بیزین پویا) که یک ابزار نرم افزاری است اجازه می‌دهد تا با تکیه بر تجزیه و تحلیل درخت خطای پویا آن را به شبکه‌های بیزین تبدیل و با استفاده از ابزار الگوریتم مدولار به صورت خودکار درخت خطای پویا را به شبکه‌های بیزین پویا تبدیل نمود و با به کارگیری الگوریتم‌های کلاسیک درصدد به‌دست آوردن قابلیت اطمینان به وسیله شبکه‌های بیزین پویا می‌باشند. دوگوس[۱۳] و همکاران [۱۵] روش استفاده از داده‌های پیشین در مورد سیستم را معرفی می‌کند تا مدل به صورت شبکه‌های بیزین باشد و روش‌های کارآمدی برای ساختار خودکار مدل شبکه بیزین فراهم می‌کند تا از این طریق بتوان قابلیت اطمینان را تخمین زد. در این رابطه K_2 یک الگوریتم داده کاوی است که برای پیدا کردن ارتباط بین اجزای سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد و سپس مدل شبکه بیزین را ایجاد می‌کند. لانگسز[۱۴] و همکاران [۱۶] با تمرکز بر روی مشکلات و خلاصه برخی تحقیقات دهه گذشته، قابلیت اطمینان انسان را به وسیله شبکه‌های بیزین هیبردی تخمین می‌زنند. در ادامه دیوید مارکز[۱۵] و همکاران [۱۷] نشان می‌دهند که چگونه الگوریتم‌های شبکه بیزین با مدل زمان توزیع شکست و انجام آنالیز قابلیت اطمینان سیستم‌های پیچیده در یک روش یکپارچه ساده می‌توانند مورد استفاده قرار بگیرند. که در این صورت الگوریتم کار برای شبکه های بیزین هیبریدی می‌تواند مخلوطی از متغیرهای گسسته و پیوسته باشد. نیما خاک زاد و همکاران [۱۸] عملکرد شبکه‌های بیزین در سیستم‌های آنالیز ایمنی را نشان می‌دهند. تحقیق شامل دو بخش است، بخش اول این مقاله جنبه‌های مشترک مدل‌سازی بین درخت خطا و شبکه‌های بیزین است که به علت داشتن ویژگی توانایی به روزرسانی احتمالات در شبکه‌های بیزین، اولویت به شبکه‌های بیزین داده می‌شود و در بخش دوم به ویژگی‌های مدل‌های مختلف شبکه‌های بیزین می‌پردازد که کمک به گنجاندن چند حالت متغیر، وابستگی شکست‌ها، عدم اطمینان عملکرد و نظر کارشناسان اختصاص داده شده است که غالبا با این موارد در تجزیه و تحلیل ایمنی مواجه می‌شویم که اینها توسط درخت خطا در نظر گرفته نمی‌شود. در این مقاله آمده است که شبکه‌های بیزین در تجزیه و تحلیل ایمنی به دلیل ساختار انعطاف‌پذیر آن تکنیک برتر است. باپینگ چا[۱۶] و همکاران [۱۹] قابلیت اطمینان دو ترکیب سیستم‌های کنترلBOP زیر دریایی که شامل افزونگی مدولار سه‌گانه و سیستم‌های کنترل افزونگی مدولار دوگانه را با استفاده از شبکه‌های بیزین ارزیابی می‌کنند که این با توجه به دو ویژگی علت شکست مشترک و پوشش ناقص اطلاعات است. داگوس[۱۷] و همکاران [۲۰] یک روش جدید برای تخمین قابلیت اطمینان شبکه خدمات ارائه می‌کنند که نیازی به دانش قبلی در مورد ساختار سیستم شبکه نیست. این روش براساس یک الگوریتم داده کاوی K_2 برای کشف ساختار سیستم شبکه از سیستم اولیه داده است که اجازه می‌دهد تا برای پیدا کردن 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. پنگ چنگ و همکاران [۲۱] در مقاله خود توسعه شبکه‌های بیزین فازی را برای بهبود کمی تاثیرات سازمانی در چارچوب مجموع فعالان حقوق بشر (تجزیه وتحلیل قابلیت اطمینان انسان) را مورد بررسی قرار داده‌اند. در ابتدا یک چارچوب مفهومی بیان کننده علت در نظر گرفته شده است تا به تجزیه و تحلیل روابط علت و معلولی بین فاکتورهای سازمانی و قابلیت اطمینان انسان و یا خطای انسانی پرداخته شود. پس از آن مدل استنتاج احتمال برای مجموعه 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 پیشنهاد شده شامل ترکیب مدل مفهومی علت معلولی با رویکرد شبکه‌های

download date: 1/26/2026
https://www.magiran.com/p1546536

بیزین نمی‌تواند به تنهایی یک مدل کیفی روابط علت معلولی بین عوامل سازمانی و قابلیت اطمینان انسان باشد بلکه می تواند اندازه‌گیری کمی قابلیت اطمینان عملیاتی انسان و شناسایی علت‌های ریشه‌ای با احتمال زیاد و یا اولویت‌بندی ریشه می‌تواند موجب ایجاد خطای انسانی شود. یانفو و مین [۲۲] رویکرد یکپارچه‌سازی درخت خطای فازی (FFT) را با شبکه‌های بیزین ارائه می‌کنند، که ابتدا با استفاده از درخت خطای فازی مدل تاکاجی و سوگینو که می‌تواند به عدم قطعیت در روابط میان اتفاقات مختلف منجر می‌شود را معرفی و سپس نقش تبدیل درخت خطای فازی به شبکه بیزین را ارائه می‌کنند. در این تحقیق چون مجموعه روتور در ماسوره مکانیکی در مرحله طراحی است و هیچ داده قبلی یا آزمایشی در دست نیست، کمبود داده‌ها اصلی‌ترین مشکل به حساب می‌آید و برای رفع این مشکل از شبکه‌های بیزین استفاده می‌شود و با توجه به عدم شناخت از قابلیت اطمینان اجزا در مرحله طراحی و نبود آگاهی کافی و دقیق خبرگان از قابلیت اطمینان اجزا، برای قابلیت اطمینان هر عضو، بازه‌ای در نظر گرفته می‌شود و از تئوری فازی برای بدست آوردن قابلیت اطمینان استفاده می‌شود. داده‌های بدست آمده از نظرات خبرگان را به صورت فازی در آورده می‌شود تا حد بالا و پایینی را برای قابلیت اطمینان حاصل شود. علت استفاده از اعداد فازی مثلثی افزایش دقت احتمالات موردنظر خبرگان صنعت موردنظر است. برای بدست آوردن قابلیت اطمینان با استفاده از شبکه‌های بیزین فازی ابتدا درخت خطای محصول را رسم می‌کنیم و با تبدیل درخت خطا به صورت شبکه‌های بیزین قابلیت اطمینان محصول برآورد می‌شود. در شکل (۱) مدل مفهومی تحقیق آورده شده است.



شکل(۱): مدل مفهومی تحقیق

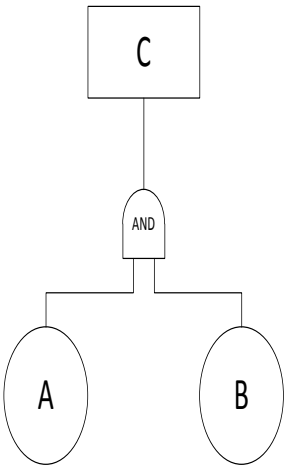
۲- شبکه بیزین

شبکه‌های بیزین یک نمونه از مدل‌های گرافیکی هستند که دارای گره‌هایی برای متغیر ها و یال‌های جهتداری به منظور نشان دادن روابط میان این گره‌ها می‌باشند. 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 محاسبه احتمال هر گره والد ابتدا احتمالات گره‌های ریشه با استفاده از توابع توزیع خاص، مشاهدات یا نظرات خبره استخراج می‌شوند و سپس با بهره مندی از قاعده‌ی احتمالی بیز، احتمال گره والد به دست می‌آید [۲۳].

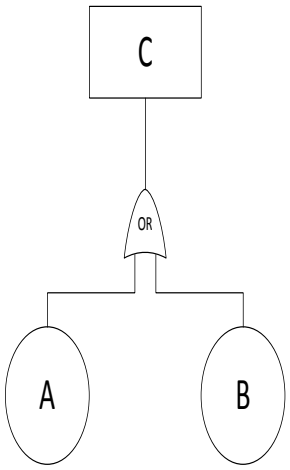
۲-۱- تبدیل درخت خطا به شبکه‌های بیزین

درخت‌های خطا به راحتی می‌توانند به شبکه‌های بیزین تبدیل شوند. همانطور که از شکل (۲) و شکل(۳) مشخص است، می‌تواند پیشامدهای خرابی را به عنوان گره‌های شبکه بیزین و دریچه‌های AND و OR را نیز به عنوان یال‌ها در نظر گرفت. به طوری که تفاوت بین نوع دریچه‌ها بر احتمالات شرطی که در شبکه‌های بیزین بین متغیرها تعریف می‌شود اثر می‌گذارد.

شبکه بیزین مربوط به شکل (۱) با گره And به صورت شکل(۴) خواهد بود و روابط (۱) برای آن استفاده می‌شود. در این روابط صفر نشان دهنده عدم عملکرد و یک نشان دهنده عملکرد محصول است.

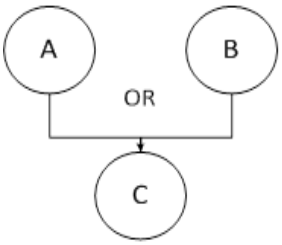


شکل(۲) درخت خطا به صورت موازی

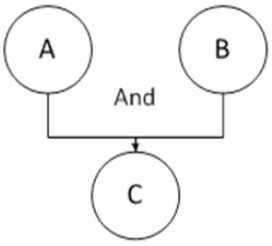


شکل(۳) درخت خطا به صورت سری

download date: 1/26/2026
https://www.magiran.com/p1546536



شکل (۵) شبکه بیزین به صورت سری



شکل (۴) شبکه بیزین به صورت موازی

$$\begin{aligned}\tau_1 &= P\{C=1|A=0,B=0\}=0\\ \tau_2 &= P\{C=1|A=0,B=1\}=0\\ \tau_3 &= P\{C=1|A=1,B=0\}=0\\ \tau_4 &= P\{C=1|A=1,B=1\}=1\end{aligned} \quad (1)$$

و در نهایت احتمال رخ دادن C از رابطه (۲) بدست می‌آید:

$$\begin{aligned}&P(C=1)\\ &=P(C=1|A=0,B=0).P(A=0,B=0)\\ &+P(C=1|A=0,B=1).P(A=0,B=1)\\ &+P(C=1|A=1,B=0).P(A=1,B=0)\\ &+P(C=1|A=1,B=1).P(A=1,B=1)\end{aligned} \quad (2)$$

شبکه بیزین مربوط به شکل (۲) با گره OR در شکل (۵) آورده شده است.

و روابط شرطی شبکه فوق به شرح زیر است:

$$\tau_1 = P\{C=1|A=0,B=0\}=0 \quad (3)$$

$$\tau_2 = P\{C=1|A=0,B=1\}=1$$

$$\tau_3 = P\{C=1|A=1,B=0\}=1$$

$$\tau_4 = P\{C=1|A=1,B=1\}=1$$

احتمال رخ دادن C در این حالت هم مشابه رابطه قبلی برای محاسبه احتمال رخ دادن C خواهد بود [۲۳].

۳- قابلیت اطمینان PROBIST[۱۸] به صورت عدد فازی مثلثی

اعداد فازی مثلثی به وسیله سه عدد حقیقی که به صورت (u,m,l) بیان می‌شود، تعریف می‌گردند. m محتمل‌ترین مقدار یک عدد فازی است. آنها دارای توابع عضویتی هستند که شامل دو بخش خطی چپ و راست است که در راس (m,۱) به هم متصل می‌شوند [۲۴]. در واقع قابلیت اطمینان PROBIST همان تئوری گذشته است که شامل مفروضات احتمالی و حالت صفر و یکی سیستم می‌باشد. در این تئوری، قابلیت اطمینان سیستم به صورت احتمالی محاسبه می‌شود. در این تئوری، حالت سیستم اجزاء یک حالت صفر و یک است، یعنی یا سیستم در حال کارکردن و یا ناتوان درکار کردن است. در مطالعات اخیر نشان داده شده است که این قابلیت اطمینان می‌تواند در قالب اعداد فازی نیز بیان گردد. از جمله حالت‌های مثلثی ذوزنقه‌ای و نرمال که در این تحقیق اعداد فازی مثلثی مورد استفاده قرار گرفته است [۲۳]. بخش اصلی و مهم تئوری مجموعه‌های فازی، گرفتن اطلاعات از خبره‌ها می‌باشد. بنابراین قضاوت یک خبره نقش حیاتی را در ارزیابی قابلیت اطمینان دارا می‌باشد. قابلیت اطمینان ابتدایی به صورت بازه$[l,r]$ در نظر گرفته می‌شود که ارزش قطعی یا میانی این عدد فازی مثلثی (m)برابر است با:

$$\frac{l+r}{2} \quad (4)$$

مقادیر قابلیت اطمینان PROBIST سیستم از نظر n نفر خبره به دست می‌آید که به صورت عدد فازی مثلثی مانند زیر اتخاذ می‌گردد:

$$E^i=(m^i-d^i,m^i,m^i+d^i) \quad (5)$$

ولی نیاز است که از نظرات خبره‌ها به ارزش واحدی برای قابلیت اطمینان PROBIST رسیده شود، که این مقدار به صورت زیر قابل نمایش است [۲۳].

$$\mathrm{F}=(f-g,f,f+g)$$

$$=\begin{cases} g=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} d^i \\ f=\frac{min\, m^i+max\, m^i}{2} \end{cases} \quad (6)$$

$$1\le i\le n$$

اگر p_i احتمال شکست جزء iام باشد به صورت عدد فازی مثلثی به سه مولفه $p_i=(p_{i1}, p_{i2}, p_{i3})$ تعریف شود.

download date: 1/26/2026
https://www.magiran.com/p1546536

عملگرهای فازی با داشتن هر برش α به صورت رابطه (۷) و (۸) است:

$$[p_i]_\alpha = [p_{i1} + \alpha(p_{i2} - p_{i1}), p_{i3} - \alpha(p_{i3} - p_{i2})] \quad (۷)$$

$$[p_i]_\alpha . [p_j]_\alpha = \left[\{p_{i1} + \alpha(p_{i2} - p_{i1})\}.\{p_{j1} + (p_{j2} - p_{j1})\}, \{p_{i3} - \alpha(p_{i3} - p_{i2})\}.\begin{Bmatrix} p_{j3} \\ -\alpha(p_{j3} - p_{j2}) \end{Bmatrix}\right] \quad (۸)$$

۴- مطالعه موردی

ماسوره مکانیکی دارای ۳ مکانیزم ایمنی دهانه، مکانیزم خودترکان و ضربه مستقیم می‌باشد. مکانیزم ایمنی دهانه شامل ۱- بدنه ماسوره ۲-sm-ring ۳- میله ضربه زن ۴- مجموعه سوزن ۵- روتور ۶- نگهدارنده روتور ۷- پیچ واسط ۸- پیچ تثبیت می‌باشد. مجموعه sm-ring ، میله ضربه زن، مجموعه سوزن و روتور توسط نگهدارنده روتور و پیچ واسطه در داخل بدنه ماسوره به ترتیب پشت سرهم قرار گرفته‌اند و امکان حرکت ندارند. بنابراین در موقع حمل و نقل و انبارداری از منفجر شدن گلوله جلوگیری می‌کنند، همچنین در لوله سلاح به دلیل وجود شتاب منفی به سمت جلو امکان عملکرد ماسوره وجود ندارد. پس از شلیک، تا فاصله ۱۰ متری مجموعه قطعات به هم متصل بوده که بنابراین ایمنی دهانه حفظ خواهد شد.

مکانیزم خودترکان شامل ۱- sm-ring ۲- میله ضربه زن ۳- فنر خودترکان ۴- نگهدارنده فنر ۵- ساچمه‌ها ۶- مجموعه سوزن ۷- نگهدارنده روتور ۸- روتور ۹- دتناتور ۱۰- بوستر ۱۱- پیچ واسط ۱۲- پیچ تثبیت می‌باشد. پس از شلیک گلوله، ذوب شدن حلقه sm و چرخش روتور، نیروی فنر خودترکان تمایل دارد تا سوزن را به سمت دتناتور حرکت دهد، از طرف دیگر نیروی گریز از مرکز ساچمه‌ها از این کار جلوگیری می‌کند، از آنجایی که نیروی ساچمه‌ها به سرعت دورانی وابسته است و از سوی دیگر سرعت دورانی در اثر اصطکاک هوا کاهش می‌یابد لذا نیروی ساچمه‌ها بتدریج کاهش یافته و در یک فاصله زمانی (میانگین ۱۰ ثانیه) نیروی فنر بر نیروی ساچمه غلبه پیدا کرده و سوزن به دتناتور برخورد کرده و زنجیره آتش فعال می‌شود. مکانیزم ضربه مستقیم شامل ۱- بدنه ماسوره ۲- sm-ring ۳- میله ضربه زن ۴- مجموعه سوزن ۵- روتور ۶- دتناتور ۷- بوستر ۸- پیچ واسط می‌باشد. پس از شلیک گلوله در اثر سرعت زیاد گلوله و برخورد با جبهه هوا دمای sm-ring بالا رفته و ذوب می‌شود از آنجاییکه مرکز جرم روتور خارج از محور گردش است، در اثر حرکت دورانی، نیروی گریز از مرکز تولید شده و این نیروی گریز از مرکز پس از ذوب شدن sm-ring نمایان می‌شود. در این حالت سوزن در مقابل دتناتور قرار می‌گیرد و مسلح می‌شود در این حالت چنانچه گلوله به هدف برخورد کند در اثر استحکام هدف موجب ضربه شدید به سوزن و فعال شدن زنجیر آتش می‌شود.

۵- آنالیز درخت خطا

روش آنالیز درخت خطا یک نمودار منطقی و گرافیکی از بالا به پایین است که خرابی و علت‌های آن را توصیف می کند [۲۵]. نمودار آنالیز 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 (۶) درخت خطای مجموعه روتور در ماسوره مکانیکی آورده شده است.

۶- تبدیل آنالیز درخت خطا به شبکه‌های بیزین

برای تبدیل درخت خطای قسمت‌های مختلف ماسوره مکانیکی به شبکه بیزین باید از الگوی ارائه شده در بخش۲-۱ استفاده کرد که شبکه بیزین مربوطه در شکل (۷) نشان داده شده است. از آنجا که در رابطه معادله (۲) دو نوع احتمال شرطی و حاشیه‌ای وجود دارد بنابراین رویکردهای حل به این صورت است که مقدار احتمالات حاشیه‌ای وجود داشته و احتمالات شرطی را باید محاسبه نمود.

۷- محاسبه قابلیت اطمینان

download date: 1/26/2026
https://www.magiran.com/p1546536

در این تحقیق مقادیر احتمالات حاشیه‌ای از افراد خبره استخراج شده است. برای به دست آوردن اطلاعات مورد نیاز در حوزه مطالعه موردی انجام شده از روش مصاحبه با نخبگان فعال در صنعت مورد نظر استفاده شده است و هدف از مصاحبه بدست آوردن احتمال هر یک از رویدادهای درخت خطا است. با استفاده از مصاحبه‌های و مستندات موجود در صنعت اطلاعات مورد نیاز جمع‌آوری شده است. نکته مهم این است که اطلاعات گردآوری شده از طریق مصاحبه، مورد تایید افراد مطلع و خبره در مبحث مورد نظر می‌باشند که در جدول (۱) نمایش داده شده است. احتمالات شرطی نیز با استفاده از روش زنجیر مارکوف مونت-کارلو محاسبه[۱۲] می‌شود.

جدول(۱): قابلیت اطمینان اجزای مربوط به عدم چرخش روتور

رخدادها	عوامل خرابی	R_i=۱-p_i
رخداد۱	زاویه نشیمنگاه اسمرینگ	(۰,۹و۰,۹۲۵و۰,۹۵)
رخداد۲	تمیز نبودن نگهدارنده	(۰۹۷و۰,۹۷۵و۰,۹۸)
رخداد۳	دفرمگی سطح داخلی	(۰۹۷و۰,۹۷۵و۰,۹۸)
رخداد۴	دقیق نبودن سطح شیبدار	(۰۹۷و۰,۹۷۵و۰,۹۸)
رخداد۵	قفل کردن نگهدارنده سوزن در نگهدارنده روتور	(۰۹۷و۰,۹۷۵و۰,۹۸)
رخداد۶	قفل کردن ساچمه در نشیمنگاه	(۰,۹۶و۰,۹۶۵و۰,۹۷)
رخداد۷	صافی سطح	(۰,۹۶و۰,۹۷و۰,۹۸)
رخداد۸	مرکز جرم نامناسب	(۰,۹۶و۰,۹۷و۰,۹۸)
رخداد۹	ابعاد نامناسب	(۰,۹۶و۰,۹۷و۰,۹۸)
رخداد۱۰	طول زیاد	(۰,۹۲و۰,۹۴۵و۰,۹۷)
رخداد۱۱	K زیاد	(۰,۹۲و۰,۹۴۵و۰,۹۷)
رخداد۱۲	ذوب شدن وخارج شدن	(۰,۹۶و۰,۹۷و۰,۹۸)
رخداد۱۳	دیر ذوب شدن	(۰,۹۶و۰,۹۷و۰,۹۸)
رخداد۱۴	ذوب نشدن	(۰,۹۶و۰,۹۷و۰,۹۸)
رخداد۱۵	زاویه نوک سوزن	(۰,۹۵و۰,۹۶۵و۰,۹۸)
رخداد۱۶	ابعاد سوزن	(۰,۹۵و۰,۹۶۵و۰,۹۸)
رخداد۱۷	ضعیف بودن ضربه سوزن	(۰,۹۵و۰,۹۶۵و۰,۹۸)

برای نمونه اگر بخواهیم احتمال درست کارکردن سوزن در مجموعه ماسوره مکانیکی را طبق رابطه (۹) محاسبه نماییم، به شرح زیر خواهد بود که در آن R درست کارکردن سوزن و R_1 تا R_4 زیر عامل‌های کارکردن سوزن هستند.

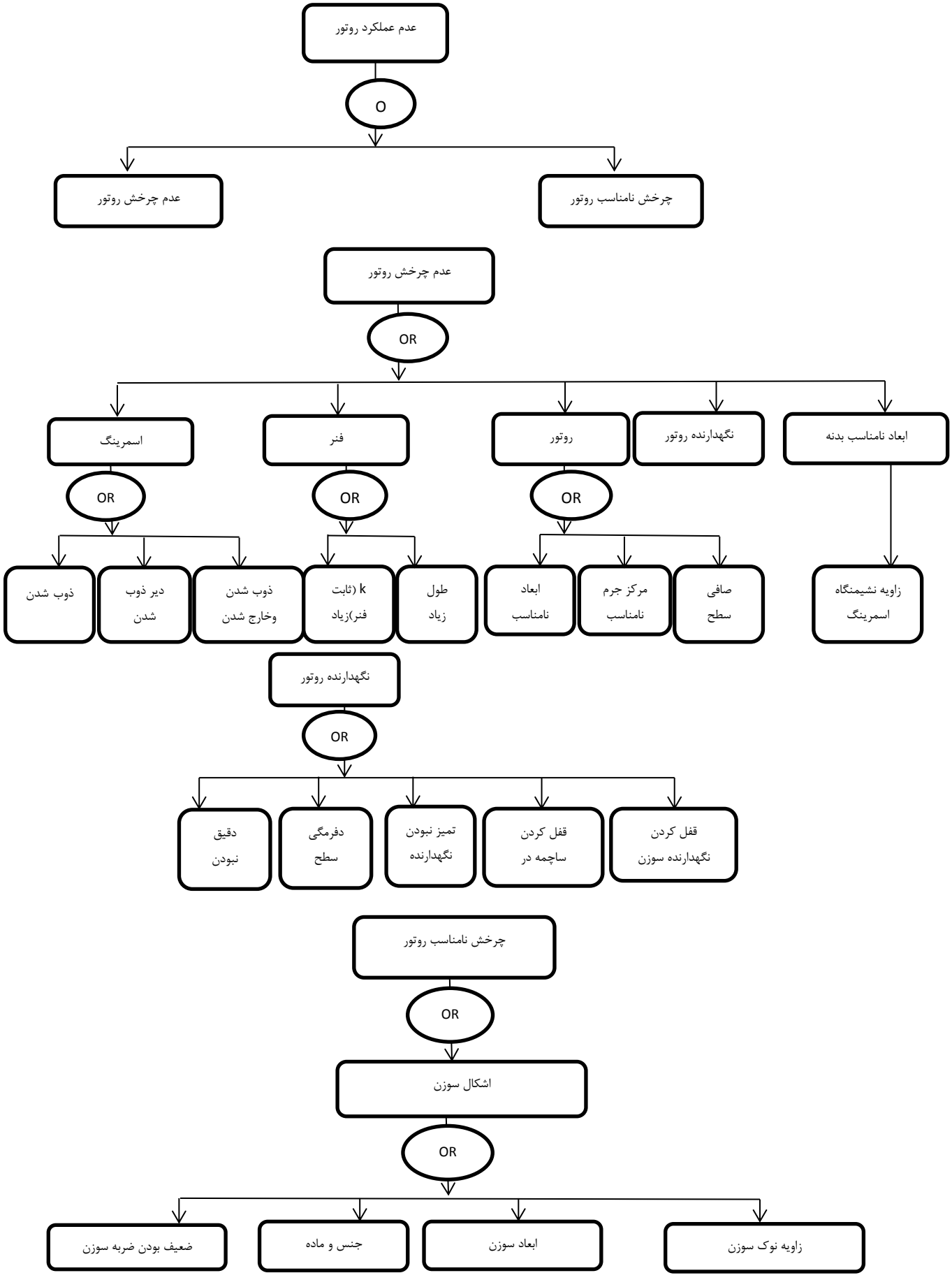
$$P(R) = P(R|R_1,R_2,R_3,R_4)P(R_1)P(R_2)P(R_3)P(R_4) \quad (۹)$$

که مقادیر احتمالات شرطی طبق رابطه (۱۰) و روش زنجیره مارکوف مونت کارلو محاسبه می‌گردد. در رابطه نحوه محاسبه احتمال شرطی درست کار کردن سوزن در مجموعه ماسوره مکانیکی با شرایط حاکم بر چهار زیر عامل آن آورده شده است.

جدول(۲) مقدار قابلیت اطمینان عدم عملکرد روتور را در سطوح مختلف α نشان می‌دهد.

$$\begin{aligned}
&P(R|R_1,R_2,R_3,R_4) = \\
&\tau_1 P(R_1)P(R_2)P(R_3)P(R_4) \quad (۱۰)\\
&+\tau_2 P(R_1)P(R_2)P(R_3)\big(1-P(R_4)\big)\\
&+\tau_3 P(R_1)P(R_2)\big(1-P(R_3)\big)P(R_4)\\
&+\tau_4 P(R_1)\big(1-P(R_2)\big)P(R_3)P(R_4)\\
&+\tau_5 \big(1-P(R_1)\big)P(R_2)P(R_3)P(R_4)\\
&+\tau_6 P(R_1)P(R_2)\big(1-P(R_3)\big)\big(1-P(R_4)\big)\\
&+\tau_7 P(R_1)\big(1-P(R_2)\big)P(R_3)\big(1-P(R_4)\big)\\
&+\tau_8 \big(1-P(R_1)\big)P(R_2)P(R_3)\big(1-P(R_4)\big)\\
&+\tau_9 P(R_1)\big(1-P(R_2)\big)\big(1-P(R_3)\big)P(R_4)\\
&+\tau_{10} \big(1-P(R_1)\big)P(R_2)\big(1-P(R_3)\big)P(R_4)\\
&+\tau_{11} \big(1-P(R_1)\big)\big(1-P(R_2)\big)P(R_3)P(R_4)\\
&+\tau_{12} P(R_1)\big(1-P(R_2)\big)\big(1-P(R_3)\big)\big(1-P(R_4)\big)\\
&+\tau_{13} \big(1-P(R_1)\big)P(R_2)\big(1-P(R_3)\big)\big(1-P(R_4)\big)\\
&+\tau_{14} \big(1-P(R_1)\big)\big(1-P(R_2)\big)P(R_3)\big(1-P(R_4)\big)\\
&+\tau_{15} \big(1-P(R_1)\big)\big(1-P(R_2)\big)\big(1-P(R_3)\big)P(R_4)\\
&+\tau_{16} \big(1-P(R_1)\big)\big(1-P(R_2)\big)\big(1-P(R_3)\big)\\
&\big(1-P(R_4)\big)
\end{aligned}$$

download date: 1/26/2026
https://www.magiran.com/p1546536



شکل(۶) در خت خطای عدم عملکرد روتور

download date: 1/26/2026
https://www.magiran.com/p1546536