

## تجزیه و تحلیل مبتنی بر ریسک عملکرد سیستم تولید

مهران خلج<sup>۱\*</sup>، امیر حسین خلج<sup>۲\*</sup>، جلال طالبی<sup>۳\*\*</sup>

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/۵ تاریخ پذیرش: ۹۴/۸/۹

### چکیده

سیستم‌های تولید همواره با ریسک‌های مختلفی از جمله ریسک توقف و از کار افتادگی روبرو هستند. تجزیه و تحلیل ریسک عملکرد سیستم تولید، در حالی که داده‌های واقعی و مناسب در دسترس نیست باعث بروز خطا در پیش بینی پارامترها و سبب تصمیم‌گیری غلط خواهد شد. شرایط عدم قطعیت حالتی است که داده‌های مناسب برای تصمیم‌گیری وجود ندارد و در حالتی خاص از عدم قطعیت تصمیم‌گیرنده با فقدان اطلاعات مواجه است. ریسک حالتی از عدم قطعیت است که اطلاعات از گذشته سیستم به طور ناقص در دسترس است. ریسک موجود در سیستم‌های تولیدی با عدم تحقق قابلیت اطمینان دستگاهها ارتباط مستقیم دارد، در این پژوهش نخست سوابق و رابطه بین ریسک و قابلیت اطمینان مورد بررسی قرار گرفته سپس با بهره‌گیری از تئوری دمپستر شافر مدلی برای حداکثر سازی قابلیت اطمینان با توجه به ریسک موجود ارائه شده است. از آنجایی که محاسبه دقیق قابلیت اطمینان برای سیستم‌های و فرایندهای پیچیده وقتی که داده‌های درستی از شکست در اختیار نیست به شدت مشکل و پیچیده میشود در روش جدیدی که ارائه شده، به جای استفاده از روش‌های کاملاً کیفی، از تئوری دمپستر و شافر استفاده شده که در آن از همه داده‌های در دسترس برای تصمیم‌گیری استفاده شده است. استفاده از این روش سبب به دست آمدن محدوده‌های ریسک برای تجهیزات و ماشین آلات میگردد. این محدوده‌ها با توجه به رابطه‌ای که بین ریسک و قابلیت اطمینان دستگاه وجود دارد در یک ماتریس تحلیل ریسک ترسیم و میزان تغییرات برای رسیدن به ریسک پایین تر مشخص شده است، تمامی روش ارائه شده با بهره‌گیری از اطلاعات یک شرکت تولیدی مورد بررسی قرار گرفته است، تمرکز کارهایی که تاکنون در خصوص ارزیابی قابلیت اطمینان انجام شده است روی استفاده از تئوری احتمال بوده که در آن با تعیین نوع توزیع‌های شکست اجزا به پیش بینی زمان شکست پرداخته شده است در حالی که تحقیق حاضر ارائه دهنده تغییر نگرشی برای کاربردی کردن استفاده همزمان از تئوری امکان و تئوری احتمال است.

**کلمات کلیدی:** تئوری دمپستر و شافر، عدم قطعیت، آنالیز ریسک، قابلیت اطمینان، تئوری امکان

---

استادیار گروه مهندسی صنایع، واحد پرند، دانشگاه آزاد اسلامی، پرند، ایران

Corresponding Author, Email: mkhalaj@rkiau.ac.ir

\*\* کارشناسی ارشد گروه مهندسی صنایع، واحد پرند، دانشگاه آزاد اسلامی، پرند، ایران

\*\*\* کارشناسی ارشد گروه مهندسی صنایع، واحد پرند، دانشگاه آزاد اسلامی، پرند، ایران

## مقدمه

یکی از مسائل مهم واحدهای صنعتی داشتن یک نظام مناسب برای مدیریت دارائی‌های سیستم تولید و نحوه تصمیم‌گیری در خصوص آینده آن می‌باشد. در همین راستا به کاربرد مدل‌های ریاضی و سایر مدل‌ها در علوم و صنایع مختلف و بهره‌گیری از خروجی آنها کمک شایانی به فرایندهای تصمیم‌گیری و تصمیم‌سازی مدیریتی می‌کند. ولیکن در شرایط واقعی به دلیل وجود عدم قطعیت و وارد شدن جزئیاتی غیر قطعی در مسأله نمی‌توان پارامترهای سیستم را به درستی تعیین کرد. عدم قطعیت در موضوعات مختلف بروز پیدا می‌کند به طور مثال بدست آوردن اطلاعات برای مسئله قابلیت اطمینان در بسیاری مواقع در شرایط عدم قطعیت انجام میشود و وجود عدم قطعیت خود سبب بروز ریسک احتمالی شکست برای دستگاهها و سیستم‌های تولید خواهد شد. یکی از مهمترین مسائل در مهندسی سیستم‌های تولید عبارت است از درک دقیق اینکه چه مقدر با ریسک توقف دستگاهها روبرو هستیم و چگونه می‌توانیم ریسک را از طریق بررسی و افزایش قابلیت اطمینان سیستم کنترل و کاهش دهیم، برای محاسبه قابلیت اطمینان احتیاج به داشتن داده‌های قبلی از عملکرد دستگاه است و چنانچه داده‌های کافی در دسترس نباشد شرایط عدم قطعیت وجود دارد و به همین دلیل تعیین احتمال عملکرد صحیح دستگاه در یک دوره زمانی مشخص از طریق روشهای سنتی امکان پذیر نیست. (Oberkamf, 2000).

در یک فضای رقابتی که هر لحظه توقف در سیستم‌های تولید سبب ضرر و زیان‌های بسیار بزرگی خواهد شد همواره با سئوالاتی در خصوص ادامه روند تولید روبرو هستیم. سئوالات نظیر «آینده سیستم تولید چگونه قابل پیش‌بینی است؟»، «آیا عملکرد سیستم تولید همچون حال و گذشته خواهد بود؟»، «چه اتفاقاتی ممکن است در آینده برای روند تولید اتفاق بیفتد؟» که به نوعی آینده پژوهی در سیستم‌های تولید است.

برای پاسخگویی به سئوالات مطرح شده در سیستم‌های تولید از نظریه قابلیت اطمینان استفاده میشود که بر مبنای وقوع خرابی بنا شده است. برای اندازه‌گیری قابلیت اطمینان یک سیستم

براساس داده‌های آماری در دسترس، مدلی برای نرخ وقوع خرابی انتخاب می‌شود و پارامترهای آن براساس داده‌های موجود تخمین زده می‌شوند ولیکن همیشه داده‌های آماری در دسترس نیستند و در شرایط واقعی تصمیم‌گیرندگان با عدم قطعیت روبرو هستند. به طور کلی عدم قطعیت بر دو نوع است، ممکن است عدم قطعیت ساده شدنی باشد در این صورت آن عدم قطعیت شناختی می‌گویند که بر اساس نبود دانش رخ می‌دهد، در مقابل عدم قطعیت اتفاقی وجود دارد که معمولاً عدم قطعیت کتره ای یا غیر قابل کاهشی نامیده می‌شود که دلیل آن وجود تغییر پذیری ذاتی در پدیده‌های فیزیکی است، عدم قطعیت شناختی را عدم قطعیت کاهشی نیز می‌نامند زیرا اگر اطلاعات لازم به دست آید عدم قطعیت می‌تواند کاهش پیدا کرده یا حذف گردد. هنگامی که با عدم قطعیت روبرو هستیم نیاز به استفاده از روشها و ابزارهای دیگری جهت پیش بینی آینده و پاسخگویی به سوالات مطرح شده وجود دارد. تا کنون برای پیش بینی آینده و پاسخگویی به این سوالات در شرایط عدم قطعیت، روشها و متدهای مختلفی بکار گرفته شده است که مهمترین آنها عبارت است از تئوری امکان (Dubois & Prade, 1998; Joslyn, 1994; Giles, 1982; Loganathan et al. 2005) تئوری شاهد (Dempster, 1967; Shafer, 1976)، مدل انتقال باور (Smets, 2000)، و تئوری بیس (Berger, 1985; Winkler, 1972)، هر چند اتفاق نظر کاملی در خصوص استفاده از بهترین مدل برای مقابله با عدم قطعیت شناختی وجود ندارد اما روشی که این پژوهش بکار گرفته تئوری دمپستر شافر (Dempster, 1967) است که معمولاً برای تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت و هنگامی که اطلاعات کمیابی در خصوص موضوع تصمیم وجود دارد به کار می‌رود، به این دلیل از این روش استفاده شده که از حداکثر اطلاعات در دسترس استفاده شود و حدود فاصله احتمال رابه شکل فاصله ای برای تعیین حداقل و حداکثر ریسک موجود در پیش بینی قابلیت اطمینان دستگاهها در شرایط عدم قطعیت شناختی به دست آورد. در این پژوهش ارتباط ریسک و تعیین قابلیت اطمینان در مباحث عملکرد سیستم‌های تولید به طور همزمان مورد بررسی قرار می‌گیرد. در واقع مدل ارائه شده یک رویکرد ترکیبی در مسئله تعیین

قابلیت اطمینان بر پایه ریسک در شرایط عدم قطعیت است و در آن سعی شده عدم قطعیت با استفاده از متغیرهایی محدود شده و به صورت فاصله ای تعیین شود. تحقیقات گذشته نشان می‌دهد تلاش‌های بسیاری برای مطالعه مسأله تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت انجام شده است که به طور مثال میتوان به استفاده از روش‌های پیش‌بینی ذاتی بالائی و پائینی (Kyburg, 1998; walley, 1991) اشاره کرد. بدین معنی که به جای بدست آوردن یک عدد دقیق یک محدوده تعیین میشود، به طور مثال برای تعیین احتمال خرابی دستگاهها یک رنج را به دست آمده تا یک عدد خاص و برای این منظور با استفاده از تئوری دمپستر شافر به تشریح ارتباط بین قابلیت اطمینان و ریسک شکست دستگاهها پرداخته میشود و نتیجه آن بدست آوردن حداقل و حداکثر قابلیت اطمینان مورد نیاز برای عملکرد یک سیستم تولیدی است. بطوریکه از حداقل اطلاعات در دسترس استفاده شده و معیاری برای تصمیم‌گیری به دست خواهد آمد. استفاده از مدل کمی - کیفی ارائه شده این امکان را به تصمیم‌گیرندگان می‌دهد که بر اساس یک منطق علمی با بررسی ریسک سیستم تولید پرداخته و فرایند تصمیم‌گیری آنها سرعت قابل قبولی داشته باشد.

#### مبانی نظری ارزیابی ریسک بر پایه قابلیت اطمینان

از سال ۱۹۷۷ تعداد قابل توجهی مقاله و کتاب (Kuo & Prasad, 2000; Tillman et al. 1985; Wattanapongsakorn et al. 2004) در مورد بهینه سازی قابلیت اطمینان با در نظر گرفتن هزینه ارائه شده است. در مدل‌های بهینه سازی قابلیت اطمینان موجود، سعی بر این است که قابلیت اطمینان مورد نیاز در حداقل هزینه بدست آید، در حالی که این مدل‌ها لزوماً مدلهایی نیستند که بر پایه تخصیص قابلیت اطمینان بر پایه ریسک پایه ریزی شده باشند زیرا این مدل‌ها ضررهای مرتبط با شکست سیستم را در هدف ترکیب نمی‌کنند. تصور اینکه با حداکثر کردن قابلیت اطمینان میتوان ضررهای شکست را بطور همزمان کوچک کرد ضرورتاً صحیح نیست. حداکثر کردن قابلیت اطمینان سیستم ضرورتاً تضمین‌کننده کوچک‌تر شدن

ضررهای ناشی از شکست نمی شود، این نتیجه ای است که با فهم و دانش عمومی ما از مبحث قابلیت اطمینان مطابق نیست و نشان می دهد که تحلیل قابلیت اطمینان بر پایه ریسک نیازمند ایجاد مدل‌های جدید و الگوریتم‌های بر اساس ضررهای ناشی از ریسک است.

به عبارتی دیگر زمان وقوع شکست و نتایج شکست‌های ناشی از خرابی‌ها به طور همزمان مهم است اما محدودیت عمده در تعیین قابلیت اطمینان کل سیستم، تعیین برهم کنش بین اجزا مختلف و محاسبه قابلیت اطمینان کل سیستم است که هنوز به خوبی شناخته نشده است. حداقل قابلیت اطمینان بهینه سیستم نیز از تعادل بین هزینه‌های ناشی از شکست و هزینه دستیابی به قابلیت اطمینان به دست می آید که در منبع (Hecht, 2004) تصدیق شده است، در اینحالت گزینه‌های مختلف با هم مقایسه و یکی از آنها انتخاب میشود. بر طبق تئوری کلاسیک احتمال، برای تعیین نقطه شکست از توابع توزیع استفاده می‌کنیم، در حالی که اگر اطلاعاتی در دسترس نباشد تابع توزیع شکست شناخته شده نیست و تئوری امکان به جای تئوری کلاسیک احتمال پیشنهاد میشود، پژوهش‌هایی نیز در خصوص استفاده از تئوری امکان برای بهینه سازی قابلیت اطمینان وجود دارد، بطور مثال میتوانیم به استفاده از تکنیک‌های فازی در منبع (Ravi et al. 2000) اشاره کرد، در صورتیکه توجهی به حداقل کردن ضررهای مرتبط با شکست سیستم نبوده است. در حال حاضر، مدل‌های تئوریک مناسبی برای آنالیز قابلیت اطمینان بر پایه ریسک در شرایط عدم قطعیت وجود ندارد. هر چند مدل‌های احتمالی مختلفی برای حل مسئله محاسبه قابلیت اطمینان ارائه شده است ولیکن تئوری احتمال همواره ابزار مناسبی برای ارزیابی قابلیت اطمینان نیست، به عنوان نمونه توزیع وایبل که یکی از توزیع‌های آماری است و دارای کاربرد گسترده‌ای در تعیین زمان شکست است را در نظر بگیرید با توجه به همه مزایای که توزیع وایبل دارد تعداد زیادی محققان مناسب بودن توزیع وایبل برای مدل‌های شکست را مورد سؤال قرار داده اند. بر طبق نظر دنر توزیع وایبل همیشه یک مدل مناسبی نیست (Danzer et al. 2007) همچنین برای داده‌های کوچک نمی توانیم مطمئن بود که توزیع شکست وایبل است.

در زمینه ضررهای بالقوه ناشی از شکست‌های چندگانه مدل‌هایی به وسیله تودینف (Todinov, 2003) ارائه شده است، تودینف مدلی را برای تعیین نرخ خطر بهینه سیستم در حداقل هزینه کل به دست آمده پیشنهاد داده است. همچنین ایشان مدلها و الگوریتم‌هایی را برای ضرر شکست سیستم‌های غیر قابل تعمیر و قابل تعمیر که اجزا آن به طور منطقی سری هستند و سیستم‌هایی با توپولوژی پیچیده ارائه داده است (Todinov, 2004) هنلی و کوماموتو نیز مدلی را برای تعیین ریسک ناشی از شکست ارائه دادند (Henley & Kumamoto 1981)، بر طبق تعریف سنتی ریسک از ضرب احتمال شکست در نتیجه شکست به دست می‌آید که آن را می‌توانیم به صورت زیر نشان داد.

$$R_i = P * C \quad (1)$$

برای بررسی ارتباط بین قابلیت اطمینان و ریسک سیستم در یک سطح داده شده از نتایج، اگر  $R_{i \max}$  ماکزیمم ریسک قابل قبول شکست تعریف شود و  $p_{f \max}$  حداکثر احتمال قابل قبول باشد، و  $C$  ارزش میانگین هزینه (نتایج) شکست را نشان دهد معادله 1 می‌تواند به صورت زیر نشان داده شود.

$$p_{f \max} = \frac{R_{i \max}}{C} \quad (2)$$

برای داشتن سطح ریسکی کمتر از حداکثر ریسک ( $R_{i \max}$ ) احتمال وقوع شکست  $p_f$  باید کمتر از حد ماکزیمم  $p_{f \max}$  باشد و می‌تواند به صورت زیر نشان داده شود.

$$\begin{aligned} p_f &\leq p_{\max} \\ p_f &\leq \frac{R_{i \max}}{C} \end{aligned} \quad (3)$$

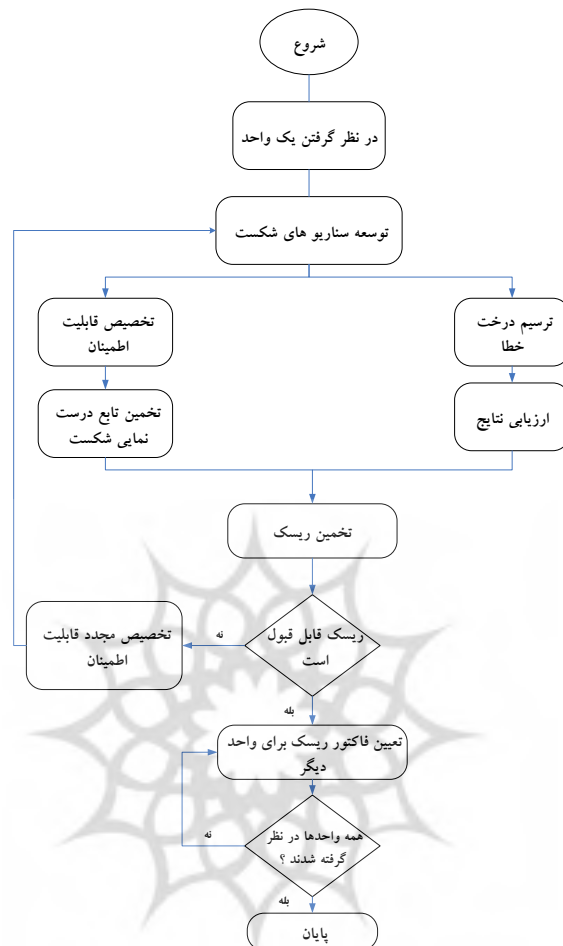
با توجه به معادله بالا احتمال شکست باید کوچکتر از ماکزیمم حد قابل قبول باشد، چنانچه قصد طراحی و ایجاد قابلیت اطمینان در سیستم‌های تولیدی باشد باید توجه داشت که اجزائی که دارای ضررهای بزرگتری میشوند باید در سطح قابلیت اطمینان بالاتری طراحی شوند، این رویکرد قابلیت اطمینان بر پایه ریسک است. با توجه به اینکه قابلیت اطمینان سیستم احتمال

عملکرد صحیح دستگاه تعریف میشود بنابراین مکمل احتمال شکست است و میتوان حداقل قابلیت اطمینان سیستم از رابطه زیر به دست آورد:

$$R_{\min} = 1 - P_{f \max} \quad (4)$$

$$R_{\min} = 1 - \frac{Ri_{MAX}}{C}$$

از محاسبه روابط معادله بالا احتمال شکست در سطح حداقل نیاز قرار گرفته تا ریسک در حد قابل قبولی باقی بماند. این موضوع را باید در نظر گرفت که استراتژی‌های تخصیص قابلیت اطمینان همانند روش آگری و آریانیک (Ebeling, 1997) نیز توانایی در نظر گرفتن ضررهای شکست را در مسئله تخصیص قابلیت اطمینان ندارند. طرح کلی پیشنهادی برای تعیین و محاسبه ترکیبی ریسک در الگوریتم زیر (شکل ۱) ترسیم شده است، از طریق این الگوریتم با تخصیص قابلیت اطمینان، به احتمال شکست یک دستگاه یا سیستم دست خواهیم یافت. نتایج نیز از طریق روش دمپستر شافر محاسبه و بررسی شده است دو شاخه اصلی این الگو در ادامه توضیح داده شده است.



شکل ۱: روش ترکیبی ارزیابی قابلیت اطمینان بر پایه ریسک تجهیزات

### تخمین نتایج شکست با استفاده از تئوری دمپستر شافر:

در چند دهه اخیر متدهای مختلفی برای تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت مورد توجه قرار گرفته است. از میان این روش‌های که پیشنهاد شده است تئوری باور که به عنوان تئوری دمپستر شافر نیز نامیده می‌شود یک چارچوب توانا برای نمایش و بیان عدم قطعیت دانش ناقص ارائه می‌کند. شروع استفاده از تئوری باور با کار دمپستر در تشریح اصول محاسباتی



احتمالات بالائی و پائینی (Dempster, 1967) آغاز شد و به وسیله شافر تئوری ریاضی باور با ظرافت تعریف شد (Shafer, 1976) هر چند در دهه‌های گذشته تئوری استنباط آماری بیز (Bayes, 1763) به دلیل قدمتی که داشته است تا حدودی تئوری دمپستر شافر را تحت پوشش خود قرار داده است ولی مطالعات دمپستر شافر به عنوان یک تکنیک برای مدل سازی تحت شرایط عدم قطعیت کاربردهای فراوانی داشته است، رویکردهای مختلفی برای مدیریت عدم قطعیت ارائه شده به طور مثال بوچانان و همکاران (Buchanan, 1975) مدلی را ارائه کردند که عدم قطعیت را مدیریت می‌کند و دارای فاکتورهای قطعی است. زمانی که دانش ناقصی داشته باشیم استفاده از روش‌های غیر قطعی مناسبتر است، فردزی و کاسپرزیک (Fedrizzi et al, 1980) مطالعاتی را روی ارجحیت بندی فازی و استفاده از ارزش فاصله ای برای نمایش نظرات و قضاوت متخصصین از طریق توزیع‌های تجمعی ارائه کردند. هر روشی که برای مدیریت عدم قطعیت به کار گرفته میشود دارای مزایا و معایب مرتبط با خودش است (Lee et al. 1987)، به عنوان مثال والی (Walley, 1991) و کاسلتون و همکاران (Caselton, 1992) در خصوص مشکلات ناشی از آنالیز متداول بیزی که از ضعف اطلاعات ناشی میشود بحث کرده اند و کیلر و کلیر (Klir, 1989) نمایش احتمالی از عدم قطعیت را برای استنتاج دانش مورد نقد قرار داده است. از میان این روش‌ها تئوری دمپسترو شافر (Dempster, 1967) برای زمانی که در آن اطلاعات از چند منبع گرفته میشود کاربردهای فراوانی داشته است و برای استخراج و کسب دانش بکار رفته است. در این پژوهش نیز از تئوری دمپستر شافر استفاده شده است و برای محاسبه ریسک شکست تجهیزات در یک سازمان تولیدی به کار گرفته شده است، آن چیزی که در شرایط واقعی برای سیستم‌های تولیدی رخ می‌دهد قابل پیش بینی نیست و همواره تصمیم‌گیری‌ها با ریسک روبرو است خصوصاً هنگامی که کمبود اطلاعات وجود داشته باشد. اگرچه تحقیقات مختلفی در زمینه استفاده از تئوری دمپستر شافر در شناخت سیستم‌ها و محاسبه و تصمیم‌گیری انجام شده است ولیکن هنوز برای استفاده کاربردی از این تئوری در ارزیابی کردن ریسک موجود سیستم و اتخاذ تصمیمات اجرایی در سیستم‌های واقعی تولیدی با مشکل روبرو است که این

پژوهش در همین زمینه است. هدف این پژوهش ارائه روش ترکیبی برای شناخت بیشتر و کاربردی کردن ارزیابی ریسک تجهیزات است و شواهد اجرایی آن نیز با محاسبه ریسک تجهیزات یک سازمان تولیدی ارائه شده است.

### تخصیص پایه‌ای احتمال

تخصیص پایه ای احتمال یک تعریف متفاوتی از احتمال کلاسیک دارد و بصورت نقشه ای روی فاصله [0-1] تعریف میشود، به طوریکه تخصیص پایه ای تهی  $m(\phi)$  مجموعه تهی صفر است و جمع تخصیص‌های پایه ای احتمال  $m$  مجموعه  $A$  یک می‌شود. یک تخصیص احتمال پایه برای هر عضو که دارای شرایط  $m(A) \neq 0$  باشد یک عنصر کانونی نامیده می‌شود. این اصول میتواند به وسیله معادلات زیرنمایش داده شود.

$$\begin{aligned} m(A) &\rightarrow [0,1] \\ m(\phi) &= 0 \\ \sum_{A \in \Theta} m(A) &= 1 \end{aligned} \quad (5)$$

### تابع باور

محدوده بالائی و پائینی از فاصله میتواند به وسیله تخصیص پایه ای احتمال تعیین شود که شامل احتمال مجموعه محدود شده به وسیله دو اندازه غیر اضافه شده باور و شدنی است. حد پائینی باور برای مجموعه  $A$  تعریف میشود بعنوان جمع همه تخصیص‌های پایه ای احتمال از زیر مجموعه‌های مناسب  $B$  به طوریکه  $b$  زیر مجموعه  $A$  است. رابطه عمومی مناسب بین bpa و باور می‌تواند به صورت زیر نشان داده شود.

$$\begin{aligned} bel(A) &= \sum_{B \subseteq A} m(B) \\ bel(\phi) &= 0 \\ bel(1) &= 1 \end{aligned} \quad (6)$$

### تابع امکان

حد بالائی یا تابع امکان جمع تخصیص‌های پایه ای احتمال از زیر مجموعه‌های  $B$  به صورت  $A, i.e., B \cap (A) \neq \phi$  و میتواند به صورت زیر نوشته شود.

$$pl(A) = \sum_{B \cap A \neq \phi} m(B) \quad (7)$$

تابع امکان از طریق تابع شک با تابع باور ارتباط دارد، به طوریکه به صورت زیر تعریف می شود.

$$pl(A) = 1 - Bel(\neg A) \quad (8)$$

$$pl(A) = 1 - doubt(\neg A)$$

بعلاوه روابط زیر بین توابع باور و امکان در تمام شرایط وجود دارد.

$$pl(A) \geq bl(A) \quad (9)$$

$$pl(\phi) = 0$$

$$pl(\theta) = 1$$

$$pl(\neg A) = 1 - bel(A)$$

### فاصله باور

فاصله باور بیان کننده یک محدوده ای است که احتمال ممکن است غلط باشد. و به وسیله کم کردن فاصله امکان و باور تعیین می شود. هر چقدر فاصله باور دارای محدوده باریک تری باشد بیان کننده احتمالات دقیق تری است. احتمال در صورتی واحد است اگر  $bel(A) = Pl(A)$  (شود آنگاه محدوده باور با تئوری احتمال برابر می شود. اگر فاصله  $U(A)$  یک فاصله  $[0,1]$  باشد بدان معنی است که هیچ اطلاعاتی در دسترس نیست. و اگر فاصله به صورت  $[1,1]$  باشد بدین معنی است که  $A$  بطور کامل توسط تخصیص پایه ای احتمال مورد تایید قرار می گیرد.

### تخمین احتمال شکست با استفاده از مدل های احتمالی

تعیین احتمال اجرای مأموریت توسط یک جزء سیستم در طول عملیات نیازمند مدلی برای تخصیص قابلیت اطمینان است. مدل های مختلفی برای تخصیص قابلیت اطمینان ارائه شده اند. مدلی که در این تحقیق از آن استفاده شده مربوط به روش غیر خطی بهینه سازی تیلمن و همکاران (Tillman et al. 1985) به شرح زیر است:

$$\begin{aligned} \min z &= \sum_{i=1}^n c_i(R_i) \\ \text{s.t.} & \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} R_s &\geq R_G \\ R_{i,\min} &\leq R_i \leq R_{i,\max} \\ i &= 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

رابطه ۱۰: تخصیص قابلیت اطمینان برای دستیابی به حداقل هزینه کل سیستم

$C$  هزینه کل سیستم

$C_i(R_i)$  هزینه اجزا- زیر سیستم  $i$

$R_i$  قابلیت اطمینان اجزا / زیر سیستم  $i$

$n$  تعداد اجزا داخلی سیستم مورد بررسی در بهینه سازی

$R_{i,\min}$  حداقل قابلیت اطمینان اجزا / زیر سیستم  $i$

$R_{i,\max}$  حداکثر قابلیت اطمینان قابل دسترس / زیر سیستم  $i$

$R_s$  قابلیت اطمینان سیستم

$R_G$  قابلیت اطمینان هدف

$f_i$  شدنی بودن افزایش قابلیت اطمینان اجزا / زیر سیستم  $i$

برای بیشینه کردن قابلیت اطمینان نیاز به یافتن تابعی است که هزینه‌های عدم اطمینان را به حداقل برساند. ضمن اینکه به منظور دستیابی به تخصیص رضایت بخشی از قابلیت اطمینان باید محدودیت‌های دیگری نیز مورد توجه قرار گیرند، زیرا منابع مختلفی وجود دارد که معمولاً در سیستم‌های تولیدی واقعی محدود هستند. تیلمن و همکاران (Tillman et al. 1985) برای به دست آوردن رابطه بین هزینه‌های هر عنصر با تابع قابلیت اطمینان آن عنصر، فرمول زیر را به دست آوردند. این فرمول بیانگر یک تابع هزینه بر اساس تخصیص قابلیت اطمینان و به صورت زیر است:

$$C_i(R_i, f_i, R_{i \min}, R_{i \max}) = e^{[(1-f_i) \frac{R_i - R_{i \min}}{R_{i \max} - R_i}]} \quad (11)$$

رابطه ۱۱: فرمول نمایی تابع هزینه تخصیص قابلیت اطمینان

$i$  نماد زیر سیستم ( $i=1, 2, \dots, n$ )

$R_{i \min}$  ارزش قابلیت اطمینان اولیه  $i$  امین جزء بدست آمده از توزیع شکست اجزای

یک دوره مشخص

$R_{i \max}$  بیشینه قابلیت اطمینان قابل دستیابی از  $i$  امین جزء

$f_i$  شدنی بودن افزایش قابلیت اطمینان اجزا

تابع بالا سه هدف را مورد تأیید قرار می‌دهد که در شرایط واقعی سیستم‌های تولیدی به وضوح قابل مشاهده و تأیید است. برای افزایش قابلیت اطمینان باید هزینه‌های زیادی را متقبل شد. زیرا هزینه‌ها به صورت یک تابع نمایی افزایش پیدا می‌کنند. اگر به قابلیت اطمینان بالا نیاز نباشد، هزینه قابلیت اطمینان پائین، معمولاً پائین است. باید در نظر داشت، افزایش قابلیت اطمینان برای اجزاء مختلف، ممکن است شدنی یا نشدنی باشد.  $f_i$  میزان شدنی بودن افزایش قابلیت اطمینان را نشان می‌دهد که عددی بین صفر و یک است. در واقع به منظور به دست آوردن سطحی مطلوب از قابلیت اطمینان نیاز به دانستن این است که، افزایش قابلیت اطمینان شدنی یا نشدنی است. این مشخصات بستگی به پیچیدگی سیستم دارد که  $f_i$  به آن اشاره دارد. بهبود و ارتقا سطح قابلیت اطمینان سیستم‌ها به تلاش و هزینه بیشتری احتیاج دارد بنابراین ممکن است بهبود قابلیت اطمینان کار دشوار، گران قیمت و گاهی هم غیرممکن باشد. این مسأله به میزان پیچیدگی‌های سیستم و محدودیت‌های تکنولوژیکی، بستگی دارد. تصمیم‌گیری بین هزینه مورد نیاز جهت بهبود و ارتقای قابلیت اطمینان و هزینه ناشی از شکست سیستم‌ها یک گام انتخابی است و به طرح‌ریزی توسعه قابلیت اطمینان برای دستیابی به یک سطح قابل قبول از ریسک سیستم کمک می‌کند.

در این مرحله با توجه به بازنگری انجام شده روی ریسک ناشی از شکست سیستم‌ها، به طور شفاف مشخص می‌شود که باید به چه میزان در طرح ریزی قابلیت اطمینان تغییر ایجاد شود تا ریسک موجود در شکست تجهیزات مدیریت شود. نتیجه اینکه تخصیص قابلیت اطمینان بالاتر، دارای هزینه‌های بالاتری نیز هست. هدف ما در اینجا محاسبه شانس رخداد خرابی یا  $POF$  است. قابلیت اطمینان عددی است بین ۰ و ۱ به نحوی که اگر  $T$  زمان تا خرابی باشد و  $R(t)$  را قابلیت اطمینان  $P(T < t)$  بنامیم،  $POF$  یا احتمال خرابی از طریق رابطه زیر به دست می‌آید:

$$POF = 1 - Reliability \quad (12)$$

$$R(0)=1 \quad \& \quad R(\infty)=0$$

#### مطالعه موردی

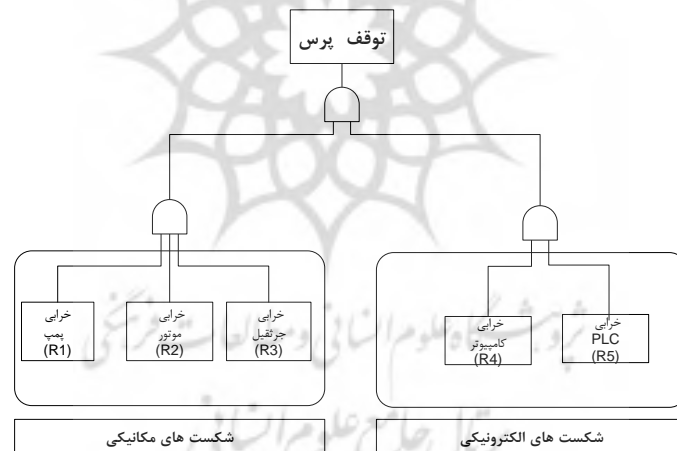
در یک سیستم تولیدی وابسته به صنایع خودرو دستگاه‌های مختلفی در حال کار است. یک دستگاه پرس انحصاری هیدرولیکی ۵۰۰۰ تن در اختیار این بنگاه تولیدی قرار دارد و جایگزینی برای دستگاه فوق وجود ندارد، بطوریکه در استراتژی تدوین شده این شرکت، داشتن این دستگاه یک مزیت رقابتی محسوب شده و خرابی آن یک نقطه ضعف است. زیرا هر گونه توقف و خرابی دستگاه روی نتایج کلیدی عملکرد شرکت تاثیر خواهد گذاشت. شماتیکی از این شرکت در شکل ۲ نشان داده شده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۲- شماتیک کارخانه

هدف بررسی قسمتی از کارخانه تولیدی است که از قطعات بحرانی تری تشکیل شده است. به همین منظور بخشی از درخت خطای آن در شکل شماره ۳ ترسیم شده است.



شکل ۳- قسمتی از درخت خطای دستگاه

دستگاه‌هایی که در مطالعه موردی این تحقیق مورد بررسی قرار می‌گیرند در حالت سری قرار دارند و هدف مشخص کردن قابلیت اطمینان برای مدت ۱۵۰ ساعت است. قسمتی از درخت

خطای ماشین که در شکل ۳ نمایش داده شده است بیانگر وضعیت قرار گیری دستگاه‌ها نسبت به هم است. گام نخست شامل به دست آوردن معادله قابلیت اطمینان سیستم است. فرض شده است عناصر از هم مستقل اند. بنابراین قابلیت اطمینان سیستم عبارت است از:

$$R_s = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot R_4 \cdot R_5 \quad (13)$$

رفتار تابع قابلیت اطمینان برای هر یک از اجزاء با استفاده از تابع هزینه ارائه شده در معادله 11 و بر طبق داده‌های جدول شماره ۱ می باشد. در این جدول سه پارامتر داریم که عبارتند از:  $R_{imin}$  که حداقل قابلیت اطمینان اجزاء می باشد.  $R_{imax}$  که بیشینه قابلیت اطمینان را نشان می دهد، شذنی بودن ۱ به میزان افزایش قابلیت اطمینان یک عنصر اشاره دارد.

جدول ۱- تخصیص قابلیت اطمینان برای زمان هدف ۱۵۰ ساعت

	پمپ ( $R_1$ )	موتور ( $R_2$ )	جرثقیل ( $R_3$ )	کامپیوتر ( $R_4$ )	PLC ( $R_5$ )
$R_{min}$	0.8	0.8	0.7	0.7	0.75
$R_{max}$	0.98	0.99	0.98	0.97	0.97
Feasibility	0.8	0.7	0.6	0.8	0.9

بر طبق جدول شماره ۱ و معادلات ۱۰ و ۱۱ داریم:

$$\min z = \sum_{i=1}^n e^{[(1-f_i) \frac{R_i - R_{i \min}}{R_{i \max} - R_i}]}$$

s.t.

$$R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot R_4 \cdot R_5 \geq R$$

$$0.8 \leq R_1 \leq 0.98$$

$$0.8 \leq R_2 \leq 0.99$$

$$0.7 \leq R_3 \leq 0.99$$

$$0.7 \leq R_4 \leq 0.97$$

$$0.75 \leq R_5 \leq 0.97$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$
(14)

<sup>1</sup> Feasibility



داده‌های عددی این جدول از سوابق قبلی موجود در این شرکت تولیدی به دست آمده است. نتایج محاسبات در جدول شماره ۲ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود تخصیص قابلیت اطمینان بالاتر، دارای هزینه‌های بالاتری نیز هست. در ادامه محاسبه شانسی رخداد خرابی یا  $POF$  مورد بررسی قرار خواهد گرفت. قابل ذکر است که، قابلیت اطمینان عددی است بین ۰ و ۱ بطوریکه رابطه  $R(0)=1$  and  $R(\infty)=0$  برقرار است. اگر زمانی که طول می‌کشد تا خرابی اتفاق بیفتد را با  $T$  و قابلیت اطمینان را با  $R(t)$ ، نشان دهیم،  $POF$  یا احتمال خرابی از طریق رابطه ۱۲ به دست می‌آید. در کارخانه مورد بررسی، قابلیت اطمینان عناصر بر طبق جدول زیر محاسبه شده است:

جدول ۲- تست نتایج برای مطالعه موردی

	$R_G$	$POF$	$R_G$	$POF$	$R_G$	$POF$	$R_G$	$POF$	$R_G$	$POF$	$R_G$	$POF$
	0.83	=1- $R_x$	0.84	=1- $R_x$	0.85	=1- $R_x$	0.86	=1- $R_x$	0.87	=1- $R_x$	0.88	=1- $R_x$
$R_1$	0.970	0.030	0.971	0.029	0.973	0.027	0.975	0.025	0.976	0.024	0.978	0.022
$R_2$	0.975	0.025	0.977	0.023	0.980	0.020	0.982	0.018	0.984	0.016	0.987	0.013
$R_3$	0.954	0.046	0.958	0.042	0.962	0.038	0.966	0.034	0.970	0.030	0.974	0.026
$R_4$	0.956	0.044	0.958	0.042	0.960	0.040	0.962	0.038	0.965	0.035	0.967	0.033
$R_5$	0.963	0.037	0.964	0.036	0.965	0.035	0.967	0.033	0.968	0.032	0.969	0.031
cost	165		340		967		5060		102210		128111900	

در جدول فوق  $R_G$  به قابلیت اطمینان مورد نظر سیستم اشاره دارد. در اینجا هدف، کمی‌سازی نتایج شکست مربوط به توابع شکست است که توسط یک سری از شکست‌ها بیان می‌شود. زیرا شرایط عدم قطعیت، جدول به دست آمده احتمال شکست سیستم را ارائه می‌دهد و برای محاسبه ریسک دستگاه نیاز داریم که شدت وقوع را نیز ارزیابی کنیم برای اینکار لازم است که، در نمودار ریسک، محور احتمال شکست یا محور  $X$ ها به صورت کمی و از روی قابلیت اطمینان مورد بررسی قرار گیرد و شدت نتایج شکست در محور  $Y$ ها، با استفاده از تئوری دمپستر شافر بررسی شود. لازم است چارچوب تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت با استفاده از حداقل داده‌های موجود و بر اساس تئوری دمپستر شافر تهیه شود. این تحلیل و آنالیز شامل ارزیابی‌هایی می‌شود که تابع احتمال شکست‌ها را کمی می‌سازد. در این روش نتایج کمی

شده توسط تئوری دمپستر شافر با نتایج مربوط به احتمال شکست و قابلیت اطمینان ترکیب و نتایج در نمودار ریسک ترسیم می‌شود. همانطور که گفته شد به علت اینکه نمی‌توان شدت وقوع خرابی‌های دستگاه‌ها را با استفاده از روش‌های احتمال کلاسیک مورد بررسی قرار داد، برای مشخص کردن وضعیت و پیامدهای شکست یک ماشین از احتمالات فاصله‌ای استفاده می‌شود.

### تخصیص پایه‌ای احتمال برای شدت نتایج

عامل دوم در تعیین ریسک ناشی از تجهیزات، شدت شکست ناشی از خرابی دستگاه‌های کارخانه مورد بررسی است. جمع آوری داده‌هایی مورد بررسی بر اساس خرابی دستگاه‌ها در طی سیزده سال گذشته است. به علت اینکه این داده‌ها محدود است، روش‌های آماری سنتی قابل اجرا نیست. به بیان دیگر تصمیم‌گیری مستقیم با استفاده از این داده‌ها از لحاظ آماری ممکن نیست. مدیریت ارشد این کارخانه قصد دارد در خصوص اثر و واکنشی که باید نسبت به شکست نشان دهد تصمیم‌گیری کند. به همین جهت پس از آنالیز داده‌های ثبت شده، شکست‌ها را به سه گروه تقسیم شده است.  $L$  (Low) یا کم اهمیت، که نشان‌دهنده شدت نتایج قابل اغماض برای خرابی دستگاه‌ها است. به بیان دیگر در این حالت، نتیجه شکست به اندازه‌ای نیست که منجر به نگرانی مدیریت شود و قابل چشم‌پوشی است.  $M$  (Medium) یا متوسط، این گروه، بیان می‌کند که خرابی‌ها سبب فاجعه نمی‌شوند اما شدت آنها نگران کننده است و باید برای آنها فکری شود. و نهایتاً شاخص  $H$  (High) یا بالا نیز نشان‌دهنده این است که نتایج ناشی از شکست تبعات منفی بالایی برای سازمان در بر خواهد داشت. مجموعه این گروه بندی را می‌توان به صورت زیر نشان داد:

$$\theta = \{L, M, H\} \quad (15)$$

برای این مجموعه هشت احتمال و حالت ممکن وجود دارد:

$$\{\varphi\}, \{L\}, \{M\}, \{H\}, \{L, M\}, \{L, H\}, \{M, H\}, \{L, M, H\} \quad (16)$$

اطلاعات جمع‌آوری شده شکست ماشین، بر اساس داده‌های سیزده سال گذشته است. تخصیص پایه‌ای احتمال بر اساس این داده‌ها، در جدول شماره ۳ نشان داده شده است:

جدول ۳- تخصیص پایه‌ای احتمال ( $bpa$ ) برای شکست سیستم

تخصیص پایه‌ای احتمال برای شدت نتایج	قسمتهای مختلف دستگاه پرس				
	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$
$L$	0.3	0.6	0.2	0.5	0
$M$	0.1	0.1	0.2	0.2	0
$H$	0	0.1	0	0.1	0.7
$L,M$	0.1	0.1	0	0.1	0
$L,H$	0	0	0	0	0
$M,H$	0.5	0	0.6	0	0
$L,M,H$	0	0.1	0	0.1	0.3

### محاسبه نتایج شکست

محدوده‌های بالائی و پائینی فاصله عدم قطعیت در تئوری دمپستر شافر به وسیله تخصیص پایه‌ای احتمال مشخص می‌شود. این محدوده‌های احتمال شامل دو اندازه باور و موجه بودن می‌شوند. سطح پائینی باور ( $bel$ ) عبارت است از جمع همه احتمالات تخصیص داده شده در مورد پیشامد بدست می‌آید و از رابطه ۶ محاسبه می‌شود. سطح بالائی ( $pl$ ) محدوده‌ای است که از طریق معادله ۷ محاسبه می‌شود. محدوده‌ای که از توابع باور و موجه بودن به دست می‌آید بیانگر فاصله عدم اطمینانی است که می‌تواند غلط یا درست باشد. محاسبات فواصل عدم قطعیت  $U(A)$  از تابع باور شروع شده و تا تابع موجه بودن ادامه دارد. فاصله عدم قطعیت کوچک‌تر و باریک‌تر نشان‌دهنده احتمال دقیق‌تری است. در جدول شماره ۴ نتایج محاسباتی مربوط به حالات مختلف نشان داده شده است. برای نشان دادن نحوه تعیین نتایج شکست

برای هر قسمت از دستگاه، نوع محاسبات برای دستگاه پمپ نشان داده است. نتایج به شرح زیر است:

$$\begin{aligned}
 m(p)_L &= 0.3 \\
 m(p)_M &= 0.1 \\
 m(p)_H &= 0 \\
 m(p)_{L,M} &= 0.1 \\
 m(p)_{L,H} &= 0 \\
 m(p)_{M,H} &= 0.5 \\
 m(p)_{L,M,H} &= 0
 \end{aligned}
 \tag{۱۷}$$

$$\begin{aligned}
 bel(p)_L &= m(p)_L = 0.3 \\
 bel(p)_M &= m(p)_M = 0.1 \\
 bel(p)_H &= m(p)_H = 0 \\
 bel(p)_{L,M} &= m(p)_L + m(p)_M + m(p)_{L,M} = 0.3 + 0.1 + 0.1 = 0.5 \\
 bel(p)_{L,H} &= m(p)_L + m(p)_H + m(p)_{L,H} = 0.3 + 0 + 0 = 0.3 \\
 bel(p)_{M,H} &= m(p)_M + m(p)_H + m(p)_{M,H} = 0.1 + 0 + 0.5 = 0.6 \\
 bel(p)_{L,M,H} &= m(p)_L + m(p)_M + m(p)_H + m(p)_{L,M} + m(p)_{L,M} + \\
 & m(p)_{L,H} + m(p)_{M,H} + m(p)_{L,M,H} = 0.3 + 0.1 + 0.1 + 0.5 = 1
 \end{aligned}
 \tag{۶-۴}$$

$$\begin{aligned}
 pl(p)_L &= m(p)_L + m(p)_{L,M} + m(p)_{L,H} + m(p)_\theta = 0.3 + 0.1 + 0 = 0.4 \\
 pl(p)_M &= m(p)_M + m(p)_{L,M} + m(p)_{M,H} + m(p)_\theta = 0 + 0 + 0.5 + 0 = 0.5 \\
 pl(p)_H &= m(p)_H + m(p)_{L,H} + m(p)_{M,H} + m(p)_{L,\theta} = 0 + 0 + 0.5 + 0 = 0.5 \\
 pl(p)_{L,M} &= m(p)_L + m(p)_M + m(p)_{L,M} + m(p)_{L,H} + m(p)_{M,H} + m(p)_\theta = 0.3 + 0.1 + 0.1 + 0 + 0.5 + 0 = 1 \\
 pl(p)_{L,H} &= m(p)_L + m(p)_H + m(p)_{L,M} + m(p)_{L,H} + m(p)_{M,H} + m(p)_\theta = 0.3 + 0 + 0.1 + 0.5 = 0.9 \\
 pl(p)_{M,H} &= m(p)_M + m(p)_H + m(p)_{L,M} + m(p)_{L,H} + m(p)_{M,H} + m(p)_\theta = 0.1 + 0.1 + 0.5 = 0.7 \\
 pl(p)_{L,M,H} &= m(p)_L + m(p)_M + m(p)_H + m(p)_{L,M} + m(p)_{L,H} + m(p)_{M,H} + m(p)_\theta = 0.3 + 0.1 + 0.1 + 0.5 = 1
 \end{aligned}
 \tag{۷-۴}$$

جدول ۴ - محاسبات توابع باور و امکان برای نتایج شکست

شدت نتایج شکست	پمپ			موتور			جرثقیل			کامپیوتر			Plc		
	<i>bpa</i>	<i>bel</i>	<i>pl</i>	<i>bpa</i>	<i>bel</i>	<i>pl</i>	<i>bpa</i>	<i>bel</i>	<i>pl</i>	<i>bpa</i>	<i>bel</i>	<i>pl</i>	<i>bpa</i>	<i>bel</i>	<i>pl</i>
<i>L</i>	0.3	0.3	0.4	0.6	0.6	0.8	0.2	0.2	0.2	0.5	0.5	0.7	0	0	0.3
<i>M</i>	0.1	0.1	0.7	0.1	0.1	0.3	0.2	0.2	0.8	0.2	0.2	0.4	0	0	0.3
<i>H</i>	0	0	0.5	0.1	0.1	0.2	0	0	0.6	0.1	0.1	0.2	0.7	0.7	1
<i>L,M</i>	0.1	0.5	1	0.1	0.8	0.9	0	0.4	1	0.1	0.8	0.9	0	0	0.3
<i>L,H</i>	0	0.3	0.9	0	0.7	0.9	0	0.2	0.8	0	0.6	0.8	0	0.7	1
<i>M,H</i>	0.5	0.6	0.7	0	0.2	0.4	0.6	0.8	0.8	0	0.3	0.5	0	0.7	1
<i>L,M,H</i>	0	1	1	0.1	1	1	0	1	1	0.1	1	1	0.3	1	1

بعد از به دست آوردن جدول ۴ برای همه بخش‌های دستگاه، با استفاده از اصول دمپستر شافر تصمیم‌گیری می‌شود. مقدار تابع باور (*bel* (*A*) میزان کل احتمال تأیید شده را اندازه‌گیری می‌کند و بیانگر جمع معنادار درجه باور و محدوده پائینی احتمال است. از سوی دیگر تابع موجه بودن بیان‌کننده جمع درجات باور مرتبط با *A* است و محدوده‌های بالایی را نشان می‌دهد. فاصله باور که در جدول شماره ۴ با رنگ خاکستری مشخص شده است بیانگر عدم قطعیت است. شدت نتایج عدم قطعیت [*bel* , *plu*] بیان‌کننده محدوده‌ای است که در مورد آن اطلاعاتی وجود ندارد و در واقع نادانسته‌های ما را شامل می‌شود. به این محدوده، فاصله عدم قطعیت می‌گوئیم. تصمیم‌گیری ما با توجه به مقدار این فاصله خواهد بود به نحوی که فاصله کوتاه‌تر، احتمال دقیق‌تری را نشان می‌دهد. در نتیجه فاصله‌ای انتخاب می‌شود که دارای تابع باور بالاتری باشد.

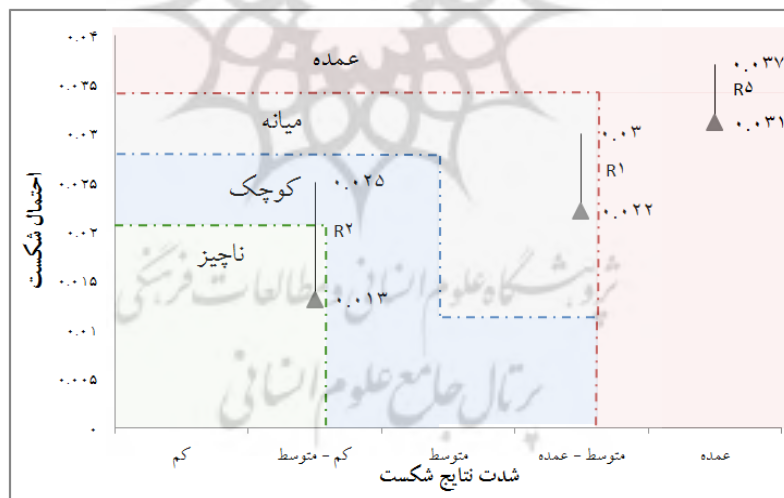
#### تعیین فاصله ریسک در ماتریس ارزیابی ریسک

هنگامی که احتمال و میزان شدت شکست سیستم مشخص شد، با استفاده از ماتریس ریسک، سطح ریسک هر یک از اجزاء را به دست می‌آوریم. برای این منظور مدلی استفاده می‌شود و احتمال شکست و شدت نتایج در آن قرار داده می‌شود (جدول ۵).

جدول ۵-درجه بندی محور X و Y در ماتریس ریسک

عمده	میانہ	کوچک	ناچیز	فاکتور ریسک
بالا	متوسط - بالا	متوسط	کم - متوسط	X
[0.030-0.040]	[0.025-0.030]	[0.02-0.025]	[0,0.02]	Y

این جدول دارای محدوده ای است که شروع محدوده از ریسک ناچیز و بی اهمیت شروع شده و پایان آن با ریسک شدید پایان می پذیرد. بعد از ترکیب دو بعدی که اعداد آن از جدول شماره ۲ و ۴ بدست آورده شده است، می توان ماتریس ریسک را ترسیم کرد. محور Xها در این ماتریس با شدت نتایج مرتبط است و محور Yها نشان دهنده تابع احتمال رخدادهای شکست یا POF است. نتایج به دست آمده از جدول شماره ۵ را در ماتریس ریسک ترسیم شده است تا موقعیت آنها را مشخص شود. به عنوان مثال پس از انجام محاسبات برای پمپ (R1)، موتور (R2) و PLC (R5) موقعیت آنها در نمودار ریسک ترسیم شده است. (شکل ۴)



شکل ۴- نمودار ریسک برای دستگاه پرس

از بررسی نمودار ریسک این نتیجه به دست می‌آید که، ریسک شکست موتور  $R_2$  می‌تواند بین دو مقدار  $R_1 = 0.975$  تا  $R_1 = 0.987$  تغییر کند. در نتیجه ریسک آن نیز بین دو محدوده ناچیز تا کوچک تغییر می‌کند. نتایج مربوط به دستگاه‌های دیگر (پمپ و PLC) نیز در نمودار نشان داده شده است. می‌توان با افزایش قابلیت اطمینان  $R_1$  تا  $0.99$  احتمال شکست را به  $0.01$  کاهش داد. بنابراین ریسک شکست کاهش می‌یابد. اما برای کاهش ریسک دستگاه PLC باید شدت نتایج را کاهش داد. به عنوان مثال، با اضافه کردن اجزاء مازاد می‌توان نتایج شکست را کاهش داد. نهایتاً برای همه دستگاه‌ها بر اساس ترکیب محاسبات کمی، می‌توان با استفاده از محدوده‌های باور به محاسبه ریسک شکست پرداخت.

### نتیجه‌گیری

برخلاف پژوهش‌هایی که هدف آنها محاسبه قابلیت اطمینان سیستم‌های تولیدی با روشهای صرفاً کمی یا کیفی بوده است، هدف از انجام این پژوهش، نه صرفاً محاسبه قابلیت اطمینان و نه بررسی فقط یکی از روشهای فوق است بلکه در این پژوهش تلاش شده است تا با استفاده از یک روش ترکیبی کمی و کیفی به محاسبه قابلیت اطمینان و تعیین رابطه آن با ریسک پرداخته شود. به علاوه مدلی برای تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان بر پایه ریسک به کار گرفته شده است و در خصوص یک مطالعه موردی اجرا و با تعیین رابطه بین ریسک و قابلیت اطمینان دستگاهها، ریسک موجود شناسایی و دسته بندی شده و راهکارهای کاهش ریسک ارائه گردیده است. مدل ارائه شده رابطه ای بین قابلیت اطمینان و ریسک با ارائه الگوی جدید "ارزیابی قابلیت اطمینان بر پایه ریسک" ارائه می‌دهد که نهایتاً نشان داده شد که با تغییر در سطح قابلیت اطمینان می‌توان سطح ریسک یک سیستم تولیدی را کنترل کرد. برای محاسبات و تصمیم‌گیری در مطالعه موردی و برای نشان دادن نتیجه محاسبات از نمودار ریسک دو بعدی استفاده گردید و محدوده‌های عدم قطعیتی به دست آمده ترسیم گردید. در حالی که داده‌های در دسترس خیلی کم باشد استفاده از مدل ارائه شده سبب

خواهد شد که یک الگوی تصمیم‌گیری مناسبی برای تعیین حداقل و حداکثر ریسک موجود در سیستم ارائه شود. با توجه به ویژگی‌های ممتاز و منحصر به فرد رویکرد کمی-کیفی تئوری دمپستر شافر در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است و همانگونه که در ادبیات موضوع نشان داده شد هنگامی که با عدم قطعیت روبرو هستیم و نقص در داده‌هاست مدل‌های آماری توان پاسخگویی و تصمیم‌سازی در شرایط عدم قطعیت را ندارند. بنابراین مدل‌های تصمیم‌گیری پژوهش بر مبنای تئوری دمپستر شافر ارائه شد. روش ارائه شده انطباق خوبی با شرایط واقعی دارد که در آن دستیابی به داده‌های کافی و مطمئن وجود ندارد. از این مدل می‌توان در شرکت‌های تولیدی که برنامه ریزی تولید و توقفات از مسائل مهم آنها به شمار می‌رود استفاده نمود... به عنوان پیشنهادی برای مطالعات آتی می‌توان ترکیب مدل‌های رگرسیونی و دمپستر شافر و استفاده آن برای پیش‌بینی ریسک تجهیزات را ارائه داد.

#### تقدیر و قدردانی

در پایان لازم است از حامی اصلی این پژوهش، مسئولین دانشگاه آزاد اسلامی پرنده و همچنین داوران محترم که با نظرات بسیار ارزشمند خود باعث غنای مقاله و اصلاحات اساسی آن شدند تقدیر و تشکر می‌نمائیم.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی



## منابع

B.J. Buchanan, E.H. Shortliffe.(1975) A model of inexact reasoning in medicine, *Mathematical Biosciences* ;23: 351–379.

Bayes, T. (1763). an essay towards solving a problem in the doctrine of chances. *philosophical Transactions of the Royal Society of London*; 53: 370- 418.

Berger, James O. *Statistical Decision Theory and Bayesian Analysis*. New York: Springer 1985; 109–130.

Caselton W.F, Luo W. (1992).Decision making with imprecise probabilities, Dempster-Shafer theory and applications.*Water Resources Research*; 28 (12):3071-3083.

Danzer, P. Supancic, J. Pascual, T. Lube. (2007).*Engineering Fracture Mechanics*; 74: 2919–2932.

Dempster AP. (1967). Upper and Lower Probabilities Induced by a Multi-valued Mapping. *Annals Mathematical Statistics*; 38: 325-39.

Dubois D, Prade H. (1998) Possibility theory is not fully compositional A comment on a short note by H.J. Greenberg. *Fuzzy Sets and Systems*; 131-134.

Ebeling, C.E., (1997).an Introduction to Reliability and Maintainability Engineering, McGraw-Hill.

Fedrizzi M, Kacprzyk.J,(1980). on measuring consensus in the setting of fuzzy preference relations making with fuzzy sets. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*; 10: 716–723.

Giles R. *Foundations for a theory of possibility, fuzzy information and decision processes*. Amsterdam: North-Holland 1982.

Hecht H., (2004). *Systems Reliability and Failure Prevention*, Artech house.

Henley, E.J., Kumamoto, H.,(1981). *Reliability Engineering and Risk Assessment*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ .

Joslyn CA.(1994). *Possibilistic processes for complex systems modeling*. PhD Dissertation. State University of New York at Binghamton.

Klir GJ.(1989). Is there more to uncertainty than some probability theorists might have us believe? *International Journal of General Systems* ;15:347-78.

Kuo W. and Prasad R., An annotated overview of system-reliability optimization, *IEEE Transactions on Reliability* 2000; 49 (2):176-187.

Kyburg H.E. (1998). *Interval-valued probabilities. The Imprecise Probabilities Project* .

Loganathan Krishnasamy, Faisal Khan, Mahmoud Haddara,(2005) *Development of a risk-based maintenance (RBM) strategy for a power-generating plant*, *journal of loss prevention in the process industries*;18(2):69-81.

N.S. Lee, Y.L. Grize, K. Dehnald. (1987) *Quantitative models for reasoning under uncertainty in knowledge-based expert systems*, *International Journal of Intelligent Systems*; 2:15-38.

Oberkampf W.L, DeLand S.M, Rutherford B.M, Diegert K.V, Alvin K.F, (2000). *Estimation of total uncertainty in modeling and simulation*. Sandia report SAND2000-0824, Albuquerque, NM.

Ravi V., Reddy P.J. and Hans-Jürgen Zimmermann, (2000). *Fuzzy global optimization of complex system reliability*, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems* ;8 (3): 241-248.

Shafer G. (1976). A mathematical theory of evidence. Princeton: Princeton University Press.

Smets P. (2000). Belief functions and the transferable belief model. The Imprecise Probabilities Project 2000.

Tillman F.A., Hwang F.A., Kuo W., (1985). Optimization of Systems Reliability, Marcel Dekker.

Todinov M.T., (2003). Modeling consequences from failure and material properties by distribution mixtures, Nuclear Engineering and Design ; 224:233–244.

Todinov M.T., (2004). Reliability analysis and setting reliability requirements based on the cost of failure, International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering, ;11(3): 1–27.

Walley P., (1987). Belief-function representations of statistical evidence. Ann Stat 10 : 741-61.

Walley P. (1991). Statistical reasoning with imprecise probabilities. New York: Chapman & Hall.

Wattanapongsakorn N., Levitan S.P., (2004). Reliability optimization models for embedded systems with multiple applications, IEEE Transactions on Reliability; 53(3): 406–416.

Winkler RL. (1972). Introduction to Bayesian inference and decision. New York: Holt (Rienhart & Winston).

Xu Z., Kuo W., Lin H.H., (1990). Optimization limits in improving system reliability, IEEE Transactions on Reliability; 39(1): 51–60.