Journal of Decisions & Operations Research

Volume 5, Issue 2, Spring 2020

Journal of Decisions and Operational Research

www.journal-dmor.ir

Evaluating the System Reliability and Availability under Fuzzy Bayesian Approach

Morteza Shafiee[1,*], Hilda Saleh[2], Atefeh Kaveh[3]

[1]Department of Industrial Management, Economic and Management Faculty, Shiraz Branch, Islamic Aazd University, Shiraz, Iran.
[2]Department of Mathematics, Faculty of Science, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
[3]Department of Industrial Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran.

Abstract

Assessing the reliability and availability of the production system reduces the likelihood of sudden and costly stops, which is very risky. To this end, this paper attempts to provide a new way to determine the reliability and availability of a production system, which can be used for a variety of failure components such as materials, supplies, personnel and machinery. Therefore, using Fuzzy Bayesian Approach, unrealistic events that are actually created in a production system have been processed and the proposed model has been used to assess the condition of Pegah Fars milk factory, so that the rate of failure and repair and reliability of components and system with Bayesian method was calculated. And because the available information space is uncertain, the reliability parameters became fuzzy. Then the availability of the components and then the whole system was calculated using the formula provided by Martz and Waller and the Bayesian method, and the parameters of availability were converted into fuzzy. Finally, the information obtained about the reliability and availability of the system and components were analyzed, that the results show the improved approach, provides a more accurate estimate of reliability and availability.

Keywords: Reliability assessment, Production system availability, Fuzzy theory, Bayesian method.

Paper Type: Original

Receive: 04/03/2020 Revise: 22/07/2020 Accept: 20/08/2020

*** Corresponding Author**

Email Address: ma.shafiee277@gmail.com

DOI: 10.22105/dmor.2020.229706.1149

Journal of Decisions & Operations Research, Volume 5, Issue 2, Summer 2020, Page: 133-150

نشریه علمی
تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات
Journal of Decisions and Operational Research
دوره ۵، شماره (۲)، تابستان ۱۳۹۹

www.journal-dmor.ir

ارزیابی قابلیت اطمینان و دردسترس بودن سیستم تولید تحت شرایط فازی به روش بیزین

مرتضی شفیعی[۱،*]، هیلدا صالح[۲]، عاطفه کاوه[۳]

[۱]گروه مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد و مدیریت، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران.
[۲]گروه ریاضی، دانشکده علوم، واحد تهران مرکز، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
[۳]گروه مهندسی صنایع، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران.

چکیده

ارزیابی قابلیت اطمینان و دردسترس بودن سیستم تولیدی، احتمال وقوع توقف‌های ناگهانی و هزینه‌بر که بسیار پرخطر است را کاهش می‌دهد. به همین منظور در این مقاله سعی شده است، یک روش جدید برای تعیین قابلیت اطمینان و دردسترس بودن یک سیستم تولید ارائه شود که برای انواع مؤلفه‌های شکست مانند مواد، تدارکات، پرسنل و ماشین‌آلات کاربرد داشته. لذا با استفاده از روش بیزین فازی به پردازش وقایع غیرقطعی که دقیقا در واقعیت در یک سیستم تولیدی به وجود می‌آید پرداخته شده است و مدل پیشنهادی برای ارزیابی وضعیت کارخانه شیر پگاه فارس استفاده شده است به این‌صورت که نرخ خرابی و تعمیر و قابلیت اطمینان اجزاء و سیستم با روش بیزین محاسبه گردید و چون فضای اطلاعات موجود دارای عدم قطعیت می‌باشد پارامترهای قابلیت اطمینان فازی شدند. سپس در دسترس‌بودن اجزاء و سپس کل سیستم با استفاده از فرمول ارائه‌شده مارتز و والر و روش بیزی محاسبه شد و پارامترهای دردسترس بودن نیز فازی شدند و در مرحله نهایی به تجزیه‌وتحلیل اطلاعات به‌دست آمده درخصوص قابلیت اطمینان و در دسترس بودن سیستم و اجزاء پرداخته شده است که نتایج نشان میدهند رویکرد بهبودیافته برآورد دقیق‌تری از قابلیت اطمینان و دردسترس بودن را فراهم می‌کند.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی قابلیت‌اطمینان، دردسترس بودن سیستم تولید، نظریه فازی، روش بیزین.

نوع مقاله: پژوهشی

دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۱۴ اصلاح: ۱۳۹۹/۰۵/۰۱ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۳۰

۱- مقدمه

ارزیابی و بررسی قابلیت اطمینان شامل استفاده از روش‌های کمی و کیفی جهت پیش‌بینی در کاهش بروز خطا می‌باشد. لذا به‌کارگیری تکنیک‌های ارزیابی قابلیت اطمینان در محیط‌های کاری حساس جهت پیشگیری و محدود ساختن پیامدهای ناشی از خطا لازم است (حق‌جو و همکاران۱، ۲۰۱۹). درواقع روند فعلی موجود در صنایع مختلف این نکته را اذعان می‌دارد که برقراری سیستمی با قابلیت ارجاع سریع میزان خرابی‌های تجهیزات و یا برآورد قابلیت اطمینان آن، از ضروریات هر صنعت است (حسینی و خداکرمی۲، ۲۰۱۸). قابلیت اطمینان در حقیقت کنترل کیفیتی است که در طول زمان پابرجاست و با توجه به این‌که کنترل کیفیت عیب و نقص را کاهش می‌دهد، قابلیت اطمینان احتمال نگرانی از کارکرد سیستم را به حداقل می‌رساند (کرباسیان و طباطبایی۳، ۲۰۱۴). در روش‌های مدل‌سازی موجود برای محاسبه قابلیت اطمینان و دردسترس بودن سیستم تولید، تنها برخی از عوامل خرابی مانند ماشین‌آلات درنظر گرفته می‌شود که با توجه به

---

[۱] Haghjoo et al.
[۲] Hosseini& Kho dakarami
[۳] Karbasian & Tabatabai

* نویسنده مسئول
آدرس رایانامه: ma.shafiee277@gmail.com
شناسه دیجیتال: 10.221010/dmor.2020.229706.11490

این که فرآیند تولید با تصمیم به تولید شروع می‌شود و تا زمانی که محصول نهایی کامل شود، ادامه می‌یابد لذا هرگونه توقف ناخواسته در سیستم تولید می‌تواند به‌عنوان یک نارسایی (خرابی) برای سیستم تولید تعریف شود. برای‌مثال توقف تولید به‌علت خطا در برنامه‌ریزی، دیررسیدن مواد نیمه‌نهایی/خام و یا خرابی ماشین‌آلات و درچنین شرایطی درنظر گرفتن تنها خرابی ماشین‌آلات در محاسبات، باعث می‌شود زمان را برای قابلیت اطمینان و دردسترس بودن سیستم تولید اشتباه برآورد شود، هم‌چنین این برآورد اشتباه، منجر به زیان مالی و ازدست دادن حسن نیت مشتری می‌شود. بنابراین برای داشتن کنترل و برنامه‌ریزی موثر می‌بایست قابلیت اطمینان و دردسترس بودن سیستم تولید را به‌صورت کل و با درنظرگرفتن تمامی خرابی‌های سیستم تولید (نه‌تنها ماشین‌آلات) محاسبه کرد. مخصوصاً اگر یک شرکت هزینه بالایی را به‌علت برآورده‌نشدن نیاز مشتریان در زمان تعیین‌شده می‌پردازد (گرکملی و اولوسوی[1]، ۲۰۱۰).

از سویی دیگر هدف اصلی رسیدن به یک عدد قابلیت اطمینان مطلوب و سپس تخصیص مناسب و بهینه این مقدار قابلیت اطمینان به زیرسیستم‌ها و بخش‌های مختلف این سیستم‌ها می‌باشد که با توجه به پیچیدگی آن نیاز به یکسری معیارهای مناسب برای این تخصیص احساس می‌شود. با این‌حال، روش‌های اندازه‌گیری معیارها و هم‌چنین تعاریف آن‌ها دارای عدم‌قطعیت می‌باشد (سخایی و همکاران[2]، ۲۰۱۸)، زیرا در هنگام مدل‌سازی یک سیستم، ممکن است اطلاعات درخصوص بسیاری از ماشین‌آلات و یا فرآیندهای غیر فیزیکی (داده‌ها) در اختیار نباشند و یا از عدم اطمینان و قطعیت برخوردار باشند. در این حالت تئوری مجموعه فازی، ابزار موثر برای کمّی کردن عدم قطعیت می‌باشد زیرا سیستم فازی روشی است که به پردازش وقایع غیرقطعی که دقیقا با طبیعت و زندگی روزمره در ارتباط است با مقادیری غیرقطعی و تقریبی و محدوده‌ای از احتمالات که ممکن است اتفاق بیفتد می‌پردازد. یک سیستم فازی به‌وسیله مجموعه‌ای از قواعد به‌صورت کمّی و کیفی از دانش افراد خبره یا دانش موردنظر ساخته می‌شود، درنتیجه خروجی آن‌ها تنها در یک‌جهت و با مقداری ثابت می‌باشد و فقط در یک حالت مقدار متغیر خروجی وجود دارد، آن‌هم وجود مقادیر قطعی برای متغیرهای ورودی است، لذا روش فازی به‌تنهایی برای تشخیص رفتار غیرعادی مناسب نیست (سینگپوروالا و بوکر[3]، ۲۰۰٤). هم‌چنین با توجه به این‌که ارزیابی قابلیت اطمینان شامل درجه بالایی از عدم قطعیت است و عناصر اساسی مورد استدلال در چنین شرایطی هم متغیرهای تصادفی و غیرتصادفی هستند، لذا در این پژوهش به‌منظور رفع این مشکل از ترکیب نظریه فازی با روش بیزین استفاده شده است تا بتوان بهترین عملکرد برای قابلیت اطمینان و دردسترس بودن سیستم‌های تولیدی را داشت زیرا در روش بیزین محاسبه احتمال برای موارد غیرقطعی امکان‌پذیرتر است و هم‌چنین تعیین موقعیت را نیز انجام می‌دهد و یک چارچوب طبیعی از ترکیب عدم قطعیت تصادفی و غیر تصادفی را ارائه می‌کند (گرکملی و اولوسوی، ۲۰۱۰). از این‌رو در این پژوهش روش بیزین فازی برای حل مشکلات قابلیت اطمینان توسعه یافته است. روش‌های فازی و بیزین به‌صورت جداگانه در مبحث تشخیص رفتار و ارزیابی قابلیت اطمینان استفاده شده‌اند ولی روش پیشنهادی به‌دلیل ترکیب روش‌های فازی و بیزین دارای قابلیت بالایی می‌باشد و به‌منظور مطالعه موردی با استفاده از این روش مدل‌سازی جدید به ارزیابی قابلیت اطمینان و دردسترس بودن سیستم تولیدی شیر استریلیزه در کارخانه شیر پگاه فارس اجرا پرداخته شده است به‌طوری که تمام اجزای سیستم تولید و سلسله‌مراتب آن در ساختار سیستم، درنظر گرفته شده است. اجزای سیستم تولید به‌عنوان فرآیندهای تولید شناخته می‌شود. هم‌چنین اجزای هر فرآیند تولید نیز از زیر فرآیند تشکیل شده است. در این ساختار سلسله مراتبی همه انواع شکست‌ها مانند مواد و تدارکات، مدیریت و پرسنل، ماشین‌آلات و تجهیزات و راه‌اندازی و ... می تواند به‌کار برود. هم‌چنین از آن‌جایی که در اطلاعات موردنیاز در خصوص سنجش قابلیت اطمینان سیستم‌های تولیدی این کارخانه ابهام و عدم قطعیت وجود دارد، از رویکرد ترکیبی فازی و بیزین جهت برخورد با این موقعیت استفاده شده است تا علاوه بر نوآوری خروجی مطلوبی را نیز داشته باشد.

[1] Görkemli & Ulusoy
[2] Sakhaei et al.
[3] Singpurwalla & Booker

نشریه تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات، دوره ۵، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، صفحه: ۱۵۰-۱۳۳

۲- ادبیات پژوهش

۲-۱- قابلیت اطمینان

قابلیت اطمینان میزان قابلیت و توانایی انجام کار بدون خطا و شکست محصول یا تجهیزات است و ارزیابی این قابلیت، قادر به شناسایی علل شکست و کنترل علل و اقداماتی جهت پیشگیری آن است (کارالوا و همکاران[۱]، ۲۰۱۲). هم‌چنین به‌طور دقیق می‌توان گفت که قابلیت اطمینان، احتمال آن است که تولید محصول و یا خدمتی برای یک دوره زمانی خاص (که عمر طرح نامیده می‌شود) و تحت شرایط تعریف‌شده برای طرح (برای مثال درجه حرارت، فشار، ولتاژ و ...) به‌طور سالم و مناسب کار نماید که به آن پایایی نیز گفته می شود. به‌عبارت دیگر، پایایی ممکن است به‌عنوان تابع سلامت‌بودن و یا اندازه موفقیت سیستم در تولید محصول مناسب تعریف گردد (آریانژاد و همکارن[۲]، ۲۰۱۱). در کنار این امر نیز می‌توان گفت که متوقف‌شدن توانایی موجود برای انجام کار معین تحت شرایط لازم را شکست یا خرابی می‌نامند. فرض کنید T متغیر تصادفی نامنفی پیوست‌های است که عمر مفید یک موجود را نشان می‌دهد. تابع قابلیت اطمینان که آن را با $R(t)$ نمایش داده می‌شود، عبارت است از احتمال این پیشامد که موجود موردنظر بیش از زمان t عمر کند (ورما و همکاران[۳]، ۲۰۱۰).

۲-۱-۲- انواع سیستم‌های قابلیت اطمینان

به‌طور کلی سیستم‌های قابلیت اطمینان به دو دسته تقسیم می‌شود که در ادامه به آن پرداخته شده است (آریانژاد و همکاران، ۱۳۹۰):

سیستم با پیکربندی ساده که دارای ۲ حالت می‌باشد:

- *پیکربندی سری یا متوالی: در حالت سری تمام اجزاء باید وابسته به تابع سیستم باشند. خرابی یک جزء سبب توقف و خرابی کامل سیستم خواهد شد.*
- *پیکربندی موازی: حداقل یک جزء می‌بایست وابسته به تابع سیستم می‌باشد. در این حالت پایایی این پیکربندی هنگامی‌که سبب توقف و خرابی کامل سیستم خواهد شد که تمام اجزای آن خراب شوند.*
- *سیستم‌های با پیکربندی پیچیده.*

لیکن در واقعیت، بسیاری از سیستم‌ها چنین ساختار ساده‌ای نداشته و دارای منطق عملکرد پیچیده‌ای هستند. سیستم‌های مخابراتی از راه دور، شبکه‌های کامپیوتری، سیستم‌های تجهیزات کاربردی قدرت الکتریکی، سیستم‌های توزیع آب و آبرسانی ازجمله شبکه‌های پیچیده می‌باشند.

۲-۲- روش فازی

رخدادهای دنیای واقعی پیچیده هستند و این پیچیدگی به‌طور کلی از عدم قطعیت و نامعلومی آن‌ها ناشی می‌شود. بسیاری از مشکلات دنیای واقعی با نظریه کلاسیک قابل‌حل نیستند چراکه در مجموعه‌های کلاسیک یک عنصر یا عضو مجموعه است یا نیست یا صفر است یا یک. نقطه مقابل تئوری کلاسیک تئوری فازی قرار دارد. تئوری فازی به‌وسیله پرفسور لطفی‌زاده در سال ۱۳۶۵ در مقاله‌ای به نام "مجموعه‌های فازی " معرفی گردید (منهاج[۴]، ۲۰۱۵). تئوری مجموعه فازی ابزاری مناسب برای مقابله با عدم قطعیت‌هاست. اگرچه سیستم‌های فازی پدیده‌های غیرقطعی و نامشخص را توصیف می‌کنند با این‌حال خود تئوری فازی یک تئوری دقیق است و می‌توان در

---

[۱] Karaulova et al.
[۲] Arianjad et al.
[۳] Verma et al.
[۴] Minhaj

مدلسازی‌های لازم از آن استفاده نمود (وانگ[1]، ۱۹۹۹) و از مزایای این روش می‌توان به این موارد اشاره کرد که این روش به تفکر و منطق انسان نزدیک است و برنامه‌های طراحی‌شده با این روش بسیار کم‌هزینه و سریع است و به‌راحتی مدلسازی می‌شوند.

هم‌چنین سیستم‌ها برای توصیف پدیده‌های غیرقطعی و نامشخص به‌کار می‌روند و به‌طور گسترده‌ای در سیستم‌های کنترل و قابلیت اطمینان و پیش‌بینی تصمیم قابل‌استفاده هستند (زاده[2]،۱۹۸۳). در این تئوری، عضویت اعضای مجموعه از طریق تابع $\mu_{(x)}$ مشخص می‌شود که x نمایانگر یک عضو مشخص و μ تابعی فازی است که درجه عضویت x را در مجموعه‌های مربوطه مشخص می‌کند و مقدار آن بین صفر و یک است. به عبارت دیگر تابع عضویت به‌صورت **رابطه (۱)** و مجموعه فازی A به‌صورت **رابطه (۲)** تعریف می‌شود:

$$X \rightarrow [0,1]:\mu. \qquad (۱)$$

$$A = \{x, \mu_A(x) \mid x \in X\}. \qquad (۲)$$

۲-۲- روش بیزین

ازجمله موارد دیگری که در بحث قابلیت اطمینان مورد دقت و محاسبه قرار می‌گیرد، بحث تجزیه‌وتحلیل داده‌های عمر و هم‌چنین تخمین این داده‌ها می‌باشد. قابل‌ذکر است که علم قابلیت اطمینان براساس مدل‌های آماری و ریاضی به تخمین داده‌های مختلف طول عمر یک سیستم یا یک جزء سیستم می‌پردازد. هرقدر داده‌های طول عمر با دقت بهتر و کامل‌تری تخمین زده شده باشند و تحلیل جامع‌تری روی آن‌ها انجام شده باشد، آن‌گاه نتایج حاصل نیز از دقت مناسبی برخوردار می‌باشند (کاسلا و برگر[3]، ۲۰۰۲). روش بیزین نیز یکی از این روش‌های تخمین آماری است که بر پایه احتمالات برای استنتاج‌کردن است و اساس این روش بر این اصل استوار است که برای هر متغیر توزیع احتمالی وجود دارد و با مشاهده یک داده جدید می‌توان این توزیع و احتمالات آن را به‌روزرسانی کرد (ارشادی و سیفی[4]، ۲۰۱۷). هم‌چنین روش بیزین اجازه محاسبات احتمالی به‌طور موثر را می‌دهند و اغلب برای شرایط مدل احتمالی استفاده می‌شوند و به استدلال‌های تحت شرایط نامشخص احتمالی، عدم‌قطعیت (کمک می‌کنند (مونیتومو و همکاران[5]، ۲۰۰۷). در روش‌های در روش‌های کلاسیك، پارامتر θ یك مقدار ثابت نامعلوم در نظرگرفته می‌شود و یک نمونه تصادفی به‌صورت $x_1 \ldots\ldots x_n$ از جامعه‌ای که دارای توزیع $F_\theta(x)$ است، جمع‌آوری و براساس آن در مورد θ استنباط می‌کنند. اما در روش بیزین θ، کمیتی درنظر گرفته می‌شود که خود یک متغیر تصادفی است و توزیع احتمال این متغیر تصادفی، توزیع پیشین نامیده می‌شود. تابع پیشین تصحیح‌شده توسط مشاهدات را تابع توزیع پسین می‌نامند و براساس این توزیع پسین تصمیم‌گیری انجام می‌گیرد و چگالی پسین θ در حالت پیوسته و گسسته از **رابطه‌های (۳)-(٤)** به‌دست می‌آید (بهبودیان[6]، ۲۰۱۱):

$$\text{پیوسته:}\ K(\theta \mid x) = \frac{h(x,\theta)}{m(x)} = \frac{\pi(\theta) f(x \mid \theta)}{\int \pi(\theta) f(x \mid \theta) d\theta}. \qquad (۳)$$

در فضایی که پارامتر θ گسسته باشد باید به‌جای انتگرال از جمع استفاده کرد:

$$\text{گسسته:}\ K(\theta \mid x) = \frac{h(x,\theta)}{m(x)} = \frac{\pi(\theta) f(x \mid \theta)}{\sum \pi(\theta) f(x \mid \theta) d\theta}. \qquad (۴)$$

[1] Wang
[2] Zade
[3] Casella & Bergerr
[4] Ershadi & Seifi
[5] Munetomo et al.
[6] Behboodian

نشریه تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات، دوره ۵، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، صفحه: ۱۵۰-۱۳۳

۳-۲- پیشینه پژوهش

ووو[۱] (۲۰۰٤) توانست برآورد فازی بیزی را برای توابع احتمال اطمینان، نرخ خرابی و هم‌چنین قابلیت اطمینان بر روی هر ماشین را محاسبه نماید. او از قابلیت اطمینان ماشین‌ها توانست قابلیت اطمینان سیستم‌ها را هم به شکل سری و هم به شکل موازی را محاسبه کند. هم‌چنین وو[۲] (۲۰۰٦) نرخ خرابی و قابلیت اطمینان را برای توزیع پواسون محاسبه کرد و قابلیت اطمینان را برای سیستم‌های سری و موازی محاسبه کرد.

طاهری و زارعی[۳] (۲۰۱۱) نیز یک رویکرد بیزی را برای تجزیه‌وتحلیل قابلیت اطمینان سیستم در محیط مبهم بهبود دادند و مفهوم متغیرهای تصادفی مبهم و برآورد بیزی برای ساختن قابلیت اطمینان بیزی سیستم مبهم گسترش دادند و به‌منظور ارزیابی درجه عضویت صحیح و غلط تخمین بیز فازی، یک برنامه غیرخطی حل کردند. رویکرد آن‌ها دو مزیت عمده داشت: اولا، به‌کارگیری رویکرد بیزین که می‌توان از طریق آن اطلاعات گذشته را درباره سیستم‌های اساسی (اصلی) به‌دست آورد. ثانیا، با به‌کارگیری مجموعه مبهم (فازی) می‌توان به یک استنباط عمیق‌تری دست یافت.

هم‌چنین دیر و جیت[٤] (۲۰۱۲) به ارزیابی و پیش‌بینی حفظ کیفیت نرم‌افزارهای تولیدشده به روش ترکیبی بیزی و فازی و با استفاده از مدل کیفیت مبتنی بر فعالیت پرداختند و نتایج دقت بالای رویکرد پیشنهادی را ارائه می‌دهد.

عابدینی و عارفی[٥] (۲۰۱۵) ابتدا دیدگاه فیتل در مبحث استنباط بیزی در محیط فازی مورد مطالعه قرار دادند. این دیدگاه به محاسبه تابع پسین براساس تابع پیشین فازی و داده‌های فازی پرداخته است. در ادامه، یک دیدگاه جدید برای برآورد بیز نقطه‌ای فازی براساس تابع پسین بیان‌شده مورد مطالعه قرار دادند. این برآوردها شامل میانه فازی, میانگین فازی و مد فازی توزیع پسین می‌باشد.

ححسامیان[٦] (۲۰۱٦) نیز با استفاده از روش کلاسیک بیزی در محیط فازی به یک آزمون فرض فازی بیزی با توزیع پیشینی نادقیق پرداخته است و با استفاده از مثال‌های عددی به امکان‌سنجی و اثربخشی روش پیشنهادی پرداخته است.

ارشادی و سیف[۷] (۲۰۱٦) به طراحی شبکه‌ی باور بیزین با احتمالات فازی برای تشخیص افتراقی بیماری پوستی پرداختند. در ابتدا با توجه به ارتباط پیچیده‌ی بین ویژگی‌های داده‌های بیمار از روش شبکه‌ی باور بیزین در طراحی این روش استفاده کردند و برای کاهش تعدد احتمالات پایگاه داده‌های اولیه از احتمالات فازی استفاده کردند و دقت حاصل‌شده از این روش با سایر روش‌های کلاس‌بندی طراحی‌شده برای این نوع پایگاه داده را مقایسه کردند.

گسالیناس و همکاران[۸] (۲۰۱٦) یک رویکرد بیزی فازی برای تخمین فرکانس سیل ارائه دادند. در این مقاله یک چارچوب جدید را ارائه می‌دهند که عدم دقت (از طریق یک رویکرد فازی) و عدم قطعیت تصادفی (از طریق یک رویکرد بیزی) را در برآورد احتمالات سیلاب بررسی کردند.

---

[۱] Wu
[۲] Wu
[۳] Taheri & Zarei
[٤] Jeet & Dhir
[٥] Abedini & Arefi
[٦] Hesamian
[۷] Ershadi & Seifi
[۸] Salinas et al.

هم‌چنین آلتیلیو و همکاران[1] (۲۰۱۸) یک مدل تخمین بیزی برای شبکه‌های عصبی فازی با وزن تصادفی ارائه دادند که یک استراتژی یادگیری را معرفی می‌کند که برای هر سیستم استنتاجی فازی و شبکه عصبی مناسب است و نتایج تجربی این مقاله نشان از اثربخشی روش پیشنهادی می‌دهد.

یادگاری و سیدین[2] (۲۰۱۸) نیز به ارزیابی تهدید اهداف با استفاده از شبکه‌های فازی و بیزین پرداختند. برای نشان‌دادن کارآمدی روش پیشنهادی‌شان مجموعه‌ای از معیارهای اعتبارسنجی کیفی و کمی در این مقاله ارائه کرده‌اند و یک رفتار حرکتی با اهداف هوایی شبیه‌سازی شده است و نتایج روش پیشنهادی به‌طور کیفی و کمی با دو روش نقشه شناختی فازی و شبکه بیزین مقایسه شده است. این نتایج بیانگر آن هستند که روش پیشنهادی‌شان ازلحاظ جذر میانگین مربعات خطا، درجه حساسیت کلی و جزئی و درجه تفکیک‌پذیری بهتر از دو روش دیگر عمل می‌کند.

هم‌چنین لامرانی‌الائی و همکاران[3] (۲۰۱۹) به مدل‌سازی رضایت مشتری در بخش اعتبار بانکی به‌وسیله شبکه‌های بیزین و فازی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که رویکرد پیشنهادی‌شان برای مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده که توسط اطلاعات پراکنده یا نامشخص است مناسب است.

با توجه به پیشینه پژوهش می‌توان دریافت که کمبود این‌گونه پژوهش‌ها در زمینه ترکیب مدل جهت ارزیابی قابلیت اطمینان و دردسترس بودن سیستم تولید با ترکیب روش فازی و بیزین هم‌چنان احساس می‌شود. لذا پژوهش حاضر جهت رفع این کاستی، با استفاده از مدل جدید ترکیبی روش بیزین با فازی که نه‌تنها نرخ خرابی و شکست ماشین‌آلات بلکه برای همه انواع شکست‌ها مانند مواد و تدارکات، مدیریت و پرسنل و تجهیزات و راه‌اندازی و ... می‌تواند به‌کار برود، به ارزیابی همزمان قابلیت اطمینان و دردسترس بودن سیستم تولیدی شیر کارخانه پگاه فارس پرداخته است تا نمایش معقول‌تری از دانش و موتور استنتاج موثرتری در تجزیه‌وتحلیل عدم قطعیت و ارزیابی وضعیت ارائه دهد و علاوه بر دارا بودن ویژگی‌های هر دو مورد، کاستی‌های هر دو روش نیز کاهش یابد.

۳- روش پژوهش

روش تحقیق مورد استفاده به لحاظ ماهیتی از نوع کاربردی است و روش آن زمینه‌ای-موردی است. هدف از تحقیق کاربردی به‌دست آوردن درک یا دانش لازم برای تعیین ابزاری است که به‌وسیله آن نیازی مشخص و شناخته‌شده برطرف گردد و با توجه به این‌که برای نشان‌دادن ارزیابی قابلیت اطمینان و دردسترس بودن سیستم تولیدی به روش بیزین فازی به‌صورت عملی در شرایط واقعی کارخانه شیر پگاه فارس به‌کار گرفته شده است، لذا روش تحقیق از نوع زمینه‌ای-موردی است. برای جمع‌آوری داده‌ها از دو روش میدانی و کتابخانه‌ای استفاده شده است. به این‌صورت که در مرحله اول با استفاده از روش کتابخانه‌ای ادبیات موضوع، چارچوب نظری و پیشینه مناسب برای تحقیق فراهم شد و در مرحله دوم با استفاده از مستندات کارخانه شیر پگاه فارس اقدام به جمع‌آوری اطلاعات شده است. هم‌چنین فرآیندهای تولیدی کارخانه شیر پگاه فارس به‌عنوان جامعه آماری درنظر گرفته شده است و با توجه به وسعت کارخانه شیر پگاه فارس، فرآیند تولید بخش تولید شیر استریلیزه (سالن *UHT*[4]) به‌عنوان نمونه آماری درنظر گرفته شده است. مراحل انجام پژوهش به شرح زیر است:

- *تعیین ساختار سیستم (شامل: تعیین سیستم و فرآیند تولید و زیرفرآیندهای تولید).*
- *محاسبه قابلیت اطمینان و در دسترس بودن به روش بیزین فازی.*
- *(محاسبه قابلیت اطمینان اجزا و قابلیت اطمینان سیستم به روش بیزین، فازی‌کردن پارامترهای قابلیت اطمینان، تخمین نرخ خرابی به روش بیزین جهت محاسبه دردسترس بودن (لازم به ذکر است که در محاسبات این تحقیق، پارامترهای توزیع پیشین (پارامتر نرخ خرابی و یا تعمیر) از تجارب گذشته شرکت استخراج گردید. برای این‌کار از میانگین زمان‌های خرابی و تعمیر سال‌های ۹۵ تا ۹۶ جهت پارامترهای موردنظر(نرخ خرابی و نرخ تعمیر) استفاده شد. هم‌چنین عدم قطعیت موجود در داده‌ها توسط عدد مثلث فازی انعکاس یافته است و زمان تعمیر زمان خرابی از میانگین داده‌ها در سال ۹۵ و ۹۶ استخراج گردیده است. زمان خرابی و یا تعمیر (۱) مربوط به سال ۹۵ و زمان خرابی و تعمیر (۲) مربوط به سال ۹۶ می‌باشد).*
- *محاسبه دردسترس بودن اجزا و سیستم با فرمول مارتز و والر و روش بیزین).*

[1] Altilio et al.
[2] Yadgari & Seyedin
[3] Lamrani Alaoui & Tkiouat
[4] Ultra high temperature

نشریه تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات، دوره ۵، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، صفحه: ۱۵۰-۱۳۳

۴- شرح مسئله و ساخت مدل

۴-۱- معرفی پارامترهای اصلی مدل

پیش از ساخت مدل پارامترهای مورداستفاده در مدلسازی قابلیت اطمینان در **جدول ۱** تعریف و ارائه شده است.

جدول ۱- معرفی پارامترهای مدل.

Table 1- Introduction of model parameters.

معرفی	نماد	معرفی	نماد
تعداد خرابی‌ها در زیر فرآیند iام ثبت‌شده.	m_i	قابلیت اطمینان برای زیر فرآیند iام.	r_i
زمان کلی عملیات زیر فرآیند iام (زمان شروع تا پایان عملیات).	v_i	دردسترس بودن.	A
نرخ خرابی زیر فرآیند iام.	λ_i	تعداد خرابی.	S
زمان jامین خرابی (مدت طول عمر)در زیر فرآیند iام.	t_{ij}	تعداد تعمیر.	n
تعداد خرابی‌ها برای زیر فرآیند iام (پیشین).	θ_{i1}	تعداد تعمیرها برای زیر فرآیند iام (پیشین).	γ_1
زمان خرابی‌ها (مدت‌زمان طول عمر) برای زیر فرآیند iام (پیشین).	θ_{i2}	زمان تعمیرها برای زیر فرآیند iام (پیشین).	γ_2
توزیع گاما.	Γ	برآورد بیزی نرخ تعمیر و نرخ خرابی.	$\hat{\lambda}$ و $\hat{\mu}$

۴-۲- ساخت مدل

۴-۲-۱- مرحله اول : تعیین ساختار سیستم تولید شامل: فرآیند تولید شیر فرادما یا استریلیزه

روش تولید: ابتدا کیفیت شیر خام ازنظر شیمیایی و میکروبی آزمایش و مطابق شیر پاستوریزه، چربی آن استاندارد می‌شود. سپس با استفاده از دستگاه‌های تبادل حرارتی دما ابتدا به ۸۰ درجه و سپس تا حدود ۵+۱۴۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد و آن‌گاه تا ۲۰ درجه خنک می‌شود. پس‌ازآن در ظروف پاکتی و یا کیسه نایلونی استریل و مناسب بسته‌بندی می‌گردد. برای اطمینان از صحت عمل دستگاه‌ها و سلامت شیر، تولید هرروز به مدت ۱۰ روز قرنطینه شده تا آزمایش‌های لازم روی محصول انجام و سپس توزیع شود. به‌طور کلی می توان فرآیند تولید شیر استریلیزه را به دو مرحله تقسیم‌بندی کرد: (۱ مرحله تولید شیر و (۲ مرحله بسته‌بندی.

زیر فرآیند تولید شیر همان‌طور که در **شکل ۱** نشان داده شد ساختاری سری دارد و زیر فرآیند بسته‌بندی نیز ساختاری موازی دارد که در این پژوهش با توجه به نمونه پژوهش تنها قابلیت اطمینان و دردسترس بودن زیر فرآیند اول که ساختاری سری دارد بررسی شده است. برای انجام تعیین ساختار سیستم تولید، فرآیندهای تولید و زیر فرآیندهای آن شناسایی شدند، زیرا یک فرآیند تولید هنگامی متوقف می شود که هرکدام از زیر فرآیندهای آن از کار بیفتد که در این پژوهش زیرفرآیندهای شامل: ماشین و تجهیزات، مواد و تدارکات، مدیریت و کارکنان و راه‌اندازی می‌باشد که ساختار آن در **شکل ۱** آورده شده است. لازم به ذکر است شکست ماشین از فقدان تولید به‌علت توقف یا سرعت پایین فرآیندهای تولید ناشی می‌شود. زیرفرآیند مواد و تدارکات مسئول تدارکات موادخام و مواد کالای نهایی فرآیند تولید است. در این زیرفرآیند، ابتدا کیفیت شیرخام ازنظر شیمیایی و میکروبی، آزمایش می‌شود و شیر خام با بار میکروبی پایین(کمتر از ۵۰۰ هزار) از سالن تحویل شیر در تانک‌های مخصوص خط *UHT* ذخیره می‌گردد و چربی آن نیز استاندارد می‌شود و سپس جهت پروسه به سالن منتقل می‌شود که شکست این فرآیند به‌معنی توقف تولید و کیفیت بد مواد خام (شیرخام) و مواد کالای نهایی (شیر استریلیزه) می‌شود. مدیریت و کارکنان زیر فرآیندی است که مسئول برنامه‌ریزی عملیات هستند. شکست و یا خرابی آن توقف تولیدی شناخته می‌شود که به علت برنامه‌ریزی نادرست در فرآیند سالن *UHT* و نبود افراد فنی مناسب می‌باشد. زمان‌های راه‌اندازی، هنگامی به‌کار می‌روند که اقلام تولیدشده تغییر کرده و ماشین‌ها برای آماده‌سازی اقلام جدید آماده می‌شوند.

شکل ۱- ساختار سری سیستم تولید شیر استریلیزه (فرادما).

Figure 1- Series structure of sterilized milk production system (Fradema).

۲-۲-٤- مرحله دوم محاسبه قابلیت اطمینان سیستم تولید شیر به روش بیزین فازی

این مرحله شامل نیز چند زیرمرحله است که در ادامه به شرح آن پرداخته شده است:

محاسبه نرخ خرابی. ی یک سیستم تعمیر پذیر، قابلیت اطمینان از احتمال خرابی، بدون کارکرد، در یک بازه‌ی زمانی به‌دست می‌آید، بنابراین برای محاسبات نیازی به اطلاعات تعمیر، نمی‌باشد. به‌منظور انجام محاسبات با توجه ادبیات پژوهش نظیر (وو، ۲۰۰۴ و وو، ۲۰۰۶ و مارتز و والر[1]، ۱۹۸۲) از فرض‌های زیر که برای زیرفرآیندهای، تولید می‌باشند، پیروی شده است:

- *زیرفرآیندها مستقل از یکدیگر عمل می‌کنند.*
- *برای هر زیر فرآیند، زمان‌های شکست (خرابی) مستقل است و مستقیما با توزیع نمایی شناخته می‌شود.*
- *برای هر زیر فرآیند، زمان‌های تعمیر مستقل است و مستقیما با توزیع نمایی شناخته می‌شود.*
- *نرخ شکست و نرخ تعمیر هر دو دارای توزیع گاما بوده، به‌علت این‌که توزیع گاما، توزیع توام نمایی است که یک توزیع انعطاف‌پذیر است.*
- *برای هر زیرسیستم زمان‌های خرابی و تعمیر مستقل است.*
- *سیستم تولید یک سیستم تعمیر پذیر بوده و زیرسیستم‌ها بخش‌های تعمیر جداگانه‌ای دارند.*

در ادامه معادلات برآورد قابلیت اطمینان به روش بیزین فازی آورده شده است:

از آن‌جایی که زمان شکست با توزیع نمایی به‌دست می‌آید و با توجه به این‌که فرآیند پواسون، فرآیندی است که ترتیبی از حوادث را هماهنگ می‌کند، طوری‌که زمان بین رخدادهای متوالی مستقل و مستقیما متناظر با توزیع نمایی می‌باشد، لذا از فرآیند پواسون برای محاسبه نرخ خرابی استفاده شده است:

$$f(m/\lambda)=P\{t_{\text{کلی زمان در داده رخ خرابی‌های}}/\lambda\}=\frac{e^{-\lambda t}(\lambda t)^m}{m!}. \qquad (۵)$$

لازم به ذکر است که منظور از زمان کلی، زمان از لحظه شروع تا پایان عملیات است. هم‌چنین با توجه به **جدول ۱** متغیر تصادفی t_{ij}، j امین زمان خرابی و iامین زیر فرآیند می‌باشد و t_{ij} به معنی متغیر تصادفی با $j=1,\ldots,m_i$ و $i=1,\ldots,k$ می‌باشد لذا زمان کلی عملیات (زمان شروع تا پایان) به‌صورت **رابطه (۶)** می باشد، که m_i تعداد خرابی‌های مشاهده‌شده، برای زیر فرآیند iام می‌باشد.

$$v_i=\sum_{j=1}^{mi} t_{ij} \ . \qquad (۶)$$

فرض شده که t_{ij}ها مستقل هستند و به‌طور مستقیم با توزیع نمایی با پارامتر λ توزیع گذاری شده است. λ نامعلوم می‌باشد، بنابراین توزیع گاما با پارامتر θ_2 و θ_1 به‌عنوان توزیع اولیه برای کمی‌سازی عدم قطعیت اختصاص داده شده است. به‌علت این‌که توزیع گاما یک

[1] Martz & Waller

نشریه تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات، دوره ۵، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، صفحه: ۱۵۰-۱۳۳

توزیع توام برای توزیع نمونه‌گیری نمایی می‌باشد. θ_{i1} به‌عنوان تعداد خرابی‌های که در طول مدت θ_{i2} برای زیر فرآیند iام رخ داده‌است، بیان می‌گردد. به‌منظور به‌کارگیری رویکرد بیزین، نرخ خرابی λ_i، به‌عنوان متغیر تصادفی Λ_i برای هر $i=1,\ldots,k$ ، فرض شده است که Λ_i توزیع اولیه گاما با تابع چگالی $\Gamma(\theta_{i1},\theta_{i2})$ از **رابطه (۷)** به‌دست می‌آید:

$$\pi_{\Lambda_i}(\lambda_i)=\frac{\theta_{i2}^{\theta_{i1}}}{\Gamma(\theta_{i1})}.\lambda_i^{\theta_{i1}-1}.e^{-\lambda_i\theta_{i2}} \qquad (۷)$$

و در این صورت چگالی پسین Λ_i از **رابطه (۸)** به‌دست می‌آید:

$$\pi_{\Lambda_i}(\lambda_i|m_i,v_i)=\frac{f(m_i|\lambda_i).\pi_{\Lambda_i}(\lambda_i)}{\int_0^\infty f(m_i|y).\pi_{\Lambda_i}(y)dy}=\frac{(v_i+\theta_{i2})^{\theta_{i1}+m_i}}{\Gamma(m_i+\theta_{i1})}.\lambda_i^{m_i+\theta_{i1}-1}.e^{-(v_i+\theta_{i2})\lambda_i}. \qquad (۸)$$

و توزیع گاما با پارامتر $\Gamma(\theta_{i1}+m_i,v_i+\theta_{i2})$ شناخته می‌شود، هم‌چنین برای λ برآورد نقطه‌ای بیز برای نرخ خرابی میانگین توزیع پسین می باشد که تحت **رابطه (۹)** نشان داده شد:

$$\hat{\lambda}=\frac{s+\theta_1}{t+\theta_2}. \qquad (۹)$$

محاسبه قابلیت اطمینان اجزا و سیستم تولید به روش بیزین. قابلیت اطمینان فرآیند iام در طول مدت t $r_i(t)=e^{-\lambda_i t}$ و یک تابع یکنوا کاهشی می‌باشد، که یک رابطه یک‌به‌یک بین r و λ می‌باشد. بنابراین معکوس منحصر به‌فرد

$\lambda_i=\frac{-\ln r_i}{t_i}$ برای $0\le r\le 1$,$t\ge 0$ بدست می‌آید. لذا توزیع r_i می‌تواند از طریق توزیع λ_i به‌صورت **رابطه (۱۰)** به‌دست می‌آید:

$$\pi_{R_i}(r_i)=\pi_{\Lambda_i}\left(\frac{-\ln r_i}{t_i}\right)\left|\frac{d\lambda_i}{dr_i}\right|=\pi_{\Lambda_i}\left(\frac{-\ln r_i}{t_i}\right)\left(\frac{1}{r_i t_i}\right). \qquad (۱۰)$$

هم‌چنین **رابطه (۱۰)** می‌تواند برای تعیین هم توزیع اولیه و هم توزیع ثانویه R براساس توزیع Λ_i بکار رود. اگر π_{Λ_i} متناظر چگالی اولیه Λ_i باشد، پس π_{R_i} هم چگالی اولیه (پیشین) R می‌باشد و اگر π_{Λ_i} متناظر با چگالی ثانویه Λ_i باشد، π_{R_i} هم چگالی ثانویه (پسین) R می‌باشد:

$$\pi_{R_i}(r_i)=\pi_{\Lambda_i}\left(\frac{-\ln r_i}{t_i}\right)\left(\frac{1}{r_i t_i}\right)=\frac{(\theta_{i2}/t_i)^{\theta_{i1}}.r^{(\theta_{i2}/t_i)-1}.(-\ln r_i)^{\theta_{i1}-1}}{\Gamma(\theta_{i1})}. \qquad (۱۱)$$

که این رابطه اصطلاحاً توزیع لوگ منفی $Nlg(\theta_{i1},\vartheta_{i2}/t_i)$ نیز هست. به‌دلیل این‌که m خرابی‌های مشاهده‌شده در زمان v_i، توزیع ثانویه ای که برای Λ_i استخراج شد توزیع گاما با چگالی $\Gamma(\theta_{i1}+m_i,v_i+\theta_{i2})$ بود، دوباره با به‌کارگیری توزیع ثانویه از R_i که هم‌چنین یک توزیع لوگ منفی $NL\,g(\theta_{i1}+m_i,(v_i+\theta_{i2})/t_i)$ به‌دست می آید:

$$\pi_{R_i}(r_i|m_i,v_i)=\frac{(v_i+\theta_{i2})^{m_i+\theta_{i1}}}{\Gamma(m_i+\theta_{i1})}.(-\ln r_i)^{m_i+\theta_{i1}-1}.r^{(v_i+\theta_{i2})/t_i-1}. \qquad (۱۲)$$

از آن‌جایی که قابلیت اطمینان یک سیستم سری با k جزء مستقل به‌صورت $r=\prod_{i=1}^{k} r_i$ بدست می‌آید و با توجه به این‌که نرخ شکست و نرخ تعمیر هر دو دارای توزیع گاما بوده و تبدیل ملین نیز یک تبدیل انتگرالی است و با تابع گاما مرتبط است، لذا به‌منظور یافتن قابلیت اطمینان سیستم و قابلیت اطمینان اجزای آن از تبدیل ملین استفاده شده است که در این‌صورت تبدیل ملین چگالی ثانویه از R با انتگرال گیری به‌صورت مستقیم، این‌گونه می‌باشد:

$$M(\pi_{R_i}(r_i/m_i,v_i);u)=\left(\frac{v_i+\theta_{i2}}{v_i+\theta_{i2}+(u-1)t_i}\right)^{m_i+\theta_{i1}}. \qquad (۱۳)$$

و برای یک سیستم سری که شامل k جزء مستقل است قابلیت اطمینان سیستم R_i حاصل قابلیت اطمینان اجزای آن است:

$$M(\pi_R(r/m,v);u)=\prod_{i=1}^{k}\left(\frac{v_i+\theta_{i2}}{v_i+\theta_{i2}+(u-1)t}\right)^{m_i+\theta_{i1}}. \qquad (۱۴)$$

هم‌چنین برای تابع زیان درجه‌دو، برآورد بیزی قابلیت اطمینان سیستم میانگین توزیع ثانویه می‌شود که نقطه بیز قابلیت اطمینان $\hat{r}$ با تبدیل ملین از **رابطه (۱۵)** به‌دست می‌آید:

$$M\{f_r(r);u\}=E[r^{u-1}]. \qquad (۱۵)$$

اگر $u=2$ باشد، میزان تبدیل ملین، با میانگین r برابر خواهد شد. بنابراین:

$$M\{f_r(r);u=2\}=E[r]. \qquad (۱۶)$$

$$\hat{r}=E[R|m,v]=M(\pi_R(r|m,v);u=2)=\prod_{i=1}^{k}\left(\frac{v_i+\theta_{i2}}{v_i+\theta_{i2}+t}\right)^{m_i+\theta_{i1}} \qquad (۱۷)$$

نشریه تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات، دوره ۵، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، صفحه: ۱۵۰-۱۳۳

۳-۲-٤- فازی کردن پارامترهای قابلیت اطمینان سیستم تولید شیر

در محاسبات قابلیت اطمینان فرض شده است که داده‌ها (t_{ij}،m_i،v_i) مقدار دقیق و مشخصی هستند. در یک سیستم پیچیده مانند سیستم تولید شیر، تعداد خرابی‌ها و زمان‌های خرابی ممکن است به دلیل خطای تجهیزات و خطای انسانی ناشی از عدم اتوماتیک بودن سیستم‌های تعمیر و نگهداری پیشگیرانه و نبود افراد فنی و یا برخی از شرایط غیرقابل انتظار محیط، به‌طور دقیق وبراساس استاندارد تا لحظه پایان ثبت نشود. در چنین شرایطی این عدم قطعیت بایستی در محاسبات کمی لحاظ شوند. لذا از مجموعه فازی برای کمی‌کردن عدم قطعیت داده غیردقیق استفاده شده است. نرخ خرابی λ_i، قابلیت اطمینان r_i و زمان‌های خرابی t_{ij} برای پیدا کردن زمان کل عملیات v_i (زمان از لحظه شروع تا پایان عملیات)، متغیرهای تصادفی فازی فرض شده‌اند. برای پیدا کردن زمان کلی عملیات (زمان از لحظه شروع تا پایان عملیات)، جمع و ضرب بین دو عدد واقعی فازی انجام شده است و فرض شده که پارامترهای توزیع اولیه از تجارب گذشته شناخته شده‌اند. اگر $\tilde{x}$ یک عدد واقعی فازی، با تابع عضویت $\mu_{\tilde{A}}$ باشد. مجموعه سطح α به‌عنوان $\tilde{X}_\alpha=\{x\,|\,\mu_{\tilde{A}}(x)\geq\alpha\}$ برای همه $\alpha=[0,1]$ می‌باشد، این مجموعه بسته، محدب و محدود و می‌تواند به‌صورت $\tilde{X}_\alpha=[\tilde{x}^l_\alpha,\tilde{x}^u_\alpha]$ بیان شود. هنگامی $\tilde{x}$ یک متغیر تصادفی فازی است که اگر و تنها اگر $\tilde{x}^l_\alpha,\tilde{x}^u_\alpha$ متغیرهای تصادفی برای همه $\alpha=[0,1]$ باشند. اکنون هم‌چنین اگر زمان‌های خرابی، $\tilde{t}_{ij}$ به‌عنوان متغیر تصادفی با یک پارامتر فازی $\tilde{\lambda}_i$ در نظر گرفته شود، با استفاده از $\tilde{\lambda}^l_i$ و $\tilde{\lambda}^u_i$ پارامترهای متغیرهای تصادفی $(\tilde{t}_{ij})^l_\alpha$ و $(\widetilde{\mathrm{Tt}}_{ij})^u_\alpha$ هستند. هم‌چنین متغیرهای تصادفی $\tilde{\lambda}^l_i$ و $\tilde{\lambda}^u_i$ دارای توزیعی با پارامتر شناخته‌شده $(\theta_{i1},(\tilde{\theta}_{i2})^l_\alpha)$ و $(\theta_{i1},(\tilde{\theta}_{i2})^u_\alpha)$ هستند. به‌ازای $\lambda\in[\tilde{\lambda}^l_\alpha \quad \tilde{\lambda}^u_\alpha]$ و برای برخی از مقادیر $\beta\geq\alpha$، رابطه $\lambda=\tilde{\lambda}^u_\alpha$ $\lambda=\tilde{\lambda}^l_\alpha$ یا برقرار می‌باشد، به‌علت این‌که $\tilde{\lambda}^1_1=\tilde{\lambda}^u_1$. بنابراین برآورد نقطه‌ای بیز λ می‌تواند در بازه‌ی بیان شود:

$$A_\alpha=\left[min\left\{\inf_{\alpha\leq\beta\leq1}\widehat{\tilde{\lambda}}^l_\beta,\ \inf_{\alpha\leq\beta\leq1}\widehat{\tilde{\lambda}}^u_\beta\right\},max\left\{\sup_{\alpha\leq\beta\leq1}\widehat{\tilde{\lambda}}^l_\beta,\ \sup_{\alpha\leq\beta\leq1}\widehat{\tilde{\lambda}}^u_\beta\right\}\right]. \qquad (۱۸)$$

با توجه به تعریف متغیر تصادفی فازی، می‌توان بازه‌ی محدودی از برآورد نقطه‌ای بیزی قابلیت اطمینان را پیدا کرد (**رابطه (۱۸)**). برای انعکاس داده‌های $\tilde{\theta}_{i2}$، $\tilde{t}_{ij}$، v_i یک عدد واقعی مثلث فازی درنظر گرفته می‌شود و مجموعه سطح α برای $\alpha=[0,1]$ در محاسبات آن بکار می‌رود، $(\tilde{v}_i)^l_\alpha$ و $(\tilde{v}_i)^u_\alpha$ محدوده‌ی بازه‌ی فازی $\tilde{v}_i$ و $(\tilde{\vartheta}_{i2})^l_\alpha$ و $(\tilde{\vartheta}_{i2})^u_\alpha$: محدوده‌ی بازه‌ی فازی $\tilde{\theta}_{i2}$ و $(\tilde{t}_{(ij)})^l_\alpha$ و $(\tilde{t}_{(ij)})^u_\alpha$ محدوده‌ی بازه‌ی فازی $\tilde{t}_{(ij)}$ هستند. لذا برای یک سیستم با ساختار سری پژوهش که دارای ۴ زیر فرآیند می‌باشد، قابلیت اطمینان عبارت خواهد بود از:

$$\widehat{\tilde{r}}^l_\alpha=\prod_{i=1}^{k=4}\left(\frac{(\tilde{v}_i)^l_\alpha+(\tilde{\theta}_{i2})^l_\alpha}{(\tilde{v}_i)^l_\alpha+(\tilde{\theta}_{i2})^l_\alpha+t}\right)^{m_i+\theta_{i1}}=\prod_{i=1}^{k=4}\left(\frac{(\tilde{t}_{(ij)})^l_\alpha+(\tilde{\theta}_{i2})^l_\alpha}{(\tilde{t}_{(ij)})^l_\alpha+(\tilde{\theta}_{i2})^l_\alpha+t}\right)^{m_i+\theta_{i1}}. \qquad (۱۹)$$

$$\widehat{\tilde{r}}^u_\alpha=\prod_{i=1}^{k=4}\left(\frac{(\tilde{v}_i)^u_\alpha+(\tilde{\theta}_{i2})^u_\alpha}{(\tilde{v}_i)^u_\alpha+(\tilde{\theta}_{i2})^u_\alpha+t}\right)^{m_i+\theta_{i1}}=\prod_{i=1}^{k=4}\left(\frac{(\tilde{t}_{(ij)})^u_\alpha+(\tilde{\theta}_{i2})^u_\alpha}{(\tilde{t}_{(ij)})^u_\alpha+(\tilde{\theta}_{i2})^u_\alpha+t}\right)^{m_i+\theta_{i1}}. \qquad (۲۰)$$

٤-۲-٤- محاسبه در دسترس‌بودن بیزین فازی با استفاده از فرمول مارتز و والر برای فرآیندها و زیرفرآیندهای سیستم تولید شیر

با توجه به مطالعه مارتز و والر در سال ۱۹۸۲، دردسترس بودن سیستم تعمیر پذیر می‌تواند با به‌کارگیری **رابطه (۲۱)** محاسبه می‌شود:

$$A=\frac{E(y)}{E(x)+E(y)}=\frac{\mu}{\mu+\lambda}. \qquad (۲۱)$$

x زمان خرابی و y زمان تعمیر است، x و y هر دو دارای توزیع نمایی با پارامترهای μ و λ هستند. توزیع گاما به‌عنوان توزیع پیشین μ و λ درنظر گرفته می‌شود. فرض می‌شود که x و y مستقل هستند. برای تعیین در دسترس‌بودن سیستم پارامترهای توزیع نمایی بایستی

تخمین زده شوند. تخمین بیز فازی مانند **رابطه (۹)**، بیان خواهد شد. به‌خاطر این‌که توزیع گاما $\Gamma(\theta_1,\theta_2)$ توزیع اولیه نرخ خرابی است و امید توزیع گاما $\Gamma(\theta_1,\theta_2)$ می‌شود $\frac{\theta_1}{\theta_2}$. پارامتر θ_1 می‌توان به‌عنوان تعداد خرابی کاذب[1] در تست طول عمر و مدت‌زمان θ_2 به‌عنوان واحدهای زمانی کاذب نشان داده شود، لذا تخمین نقطه‌ای بیزین فازی زمان خرابی به‌صورت **رابطه‌های (۲۲) - (۲۳)** بیان می‌شود:

$$\widehat{\tilde{\lambda}}_{\alpha}^{l}=\frac{s+\theta_1}{(\tilde{t})_{\alpha}^{l}+(\tilde{\theta}_2)_{\alpha}^{l}}. \qquad (۲۲)$$

$$\widehat{\tilde{\lambda}}_{\alpha}^{u}=\frac{s+\theta_1}{(\tilde{t})_{\alpha}^{u}+(\tilde{\theta}_2)_{\alpha}^{u}}. \qquad (۲۳)$$

در **رابطه‌های (۲۲) -(۲۳)** θ_1 و θ_2 پارامترهای توزیع اولیه می‌باشند و فرض می‌شود که از تجارب گذشته مشخص شده‌اند. ϑ_2 زمان و θ_1 خرابی‌های رخ‌داده و متناظر با مشاهدات در طول مدت‌زمان t هستند، S نیز خرابی‌های رخ‌داده می‌باشد. هم‌چنین در این پژوهش θ_2 و t به‌عنوان اعداد فازی براساس داده‌های موجود در سیستم تولید درنظر گرفته شده است. برای پارامتر توزیع زمان تعمیر، همانند بیز فازی که برای λ نرخ خرابی محاسبه گردید می‌توان برای μ نیز نرخ تعمیر را تخمین زد، تخمین نقطه‌ای بیزین فازی زمان تعمیر نیز با **رابطه‌های (۲۴) -(۲۵)** بیان می‌شود:

$$\widehat{\tilde{\mu}}_{\alpha}^{l}=\frac{n+\gamma_1}{(\tilde{t})_{\alpha}^{l}+(\tilde{\gamma}_2)_{\alpha}^{l}}. \qquad (۲۴)$$

$$\widehat{\tilde{\mu}}_{\alpha}^{u}=\frac{n+\gamma_1}{(\tilde{t})_{\alpha}^{u}+(\tilde{\gamma}_2)_{\alpha}^{u}}. \qquad (۲۵)$$

در **رابطه‌های (۲۴) -(۲۵)** γ_1 و γ_2 پارامترهای توزیع اولیه می‌باشند و فرض می‌شود که از تجارب گذشته مشخص شده‌اند. γ_2 و γ_1 زمان خرابی‌های رخ‌داده و متناظر با مشاهدات در طول مدت‌زمان t هستند. n نیز تعمیرهای رخ‌داده می‌باشد. هم‌چنین در این پژوهش γ_2 و t به‌عنوان اعداد فازی براساس دادهای موجود در سیستم تولید درنظر گرفته شده است. لذا برآورد نقطه بیزین فازی در بازه ی $\widetilde{A}_{\alpha}^{l}$ و $\widetilde{A}_{\alpha}^{u}$ به‌صورت **رابطه‌های (۲۶) -(۲۷)** می‌شود:

$$\widehat{\widetilde{A}}_{\alpha}^{l}=\frac{\frac{n+\gamma_1}{(\tilde{t})_{\alpha}^{l}+(\tilde{\gamma}_2)_{\alpha}^{l}}}{\frac{s+\theta_1}{(\tilde{t})_{\alpha}^{l}+(\tilde{\theta}_2)_{\alpha}^{l}}+\frac{n+\gamma_1}{(\tilde{t})_{\alpha}^{l}+(\tilde{\gamma}_2)_{\alpha}^{l}}}. \qquad (۲۶)$$

$$\widehat{\widetilde{A}}_{\alpha}^{u}=\frac{\frac{n+\gamma_1}{(\tilde{t})_{\alpha}^{u}+(\tilde{\gamma}_2)_{\alpha}^{u}}}{\frac{s+\theta_1}{(\tilde{t})_{\alpha}^{u}+(\tilde{\theta}_2)_{\alpha}^{u}}+\frac{n+\gamma_1}{(\tilde{t})_{\alpha}^{u}+(\tilde{\gamma}_2)_{\alpha}^{u}}}. \qquad (۲۷)$$

پس از بهبود کلی معادلات دردسترس‌بودن بیزین فازی، در دسترس‌بودن سیستم سری شامل N جزء مستقل با **رابطه (۲۸)** محاسبه می‌شود:

$$A=\prod_{i=1}^{N}\left(\frac{\mu_i}{\lambda_i+\mu_i}\right). \qquad (۲۸)$$

با توجه به **شکل ۱** میزان در دسترس‌بودن یک فرآیند که دارای چهار زیر فرآیند سری می‌باشد و با درنظر گرفتن عوامل فازی می‌توان به‌صورت **رابطه‌های (۲۹) -(۳۰)** درنظر گرفت:

$$\widehat{\widetilde{A}}_{\alpha}^{l}=\prod_{i=1}^{4}\left(\frac{(\widehat{\tilde{\mu}}_i)_{\alpha}^{l}}{(\widehat{\tilde{\lambda}}_i)_{\alpha}^{l}+(\widehat{\tilde{\mu}}_i)_{\alpha}^{l}}\right). \qquad (۲۹)$$

[1] Pseudo

$$\widetilde{A}_{\alpha}^{u}=\prod_{i=1}^{4}\left(\frac{(\widetilde{\mu}_i)_{\alpha}^{u}}{(\widetilde{\lambda}_i)_{\alpha}^{u}+(\widetilde{\mu}_i)_{\alpha}^{u}}\right) . \qquad (۳۰)$$

۵- تجزیه‌وتحلیل رویکرد پیشنهادی

پس از تعیین ساختار تولید شیر و زیرفرآیندهای آن، به‌منظور تعیین زمان‌های خرابی و تعمیر زیرفرآیند تولید شیر، با توجه به ادبیات پژوهش و مطالعات وو (۲۰۰۶) توزیع نمایی برازش خوبی نسبت به داده‌های طول عمر، ازجمله (طول عمر) زمان تعمیر و زمان خرابی داشته است که هم‌چنین با توجه به مطالعات وو (۲۰۰۶) در سطح $\alpha=0.95$ نکویی برازش برای زمان خرابی و تعمیر فرآیند تولید در این پژوهش، بررسی گردید و فرض توزیع نمایی موردقبول واقع شد. برای محاسبات از یک زوج داده استفاده شده است، البته بسته به میزان دسترسی به اطلاعات و این‌که از چه زمانی میزان قصد محاسبه قابلیت اطمینان است می‌توان از داده‌های متفاوتی استفاده کرد. لازم به ذکر است که زمان‌ها براساس دقیقه می‌باشند. هم‌چنین در محاسبات این پژوهش، پارامترهای توزیع اولیه تعداد یک خرابی و یا تعمیر را به‌ازای مدت‌زمان آن خرابی و یا تعمیر که از داده‌ها و تجارب گذشته (مربوط به سال‌های ۹۵ تا ۹۶) می‌باشد، قرار داده شده است که این مهم در **جدول ۲** نمایش داده شده است و زمان خرابی و تعمیرحاصل نیز از میانگین داده‌ها در سال‌های ۹۵ تا ۹۶ می باشد که در **جدول ۳** نمایش داده شده است.

جدول۲- پارامترهای توزیع اولیه.
Table 2- Initial distribution parameters.

	راه‌اندازی	پرسنل و مدیریت	ماشین و تجهیزات	مواد و تدارکات
نرخ خرابی($\hat{\lambda}$)	$\widetilde{89}$	$\widetilde{63}$	$\widetilde{920}$	$\widetilde{380}$
نرخ تعمیر($\hat{\mu}$)	$\widetilde{15}$	$\widetilde{11}$	$\widetilde{126}$	$\widetilde{60}$

جدول۳- زمان خرابی و تعمیر.
Table 3- Breakdown and repair time.

	راه‌اندازی	پرسنل و مدیریت	ماشین و تجهیزات	مواد و تدارکات
زمان خرابی (۱) سال ۹۵	$\widetilde{903}$	$\widetilde{725}$	$\widetilde{14020}$	$\widetilde{4015}$
زمان خرابی (۲) سال ۹۶	$\widetilde{991}$	$\widetilde{783}$	$\widetilde{14832}$	$\widetilde{4302}$
زمان تعمیر (۱) سال ۹۵	$\widetilde{42}$	$\widetilde{12}$	$\widetilde{340}$	$\widetilde{366}$
زمان تعمیر (۲) سال ۹۶	$\widetilde{51}$	$\widetilde{18}$	$\widetilde{160}$	$\widetilde{281}$

هم‌چنین به‌منظور محاسبه قابلیت اطمینان به روش بیزین فازی، ابتدا عدم قطعیت در داده‌ها با اعداد مثلث فازی انعکاس داده شده است و با استفاده از اصل تجزیه می‌توان در **جداول ۴ و ۵** گفت:

نشریه تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات، دوره ۵، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، صفحه: ۱۵۰-۱۳۳

جدول۴- اعداد فازی خرابی.

Table 4- Fuzzy numbers of failure.

$\widetilde{380}$	$[370+10\alpha, 390-10\alpha]$	$\widetilde{725}$	$[715+10\alpha, 735-10\alpha]$
$\widetilde{920}$	$[910+10\alpha, 930-10\alpha]$	$\widetilde{903}$	$[893+10\alpha, 913-10\alpha]$
$\widetilde{63}$	$[53+10\alpha, 73-10\alpha]$	$\widetilde{4302}$	$[4202+100\alpha, 4402-100\alpha]$
$\widetilde{89}$	$[79+10\alpha, 99-10\alpha]$	$\widetilde{14832}$	$[13832+1000\alpha, 15832-1000\alpha]$
$\widetilde{4015}$	$[3915+100\alpha, 4115-100\alpha]$	$\widetilde{783}$	$[773+10\alpha, 793-10\alpha]$
$\widetilde{14020}$	$[13020+1000\alpha, 15020-1000\alpha]$	$\widetilde{991}$	$[981+10\alpha, 1001-10\alpha]$

جدول ۵- اعداد فازی تعمیر.

Table 5- Fuzzy numbers of repair.

$\widetilde{60}$	$[50+10\alpha, 70-10\alpha]$	$\widetilde{160}$	$[150+10\alpha, 170-10\alpha]$
$\widetilde{126}$	$[116+10\alpha, 136-10\alpha]$	$\widetilde{340}$	$[330+10\alpha, 350-10\alpha]$
$\widetilde{11}$	$[1+10\alpha, 21-10\alpha]$	$\widetilde{12}$	$[2+10\alpha, 22-10\alpha]$
$\widetilde{15}$	$[5+10\alpha, 25-10\alpha]$	$\widetilde{18}$	$[8+10\alpha, 28-10\alpha]$
$\widetilde{366}$	$[356+10\alpha, 376-10\alpha]$	$\widetilde{42}$	$[32+10\alpha, 52-10\alpha]$
$\widetilde{281}$	$[271+10\alpha, 291-10\alpha]$	$\widetilde{51}$	$[41+10\alpha, 61-10\alpha]$

سپس می‌توان قابلیت اطمینان فرآیند تولید و تک‌تک اجزاء را با استفاده از روش بیزین فازی محاسبه کرد. به‌طور کلی می‌توان قابلیت اطمینان در بازه‌ی A_α را با درجه‌ی اعتماد α را به‌دست آورد. لذا با درنظرگرفتن α=0.95، یعنی قابلیت اطمینان با بازه‌ی بسته سطح ۰٫۹۵ درصد، در طول مدت یک شیفت ۸ ساعته، می‌توان قابلیت اطمینان فرآیند کلی سیستم تولید شیر را با **رابطه‌های (۱۹)-(۲۰)** محاسبه کرد:

$$\widetilde{r}_\alpha^{l}=\left(\frac{(370+10\alpha)+(3915+100\alpha)+(4202+100\alpha)}{(370+10\alpha)+(3915+100\alpha)+(4202+100\alpha)+240}\right)^{2+1}\times$$

$$\left(\frac{(910+10\alpha)+(13020+1000\alpha)+(13832+1000\alpha)}{(910+10\alpha)+(13020+1000\alpha)+(13832+1000\alpha)+240}\right)^{2+1}\times$$

$$\left(\frac{(53+10\alpha)+(715+10\alpha)+(773+10\alpha)}{(53+10\alpha)+(715+10\alpha)+(773+10\alpha)+240}\right)^{2+1}\times$$

$$\left(\frac{(79+10\alpha)+(893+10\alpha)+(981+10\alpha)}{(79+10\alpha)+(893+10\alpha)+(981+10\alpha)+240}\right)^{2+1}=0.4164.$$

$$\widetilde{r}_\alpha^{u}=\left(\frac{(390-10\alpha)+(4115-100\alpha)+(4402-100\alpha)}{(390-10\alpha)+(4115-100\alpha)+(4402-100\alpha)+240}\right)^{2+1}\times$$

$$\left(\frac{(930\text{-}10\,\alpha)+(15020\text{-}1000\alpha)+(15832\text{-}1000\alpha)}{(930\text{-}10\,\alpha)+(15020\text{-}1000\alpha)+(15832\text{-}1000\alpha)+240}\right)^{2+1}\times$$

$$\left(\frac{(73\text{-}10\,\alpha)+(735\text{-}10\alpha)+(793\text{-}10\alpha)}{(73\text{-}10\,\alpha)+(735\text{-}10\alpha)+(793\text{-}10\alpha)+240}\right)^{2+1}\times$$

$$\left(\frac{(99\text{-}10\,\alpha)+(913\text{-}10\alpha)+(1001\text{-}10\alpha)}{(99\text{-}10\,\alpha)+(913\text{-}10\alpha)+(1001\text{-}10\alpha)+240}\right)^{2+1}=0.4170.$$

برای زیرفرآیندها نیز به همین روش بازه قابلیت اطمینان بدست آورده شد که بازه قابلیت اطمینان برای زیر فرآیند مواد و تجهیزات به‌صورت $[0.9214, 0.9216]$، زیرفرآیند ماشین و تجهیزات به‌صورت $[0.9761, 0.9762]$، زیرفرآیند پرسنل و مدیریت به‌صورت $[0.625, 0.653]$ و برای زیرفرآیند راه‌اندازی به‌صورت $[0.7096, 0.7099]$ می‌باشد. به‌منظور محاسبه در دسترس‌بودن فازی فرآیند تولید با فرمول مارتز و والر و روش بیزین، ابتدا نرخ خرابی و نرخ تعمیر فرآیند تولید و اجزاء را به‌صورت جداگانه با استفاده از روش بیزین فازی **رابطه‌های (۲۲)-(۲۵)**، به‌دست آورده شد:

محاسبه نرخ خرابی با **رابطه (۲۲)**:

$$\frac{2+1}{(370+10\alpha)+(3915+100\alpha)+(4202+100\alpha)}=0.345\times10^{-3},$$

$$\frac{2+1}{(910+10\alpha)+(13020+1000\alpha)+(13832+1000\alpha)}=0.101\times10^{-3},$$

$$\frac{2+1}{(53+10\alpha)+(715+10\alpha)+(773+10\alpha)}=1.911\times10^{-3},$$

$$\frac{2+1}{(79+10\alpha)+(893+10\alpha)+(981+10\alpha)}=1.56\times10^{-3}.$$

$$\left(\frac{(79+10\alpha)+(893+10\alpha)+(981+10\alpha)}{(79+10\alpha)+(893+10\alpha)+(981+10\alpha)+240}\right)^{2+1}=0.4164.$$

محاسبه نرخ خرابی با **رابطه (۲۳)**:

$$\frac{2+1}{(390\text{-}10\,\alpha)+(4115\text{-}100\,\alpha)+(4402\text{-}100\alpha)}=0.344\times10^{-3},$$

$$\frac{2+1}{(930\text{-}10\,\alpha)+(15020\text{-}1000\alpha)+(15832\text{-}1000\alpha)}=0.100\times10^{-3},$$

$$\frac{2+1}{(73\text{-}10\,\alpha)+(735\text{-}10\alpha)+(793\text{-}10\alpha)}=1.907\times10^{-3},$$

$$\frac{2+1}{(99\text{-}10\,\alpha)+(913\text{-}10\alpha)+(1001\text{-}10\alpha)}=1.511\times10^{-3}.$$

نشریه تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات، دوره ۵، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، صفحه: ۱۵۰-۱۳۳

محاسبه نرخ تعمیر با **رابطه (۲۴)**:

$$\frac{2+1}{(50+10\alpha)+(356+10\alpha)+(271+10\alpha)}=4.25\times10^{-3},$$

$$\frac{2+1}{(116+10\alpha)+(330+10\alpha)+(150+10\alpha)}=4.80\times10^{-3},$$

$$\frac{2+1}{(1+10\alpha)+(2+10\alpha)+(8+10\alpha)}=75.9\times10^{-3},$$

$$\frac{2+1}{(5+10\alpha)+(32+10\alpha)+(41+10\alpha)}=28.1\times10^{-3}.$$

محاسبه نرخ تعمیر با **رابطه (۲۵)**:

$$\frac{2+1}{(70-10\alpha)+(376-10\alpha)+(291-10\alpha)}=4.23\times10^{-3},$$

$$\frac{2+1}{(136-10\alpha)+(350-10\alpha)+(170-10\alpha)}=4.78\times10^{-3},$$

$$\frac{2+1}{(21-10\alpha)+(22-10\alpha)+(28-10\alpha)}=70.5\times10^{-3},$$

$$\frac{2+1}{(25-10\alpha)+(52-10\alpha)+(61-10\alpha)}=27.3\times10^{-3}.$$

پس مقادیر بدست آمده از محاسبه نرخ تعمیر و خرابی جهت محاسبه میزان در دسترس‌بودن فرآیند تولید در **رابطه‌های (۲۹)-(۳۰)** قرار داده شد و با قراردادن $\alpha=0.95$ بازه‌ی دردسترس بودن برای فرآیند تولید شیر، برای زیرفرآیند مواد و تجهیزات به‌صورت $[0.9247,0.9248]$، زیر فرآیند ماشین و تجهیزات به‌صورت بازه‌ی $[0.9793,0.9794]$، زیر فرآیند پرسنل و مدیریت به‌صورت $[0.973,0.975]$ و برای زیر فرآیند راه‌اندازی به‌صورت $[0.947,0.948]$ می‌باشد و درنهایت دردسترس‌بودن برای فرآیند تولید با درنظرگرفتن کلیه زیر فرآیندها به‌صورت $[0.835,0.838]$ در طول یک شیفت کاری ۸ساعته بیان شده است که این نتایج قابلیت اطمینان و دردسترس‌بودن و نرخ خرابی و نرخ تعمیر تک‌تک عوامل موثر بر یک فرآیند تولید، در **جدول ۶** نشان داده شده است:

جدول۶- نتایج حاصل از محاسبات.

Table 6- Results of calculations.

زیرسیستم	مواد و تدارکات	ماشین و تجهیزات	مدیریت و پرسنل	راه‌اندازی
بازه‌ی در دسترس‌بودن	[0.9247,0.9248]	[0.9793,0.9794]	[0.973,0.975]	[0.947,0.948]
بازه‌ی قابلیت اطمینان	[0.9214,0.9216]	[0.9761,0.9762]	[0.625,0.6530]	[0.7096,0.7099]
نرخ خرابی	$[0.344,0.345]\times10^{-3}$	$[0.100,0.101]\times10^{-3}$	$[1.907,1.911]\times10^{-3}$	$[1.51,1.56]\times10^{-3}$
نرخ تعمیر	$[4.23,4.25]\times10^{-3}$	$[4.78,4.80]\times10^{-3}$	$[70.5,75.9]\times10^{-3}$	$[27.3,28.1]\times10^{-3}$

با استفاده از **جدول ٦** می‌توان به بررسی تک‌تک عوامل پرداخت و متوجه شد که قابلیت اطمینان و دردسترس‌بودن و نرخ خرابی و تعمیر در زیر فرآیندها به چه میزان بوده و نقاط ضعف‌وقوت آن را مشخص کرد و الزامات لازم را مبنی‌بر افزایش سطح دسترسی و قابلیت اطمینان هر زیر فرآیند را به‌طورجداگانه انجام داد. درواقع با بالابردن سطح قابلیت اطمینان و دردسترس‌بودن سیستم تولیدی می‌توان به نتایج زیر رسید:

- *رضایت مشتریان: ارائه مداوم و مطلوب محصول یا خدمات رضایت مشتریان را به‌همراه خواهد داشت.*
- *کاهش هزینه‌های مدیریت دارایی‌های فیزیکی: افزایش تعداد خرابی‌ها در هر یک از زیرفرآیندهای **جدول ۶** و قطع جریان تولید هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم بسیار بالایی را به صنایع تحمیل می‌کند. کاهش احتمال بروز خرابی و تعمیر با استفاده از روش‌ها و سیستم‌های افزایش سطح قابلیت اطمینان و دردسترس بودن سیستم تولیدی از اولین راهبردهای حل چنین مشکلاتی است.*
- *خوشنامی: حفظ دیدگاه مثبت به یک صنعت ازمنظر تولید محصولات باکیفیت، تداوم و حفظ سطح مطلوب ارائه خدمات به قابلیت اطمینان و در دسترس‌بودن تجهیزات و فرآیندهای آن ارتباط مستقیم دارد.*
- *الزامات خریداران: امروزه برای بسیاری از خریداران عمده محصولات، ارزیابی بلوغ مدیریت دارایی‌های فیزیکی، شرایط نگهداشت و سطح قابلیت اطمینان و دردسترس بودن تجهیزات اهمیت بالایی دارد، زیرا ضعف در یکی از حلقه‌های زنجیره‌ی تامین باعث قطع جریان در کل فرآیند تولید تا مصرف و باعث زیرسوال‌رفتن عملکرد همه ذینفعان این فرآیند می‌شود.*
- *نافع رقابتی: می‌توان از شاخص‌های بالای قابلیت اطمینان و دردسترس بودن سیستم تولید برای ایجاد فرصت رقابتی در راهبردهای بازاریابی نیز استفاده کرد. نشان‌دادن سطح بالاتر قابلیت اطمینان و دردسترس بودن سیستم تولید نسبت به رقبا از روش‌های متداول در بازاریابی است.*

هم‌چنین نتیجه قابل‌توجه این‌که مهم‌تربودن قابلیت اطمینان یا قابلیت دسترسی بستگی به اهداف سازمان و نوع فرآیند و شرایط دارد. یک سازمان می‌تواند دسترس‌پذیری پایین را بپذیرد ولی با توجه به خطرات ایمنی و یا کیفیتی، قابلیت اطمینان پایین را نتواند بپذیرد و برای برخی دیگر بالعکس. اما باید دانست که تعالی سازمان و نگهداری و تعمیرات با هردوی این تعاریف ایجاد می‌شود و معمولاً در اکثر سازمان‌های موفق این دو شاخص مهم باهم افزایش یا کاهش می‌یابند که همان‌طور که از **جدول ۶** قابل‌مشاهده است تقریبا بازه قابلیت اطمینان و در دسترس‌بودن سیستم تولید به یک‌میزان می‌باشند و این امر انعطاف‌پذیری و برآورد دقیق‌تری از قابلیت اطمینان و دردسترس بودن را فراهم می‌کند.

در ادامه قابلیت اطمینان و دردسترس بودن کل فرآیند تولید و با درنظرگرفتن فقط ماشین‌آلات و تجهیزات، بیان شده است و هم‌چنین به مقایسه نتایج حاصل از قابلیت اطمینان محاسبه‌شده با درنظرگرفتن تمامی زیر فرآیندها و تنها با درنظرگرفتن ماشین‌آلات پرداخته شده است که این مهم در **جدول ۷** آورده شده است:

جدول ۷- مقایسه بین ماشین‌آلات و تمامی اجزا.

Table 7- Comparison between machines and all components.

انواع خرابی	ماشین‌آلات و تجهیزات	تمامی اجزا
بازه‌ی قابلیت اطمینان	[0.9761,0.9762]	[0.4164,0.4170]
بازه‌ی دردسترس بودن	[0.9793,0.9794]	[0.835,0.838]

وقتی صحبت از سیستم می‌شود، منظور تعدادی زیرفرآیند است که باهم وظیفه خاصی را انجام می‌دهند (همانند چهار زیر فرآیند موردمطالعه این پژوهش) و اگر وظیفه موردنظر تحقق یابد، سیستم در کار خود موفق بوده است و در غیر این‌صورت با شکست مواجه شده است. یکی از عوامل عمده عدم موفقیت سیستم، شکست هرکدام از زیرفرآیندهای سیستم است. مطالعات قابلیت اطمینان و در دسترس‌بودن سیستم تولیدی باید تعیین کنند که حساسیت یا میزان تأثیرپذیری سیستم از خرابی هر یک از اجزاء چه اندازه می‌باشد. برای این منظور تقسیم‌بندی‌هایی از انواع سیستم‌ها صورت پذیرفته است که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از: سیستم‌های سری، موازی، سری - موازی، پیچیده. با توجه به این‌که فرآیند تولید شیر کارخانه موردمطالعه پژوهش مطابق **شکل ۱** سری می‌باشد، لذا همه اجزاء باید برای موفقیت کار کنند. به عبارت‌دیگر خرابی حتی یکی از زیرفرآیندها منجربه شکست یا خرابی سیستم می‌شود و همین امر سبب می‌شود که قابلیت اطمینان سیستم و در دسترس‌بودن سیستم تولید سری از قابلیت اطمینان و دردسترس بودن هر یک از اجزاء تشکیل‌دهنده آن کمتر باشد. چه که در **جدول ۷** دیده می‌شود، قابلیت اطمینان و دردسترس بودن کم‌تر از زمانی است که تمامی خرابی های فرآیند تولید درنظر گرفته می‌شود، بنابراین در برنامه‌ریزی تولید و کنترل باید تمام زیرفرآیندهای سیستم تولید را درنظر گرفت زیرا درنظر گرفتن تنها خرابی ماشین‌آلات و نادیده‌گرفتن دیگر زیرفرآیندها شکست و خرابی بیش‌تری به‌عمل می‌آورد و کارخانه نمی‌تواند تقاضاها را برآورده کند و زمان تحویل سفارش عقب می‌افتد و این تاخیر در برآورده‌کردن نیاز مشتریان، نشان‌دهنده این است که در طولانی‌مدت، باعث ازدست دادن مشتریان و زیان مالی می‌شود.

نشریه تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات، دوره ۵، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، صفحه: ۱۵۰-۱۳۳

۶- بحث و نتیجه‌گیری

قابلیت اطمینان، چالش کیفیت در قرن بیست‌ویک و از شاخص‌ترین ابعاد مرغوبیت کالا و خدمات می‌باشد، زیرا به‌خاطر پیچیدگی طراحی سیستم‌ها، هزینه ضمانت محصول رو به افزایش است. بنابراین در هر جامعه مدرن، مهندسان و مدیران فنی مسئول برنامه‌ریزی طراحی، ساخت و بهره‌برداری از ساده‌ترین محصول تا پیچیده‌ترین سیستم‌ها هستند، ازکار افتادن محصول‌ها و سیستم‌ها موجب وقوع اختلال می‌باشد و می‌تواند به‌عنوان تهدیدی برای جامعه تلقی شود. برای داشتن کنترل و برنامه‌ریزی موثر می‌بایست قابلیت اطمینان و در دسترس‌بودن سیستم تولید را به‌عنوان کل محاسبه و ارزیابی کرد. در این پایان‌نامه، با استفاده روش بیزین فازی برای مدیریت انواع عدم قطعیت‌ها در محیط تولید به‌کار رفت و نتایج حاصل از آن بیان گردید. بنابراین عدم قطعیت تصادفی توسط به‌کارگیری تئوری مجموعه فازی مدل‌سازی گردید. از طرف دیگر، به‌کارگیری روش تجزیه‌وتحلیل بیزین، برای حل این‌گونه مسائل، بر روی عدم قطعیت غیر تصادفی تمرکز دارد. لذا با استفاده از ترکیب آمار بیز و مجموعه‌های فازی می‌توان عدم قطعیت تصادفی و غیرتصادفی را در محیط کنترل کرد. هم‌چنین روش بیزین برای مسائل پیچیده (مانند سیستم تولید) مناسب است به علت این‌که یک راه طبیعی برای هماهنگ کردن اطلاعات پیشین و داده‌های کنونی برای تجزیه‌وتحلیل است. از این‌رو در این مقاله از ترکیب تئوری فازی و آمار بیزین برای حل و مدلسازی قابلیت اطمینان استفاده شد که ابتدا ساختار تولید شیر کارخانه پگاه فارس و هر زیرفرآیند آن تعیین شد و در مرحله بعد، قابلیت اطمینان فرآیند تولید و زیر فرآیندهای آن به روش بیزین فازی محاسبه گردید و سپس به روش بیزین فازی نرخ خرابی و تعمیر مشخص شد و پس‌از آن با استفاده از نرخ خرابی و تعمیر مشخص‌شده، در دسترس‌بودن سیستم تولیدی شیر پگاه فارس به روش مارتز و والر مشخص شد و درنهایت بازه اطمینان و در دسترس‌بودن سیستم تولید شیر پگاه فارس و زیرفرآیندهای آن مشخص شد که نتایج نشان داد که رویکرد بهبودیافته دقت بیش‌تری از قابلیت اطمینان و در دسترس‌بودن را نشان می‌دهد. به‌علت این‌که خرابی تمامی اجزا سیستم و هم‌چنین عدم قطعیت در داده‌ها را در فرآیند تخمین درنظر می‌گیرد زیرا در روش‌های مدلسازی‌های موجود محاسبه قابلیت اطمینان و در دسترس‌بودن، تنها برخی از مولفه‌های شکست درنظر گرفته می‌شد مانند ماشین‌آلات و انسان است که سبب می‌شد، محاسبات قابلیت اطمینان و در دسترس‌بودن سیستم تولید، برآورد زمانی اشتباهی را نتیجه دهد و این به‌نوبه خود، منجر به زیان مالی و ازدست دادن حسن نیت مشتری می‌شد، لذا برای داشتن کنترل و برنامه‌ریزی موثر می‌بایست قابلیت اطمینان و در دسترس‌بودن سیستم تولید را به‌عنوان کل محاسبه کرد. به‌همین منظور در این پژوهش، یک روش مدل‌سازی جدید برای تعیین قابلیت اطمینان و در دسترس از یک سیستم تولید مدل‌سازی شد، که مزایای زیر را دارد:

- *تمام اجزای سیستم و سلسله‌مراتب آن در ساختار سیستم را درنظر می‌گیرد.*
- *اساختار سلسله‌مراتبی مدل پیشنهادی همه انواع شکست‌ها مانند مواد، تدارکات، مدیریت، پرسنل، ماشین و تجهیزات را دربرمی‌گیرد.*
- *امکان محاسبه قابلیت اطمینان و د دسترس بودن سیستم تولیدی را برای اجزای سیستم تولید که به‌عنوان فرآیندهای تولید شناخته می‌شوند و اجزای هر فرآیند تولید که به‌عنوان زیرفرآیند تولید شناخته می‌شوند را دارد.*
- *با استفاده از همین نحوه محاسبه، می‌توان قابلیت اطمینان سیستم‌های موازی را نیز محاسبه نمود.*

در پایان نیز پیشنهادهایی برای مطالعات و تحقیق‌های بعدی داده شده است:

- *استفاده از توزیع‌هایی غیر از توزیع نمایی برای زمان خرابی و تعمیر زیر سیستم‌ها که می‌تواند متناسب با نوع زمان خرابی و تعمیر زیرفرآیندها تعیین شود.*
- *به‌کارگیری قابلیت اطمینان فازی چندحالته در تجزیه‌وتحلیل.*
- *به‌کارگیری روش بیزین فازی را برای تجزیه‌وتحلیل زنجیره‌تامین استفاده کرد و درنظر گرفتن قابلیت اطمینان تامین‌کنندگان و خرده‌فروشان.*

منابع

Altilio, R., Rosato, A., & Panella, M. (2018, July). A sparse Bayesian model for random weight fuzzy neural networks. In *2018 IEEE international conference on fuzzy systems (FUZZ-IEEE)* (pp. 1-7). IEEE.

Arianjad, M. B. Q., Javanshir, H., & Hatami Firoozabadi, A. (1390). *Reliability engineering* [مهندسی قابلیت اطمینان]. Tehran: Nas Publications.

Behboodian, J. (1390). *Take a look at the statistical decision* [نگاهی به تصمیم آماری]. Shiraz: Shiraz University Press.

Casella, G., Bergerr, l. (2002). *Statically inference*. Second edition of springer.

Edini, M., & Arefi, M. (2015). Fuzzy bizes estimation based on fuzzy data [برآورد بیز فازی بر اساس داده های فازی]. *4th joint Iranian fuzzy and intelligent systems congress (15th fuzzy systems conference and 13th intelligent systems conference)*. Zahedan, Sistan and Baluchestan University Fuzzy Systems Research Center, Iranian Fuzzy Systems and Intelligent Systems Associations.

EEE, K., & Dhir, R. (2012). Bayesian and fuzzy approach to assess and predict the maintainability of software: a comparative study. *ISRN software engineering*. https://doi.org/10.5402/2012/202980

Ershadi, M. M., & Seifi, A. (2016). Design of bayesian belief network with fuzzy probabilities for differential diagnosis of skin disease [طراحی شبکه‌ی باور بیزین با احتمالات فازی برای تشخیص افتراقی بیماری پوستی]. *13 th international conference on industrial engineering*. Babolsar, Mazandaran University of Science and Technology.

Esamian, G. (2016). Bayesian fuzzy hypothesis testing with imprecise prior distribution. *Journal of the Iranian statistical society*, *15*(2), 105-119.

Görkemli, L., & Ulusoy, K.S. (2010). Fuzzy Bayesian reliability and availability analysis of production systems. *Computers & industrial engineering*, 59, 690-696.

Haghjoo, A., Haghparast, A., Torabi, M., & Pirasteh, J. (2019). Assessing and evaluating the reliability of petrochemical maintenance team members based on fuzzy FMEA method [بررسی و ارزیابی قابلیت اطمینان اعضای تیم نگهداری و تعمیرات پتروشیمی براساس روش فازی FMEA]. *First national conference of science and technology of the third millennium of Iran* e*conomy*, m*anagement and* a*ccounting*. Sam Iranian Institute of Science and Technology Development Conferences, Tehran.

Hosseini, F., & Khodakarami, W. (2018). Reliability estimation of propane refrigeration system by Bayesian and fault tree methods (case study: Faravarsh Co., Bandaramam Petrochemical company) [تخمین قابلیت اطمینان سیستم تبرید پروپان به روش شبکه‌های بیزین و درخت خطا (مطالعه موردی: شرکت فرآورش، پتروشیمی بندرامام)]. *4th international conference on reliability engineering. Sahand University of Technology, Tabriz.*

Karaulova, T., Kostina, M., & Shevtshenko, E. (2012). Reliability assessment of manufacturing processes, *International journal of industrial engineering and management*, *3*, 143-151.

Karbasian, M., & Tabatabai, L. (2014). *Familiarity with reliability* [آشنایی با قابلیت اطمینان]. Isfahan: Arkan Danesh Publications.

Lamrani Alaoui, Y., & Tkiouat, M. (2019). Modeling customer satisfaction in microfinance sector: A fuzzy Bayesian networks approach. *International journal of engineering business management*, *11*. https://doi.org/10.1177/1847979019869533

Martz, H. F., & Waller, R. (1982). *Bayesian reliability analysis*. John wiley & sons, inc., 605 third ave., New York, NY 10158, 1982, 704.

Minhaj, M. B. (1394). *Fuzzy calculations* [محاسبات فازی]. Tehran: Daneshnegar Publications.

Sakhaei, b., Ismaili, M., & Ardashiri, M. (2018). Assigning the reliability of the coastal missile launch system using fuzzy hierarchical analysis process [تخصیص قابلیت اطمینان سامانه پرتاب موشکی ساحلی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی]. *4th international conference on reliability engineering*. Sahand University of Technology, Tabriz.

Salinas, J. L., Kiss, A., Viglione, A., Viertl, R., & Blöschl, G. (2016). A fuzzy Bayesian approach to flood frequency estimation with imprecise historical information. *Water resources research*, *52*(9), 6730-6750.

Singpurwalla, N. D., & Booker, J. B. (2004). Membership functions and probability measures sets. *Journal of the American statistical association*, 99(467), 867–877.

Taheri, S. M., & Zarei, R. (2011). Bayesian system reliability assessment under the vague environment. *Applied soft computing*, *11*, 1614–1622.

Unetomo, M., Murao, N., & Akama, K. (2008). Introducing assignment functions to Bayesian optimization algorithms. *Information sciences*, *178*(1), 152-163.

Verma, A. K., Ajit, S., & Karanki, D. R. (2010). *Reliability and safety engineering* (Vol. 43, pp. 373-392). London: Springer.

Wang, L. X. (1999). *A course in fuzzy systems.* Prentice-Hall International, Inc.

Wu, H. C. (2004). Fuzzy reliability estimation using Bayesian approach. *Computers & industrial engineering*, *46*. 467–493.

Wu, H. C. (2006). Fuzzy bayesian system reliability assessment based on exponential distribution. *Applied mathematical modelling*, *30*, 509–530.

Yadgari, M., & Seyedin, S. A. (2018). Target threat assessment using rule-based joint fuzzy and probabilistic networks [ارزیابی تهدید اهداف با استفاده ازشبکه‌های فازی و احتمالاتی توأم مبتنی بر قواعد]. *Scientific journal of electronic and cyber defense*, *6*(4), 61-78.

Zade, L. A. (1983). The role of fuzzy logic in the management of uncertaintly in expert system. *Fuzzy sets and system*, *11*(1-3), 199-227.

نشریه تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات، دوره ۵، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، صفحه: ۱۵۰-۱۳۳