

## تجزیه و تحلیل رفتار سیستم ناوگان حمل و نقل معادن روباز با داده‌های

### دارای عدم قطعیت

#### مقاله پژوهشی

محمدحسین بصیری\*، استادیار، دانشکده فنی و مهندسی بخش مهندسی معدن، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران  
محمدرضا شریفی، دانشجوی دکتری، دانشکده فنی و مهندسی بخش مهندسی معدن، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: [mhbasiri@modares.ac.ir](mailto:mhbasiri@modares.ac.ir)

دریافت: ۹۷/۱۱/۰۳ - پذیرش: ۹۸/۰۱/۱۹

صفحه ۹۳-۸۳

#### چکیده

در دنیای رقابتی امروز و تلاش برای تولید بیشتر و کسب حداکثر سود در صنعت معدنکاری، تجزیه و تحلیل رفتار سیستم ناوگان حمل و نقل اهمیت بسزایی دارد. اطلاعات موجود از نرخ خرابی و زمان تعمیر قطعات یک سیستم اغلب نادقیق و دارای عدم قطعیت هستند. بنابراین تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان و پیش‌بینی الگوی رفتار سیستم بر اساس آن‌ها بسیار دشوار است. در تحقیق حاضر، آنالیز رفتار و تحلیل قابلیت اطمینان سیستم شاول به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ماشین‌آلات ناوگان حمل و نقل معدن روباز تحت شرایط عدم قطعیت با استفاده از اعداد فازی مثلثی و روش لامبدا-تاو انجام شد. این دستگاه از هفت زیرسیستم سری (کابل، باکت، بازو، چرخ زنجیر، موتور و گیربکس، پنوماتیکی و الکتریکی) تشکیل شده و دارای تابع توزیع خرابی وایبول است. رفتار سیستم توسط شاخص‌های مختلف قابلیت اطمینان نظیر نرخ خرابی، زمان تعمیر، میانگین زمان بین خرابی، تعداد خرابی مورد انتظار، قابلیت دسترسی و قابلیت اطمینان بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که اطلاعات خرابی نسبت به اطلاعات تعمیر از عدم قطعیت کمتری برخوردار است و پس از گذشت ۱۰ ساعت شاخص RAM کاهش می‌یابد. آنالیز رفتار سیستم می‌تواند به‌عنوان ابزاری سودمند در انتخاب استراتژی مناسب نگهداری و تعمیر و بهبود عملکرد سیستم مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: آنالیز رفتار، تئوری اعداد فازی، روش لامبدا-تاو، ناوگان حمل و نقل معادن

#### ۱- مقدمه

سیستم دارد و این امر نیازمند تلاش برای مطالعه، مشخص کردن، اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل رفتار سیستم‌ها به‌وسیله حذف یا کاهش احتمال شکست و در نتیجه افزایش عمر طراحی شده و قابلیت دسترسی عملیاتی است. به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد یا رفتار سیستم، تکنیک‌های مختلفی مانند آنالیز درخت رویداد<sup>۱</sup> (ETA)، درخت خطا<sup>۲</sup> (FTA)، دیاگرام بلوکی قابلیت اطمینان<sup>۳</sup> (RBD)، شبکه‌های پتری<sup>۴</sup> (PN) و روش مارکوف در ادبیات موضوع به کار رفته است (Adamyan and David, 2004, Aksu, Aksu and Turan, 2006, Ebeling, 2001, Sharma and Kumar, 2008). احتمال رویداد یک خرابی از اطلاعات ثبت‌شده تاریخی محاسبه می‌شوند و از آنجایی که این اطلاعات

با پیشرفت روزافزون تکنولوژی و رشد پیچیدگی سیستم‌ها و تأکید بر کیفیت محصول، جهت افزایش قابلیت دسترسی و عملیاتی بودن سیستم‌ها برای کسب تولید (سود) بیشتر، اهمیت قابلیت اطمینان و قابلیت تعمیر به یکی از اصول اساسی و اولیه تبدیل شده است. عملکرد ناوگان حمل و نقل در معادن روباز تأثیر مستقیمی بر سیستم تولید معدن داشته و بسیاری از پیمانکاران معدنی علاوه بر حمل و نقل تولید مشخص، بر عملکرد سیستم حمل و نقل ماشین‌آلات خود جهت روند پیوسته و بدون وقفه تولید را مدنظر قرار می‌دهند. مدیران و مهندسان با اهمیت تصمیم‌های نت‌پیشگیرانه و اثرات آن بر عملکرد و قابلیت اطمینان سیستم روبرو هستند. بنابراین مطالعه قابلیت اطمینان و استراتژی نت نقش مهمی را در فرآیند عملیاتی

قطعیت اطلاعات از اعداد فازی شهودی و روش لامبدا-تاو برای ارزیابی و تجزیه و تحلیل رفتار سیستم‌های مورد نظرشان استفاده کردند. گارک رفتار واحد شستشوی یک کارخانه تولید کاغذ (Garg, 2013)، ویشکارما و شارما رفتار سیستم tab (Vishwakarma and Sharma, 2015)، ورما و همکاران در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ قابلیت اطمینان سیستم احتراق توربین گاز و کل سیستم توربین گاز (Verma, Kumar and Singh, 2013, Verma and Kumar, 2014) را با استفاده از روش لامبدا-تاو و اعداد فازی مثلثی شهودی بررسی کرد. در این تحقیق مراحل ارزیابی رفتار سیستم با روش لامبدا-تاو فازی تشریح می‌گردد و سپس رفتار ماشین شاول کابلی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ماشین‌آلات حمل و نقل در معادن روباز با توزیع خرابی وایبول و نرخ خرابی نمایی به‌عنوان مورد مطالعاتی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

## ۲- روش تحقیق

در این بخش ابتدا مفاهیم اساسی مجموعه اعداد فازی مثلثی بیان شده و سپس مراحل روش لامبدا-تاو فازی تشریح می‌گردد:

### ۲-۱ مفاهیم پایه مجموعه اعداد فازی

**مجموعه فازی:** در نظریه کلاسیک مجموعه‌ها، یک عنصر  $x$  در یک مجموعه مرجع  $U$ ، می‌تواند عضوی از مجموعه  $A$  باشد یا نباشد. این مفهوم صفر و یک از تابع عضویت را می‌توان از لحاظ ریاضی به صورت رابطه ۱ بیان کرد.

$$XA(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \in A \\ 0 & \text{if } x \notin A \end{cases} \quad (1)$$

پروفیسور لطفی‌زاده مفهوم عضویت صفر و یکی را به درجات مختلفی از عضویت در بازه پیوسته [۰ و ۱] تعمیم و عمومیت داد و مجموعه فازی  $\tilde{A}$  به وسیله تابع عضویت  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  تعریف کرد که  $\alpha$  درجه عضویت عنصر  $x$  در مجموعه فازی  $\tilde{A}$  است (Zadeh, 1965). **برش آلفا:** یک برش آلفا از مجموعه فازی  $\tilde{A}$ ، یک مجموعه قطعی شامل عناصری از عنصرهای مجموعه  $\tilde{A}$  که حداقل درجه عضویت  $\alpha$  دارند (رابطه ۲).

$$A^{(\alpha)} = \{x \in U : \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha\} \quad (2)$$

هر مجموعه فازی را با تعریف برش آلفا (آستانه عضویت) می‌توان به مجموعه معمولی تبدیل نمود.

به دلیل محدودیت‌های عملیاتی مختلف، نادقیق، مبهم و محدود هستند؛ رفتار سیستم نمی‌تواند به‌طور دقیق شناسایی و پیش‌بینی گردد و همواره شامل عدم قطعیت است. روش‌های فازی در ارتباط با اطلاعات نادقیق و دارای عدم قطعیت رفتار سیستم را بهتر، سازگارتر و محاسبات ریاضی قوی‌تری از روش‌های سنتی مانند روش مارکوف، احتمالات بی‌زی و غیره ارزیابی و مدل‌سازی کنند (Singer, 1990, Mon and Cheng, 1994, Cai, 1996). کنزویک و آدام در سال ۲۰۰۱ روش لامبدا-تاو فازی<sup>۹</sup> را با استفاده از شبکه‌های پتری، تکنیک لامبدا-تاو و تئوری مجموعه فازی جهت مدل کردن سیستم و کمی کردن عدم قطعیت اطلاعات توسعه دادند. تئوری مجموعه فازی برای بیان اطلاعات خرابی و تعمیر مورد استفاده قرار گرفت و رفتار سیستم توسط شاخص‌های مختلف قابلیت اطمینان بررسی شد. این شاخص‌ها شامل نرخ خرابی، زمان تعمیر، میانگین زمان بین خرابی، تعداد خرابی مورد انتظار، قابلیت دسترسی و قابلیت اطمینان هستند (Knezevic and Odoom, 2001). مطالعات آن‌ها، اساس آنالیز رفتار سیستم‌های قابل تعمیر در صنایع مختلف توسط محققان دیگر شد. برای مثال، شارما و همکاران در سال ۲۰۰۷ رفتار سیستم واحد شستشوی یک کارخانه کاغذسازی (Sharma, Kumar and Kumar, 2007)، رانی و همکاران در سال ۲۰۱۱ رفتار سیستم واحد پرس یک کارخانه کاغذسازی با تابع توزیع خرابی وایبول (Rani, Sharma and Garg, 2011)، گارک و شارما در سال ۲۰۱۱ رفتار واحد سنتز در کارخانه تولید اوره (Sharma and Garg, 2011)، پانچال و کومار در سال ۲۰۱۵ رفتار نیروگاه حرارتی با سوخت زغال (Panchal and Kumar, 2015) را با استفاده از تکنیک لامبدا-تاو و تئوری مجموعه فازی بررسی کردند. کومال و همکاران در سال ۲۰۱۰ شاخص RAM (قابلیت اطمینان، قابلیت دسترسی و قابلیت تعمیر) عدم قطعیت را در سیستم‌های قابل تعمیر با استفاده از تکنیک لامبدا-تاو فازی و روش لامبدا تاو بر پایه الگوریتم ژنتیک ارزیابی کرد (Komal, Sharma and Kumar, 2010). گارک و همکاران در سال ۲۰۱۲ شاخص RAM واحد غربالگری کارخانه کاغذ را با استفاده از تکنیک لامبدا-تاو فازی و روش لامبدا تاو بر پایه الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی رفتار سیستم و عدم قطعیت آن را مورد مطالعه قرار داد (Garg, Sharma and Rani, 2012). برخی از محققین برای کاهش میزان عدم

لازم به ذکر است که حاصل ضرب و تقسیم دو عدد فازی مثلثی، عدد فازی مثلثی با کناره‌های راست و چپ خطی نیست و یک عدد فازی با کناره‌های منحنی شکل خواهد بود.

## ۲-۲ مراحل روش لامبدا-تاو فازی

در این بخش عدم قطعیت اطلاعات خرابی و تعمیر زیرسیستم‌های یک سیستم توسط مجموعه اعداد فازی وارد مدل شده و سپس نرخ خرابی و زمان تعمیر سیستم و سایر پارامترهای رفتار سیستم با روش لامبدا-تاو محاسبه می‌شود. مراحل روش لامبدا-تاو فازی به شرح زیر است:

**مرحله اول- جمع‌آوری اطلاعات خرابی و تعمیر تمام زیرسیستم‌ها:** اطلاعات مربوط به نرخ خرابی  $(\alpha_i, \beta_i)$  و زمان تعمیر  $(T_i)$  برای تمام زیرسیستم‌ها، از اطلاعات ثبت شده فعلی یا تاریخی معدن جمع‌آوری و محاسبه می‌شود و با نظرات خبرگان و پرسنل نت تلفیق می‌گردد.

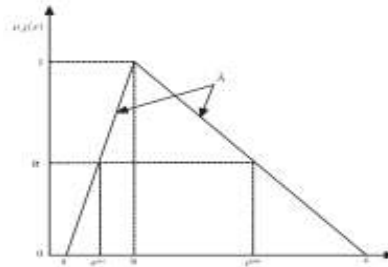
**مرحله دوم- محاسبه اعداد فازی نرخ خرابی و تعمیر:** جهت اعمال عدم قطعیت بر روی اطلاعات زیرسیستم‌ها، اعداد ورودی قطعی مطابق شکل ۲ به اعداد فازی مثلثی با میزان پراکندگی ۱۵، ۲۵ و ۵۰ درصد تبدیل می‌شوند.

**توابع عضویت:** توابع عضویت بسیاری مانند مثلثی، دوزنقه‌ای، نرمال، گاما و غیره برای عضویت مجموعه فازی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در محاسبات قابلیت اطمینان اعداد فازی مثلثی و دوزنقه‌ای به دلیل سهولت مدل کردن عدم قطعیت اطلاعات ورودی، کاربرد گسترده‌ای دارند. همچنین به وسیله آن‌ها، اطلاعات مهندسی به آسانی آماده‌سازی، محاسبه و تفسیر می‌شوند. عدد فازی مثلثی به صورت سه‌تایی  $(a, b, c)$  نشان داده می‌شود و توسط تابع عضویت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a} & \text{if } a \leq x \leq b \\ 1 & \text{if } x = b \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{if } b \leq x \leq c \end{cases} \quad (۳)$$

آلفا برش از یک عدد فازی مثلثی به صورت زیر تعریف می‌شود (رابطه ۴) و در شکل ۱ به صورت گرافیکی نشان داده می‌شود.

$$A(\alpha) = [a(\alpha), c(\alpha)] \\ = [(b-a)\alpha + a, -(c-b)\alpha + c] \quad (۴)$$



شکل ۱. عدد فازی مثلثی  $\tilde{A}$  با برش آلفا

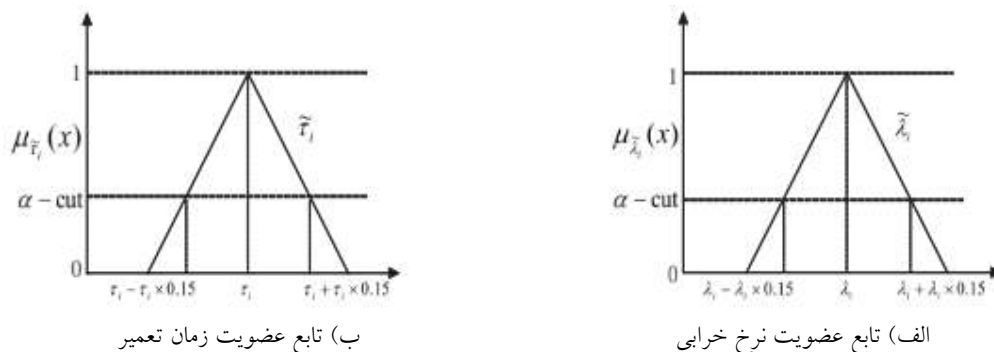
**عملیات ریاضی اعداد فازی:** عملیات اصلی حسابی یعنی جمع، تفریق، ضرب و تقسیم دو مجموعه فازی  $\tilde{A}$  و  $\tilde{B}$  با سطح برش  $\alpha$  در جدول ۱ نشان داده شده است:

$$A(\alpha) = [A_1^{(\alpha)}, A_3^{(\alpha)}], \quad B(\alpha) = [B_1^{(\alpha)}, B_3^{(\alpha)}], \quad \alpha \in [0,1]$$

جدول ۱. عملیات اصلی حسابی بر روی اعداد فازی

پس از مشخص شدن اعداد فازی نرخ خرابی و تعمیر هر سیستم، اعداد فازی متناظر آن برای کل سیستم با استفاده از اصل گسترش فازی با  $\alpha$  - برش و انجام عملیات جبری روی اعداد فازی مثلثی به دست می‌آید. اصول روش لامبدا-تاو فازی در جدول ۲ آمده است. با استفاده از روابط ۵ و ۶،  $\alpha$  - برش‌های این نرخ خرابی و تعمیر برای گیت<sup>۷</sup> یا دروازه and و or (موازی و سری) محاسبه می‌شوند.

عملیات	قطعی	فازی
جمع	$A + B$	$\tilde{A} + \tilde{B} = [A_1^{(\alpha)} + B_1^{(\alpha)}, A_3^{(\alpha)} + B_3^{(\alpha)}]$
تفریق	$A - B$	$\tilde{A} - \tilde{B} = [A_1^{(\alpha)} - B_3^{(\alpha)}, A_3^{(\alpha)} - B_1^{(\alpha)}]$
ضرب	$A \times B$	$\tilde{A} \cdot \tilde{B} = [A_1^{(\alpha)} \cdot B_1^{(\alpha)}, A_3^{(\alpha)} \cdot B_3^{(\alpha)}]$
تقسیم	$A \div B$	$\tilde{A} \div \tilde{B} = [A_1^{(\alpha)} \div B_3^{(\alpha)}, A_3^{(\alpha)} \div B_1^{(\alpha)}]$ if $0 \notin [B_1^{(\alpha)}, B_3^{(\alpha)}]$



ب) تابع عضویت زمان تعمیر

الف) تابع عضویت نرخ خرابی

شکل ۲. عدد فازی مثلثی نرخ خرابی و زمان تعمیر زیرسیستم i ام

جدول ۲. مفاهیم پایه روش لامبدا-تاو فازی

گیت (دروازه)	$\lambda_{AND}$	$\tau_{AND}$	$\lambda_{OR}$	$\tau_{OR}$
روابط	$\prod_{i=1}^n \lambda_i \cdot \sum_{j=1}^n \prod_{\substack{i=1 \\ j \neq i}}^n \tau_i$	$\frac{\prod_{i=1}^n \tau_i}{\sum_{j=1}^n \prod_{\substack{i=1 \\ j \neq i}}^n \tau_i}$	$\sum_{i=1}^n \lambda_i$	$\frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i \tau_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}$

$$\lambda^{(\alpha)} = \left[ \begin{array}{l} \prod_{i=1}^n \{(\lambda_{i2} - \lambda_{i1})\alpha + \lambda_{i1}\} \cdot \sum_{j=1}^n \prod_{\substack{i=1 \\ j \neq i}}^n \{(\tau_{i2} - \tau_{i1})\alpha + \tau_{i1}\} , \\ \prod_{i=1}^n \{-(\lambda_{i3} - \lambda_{i2})\alpha + \lambda_{i3}\} \cdot \sum_{j=1}^n \prod_{\substack{i=1 \\ j \neq i}}^n \{-(\tau_{i3} - \tau_{i2})\alpha + \tau_{i3}\} \end{array} \right] \quad (5)$$

$$\tau^{(\alpha)} = \left[ \frac{\prod_{i=1}^n \{(\tau_{i2} - \tau_{i1})\alpha + \tau_{i1}\}}{\sum_{j=1}^n \prod_{\substack{i=1 \\ j \neq i}}^n \{-(\tau_{i3} - \tau_{i2})\alpha + \tau_{i3}\}} , \frac{\prod_{i=1}^n \{-(\tau_{i3} - \tau_{i2})\alpha + \tau_{i3}\}}{\sum_{j=1}^n \prod_{\substack{i=1 \\ j \neq i}}^n \{(\tau_{i2} - \tau_{i1})\alpha + \tau_{i1}\}} \right]$$

$$\lambda^{(\alpha)} = \left[ \sum_{i=1}^n \{(\lambda_{i2} - \lambda_{i1})\alpha + \lambda_{i1}\} , \sum_{i=1}^n \{-(\lambda_{i3} - \lambda_{i2})\alpha + \lambda_{i3}\} \right]$$

$$\tau^{(\alpha)} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n \{(\lambda_{i2} - \lambda_{i1})\alpha + \lambda_{i1}\} \cdot \{(\tau_{i2} - \tau_{i1})\alpha + \tau_{i1}\}}{\sum_{i=1}^n \{-(\lambda_{i3} - \lambda_{i2})\alpha + \lambda_{i3}\}} , \frac{\sum_{i=1}^n \{-(\lambda_{i3} - \lambda_{i2})\alpha + \lambda_{i3}\} \cdot \{-(\tau_{i3} - \tau_{i2})\alpha + \tau_{i3}\}}{\sum_{i=1}^n \{(\lambda_{i2} - \lambda_{i1})\alpha + \lambda_{i1}\}} \right] \quad (6)$$

مرحله سوم- محاسبه پارامترهای مختلف قابلیت اطمینان: اطمینان ارزیابی نمود. روابط این شاخص‌ها در جدول ۳ لیست شده‌اند.

مرحله چهارم- یافتن مقادیر دی فازی پارامترهای خرابی (MTBF)، قابلیت دسترسی، قابلیت تعمیر و قابلیت اطمینان همچون نرخ خرابی، زمان تعمیر، میانگین زمان بین خرابی رفتار سیستم را می‌توان با شاخص‌های مختلف قابلیت اطمینان هم‌چون نرخ خرابی، زمان تعمیر، میانگین زمان بین خرابی (MTBF)، قابلیت دسترسی، قابلیت تعمیر و قابلیت

به‌دست آمده در مرحله قبل: با توجه به اینکه اکثر تصمیمات و

قابلیت دسترسی	$A(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}} - \frac{t}{\tau} \left(1 + \frac{1}{\tau} \int_0^t \exp\left(\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta} + \frac{t}{\tau}\right) dt\right)$
قابلیت تعمیر	$M(t) = 1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$

فعالیت‌های انجام شده توسط انسان قطعی یا صفر و یک است، لازم است که اعداد فازی به یک عدد قطعی متناظر با آن عدد فازی تبدیل شود. در این تحقیق از میان روش‌های مختلف دی فازی کردن اعداد فازی، روش مرکز سطح (COA) به دلیل عمومیت و مقبولیت بیشتر آن در ادبیات موضوع قابلیت اطمینان فازی، انتخاب شده است. اگر تابع عضویت  $\mu_{\bar{A}}(x)$  از مجموعه  $\bar{A}$  بر روی فاصله  $[x_1, x_2]$  باشد، مقدار دی فازی مرکز سطح عدد فازی  $\bar{x}$  از رابطه ۷ به دست می‌آید:

$$\bar{x} = \frac{\int_{x_1}^{x_2} x \cdot \mu_{\bar{A}}(x) dx}{\int_{x_1}^{x_2} \mu_{\bar{A}}(x) dx} \quad (7)$$

### ۳- شاخص عملکرد RAM

یکی دیگر از شاخص‌های اندازه‌گیری عملکرد شاخص RAM است (رابطه ۸) و از تلفیق قابلیت اطمینان، قابلیت دسترسی و قابلیت تعمیر به دست می‌آید. رابطه شاخص RAM و سه پارامتر مذکور به صورت خطی بوده و مجموع میزان یا وزن تأثیر این سه پارامتر ( $w_i$ ) یک خواهد بود.

$$RAM(t) = w_1 * R_s(t) + w_2 * A_s(t) + w_3 * M_s(t) \quad (8)$$

در ادبیات موضوع وزن قابلیت اطمینان  $w_1 = 0.36$ ، وزن قابلیت دسترسی  $w_2 = 0.30$  و وزن قابلیت تعمیر  $w_3 = 0.34$  برای محاسبه شاخص RAM استفاده شده است. از آنجایی که در این پژوهش قابلیت اطمینان، قابلیت دسترسی و قابلیت تعمیر به صورت اعداد فازی بیان می‌شوند، شاخص RAM نیز یک عدد فازی خواهد بود.

جدول ۳. شاخص‌های قابلیت اطمینان مورد استفاده در آنالیز رفتار

سیستم

روابط ریاضی	شاخص‌های قابلیت اطمینان
	نرخ خرابی
$\lambda(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1}$	میانگین زمان خرابی
$MTTF = \theta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$	میانگین زمان تعمیر
$MTTR = \frac{1}{\mu} = \tau$	میانگین زمان بین خرابی
$MTBF = MTTF + MTTR$	قابلیت اطمینان
$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}\right]$	

### ۳-۱- مورد مطالعاتی

در پژوهش حاضر، شاول کابلی P&H 2100 BL معدن سنگ آهن چادرملو در ایران با تولید ۲۱۰۰ تن سنگ آهن در ساعت به عنوان مورد مطالعاتی انتخاب شده است. شاول‌ها از اصلی‌ترین ماشین‌آلات ناوگان بارگیری و حمل و نقل در معادن متوسط و بزرگ رویاز هستند. با استفاده از نظر خبرگان گروه نت معدن چادرملو و همچنین با بررسی نحوه تفکیک زیرسیستم‌های ماشین‌آلات عمرانی و معدنی مشابه در سایر مطالعات انجام شده (Samanta et al., 2004, Gupta et al., 2006, Elevli and et al. 2008 and Esmaili et al., 2011) زیرسیستم‌های شاول کابلی به صورت زیر شناسایی گردید:

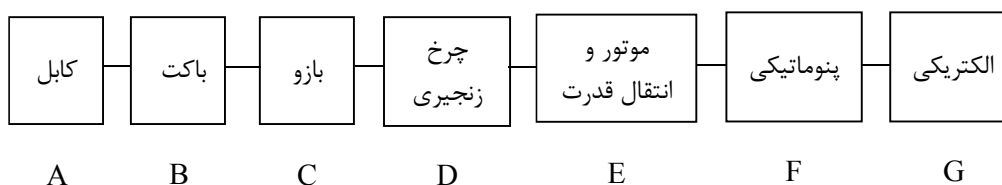
**سیستم کابل (A):** این سیستم شامل سه نوع کابل مختلف (ساس پنشن، تریپ و بالابر) است. کابل تریپ وظیفه باز کردن درب باکت شاول جهت خروج مواد از باکت را دارد، حرکت قائم باکت توسط کابل بالابر انجام می‌گیرد و کابل ساس پنشن، بوم را به گانتری وصل می‌کند.

**سیستم باکت (B):** باکت از قسمت‌های بدنه، درب، ناخن، کمان و کلاج و بازو تشکیل شده است. کابل بالابر توسط کمان به باکت وصل است و آن را بالا می‌کشد و کلاج، درب باز شونده از کف باکت را به بدنه باکت متصل می‌کند.

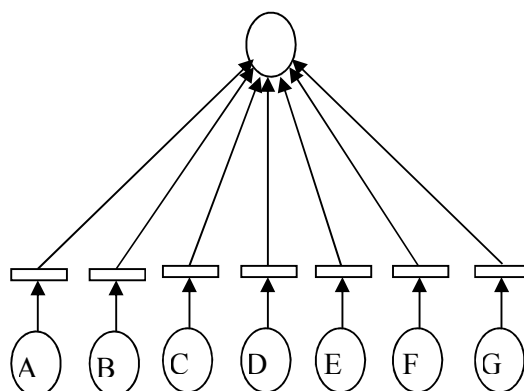
**سیستم بازو (C):** بازو از یک طرف به جام متصل بوده و از طرف دیگر به بوم لولا شده است. در زیر بازو دندانه‌هایی وجود دارد که امکان حرکت بازو به جلو و عقب را فراهم می‌آورد، که این حرکت مبنای نفوذ باکت در سینه کار است. بازو همچنین می‌تواند حول محور اتصال خود به بوم به طرف بالا و پایین حرکت نماید که این کار با تغییر طول کابل بالابری انجام می‌گیرد.

**سیستم چرخ زنجیری و شاسی ثابت (D):** زنجیر یا کفشک (شنی)، رولیک‌ها، آیدرلر، تامبلر و شاسی ثابت بر روی شاسی چرخ بسته می‌شوند.

**سیستم موتور و انتقال قدرت (E):** این سیستم شامل کرود، پروپل، تریپ، سوئینگ، مین موتور، مگنتورک و چین کس است. مین موتور اصلی ترین موتور شاول است. مین موتور با به حرکت درآوردن (القای مغناطیسی) مگنتورک باعث چرخش آن شده و در نتیجه گیربکس هویست را به حرکت درمی آورد و بدین ترتیب عملیات بالابری باکت انجام می شود. همچنین مین موتور با به حرکت درآوردن گیربکس چین کس باعث دوران ژنراتور سوئینگ و ژنراتور کرود/پروپل می شود تا برق موتورهای سوئینگ، کرود و پروپل تأمین شود. موتورهای کرود، پروپل، تریپ، سوئینگ، مین موتور، مگنتورک و چین کس است. مین موتور اصلی ترین موتور شاول است. مین موتور با به حرکت درآوردن (القای مغناطیسی) مگنتورک باعث چرخش آن شده و در نتیجه گیربکس هویست را به حرکت درمی آورد و بدین ترتیب عملیات بالابری باکت انجام می شود. همچنین مین موتور با به حرکت درآوردن گیربکس چین کس باعث دوران ژنراتور سوئینگ و ژنراتور کرود/پروپل می شود تا برق موتورهای سوئینگ، کرود و پروپل تأمین شود. موتورهای کرود، پروپل، تریپ، سوئینگ، مین موتور، مگنتورک و چین کس است.



شکل ۳. دیاگرام بلوکی قابلیت اطمینان (RBD) شاول کابلی



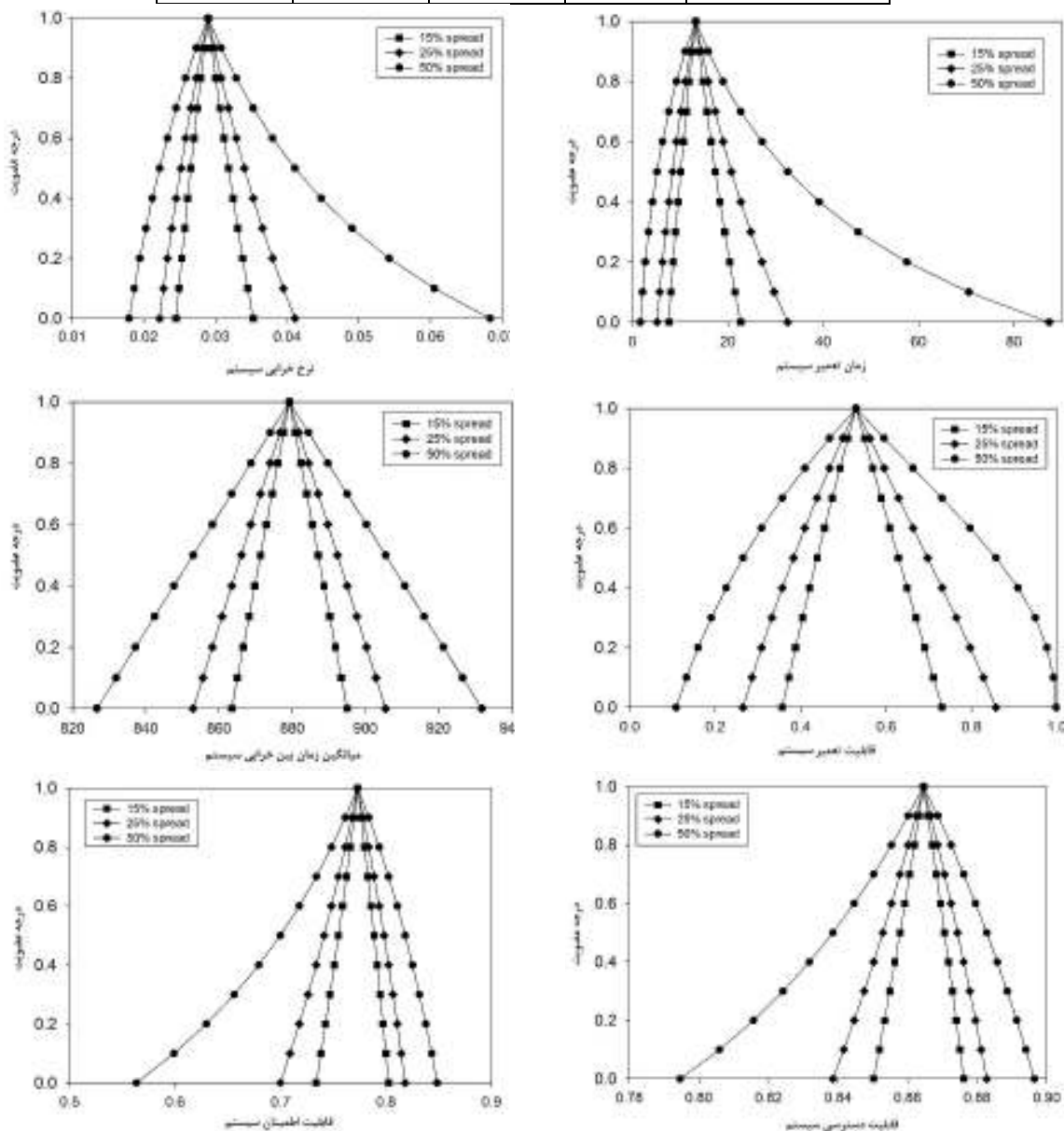
شکل ۴. دیاگرام بلوکی شبکه پتری (PN) شاول کابلی

جدول ۴. اطلاعات خرابی و زمان تعمیر زیرسیستم های شاول کابلی

زمان تعمیر	اطلاعات خرابی		زیرسیستم ها
	(توزیع وایبول)		
	پارامتر شکل ( $\beta$ )	پارامتر مقیاس ( $\alpha$ )	
$\tau$			
3/2	2/044	366/07	کابل
8/15	0/921	67/88	باکت
40/1	1/671	517/2	بازو
120/24	1/643	429/3	چرخ زنجیری
3/22	1/458	112/47	موتور و انتقال قدرت
4/26	1/4168	135/518	پنوماتیکی
37/72	1/68	84/478	الکتریکی

جدول ۵. مقادیر قطعی و دی فازی پارامترهای مختلف قابلیت اطمینان در پراکندگی های ۱۵، ۲۵ و ۵۰ درصد

مقادیر دی فازی در پراکندگی های			مقدار قطعی	شاخص های قابلیت اطمینان
۵۰ درصد	۲۵ درصد	۱۵ درصد		
0/035684	0/030275	0/029403	0/02895	نرخ خرابی
28/31101	16/02358	14/19451	13/25843	زمان تعمیر
879/1292	879/173	879/1906	879/2169	میانگین زمان بین خرابی
0/73977	0/765848	0/7705	0/773031	قابلیت اطمینان
0/4567982	0/5081181	0/5218068	0/529631	قابلیت تعمیر
0/855275	0/862517	0/86381	0/86452	قابلیت دسترسی

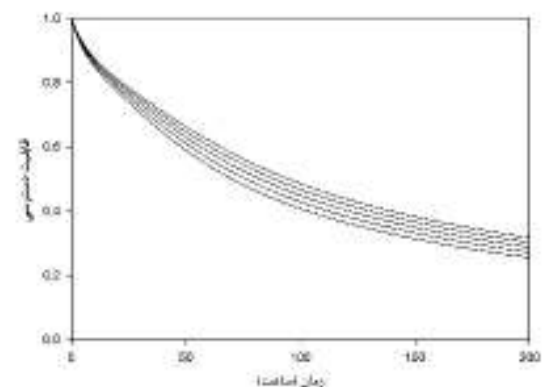
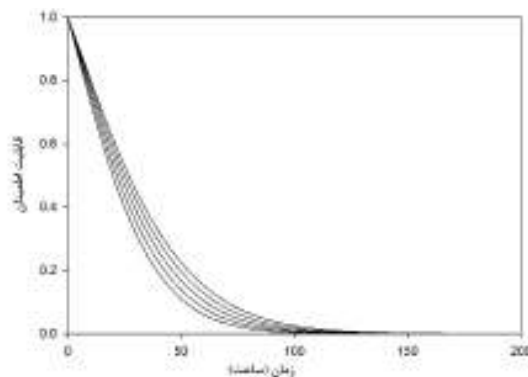


شکل ۵. پارامترهای مختلف قابلیت اطمینان در پراکندگی های ۱۵ درصد، ۲۵ درصد و ۵۰ درصد

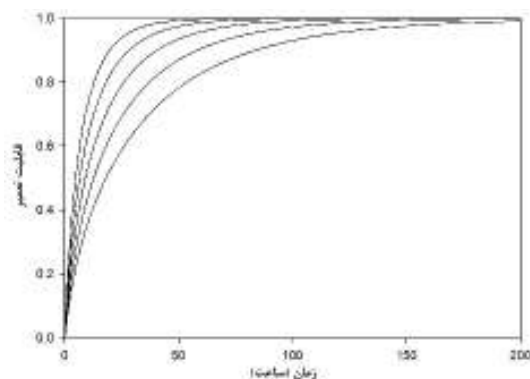
همان‌طور که مشخص است با افزایش میزان پراکندگی، مقادیر دی فازی نرخ خرابی و زمان تعمیر افزایش یافته و مقادیر قابلیت اطمینان، قابلیت تعمیر و قابلیت دسترسی کاهش می‌یابد و این نشان‌دهنده این است که مقادیر به‌دست‌آمده از روش فازی با طبیعت سازگار است. با افزایش پراکندگی از ۱۵ درصد به ۲۵ درصد، نرخ خرابی و زمان تعمیر به میزان ۲٫۹۷ درصد و ۱۲٫۸۹ درصد افزایش داشته و مقادیر قابلیت اطمینان، قابلیت تعمیر و قابلیت دسترسی ۰٫۶، ۲٫۶۷ درصد و ۰٫۱۵ درصد کاهش یافته است. با افزایش پراکندگی از ۲۵ درصد به ۵۰ درصد، نرخ خرابی و زمان تعمیر به میزان ۱۸ درصد و ۷۸ درصد افزایش داشته و مقادیر قابلیت اطمینان، قابلیت تعمیر و قابلیت دسترسی ۳٫۴ درصد، ۱۰٫۱ درصد و ۰٫۸۴ درصد کاهش یافته است. بنابراین داده‌های خرابی نسبت به داده‌های تعمیر از عدم قطعیت کمتری برخوردار است. شکل ۶ قابلیت اطمینان، قابلیت تعمیر و قابلیت دسترسی شاول را در بازه [۰ و ۲۰۰] با میزان پراکندگی ۱۵ درصد و با سطح اطمینان (۰٫۵، ۰) نمایش داده شده است. قابلیت اطمینان شاول بعد از گذشت ۱۰۰ ساعت به صفر می‌رسد. نتایج نشان می‌دهد که اگر شرایط فعلی تعمیر تغییری نکند، قابلیت تعمیر سیستم در بازه طولانی‌مدت از پراکندگی بسیاری برخوردار خواهد بود. قابلیت دسترسی سیستم نیز پس از گذشت ۵۰ ساعت به ۶۰ درصد کاهش می‌یابد و بعد از آن با شیب کمتری در زمان ۲۰۰ ساعت به ۳۰ درصد تنزل می‌کند. شاخص RAM در زمان  $t=10$  ساعت، (۰٫۸، ۰٫۷۲، ۰٫۶۴) بوده و شکل ۷ این شاخص را در بازه [۰ و ۲۰۰] با میزان پراکندگی ۱۵ درصد و با سطح اطمینان (۰٫۵، ۰) نمایش می‌دهد که پس از گذشت ۱۰ ساعت به بیشترین مقدار خود رسیده و پس از آن سیر نزولی دارد.

این هفت سیستم به‌صورت سری در نظر گرفته شدند زیرا خرابی در هر سیستم موجب توقف ماشین می‌گردد. شکل ۳ و ۴ دیاگرام بلوکی قابلیت اطمینان (RBD) و شبکه پتری (PN) شاول کابلی را نشان می‌دهد. اطلاعات مربوط به نرخ خرابی  $(\alpha_i, \beta_i)$  و زمان تعمیر  $(\tau_i)$  از اطلاعات ثبت شده فعلی یا تاریخی معدن جمع‌آوری و محاسبه شد و با نظرات خیرگان و پرسنل نت تلفیق گردید که نتایج در جدول ۴ آمده است.

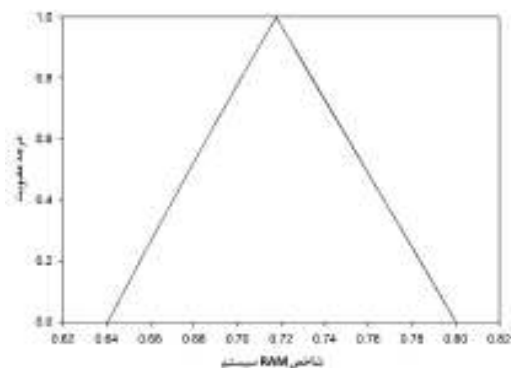
به دلیل عدم قطعیت و نادقیق بودن اطلاعات، عددهای قطعی نرخ خرابی و زمان تعمیر زیرسیستم‌ها به اعداد فازی مثلثی با پراکندگی ۱۵ درصد، ۲۵ درصد و ۵۰ درصد از اعداد قطعی تبدیل شدند. میزان پراکندگی از اعداد قطعی برای اطلاعات ورودی فازی می‌بایست با دقت بسیار و بر اساس میزان شناخت، اطلاعات قابل‌دسترس و محیط عملیاتی سیستم انتخاب گردد. پس از تعیین اعداد فازی ورودی، با استفاده از روش لامبدا-تاو و روابط ۵ و ۶ مقادیر فازی نرخ خرابی و زمان تعمیر کل سیستم و همچنین دیگر شاخص‌های قابلیت اطمینان نظیر میانگین زمان بین خرابی (MTBF)، قابلیت دسترسی، قابلیت تعمیر و قابلیت اطمینان جهت آنالیز رفتار سیستم محاسبه شدند. شکل ۵ نمایش گرافیکی این شاخص‌ها را در زمان  $t=10h$  را در  $\alpha$  - برش‌های مختلف نشان می‌دهد. نمایش گرافیکی شاخص‌ها نشان می‌دهد که اگر عدم قطعیت اطلاعات ورودی به‌وسیله اعداد فازی مثلثی لحاظ شود، توزیع احتمالاتی شاخص‌ها غیرخطی و سهمی شکل خواهد بود. مقادیر قطعی و دی فازی شاخص‌های قابلیت اطمینان در پراکندگی‌های ۱۵، ۲۵ و ۵۰ درصد نیز در جدول ۵ آمده است.



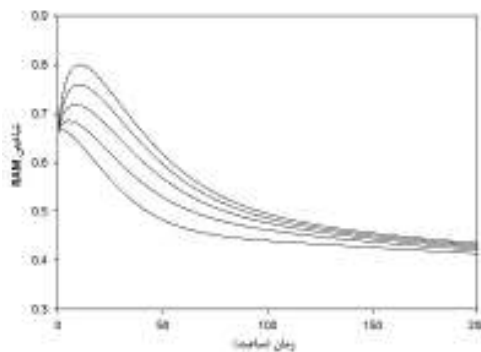




شکل ۶. قابلیت اطمینان، قابلیت تعمیر و قابلیت دسترسی سیستم در یک دوره ۲۰۰ ساعته



(ب)



(الف)

شکل ۷. شاخص فازی RAM با میزان پراکندگی ۱۵ درصد

#### ۴- نتیجه گیری

زنجیره، موتور و گیربکس، پنوماتیکی و الکتریکی) تشکیل شده است. از تابع توزیع وایبول برای زمان خرابی و تابع توزیع نمایی برای زمان تعمیر استفاده شد. نتایج روش لامبدا-تاو فازی نشان می‌دهد که اطلاعات خرابی نسبت به اطلاعات تعمیر از عدم قطعیت کمتری برخوردار است و اگر شرایط تعمیر تغییری نکند، قابلیت تعمیر سیستم در بازه طولانی مدت از پراکندگی بسیاری برخوردار خواهد بود. قابلیت اطمینان سیستم پس از ۱۰۰ ساعت به صفر می‌رسد و به عبارتی شاول خراب می‌شود. قابلیت دسترسی سیستم نیز پس از گذشت ۵۰ ساعت به ۶۰ درصد کاهش می‌یابد و همچنین شاخص RAM پس از گذشت ۱۰ ساعت به بیشترین مقدار خود رسیده و پس از آن سیر نزولی دارد. نتایج نشان می‌دهد که آنالیز رفتار سیستم می‌تواند به‌عنوان ابزاری سودمند در انتخاب استراتژی مناسب نگهداری و تعمیر و بهبود عملکرد سیستم مورد استفاده قرار گیرد.

تجزیه و تحلیل رفتار خرابی یک سیستم به اطلاعات اولیه‌ای بستگی دارد که از نظرات خبرگان و ثبت اطلاعات تاریخی جمع‌آوری شده‌اند. از آنجایی اطلاعات ثبت شده به‌روزرسانی نمی‌شوند و نظریات خبرگان نیز ممکن است دارای عدم اطلاعات کافی از قسمت‌های مختلف سیستم باشد، در نظر گرفتن اطلاعات ثبت شده نرخ خرابی و زمان تعمیر سیستم به‌صورت قطعی و دقیق، کاربردی و عملیاتی نیست و همواره مقداری از عدم قطعیت در اطلاعات وجود دارد. در این تحقیق بر اساس تئوری اعداد فازی مثلثی اثر عدم قطعیت نرخ‌های خرابی و تعمیر اولیه بر روی پارامترهای قابلیت اطمینان سیستم شاول کابلی با استفاده از روش لامبدا-تاو بیان و تفسیر شده است. شاول‌ها از اصلی‌ترین ماشین‌آلات ناوگان بارگیری و حمل‌ونقل در معادن متوسط و بزرگ روباز هستند و بهبود عملکرد آن موجب افزایش کارایی و تولید بیشتر می‌شود. این دستگاه از هفت زیرسیستم سری (کابل، باکت، بازو، چرخ

۵-پی نوشتها

- Gupta, S., Ramkrishna, N., Bhattacharya, J. (2006), "Replacement and maintenance analysis of longwall shearer using fault tree technique", Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy, Section A: Mining Technology, Vol. 115 No. 2, pp. 49-58.
- Komal, S.h., Sharma, S.P., Kumar, D. (2010), "RAM analysis of repairable industrial system utilizing uncertain data", applied Soft Computing, Vol. 10, No. 4, pp. 1208-1221.
- Knezevic, J., Odoom, E.R., (2001), "Reliability modeling of repairable systems using Petri nets and Fuzzy Lambda-Tau methodology", Reliability Engineering and System Safety, Vol. 73, No. 1, pp. 1-17.
- Mon, D.L., Cheng, C.H., (1994), "Fuzzy system reliability analysis for components with different membership functions", Fuzzy Sets System, Vol. 64 No. 2, pp. 145-157.
- Panchal, D. and Kumar, D., (2015), "Stochastic behavior analysis of power generating unit in thermal power plant using fuzzy methodology", Opsearch, Vol. 53, No. 1, pp. 16-40.
- Rani, M., Sharma, S. P., and Garg, H., (2011), "Reliability analysis of press unit in paper plant using Weibull fuzzy distribution function", in Proceedings of the 16th Online World Conference on Soft computing in Industrial Application (WSC '11).
- Samanta, B., Sarkar, B., Mukherjee, S.K., (2014), "Reliability modelling and performance analyses of an LHD system in mining", Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, Vol. 104, No. 1, pp. 1-8.
- Sharma, R.K., Kumar, S., (2008), "Performance modeling in critical engineering systems using RAM analysis", Reliability Engineering and System Safety, Vol. 93 No. 6, pp. 913-919.
- Sharma, R.K., Kumar, D., Kumar, P., (2007), "FM—a pragmatic tool to model, analyze and predict complex behavior of industrial
1. Event Tree Analysis
  2. Fault Tree Analysis
  3. Reliability Block Diagrams
  4. Petri nets
  5. Fuzzy Lambda-Tau Methodology
  6. Reliability, Availability and Maintainability (RAM)
  7. AND-gates and OR-gates
- ۶-مراجع
- Adamyany, A., David, H., (2004), "System failure analysis through counters of Petri net models", Quality and Reliability Engineering International, Vol. 20, NO. 4, pp. 317-335.
- Aksu, S., Aksu, S., Turan, O., (2006), "Reliability and availability of pod propulsion system", Journal of Quality and Reliability International, Vol. 22, No. 1, pp. 41-58.
- Cai, K.Y., (1996), "System failure engineering and fuzzy methodology an introductory overview", Fuzzy Sets system, Vol. 83, No. 2, pp. 113-133.
- Ebeling, C.E., (2001), "An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering", New York: Tata McGrawHill Company Ltd.
- Elevli, S., Uzgoren, N., Elevli, B., (2008), "Correspondence analysis of repair data: A case study for electric cable shovels", Journal of Applied Statistics, Vol. 35 No. 8, pp. 901-908.
- Esmaeili, M., Bazzazi, A.A., Borna, S., (2011), "Reliability analysis of a fleet of loaders in sangan iron mine", Archives of Mining Sciences, Vol. 56, No. 4, pp. 629-640.
- Garg, H., Sharma, S. P., and Rani, M., (2012), "Behavior analysis of pulping unit in a paper mill with weibull fuzzy distribution function using ABCBLT technique", International Journal of Applied Mathematics and Mechanics, Vol. 8, No. 4, pp. 86-96.
- Garg,H. (2013), "Reliability analysis of repairable systems using Petri nets and vague Lambda-Tau methodology", ISA Transactions, Vol. 52, No. 1, pp. 6-18.

- methodology", Engineering Computations, Vol. 30, No. 5, pp. 665-681.
- Verma, M., Kumar, A., (2014), "A novel general approach to evaluating the reliability of gas turbine system", Engineering Applications of Artificial Intelligence, Vol. 28, pp. 13-21.
- Vishwakarma, Y. and Sharma, S.P., (2015), "Uncertainty analysis of an industrial system using Intuitionistic Fuzzy Set Theory", International Journal of System Assurance Engineering and Management. Vol. 7, No. 1, pp. 73-83.
- Zadeh, L.A., (1965), "Fuzzy sets", Information and Control. Vol. 8, No. 3, pp. 338-353.
- systems", Engineering Computations, Vol. 24 No. 4, pp. 319-346.
- Singer, D., (1990), "A fuzzy set approach to fault tree and reliability analysis", Fuzzy Sets System, Vol. 34, No. 2, pp. 145-155.
- Sharma, S.P., Garg, H., (2011), "Behavioral analysis of a urea decomposition system in a fertilizer plant", International Journal of Industrial and System Engineering, Vol. 8, No.3, pp. 271-97.
- Verma, M., Kumar, A., Singh, V., (2013), "Vague reliability assessment of combustion system using Petri nets and vague  $\lambda$ - $\tau$