

## بهینه‌سازی مسئله قابلیت اطمینان - افزونگی با استفاده از استراتژی فعال و ذخیره-سرد با رویکرد اعدادفازی مثلثی

مریم گنجی

دانشجوی دکتری، مجتمع مدیریت و مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران. maryamganji.mg@gmail.com

محمدحسین کریمی گوارشکی

دانشیار، مجتمع مدیریت و مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران. Mh\_karimi@mut.ac.ir

جعفر قیدرخلجانی

(نویسنده عهده‌دار مکاتبات) دانشیار، مجتمع مدیریت و مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران. kheljani@mut.ac.ir

مرتضی عباسی

استادیار، مجتمع مدیریت و مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران. mabbasi@mut.ac.ir

**چکیده:** امروزه با پیچیده‌تر شدن سیستم‌ها مفهوم قابلیت اطمینان و بهینه‌سازی آن در بسیاری از جوامع تحقیقاتی و صنعتی مورد پژوهش و بررسی قرار گرفته است. کاربرد این مفهوم را می‌توان در بسیاری از سیستم‌های صنعتی، ارتباطات، ماهواره‌ای و... مشاهده نمود. در مراحل اولیه‌ی طراحی سیستم بسیاری از ویژگی‌های سیستم نظیر قابلیت اطمینان، وزن، هزینه و... به دلایل گوناگون مانند طول عمر، شرایط عملیاتی و... با عدم قطعیت همراه است. از آن جا که استفاده از رویکرد احتمالی در حل مسائل قابلیت اطمینان دارای محدودیت‌هایی است و تنها می‌تواند در تحلیل کمی اطلاعات مورد استفاده قرار گرفته و در بسیاری از موارد نتایج مفید و کافی را برای متخصصان پدید نمی‌آورد، لذا استفاده از رویکرد فازی برای حل مسائل بهینه‌سازی قابلیت اطمینان بسیار کارا تر است. یکی از راه‌های بهینه‌سازی قابلیت اطمینان تخصیص افزونگی است. هنگام استفاده از قطعات مازاد در یک زیر سیستم، نحوه استفاده از قطعات مازاد اهمیت ویژه‌ای دارد. در مسائل تخصیص قابلیت اطمینان - افزونگی، قابلیت اطمینان اجزا از قبل مشخص نمی‌باشد و به‌عنوان یک متغیر تصمیم در نظر گرفته می‌شود. در پژوهش حاضر نرخ خرابی اجزای تخصیص‌یافته به هر زیر سیستم به صورت اعداد فازی مثلثی در نظر گرفته شده است و قابلیت اطمینان هر سیستم با دو استراتژی فعال و ذخیره-سرد با استفاده از الگوریتم ژنتیک در دو مسئله الگو و یک سیستم صنعتی در نرم‌افزار متلب محاسبه گردیده است. در پیاده‌سازی الگوریتم ژنتیک، از روش تصادفی، ترنمنت و چرخ رولت برای انتخاب والدین و از انواع گوناگون دو عملگر جهش و تقاطع برای تولید فرزند استفاده گردیده است. نتایج حاصل با رویکرد اعداد فازی مثلثی در انواع سیستم‌های سری، سری- موازی و پیچیده مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته و با نتایج حاصل از حل به روش دقیق مقایسه شده و از نتایج حاصل از حل مدل قطعی بسیار کارا تر است.

**واژگان کلیدی:** مسئله تخصیص قابلیت اطمینان- افزونگی، اعداد فازی مثلثی، الگوریتم ژنتیک، استراتژی فعال، استراتژی ذخیره-سرد.

### ۱- مقدمه

تحقیقاتی بوده است [۱]. هدف از بهینه‌سازی قابلیت اطمینان، بهبود قابلیت اطمینان سیستم می‌باشد. مسئله تخصیص قابلیت اطمینان برای طراحی‌های سیستمی که عمدتاً با استفاده از اجزای خارج از شبکه، مونتاژ و ساخته می‌شود و الزامات قابلیت اطمینان بالایی دارد، مفید است. قابلیت اطمینان سیستم ممکن است از طریق: ۱- افزایش قابلیت اطمینان اجزا ۲- فراهم کردن

قابلیت اطمینان یک سیستم احتمال آن است که سیستم وظایف مورد نظر خود را برای مدت زمان مشخصی بدون هیچ شکست و خرابی و تحت شرایط کاری تعریف شده به انجام رساند. لذا نیاز به بهینه‌سازی قابلیت اطمینان به طور مدام مورد توجه جوامع

گسسته و یا پیوسته است مورد استفاده قرار می‌گیرند [۶]. در سیستم‌های عملی، پارامترهای اجزا مانند قابلیت اطمینان، هزینه، و وزن و... با عدم قطعیت‌های ناشی از عوامل مختلف همراه هستند [۱]. از آنجایی که قابلیت اطمینان یک جزء سیستم به شرایط عملیاتی و محیطی بستگی دارد، بنابراین نمی‌توان عدد ثابتی را که بین صفر و یک قرار دارد، تعیین کرد که قابلیت اطمینان یک جزء را در همه شرایط نشان دهد. علاوه بر این، ممکن است در مرحله طراحی اولیه قابلیت اطمینان یک سیستم محاسبه گردد و از این رو تعیین قابلیت اطمینان سیستم به طور دقیق دشوار است. علاوه بر این، دلایلی نظیر طول عمر، شرایط عملیاتی نامطلوب و پیچیدگی فرآیندهای تولید و... ممکن است هریک از اجزای سیستم را به طور متفاوت تحت تاثیر قرار دهد، لذا مسائل مربوطه در معرض عدم قطعیت است [۸].

از آنجا که رویکرد احتمالی دارای محدودیت‌هایی است و تنها می‌تواند در تحلیل اطلاعات کمی مورد استفاده قرار گیرد، لذا در بسیاری از موارد نتایج مفید و کافی را برای متخصصان در تحلیل و حل مسائل قابلیت اطمینان پدید نمی‌آورد [۸]. از این رو استفاده از رویکرد فازی برای حل مسائل قابلیت اطمینان بسیار کارا تر است. بدین ترتیب، در پژوهش حاضر مسئله تخصیص قابلیت اطمینان - افزونگی با استفاده از رویکرد فازی در محاسبه قابلیت اطمینان اجزا در دو مسئله الگو و در یک سیستم صنعتی با استفاده از الگوریتم ژنتیک مورد بررسی و حل قرار گرفته است.

## ۲- پیشینه پژوهش

در پژوهشی که توسط ماهاپاترا و روی<sup>۳</sup> (۲۰۰۶) انجام گرفته است، به بهبودسازی قابلیت اطمینان غیر قطعی از طریق روش بهبودسازی چندهدفه فازی در سیستم‌های سری و پیچیده پرداخته شده است. از آنجا که کاهش هزینه سیستم و بهبود قابلیت اطمینان یک سیستم به طور همزمان، متناقض است، لذا از روش بهبودسازی چندهدفه فازی استفاده شده است. مثال‌های

جزای اضافی به صورت موازی<sup>۳</sup> - استفاده ترکیبی افزایش قابلیت اطمینان اجزا و تخصیص اجزای اضافی که به صورت موازی ارائه شده‌اند<sup>۴</sup> - تخصیص مجدد اجزای قابل تعویض، افزایش یابد. گزینه‌های دوم و سوم به ترتیب مسئله تخصیص افزونگی<sup>۱</sup> (RAP) و مسئله تخصیص قابلیت اطمینان - افزونگی<sup>۲</sup> (RRAP) نام دارند [۲]. مسئله تخصیص اجزای مازاد (RAP) در سیستم‌های صنعتی، یک مسئله بهبودسازی پیچیده و مشخصی است که می‌تواند به صورت انتخاب بهینه نوع اجزاء مازاد و تعداد قطعات مازاد برای هر زیرسیستم، به منظور بهبودسازی هدف یا اهدافی خاص و با در نظر گرفتن محدودیت‌های سیستم، تعریف شود [۳]. در مسائل تخصیص قابلیت اطمینان - افزونگی، قابلیت اطمینان اجزاء از قبل مشخص نیست و به‌عنوان یک متغیر تصمیم در نظر گرفته می‌شود. در این دسته از مسائل، ویژگی‌های قطعات همچون وزن، هزینه و... به صورت توابعی غیر کاهشی از قابلیت اطمینان آن جزء در نظر گرفته می‌شود [۴] و [۵]. از آنجا که مسئله تخصیص افزونگی یک مسئله برنامه‌ریزی عدد صحیح غیر خطی می‌باشد بنابراین نمی‌تواند به راحتی با استفاده از روش‌هایی مبتنی بر روش جست و جوی گرادیان یا روش‌های جست و جوی ترکیبی به دلیل فضای گسسته ناحیه امکان‌پذیر مسئله مورد حل قرار گیرد. (۶) ثابت شده است که مسئله تخصیص افزونگی در ساده‌ترین فرم خود، یک مسئله NP-Hard است و با افزایش اندازه مسئله و تعداد محدودیت‌ها، حجم محاسبات به صورت نمایی افزایش می‌یابد و لذا محاسبات کامپیوتری فراوانی را می‌طلبد [۷]. لذا با توسعه الگوریتم ژنتیک و دیگر الگوریتم‌های محاسباتی بهبودسازی و الگوریتم‌های تکاملی و ترکیبی، بیشتر محققان علاقه‌مند به استفاده از این روش‌ها برای حل مسئله تخصیص افزونگی هستند. روش‌های فوق انعطاف‌پذیری بیشتری دارند، به فرضیات کمتری در مورد تابع هدف و همچنین محدودیت‌های موجود در مسئله نیاز دارند و پیاده‌سازی آن‌ها آسان‌تر است. همچنین روش‌های مذکور کارآمدتر هستند و صرف نظر از اینکه فضای جستجوی مسئله

<sup>3</sup> Mahapatra & Roy

<sup>1</sup> Redundancy allocation problem

<sup>2</sup> Reliability-redundancy allocation problem

[۱۱]. گارج و شارما<sup>۷</sup> (۲۰۱۳) پژوهشی در زمینه تخصیص قابلیت اطمینان- افزونگی چند هدفه به روش PSO<sup>۸</sup> به انجام رسانده‌اند. در پژوهش فوق، تخصیص قابلیت اطمینان- افزونگی چند هدفه یک سیستم سری که در آن قابلیت اطمینان سیستم و هزینه طراحی متناظر با آن به‌عنوان دو هدف متفاوت در نظر گرفته می‌شوند، انجام گرفته است. به دلیل وجود عوامل غیر قطعی و متناقض، کاهش هزینه سیستم و بهبود قابلیت اطمینان سیستم به طور همزمان دشوار است. لذا در چنین شرایطی، وجود چند هدف باعث ایجاد مسئله بهینه‌سازی چند هدفه<sup>۹</sup> (MOOP) شده است که این امر خود منجر به ارائه راه حل‌های بهینه پارتو به جای یک راه حل بهینه واحد می‌شود. به منظور انعطاف‌پذیرتر کردن مدل و انطباق آن با فرآیند تصمیم‌گیری انسان، محاسبات مسئله بهینه‌سازی فوق با رویکرد برنامه‌ریزی غیر خطی فازی به روش PSO انجام و نتایج حاصل با الگوریتم GA<sup>۱۰</sup> مقایسه شده است. پژوهش فوق در یک کارخانه دارو سازی در هندوستان به انجام رسیده است [۱۲]. ابویی اردکان و زینل همدانی<sup>۱۱</sup> (۲۰۱۴) پژوهشی را در زمینه تخصیص قابلیت اطمینان- افزونگی با استراتژی افزونگی ذخیره سرد به انجام رسانده‌اند. در پژوهش فوق از الگوریتم ژنتیک برای حل مدل ترکیبی عدد صحیح غیر خطی پژوهش استفاده شده و از سه مسئله پنج مارک مشهور برای مقایسه الگوریتم استفاده شده است. نتایج پژوهش فوق حاکی از آن است که استراتژی افزونگی ذخیره سرد عملکرد بهتری نسبت به سایر روش‌های تخصیص افزونگی داشته و قابلیت اطمینان سیستم در مقایسه با سایر استراتژی‌های به کار گرفته شده بالاتر است [۲]. در پژوهشی که توسط گارج و همکارانش<sup>۱۲</sup> (۲۰۱۴) در زمینه تکنیک بهینه‌سازی فازی برای حل مسائل قابلیت اطمینان چندهدفه انجام گرفته است، به بهینه‌سازی قابلیت اطمینان چندهدفه پرداخته شده است که در آن با توجه به در دسترس نبودن تابع توزیع طراحی محصول در مرحله اولیه، قابلیت اطمینان هر یک از اجزای سیستم با در نظر گرفتن عدم

عددی حل شده نشان داده است که تکنیک FNL<sup>۴</sup> در دستیابی به اهداف متقابل در زمانی که پارامترهای مسئله، اهداف تعیین‌شده و محدودیت‌های طراحی به طور دقیق شناخته نشده باشند، کارا می‌باشد [۹]. وی و تیسانگ<sup>۵</sup> (۲۰۱۱) در پژوهش خود از الگوریتم کلونی زنبور عسل برای حل مسئله RAP با در نظر گرفتن محدودیت‌های هزینه، وزن و حجم مسئله استفاده نمودند. در پژوهش فوق تعداد قطعات مازاد و قابلیت اطمینان هر قطعه به‌عنوان متغیرهای تصمیم برای افزایش قابلیت اطمینان سیستم در نظر گرفته شده است. مدل مسئله‌ی مربوطه با استفاده از الگوریتم کلونی زنبور عسل حل شده و نتایج حاصل از اجرای الگوریتم با سایر الگوریتم‌های مشابه مقایسه و کارایی الگوریتم فوق نشان داده شده است [۱۰]. در پژوهشی که توسط ساهو و همکارانش<sup>۶</sup> (۲۰۱۲) به وسیله الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی قابلیت اطمینان چند هدفه در محیط بازه‌ای به انجام رسیده است، چهار مسئله‌ی متفاوت بهینه‌سازی قابلیت اطمینان چند هدفه با مقادیر بازه‌ای برای هر یک از اجزا با به حداکثر رساندن قابلیت اطمینان سیستم و به حداقل رساندن هزینه سیستم تحت چندین محدودیت به انجام رسیده است و سپس مسئله چند هدفه‌ی مذکور با روش جریمه‌ی M بزرگ به مسئله تک‌هدفه تبدیل شده و با روش ژنتیک پیشرفته و با مفهوم بهینگی پارتو محاسبات مسئله‌ی فوق انجام گردیده است. از آنجا که در رویکرد بازه‌ای با مشاهده دقیق مطالعات گذشته (بدون هیچ‌گونه روش پیچیده ریاضی/آماري) می‌توان به راحتی بازه‌ی مناسب را برای نمایش پارامترهای غیر قطعی انتخاب نمود، لذا رویکرد بازه‌ای بهترین رویکرد در میان رویکردهای احتمالی، فازی و فازی تصادفی است. نتایج پژوهش حاکی از آن است که راه‌های متعددی برای افزایش قابلیت اطمینان سیستم وجود دارد که برخی از آن‌ها عبارت‌اند از: ۱- افزایش قابلیت اطمینان هر یک از اجزای یک سیستم، ۲- استفاده از افزونگی موازی برای اجزای با قابلیت اطمینان کمتر، ۳- استفاده از افزونگی آماده به کار

<sup>۹</sup> Multi-objective optimization problem

<sup>۱۰</sup> Genetic algorithm

<sup>۱۱</sup> Abouei Ardakan & Zeinal Hamadani

<sup>۱۲</sup> Garg et.al

<sup>۴</sup> Fuzzy non-linear programming

<sup>۵</sup> Wei & Tsung

<sup>۶</sup> Sahoo et.al

<sup>۷</sup> Garg & Sharma

<sup>۸</sup> Particle swarm optimization

زمینه‌ی بهبودسازی قابلیت اطمینان سیستم از روش GWO<sup>16</sup> جهت حل مسئله‌ی بهبودسازی قابلیت اطمینان استفاده نموده‌اند. نتایج نشان داده که از آن جا که مسائل بهبودسازی قابلیت اطمینان از نظر ماهیت بسیار پیچیده و از نظر محاسباتی NP Hard است، لذا حل آن‌ها در مقایسه با مسئله بهبودسازی غیر خطی عمومی بسیار دشوار است. در نهایت، نتایج حاصل از پژوهش حاکی از آن است که GWO در حل مسائل پیچیده بهبودسازی قابلیت اطمینان عملکرد بالایی دارد، زیرا می‌تواند راه‌حلی ارائه دهد که یا برتر یا قابل مقایسه با بهترین نتایج موجود است [۱۵]. در پژوهشی که توسط موهوری و همکارانش<sup>17</sup> (۲۰۱۷) در زمینه‌ی تخصیص قابلیت اطمینان چندهدفه با عدم قطعیت و تکنیک اعداد فازی نوع دوم به انجام رسیده است، به دلیل عدم قطعیت در پارامترهای مؤلفه‌ها و دشواری محاسبات دقیق قابلیت اطمینان کلی سیستم، هزینه و وزن و غیره در طول زمان طراحی، این پارامترها به‌عنوان کمیت‌های فازی مدل شده‌اند و از آنجا که اعداد فازی نوع اول محدودیت‌هایی در نشان دادن عدم قطعیت‌های مرتبه بالاتر دارند، لذا پارامترهای مؤلفه‌ها شامل قابلیت اطمینان، هزینه، و وزن را با اعداد فازی فاصله‌ای نوع دوم مدل نموده‌اند. لذا در پژوهش فوق فرمول جدیدی برای حل مسئله MORRAP<sup>18</sup> ارائه شده است. مسئله جدید فرموله شده به‌عنوان IT2FMORRAP<sup>19</sup> نامیده شده و با استفاده از روش NSGA-II<sup>20</sup> حل شده است. دو فرمول متفاوت از مسئله، یکی با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان و هزینه به‌عنوان هدف و دیگری با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان و وزن به‌عنوان هدف مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل نشان داده است مدل جدید پیشنهادی بهتر از مدل‌های T1MORRAP<sup>21</sup> و MORRAP عمل نموده است [۱]. ساهو<sup>22</sup> (۲۰۱۷) پژوهشی در زمینه‌ی افزایش قابلیت اطمینان با تخصیص افزونگی در محیط فازی به انجام رسانده است. مسئله‌ی فوق به صورت یک مسئله

قطعیت به صورت عدد فازی مثلثی نشان داده می‌شود که بین صفر و یک قرار دارد. مسئله‌ی فوق با روش PSO حل شده و نتایج محاسبه شده مربوط به مقادیر مختلف قابلیت اطمینان با اعداد فازی توسط روش PSO با نتایج GA برای توابع عضویت خطی و غیر خطی مقایسه گردیده است. پژوهش فوق بر روی چهار سیستم سری، سری-موازی و پیچیده و پشتیبان انجام گرفته است. علاوه بر این، رویکرد فوق برای سیستم قابل تعمیر با در نظر گرفتن هزینه نگهداری و تعمیرات، تجزیه و تحلیل نگهداری پیشگیرانه و غیره گسترش یافته است [۸]. اشرف و همکارانش<sup>13</sup> (۲۰۱۵) پژوهشی در زمینه‌ی تخصیص قابلیت اطمینان - افزونگی به روش PSO با استفاده از اعداد فازی نوع ۲ به انجام رسانده‌اند. در پژوهش فوق پارامترهای اجزای سیستم به صورت مقدار غیر دقیقی در نظر گرفته شده است، زیرا آن‌ها عموماً توسط طراحان در طول زمان طراحی حدس زده می‌شوند. بدین ترتیب ویژگی‌های مهم سیستم طراحی شده، قابلیت اطمینان، هزینه، وزن و غیره به‌عنوان کمیت فازی در نظر گرفته شده است. در حل مسئله فوق به روش PSO پارامترهای مسئله به صورت کمیت فازی نوع ۲ در نظر گرفته شده است. با مقایسه‌ی نتایج پژوهش فوق با نتایج پژوهش‌های پیشین، نشان داده شده است که رویکرد مبتنی بر عدم قطعیت فازی نوع ۲ از سایر رویکردهای فازی عملکرد بهتری دارد [۱۳]. ابویی اردکان و همکاران<sup>14</sup> (۲۰۱۶) در پژوهش خود فرمول جدیدی برای حل مسئله RAP ارائه نمودند. آن‌ها در پژوهش خود استراتژی جدیدی با عنوان استراتژی مختلط ارائه نمودند که در پژوهش فوق استراتژی مختلط برای حل مسئله RRAP مورد استفاده قرار گرفته است و نتایج حاصل با مسائل حل شده توسط دو استراتژی فعال و ذخیره مقایسه شده است. نتایج حاصل نشان داده است استراتژی فوق از دو استراتژی فعال و ذخیره عملکرد بهتری دارد [۱۴]. کومار و همکارانش<sup>15</sup> (۲۰۱۶) در پژوهش در

<sup>19</sup> Interval type-2 fuzzy multi-objective optimization problem

<sup>20</sup> Non-dominated sorting genetic algorithm-II

<sup>21</sup> Type-1 Multi-objective reliability-redundancy allocation problem

<sup>22</sup> Sahoo

<sup>13</sup> Ashraf et.al

<sup>14</sup> Abouei Ardakan & et.al

<sup>15</sup> Kumar et.al

<sup>16</sup> Gray wolf optimizer

<sup>17</sup> Muhuri et.al

<sup>18</sup> Multi-objective reliability-redundancy allocation problem

عملکرد بهتری داشته است [۱۶]. ریحانه و همکارانش<sup>۲۳</sup> (۲۰۲۰) یک الگوریتم دقیق انشعاب و قیمت جهت تخصیص اجزای مازاد ناهمگن با استراتژی مختلط به منظور بهینه‌سازی قابلیت اطمینان پیشنهاد نموده‌اند. الگوریتم فوق نه تنها اولین الگوریتم دقیقی است که برای RAP با استراتژی مختلط پیشنهاد شده است، بلکه اولین کاربرد الگوریتم BP<sup>۲۴</sup> در پژوهش‌های انجام شده در زمینه مسائل بهینه‌سازی قابلیت اطمینان است. الگوریتم BP هم‌چنین قادر به حل RAP با استراتژی فعال یا آماده به کار است، که امکان بررسی مزایای استراتژی مختلط نسبت به استراتژی‌های فعال و آماده به کار را فراهم می‌کند. الگوریتم فوق می‌تواند در سایر مسائل بهینه‌سازی افزونگی به کار گرفته شود [۱۷]. گل محمدی<sup>۲۵</sup> و ابوبی (۲۰۲۲) در پژوهش خود به مطالعه‌ی یک مدل بهینه‌سازی قابلیت اطمینان با اجزای فعال و آماده به کار پرداختند. در مدل مذکور تعداد اجزای بهینه و فواصل زمانی سیاست بازرسی دوره ای و نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه به منظور جلوگیری از کاهش عملکرد و خرابی اجزای آماده به کار تحت شرایط سخت محیطی با الگوریتم ژنتیک در نرم‌افزار متلب مورد مدل‌سازی و بررسی قرار گرفت و در یک مطالعه موردی در یکی از صنایع تولیدی کارایی مدل مذکور مورد تأیید صنعتگران و خبرگان قرار گرفته است [۱۸]. جدول ۱ خلاصه‌ی پژوهش‌های انجام گرفته را نشان می‌دهد.

برنامه‌ریزی غیر خطی عدد صحیح تک هدفه با محدودیت‌های منابع متعدد فرموله شده است. از آنجا که قابلیت اطمینان اجزا در یک سیستم پیچیده ممکن است به دلایلی مانند امکانات ذخیره‌سازی نامناسب، شرایط محیطی و غیره غیر قطعی باشد، لذا قابلیت اطمینان هر مؤلفه و هم‌چنین سایر پارامترهای مسئله به صورت اعداد فازی مثلثی در نظر گرفته شده است. سپس محدودیت‌های مسئله بهینه‌سازی متناظر با استفاده از دی فازی کردن اعداد فازی، به محدودیت‌های قطعی تبدیل شده است. سپس شاخص رتبه‌بندی یاگر برای دی فازی‌سازی اعداد فازی مورد استفاده قرار گرفته است. هم‌چنین از تابع جریمه  $M$  بزرگ برای تبدیل مسئله بهینه‌سازی محدود به یک مسئله بهینه‌سازی نامحدود استفاده شده است. مسئله‌ی تبدیل‌شده با کمک الگوریتم ژنتیک حل و تجزیه و تحلیل گرافیکی انجام شده است [۶]. پیروی و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهش خود تخصیص اجزای مازاد را با راهبرد مختلط-همزمان به منظور افزایش قابلیت اطمینان سیستم ارائه نمودند. راهبرد فوق تعمیمی از راهبرد مختلط است که تلاش می‌کند تعداد دفعات سویچ را کاهش دهد و در نتیجه قابلیت اطمینان سیستم را بهبود بخشد. در پژوهش فوق ابتدا فرمول محاسباتی راهبرد مذکور محاسبه گردیده و به منظور ارزیابی راهبرد جدید و مقایسه‌ی آن با راهبردهای پیشین و با توجه به پیچیدگی فرمول راهبرد جدید، دو زیر سیستم با چهار و پنج قطعه در نظر گرفته شده است و قابلیت اطمینان آن با راهبردهای متفاوت بررسی و مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد راهبرد مذکور نسبت به بیشتر حالات راهبرد ذخیره و فعال و برخی از حالات مختلف راهبرد مختلط

<sup>25</sup>Golmohammadi

<sup>23</sup> Reihaneh et.al

<sup>24</sup> Branch-and-price

جدول ۱- خلاصه‌ی پژوهش‌های انجام گرفته

پژوهشگر	تک‌هدفه	چند هدفه	روش حل فرا ابتکاری	مدل قطعی	عدم قطعیت در مدل	تخصیص قابلیت اطمینان - افزونگی با استفاده استراتژی خاص
ماهاپاترا و روی	*	*			*	
وی و تیسانگ	*		*	*		
ساهو و همکاران		*	*	*	*	
گارج و شارما		*	*	*	*	
ابویی اردکان و همکاران	*		*	*		*
گارج و همکاران		*	*	*	*	
اشرف و همکاران		*	*	*	*	
ابویی اردکان و همکاران	*		*	*		*
کومار و همکاران	*		*	*		
مهوری و همکاران		*	*	*	*	
ساهو	*		*	*	*	
پیروی و همکاران	*			*		*
ریحانه و همکاران	*			*		*
گل محمدی و ابویی	*		*	*		
پژوهش حاضر	*		*	*	*	*

## ۳- تشریح روش پیشنهادی

تخصیص قابلیت اطمینان-افزونگی با استراتژی فعال با استفاده از رویکرد اعداد فازی مثلثی در یک سیستم صنعتی و دو مسئله‌ی

الگو



تخصیص قابلیت اطمینان-افزونگی با استراتژی ذخیره-سرد با استفاده از رویکرد اعداد فازی مثلثی در یک سیستم صنعتی و دو مسئله‌ی الگو



تحلیل نتایج حاصل از اجرای دو استراتژی بارویکرد اعداد مثلثی فازی در یک سیستم صنعتی و دو مسئله الگو

امروزه با توسعه‌ی سیستم‌های مدرن و قابل اطمینان، محاسبه و بهینه‌سازی قابلیت اطمینان سیستم‌ها مورد توجه قرار گرفته است. از آنجا که اطلاعات دقیق در مورد سیستم را نمی‌توان به دلیل خطاهای انسانی، امکانات ذخیره‌سازی نامناسب و سایر عوامل مربوط به محیط از پیش تعیین شده جمع‌آوری نمود، لذا محاسبه‌ی قابلیت اطمینان یک جز از یک سیستم به صورت اعداد غیر قطعی در نظر گرفته خواهد شد. در چنین مواردی، اعداد فازی نقش مهمی در مقابله با چنین امری دارد. لذا در پژوهش فوق، مسئله تخصیص قابلیت اطمینان-افزونگی با دو استراتژی فعال و ذخیره-سرد در یکی از صنایع تولیدی و دو مسئله الگو با در نظر گرفتن رویکرد اعداد مثلثی فازی در محاسبه‌ی قابلیت اطمینان اجزا در نظر گرفته شده است. مدل مفهومی روبرو روش اجرای پژوهش حاضر را نشان می‌دهد.

سیستم سری جز یکی از ساده‌ترین ساختارهای یک سیستم است که در آن همه اجزای سیستم باید به گونه‌ای صحیح کار کنند تا کل سیستم درست کار کند. در سیستم سری، افزودن اجزایی که قابلیت اطمینان آن‌ها از قابلیت اطمینان کل سیستم کمتر است باعث کاهش قابلیت اطمینان کل خواهد شد و به

#### ۵- الگوریتم ژنتیک

ایده اصلی الگوریتم ژنتیک به این صورت است که فرآیند تکامل طبیعی را به طور مصنوعی تکرار می نماید که در آن جمعیت مورد نظر از طریق عملگرهای ژنتیکی دچار تغییرات مداوم می شوند. به طور کلی، الگوریتم ژنتیک برای حل مسائل بهینه سازی در مقیاس بزرگ و پیچیده که نمی توان به راحتی با روش های ریاضی مبتنی بر روش های مستقیم یا گرادینان حل شود، بسیار مفید است [۶]. این الگوریتم با یک جمعیت اولیه از مجموعه جواب های شدنی برای یک مسئله معین آغاز می شود که در آن هر کدام از نحوه نمایش جواب ها به عنوان یک کروموزوم نشان داده می شود. سپس مقادیر تابع هدف کروموزوم ها مورد ارزیابی قرار می گیرند. با توجه به مقادیر محاسبه شده ی تابع هدف، بهترین کروموزوم های جمعیت به عنوان والد برای تولید نسل انتخاب شده و بدین ترتیب کروموزوم های والد معمولاً توسط دو عملگر ژنتیکی شناخته شده مانند تقاطع و جهش دچار تغییر می شوند.

عملگر تقاطع برای ایجاد نسل، بر روی یک جفت کروموزوم والد اعمال می شود. عملگر جهش با استفاده از اندکی تغییر برای تولید نسل به کار گرفته می شود. کاربرد مکرر عملگرهای ژنتیکی بر روی کروموزوم های والد منجر به بهبود جواب های مسئله می شود. فرآیند مذکور به طور مکرر تکرار می شود تا زمانی که معیار خاتمه مسئله برآورده شود [۱۱].

#### ۶- قابلیت اطمینان سیستم

قابلیت اطمینان یکی از ویژگی های حیاتی عملکرد در رسیدن به طراحی بهینه یک سیستم است، زیرا به طور مستقیم و قابل توجه بر عملکرد سیستم تأثیر می گذارد. قابلیت اطمینان سیستم برای انواع گوناگون سیستم ها به صورت رابطه ی ۲ تعریف می شود [۸]:

$$\text{Max} : R_s = (r_1, r_2, \dots, r_n)$$

(۲)

$$\prod_i^m r_i \quad \text{سیستم سری}$$

جلد ۱۳- شماره ۱- بهار ۱۴۰۲

طور کلی با افزایش تعداد قطعات در این سیستم قابلیت اطمینان سیستم کاهش پیدا می کند. در سیستم های موازی چند مسیر وجود دارد که ورودی را به خروجی متصل می نماید. از این رو، تمامی قطعات می بایست از کار بیفتند تا کل سیستم از کار بیفتد. قابلیت اطمینان سیستم های موازی از قابلیت اطمینان تک تک اجزای سیستم بزرگ تر یا مساوی است و همچنین هر قدر که تعداد اجزای سیستم بیشتر باشد، قابلیت اطمینان سیستم نیز بیشتر خواهد بود. سیستم های پل و پیچیده دارای پیکره بندی منظمی نمی باشند و ارزیابی شاخص قابلیت اطمینان این نوع سیستم ها با کمک احتمالات شرطی امکان پذیر است. سیستم های موازی- سری شامل اتصال موازی M مجموعه هستند. هر مجموع شامل N قطعه است که به صورت سری به یکدیگر متصل شده اند. از این رو، سیستم های موازی-سری نتیجه ی به کارگیری افزونگی چند سطحی در یک سیستم پایه سری می باشند. سیستم های موازی شامل N زیرسیستم می باشند که به صورت سری به یکدیگر متصل هستند. در هر زیرسیستم نیز قطعات به صورت موازی به یکدیگر متصل شده اند.

#### ۴- اعداد فازی مثلثی

اعداد فازی مثلثی اعدادی فازی هستند که به صورت  $\tilde{A} = (a_a, a_b, a_c)$  نشان داده می شوند و تابع درجه ی عضویت آن ها در بازه ی [۰,۱] قرار دارد و در آن  $a_a \leq a_b \leq a_c$  است. رابطه ی (۱) تابع درجه عضویت اعداد فازی مثلثی  $(\mu_{\tilde{A}})$  را نشان می دهد [۶].

$$\left[ \begin{array}{l} \frac{r-a_a}{a_b-a_a} \quad a_a \leq r \leq a_b \\ 1 \quad r = a_b \\ \mu_{\tilde{A}} = \frac{a_c-r}{a_c-a_b} \quad a_b \leq r \leq a_c \end{array} \right] \quad (1)$$

نشریه مهندسی و مدیریت کیفیت

اساس سوابق عملیاتی آن. در این نوع نت اشاره می‌شود که تمام تجهیزات واحدهای صنعتی دارای اهمیت یکسانی نیستند. در این روش از نت به ارائه‌ی برنامه‌ای از نت اشاره می‌شود که مشخص شده است منابع مالی و نیروی کار نامحدود نبوده و استفاده از این منابع به اولویت بندی و بهینه‌سازی نیاز دارد. به طور اختصار RCM یک روش و دیدگاه سیستماتیک برای ارزیابی منابع و تجهیزات واحدهای صنعتی در راستای ارتباط میان این دو پارامتر و دستیابی به درجه‌ی بالایی از کارامدی، کارایی و قابلیت اطمینان در واحدهای صنعتی می‌باشد. به طور کلی RCM علاوه بر مزایای بسیار آن، شرایطی را ایجاد می‌کند که بتوان منابع موجود را با نیازمندی‌ها منطبق نموده و موجب بهبود قابلیت اطمینان و کاهش هزینه‌ها شود. (۱۹) مسئله انتخاب زمان بندی نت نیز یک مسئله با عدم قطعیت زیاد است و لذا به کارگیری عدم قطعیت فازی، اطمینان تصمیم‌گیری را افزایش می‌دهد.

#### ۷- گام‌های محاسباتی الگوریتم ژنتیک

گام ۱: تنظیم تعداد جمعیت اولیه، درصد و نوع عملگر تقاطع<sup>۲۷</sup> و جهش<sup>۲۸</sup>، نرخ عملگر جهش و محدوده‌ی متغیرها.  
 گام ۲: تعیین ماکزیمم شماره نسل فعلی<sup>۲۹</sup> ( $t=0$ ) در ابتدا در نظر گرفته شده است و  $P(t)$  نشان‌دهنده‌ی جمعیت نسل  $t$ ام است  
 گام ۳: تعیین کروموزوم‌های<sup>۳۰</sup> نسل اولیه.  
 گام ۴: ارزیابی مقدار کروموزوم هر نسل با توجه به تابع هدف تعیین شده.  
 گام ۵: انتخاب بهترین کروموزوم از نسل موجود ( $P(t)$ ).  
 گام ۶: رفتن به نسل بعد.  
 گام ۷: در صورتی که معیار توقف برآورده شده باشد به گام ۱۳ و در غیر این صورت به گام بعد بروید.  
 گام ۸: تولید نسل جدید ( $P(t)$ ) با استفاده از نسل قبلی ( $P(t-1)$ ).  
 گام ۹: تولید جمعیت جدید با استفاده از عملگر تقاطع و جهش.

سیستم موازی یا سیستم

ترکیبی سری - موازی

که در آن:

$$r_{i, \min} = < r_i = < r_{i, \max} \quad r_i \in [0, 1]$$

$i=1, 2, \dots, m$  تعداد اجزا

$$R_{s, \min} = < R_s = < 1$$

$r_i =$  قابلیت اطمینان اجزا

$R_s =$  قابلیت اطمینان سیستم

در عمل، مسئله قابلیت اطمینان سیستم ممکن است به‌عنوان یک مسئله برنامه‌ریزی غیر خطی با توابع هزینه غیر خطی مدل شود. عوامل زیادی در تصمیم‌گیری مربوط به مسائل بهینه‌سازی قابلیت اطمینان دخیل هستند. در اغلب موارد، تابع هدف و محدودیت‌های این مسائل به طور دقیق قابل تعیین نیست و از آنجا که رویکرد احتمالی دارای محدودیت‌هایی است و تنها می‌تواند در تحلیل اطلاعات کمی مورد استفاده قرار گیرد، لذا در بسیاری از موارد نتایج مفید و کافی را برای متخصصان در تحلیل و حل مسائل قابلیت اطمینان پدید نمی‌آورد. از این رو، روش بهینه‌سازی با منطق فازی مناسب‌تر است [۸]. از آنجا که قابلیت اطمینان سیستم و هر یک از اجزا به دلیل عوامل گوناگون با عدم قطعیت همراه است، لذا در پژوهش حاضر برای محاسبه‌ی قابلیت اطمینان هر یک از اجزا از رویکرد اعداد فازی مثلثی استفاده شده است.

#### نت مبتنی بر قابلیت اطمینان

در راستای روش‌های نوین نگهداری و تعمیرات، اصلاح کارخانه‌های ساخته شده کار چندان ساده‌ای نبود و به هزینه‌های هنگفتی نیاز داشت. لذا لحاظ نمودن برنامه‌ی اصلاح و رفع عیوب کارخانه‌های فعلی برای طراحی کارخانه‌های جدید اهمیت زیادی یافت و این امر به شکل عملیات بی‌نیاز کردن از تعمیر یا نت با مرکزیت قابلیت اطمینان درآمد. نت با مرکزیت قابلیت اطمینان یا  $RCM^{26}$  عبارت است فرایندی برای تعیین ملزومات نگهداری و تعمیرات هر یک از دارایی‌های فیزیکی بر

<sup>28</sup> Mutation

<sup>29</sup> Maximum generation

<sup>30</sup> Chromosomes

<sup>26</sup> Reliability-Centered Maintenance

<sup>27</sup> Crossover

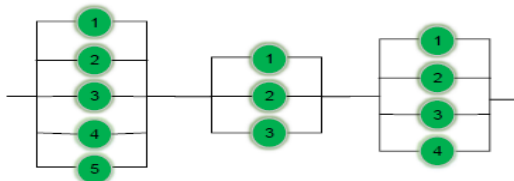
### ۹- عملگر جهش

عملگر جهش با درصد تعریف شده  $T_M$  به کار گرفته خواهد شد. هدف اصلی استفاده از عملگر جهش، افزایش تنوع و جلوگیری از گرفتار شدن در یک نقطه‌ی بهینه محلی است. به منظور انجام عملگر جهش، تعدادی از کروموزوم‌ها بر اساس درصد تعیین شده به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند و مقادیر ژن‌ها با نرخ مشخص شده تغییر می‌نمایند. (۲)

### ۱۰- استراتژی تخصیص قطعات مازاد

#### ۱۰-۱- استراتژی فعال

یکی از استراتژی‌های تخصیص قطعات، استراتژی فعال است. در این استراتژی تمام قطعات اضافه شده به سیستم به صورت فعال از زمان شروع به کار سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرند. هرچند در این سیستم در هر لحظه فقط نیاز به کارکرد یک قطعه است ولی برای کاهش احتمال خرابی سیستم تمامی قطعات به صورت فعال با یکدیگر کار می‌کنند و سیستم زمانی خراب می‌شود که تمام قطعات از کار بیفتند. شکل ۱ نمایی از تخصیص قطعات مازاد به صورت فعال را نشان می‌دهد.



شکل ۱: تخصیص قطعات مازاد به صورت فعال

قابلیت اطمینان هر زیر سیستم از رابطه‌ی ۳ قابل محاسبه

است. (۱۴)

(۳)

$$R = (1 - (1 - r_i(t))^{n_i})$$

$R =$  قابلیت اطمینان زیر سیستم

گام ۱۰: ارزیابی مقدار هر کروموزوم با استفاده از تابع هدف. گام ۱۱: مقایسه‌ی کروموزوم نسل جدید  $(P(t))$  و نسل قبلی  $(P(t-1))$ . و یافتن بهترین کروموزوم و ذخیره بهترین مقدار.

گام ۱۲: رفتن به گام ۶.

گام ۱۳: انتخاب بهترین کروموزوم برای جواب بهینه.

گام ۱۴: خاتمه الگوریتم.

در ابتدا تعداد جمعیت اولیه تعیین می‌شود. سپس محدوده‌ی متغیرها، درصد و نوع عملگر تقاطع و جهش و نرخ عملگر جهش تعیین می‌شود. در گام بعد شماره‌ی نسل فعلی تعیین می‌شود. پس از تعیین شماره‌ی نسل، ساختار کروموزوم با توجه به نوع مسئله تعیین می‌شود. پس از تعیین ساختار کروموزوم، مقدار هر کروموزوم با توجه به تابع هدف تعیین شده، ارزیابی می‌شود و سپس بهترین کروموزوم از نسل موجود به عنوان کروموزوم والد با یکی از روش‌های ترنمنت<sup>۳۱</sup>، رولت ویل<sup>۳۲</sup> و ... برای انجام عملگر تقاطع و جهش انتخاب شده و سپس نسل بعد با استفاده از عملگرهای مذکور تولید می‌گردد. در این مرحله،

در صورتی که معیار توقف الگوریتم برآورده شده باشد، جواب بهینه مسئله حاصل گردیده و در غیر این صورت، مجدداً بهترین کروموزوم والد با استفاده از یکی از روش‌های موجود انتخاب گردیده و نسل جدید با یکی از انواع عملگر تقاطع و جهش تولید می‌گردد. مجدداً ارزیابی هر کروموزوم با توجه به تابع هدف تعیین شده، انجام گرفته و بهترین کروموزوم از بین کروموزوم‌های نسل جدید و نسل قبل مشخص گردیده و گام ۶ مجدداً تا زمان خاتمه‌ی الگوریتم ادامه می‌یابد.

### ۸- عملگر تقاطع

عملگر تقاطع با درصد تعریف شده IC اعمال می‌شود. عملگر تقاطع بر روی دو یا چند والد اعمال می‌گردد و با ترکیب ویژگی‌های والدین فرزندان را تولید می‌نماید. (۶)

<sup>32</sup> Roulette wheel

<sup>31</sup> Tournament

$r_i =$  قابلیت اطمینان اجزا

$n_i =$  تعداد اجزا در هر زیر سیستم

کویت [۲۱] برای محاسبه میزان قابلیت اطمینان یک زیرسیستم هنگامی که از استراتژی تخصیص ذخیره-سرد و سیستم سوئیچینگ ایده آل استفاده شود معادله زیر را ارائه داد. رابطه‌ی ۴ یک فرم کلی برای محاسبه قابلیت اطمینان است که برای تمامی توزیع‌های زمان تا خرابی قابل استفاده است.

$$R_i(t) = r_i(t) + \sum_{x=1}^{n_i-1} \int_0^t r_i(t-u) f_i^{(x)}(u) du \quad (۴)$$

به منظور محاسبه قابلیت اطمینان یک زیرسیستم با سوئیچینگ غیر ایده‌آل، رابطه‌ی ۵ و ۶ ارائه شده است. در پژوهش حاضر از سوئیچینگ غیر ایده‌آل پیوسته استفاده شده است.

$$R_i(t) = r_i(t) + \sum_{x=1}^{n_i-1} \int_0^t \rho_i^x(u) r_i(t-u) f_i^{(x)}(u) du \quad (۵)$$

۱- سیستم نظارت و سوئیچینگ پیوسته

در این رابطه  $\rho_i^x(u)$  قابلیت اطمینان سیستم سوئیچینگ در زمان  $u$  است.

$$R_i(t) = r_i(t) + \sum_{x=1}^{n_i-1} \rho_i^x \int_0^t r_i(t-u) f_i^{(x)}(u) du \quad (۶)$$

۲- فعال شدن سوئیچ در زمان وقوع یک خرابی

در این رابطه  $\rho_i^x$  قابلیت اطمینان سیستم سوئیچینگ به صورت گسسته می باشد.

همان طور که توسط کویت (۲۲) نشان داده است، یافتن یک فرم صریح برای انتگرال‌هایی شبیه به رابطه ۶ بسیار دشوار است. لذا، یک حد پایین  $\bar{R}_i(t)$  برای این معادله به صورت رابطه ۷ قابل ارائه است.

$$\rho_i(t) \sum_{x=1}^{n_i-1} \int_0^t r_i(t-u) f_i^{(x)}(u) du + \bar{R}_i(t) = r_i(t) \quad (۷)$$

دلیل این تقریب این است که برای تمام  $u \leq t$  همواره داریم:

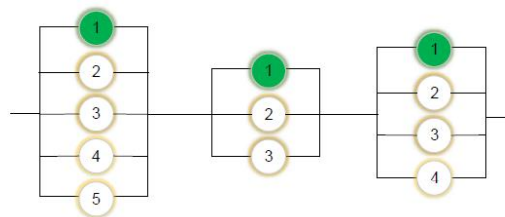
$$\rho_i(t) \leq \rho_i(u)$$

اگر زمان تا خرابی قطعات به صورت نمایی فرض شود، رخداد خرابی در زیرسیستم‌ها را می‌توان به صورت توزیع پواسن قبل از رخداد  $n_i$  امین خرابی در نظر گرفت.

در این حالت قابلیت اطمینان زیرسیستم را می‌توان به صورت احتمال رخداد کمتر از  $n_i$  عدد از خرابی‌هایی با توزیع پواسن

نوع دیگری از استراتژی تخصیص قطعات مازاد استراتژی ذخیره (آماده به کار) است که به حالتی اطلاق می‌شود که در آن قطعات مازاد اضافه شده به یک زیرسیستم به صورت ذخیره مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این استراتژی یک قطعه به صورت فعال کار می‌کند و سایر قطعات اضافه شده به صورت ذخیره و آماده به کار قرار می‌گیرند.

قطعات ذخیره به هنگام خرابی قطعه فعال وارد مدار می‌شوند. در این نوع سیستم، به هنگام خرابی یک قطعه فعال، یک سوئیچ الکترونیکی یا مکانیکی قطعه ذخیره بعدی را وارد مدار می‌کند که عملکرد این سوئیچ نیز با خطا مواجه است. شکل ۲ نمایی از تخصیص قطعات مازاد به صورت آماده به کار را نشان می‌دهد.



شکل ۲- تخصیص قطعات مازاد به صورت آماده به کار

برای استراتژی قطعات مازاد ذخیره، سه حالت ذخیره سرد<sup>۳۳</sup>، ذخیره گرم<sup>۳۴</sup> و ذخیره داغ<sup>۳۵</sup> وجود دارد. در حالت ذخیره-سرد، قطعات ذخیره در برابر استرس‌های ناشی از عملکرد سیستم محافظت می‌شوند و لذا قطعات قبل از استفاده شدن خراب نمی‌شوند. در استراتژی ذخیره-گرم، قطعات نسبت به حالت ذخیره-سرد بیشتر در معرض استرس‌های عملکرد سیستم قرار دارند و در استراتژی ذخیره-داغ، رخداد یک شکست در قطعه به استفاده و یا عدم استفاده از آن قطعه ارتباطی ندارد [۲۰] و [۲۱].

<sup>35</sup> Hot-Standy

<sup>33</sup> Cold-Standy

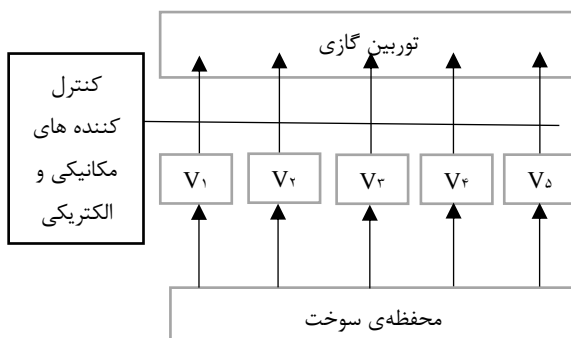
<sup>34</sup> Warm-Standy

دهه گذشته برای حل مسائل قابلیت اطمینان مورد استفاده قرار گرفته است [۲]. لذا مطابق با پژوهش‌های انجام گرفته‌ی پیشین، مسئله‌ی تخصیص قابلیت اطمینان-افزونی با پنج زیر سیستم نیز از جمله مسائل NP-Hard به شمار می‌آید و در پژوهش حاضر برای حل آن از الگوریتم ژنتیک در نرم‌افزار متلب استفاده می‌شود.

### ۱۱-۱- سیستم سری

اولین مسئله مورد بررسی یک سیستم محافظ فوق سریع توربین گازی است. سیستم محافظ فوق سریع توربین گازی یک سیستم واقعی و بسیار پرکاربرد است و در بسیاری از پژوهش‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. (۲۳-۳۲)

در این سیستم، با استفاده از زیرسیستم‌های الکترونیکی و مکانیکی به صورت پیوسته، از توربین گازی محافظت می‌شود. هنگامی که یک نشتی یا خرابی رخ دهد، لازم است مسیر ورود سوخت به سرعت بسته شود. اگر یکی از این شیرها به درستی کار نکند، سوخت و اکسیژن وارد مخزن شده و انفجار رخ می‌دهد. این سیستم کنترلی به صورت یک سیستم سری با ۵ زیرسیستم مدل می‌شود. ساختار سیستم محافظ فوق سریع توربین گازی در شکل ۳ نمایش داده شده است.



شکل ۳- سیستم محافظ فوق سریع توربین گازی

تصمیم می‌باشند که نشان دهنده‌ی قابلیت اطمینان اجزا و تعداد اجزا می‌باشند. از آن جا که قابلیت اطمینان سیستم و هر یک از

جلد ۱۳- شماره ۱- بهار ۱۴۰۲

فرض نمود. بنابراین می‌توان انتگرال مورد نظر را به صورت رابطه ۸ بیان داشت که به مراتب برای حل ساده تر است. (۲۲)

$$\int_0^t r_i(t-u) f_i^{(x)}(u) du = \frac{e^{-\lambda_i t} (\lambda_i t)^x}{x!} \quad (۸)$$

لذا قابلیت اطمینان یک زیرسیستم با استراتژی ذخیره-سرد مطابق با رابطه ۹ قابل محاسبه است.

$$\bar{R}_i(t) = r_i(t) + \rho_i(t) \sum_{x=1}^{n_i-1} \frac{e^{-\lambda_i t} (\lambda_i t)^x}{x!}$$

$\lambda_i$  = نرخ خرابی اجزا

$\rho_i$  = قابلیت اطمینان سوئیچ

$r_i$  = قابلیت اطمینان اجزا

$n_i$  = زمان ماموریت

$n_i$  = تعداد اجزا

(۹)

### ۱۱- بهینه‌سازی قابلیت اطمینان

از آنجایی که ثابت شده است که مسائل RAP و RRAP در ساده ترین نوع خود از دسته مسائل بهینه‌سازی NP-hard به شمار می‌آیند، حل آن‌ها با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی سنتی بسیار دشوار و زمان بر است. به همین دلیل، الگوریتم‌های فراابتکاری متعددی مانند الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها، شبکه‌های عصبی مصنوعی، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات و ترکیبی از این الگوریتم‌ها به طور گسترده در

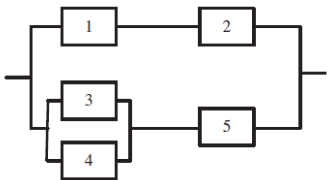


مدل مسئله‌ی اول به صورت رابطه ۱۰ می‌باشد. (۲) سیستم مورد بررسی متشکل از پنج زیر سیستم می‌باشد و  $\Gamma_i$  و  $\Pi_i$  دو متغیر

نشریه مهندسی و مدیریت کیفیت

۱۱-۲- سیستم سری - موازی

مسئله‌ی دوم یک سیستم سری- موازی می‌باشد و در یک مسئله‌ی الگو مورد بررسی قرار گرفته است که متشکل از پنج زیر سیستم می‌باشد. مدل مسئله دوم به صورت رابطه ۱۱ می‌باشد. (۲) شکل ۵ سیستم سری- موازی مربوطه را نشان می‌دهد.



شکل ۵: سیستم سری- موازی

$$\begin{aligned} \text{Max } f(\widetilde{r}, \widetilde{n}) &= 1 - (1 - \widetilde{R}_1(t) \cdot \widetilde{R}_2(t)) (1 - (\widetilde{R}_3(t) + \widetilde{R}_4(t) - \widetilde{R}_3(t) \cdot \widetilde{R}_4(t)) \cdot \widetilde{R}_5(t)) \\ g_1(r, n) &< V \\ g_1(r, n) &< C \\ g_1(r, n) &< W \\ 0 \leq r_i \leq 1 \quad r_i \in R \quad n_i \in Z^+ \\ 1 \leq i \leq m \end{aligned} \quad (11)$$

۱۱-۳- سیستم پیچیده

مسئله‌ی سوم نیز یک سیستم پیچیده می‌باشد و در یک مسئله الگو مورد بررسی قرار گرفته است که متشکل از پنج زیر سیستم می‌باشد. مدل مسئله سوم به صورت رابطه ۱۲ است [۲]. شکل ۶ سیستم پیچیده مربوطه را نشان می‌دهد.

$$\begin{aligned} \text{Max } f(\widetilde{r}, \widetilde{n}) &= \widetilde{R}_1(t) \cdot \widetilde{R}_2(t) + \widetilde{R}_3(t) \cdot \widetilde{R}_4(t) \\ &+ \widetilde{R}_1(t) \cdot \widetilde{R}_4(t) \cdot \widetilde{R}_5(t) \\ &+ \widetilde{R}_2(t) \cdot \widetilde{R}_3(t) \cdot \widetilde{R}_5(t) \\ &- \widetilde{R}_1(t) \cdot \widetilde{R}_2(t) \cdot \widetilde{R}_3(t) \cdot \widetilde{R}_4(t) - \\ &\widetilde{R}_1(t) \cdot \widetilde{R}_2(t) \cdot \widetilde{R}_3(t) \cdot \widetilde{R}_5(t) - \widetilde{R}_1(t) \cdot \widetilde{R}_2(t) \cdot \widetilde{R}_4(t) \cdot \widetilde{R}_5(t) - \\ &\widetilde{R}_1(t) \cdot \widetilde{R}_3(t) \cdot \widetilde{R}_4(t) \cdot \widetilde{R}_5(t) - \\ &\widetilde{R}_2(t) \cdot \widetilde{R}_3(t) \cdot \widetilde{R}_4(t) \cdot \widetilde{R}_5(t) + \\ &2\widetilde{R}_1(t) \cdot \widetilde{R}_2(t) \cdot \widetilde{R}_3(t) \cdot \widetilde{R}_4(t) \cdot \widetilde{R}_5(t) \end{aligned} \quad (12)$$

اجزا به دلیل عوامل گوناگون با عدم قطعیت همراه است، لذا قابلیت اطمینان هر یک سیستم با در نظر گرفتن اعداد فازی مثلثی در پارامترهای توابع خرابی محاسبه گردیده است. در پژوهش حاضر دو استراتژی فعال و ذخیره-سرد مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته شده است.

$$\begin{aligned} \text{Max } f(\widetilde{r}, \widetilde{n}) &= \prod_{i=1}^5 \widetilde{R}_i(n_i, t) \\ g_1(r, n) &= \sum_{i=1}^m w_i v_i^2 n_i^2 \leq V \\ g_2(r, n) &= \sum_{i=1}^m \alpha_i \left( \frac{-1000}{\ln r_i} \right)^{\beta_i} [n_i e^{0.25n_i}] \\ &\leq C \\ g_3(r, n) &= \sum_{i=1}^m w_i n_i e^{0.25n_i} \\ &\leq W \\ 0 \leq r_i \leq 1 \quad r_i \in R \quad n_i \in Z^+ \\ 1 \leq i \leq m \end{aligned} \quad (10)$$

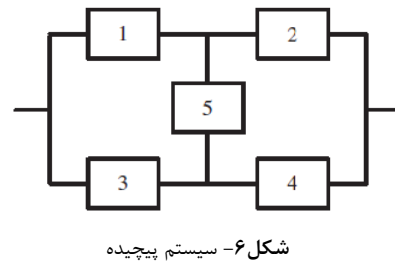
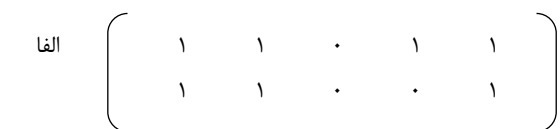
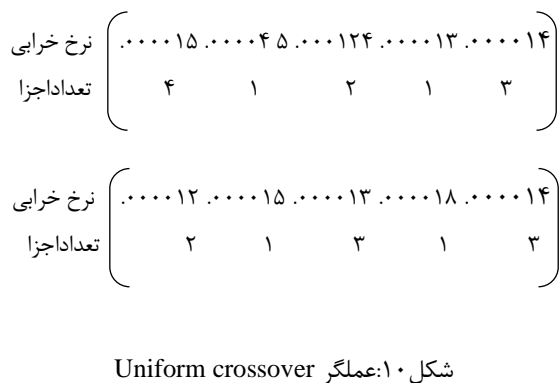
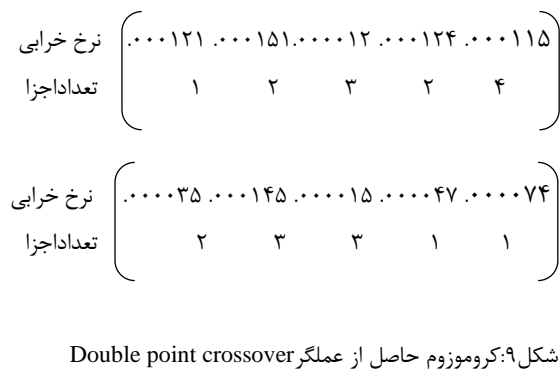
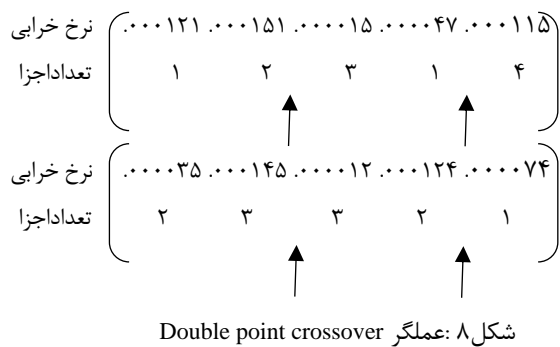
در رابطه‌ی فوق تابع هدف به منظور حداکثر کردن قابلیت اطمینان کل سیستم است. محدودیت اول محدودیتی است که ترکیبی از وزن سیستم، تعداد قطعات و حجم سیستم را ارائه می‌دهد.  $V$  حد بالایی برای مجموع حاصل ضرب حجم و وزن و تعداد قطعات در زیرسیستم‌ها است. محدودیت دوم و سوم به ترتیب محدودیت هزینه و وزن را لحاظ می‌کنند.  $C$  حد بالا برای هزینه سیستم و  $W$  حد بالا برای وزن سیستم است.  $v_i$ ،  $w_i$  و  $C_i$  و  $n_i$  به ترتیب وزن، حجم و هزینه و تعداد قطعه استفاده شده در زیر سیستم  $i$ ام است.

پارامتر  $\alpha_i$  و  $\beta_i$  مشخصه‌های فیزیکی قطعه استفاده شده در زیر سیستم  $i$ ام می‌باشند. شکل ۴ سیستم سری مربوطه را نشان می‌دهد.



شکل ۴: سیستم سری

crossover و Uniform crossover و در عملگر جهش از روش Max-Min mutation استفاده شده است. اشکال ۸-۱۴ نحوه‌ی استفاده از عملگرهای فوق الذکر را نشان می‌دهند.



در محاسبات الگوریتم ژنتیک از نرم‌افزار متلب و برای انتخاب کروموزوم های والد از روش‌های تصادفی، چرخ رولت و ترنمنت استفاده گردیده است. پارامترهای الگوریتم نظیر تعداد جمعیت اولیه، تعداد تکرار الگوریتم برای رسیدن به جواب بهینه، درصد عملگر تقاطع و جهش، نرخ عملگر جهش و فشار چرخ رولت<sup>۳۶</sup> و سایز ترنمنت به ترتیب ۵۰۰، ۵، ۰.۲، ۰.۴، ۰.۸، ۱۰۰، ۵۰ می باشند.

در محاسبات مسئله تخصیص قابلیت اطمینان- افزونگی نرخ خرابی اجزای تخصیص یافته به هر زیر سیستم به صورت اعداد فازی مثلثی به صورت بازه  $\lambda = (\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$  در نظر گرفته شده است و اعداد فازی مثلثی با استفاده از رابطه ۱۳ به روش مرکز ثقل به اعداد قطعی تبدیل شده است [۳۳]. بدین ترتیب قابلیت اطمینان هر سیستم با رویکرد اعداد فازی مثلثی با استفاده الگوریتم ژنتیک در نرم‌افزار متلب محاسبه گردیده است.

(۱۳)

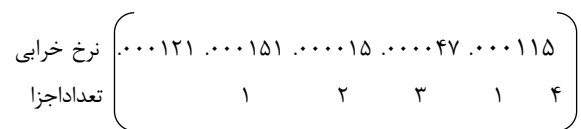
$$X_m^1 = \frac{\lambda_l + \lambda_m + \lambda_u}{3}$$

$$X_m^2 = \frac{\lambda_l + 2\lambda_m + \lambda_u}{4}$$

$$X_m^3 = \frac{\lambda_l + 4\lambda_m + \lambda_u}{6}$$

$$\lambda = \text{Max} (X_m^1, X_m^2, X_m^3)$$

ساختار کروموزوم مسئله در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۷: ساختار کروموزوم

در استفاده از عملگر تقاطع از روش‌های Double point

<sup>36</sup> Roulette wheel selection pressure



ابتکاری ژنتیک با نتایج محاسبات دقیق مقایسه گردیده است.

جدول ۳: نتایج استراتژی فعال سیستم سری

$n_i$	(۱,۴,۱,۱,۴)
$\lambda_i$	.۰۰۰۱۳۳۴۵
$\lambda_i$	.۰۰۰۰۱۱۸۵
$\lambda_i$	.۰۰۰۰۱۶۶۱
$\lambda_i$	.۰۰۰۰۴۷۵۱
$\lambda_i$	.۰۰۰۱۱۵۱۴
$f(r, n)$	.۹۴۶۸۲۵۹۵

popc = popc(:);

for k=1: nm

i = randi([1 nPop]);

p = pop(i);

popm(k) = Mutate(p, mu);

popm(k) = Reli Function (popm(k));

end

end

داده‌های مورد استفاده برای حل مسائل در جدول ۲ نشان داده

شده است.

جدول ۲: داده‌های مورد استفاده برای حل مسائل

زیرسیستم	$10^5 \alpha_i$	$\beta_i$	$v_i$	$w_i$
۱	۱	۱.۵	۱	۶
۲	۲.۳	۱.۵	۲	۶
۳	۰.۳	۱.۵	۳	۶
۴	۲.۳	۱.۵	۲	۷
۵	۲.۷	۱.۵	۳	۵
	<b>v</b>	<b>c</b>	<b>w</b>	<b>t</b>
	۲۵۰	۴۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰

جدول ۴: نتایج استراتژی ذخیره-سرد سیستم سری

$n_i$	(۳,۲,۲,۴,۱)
$\lambda_i$	.۰۰۰۰۱۷۳۴
$\lambda_i$	.۰۰۰۰۱۲۵۵
$\lambda_i$	.۰۰۰۰۱۲۵۹
$\lambda_i$	.۰۰۰۱۰۶۴۳
$\lambda_i$	.۰۰۰۰۱۱۳۳
$f(r, n)$	.۹۴۱۲۳۶۲۲

از آنجا که مسئله‌ی تخصیص قابلیت اطمینان-افزونگی در ساده‌ترین نوع خود به دسته مسائل NP-hard تعلق دارد و با افزایش اندازه‌ی مسئله و محدودیت‌ها، حجم محاسبات به صورت نمایی افزایش می‌یابد. لذا حل آن‌ها باروش‌های سنتی بسیار زمان‌بر و دشوار است و عموماً از الگوریتم‌های فرا ابتکاری برای حل این دسته از مسائل استفاده می‌شود. در پژوهش حاضر نیز از الگوریتم ژنتیک برای حل مسائل تخصیص قابلیت اطمینان-افزونگی در نرم‌افزار متلب استفاده شده است [۳۴].

جدول ۵: نتایج استراتژی فعال سیستم سری- موازی

$n_i$	(۱,۴,۲,۴,۳)
$\lambda_i$	.۰۰۰۰۱۹۳۴
$\lambda_i$	.۰۰۰۰۱۲۵۵
$\lambda_i$	.۰۰۰۰۱۴۵۹
$\lambda_i$	.۰۰۰۱۰۴۴۳
$\lambda_i$	.۰۰۰۰۱۱۳۳
$f(r, n)$	.۹۸۷۲۹۶۷۸

جدول ۸-۳ حل مسئله‌ی تخصیص قابلیت اطمینان-افزونگی با دو استراتژی فعال و ذخیره-سرد، در هر یک از انواع سیستم‌های سری، سری- موازی و پیچیده که شامل پنج زیر سیستم می‌باشند را با استفاده از روش بهینه‌سازی دقیق نشان می‌دهند. در محاسبات مسائل تخصیص قابلیت اطمینان-افزونگی،  $n_i$  تعداد قطعات تخصیص یافته به هر زیرسیستم و  $\lambda_i$  نرخ خرابی اجزای تخصیص یافته به هر زیر سیستم می‌باشد. در ادامه مسائل فوق با استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک مورد حل قرار گرفته و نتایج حاصل از استفاده از الگوریتم فرا

جدول ۶: نتایج استراتژی ذخیره-سرد سیستم سری- موازی

$n_i$	(۲,۱,۲,۴,۱)
$\lambda_i$	.۰۰۰۰۱۲۱۴
$\lambda_i$	.۰۰۰۰۱۳۱۶
$\lambda_i$	.۰۰۰۰۱۸۸۴
$\lambda_i$	.۰۰۰۱۷۴۱۱
$\lambda_i$	.۰۰۰۰۱۳۲۹
$f(r, n)$	.۹۸۲۳۲۶۸۹

$(\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$	.۰۰۰۱۱۵۷۴	.۰۰۰۱۷۴۵۸	.۰۰۰۱۸۱۵۱
$n_i$	(۱,۲,۳,۱,۴)	(۲,۳,۳,۲,۱)	(۴,۱,۳,۱,۲)
$f(r, n)$	.۹۶۳۲۱۴۶۵	.۹۶۴۱۶۱۲۳	.۹۶۴۷۳۷۹۸
MPI	۳۳.۶۸۵۶		

جدول ۷: نتایج استراتژی فعال سیستم پیچیده

$n_i$	(۲,۱,۳,۱,۱)
$\lambda_i$	.۰۰۰۰۸۴۱۴
$\lambda_i$	.۰۰۰۱۳۲۲۱
$\lambda_i$	.۰۰۰۰۱۰۱۱
$\lambda_i$	.۰۰۰۱۸۱۱۲
$\lambda_i$	.۰۰۰۰۱۲۳۱
$f(r, n)$	.۹۸۱۱۱۳۵۲

جدول ۱۰: نتایج استراتژی ذخیره-سرد سیستم سری

$(\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$	.۰۰۰۰۱۰۲۴	.۰۰۰۰۱۲۳۴	.۰۰۰۰۱۳۴۸
$(\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$	.۰۰۰۰۱۵۱۲	.۰۰۰۰۲۵۴۳۳	.۰۰۰۰۲۷۴۵
$(\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$	.۰۰۰۰۲۴۳۱	.۰۰۰۰۳۳۲۶	.۰۰۰۰۳۴۴۷
$(\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$	.۰۰۰۰۱۳۵۷	.۰۰۰۰۱۸۹۹	.۰۰۰۰۱۹۱۴
$(\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$	.۰۰۰۰۱۴۵۲	.۰۰۰۰۱۶۴۶	.۰۰۰۱۲۴۵۳
$n_i$	(۴,۱,۲,۱,۳)	(۲,۱,۳,۱,۳)	(۴,۱,۲,۱,۲)
$f(r, n)$	.۹۵۱۲۴۸۴۵	.۹۶۴۵۸۹۷۹	.۹۶۵۴۸۷۶۳
MPI	۴۱.۲۶۹۳		

جدول ۸: نتایج استراتژی ذخیره-سرد سیستم پیچیده

$n_i$	(۲,۳,۲,۱,۱)
$\lambda_i$	.۰۰۰۰۲۱۰۳۱
$\lambda_i$	.۰۰۰۰۲۴۲۴
$\lambda_i$	.۰۰۰۱۳۱۳
$\lambda_i$	.۰۰۰۰۲۱۴۳
$\lambda_i$	.۰۰۰۰۸۱۴۱
$f(r, n)$	.۹۸۱۰۲۲۱۱

جدول ۱۱: نتایج استراتژی فعال سیستم سری- موازی

$(\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$	.۰۰۰۰۱۲۳۴	.۰۰۰۰۱۳۳۳	.۰۰۰۰۱۴۴۱
$(\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$	.۰۰۰۰۱۲۵۵	.۰۰۰۰۱۳۱۲	.۰۰۰۰۱۵۰۱
$(\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$	.۰۰۰۰۱۴۵۹	.۰۰۰۰۱۵۱۵	.۰۰۰۱۱۱۳۲
$(\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$	.۰۰۰۱۰۴۴۳	.۰۰۰۰۱۱۶۱	.۰۰۰۱۲۵۳۱
$(\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$	.۰۰۰۰۱۱۳۳	.۰۰۰۰۱۴۹۱	.۰۰۰۰۱۶۲۱
$n_i$	(۱,۴,۲,۴,۳)	(۲,۴,۳,۲,۳)	(۴,۲,۴,۱,۲)
$f(r, n)$	.۹۹۴۵۱۲۴۱	.۹۹۴۵۹۵۴۶	.۹۹۶۷۹۶۸۹
MPI	۷۴.۷۸۵۰		

جدول ۱۲: نتایج استراتژی ذخیره- سرد سیستم سری- موازی

$(\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$	.۰۰۰۰۱۰۳۴	.۰۰۰۰۱۱۳۳	.۰۰۰۰۱۳۰۱
$(\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$	.۰۰۰۰۱۲۱۶	.۰۰۰۰۱۳۱۳	.۰۰۰۰۱۴۱۲
$(\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$	.۰۰۰۰۱۱۷۴	.۰۰۰۰۱۲۲۱	.۰۰۰۰۱۹۷۸
$(\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$	.۰۰۰۱۰۴۱۱	.۰۰۰۰۱۱۴۸	.۰۰۰۰۱۴۸۷
$(\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$	.۰۰۰۰۱۵۱۹	.۰۰۰۱۰۴۱۱	.۰۰۰۱۱۶۴۸
$n_i$	(۱,۴,۲,۴,۳)	(۲,۴,۳,۲,۳)	(۴,۲,۴,۱,۲)
$f(r, n)$	.۹۹۴۶۵۳۵۲	.۹۹۵۱۵۸۷۶	.۹۹۵۶۷۸۹۵
MPI	۸۶.۸۶۶۷		

نتایج حاصل از حل مسائل با استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک و چندین مرحله اجرای الگوریتم و سه مورد از بهترین جواب های بهینه بدست آمده برای دو استراتژی فعال و ذخیره-سرد در جداول ۱۴-۹ نشان داده شده است. شاخص  $MPI^{37}$  حداکثر بهبود ایجاد شده با استفاده از حل با الگوریتم فراابتکاری ژنتیک با رویکرد اعداد فازی مثلثی در مقابل حل با روش دقیق را نشان می دهد و با استفاده از رابطه ۱۴ قابل محاسبه است. [۲]

$$(14)$$

$$MPI = \left( \frac{R_{GA} - R_E}{1 - R_E} \right) * 100$$

جدول ۹: نتایج استراتژی فعال سیستم سری

$(\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$	.۰۰۰۱۲۱۴۵	.۰۰۰۱۳۵۸۳	.۰۰۰۱۴۹۷۲
$(\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$	.۰۰۰۰۵۱۴۲	.۰۰۰۰۶۵۱۱	.۰۰۰۱۱۳۸۵
$(\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$	.۰۰۰۰۱۵۴۸	.۰۰۰۰۱۶۴۸	.۰۰۰۰۱۷۱۸
$(\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$	.۰۰۰۰۴۷۵۱	.۰۰۰۱۲۴۵۱	.۰۰۰۱۴۵۲۳

<sup>37</sup> Maximum Possible Improvement

جدول ۱۳: نتایج استراتژی فعال سیستم پیچیده

$(\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$	.۰۰۰۰۲۰۳۴	.۰۰۰۰۳۷۱۳	.۰۰۰۰۴۹۱۱
$(\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$	.۰۰۰۰۱۰۴۵۱	.۰۰۰۰۱۱۲۱۱	.۰۰۰۰۱۱۹۹۵
$(\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$	.۰۰۰۰۱۱۴۱	.۰۰۰۰۱۲۱۱۳	.۰۰۰۰۱۲۸۷۵
$(\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$	.۰۰۰۰۱۱۱۲	.۰۰۰۰۱۲۶۵	.۰۰۰۰۱۱۴۲۳
$(\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$	.۰۰۰۰۱۲۴۱	.۰۰۰۰۱۴۳۳	.۰۰۰۰۱۶۱۱
$n_i$	(۳،۱،۲،۳،۳)	(۲،۱،۲،۲،۳)	(۴،۱،۳،۱،۱)
$f(r, n)$	.۹۹۴۷۶۴۲۵	.۹۹۵۴۴۳۱۲	.۹۹۶۶۷۹۵۶
MPI	۸۲.۴۱۸۹		

جدول ۱۴- نتایج استراتژی ذخیره-سرد سیستم پیچیده

$(\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$	.۰۰۰۰۱۱۰۳۴	.۰۰۰۰۲۱۱۳	.۰۰۰۰۱۴۰۱۱
$(\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$	.۰۰۰۰۱۴۴۵	.۰۰۰۰۱۵۸۹	.۰۰۰۰۱۰۱۰۱
$(\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$	.۰۰۰۰۱۲۴۱۳	.۰۰۰۰۱۲۶۳	.۰۰۰۰۱۳۶۳۲
$(\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$	.۰۰۰۰۱۲۴۳	.۰۰۰۰۱۴۸۹	.۰۰۰۰۱۵۳۴
$(\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$	.۰۰۰۰۱۱۴۱	.۰۰۰۰۱۱۵۵	.۰۰۰۰۱۷۴۸
$n_i$	(۱،۲،۲،۴،۱)	(۲،۳،۲،۲،۳)	(۴،۱،۲،۱،۴)
$f(r, n)$	.۹۹۵۴۲۲۱۳	.۹۹۵۸۳۴۱۲	.۹۹۶۹۴۶۹۳
MPI	۸۳.۹۱۲۴		

گوناگون عملگر تقاطع و جهش منجر می‌شود با انتخاب و جابجایی کروموزوم والد و فرزند، بهترین مقادیر جواب بهینه حاصل شده و بالاترین مقدار بهینه ی قابلیت اطمینان برای هر سیستم محاسبه گردد. در حالی که محاسبات مقدار بهینه ی قابلیت اطمینان به روش دقیق با توجه به NP-hard بودن مسئله ی تخصیص قابلیت اطمینان- افزونگی بسیار زمان بر و دشوار است و محاسبه ی بالاترین مقدار بهینه ی قابلیت اطمینان برای هر سیستم با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی دقیق عملاً امکان‌پذیر نیست. لذا استفاده از انواع گوناگون الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل مسائل تخصیص قابلیت اطمینان- افزونگی بسیار مفید و کارا می باشد.

در پژوهش حاضر، در مسئله ی سیستم محافظ فوق سریع توربین گازی که یک سیستم سری به شمار می آید، تشخیص بیش از حد سرعت به طور مداوم توسط سیستم‌های الکتریکی و مکانیکی انجام می‌شود. هنگامی که سرعت بیش از حد بالا رود، لازم است منبع سوخت قطع گردد. برای این منظور، ۵ شیر کنترلی تعبیه شده در سیستم باید بسته شود. در مسئله فوق، سیستم کنترل به‌عنوان یک سیستم سری ۵مرحله ای مدل سازی شده است. بدین ترتیب با از کار افتادن یک جزء از اجزای سیستم، کل سیستم فوق از کار می افتد و سوخت و اکسیژن وارد مخزن شده و انفجار رخ می‌دهد. از آنجا که پارامتر نرخ خرابی اجزای تخصیص یافته به هر زیر سیستم پارامتری نادقیق بوده و با عدم قطعیت همراه است، لذا استفاده از رویکرد اعداد فازی مثلثی در پارامتر نرخ خرابی اجزای تخصیص یافته به هر زیر سیستم منجر می‌شود با در نظر گرفتن مقادیر حداقل و حد متوسط و حداکثر نرخ خرابی برای هر یک از اجزا، بتوان زودترین و دیرترین زمان از کارافتادگی اجزای سیستم را در محاسبه ی قابلیت اطمینان سیستم لحاظ نمود و مقدار واقعی تر و دقیق تر قابلیت اطمینان سیستم محاسبه می‌شود تا بتوان با اجرای صحیح برنامه ی زمان‌بندی نت و اعمال سایر سیاست های لازم از بروز خرابی و از کار افتادگی و انفجار و خسارات سنگین جانی و مالی جلوگیری نمود.

در سیستم‌های پیچیده به دلیل ساختار پیچیده ی سیستم، رفع سریع خرابی و از کار افتادگی سیستم بسیار دشوار و زمان بر

جلد ۱۳- شماره ۱- بهار ۱۴۰۲

در محاسبات مسائل تخصیص قابلیت اطمینان- افزونگی با الگوریتم ژنتیک، با استفاده از دو عملگر تقاطع و جهش و در طی چند مرحله تکرار الگوریتم، چندین جواب بهینه حاصل گردیده و سه نمونه از بهترین جواب های بهینه ی حاصل شده برای نوع سیستم‌های سری، سری-موازی و پیچیده در جداول ۹-۱۴ نشان داده شده است. مقدار بهینه ی قابلیت اطمینان حاصل شده توسط الگوریتم ژنتیک با به‌کارگیری از دو عملگر تقاطع و جهش، از مقادیر قابلیت اطمینان محاسبه شده به روش دقیق بالاتر و مطلوب‌تر است. شاخص MPI حداکثر بهبود ایجاد شده با استفاده از حل با الگوریتم ژنتیک با رویکرد اعداد فازی مثلثی در مقابل حل با روش دقیق را نشان می‌دهد.

از آنجا که مسئله ی تخصیص قابلیت اطمینان- افزونگی از دسته مسائل NP-hard می باشد، لذا با افزایش اندازه ی مسئله و محدودیت‌ها، حجم محاسبات به صورت نمایی افزایش می یابد و استفاده از الگوریتم فراابتکاری ژنتیک با به‌کارگیری انواع

نشریه مهندسی و مدیریت کیفیت

رشته‌های تخصصی می‌باشد. نظر به جنبه های نظری، تجربی، تحقیقاتی، آزمایشگاهی و کاربردی در این حوزه ی تخصصی و با توجه به اهمیت مباحث قابلیت اطمینان، کار همه جانبه بر روی این موضوع در پروژه های کلان و ملی بسیار حائز اهمیت است. تحلیل قابلیت اطمینان یک سیستم و ارائه مدل مناسب برای بیان ارتباط بین اجزاء مختلف، از اهمیت فراوانی برخوردار است. قابلیت اطمینان بالاتر به معنی احتمال برگشت سرمایه در زمان کمتر و سود دهی بیشتر، اطمینان از کیفیت برتر محصولات و مهم تر از همه احتمال موفقیت بیشتر در دستیابی به اهداف ماموریتی است که همگی مورد خواست و علایق سرمایه گذاران، کارآفرینان و یا مدیران ارشد کارخانه‌ها یا سازمان ها می باشد. در پژوهش حاضر مسئله‌ی تخصیص قابلیت اطمینان-افزونگی با در نظر گرفتن رویکرد اعداد فازی مثلثی برای محاسبه‌ی قابلیت اطمینان با استفاده از دو استراتژی فعال و ذخیره-سرد جهت تخصیص قطعات مازاد در یک سیستم صنعتی و دو مسئله‌ی الگو مورد بررسی قرار گرفته است. برای حل مسئله‌ی فوق از الگوریتم ژنتیک در نرم‌افزار متلب استفاده گردیده و سه نمونه از بهترین جواب های حاصل از چند مرحله اجرای الگوریتم نشان داده شده است و با حل مسئله به روش دقیق مقایسه گردیده است. قابلیت اطمینان هر سیستم با رویکرد اعداد فازی مثلثی در پارامتر نرخ خرابی اجزاء محاسبه شده و لحاظ نمودن زودترین و دیرترین زمان از کارافتادگی اجزای سیستم در محاسبه‌ی قابلیت اطمینان سیستم، منجر به بدست آوردن مقادیر واقعی تر و دقیق تر قابلیت اطمینان سیستم شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد استفاده از رویکرد فازی، رویکرد مناسب تر و کاراتری نسبت به رویکرد حل مسئله‌ی قطعی می‌باشد، زیرا ویژگی‌های مختلف سیستم نظیر قابلیت اطمینان سیستم همواره به دلایل گوناگون نظیر طول عمر، شرایط محیطی، در دسترس نبودن تابع طراحی و... با عدم قطعیت همراه است. با تحلیل نتایج بدست آمده می‌توان دریافت که استفاده از رویکرد فازی در سیستم‌های قابل تعمیر، برای تجزیه و تحلیل سیستم نگهداری و تعمیرات و برنامه‌ی زمان‌بندی تعمیرات و هزینه‌ی نگهداری و تعمیرات و ... بسیار مفید است. زیرا با استفاده از رویکرد فازی می‌توان برنامه دقیق

بوده و از کار افتادگی سیستم با هزینه‌های سنگین همراه است. لذا با استفاده از رویکرد اعداد فازی مثلثی در پارامتر نرخ خرابی اجزای تخصیص یافته به هر زیر سیستم و در نظر گرفتن مقادیر حداقل و حد متوسط و حداکثر نرخ خرابی برای هر یک از اجزا و لحاظ نمودن زودترین و دیرترین زمان از کارافتادگی اجزای سیستم در محاسبه‌ی قابلیت اطمینان سیستم که منجر به بدست آوردن مقادیر واقعی تر و دقیق تر قابلیت اطمینان سیستم می‌شود، می‌توان با اجرای صحیح برنامه ی زمان‌بندی نت و اعمال سایر سیاست ها از بروز خرابی و از کار افتادگی و خسارات سنگین مالی جلوگیری نمود. استفاده از رویکرد فازی به همین ترتیب در سیستم‌های سری-موازی و سایر سیستم‌ها نیز مفید بوده و از رویکرد قطعی بسیار کاراتر و مفید تر می‌باشد.

#### ۱۲- نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

پیشرفت های جهان امروز و به تبع آن پیشرفت زندگی بشر در طی پنج دهه اخیر مرهون توسعه صنایع و فناوری های نوین بوده است. ایجاد بسیاری از سازه ها و سیستم‌های پیچیده مهندسی که مبتنی بر نوآوری در زمینه مواد، روش‌های طراحی، فناوری های ساخت و ... می باشند، خود موجبات نیاز و توجه روزآفرین به رویکردی بنیادین به مفاهیم قابلیت اطمینان به‌عنوان محور توسعه مهندسی در هزاره سوم شده‌اند. تکیه بر این معیار، راه را برای تضمین ایمنی و ثمربخشی سیستم‌های مهندسی و تسریع در روند تکامل صنایع در ابعاد مختلف هموار کرده است که از جمله می‌توان به بهبود و تداوم عملکردها، دسترس پذیری بالا، کاهش هزینه‌های چرخه‌ی عمر، کاهش نیاز به تلاش ها در پایش، بازرسی و نگهداری و هم چنین حوادث کم‌تر، تأمین دوام بیشتر و پیش‌بینی عمر و صدمات احتمالی اشاره نمود. امروزه مقالات، کتب و بانک‌های اطلاعاتی قابلیت اطمینان گسترش چشم‌گیری یافته و تئوری های آن جایگاه نهادینه‌ای در مهندسی مدرن احراز کرده است. مفاهیم قابلیت اطمینان مبتنی بر واقع نگری و تحلیل های آماری و البته فراگیر و دائر بر همه‌ی

## ۱۴- منابع

- [1]. Muhuri, P. Ashraf, Z., Danish Lohani, Q.M. (2017). Multi-Objective Reliability-Redundancy Allocation Problem with Interval Type-2 Fuzzy Uncertainty, IEEE Transaction on fuzzy system.
- [2]. Abouei Ardakan, M. and Zeinal Hamadani, A. (2014). Reliability-redundancy allocation problem with cold-standby redundancy strategy, *Simulation Modelling Practice and Theory*, 42. PP:107-118.
- [3]. Chern, M. S. (1992). On the computational complexity of reliability redundancy allocation in a series system. *Operations research letters*, 11(5), 309-315.
- [4]. Coit, D. W. (2003). Maximization of system reliability with a choice of redundancy strategies. *IIE transactions*, 35(6), 535-543.
- [5]. Misra, K. B. and Ljubojevic, M. D. (1973). Optimal reliability design of a system: a new look. *IEEE Transactions on Reliability*, 22(5), 255-258.
- [6]. Sahoo, L. (2017). Genetic Algorithm Based Approach for Reliability Redundancy Allocation Problems in Fuzzy Environment, *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences*, 2(4), PP 259-272.
- [7]. Barlow, R.E. and Proschan, F. (1981). "Statistical theory of reliability and life testing probability model", to begin with, Silver Spring MD.
- [8]. Garg, H., Rani, M., Sharma, S.P. and Vishwakarma, Y. (2014). Intuitionistic fuzzy
- [9]. optimization technique for solving multi-objective reliability optimization problems in interval environment, *Expert Systems with Applications*, 41. PP 3157-3167.
- [10]. Mahapatra, G.S. and Roy, T.K. (2006), Fuzzy multi-objective mathematical programming

تری برای زمان‌بندی بازرسی و نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه و سایر برنامه‌های زمان‌بندی نگهداری و تعمیرات را پیش بینی نمود و از بروز خرابی و از کار افتادگی سیستم و بروز هزینه‌های سنگین نگهداری و تعمیرات و از کار افتادگی و خرابی جلوگیری نمود.

پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی تاثیر رویکرد فازی بر سایر عوامل سیستم‌های قابل تعمیر مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرارگیرد و مسئله‌ی تخصیص قابلیت اطمینان- افزونگی با رویکرد فازی با استفاده از استراتژی مختلط نیز مورد محاسبه قرار گیرد. هم‌چنین پیشنهاد می‌گردد مسائل فوق با سایر الگوریتم‌های فرا ابتکاری نظیر الگوریتم GWO+PSO و... مورد بررسی قرار گیرد و مدل و نتایج حاصل با الگوریتم ژنتیک مقایسه شود. از سوی دیگر، پژوهش فوق بر روی انواع سیستم‌های گوناگون نظیر سیستم‌های موازی، پیچیده، پشتیبان، چندحالتی و... مورد بررسی قرارگیرد و نتایج حاصل با نتایج پژوهش حاضر مقایسه گردد. علاوه بر آن می‌توان از سایر رویکردهای حل مسائل فازی و سایر استراتژی‌های تخصیص افزونگی برای حل مسئله‌ی فوق استفاده نمود. هم‌چنین عوامل گوناگون موثر بر قابلیت اطمینان سوئیچ در استراتژی ذخیره و سیستم سوئیچینگ گسسته نیز می‌تواند در پژوهش‌های آتی مورد تجزیه و تحلیل و بررسی قرارگیرد. در مسائل تک هدفه، تنها یک تابع هدف که قابلیت اطمینان سیستم است مورد بررسی قرار می‌گیرد. بدین ترتیب مدل مسئله به دنبال ساختاری با بالاترین قابلیت اطمینان است که این ساختار عموماً هزینه و وزن بالایی دارد و این امکان وجود دارد که در صورت کاهش اندکی از میزان قابلیت اطمینان سیستم بتوان وزن و هزینه را به میزان زیادی کاهش داد. لذا استفاده از مدل‌های چند هدفه و انجام موازنه بین هزینه، قابلیت اطمینان و وزن می‌تواند برای طراحان سیستم حائز اهمیت و بسیار مفید واقع گردد.

## ۱۳- تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌نمایند که هیچ گونه تعارض منافع وجود ندارد.

نشریه مهندسی و مدیریت کیفیت

periodic inspection and maintenance policy, *Reliability Engineering and System Safety* 223.

[20]. Salehi, S. and Fadeli, M. (2013). practical principles of maintenance and repair of industrial equipment, Arad Kitab Publishing House, first edition, PP 47-49.

[21]. Ebling, C. E. (1997). An introduction to reliability maintainability engineering. New York: McGraw-Hill.

[22]. Tavakkoli-Moghaddam, R., Safari, J. and Sassani, F. (2008). Reliability optimization of series- parallel systems with a choice of redundancy strategies using a genetic algorithm. *Reliability Engineering and System Safety*, 93. PP 550-556.

[23]. Coit, D.W. (2001). Cold standby redundancy optimization for nonrepairable systems. *IIE Transactions*, 33, PP 471-478.

[24]. Coelho, L.D.S. (2009). An efficient particle swarm approach for mixed-integer programming in reliability-redundancy optimization applications, *Reliability Engineering & System Safety*; 94(4), PP 830-837.

[25]. Zou, D., Gao, L., Li, S. and Wu, P. (2011). An effective global harmony search algorithm for reliability problems, *Expert Syst. Appl*, 38, P 4642-4648.

[26]. Wang, L. and Li, L. (2012), A coevolutionary differential evolution with harmony search for reliability-redundancy optimization, *Expert Syst. Appl.*, Vol. 39, pp. 5271-5278, 2012.

[27]. Valian, E. and Valian, E. (2012). A cuckoo search algorithm by Lévy flights for solving reliability redundancy allocation problems, *Eng. Optim.*

[28]. Valian, E., Tavakoli, S., Mohanna, S. and Haghi, A. (2013). Improved cuckoo search for reliability optimization problems, *Comput. Ind. Eng*, 64, P 459-468.

[29]. Afonso, L.D., Mariani, V.C. and Coelho, L.S. (2013). Modified imperialist competitive algorithm based on attraction and repulsion

on reliability optimization model, *Applied Mathematics and Computation* ,174, PP643-659.

[11]. [10] Chang Yeh, W, Jung Hsieh, T, (2011), Solving reliability redundancy allocation problems using an artificial bee colony algorithm, *Computers & Operations Research* 38, 1456-1473.

[12]. Sahoo, L., Kumar Bhunia, A. and Kumar Kapur, P. (2012). Genetic algorithm based multi-objective reliability optimization in interval environment, *Computers & Industrial Engineering*, 62, PP 152-160.

[13]. Garg, H. and Sharma, S.P. (2013). Multi-objective reliability-redundancy allocation problem using particle swarm optimization, *Computers & Industrial Engineering* ,64. PP247-255.

[14]. Ashraf, Z., Muhuri, P. and Danish Lohani, Q.M. (2015). Particle Swam Optimization Based Reliability-Redundancy Allocation in a Type-2 Fuzzy Environment.

[15]. Abouei Ardakan, M., Sima, M., Zeinal Hamadani, A. and Coit, D.W. (2016). A novel strategy for redundant components in reliability-redundancy allocation problems, *IIE Transactions*.

[16]. Kumar, A., Pant, S. and Ram, M. (2017). System Reliability Optimization Using Gray Wolf Optimizer Algorithm, *Quality and Reliability Engineering International*,33, 1327-1335.

[17]. Pirvi, A.S, Karbasian, M. and Abouei Ardakan, M. (2018), Presenting a new strategy for the allocation of surplus parts in the reliability optimization problem, *Sharif Journal of Industrial Engineering and Management*,1-35(1), P 167-176.

[18]. Reihaneh, M., Abouei Ardakan, M. and Eskandarpour, M. (2021). An exact algorithm for the redundancy allocation problem with heterogeneous components under the mixed redundancy strategy, *European Journal of Operational Research*.

[19]. Golmohammadi, E. and Abouei Ardakan, M. (2022). Reliability optimization problem with the mixed strategy, degrading components, and a

concepts for reliability–redundancy optimization, *Expert Syst. Appl*, 40, PP 3794–3802.

[30]. Chen, T. C. (2006). IAs based approach for reliability redundancy allocation problems, *Applied Mathematics and Computation*, 182(2), PP 1556–1567.

[31]. Dhingra, A. K. (1992), “Optimal apportionment of reliability & redundancy in series systems under multiple objectives”, *IEEE Trans. Reliab*, 41(4), P 576–582.

[32]. Yokota, T., Gen, M. and Li, H. H. (1996). Genetic algorithm for nonlinear mixed-integer programming problems and its application, *Computers and Industrial Engineering*, 30(4), P 905–917.

[33]. Zou, D., Gao, L., Wu, J., Li, S. and Li, Y. (2010). “A novel global harmony search algorithm for reliability problems”, *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 58, No. 2, pp. 307–316,

[34]. Taqvi Fard, M.A., Jalili, M.J., Seyed Naqvi, M.A. and Raisi Vanani, I. (2018). Designing a Model for Measuring the Competence of Information Technology Professionals with Fuzzy Expert System Approach, *Journal of Productivity Management*, 14(54), PP 24-44.

[35]. Barlow, R. E. and Proschan, F. (1975). *Statistical theory of reliability and life testing: probability models*, Florida State Univ Tallahassee, 1975.

# Optimizing Reliability-Redundancy Problem with Active and Cold-Standby Strategy with Triangular Fuzzy Number Approach

Maryam Ganji,

Ph.D Student, Management and Industrial Engineering Department, Maleke-Ashtar University of Technology, Tehran, Iran. maryamganji.mg@gmail.com

Mohammad Hossein karimi Gavareshki

Associate Professor, Management and Industrial Engineering Department, Maleke-Ashtar University of Technology, Tehran, Iran. Mh\_karimi@mut.ac.ir

Jafar Gheidar kheljani<sup>38</sup>

Associate Professor, Management and Industrial Engineering Department, Maleke-Ashtar University of Technology, Tehran, Iran. kheljani@mut.ac.ir

Morteza Abbasi

Assistant Professor, Management and Industrial Engineering Department, Maleke-Ashtar University of Technology, Tehran, Iran. mabbasi@mut.ac.ir

**Abstract:** Reliability is one of the important features of products, systems and parts. Nowadays, as the systems become more complex, the concept of reliability and its optimization has been researched and examined in many research and industrial communities. The application of this concept can be seen in many industrial, communication, satellite systems, etc. In the early stages of system design, many system features such as reliability, weight, cost, and etc are associated with uncertainty due to various reasons such as lifespan, operational conditions, etc. Since the use of the probabilistic approach in solving reliability problems has limitations and can only be used in quantitative analysis of information and in many cases does not produce useful and sufficient results for experts, therefore the use of the approach Fuzzy is much more efficient for solving reliability optimization problems. One of the ways to optimize the reliability is to allocate redundancy. When using redundant components in a subsystem, how the redundant components are used is particular importance. In reliability-redundancy allocation problems, the reliability of components is not known in advance and is considered as a decision variable. In this research, the failure rate of components is considered as triangular fuzzy numbers and the reliability of each system with two active and cold-standby strategies has been calculated using genetic algorithm in two model problems and an industrial system in MATLAB software. In the implementation of the genetic algorithm, the random, tournament and roulette wheel methods have been used to select parents and different types of mutation and crossover operators have been used to produce children. The results have been analyzed and investigated in various series, complex and series-parallel systems

---

<sup>38</sup> Corresponding author: kheljani@mut.ac.ir

and are much more efficient than the results obtained from solving the deterministic model.

**Key words:** Reliability-redundancy allocation problem, triangular fuzzy numbers, Genetic algorithm, active strategy, cold -standby strategy

## Definitions and concepts

### Triangular fuzzy numbers

Triangular fuzzy numbers are fuzzy numbers that are represented as  $\tilde{A} = (a_a, a_b, a_c)$  and their membership degree function is in the interval  $[0,1]$  and in which  $a_a = < a_b = < a_c$ . The relationship (1) shows the membership degree function of triangular fuzzy numbers ( $\mu_{\tilde{A}}$ ). (1)

(1)

$$\mu_{\tilde{A}} = \begin{cases} \frac{r-a_a}{a_b-a_a} & a_a = < r = < a_b \\ 1 & r = a_b \\ \frac{a_c-r}{a_c-a_b} & a_b = < r = < a_c \end{cases}$$

### Redundancy allocation strategy

One of the redundancy allocation strategies is the active strategy. In this strategy, all the parts added to the system are actively used since the start of the system, although in this system, only one part needs to work at any time. But to reduce the possibility of system failure, all parts work actively with each other, and the system breaks down when all parts fail. In the active strategy, the reliability of each subsystem is calculated from equation 1. (2)

(1)

$$R = (1 - (1 - r_i(t))^{n_i})$$

R= Reliability of the subsystem

$r_i$  = Component reliability

$n_i$  = Number of components in each subsystem

The standby strategy refers to a state in which excess parts added to a subsystem are used as reserves. In this strategy, one part works actively and other added parts are standby. The stored parts enter the circuit when the active part fails. In this type of system, when an active part breaks down, an electronic or mechanical switch puts the next reserve part into the circuit, and the operation of this switch also faces an error. For standby strategy, there are three modes of cold-standby storage, warm-standby storage and hot-standby storage. In the cold-standby storage, the stored parts are protected against the stresses caused by the system operation, and therefore the parts are not damaged before being used. (3, 4)

In short, if the time until the failure of parts is assumed as an exponential function, the occurrence of failure in subsystems can be considered as a Poisson function before the  $n_i$ -th failure event. Therefore, the reliability of a subsystem with cold-standby strategy can be calculated according to relation 2. (5)

(2)

$$\tilde{R}_i(t) = r_i(t) + \rho_i(t) \sum_{x=1}^{n_i-1} \frac{e^{-\lambda_i t} (\lambda_i t)^x}{x!}$$

$\lambda_i$  = Component failure rate  
Number of components

$n_i$  =

$\rho_i$  = Reliability of Switch  
Component reliability

$r_i$  =

$t$  = mission time

### Optimizing reliability

Since it has been proven that RAP and RRAP problems in their simplest form are NP-hard optimization problems, solving them using traditional optimization methods is very difficult and time-consuming. For this reason, several meta-heuristic algorithms such as genetic algorithm, ant colony optimization, artificial neural networks, particle swarm optimization algorithm and a combination of these algorithms have been widely used in the last decade to solve the reliability problem. (2)

### Maintenance and repairs based on reliability

In line with the new methods of maintenance and repairs, modifying the built factories was not a simple task and required huge costs. Therefore, taking into account the program of correcting and fixing the defects of the current factories became very important for the design of new factories, and this took the form of eliminating the need for repair or maintenance with the centrality of reliability. Reliability Centered Maintenance or RCM is a process to determine the maintenance and repair requirements of each physical asset based on its operational records. In this type of maintenance and repairs, it is mentioned that

all the equipment of industrial units are not of equal importance. In this method of maintenance and repairs, it is referred to the presentation of a program of maintenance and repairs, which has been determined that the financial and labor resources are not unlimited and the use of these resources needs to be prioritized and optimized. In short, RCM is a systematic approach and perspective to evaluate the resources and equipment of industrial units in order to connect these two parameters and achieve a high degree of efficiency, effectiveness and reliability in industrial units. In general, RCM, in addition to its many benefits, creates conditions that can match existing resources with requirements and improve reliability and reduce costs. (6) The problem of choosing maintenance and repairs timing is also a problem with high uncertainty, and therefore using fuzzy uncertainty increases the confidence of decision making.

### Methodology

In this research, the failure rate of components is considered as triangular fuzzy numbers and the reliability of the system is calculated as triangular fuzzy numbers in the form of left, right and center intervals, and the minimum and maximum and average reliability of each system with two The active and cold-standby strategies has been calculated using genetic algorithm .The results obtained in the form of triangular fuzzy numbers have been analyzed and investigated in various series, complex and series-parallel systems and are much more efficient than the results obtained from solving the deterministic model.

### Conclusion

In the current research, in the problem of the high-speed protection system of the gas turbine, which is considered a series system, overspeed detection is continuously performed by electrical and mechanical systems. When the speed is too high, it is necessary to cut off the fuel supply. For this purpose, 5 control valves built into the system must be closed. In this problem, the control system is modeled as a 5-stage series system. In this way, when one part of the system fails, the whole system fails and fuel and oxygen enter the tank and an explosion occurs. Since the failure rate parameter of the components assigned to each sub-system is imprecise and associated with uncertainty, therefore, using the triangular fuzzy number approach in the failure rate parameter of the components assigned to each subsystem leads to the minimum values and the average and maximum failure rate for each of the components, the earliest and the latest time of failure of the system components can be included in the calculation of the system reliability, and the more realistic and accurate value of the system reliability can be calculated so that with the correct implementation of the program The timing of the network and the implementation of other necessary policies prevented the occurrence of breakdowns, malfunctions, explosions, and heavy losses of life and money. In complex systems, due to the complex structure of the system, it is very difficult and time-consuming to fix the system failure quickly, and system failure is associated with heavy costs. Therefore, by using the triangular fuzzy number approach in the failure rate parameter of the components assigned to each subsystem and considering the minimum, average and maximum failure rate values for each of the components and taking into account the earliest

and the latest time of failure of the system components in the calculation The reliability of the system, which leads to obtaining more realistic and accurate values of the reliability of the system, can be prevented by the correct implementation of the net schedule and the application of other policies from failure and heavy financial losses. .

Using the fuzzy approach is also useful in series-parallel systems and other systems and is much more efficient and useful than the deterministic approach.

### Reference

- [1] Sahoo, L, (2017), Genetic Algorithm Based Approach for Reliability Redundancy Allocation Problems in Fuzzy Environment, International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences, 2(4), P 259-272.
- [2] Abouei Ardakan, M, Sima, M, Zeinal Hamadani, A, Coit, D.W, (2016), A novel strategy for redundant components in reliability-redundancy allocation problems, IIE Transactions.
- [3] Ebling, C. E, (1997) An introduction to reliability maintainability engineering. New York: McGraw-Hill.
- [4] Tavakkoli-Moghaddam R, Safari J, Sassani F, (2008), Reliability optimization of series- parallel systems with a choice of redundancy strategies using a genetic algorithm. Reliability Engineering and System Safety, 93,P 550–556.
- [5] Coit DW, (2001), Cold standby redundancy optimization for nonrepairable systems. IIE Transactions , 33, P 471–478.
- [6] Salehi, Sattar and Fadeli, Mojtabi, (2013), practical principles of maintenance and repair of industrial equipment, Arad Kitab Publishing House, first edition, P 47-49.