مقاله پژوهشی

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 ان 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 کاراتر 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 درنظر 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 کاراتر است.

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

۱- مقدمه

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

Corresponding Author: kheljani@mut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۷

دوره ۱۳/ شماره ۱

صفحات ۱۷-۴۲

جزای اضافی به صورت موازی۳- استفاده‌ی ترکیبی افزایش قابلیت اطمینان اجزا و تخصیص اجزای اضافی که به صورت موازی ارائه شده‌اند۴- تخصیص مجدد اجزای قابل تعویض، افزایش یابد.گزینه های دوم و سوم به ترتیب مسئله تخصیص افزونگی[1](RAP) و مسئله تخصیص قابلیت اطمینان - افزونگی [2](RRAP) نام دارند [۲]. مسئله تخصیص اجزای مازاد (RAP) در سیستم‌های صنعتی، یک مسئله بهینه‌سازی پیچیده و مشخصی است که می‌تواند به صورت انتخاب بهینه نوع اجزاء مازاد و تعداد قطعات مازاد برای هر زیرسیستم، به منظور بهینه‌سازی 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 می باشد 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 بهینه‌سازی 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 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 کاراتر است. بدین ترتیب، در پژوهش حاضر مسئله‌ی تخصیص قابلیت اطمینان- افزونگی با استفاده از رویکرد فازی در محاسبه‌ی 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- پیشینه‌ی پژوهش

در پژوهشی که توسط ماهاپاترا و روی[3] (۲۰۰۶) آنجام گرفته است، به بهینه‌سازی قابلیت اطمینان غیر قطعی از طریق روش بهینه‌سازی 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 بهینه‌سازی چندهدفه فازی استفاده شده است. مثال‌های

[1] Redundancy allocation problem
[2] Reliability-redundancy allocation problem
[3] Mahapatra & Roy

عددی حل شده نشان داده است که تکنیک FNLP[4] در دستیابی به اهداف متقابل در زمانی که پارامترهای مسئله، اهداف تعیین‌شده و محدودیت‌های طراحی به طور دقیق شناخته نشده باشند، کارا می باشد [۹]. وی و تیسانگ[5](۲۰۱۱) در پژوهش خود از الگوریتم کلونی زنبورعسل 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[6] (۲۰۱۲) به وسیله‌ی الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی قابلیت اطمینان چند هدفه در محیط بازه‌ای به آنجام 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 آنجام رسیده است و سپس مسئله‌ی 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 آنجام گردیده است. از آنجا که در رویکرد بازه‌ای با مشاهده دقیق مطالعات گذشته (بدون هیچ‌گونه روش پیچیده ریاضی/آماری) 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 ان 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 [۱۱]. گارج و شارما [7](۲۰۱۳) پژوهشی در زمینه‌ی تخصیص قابلیت اطمینان- افزونگی چند هدفه به روش PSO[8] به آنجام 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 می شوند، آنجام 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 (MOOP)[9] 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 آنجام و نتایج حاصل با الگوریتم GA[10] مقایسه شده است. پژوهش فوق در یک کارخانه دارو سازی در هندوستان به آنجام رسیده است [۱۲]. ابویی اردکان و زینل همدانی[11](۲۰۱۴) پژوهشی را در زمینه‌ی تخصیص قابلیت اطمینان- افزونگی با استرتژی افزونگی ذخیره سرد به آنجام رسانده‌اند. در پژوهش فوق از الگوریتم ژنتیک برای حل مدل ترکیبی عدد صحیح غیر خطی پژوهش استفاده شده و از سه مسئله‌ی بنچ مارک مشهور برای مقایسه‌ی الگوریتم استفاده شده است. نتایج پژوهش فوق حاکی از ان 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[12] (۲۰۱۴) در زمینه‌ی تکنیک بهینه‌سازی فازی برای حل مسائل قابلیت اطمینان چندهدفه آنجام 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

[4] Fuzzy non-linear programming
[5] Wei& Tsung
[6] Sahoo et.al
[7] Garg & Sharma
[8] Particle swarm optimization
[9] Multi-objective optimization problem
[10] Genetic algorithm
[11] Abouei Ardakan & Zeinal Hamadani
[12] Garg et.al

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 آنجام 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[۱۳] (۲۰۱۵) پژوهشی در زمینه‌ی تخصیص قابلیت اطمینان- افزونگی به روش PSO با استفاده از اعداد فازی نوع ۲ به آنجام 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 پژوهش های 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[۱۴](۲۰۱۶) در پژوهش خود فومول جدید برای حل مسئله‌ی RAP ارائه نمودند. آن‌ها در پژوهش خود استراتژی جدیدی با عنوان استراتژی مختلط ارائه نمودند که در پژوهش فوق استراتژی مختلط برای حل مسئله‌ی RRAP مورد استفاده قرار گرفته است و نتایج حاصل با مسائل حل شده توسط دو استرتژی فعال و ذخیره مقایسه شده است. نتایج حاصل نشان داده است استراتژی فوق از دو استرتژی فعال و ذخیره عملکرد بهتری دارد [۱۴]. کومار و همکارانش[۱۵] (۲۰۱۶) در پژوهش در زمینه‌ی بهینه‌سازی قابلیت اطمینان سیستم از روش GWO[16] جهت حل مسئله‌ی بهینه‌سازی قابلیت اطمینان استفاده نموده‌اند. نتایج نشان داده که از آن جا که مسائل بهینه‌سازی قابلیت اطمینان از نظر ماهیت بسیار پیچیده و از نظر محاسباتی NP Hard است، لذا حل آن‌ها در مقایسه با مسئله بهینه‌سازی غیر خطی عمومی بسیار دشوار است. در نهایت، نتایج حاصل از پژوهش حاکی از ان است که GWO در حل مسائل پیچیده بهینه‌سازی 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[۱۷] (۲۰۱۷) در زمینه‌ی تخصیص قابلیت اطمینان چندهدفه با عدم قطعیت و تکنیک اعداد فازی نوع دوم به آنجام 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[18] ارائه شده است. مسئله جدید فرموله شده به‌عنوان IT2FMORRAP[19] نامیده شده و با استفاده از روش NSGA-II[20] 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[21] و MORRAP عمل نموده است [۱]. ساهو[۲۲](۲۰۱۷) پژوهشی در زمینه‌ی افزایش قابلیت اطمینان با تخصیص افزونگی در محیط فازی به آنجام رسانده است. مسئله‌ی فوق به صورت یک مسئله

[13] Ashraf et.al
[14] Abouei Ardakan & et.al
[15] Kumar et.al
[16] Gray wolf optimizer
[17] Muhuri et.al
[18] Multi-objective reliability-redundancy allocation problem
[19] Interval type-2 fuzzy multi-objective optimization problem
[20] Non-dominated sorting genetic algorithm-II
[21] Type-1 Multi-objective reliability-redundancy allocation problem
[22] Sahoo

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 قرارگرفته 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 آنجام 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 که تلاش می‌کند تعداد دفعات سوییچ 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 ان 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 عملکرد بهتری داشته است[۱۶]. ریحانه و همکارانش[۲۳] (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[24] در پژوهش های آنجام شده در زمینه‌ی 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 استراتژی های فعال و آماده به کار را فراهم می‌کند. الگوریتم فوق می‌تواند در سایر مسائل بهینه‌سازی افزونگی به‌کار گرفته شود[۱۷].گل محمدی[۲۵] و ابویی(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 به‌کار 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 آنجام گرفته را نشان می‌دهد.

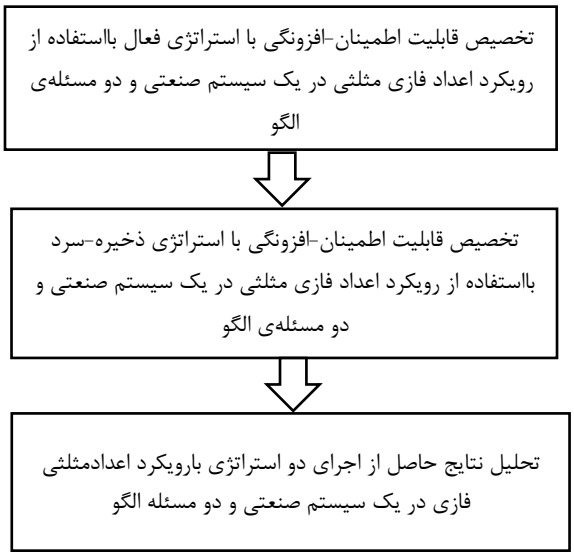
[23] Reihaneh et.al
[24] Branch-and-price
[25] Golmohammadi

جدول۱- خلاصه‌ی پژوهش‌های آنجام 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	*		*	*		
موهوری و همکاران		*	*		*	
ساهو	*		*		*	
پیروی و همکاران	*			*		*
ریحانه و همکاران	*			*		*
گل محمدی و ابویی	*		*	*		
پژوهش حاضر	*		*		*	*

۳- تشریح روش پیشنهادی

امروزه با توسعه ی 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 جمع آوری 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 ساده ترین 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

طورکلی با افزایش تعداد قطعات در این سیستم قابلیت اطمینان سیستم کاهش پیدا می‌کند. در سیستم‌های موازی چند مسیر وجود دارد که ورودی را به خروجی متصل می‌نماید. ازاین رو، تمامی قطعات می‌بایست از کار بیفتند تا کل سیستم از کار بیفتد. قابلیت اطمینان سیستم‌های موازی از قابلیت اطمینان تک تک اجزای سیستم بزرگ تر یا مساوی است و هم‌چنین هرچقدر که تعداد اجزای سیستم بیشتر باشد، قابلیت اطمینان سیستم نیز بیشتر خواهد بود.سیستم‌های پل و پیچیده دارای پیکره‌بندی منظمی نمی‌باشند و ارزیابی شاخص قابلیت اطمینان این نوع سیستم‌ها با کمک احتمالات شرطی امکان‌پذیر است. سیستم‌های موازی- سری شامل اتصال موازی M مجموعه هستند. هر مجموع شامل N قطعه است که به صورت سری به یکدیگر متصل شده‌اند. ازاین رو، سیستم‌های موازی-سری نتیجه‌ی به کارگیری افزونگی چند سطحی در یک سیستم پایه سری می باشند. سیستم‌های سری-موازی شامل N زیرسیستم می‌باشند که به صورت سری به یکدیگر متصل هستند. در هر زیرسیستم نیز قطعات به صورت موازی به یکدیگر متصل شده‌اند.

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 درجه‌ی عضویت آن‌ها در بازه‌ی $[۰,۱]$ قرار دارد و در آن $a_a =< a_b =< a_c$ است. رابطه‌ی (۱) تابع درجه عضویت اعداد فازی مثلثی $(\mu_{\tilde{A}})$ را نشان می‌دهد[۶].

$$\mu_{\tilde{A}} = \begin{cases} \frac{r-a_a}{a_b-a_a} & a_a =< r =< a_b \\ 1 & r = a_b \\ \frac{a_c-r}{a_c-a_b} & a_b =< r =< a_c \end{cases} \quad (۱)$$

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 بهینه‌سازی در مقیاس بزرگ وپیچیده که نمی‌توان به راحتی با روش‌های ریاضی مبتنی بر روش‌های مستقیم یاگرادیان حل شود، بسیارمفیداست [۶]. این الگوریتم با یک جمعیت اولیه از مجموعه جواب های شدنی برای یک مسئله معین اغازمی‌شود که در آن هر کدام از نحوه نمایش جواب ها به‌عنوان یک کروموزوم نشان داده می‌شود. سپس مقادیر تابع هدف کروموزوم‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. با توجه به مقادیر محاسبه شده‌ی تابع هدف، بهترین کروموزوم‌های جمعیت به‌عنوان والد برای تولید نسل انتخاب شده و بدین ترتیب کروموزوم های والد معمولا توسط دو عملگر ژنتیکی شناخته شده مانند تقاطع و جهش دچار تغییرمی‌شوند.

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

۶- قابلیت اطمینان سیستم

قابلیت اطمینان یکی از ویژگی‌های حیاتی عملکرد در رسیدن به طراحی بهینه یک سیستم است، زیرا به طور مستقیم و قابل توجه بر عملکرد سیستم تأثیر می‌گذارد. قابلیت اطمینان سیستم برای انوع گوناگون سیستم‌ها به صورت رابطه‌ی۲ تعریف می‌شود [۸]:

$$\text{Max : } R_s = (r_1, r_2, \ldots, r_n) \quad (۲)$$

$\prod_i^m r_i$ سیستم سری

سیستم موازی یا سیستم $1-\prod_i^m(1-r_i)$

ترکیبی سری - موازی

که در آن:

$r_{i,min} =< r_i =< r_{i,max}$ $r_i \in [۰,۱]$

$i=۱,۲,...,m$ 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 غیرخطی 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 هریک از دارایی‌های فیزیکی بر 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 برنامه ای 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 می باشد. به طور کلی RCM علاوه بر مزایای بسیار آن، شرایطی را ایجاد می‌کند که بتوان منابع موجود را با نیازمندی ها منطبق نموده و موجب بهبود قابلیت اطمینان و کاهش هزینه‌ها شود. (۱۹) مسئله انتخاب زمان‌بندی نت نیز یک مسئله با عدم قطعیت زیاد است و لذا به‌کارگیری عدم قطعیت فازی، اطمینان تصمیم‌گیری را افزایش می‌دهد.

۷- گام‌های محاسباتی الگوریتم ژنتیک

گام۱: تنظیم تعداد جمعیت اولیه، درصد و نوع عملگر تقاطع[27] و جهش[28]، نرخ عملگر جهش و محدوده‌ی متغیرها.

گام۲:تعیین ماکزیمم شماره نسل فعلی[29]($t=0$)در ابتدا در نظر گرفته شده اشت و $P(t)$ نشان‌دهنده‌ی جمعیت نسل tام است

گام۳:تعیین کروموزوم های[30] نسل اولیه.

گام۴:ارزیابی مقدار کروموزوم هر نسل با توجه به تابع هدف تعیین شده.

گام۵:انتخاب بهترین کروموزوم از نسل موجود($P(t)$).

گام۶: رفتن به نسل بعد.

گام۷:در صورتی که معیارتوقف براورده شده باشد به گام ۱۳ و در غیر این صورت به گام بعد بروید.

گام۸:تولید نسل جدید($P(t)$) با استفاده از نسل قبلی($P(t-1)$).

گام۹: تولید جمعیت جدید با استفاده از عملگرتقاطع و جهش.

[26] Reliability-Centered Maintenance
[27] Crossover
[28] Mutation
[29] Maximum generation
[30] Chromosomes

گام ۱۰: ارزیابی مقدار هر کروموزوم با استفاده از تابع هدف.

گام ۱۱: مقایسه ی کروموزوم نسل جدید($P(t)$) و نسل قبلی($P(t-1)$). و یافتن بهترین کروموزوم و ذخیره بهترین مقدار.

گام۱۲: رفتن به گام۶.

گام۱۳:انتخاب بهترین کروموزوم برای جواب بهینه.

گام۱۴:خاتمه الگوریتم.

در ابتدا تعداد جمعیت اولیه تعیین می‌شود. سپس محدوده ی متغیرها، درصد و نوع عملگر تقاطع و جهش و نرخ عملگر جهش تعیین می‌شود. در گام بعد شماره ی 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 به‌عنوان کروموزوم والد با یکی از روش‌های ترنمنت[۳۱]، رولت ویل[۳۲] و .... برای آنجام 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 براورده شده باشد، جواب بهینه مسئله حاصل گردیده و در غیر این صورت، مجددا 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. مجددا ارزیابی هر کروموزوم با توجه به تابع هدف تعیین شده، آنجام گرفته و بهترین کروموزوم از بین کروموزوم های نسل جدید و نسل قبل مشخص گردیده و گام۶ مجددا تا زمان خاتمه‌ی الگوریتم ادامه می‌یابد.

۸- عملگر تقاطع

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

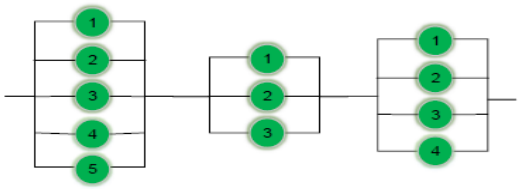
۹- عملگرجهش

عملگر جهش با درصد تعریف شده r_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 آنجام عملگر جهش، تعدادی از کروموزوم ها بر اساس درصد تعیین شده به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند و مقادیر ژن‌ها با نرخ مشخص شده تغییر می‌نماید.(۲)

۱۰- استراتژی تخصیص قطعات مازاد

۱-۱۰- 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 مورداستفاده قرار می‌گیرند. هرچند در این سیستم در هرلحظه 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.



شکل۱: 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

[31] Tournament

[32] Roulette wheel

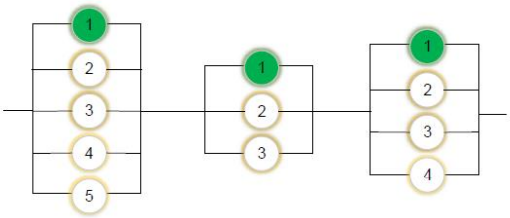
r_i = قابلیت اطمینان اجزا

n_i =تعداد اجزا در هر زیر سیستم

۲-۱۰- استراتژی ذخیره- سرد

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 مورداستفاده 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 می شوند . 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. شکل۲ نمایی از تخصیص قطعات مازاد به صورت آماده به کار را نشان می‌دهد.



شکل۲- تخصیص قطعات مازاد به صورت آماده به‌کار

برای استراتژی قطعات مازاد ذخیره، سه حالت ذخیره سرد[۳۳]، ذخیره گرم[۳۴] و ذخیره داغ[۳۵] وجود دارد. در حالت ذخیره-سرد، قطعات ذخیره در برابر استرس‌های ناشی از عملکرد سیستم محافظت می شوند 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].

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.

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

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.

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

۱- سیستم نظارت و سوئیچینگ پیوسته

در این رابطه $\rho_i(u)$ 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 ρ_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 انتگرال هایی شبیه به رابطه۶ بسیار دشوار است .لذا، یک حد پایین $\widetilde{R}_i(t)$ برای این معادله به صورت رابطه۷ قابل ارائه است.

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

دلیل این تقریب این است که برای تمام $u \le t$ همواره داریم: $\rho_i(t) \le \rho_i(u)$

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

[33] Cold-Standby
[34] Warm-Standby
[35] Hot-Standy

فرض نمود. بنابراین می‌توان انتگرال مورد نظر را به صورت رابطه۸ بیان داشت که به مراتب برای حل ساده تر است. (۲۲)

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

لذا قابلیت اطمینان یک زیرسیستم با استراتژی ذخیره–سرد مطابق با رابطه۹ قابل محاسبه است.

$$\tilde{R}_i(t) = r_i(t) + \rho_i(t) \sum_{x=1}^{n_i-1} \frac{e^{-\lambda_i t}(\lambda_i t)^x}{x!} \qquad (۹)$$

λ_i = نرخ خرابی اجزا

ρ_i = قابلیت اطمینان سوئیچ

r_i = قابلیت اطمینان اجزا

t=زمان ماموریت

n_i = تعداد اجزا

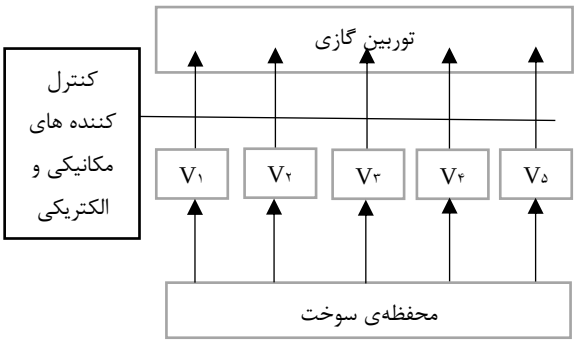
۱۱-بهینه‌سازی قابلیت اطمینان

از آنجایی که ثابت شده است که مسائل RAP و RRAP در ساده ترین نوع خود از دسته مسائل بهینه‌سازی NP-hard به شمار می ایند، حل آن ها با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی سنتی بسیار دشوار و زمان بر است. به همین دلیل، الگوریتم‌های فراابتکاری متعددی مانند الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی کلونی مورچه ها، شبکه های عصبی مصنوعی، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات و ترکیبی از این الگوریتم‌ها به طور گسترده در دهه گذشته برای حل مسائل قابلیت اطمینان مورد استفاده قرار گرفته است[۲] . لذا مطابق با پژوهش‌های آنجام گرفته‌ی پیشین، مسئله‌ی تخصیص قابلیت اطمینان-افزونگی با پنج زیر سیستم نیز از جمله مسائل NP-Hard به شمار می اید و در پژوهش حاضر برای حل ان 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 پژوهش ها مورد بررسی قرار گرفته است .(۳۲-۲۳)

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.اگریکی از این شیرها به درستی کار نکند، سوخت واکسیژن وارد مخزن شده و انفجار رخ می‌دهد. این سیستم کنترلی به صورت یک سیستم سری با۵ زیرسیستم مدل می‌شود. ساختار سیستم محافظ فوق سریع توربین گازی در شکل۳ نمایش داده شده است.



شکل۳- سیستم محافظ فوق سریع توربین گازی

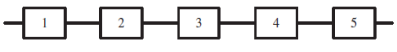
مدل مسئله‌ی اول به صورت رابطه۱۰ می‌باشد.(۲) سیستم مورد بررسی متشکل از پنج زیر سیستم می‌باشد و r_i و n_i دو متغیر تصمیم می‌باشند که نشان دهنده‌ی قابلیت اطمینان اجزا و تعداد اجزا می‌باشند. از ان جا که قابلیت اطمینان سیستم و هر یک از

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

$$
\begin{aligned}
&\text{Max f}\,\widetilde{(\mathrm{r,n})} = \prod_{\mathrm{i=1}}^{5} \widetilde{\mathrm{R}}_{\mathrm{i}}\,(\mathrm{n_i, t})\\
&\mathrm{g_1(r,n)} = \sum_{\mathrm{i=1}}^{\mathrm{m}} \mathrm{w_i\, v_i^2 n_i^2} \le \mathrm{V}\\
&\mathrm{g_2(r,n)}\\
&= \sum_{\mathrm{i=1}}^{\mathrm{m}} \alpha_{\mathrm{i}} \left(\frac{-1000}{\ln \mathrm{r_i}}\right)^{\beta_{\mathrm{i}}} [n_i e^{0.25 n_i}]\\
&\le \mathrm{C}\\
&\mathrm{g_3(r,n)} = \sum_{\mathrm{i=1}}^{\mathrm{m}} \mathrm{w_i}\, n_i e^{0.25 n_i}\\
&\qquad\qquad \le \mathrm{W}\\
&0 \le \mathrm{r_i} \le 1 \qquad \mathrm{r_i} \in \mathrm{R} \qquad \mathrm{n_i} \in Z^+\\
&1 \le i \le m
\end{aligned}
\tag{۱۰}
$$

دررابطه‌ی 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 می دهد. 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. w_i، v_i ، c_i و n_i به ترتیب وزن ،حجم و هزینه و تعداد قطعه استفاده شده در زیر سیستم iام است.

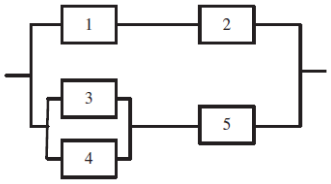
پارامتر α_i و β_i مشخصه‌های فیزیکی قطعه استفاده شده در زیر سیستم i ام می‌باشند. شکل۴ سیستم سری مربوطه را نشان می‌دهد.



شکل۴: سیستم سری

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 رابطه۱۱ می باشد.(۲) شکل۵ سیستم سری- موازی مربوطه را نشان می‌دهد.



شکل۵: سیستم سری- موازی

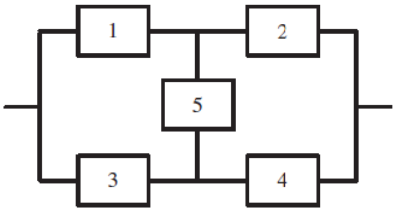
$$
\begin{aligned}
&\text{Max f}\,\widetilde{(\mathrm{r,n})} = 1 - \left(1 - \widetilde{\mathrm{R}}_1(\mathrm{t}).\widetilde{\mathrm{R}}_2(\mathrm{t})\right)\left(1 - (\widetilde{\mathrm{R}}_3(\mathrm{t}) + \widetilde{\mathrm{R}}_4(\mathrm{t}) - \widetilde{\mathrm{R}}_3(\mathrm{t}).\widetilde{\mathrm{R}}_4(\mathrm{t})).\widetilde{\mathrm{R}}_5(\mathrm{t})\right)\\
&\mathrm{g_1(r,n)} =< \mathrm{V}\\
&\mathrm{g_1(r,n)} =< \mathrm{C}\\
&\mathrm{g_1(r,n)} =< \mathrm{W}\\
&0 \le \mathrm{r_i} \le 1 \qquad \mathrm{r_i} \in \mathrm{R} \qquad \mathrm{n_i} \in Z^+\\
&1 \le i \le m
\end{aligned}
\tag{۱۱}
$$

۱۱-۳- سیستم پیچیده

مسئله‌ی سوم نیز یک سیستم پیچیده می باشد و در یک مسئله الگو مورد بررسی قرار گرفته است که متشکل از پنج زیر سیستم می‌باشد. مدل مسئله سوم به صورت رابطه۱۲ است [۲]. شکل۶ سیستم پیچیده مربوطه را نشان می‌دهد.

(۱۲)

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



شکل۶- سیستم پیچیده

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[۳۶] و سایزترنمنت به ترتیب ۵۰۰،۱۰۰،۰.۸،۰.۴،۰.۲ ، ۵ و ۵ 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)

$$X_m{}^1 = \frac{\lambda_l + \lambda_m + \lambda_u}{3}$$
$$X_m{}^2 = \frac{\lambda_l + 2\lambda_m + \lambda_u}{4}$$
$$X_m{}^3 = \frac{\lambda_l + 4\lambda_m + \lambda_u}{6}$$
$$\lambda = \mathrm{Max}\,(X_m{}^1, X_m{}^2, X_m{}^3)$$

ساختار کروموزوم مسئله در شکل ۷ نشان داده شده است.

نرخ خرابی	۰.۰۰۰۱۲۱	۰.۰۰۰۱۵۱	۰.۰۰۰۰۱۵	۰.۰۰۰۰۴۷	۰.۰۰۰۱۱۵
تعداداجزا	۱	۲	۳	۱	۴

شکل۷: ساختار کروموزوم

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

نرخ خرابی	۰.۰۰۰۱۲۱	۰.۰۰۰۱۵۱	۰.۰۰۰۰۱۵	۰.۰۰۰۰۴۷	۰.۰۰۰۱۱۵
تعداداجزا	۱	۲	۳	۱	۴
نرخ خرابی	۰.۰۰۰۰۳۵	۰.۰۰۰۱۴۵	۰.۰۰۰۱۲۴	۰.۰۰۰۰۱۲	۰.۰۰۰۰۷۴
تعداداجزا	۲	۳	۳	۲	۱

شکل۸ :عملگر Double point crossover

نرخ خرابی	۰.۰۰۰۱۲۱	۰.۰۰۰۱۵۱	۰.۰۰۰۰۱۲	۰.۰۰۰۱۲۴	۰.۰۰۰۱۱۵
تعداداجزا	۱	۲	۳	۲	۴
نرخ خرابی	۰.۰۰۰۰۳۵	۰.۰۰۰۱۴۵	۰.۰۰۰۰۱۵	۰.۰۰۰۰۴۷	۰.۰۰۰۰۷۴
تعداداجزا	۲	۳	۳	۱	۱

شکل۹:کروموزوم حاصل از عملگرDouble point crossover

نرخ خرابی	۰.۰۰۰۱۵	۰.۰۰۰۰۴ ۵	۰.۰۰۰۱۲۴	۰.۰۰۰۰۱۳	۰.۰۰۰۰۱۴
تعداداجزا	۴	۱	۲	۱	۳
نرخ خرابی	۰.۰۰۰۰۱۲	۰.۰۰۰۰۱۵	۰.۰۰۰۰۱۳	۰.۰۰۰۰۱۸	۰.۰۰۰۰۱۴
تعداداجزا	۲	۱	۳	۱	۳

شکل۱۰:عملگر Uniform crossover

الفا	۱	۱	۰	۱	۱
	۱	۱	۰	۰	۱

[36] Roulette wheel selection pressure

شکل ۱۱: اعداد تصادفی صحیح بازه [۰,۱]جهت تولید فرزند

نرخ خرابی	.۰۰۰۰۱۵	.۰۰۰۰۴۵	.۰۰۰۰۱۳	.۰۰۰۰۱۳	.۰۰۰۰۱۴
تعداداجزا	۴	۱	۳	۱	۳

شکل۱۲:کروموزوم حاصل از عملگر Uniform crossover

قابلیت اطمینان اجزا	.۹۵	.۸۷	.۸۹	.۸۵	.۷۰
نرخ خرابی	.۰۰۰۰۱۵	.۰۰۰۰۴۵	.۰۰۰۱۲۴	.۰۰۰۰۱۳	.۰۰۰۰۱۴
تعداداجزا	۳	۱	۲	۳	۳

Max Min

شکل۱۳:عملگر Max-Min mutation

قابلیت اطمینان اجزا	.۸۱	.۸۷	.۸۹	.۸۵	.۹۰
نرخ خرابی	.۰۰۰۰۱۱	.۰۰۰۰۴۵	.۰۰۰۱۲۴	.۰۰۰۰۱۳	.۰۰۰۰۱۲
تعداداجزا	۲	۱	۲	۳	۲

شکل ۱۴:نتایج عملگر Max-Min mutation

محاسبات فوق با استفاده از الگوریتم ژنتیک در نرم افزار متلب انجام گرفته است و الگوریتم استفاده شده به طور خلاصه به صورت زیر می باشد:

```
Reli Function=@object;
n Var=۱۰;
Var Size= [۲ ۵];
Max It=۱۰۰;
n Pop=۵۰۰;
pc = .۸;
nc = round(pc* n Pop/۲)*۲;
pm =.۴;
nm= round(pm* n Pop);
mu=.۲ ;
ANSWER= questdlg ('Choose Selection Method:',
'Genetic Alghorithm', 'Roulette Wheel',
'Tournament', 'Random', 'Tournament' );
if Use Roulette Wheel Selection
β=۵;
end
if Use Tournament Selection
Tournament Size=۵;
end
for i= ۱: Max It
popc = repmat (empty-individual, nc/۲ , ۲);
for k=۱: nc/۲
if Use Random Selection
i۱ =randi([۱ nPop]);
i۲ =randi([۱ nPop]);
end
if Use Roulette Wheel Selection
P= exp(-Beta.*Reliabilites / Worst Reli);
P=P/sum(P);
i ۱= Roulette Wheel Selection(P);
i ۲= Roulette Wheel Selection(P);
end
if Use Tournament Selection
i۱=Tournament Selection(pop, Tournament Size);
i۲=Tournament Selection (pop, Tournament Size);
end
p۱=pop (i۱);
P۲=pop (i۲);
[popc (k,۱) popc(k,۲)]= Cross over(p۱, p۲);
popc(k,۱)= Reli Function(popc(k,۱));
popc(k,۲)= Reli Function(popc(k,۲));
end
```

```
popc = popc(:);
for k=۱: nm

i =randi([۱ nPop]);

p=pop (i);

popm (k)=Mutate(p, mu);
popm (k)=Reli Function (popm(k));
end
end
```

داده‌های مورد استفاده برای حل مسائل در جدول۲ نشان داده شده است.

جدول۲: داده‌های مورد استفاده برای حل مسائل

زیرسیستم	$10^5\alpha i$	β_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
	v	**c**	**w**	t
	۲۵۰	۴۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰

از آنجا که مسئله‌ی تخصیص قابلیت اطمینان- افزونگی در ساده‌ترین نوع خود به دسته مسائل NP-hard تعلق دارد و با افزایش اندازه ی مسئله و محدودیت‌ها، حجم محاسبات به صورت نمایی افزایش می یابد. لذا حل ان ها باروش‌های سنتی بسیار زمان بر و دشوار است و عموما ازالگوریتم‌های 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].

جداول 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 می باشند را با استفاده از روش بهینه‌سازی دقیق نشان می دهند. در محاسبات مسائل تخصیص قابلیت اطمینان- افزونگی، n_i تعداد قطعات تخصیص یافته به هر زیرسیستم و λ_i نرخ خرابی اجزای تخصیص یافته به هر زیر سیستم می باشد. در ادامه مسائل فوق با استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک مورد حل قرار گرفته و نتایج حاصل از استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک با نتایج محاسبات دقیق مقایسه گردیده است.

جدول۳: نتایج استراتژی فعال سیستم سری

n_i	(۱،۴،۱،۱،۴)
λ_i	.۰۰۰۱۳۳۴۵
λ_i	.۰۰۰۰۱۱۸۵
λ_i	.۰۰۰۰۱۶۶۱
λ_i	.۰۰۰۰۴۷۵۱
λ_i	.۰۰۰۱۱۵۱۴
f (r, n)	.۹۴۶۸۲۵۹۵

جدول۴: نتایج استراتژی ذخیره-سرد سیستم سری

n_i	(۳،۲،۲،۴،۱)
λ_i	.۰۰۰۰۱۷۳۴
λ_i	.۰۰۰۰۱۲۵۵
λ_i	.۰۰۰۰۱۲۵۹
λ_i	.۰۰۰۱۰۶۴۳
λ_i	.۰۰۰۰۱۱۳۳
f (r, n)	.۹۴۱۲۳۶۲۲

جدول۵: نتایج استراتژی فعال سیستم سری- موازی

n_i	(۱،۴،۲،۴،۳)
λ_i	.۰۰۰۰۱۹۳۴
λ_i	.۰۰۰۰۱۲۵۵
λ_i	.۰۰۰۰۱۴۵۹
λ_i	.۰۰۰۱۰۴۴۳
λ_i	.۰۰۰۰۱۱۳۳
f (r, n)	.۹۸۷۲۹۶۷۸

جدول۶: نتایج استراتژی ذخیره- سرد سیستم سری- موازی

n_i	(۲،۱،۲،۴،۱)
λ_i	.۰۰۰۰۱۲۱۴
λ_i	.۰۰۰۰۱۳۱۶
λ_i	.۰۰۰۰۱۸۸۴
λ_i	.۰۰۰۱۷۴۱۱
λ_i	.۰۰۰۰۱۳۲۹
f (r, n)	.۹۸۲۳۲۶۸۹

جدول۷: نتایج استراتژی فعال سیستم پیچیده

n_i	(۲،۱،۳،۱،۱)
λ_i	.۰۰۰۰۸۴۱۴
λ_i	.۰۰۰۱۳۲۲۱
λ_i	.۰۰۰۰۱۰۱۱
λ_i	.۰۰۰۱۸۱۱۲
λ_i	.۰۰۰۰۱۲۳۱
f (r, n)	.۹۸۱۱۱۳۵۲

جدول۸: نتایج استراتژی ذخیره-سرد سیستم پیچیده

n_i	(۲،۳،۲،۱،۱)
λ_i	.۰۰۰۰۲۱۰۳۱
λ_i	.۰۰۰۰۲۴۲۴
λ_i	.۰۰۰۱۳۱۳
λ_i	.۰۰۰۰۲۱۴۳
λ_i	.۰۰۰۰۸۱۴۱
f (r, n)	.۹۸۱۰۲۲۱۱

نتایج حاصل از حل مسائل با استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک و چندین مرحله اجرای الگوریتم و سه مورد از بهترین جواب های بهینه‌ی بدست امده 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 می‌دهد و با استفاده از رابطه۱۴ قابل محاسبه است.[۲]

(۱۴)

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

جدول۹: 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
$(\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$	.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		

جدول۱۰: 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		

جدول۱۱: 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		

جدول۱۲: 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		

[37] Maximum Possible Improvement

جدول۱۳: نتایج استراتژی فعال سیستم پیچیده

$(\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$	.۰۰۰۰۲۰۳۴	.۰۰۰۰۳۷۱۳	.۰۰۰۰۴۹۱۱
$(\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$	.۰۰۰۱۰۴۵۱	.۰۰۰۱۱۲۱۱	.۰۰۰۱۱۹۹۵
$(\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$	.۰۰۰۰۱۱۴۱	.۰۰۰۱۲۱۱۳	.۰۰۰۱۲۸۷۵
$(\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$	.۰۰۰۰۱۱۱۲	.۰۰۰۰۱۲۶۵	.۰۰۰۱۱۴۲۳
$(\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$	.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		

جدول۱۴- نتایج استراتژی ذخیره-سرد سیستم پیچیده

$(\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$	.۰۰۰۰۱۱۰۳۴	.۰۰۰۰۲۱۱۳	.۰۰۰۱۴۰۱۱
$(\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$	.۰۰۰۰۱۴۴۵	.۰۰۰۰۱۵۸۹	.۰۰۰۱۰۱۰۱
$(\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$	.۰۰۰۱۲۴۱۳	.۰۰۰۰۱۲۶۳	.۰۰۰۱۳۶۳۲
$(\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$	.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،۲۱،۴)
f (r, n)	.۹۹۵۴۲۲۱۳	.۹۹۵۸۳۴۱۲	**.۹۹۶۹۴۶۹۳**
MPI	۸۳.۹۱۲۴		

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 بهینه‌ی حاصل شده برای انوع سیستم‌های سری، سری-موازی و پیچیده در جداول ۹-۱۴ نشان داده شده است. مقدار بهینه‌ی 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 مسئله‌ی 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 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 مسئله‌ی تخصیص قابلیت اطمینان- افزونگی بسیار زمان بر و دشوار است و محاسبه ی بالاترین مقدار بهینه‌ی قابلیت اطمینان برای هر سیستم با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی دقیق عملا 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 مسئله‌ی سیستم محافظ فوق سریع توربین گازی که یک سیستم سری به شمار می اید، تشخیص بیش از حد سرعت به طور مداوم توسط سیستم‌های الکتریکی و مکانیکی آنجام 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 سو خت 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 و از کار افتادگی و انفجار و خسارات سنگین جانی و مالی جلوگیری نمود.

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

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 اوردن مقادیر واقعی‌تر و دقیق‌تر 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، دسترس‌پذیری 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 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 امده 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

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 اتی 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، چندحالته 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 استراتژی های تخصیص افزونگی برای حل مسئله‌ی فوق استفاده نمود. هم چنین عوامل گوناگون موثر بر قابلیت اطمینان سوئیچ در استراتژی ذخیره و سیستم سوئیچینگ گسسته نیز می‌تواند در پژوهش‌های اتی 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 مدل های چند هدفه و آنجام موازنه بین هزینه، قابلیت اطمینان و وزن می‌تواند برای طراحان سیستم حائز اهمیت و بسیار مفید واقع گردد .

۱۳- تعارض منافع

نویسندگان اعلام می نمایند که هیچ گونه تعارض منافعی وجود ندارد.

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

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 Aboui 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 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

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[38]
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

[38] 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)

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

λ_i = Component failure rate n_i = Number of components

ρ_i = Reliability of Switch r_i = Component reliability

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.