

تخصیص بهینه اجزای مازاد چندگانه با استفاده از برنامه‌ریزی سناریو

علی اکبر اسلامی بلده^۱، میرمهدی سیداصفهان‌ی^{۲*} و محمدعلی فارسی^۳

^۱ کارشناس ارشد مهندسی صنایع - دانشگاه صنعتی امیر کبیر

^۲ دانشیار دانشکده مهندسی صنایع - دانشگاه صنعتی امیر کبیر

^۳ استادیار پژوهشکده سامانه‌های فضاوردی - پژوهشگاه فضایی ایران

چکیده

استفاده از اجزای مازاد و یا پشتیبان، یکی از متداول‌ترین روش‌های بهبود قابلیت اطمینان سیستم است. بسیاری از سیستم‌های مهندسی در طول عمر خود شرایط مختلف کاری را تجربه می‌کنند و همچنین قابلیت اطمینان اجزا، اغلب در شرایط مختلف کاری، متفاوت است. بنابراین نیاز است تا در انتخاب تعداد اجزای مازاد، این شرایط مختلف کاری در نظر گرفته شوند. اما در بسیاری از سیستم‌های مهندسی مجموعه ساخته شده، امکان قرارگیری در شرایط مختلف کاری را دارد. با توجه به محدود بودن شرایط کاری و عملکرد سیستم و امکان تخمین این شرایط مختلف به طور گسسته، در این مقاله از برنامه‌ریزی سناریو برای مدل‌سازی واقعیت استفاده شده است. اغلب در سیستم‌های مهندسی برای انتخاب تعداد اجزای مازاد، باید بین محدودیت‌های هزینه، فضا، وزن و غیره و همچنین میزان بهبود قابلیت اطمینان در سیستم، تعادل برقرار شود. در مدل ارائه شده در این مقاله، تعداد بهینه اجزای مازاد با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف، همراه با در نظر گرفتن محدودیت‌های متداول، در سیستم‌های سری- موازی به دست می‌آیند و همچنین امکان تخصیص اجزای مازاد به دو صورت آماده به کار و فعال به طور همزمان وجود دارد. مدل ارائه شده، به دنبال پیدا کردن تعداد و روش اجزای مازادی می‌گردد که منجر به حداکثرسازی قابلیت اطمینان و حداقل کردن وزن سیستم، در شرایط مختلف کاری همراه با برقراری محدودیت هزینه است. برای بهینه‌سازی از برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای و الگوریتم ژنتیک استفاده شده است و در انتها نیز یک مثال عددی برای درک بهتر روش ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: تخصیص اجزای مازاد، قابلیت اطمینان، برنامه‌ریزی سناریو، بهینه‌سازی چندهدفه

مقدمه

برای حضور مستمر و دستیابی به نام ماندگار، باید نگرانی استفاد کننده از محصول در طول زمان، در مورد درست کار کردن محصول، کاهش یابد. از این رو مصرف‌کنندگان و به طور کلی مردم جامعه انتظار دارند که سیستم‌ها و محصولات، اطمینان‌بخش و ایمن باشند. برای تأمین این انتظار، مقوله قابلیت اطمینان در نظر گرفته می‌شود. قابلیت اطمینان در حقیقت کنترل کیفیتی است که در طول زمان پابرجاست و با توجه به اینکه کنترل کیفیت عیب و نقص را کاهش می‌دهد، قابلیت اطمینان احتمال نگرانی از کارکرد سیستم را به حداقل می‌رساند [۱].

در طراحی بسیاری از سیستم‌های واقعی مانند سیستم‌های ساخت و مدارهای الکترونیکی، قابلیت اطمینان نقش پراهمیتی را ایفا می‌کند. در این حالت طراحی یک سیستم باید طوری انجام گیرد تا بیشترین مقدار ممکن قابلیت اطمینان بر اساس منابع محدود حاصل شود و این موضوع در مورد اجزائی که به صورت سری قرار می‌گیرند، اهمیت زیادی پیدا می‌کند [۲]. در

قابلیت اطمینان، یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های کیفی قطعات، محصولات و سیستم‌های بزرگ و پیچیده است که در ارزیابی اهداف و بررسی وضعیت فعلی آنها، نقش و اهمیت بسیاری دارد. امروزه این موضوع در همه جنبه‌های کاربردی به صورت یک اصل و نیاز مسلم مورد پذیرش قرار گرفته و برنامه‌های جامعی برای نیل به آن مدون شده است. تجربه چند دهه اخیر در صنایع ایران، نشانگر این واقعیت است که یکی از مؤثرترین عوامل در بهبود شرایط صنعتی کشور، موضوع قابلیت اطمینان است. قابلیت اطمینان، چالش کیفیت در قرن ۲۱ و از شاخص‌ترین ابعاد مرغوبیت کالا و خدمات است، زیرا به دلیل پیچیدگی طراحی سیستم‌ها، هزینه ضمانت محصول رو به افزایش است. بنابراین در هر جامعه مدرن، مهندسان و مدیران فنی، مسئول برنامه‌ریزی طراحی، ساخت و بهره‌برداری از ساده‌ترین محصول تا پیچیده‌ترین سیستم‌ها هستند. از کار افتادن محصول‌ها و سیستم‌ها، سبب وقوع اختلال است و می‌تواند به عنوان تهدیدی برای جامعه تلقی شود.

دیگر انواع آن داشته، ولی مدل‌های آماده به کار نیر در صنایع حساس و با دقت بالا بسیار مفید است [۸]. در این مقاله امکان تخصیص همزمان اجزای مازاد فعال و آماده به کار امکان‌پذیر شده است. برای حل مسائل تخصیص اجزای مازاد، از الگوریتم‌های متعدد بهینه‌سازی مانند برنامه‌ریزی پویا^۲، روش‌های برنامه‌ریزی عدد صحیح^۳ توسعه داده شده است. الگوریتم‌های سلسله مراتبی^۴ مانند روش شیب آرام^۵ و روش‌های الگوریتم فراابتکاری^۶ مانند الگوریتم ژنتیک^۷ از جمله دیگر روش‌هایی هستند که برای بهبود قابلیت اطمینان سیستم پیشنهاد می‌شود [۹ و ۱۰ و ۱۱ و ۱۲]. کا^۸ در مرجع [۵] اشاره به ۳۳۷ مورد که در زمینه بهینه‌سازی سیستم‌های دارای پشتیبان فعالیت داشته‌اند، کرده است. از این تعداد، فقط ۱۳ مورد درباره سیستم‌های پشتیبان آماده به کار و آن هم با فرضیاتی چون تعمیرپذیربودن سیستم، توضیحاتی ارائه داده‌اند.

مهندسان قابلیت اطمینان، برای تخمین عملکرد سیستم در مرحله طراحی محصول، اطلاعات دقیقی از ویژگی‌های قطعات و حتی مشخصات فیزیکی نهایی قطعات را در اختیار ندارند و همچنین در بسیاری از موارد شرایط کاری برای قطعه مورد نظر ثابت و یکسان نیست. با تغییر شرایط کاری مانند دما، زمان، بار کاری و ... قابلیت اطمینان قطعات نیز متفاوت خواهد بود [۱۳]. بنابراین کارشناسان با حالت‌های مختلف شرایط کاری و حالت‌های مختلف عملکرد سیستم روبه‌رو هستند. در بسیاری از سیستم‌های مهندسی، شرایط مختلف کاری محدود و قابل پیش‌بینی هستند و بر همین اساس می‌توان نبود قطعیت موجود در تصمیم‌گیری را با حالت‌های گسسته‌ای از شرایط واقعی مدل‌سازی کرد که به هر یک از این حالت‌ها، سناریو گفته می‌شود. در هر سناریو با یک مسئله قطعیت روبه‌رو هستیم که یکی از حالت‌های بالقوه آینده را نمایش می‌دهد. با در نظر گرفتن همه سناریوها می‌توان نبود قطعیت موجود در مسئله را مدل‌سازی کرد. بعد از تعریف سناریوهای محتمل، با توجه به اینکه مجموعه‌ای از اهداف قطعی قابل تخمین بوده و مجموعه‌ای دیگر بعد از مشخص شدن نبود قطعیت‌ها به دست می‌آیند، استفاده از برنامه‌ریزی دو مرحله برای مدل‌سازی سناریوها پیشنهاد می‌شود. با توجه به اضافه‌شدن سناریوها به مسئله اصلی، پیچیدگی حل مسئله افزایش می‌یابد و استفاده از

بعضی مواقع می‌توان در مورد هر یک از اجزای یک سیستم سری بیش از یک واحد را به صورت موازی استفاده کرد و آشکار است که هر چه تعداد اجزای موازی یک زیرسیستم بیشتر شود، عملکرد سیستم افزایش می‌یابد؛ اما از سوی دیگر به همان نسبت هزینه طراحی سیستم افزایش خواهد یافت، که در این صورت لازم است با به کارگیری کمترین واحدهای موازی در مورد هر زیرسیستم (حداقل کردن هزینه) حداکثر عملکرد سیستم در مواردی مانند قابلیت اطمینان و یا قابلیت دسترسی فراهم شود [۳]. این مسئله به صورت تخصیص مازاد سیستم‌های سری با انتخاب‌های چندگانه و محدودیت بودجه، عنوان می‌شود که به صورت یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح صفر و یک فرموله می‌شود. این نوع مسائل تخصیص بهینه اجزای مازاد در قابلیت اطمینان، جزو مسائل NP-hard قرار می‌گیرند [۴] و پیدا کردن الگوریتم مناسب برای بهینه‌سازی، همواره یک چالش در این زمینه است. از سال ۱۹۷۰ روش‌های هیوریستیک مختلفی برای حل مسائل قابلیت اطمینان با سیستم‌های پیچیده معرفی شد و در سال‌های اخیر با توسعه روش‌های فراابتکاری در حل مسائل قابلیت اطمینان روبه‌رو هستیم [۵].

سالیانی است که در حوزه قابلیت اطمینان مسئله تخصیص پشتیبان با ملاحظات چگونگی توابع هدف، ساختار سیستمی و توزیع‌های خرابی متفاوت و متعدد قطعات، مواجه است. در بیشتر موارد، مسائل طراحی با ملاحظه اینکه سیستم پیکربندی سری-موازی دارد و فقط از پشتیبان فعال استفاده کند، مورد بررسی قرار گرفته است. دلیل آن این است که محاسبه قابلیت اطمینان سیستم‌های دارای پشتیبان آماده به کار سرد، بسیار پیچیده است. کوی^۱ در مقاله [۶] خود، مدل تخصیص همزمان اجزای مازاد فعال و آماده به کار را ارائه کرده است. مسئله تخصیص به صورت تک‌هدفه و چندهدفه قابل تعریف است و اهداف و محدودیت‌ها با توجه به نوع مسئله قابل تعریف است [۷]. در مدل اجزای مازاد فعال، جزء مازاد، همزمان با جزء اصلی کار می‌کند و احتمال خرابی جزء مازاد، قبل از خرابی جزء اصلی وجود دارد، ولی در مدل آماده به کار جزء مازاد بعد از خرابی جزء اصلی شروع به کار کرده و احتمال خرابی جزء مازاد قبل از جزء اصلی وجود ندارد. نوع فعال اجزای مازاد کاربرد بیشتری از

سیستم سری- موازی به صورت معادله ۱ محاسبه می‌شود

[۸]:

(۱)

$$R(t; z, n) = \prod_{i \in A} (1 - (1 - r_{i,z_i}(t))^{n_i}) \times \prod_{i \in S} \left(r_{i,z_i}(t) + \sum_{j=1}^{n_i-1} \rho_i^j \int_0^t f_{i,z_i}^{(j)}(u) r_{i,z_i}(t-u) du \right) \prod_{i \in N} r_{i,z_i}(t)$$

تابع چگالی زمان خرابی برای قطعه i ام در زیر مجموعه A

مجموعه زیرمجموعه‌هایی که اجزای مازاد به صورت فعال قرار گرفته‌اند.

S مجموعه زیرمجموعه‌هایی که اجزای مازاد به صورت آماده به کار قرار گرفته‌اند.

N مجموعه زیرمجموعه‌هایی که اجزای مازاد ندارند.

با توجه به انعطاف تابع توزیع ارلنگ، برای نمایش خرابی مجموعه‌های مختلف و پرکاربرد این توزیع در بحث قابلیت اطمینان، در این مقاله از این تابع برای تابع توزیع خرابی قطعات استفاده شده است. تابع توزیع ارلنگ با دو پارامتر λ و K تشکیل می‌شود. قابلیت اطمینان سیستم زمانی که تابع توزیع خرابی قطعات از تابع توزیع ارلنگ پیروی کنند، به صورت معادله (۲) به دست می‌آید [۸]:

(۲)

$$R(t; z, n) = \prod_{i \in A} (1 - (1 - r_{i,z_i}(t))^{n_i}) \times \prod_{i \in S} \left(r_{i,z_i}(t) + \delta_i(t, n_i) \times \exp(-\lambda_{i,z_i} t) \sum_{l=k_{i,z_i}}^{k_{i,z_i} n_i - 1} \frac{(\lambda_{i,z_i} t)^l}{l!} \right) \prod_{i \in N} r_{i,z_i}(t)$$

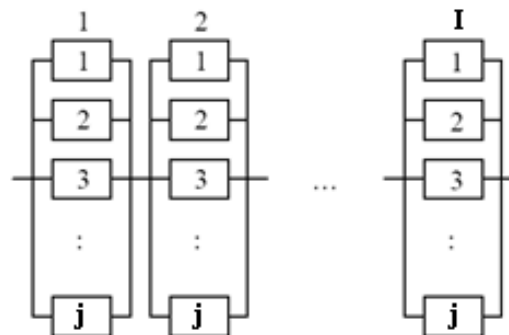
$$\text{Where } r_{i,z_i}(t) = \exp(-\lambda_{i,z_i} t) \sum_{l=k_{i,z_i}}^{k_{i,z_i} - 1} \frac{(\lambda_{i,z_i} t)^l}{l!}$$

روش وزن‌دهی برای تصمیم‌گیری چندمعیاره: روش وزن‌دهی که برخی آن را روش پارامتری نیز نامیده‌اند، یکی از قدیمی‌ترین تکنیک‌های حل مسائل چندمعیاره است. این روش با در نظر گرفتن وزن برای اهداف مختلف، آنها را به یک مسئله تبدیل می‌کند (رابطه ۳). در روش وزنی فرض می‌شود که ارزش هر هدف به اندازه وزن آن است و می‌توان با تغییر وزن، اهداف نقاط مختلف بهینه یک مسئله را به دست آورد. در بسیاری از مسائل، قابلیت اطمینان، مجموعه‌ای از اهداف نظیر کمینه‌کردن هزینه و یا وزن سیستم و بیشینه‌کردن قابلیت اطمینان و عملکرد

الگوریتم‌های فراابتکاری به صرفه‌تر می‌شود که در این مقاله از روش الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی استفاده شده است.

مدل قطعی

سری - موازی: در سیستم‌های سری-موازی، مجموعه اصلی به صورت سری قرار می‌گیرد و برای افزایش قابلیت اطمینان، سیستم اجزاء مازاد، به هر یک از اجزای سری اضافه می‌شود و سیستم تا زمانی که حداقل یکی از کل مجموعه‌های سری کار کند، سالم است. این نوع سیستم، از پرکاربردترین چیدمان‌های رایج در صنایع مختلف است [۸].



شکل ۱: نمایی از چیدمان سری-موازی

به طور معمول اگر بتوان بین دو نوع پشتیبان فعال و آماده به کار، یکی را انتخاب کرد، امتیاز استفاده از پشتیبان آماده به کار بالاتر است، زیرا نرخ خرابی پایین‌تری نسبت به پشتیبان فعال دارد. البته باید این نکته را در نظر گرفت که استفاده از پشتیبان آماده به کار، نیازمند تجهیزات جانبی همچون سوویچ‌ها است تا بتوان از این نوع پشتیبان در موقع و شرایط خاص استفاده کرد. چون خرابی ممکن است در برخی سوویچ‌ها اتفاق افتد، گاهی استفاده از پشتیبان فعال ترجیح داده می‌شود. همچنین باید در نظر داشت که استفاده از سیستم پشتیبان آماده به کار، با در نظر گرفتن محدودیت‌های منابع که وابسته به بودجه، وزن و حجم هستند انجام می‌گیرد. بنابراین حتی در سیستم‌های کوچک انتخاب بین دو نوع پشتیبان به شکل واضح و معلوم نمی‌تواند انجام گیرد و نیازمند تحلیل‌های جزئی‌تری است [۵]. در این مقاله، فرض شده است که قابلیت اطمینان سوویچ‌ها نسبت به زمان ثابت بوده و تخصیص همزمان هر دو حالت فعال و آماده به کار، وجود دارد. در نتیجه قابلیت اطمینان یک

نبود قطعیت‌ها به دست می‌آیند، استفاده از برنامه‌ریزی دو مرحله‌ای برای مدل‌سازی سناریوها پیشنهاد می‌شود. در برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای استفاده شده در این مقاله، در مرحله اول وزن سیستم حداقل می‌شود و در گام دوم قابلیت اطمینان سیستم برای هر سناریو مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و از میانگین وزنی آنها در هدف استفاده می‌شود. مدل دو مرحله‌ای برای تخصیص قابلیت اطمینان به صورت رابطه ۵ تعریف می‌شود.

(۵)

$$\min u_1 \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J W_{ij} x_{ij} - u_2 \sum_{\beta=1}^K \pi_{\beta} \tilde{R}(t; z, n, \beta)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J c_{ij} x_{ij} \leq C_{max} \quad \text{for } k = 1, 2, \dots, K$$

به جواب برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای، SS^a گفته می‌شود و در صورتی که به جای متغیرهای تصادفی از میانگین آنها استفاده کرده و مسئله قطعی به دست آمده را بهینه کنیم، EV^{**} به دست می‌آید و با جای‌گذاری جواب بهینه مدل SS در مدل EV ، مقدار EEV به دست می‌آید [۱۵]:

$$EV = \min_x z(x, \varepsilon) \quad (۶)$$

$$EEV = E_{\varepsilon}[R(\bar{x}(\varepsilon)), \varepsilon] \quad (۷)$$

VSS^{**} هزینه‌ای است که ما در صورت نادیده گرفتن تصادفی بودن متغیرها می‌پردازیم و یا ارزشی است که با تعریف متغیرهای تصادفی به دست می‌آوریم که از رابطه ۸ محاسبه می‌شود [۱۶]:

$$VSS = EEV - SS \quad (۸)$$

در صورتی که هر سناریو را به طور جداگانه بهینه‌سازی کنیم و از جواب‌های سناریوها میانگین بگیریم WSS^{**} به دست می‌آید:

$$WSS = E_{\varepsilon}[\min_x R(x, \varepsilon)] \quad (۹)$$

$EVPI^{**}$ نشان‌دهنده ارزش دسترسی به اطلاعات دقیق از آینده را مشخص می‌کند و به نوعی هزینه قابل قبولی برای دسترسی به اطلاعات دقیق‌تر را بیان می‌کند که از رابطه ۱۰ محاسبه می‌شود [۱۶]:

$$EVPI = SS - WSS \quad (۱۰)$$

سیستم مورد نظر است. با توجه به نوع مسئله، می‌توان بخشی را به عنوان محدودیت و گروهی را به عنوان هدف در نظر گرفت که در این مقاله، حداقل‌سازی وزن سیستم و حداکثرسازی قابلیت اطمینان، اهداف مسئله بوده و هزینه نیز به عنوان یک محدودیت در نظر گرفته شده است [۳ و ۱۴].

$$\min F_1 \cap \max F_2 \cap \min F_3 \cap \dots \quad (۳)$$

$$\text{Min } u_1 F_1 - u_2 F_2 + u_1 F_1 + \dots$$

مدل تصادفی

نبود قطعیت در ویژگی‌های قطعات، زمان عملیاتی، شرایط کاری و فشارهای محیطی، باعث نبود قطعیت در قابلیت اطمینان قطعات می‌شود. به عنوان مثال در استاندارد MIL-HDBK-217 برای تخمین نرخ خرابی یک قطعات الکترونیکی، علاوه بر تشخیص نرخ خرابی پایه (base failure rate λ_b)، شرایط کاری (quality factor π_Q)، میزان فشار کاری (stress factor π_S)، دما (temperature factor π_T) نیز تأثیر مستقیم دارند که با تغییر هر یک از عوامل ذکر شده، نرخ خرابی و در نهایت قابلیت اطمینان قطعه متفاوت می‌شود. به عنوان مثال نرخ خرابی یک قطعه مقاومت در استاندارد، از رابطه ۴ محاسبه می‌شود [۱۳]:

$$\lambda_{Resistor} = \lambda_b \pi_T \pi_P \pi_S \pi_Q \pi_E \quad (۴)$$

با توجه به اینکه حالت‌های مختلف شرایط کاری و حالت‌های مختلف عملکرد سیستم، در بسیاری از صنایع، محدود و قابل پیش‌بینی است، بر همین اساس می‌توان نبود قطعیت موجود در تصمیم‌گیری را با حالت‌های گسسته‌ای از شرایط واقعی مدل‌سازی کرد که به هر یک از این حالت‌ها، سناریو گفته می‌شود. در برنامه‌ریزی سناریو، برای نشان دادن نبود قطعیت موجود، از حالت‌های گسسته استفاده می‌شود که در هر سناریو شرایط مشخص و نبود قطعیتی وجود ندارد. برای هر سناریو یک احتمال وقوع تعریف می‌شود π_{ω} که مجموع احتمال وقوع سناریوها برابر یک است [۱۵]. با در نظر گرفتن همه سناریوها، می‌توان نبود قطعیت مسئله را مدل‌سازی کرد. بعد از تعریف سناریوهای محتمل، با توجه به اینکه مجموعه‌ای از اهداف قطعی و قابل تخمین در ابتدای تصمیم‌گیری بوده و مجموعه‌ای دیگر بعد از مشخص شدن

شرایطی که مجموعه هزینه‌های تخصیص نباید بیشتر از ۷۰ واحد شود. ($C_{max}=70$). میزان اهمیت قابلیت اطمینان در برابر وزن سیستم برابر ۰.۰۰۲ در نظر گرفته شده است. ($u_w=0.002$) و حداکثر تعداد اجزای مازاد برای یک المان، ۳ عدد در نظر گرفته شده است ($n_{max,i}$ (3) = مدل دو مرحله‌ای مثال با توجه به رابطه ۵ به صورت رابطه ۱۲ به دست می‌آید که با حل توسط الگوریتم ژنتیک جواب‌های بهینه در حالت‌های مختلف در جدول ۲ آورده شده است:

$$\min \quad 0.002 \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J w_{ij} x_{ij} - 0.25 \tilde{R}(t=100; z, n, \beta) \quad (12)$$

$$\begin{aligned} & -0.4 \tilde{R}(t=100; z, n, \beta=2) \\ & -0.35 \tilde{R}(t=100; z, n, \beta=3) \end{aligned}$$

subject to: $\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J c_{ij} x_{ij} \leq 70, k=1,2,..3$

$$\sum_{j=1}^J x_{ij} \geq 1, \quad i=1,2,..4$$

$$x_{ij} \leq 3, \quad i=1,2,..4, \quad j=1,2,..3$$

با جای‌گذاری جواب‌های مدل دو مرحله‌ای در هر سناریو، جدول ۳ به دست می‌آید. با استفاده از روابط ۶-۱۱ میزان بالای ($EVPI(0.00616)$) و ($VSS(0.0231)$)، نشان‌دهنده اهمیت استفاده از برنامه‌ریزی سناریو در تصمیم‌گیری برای تخصیص اجزای مازاد است و جواب مدل میانگین با مدل دو مرحله‌ای میزان، تفاوت فراوان این دو روش را نشان می‌دهد.

$$WSS = -(0.8883 \times 0.25) - (0.8874 \times 0.4) - (0.8916 \times 0.35) = -0.88598$$

$$VSS = EEV - SS = -0.8567 - (-0.8798) = 0.0231$$

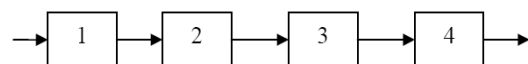
$$EVPI = SS - WSS = -0.8798 - (-0.88598) = 0.00616$$

الگوریتم ژنتیک: با اضافه کردن سناریوها به مسئله قطعی، میزان پیچیدگی مسئله افزایش می‌یابد و استفاده از الگوریتم‌های ابتکاری کاربرد بیشتری پیدا می‌کند. الگوریتم‌های فراوانی برای حل مسائل تخصیص اجزای مازاد توسعه یافته است که در این بین، الگوریتم ژنتیک، کارایی بیشتری را از خود نشان داده است [۴ و ۱۷ و ۱۸]. با توجه به تعداد فراوان الگوریتم ژنتیک توسعه یافته برای این قبیل مسائل، در این مقاله، از یکی از آخرین الگوریتم‌های توسعه یافته و مناسب برای مسئله موجود استفاده شده است که بعد از امتحان پارامترهای مختلف، پارامترهای زیر برای مسئله موجود پیشنهاد می‌شود [۱۹].

initial population: 20 Crossover rate: 0.7
mutation rate: 0.1 generation size: 500

مثال عددی:

سیستمی با ۴ المان که به صورت سری قرار گرفته‌اند را در نظر بگیرید که برای هر یک از اجزاء، گزینه‌های مختلفی از اجزای مازاد وجود دارد (شکل ۲). هزینه، وزن و تابع توزیع هر یک از اجزای مازاد در ۳ سناریوی مختلف در جدول ۱ وجود دارد که در هر سناریو هزینه و مشخصات تابع توزیع‌ها متفاوت است. سویچ در حالت آماده به کار به صورت پیوسته کار می‌کند و قابلیت اطمینان آن برای همه المان‌ها برابر ۹۸٪ است.



شکل ۲: بلوک دیاگرام مثال عددی

هدف مسئله، حداکثرسازی قابلیت اطمینان سیستم در زمان ۱۰۰ و حداقل‌سازی وزن سیستم است. در

جدول ۱: مشخصات اجزای مازاد در هر سناریو

Component	Redundancy type(j)	$\Pi_j=0.25$			$\Pi_j=0.4$			$\Pi_j=0.35$			weight
		Scenario 1 (below average)			Scenario 2 (expected value)			Scenario 3 (above average)			
		k_{ij}	landa	cost	k_{ij}	landa	cost	k_{ij}	landa	cost	
1	1	2	0.001406	5	3	0.010526	7	2	0.005618	9	4
	2	3	0.009434	4	1	0.000835	6	2	0.004975	10	5
	3	3	0.00813	4	3	0.009434	5	2	0.005291	9	4
2	1	2	0.003906	6	2	0.00463	7	3	0.001047	8	6
	2	2	0.004274	6	2	0.00463	7	1	0.001043	9	8
3	1	3	0.013333	5	3	0.014493	7	3	0.015385	8	9
	2	2	0.005291	7	3	0.012821	8	2	0.005917	9	8
	3	3	0.010989	8	2	0.005618	9	2	0.00625	10	7
4	1	2	0.003521	5	3	0.009434	7	2	0.004975	9	8
	2	1	0.000407	6	3	0.00813	7	2	0.005291	9	8
	3	1	0.000202	7	2	0.003906	8	3	0.010989	10	9

جدول ۲: نتایج حل مدل دو مرحله‌ای و تک تک سناریوها برای مثال عددی

Component	Redundancy type	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Average(EV)	Two-stage(SS)
1	1	2 standby	0	0	2 standby	2 active
	2	0	0	0	0	0
	3	0	2 standby	2 active	0	0
2	1	2 standby	0	1 standby	2 standby	2 standby
	2	0	2 standby	0	0	0
3	1	0	0	0	0	0
	2	2 standby	0	0	0	2 standby
	3		2 standby	2 standby	2 standby	0
4	1	0	0	0	2 standby	0
	2	2 active	2 active	2 standby	0	2 standby
	3	0	0	0	0	0
Objective function		-0.8883	-0.8874	-0.8916	-0.8756	-0.8798
Weight		52	54	44	50	52
Reliability		0.9923	0.9881	0.9797	0.9756	0.9838
Cost		48	56	64	63.7	-

جدول ۳: نتایج جای گذاری جواب مدل‌های مختلف در مدل دو مرحله‌ای

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Average(EEV)
Objective function	-0.8883	-0.8791	-0.8745	-0.8567
Cost	48	58	70	59.7
Reliability	0.9923	0.98307	0.9785	0.9607

نتیجه گیری

بسیاری از تحقیقات گذشته در تخصیص اجزای مازاد با فرض ثابت بودن شرایط کاری و مشخص بودن عملکرد سیستم انجام گرفته است. اما در بسیاری از سیستم‌های مهندسی مجموعه ساخته شده، امکان قرار گیری در شرایط مختلف کاری را دارد. با توجه به محدود بودن شرایط کاری و عملکرد سیستم و امکان تخمین این شرایط مختلف به شکل گسسته، در این مقاله، از برنامه‌ریزی سناریو برای مدل‌سازی واقعیت استفاده شد. با توجه به چندهدفه بودن تخصیص اجزای مازاد و ثابت بودن وزن، حجم و دیگر ویژگی‌های اجزای مازاد در ابتدای طراحی و ارتباط نزدیک مسائل سناریو به برنامه‌ریزی دومرحله‌ای، از این روش برای مدل‌سازی مسئله استفاده شد. اجزای مازاد دارای دو نوع آماده به کار و فعال بوده و برای هر مجموعه چندین جزء مازاد متفاوت پیشنهاد شده است. برای بهینه‌سازی مسئله الگوریتم ژنتیک مناسب با توجه به تحقیقات دیگران شناسایی و انتخاب شد. در مثال عددی نیز اهمیت رویکرد مدل‌سازی

سناریو با توجه به میزان تغییرات زیاد این مدل، با جواب قطعی قابل اثبات است.

فهرست علائم

S	تعداد زیرمجموعه‌ها
n_i	تعداد المان استفاده شده در زیرمجموعه i ام
$n_{max,i}$	حداکثر تعداد المان قابل استفاده در زیرمجموعه i ام
m_i	تعداد المان موجود برای زیرمجموعه i ام
t	زمان مأموریت
$R(t;n)$	قابلیت اطمینان سیستم در شرایط مشخص
$r_{ij}(t)$	قابلیت اطمینان اجزای مازاد
λ_{ij}, k_{ij}	مشخصات تابع چگالی ارلانگ برای اجزای مازاد
C	حداکثر هزینه کل سیستم
C_{ij}, W_{ij}	هزینه و وزن اجزای مازاد برای المان i ام در زیرمجموعه j ام
p_i	احتمال شناسایی حالت خرابی توسط سوویچ
β	نشانگر سناریوها

مراجع

- 1- Billinton, R. and Allan, R.N. (1985). *Reliability evaluation of engineering systems: concepts and techniques*. London: Pitman.
- 2- Zio, E. and Podofillini, L. (2007). "Integrated optimization of system design and spare parts allocation by means of multiobjective genetic algorithms and Monte Carlo simulation." *Proc IMechE Part O: Journal of Risk and Reliability* .221(1): 67-84
- 3- Marler, R.T. and Arora, J.S. (2010). "The weighted sum method for multi-objective optimization: new insights." *Structural and Multidisciplinary Optimization*,;41:853–862.
- 4- Harnpornchai, N. (2011). "Genetic algorithm-aided reliability analysis." *Proc IMechE Part O: Journal of Risk and Reliability* . 225(1); 62-80
- 5- Kuo, W. (2001). *Optimal reliability design: fundamentals and applications*. Cambridge University Press.
- 6- Coit, D.W. (2003). "Maximization of system reliability with a choice of redundancy strategies." *IIE Transactions*.35(6):535–44.
- 7- Coit, D.W. and Smith A.E. (1998).;"Redundancy allocation to maximize a lower percentile of the system time to failure distribution." *IEEE Transactions on Reliability*. 47(1):79–87.
- 8- Taboada, H.A., Espiritu, J.F. and Coit, D.W. (2008). "Design allocation of multistate series-parallel systems for power systems planning: A multiple objective evolutionary approach." *Proc IMechE Part O: Journal of Risk and Reliability* . 222(3): 381-391.
- 9- Coit, D.W. (1996).;" Smith A.E. Reliability optimization of series-parallel system using a genetic algorithm." *IEEE Transactions on Reliability*.45(2): 254–60.
- 10- Xiao, N.C., Huang, H.Z., Wang, Z., Li, Y. and Liu, Y. (2012). "Reliability analysis of series systems with multiple failure modes under epistemic and aleatory uncertainties." *Proc IMechE Part O: Journal of Risk and Reliability* . 226(3): 295-304.
- 11- Coit, D.W. and Smith, A.E. (1996). "Penalty guided genetic search for reliability design optimization." *Computers & Industrial Engineering*. 30(4):895–904.
- 12- You, P. and Chen, T. (2005).;"An efficient heuristic for series-parallel redundant reliability problems." *Computers & Operations Research*.32:2117–27.
- 13- MIL-HDBK-217: *Reliability Prediction of Electronic Equipment*.
- 14- Marler, R.T. and Arora, J.S. (2004). "Survey of multi-objective optimization methods for engineering." *Structural and Multidisciplinary Optimization*,;26: 369–395.
- 15- Birge, J. and Louveaux, F. (1998). *Introduction to stochastic programming*. Springer.
- 16- Manandhar, S., Tarim, A. and Walsh, T.(2003).;"Scenario-Based Stochastic Constraint Programming." *International Joint Conferences on Artificial Intelligence*, Acapulco, Mexico.;214:9-15.
- 17- Holland, J.H. (1975). *Adaptation in natural and artificial systems*. Michigan: University of Michigan Press.
- 18- Gen, M. and Cheng, R. (1997). *Genetic algorithm and engineering design*. New York: Wiley.
- 19- Tavakkoli-Moghaddam, R., Safari, J. and Sassani, F. (2003). "Reliability optimization of series-parallel systems with a choice of redundancy strategies using a genetic algorithm. " *Reliability Engineering and System Safety*.93:550–6.

واژه‌های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1- Coit
 - 2- Dynamic Programming
 - 3- Integer Programming
 - 4- Heuristic Programming
 - 5- Steepest decent
 - 6- Meta Heuristic
 - 7- Genetic Algorithm
 - 8- Kuo
 - 9- Stochastic Solution
 - 10-Expected Value
 - 11-Expected result of using the EV
 - 12- Value of the Stochastic Solution
 - 13- Wait and See Solution
 - 14-Expected Value of Perfect Information
-