دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها

بهینه‌سازی چندهدفه قابلیت اعتماد سیستم‌های k از n با استفاده از سیاست انتخاب استراتژی تخصیص

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی صنایع

مهسا آقایی

استاد راهنما

دکتر علی زینل همدانی

۱۳۹۳

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی صنایع خانم مهسا آقایی

تحت عنوان

بهینه‌سازی چندهدفه قابلیت اعتماد سیستم‌های k از n با استفاده از سیاست انتخاب استراتژی تخصیص

در تاریخ ۹۳/۱۱/۱۲ توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر علی زینل همدانی
۲- استاد داور	دکتر غلامعلی رئیسی اردلی
۳- استاد داور	دکتر ناصر ملاوردی
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر مهدی بیجاری

بعـد ســپاس از الطاف یزدان پاک جای دارد از همه عزیزانی که اینجانب را در نگارش این پایان‌نامه یاری فرمودند، قدردانی کنم. از اســتاد گرانقدرم جناب آقای دکتر زینل همدانی به‌خاطر راهنمایی‌های موثر و حکیمانه در هدایت پایان‌نامه که همواره راهگشـا و مشوق بنده بوده است و با تحمل همه کاستی‌ها و نقص‌هایم مرا در این مسیر همراهی کردند، نهایت ســپاس و قدردانی را دارم. هم‌چنین از ســرکار آقای دکتر ابویی به دلیل یاری‌ها و راهنمایی‌های بی چشمداشت ایشان که بسیاری از سختی‌ها را برایم آسان‌تر نمودند صادقانه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

کلیه‌ی حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به مادر عزیزتر از جانم :

دریای بی کران فداکاری و عشق که وجودم برایش همه رنج بود و وجودش برایم همه مهر

تقدیم به پدر بزرگوارم :

به پاس محبت های بی دریغ و حمایت های دلگرم کننده اش

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت

فهرست اشکال ..... ده

فهرست جداول ..... یازده

چکیده ۱

فصل اول: مقدمه

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ معرفی مسئله و ضرورت انجام آن ۲

۱-۳ بیان اهداف پایان‌نامه ۵

۱-٤ ساختار تحقیق ۵

فصل دوم: تعاریف و ادبیات موضوع

۲-۱ مقدمه ۷

۲-۲ سیستم ۷

۲-۲-۱ حالت سیستم ۸

۲-۲-۲ ساختار سیستم ۸

۲-۳ قابلیت اعتماد سیستم ۱۲

۲-٤ رویکردهای بهینه‌سازی قابلیت اعتماد سیستم ۱۳

۲-۵ استراتژی‌های تخصیص اجزاء مازاد ۱۳

۲-۵-۱ استراتژی تخصیص فعال ۱٤

۲-۵-۲ استراتژی تخصیص ذخیره ۱٤

۲-۵-۳ استراتژی تخصیص مختلط ۱۵

۲-٦ مدل‌های بهینه‌سازی قابلیت اعتماد ۱۷

۲-۷ روش‌های بهینه‌سازی قابلیت اعتماد ۲۱

۲-۷-۱ الگوریتم‌های دقیق ۲۲

۲-۷-۲ الگوریتم‌های ابتکاری و فرا ابتکاری ۲٤

۲-۸ بهینه‌سازی چندهدفه قابلیت اعتماد ۲۷

۲-۹ خلاصه و جمع‌بندی ۳۰

فصل سوم: مدل‌ها و الگوریتم‌های پیشنهادی

۳-۱ مقدمه ۳۱

۳-۲ تعریف مسئله ۳۱

۳-۳ فرضیات و پارامترهای مسئله ۳۳

۳-٤ مدل ۱: بهینه‌سازی تک‌هدفه سیستم k از n با سیاست انتخاب استراتژی تخصیص ۳٤

۳-۵ مدل ۲: بهینه‌سازی چندهدفه سیستم k از n با سیاست انتخاب استراتژی تخصیص ۳٤
۳-٦ قابلیت اعتماد سیستم k از n ۳۵
۳-۷ انتخاب استراتژی تخصیص اجزاء مازاد ۳۸
۳-۸ روش‌های حل مدل اول ۳۸
۳-۸-۱ روش حل دقیق ۳۸
۳-۸-۲ الگوریتم ژنتیک (*GA*) ٤۱
۳-۹ روش حل مدل دوم ۵۰
۳-۹-۱ الگوریتم ژنتیک چندهدفه با مرتبسازی نامغلوب (*NSGA-II*) ۵۰
۳-۱۰ خلاصه و جمع‌بندی ۵۷
فصل چهارم: مثال عددی و تحلیل نتایج
٤-۱ مقدمه ۵۹
٤-۲ مثال عددی ۵۹
٤-۳ روش حل دقیق ٦۲
٤-٤ الگوریتم ژنتیک (*GA*) ٦٦
٤-۵ الگوریتم ژنتیک چندهدفه با مرتب‌سازی نامغلوب (*NSGA-II*) ٦۷
٤-٦ خلاصه و جمع‌بندی ۷٤
فصل پنجم: نتیجه‌گیری
۵-۱ مقدمه ۷۵
۵-۲ نتایج کلی تحقیق ۷۵
۵-۳ پیشنهادات برای مطالعات آتی ۷۷
مراجع ۷۸

فهرست اشکال

شکل ۲-۱- سیستم سری ۹
شکل ۲-۲- سیستم موازی ۹
شکل ۲-۳- سیستم سری-موازی ۱۰
شکل ۲-٤- سیستم با استراتژی فعال ۱٤
شکل ۲-٥- سیستم با استراتژی ذخیره ۱٥
شکل ۲-٦- یک سیستم سری-موازی با استراتژی مختلط ۱۷
شکل ۲-۷- روشهای بهینهسازی قابلیت اعتماد سیستم ۲۱
شکل ٤-۱- یک سیستم سری-موازی k از n ۳۲
شکل ٤-۲- نمایش کروموزوم (کدگذاری مسئله) ٤۳
شکل ٤-۳ - چرخ رولت ٤٥
شکل ٤-٤- تقاطع تک نقطهای ٤۷
شکل ٤-٥- تقاطع دو نقطهای ٤۷
شکل ٤-٦- تقاطع ماکزیمم-مینیمم ٤۷
شکل ٤-۷- جهش ساده ٤۸
شکل ٤-۸- جهش ماکزیمم-مینیمم ٤۸
شکل ٤-۹ - چند نقطه از فضای جوابهای یک مسئله فرضی ٥۱
شکل ٤-۱۰- نقاط فرضی مربوط به یک مجموعه با رتبه برابر ٥۳
شکل ٤-۱۱- مفهوم فاصله ازدحامی برای نقطه i ٥٤
شکل ٤-۱۲- نحوه عملکرد اپراتورها در مرحله انتخاب جوابها در الگوریتم ژنتیک چندهدفه با مرتبسازی نامغلوب ٥٦
شکل ٥-۱- میزان شاخص MPI برای ۳۳ مسئله الگو ٦٤
شکل ٥-۲- میزان شاخص MPI برای ۷ مسئله الگو ٦۷
شکل ٥-۳- تغییرات جواب پارتو در طول اجرای الگوریتم ژنتیک $NSGA\text{-}II$ ٦۹
شکل ٥-٤- پنج اجرای مختلف الگوریتم $NSGA\text{-}II$ بر روی مسئله نمونه ۷۲
شکل ٥-٥- سیستم واقعی بهترین جواب حاصل شده ۷۳

فهرست جداول

جدول۵-۱- پارامترهای مثال عددی ٦٠
جدول۵-۲- دادههای ورودی برای اجزاء سیستم ٦١
جدول۵-۳- نتایج روش حل دقیق ٦٣
جدول۵-٤- اجرای روش حل دقیق بر روی ۳۳ مسئله الگو ٦٥
جدول۵-۵- اجرای الگوریتم ژنتیک بر روی ۷ مسئله از ۳۳ مسئله الگو ٦٦
جدول۵-٦- عملگرهای ژنتیکی به کار رفته در الگوریتم ژنتیک چندهدفه ٦٨
جدول۵-۷- جوابهای به دست آمده با بالاترین قابلیت اعتماد در ۵ اجرای الگوریتم ژنتیک *NSGA-II* ۷۰
جدول۵-۸- جوابهای ناچیره به دست آمده از اجرای سوم الگوریتم *NSGA-II* ۷۳
جدول۵-۹- بهترین جواب به دست آمده از اجرای روشهای حل ۷٤

چکیده

امروزه مبحث افزایش قابلیت اعتماد، در صنایع پیشرفته به شدت مورد توجه قرار گرفته است و به طور مستمر در حال گسترش می‌باشد. یکی از روش‌های رایج در بهینه‌سازی قابلیت اعتماد سیستم‌ها، استفاده از اجزای مازاد در زیرسیستم‌ها می‌باشد. این مسئله که تحت عنوان مسئله تخصیص اجزای مازاد شناخته می‌شود، شامل انتخاب اجزای مازاد به‌منظور بهینه‌سازی تابع (و یا توابع) هدف مسئله بر اساس محدودیت‌های از پیش تعیین شده است. در این تحقیق، تخصیص اجزای مازاد در سیستم‌های k از n مورد بررسی قرار گرفته است. در مطالعات قبلی در حوزه سیستم‌های k از n فرض شده است که نوع استراتژی تخصیص اجزای مازاد از قبل تعیین شده است و به‌صورت فعال یا ذخیره (آماده به کار) مورد استفاده قرار می‌گیرد، درصورتی که انتخاب استراتژی مازاد برای هر زیرسیستم، ابزار مناسب‌تری را در اختیار طراحان قرار می‌دهد و موجب بهبود قابلیت اعتماد سیستم می‌شود. در این تحقیق، برای اولین بار تخصیص اجزاء مازاد در یک سیستم k از n با استفاده از سیاست انتخاب استراتژی تخصیص در نظر گرفته شده است. به عبارت دیگر، در مدل ارائه شده انتخاب استراتژی تخصیص در هر زیرسیستم به‌عنوان یک متغیر تصمیم در نظر گرفته شده است. پس از توسعه مدل ریاضی مسئله و تبدیل آن به یک مدل خطی، از روش برنامه‌ریزی عدد صحیح به عنوان یک روش دقیق برای رسیدن به جواب بهینه استفاده شده است. از آنجا که مسئله بهینه‌سازی تخصیص اجزاء مازاد در دسته مسائل *NP-hard* قرار دارد و فرضیات جدید باعث پیچیدگی بیش از پیش مدل ریاضی مسئله می‌گردد، فقط مسائل کوچک را می‌توان در یک زمان معقول با روش‌های دقیق حل کرد. بنابراین الگوریتم‌های فرابتکاری همچون الگوریتم ژنتیک (*GA*)، الگوریتم ژنتیک چندهدفه با مرتب‌سازی نامغلوب (*NSGA-II*) برای حل مسئله به کار رفته است. هم‌چنین، به‌منظور بررسی کارایی مدل جدید معرفی شده و قدرت روش‌های حل ارائه شده سعی شده است تا یکی از معروف‌ترین مثال‌های موجود در ادبیات موضوع که مربوط به یک سیستم سری-موازی پیچیده می‌باشد با استفاده از الگوریتم‌های طراحی شده حل شود . مقایسه نتایج به دست آمده با سایر تحقیقات صورت گرفته نشان می‌دهد میزان قابلیت اعتماد سیستم با استفاده از سیاست انتخاب استراتژی تخصیص به میزان قابل توجهی بهبود یافته است.

کلمات کلیدی: ۱- تخصیص اجزای مازاد ۲-بهینه‌سازی قابلیت اعتماد ۳-انتخاب استراتژی تخصیص ٤- سیستم‌های k از n ٦-بهینه‌سازی چندهدفه ۷-برنامه‌ریزی عدد صحیح ۸-الگوریتم ژنتیک

فصل اول
مقدمه

۱-۱ مقدمه

قابلیت اعتماد به عنوان یکی از مهم‌ترین معیارهای طراحی در تمام صنایع مورد توجه قرار گرفته است [۱]. هدف اصلی در مهندسی قابلیت اعتماد بهبود عملکرد سیستم در طول زمان است. در یک سیستم اجزاء به صورت‌های گوناگون با هم ارتباط دارند که نحوه ارتباط آن‌ها با یکدیگر در میزان قابلیت اعتماد سیستم نقشی اساسی ایفا می‌کند. قابلیت اعتماد سیستم‌ها در ساختارهای متفاوتی مورد بررسی قرار گرفته است. در این میان سیستم‌های k از n از هر دو جنبه‌ی نظری و کاربردی به‌طور گسترده‌ای موردتوجه قرار گرفته است.

۱-۲ معرفی مسئله و ضرورت انجام آن

یکی از مهم‌ترین مسائل که بسیاری از محققان با آن درگیر هستند، بهینه‌سازی قابلیت اعتماد یک سیستم است. بهینه‌سازی قابلیت اعتماد منجر به طراحی مناسب ساختار سیستم و استفاده موثر از منابع در دسترس می‌شود. مسائل بهینه‌سازی قابلیت اعتماد توسط بسیاری از محققان مورد مطالعه قرار گرفته است و از مدل‌های بهینه‌سازی مختلفی برای حل این مسائل استفاده شده است. یک مدل معروف در مسائل بهینه‌سازی قابلیت اعتماد مسئله تخصیص اجزاء مازاد نامیده می‌شود [۲]. در این مسائل تعدادی اجزاء مازاد به‌صورت ذخیره، در حالت موازی با

اجزای اصلی سیستم قرار می‌گیرند. این مسئله که تحت عنوان مسئله تخصیص اجزای مازاد[۱] (*RAP*) شناخته می‌شود. این مسئله یک مسئله بهینه‌سازی پیچیده است که شامل انتخاب بهینه نوع اجزاء مازاد و تعداد قطعات مازاد برای هر زیرسیستم ، به‌منظور بهینه‌سازی هدف یا اهدافی خاص بر اساس محدودیت‌های از پیش تعیین شده است [۳]. ثابت شده است که مسئله تخصیص اجزاء مازاد در ساده‌ترین فرم خود، یک مسئله *NP-Hard* است و با افزایش اندازه مسئله و تعداد محدودیت‌ها، حجم محاسبات به‌صورت نمایی افزایش می‌یابد و لذا محاسبات کامپیوتری فراوانی را می‌طلبد [٤].

مسائل تخصیص اجزاء مازاد را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم‌بندی نمود:

دسته اول: این دسته از مسائل که با نام تخصیص مازاد *RAP* شناخته می‌شوند، انتخاب‌های محدود و مشخصی از قطعات با ویژگی‌های از پیش تعیین شده‌ای همچون وزن، قابلیت اعتماد و حجم وجود دارد. در واقع، اطلاعات قطعات از قبل موجود است و در نتیجه روابط مورد استفاده برای تعریف محدودیت‌ها خطی و به صورت حاصل‌جمع معیارهای مختلف مانند هزینه، وزن، حجم و... می‌باشند و هدف تعیین نوع قطعه مورد استفاده و نیز تعداد قطعه مورد نیاز برای هر زیر سیستم از سیستم اصلی می‌باشد.

دسته دوم: در این دسته از مسائل اطلاعات قطعات و در نتیجه قابلیت اعتماد اجزاء از قبل مشخص نیست و به عنوان 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 اعتماد آن جزء در نظر گرفته می‌شود [۵، ٦]. به این دسته از مسائل، مسئله تخصیص قابلیت اعتماد[۲] گفته می‌شود. همانطور که گفته شده در این حالت محدودیت‌های مسئله به صورت غیرخطی نوشته می‌شوند.

علاوه بر تقسیم‌بندی مسائل تخصیص اجزای مازاد به شکل بالا، این مسائل دارای فرضیات کلی دیگر می‌باشد که باعث تنوع این مسائل شده است:

۱. سیستم و اجزای آن می‌توانند در یکی از دو حالت کاملاً سالم یا کاملاً خراب باشند که در این حالت سیستم دو حالته فرض می‌شود. این فرض در بعضی از پژوهش‌ها تغییر داده می شود و سیستم به صورت چند حالته در نظر گرفته می‌شود. در سیستم‌های چندحالته بیش از دو حالت کامل یا سالم برای سیستم در نظر گرفته می‌شود.

---

[۱] Redundancy allocation problem

[۲] Reliability allocation problem

۲. اجزاء موجود در سیستم‌های مورد بررسی می‌توانند تعمیرناپذیر یا تعمیرپذیر باشند. (مفهوم قابلیت دسترسی برای قطعات تعمیرپذیر[۱] کاربرد دارد، در حالی که برای قطعات تعمیرناپذیر[۲] مفهوم قابلیت اعتماد استفاده می‌شود.)

۳. در مسائل تخصیص مازاد استراتژی‌های مختلفی برای تخصیص اجزاء مازاد در نظر گرفته می‌شود. اگر اجزاء مازاد در سیستم به صورت فعال[۳] در نظر گرفته شوند. یعنی تمام قطعات مازاد از زمان صفر و همزمان با سیستم شروع به کار کنند، آن‌گاه خواهیم گفت از استراتژی فعال استفاده می‌شود. این فرض برای مسائلی که استراتژی ذخیره[٤] را در نظر می‌گیرند نقض می‌شود. در استراتژی ذخیره یک قطعه (قطعه اصلی) به‌صورت فعال کار می‌کند و سایر قطعات اضافه شده به‌صورت ذخیره در سیستم قرار می‌گیرند و هنگام خرابی قطعه فعال و بر اساس یک اولویت از قبل تعیین شده به ترتیب وارد مدار می‌شوند.

٤. از طرف دیگر یکسان بودن یا نبودن اجزا در زیرسیستم‌ها نیز در نحوه تعریف مسئله و انتخاب روش مورد استفاده برای حل آن موثر می‌باشد. بر اساس مطالعات صورت گرفته ثابت شده است که قابلیت اعتماد سیستم در حالتی که اجزا موجود در هر زیرسیستم متفاوت از هم هستند، بیشتر از حالتی می‌باشد که اجزا یکسان در نظر گرفته می‌شوند، برای مثال در هواپیماها در یک زیر سیستم از یک ژیروسکوپ الکتریکی در کنار ژیروسکوپ مکانیکی به عنوان جز مازاد استفاده می‌شود.

۵. فرض دیگر موجود در مدلسازی اینگونه مسائل، نوع و تعداد تابع هدف در نظر گرفته شده در سیستم می‌باشد که می‌توان برخی از مسائل را نیز به صورت تک‌هدفه در نظر گرفت و برخی مسائل را به صورت مساله چند هدفه[۵] تبدیل نمود.

در این رساله نیز مسئله طراحی شده حالت چند هدفه‌ای از مسائل دسته اول می‌باشد. لذا فرض می‌شود که ویژگی‌های قطعات از قبل مشخص هستند و هدف انتخاب بهترین قطعه برای هر زیرسیستم، تعیین تعداد بهینه آن قطعه و نیز نحوه ارتباط قطعات با یکدیگر است.

---

[۱] Reparable

[۲] Non- Reparable

[۳] Active

[٤] Standby

[۵] Multi-objective

۱-۳ بیان اهداف پایان‌نامه

در تمام تحقیقات صورت گرفته در زمینه تخصیص اجزاء مازاد در سیستم‌های k از n، فرض شده است که استراتژی استفاده شده برای قطعات مازاد یکی از دو استراتژی ذخیره و فعال است و به صورت پیش‌فرض برای هر زیرسیستم مشخص است. مطالعاتی که در سال‌های اخیر بر روی مسائل تخصیص اجزاء مازاد (RAP) انجام شده است، نشان داده است که اگر برحسب مشخصات سیستم امکان انتخاب استراتژی تخصیص مناسب برای هر زیرسیستم وجود داشته باشد، قابلیت اعتماد سیستم را تا حدودی بهبود می‌بخشد. اما در تمام مطالعات صورت پذیرفته در زمینه سیستم‌های k از n فرض شده است که استراتژی مورد استفاده در هر زیرسیستم از قبل مشخص است. از این رو، در این تحقیق سعی خواهد شد تا این پیش‌فرض تغییر داده شود و این امکان فراهم شود که بتوان بهترین استراتژی برای هر زیرسیستم تعیین شود. در این تحقیق سعی شده است تا از روش دقیق برای حل مدل ریاضی مسئله استفاده شود و بتوان کارایی رویکرد جدید را نسبت به سایر استراتژی‌های سنتی قبلی مقایسه نمود. از آنجا که تمام روش‌های موجود برای بهبود قابلیت اعتماد همراه با هزینه‌های زیاد و گاه غیرقابل قبولی است، این روش این امکان را فراهم می‌آورد تا بدون صرف هزینه‌ای و فقط با تغییر در سیاست انتخاب استراتژی، قابلیت اعتماد سیستم را بهبود بخشید. انتظار می‌رود که نتایج این تحقیق به قابلیت اعتماد بالاتری از استراتژی‌های پیشین برسد که این امر برای طراحان سیستم‌های پیچیده صنعتی بسیار حائز اهمیت است.

از آنجا که بهینه‌سازی چندهدفه به واقعیت نزدیک‌تر است ولی به سبب پیچیدگی، مطالعات زیادی پیرامون آن انجام نشده است، مدل ارائه شده برای مسئله به صورت چندهدفه نیز در نظر گرفته خواهد شد و سعی خواهد شد تا با استفاده از الگوریتم قدرتمند ژنتیک مبتنی بر چینش جواب‌های ممتاز ناچیره[۱] ($NSGA\text{-}II$) که کارایی خود را در این‌گونه مسائل اثبات کرده است، اقدام به حل مسئله نماییم. به‌منظور نشان دادن کارایی مدل ارائه داده شده یکی از معروف‌ترین مثال‌های موجود در ادبیات موضوع که مربوط به یک سیستم سری-موازی پیچیده است، مورد بررسی قرار خواهد گرفت و نتایج حاصله با سایر مقالات مقایسه خواهد گردید.

۱-۴ ساختار تحقیق

پایان‌نامه حاضر در پنج فصل تدوین شده است. در فصل اول مقدمه‌ای راجع به اهمیت موضوع تحقیق و اهداف آن بیان می‌گردد. در فصل دوم به معرفی تعاریف و مفاهیم مربوط به قابلیت اعتماد سیستم‌ها، رویکردهای

[۱] Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm

بهینه‌سازی قابلیت اعتماد، مدل‌های بهینه‌سازی قابلیت اعتماد سیستم، معرفی مساله تخصیص اجزای مازاد و غیره پرداخته می‌شود. علاوه بر این، روش‌های بهینه‌سازی قابلیت اعتماد سیستم به طور اجمالی معرفی شده و به بررسی ادبیات موضوع مسئله تخصیص اجزاء مازاد پرداخته می‌شود. در فصل چهارم مدل‌ها و الگوریتم‌های پیشنهادی برای مسئله تخصیص اجزاء مازاد معرفی می‌گردد. در فصل پنجم روش حل و الگوریتم پیشنهادی بر روی یک مثال عددی پیاده‌سازی شده و تحلیل‌های مربوط به نتایج عددی ارائه خواهد شد. در فصل آخر هم نتیجه‌گیری کلی راجع به موضوع انجام می‌شود و پیشنهاداتی برای گسترش موضوع ارائه خواهد شد.

فصل دوم
تعاریف و ادبیات موضوع

۲-۱ مقدمه

دراین فصل در ابتدا تعاریف و مفاهیم اولیه پیرامون قابلیت اعتماد سیستم، رویکردهای بهینه‌سازی قابلیت اعتماد سیستم، مساله تخصیص اجزای مازاد و مسائل بهینه‌سازی چندهدفه مطرح می‌گردد، سپس مروری بر مطالعات انجام شده در ادبیات موضوع و روش‌های بهینه‌سازی ارائه شده برای حل این نوع مسائل خواهیم داشت.

۲-۲ سیستم

سیستم معمولاً ازتعدادی اجزاء و یا تعدادی زیرسیستم که هر کدام قابلیت اعتماد خاص خود را دارد طراحی شده است، به طور کلی یک سیستم به صورت مجموعه‌ای از اجزاء است که برای انجام مأموریت و یا رسیدن به هدف خاصی با کمیت و کیفیت معلوم، طراحی و ساخته شده است و با طراحی مشخصی در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند [۷].در ابتدا به منظور بررسی موضوع بهینه‌سازی قابلیت اعتماد یک سیستم لازم است ویژگی‌های یک سیستم مورد بررسی قرار گیرد.

۲-۲-۱ حالت سیستم

وضعیت هر سیستم بستگی به نوع عملکرد اجزاء آن دارد. نوع ارتباط اجزاء با یکدیگر نیز تاثیر مهمی در وضعیت سیستم دارد. به طور کلی تابع مشخصه کارکرد سیستم یا تابع ساختار سیستم را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$\varphi(x)\begin{cases}\text{اگر سیستم فعال باشد}\ ۱\\ \text{در غیر این صورت}\ ۰\end{cases}$$

با توجه به حالت اجزاء سیستم‌ها به دو دسته سیستم دودویی[۱] و سیستم چندحالته[۲] تقسیم می‌شوند. سیستم‌های دودویی نخستین‌بار توسط بارلوو پروسچان معرفی شد [٤]. در یک سیستم دودویی برای هر جزء تنها دو حالت خراب و سالم وجود دارد. در سیستم‌های چندحالته برای هر جزء بیشتر از دو حالت تعریف می‌شود، به‌طوری‌که در بین دو حالت خرابی و سالم بودن، حالت‌های دیگری نیز وجود دارند که در نتیجه‌ی آن یک سیستم چندحالته خواهیم داشت. به عنوان مثال، در یک نیروگاه برق واحدهای تولید انرژی متعددی به صورت موازی به هم متصل شده‌اند. ممکن است برای هرکدام از این واحدها چندین حالت تعریف شود از جمله، ۵۰۰ مگاوات (ظرفیت کامل)، ۳۰ مگاوات (ظرفیت ناکامل) و ۰ مگاوات (حالت خرابی) [۸]. قابلیت اعتماد یک سیستم چندحالته و ارزیابی عملکرد آن نخستین بار توسط النویهی و همکاران [۹] معرفی شد. هانگ و همکاران [۱۰] یک سیستم چندحالته k از n پیشنهاد کردند که مقدار k برای حالت‌های مختلف عملکرد سیستم متغیر در نظر گرفته شد. هم‌چنین تحلیل قابلیت اعتماد سیستم‌های چندحالته توسط بسیاری از محققان دیگر مورد مطالعه قرار گرفته است [۱۱-۱٤].

۲-۲-۲ ساختار سیستم

در قابلیت اعتماد یک سیستم واقعی، طراحی چیدمان اجزا نقش پراهمیتی را ایفا می‌کند. در چنین مواقعی طراحی چیدمان اجزاء باید به صورتی انجام گیرد تا بیشترین قابلیت اعتماد ممکن بر اساس منابع محدود حاصل گردد. از این‌رو طراحی سیستم‌ها در ساختارهای مختلفی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. انواع ساختارهای یک سیستم عبارت هستند از: سیستم سری، سیستم موازی، سیستم سری-موازی، سیستم سری-موازی k از n

---

[۱] Binary

[۲] Multi-State

سیستم سری[۱]

ساده‌ترین سیستم از لحاظ ساختار سیستم سری است. به سیستمی سری گویند که عملکرد آن مستلزم عملکرد تمام اجزاء آن باشد. به عبارت دیگر سیستم سالم است اگر و تنها اگر تمامی اجزاء آن سالم باشد و با شکست حداقل یکی از اجزاء کل سیستم از کار خواهد افتاد. شکل ۲-۱ چنین سیستمی را نشان می‌دهد.

شکل ۲-۱- سیستم سری

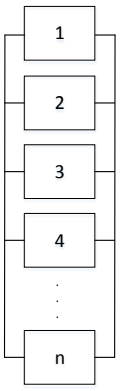
قابلیت اعتماد سیستم‌های سری از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$R_s = R_1 \times R_2 \times \ldots \times R_n = \prod_{i=1}^{n} R_i \qquad (۱-۲)$$

همان‌طور که از معادله بالا می‌توان مشاهده کرد، قابلیت اعتماد کل سیستم از حاصل‌ضرب قابلیت اعتماد تمام زیرسیستم‌های آن به‌دست می‌آید.

سیستم موازی[۲]

سیستمی را موازی گویند که عملکرد آن مستلزم عملکرد حداقل یکی از اجزاء آن باشد. به عبارت دیگر سیستم به کار خود ادامه خواهد داد، اگر و تنها اگر حداقل یکی از اجزاء آن سالم باشد. در سیستم موازی، افزودن اجزا به‌صورت موازی باعث افزایش قابلیت اعتماد سیستم خواهد شد. یک سیستم موازی در شکل ۲-۲ نشان داده شده است.



شکل ۲-۲- سیستم موازی

[۱] Series System

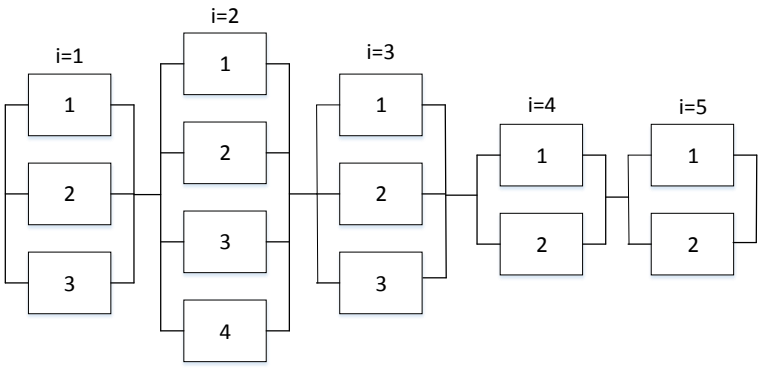
[۲] Parallel System

قابلیت اعتماد سیستم‌های موازی از رابطه زیر به دست می‌آید. همان‌طور که از معادله زیر می‌توان مشاهده کرد، قابلیت اعتماد کل سیستم برابر با احتما سالم بودن تمام اجزاء سیستم است.

$$R_s = 1 - \prod_{i=1}^{n}(1 - R_i) \qquad (۲-۲)$$

سیستم سری-موازی[۱]

از ترکیب دو سیستم سری و موازی سیستم گسترده‌ای تشکیل خواهد شد که سیستم سری-موازی نامیده می‌شود. همان‌طور که از شکل ۲-۳ پیداست، این نوع سیستم از ۵ زیرسیستم تشکیل شده است که به صورت سری در کنار هم قرار گرفته‌اند و در هرکدام از این زیرسیستم‌ها تعدادی جزء به‌صورت موازی نسبت به هم قرار گرفته‌اند.



شکل ۲-۳- سیستم سری-موازی

قابلیت اعتماد سیستم‌های سری-موازی از ترکیب دو رابطه به‌دست آمده برای قابلیت اعتماد سیستم‌های سری و موازی به دست می‌آید:

$$R_s = \prod_{j=1}^{s}\left[1 - \prod_{j=1}^{n_j}(1 - R_i)\right] \qquad (۳-۲)$$

سیستم سری-موازی k از n

در چنین سیستمی در هر زیرسیستم n جزء وجود دارد و عملکرد آن مستلزم عملکرد حداقل k واحد از n جزء است $(k \le n)$. به عبارت دیگر سیستم به کار خود ادامه خواهد داد اگر و تنها اگر k واحد از n جزء سالم باشد. روشن است که سیستم‌های سری-موازی حالت خاصی از سیستم k از n هستند. این سیستم‌ها بر اساس ساختار

[۱] Series-Parallel system