فصلنامه علمی مطالعات مدیریت صنعتی – سال هجدهم، شماره ۵۹، زمستان ۹۹ (نوع مقاله : پژوهشی)
صفحات ۱۸۰-۱۵۱

تخصیص مازاد سیستم سری - موازی با هدف بیشینه دسترس‌پذیری با در نظر گرفتن نرخ‌های خرابی و تعمیر غیر نمایی

سید علی میرنژاد*، پرهام عظیمی،** احمد یوسفی هنومرور***

تاریخ دریافت:۹۶/۹/۱۴- تاریخ پذیرش:۹۷/۵/۲۷

چکیده

در این مقاله، مسأله تخصیص مازاد سیستم سری - موازی، برای بیشینه کردن سطح دسترس‌پذیری سیستم با در نظر گرفتن محدودیت بودجه، وزن، حجم و بیشترین و کمترین تعداد عناصر تخصیص یافته به هر زیرسیستم مورد بررسی قرار گرفته است. نوآوری اصلی تحقیق لحاظ کردن نرخ خرابی و تعمیرپذیری اجزاء در فرآیند بهینه‌سازی با نرخ‌های خرابی و تعمیر غیر از تابع توزیع نمایی می‌باشد. در نظر گرفتن نرخ خرابی و تعمیر با تابع نوزیع غیر نمایی، امکان محاسبه دسترس‌پذیری با استفاده از روابط ریاضی را غیرممکن می‌سازد. بنابراین این تحقیق به منظور محاسبه دسترس‌پذیری سیستم از تکنیک شبیه‌سازی استفاده می‌کند. از آنجایی که شبیه‌سازی هیچ‌گونه قابلیت بهینه‌سازی ندارد و از طرفی در فرایند مسأله تخصیص مازاد جهت رسیدن به پاسخ بهینه لازم است تا دسترس‌پذیری سیستم بارها و بارها به منظور یافتن پاسخ بهینه مورد ارزیابی قرارگیرد، سعی می‌شود تا نتایج حاصل از شبیه‌سازی به شکل یک تابع ریاضی، که بیانگر چگونگی تأثیر متغیرهای تصمیم بر دسترس‌پذیری سیستم می‌باشد، بیان شود. در ادامه با توجه به درجه سختی بالای تابع ریاضی توسعه داده شده، الگوریتم فراابتکاری ژنتیک برای حل آن به کار گرفته می‌شود. در نهایت کارایی الگوریتم ژنتیک در برابر الگوریتم‌های اجتماع ذرات و شبیه‌ساز تبرید سنجیده می‌شود. به منظور مقایسه منصفانه، پارامترهای تأثیرگذار بر الگوریتم‌ها با استفاده از روش تاگوچی تنظیم شده و الگوریتم‌ها در بهترین حالت کارکردی خود قرار می‌گیرند. نتایج محاسباتی توانایی بالای الگوریتم ژنتیک را در بهینه‌سازی مسأله مورد نظر اثبات می‌کند.

واژگان کلیدی: قابلیت اطمینان[1]، مسأله تخصیص مازاد[2]، شبیه‌سازی[3]، الگوریتم فراابتکاری[1]، روش تاگوچی[2].

---

* مربی، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران. (نویسنده مسئول)
samirnezhad@yahoo.com

** دانشیار، مهندسی صنایع، دانشکده صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی قزوین، قزوین، ایران.

*** دانشجوی دکتری، گرایش تحقیق در عملیات، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبایی، تهران، ایران.

1.Reliability
2 .Redundancy Allocation Problem (RAP)
3 .Simulation

مقدمه

با افزایش روزافزون توجه به کیفیت، یافتن راهی برای ارتقاء پایائی محصول بیش از پیش مورد توجه قرار گرفت. چرا که برای باقی ماندن در شرایط رقابتی، کیفیت محصول و هزینه های مرتبط با آن نقش تعیین‌کننده‌ای دارند. به همین منظور علم مهندسی پایائی[3] در صنایع مختلف به کار گرفته شد. هدف از این شاخه علم مهندسی، یافتن بهترین راه برای افزایش پایائی و دسترس‌پذیری[4] سیستم‌ها است. بهینه‌سازی قابلیت اطمینان و متوسط زمان ماندگای سیستم، از حوزه‌های جذاب برای مهندسین و طراحان سیستم بوده و در این راستا استفاده از سیستم با اجزاء مازاد یکی از رویه‌های معمول در این زمینه‌ها محسوب می‌شود. (امیری، ۱۳۹۳)

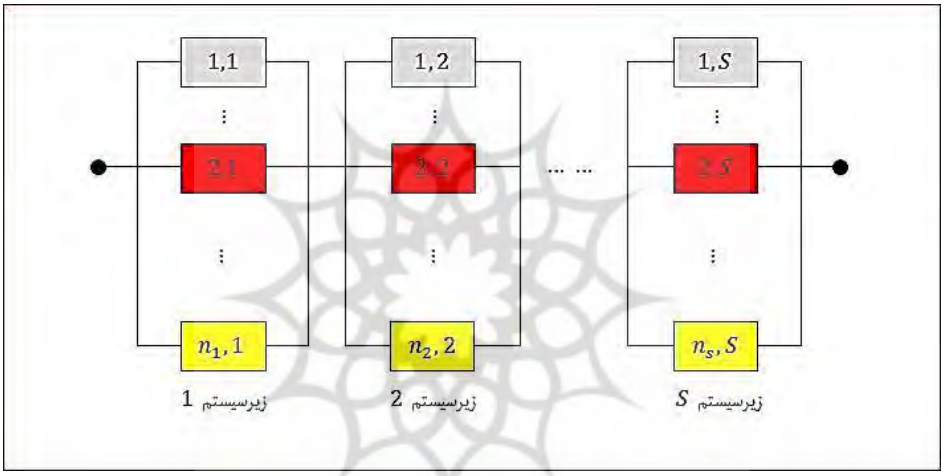
ذکر این نکته لازم است در ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌ها غالباً دو واژه پایائی و دسترس‌پذیری به کار گرفته می‌شود که دو مفهوم نسبتاً متفاوت می‌باشد. وقتی یک سیستم تعمیرپذیر باشد از واژه دسترس‌پذیری به جای پایائی استفاده می‌گردد. بنابراین دسترس‌پذیری به مفهمو درصد زمانی است که یک سیستم تعمیرپذیر به طور دقیق و صحیح وظیفه و مأموریت خود را انجام می‌دهد. (کو و وان[5]، ۲۰۰۷) به طور کلی سیستم‌ها را می‌توان به دو دسته سیستم‌های مأموریت‌گرا و سیستم‌های با عملکرد دائم تقسیم کرد. در سیستم‌های مأموریت گرا نقصی که منجر به کارافتادگی کل سیستم شود قابل قبول نیست و به معنای شکست سیستم می‌باشد. برای این‌گونه سیستم‌ها مفهوم پایائی که به معنای احتمال عملکرد صحیح سیستم در یک دوره زمانی خاص است مورد استفاده می‌باشد. اما در سیستم‌های با عملکرد دائم مانند سیستم‌های انرژی الکتریکی، معیار دسترس‌پذیری مناسب‌تر است. دسترس‌پذیری به معنای یافتن سیستم در شرایط لازم برای عملکرد آینده است در حالی‌که پایائی به معنای باقی‌ماندن سیستم در شرایط عملکرد بدون از کارافتادگی تا زمان مورد نظر می‌باشد (بیلینتون و همکاران، ۱۳۹۰). دسترس‌پذیری/پایایی سیستم به دسترس‌پذیری/پایایی

1. Metaheuristic Algorithm
2. Taguchi Method
3.Reliability Engineering
4. availability
5. Kuo and van

زیرسیستم‌های تشکیل‌دهنده آن بستگی دارد. عمومی‌ترین راهکار به منظور به حداکثررسانی دسترس‌پذیری/پایایی سیستم، استفاده از اجزاء مازاد است. اضافه کردن بهینه اجزاء مازاد به سیستم‌ها به منظور حداکثر کردن قابلیت اطمینان آنها به عنوان مسأله تخصیص مازاد شناخته شده است. برای هر زیرسیستم انواع مختلفی از اجزاء وجود داردکه توسط تأمین‌کنندگان بازار پیشنهاد می‌شود. هرجزء بر اساس هزینه، وزن و قابلیت اطمینان خاصی مشخص می‌شود. اگرچه اضافه کردن مازادها به سیستم قابلیت اطمینان را افزایش می‌دهد اما ممکن است باعث افزایش هزینه‌های مختلف از جمله هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری شود. بنابراین هدف طرح انتخاب ترکیب بهینه اجزاء سطح مازاد می‌باشد که دسترس‌پذیری/پایایی کل سیستم را با توجه به محدودیت‌های بودجه و وزن بیشینه نمایند.

در سال‌های اخیر به منظور حل مسائل بهینه‌سازی قابلیت اطمینان تمرکز اصلی روی ارتقاء روش‌های ابتکاری بوده که بر پایه روش‌های فراابتکاری استوار می‌باشند و با در نظر گرفتن تابع توزیع نمایی برای نرخ خرابی و نرخ تعمیر عناصر، تابع قابلیت اطمینان سیستم عمدتاً دسترس است. اما زمانی که نرخ خرابی و تعمیر دارای توزیع غیر نمایی باشد، حتی اگر زیرسیستم‌ها دارای ساختار پیچیده نباشند و ساختارهای سری- موازی داشته باشیم، تابع قابلیت اطمینان سیستم به سادگی در اختیار نیست. از این رو در این مقاله از شبیه‌سازی جهت تعیین دسترس‌پذیری سیستم کمک گرفته می‌شود. البته با توجه به اینکه جهت تخصیص بهینه مازاد لازم است بارها و بارها دسترس‌پذیری به ازای طرح‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گیرد، لذا ابتدا تعدادی سناریو شبیه‌سازی شده، سپس نتایج حاصل از آن به شکل یک تابع ریاضی که بیانگر چگونگی تأثیر متغیرهای تصمیم بر دسترس‌پذیری سیستم است بیان و در مرحله بهینه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. شبیه‌سازی به تحلیل‌گر سیستم اجازه می‌دهد که مقادیر واقعی دسترس‌پذیری را محاسبه کند. باید توجه داشت که شبیه‌سازی ذاتاً توانایی بهینه‌سازی را ندارد و تنها قادر است تا تأثیر تصمیمات گوناگون را بر سیستم نشان دهد. به همین دلیل این تحقیق یک روش برای ترکیب شبیه‌سازی و بهینه‌سازی پیشنهاد می‌دهد. از آنجا که سیستم‌های سری - موازی به خوبی مستقر شده‌اند، برای توصیف و نمایش رویکرد پیشنهاد

شده از این سیستم‌ها استفاده شده است. شکل (۱) پیکربندی یک سیستم سری - موازی را نشان می‌دهد. سیستم شامل زیرسیستم‌هایی درحالت سری می‌باشند و هر زیرسیستم شامل تعدادی از اجزاء است که به صورت موازی قرار گرفته‌اند. در ابتدا تنها اجزای اولین مسیر نمودار قابلیت اطمینان کار می‌کنند. تا زمان از کار افتادن یک جزء از هر زیرسیستم، سیستم به جزء بعدی سوییچ می‌کند و ارتباط بین ورود و خروج زیرسیستم از طریق جزء دوم شکل می‌گیرد. این فرآیند تا زمانی که هیچ ارتباطی بین ورودی و خروجی یک زیرسیستم از نمودار موجود برقرار نشود ادامه می‌یابد.



شکل ۱: ساختار عمومی سیستم سری – موازی

بررسی تحقیقات پیشین

مسأله عمومی تخصیص افزونگی برای اولین بار توسط فیف و همکاران[1] (۱۹۶۸) مطرح شد. آنها یک مدل ریاضی برای مسأله طراحی کردند که هدف آن حداکثر نمودن پایائی سیستم تحت محدودیت‌های وزن و هزینه بود. ناکاگاوا و میازاکی[2] (۱۹۷۷) ۳۳ مسأله را با تغییراتی

1. Fyffe et al
2. Nakagawa and Nakashima

در مثال فیف و همکاران (۱۹۶۸) با استفاده از روش دقیق جانشین محدودیت حل نمودند. آنها نشان دادند که در مسائل با چند محدودیت این رویکرد بهتر از روش برنامه‌ریزی پویا است. همچنین مسائل بهینه‌سازی تخصیص مازاد در دسته مسائل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح قرار دارند. به طورکلی روش‌های حل این نوع از مسائل را می‌توان به سه دسته روش‌ها حل دقیق بهینه‌سازی مانند برنامه‌ریزی پویا، انشعاب و تحدید، روش شمارشی و غیره (فیف و همکاران، ۱۹۶۸؛ بولفین و لیو[1]، ۱۹۸۵؛ هسیه[2]، ۲۰۰۲؛ ان جی و سانچو[3]، ۲۰۰۱؛ها و کائو[4]، ۲۰۰۶) روش‌های ابتکاری (رامیرز و کویت[5]، ۲۰۰۴؛ عظیمی وهادی‌نژاد، ۱۳۹۵) و روش‌های فراابتکاری (کوناک و همکاران، ۲۰۰۳؛ بیجی و همکاران[6]، ۲۰۱۰؛ توکلی مقدم و همکاران، ۲۰۰۷؛ پور کریمی و همکاران، ۲۰۱۶؛ توکلی مقدم و همکاران، ۲۰۰۸) تقسیم نمود.

از منظر پیچیدگی زمان محاسباتی چرن[7] (۱۹۹۲) ثابت نمود که مسأله ساده تخصیص افزونگی در سیستم سری با محدودیت‌های خطی از نوع سخت می‌باشد. بنابراین استفاده از روش‌های بهینه‌سازی سنتی بسیار مشکل خواهد بود. به همین دلیل محققان تشویق شده‌اند برای حل این‌گونه مسائل از الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری استفاده نمایند، تا حلی خوب در یک زمان مناسب حاصل شود. کوناک و همکاران[8] (۲۰۰۳) الگوریتم جستجوی ممنوع برای حل مسائل تخصیص افزونگی با امکان تخصیص اجزای غیرهمسان به هر زیرسیستم ارائه نمودند. آنها به منظور سنجش کارائی الگوریتم پیشنهادی خود، آن را با الگوریتم ژنتیک کویت و اسمیت[9] (۱۹۹۶) مقایسه نمودند.

توکلی مقدم و همکاران (۲۰۰۷) مدلی جدید را برای مسائل تخصیص افزونگی با امکان تخصیص اجزای غیرهمسان به هر زیرسیستم و با امکان انتخاب سیاست مازاد برای هر

1. Bulfin and Liu
2. Hsieh
3. Ng & Sancho
4. HA and Kuo
5. Ramirez and Coit
6. Beji et al
7. Chern
8. Konak et al
9. Coit and Smith

زیرسیستم ارائه دادند. آن‌ها زمان بین خرابی را ارلنگ در نظر گرفته و مدل را با الگوریتم ممتیک[1] حل کردند. خلیلی دامغانی و امیری (۲۰۱۲) یک مسأله تخصیص مازاد چندهدفه را با استفاده از روش محدودیت جزئی مؤثر مدل‌سازی و با استفاده از الگوریتم چند شروعی کران جزئی با تعیین شماره و تحلیل احاطه‌ای داده‌ها بهینه‌سازی کردند. چمبری و همکارانش[2] (۲۰۱۲) یک مدل دو هدفه برای مسأله تخصیص مازاد در سیستم‌های سری- موازی را تحت مفروضاتی نظیر عدم تعمیرپذیری با در نظر گرفتن دو استراتژی آماده به کار سرد و فعال برای اجزا و همچنین در نظر گرفتن تابع نرخ خرابی برای اجزا آماده به کار سرد در لحظه تغییر حالت به فعال، ارائه کردند و سپس مدل خود را با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک و اجتماع ذرات چندهدفه حل و جواب‌های این دو الگوریتم را با هم مقایسه کردند. در تحقیق هوانگ و می[3] (۲۰۱۳)، دسترس‌پذیری بازه‌ای برای سیستمی توسط الگوریتم تطبیق بلوک[4] مورد مطالعه قرار گرفت. آنها توزیع احتمال زمان‌های خرابی و تعمیر را از نوع نرمال لگاریتمی، وایبل و نمایی در نظر گرفتند. امیری و همکاران (۲۰۱۴) مدل دو هدفه تخصیص مازاد در سیستم‌های سری- موازی تعمیرپذیر را مورد مطالعه قرار دادند. در مدل پیشنهادی آنها نرخ خرابی و نرخ تعمیر اجزاء نمایی فرض شد و یک الگوریتم رقابت استعماری بهینه‌سازی مدل پیشنهاد داده شده توسعه داده شد.

موهوری و همکاران[5] (۲۰۱۷) مسأله تخصیص مازاد چندهدفه را با محوریت بهبود قابلیت اطمینان و با توجه به عدم قطعیت موجود در پارامترهای عناصر مطرح نمودند. در این مطالعه پارامترهایی همچون قابلیت اطمینان، هزینه و وزن کل سیستم به صورت کمیت فازی مدل شده است. پورکریمی و همکاران (۲۰۱۶) به مسأله تخصیص مازاد با در نظر گرفتن نرخ خطای افزایشی پرداختند. آنها به مسأله تخصیص مازاد در سیستم‌های سری -موازی با فرض اینکه نرخ خطا با گذشت زمان افزایش می‌یابد و با در نظر گرفتن توزیع وایبل برای آن پرداخته‌اند. جهت مدل کردن مسأله، یک روش بهینه‌سازی از طریق شبیه‌سازی مطرح و از

1. Memetic Algorithm (MA(
2. Chambari et al
3. Huang and Mi
4 . Block.by.Block
5. Muhuri et al

الگوریتم ژنتیک برای حل استفاده شده است. قلی‌نژاد و همدانی (۲۰۱۷) انتخاب استراتژی مازاد را نیز به صورت یک متغیر تصمیم در مسأله تخصیص مازاد مورد توجه قرار دادند. در این مطالعه برای هر زیرسیستم امکان انتخاب انواع گوناگونی برای عناصر وجود دارد و نوع آنها از جهت مازاد فعال یا آماده به کار با در نظر گرفتن قیود هزینه، وزن و فضا با هدف ماکزیمم کردن قابلیت اطمینان تعیین می‌گردد. جهت حل مسأله از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. عظیمی وهادی‌نژاد (۱۳۹۵) یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه را برای مسأله تخصیص سیستم‌های تعمیرپذیر با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، طراحی آزمایشات و شبیه‌سازی ارائه کردند. کانتونی و همکاران[1] (۲۰۰۰) و لینز و دراگوت[2] (۲۰۰۹) از ترکیب الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی مونت کارلو برای بررسی قابلیت اطمینان مسأله تخصیص افزونگی استفاده نمودند. لینز و دراگوت (۲۰۱۱) مسأله تخصیص افزونگی با سیستم تعمیرپذیر را با استفاده از الگوریتم ژنتیک چندهدفه و شبیه‌سازی گسسته پیشامد مورد تحلیل قرار دادند. با توجه به مطالب بیان شده کمتر تحقیقی مشاهده می‌شود که از ترکیب شبیه‌سازی و الگوریتم فراابتکاری به بررسی مسأله تخصیص مازاد سیستم سری – موازی بپردازد. تحقیق حاضر برای بیشینه کردن سطح دسترس‌پذیری سیستم با در نظر گرفتن محدودیت بودجه، وزن، حجم و بیشترین و کمترین تعداد عناصر تخصیص یافته به هر زیرسیستم از ترکیب شبیه‌سازی و الگوریتم ژنتیک استفاده می‌نماید.

تشریح مسأله

سیستم مورد مطالعه متشکل از S زیرسیستم است که به صورت سری قرار گرفته‌اند. برای زیرسیستم i، n_i تکنولوژی با ویژگی‌های مختلفی از جمله هزینه، وزن، حجم، نرخ خرابی و نرخ تعمیر گوناگون به موازات یکدیگر پیکره‌بندی شده‌اند. هرگاه یکی از اجزاء برای زیرسیستم i انتخاب شود، می‌بایست نظیر آن جزء برای همه اجزاء موازی زیرسیستم i مورد استفاده قرار گیرد. هر یک از اجزاء در صورت خرابی قابلیت تعمیرپذیری دارند. متوسط زمان

1. Cantoni et al
2. Lins and Droguett

خرابی اجزاء دارای توزیع ارلنگ و توزیع احتمال زمان تعمیر اجزاء یکنواخت است. تا زمانی که حداقل یکی از اجزاء تمامی زیرسیستم‌ها کار کند سیستم در دسترس است. هدف مسأله انتخاب نوع و تعداد اجزاء به کار رفته در هر زیرسیستم است به طوری که دسترس‌پذیری سیستم (A_s) حداکثر گردد. البته لازم به‌ذکر است که دسترس‌پذیری به‌طور کلی تابعی از زمان است و با گذشت زمان به یک مقدار مشخص همگرا می‌گردد. در این مقاله، هدف، حداکثر کردن دسترس‌پذیری بلندمدت و به عبارت دیگر، هدف حداکثر کردن دسترس‌پذیری در بی‌نهایت می‌باشد. سایر مفروضات در زیر نمایش داده شده است.

- اجزاء زیرسیستم و سیستم تنها دو وضعیت سالم یا خراب می‌توانند داشته باشند.
- خرابی اجزاء مستقل از یکدیگر می‌باشند و جزء خراب به سیستم آسیب نمی‌رساند.
- تنها یک نوع جزء به هر زیرسیستم می‌توان اختصاص داد.
- کمترین و بیشترین عناصری که می‌توانند به هر زیرسیستم تخصیص یابند عددی قطعی و مشخص است.
- حداقل و حداکثر نوع اجزاء قابل انتخاب برای هر زیرسیستم قطعی و از قبل معین است.
- پارامترهای مرتبط با هر جزء مانند میانگین نرخ خرابی، وزن، حجم و هزینه معلوم و غیراحتمالی می‌باشند.
- بلافاصله پس از خرابی قطعه تعمیر آغاز می‌شود. (البته می‌توان زمان انتظار تا شروع تعمیر و زمان انجام تعمیر را در قالب یک زمان کلی تعمیر با یک توزیع مشخص در نظر گرفت.)
- محدودیتی بر تعداد تعمیر همزمان در نظر گرفته نشده است.

مدل ریاضی مسأله

در ادامه با توجه به مفروضات بیان شده برای سیستم، نمادها و علائم مورد استفاده و مدل ریاضی، شامل توابع هدف و محدودیت‌های مسأله، آورده شده است:

نمادها و پارامترها

S تعداد زیرسیستم‌ها

m_i تعداد انواع اجزای در دسترس برای زیرسیستم i

j شاخص عناصر برای هر زیرسیستم $j = ۱, ۲, \dots, n_i$

i شاخص زیرسیستم $i = ۱, ۲, \dots, S$

c_{ij} هزینه خرید عنصر j که به زیرسیستم i ام تخصیص می‌یابد.

w_{ij} وزن عنصر j که به زیرسیستم i ام تخصیص می‌یابد.

v_{ij} حجم عنصر j که به زیرسیستم i ام تخصیص می‌یابد.

W_i حداکثر وزن مجاز برای زیرسیستم i ام

V_i حداکثر حجم مجاز برای زیرسیستم i ام

L_i کمترین تعداد عناصری که می‌تواند به زیرسیستم i ام تخصیص می‌یابد.

U_i بیشترین تعداد عناصری که می‌تواند به زیرسیستم i ام تخصیص می‌یابد.

C_{sys} هزینه در دسترس سیستم

λ_{ij}, k_{ij} پارامترهای شکل و مقیاس در توزیع $f_{ij}(t) = \frac{{\lambda_{ij}}^{k_{ij}} t^{k_{ij}-۱} e^{-\lambda_{ij} t}}{\Gamma(k_{ij})}$

$U(a, b)$ پارامترهای توزیع یکنواخت برای نرخ تعمیر اجزا

متغیرهای تصمیم

n_i تعداد اجزاء انتخاب شده برای زیرسیستم i ام

x_{ij} ۱ اگر جزء نوع j برای زیرسیستم i ام انتخاب شود

۰ در غیر این صورت

$$Max\ Z = E[Availability] \quad (۱)$$
$$Availability = f(\lambda_{ij}, k_{ij}, a, b, n_i, x_{ij})$$
$$S.T$$

$$\sum_{j=۱}^{m_i} x_{ij}\, n_i w_{ij} \le W_i \qquad i = ۱, ۲, \dots, S \quad (۲)$$

$$\sum_{j=۱}^{m_i} x_{ij}\, n_i v_{ij} \le V_i \qquad i = ۱,۲,\dots,S \qquad (۳)$$

$$\sum_{i=۱}^{S}\sum_{j=۱}^{m_i} x_{ij}\, n_i c_{ij} \le C_{sys} \qquad (۴)$$

$$L_i \le n_i \le U_i \qquad i = ۱,۲,\dots,S \qquad (۵)$$

$$x_{ij}\{۰,۱\}, n_i \in N \qquad (۶)$$

تابع هدف (۱) میزان دسترس‌پذیری را حداکثر می‌کند. مجموعه محدودیت‌های (۲) و (۳) وزن و حجم اجزاء تعبیه شده در زیرسیستم‌ها را محدود می‌کنند. مجموعه محدودیت‌های (۴) در راستای رعایت بودجه کل سیستم تلاش می‌کند. مجموعه محدودیت‌های (۵) حداقل و حداکثر تعداد اجزاء نصب شده در زیرسیستم‌ها را کنترل می‌کند. مجموعه محدودیت‌های (۶) مرتبط با متغیرهای تصمیم می‌باشند.

لازم به ذکر است به منظور در نظر گرفتن مجموعه محدودیت‌های مربوط به حجم، وزن و بودجه که در روابط فوق آمده، از روش تابع جریمه که یکی از معروف‌ترین روش‌ها در مسائل بهینه‌سازی با قید است استفاده می‌شود. در این روش میزان تجاوز از قیود در قالب تابع جریمه و با یک ضریب بزرگ به تابع برازندگی اصلی اضافه می‌گردد. البته با توجه به اینکه محدوده تغییرات کمیت‌های حجم و وزن و قید متفاوت است لذا آنها را نسبت به مقدار حداکثر نرمالیزه کرده و به صورت زیر به تابع هدف اضافه شده‌اند تا تابع هدف نهایی تشکیل گردد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

$$Z_a = Z - a \times \left(\sum_{i=1}^{S} max\left(0, \frac{\sum_{j=1}^{m_i} x_{ij}\, n_i w_{ij}}{W_i} - 1\right) + \sum_{i=1}^{S} max\left(0, \frac{\sum_{j=1}^{m_i} x_{ij}\, n_i v_{ij}}{V_i} - 1\right) + max\left(0, \frac{\sum_{i=1}^{S}\sum_{j=1}^{m_i} x_{ij}\, n_i c_{ij}}{C} - 1\right)\right) \quad (۷)$$

در این رابطه Z تابع هدف اصلی از رابطه (۱) و a ضریب مربوط به تابع جریمه بوده و چون مسأله بهینه‌سازی، بیشینه کردن است، لذا مقدار آن مثبت و خیلی بزرگ در نظر گرفته می‌شود. از آنجایی که دسترس‌پذیری به پارامترهای توزیع ارلنگ و یکنواخت وابسته است محاسبه آن از طریق روابط تحلیلی غیر ممکن خواهد بود. بنابراین بخش بعد یک روش ابتکاری مبتنی بر شبیه‌سازی را ارائه می‌دهد که قادر است دسترس‌پذیری سیستم را محاسبه کرده و تصمیمات بهینه را در راستای حداکثر کردن دسترس‌پذیری اتخاذ نماید.

بهینه‌سازی از طریق شبیه‌سازی

در مدل‌های ریاضی و روش‌های حلی که تاکنون برای مسائل تخصیص مازاد پیشنهاد شده است، همواره فرض بر این می‌باشد که نرخ خرابی اجزاء دارای تابع توزیعی خاصی است. این فرض می‌تواند منعی برای بهره‌گیری از این روش‌ها در سیستم‌های دنیای واقعی باشد. به همین دلیل در این تحقیق تابع نرخ خرابی و تعمیر به شکل غیرنمایی در نظر گرفته می‌شود. با توجه به شرایط مذکور محاسبه دسترس‌پذیری سیستم از طریق فرمول‌های ریاضی غیرممکن خواهد بود و این تحقیق از رویکرد شبیه‌سازی استفاده می‌کند. اما باید به این نکته توجه داشت که نتایج حاصل از شبیه‌سازی، بهینه نمی‌باشد و تنها برای ارزیابی طرح‌های سیستم بالقوه به کار می‌رود. با توجه به نامحدود بودن تعداد طرح‌های ممکن، زمان محاسباتی مورد نیاز برای ارزیابی این طرح‌ها رام نشدنی خواهد بود. بنابراین این پژوهش استفاده از تکنیک بهینه‌سازی

از طریق شبیه‌سازی[1] را پیشنهاد می‌دهد و سعی دارد تا با استفاده از شبیه‌سازی، یک متامدل (مدل رگرسیونی) ایجاد کند. برای ایجاد متامدل، سناریوهای زیادی از ترکیب سطوح مختلف متغیرها برای اجرا در شبیه‌سازی طراحی می‌شوند. سپس هر یک از این سناریوها از طریق شبیه‌سازی کامپیوتری اجرا و نتایج حاصل از شبیه‌سازی به عنوان متغیر پاسخ در نظر گرفته می‌شود. به عبارت دیگر دسترس‌پذیری سیستم از طریق شبیه‌سازی به ازای سناریوهای مختلف مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در نهایت یک تابع چندجمله‌ای مناسب بین متغیرهای مستقل که شامل نوع و تعداد عضوهای مازاد در زیرسیستم‌ها و متغیرپاسخ که همان دسترس‌پذیری سیستم است، برازش خواهد شد. ضمناً قابل ذکر است که تمامی مدل‌های شبیه‌سازی در محیط نرم افزارED[2] طراحی و اجرا شده‌اند. با توجه به اینکه متامدل پیشنهادی در دسته مسائل به شدت غیرخطی است و این‌گونه مسائل نیز از نوع حل نشدنی در زمان چندجمله‌ای بر حسب اندازه ورودی مساله (زمان معقول)[3] هستند (سیمای[4] و همکاران، ۲۰۱۰) بهینه‌سازی از طریق الگوریتم‌های فرا ابتکاری انجام می‌شود.

الگوریتم ژنتیک

با توجه به ماهیت غیرخطی مدل و پیچیدگی محاسباتی مدل آماری به دست آمده، حل آن با روش‌های دقیق در زمان محاسباتی معقول مشکل خواهد بود. با توجه به این که الگوریتم‌های تکاملی برای حل این‌گونه مسائل بهینه‌سازی پیچیده در بسیاری از حوزه‌های کاربردی به صورت موفقیت‌آمیز توسعه یافته‌اند، در این مقاله از الگوریتم فراابتکاری ژنتیک برای حل مدل استفاده شده است. الگوریتم ژنتیک یک تکنیک جستجو برای یافتن راه حل بسیاری از مسائل پیچیده جهان واقعی است. الگوریتم ژنتیک عملکرد ویژه‌ای نسبت به تکنیک‌های بهینه‌سازی متعارف در جستجوی فضاهای غیرخطی و پیوسته دارد و در هر تکرار با اعمال

1. Optimization Via Simulation(OVS)
2 . Enterprise Dynamics 8 ED
3 . Non-deterministic Polynomial-time hard (NP-Hard
4. Simai

عملگرهای تصادفی بر روی جمعیتی از جواب‌ها، جواب بهینه یا نزدیک بهینه را به وجود می‌آورد. در ادامه مراحل اجرای الگوریتم ژنتیک مورد استفاده تشریح شده است.

نمایش کروموزوم

نخستین گام در الگوریتم ژنتیک، تعریف متغیرهای تصمیم به عنوان ژن و اتصال آنها به هم برای ایجاد یک رشته از کروموزوم‌ها است. ژن‌ها برای یک مسأله خاص می‌توانند به صورت‌های مختلف مانند ژن‌های کدشده دوتایی، ژن‌های کدشده گسسته و ژن‌های کدشده واقعی بیان شوند. در این مقاله از روش کدکردن واقعی استفاده می‌شود. هر کروموزوم یک ماتریس $S * ۲$ است که S بیانگر تعداد زیرسیستم‌های سیستم است. اعداد موجود در سطر اول هر ستون نشان‌دهنده نوع جزء انتخابی و سطر دوم نشان‌دهنده تعداد جزء انتخابی می‌باشد.

نوع جزء	۲	۳	۱	۱
تعداد جزء	۴	۲	۳	۶

شکل ۲: الگوی کروموزوم

به عنوان مثال شکل ۲ نشان‌دهنده کروموزومی است که بر اساس آن تعداد ۴ عدد جزء نوع دو به زیرسیستم اول، تعداد ۲ عدد جزء نوع سه به زیرسیستم دوم، تعداد ۳ عدد جزء نوع یک به زیرسیستم سوم و تعداد ۶ عدد جزء نوع یک به زیرسیستم چهارم تخصیص یافته است.

استراتژی تقاطع

عملکرد اصلی جهت تولید کروموزوم‌های جدید در الگوریتم ژنتیک، عملگر تقاطع می‌باشد. یکی از نقاط قابل توجه، استفاده از یک عملگر مناسب است که جواب را از حالت موجه خارج نکند. برای انجام عمل تقاطع با رعایت شرط موجه بودن فرزندان ایجاد شده، مراحل زیر را دنبال می‌کنیم:

۱- یک عدد تصادفی *Cross point* در فاصله $\{۱,\dots,S\}$ تولید می‌کنیم که S تعداد زیرسیستم‌ها است.

۲- ستون‌های ۱ تا *Cross point* موجود در کروموزوم والد اول را مستقیما در ژن‌های فرزند اول کپی می‌کنیم.

۳- ستون‌های *Cross point+1* تا S والد دوم را مستقیما در ژن‌های فرزند اول کپی می‌کنیم. گام‌های دو و سه را برای تولید فرزند دوم تکرار می‌کنیم.

والد دوم

۱	۱	۳	۲
۶	۳	۲	۴

والد اول

۴	۳	۲	۴
۱	۵	۳	۲

فرزند دوم

۴	۳	۳	۲
۱	۵	۲	۴

فرزند اول

۱	۱	۲	۴
۶	۳	۳	۲

شکل ۳ : عملگر تقاطع

به عنوان مثال شکل (۳) تقاطع دو کروموزوم را نشان می‌دهد که در آن عدد ۲ به صورت تصادفی به عنوان نقطه تقاطع انتخاب شده است.

استراتژی جهش

مهمترین وظیفه عملگر جهش اجتناب از همگرایی و بهینه محلی و جستجو در فضاهای دست نخورده مسأله است. جهش یک کروموزوم به معنای تغییر ژن‌های آن است و وابسته به نوع کدگذاری، روش‌های مختلفی دارد. در این تحقیق برای اعمال جهش بر روی کروموزوم‌ها، یکی از ستون‌های مربوط به نوع و تعداد اجزاء در یک زیرسیستم انتخاب شده و با مقدار دیگری که به صورت تصادفی و موجه تولید شده، جایگزین می‌گردد. در شکل (۴) عملگر جهش به زیرسیستم دوم اعمال شده و نوع اجزاء آن را از ۳ به ۴ و تعداد اجزاء آن را ۲ به ۱ تغییر داده است.

۲	۳	۱	۱
۴	۲	۳	۶

۲	۴	۱	۱
۴	۱	۳	۶

شکل ٤: عملگر جهش

معیار توقف

مرحله نهایی در الگوریتم‌های فراابتکاری بررسی شرایط توقف می‌باشد. تکنیک استانداردی برای شرایط توقف الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفه وجود ندارد. در این پژوهش معیار توقف این است که زمانی که بهترین کروموزوم هر نسل پس از تعداد معینی تکرار تغییر نکند، الگوریتم متوقف خواهد شد. مقدار بهینه تکرار بر اساس نتایج به دست آمده از طراحی آزمایشات تاگوچی مشخص خواهد شد.

آزمایشات محاسباتی

در این بخش کارایی عملکرد الگوریتم‌های پیشنهادی برای حل مسأله تخصیص مازاد مورد بررسی قرار می‌دهیم. در ابتدا با استفاده از یک مثال عددی گام‌های پیاده‌سازی الگوریتم تشریح می‌گردد. در ادامه پارامترهای الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک تنظیم شده و سپس با استفاده از مسائل نمونه تصادفی تولید شده، عملکرد آن در حل مدل رگرسیونی ارزیابی می‌گردد. کارایی الگوریتم ژنتیک با دو الگوریتم فراابتکاری شبیه‌ساز تبرید (SA) و بهینه‌سازی اجتماع ذرات (PSO) مورد ارزیابی و مقایسه قرار می‌گیرد. همچنین تمامی محاسبات توسط یک PC با چهار گیگابایت RAM و پردازش‌گر Core i5 (GHz ۲,۲) انجام شده و برای تنظیم پارامترهای الگوریتم نیز از نرم‌افزار Minitab 17 استفاده شده است.

شرح مثال عددی

مورد مطالعاتی یک جعبه دنده با ۶ مرحله انتقال است که هر مرحله انتقال یک زیرسیستم با چندین جفت دنده است و هر جفت دنده یک نوع مؤلفه با خصوصیات خاص، یعنی میانگین نرخ خرابی و تعمیر، ابعاد، وزن و غیره است. مسأله در اینجا تصمیم‌گیری در این مورد است که کدام نوع از جفت دنده‌ها باید انتخاب شوند و چه تعداد جفت دنده باید در هر مرحله برای به حداکثررسانی دسترس‌پذیری جعبه دنده با توجه به محدودیت‌های هزینه، وزن و حجم در سطح سیستم مورد استفاده قرار گیرند. سطوح فاکتورها (متغیرهای تصمیم) بر اساس کمترین و بیشترین تعداد عناصری(جفت دنده) که می‌تواند به هر زیرسیستم تخصیص یابند و همچنین تعداد اجزای در دسترس برای هر زیرسیستم تعیین می‌شوند. آزمایشات را بر اساس فاکتورها و سطوح آنها، که در جدول (۲) نمایش داده شده است، طراحی می‌کنیم.

برای طراحی و تحلیل آزمایش‌ها از نرم‌افزارExpert Design استفاده گردیده است. باید بیان داشت که بدون تکرار یک عمل امکان وقوف به صحت آن وجود ندارد. مشروط بر رعایت کلیه اصول طرح‌های آزمایشی، هر چه تعداد تکرار بیشتر باشد، دقت آزمایش بیشتر است. ناگفته نماند که افزایش تعداد تکرار بیش از یک حد معین نه تنها دقت را افزایش نمی‌دهد بلکه باعث افزایش هزینه آزمایش می گردد. اما خطاهای آزمایش با افزایش تعداد تکرار کاهش می‌یابند. برای بیشتر از ۵ فاکتور و برای کاهش تعداد آزمایش‌ها نوع طراحی Min-Run Res V پیشنهاد شده است. بنابراین در این تحقیق آزمایش‌ها بر اساس طرح Min-Run Resolution V طراحی می‌شوند. این طرح‌ها دارای ۶ نقطه مرکزی می‌باشند و مقدار آلفا نیز برابر ۲ می‌باشد. در طرح‌های عاملی هر آزمایش پنج بار تکرار شده و میانگین مقدار به عنوان نتیجه آزمون منظور شده است. یادآوری می‌شود که متغیر پاسخ در نظر گرفته شده به منظور حل مدل پیشنهادی، همان دسترس‌پذیری می‌باشد.

متغیرهای تصمیم و سطوح آنها در مثال مورد بررسی در جدول (۲) نشان داده شده است. بدین ترتیب متغیر x_i نشان‌دهنده نوع جزء به کار رفته در زیرسیستم i و متغیر n_i نشان‌دهنده

تعداد اجزاء به کاررفته در زیرسیستم i می‌باشد. ضمیمه A آزمایش‌های طراحی شده و نتیجه به دست آمده برای هر آزمایش را نشان می‌دهد.

جدول ۲: فاکتورها (متغیرهای تصمیم) و سطوح آنها

فاکتورهای مؤثر		سطوح		
		سطح پایینی	سطح میانی	سطح بالایی
نوع جزء انتخابی زیرسیستم اول	x_1	۱	۲	۳
نوع جزء انتخابی زیرسیستم دوم	x_2	۱	۲	۳
نوع جزء انتخابی زیرسیستم سوم	x_3	۱	۳	۵
نوع جزء انتخابی زیرسیستم چهارم	x_4	۱	۲	۳
نوع جزء انتخابی زیرسیستم پنجم	x_5	۱	۲	۳
نوع جزء انتخابی زیرسیستم ششم	x_6	۱	۲	۳
تعداد اجزاء زیرسیستم اول	n_1	۱	۴	۷
تعداد اجزاء زیرسیستم دوم	n_2	۱	۳	۵
تعداد اجزاء زیرسیستم سوم	n_3	۱	۲	۳
تعداد اجزاء زیرسیستم چهارم	n_4	۱	۳	۵
تعداد اجزاء زیرسیستم پنجم	n_5	۱	۲	۳
تعداد اجزاء زیرسیستم ششم	n_6	۱	۴	۷

بعد از شبیه‌سازی و به دست آمدن نتایج آزمایش‌های طراحی شده، روش رگرسیون گام به گام با سطح اطمینان ۹۵٪ به کار گرفته می‌شود و عامل‌های معنی‌دار و تاثیرگذار برای ایجاد معادله نهایی انتخاب می‌شوند. نتایج این تحلیل در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول ۳: نتایج آنالیز واریانس عوامل تأثیرگذار

Source	Squares	df	Square	Value	Prob < F	
Model	۳/۷۷۰۷۱۷	۲۳	۰/۱۶۳۹۴۴	۳۶۳/۱۵۵۱	۰/۰۰۰۱ >	Significant
A - x_1	۰/۰۴۸۲۹	۱	۰/۰۴۸۲۹	۱۰۶/۹۶۶۸	۰/۰۰۰۱ >	
B - x_2	۰/۰۰۰۵۴۸	۱	۰/۰۰۰۵۴۸	۱/۲۱۳۶۰۱	۰/۲۷۳۷	
C - x_3	۰/۰۰۰۹۷۳	۱	۰/۰۰۰۹۷۳	۲/۱۵۵۴۲۷	۰/۱۴۵۷	
D - x_4	۰/۰۷۷۸۹۱	۱	۰/۰۷۷۸۹۱	۱۷۲/۵۳۸۵	۰/۰۰۰۱ >	

E - x_5	۰/۰۲۰۲۳۷	۱	۰/۰۲۰۲۳۷	۴۴/۸۲۷۶۶	۰/۰۰۰۱ >	
F - x_6	۰/۱۳۸۳۶۷	۱	۰/۱۳۸۳۶۷	۳۰۶/۴۹۸۷	۰/۰۰۰۱ >	
G - n_1	۰/۰۳۶۴۷۱	۱	۰/۰۳۶۴۷۱	۸۰/۷۸۷۸۸	۰/۰۰۰۱ >	
H - n_2	۰/۶۴۴۷۸۲	۱	۰/۶۴۴۷۸۲	۱۴۲۸/۲۶۶	۰/۰۰۰۱ >	
I - n_3	۰/۰۲۴۳۴۴	۱	۰/۰۲۴۳۴۴	۵۳/۹۲۴۶۳	۰/۰۰۰۱ >	
J - n_4	۱/۰۵۶۰۲۱	۱	۱/۰۵۶۰۲۱	۲۳۳۹/۲۰۶	۰/۰۰۰۱ >	
K - n_5	۰/۲۰۹۹۳	۱	۰/۲۰۹۹۳	۴۶۵/۰۱۷۸	۰/۰۰۰۱ >	
L - n_6	۰/۷۶۹۹۳۱	۱	۰/۷۶۹۹۳۱	۱۷۰۵/۴۸۵	۰/۰۰۰۱ >	
AB	۰/۰۰۱۴۲۴	۱	۰/۰۰۱۴۲۴	۳/۱۵۴۵۰۴	۰/۰۷۹۳	
AD	۰/۰۰۲۲۴۵	۱	۰/۰۰۲۲۴۵	۴/۹۷۳۱۲۳	۰/۰۲۸۳	
CF	۰/۰۰۱۹۱	۱	۰/۰۰۱۹۱	۴/۲۳۰۱۳۳	۰/۰۴۲۷	
EI	۰/۰۰۴۰۴۲	۱	۰/۰۰۴۰۴۲	۸/۹۵۳۲۳۹	۰/۰۰۳۶	
EJ	۰/۰۰۱۵۵	۱	۰/۰۰۱۵۵	۳/۴۳۲۴۰۳	۰/۰۶۷۴	
JL	۰/۰۰۹۲۲۳	۱	۰/۰۰۹۲۲۳	۲۰/۴۲۹۷۱	۰/۰۰۰۱ >	
KL	۰/۰۰۳۲۷	۱	۰/۰۰۳۲۷	۷/۲۴۲۹۸۳	۰/۰۰۸۶	
A^2	۰/۰۰۳۳۲۴	۱	۰/۰۰۳۳۲۴	۷/۳۶۳۵۴۵	۰/۰۰۸۰	
H^2	۰/۰۱۷۲۹۸	۱	۰/۰۱۷۲۹۸	۳۸/۳۱۵۹۹	۰/۰۰۰۱ >	
J^2	۰/۰۱۴۴۹۲	۱	۰/۰۱۴۴۹۲	۳۲/۱۰۲۴۱	۰/۰۰۰۱ >	
L^2	۰/۰۲۵۹۶۶	۱	۰/۰۲۵۹۶۶	۵۷/۵۱۷۷۲	۰/۰۰۰۱ >	
Residual	۰/۰۳۸۸۲۴	۸۶	۰/۰۰۰۴۵۱			
Lack of Fit	۰/۰۳۵۳۲۵	۸۱	۰/۰۰۰۴۳۶	۰/۶۲۳۲۳	۰/۸۳۱۸	Not significant
Pure Error	۰/۰۰۳۴۹۹	۵	۰/۰۰۰۷			
Cor Total	۳/۸۰۹۵۴۲	۱۰۹				

R-Squared	۰/۹۸۹۸
Adj R-Squared	۰/۹۸۷۱
Pred R-Squared	۰/۹۸۳۷
Adeq Precision	۸۸/۳۸۰

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

در مرحله بعد، فاکتورها (متغیرهای تصمیم) را با متغیر پاسخ (دسترس‌پذیری) بر اساس عامل‌های تاثیرگذار به صورت مدل رگرسیون درجه دو برازش شده‌اند که حاصل آن به صورت زیر می‌باشد.

$$\begin{aligned}\text{Availability} = {} & -0.881788 - 8.524155x_1 - 5.31314E - 663x_2 - 3.444666E - 663x_3 \\ & + 0.072271x_4 + 0.525125x_5 + 5.034042x_6 + 4.99199E - 993n_1 \\ & + 3.55575E - 553n_2 + 0.933319n_3 + 9.622664n_4 + 6.000300n_5 \\ & + 0.611676n_6 + 7.45552E - 553x_1x_2 - 5.63146E - 663x_1x_4 \\ & + 2.88838E - 883x_3x_6 - 7.99722E - 993x_5n_3 + 2.28483E \\ & - 883x_5n_4 - 2.04000E - 003n_4n_6 - 3.37715E - 553n_5n_6 \\ & + 0.812484x_1^2 + 7.0310E - 883n_2^2 + 6.64241E - 663n_4^2 + 8.83887E \\ & - 883n_6^2\end{aligned}$$

با توجه به مقادیر p-value، R-Squared، Adj R-Squared و سایر آماره‌های موجود در جدول (۳) می‌توان نتیجه گرفت که مدل رگرسیونی قادر است به خوبی متغیر پاسخ را به خوبی پیش‌بینی کند. بر اساس تجزیه و تحلیل این نرم افزار، مقادیر Adj R-Squared و R-Squared در حد رضایت‌بخش می‌باشد.

مقایسه الگوریتم‌های فراابتکاری

با توجه به مفروضات مسأله طی ۳۰ آزمایش طراحی شده مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته‌اند. هزینه به‌کارگیری هر یک از اجزاء در سیستم دارای توزیع یکنواخت U(200,300) و بودجه در دسترس برابر ۲۸۰۰ واحد پولی است. سایر داده‌های اساسی مورد نیاز برای تولید مسائل تصادفی در جدول (۴) آمده است.

جدول ۴: مقادیر توزیع پارامترها برای مسائل نمونه

زیرسیستم	تعداد انواع موجود جزء	حداقل تعداد اجزاء	حداکثر تعداد اجزاء	حداکثر وزن مجاز	حداکثر حجم مجاز	وزن اجزا	حجم اجزا	هزینه اجزا
۱	۳	۱	۷	U(۱۰،۳۰)	U(۱۰۰،۱۵۰)	U(۳،۶)	U(۱۵،۲۰)	U(۲۰۰،۳۰۰)
۲	۳	۱	۵	U(۱۵،۲۰)	U(۲۵۰،۳۳۰)	U(۲،۴)	U(۱۰۰،۱۵۰)	U(۲۰۰،۳۰۰)
۳	۵	۱	۳	U(۵،۱۰)	U(۲۰۰،۲۶۰)	U(۱،۳)	U(۱۰۰،۱۲۰)	U(۲۰۰،۳۰۰)
۴	۳	۱	۵	U(۲۵،۳۰)	U(۳۰۰،۴۰۰)	U(۳،۷)	U(۵۰،۸۰)	U(۲۰۰،۳۰۰)
۵	۳	۱	۳	U(۲۰،۳۰)	U(۱۰۰،۱۷۰)	U(۸،۱۳)	U(۴۰،۵۰)	U(۲۰۰،۳۰۰)
۶	۳	۱	۷	U(۱۵،۲۵)	U(۸۰،۱۳۰)	U(۷،۱۰)	U(۱۵۰،۱۸۰)	U(۲۰۰،۳۰۰)

تنظیم پارامتر

به منظور دستیابی به بهترین عملکرد الگوریتم‌های پیشنهادی، از روش طراحی تاگوچی[1] برای تعیین پارامترهای هر الگوریتم استفاده شده است. روش تاگوچی عمدتاً در زمینه کنترل کیفیت در صنایع تولیدی و به طور کلی فرایندها و پروژه‌های مهندسی که فاکتورهای زیادی در آنها دخیل هستند، مطرح می‌باشد. روش تاگوچی به منظور کاهش تعداد آزمایشات به ویژه زمانی که تعداد فاکتورها زیاد و در نتیجه تعداد ترکیبات آنها زیاد باشد به کار گرفته می‌شود. این روش همچنین در تنظیم بهینه پارامترهای الگوریتم‌های بهینه‌سازی مورد استفاده قرار گرفته است. بر اساس این روش تعدادی از سطوح مختلف برای پارامترهای هر الگوریتم در نظر گرفته می‌شود. سپس مسأله مورد بهینه‌سازی به ازای هر یک از این سطوح به دفعات مشخصی تکرار و آنگاه پراکندگی پاسخ‌ها توسط معیار نسبت هشدار به اغتشاش برای تعیین بهترین ترکیب آزمایش مورد ارزیابی قرار می گیرد. البته با توجه به اینکه هدف آزمایش‌ها یافتن مقدار حداقل یا حداکثر پاسخ و یا قرار گرفتن در یک مقدار مشخص باشد، معیار هشدار به اغتشاش متفاوت است. با توجه به هدف آزمایش‌ها در این تحقیق که یافتن مقدار

1. Taguchi Experimental Design

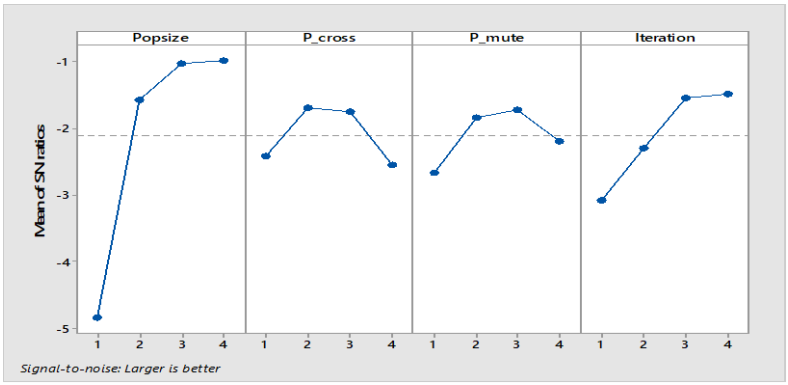
حداکثر پاسخ است، از معادلهٔ (۷) جهت تعیین نسبت هشدار به اغتشاش (S/N) استفاده می‌شود:

$$\eta = \left(\frac{S}{N}\right) = -۱۰ \cdot log\left(\frac{۱}{n}\right)\sum_{i}\left(۱/{y_i}^{۲}\right) \quad (۷)$$

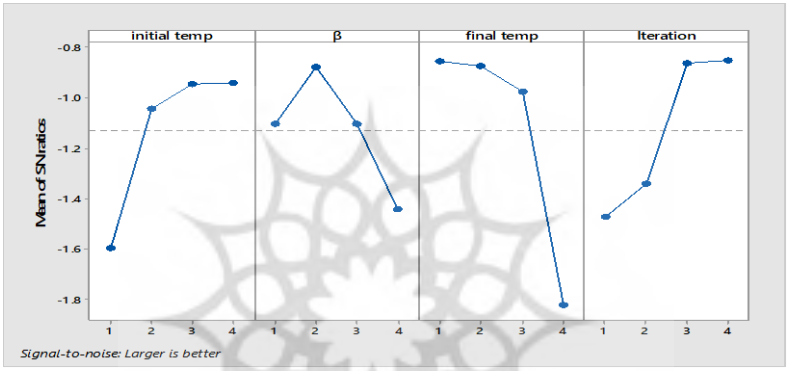
که n و y_i به ترتیب معرف تعداد تکرارها و مقدار پاسخ مورد نظر فرآیند در تکرار i ام می‌باشند. جدول (۵) بیانگر دامنه جستجوی سطوح پارامترهای قابل تنظیم سه الگوریتم می‌باشد. این دامنه با استفاده از روش سعی و خطا تعیین شده است. شکل‌های ۵ الی ۷ چگونگی تغییر مقادیر شاخص S/N را در سطوح مختلف الگوریتم‌ها نشان می‌دهد.

جدول ۵: دامنه جستجو و سطح پارامترهای مورد بررسی

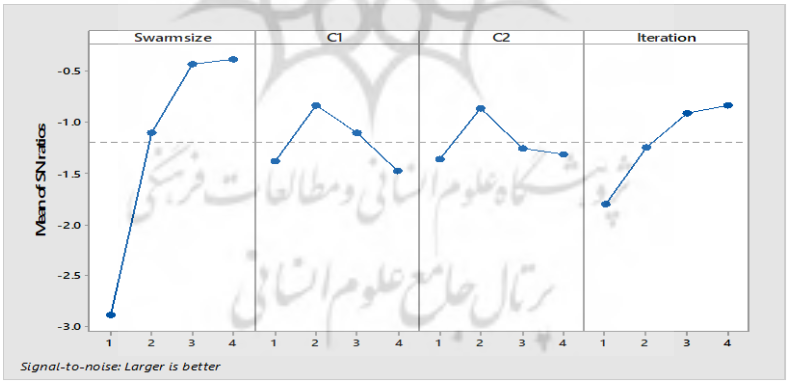
		پارامتر	علامت	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳	سطح ٤
الگوریتم ژنتیک		جمعیت اولیه	Pop-Size	۳۰	۵۰	۱۰۰	۱۵۰
		درصد تقاطع	pCrossل	۰/٦	۰/۷	۰/۸	۰/۹
		درصد جهش	pMutate	۰/۰۵	۰/۱	۰/۲	۰/۳
		تعداد تکرار	Iteration	۳۰	۵۰	۷۵	۱۰۰
الگوریتم شبیه‌ساز تبرید		دمای اولیه	initial temp	٤۰۰	٦۰۰	۸۰۰	۱۰۰۰
		ضریب کاهش دما	β	۰/۹۳	۰/۹۵	۰/۹۷	۰/۹۹
		دمای نهایی	final temp	۰/۰۵	۰/۱	۵	۱۰
		تعداد تکرار در هر دما	Iteration	۱۰	۲۰	٤۰	٦۰
الگوریتم اجتماع ذرات	ذرات اولیه		size Swarm	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰
	ضریب مؤلفه شناختی		$C_۱$	۱	۱/۲۵	۲/۲۵	۳
	ضریب مؤلفه اجتماعی		$C_۲$	۱	۱/۲۵	۲/۲۵	۳
	تعداد تکرار		Iteration	۵۰	۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰



شکل ۵: چگونگی تغییر مقادیر شاخص S/N را در سطوح مختلف الگوریتم ژنتیک



شکل ٦: چگونگی تغییر مقادیر شاخص S/N را در سطوح مختلف الگوریتم شبیه‌ساز تبرید



شکل ۷: چگونگی تغییر مقادیر شاخص S/N را در سطوح مختلف الگوریتم اجتماع ذرات

سطوحی که در آن شاخص N/S به بیشینه خود رسیده است می‌بایست به عنوان سطوح بهینه انتخاب شوند. جدول ۶ مقادیر بهینه انتخابی برای پارامترهای هریک از الگوریتم‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ٦: مقادیر ایده‌آال فاکتورها برای الگوریتم پیشنهادی

مقدار بهینه	پارامتر	
۱۰۰	جمعیت اولیه	الگوریتم ژنتیک
۰/۷	درصد تقاطع	
۰/۲	درصد جهش	
۷۵	تعداد تکرار	
۸۰۰	دمای اولیه	الگوریتم شبیه‌ساز تبرید
۰/۹۵	ضریب کاهش دما	
۰/۰۵	دمای نهایی	
٤۰	تعداد تکرار در هر دما	
۷۵	ذرات اولیه	الگوریتم اجتماع ذرات
۱/۲۵	ضریب مؤلفه شناختی	
۱/۲۵	ضریب مؤلفه اجتماعی	
۲۰۰	تعداد تکرار	

بررسی عملکرد الگوریتم‌ها

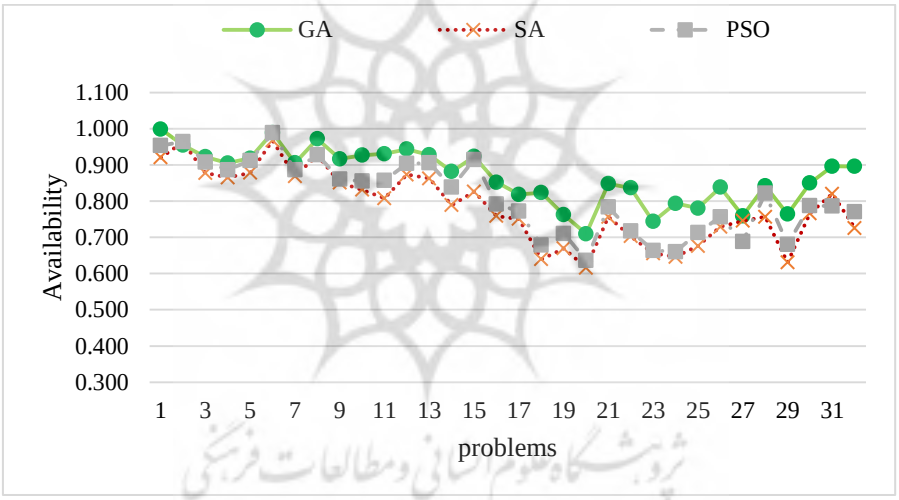
در این بخش به‌منظور مقایسه الگوریتم‌های بهینه‌یابی، مسائل را در سایزهای مختلف با استفاده از الگوریتم‌های پیشنهادی به اجرا گذاشته و بهترین مقدار تابع هدف را به عنوان معیار اصلی در نظر گرفته‌ایم. بدین منظور با استفاده از داده‌های جدول (۴)، ۳۲ مسأله تصادفی تولید می‌کنیم. قابل ذکر است که به‌منظور حذف عدم قطعیت در خروجی‌های به دست آمده، هریک از مسائل سه بار اجرا شده است. میانگین این سه مسأله به عنوان متغیر پاسخ نهایی در ضمیمه B و شکل (۸) گزارش شده است. نتایج محاسباتی عملکرد و کارایی بهتر الگوریتم

GA را در مقایسه با PSO و SA به منظور حل مدل پیشنهادی نشان می‌دهد به طوری که در اکثر مسائل الگوریتم ژنتیک توانسته است به میزان بیشتری از دسترس‌پذیری دست یابد.

به منظور بررسی و مقایسه دقیق‌تر از تحلیل‌های آماری استفاده کرده‌ایم. بدین منظور الگوریتم‌ها مورد آنالیز واریانس قرار می‌گیرند و نتایج آن‌ها تحلیل می‌شود. کمتر از ۰/۰۵ درصد بودن مقدار p-value نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اختلاف بین پاسخ‌های الگوریتم‌ها است و در غیر این صورت می‌توان گفت بین عملکرد الگوریتم‌ها تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. در ابتدا بررسی می‌شود که آیا میانگین الگوریتم‌ها با هم متفاوت است یا خیر (فرض صفر و یک).

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu_j \quad i,j = 1,2,3 \; and \; i \neq j$$



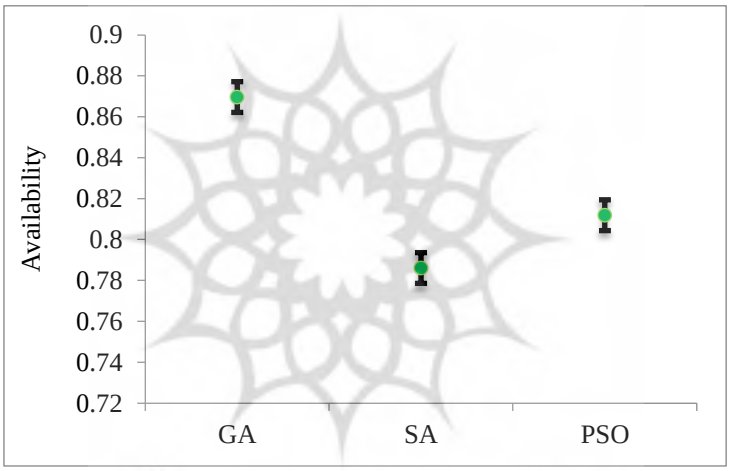
شکل ۸: نمودار گرافیکی مقایسه الگوریتم‌های ژنتیک، شبیه‌ساز تبرید و اجتماع ذرات

نتایج به دست آمده از آنالیز واریانس در جدول (۷) آمده است. در این جداول خروجی تحلیل واریانس به صورت F-Value و P-Valueهای به دست آمده گزارش شده است. بر طبق آماره F و P-value به این نتیجه می‌رسیم که تفاوت معنی‌دار بین الگوریتم‌ها وجود دارد و این استفاده از آزمون توکی را ضروری می‌سازد. نتایج به دست آمده از آزمون توکی در شکل

(۹) نشان داده شده است. بر طبق شکل (۹) می‌توان گفت که الگوریتم ژنتیک کارایی بالاتری نسبت به دو الگوریتم دیگر دارد. همچنین الگوریتم اجتماع ذرات عملکرد بهتری در مقایسه با الگوریتم شبیه‌ساز تبرید دارد.

جدول ۷: نتایج آنالیز واریانس

	درجه آزادی	مجموع مربعات خطا	میانگین مربعات خطا	آماره F-	مقدار P-
الگوریتم	۲	۰/۱۱۷۳	۰/۵۸۶۴	۶/۷۶	۰/۰۰۲
خطا	۹۳	۰/۸۰۶۳	۰/۰۰۸۶۶		
کل	۹۵	۰/۹۲۳۵			



شکل ۹: فواصل اطمینان همزمان ۹۵ درصد توکی الگوریتم‌ها

نتیجه‌گیری

این تحقیق، با در نظر گرفتن نرخ خرابی و تعمیر غیرنمایی، مسأله تخصیص مازاد را در شرایط نزدیکتر به دنیای واقعی بررسی کرد. در ابتدا تعدادی سناریو تعریف و دسترس‌پذیری هر یک از سناریوها با استفاده از شبیه‌سازی محاسبه شد. سپس نتایج حاصل از شبیه‌سازی جهت توسعه یک مدل آماری به کار گرفته شد. آزمون آنالیز واریانس مدل آماری به خوبی توانایی مدل را در پیش‌بینی دسترس‌پذیری نشان داد. سپس با استفاده از مثال‌های موردی، اعتبار الگوریتم‌های

پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفت و نشان داده شد که نتایج اجرای الگوریتم ژنتیک به مراتب از الگوریتم‌های شبیه‌ساز تبرید و اجتماع ذرات بهتر است. در ادامه پیشنهاداتی برای کارهای آتی ارائه می گردد:

- در این تحقیق سه فاکتور وزن، هزینه، حجم و حالت عملکرد برای هر یک از عناصر وجود داشت که به صورت عددی قطعی در نظر گرفته شد. با غیرقطعی (فضای فازی و احتمالی) در نظر گرفتن هر یک از این پارامترها، مسأله تخصیص اضافی به مسأله‌ای دقیق‌تر و واقعی‌تر تبدیل می‌شود که جواب به دست آمده از آن بیشتر به کار صنعت می آید.
- می‌توان انواع تخصیص‌های مختلف خدمات تعمیر و تعداد تعمیرکاران را نیز در نظر گرفت.
- اضافه کردن ویژگی‌های جدید به سیستم مانند خرابی اجزاء به هم وابسته و آسیب رساندن خرابی اجزاء به سیستم.
- در خصوص استفاده از روش‌های حل جدید برای مدل پیشنهادی، می‌توان به حل مدل فوق با استفاده از سایر روش‌های فراابتکاری نظیر الگوریتم‌های جستجوی ممنوع، الگوریتم الکترومغناطیس، الگوریتم‌های ترکیبی و غیره اشاره نمود .

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

امیری، مقصود. (۱۳۹۳). *قابلیت اطمینان*، انتشارات آن.

بیلینتون، روی. آلن، رونالد. (۱۳۹۰). *ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های مهندسی*، رضائیان، محسن. چاپ دوم، تهران، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

یقینی، مسعود. اخوان کاظم‌زاده، محمد رحیم. (۱۳۹۰). *الگوریتم‌های بهینه‌سازی فراابتکاری*، تهران، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر.

عظیمی، پرهام.هادی نژاد، فرهاد. (۱۳۹۵). ارائه مدل بهینه‌سازی چندهدفه در مسأله تخصیص افزونگی سیستم‌های تعمیرپذیر با بهره‌گیری از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، طراحی آزمایشات و شبیه‌سازی، *مطالعات مدیریت صنعتی*، سال چهاردهم، شماره ۴۱، صفحات ۱۶۲-۱۳۷.

Amiri, M., Sadeghi, M.R., Khatami Firoozabadi, A., Mikaili, F . " .(۲۰۱٤)A Multi-objective Optimization for Redundancy Allocation Problems in Series-Parallel Systems with Repairable Components ," *International Journal of Industrial Engineering & Production Research* , ۲۵, ۷۱-۸۱.

Beji, N., Jarboui, B., Eddaly, M., Chanbchoub, H. (2010). "A hybrid particle swarm optimization algorithm for the redundancy allocation problem ,"*Journal of Computational Science* ,۱ ,pp. 159–166 .

Bulfin, R.L., Liu, C.Y9. (1985" .(Optimal Allocation of Redundant Components for Large Systems ,"*IEEE Transaction on Reliability* ,۳٤ , ۷-۲٤۱.

Cantoni, M., Marseguerra, M & ,.Zio, E. (2000). Genetic algorithms and Monte Carlo simulation for optimal plant design .*Reliability Engineering & System Safety*.۳۸-۲۹ ,(۱)۸۸ ,

Cerny, V. 1985" .A thermo dynamical approach to the traveling salesman problem: An efficient simulation algorithm ."*Journal of Optimization Theory & Applications*.۵۱-٤۱ :٤۵

Chambari, A., Rahmati, S.H. A., Najafi, A.A., Karimi, A. (2012" .(A Bi-objective Model to Optimize Reliability and Cost of System with a Choice of Redundancy Strategies ,"*Computers & Industrial Engineering*.۱۱۹-۱۰۹ ,٦۳ ,

Chern, M. S. (1992" .(On the Computational Complexity of Reliability Redundancy Allocation in a Series System ,"*Operation Research Letter*.۳۱۵-۳۰۹ ,۱۱ ,

Coit, D.W., Smith, A. (1996" .(Stochastic Formulations of the Redundancy Allocation Problem ,"*Proceedings of the Fifth Industrial Engineering Research Conference ,Minneapolis*.۱۹۹٦ ,

Fyffe, D.E., Hines, W.W., Lee, N.K. (1968" .(System Reliability Allocation and a Computational Algorithm ,"*IEEE Transactions on Reliability*.۹۹-٦٤ ,۱۷ ,

Gholinezhad, H., Hamadani, A.Z. (2017" .(A New Model for The Redundancy Allocation Problem with Component Mixing and Mixed Redundancy Strategy ,"*Reliability Engineering & System Safety* ,۱٦٤ , .۷۳-٦٦

Ha, C., Kuo, W. (2006" .(Reliability Redundancy Allocation: An Improved Realization for Non-convex Nonlinear Programming Problems ,"*European Journal of Operational Research*.۳۸-۲٤ ,۱۷۱ ,

Hsieh, Y.C. (2002" .(A Two-Phase Linear Programming Approach for Redundancy Allocation Problems ,"*Yugoslav Journal of Operations Research*.۲۳٦-۲۲۷ ,(۲)۱۲ ,

Huang, K., Mi, J. (2013" .(Properties and Computation of Interval Availability of System ,"*Statistics & Probability Letters*.۱۳۹٦-۱۳۸۸ ,۸۳ ,

Kennedy, J. and R. C. Eberhart" ,Particle swarm optimization ", *Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks* , Vol. 4, pp. 1942-1948,1995.

Kirkpatrick, S., C. D. Gelatt and M. P. Vecchi. 1983 .*Optimization by simulated annealing* .Science 220: 671-680.

Khalili-Damghani, K., Abtahi, A.R., Tavana, M. (2013" .(A New Multi-Objective Particle Swarm Optimization Method for Solving Reliability Redundancy Allocation Problems ,"*Reliability Engineering and System Safety*.۷۵-۸۸ ,۱۱۱ ,

Konak, S., Smith, A., and Coit, D.W. (2003" .(Efficiently Solving the Redundancy Allocation Problem Using Tabu Search ,"*IIE Transactions* , .۶۲۶-۵۱۵ ,۳۵

Kuo, W., Wan, R. (2007). "Recent Advances in Optimal Reliability Allocation ,"*IEEE Transaction on system, man and cybernetics-part a: system and humans* ,pp. 143-156.

Lee, H., Kuo, W. Ha, C. (2003" .(Comparison of Max-Min Approach and NN Method for Reliability Optimization of Series-Parallel System ," *Journal of Systems Science and Systems Engineering*.۴۸-۳۹ ,۱۲ ,

Lins, I. D & ,.Droguett, E. L. (2009). Multiobjective optimization of availability and cost in repairable systems design via genetic algorithms and discrete event simulation .*Pesquisa Operacional*.۶۶-۴۳ ,(۱)۲۹ ,

Lins, I. D & ,.Droguett, E. L. (2011). Redundancy allocation problems considering systems with imperfect repairs using multi-objective genetic algorithms and discrete event simulation .*Simulation Modelling Practice and Theory*.۳۸۱-۳۶۲ ,(۱)۱۹ ,

Marquez, J.E., Coit. D.W., Konak, A. (2004" .(Redundancy Allocation for Series- Parallel Systems Using a Max–Min Approach ," *IIE Transaction*.۸۸۸-۸۹۱ ,۳۶ ,

Muhuri ,P.K,. Ashraf , Z ,.Lohani ,Q.M.D. (2017" .(Multi-objective Reliability-Redundancy Allocation Problem with Interval Type-2 Fuzzy Uncertainty ,"*IEEE Transactions on Fuzzy Systems* ,PP(99), 1 – 1.

Ng, K. Y. K., Sancho, N. G. F. (2001). "A hybrid dynamic programming/depth-first search algorithm, with an application to redundancy allocation ,"*IIE Transactions* ,۱۲ ,۳۳ ,pp. 1047–1058.

parsopoulos, K. E. and M. N. Vrahatis" ,Recent approaches to global optimization problems through particle swarm optimization ",*Natural Computing* ,Vol. 1, pp. 235-306, 2002.

Pourkarim Guilani, P ,.Azimi, P ,.Niaki S.T.A ,.Akhavan Niaki ,S.A. (2016" .(Redundancy Allocation Problem of a System with Increasing Failure Rates of Components Based on Weibull Distribution: A Simulation-Based Optimization Approach ,"*Reliability Engineering & System Safety*.۱۶۶-۱۸۷ ,۱۵۲ ,

Ramirez-Marquez, J.E., Coit, D.W. (2004). "A heuristic for solving the redundancy allocation problem for multi-state series-parallel system ,"*Reliability Engineering and System Safety* ,۸۳ ,pp. 341-349.

Tavakkoli-Moghaddam, R., Safari, J., Sassani, F. (2008" ,(Reliability Optimization of Series-Parallel Systems with a Choice of Redundancy Strategies Using Genetic Algorithms ,"*Reliability Engineering & System Safety*.۵۵۶-۵۵۰ ,۹۳ ,

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی