Archive of SID

فصلنامه علمی – پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی – سال چهاردهم، شماره ۴۱، تابستان ۹۵
صفحات ۱۶۲- ۱۳۷

ارائه مدل بهینه‌سازی چند هدفه در مساله تخصیص افزونگی سیستم-های تعمیرپذیر، با بهره گیری از تکنیک‌های تصمیم گیری چند معیاره، طراحی آزمایشات و شبیه سازی

پرهام عظیمی،[*] فرهادهادی نژاد[**]

[**]تاریخ دریافت: ۹۴/۳/۴ تاریخ پذیرش: ۹۴/۸/۲

چکیده

بهینه سازی قابلیت اطمینان و متوسط زمان ماندگاری سیستم همواره یکی از حوزه‌های مهم و جذاب برای مهندسان و طراحان سیستم‌ها بوده است. هدف این مساله بهینه سازی، پیدا کردن تعداد بهینه قطعات مازادی است که می بایست جهت ارضای اهداف مهندس قابلیت اطمینان در سیستم مورد استفاده قرار گیرند و تعادل لازم میان منابع موجود نظیر بودجه، فضا و وزن برقرار شود. در تحقیقات گذشته، عموما مساله تخصیص افزونگی در سیستم‌های با اجزای تعمیر ناپذیر و یا دارای نرخ خرابی با توزیع نمائی مورد بررسی قرار گرفته است؛ اما در این تحقیق اجزاء تعمیر پذیر فرض گردیده و نرخ خرابی و تعمیر نیز از توزیع‌های غیر نمائی پیروی می کنند که در حقیقت نوآوری اصلی این تحقیق است. برای مدل سازی از تکنیک شبیه سازی و برای بهینه سازی مدل حاصل، از تکنیک‌های آماری، طراحی آزمایشان و روش‌های تصمیم گیری چند معیاره استفاده شده است.

واژگان کلیدی: مسئله تخصیص افزونگی، بهینه سازی چند هدفه، تصمیم گیری چند معیاره، طراحی آزمایشات، شبیه سازی.

[*]استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، قزوین (نویسنده مسئول)
p.azimi@yahoo.com
[**]دانشجوی دکترا، دانشگاه علامه طباطبائی، دانشکده حسابداری و مدیریت، تهران

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

امروزه با پیشرفت بشر در حوزه‌های مختلف دانش، نیازهای صنایع دچار تغییر شده و مفاهیم پایایی و قابلیت اطمینان جایگاه ویژه ای در طراحی و تولید قطعات و سیستم‌های صنعتی پیدا کرده است. این پیشرفت‌ها در کنار عواملی همچون توسعه سریع فناوری، گسترش محصولات پیچیده و رقابت شدید جهانی منجر به افزایش انتظارات مشتریان گردیده و توقعات را از تولید کنندگان به منظور تولید محصولاتی با کیفیت بیشتر و قابلیت اطمینان بالاتر افزایش داده است. بهینه سازی قابلیت اطمینان و متوسط زمان ماندگاری سیستم، یکی از حوزه‌های جذاب برای مهندسان و طراحان سیستم‌ها بوده و استفاده از اجزای مازاد یکی از رویکردهای معمول در این زمینه محسوب می‌شود. بطور کلی قابلیت اطمینان را می‌توان کیفیت در درازمدت و یا احتمال عملکرد مطلوب یک وسیله در شرایط عملیاتی مشخص در یک دوره زمانی معین تعریف کرد؛ لذا به عنوان یکی از ابعاد مهم در کیفیت محصول شناخته می‌شود(Amiri,2015).

قابلیت اطمینان کل سیستم ترکیبی از قابلیت اطمینان تک تک اجزای آن است. دو راهکار عمده به منظور افزایش قابلیت اطمینان سیستم وجود دارد. راهکار اول، بالا بردن قابلیت اطمینان اجزای سیستم و دیگری استفاده از اجزای مازاد در کنار اجزای اصلی سیستم به صورت موازی است. به علت محدودیت‌های اقتصادی و تکنولوژیکی، بهترین وکاربردی‌ترین روش جهت افزایش قابلیت اطمینان سیستم، راهکار دوم یعنی استفاده از اجزای مازاد در کنار اجزای اصلی است (Kuo & Prasad, 2000).

در بیشتر موقعیت‌های عملی، سیستم‌ها شامل شبکه‌ای از قطعات هستند که با اشکال گوناگون به یکدیگر متصل شده‌اند. نحوه ارتباط قطعات و عناصر سیستم با یکدیگر، به عملکرد آنها در سیستم بستگی دارد. از انواع ساختار سیستم‌ها می توان به سیستم‌های با اجزای موازی، سری، سری- موازی، موازی- سری و ساختارهای با شبکه پل اشاره کرد. ساختار سری- موازی یکی از انواع ساختارهای سیستم است که با تخصیص اجزای مازاد به صورت موازی به اجزای یک سیستم با ساختار سری، طراحی شده است (Yeh, 2009). ضمن آنکه تعمیرپذیر بودن

www.SID.ir

Archive of SID

یک سیستم نیز به این معناست که بعد از خرابی می توان با صرف زمان و انجام تعمیرات لازم آن را مجددا راه اندازی کرد. زمانیکه یک سیستم تعمیرپذیر باشد از واژه «دسترس پذیری» به جای قابلیت اطمینان استفاده می‌شود. دسترس پذیری به معنای درصدی از زمان است که سیستم تعمیرپذیر به صورتی صحیح وظایف تعریف شده را انجام می‌دهد (Kuo & van, 2007). اما منظور از ماندگاری سیستم، دسترس پذیری سیستم تا اولین خرابی است، بنابراین متوسط زمان ماندگاری سیستم، میانگین زمانی است که سیستم برای اولین بار از کار می‌افتد.

یطور کلی هدف از مسئله بهینه سازی قابلیت اطمینان ، پیدا کردن تعداد بهینه قطعات مازادی است که می بایست جهت ارضای اهداف مهندس قابلیت اطمینان در سیستم قرار گیرند. در حال حاضر بهینه سازی طراحی بر مبنای افزایش قابلیت اطمینان، یکی از مراحل اصلی در طراحی و تولید سیستم‌های نوین محسوب می‌شود؛ اما عموما بهبود در قابلیت اطمینان منجر به افزایش هزینه‌های سیستم و تغییر در پارامترهایی مانند حجم و وزن می شود که در نتیجه لزوم برقراری تعادل میان قابلیت اطمینان و سایر منابع ذکر شده را ضروری جلوه می دهد.

استفاده از اجزاء افزونه در طرح بهینه سازی سیستم‌های سری موازی به منظور افزایش پایایی، مسئله تخصیص افزونگی نامیده می‌شود که هدف اصلی آن افزایش مفاهیم و پارامترهای قابلیت اطمینان با در نظر گرفتن محدودیت‌هایی مانند حجم و وزن کل سیستم می باشد. ضمن آنکه ثابت شده است که مساله تخصیص اجزای مازاد، یک مساله بهینه سازی چند جمله ای غیرخطی (NP-hard) است (Chern, 1992) که توسط تکنیک‌ها و روش‌های مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است که عموما یا مساله را بصورت تک هدفه تحلیل نموده، یا اجزاء را غیر قابل تعمیر در نظرگرفته و یا نرخ خرابی را صرفا دارای توزیع نمائی فرض نموده اند.

اما در این نوشتار طراحی برای دستیابی به پایایی مورد نظر از نقطه نظر مدلسازی ریاضی، یک مساله بهینه سازی فرض می‌شود که تابع هدف آن بیشینه سازی متوسط زمان ماندگاری سیستم و کمینه سازی متغیرهای هزینه و واریانس بوده و دارای محدودیت‌های حجم و وزن کل می-باشد، ضمن آنکه علاوه بر امکان تعمیر اجزای سیستم، از توزیع‌های غیر نمائی برای نشان دادن نرخ خرابی و تعمیر عناصر سیستم استفاده می‌گردد که امکان استفاده از روش‌های

www.SID.ir

Archive of SID

ریاضی و تحلیلی را محدود کرده و مستلزم بهره گیری از تکنیک شبیه سازی می باشد. لذا این تحقیق تلاش دارد مساله تخصیص افزونگی در سیستم‌های سری- موازی با اجزای تعمیرپذیر را با رویکردی چند هدفه مورد تحلیل و بررسی قرار دهد و در این مسیر از تکنیک‌هایی مانند: مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، طراحی آزمایشات تاگوچی، شبیه-سازی و نرم افزارهای مرتبط با آنها مانند: Expert choice، Decision lab، Enterprise Dynamic و Minitab استفاده گردیده است. برای رسیدن به اهداف ذکر شده، ادامه تحقیق بدین شکل سازماندهی گردیده که در بخش دوم به مرور تحقیقات پیشین و مباحثی که کمتر مورد توجه قرار گرفته پرداخته و در بخش سوم به تعریف مسئله، مدل ریاضی آن و پارامترها و معیارهای موثر در آن اشاره می‌شود. در بخش چهارم نیز رویکرد پیشنهادی را مطرح کرده و در بخش پنجم با ارائه یک مثال عددی آن را تشریح و تحلیل نموده و در انتها در بخش ششم نتایج حاصل از تحقیق ارائه می‌گردد.

مروری بر تحقیقات پیشین

مسئله تخصیص مازاد تاکنون مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است و در ساختارهای مختلف و با فرضیات مختلف مورد مطالعه قرار گرفته و روش‌های متنوعی برای حل آن ارائه شده است. بطور مثال متاس در مقاله‌ای در سال ۲۰۰۰ یک روش ابتکاری برای بهینه سازی تخصیص قابلیت اطمینان در سیستم‌های پیچیده معرفی کرد (Mettas, 2000) و در سال ۲۰۰۸ لی و همکارانش به بهینه سازی سیستم معرفی شده توسط متاس با کمک تکنیک تحلیل سلسله مراتبی پرداختند (Lee et al, 2008). برخی محققین از روش برنامه ریزی پویا و عدد صحیح (Bulfin & Liu, 1985; Fyffe et al, 1968; Gen et al, 1990; Ng & Sancho, 2001) و برخی از روش‌های ابتکاری (Ramirez & Coit, 2004) و فرا ابتکاری (Busacca et al, 2001; Liang & Chen, 2007; Nahas et al, 2007; Ouzineb et al, 2008; Kumar & Mishra, 2008; Li et al, 2009; Beji et al, 2010) بهره جسته‌اند. بطور مثال کوناک از روش جستجوی ممنوعه

www.SID.ir

Archive of SID

(Konak et al, 2003)، لیانگ و چن از الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر (Liang &Chen, 2007) و ناهاس از بهینه سازی کلونی مورچه‌ها (Nahas et al, 2007) استفاده نموده اند. علاوه بر موارد ذکر شده، تحقیقات فراوان دیگری نیز در زمینه مساله تخصیص افزونگی در سیستم‌های سری- موازی انجام شده است.

(Fyffe et al, 1968; Coelho, 2009; Ramirez & Coit, 2004; Ramirez et al, 2004; You & Chen, 2005; Coit & Konak, 2006; Ha & Kuo, 2006; Liang et al, 2007; Juang et al, 2008; Kumar et al, 2009;Yeh, 2009)

بطور کلی بیشتر تحقیقاتی که در زمینه مسئله تخصیص افزونگی ارائه شده، مسائل را بصورت تک هدفه مورد بررسی قرار داده اند. بطور مثال کویت و اسمیت مدلی ارائه دادند که هدف آن بیشینه سازی پایایی با محدودیت‌هایی همچون هزینه، وزن و حداکثر اجزای اضافی می-باشد (Coit & Smith, 1996). توکلی مقدم و همکاران مدلی با هدف بیشینه سازی پایایی با در نظر گرفتن محدودیت‌های وزن و هزینه ارائه نمودند (Tavakkoli-Moghaddam et al, 2007). شقاقی و همکاران نیز مدلی با هدف بیشینه سازی، مینیمم مقدار متوسط زمان ماندگاری زیرسیستم‌ها را با محدودیت‌های هزینه و وزن ارائه نمودند (Shaghaghi et al, 2014). اما در زمینه مسئله تخصیص افزونگی در حالت چند هدفه نیز تحقیقاتی انجام پذیرفته که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: لیانگ و چن اهدافی مانند بیشینه‌سازی پایایی و کمینه‌سازی هزینه را با محدودیت‌هایی مانند حجم و وزن ارائه نموده اند(Liang & Chen, 2007). ماهاپاترا اهدافی مانند بیشینه سازی پایایی و کمینه سازی آنتروپی را مد نظر قرار داد (Mahapatra, 2009).کویت و همکاران نیز بیشینه سازی پایایی و کمینه سازی واریانس تخمین مقادیر پایایی را با محدودیت‌های وزن و هزینه ملحوظ نظر قرار دادند (Coit et al, 2004). سلماس نیا و همکاران نیز مدل بهینه-سازی استوار با اهداف بیشینه‌سازی پایایی و کمینه‌سازی آنتروپی و واریانس ارائه نمودند (Salmasnia et al, 2012).

ضمن آنکه از آنجایی که ساختار سیستم می تواند تاثیر بسزایی روی قابلیت اطمینان سیستم داشته باشد، تعمیرپذیر بودن یا نبودن اجزای سیستم نیز از دیگر موضوعات تاثیرگذار بر

www.SID.ir

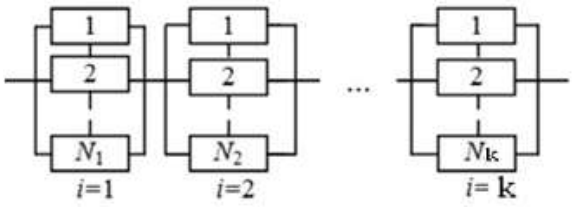
Archive of SID

عملکرد صحیح یک سیستم در مدت زمان کارکرد آن محسوب می‌شود (Guedenko & Ushakov, 1995). اما با نگاهی به جریان مطالعات انجام گرفته در مسئله تخصیص افزونگی، به طور آشکار می‌توان دید که به این مساله در سیستم‌های تعمیرپذیر کمتر پرداخته شده است. کو و ون نیز به کمبود مطالعات در زمینه مساله تخصیص افزونگی در سیستم‌های سری- موازی با اجزای تعمیرپذیر تاکید نموده اند (Kuo & Wan, 2007).

بنابراین با مرور تحقیقات انجام شده درمی‌یابیم که بررسی مسئله تخصیص افزونگی در سیستم‌های سری- موازی در حالت چند هدفه، به شکلی که تعمیر مجاز باشد و نرخ خرابی و تعمیر نیز از توزیع غیر نمائی پیروی نمایند، کمتر مورد توجه قرار گرفته است، لذا در این نوشتار تلاش می‌گردد با در نظر گرفتن مفروضات اشاره شده، مدلی چند هدفه برای حل مساله تخصیص افزونگی ارائه گردد.

تعریف مسئله

در این تحقیق سیستمی با ساختار سری- موازی مانند شکل شماره (۱) بصورت چند هدفه مورد بررسی قرار می‌گیرد. از آنجایی که این نوع ساختار به واقعیت نزدیکتر است، مهمترین و پرکاربردترین ساختار در بین تحقیقات مختلف بوده است. در این ساختار یک سیستم با تعداد k زیر سیستم به صورت سری در کنار یکدیگر قرار گرفته اند و در هر کدام از این زیر سیستم‌ها N_i جزء به صورت موازی کار می‌کنند.



شکل شماره ۱ : سیستم سری - موازی

www.SID.ir

Archive of SID

در اینگونه سیستم‌ها عموما متغیر تصمیم، تعیین تعداد اجزاء افزونه در هر زیر سیستم به منظور بهینه سازی توام اهداف مورد نظر، ضمن برآورده کردن محدودیت‌های موجود در مسئله است. در ادامه این بخش، ابتدا پارامترها و فرضیات مورد استفاده در مدل معرفی می‌گردد، سپس اهداف مورد نظر فرآیند بهینه سازی معرفی می‌گردد و در نهایت مدل ریاضی نمایش داده می‌شود.

فرضیات و پارامترها

به منظور حل مساله فوق فرضیاتی درنظر گرفته شده که عبارتند از:

- ✓ هر یک از زیر سیستم‌ها تنها از یک نوع جزء (مولفه) می توانند استفاده کنند.
- ✓ هر کدام از اجزا در هر زیرسیستم ، دارای هزینه، حجم و وزن مشخص می باشند.
- ✓ نرخ خرابی در هر زیرسیستم ثابت و دارای توزیع ارلانگ می باشد.
- ✓ اجزای تعمیر پذیر و نرخ تعمیر آنها در هر زیرسیستم ثابت و دارای توزیع نرمال لگاریتمی می‌باشد.
- از کار افتادگی اجزاء مستقل از یکدیگر می باشد.

علائم و نمادهای مربوط به مسئله نیز عبارتند از:

- $\mathbf{i}$: اندیس زیر سیستم‌ها
- $\mathbf{k}$: تعداد زیرسیستم‌ها
- $\mathbf{N_i}$: تعداد مولفه (قطعه) در زیر سیستم $\mathbf{i}$ ام (متغیر تصمیم)
- $\mathbf{C_i}$: هزینه هر واحد در زیر سیستم $\mathbf{i}$ ام
- $\mathbf{W_i}$: وزن هر واحد در زیر سیستم $\mathbf{i}$ ام
- $\mathbf{V_i}$: حجم هر واحد در زیر سیستم $\mathbf{i}$ ام
- $\mathbf{C}$: هزینه کل سیستم
- $\mathbf{W}$: وزن کل سیستم
- $\mathbf{V}$: حجم کل سیستم

www.SID.ir

Archive of SID

- **MTTFs**: میانگین زمان تا اولین خرابی سیستم
- **Var (MTTFs)**: واریانس زمان ماندگاری سیستم.

تعیین اهداف مسئله (معیارهای تاثیرگذار)

با توجه به پیشینه تحقیق و ساختار مسئله مورد بررسی، معیارهای ذیل به عنوان اهداف سه گانه تحقیق مورد بررسی قرار گرفتند.

میانگین زمان تا اولین خرابی (متوسط زمان ماندگاری سیستم)

در اکثر تحقیقات مشابه انجام شده هدف اصلی و اولیه، بیشینه سازی پایایی در نظر گرفته می‌شود اما در سیستم‌های تعمیرپذیر ماندگاری سیستم که دسترس پذیری سیستم تا اولین خرابی است، جایگزین مفهوم پایایی می‌شود. بطور کلی میانگین زمان تا خرابی (MTTF)[1]در سیستم‌های تعمیرناپذیر، میانگین طول عمر سیستم را نشان می‌دهد، در حالیکه در سیستم‌های تعمیرپذیر میانگین زمان تا اولین خرابی سیستم (MTTFs)[2] میانگین زمانی است که سیستم برای اولین بار از کار می‌افتد.

بنابراین برابر رابطه شماره (۱) ، بیشینه سازی میانگین زمان قبل از اولین خرابی، یکی از اهداف اصلی این تحقیق خواهد بود.

$$Max\ Z = MTTFs$$ رابطه شماره (۱)

شایان ذکر است الگوریتم محاسبه MTTFs یک سیستم با اجزای تعمیرپذیر در مقاله امیری و قاسمی طاری ارائه گردیده است (Amiri & Ghassemi-Tari, 2007).

[1] Mean Time To Failure
[2] Mean Time To System Failure (MTTFs)

www.SID.ir

Archive of SID

هزینه کل سیستم

میزان هزینه کل سیستم نیز یک از مهمترین عوامل موثر در مسئله تخصیص اجزاء مازاد می‌باشد که تاکنون تحقیقات زیادی در این زمینه انجام و توابع مختلفی برای محاسبه آن ارائه شده است (Ravi et al, 1997; Dale & Winterbottom, 1986; Mettas, 2000; Yalaoui & Chu, 2005). اما در این تحقیقات، هزینه هر جزء به عنوان تابعی از قابلیت اطمینان آن جزء در نظر گرفته شده که با توجه به تعمیر پذیر بودن عناصر در تحقیق حاضر و جایگزینی مفهوم ماندگاری به جای پایایی قابل استفاده نخواهند بود؛ لذا برابر رابطه شماره (۲)، کمینه سازی هزینه کل سیستم به عنوان هدف دوم این تحقیق انتخاب می گردد که محاسبه آن وابسته به تعداد اجزای زیر سیستم‌ها می باشد.

$$Min\ C = \sum_{i=1}^{k} C_i N_i$$ رابطه شماره (۲)

واریانس زمان ماندگاری سیستم

برابر رابطه شماره (۳) هدف دیگری که می‌بایست مورد توجه قرار بگیرد کمینه‌سازی واریانس زمان ماندگاری سیستم در تکرارهای مختلف است. با توجه به اینکه در هر بار تولید، مقادیر پایایی قطعات و MTTF سیستم ممکن است با دفعات قبل متفاوت باشد، این هدف میتواند کاهش پراکندگی این مقادیر را لحاظ نماید. علاوه بر این از آنجاییکه در رویکرد پیشنهادی، زمان ماندگاری سیستم (زمان تا اولین خرابی سیستم) از اجراهای مکرر در شبیه سازی حاصل می‌شود، این هدف می‌تواند انحراف اهداف از مقادیر ایده آل را به حداقل برساند و اثر متغیرهای غیر قابل کنترل را کاهش دهد.

$$Min\ V = Var(MTTFs)$$ رابطه شماره (۳)

www.SID.ir

Archive of SID

مدل ریاضی مسئله

در نهایت با توجه به توابع هدف تعریف شده و محدودیت‌های موجود، مدل ریاضی مسئله بصورت ذیل ارائه می‌گردد:

$$Max\ Z = MTTFs$$

$$Min\ C = \sum_{i=1}^{k} C_i N_i$$

$$Min\ V = Var\left(MTTF_s\right)$$

St:

$$\sum_{i=1}^{k} W_i N_i \le W$$

$$\sum_{i=1}^{k} V_i N_i \le V$$

$$N_i \ge 1; \text{int}$$

همانطور که مشاهده می‌شود تابع هدف اول بیشینه سازی میانگین زمان قبل از اولین خرابی را مورد توجه قرار داده و تابع هدف دوم بر کمینه سازی هزینه‌های سیستم تاکید نموده و تابع هدف سوم نیز به کمینه سازی واریانس زمان ماندگاری سیستم در تکرارهای مختلف پرداخته است؛ ضمن آنکه محدودیت‌های حجم و هزینه کل نیز در مدل منظور گردیده است.

رویکرد پیشنهادی

در این بخش، رویکرد پیشنهادی به منظور پاسخ به مسئله چند هدفه مطرح شده را در چهار گام ارائه می‌دهیم. برای این منظور در ابتدا و در گام اول میزان اهمیت هر یک از اهداف (اوزان معیارها) را با استفاده از تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) تعیین می‌کنیم، سپس در گام دوم و با کمک طراحی آزمایشات، تعدادی گزینه برای مسئله تصمیم شناسایی می‌شوند و در گام سوم با کمک تکنیک شبیه‌سازی، ضمن طراحی و اجرای مکرر مدل،

www.SID.ir

Archive of SID

داده‌های مورد نیاز ماتریس تصمیم را کامل می‌کنیم، در گام چهارم نیز با کمک تکنیک پرامیتی، گزینه برتر را انتخاب و نتایج حاصله را تحلیل می‌نماییم.

گام اول: تعیین اوزان اهداف با کمک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

رایج‌ترین مشکلی که در مسائل تصمیم گیری وجود دارد تعیین وزن معیارهای تصمیم گیری است. ساعتی نشان داد که تعیین وزن معیارها می‌تواند توسط یک تئوری اندازه گیری در ساختار سلسله مراتبی انجام شود (saaty, 1980). فرآیند تحلیل سلسله مراتبی[1] چهارچوبی منطقی است که درک و تحلیل تصمیم گیری‌های پیچیده را با تجزیه آن به ساختار سلسله مراتبی آسان می‌کند. (Shalabi, 2006). این تکنیک به دلیل سهولت کاربرد و دقت مناسب از مؤثرترین و پرکاربردترین فنون مطرح در تصمیم گیری است که به صورت نظری و تجربی در دامنه وسیعی از وضعیت‌های تصمیم گیری مورد آزمون قرار گرفته است (Zhou et al , 2006). علاوه بر مزایای گفته شده ویژگی‌هایی مانند: سهولت نسبی در انجام محاسبات وجود پرسشنامه استاندارد و نرم افزار قوی و شناخته شده Expert choice از دیگر دلایل انتخاب این تکنیک در این مرحله بوده است.

گام دوم: تعیین گزینه‌ها با کمک طراحی آزمایشات تاگوچی

طراحی آزمایشات روشی برای انجام نظام مند مجموعه ای از آزمایش‌هاست. هدف این روش به دست آوردن نتایج قابل اطمینان و مناسب بر مبنای تعداد محدودی مشاهده است (Dodge, 2008). در این تحقیق با کمک این روش سعی گردیده از میان گزینه‌های موجود (حالات مختلف از تعداد عناصر مازاد) چند گزینه را به منظور بررسی و شناسایی بهینه ترین حالت، انتخاب نماییم. شایان ذکر است در این مرحله با توجه به تعداد مولفه‌ها، سطوح آزمایش مشخص می‌شود؛ یعنی به طور مثال اگر مجاز به داشتن چهار مولفه در زیر سیستم باشیم، سطوح آزمایش بصورت اعداد ۱ تا ۴ مشخص می‌شود.

[1] Analytical Hierarchy Process (AHP)

www.SID.ir

Archive of SID

گام سوم: تکمیل ماتریس تصمیم با کمک تکنیک شبیه سازی

در اکثر تحقیقات گذشته اجزاء تعمیرناپذیر و یا دارای نرخ خرابی با توزیع نمائی فرض گردیده که در نتیجه با کمک روش‌های ریاضی و تحلیلی قابل بررسی و تحلیل بودند. اما در تحقیق حاضر که اجزاء تعمیر پذیر و دارای نرخ خرابی با توزیع ارلانگ و نرخ تعمیر با توزیع نرمال لگاریتمی می‌باشند، استفاده از روش‌های ریاضی و تحلیلی امکان پذیر نبوده و در نتیجه استفاده از تکنیک شبیه سازی پیشنهاد می‌گردد. شبیه سازی علم و هنر ساختن مدلی از یک پروسه یا سیستم، به منظور ارزیابی و آزمایش راهبردها می‌باشد، یا به عبارتی روشی برای آگاهی از نتایج ایده‌های پیشنهادی قبل از اجرای آنها[1] محسوب می‌شود. بنابراین در این نوشتار با کمک این تکنیک سعی در برآورد و تحلیل نتایج حاصل از آرایش‌های مختلف عناصر مازاد در سیستم سری موازی خواهیم نمود. برای این منظور از نرم‌افزار ED [2]، به عنوان یکی از پرکاربردترین نرم‌افزارهای به کار رفته در زمینه مدل‌سازی و شبیه‌سازی استفاده می‌گردد.

گام چهارم: تعیین گزینه برتر و تحلیل نتایج با کمک تکنیک پرامیتی

پرامیتی[3] یکی از روش‌های اولویت بندی است که توسط پروفسور برانس در سال ۱۹۸۶ توسعه داده شده است (Brans et al, 1986). این تکنیک از نظر فهم و کاربرد در مقایسه با سایر تکنیک‌های تصمیم گیری چند معیاره بسیار ساده و آسان می باشد (Goumas & Lygerou, 2000). تکنیک پرامیتی به دلیل سهولت استفاده و شهرت فراوان در گستره وسیعی از علوم مختلف مانند : مدیریت مالی و بازرگانی، مدیریت انرژی، لجستیک و حمل و نقل، کشاورزی، آموزش و پرورش، پزشکی، ورزشی و ... مورد استفاده قرار گرفته است (Behzadian et al, 2010). ضمن آنکه ویژگی‌هایی مانند: برقراری استقلال در شاخص‌ها (طبیعتا شاخص‌هایی مانند MTTFs، هزینه کل و واریانس زمان ماندگاری

[1] Simulation is seeing before being
[2] Enterprise Dynamic Simulation Software
[3] Preference Ranking Organization Method Fir Enrichment Evaluations (PROMETHEE)

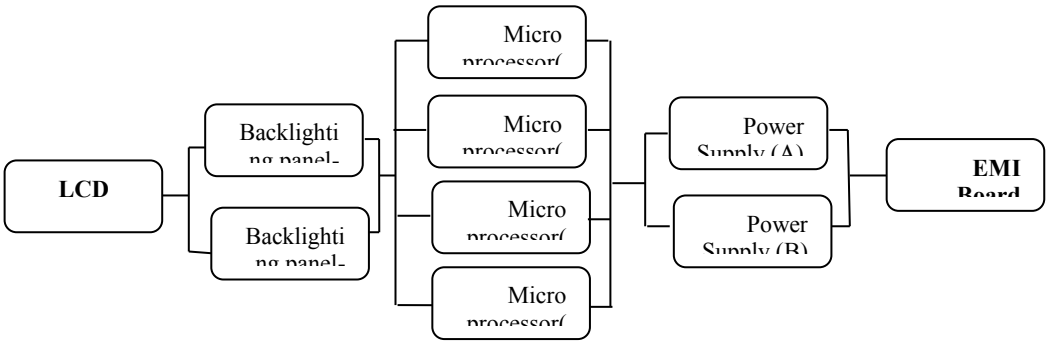
www.SID.ir

Archive of SID

سیستم، وابستگی زیادی به یکدیگر داشته و از یکدیگر تاثیر می‌پذیرند؛ لذا در صورت انجام مقایسات و محاسبات، نیازمند برقراری استقلال در وهله اول می‌باشند) و وجود نرم افزاری قوی به نام Decision lab با قابلیت‌های گرافیکی و تحلیلی زیاد، از دیگر دلایل انتخاب این تکنیک در این مرحله می‌باشد.

مثال عددی

در این بخش به تشریح رویکرد پیشنهادی با کمک یک مثال عددی از سیستم سری- موازی که از مقاله ماهاپاترا انتخاب گردیده خواهیم پرداخت (Mahapatra, 2010) . همانطور که در شکل شماره(۲) مشاهده می‌شود، این سیستم بخشی از صفحه نمایشگر LCD است که از سه زیر سیستم موازی تشکیل شده است.



شکل شماره ۲: سیستم سری موازی بخشی از صفحه نمایش **LCD**

در جدول شماره (۱) پارامترهای هزینه، حجم و وزن اجزای هر زیرسیستم ارائه گردیده است. ضمن آنکه حد بالای مفروض برای محدودیت‌های حجم و وزن کل سیستم برابر۷۰ و ۹۰ می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

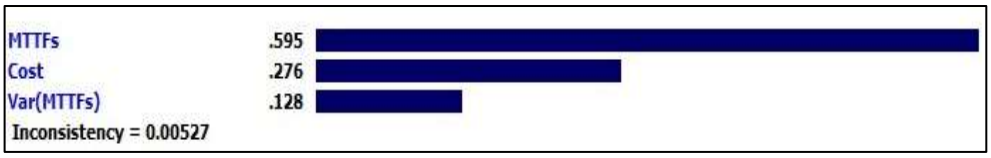
جدول شماره ۱: مقادیر پارامترهای هر زیر سیستم

شماره زیر سیستم	هزینه(C_i)	حجم(V_i)	وزن(W_i)
هر جزء در زیر سیستم اول	۹	۷	۱۶
هر جزء در زیر سیستم دوم	۵	۹	۱۱
هر جزء در زیر سیستم سوم	۷	۱۲	۹

در ادامه گام‌های چهارگانه رویکرد پیشنهادی را به همراه تحلیل نتایج حاصله در مورد این مثال بررسی می‌کنیم .

گام اول : تعیین اوزان اهداف با کمک تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

به منظور تعیین میزان اهمیت اهداف (اوزان معیارها) از پرسشنامه استاندارد تحلیل سلسله مراتبی و بررسی نظرات ۳۰ نفر از خبرگان استفاده گردیده است که برای افزایش سرعت و دقت در انجام محاسبات، داده‌های به دست آمده از پرسشنامه وارد نرم افزار مرتبط با فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به نام Expert choice گردیده و نتایج حاصله در شکل شماره (۳) ارائه گردیده است.



شکل شماره ۳: تعیین اوزان اهداف با کمک تکنیک تحلیل سلسله مراتبی

شایان ذکر است در ادامه و در بخش تحلیل نتایج، با تغییر اوزان اهداف سایر حالت‌ها را نیز بررسی و مقایسه خواهیم نمود.

www.SID.ir

Archive of SID

گام دوم: شناسایی گزینه‌ها با کمک طراحی آزمایشات

در این مرحله میبایست از میان کل حالات موجود چند حالت را به عنوان گزینه‌های مورد بررسی انتخاب نمود. برای این منظور از یک طرح تاگوچی L8 که یک ستون چهار سطحی و دو ستون دو سطحی دارد استفاده می‌کنیم که حالت‌های مختلف آن (A1 تا A8) با تعداد اجزاء افزونه مورد نیاز در هر زیر سیستم درجدول شماره (۲) ارائه گردیده است.

جدول شماره ۲: تعداد اجزای زیر سیستم‌ها در گزینه‌های طرح تاگوچی

گزینه‌ها	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
N1	۱	۲	۱	۲	۱	۲	۱	۲
N2	۱	۱	۲	۲	۳	۳	۴	۴
N3	۱	۲	۱	۲	۲	۱	۲	۱

گام سوم: تکمیل ماتریس تصمیم با کمک تکنیک شبیه سازی

پس از تعیین معیارها و میزان اهمیت آنها و همچنین شناسایی گزینه‌های تصمیم، در این مرحله می بایست با کمک تکنیک شبیه سازی، داده‌های ماتریس تصمیم را کامل نمود تا اطلاعات مورد نیاز برای تحلیل نهایی و انتخاب مناسب‌ترین گزینه حاصل شود. برای این منظور در مرحله اول با جایگذاری تعداد اجزاء افزونه در محدودیت‌های مدل ارائه شده (با توجه به جدول شماره ۱) مشاهده می‌گردد که تمام گزینه‌ها در محدودیت‌ها صدق می‌کنند، لذا هر هشت گزینه می‌بایست مورد بررسی نهایی قرار گیرند. در ادامه با استفاده از جدول شماره (۲)، حالات مختلف سیستم سری موازی با اجزای مازاد را با کمک نرم افزار ED شبیه سازی نموده و پس از ۳۰ بار اجرای هر حالت، زمان ماندگاری سیستم (زمانی که سیستم برای اولین بار متوقف می‌شود) را استخراج می‌نمائیم که نتایج حاصله در جدول شماره (۳) ارائه گردیده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول شماره ۳: محاسبه زمان ماندگاری سیستم برای گزینه‌های طرح تاگوچی در تکرارهای مختلف نرم افزار ED

تکرارها	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
۱	77.29	270.88	23.17	242.76	209.28	49.67	282.37	58.85
۲	60.39	33.65	21.28	267.64	409.09	44.81	169.25	4.59
۳	45.23	305.73	132.17	283.98	120.53	43.44	117	141.6
۴	21.39	22.38	28.22	165.97	127.25	129.4	302.14	85.49
۵	41.28	235.22	19.58	831.06	246.3	63.29	182.14	133.09
۶	59.65	63.85	28.1	657.86	65.7	67.21	323.14	21.69
۷	50.9	59.84	36.84	309.03	325.9	141.26	191.66	28.33
۸	5.07	199.57	66.02	384.89	245.38	49.8	168.39	126.73
۹	7.76	135.2	23.36	134.23	188.16	88.08	231.54	90.66
۱۰	31.81	257.29	105.45	350.38	100.04	70.28	136.2	21.05
۱۱	50.83	312	35.67	478.09	279.54	98.9	296.28	220.09
۱۲	53.64	92.24	127.88	698.85	137.44	25.2	304.48	8.5
۱۳	53.18	135.07	64.81	747.92	115.48	126.06	277.54	18.12
۱۴	117.47	145.58	33.24	962.67	76.29	87.5	163.44	190.79
۱۵	44.22	136.42	71.26	384.49	68.96	262.56	310.05	35.92
۱۶	25.12	17.72	40.76	433.57	83.11	100.41	143.01	78.51
۱۷	35.28	197.86	62.37	906.14	171.08	98.04	182.6	76.62
۱۸	12.02	125.11	25.7	258.01	213.23	98.7	152.29	138.42
۱۹	66.93	70.46	260.66	348.34	119.36	133.43	522.04	271.65
۲۰	42.03	86.8	43.33	200.4	263.45	242.77	32.2	172.07
۲۱	51.68	82.98	28.79	72.96	338.23	23.95	279.54	134.38
۲۲	86.01	66.79	173.57	742.1	431.54	22.12	92.39	174.03
۲۳	27.84	87.98	25.47	1228.83	83.26	77.06	116.13	104.64
۲۴	49	27.54	100.2	1120.62	93.06	69.54	89.92	206.62
۲۵	30.57	35.53	64.5	203.13	519.71	22.46	83.62	204.87

www.SID.ir

Archive of SID

۲۶	34.88	57.6	53.92	594.67	104.88	40.91	294.34	31.16
۲۷	29.73	50.44	13.25	52.98	74.33	26.45	237.79	97.93
۲۸	59.77	108.67	67.23	364.73	108.99	31.78	165.78	100.15
۲۹	70.9	81.48	46.61	727.91	92.25	151.69	120.94	39.09
۳۰	81.49	40.75	237.79	510	108.21	48.86	227.16	50.3
میانگین	47.44	118.08	68.71	488.81	184.00	84.52	206.51	102.20
واریانس	24.47	86.31	62.24	311.24	120.94	59.49	100.31	72.15

در نهایت ماتریس تصمیم متشکل از مقادیر اهداف برای گزینه‌های طرح تاگوچی در جدول شماره (۴) ارائه گردیده است.

جدول شماره ۴: مقادیر اهداف برای گزینه‌های طرح تاگوچی

اهداف	$MTTF_s$	C	Var $(MTTF_s)$
Max/Min	Max	Min	Min
وزن اهداف	۰,۵۹۵	۰,۲۷۶	۰,۱۲۸
A1	۴۷,۴۴	۲۱	۲۴,۴۷
A2	۱۱۸,۰۸	۳۷	۸۶,۳۱
A3	۶۸,۷۱	۲۶	۶۲,۲۴
A4	۴۸۸,۸۱	۴۲	۳۱۱,۲۴
A5	۱۸۴	۳۸	۱۲۰,۹۴
A6	۸۴,۵۲	۴۰	۵۹,۴۹
A7	۲۰۶,۵۱	۴۳	۱۰۰,۳۱
A8	۱۰۲,۲	۴۵	۷۲,۱۵

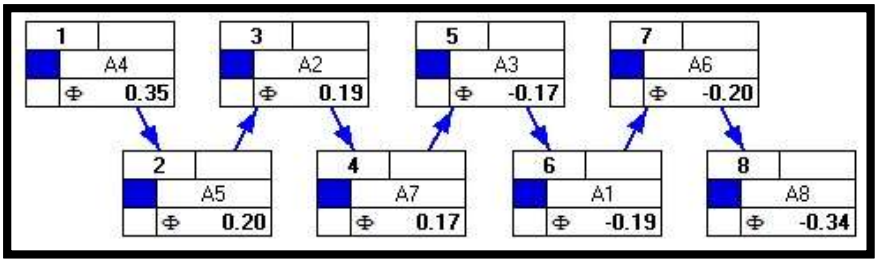
www.SID.ir

Archive of SID

لازم به یادآوری است که تمامی محاسبات توسط یک PC با چهار گیگابایت RAM و پردازش‌گر Core 2 duo انجام شده است. همچنین برای تنظیم پارامترهای الگوریتم از نرم افزار Minitab16 و برای عملیات شبیه سازی از نرم افزار ED8.1 استفاده گردیده است.

گام چهارم: انتخاب گزینه برتر با کمک تکنیک پرامیتی

در این مرحله به منظور انتخاب مناسب‌ترین گزینه، گام‌های تکنیک پرامیتی را با توجه به ماتریس تصمیم ایجاد شده در جدول شماره (۴) ادامه می‌دهیم. برای این منظور از نرم افزار مرتبط با این تکنیک به نام **Decision lab** با هدف تسهیل در انجام محاسبات، افزایش دقت و استفاده از قابلیت‌های تحلیلی و گرافیکی آن استفاده میکنیم. شکل شماره (۴) خروجی این نرم افزار را نشان می‌دهد.



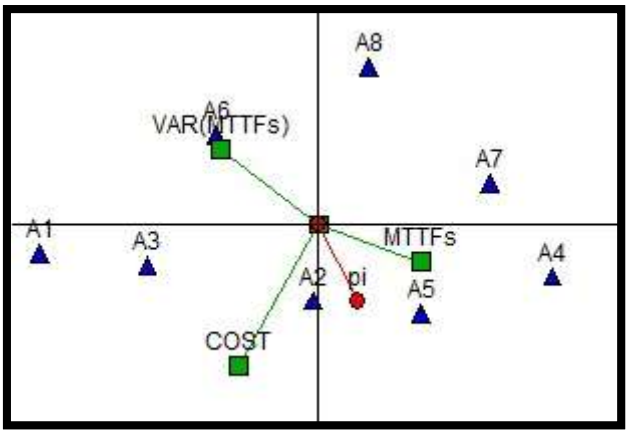
شکل شماره ۴: رتبه بندی گزینه‌ها با کمک تکنیک پرامیتی

همانطور که ملاحظه می‌گردد گزینه **A4** با آرایش (۲،۲،۲) با توجه به اهداف مورد نظر مناسب ترین گزینه محسوب می‌شود و پس از آن گزینه‌های **A5** با آرایش (۲،۳،۱) و **A2** با آرایش (۲،۱،۲) اولویت‌های دوم و سوم را به خود اختصاص داده‌اند. ضمن آنکه گزینه‌های**A7** با آرایش (۲،۴،۱) ، **A3** با آرایش (۱،۲،۱) ، **A1** با آرایش (۱،۱،۱) ، **A6** با آرایش (۱،۳،۲) و **A8** با آرایش (۱،۴،۲) به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند.

www.SID.ir

Archive of SID

در ادامه با کمک قابلیت‌های تحلیلی و گرافیکی نرم افزار Decision lab به بررسی و تحلیل نتایج حاصله و آنالیز حساسیت خروجی‌ها در صورت تغییر در اوزان اهداف خواهیم پرداخت. برای این منظور شکل شماره (۵) موقعیت نسبی گزینه‌ها را با توجه به معیارها، بصورت گرافیکی نشان می‌دهد (ویژگی GAIA Planes). در این قابلیت گزینه‌ها به شکل مثلث و معیارها به شکل مربع مشخص گردیده و موقعیت گزینه‌ها نیز با توجه به شدت و ضعف قدرت هر گزینه در هر معیار تعیین می‌شود. ضمن آنکه بردار برآیند اوزان معیارها نیز با Pi مشخص گردیده است.

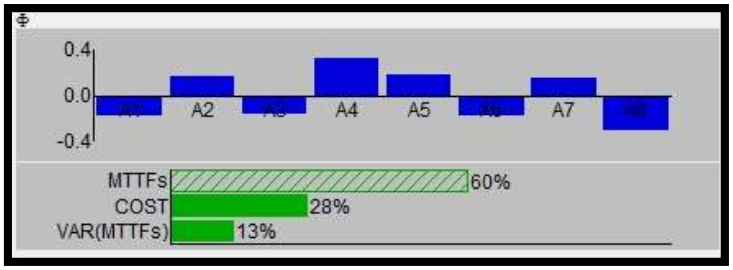


شکل شماره ۵: موقعیت نسبی گزینه‌ها نسبت به معیارها

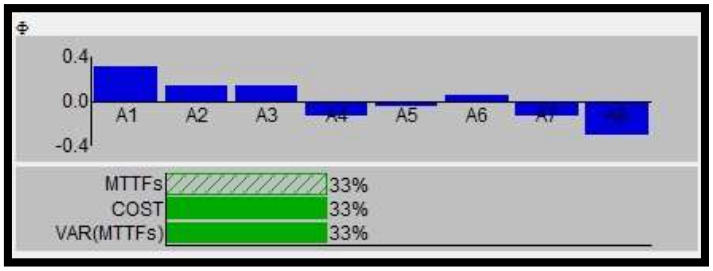
در ادامه در شکل‌های شماره (۶) تا (۹) تغییر در اولویت بندی گزینه‌ها با توجه به تغییر در اوزان معیارها نشان داده شده است. برای این منظور شکل شماره (۶) نمایشی گرافیکی از رتبه‌بندی گزینه‌ها را با توجه به اوزان به دست آمده از نظرات کارشناسان در این تحقیق نشان می‌دهد. شکل شماره (۷) اولویت بندی گزینه‌ها را در صورت اوزان برابر اهداف تحقیق نشان می‌دهد، شکل شماره (۸) نیز رتبه بندی گزینه‌ها در صورت اهمیت برابر معیارهای هزینه و متوسط زمان ماندگاری و برتری آنها نسبت به معیار واریانس را نشان می‌دهد و در نهایت شکل شماره (۹) اولویت بندی گزینه‌ها را در صورت افزایش وزن هدف دوم (هزینه) از ۰,۲۷۶ به ۰,۵ نشان می‌دهد.

www.SID.ir

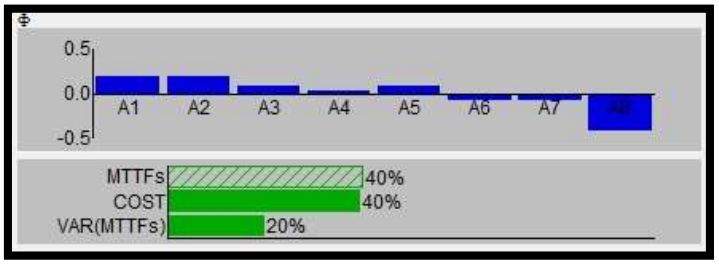
Archive of SID



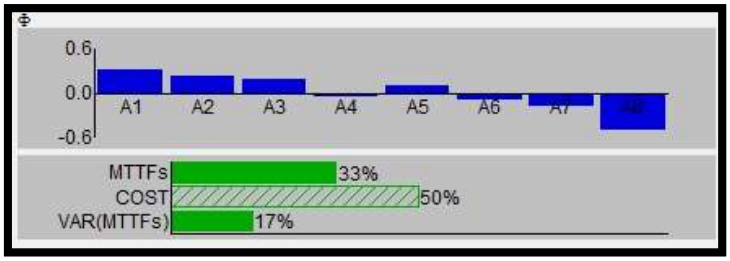
شکل شماره ٦: اولویت بندی گزینه‌ها با توجه به اوزان تعیین شده توسط کارشناسان



شکل شماره ۷: اولویت بندی گزینه‌ها در صورت اهمیت برابر اهداف تحقیق



شکل شماره ۸: اولویت بندی گزینه‌ها در صورت اهمیت برابر اهداف اول و دوم



شکل شماره ۹: اولویت بندی گزینه‌ها در صورت اهمیت بیشتر هدف دوم (هزینه)

www.SID.ir

Archive of SID

همانطور که مشاهده می‌گردد با تغییر در میزان اهمیت اهداف تحقیق، مقادیر پارامتر Φ در تکنیک پرامیتی نیز تغییر کرده و در نتیجه اولویت‌بندی گزینه‌ها بطور کامل تغییر می‌کند. بطور مثال در صورت برابر بودن میزان اهمیت هر سه هدف (شکل شماره ۷) و همچنین در صورت اهمیت بالاتر هدف "هزینه" (شکل شماره۹) گزینه اول با آرایش (۱،۱،۱) اولویت بالاتری کسب نموده است در حالیکه در صورت برابر بودن اهمیت دو هدف اول و برتری آنها نسبت به هدف سوم (شکل شماره ۸) گزینه دوم با آرایش (۲،۱،۲) رتبه بهتری کسب نموده است.

نتیجه‌گیری

تخصیص اجزاء مازاد به سیستم‌ها، همواره با محدودیت‌های منابع مالی، وزن و فضای استقرار مواجه خواهد شد که نیازمند برقراری تعادلی مناسب و بهینه میان پارامترهای موجود می‌باشد؛ لذا در این تحقیق تلاش گردید با استفاده از تکنیک‌های تصمیم گیری چند معیاره (AHP & PROMETHEE)، طراحی آزمایشات، شبیه‌سازی و با بهره‌گیری از قابلیت‌های نرم‌افزاری آنها، رویکردی جدید برای حل مسئله تخصیص افزونگی در سیستم‌های سری موازی با تعمیرات مجاز پیشنهاد نماییم. رویکرد پیشنهادی ضمن در نظر گرفتن محدودیت‌های وزن و حجم، سعی در افزایش متوسط زمان ماندگاری سیستم و کاهش هزینه و واریانس بطور همزمان می نماید. ضمن آنکه با بهره گیری از نرم افزارهای آماری و تحلیلی مناسب علاوه بر افزایش سرعت و دقت در محاسبات، امکان انجام تحلیل‌های گرافیکی و آنالیز حساسیت را در شرایط مختلف بررسی نمودیم.

شایان ذکر است مباحثی از قبیل: اضافه کردن مفاهیم عدم قطعیت با کمک پارامترهای فازی، استفاده همزمان از دو نوع مولفه مازاد فعال و آماده به کار، استفاده از سایر توابع توزیع آماری برای نرخ‌های خرابی و تعمیر، بهره گیری از سایر تکنیک‌های تصمیم گیری چند معیاره در مراحل وزن‌دهی و رتبه‌بندی و موارد مشابه می‌تواند بستری مناسب برای تحقیقات آتی محسوب شود.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

Amiri, M. (2015). *"Reliability*", ANN publication, first edition, Tehran, Iran, [Persian].

Amiri, M., Ghassemi-Tari, F. (2007). "*A methodology for analyzing the transient availability and survivability of a system with repairable components*", Applied Mathematics and computation, pp. 300-307.

Behzadian, M., Kazemzadeh, R. B., Albadvi, A., Aghdasi, M. (2010). "*PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. European Journal of Operational Research*", 200, 1, pp. 198–215.

Beji, N., Jarboui, B., Eddaly, M., Chanbchoub, H. (2010). "*A hybrid particle swarm optimization algorithm for the redundancy allocation problem"*, Journal of Computational Science, 1, pp. 159–166.

Brans, J.P., Mareschal, B., Vincke, P.H. (1986). "*How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method".* European Journal of Operational Research. 24, 228-238.

Bulfin, R. L., Liu, C. Y. (1985). "*Optimal allocation of redundant components for large systems*", IEEE Transactions on Reliability, 34, pp.241– 248.

Busacca, P.G., Marseguerra, M., Zio, E. (2001). "*Multi objective Optimization by Genetic Algorithms : Application to Safety Systems*", Reliability Engineering and System Safety, 72, pp. 59-74.

Chern, M.S. (1992). "*On the computational complexity of reliability redundancy allocation in a series system*", Operations Research Letters, pp. 309-315.

Coelho, L.D.S. (2009). "*Reliability-redundancy optimization by means of a chaotic differential evolution approach*", Chaos, Solitons and Fractal, pp. 594-602.

Coit, D.W., Smith, A.E. (1996). *"Reliability Optimization of Series-Parallel Systems Using a Genetic Algorithm*", IEEE Transactions on Reliability, 2, pp1-5.

www.SID.ir

Archive of SID

Coit, D.W., Jin, T., Wattanapongsakorn, N. (2004). *"System optimization with component reliability estimation uncertainty: A multi-criteria approach*", IEEE Transaction on Reliability, 53, 3, pp. 369–380.

Coit, D.W., Konak, A. (2006). *"Multiple Weighted Objectives Heuristic for the Redundancy Allocation Problem"*, IEEE Transactions on Reliability, PP. 551-556.

Dale, C.J., Winterbottom, A. (1986). "*Optimal Allocation of Effort to Improve System Reliability*", IEEE Transactions on Reliability, 35, 2, pp. 188-191.

Dodge, Yadolah. (2008). "*The Concise Encyclopedia of Statistics*", Springer, pp. 162-163.

Fyffe, D.E., Hines, W.W., Lee, N.K. (1968). "*System Reliability Allocation and a Computational Algorithm*", IEEE Transaction on Reliability, pp. 64-69.

Gen, M., Ida, K., Lee, J. U. (1990). "*A computational algorithm for solving 0–1 goal programming with GUB structures and its application for optimization problems in system reliability"*, Electronics and Communications in Japan, 73, 3, pp. 88–98.

Goumas, M., Lygerou, V. (2000). "*An extension of the PROMETHEE method for decision making in fuzzy environment: Ranking of alternative energy exploitation projects"*. European Journal of Operational Research, 123, pp. 606–613.

Guedenko, B., Ushakov, I. (1995). "*Probabilistic Reliability Engineering"*, A Wiley-Interscience publication.

Ha, C., Kuo, W. (2006). *"Reliability redundancy allocation: An improved realization for non convex nonlinear programming problems*", European Journal of operation research, pp. 24-38.

Juang, Y.S., Lin, S.S., Kao, H.P. (2008). *"A knowledge management system for series-parallel availability optimization and design"*, Expert system and Applications, pp. 181-193.

www.SID.ir

Archive of SID

Konak, S. k., Smith, A.E., Coit, D.W. (2003). "*Efficiently Solving the Redundancy Allocation Problem Using Tabu Search*", IIE Transaction, 35, pp. 515-526.

Kumar, R., Izui, K., Yoshimura, M., Nishiwaki, S. (2009). "*Optimal multilevel redundancy allocation in series and series-parallel systems*", Computers & Industrial Engineering, pp. 169-180.

Kumar, V., Mishra, S. (2008). "*Application of Genetic Algorithm in Reliability Optimization*", XXXII National Systems Conference, NSC 2008.

Kuo, W., Prasad, V.R. (2000). *"An annotated overview of system-reliability optimization"*, IEEE Transaction on Reliability, 2, 49, PP. 176-187.

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, G. L., Lin, H. J., Yu, T.W., Ma, C.C., Chyou, S.L. (2008). "Optimal Allocation for Improving System Reliability Using AHP", IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies (ICSET).

Li, Zh., Liao, H., Coit, D. W. (2009). "*A two Stage Approach for Multi-Objective Decision Making with Applications to System Reliability Optimization*", Reliability Engineering and System Safety, 94, pp. 1585–1592.

Liang, Y. C., Chen, Y. C. (2007). "*Redundancy allocation of series–parallel systems using variable neighborhood search algorithms*", Reliability Engineering and System Safety, 92, pp. 323–331.

Liang, Y.C., Lo, M.H., Chen, Y.C. (2007). *"Variable neighborhood search for redundancy allocation problems"*, IMA Journal of Management Mathematics, pp. 135-155.

Mahapatra, G.S. (2009). *"Reliability Optimization of Entropy Based Series-Parallel System Using Global Criterion Method",* Intelligent Information Management, 1, pp. 145-149.

www.SID.ir

Archive of SID

Mahapatra, G.S., Mitra, M., Roy, T. K. (2010). *" Intuitionistic Fuzzy Multi-objective Mathematical Programming on Reliability Optimization Model*", International Journal of Fuzzy System, 12, 3, pp 259-266.

Mettas, A. (2000). "*Reliability Allocation and Optimization for Complex Systems*", Reliability and Maintainability Symposium, Proceedi gs. Annual.

Nahas,N., Nourelfath, M., Ait-Kadi, D. (2007). "Coupling ant colony and the degraded ceiling algorithm for the redundancy allocation problem of series-parallel systems", Reliability Engineering and System Safety, pp. 211-222.

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, 33, 12, pp. 1047–1058.

Ouzineb, M., Nourelfath, M., Gendreau, M. (2008). "Tabu search for the redundancy allocation problem of homogenous series–parallel multi-state systems", Reliability Engineering and System Safety, 93, pp. 1257–1272.

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, 83, pp. 341-349.

Ramirez-Marquez, J.E., Coit, D.W., Konak, A. (2004). *"Redundancy allocation for series-parallel systems using a max-min approach*", IIE Transaction, pp. 891-898.

Ravi, V., Murty, B.S.N., Reddy, p.J. (1997). *"Non equilibrium Simulated-Annealing Algorithm Applied to Reliability optimization of Complex Systems"*, IEEE Transactions on Reliability, 46, 2, pp. 233-239.

Saaty, T.L. (1980). The Analytical Hierarchy Process, Mc Graw Hill, NewYork.

Salmasnia, A., siavashi, R., Baradaran,R. (2012). *"A Robust Optimization Approach for Redundancy Allocation Problem in LCD Unit Display based on Design Of Experiment*", first international quality engineering conference, Tehran, Iran, [Persian].

www.SID.ir

Archive of SID

Shaghaghi,F., Amiri, M., Azimi, p. (2014). *"Developing a new efficient method based on simulation technique for redundancy allocation problem in repairable systems*", Tenth international industrial engineering conference, Tehran, Iran, [Persian].

Shalabi. (2006). *"GIS based Multi criteria Approaches to Housing Site suitability assessment"*.

Tavakkoli Moghaddam, R., Safari, J., Sassani, F. (2007). "*Reliability optimization of series-parallel systems with a choice of redundancy strategies using a genetic algorithm*". Reliability Eng System Safety, 1, 45, pp.2221 – 2230.

Yalaoui, A., Chu, C. (2005). *"Reliability Allocation Problem in a Series-Parallel System"*, Reliability Engineering & System Safety, 90, 1, pp. 55-61.

Yeh, W. (2009). *"A two-stage discrete particle swarm optimization for the problem of multiple multi-level redundancy allocation in series systems"*, Expert System with Applications, pp. 9192-9200.

You, P.S., Chen, T.C. (2005). *"An efficient heuristic for series-parallel redundant reliability problems"*, Computer & Operations Research, pp. 2117-2127.

Zhou, P., B.W, A., K.L, poh. (2006). *"Decision Analysis in Energy and Environmental Modeling"*, National university in Singapore.

www.SID.ir