

## ارائه مدلی برای حل مسئله تخصیص افزونگی قابلیت اطمینان بوسیله یک الگوریتم رقابتی تلفیقی چندهدفه

روزبه عزیزمحمدی\*، مقصود امیری\*، رضا توکلی مقدم\*\*، حمیدرضا مشاط زادگان\*\*\*

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۲

تاریخ پذیرش: ۹۲/۷/۲

### چکیده

تخصیص اجزاء مازاد شامل انتخاب اجزاء و سطوح افزونگی برای بیشینه نمودن قابلیت اطمینان تحت محدودیت‌های مختلف سیستم است. در اکثر طراحی‌ها، به دلیل وجود توابع هدف چندگانه متضاد، محاسبه قابلیت اطمینان دشوار می‌باشد. در مدل ارائه شده در این مقاله سه هدف شامل بیشینه‌سازی قابلیت اطمینان، کمینه‌سازی حجم و کمینه‌سازی هزینه مد نظر قرار می‌گیرد که برای حل آن، یک الگوریتم تلفیقی چندهدفه جدید بر پایه الگوریتم‌های رقابتی و ژنتیک برای اولین بار در حل مسائل بهینه‌سازی قابلیت اطمینان چندهدفه با استفاده از تخصیص عضو مازاد پیشنهاد می‌شود. علاوه بر این از روش رویه شناسی رویه سطح پاسخ (RSM) برای تنظیم عملگرهای الگوریتم پیشنهادی استفاده می‌شود. الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با دو الگوریتم NSGA-II و PAES از کارایی بالاتری برخوردار است.

### کلمات کلیدی:

مسئله تخصیص افزونگی، روش شناسی رویه سطح پاسخ، بهینه‌سازی قابلیت اطمینان چندهدفه، الگوریتم رقابتی، الگوریتم ژنتیک.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
رئیس‌جمهور  
مجمع‌العلماء

\* استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، (نویسنده مسئول)

\*\* استاد دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران

\*\*\* استاد دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه تهران، تهران

\*\*\*\* دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین

1. Response Surface Methodology
2. Non-dominated sorting Genetic Algorithm-II
3. Pareto Archived Evolution Strategy

## مقدمه

تخصیص افزونگی (RAP) یک مسئله خیلی ضروری در بهینه سازی قابلیت اطمینان می باشد که این امر برای طراحی سیستم های خیلی پیچیده با تکنولوژی بالا با اجزاء زیاد و نیازمند به یک قابلیت اطمینان دقیق، شبیه سیستم های الکترونیکی قدرت، سیستم های انتقال، سیستم های امنیت، سیستم های ارتباط از راه دور، سیستم های ماهواره ای و غیره بسیار مهم و ضروری می باشد (M.Sakava, 1978, 311-314) (C.L.Hwang et al. , 1979, 394-397).

بطور اساسی، تخصیص افزونگی شامل اضافه نمودن اجزاء مازاد به سیستم برای بدست آوردن پیکر بندی بهینه طراحی سیستم می باشد. از آنجایی که اضافه نمودن اجزاء بیشتر منجر به افزایش هزینه، حجم و وزن سیستم خواهد شد لذا تعامل میان این پارامترها در قالب یک مسئله چندهدفه ارائه می شود. با در نظر گرفتن تقسیم بندی مسائل تخصیص قابلیت اطمینان، Hwang و همکاران مدل های ریاضی با مد نظر قرار دادن سه معیار کمینه سازی هزینه جانمایی، حداکثر نمودن دسترس پذیری و تعیین حد پایین برای قابلیت اطمینان مورد انتظار ارائه نمودند (C.L.Hwang et al. , 1979, P 394-397). مدل سازی تخصیص قابلیت اطمینان چند هدفه با هدف بیشینه سازی قابلیت اطمینان و کمینه سازی هزینه سیستم توسط Sakawa ارائه شد، در این مقاله از روش های موازنه ارزش جانمایی استفاده شده است (M.Sakava, 1978, P 311-314). Inagaki و همکاران در مقاله خود به ارائه مدلی پرداختند که در آن از تکنیک بهینه سازی تعاملی برای طراحی سیستم با هزینه و وزن کم و بیشترین قابلیت اطمینان استفاده شده است (T.Langaki et al. 1978). Sakawa در بررسی خود به حل مسئله تخصیص قابلیت اطمینان چند هدفه با استفاده از تکنیک تخمینی بر پایه روش موازنه ارزش جانمایی پرداخت (M.Sakava, 1978, P 465-467). Nakagawa استراتژی تلفیقی از کوچک سازی فضای موجه، تولید جواب های بهینه پاراتو و در نهایت انتخاب بهترین حل بهینه پاراتو بر اساس تجارب طراحان ارائه نمود (Y.Nakagawa, 1978). بعد از آن Sakawa مدل ترکیبی از مسئله برنامه ریزی عدد صحیح (قابلیت اطمینان و تخصیص افزونگی) ارائه نمود و برای حل آن به ارائه مدل تلفیقی از ارزش جانمایی و روش

تجزیه دوگانه وقتی متغیرهای صحیح بصورت متغیرهای پیوسته می‌باشند پرداخت (M.Sakawa, 1978, P 173-174). تکنیک مفهومی SPOT را که بر اساس تصمیم‌گیری تعاملی برای انتخاب راه حل ترجیحی از میان مجموعه راه‌حل‌های بهینه پارتو می‌باشد را ارائه نمود (M.Sakawa, 1982, P 461-464). Sharma (M.Sakawa, 1982, P 461-464) روش جستجوی موثر برای حل مسائل متنوع طراحی قابلیت اطمینان که شامل مدلسازی برنامه ریزی عدد صحیح می‌باشند را پیشنهاد نمود (K.B.Misra et al. , 1991 P 285-294). Sharma و Misra مدلسازی ریاضی برای تلفیق قابلیت اطمینان و مسئله تخصیص افزونگی با بهینه‌سازی اهداف چندگانه و در نظر گرفتن افزونگی از نوع مختلط ارائه نمودند (K.B.Misra et al. , 1991 P 323-335). Dhingra مسئله محاسبه قابلیت اطمینان چند هدفه برای سیستم سری ارائه نمود. مسئله حل شده در این مقاله یک مسئله از نوع برنامه ریزی عدد صحیح غیرخطی و تحت برخی محدودیت‌های طراحی می‌باشد (A.K.Dhingra, 1992, P 576-582) از آنجاییکه با افزایش پیچیدگی مسئله استفاده از روش‌های دقیق غیر کارا می‌شوند، لذا استفاده از روش‌های فراابتکاری از قبیل الگوریتم ژنتیک، جستجوی مورچگان، ازدحام ذرات گزینه‌های مناسبی برای جایگزینی با روش‌های دقیق می‌باشند. Sasaki و همکاران به ارائه روش فراابتکاری جستجوی ممنوع برای حل مسئله تخصیص افزونگی قابلیت اطمینان پرداختند (M.Sasaki et al. , 1992 P 106-116). Roy و Mahaparta مسئله قابلیت اطمینان چند هدفه برای سیستم‌هایی که قابلیت اطمینان آنها شامل برخی اهداف متناقض می‌باشند را در نظر گرفتند. در مقاله ایشان روش بهینه‌سازی چند هدفه فازی جدیدی ارائه شد که برای تصمیم‌گیری بهینه‌سازی در سیستم‌های قابلیت اطمینان سری و پیچیده با دو هدف کاربرد داشت (G.S.Mahaparta, 2006, P 643-659). Salazar و همکاران به تشریح سه نوع از مسائل بهینه‌سازی قابلیت اطمینان پرداختند این مسائل بعنوان مسائل برنامه ریزی غیرخطی عدد صحیح-مختلط با در نظر گرفتن یک و یا برخی از محدودیت‌ها مدلسازی شده و با استفاده از تکنیک‌های برنامه ریزی ریاضی یا روش‌های ابتکاری خاص حل شده‌اند (Daniel Salazar et al, 2006,

(Tian and Zuo .P1057-1070) برنامه ریزی فیزیکی را به عنوان رویکرد موثر برای بهینه سازی ساختار سیستم که در آن توابع بصورت چند هدفه می باشند پیشنهاد نمودند. تکنیک حل این برنامه پیشنهادی استفاده از الگوریتم ژنتیک می باشد (Zhigang tian et al. , 2006 P 1049-1056) و روش ابتکاری برای حل مدل چند هدفه موزون برای سیستم قابلیت اطمینان ارائه نمودند، این روش ابتکاری برپایه تبدیل مسئله به مسئله چندهدفه و نهایتاً تبدیل مسئله چند هدفه به چندین مسئله تک هدفه می باشد (Zhao .(David.W.Coit et al. , 2006 P 551-558) و همکاران الگوریتم تجمع مورچگان چند هدفه (ACS) را برای حل مسئله قابلیت اطمینان سری<sup>۰</sup> موازی ارائه نمودند، این نوع از مسائل شامل انتخاب اجزائی با انتخاب و سطوح افزونگی چندگانه با هدف حداکثرسازی سود و کاهش هزینه و وزن می باشند (Jian-jua zhao et al. , 2007 P 109-120). توکلی مقدم و همکاران به ارائه یک الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله تخصیص افزونگی برای سیستم سری- موازی پرداختند در این مسئله استراتژی افزونگی برای هر زیر سیستم قابل انتخاب می باشد- (Tavakokoli-moghaddam et al. , 2008 P 550-556). سجادی و سلطانی یک روش ابتکاری برای حل ساختار عمومی مسئله تخصیص افزونگی سری- موازی در حالتی که بیشینه سازی قابلیت اطمینان هدف و برخی محدودیت های خطی در محدودیت آن قرار دارد ارائه نمودند (Sadjadi et al. , 2009 P 1703-1710). آذرون و همکاران از الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله بهینه سازی قابلیت اطمینان گسسته چند هدفه در سیستم با K جزء غیر مشابه، غیر قابل تعمیر و افزونگی آماده بکار سرد استفاده نمودند (Amir azaron et al. , 2009 P 1562-1571). Wang و همکاران مسئله تخصیص افزونگی را بعنوان مسئله بهینه سازی چندهدفه با اهداف کاهش هزینه های مرتبط طراحی و دو تابع هدف دیگر و تعدادی از محدودیت ها مدلسازی نمودند، آنها از NSGA-II برای حل این مدل استفاده نمودند (Zai Wang et al. , 2009 P 1585-1592). Li و همکاران یک رویکرد دو مرحله ای برای حل مسائل بهینه سازی قابلیت اطمینان چند هدفه پیشنهاد نمودند. در این رویکرد مجموعه جواب های بهینه پارتو در

مرحله اول شناسایی می شود در حالتیکه تعداد جواب های بهینه در مجموعه جواب های پارتو زیاد باشد، برای غلبه بر این مشکل در مرحله دوم از تکنیک MOSO یا بهینه سازی انتخابی چند هدفه استفاده میشود (Zhaojun et al. , 2009 P 1585-1592). Liamg و Lo الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر را برای حل مسائل تخصیص افزونگی چند هدفه توسعه دادند، کارایی این الگوریتم بر روی سه مجموعه از مسائل به ترتیب با ۵، ۱۴ و ۲۴ زیر سیستم آزمایش شد (Yun-chia et al. , 2010 P 511-535). Zio و Bazzowe از تکنیک Level Diagrams برای نشان دادن گرافیکی مجموعه جواب های پارتو در مسئله بهینه سازی تخصیص افزونگی چند هدفه قابلیت اطمینان استفاده نمودند (E.Zio et al. , 2011 P 569-580). Soylu و Ulusoy مسئله قابلیت اطمینان دو هدفه در سیستم سری- موازی را با سطح مشخص استراتژی افزونگی اجزاء ارائه نمودند، آنها از رویه معرف مرتب سازی تحت عنوان UTADIS برای طبقه بندی جواب ها در اولویت بندی ترجیح داده شده استفاده نمودند (Banu Soylu et al. , 2011 P 1855-1866). Droguett و Lins از الگوریتم ژنتیک چند هدفه و ترکیب آن با شبیه سازی گسسته برای حل مسئله تخصیص افزونگی استفاده نمودند (Isis Didier et al. , 2011, P 362-381).

Laxminarayan Sahoo و همکارانش ۴ نوع مختلف از مسائل بهینه سازی قابلیت اطمینان چند هدفه با استفاده از اعداد با ارزش فاصله ای مدل سازی نمودند. برای حل این مدل ها از الگوریتم ژنتیک پیشرفته و مفهوم پارتو استفاده شده است (Laxminarayan Sahoo et al. , 2012 P 152-160). Sadjadi و همکارانش مسئله بهینه سازی قابلیت اطمینان ارائه نمودند (Sadjadi et al. , 2012 P 990-999). چمبری و همکاران در مقاله خود به توسعه مدل دو هدفه تخصیص افزونگی پرداختند. برای حل این مدل از دو الگوریتم NSGA-II و الگوریتم تجمع ذرات چند هدفه پیشنهاد شده است (Chambari et al. , 2012 P 109-119). صفایی و همکاران الگوریتمی تحت عنوان APSO برای حل مسئله افزونگی قابلیت اطمینان با انتخاب های چندگانه اجزاء تحت عنوان RAP-MCC ارائه نمودند (Safaei et al. , 2012 P

(Chern, 3462-3471) در مقاله خود اثبات نمود که مسئله تخصیص افزونگی در سیستم سری بامحدودیت‌های خطی یک مسئله NP-Hard است که برای حل آن توسعه روش‌های فراابتکاری برای پیدا کردن مقادیر بهینه تقریبی مفید خواهد بود- (Chern, 1992 P 309-315). در این مقاله یک روش جدید تلفیقی برپایه الگوریتم‌های رقابتی و ژنتیک برای پیدا کردن جواب نزدیک به بهینه در مسئله تخصیص افزونگی در مدل قابلیت اطمینان چند هدفه که مدلسازی آن در بخش بعد ارائه خواهد شد استفاده خواهیم کرد، با توجه به اینکه الگوریتم رقابتی برای حل مسائل پیوسته توصیه شده است (E. Atashpas- Gargari et al. , 2007 P 4661-4667). لذا در این مقاله تغییرات مورد نیاز برای استفاده از این الگوریتم در مسئله گسسته نیز اعمال شده است.

### مدل سازی مسئله

مدل چند هدفه سیستم قابلیت اطمینان با S زیر سیستم سری- موازی و دو محدودیت خطی جدا از هم و مدنظر قراردادن سیاست افزونگی، به وسیله یک مسئله برنامه ریزی غیر خطی عدد صحیح نشان داده می‌شود.

### پارامترها

S	تعداد زیر سیستم‌ها
$n_i$	تعداد اجزاء مورد استفاده در زیر سیستم i ( $i = 1, 2, 3, \dots, S$ )
$n_{max}$	حد بالای $n_i$
$m_i$	تعداد جزء در دسترس برای زیر سیستم i ( $i = 1, 2, \dots, S$ )
$z_i$	حالت‌های مختلف زیر سیستم i ( $i = 1, 2, \dots, S$ )
t	زمان ماموریت (زمان اجرای مدل)
$R(t; z, n)$	تابع قابلیت اطمینان در زمان t با بردارهای z و n
$\lambda_{it}$	پارامتر توزیع نمایی
C, V	حد بالای هزینه و حجم سیستم

هزینه، وزن و حجم زامین جزء در زیر سیستم i

 $c_{ij}, w_{ij}, V_{ij}$ 

## مدل ریاضی

$$Max: Min\{(1 - (1 - e^{-\lambda_{it}})^{n_i+1})^{z_{i1}} \times (e^{-\lambda_{it}})^{z_{i2}} \times (\sum_{j=1}^{n_i+1} e^{-\lambda_{it}} \frac{(-\lambda_{it})^j}{j!})^{z_{i3}}\} \quad (1)$$

$$min \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^{m_i} c_{ij} x_{ij} \quad (2)$$

$$Min: \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^{m_i} v_{ij} x_{ij} \quad (3)$$

s.t.

$$z_{i1} + z_{i2} + z_{i3} = 1 \quad (4)$$

$$\lambda_i = \sum_{j=1}^{m_i} \lambda_{ij} y_{ij} \quad (5)$$

$$x_{ij} \leq M y_{ij} \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^{m_i} c_{ij} x_{ij} \leq C \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^{m_i} v_{ij} x_{ij} \leq V \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^{m_i} w_{ij} x_{ij} \leq W \quad (9)$$

$$n_i = \sum_{j=1}^{m_i} x_{ij} \quad (10)$$

$$\sum_{j=1}^{m_i} y_{ij} = 1 \quad (11)$$

$$y_{ij}=0 \text{ OR } 1 \quad (12)$$

$$z_{i1}=0 \text{ OR } 1 \quad (13)$$

$$z_{i2}=0 \text{ OR } 1 \quad (14)$$

$$z_{i3}=0 \text{ OR } 1 \quad (15)$$

$$M \text{ is a very large number} \quad (15)$$

$$x_{ij} \geq 0 \ \& \ \text{intiger}; \quad n_i \geq 0 \ \& \ \text{intiger} \quad ; \quad m_i \geq 0 \ \& \ \text{intiger} \quad (16)$$

معادله ۱ به بیان هدف تعیین استراتژی افزونگی و تعداد اجزاء را در هر زیر سیستم برای ماکزیمم کردن کمترین قابلیت اطمینان در سیستم را نشان می‌دهد. اهداف ۲ و ۳ به ترتیب برای کمینه سازی هزینه و حجم سیستم می‌باشند. معادله ۵ محاسبه  $I$  امین پارامتر توزیع نمایی در زیر سیستم را نشان می‌دهد. معادله ۶ تضمین می‌کند اگر  $I$  امین جزء متعلق به  $I$  امین زیر سیستم نباشد در محاسبات در نظر گرفته نمی‌شود. معادلات ۷ تا ۹ به ترتیب حداکثر هزینه، حداکثر حجم و حداکثر وزن در دسترس را نشان می‌دهد. معادله ۱۰ تعداد اجزاء در زیر سیستم را نشان می‌دهد. محدودیت‌های ۱۱ و ۱۲ نشان می‌دهد  $y_{ij}$  دو مقدار دارد. اگر  $I$  امین جزء متعلق به  $I$  امین زیر سیستم باشد  $y_{ij}$  مقدار ۱ و در غیر اینصورت مقدار صفر خواهد داشت. محدودیت‌های ۴، ۱۳، ۱۴ و ۱۵ سه وضعیت سیستم را نشان می‌دهند. اگر  $Z_{i1} = 1$  سیستم افزونه فعال است، اگر  $Z_{i2} = 1$  سیستم فاقد افزونگی است و اگر  $Z_{i3} = 1$  باشد سیستم حالت آماده بکار سرد می‌باشد، زیر سیستم‌ها در هر زمان یکی از حالت‌های مذکور را دارا خواهند بود. محدودیت ۱۶ تضمین وجود اجزاء در زیر سیستم‌ها را نشان می‌دهد که تعداد آن‌ها می‌بایست بیشتر از صفر و عدد صحیح باشند. در این مدل عناصر به کاررفته در زیر سیستم‌ها از یک نوع می‌باشند.



## معرفی الگوریتم رقابتی تلفیقی چندهدفه (HMOCA):

## ۱- فرمت بندی آغازین

- 1-1- تنظیم پارامترها  $(PopSize, N-imp, \xi, Prct-Assimilate, Prct-Crossover, Prct-Imp-R, Prct-Col-R, P-R)$
- 1-2- ایجاد کشورهای اولیه (بصورت تصادفی)  $\rightarrow PopSize$
- 2- ارزیابی برازندگی هر کشور
- 3- تشکیل نخستین کشور قدرتمند
- 1-3- انتخاب قدرتمندترین کشور  $\rightarrow N-imp$
- 2-3- تخصیص قدرتهای دیگر به قدرتمندترین کشور
- 4- حرکت کشورهای تحت پوشش هر قدرتمند به سوی قدرتمند شدن  $\rightarrow Prct-Assimilate$  (assimilation)
- 5- تقاطع بعضی کشورهای تحت پوشش هر قدرتمند  $\rightarrow Prct-Crossover$
- 6- انقلاب بین کشورهای تحت پوشش و قدرتمندها  $\rightarrow Prct-Imp-R, Prct-Col-R$
- 7- اگر هزینه هر کشور تحت پوشش پایین تر از قدرتمند آن باشد در اینصورت جابجایی مکان تحت پوشش و قدرتمند صورت میگیرد
- 8- محاسبه قدرت کلی قدرتمندها  $\rightarrow \xi$
- 9- رقابت قدرتی
- 9-1- انتخاب ضعیفترین کشور از ضعیفترین قدرتمند و تخصیص آن به یکی از قدرتمندترینها
- 10- حذف قدرتمند نام بدون قدرت (قدرتمندی که کشور تحت پوشش نداشته باشد)
- 11- در صورتیکه معیار توقف برآورده نشد به بند 4 رجوع شود.

شکل (۱): شبه کد الگوریتم پیشنهادی

روش رقابتی یکی از روشهای فرا ابتکاری جدید می باشد که برای اولین بار برای حل مسائل بهینه سازی پیوسته توصیه شده است (E.Atashpas-Gargari et al., 2007 P 4661-4667). همانند دیگر الگوریتمهای تکاملی، این الگوریتم نیز با تعدادی جمعیت اولیه تصادفی که در اینجا "کشور" نامیده می شوند، شروع می شود. تعدادی از بهترین عناصر جمعیت (معادل نخبهها در الگوریتم ژنتیک) به عنوان قدرتمند و باقیمانده آنها به عنوان کم قدرت، در نظر

گرفته می‌شوند. قدرتمندان بسته به قدرت خود، کم قدرت‌ها را با یک روند خاص به سمت خود می‌کشند. قدرت کل هر کشور قدرتمند، شامل مجموع قدرت آن کشور و کشورهای تحت پوشش آن، خواهد بود. (در مدل سازی ریاضی، این وابستگی با تعریف قدرت هر قدرتمند به صورت مجموع قدرت کشور قدرتمند، به اضافه درصدی از میانگین قدرت کشورهای تحت پوشش آن بیان شده است.) بنابراین بقای یک کشور قدرتمند، وابسته به قدرت آن در جذب کشورهای تحت پوشش کشور قدرتمندهای رقیب خواهد بود. در نتیجه در جریان رقابت‌ها، به تدریج بر قدرت کشورهای بزرگتر اضافه شده و کشورهای ضعیف‌تر حذف خواهند شد. کشورهای قدرتمند برای افزایش قدرت خود، مجبور خواهند شد تا کشورهای تحت پوشش خود را نیز پیشرفت دهند. بدین ترتیب با گذشت زمان، کشورهای تحت پوشش از لحاظ قدرت به کشورهای قدرتمند نزدیکتر شده و شاهد یک نوع همگرایی خواهیم بود. حد نهایی (زمان توقف الگوریتم و یا معیار توقف) زمانی است که یک کشور قدرتمند واحد در دنیا داشته باشیم. شبه کد الگوریتم پیشنهادی در شکل شماره ۱ نشان داده شده است.

#### ۱- فرمت بندی آغازین

- ۹-۱- تنظیم پارامترها  $(PopSize, N-imp, \xi, Prct-Assimilate, Prct-Crossover, Prct-Imp-R, Prct-Col-R, P-R)$
- ۹-۲- ایجاد کشورهای اولیه (بصورت تصادفی)  $\rightarrow PopSize$
- ۱۰- ارزیابی برازندگی هر کشور
- ۱۱- تشکیل نخستین کشور قدرتمند
- ۱-۳- انتخاب قدرتمندترین کشور  $\rightarrow N-imp$
- ۲-۳- تخصیص قدرت‌های دیگر به قدرتمندترین کشور
- ۱۲- حرکت کشورهای تحت پوشش هر قدرتمند به سوی قدرتمند شدن  $\rightarrow Prct-Assimilate$  (assimilation)
- ۱۳- تقاطع بعضی کشورهای تحت پوشش هر قدرتمند  $\rightarrow Prct-Crossover$
- ۱۴- انقلاب بین کشورهای تحت پوشش و قدرتمندها  $\rightarrow Prct-Imp-R, Prct-Col-R$
- ۱۵- اگر هزینه هر کشور تحت پوشش پایین‌تر از قدرتمند آن باشد در اینصورت جابجایی مکان تحت پوشش و قدرتمند صورت می‌گیرد
- ۱۶- محاسبه قدرت کلی قدرتمندها  $\rightarrow \xi$
- ۱۷- رقابت قدرتی
- ۱-۹- انتخاب ضعیف‌ترین کشور از ضعیف‌ترین قدرتمند و تخصیص آن به یکی از قدرتمندترین‌ها
- ۱۰- حذف قدرتمند نام بدون قدرت (قدرتمندی که کشور تحت پوشش نداشته باشد)

شکل (۱): شبه کد الگوریتم پیشنهادی

### تنظیم پارامترهای الگوریتم

کیفیت یک الگوریتم به شدت به پارامترهای آن وابسته است به گونه ای که پارامترهای مختلف ممکن است جوابهای کاملا متفاوت و با کیفیتهای غیریکسان تولید کنند. در این مقاله جهت تنظیم پارامترها از روش رویه سطح پاسخ (RSM) استفاده شده است. جدول ۱<sup>۱</sup> مقادیر تنظیم شده پارامترهای الگوریتم پیشنهادی را نشان می دهد.

جدول ۱. مقادیر تنظیم شده پارامترهای الگوریتم پیشنهادی

Factors	Optimal coded value	Optimal real value
	$L$	$L$
$n-Pop$	1	300
$N-imp$	-1	8
$P_A$	0.2	0.64
$P_C$	0.5	0.6
$P_R$	0.19	0.32
$\xi$	-0.5	0.125
$\beta$	0.15	2.15

### مثال عددی

با توجه به عدم در دسترس بودن مسائل از پیش تعیین شده محک که منطبق با شرایط مدل پیشنهادی باشد، ۴۵ مثال با استفاده از مفروضات ارائه شده در جدول شماره ۲ تولید شده است. بر مبنای آن در ادامه کارایی الگوریتم پیشنهادی با دو الگوریتم تکاملی چند هدفه معروف به نامهای NSGA II (Deb, K et al. , 2002 P 182-197) و PAES (Knowels.J.D et al. , 2000) (Come,D.W et al. , 2000), (al. , 1999) مقایسه خواهد شد.

جدول ۲. اطلاعات مربوط به تولید مسائل تصادفی

پارامتر	مقدار
$C_{ij}$	$U\sim[1,10]$
$W_{ij}$	$U\sim[20,50]$
$V_{ij}$	$U\sim[50,150]$
$C_{max}$	80,300,500
$V_{max}$	160,600,1000
$W_{max}$	200,400,600
T	1h
$\lambda_{ij}$	$U\sim[0,1]$
تعداد زیرسیستم‌ها	(5,10,15,20,25,30,35,40,45,50,60,70,80,90,100)
تعداد اجزاء در هر زیرسیستم	(6,8,10)
حداکثر نوع اجزاء در دسترس	4

## شاخص‌های مقایسه

جهت مقایسه کارایی الگوریتم پیشنهادی در این مقاله از چهار شاخص معروف به نام‌های: شاخص کیفیت<sup>۱</sup> (QM)، شاخص فاصله<sup>۲</sup> (SM)، شاخص گوناگونی<sup>۳</sup> (DM) و فاصله از نقطه ایده‌آل<sup>۴</sup> (MID) استفاده شده است (Tavakokoli-Moghaddam et al. , 2011 P 733-750). برای این کار هر ۳ الگوریتم بوسیله نرم افزار MATLAB 7.9 کد شده با استفاده از یک کامپیوتر شخصی با مشخصات سخت افزاری 1.8 GHz CPU و 1 GB main memory اجرا شده اند.

1 Quality Metric

2 Spacing Metric

3 Diversity Metric

4 Mean Ideal Distance

## نتایج محاسباتی

عملکرد مدل رقابت استعماری پیشنهادی با الگوریتم‌های NSGA II و PAES در ۴۵ مسئله آزمایشی تولید شده با استفاده از شاخص‌های مقایسه‌ای مورد مقایسه قرار گرفته است. (جداول ۴ و ۵)

جدول شماره ۳: مقایسه الگوریتم‌ها از نظر شاخص‌های DM و MID در ۴۵ مسئله

شماره مسئله	شاخص فاصله از نقطه ایده آل (MID)			شاخص گوناگونی (DM)		
	NSGA-II	PAES	MOICA	NSGA-II	PAES	MOICA
P1	0.633	0.632	0.518	1.397	0.996	1.574
P2	0.704	0.597	0.581	1.102	1.067	1.414
P3	0.873	0.608	0.242	0.652	0.208	1.414
P4	0.712	0.872	0.348	0.404	1.125	0.664
P5	0.339	0.708	0.230	0.203	1.232	0.444
P6	0.776	0.696	0.523	1.323	1.270	1.087
P7	0.440	0.674	0.399	0.714	1.268	0.896
P8	0.518	0.845	0.538	0.958	1.029	1.169
P9	0.575	0.751	0.621	1.063	1.075	1.161
P10	0.601	0.437	0.247	1.295	0.436	1.381
P11	0.663	0.762	0.718	0.960	0.943	1.297
P12	0.536	0.577	0.511	1.105	0.775	1.314
P13	0.482	0.576	0.287	0.559	0.911	1.414
P14	0.697	0.731	0.632	0.566	1.012	1.279
P15	0.762	0.547	0.485	1.160	0.954	1.178
P16	0.781	0.846	0.500	1.103	0.860	1.478
P17	0.297	0.481	0.379	0.484	1.021	1.010
P18	0.479	0.646	0.276	0.733	1.267	0.947
P19	0.579	0.860	0.554	0.699	0.696	1.184
P20	0.492	0.992	0.125	0.470	0.122	1.00
P21	0.519	0.743	0.250	0.110	1.095	0.417
P22	0.959	0.806	0.365	0.362	0.249	1.043
P23	0.672	0.519	0.174	0.815	0.443	1.367
P24	0.692	0.832	0.336	1.066	0.484	0.808
P25	0.509	0.846	0.364	0.709	1.189	0.749
P26	0.643	0.563	0.257	1.203	0.445	1.041
P27	0.696	0.758	0.222	1.081	0.605	0.600
P28	0.275	0.668	0.250	0.321	1.184	0.891
P29	0.643	0.832	0.127	0.561	1.109	0.723
P30	0.518	0.737	0.220	0.604	1.246	0.820
P31	0.491	0.753	0.459	0.918	1.136	0.751
P32	0.456	0.724	0.256	0.173	1.009	1.051
P33	0.847	1.021	0.210	0.724	0.552	0.912
P34	0.832	1.349	0.243	0.231	0.649	0.656
P35	0.449	0.749	0.440	1.039	0.512	1.080
P36	0.798	0.852	0.099	1.042	0.422	1.164

0.869	1.290	0.834	0.727	0.761	0.397	<b>P37</b>
0.442	1.042	1.016	0.310	0.364	0.230	<b>P38</b>
1.174	0.255	0.367	0.673	0.606	0.147	<b>P39</b>
0.187	1.100	0.562	0.394	0.872	0.027	<b>P40</b>
1.131	0.855	0.955	0.653	0.590	0.275	<b>P41</b>
0.289	1.146	0.680	0.467	0.830	0.275	<b>P42</b>
1.047	0.232	1.191	0.590	0.207	0.340	<b>P43</b>
0.585	0.958	0.657	0.571	0.880	0.175	<b>P44</b>
1.058	0.724	0.895	0.624	0.523	0.218	<b>P45</b>

جدول شماره ۴: مقایسه الگوریتم‌ها از نظر شاخص‌های QM و SM در ۴۵ مسئله

شماره مسئله	شاخص فاصله (SM)			شاخص کیفیت (QM)		
	NSGA-II	PAES	MOICA	NSGA-II	PAES	MOICA
P1	0.827	0.625	0.741	0.235	0	0.765
P2	0.661	0.495	0.778	0.105	0	0.895
P3	0.791	0.788	0.920	0.250	0	0.750
P4	0.693	0.785	0.868	0	0	1
P5	0.571	1.092	0.634	0	0	1
P6	1.184	0.999	0.881	0	0	1
P7	0.778	1.257	0.973	0.235	0	0.765
P8	0.560	1.036	0.874	0.434	0	0.565
P9	0.733	1.031	0.924	0.347	0.217	0.434
P10	1.207	1.120	1.361	0.100	0	0.900
P11	1.001	0.878	1.287	0.272	0	0.727
P12	0.977	1.360	1.220	0.292	0	0.708
P13	0.940	0.977	1.481	0.190	0	0.809
P14	0.651	1.084	1.116	0.167	0.083	0.750
P15	1.059	1.322	0.810	0.059	0.294	0.647
P16	0.942	0.965	0.978	0	0	1
P17	0.670	0.916	0.980	0	0	1
P18	0.986	1.478	1.041	0.118	0	0.882
P19	0.586	0.911	0.642	0	0	1
P20	0.672	0.501	0.905	0	0	1
P21	0.517	1.299	0.811	0	0	1
P22	0.586	0.593	0.878	0	0	1
P23	0.737	0.402	0.752	0	0	1
P24	0.826	0.514	0.953	0.200	0	0.800
P25	0.495	1.032	0.427	0	0	1
P26	1.230	0.559	0.893	0	0.076	0.924
P27	0.994	0.789	0.806	0	0	1
P28	0.726	1.119	0.850	0	0	1
P29	0.632	0.904	0.608	0	0	1
P30	1.019	1.069	1.071	0	0	1
P31	0.721	1.024	0.721	0.352	0	0.647
P32	0.491	1.151	0.993	0.273	0	0.727
P33	1.039	0.550	0.673	0	0	1
P34	0.468	1.231	0.653	0	0	1

0.5	0	0.5	1.037	0.509	1.364	P35
0	0	1	0.013	0.199	1.177	P36
0	0.250	0.750	0.499	0.298	0.568	P37
0.333	0.0833	0.583	0.659	0.823	1.044	P38
0	0	1	1.704	0.285	0.547	P39
0	0	1	0.892	1.487	0.454	P40
0	0	1	1.035	0.841	0.963	P41
0	0	1	0.7051	1.000	0.580	P42
0	0	1	1.069	0.062	0.711	P43
0	0	1	0.633	0.968	0.392	P44
0	0	1	1.240	0.357	1.028	P45

با توجه به جداول ۳ و ۴ و نیز نتایج بدست آمده از آزمون t می‌توان یافت که الگوریتم پیشنهادی در سطح معنی داری ۰,۰۲ نسبت به دو الگوریتم دیگر از عملکرد بالاتری برخوردار بوده است.

### نتیجه‌گیری

در طراحی کاربردی سیستم‌ها، بهینه‌سازی قابلیت اطمینان به علت وجود اهداف متناقض مسئله پیچیده‌ای می‌باشد. در راستای این موضوع روشی برای مسئله تخصیص اجزا مازاد ارائه شده که به میزان زیادی نزدیک به دنیای واقعی است. این روش که الگوریتم رقابتی چند هدفه ترکیبی (HMOCA) نام گذاری شده است بر پایه الگوریتم رقابتی و الگوریتم ژنتیک می‌باشد که برای اولین بار در مسائل تخصیص مازاد چندهدفه ارائه شده است. مقایسه جواب‌های حاصل از مثال‌های اجرا شده توسط این الگوریتم در مقایسه با الگوریتم‌های PAES و NSGA II نشان دهنده این است که مدل ارائه شده نسبت به دو الگوریتم مذکور از کارایی بالاتری برخوردار می‌باشد. برای تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود که محدودیت‌هایی مانند استفاده بیش از یک نوع از اجزاء در هر زیر سیستم و نیز استفاده از تئوری فازی برای مشخص کردن مقادیر وزن، هزینه و حجم اجزاء در مدل مورد توجه قرار گیرد.

## منابع:

C.L. Hwang, F.A. Tillman, W.K. Wei and C.H. Lie. Optimal schedule maintenance policy based on multiple-criteria decision-making. IEEE transaction on reliability, Vol. R-28, No 5, 1979; 394-397.

M. Sakawa. Multi-objective optimization by the surrogate worth trade-off method. IEEE Transaction on reliability, Vol. 27, No 5, 1978; 311-314.

T. Inagaki, K. Inoue and H. Akashi. Interactive optimization of system reliability under multiple objectives. IEEE Transaction on reliability, Vol.R-27, NO 4 1978;264-267.

M.Sakawa. Multi-objective reliability and redundancy optimization of a seies-parallel system by the surrogate worth trade-off method. Microelectronic and Reliability, Vol.17,No 4, 1978;465-467.

Y.Nakagawa. Studies on optimal design of high reliability system single and multiple objective nonlinear integer programming. Ph.D.thesis Kyoto university. 1978.

M.Sakawa. Optimal reliability-design of a series-parallel system by a large-scale multi-objective optimization method. IEEE Transaction on Reliability, Vol.R-30 1981; 173-174.

M.Sakawa. Interactive multi-objective optimization by Sequential Proxy Optimization Technique (SPOT). IEEE Transaction on Reliability, Vol.R-31, 1982;461-464.

K.B.Misra and U.Sharma. An efficient approach for multiple criteria redundancy optimization problems. Microelectronic and Reliability, Vol.31,No 2-3, 1991; 285-294.

K.B.Misra and U.Sharma. Multi-criteria optimization for combined reliability and redundancy allocation in systems employing mixed redundancies. Microelectronic and Reliability, Vol.31, 1991;323-335.

A. K. Dhingra. Optimal apportionment of reliability and redundancy in series systems under multiple objectives. IEEE Transaction on Reliability, Vol.41,No 4, 1992;576-582.

M.Sasaki, M.Gen and M.Ida. A method for solving reliability optimization problem by fuzzy multi-objective 0-1 linear programming.



Electronics and Communications in Japan Part II: Fundamental Electronic Science 1992; 106-116.

G.S.Mahaparta, T.K.Roy. Fuzzy multi-objective mathematical programming on reliability optimization model. Applied Mathematics and Computing, Vol. 174, No 1, 2006;643-659

Daniel Salazar, Claudio M.Rocco, Blas j.Galvan. Optimization of constrained multiple-objective reliability problems using evolutionary algorithms. Reliability engineering and system safety, Vol.91, No 9, 2006;1057-1070.

Zhigang tian, Ming j zuo. Redundancy allocation for multi-state systems using physical programming and genetic algorithms. Reliability engineering and system safety, Vol.91, No 9, 2006;1049-1056.

David.W.Coit and Abdullah konak. Multiple weighted objectives heuristic for the redundancy allocation problem. IEEE transaction on reliability, Vol.55, No 3, 2006;551-558

Jian-jua zhao, Zhaoheng liu, My-thein dao. Reliability optimization using multi-objective ant colony system approaches. Reliability engineering and system safety, Vol.92, No 1, 2007;109-120.

Tavakkoli-Moghaddam, R., Safari J. and Sassani, F., Reliability optimization of series-parallel systems with a choice of redundancy strategies using a genetic algorithm, Reliability Engineering and System Safety, Vol. 93, No 4, 2008; 550-556.

Sadjadi, S.J and Soltani, R. An efficient heuristic versus a robust hybrid meta-heuristic for general framework of serial-parallel redundancy problem. Reliability engineering and system safety, Vol.94, No 11, 2009;1703-1710.

Amir azaron, Cahit perkgoz, Hideki Katagiri, Kouske Kato, Masatoshi Sakawa. Multi-objective reliability optimization for dissimilar-unitcold-standby system using a genetic algorithm. Computers & operation research Vol.36, No 5, 2009;1562-1571.

Zai Wang, Tianshi Chen. Ke Tang, Xin Yao. A multi-objective Approach to redundancy allocation problem in parallel-series systems. IEEE transaction 2009;582-589.

Zhaojun Li, Haitao Liao, David W. Coit. A two-stage approach for solving multi-objective decision making with applications to system reliability optimization. *Reliability engineering and system safety* Vol.94, No 10, 2009;1585-1592.

Yun-chia liang and Min-Hua Lo. Multi-objective redundancy allocation optimization using a variable neighborhood search algorithm. *J heuristic* Vol.16, No 3, 2010;511-535.

E.Zio and R.Bazzo. Level diagrams analysis of Pareto front for multi-objective system redundancy allocation. *Reliability engineering and system safety*, Vol.96, No 5, 2011;569-580.

Banu soylu, selda kapan ulusoy. A preference ordered classification for a multi-objective max-min redundancy allocation problem. *Computers & Operation Research* Vol.38, No 12, 2011; 1855-1866.

Isis Didier lins and Enrique Lopez Droguett. Redundancy allocation problems considering systems with imperfect repairs using multi-objective genetic algorithms and discrete event simulation. *Simulation modeling practice and theory*, Vol.19, No 1, 2011;362-381.

Laxminarayan Sahoo, Asoke Kumar Bhunia, Parmad Kumar Kapur. Genetic algorithm based multi-objective reliability optimization in interval environment. *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 62, No 1, 2012;152° 160.

Sajadi, S.J and Soltani, R. Alternative design redundancy allocation using an efficient heuristic and a honey bee mating algorithm. *Expert Systems with Applications*, Vol. 39, No 1, 2012;990-999.

Chambari, A., Rahmati, S.H., Najafi, A.A and Karimi, A., A bi-objective model to optimize reliability and cost of system with a choice of redundancy strategies, *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 63, No 1, 2012; 109-119

Safaei, N., Tavakkoli-Moghaddam, R. and Corey Kiassat., Annealing-based particle swarm optimization to solve the redundant reliability, *Applied Soft Computing*. Vol. 12, No 11, 2012; 3462-3471.

Chern MS. On the computational complexity of reliability redundancy allocation in a series system. *Oper Res Lett* Vol.11, No 5, 1992; 309° 315.

E. Atashpas-Gargari, C. Lucas, Colonial competitive algorithm. *E Congress on Evolutionary Computation*, 2007. 4661- 4667.

Deb, K., Pratap, A., Agrawal, S., and Meyarivan, T. A fast and elitist multi-objective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE Transaction on Evolutionary Computation*, Vol.6, No 2, 2002- 182-197.

Knowles, J.D., and Corne, D.W. (1999). The Pareto archived evolution strategy: A new baseline algorithm for Pareto multi-objective optimization. In *congress on Evolutionary Computation (CEC99)*, Volume 1, Piscataway, NJ, 98-105. IEEE Press.

Corne, D.W., Knowles, J.D., and Oates, M.J. (2000). *The Pareto envelope-based selection algorithm for multi objective optimization*. In : *M.S. et al. (Ed.)*, Parallel problem solving from Nature-PPSN VI, Berlin, 839-848. Springer.

Tavakkoli-Moghaddam, R., Azarkish, M. and Sadeghnejad A., Solving a multi-objective job shop scheduling problem with sequence-dependent setup times by a Pareto archive PSO combined with genetic operators and VNS, *Int. J. of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 53, No 5-8, 2011; 733° 750,.