

## ارائه یک فرا-معماری سامانه‌ای از سامانه‌ها مبتنی بر ارزیابی فازی

هادی صالحی<sup>۱</sup>، محمدهادی علائیان<sup>۲\*</sup>

۱- گروه مهندسی کامپیوتر، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری ۲- دانشکده مهندسی کامپیوتر دانشگاه علم و صنعت ایران  
(دریافت: ۹۵/۰۷/۰۵، پذیرش: ۹۶/۰۳/۰۶)

### چکیده

این مقاله ارائه‌دهنده یک مدل بهینه از معماری سامانه‌ای از سامانه‌ها (SOS) برای یک امداد و نجات دریایی است. سامانه‌ای از سامانه‌ها یک ساختار با ترکیب سامانه‌های مختلف است. همچنین، هر یک از سامانه‌ها دارای عملکرد و محدودیت‌های مستقل می‌باشند که با یکدیگر همکاری می‌کنند. مفهوم فرا معماری به معنی تولید معماری‌هایی است که هر یک بالقوه معماری مناسب برای سامانه مورد نظر است. فرا معماری بیان می‌کند که چگونه تمام زیرمجموعه‌های احتمالی سامانه می‌تواند در ترکیب برای ایجاد یک SOS باهم همکاری کنند. ماهیت همکاری سامانه‌ها به شکلی است که عملکرد خروجی آن‌ها از جمع عملکرد سامانه‌های منفرد مناسب‌تر است. از آنجایی که مؤلفه‌های سامانه، به‌طور مثال بودجه با توجه به شرایط تغییر می‌کند، نمی‌توان یک عدد مشخصی را به‌عنوان بودجه مطلوب در نظر گرفت. بنابراین، ارزیابی معماری‌های SOS به‌صورت فازی انجام می‌شود. هر یک از معماری‌ها توسط سامانه استنتاج فازی ارزیابی می‌شود و معماری ضعیف‌تر حذف می‌شود. در انتها، یک معماری به‌عنوان مناسب‌ترین معماری برای سامانه مورد نظر انتخاب می‌شود.

### کلیدواژه‌ها: سامانه‌ای از سامانه‌ها، امداد و نجات، الگوریتم ژنتیک.

### ۱. مقدمه

سامانه‌ای از سامانه‌ها مجموعه بزرگی از زیرسامانه‌ها و ارتباط‌های بین آن‌هاست. اگر این ساختار دارای رفتار پویای نوظهور باشد که از یک سامانه منفرد قابل بروز نباشد یک سامانه پیچیده نامیده می‌شود [۱]. یک سامانه پیچیده ویژگی‌هایی از خود بروز می‌دهد که در سامانه منفرد مشاهده نمی‌شود، به این ویژگی‌ها خواص نوظهور<sup>۱</sup> گویند [۲].

از سویی دیگر مهندسی سامانه‌ای از سامانه‌ها یک ساختار نظام‌مند در مهندسی است که تلاش دارد تا یک روشی اصولی برای سامانه‌ای از سامانه‌ها شکل دهد. اولین مسئله‌ای که باید در سامانه با مقیاس بزرگ مشخص شود این است که آیا این سامانه، سامانه‌ای از سامانه‌ها است یا خیر. مایر، در مقاله [۳]، پارامترها و شرایط لازم برای اینکه یک سامانه، SOS باشد را شرح می‌دهد. یکی از انواع بسیار مهم SOS نوع SOS تصدیقی<sup>۲</sup> است. این نوع SOS دارای اهداف مشخص و دارای یک هماهنگ‌کننده با اختیارات و منابع محدود است. SOS تصدیقی، صفات زیادی را هم از SOS همکار<sup>۳</sup> و هم از SOS مستقیم به اشتراک می‌گیرد.

به‌طور کلی SOS دارای چهار خاصیت اصلی زیر هست:

- هر یک از سامانه‌ها عملکرد و محدودیت‌های خاص خود را دارد که از پیش تعریف شده است.
- از مدل موج برای خلاصه‌سازی رفتار سامانه استفاده می‌شود. در ابتدا رفتار سامانه به شکل عناصر طناب بندی شده نمایش داده می‌شد که قادر به نمایش حالت پویای سامانه نبود. سپس با نمایش حالت موج برای نمایش حالت پویای سامانه استفاده شد.
- SOS اهداف خود را توسط ترکیب سامانه‌های موجود و اضافه کردن قابلیت‌های جزئی جدید به وجود می‌آورد.
- هر چرخه در مدل موج با (پیشنهاد - موافقت - مذاکره) ایجاد می‌شود.

برای یک ساختار با N سامانه، مدیر SOS از تعدادی از سامانه‌ها برای شرکت در SOS دعوت می‌کند. همچنین مدیر قادر به ارائه پیشنهادها مالی یا... به هر سامانه هست. هر سامانه می‌تواند با پذیرفتن پیشنهادها به سامانه SOS اضافه شود و در قبال آن، عملکرد مورد تقاضای SOS را انجام می‌دهد. همچنین با تغییر شرکت‌کننده‌ها (تغییر معماری) می‌توان به قابلیت جدیدی

\* رایانامه نویسنده مسئول: hadi\_alaeiyan@comp.iust.ac.ir

1- Emergent  
2- Acknowledged  
3- Collaborative



شکل (۲): ساختار سه نوع سامانه SOS با خصوصیت‌ها، هزینه‌ها و ترکیب سامانه‌های مختلف.

با توجه به پیچیدگی و وسعت سامانه‌های جدید، استفاده از SOS جایگاه ویژه‌ای در میان معماران سامانه‌های مهندسی شده پیدا کرده است. از روش‌هایی که در این زمینه استفاده شده‌اند، شامل روش مدل‌سازی جامع که ترکیبی از توانایی‌های پردازش اشیاء و پتری رنگی<sup>۱</sup> است [۵]. همچنین، لویس پایب<sup>۲</sup> و همکارانش برای تولید معماری‌های بالقوه و ارزیابی معماری‌ها، از الگوریتم‌های ژنتیک و مجموعه‌های فازی به‌طور گسترده استفاده کرده‌اند [۶]. لویس پایب و همکارانش با استفاده از سامانه SOS مدل‌هایی از همکاری سامانه‌ها را شبیه‌سازی نموده‌اند. آنها ادعا نموده‌اند اگر امریکا در جنگ خلیج فارس از چنین معماری‌هایی برای همکاری سامانه‌های نظامی خود استفاده می‌کرد، نقص‌های به وجود آمده در ره‌گیری موشک‌های عراق رخ نمی‌داد [۶-۱].

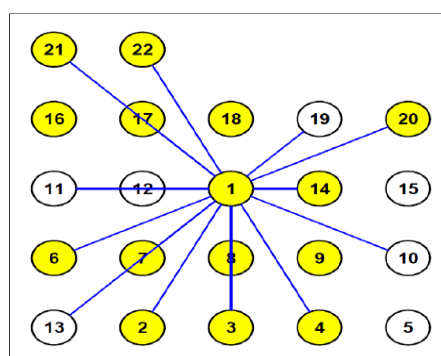
در این مقاله، ابتدا تعدادی از سامانه‌های موجود، توسط الگوریتم ژنتیک به‌عنوان معماری‌های اولیه به‌منظور امداد و نجات دریایی انتخاب می‌شوند. با توجه به استقلال سامانه‌ها ممکن است شرکت سامانه‌های مختلف در SOS صورت نگیرند. شبیه‌سازی شرکت یا عدم شرکت سامانه‌ها توسط الگوریتم مونت کارلو صورت می‌گیرد. سامانه استنتاج فازی با توجه به تعدادی از خصوصیات یک سامانه مطلوب، معماری را مورد ارزیابی قرار می‌دهد [۶-۱]. خصوصیت‌های مورد ارزیابی عبارت‌اند از کارایی، توان مالی، پایداری، پیمان‌های بودن و شبکه-مداری. معماری‌هایی که مقدار تابع هزینه بالایی داشته باشند در نسل‌های بعدی معماری شرکت داده نمی‌شوند. بعد از چند نسل از الگوریتم ژنتیک، معماری‌های مناسب‌تر تولید و ارزیابی می‌شوند. در انتها، معماری با مناسب‌ترین ساختار SOS ایجاد و ارزیابی می‌شود. در ادامه این مقاله در بخش دوم و سوم به ارائه الگوریتم‌های ژنتیک و روش پیشنهادی ارائه می‌شود. سپس، در بخش چهارم به شبیه‌سازی روش پیشنهادی می‌پردازیم. در انتها در بخش پنجم و ششم با نتیجه‌گیری و منابع، مقاله را به انتها می‌رسانیم.

دست‌یافت که می‌تواند بالقوه سامانه مطلوب باشد. شکل (۱) مراحل انجام این کار را نشان می‌دهد. [۲]

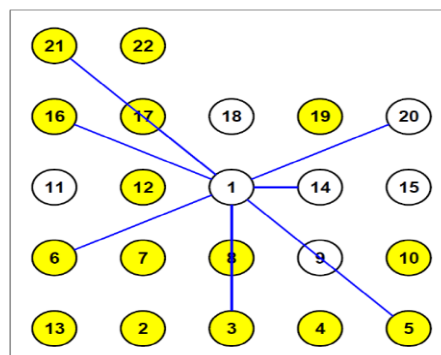


شکل (۱): چگونگی دعوت به همکاری در SOS

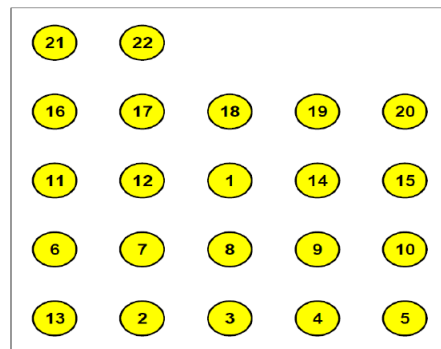
شکل (۲) و شکل (۳) نمونه‌ای از شرکت سامانه‌ها را در یک SOS نشان می‌دهند.



الف



ب



ج

شکل (۲): الف: SOS با ارتباط بالا ب: SOS با ارتباط متوسط ج: SOS بدون ارتباط.

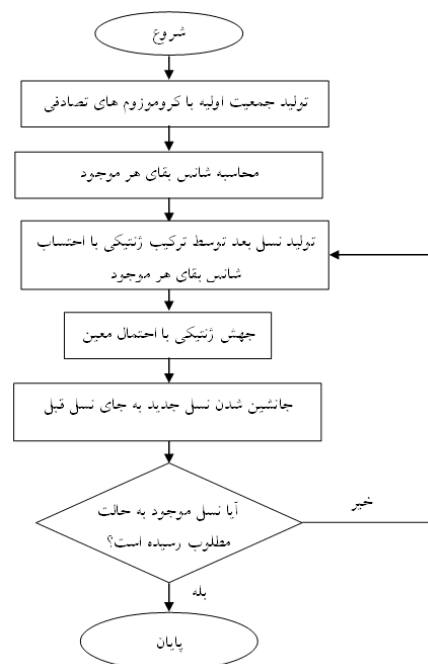
## ۲- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک به منظور تولید معماری‌های بالقوه کاربرد دارد. مشارکت یا عدم مشارکت سامانه‌ها می‌تواند توسط بعضی از الگوریتم‌ها مدل شود. الگوریتم ژنتیک یکی از این الگوریتم‌ها است که می‌تواند این مشارکت یا عدم مشارکت را به شکل مناسبی پیاده‌سازی کند. الگوریتم ژنتیک در سال ۱۹۷۰ در ایالات متحده توسعه پیدا کرد و به‌طور معمول برای بهینه‌سازی گسسته مورد استفاده قرار می‌گیرد. از ویژگی‌های این الگوریتم می‌توان به کند و سلسله مراتبی بودن آن اشاره کرد. در سامانه‌هایی که نیاز به نوعی خلاقیت و هوش باشد عملکرد مناسبی دارد. عملکرد الگوریتم ژنتیک به شکلی است که با ترکیب و جهش ژنتیکی والدین نسل جدیدی تولید می‌شود. همچنین الگوریتم GA از تعدادی پارامتر که در زیر نمایش داده شده برای تولید نسل جدید استفاده می‌کند. [۷-۸]

پارامترهای GA شامل:

### GA(Fitness, Fitness\_threshold, p, r, m)

- Fitness: تابع ارزیاب
  - Fitness\_threshold : آستانه توقف تولید نسل
  - P : تعداد فرضیات
  - r : نرخ ترکیب
  - m : نرخ جهش
- شکل (۴) دیاگرام عملکرد الگوریتم ژنتیک را به شکل مختصر نشان می‌دهد.



شکل (۴): دیاگرام تولید نسل GA

## ۳- روش پیشنهادی

روش پیشنهادی ایجاد سامانه‌ای با قابلیت تولید مناسب یک معماری با خصوصیت‌های مورد نیاز است. به این منظور از روش‌های بهینه‌سازی هوش تکاملی استفاده شده است. گام‌های مورد نیاز برای دستیابی به مناسب‌ترین معماری به شرح زیر است.

### ۳-۱- مشخصات سامانه

همان‌طور که در مقدمه ذکر شد، هدف از مدل‌سازی‌ها در این مقاله یافتن مناسب‌ترین معماری به منظور ایجاد یک سامانه SOS برای امداد و نجات تعدادی از افراد در حال غرق شدن در دریا است. تعدادی از متغیرهای اولیه این مأموریت در زیر ذکر شده است.

هدف از SOS: بهینه‌سازی عملکرد یک پاسگان ساحلی جستجو با قابلیت نجات جان مسافران یک کشتی در حال غرق شدن در دریای خزر انتخاب شده است.

ذی‌نفعان: پاسگان ساحلی یا ارتش دارای سامانه‌های متعدد با قابلیت‌های متفاوت ( هوپایما، بالگرد، سامانه‌های ارتباطی و مراکز کنترل که با چندین ایستگاه در منطقه در دسترس هستند). علاوه بر این، کشتی‌های ماهیگیری، صنایع غیرنظامی و کشتی‌های تجاری برای ارائه کمک هنگامی که یک فاجعه اتفاق می‌افتد. مرکز هماهنگی و فرمان کنترل هدایت ترکیبی از کشتی‌های سرنشین دار و پهپادها. سامانه‌های ارتباطی هماهنگی سنجش و قابلیت‌های نجات.

بودجه: حدود ۱۰۰ میلیارد تومان.

ویژگی‌های کلیدی عملکرد

۱. کارایی
۲. توان مالی
۳. پایداری
۴. پیمان‌های بودن
۵. شبکه‌مداری

تعدادی از سامانه‌هایی که به‌طور بالقوه شرکت دارند:  $N = 29$ .

مأموریت امداد و ردیابی شامل ۲۹ سامانه که هر یک قابلیت متفاوتی دارند.

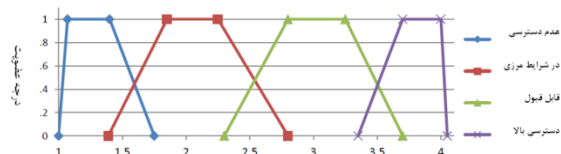
### ۳-۲- تولید معماری‌ها

جمعیت اولیه یا فرضیات الگوریتم ژنتیک مجموعه محدودی از معماری‌های SOS می‌باشند. تولید معماری‌های مختلف توسط

## • شبکه-مداری

این صفت‌ها تا حدودی بر هم تأثیر دارند و نمی‌توان یک مقدار دقیق برای یک صفت با توجه به متغیر بودن صفت‌ها در شرایط مختلف و وابستگی صفت‌ها مشخص نمود. بنابراین ارزیابی صفت‌ها به شکل فازی صورت می‌گیرد.

هر یک از صفت دارای درجه‌بندی‌هایی از غیرقابل قبول<sup>۶</sup>، قابل قبول<sup>۷</sup>، خوب<sup>۸</sup> و عالی<sup>۹</sup> می‌باشند. تعیین مرز دقیقی بین این درجه‌بندی‌ها کار دشواری است، بنابراین این درجه‌بندی‌ها دارای ساختار فازی هستند [۱۰ و ۱۱]. شکل (۵) ساختار فازی این درجه‌بندی را به نمایش می‌گذارد.



شکل (۵): ساختار فازی درجه‌بندی.

همان‌طور که در شکل ۵ مشخص است. مقادیر بین ۲،۳ و ۲،۸ به شکل فازی مشخص شده‌اند. برای هر یک از صفت‌ها درجه‌بندی خاص آن لحاظ می‌شود. درجه‌بندی با توجه به فرمول مورد استفاده برای آن صفت در نظر گرفته شده است. فرمول مورد استفاده برای درجه‌بندی هر یک از صفات به شکل زیر است.

کارایی: کارایی معمار به‌عنوان مجموع تعداد مردم نجات‌یافته از دریا است.

شبکه-مداری: شبکه مداری خاصیت آهنگ مربوط به توانایی در دسترس بودن برای به اشتراک گذاشتن اطلاعات است. مرکز-هایی که به این شکل عمل کنند، شبکه محور نامیده می‌شوند. (معادله ۱ و ۲)

$$\text{interoperability} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n A_{ii} * A_{jj} * A_{ij} \quad (1)$$

ماتریس توسط A با تبدیل رشته‌ای از بیت به یک ماتریس مجاورت محاسبه می‌شود و  $A_{ij}$  و  $A_{ji}$  مقادیر دودویی برای حضور سامانه‌ها (۱) و عدم وجود (۰) در معماری مشخص می‌شود. همچنین،  $A_{ij}$  مشخص می‌کند آیا بین i و j ارتباطی وجود دارد یا خیر. اگر هر یک از دو سامانه وجود نداشته باشند، حاصل این معادله صفر می‌شود. همان‌طور در شکل (۶) مشخص است، نه سامانه باهم همکاری دارند، بعد از ستون نهم در موقعیت ستون ده تا نوزده مشخص‌کننده ارتباط سامانه اول با دیگر سامانه‌ها است. همچنین از موقعیت ستون بیست تا نه ستون بعد ارتباط

الگوریتم ژنتیک صورت می‌گیرد. برای تعیین مناسب‌ترین SOS باید این فرضیات و معماری‌ها مورد ارزیابی قرار بگیرند. ارزیابی معماری‌ها با توجه به ویژگی‌های کلیدی عملکرد توسط سامانه استنتاج فازی صورت می‌گیرد. هرچه مقدار تابع تناسب در ارزیابی فازی بیشتر باشد عملکرد مناسب‌تری دارد. در ادامه، معماری‌های ضعیف‌تر حذف می‌شوند و معماری‌های مناسب‌تر به کمک ترکیب و جهش نسل جدیدی را شکل می‌دهند ارزیابی معماری‌ها در بخش ارزیابی معماری شرح داده شده است.

### ۳-۳- شبیه‌سازی استقلال سامانه‌ها

بعد از ایجاد معماری توسط الگوریتم ژنتیک، خودمختاری سامانه‌هایی که توسط الگوریتم ژنتیک دعوت به همکاری شده‌اند شبیه‌سازی می‌شود. مجموعه‌ای از سامانه‌های شرکت‌کننده یا عدم شرکت کردن سامانه می‌تواند توسط ۱ برای سامانه شرکت‌کننده و یا صفر برای شرکت نکردن سامانه مدل شود. برای مدل‌سازی این نوع سامانه، با احتمال شرکت کردن یک سامانه در SOS احتمال P که  $(0 < p < 1)$  نسبت داده می‌شود.

در ادامه برای شبیه‌سازی سامانه با کمک الگوریتم مونت کارلو و انتخاب عددی تصادفی بین صفر و یک می‌توان حضور یا عدم حضور سامانه را شبیه‌سازی نمود. وجود رابطه بین سامانه‌های مختلف توسط اعمال یک و عدم وجود چنین رابطه‌ای توسط صفر مشخص می‌شود. در اینجا نیز به احتمال وجود رابطه بین دو سامانه در SOS احتمال q که  $(0 < q < 1)$  نسبت داده می‌شود. در کنار هم قرار گرفتن این مجموعه صفر و یک‌ها، یک کروموزوم را شکل می‌دهد. اگر تمامی سامانه‌ها شرکت کنند حداکثر  $n(n-1)/2$  ارتباط در SOS خواهیم داشت. همچنین اگر pn سامانه در SOS شرکت کنند و تمایل ایجاد برقراری ارتباط بین سامانه‌ها q باشد؛ تعداد  $p^2qn(n-1)/2$  تعداد ارتباط‌های مورد انتظار می‌شود.

### ۳-۴- ارزیابی معماری

با توجه به شکل (۳)، تابع تناسب<sup>۱</sup> در الگوریتم ژنتیک برای ارزیابی SOS ها کاربرد دارد. این ارزیابی نسبت به صفت‌های زیر صورت می‌گیرد:

- بودجه<sup>۲</sup>
- کارایی<sup>۳</sup>
- انعطاف<sup>۴</sup>
- پایداری<sup>۵</sup>
- پیمانه‌ای بودن

- 1- Fitness
- 2- Affordability
- 3- Performance
- 4- Flexibility
- 5- Robustness

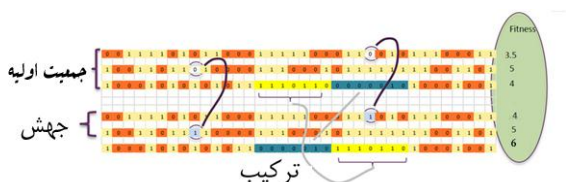
- 6- unacceptable
- 7- marginal
- 8- acceptable
- 9- exceeds

### ۳-۵- تولید نسل جدید

بعد از ارزیابی SOS ها به سه طریق نسل جدید ایجاد می‌شود.

۱. بهترین‌های نسل حاضر بدون تغییر وارد نسل جدید می‌شود
۲. تعدادی از کروموزوم‌های SOS در نسل حاضر باهم ترکیب شده و بخشی از نسل جدید را می‌سازند.
۳. تعدادی از کروموزوم‌های نسل جدید با جهش ژنتیکی وارد نسل بعد می‌شوند.

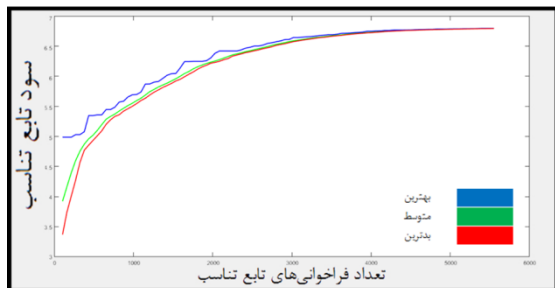
همچنین SOS ها با کمترین میزان تابع تناسب از نسل حاضر حذف می‌شوند. شکل (۸) روند تولید نسل جدید را نشان می‌دهد.



شکل (۸): روند تولید نسل جدید.

### ۴- شبیه‌سازی

برای به دست آوردن یک معماری مناسب، از ۱۰۰ نسل معماری‌ها و در هر نسل از پنجاه تکرار از معماری‌های مختلف برای به دست آوردن مناسب‌ترین ترکیب سامانه‌ای استفاده شده است. افزایش نسل به ۳۰۰ هم تأثیری بر حداکثر کیفیت معماری ندارد. از این‌رو، معقول است همان کیفیت معماری در زمان شبیه‌سازی کمتر ثبت شود. نتایج ارائه شده در شکل (۹) ارزش تابع تناسب معماری را در سه حالت بیشترین، میانگین و بدترین تابع تناسب برای هر نسل، و این عملیات را در ۱۰۰ نسل با استفاده از الگوریتم ژنتیک نشان می‌دهد. بهترین مقدار تابع تناسب برای یک معماری ۶,۸ است که سامانه‌های تشکیل دهنده آن در جدول (۱) ذکر شده است. همچنین ارتباط‌های بین سامانه‌ها در این معماری در شکل (۱۰) مشخص شده است.



شکل (۱۰): نتایج ارائه شده توسط الگوریتم ژنتیک

سامانه دوم با دیگر سامانه‌ها را مشخص می‌کند و ...

S	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1
4	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

شکل (۶): مجموعه‌ای از ۹ سامانه و ارتباط بین سامانه‌ها.

توان مالی: بستگی به مجموع هزینه‌های عملیاتی (معادله ۲) و تعداد قابلیت‌هایی که برخوردار است. علاوه بر این، تعداد روابط (معادله ۳) سامانه با دیگر سامانه‌ها.

$$\text{Operation cost} = \sum_{s=1}^N Oc^{Ss} * \sum_{i=1}^M c_i^{Ss} \quad (2)$$

$$\text{Interfasrs cost} = \sum_{s=1}^N Ic^{Ss} * \sum_{k=1}^N k \neq s I_i^{SSk} \quad (3)$$

$$S_s: s \in \{1, 2, \dots, N\}.$$

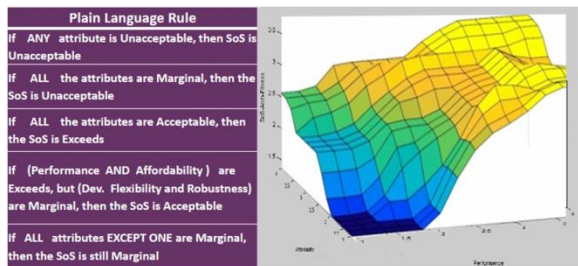
$$C_i: i \in \{1, 2, \dots, N\}.$$

$$I_i^{SSk}: s \in \{1, 2, \dots, N\} \& k \in \{1, 2, \dots, N\}; s.t. s \neq k$$

به طوری که  $S_s$  نشان دهنده سامانه‌هایی است که در SOS شرکت دارند. همچنین،  $C_i$  قابلیت‌هایی است که از یک سامانه به منظور امداد نجات استفاده می‌شود.  $I_i^{SSk}$  نیز نشان دهنده ارتباط  $S_s$  با  $S_k$  است.

پیمانه‌ای: ساختار شبکه‌ها و گراف را اندازه‌گیری می‌کند. پیمانه‌ای عبارت است از، حداکثر تعداد قابلیت تفکیک ممکن در یک شبکه و الگوریتم نیومن<sup>۱</sup> برای به دست آوردن آن [۹] استفاده شده است.

ارزیابی SOS نسبت به این صفات، توسط قوانین خاصی که در تابع فازی مشخص می‌شود صورت می‌گیرد. در نهایت خروجی فازی در این مقاله ملاک ارزیابی ما برای مناسب بودن SOS است. شکل (۷) این قوانین و خروجی سه‌بعدی این صفات را نمایش می‌دهد.

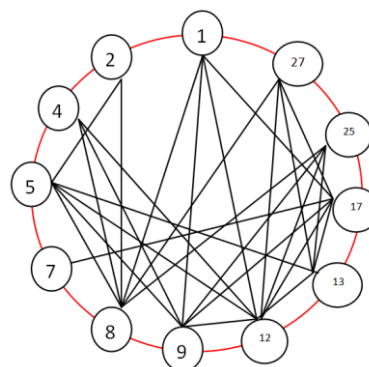


شکل (۷): مجموعه قوانین ارزیابی فازی

باعث افزایش میزان آمادگی پیش از وقوع رخداد غیرمترقبه شوند.

## ۶- مراجع

- [1] Louis Pape, et al, (2013), "A Fuzzy Evaluation method for System of Systems Meta-architectures", CSER 2013: 245-254.
- [2] S. Agarwal et al. (2015) "Executable Architectures using Cuckoo Search Optimization coupled with OPM and CPN-A module: A new Meta-Architecture Model for FILA-SoS", Springer International Publishing, P 175-192.
- [3] Maier, M. W. (1998), "Architecting principles for systems-of-systems", Systems Engineering, 1(4), 267-284
- [4] J. Dahmann, et al, (2011) "An Implementers' View of Systems Engineering for Systems of Systems" Proceedings of IEEE International Systems Conference 2011, April 4-7, , Montreal, Quebec, Canada.
- [5] Wang, R., & Dagli, C. H. (2011). Executable system architecting using systems modeling language in conjunction with colored Petri nets in a model-driven systems development process. Systems Engineering, 14(4), 383-409.
- [6] Louis Pape, Siddhartha Agarwal, Kristin Giammarco, Cihan Dagli, Fuzzy Optimization of Acknowledged System of Systems Meta-architectures for Agent based Modeling of Development, Procedia Computer Science, Volume 28, 2014, Pages 404-411, ISSN 1877-0509.
- [7] S. F. Galán, et al. (2013) "A novel mating approach for genetic algorithms," Evolutionary Computation, vol. 21, no. 2, pp. 197-229.
- [8] S. Li, H. Chen, and Z. Tang, (2011) "Study of Pseudo-Parallel genetic algorithm with ant colony optimization to solve the TSP," IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, vol. 11, no. 3.
- [9] Newman, M. E. (2006). Modularity and community structure in networks. Proceedings of the National Academy of Sciences, 103(23), 8577-8582.
- [10] R. ghaffarpour, A. A. pourmousa, A. ranjbar. Presenting an Index for Evaluation of Power Network Security Using Fuzzy Set Theory . 3; 7 (4) pp. 289-304. 2016. (In Persian)



شکل (۸): ارتباط‌های بین سامانه‌های معماری پیشنهادی

جدول (۱): ارتباط بین سامانه‌های پیشنهادی توسط الگوریتم ژنتیک

نوع سامانه	سامانه پیشنهادی الگوریتم ژنتیک
قابل تند رو	سامانه ۱
بالگرد	سامانه ۲
هواپیما	سامانه ۴ و ۵
پهباد	سامانه ۷، ۸، ۹، ۱۲ و ۱۳
کشتی ماهی گیری	سامانه ۱۷
مرکز کنترل	سامانه ۲۵
ارتباطات	سامانه ۲۷

## ۵- نتیجه گیری

این مقاله، یک روش یافتن مناسب‌ترین معماری برای یک مسئله جستجو و نجات است. مجموعه‌ای از معماری‌ها با یک تابع تناسب به دست آمده‌اند. معماری نهایی تولیدشده دارای قابلیت بالای نجات افراد با کمترین هزینه قابل پیش‌بینی هست. روش‌های اکتشافی تصادفی می‌تواند در فرایند سامانه معماری با ارائه سامانه‌های معمارانه با مجموعه‌ای از طرح‌های امکان‌پذیر که می‌توان به یک معماری مطلوب نزدیک باشد کمک کند. این سامانه‌ها می‌توانند با پیش‌بینی شرایط واقعی پیش از رخداد آن‌ها، باعث کاهش اتلاف هزینه و افزایش کارایی باشند. همچنین