

## عنوان کلی پروژه‌ها: سناریوهای خودتطبیقی در مطالعه موردی NASA ANTS

**شرح مطالعه موردی:** اخیراً با توجه به اینکه اطلاعات مورد نیاز درباره فضا بیشتر از آن چیزی است که در توان یک سفینه منفرد باشد، سازمان ناسا کلاس جدیدی از مأموریت‌ها را بنا نهاده است. این دسته مأموریت‌ها بر مبنای مکانیزم تعامل در کندوها بنا شده‌اند. این مأموریت‌ها از قطعات مکانیکی بسیار کوچکی تشکیل شده‌اند که برای یافتن سیارات جدید سازمان می‌یابند. این عامل‌های کوچک باید مدت زیادی را به صورت مستقل در قالب تیم و یا به تنهایی کار کنند. همچنین مجموع تعاملات آن‌ها باید خصوصیات چهارگانه خودتطبیقی را به ارمغان بیاورد. در واقع بینش این تحقیقات آن است که در مأموریت‌های فضایی آینده هزاران سفینه بسیار ریز برای جستجو در منظومه شمسی با هم همکاری خواهند کرد. فراهم شدن خودمختاری لازم، سیستم‌ها و نرم‌افزار را به حدی خواهد رساند که هیچ‌کس تا کنون به آن دست نیافته است [۱].

یکی از مشهورترین پروژه‌های در دست بررسی پروژه ANTS است. در این پروژه هزاران سفینه بسیار کوچک که هر کدام کمتر از یک و نیم کیلوگرم وزن دارند، با یکدیگر در یافتن کمربند سیارک‌ها همکاری می‌کنند. این سفینه‌ها توسط یک سفینه که دارای آزمایشگاهی برای مونتاژ سفینه‌های کوچک است به فضا برده شده و در نقطه‌ای که اثر جاذبه در آن خنثی است رها می‌شوند تا به جستجوی کمربند سیارکی بپردازند.

این مطالعات صورت گرفته توسط ناسا که در حال پیشرفت روزافزون است در نوع خود تحولی بزرگ تلقی شده و از آن به عنوان یکی از نقاط عطف خودمختاری و خودسازماندهی یاد می‌شود [۲]. همچنین اعتبار این پروژه سبب شده است در مقالات مختلف مانند [۳] از آن برای تأیید صحت کار استفاده شده است.

مطابق آنچه در مطالعات موردی و شبیه‌سازی انجام شده در نظر گرفته شده است، ساختار سازمانی شامل تیم‌های متشکل از عامل‌های کارگر، راهنماها و پیام‌رسان‌ها است. در درون تیم‌های متشکل از عامل‌های کارگر نیز یک سازماندهی وجود دارد. در هر تیم یک عامل کارگر نقش سرگروه را بازی می‌کند. نقشی که در شبیه‌سازی‌ها و مطالعات موردی برای سرگروه در نظر گرفته شده است، به هیچ عنوان فرماندهی بقیه عامل‌ها نیست. بلکه در واقع سرگروه نقش درگاه ارتباطی و نماینده گروه برای تبادلات خارج از گروه را بازی می‌کند. اطلاعات یافته شده توسط تمامی عامل‌های کارگر عضو گروه توسط این عامل تجمیع شده و اطلاعات خارجی نیز تا حد امکان به این عامل ارجاع می‌شوند.

راهنماها به عنوان عامل‌هایی در نظر گرفته شده‌اند که اطلاعات وسیع‌تری نسبت به عامل‌های عضو تیم‌ها دارند. در واقع عامل‌ها از اطلاعات میان تیمی برخوردار هستند. در مستندات ناسا به جای واژه راهنما از واژه فرمانده استفاده شده است. با این حال نقشی که برای فرماندهان ذکر شده است، تقریباً شبیه نقش راهنماهاست. در شبیه‌سازی‌ها همان‌گونه که در ادامه ملاحظه خواهد شد راهنماهای متعددی در نظر گرفته شده‌اند تا ماهیت توزیع‌شدگی سیستم حفظ شود.

پیام‌رسان‌ها نقش برقراری ارتباط میان تمام عامل‌ها و ایستگاه‌های زمینی را بر عهده دارند. در واقع وظیفه برقراری اتصال میان تمامی عامل‌ها با این دسته عامل‌هاست. در مستندات ناسا عامل‌ها می‌توانند با ایستگاه‌های زمینی نیز ارتباط برقرار نمایند. هر عاملی هنگامی

---

<sup>۱</sup> کمربند سیارک‌ها (Asteroid belt) منطقه‌ای در منظومه شمسی است که بین سیاره‌های مریخ و مشتری قرار گرفته است. این منطقه به وسیله تعداد زیادی اجرام با اشکال نامنظم که سیارک خوانده می‌شوند اشغال شده است

که قصد ارسال پیامی را دارد، آن را به پیامرسان مناسب فرستاده و پیامرسان مذکور آن را به مقصد می‌رساند. ممکن است یک پیام برای رسیدن به مقصد از چند پیامرسان میانی عبور نماید. در واقع مسیریابی یک پیام ممکن است چند مرحله‌ای باشد. در هر مرحله پیام‌رسانی انتخاب می‌شود که مجموع فاصله‌اش به فرستنده و گیرنده کمتر از دیگر پیام‌رسان‌ها باشد.

برای هر عامل راهنما محدوده مشخصی در نظر گرفته شده و هر عامل راهنما با سرگروه‌های تیم‌هایی که در محدوده وی هستند ارتباط برقرار می‌کند. هر سرگروه نیز تنها قادر به تبادل اطلاعات با راهنمای مربوط به خود، پیام‌رسان‌ها و سرگروه‌های دیگر تیم‌هاست. پیام‌رسان‌ها قادر به تبادل اطلاعات با تمام عامل‌ها هستند.

### شبیه‌سازی

پیش از این، سناریویی مبتنی بر این مطالعه موردی شبیه‌سازی شده است. شبیه‌سازی این مورد بر بستر یک شبیه‌ساز رخداد گسسته‌آصورت پذیرفته که در تیم تحقیقاتی مرتبط در دانشکده توسعه یافته است. این شبیه‌ساز با استفاده از زبان C#.net توسعه یافته است. برخی از پارامترهای بنیادی استفاده شده برای شبیه‌سازی در جدول زیر قابل مشاهده هستند. همان‌گونه که در جدول مذکور ملاحظه می‌شود در این شبیه‌سازی یک محدوده با طول و عرض ۱۰۰۰ پیکسل از صفحه شبیه‌سازی در نظر گرفته شده است. این محدوده کاملاً فرضی بوده و مطمئناً با ابعاد واقعی فضای مسئله فاصله زیادی دارد.

محدوده شبیه‌سازی	۱۰۰۰*۱۰۰۰
تعداد اولیه پیام‌رسان‌ها	۱۶۰
تعداد اولیه راهنماها	۱۶
تعداد اولیه تیم‌ها	۲۰
تعداد کارکنان هر سازمان	۳۰
محدوده رادیویی پیام‌رسان‌ها	۰,۳ محدوده
محدوده رادیویی عادی	۱,۵ محدوده

در این شبیه‌سازی تنوع عامل‌ها با توجه به ساختار سازمانی توضیح داده شده در بخش قبل در نظر گرفته شده است. به این منظور تعداد ۲۰ تیم در نظر گرفته شده‌اند که هر یک از ۳۰ عامل کارگر و یک سرگروه تشکیل شده‌اند. تیم‌ها در منطقه ثابتی از صفحه در نظر گرفته شده‌اند. در واقع می‌توان منطقه هر تیم را معرف محدوده‌ای از سیارک‌ها دانست که عامل‌های کارگر مشغول جستجوی سیارک‌ها در آن هستند. علاوه بر آن ۱۶ راهنما و ۱۶۰ پیام‌رسان نیز در این شبیه‌سازی در نظر گرفته شده‌اند. برای توزیع راهنماها ۱۶ منطقه در صفحه در نظر گرفته شده و راهنماها و پیام‌رسان‌ها در آن مناطق به نسبت مساوی پخش شده‌اند.

برای هر عامل یک محدوده رادیویی در نظر گرفته شده است. عامل‌ها در محدوده رادیویی خود قادر به ارسال پیام هستند. محدوده رادیویی عامل‌های پیام‌رسان دو برابر عامل‌های دیگر در نظر گرفته شده است. این محدوده در عامل‌های مذکور ۰,۳ کل محدوده را در بر می‌گیرد. بنابراین محدوده رادیویی عامل‌های غیر پیام‌رسان ۰,۱۵ فضای شبیه‌سازی را پوشش می‌دهد.

## سناریوی انهدام راهنما

در این سناریو تمامی سرگروه‌ها به صورت دائمی با راهنمای مربوطه در حال تبادل پیام هستند. هنگامی که سرگروهی پیامی را ارسال می‌کند انتظار دارد پیام در زمان مشخصی بازگشت داده شود در صورت عدم دریافت راهنما از دست رفته تلقی شده و اقدامات تطبیقی باید صورت پذیرند. در این سناریو، یکی از راهنماها به صورت تصادفی در ۱۰۰ میلی ثانیه پس از آغاز شبیه‌سازی منهدم می‌شود. عملیات تطبیق به دو شکل صورت پذیرفته و نتایج این دو حالت با یکدیگر مقایسه می‌شوند: حالت اول بدون استفاده از سازمان خودتطبیق و مدل ارائه شده و حالت دوم با انتساب نقش‌های خودتطبیق در قالب سازمان‌های خودتطبیق.

### حالت اول

در این حالت، هر سرگروهی در هنگام ارسال پیام، زمان ارسال پیام را ثبت می‌کند. پس از آن مدت زمان مشخصی را منتظر مانده و در صورت عدم دریافت پاسخ در مدت زمان تعیین شده، پیامی را به تمامی سرگروه‌های اطراف خود ارسال داشته و از آن‌ها می‌خواهد که اطلاعات راهنمایی که با آن در ارتباط هستند را برای وی ارسال کنند. هر یک از سرگروه‌های مجاور که پیامی با محتوای مذکور دریافت می‌کنند وضعیت راهنمای مربوط به خود را بررسی نموده و در صورت اطمینان از وضعیت راهنمای خود اطلاعات آن عامل را برای سرگروه درخواست کننده ارسال می‌کند. در صورت عدم صحت راهنما، پیامی با مضمون خاص که نشان‌دهنده عدم دسترسی به عامل است، ارسال می‌گردد.

سرگروه درخواست کننده پس از دریافت پیامی با محتوای اطلاعات راهنما، ابتدا اطلاعات راهنمای دریافت شده را با اطلاعات راهنمای خود مقایسه می‌کند. در صورت عدم تطابق، خود را در لیست سرگروه‌های مربوط به راهنمای مذکور قرار می‌دهد تا از این پس با این راهنما در ارتباط باشد. تطبیق راهنما فقط به منظور پیشگیری از حالت استثنایی صورت می‌پذیرد. منظور حالتی است که راهنمای فرستنده هنوز در جریان از کار افتادن عامل مربوط به خود قرار نگرفته و اطلاعات همان راهنمای منهدم شده را ارسال می‌کند. البته احتمال رخ دادن چنین حالتی بسیار بعید است.

سرگروهی که راهنمای خود را از دست داده به اطلاعات اولین راهنمای رسیده اکتفا می‌کند. این راهنما احتمالاً در میان راهنماهای مجاور نزدیکتر از سایرین است. چرا که با توجه به تأخیر پیام‌ها آنکه پیامش زودتر دریافت شود احتمالاً فاصله کمتری دارد. با این وجود ممکن است عامل یافت شده راهنمای بهینه نباشد. بهینه‌سازی راهنماها خود می‌تواند در ادامه فرایند بررسی شود. با این حال در اینجا اولین عامل، جایگزین شده و وضعیت سیستم به حالت عادی باز می‌گردد.

هنگامی که عاملی قصد ارسال پیام خود به بقیه سرگروه‌ها را دارد، آن را به نزدیک‌ترین پیام‌رسان فرستاده و پیام‌رسان آن را به سرگروه‌های در محدوده خود ارسال می‌دارد. در حالت عادی با توجه به محدوده‌ای که برای عامل‌ها مخصوصاً برای پیام‌رسان‌ها در نظر گرفته شده است، به احتمال زیاد، سرگروه‌هایی در محدوده پیام‌رسان مذکور وجود دارند که با راهنماهای فعال در ارتباط هستند. به همین دلیل در حالت عادی، اگر سرگروهی در مجاورت پیام‌رسان وجود نداشته باشد به عنوان استثنا در نظر گرفته شده و از نتایج آن اجرا صرف نظر می‌شود.

در مقابل، زمانی که محدوده عامل‌ها تغییر می‌کند وقوع چنین حالتی به هیچ عنوان دور از ذهن نیست. به همین علت، یک قابلیت ارسال مجدد برای چنین مواقعی در نظر گرفته شده است. با استفاده از این قابلیت، اگر پس از ارسال پیام به سرگروه‌های مجاور پاسخ قابل قبولی دریافت نشد، نزدیک‌ترین پیام‌رسان پیام بار دیگر پیام را علاوه بر سرگروه‌ها به پیام‌رسان‌های مجاور نیز ارسال کرده و هر پیام‌رسان نیز پیام مذکور را به سرگروه‌های مجاور ارسال می‌کند. به این ترتیب احتمال عدم یافتن راهنما بسیار ناچیز می‌شود. البته با استفاده از این قابلیت، احتمالاً پیام‌رسان‌های یافت شده در فاصله دورتری خواهند بود.

## حالت دوم

در این حالت نیز سرگروه‌ها در ارتباط دائمی با راهنماهای منتسب هستند. با این حال در اینجا عامل‌ها با پذیرش نقش‌های تکمیلی خودتطبیق در قالب سازمان‌های پنهان خودتطبیق عملیات مورد نظر را انجام می‌دهند. در اینجا هنگامی که سرگروهی پیامی را به راهنمای خود می‌فرستد، آخرین پیام‌رسان هنگامی که عامل مقصد را در محدوده رادیویی خود می‌یابد، وظیفه پایش را عهده‌دار شده و زمان ارسال آن را در فیلدی داخل پیام ثبت می‌کند. راهنمای دریافت‌کننده موظف است که پیام بازگشت را از همان مسیر قبلی و به پیام‌رسان مورد نظر برساند. در صورت بازگشت پاسخ، پیام‌رسان آن را به سرگروه فرستنده ارسال می‌کند.

در صورتی که پاسخ پیام در زمان مورد نظر به دست پیام‌رسان نرسد، مشخص می‌شود که عامل مورد نظر از کار افتاده است. در اینجا عملیات تحلیل برای جایگزینی راهنمای مذکور آغاز می‌شود. از آنجا که پیام‌رسان‌ها می‌توانند با همه عامل‌ها به طور مستقیم ارتباط برقرار نمایند، پیام‌رسان مورد نظر می‌تواند از طریق مشارکت بقیه راهنماهایی که در محدوده رادیویی وی هستند فاز تحلیل را انجام داده و بهترین گزینه برای جانشینی راهنمای از دست رفته بیابد. برای این کار در واقع یک نوع رأی‌گیری از عامل‌ها انجام می‌شود. به این ترتیب که پیام‌رسان پیامی با مضمون از دست رفتن راهنما تولید نموده و آن را به صورت پخشی برای راهنماهای دیگر در محدوده خود ارسال می‌دارد. راهنماها با دریافت چنین پیامی (در صورتی که در وضعیت سالم و فعال باشند) اطلاعات خود را به پیام‌رسان می‌فرستند. پیام‌رسان راهنمایی که اطلاعاتش پیش از بقیه عامل‌ها به وی برسد را به عنوان عامل مناسب تشخیص می‌دهد. پس از این، فاز برنامه‌ریزی آغاز می‌شود.

در فاز برنامه‌ریزی، اطلاعات راهنمای یافت شده به سرگروه‌هایی که راهنمای خود را از دست داده‌اند ابلاغ می‌شود. همچنین راهنمایی که به عنوان سرگروه انتخاب شده است در جریان مسئولیت جدید خود قرار می‌گیرد. در نهایت در فاز اجرا سرگروه‌های مورد نظر، راهنمای انتخاب شده را به عنوان راهنمای منتسب خود ثبت نموده و راهنمای انتخاب شده نیز عامل‌های سرگروه را در لیست سرگروه‌های مورد حمایت خویش قرار می‌دهد.

در حالت دوم نیز ممکن است پیام‌رسان در هنگام فرستادن پیام به راهنماها، هیچ راهنمای فعالی را در اطراف خویش نیابد البته این اتفاق در حالت دوم بسیار بعیدتر از حالت اول نیز می‌باشد. چرا که محدوده رادیویی پیام‌رسان‌ها بسیار بیشتر از دیگر عامل‌ها می‌باشد. با این وجود در این مورد نیز حالتی خاص در نظر گرفته شده است که در آن پیام علاوه بر راهنماها به پیام‌رسان‌های مجاور نیز صادر شده و آن‌ها پیام را به راهنماهای اطراف خود ارسال می‌کنند. این قابلیت در مواردی که محدوده رادیویی کاهش می‌یابد استفاده می‌شود.

## ارزیابی:

هدف این قسمت مقایسه دو حالت توضیح داده شده و ارزیابی کارایی روش پیشنهادی است. برای این منظور، نیاز به معیارهایی برای ارزیابی وجود دارد. برای معیارهای ارزیابی از دو معیار زمان تطبیق و تعداد پیام‌ها که نشانه سربار شبکه است استفاده شده است. این معیارها سپس به نحوی در ارتباط با تعداد گره‌ها و محدوده رادیویی سنجیده شده‌اند تا امکان سنجش شاخصه‌هایی مانند مقیاس‌پذیری و تطبیق‌پذیری فراهم شود.

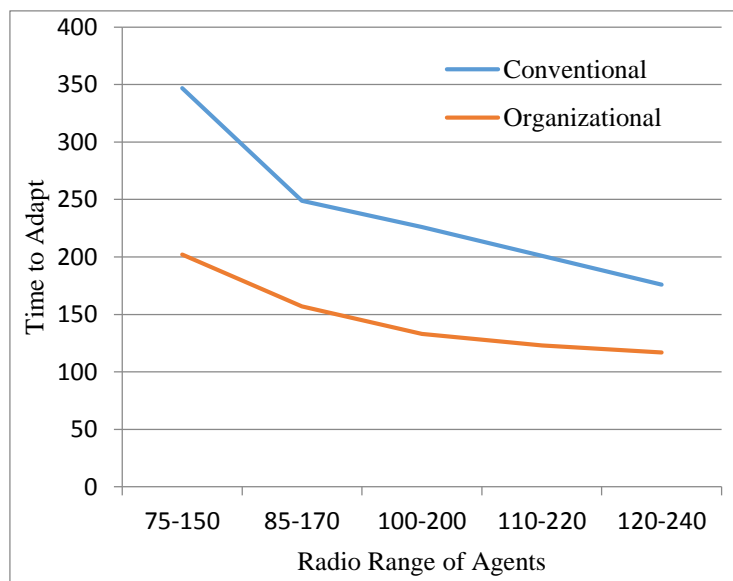
معیار زمان یکی از معیارهای مطرح در اندازه‌گیری کارایی روش‌ها به شمار می‌رود. این معیار در مقاله‌ای که به منظور شناساندن روش ارزیابی رویکردهای خودمختار توزیع‌شده تهیه شده است، در سه دسته مورد تقسیم‌بندی قرار گرفته است [۵]: زمان تطبیق، زمان واکنش و زمان پایداری. زمان تطبیق فاصله میان زمانی است که سیستم متوجه تغییر می‌شود تا زمانی که تطبیق صورت پذیرفته و سیستم به سمت پایداری حرکت می‌کند. زمان واکنش فاصله زمانی میان رخداد محیطی و واکنش سیستم به رویداد مذکور است. زمان پایداری فاصله میان زمانی است که سیستم تطبیق را آغاز نموده تا زمانی که مجدداً پایداری به سیستم باز می‌گردد. تفاوت اصلی این معیار با معیار زمان تطبیق آن است که پایداری در سیستم توزیع‌شده نیازمند پخش آن در کل سیستم و مؤلفه‌های مختلف است. این فرایند ممکن است خود نیازمند زمان زیادی باشد.

از میان این معیارهای زمانی در اینجا معیار زمان تطبیق مورد نظر بوده است. به این ترتیب که در زمانی که راهنما از کار می‌افتد زمان ثبت شده و زمانی که سرگروه‌ها راهنمای جدیدی می‌یابند زمان پایان تطبیق محاسبه می‌شود. فاصله میان این زمان و زمان آغاز به عنوان معیار زمان تطبیق مورد بررسی قرار گرفته است. نکته قابل توجه آنست که در ارزیابی حاضر، زمان رویداد در سیستم به عنوان مبدأ در نظر گرفته شده است، حال آنکه طبق تعریف زمان درک توسط سیستم باید به عنوان زمان تطبیق در نظر گرفته شود. دلیل این امر آن است که از آنجا که محیط شبیه‌سازی شده است تمام اتفاقات به محض وقوع توسط سیستم درک می‌شوند و امکان جداسازی سیستم از محیط وجود ندارد. مسئله دیگر آن است که پایش خود جزئی از مراحل تطبیق به شمار می‌رود. به همین علت زمانی که برای پایش صرف می‌شود نیز می‌تواند در موارد مختلف متفاوت باشد. بنابراین زمان تطبیق در نظر گرفته شده در این پایان‌نامه، پایش را نیز در بر می‌گیرد.

علاوه بر آن معیار مهم دیگر سربار سیستم است. در موردی که مطالعه شد، تمامی ارتباطات از طریق پیام‌رسانی صورت می‌گرفت. با توجه به تعدد عامل‌ها، فاصله زیاد و محدودیت‌های پهنای باند در چنین محیطی افزایش تعداد عامل‌ها می‌تواند کارایی کل سیستم را تا حد زیادی پایین بیاورد. بنابراین در اینجا تعداد پیام‌های مبادله شده به عنوان دومین معیار مورد نظر انتخاب شده است. تعداد پیام‌ها از زمان از کار افتادن راهنما، تا انتساب راهنمای جدید به سرگروه‌های متأثر مورد محاسبه قرار می‌گیرد.

به منظور مقایسه کامل‌تر و دقیق‌تر معیارها و نیز اندازه‌گیری شاخص‌هایی مانند مقیاس‌پذیری، تطبیق‌پذیری و قابلیت انعطاف، معیارهای مذکور در ارتباط با تغییرات تعداد عامل‌ها و محدوده رادیویی آن‌ها سنجیده شده‌اند. همچنین به منظور دستیابی به نتایج جامع‌تر و قابل اطمینان‌تر، در هر اندازه‌گیری میانگین ۱۰ اجرای شبیه‌ساز در نظر گرفته شده است.

در اولین سنجش، میزان تغییرات زمان تطبیق در ارتباط با محدوده رادیویی عامل‌ها در نظر گرفته شد. محدوده رادیویی عامل‌های معمولی در ۵ وضعیت ۷۵، ۸۵، ۱۰۰، ۱۱۰ و ۱۲۰ و محدوده رادیویی پیام‌رسان‌ها بر روی مقادیر ۱۵۰، ۱۷۰، ۲۰۰، ۲۲۰، ۲۴۰ تنظیم شده است. نتیجه اندازه‌گیری زمان تطبیق با هر یک از تنظیمات مذکور در شکل ۱ قابل مشاهده است.



شکل ۱. نمودار تغییرات زمان تطبیق در رابطه با تغییرات محدوده رادیویی عامل‌ها

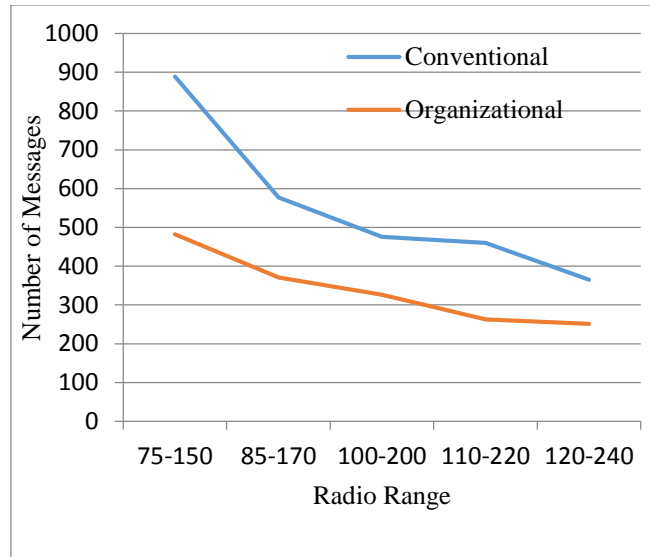
لازم به ذکر است که در محاسبه زمان تطبیق بر مبنای محدوده رادیویی، حالت تطبیق دو مرحله‌ای در نظر گرفته شده است. به این معنا که اگر در فرستادن پیام به صورت پخشی<sup>۴</sup>، سرگروه یا راهنمای مناسب یافت نشد، پیام بار دیگر با کمک پیام‌رسان‌های مجاور ارسال می‌شود. علت در نظر گرفتن این حالت در اینجا آن است که در محدوده‌های رادیویی کوچک امکان چنین حالاتی بالا می‌رود و صرف نظر از آن‌ها می‌تواند نتایج را به شکل عمده‌ای تحت تأثیر قرار دهد.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود زمان‌ها در دو حالت اندازه‌گیری شده‌اند: یکی حالت تطبیق اول که با رنگ آبی نمایش داده شده است و دیگری حالت تطبیق دوم که با رنگ قرمز مشاهده می‌شود. با افزایش محدوده رادیویی، زمان تطبیق در هر دو حالت کاهش نسبتاً چشم‌گیری دارد. علت آن این است که با کاهش محدوده رادیویی تعداد پیام‌های لازم برای رسیدن یک پیام و نیز تعداد تعاملات لازم برای تطبیق افزایش می‌یابند. همچنین وقوع حالت تطبیق دو مرحله‌ای نیز بیشتر می‌شود.

با مقایسه دو منحنی، ملاحظه می‌شود که زمان تطبیق در حالت دوم همواره از حالت اول کمتر است. زمان تطبیق از ۲۰۲ میلی ثانیه در محدوده ۷۵ عامل‌های عادی و ۱۵۰ عامل‌های پیام‌رسان تا ۱۱۷ میلی ثانیه در محدوده ۱۲۰ عامل‌های معمولی و ۲۴۰ عامل‌های پیام‌رسان تغییر می‌کند. در حالی که در حالت اول زمان تطبیق از ۳۴۷ میلی‌ثانیه در محدوده ۷۵ عامل‌های عادی و ۱۵۰ عامل‌های پیام‌رسان تا ۱۷۶ میلی‌ثانیه در محدوده ۱۲۰ عامل‌های معمولی و ۲۴۰ عامل‌های پیام‌رسان تغییر می‌کند.

علاوه بر آن اگر به تغییرات زمان تطبیق به تناسب تغییرات محدوده رادیویی توجه کنیم، ملاحظه می‌شود که شیب منحنی حلت دوم بسیار کمتر از شیب منحنی حالت اول است. در واقع زمان تطبیق در حالت دوم از بیشترین تا کمترین محدوده مورد بررسی ۶۵ میلی ثانیه تغییر داشته است. در حالی که در حالت دوم تغییرات در همین بازه، ۱۷۶ میلی ثانیه بوده است. این نشان می‌دهد که میزان مقاومت سیستم با روش تطبیق دوم و به کارگیری مدل سازمانی پیشنهاد شده بسیار بیشتر از حالت اول است. این مقاومت نشان‌دهنده قابلیت تطبیق و انعطاف‌پذیری بهتر سیستم در حالت دوم نسبت به حالت اول است.

علاوه بر زمان تطبیق، تعداد پیام‌های مبادله شده نیز با توجه به تغییرات محدوده رادیویی سنجیده شده است. به همین منظور محدوده رادیویی عامل‌های مختلف مانند حالت سنجش زمان تطبیق تنظیم شده و در هر یک از تنظیمات تعداد پیام‌ها برآورد شده است. منحنی تغییرات تعداد پیام‌ها با توجه به تغییر محدوده در شکل ۲ قابل ملاحظه است.

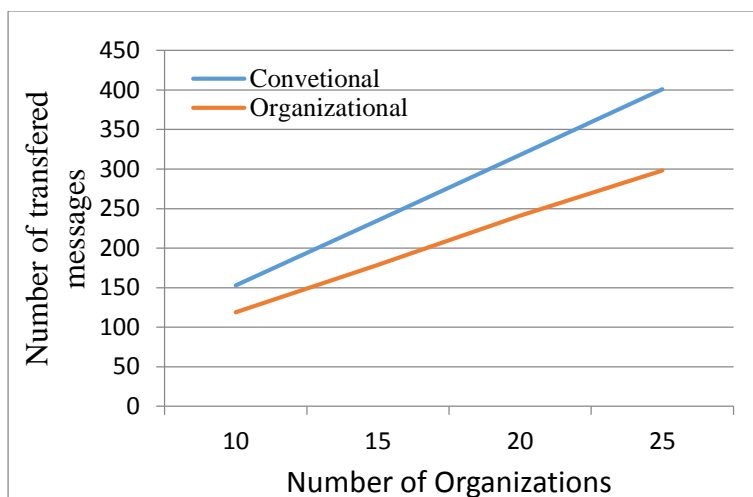


شکل ۲. نمودار تعداد پیام‌های مبادله شده در رابطه با تغییرات محدوده رادیویی

همان گونه که ملاحظه می‌شود، تعداد پیام‌های مبادله شده نیز در حالت دوم همواره از حالت اول کمتر است. این مقدار بین ۴۸۲ پیام در محدوده ۷۵ عامل‌های عادی و ۱۵۰ عامل‌های پیام‌رسان تا ۲۵۱ پیام در محدوده ۱۲۰ عامل‌های معمولی و ۲۴۰ عامل‌های پیام‌رسان تغییر می‌کند. در حالی که در حالت اول این مقدار بین ۸۸۹ پیام در محدوده ۷۵ عامل‌های عادی و ۱۵۰ عامل‌های پیام‌رسان تا ۳۶۵ پیام در محدوده ۱۲۰ عامل‌های معمولی و ۲۴۰ عامل‌های پیام‌رسان تغییر می‌کند.

در مورد پیام‌های مبادله شده نیز، شیب منحنی حالت تطبیق دوم نسبت به حالت اول بسیار کمتر است. تفاوت میزان تبادل پیام‌ها در بازه میان بیشترین و کمترین محدوده در حالت دوم عبارت است از ۲۳۱ پیام، در حالی که این مقدار در حالت تطبیق اول حدود ۵۲۴ پیام است. بنابراین تعداد پیام‌های مبادله شده نیز در حالت اول بسیار بیشتر از حالت دوم تحت تأثیر تغییرات قرار می‌گیرد. به این معنا که در این حالت با کاهش محدوده رادیویی سربار سیستم به حد بسیار زیادی افزایش می‌یابد که این نشان‌دهنده قابلیت تطبیق بیشتر با شرایط محیطی با استفاده از مدل سازماندهی پیشنهادی است.

در سنجشی دیگر میزان تعداد پیام‌های مبادله شده در ارتباط با تغییر تعداد عامل‌ها اندازه‌گیری شده است. در اینجا محدوده رادیویی به صورت ثابت بر روی مقادیر پیش‌فرض ذکر شده در جدول تنظیم شده است. به همین علت در این اندازه‌گیری از حالات تطبیق دوم مرحله‌ای صرف نظر شده است. در اینجا تعداد سازمان‌هایی که هر یک دارای ۳۰ عامل کارگر هستند بر روی مقادیر ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ تنظیم شده و تعداد پیام‌ها در هر یک از این حالا سنجیده شده است. نتیجه این اندازه‌گیری در شکل قابل مشاهده است.



شکل ۳ نمودار تعداد پیام‌های مبادله شده در رابطه با تعداد عامل‌ها

در اینجا نیز تعداد پیام‌های مبادله شده در حالت تطبیق دوم همواره کمتر از حالت تطبیق اول است. در این حالت تعداد پیام‌ها از میانگین ۱۱۹ پیام در حالتی که ۱۰ سازمان وجود دارند تا میانگین ۲۸۹ پیام با حضور ۲۰ سازمان در حال تغییر است. در حالی که در حالت تطبیق اول تعداد پیام‌ها از ۱۵۳ پیام در حالت حضور ۱۰ سازمان به میانگین ۴۰۱ پیام در حالت حضور ۲۵ سازمان تغییر یافته است. در واقع میانگین تغییرات پیام‌ها نیز در راستای تغییر تعداد سازمان‌ها از ۱۰ تا ۲۵ در حالت اول ۱۷۰ و در حالت دوم ۲۴۸ است. به همین دلیل همان‌گونه که در شکل ملاحظه می‌شود شیب منحنی حالت دوم نسبت به حالت اول بیشتر است. در واقع می‌توان نتیجه گرفت که قابلیت مقیاس‌پذیری سیستم‌هایی که از حالت تطبیق دوم سود می‌برند نسبت به حالت اول بیشتر است.

#### کدها

کد پیاده‌سازی سناریوی اول در قالب **C#.net** در اختیار دانشجویان علاقه‌مند قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است که این پروژه برای مقاصد ارزیابی تهیه شده است و ممکن برخی از **Exception** ها و خطاها برای حالات خاص کنترل نشده باشد. کشف و برطرف کردن این خطاها و همچنین پیشنهادات بهبود این کد به عنوان تمرین اضافه محسوب شده و مشمول نمره تشویقی خواهد شد.

#### پروژه‌ها:

الف) سناریوهایی برای خودپیکربندی، خودبهبود و خود حفاظتی در این مطالعه موردی مطرح نموده و پیاده‌سازی کنید.

لازم به ذکر است که در واسط کاربری برنامه شبیه‌سازی، گزینه‌هایی برای این سناریوها طراحی شده و در حال حاضر غیرفعال است. این سناریوها می‌توانند با افزوده شدن به برنامه مذکور، کارکردهای موردنظر را تکمیل نمایند.

#### ب) سناریوی زیر را پیاده‌سازی و ارزیابی نمایید:

در این سناریو فرض می‌شود که تعداد زیادی از عامل‌های عضو یک تیم که مشغول کاوش کمربند سیارکی هستند در اثر برخورد با کمربند سیارکی از بین می‌روند. در چنین شرایطی اگر عامل یا عامل‌ها از قابلیت خودتطبیقی برخوردار نباشند مطمئناً این مشکل



قابل حل نیست. بنابراین در حالت غیر خودتطبیق تنها باید منتظر ماند تا ایستگاه زمینی یا هر کنترل کننده خارجی دیگری متوجه مشکلات رخ داده شده و تصمیمی برای حل مشکل اتخاذ نماید.

حالت دیگر آن است که یک مؤلفه خودتطبیق کنترل مرکزی را بر عهده داشته باشند. در این حالت، چنین مؤلفه‌ای می‌تواند شرایط رخ داده شده را تحلیل نموده و آن را با حداقل شرایط لازم برای کارکرد صحیح سیستم مقایسه کند. در صورت مشاهده مغایرت، این مؤلفه می‌تواند راه‌حل‌ها را تحلیل نموده و بهترین راه‌حل را برای اجرا برنامه‌ریزی کند. با این وجود کنترل مرکزی در چنین سیستم‌هایی نه امکان‌پذیر است و نه روش مناسبی محسوب می‌شود. چرا که رویکردهای خودسازمانده می‌توانند تنومندی، مقیاس-پذیری و قابلیت اطمینان بیشتری برای سیستم به ارمغان بیاورند.

راه حل دیگر آنکه هر عامل به صورت مجزا خودتطبیق باشد. در واقع هر عامل دارای یک چرخه  $MAPE-K$  باشد و خود محیط محلی خود را پایش نموده و با تحلیل راه‌حل‌ها و برنامه‌ریزی تطبیق مناسب را در حوزه خود انجام دهد. در این صورت، ممکن است عامل با توجه به تغییرات محیطی اطرافش متوجه اختلال در عامل یا عامل‌های اطراف خود باشد ولی در صورتی که وابستگی به عامل از دست رفته نداشته باشد، تغییر رخ داده را بر روی عملکرد فردی خود تأثیرگذار نمی‌بیند. بنابراین در این وضعیت نیز ممکن است تا دخالت عامل خارجی کاری صورت نگیرد.

بنابراین در اینجا یک سازماندهی تیمی برای این منظور مناسب است. هنگامی که عامل‌های زیادی از کار می‌افتند عامل‌های اطراف از تغییرات محیطی متوجه این رخداد شده و سازماندهی مناسبی برای غلبه بر این شرایط باید صورت بپذیرد. در این راستا، عامل‌های باقی‌مانده به پایش اثرات به جا مانده از انهدام عامل‌ها می‌پردازند. در این راستا ابتدا اتفاق رخ داده در تمام سیستم پخش شده و به اطلاع بقیه عامل‌ها نیز می‌رسد. در واقع این نقش اطلاع‌رسانی در اینجا خود به سه زیر نقش تقسیم می‌شود: عامل‌هایی که از رخدادی مطلع هستند، عامل‌هایی که خبر را پخش می‌کنند و عامل‌هایی که خبر را دریافت می‌کنند. مطمئناً در ابتدا عامل‌هایی که با یک یا چند عامل منهدم شده دارای ارتباط بوده‌اند به دلیل عدم برقراری صحیح ارتباط متوجه نبود آن‌ها می‌شوند. در این سناریو نیز مانند سناریوی قبل عامل‌های پیام‌رسان به دلیل دریافت زودتر پیام‌ها، شانس بیشتری برای ایفای نقش مطلع دارند. از طرف دیگر همین عامل‌ها به دلیل دارا بودن محدوده رادیویی بیشتر برای ایفای نقش اطلاع‌رسانی نیز انتخاب‌های مناسبی هستند.

پس از آنکه عامل‌ها متوجه وقوع رخداد شدند، نوبت به آن می‌رسد که هر یک با توجه به اطلاعات خود و اطلاعات دریافت شده تعداد عامل‌هایی که در اطراف از دست رفته‌اند و مشکلات پدید آمده را شناسایی کنند. در ادامه عامل‌های مذکور باید بتوانند با کمک یکدیگر نیازمندی‌های سازمانی که در این اثر ایجاد شده‌اند را تشخیص دهند. در اینجا عامل‌ها پس از مرحله تشخیص به این نتیجه می‌رسند که سازمان برای ادامه حیات خود نیازمند عامل‌های بیشتری است. همچنین ابزارها و قابلیت‌های جستجویی که این عامل‌ها باید دارا باشند، تشخیص داده می‌شوند. در اینجا پایه‌های اساسی یک سازمان خودتطبیق شکل گرفته است که هدف اصلی آن برآورده ساختن نیازمندی تشخیص داده شده است.

در ادامه باید سازمان خودتطبیق روش‌های ممکن برای برآورده نمودن نیازمندی مذکور را بررسی کرده و بهترین روش را از میان آن‌ها انتخاب نماید. اصولاً دو انتخاب در برابر سازمان خودتطبیق قرار دارد. یکی تغییر نقش‌های فعلی و انتساب نقش‌های جدید به عامل‌ها به شکلی که بتوانند کمبود به وجود آمده را جبران نمایند و دیگری پذیرش عامل‌ها از سازمان‌های دیگر. اصولاً گزینه اول در حالتی که تعداد عامل‌های از دست داده زیاد باشند پاسخگو نخواهد بود. بنابراین در حالت مذکور باید عامل‌هایی از سازمان‌های

دیگر به سازمان مورد نظر اضافه شوند. برای این منظور باید عامل‌های تیم با کمک راهنماها و پیام‌رسان‌ها از وضعیت تیم‌هایی که قابلیت کمک‌رسانی دارند آگاه شده و با برقراری ارتباط از آن‌ها تقاضای کمک نمایند.

به این ترتیب عامل‌های سرگروه می‌توانند با عامل‌ها ارتباط برقرار نموده و از طریق آن‌ها اطلاعاتی کسب نمایند. همچنین با استفاده از تخمین مسافتی می‌توان سازمان‌های نزدیکتر را نیز انتخاب نمود. در اینجا تصمیم‌گیری شامل چند قسمت خواهد بود، یکی تصمیم‌گیری در مورد تیمی که عامل‌های خود را از دست داده است. تصمیم‌گیری در اینجا انتخاب بین راه‌حل‌های مختلف و بین اینکه چه عامل‌هایی از کجا اضافه شوند. از طرف دیگر تصمیم‌گیری برای تیم‌هایی که می‌خواهند عامل‌های خود را به تیم مذکور واگذار نمایند.

در اینجا یکی از مهم‌ترین وظایف در راستای تصمیم‌گیری کسب اطلاعات است. یکی از منابع بسیار خوب برای کسب اطلاعات در این سیستم راهنماها هستند. راهنماها دارای اطلاعات میان‌سازمانی هستند که می‌تواند برای اطلاع از وضعیت سازمان‌های دیگر و قابلیت تعامل آن‌ها در راستای حل مشکل بسیار مفید باشد. علاوه بر آن اطلاعات دیگری نیز می‌تواند از طریق عامل‌های دیگر به دست آورده شود. برای مثال پیام‌رسان‌ها می‌توانند نقش منبع اطلاعات را در مورد یافتن عامل‌های نزدیک ایفا نمایند.

سپس عامل‌های سازمان باید با سرگروه‌های سازمان‌هایی که انتخاب شده‌اند مذاکره نموده و نظر آن‌ها را دریافت کنند. آن‌ها نیز پی از تصمیم‌گیری نظرات را ارسال می‌کنند. سپس عامل‌ها در مورد نظرات تصمیم‌گیری نموده و انتخاب می‌کنند که از چه تیمی چه میزان عامل دریافت کنند. در واقع تجمیع نظرات و تصمیم در مورد آن‌ها مهم‌ترین و پیچیده‌ترین نقش در تصمیم‌گیری است. البته با توجه به آنکه عامل‌هایی که در این سیستم وجود دارند احتمالاً هیچ‌یک توانایی انجام این نقش را به تنهایی ندارند انجام این نقش نیز به صورت گروهی صورت خواهد پذیرفت.

پس از مرحله تحلیل نوبت به برنامه‌ریزی می‌رسد. در این مرحله عامل‌ها در مورد نحوه نقل و انتقالات عامل‌ها از دیگر مناطق و تیم‌ها به تیم آسیب‌دیده برنامه‌ریزی می‌کنند. یک نکته مهم در این برنامه‌ریزی در نظر گرفتن فواصل است. ممکن است کمبود عامل‌ها به حدی باشد که سازمان را مجبور کرده باشد از تیم‌هایی در فواصل طولانی تقاضای کمک کند. مطمئناً نقل و انتقال از چنین سازمان‌هایی بسیار زمان‌بر خواهد بود. به همین دلیل ممکن است در این مرحله برنامه‌ریزی چند مرحله‌ای صورت بپذیرد. به این ترتیب که ابتدا تعدادی عامل از سازمان‌های اطراف دریافت شده و از حد بحران کاسته شود تا زمانی که عامل‌های دیگر از فواصل دوردست به منطقه مورد نظر برسند.

بنابراین در اینجا باید تقسیم وظایف دقیقی برای اجرا در نظر گرفته شود. اینکه هر عامل چه نقشی را بر عهده بگیرد بسیار مهم است. برای مثال عامل‌هایی که زودتر حاضر می‌شوند می‌توانند نقش‌های کلیدی‌تری را بر عهده بگیرند. همچنین نقش عامل‌های درون سازمان در پذیرش و تطبیق با عامل‌های جدید بسیار مهم و تأثیرگذار است.

- [1] W. Truszkowski, M. Hinchey, J. Rash, and C. Rouff, "NASA's Swarm Missions: The Challenge of Building Autonomous Software," IT Pro, vol. 6, pp. 47-52, 2004.
- [۲] S. Dobson, R. Sterritt, P. Nixon, and M. Hinchey, "Fulfilling the Vision of Autonomic Computing," Computer, vol. 43, pp. 35-41, 2010.
- [۳] C. Rodríguez-Fernández and J. J. Gómez-Sanz, "Self-Management Capability Requirements with SelfMML & INGENIAS to Attain Self-Organising Behaviours,"
- [۴] T. D. Wolf and T. Holvoet, "Evaluation and Comparison of Decentralised Autonomic Computing Solutions," Department of Computer Science, K.U.Leuven2006.