

ارائه استراتژی‌های مکانی برای تخصیص وظایف گروه‌های عامل مبنا در محیط‌های بحران‌زده

نوید هوشنگی^۱، علی اصغر آل‌شیخ^{۲*}

^۱دکتری مهندسی سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین

طوسی

navid.hooshangi@yahoo.com

^۲استاد دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی

alesheikh@kntu.ac.ir

(تاریخ دریافت بهمن ۱۳۹۶، تاریخ تصویب اردیبهشت ۱۳۹۷)

چکیده

وجود روشی مناسب برای تخصیص صحیح وظایف نقش مهمی در بهبود کارایی و تصمیم‌گیری در عملیات با محدوده‌ی بزرگ دارد. هدف مقاله‌ی حاضر ارائه‌ی رویکردی برای تخصیص وظایف بین گروهی از عامل‌ها در محیط‌های بحران‌زده با مدنظر قرار دادن استراتژی‌های مکانی مناسب می‌باشد. نوآوری اصلی ارائه‌ی رویکردی مکانی است که اگر در محیط بحران‌زده تخصیص اولیه‌ی وظایف بنابه اختلال موجود در محیط با مشکلی مواجه شود، در تخصیص مجدد یا تخصیص‌های آینده شرایط بهتری وجود داشته باشد. رویکرد ارائه شده در طول ۵ مرحله اجرا شده و آمادگی برخورد با شرایط عدم اجرای وظایف را فراهم می‌کند. ترتیب‌دهی وظایف موجود، یافتن عامل هماهنگ‌کننده، برگزاری مناقصه، اعمال استراتژی‌های تخصیص، اجرا و روبرو شدن با اختلالات فرآیند اجرا پنج مرحله روش پیشنهادی می‌باشد. در مرحله چهارم، ۴ استراتژی به ترتیب تخصیص وظایف با اولویت بالاتر، تخصیص وظایف به تمامی عامل‌ها، تخصیص با نگه‌داشتن عامل‌های استراتژیک و تخصیص با ایجاد بهترین تراکم در محیط، به روش پروتکل قرارداد شبکه اعمال شد.

مقیاس‌پذیری روش پیشنهادی در قالب ۹ سناریو (۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ عامل با ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ وظیفه) در مقایسه با روش پروتکل قرارداد شبکه سنتی^۱ (CNP) ارزیابی شد. رویکرد پیشنهادی به‌طور متوسط از نظر معیار زمان عملیات امداد و نجات نسبت به CNP، دارای حداقل بهبود ۱۲٪، حداکثر بهبود ۳۰٪ و متوسط درصد بهبود ۱۹٪ بود. ارزیابی‌ها بر اساس تعداد افراد فوت‌شده و تعداد تخصیص‌های اشتباه نیز نشان از قابلیت رویکرد پیشنهادی بود. مقایسه بین استراتژی‌های ارائه شده نشان داد که استراتژی چهارم با ماهیت مکانی، نتایج بهتری را ارائه می‌دهد. در نظر گرفتن استراتژی‌های تخصیص به ازای مقادیر مختلف اختلال در اجرای وظایف نیز نشان از برتری استراتژی‌های تخصیص وظایف مکانی بود. اجرای تخصیص وظایف به‌ویژه استراتژی‌های مکانی موجب بهینه‌سازی و انعطاف‌پذیری برنامه شده و شرایط را برای تحمل خطا و ثبات همکاری عامل مبنا ایجاد می‌کند.

واژگان کلیدی: استراتژی مکانی تخصیص، تخصیص وظایف، محیط‌های بحران‌زده، همکاری بین عاملی، سیستم‌های چندعاملی

* نویسنده رابط

^۱ Contract Net Protocol

۱- مقدمه

تخصیص وظایف در میان مجموعه‌ای از عامل‌ها^۱ نقش مهمی در هماهنگی یک سیستم چندعاملی دارد [۱، ۲]. سیستم‌های چندعاملی^۲ (MAS) متشکل از چندین عامل خودکار و خودمختار هستند که فعالیت‌های خود را برای رسیدن به یک هدف کلی تعریف شده هماهنگ می‌کنند [۳]. تخصیص مناسب وظایف بین عامل‌ها عملکرد سیستم را ارتقاء داده [۴] و احتمال بروز اختلال در حل مسائل با محدوده‌ی گسترده را کاهش می‌دهد [۵]. تخصیص صحیح وظایف برای اجرای کارآمد حیاتی و مهم است [۶]. در بحث هماهنگی چندین عامل، هدف نهایی تخصیص پویای وظایف به عنوان انتخاب مجموعه‌ای مناسب از اقدامات برای هر عامل در هر زمان و در هر مکان می‌باشد [۷، ۸]. مسئله‌ی هماهنگی به عنوان نمونه-ای از تخصیص پویای وظایف است [۸]. تخصیص وظایف یکی از مسائل مهم و اساسی در سیستم‌های چندعاملی بوده و به منظور رسیدن به هدف سراسری بسیار ضروری است [۷]. در حوزه‌های مختلف عملیاتی، دست-یابی به اهداف اصلی نیازمند سطح بالایی از همکاری برای تخصیص کارها بین عامل‌های مختلف است [۹]. وجود روشی مناسب برای تخصیص صحیح وظایف نقش مهمی در بهبود کارایی و تصمیم‌گیری در عملیات با محدوده‌ی بزرگ دارد [۷، ۱۰]. از همین رو ارائه‌ی روشی به منظور مدیریت نحوه‌ی تخصیص وظایف در محیط‌های بحران‌زده ضرورت دارد.

روند امداد و نجات شهری^۳ (USAR) و تخصیص وظایف در محیط‌های بحران‌زده یک فرآیند پویا است. مسئله‌ی تخصیص وظایف عموماً در محیط‌های بحران‌زده در مقیاس بزرگ صورت می‌گیرد و تحت تأثیر عوامل مختلفی است [۷]. محدودیت‌های زمانی، محدودیت فضا، محدودیت ارتباطات، ویژگی‌های پویای محیط، درجه فوریتی ظرفیت وظایف از جمله این ویژگی‌هاست [۱۱]. تخصیص در این شرایط می‌تواند بسیار دشوار یا حتی غیرممکن باشد. همواره در فرآیند تخصیص وظایف در محیط‌های بحران‌زده اختلالات و عدم قطعیت‌هایی وجود

دارد که مانع از اجرای وظایف تخصیص داده شده می‌شود [۷]. با وجود نتایج پروژه‌های مختلف، راه‌حلی که به نیازهای مهم مختلف تخصیص وظایف در محیط‌های بحران‌زده در همان لحظه پاسخ دهد، پیدا نشده است [۱۲]. برنامه‌ریزی مجدد یک واکنش مؤثر به عدم قطعیت‌ها و تغییرات ایجاد شده در محیط بوده و سهم مهمی در کاهش اتلاف زمان عملیات و افزایش سوددهی دارد [۱۳]. یکی از راهبردها برای انعطاف‌پذیری در مقابل اختلالات در محیط-های بحران‌زده، ارائه‌ی استراتژی‌هایی برای تخصیص مجدد می‌باشد. تخصیص مجدد بعد از به وجود آمدن اختلال لحظه‌ای اهمیت بیشتری دارد و این مسئله در سیستم‌های توزیع‌شده در مقیاس بزرگ (مانند عملیات امداد و نجات شهری) نمود بیشتری دارد [۱۲]. در تخصیص اولیه بسیاری از پارامترها به عنوان متغیر معرفی می‌گردد، اما در تخصیص مجدد اکثر مؤلفه‌ها به عنوان محدودیت عمل می‌کنند. لذا بهتر است از ابتدا روند و استراتژی‌های برای مقابله با شرایط آینده وجود داشته باشد.

در عملیات امداد و نجات شهری بعد از بحران، تخصیص وظایف عموماً در یک مرحله صورت نمی‌گیرد [۱۴]. یک رویکرد تخصیص مؤثر باید استراتژی‌هایی برای برنامه‌ریزی مجدد نیز داشته باشد تا اختلالات کمترین تأثیر را در عملیات داشته باشند. در تخصیص وظایف در شرایط بحران‌زده، تخصیص وظایف باید به گونه‌ای باشد که آمادگی برخورد با شرایط عدم اجرای وظایف نیز وجود داشته باشد. از آنجایی که در حین اجرای وظایف امکان دارد بنا به دلایل مختلفی وظایف به درستی انجام نشود، باید استراتژی‌هایی بر روی جواب‌های اولیه اعمال شوند که در تخصیص مجدد یا تخصیص وظایف آینده کم‌ترین زمان اتلاف برای گروه‌های امدادی (مثلاً کمترین جابه-جایی مکانی) صورت بگیرد.

سیستم اطلاعات مکانی^۴ (GIS) با فراهم آوردن مفاهیم و تحلیل‌های مکانی می‌تواند ابزارهایی برای تعریف استراتژی‌های مکانی تخصیص ارائه دهد. محیط‌های بحران‌زده عموماً محیط‌هایی با گستردگی بالا هستند که مصدومان و جستجوگران در مکان‌های مشخصی پراکنده شده‌اند. بررسی و تحلیل نوع پراکندگی و توزیع این عامل-ها می‌تواند در قالب مفاهیم GIS بررسی و بیان شوند. از

^۱ Agents^۲ Multi Agent Systems^۳ Urban Search And Rescue^۴ Geospatial information system

۲- پیشینه تحقیق

۲-۱- روش‌های تخصیص وظایف

مسئله‌ی تخصیص وظایف^۱ (TAP) شامل تخصیص تعدادی از کارگران (منابع) برای تأمین کردن نیازمندی تعدادی از وظایف (مصرف‌کنندگان) به گونه‌ای که مطلوبیت کلی را حداکثر کند می‌باشد [۱۵، ۱۶]. تخصیص وظایف چند رباتی^۲ (MRTA) به عنوان مسئله‌ی تصمیم‌گیری که کدام ربات باید کدام وظیفه را با یک ترتیب مناسب انجام دهد، مطرح می‌شود [۱۷]. این مسئله نوعی از حالت عمومی TAP است، که در آن منابع و وظایف در منطقه‌ای از پیش تعریف‌شده توزیع یافته‌اند. در اغلب موارد، به دلیل کمبود منابع و یا عدم قطعیت‌های محیطی، تکمیل تمام وظایف ممکن نیست. این وضعیت بر اهمیت تخصیص کارآمد وظایف تأکید می‌کند [۱۸]. در جدول ۱ دسته‌بندی و توضیحاتی برای روش‌های موجود ارائه می‌شود.

از جدول ۱ مشخص است که روش‌های بسیاری برای تخصیص وظایف ارائه شده است. در این تحقیق، با لحاظ سادگی، پرکاربرد بودن و محبوب بودن پروتکل قرارداد شبکه^۳ (CNP)، رویکرد و توسعه‌ای^۴ برای لحاظ کردن استراتژی‌هایی در CNP ارائه می‌شود. در محیط‌های بحران‌زده تخصیص وظایف بنا به دلایلی مختلفی ممکن است با اختلال روبرو شود. از جمله این دلایل عدم قطعیت‌های محیطی و پویایی محیط می‌باشد [۳، ۷]. روش‌های تخصیص وظایف باید آمادگی برخورد با اختلال در اجرای وظایف را داشته باشد. در اجرای پروتکل قرارداد شبکه امکان لحاظ این اختلالات وجود ندارد و تخصیص وظایف را بدون در نظر گرفتن ماهیت محیطی و فرض اختلال در اجرای وظایف انجام می‌دهد.

این‌رو در این تحقیق از سیستم اطلاعاتی مکانی و با توجه به مفهوم نحوه‌ی توزیع (پراکندگی) عامل‌های مکان مبنای استراتژی‌های مکانی تعریف می‌شوند.

هدف اصلی تحقیق حاضر بهبود فرآیند تخصیص وظایف در شرایط بحران‌زده برای گروه‌های عامل‌مبنا با مد نظر قرار دادن استراتژی‌های مناسب برای تخصیص وظایف می‌باشد. این تحقیق با ارائه و توسعه‌ی استراتژی‌های مکانی شرایطی را ایجاد می‌کند که اگر تخصیص اولیه با مشکل روبرو شود و نیاز به تخصیص مجدد باشد کمترین اختلال در عملکرد کلی سیستم رخ دهد. در این تحقیق با توجه به ماهیت محیط‌های بحران‌زده صرفاً تخصیص فعلی در نظر گرفته نمی‌شود بلکه تخصیص فعلی با در نظر گرفتن تخصیص‌های آینده صورت می‌گیرد. نوآوری اصلی ارائه‌ی استراتژی‌های تخصیص وظایف می‌باشد. استراتژی قابل تعریف برای تغییرات و جابجایی در وظایف (آمادگی برای تخصیص مجدد) متناسب با شرایط و پدیده‌ی مورد بررسی متفاوت است و در حالت کلی به گونه‌ای انتخاب می‌شود که اگر تخصیص اولیه با مشکل مواجه شود هزینه نهایی سیستم به صورت غیرعادی افزایش نیابد. برای مثال در تخصیص وظایف در گروه‌های امداد و نجات شهری عموماً سطح تخریب و آسیب‌دیدگی به‌صورت یکنواخت توزیع می‌شود لذا باید تا حد امکان از همگرایی گروه‌های امداد و نجات جلوگیری کرد و تخصیص اولیه به‌گونه‌ای انجام شود که میزان جابه‌جایی عامل‌ها در تخصیص‌های آینده کم‌تر شود.

در ادامه در بخش "پیشینه تحقیق" ابتدا دسته‌بندی-های مختلفی از روش‌های تخصیص و روش‌های تخصیص مجدد و فعالیت‌های انجام شده برشمرده می‌شود. در بخش "مواد و روش‌ها" سناریوی تحقیق و روش پیشنهادی در قالب پنج مرحله‌ی ترتیب‌دهی وظایف، یافتن عامل هماهنگ‌کننده، برگزاری مناقصه، اعمال استراتژی‌های تخصیص و مشاهده‌ی محیط واقعی توسط عامل تشریح می‌گردد. در بخش "مراحل اجرایی و نتایج" مجموعه‌ای از آزمایش‌هایی برای اعتبارسنجی مدل پیشنهادی طراحی شده و نتایج برای نمایش قابلیت و کاربرد الگوریتم بررسی می‌شود. در بخش "نتیجه‌گیری" جمع‌بندی‌ای بر نتایج تحقیق ارائه شده و موضوعاتی برای تحقیقات آینده بیان می‌شود.

^۱ Task Allocation Problem

^۲ Multi-Robot Task Allocation

^۳ Contract net protocol

^۴ Extension

جدول ۱- روش‌های تخصیص وظایف

دسته‌ها	روش‌های موجود	مزایا و معایب
مزایده مبنا	CNP, Norm-based CNP [19]	- محبوب‌ترین راه‌حل برای حل MRTA هستند [۱۹]. بیشتر برای حوزه‌های رباتیک و سیستم‌های چندعاملی مناسب هستند [۲۰]. در محیط‌هایی که جمع‌آوری اطلاعات لحظه‌ای دقیق از کل محیط دشوار باشد کاربرد دارند [۱۵]. از لحاظ تئوری، می‌توانند از تخصیص کار بهینه اطمینان دهند. - اگر هزینه‌های ارتباطی بیش‌ازحد بالا باشد، امکان شکست در ارتباطات ربات‌ها وجود دارد [۲۱].
اجتماع مبنا	CBBA ^۱ , HRCA ^۲ [23]	- در محیط‌های پویا و با وجود نویز حس‌گر و متنوع بودن توپولوژی‌های شبکه، امکان سازگاری و همگرایی در آگاهی محیطی در میان تمام اعضا را فراهم می‌کند [۲۲]. - عموماً زمان‌بر بوده و نیاز به مبادله‌ی حجم عظیمی از داده‌ها دارند [۲۲].
بهینه‌سازی	الگوریتم مجارستانی [۲۶] ACO ^۳ , PSO ^۴ , GA ^۵ , Tabu ^۶ , SA ^۷ , A* [27]	- روش‌های اکتشافی و فرابتکاری بهینگی کلی را حفظ می‌کنند اما صرفاً بهینه‌ی محلی را نتیجه می‌دهند [۲۱] - مقیاس‌پذیری ضعیفی دارند [۲۴] و در مقابله با مسائل پویا روشی استاندارد برای ارزیابی عملکرد آن‌ها وجود ندارد [۲۵]. برای روش‌های برنامه‌ریزی خطی، راه‌حل‌های بهینه در سیستم‌های بزرگ امکان‌پذیر نیست.
تشکیل ائتلاف	الگوریتم ژنتیک [۲۹] ائتلاف پی‌درپی، ائتلاف جامع [۳۰]	- پس از تشکیل ائتلاف، روش‌های تخصیص در دامنه‌ی روش‌های ازدحام تا مدل‌سازی سنتی و رویکردهای برنامه‌ریزی قابل‌استفاده هستند [۲۸]. - با فرض یک عامل از هر نوع به‌عنوان سرگروه، بخشی از تصمیم‌گیری‌ها بر عهده این عامل قرار می‌گیرد.
یادگیری	یادگیری Q، CBR ^۷	- برای فراهم کردن قوانین مازاد و درجه‌ی بالاتری از اختیار نقش مؤثری دارند، عموماً در سیستم‌های دارای دو بخش متمرکز و غیرمتمرکز استفاده می‌شوند که یادگیری در بخش متمرکز است [۳۱]. - باوجود تلاش‌هایی برای استفاده از یادگیری به صورت توزیع یافته، این روش‌ها ماهیت متمرکز دارند [۳۲].
سایر روش	تخته‌سیاه [۳۴]، نظریه بازی‌ها [۲، ۳۳]، همکاری وزنی در محیط های بحران‌زده [۱۱]	- این روش‌ها در تحقیقات اندکی و به صورت موردی در پدیده‌ای خاص گسترش داده‌شده‌اند. استفاده از نظریه بازی‌ها در محیط‌های بحران‌زده نیز صورت گرفته است [۲، ۳۳]. هر کدام از این روش‌ها مزایا و معایب مربوط به خود را دارند. به نظر می‌رسد استفاده از این روش‌ها با فرض ارائه‌ی راهکاری برای حل محدودیت آن‌ها در تحقیقات آتی بیشتر مورد بررسی قرار بگیرند.

۲-۲- روش‌های تخصیص مجدد و برنامه‌ریزی مجدد

که اختلاف بین اختلالات پیش‌بینی‌شده و برنامه موجود را کمینه می‌کند و (۳) رویکردهای پیش‌بینی-واکنشی که ابتدا یک برنامه‌ی پیش‌گویانه تولید و در مرحله دوم، یک برنامه واکنشی پس از رخداد یک اختلال تولید می‌شود. Gokilavani و همکاران [۳۵] روش‌های تخصیص و برنامه‌ریزی مجدد را در پروتکل شایعات، الگوریتم زنبورعسل، بهینه‌سازی کلونی مورچه، بسته‌بندی، برنامه‌ریزی غیر پیشگیرانه و پیشگیرانه و الگوریتم اولویت طبقه‌بندی کردند. Blythe و همکاران [۶] تقسیم‌بندی به روش‌های تقریبی و

الگوریتم‌های مختلفی برای زمان‌بندی و تخصیص مجدد وظایف با توجه به شرایط موجود در محیط پیشنهاد شده‌اند [۳۵]. Aytug و همکاران [۳۶] سه رویکرد برای برنامه‌ریزی مطرح کردند: (۱) رویکردهای واکنشی که با در نظر گرفتن اطلاعات جدید در دسترس در حال حاضر در زمان واقعی تخصیص می‌یابند، (۲) رویکردهای برنامه‌ریزی روباست

^۱ Consensus-Based Bundle Algorithm

^۲ Heterogeneous Robots Consensus-Based Allocation

^۳ Genetic

^۴ Ant Colony Algorithm

^۵ Particle Swarm Optimization

^۶ Simulated Annealing

^۷ Case-Based Reasoning

کرده و برای مسائل در مقیاس بزرگ بسیار وقت گیر و غیر آنی است [۳۷].

با جمع بندی تحقیقات پیشین مشاهده می شود که با توجه به تعداد زیاد گروه های کاری، عدم قطعیت های موجود و ماهیت پویای سیستم های چندعاملی در محیط های بحران زده مفهوم برنامه ریزی کلی جامعیت چندانی ندارد و بهتر است برنامه به صورت مقطعی و محلی تولید شود. برنامه ریزی برای مواردی مناسب است که تعداد وظایف اولیه ثابت است و میزان تغییرات اندک باشد. اگرچه، روش های مختلفی برای حل مسئله تخصیص وظایف وجود دارد اما اکثر این الگوریتم ها قابلیت توسعه برای شرایط و محدودیت های خاص مانند عملیات امداد و نجات را ندارند. روش های تخصیص وظایف در عملیات امداد و نجات شهری باید شامل استراتژی مختلف برای تمامی موقعیت ها بوده و در زمان آنی^۸ و محیط پویا تولید شوند. با وجود لحاظ تخصیص مجدد در تحقیقات دیگر، این مسئله در محیط های امداد و نجات در شرایط بحرانی (مانند زلزله) به ندرت اعمال شده است. برخلاف تحقیقات پیشین ما رویکردی بر اساس استراتژی های مکانی تعریف می کنیم به گونه ای نتایج تخصیص اولیه در آینده برای تخصیص های دیگر قابل استفاده شود و متناسب با محیط های امداد و نجات شهری باشد استفاده شود. در حل مسئله تخصیص مجدد گروه های امداد و نجات، مسئله مهم دیگر زمان محدود برای تخصیص و برنامه ریزی دوباره می باشد. لذا ما به دنبال گسترش روش CNP به عنوان روشی سریع برای حل مسئله بودیم.

۳- مواد روش ها

۳-۱- سناریوی محیط های بحران زده

رویکرد پیشنهاد شده در این تحقیق مختص به پدیده و موضوع خاصی نیست ولی با توجه استراتژی های مکانی لحاظ شده مناسب برای محیط های بحران زده (عملیات امداد و نجات بعد از زلزله) می باشد. محیط ساده شده ی بحران را می توان به صورت شکل ۱ نمایش داد.

دقیق دسته بندی دیگر می باشد. الگوریتم حراج^۱، کلونی مورچه، SA [۳۷]، روش های تقریبی هستند، که یک راه حل عملی و نه الزاماً بهینه را تهیه می کند. الگوریتم های مانند تولید ستون [۳۷] و برنامه ریزی عدد صحیح خطی [۶] روش های دقیق هستند و برای حل مسائل بزرگ مقیاس بسیار وقت گیرتر از روش های تقریبی هستند.

سیاست های مختلفی نیز مانند وارد کردن یک کار در اولین شکاف زمانی و وارد کردن یک کار تنها پس از آخرین کار برنامه ریزی شده [۱۲]، استراتژی های^۲ [۶]، MCP^۳، CCF^۴، HLFET^۵، مسیریابی جدید کار، مسیریابی مجدد کامل، برنامه ریزی مجدد دوره ای و برنامه ریزی مجدد رویداد محور، برای برنامه ریزی مجدد کار فروشگاه [۳۷] در روش های مختلف تخصیص مورد بررسی قرار گرفت.

برخی روش های تخصیص مانند مدل تخصیص مجدد بارنوم و گلسون برای تخصیص مجدد نفرات کاری در سازمان ها کاربرد داند [۳۸]. در این گونه روش ها مدت زمانی که اجرای روش طول می کشد مهم نیست. لذا بیشتر در مفاهیم صنایع و در تخصیص منابع مانند باز مهندسی سازمان ها به منظور آرایش مجدد ترتیبات سازمان ها قابل استفاده است.

در برخی تحقیقات مانند مسائل تخصیص مجدد ورودی ها^۶ (GRP) با استفاده از روش های فرا ابتکاری به گونه ای که تأخیرهای متوالی کمینه شود جداول اولیه تخصیص ایجاد می شود [۳۹]. بروز وقایع ناخواسته می تواند باعث ایجاد اختلال در جدول اولیه شود. این روش ها برای تعداد وظایف زیاد پاسخ گو نیستند.

روش های اکتشافی مانند SA و کلونی مورچه بهینه ی کلی مسئله را پیدا نکرده و جواب های محلی را ارائه می دهد. در مقابل الگوریتم های دقیق مثلاً الگوریتم شاخه و حد با نسل ستون^۷ (BBCG) [۱۲، ۱۳] مسائل را در مقیاس کوچک (مانند ۱۰ شغل و ۳ وسایل نقلیه) حل

^۱ Auction based

^۲ Matchmaking

^۳ Highest Level First with Estimated Times

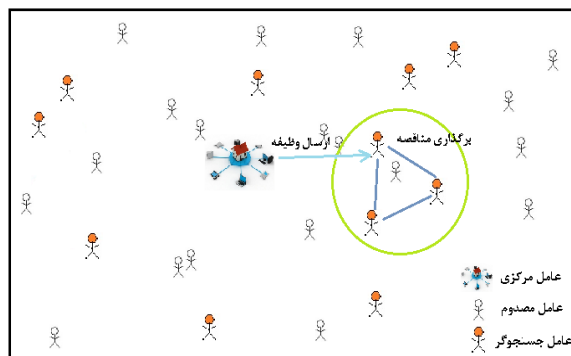
^۴ Cluster ready Children First

^۵ Modified Critical Path

^۶ Gate Reassignment Problem

^۷ Branch-and-Bound with Column Generation

^۸ Real-time

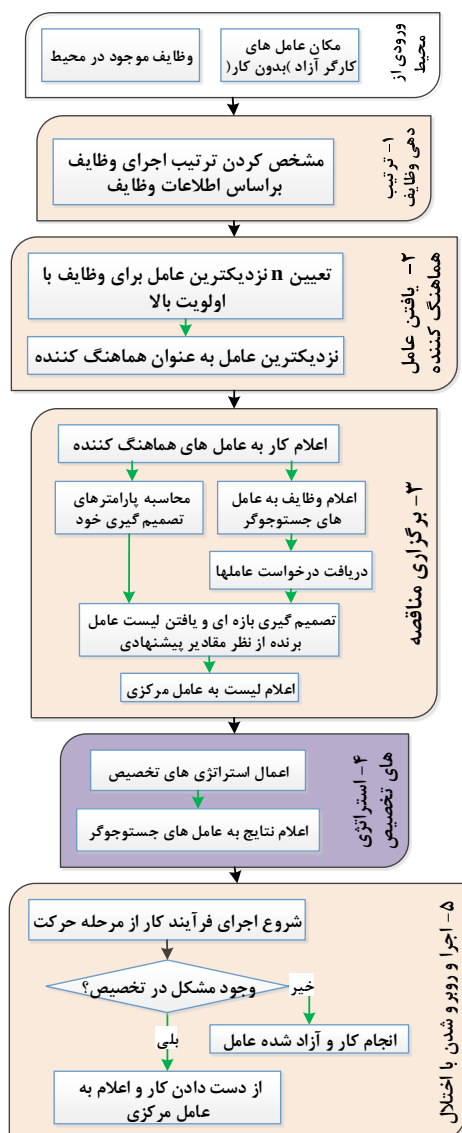


شکل ۱- محیط ساده شده‌ی عملیات امداد و نجات

در سناریوی تحقیق فرض می‌شود که مصدومان در یک محیط بحران‌زده (مانند زلزله) پراکنده شده‌اند. تعداد مصدومان از تعداد جستجوگران بیشتر بوده و هر کدام از مصدومان درجه فوریتی برای رسیدگی دارند. انجام وظایف شامل فرآیندی برای نجات مصدومان می‌باشد. انجام وظایف با تخصیص مصدومان به عامل‌های جستجوگر شروع شده و با مراجعه عامل‌های جستجوگر مربوطه به موقعیت مصدومان و نجات آن‌ها خاتمه می‌یابد. موقعیت احتمالی مصدومان در محیط را می‌توان به صورت تصادفی و یا با استفاده از روش‌های شبیه‌سازی‌شده در حوزه‌ی میزان تخریب ساختمان‌ها پیش‌بینی کرد [۳، ۴۰]. بعد از مشخص شدن وظایف عامل‌ها، عاملی که تخصیص برای آن صورت گرفته به سمت اجرای کار حرکت می‌کند. با احتمالات مختلفی (مثلاً ۳۰ درصد) ممکن است اجرای وظایف با مشکل (اختلال) روبرو شود، منشأ این اختلال می‌تواند عوامل مختلفی باشد [۳، ۷]. عدم قطعیت‌های محیطی یکی از عوامل اصلی اختلال در برنامه‌ی تخصیص وظایف می‌باشد. عدم قطعیت در تعداد مصدومان، شدت جراحت مصدومان، انرژی عامل، وضعیت مسیر، زمان اجرای کار توسط عاملو غیره به عنوان عدم قطعیت‌های رایج در تخصیص وظایف در محیط‌های بحران‌زده (زلزله) می‌باشند [۷]. بعد از تخصیص وظایف، در صورتی‌که عامل بنا به خطاهای موجود وظیفه‌ی خود را تکمیل نکند مجدداً کار مورد نظر را به‌روزرسانی کرده و به عامل مرکزی اعلام می‌کند و فرآیند تخصیص مجدداً انجام می‌شود.

سناریوی بیان شده در قالب روش پیشنهادی برای تخصیص وظایف با استراتژی‌های تخصیص در شکل ۲ نشان داده شده است. پنج مرحله‌ی اصلی به ترتیبی شامل اولویت‌دهی وظایف، یافتن عامل هماهنگ‌کننده و ارسال

وظیفه به آن، برگزاری مناقصه، اعمال استراتژی‌های تخصیص، و اجرا و مشاهده‌ی محیط می‌باشد.



شکل ۲- فرآیند تخصیص وظایف در روش پیشنهادی با پنج فاز اصلی

سیستم چندعاملی مطرح‌شده شامل چهار دسته از عامل‌های مستقل عامل مرکزی، عامل هماهنگ‌کننده، عامل جستجوگر و عامل مصدوم می‌باشد. هر عامل نشان‌دهنده‌ی یک موجودیت فیزیکی از عملیات امداد و نجات است، که شامل یک یا چند تابع برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری است. این عوامل مستقل، عقلانی و قادر به برقراری ارتباط با یکدیگر می‌باشند. هر یک از عامل‌ها (به‌جز عامل مصدوم) منطقی بوده در محیط مکان‌مند^۱

^۱ Geo-referenced

۳-۲-۲- یافتن عامل هماهنگ کننده

بعد از ترتیب‌دهی وظایف توسط عامل مرکزی، برای هر وظیفه n عامل که قبلاً به کاری انتساب داده نشده‌اند، شناسایی کرده و از بین آن‌ها عاملی را به عنوان هماهنگ کننده انتخاب می‌کند. انتخاب عامل هماهنگ کننده و ایجاد گروه برای اجرای هر وظیفه می‌تواند به روش‌های مختلف (مانند روش‌های تشکیل ائتلاف) و با توجه به معیارهای مختلفی صورت بگیرد [۳۰]. عامل هماهنگ کننده مسئول برگزاری مناقصه و هماهنگی در میان عده‌ای محدودی از عامل‌ها می‌باشد. یافتن هماهنگ کننده بحث اصلی تحقیق ما نیست، از این‌رو از یک روش ساده استفاده شد تا پیچیدگی مسئله کاهش یابد. عامل مرکزی که از موقعیت عامل‌ها اطلاع دارد، برای هر وظیفه n عامل را با توجه به یک ویژگی خاص (مثلاً در تحقیق ما فاصله) انتخاب می‌کند. از بین این عامل‌ها، عاملی که نزدیک‌ترین عضو به کار است به عنوان هماهنگ کننده انتخاب می‌شود. انتخاب هماهنگ کننده سربار محاسبات برای عامل مرکزی را کاهش داده و محاسبات را توزیع یافته انجام می‌دهد. از طرفی با توجه به نزدیکی عامل‌ها به یکدیگر در محیط بحران زده اختلال در ارتباطات و محدودیت‌های انتقال پیام کاهش پیدا می‌کند.

۳-۲-۳- برگزاری مناقصه

عامل هماهنگ کننده بعد از دریافت ویژگی‌های وظیفه و لیست عامل‌های زیرگروه، مناقصه را برگزار می‌کند. برای برگزاری مناقصه از پروتکل قرارداد شبکه (CNP) لحاظ شده استفاده شد. این روش راه‌حل‌های بهینه‌ی محلی تولید می‌کنند و به‌وفور در سیستم‌های چندعاملی استفاده شده‌است [۲۲]. روند کاری در روش CNP همانند شکل ۳ می‌باشد.

توزیع شده و موقعیت مکانی ۲D دارند. هر کدام از عامل‌ها وظیفه‌ی خاصی به صورت زیر دارند.

عامل مرکزی: این عامل مسئول اولویت‌دهی وظایف، مشخص کردن عامل هماهنگ کننده، ارزیابی نهایی بین عامل‌های جستجوگر و اعلام وظیفه به آن‌ها و اعمال استراتژی‌های باز تخصیص می‌باشد.

عامل هماهنگ کننده: این عامل مسئول برگزاری مناقصه، ارسال و اخذ نظرات عامل‌های جستجوگر، ارسال ترتیب‌دهی عامل‌های شرکت کننده در مزایده به عامل مرکزی می‌باشد.

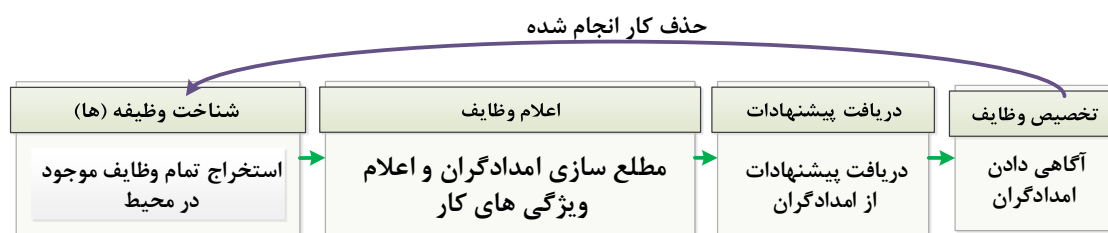
عامل جستجوگر: این عامل مسئول جستجوی عامل مصدوم و ارسال مشکل در وظیفه به عامل مرکزی می‌باشد. **مصدوم:** این عامل ساکن در محیط بوده و با گذر زمان وضعیت حیاتی آن تغییر می‌کند.

۳-۲- روش پیشنهادی

در ادامه مراحل روش پیشنهادی در پنج فاز بیان می‌شود. در ابتدا به عنوان ورودی فرض می‌شود مجموعه‌ای از وظایف وجود دارند و هر کدام از وظایف ویژگی‌های مختلفی دارند که می‌توان بر اساس آن اولویت انجام وظایف را مشخص کرد. برای مثال در هر نقطه تعداد مصدومان وجود دارد. طبیعتاً هر چه تعداد مصدومان در منطقه بیشتر باشد اولویت انجام وظیفه بالاتر است.

۳-۲-۱- ترتیب‌دهی وظایف موجود

در فضاهای بحران زده مانند زلزله همواره تعداد وظایف (مصدومان) از تعداد جستجوگرها بیشتر است لذا فرصت انجام تمامی کارها در زمان محدود وجود ندارد. همواره درجات مختلفی از فوریت وجود دارد. وظایف با درجه اولویت بالاتر، نیاز است اول انجام شوند، درحالی که وظایف با درجه پایین‌تر فوریت در طول تخصیص کار اگر منابع کافی نباشد را می‌توان نادیده گرفت [۱۱]. با توجه به این- که در محیط بحران زده اولویت نجات یک مصدوم ناشی از عوامل مختلفی است، باید بر اساس ویژگی‌های وظیفه اولویت انجام کار را مشخص کرد. در این تحقیق اولویت وظایف بر اساس تعداد مصدومان تعیین می‌شود. این بخش توسط عامل مرکزی انجام می‌شود.



شکل ۳- فرآیند برگزاری مناقصه در روش CNP

این گونه موارد بهتر است تخصیص اولیه به گونه‌ای انجام شود که در صورت نیاز به تخصیص مجدد کمترین اتلاف زمان در انجام عملیات صورت بگیرد. این فاز از اجرای برنامه نوآوری اصلی این تحقیق است.

در این مرحله عامل مرکزی بعد از اخذ لیست تمام عامل‌های سرگروه، متناسب با استراتژی‌های مختلف شروع به تخصیص وظایف می‌کند. استراتژی‌های تخصیص وظایف برای مسئله‌ی امداد و نجات در دست بررسی، با لحاظ پیچیدگی محاسباتی پایین و اجرای آسان قابل اعمال می‌باشد. در هر استراتژی اولویت به وظایف خاصی داده می‌شود. در این بخش، ما چهار رویکردهای مبتنی بر سیاست‌های متفاوت توصیف می‌کنیم.

۱- تخصیص وظایف با اولویت بالاتر

در این استراتژی بعد از اخذ ترتیب وظایف و اولویت گروه‌های امداد و نجات از مرحله‌ی قبل (اولویت‌بندی و مناقصه)، مسئله‌ی تخصیص وظایف با تخصیص وظایف با اولویت بالاتر شروع می‌شود. لذا ابتدا برای وظیفه با بالاترین اولویت، عاملی که بهترین برآورد را داشته انتخاب می‌شود و عامل انتخاب شده از لیست عامل‌های بدون کار و از لیست وظایف دیگر نیز حذف می‌شود. در ادامه وظایف با اولویت‌های پایین‌تر به همان ترتیب تخصیص داده می‌شوند. مشکل این استراتژی این است که ممکن است در مرحله‌ی آخر فرآیند تخصیص، برخی از عامل‌ها که برای تعداد وظایف کمتری بید گذاری کرده‌اند، بدون کار بمانند.

۲- تخصیص وظایف به همه‌ی عامل‌ها ترجیحاً به عامل با بهترین برآورد

این استراتژی بر اساس استفاده‌ی بهینه از تمامی گروه‌های امداد و نجات است. در این استراتژی به همه‌ی عامل‌ها وظایفی تخصیص داده می‌شود. برای این منظور ابتدا تخصیص وظایف به عاملی صورت می‌گیرد که برای کمترین تعداد کار درخواست داده است. برای این عامل در

در این روش عامل‌ها برای کارها درخواست (بید)^۱ می‌گذارند و عاملی که ارزش بالاتری را برای کار پیشنهاد کند، برنده می‌شود. در مناقصه‌ی برگزار شده عامل‌های جستجوگر یک مقدار هزینه (Cost) را با استفاده از رابطه ۱ برمی‌گرداند. تابع هزینه‌ی ارائه شده در رابطه‌ی ۱ از تحقیق راسخ و وفایی‌نژاد (۱۳۹۳) اقتباس شده که با برگزاری جلسات مختلف کارشناسی و استفاده از تجربیات متخصصان پیشنهاد کرده‌اند. در این رابطه X مدت زمانی است که طول می‌کشد عامل از موقعیت خود به موقعیت کار برسد، Y ضریب سختی کار، Z ضریب اولویت، K ضریب سختی و T مدت زمان انجام هر فعالیت است [۴۱].

$$\text{Cost} = X + (10 \times Y) + (10 \times Z) + (10 \times K) + T \quad (۱)$$

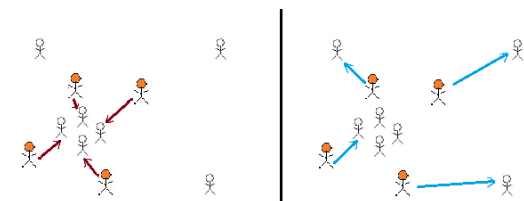
لذا مناقصه‌گر (عامل هماهنگ‌کننده) بر اساس مقادیر پیشنهادی عامل‌ها را ترتیب‌دهی می‌کند. با توجه به این- که ممکن است در هر لحظه بیش از یک مناقصه در حال انجام باشد، عامل هماهنگ‌کننده بعد از ترتیب‌دهی عامل-ها نتایج را به عامل مرکزی ارسال می‌کند. استفاده از عامل مرکزی این امکان را فراهم می‌کند تا با توجه به اولویت وظایف و همچنین ظرفیت عامل‌های دیگر بهترین تصمیم‌گیری انجام شود.

۳-۲-۴ اعمال استراتژی‌های تخصیص

در محیط‌های بحران‌زده تنها بخشی‌هایی از جریان کار آماده برای اجرا هستند و برخی از وظایف تخصیص داده شده ممکن است در فرآیند اجرا با مشکل روبرو شوند. لذا مسئله‌ی تخصیص وظایف را نباید به صورت تک‌مرحله‌ای و قطعی در نظر گرفت. در موارد بسیاری ممکن است تخصیص اولیه با مشکل روبرو شود یا وظایفی جدید به برنامه اضافه شوند، لذا به برنامه‌ریزی مجدد نیاز باشد. در

^۱ Bid

است سطح خسارت به صورت یکنواخت خواهد بود. لذا تجمع مصدومان در یک منطقه عموماً وجود ندارد. با اعمال این استراتژی از همگرایی بیش از حد گروه‌های امداد و نجات جلوگیری به عمل می‌آید. برای اعمال این استراتژی تخصیص وظایف، در تابع هدف، در ضمن این‌که باید وظایف به عامل‌هایی برسد که بهترین اولویت را در لیست وظایف دارند باید تراکم محیطی نیز بیشترین مقدار شود. زیر مسئله‌ی بهترین تراکم را می‌توان توسط الگوریتم‌هایی فرابتکاری مختلفی انجام داد. در این تحقیق از روش SA استفاده شد. استفاده از مفاهیم علم اطلاعات مکانی^۱ (GIS) در این حوزه می‌تواند توزیع‌های مناسبی برای عامل‌ها ایجاد کند. شکل ۵ نمایشی از تفاوت نتایج تخصیص وظایف به ازای استراتژی ۲ و استراتژی ۴ را نشان می‌دهد.



شکل ۵- نمایش استراتژی ایجاد بهترین تراکم، فلش قرمز نشان دهنده ی عامل‌های جستجوگری برنده در استراتژی ۲ و فلش آبی نتیجه نهایی برای استراتژی ۴ را نشان می‌دهد.

با اعمال این استراتژی‌ها، عامل هماهنگ‌کننده بهینگی محلی^۲ و عامل مرکزی بهینگی کلی^۳ را تأمین می‌کنند. در ادامه، پس از محاسبه‌ی راه‌حل‌های نهایی، عامل مرکزی اطلاعات نهایی را به گروه‌های امداد و نجات مورد نظر می‌فرستد. هر عامل امداد و نجات به سمت اجرای وظایفی که به آن‌ها تخصیص داده شده، حرکت می‌کند. در مسئله‌ی مورد نظر، موقعیت عامل‌های امدادگر پیوسته در حال تغییر است و در نهایت بعد از انجام وظیفه مورد نظر موقعیت نهایی گروه، موقعیت آخرین کار اختصاص داده شده است.

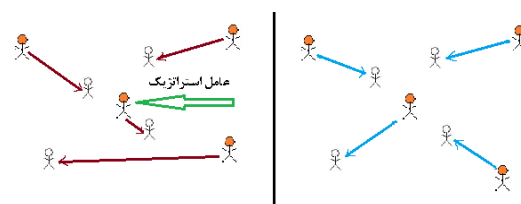
۳-۲-۵- اجرا و روبرو شدن با اختلال در انجام وظیفه

فاز اجرای وظایف توسط عامل‌ها در یک محیط پویا و متحرک که همواره استثنائاتی در حین اجرای وظایف رخ

بین مجموعه وظایفی که عامل برای آن‌ها درخواست داده وظیفه‌ای را که در آن جایگاه بهتری از نظر اولویت دارد انتخاب می‌شود. در ادامه عامل و وظیفه‌ی انتخاب شده از لیست عامل‌ها و وظایف حذف شده و ادامه‌ی تخصیص با عاملی صوت می‌گیرد که کمترین تعداد درخواست را برای وظایف موجود داده است.

۳- تخصیص با نگره داشتن عامل‌های استراتژیک

در این استراتژی عامل‌هایی که نقش استراتژیک و مهمی در فرآیند تخصیص دارند از فرآیند تخصیص کنار گذاشته می‌شود تا در صورتی‌که در طول فرآیند تخصیص، وظایفی با مشکل روبرو شدند، این عامل‌ها بتوانند در اجرای وظایف کمک کنند. این‌که چه عامل‌هایی نقش استراتژیک دارند می‌توانند تعاریف متعددی داشته باشد. در این تحقیق عامل‌هایی را که در وظایف بیشتری در مزایده شرکت کرده‌اند به عنوان عامل‌ها با موقعیت استراتژیک تعریف می‌شود. شکل ۴ نمایشی از تفاوت نتایج تخصیص وظایف به ازای استراتژی ۲ و استراتژی ۳ را نشان می‌دهد.



شکل ۴- نمایش عامل استراتژیک، فلش قرمز نشان دهنده ی عامل‌های جستجوگری برنده در استراتژی ۲ و فلش آبی نتیجه نهایی برای استراتژی ۳ را نشان می‌دهد.

۴- تخصیص وظایف با ایجاد بهترین تراکم در محیط (تخصیص مکانی)

این استراتژی‌های بر اساس حجم بهترین تراکم عامل‌های امدادگر است. در این استراتژی فرآیند تخصیص وظایف به گونه‌ای صورت می‌گیرد که توزیع یکنواختی از عامل‌ها در محیط موجود باشد. عموماً در محیط اطلاع دقیقی از وضعیت وظایف موجود نیست، این استراتژی به دنبال این است که در صورت بالا بودن عدم قطعیت در بخشی از محیط چینش کلی گروه‌های امداد و نجات بر هم نخورد. این استراتژی بر خواسته از این واقعیت است که در محیط‌های بحران‌زده مانند زلزله حادثه در یک سطح گسترده صورت می‌گیرد و عموماً چون بافت منطقه یکسان

^۱ Geospatial Information science

^۲ Local optimality

^۳ Global optimality

می‌دهد شبیه‌سازی می‌شود. عامل بعد از شروع به کار کردن محیط را مشاهده می‌کند. در این تحقیق فرض می‌شود به ازای نرخ‌های مختلفی از عدم قطعیت (مثلاً ۱۰ درصد، ۲۰ درصد) تخصیص وظایف با مشکل روبرو شود. در صورتی که تخصیص وظایف با مشکل روبرو شود عامل مربوطه مجدداً وظیفه را با به عامل مرکزی می‌فرستد. عامل مرکزی وظایف موجود در محیط را در قالب تخصیص مجدد بعد از اولویت‌دهی و مقایسه‌ی عامل‌های دیگر واگذار کند. در زمان رسیدن یک کار جدید، تخصیص وظایف با وظایف جدید و وظایف اجرا نشده‌ی قبلی حل می‌شود.

۳-۳- روش ارزیابی

هدف از شبیه‌سازی بررسی کیفیت و قابلیت اطمینان از الگوریتم برنامه‌ریزی مجدد است. به علت ماهیت پویا و ناهمگن محیط‌های مختلف، ارزیابی یک الگوریتم زمان-بندی معمولاً در مرحله‌ی اول با استفاده از مدل‌سازی و شبیه‌سازی انجام می‌شود [۱۲]. شبیه‌سازی یک رویکرد مناسب برای پیاده‌سازی و اعتبارسنجی یک روش پیشنهادی در حوزه تخصیص وظایف است [۱۴]. در یک بستر آزمایشی واقعی، شرایط و وضعیت اجرای سناریوها برای تولید مجدد سخت می‌باشد. همچنین، پیاده‌سازی در دنیای واقعی محدودیت‌هایی در ارتباط با هزینه‌ها، همچنین محدودیت در تعداد حالات و موقعیت‌های تجربی دارد [۱۲]. از این رو، ما ارزیابی رویکرد پیشنهادی خود را در قالب شبیه‌سازی جزئیات مدل‌سازی می‌کنیم.

در این تحقیق، محیط واقعی مدل شده یک محیط بحران‌زده‌ی زلزله است. این محیط از چندین مصدوم تشکیل یافته که نیاز به گروهی از عامل‌های امداد و نجات برای جستجو و نجات دارند. به منظور مدل‌سازی چنین سیستمی، ما یک سیستم چند عاملی متشکل از عامل‌های همگن و مستقل، که با یکدیگر همکاری می‌کنند، توسعه دادیم. محیط لحاظ شده یک محیط مربعی به طول هر ضلع ۲ کیلومتر متشکل از (۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰) مصدوم که به‌طور تصادفی توزیع شده‌اند و باید توسط (۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰) عامل جستجوگر واقع در مکان اولیه تصادفی نجات داده شوند، می‌باشد. تخصیص وظایف در نظر گرفته شده کارآمد خواهد بود اگر مدت زمان لازم برای ایجاد برنامه کوتاه باشد و پارامترهای سودآوری بیشینه باشند. با توجه

به تحقیقات و بررسی‌های اخیر ارائه شده در [۱، ۷، ۴۲] برای تمرکز بر روی عملکرد روش‌های پیشنهادی، سه معیار عملکرد سوددهی تعداد قربانیان فوت‌شده، تعداد تخصیص‌های اشتباه و زمان امداد و نجات ذکر شد. مقادیر محاسبه‌شده برای پارامترهای سوددهی برای هر سناریو میانگین داده برای ۱۰ مورد اجرا در هر حالت بیان شد.

۴- مراحل اجرایی و نتایج (بحث و نتیجه‌گیری)

برای ارزیابی روش و استراتژی‌های پیشنهادی سناریوهای و آزمایش‌های مختلفی طراحی شد. راه‌حل پیشنهادشده در نرم‌افزار Matlab (R2013a) شبیه‌سازی شد. در این بخش، نتایج حاصل از دو تحلیل ارائه شد. تجزیه و تحلیل اول برای ارزیابی عملکرد رویکرد پیشنهادی در مقیاس‌های مختلف به ازای معیارهای مختلف و تحلیل دوم بررسی مدت زمان عملیات امداد و نجات در رویکرد پیشنهادی به ازای نرخ‌های مختلف از اختلالات (ناشی از عدم قطعیت) متمرکز شد.

۴-۱- مقیاس‌پذیری روش پیشنهادی

از مشکلات عمده در محیط برنامه‌ریزی و تخصیص وظایف مقیاس‌پذیری، قابلیت اطمینان، عملکرد، تخصیص مجدد منابع به صورت پویا می‌باشد [۳۵]. تخصیص وظایف در محیط‌های بحران‌زده زمانی دشوار می‌شود که تعداد وظایف و گروه‌های امداد و نجات افزایش یابد. بالا بودن تعداد اعضای سیستم موجب پیچیدگی محیط واقعی و لذا پیچیدگی محاسبات می‌شود. در این شرایط عملیات USAR دشوارتر می‌شود. برای تشخیص کارایی رویکردهای پیشنهادی در محیط‌های امداد و نجات، مقایسه و ارزیابی‌هایی در مقیاس‌های مختلف انجام شد. در این تحقیق ۹ سناریو برای مقیاس‌ها مختلف استفاده و با CNP سنتی مقایسه شد. برای تعداد عامل‌ها سه حالت ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ و برای هر تعداد از عامل‌ها، سه مقدار برای تعداد وظایف به ترتیب ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ وظیفه مد نظر قرار گرفت. CNP توسعه داده شده با استراتژی‌های مکانی با روش CNP سنتی مقایسه شد. جدول ۲ زمان اجرای عملیات امداد و نجات در سناریوها و مقیاس‌های مختلف را نشان می‌دهد.

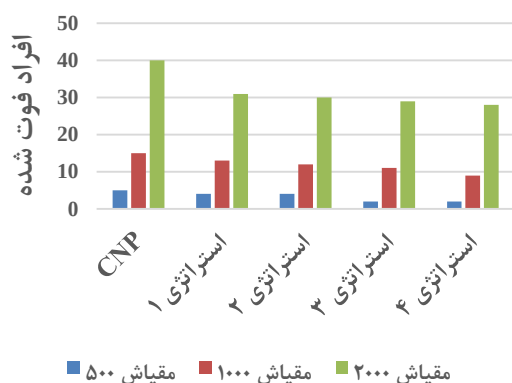
جدول ۲- مقایسه‌ی روش پیشنهادی با پروتکل قرارداد شبکه (نتایج برحسب عدم قطعیت ۳۰٪)

تعداد عامل‌ها تعداد وظایف	۵۰			۱۰۰			۲۰۰		
	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰
CNP	۶۷۹/۱	۱۴۷۳/۸	۲۹۴۱/۷	۳۱۸/۱	۷۲۳/۶	۱۳۷۰/۲	۱۶۲/۴	۳۸۱/۵	۷۵۲/۹
استراتژی ۱	۵۸۰/۵	۱۲۴۸/۲	۲۵۴۹/۲	۲۵۵/۶	۵۹۹/۷	۱۱۰۹/۰	۱۴۱/۶	۳۲۸/۶	۶۳۸/۷
استراتژی ۲	۴۷۸/۳	۱۱۷۵/۰	۲۴۴۱/۶	۲۵۶/۷	۵۹۸/۶	۱۱۰۸/۲	۱۳۸/۰	۳۲۲/۲	۶۱۹/۳
استراتژی ۳	۵۵۹/۶	۱۱۵۲/۳	۲۳۸۵/۳	۲۵۲/۳	۵۸۵/۶	۱۰۶۶/۳	۱۳۲/۶	۳۱۴/۳	۵۹۸/۴
استراتژی ۴	۵۵۸/۰	۱۱۴۹/۶	۲۳۸۳/۰	۲۴۴/۶	۵۶۹/۲	۱۰۵۲/۲	۱۲۹/۴	۳۱۲/۶	۵۸۶/۶

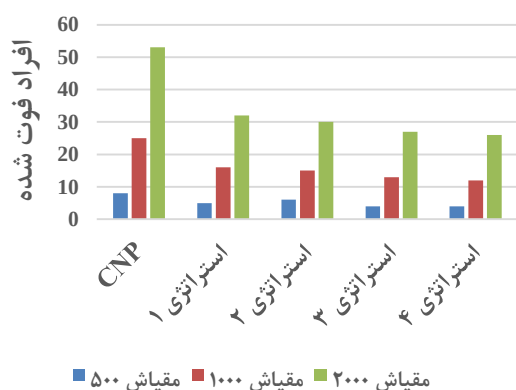
با افزایش تعداد عامل‌ها در عملیات امداد و نجات، در یک مقیاس ثابت از وظایف، مدت‌زمان عملیات کاهش پیدا می‌کند. نرخ این کاهش با دو برابر کردن تعداد عامل‌ها بین ۰/۴۲ تا ۰/۵۷ است. با افزایش تعداد وظایف برای یک تعداد خاص عامل، مدت‌زمان عملیات افزایش می‌یابد. نرخ این تغییر برای دو برابر کردن تعداد وظایف، افزایش ۲/۱۱ برابری است. لذا؛ زمان عملیات امداد و نجات با تعداد عامل‌های جستجوگر و تعداد وظایف موجود در سناریو رابطه دارد. رابطه‌ی زمان عملیات امداد و نجات با تعداد عامل‌های جستجوگر رابطه‌ای معکوس می‌باشد، این رابطه با تعداد وظایف مستقیم می‌باشد.

در نظر گرفتن احتمال عدم اجرای وظایف با هر استراتژی تخصیص نتایجی بهتر از روش CNP ارائه داد. حداقل بهبود نتایج با دخالت دادن احتمال اختلال در تخصیص وظایف و استراتژی‌های مطرح ۲۰ دقیقه برای سناریوی ۲۰۰-۵۰۰ (یعنی ۲۰۰ عامل و ۵۰۰ وظیفه) بود، حداکثر بهبود زمانی ۵۵۸ دقیقه برای ۵۰-۲۰۰۰، متوسط مقدار بهبود نیز ۱۸۳ دقیقه می‌باشد. در بین استراتژی‌های تخصیص، استراتژی ۱، بدترین جواب را ارائه داد، می‌توان گفت در هر مقیاس از سناریوهای مورد بحث نسبت به استراتژی‌های دیگر بیشترین زمان عملیات امداد و نجات را ارائه داده است. استراتژی‌های ۱ و ۲ نتایج نزدیک به هم در مقیاس‌های مختلفی دارند، استراتژی ۲ تا حدودی نتایج بهتری ارائه می‌دهد. استراتژی ۴ که مبنای مکانی در تخصیص وظایف را دخالت می‌دهد نتایج بهتری دارد، در تمامی مقیاس‌های نتایج بهتری ارائه داده است. این استراتژی نسبت به CNP نرخ بهبود ۱۸٪ و ۲۰٪ و ۲۰٪ در مقیاس‌های ۵۰-۵۰۰، ۱۰۰-۱۰۰۰ و ۲۰۰-۲۰۰۰ ارائه داد. متوسط بهبود نتایج در این استراتژی برای استراتژی ۴، ۲۰۲ دقیقه در عملیات امداد و نجات بوده است. استفاده از این استراتژی در محیط‌های بزرگ‌تر، که توزیع مصدومان و عامل‌های امدادگر بیشتر است نمود بارزتری دارد، چرا که

کنترل کردن توزیع عامل‌ها با توجه به گستردگی محیط و شرایط عدم قطعیت حاکم بر محیط در تخصیص وظایف آینده می‌تواند مؤثر باشد. علت این امر در دنیای واقعی این است که عموماً در محیط‌های بحران‌زده تمامی محیط آسیب می‌بیند و مصدومان توزیع یکنواختی در محیط دارند، از این رو کنترل توزیع مکانی عامل‌ها نقش اساسی در عملیات امداد و نجات دارد. استفاده از مفاهیم علم اطلاعات مکانی (GIS) در ایجاد توزیع‌های مکانی مناسب برای عامل می‌تواند مؤثر باشد. نتایج برای شبیه‌سازی تعداد فوت‌شدگان برای تعداد عامل‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ با تعداد وظایف مختلف در اشکال ۶-۸ نمایش داده شده است.



شکل ۶- تعداد افراد فوت‌شده با ۱۰۰ عامل جستجوگر



شکل ۷- تعداد افراد فوت‌شده با ۵۰ عامل جستجوگر

جدول ۴- تعداد تخصیص‌های اشتباه با ۱۰۰ عامل جستجوگر

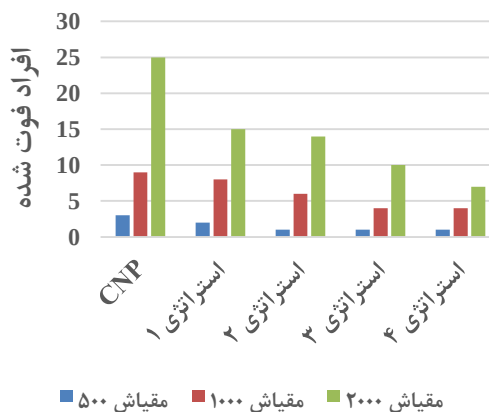
روش	تعداد وظایف		
	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰
CNP	۱۲۰	۲۲۵	۴۵۰
استراتژی ۱	۵۶	۱۰۰	۱۸۰
استراتژی ۲	۴۹	۹۹	۱۷۹
استراتژی ۳	۴۷	۸۵	۱۷۲
استراتژی ۴	۴۱	۸۰	۱۶۶

جدول ۵- تعداد تخصیص‌های اشتباه با ۲۰۰ عامل جستجوگر

روش	تعداد وظایف		
	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰
CNP	۱۱۸	۲۷۸	۴۶۲
استراتژی ۱	۷۵	۱۲۳	۲۰۵
استراتژی ۲	۵۰	۷۴	۱۹۹
استراتژی ۳	۴۵	۶۹	۱۸۱
استراتژی ۴	۴۲	۶۸	۱۸۰

اگر جداول ۳ تا ۵ هم‌زمان مد نظر قرار بگیرند مشاهده می‌شود که روند کلی در جداول تقریباً یکسان است. به این علت که تعداد تخصیص‌های اشتباه رابطه‌ای با تعداد عامل‌های جستجوگر ندارد و با افزایش تعداد عامل‌ها، تغییری در آن‌ها رخ نمی‌دهد. حداکثر تغییر در تعداد تخصیص‌های اشتباه به ازای افزایش مقیاس ۵۳ وظیفه، حداقل ۰ و به طور متوسط ۱۳ وظیفه می‌باشد. تعداد تخصیص‌های اشتباه با تعداد وظایف تغییر می‌کند و با افزایش تعداد وظایف، افزایش می‌یابد، در تمامی اشکال فوق این افزایش مشخص است. نحوه و میزان افزایش در تعداد تخصیص‌های اشتباه تقریباً با نرخ و مقدار ثابتی رخ می‌دهد.

جداول نشان می‌دهند که از این نظر نیز CNP سنتی بدترین جواب را ارائه می‌دهد. تعداد تخصیص‌های اشتباه در مقیاس ۵۰-۵۰۰، ۱۰۰-۱۰۰۰ و ۲۰۰-۲۰۰۰ به ترتیب ۱۱۲، ۲۲۵ و ۴۶۲ وظیفه می‌باشد. این معیار ارزیابی نیز نشان از مزیت استراتژی‌های تعریف شده در تخصیص وظایف است. لذا، استراتژی‌های پیشنهادی در هر سه پارامتر ارزیابی عملکرد بهتری نسبت به روش سنتی پروتکل قرارداد شبکه نشان داد. این پاسخ بهتر با افزایش مقیاس نمود بیشتری پیدا می‌کند، چرا که با بالاتر رفتن مقیاس اختلافشان با CNP بیشتر می‌شود.



شکل ۸- تعداد افراد فوت شده با ۲۰۰ عامل جستجوگر

نمودارهای فوق تعداد افراد فوت شده در فرآیند امداد و نجات در تعداد عامل‌ها و وظایف مختلف را نشان می‌دهد، با مشاهده‌ی اشکال ۳ تا ۵ مشخص است که با افزایش تعداد وظایف تعداد افراد فوت شده افزایش می‌یابد، از طرفی با افزایش تعداد عامل‌های جستجوگر تعداد فوت‌شدگان کاهش می‌یابد. از نظر تعداد افراد فوت شده در هر سه مقیاس، روش CNP سنتی بدترین جواب را ارائه می‌دهد. متوسط تعداد نفرت فوت شده در CNP در مقیاس ۵۰۰ برای تعداد عامل‌های مختلف ۳/۴ نفر می‌باشد. در وضعیت کلی بین استراتژی‌های موجود استراتژی ۴ بهترین جواب و استراتژی ۱ بدترین جواب را ارائه می‌دهد. نتایج دو استراتژی ۱ و ۲ نیز نزدیک به هم بود. در شکل ۶ تعداد افراد فوت شده در CNP و استراتژی ۱ به یکدیگر نزدیک می‌باشد.

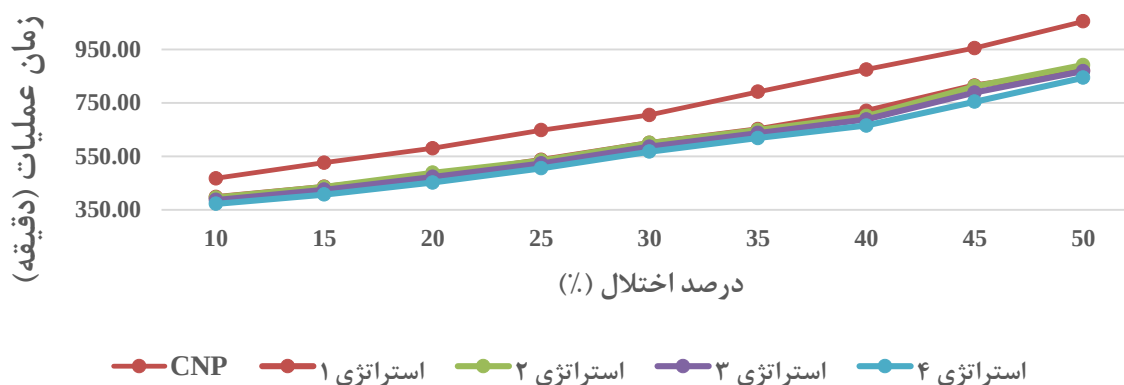
نتایج برای شبیه‌سازی تعداد تخصیص‌های اشتباه تعداد عامل‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ با تعداد وظایف مختلف در جداول ۳-۵ نمایش داده شده است.

جدول ۳- تعداد تخصیص‌های اشتباه با ۵۰ عامل جستجوگر

روش	تعداد وظایف		
	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰
CNP	۱۱۲	۲۳۷	۴۵۷
استراتژی ۱	۵۲	۱۰۸	۲۰۹
استراتژی ۲	۴۶	۱۰۵	۲۰۶
استراتژی ۳	۴۵	۹۴	۱۹۴
استراتژی ۴	۳۷	۸۶	۱۸۴

۲-۴- میزان تغییرات زمان عملیات امداد و نجات به ازای نرخ‌های مختلفی از احتمال اختلال

موارد مختلفی در تصمیم‌گیری عامل‌ها در نتایج شبیه‌سازی تأثیرگذار هستند. این آزمون واقع‌بینانه با هدف ارائه‌ی یک ارزیابی از الگوریتم پیشنهادی به ازای مقادیر مختلفی از احتمال اختلال در تخصیص اولیه وظایف می‌باشد. برای این مورد حالت متوسط مقیاس مطالعاتی (۱۰۰)



شکل ۹- زمان عملیات امداد و نجات در استراتژی‌های مختلف به ازای نرخ‌های مختلفی از عدم قطعیت

در تغییرات پویا ارائه شد. هدف این بود که تخصیص اولیه به‌گونه‌ای انجام شود که اگر تخصیص اولیه بنا به عدم قطعیت‌های موجود در محیط (که توسط احتمال اختلال در تخصیص وظایف مدل‌سازی شد) با مشکلی مواجه شود، یا کار جدید به مجموعه‌ی از وظایف اضافه شد در تخصیص مجدد شرایط بهتری وجود داشته باشد و کم‌ترین زمان اتلاف برای گروه‌های امدادی صورت بگیرد. این نوآوری در راستای بهبود تخصیص وظایف در گروه‌های عامل‌مبنا در مدیریت عملیات امداد و نجات بود. از ویژگی‌ها و مزایای بارز این تحقیق می‌توان به تبیین الزام تخصیص مجدد در محیط‌های بحران‌زده، ارائه‌ی رویکردی نوین برای مقابله با اختلالاتی که موجب عدم اجرای وظایف می‌شوند در روش CNP (پرکاربردترین روش تخصیص وظایف در میان گروه‌های عامل‌مبنا)، تعریف استراتژی‌های مکانی برای بهتر کردن تخصیص وظایف به گونه‌ای که منطبق بر ماهیت محیط باشد، اشاره کرد. رویکرد پیشنهادی می‌تواند در ترکیب با طیف گسترده‌ای از الگوریتم‌های تخصیص وظایف متناسب با ساختار سیستم‌های مورد بحث استفاده شود.

نتایج حاصل از شبیه‌سازی رویکرد پیشنهادی نشان داد که مدت‌زمان عملیات امداد و نجات در رویکردهای

در شکل فوق، ارتباط مستقیمی بین افزایش احتمال اختلال و افزایش زمان امداد و نجات وجود دارد. این افزایش برای استراتژی‌های مختلف متفاوت است. این افزایش برای CNP ۵۸۶/۹ دقیقه، و برای استراتژی‌های ۱ تا ۴ به ترتیب ۴۷۳/۳، ۴۹۵/۹، ۴۸۱/۸ و ۴۷۱/۳ دقیقه است. ارزیابی نتایج نشان می‌دهند که در حضور عدم قطعیت‌های مختلف روش‌های پیشنهادی کارتر بوده و جواب‌های بهتری ارائه می‌دهند. در این بررسی به‌وضوح روشن می‌شود که افزایش احتمال اختلال در تخصیص وظایف باعث حذف وظیفه می‌شود. در نتیجه تأخیر در عملیات امداد و نجات و یا حذف وظیفه از لیست نجات منجر به افزایش زمان عملیات امداد و نجات می‌شود.

۵- نتیجه‌گیری

در تخصیص وظایف در شرایط بحران‌زده، احتمال اختلال در اجرای وظایف باید هم در ضمن تصمیم‌گیری برای تخصیص وظایف لحاظ شوند، و هم آمادگی برخورد با شرایط عدم اجرای وظایف به دلیل عدم قطعیت‌های مختلف وجود داشته باشد. در مقاله‌ی حاضر استراتژی‌هایی برای لحاظ نمودن احتمال اختلال در تخصیص وظایف با هدف سازگاری

پیشنهادی همواره کمتر از روش سنتی پروتکل شبکه بود. متوسط نتایج برای مقیاس‌های مختلف حاکی از آن است که لحاظ احتمال اختلال در تخصیص وظایف زمان عملیات امداد و نجات را بهبود می‌دهد. نتایج همچنان موفقیت چشم‌گیری در کاهش افراد فوت‌شده و تعداد تخصیص اشتباه وظایف ناشی از اختلالات را نشان داده‌اند که حاکی از اهمیت عدم قطعیت و لزوم دخالت دادن احتمال رخداد اختلال در تخصیص وظایف می‌باشد.

از طرفی مقایسه‌ی استراتژی‌های مطرح‌شده با یکدیگر مشخص می‌کند که صرفاً در نظر گرفتن اختلالات در فرآیند تخصیص وظایف کافی نیست، و یک رویکرد تخصیص مؤثر باید استراتژی‌هایی برای برنامه‌ریزی مجدد به‌گونه‌ای که اختلالات سیستم کمترین تأثیر را در اتلاف زمان داشته باشد در نظر بگیرد تا ضمن بهینه‌سازی عملکرد برنامه‌ریزی، برای رسیدن به زمان اجرای بهتر، شرایطی را برای تحمل خطا (Fault Tolerance) فراهم آورد. در نظر

گرفتن استراتژی‌های برای لحاظ نمودن احتمال رخداد اختلال در فرآیند اجرای تخصیص وظایف به بهبود اثربخشی، بهره‌وری، عملکرد و ثبات همکاری عامل مبنا کمک می‌کند. استراتژی‌های تخصیص موجب انعطاف در تصمیم‌گیری شده و هزینه کلی سیستم را کاهش می‌دهد. در این بین استراتژی‌های تخصیص مکانی با هدف تولید یک طرح تخصیص که چینش خاصی از گروه‌های امداد و نجات در محیط به وجود آید تا در صورت مواجه شدن با اختلالات محیطی و نیاز به تخصیص مجدد، حداقل اتلاف زمان در عملیات صورت گیرد، نتایج قابل قبول‌تری ارائه می‌دهند.

ارائه‌ی استراتژی‌های جدید و ترکیب کردن استراتژی‌های تخصیص بیان شده در این تحقیق، استفاده از روش‌های تشکیل ائتلاف در انتخاب عامل هماهنگ‌کننده در روش پیشنهادی و پیاده‌سازی روش پیشنهادی با شبیه‌سازی محیط واقعی (محیط GIS) می‌تواند در تحقیقات آینده مد نظر قرار گیرد.

مراجع

- [1] Liu, L. and Shell D.A. (2012) "Tackling task allocation uncertainty via a combinatorial method. in Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR)." IEEE International Symposium on. 2012. IEEE.
- [2] Vahidnia, M.H., A. Vafaeinejad, and Shafiei M. (2017) "Heuristic game-theoretic equilibrium establishment with application to task distribution among agents in spatial networks." Journal of Spatial Science, PP. 1-22.
- [3] Hooshangi, N. and Alesheikh A.A. (2018) "Developing an Agent-Based Simulation System for Post-Earthquake Operations in Uncertainty Conditions: A Proposed Method for Collaboration among Agents." ISPRS International Journal of Geo-Information. 7(1): PP. 27.
- [4] Badreldin, M., A. Hussein, and Khamis A. (2013) "A comparative study between optimization and market-based approaches to multi-robot task allocation." Adv. in Artif. Intell., PP. 12-12.
- [5] Mataric, M.J., G.S. Sukhatme, and Østergaard E.H. (2003) "Multi-robot task allocation in uncertain environments." Autonomous Robots. 14(2-3): PP. 255-263.
- [6] Blythe J., Jain S., Deelman E., Gil Y., Vahi K., Mandal A. and Kennedy K. (2005) "Task scheduling strategies for workflow-based applications in grids." in Cluster Computing and the Grid, 2005 CCGrid. IEEE International Symposium on. 2005. IEEE.
- [7] Hooshangi, N. and Alesheikh A.A. (2017) "Agent-based task allocation under uncertainties in disaster environments: An approach to interval uncertainty." International Journal of Disaster Risk Reduction, 2017. 24: PP. 160-171.
- [8] Østergaard, E.H., M.J. Mataric, and Sukhatme G.S. (2002) "Multi-robot task allocation in the light of uncertainty." in Robotics and Automation, 2002. Proceedings. ICRA'02. IEEE International Conference on. IEEE.
- [9] Mahmoudy, M. and Hakimpour A. (2003) "Eternity's Team Description Robocup Rescue Simulation."
- [10] He, Y.H., Pan, M.C., Xu, W. and Zou Y. B. (2014) "Research of Allocation for Uncertain Task Based on Genetic Algorithm." in Advanced Materials Research. Trans Tech Publ.
- [11] Su, X., M. Zhang, and Bai Q. (2016) "Coordination for dynamic weighted task allocation in disaster environments with time, space and communication constraints." Journal of Parallel and Distributed Computing., 97: PP. 47-56.
- [12] Olteanu, A., Pop, F., Dobre, C., and Cristea, V. (2012) "A dynamic rescheduling algorithm for resource management in large scale dependable distributed systems." Computers & Mathematics with Applications. 63(9): PP. 1409-1423.

- [13] Zhang J., Qin W., Wu L.H. and Zhai W.B. (2014) "Fuzzy neural network-based rescheduling decision mechanism for semiconductor manufacturing." *Computers in Industry*. 65(8): PP. 1115-1125.
- [14] Nourjou, R., M. Hatayama, and Tatano H. (2011) "Introduction to spatially distributed intelligent assistant agents for coordination of human-agent teams' actions." in *Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR), 2011 IEEE International Symposium on*. IEEE.
- [15] Lee, H. and al-yafi K. (2010) "Centralized versus Market-based Task Allocation in the Presence of Uncertainty." in *EKC2009 Symposium Information*. EU-Korea.
- [16] Rahimzadeh, F., L.M. Khanli, and Mahan F. (2015) "High reliable and efficient task allocation in networked multi-agent systems." *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*. 29(6) PP. 1023-1040.
- [17] Gerkey, B.P. and Mataric M.J. (2004) "A formal analysis and taxonomy of task allocation in multi-robot systems." *The International Journal of Robotics Research*. 23(9): PP. 939-954.
- [18] Kayir, H.H.E. and Parlaktuna O. (2014) "Strategy-planned Q-learning approach for multi-robot task allocation. in *Informatics in Control*." *Automation and Robotics (ICINCO), 2014 11th International Conference on IEEE*.
- [19] Wu, J. (2008) "Contract net protocol for coordination in multi-agent system. in *Intelligent Information Technology Application*." *IITA'08. Second International Symposium on.. IEEE*.
- [20] Hooshangi, N. and Alesheikh A.A. (2017) "Developing an Agent- based simulation system in rescue operation." *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*. 26(103): PP. 59-70.
- [21] Wang, J., Y. Gu, and Li X. (2012) "Multi-robot task allocation based on ant colony algorithm." *Journal of Computers*. 7(9): PP. 2160-2167.
- [22] Choi, H.-L., L. Brunet, and How J.P. (2009) "Consensus-based decentralized auctions for robust task allocation." *Robotics, IEEE Transactions on*. 25(4): PP. 912-926.
- [23] Di Paola, D., D. Naso, and Turchiano B. (2011) "Consensus-based robust decentralized task assignment for heterogeneous robot networks." in *Proceedings of the 2011 American Control Conference*. IEEE.
- [24] Li, D. and Cruz Jr J.B. (2005) "A robust hierarchical approach to multi-stage task allocation under uncertainty." in *Proceedings of the 44th IEEE Conference on Decision and Control*. IEEE.
- [25] Bonabeau E., Sobkowski A., Theraulaz G. and Deneubourg J. L. (1997) "Adaptive Task Allocation Inspired by a Model of Division of Labor in Social Insects." in *BCEC*.
- [26] Liu, L. and Shell D.A. (2011) "Assessing optimal assignment under uncertainty: An interval-based algorithm." *The International Journal of Robotics Research*. 30(7): PP. 93.۹۰۳-۶
- [27] Kmiecik W., Wojcikowski M., Koszalka L. and Kasprzak A. (2010) "Task allocation in mesh connected processors with local search meta-heuristic algorithms." in *Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems*. Springer.
- [28] Fua, C.-H., S.S. Ge, and Lim K.W. (2004) "Boas: Backoff adaptive scheme for task allocation with fault tolerance and uncertainty management. in *Intelligent Control, 2004*." *Proceedings of the 2004 IEEE International Symposium on*. IEEE.
- [29] Sen, S. and Dutta P.S. (2000) "Searching for optimal coalition structures." in *MultiAgent Systems, Proceedings. Fourth International Conference on*. IEEE.
- [30] Chen, J. and Sun D. (2012) "Coalition-based approach to task allocation of multiple robots with resource constraints." *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*. 9(3): PP. 516-528.
- [31] Kwon, O., G.P. Im, and Lee K.C. (2007) "MACE-SCM: A multi-agent and case-based reasoning collaboration mechanism for supply chain management under supply and demand uncertainties." *Expert Systems with Applications*. 33 (3): PP. 690-705.
- [32] Xiao, Z., S. Ma, and Zhang S. (2009) "Learning Task Allocation for Multiple Flows in Multi-Agent Systems." in *2009 International Conference on Communication Software and Networks*.
- [33] Seaberg, D., L. Devine, and Zhuang J. (2017) "A review of game theory applications in natural disaster management research." *Natural Hazards*. 89(3): PP. 1461-1483.
- [34] Corkill, D.D., (1991) *Blackboard systems*. *AI expert*. 6(9): PP. 40-47.
- [35] Gokilavani, M., S. Selvi, and C. Udhayakumar (2013) "A survey on resource allocation and task scheduling algorithms in cloud environment." *ISO 9001: 2008 Certified International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*. 3(4).
- [36] Aytug H., Lawley M. A., McKay Ke., Mohan Sh. and Uzsoy R. (2005) "Executing production schedules in the face of uncertainties: A review and some future directions." *European Journal of Operational Research*. 161(1): PP. 86-110.

- [37] Cai B., Huang, S., Liu D. and Dissanayake, G. (2014) "Rescheduling policies for large-scale task allocation of autonomous straddle carriers under uncertainty at automated container terminals." *Robotics and Autonomous Systems*. 62(4): PP. 506-514.
- [38] Barnum, D.T. and Gleason J.M. (2010) "DEA efficiency analysis involving multiple production processes." *Applied Economics Letters*. 17(7): PP. 627-632.
- [39] Cheng, Y. (1997) "A knowledge-based airport gate assignment system integrated with mathematical programming." *Computers & Industrial Engineering*. 32(4): PP. 837-852.
- [40] Mansouri, B., K. Hosseini, and Nourjou R. (2008) "Seismic human loss estimation in Tehran using GIS." in 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing.
- [41] Rasekh, A. and Vafaie Nejad A. (2015) "Design and Simulation of Earthquake Relief & Rescue Operation Queuing Model with the Aid of Geographic Information System (GIS)." *Journal of Emergency Management*. 3(2): PP. 25-36.
- [42] Sang, T.X. (2013) "Multi-criteria decision making and task allocation in multi-agent based rescue simulation." Japan Graduate School of Science and Engineering, Saga University, Japan.