

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۶/۰۱

پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۱۷

نوع مقاله: پژوهشی

ارائه یک روش زمان‌بندی اولویت‌دار وظایف در فضای ابری مبتنی بر مدل تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی

سید محمد جوادی مقدم*

دانشکده مهندسی - دانشگاه بزرگمهرقائنات - قاین - ایران
پست الکترونیکی: smjavadim@buqaen.ac.ir

فرزانه قالیبافان

دانشکده مهندسی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند - بیرجند - ایران
پست الکترونیکی: shams.silent@gmail.com

چکیده

معیارهای دیگر در اولویت‌بندی وظایف می‌تواند در حفظ کیفیت سرویس که هدف اصلی زمان‌بندی وظایف است تاثیرگذار باشد. از طرفی به نظر می‌رسد دسته‌بندی ماشین‌های مجازی بر اساس توان پردازشی آنها می‌تواند باعث تخصیص بهینه وظایف بر اساس اولویت به دست آمده شود به طوری که وظایف با اولویت بالا به ماشین‌های مجازی با توان پردازشی بالا تخصیص داده شود. این پژوهش به دنبال ارائه مدلی ترکیبی و وزن‌دار بر اساس رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌باشد به طوری که بتوان اولویت‌بندی بهینه‌ای را بر اساس وظایف انجام داد. از طرفی خوشه‌بندی ابرها بر اساس توان پردازشی آنها می‌تواند باعث تخصیص بهینه وظایف بر اساس اولویت به دست آمده شود، به طوری که وظایف با اولویت بالا به ابرهای با توان پردازشی بالا اختصاص یابند. نتایج شبیه‌سازی‌ها، نشان می‌دهد میانگین زمان اجرای میانگین زمان بیکاری الگوریتم پیشنهادی به ترتیب ۵۷/۲۶۷ و ۲۶/۶۵۴ بوده که حاکی از بهبود کارایی ماشین‌های مجازی و پارامترهای موثر در زمان‌بندی کارها می‌باشد.

محاسبات ابری، انواع مختلفی از منابع مجازی را مدیریت می‌کند و این تعدد منابع، زمان‌بندی را تبدیل به یک مولفه بحرانی می‌کند. ایده اصلی در زمان‌بندی وظیفه، بازدهی حداکثری منابع با حفظ کیفیت سرویس می‌باشد که چالش اصلی در زمان‌بندی وظایف در محیط‌های ابری می‌باشد. عوامل مختلفی مانند کل مدت زمان انجام یک وظیفه، سوددهی، مدت زمان انتظار در صف، مدت زمان تکمیل شدن و هزینه یک وظیفه بر کیفیت سرویس‌های ابری و رضایت کاربران اثرگذار هستند که تمامی آنها از درجه اهمیت یکسانی برخوردار نیستند. مسئله اصلی تحقیق جاری، بررسی تأثیر رتبه‌بندی وظایف بر اساس یک مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌باشد تا بدین طریق بتوان اولویت‌بندی بهینه‌ای را بر اساس وظایف انجام داد. در تحقیقات مشابه بیشتر تمرکز بر روی معیار طول یک وظیفه بوده است و تمامی معیارها به صورت یکجا و در یک مدل مورد توجه قرار نگرفته‌اند. از آنجایی که پارامترهای دیگر نیز بر کیفیت سرویس تاثیرگذار هستند عدم دخالت

* نویسنده مسئول

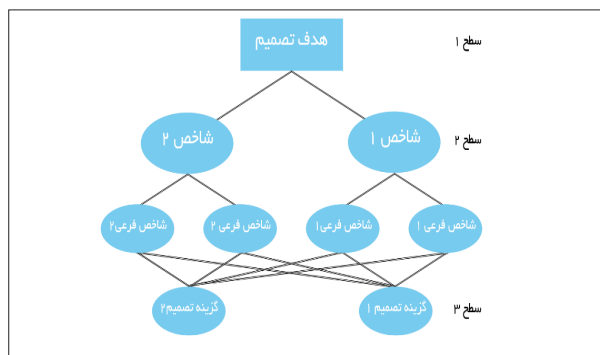
واژه‌های کلیدی: زمان‌بندی وظایف، محاسبات ابری، خوشه‌بندی ماشین‌های مجازی، مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره، تخصیص منابع.

مقدمه

با گسترش و رشد فناوری در دنیای امروز، رایانش ابری تبدیل به یکی از محبوب‌ترین بسترها جهت تأمین منابع مورد نیاز کاربران در سراسر دنیا شده است [۱]. تعاریف بسیار متنوعی از رایانش ابری ارائه شده است اما به بیانی ساده می‌توان گفت رایانش ابری عبارت است از ارائهٔ برخظ و لحظه‌ای منابعی چون دیسک، شبکه، حافظه و پردازنده یا سرویس‌هایی مانند پایگاه داده که می‌توانند به تناسب نیاز مشتری در اختیار وی قرار گیرند. در چنین بستری کاربران، بی‌نیاز از تأمین و نگهداری سخت‌افزار یا خریداری یک سرویس، از ابتدا می‌توانند در لحظه منابع و سرویس دلخواه خود را درخواست کرده و از آن استفاده کنند [۲]. این حوزه از پتانسیل‌های تحقیقاتی مختلفی مانند تخصیص منابع، زمان‌بندی وظایف، امنیت و حریم خصوصی و نظایر آن برخوردار می‌باشد. رایانش ابری در واقع یک مدل برای دسترسی و استفاده از منابع اشتراکی است، که این منابع می‌تواند شامل سرویس، کارهای پردازشی، ذخیره سازی و نظایر آن باشند. معماری رایانش ابری، مبتنی بر ارسال درخواست و تخصیص منابع است، به طوری که کاربر درخواست سرویسی را برای ارائه دهنده خدمات ابری ارسال می‌کند و در پاسخ منابع مورد نیاز جهت اجرای برنامه‌های درخواستی کاربر به وی تخصیص می‌یابند. اما آنچه که اهمیت دارد نحوه تخصیص منابع به این درخواست‌ها می‌باشد. به عبارت دیگر فضای ابر چیزی جز مجموعه‌ای از ماشین‌های مجازی به هم متصل با پتانسیل‌های پردازشی و ذخیره‌سازی مختلف نیست [۳]. از سوی دیگر باید توجه داشت کاربران مختلف ممکن است در یک زمان درخواست‌های مختلفی را برای این سیستم ارسال کنند. لذا یکی از چالش‌برانگیزترین موضوعات در

حوزه محاسبات ابری، چگونگی تخصیص وظایف به این ماشین‌ها می‌باشد به نحوی که مدت زمان اجرای وظایف کاهش یابد. از این جهت، زمان‌بندی وظایف از اهمیت ویژه‌ای در محیط‌های ابری برخوردار می‌باشد [۴]. یکی از اهداف زمان‌بندی استفاده از منابع به طور موثر و به دست آوردن حداکثر بهره‌وری است. در محیط رایانش ابری هر کاربر ممکن است برای اجرای هر وظیفه، با صدها منبع مجازی روبرو شود. بنابراین الگوریتم زمان‌بندی وظیفه، یک رویه تصمیم‌گیری در مورد واگذاری و دستیابی با بهترین هماهنگی بین وظایف و منابع است. از طرفی این مسئله مطرح است که برای اجرای یک برنامه کاربردی، چه میزان از منابع در دسترس، مورد استفاده بهینه قرار می‌گیرد [۵].

مسئلهٔ اصلی تحقیق جاری، بررسی تأثیر رتبه‌بندی وظایف بر اساس یک مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره^۱ می‌باشد تا بدین طریق بتوان اولویت‌بندی بهینه‌ای را بر اساس وظایف انجام داد. از طرفی به نظر می‌رسد دسته‌بندی ماشین‌های مجازی بر اساس توان پردازشی آن‌ها می‌تواند باعث تخصیص بهینه وظایف بر اساس اولویت به دست آمده شود، به طوری که وظایف با اولویت بالا به ماشین‌های مجازی با توان پردازشی بالا تخصیص داده شود. بدین ترتیب انتظار می‌رود، اعمال مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره و در نظر گرفتن وزن‌های مختلف برای ویژگی‌های مختلف وظایف و همچنین دسته‌بندی منابع بر اساس توان پردازشی و ذخیره‌سازی آن‌ها، بتواند منجر به کاهش مدت زمان بیکاری منابع شده و هم تأثیر چشمگیری در افزایش سرعت کلی انجام وظایف داشته باشد. در این راستا در پژوهش جاری منابع به سه دسته منابع با توان پردازشی بالا، منابع با توان پردازشی متوسط و منابع با توان پردازشی کم دسته‌بندی می‌شوند. در بخش بعد ادبیات موضوع بیان می‌شود. در ادامه بخش ۳ به بیان روش پیشنهادی می‌پردازد. بخش ۴ ارزیابی و نتایج آن نشان داده شده است. در انتها، نتیجه‌گیری در بخش ۵ ارائه شده است.



شکل ۱: نمایش سلسله مراتب یک مسئله تصمیم [۶].

ماتریس مقایسه‌های زوجی

این مرحله شامل انجام مقایسه‌های بین گزینه‌های مختلف تصمیم، بر اساس هر شاخص و قضاوت در مورد اهمیت شاخص تصمیم با انجام مقایسه‌های زوجی می‌باشد. بعد از طراحی سلسله مراتب مسئله تصمیم، تصمیم‌گیرنده می‌بایست مجموعه ماتریس‌هایی که به طور عددی اهمیت یا ارجحیت نسبی شاخص‌ها را نسبت به یکدیگر و هر گزینه تصمیم را با توجه به شاخص‌ها نسبت به سایر گزینه‌ها اندازه‌گیری می‌نماید، ایجاد کند. این کار با انجام مقایسات دو به دو بین عناصر تصمیم (مقایسه زوجی) و از طریق تخصیص امتیازات عددی که نشان‌دهنده ارجحیت یا اهمیت بین دو عنصر تصمیم است، صورت می‌گیرد. برای انجام این کار معمولاً از مقایسه گزینه‌ها یا شاخص‌های نام نسبت به گزینه‌ها یا شاخص‌های نام استفاده می‌شود که در جدول ۱ نحوه ارزش‌گذاری شاخص‌ها نسبت به هم نشان داده شده است.

جدول ۱: ارزش‌گذاری شاخص‌ها نسبت به هم

ارزش شاخص	وضعیت مقایسه نسبت به شاخص	توضیح
۱	اهمیت برابر	گزینه یا شاخص A نسبت به Z اهمیت برابر دارند و یا ارجحیتی نسبت به هم ندارند.
۳	نسبتاً مهم‌تر	گزینه یا شاخص A نسبت به Z کمی مهم‌تر است.
۵	مهم‌تر	گزینه یا شاخص A نسبت به Z مهم‌تر است.
۷	خیلی مهم‌تر	گزینه یا شاخص A دارای ارجحیت خیلی بیشتری از Z است.
۹	کاملاً مهم	گزینه یا شاخص مطلقاً از Z مهم‌تر و قابل مقایسه با Z نیست.
۲ و ۴ و ۶ و ۸		ارزش‌های میانی بین ارزش‌های ترجیحی را نشان می‌دهد مثلاً ۸، بیانگر اهمیتی زیاده‌تر از ۷ و پایین‌تر از ۹ برای A است.

ادبیات موضوع

رویکرد تصمیم‌گیری سلسله مراتبی

فرایند تحلیل سلسله مراتبی در هنگامی که عمل تصمیم‌گیری با چند گزینه و معیار تصمیم‌گیری مواجه است می‌تواند استفاده گردد. معیارهای مطرح شده می‌تواند کمی و کیفی باشند. اساس این روش تصمیم‌گیری مبتنی بر مقایسه‌های زوجی است. تصمیم‌گیرنده با فراهم ساختن درخت سلسله مراتب تصمیم‌گیری کار تحلیل را شروع می‌کند. در سطح صفر هدف تصمیم‌گیری مدنظر قرار می‌گیرد و در سطح اول شاخص‌ها (معیارها) و در سطح دوم نیز گزینه‌ها جهت اولویت‌بندی قرار دارند که ممکن است با توجه به نوع مسئله تعداد سطوح معیارهای اصلی و فرعی بیشتر باشد. پس از این که معیارهای اصلی و فرعی مشخص شدند و درخت سلسله مراتب تصمیم‌گیری ترسیم شد، بین شاخص‌ها مقایسه‌های زوجی انجام می‌شود. در ادامه به تشریح مراحل تصمیم‌گیری سلسله مراتبی می‌پردازیم.

۲-۲- مدل‌سازی

در این قدم، مسئله و هدف تصمیم‌گیری به صورت سلسله‌مراتبی از عناصر تصمیم که با هم در ارتباط می‌باشند، در آورده می‌شود. عناصر تصمیم شامل «شاخص‌های تصمیم‌گیری» و «گزینه‌های تصمیم» می‌باشد. فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی نیازمند شکستن یک مسئله با چندین شاخص به سلسله‌مراتبی از سطوح است. سطح بالا بیانگر هدف اصلی فرایند تصمیم‌گیری است. سطح دوم، نشان‌دهنده شاخص‌های عمده و اساسی (که ممکن است به شاخص‌های فرعی و جزئی‌تر در سطح بعدی شکسته شود) می‌باشد. سطح آخر گزینه‌های تصمیم را ارائه می‌کند. در شکل ۱ سلسله مراتب یک مسئله تصمیم نشان داده شده است [۶].

محاسبه وزن‌های نسبی

هدف از این مرحله، تعیین وزن «عناصر تصمیم» نسبت به هم از طریق مجموعه‌ای از محاسبات عددی است. قدم بعدی در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی انجام محاسبات لازم برای تعیین اولویت هر یک از عناصر تصمیم با استفاده از اطلاعات ماتریس‌های مقایسات زوجی است. خلاصه عملیات ریاضی در این مرحله در ادامه بیان می‌شود. مجموع اعداد هر ستون از ماتریس مقایسات زوجی را محاسبه کرده، سپس هر عنصر ستون را بر مجموع اعداد آن ستون تقسیم می‌کنیم. ماتریس جدیدی که بدین صورت به دست می‌آید، «ماتریس مقایسات نرمال شده» نامیده می‌شود. میانگین اعداد هر سطر از ماتریس مقایسات نرمال شده را محاسبه می‌کنیم. این میانگین وزن نسبی عناصر تصمیم با سطرهای ماتریس را ارائه می‌کند.

محاسبه میزان ناسازگاری قضاوت‌ها

تقریباً تمامی محاسبات مربوط به فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی بر اساس قضاوت اولیه تصمیم‌گیرنده که در قالب ماتریس مقایسات زوجی ظاهر می‌شود، صورت می‌پذیرد و هر گونه خطا و ناسازگاری در مقایسه و تعیین اهمیت بین گزینه‌ها و شاخص‌ها نتیجه نهایی به دست آمده از محاسبات را مخدوش می‌سازد. میزان ناسازگاری وسیله‌ای است که سازگاری را مشخص ساخته و نشان می‌دهد که تا چه حد می‌توان به اولویت‌های حاصل از مقایسات اعتماد کرد.

پیشینه تحقیق

در فضای ابری که از یک طرف وظایفی با خصوصیات متفاوت و از سوی دیگر منابع پردازشی و ذخیره‌سازی متنوع قرار دارند، زمان‌بندی وظایف، نقش مهمی در رایانش ابری ایفا می‌کند تا منابع را به طور موثر و کارآمد تخصیص دهد. زمان‌بندی یک مسئله اصلی در محاسبات ابری است و سازوکار زمان‌بندی برای بهبود عملکرد و استفاده موثر از منابع لازم است. زمان‌بندی شامل تخصیص کارهای

معین به منابع معین و در زمان معین است. زمان‌بندی انجام‌شده براساس معیارهای مختلفی ارزیابی می‌شود که این معیارها به عنوان پارامترهای کیفیت سرویس مدنظر قرار می‌گیرند. الگوریتم‌های زیادی برای زمان‌بندی وظایف با هدف بهبود پارامترهای مختلف کیفیت سرویس پیشنهاد شده‌اند.

الدیلمی و همکارانش [۷] یک الگوریتم هیوریستیک مینیم-مینیم را برای زمان‌بندی وظایف گرید پیشنهاد کردند. از معایب این روش عدم در نظر گرفتن تأثیر شبکه‌ها و تعامل با منابع ذخیره‌سازی می‌باشد. شارما و همکاران [۸] از یک الگوریتم کلونی مورچه بهبودیافته برای توصیف زمان‌بندی شبکه (گرید) استفاده کردند. اما میانگین زمان انتظار بین کارها با این تکنیک قدری طولانی است. نبی و همکارانش [۹] یک روش زمان‌بندی اکتشافی مبتنی بر بهینه‌سازی ازدحام ذرات را جهت کاهش کل هزینه اجرا ارائه کردند. علاوه براین، کروکا و همکارانش [۱۰] یک زمان‌بندی وظیفه چندهدفه را با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ذرات مبتنی بر راهبرد رتبه‌بندی جدید تبیین کرده‌اند. نگرش اصلی این الگوریتم این بود که وظایف طوری به ماشین‌های مجازی تخصیص داده شوند که زمان انتظار به حداقل رسیده و بازدهی سیستم به حداکثر برسد.

از آنجا که در بحث زمان‌بندی وظایف، به گونه‌ای با یک نوع مسئله بهینه‌سازی روبرو هستیم، لذا برخی پژوهشگران توانسته‌اند با استفاده از ترکیب الگوریتم ژنتیک با دیگر الگوریتم‌های زمان‌بندی به بهینه‌سازی مسئله زمان‌بندی بپردازند. شاو [۱۱] الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات ترکیبی و الگوریتم ژنتیک را برای زمان‌بندی وظیفه در محیط‌های ابری مطرح کردند. برای افزایش عملکرد کلی رایانش ابری با محدودیت مهلت زمانی، یک مدل زمان‌بندی وظیفه برای کاهش مصرف توان سیستم و به حداکثر رساندن سود تأمین‌کنندگان خدمات در الگوریتم ژنتیک چند هدفه توسط اگاروال و همکارانش تدوین شد

[۱۲]. چن و همکارانش [۱۳] یک الگوریتم ژنتیک بهبود یافته برای زمان بندی وظیفه در محیط های ابری با استفاده از صف های اولویت تبیین کرده اند. در این روش، تکنیک نخبه گرایی با انتخاب غیر معمول برای مقابله با هم گرایی زود هنگام اتخاذ شد و تجزیه و تحلیل آماری بر روی گراف های مختلفی که به طور تصادفی تولید شده اند، انجام شد. الکوک [۱۴] الگوریتم های بهینه ای را برای زمان بندی استاتیک گراف های وظیفه با پارامترهای تصادفی برای پردازنده های چندگانه همگن ابداع کرد. الگوریتم اولیه مبتنی بر تکنیک جستجوی تصویر بوده و از یک تابع هزینه که از نظر محاسباتی کارآمد بود، بهره می برد. با استفاده از این روش، زمان اجرای فرآیند، افزایش پیدا می کرد.

برخی از الگوریتم های زمان بندی مطرح شده در این حوزه، بر مهلت زمانی یا در واقع محدودیت زمانی تاکید دارند. سان [۱۵] زمان بندی گردش کار محدود را در قالب نرم افزار به عنوان سرویس در ابر معرفی کرد. غفوری و همکارانش [۱۶] الگوریتم های زمان بندی گردش کار با مهلت زمانی را در قالب زیرساخت به عنوان سرویس ارائه کردند. در این روش ها، اگر یک یا چند ماشین مجازی در طول اجرای کار با شکست مواجه شوند، اجرای جریان کار مستعد تأخیر خواهد بود.

از دیگر رویکردهای مطرح در حوزه زمان بندی وظایف در فضای ابری، تاکید بر فاکتور هزینه است. منصوری و غفاری [۱۷] یک زمان بندی وظیفه کارآمد برای اجرای برنامه های بزرگ در ابر را تشریح کردند. آن ها، الگوریتم زمان بندی وظیفه با هزینه کارآمد را برای کاهش مصرف انرژی و زمان کلی به کار گرفتند. منصوری و همکارانش یک الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات اصلاح شده مبتنی بر منطق فازی را مطرح کرده اند و نتایج تحقیقاتشان بهبودهایی را از نظر زمان کل، کل زمان اجرا و کارایی نشان داده است [۱۸]. برخی محققین همچون روپنتنی بر توزیع بار کاری تمرکز داشته اند و پیشنهاد کرده اند که با تقسیم بارکاری بر روی ماشین های مختلف می توان

به عملکرد بهتری از الگوریتم های زمان بندی رسید [۱۹]. چاندان نایاک برای زمان بندی وظایف، از تکنیک پرسیازی^۲ استفاده کرد تا این تضمین را ایجاد کند که وظایف در زمان مقرر خود انجام می شوند. سریچاندان و همکارانش نیز با ترکیب دو الگوریتم ژنتیک و جستجوی باکتری^۳ باعث کاهش مصرف انرژی و همچنین کاهش معیار زمان کل شدند [۲۰].

در زمان بندی وظایف با معیارهای مختلفی روبرو هستیم که تمامی آن ها از درجه اهمیت یکسانی برخوردار نیستند. در تحقیقات مشابه بیشتر تمرکز بر روی معیار طول یک وظیفه بوده است و تمامی معیارها به صورت یکجا و در یک مدل مورد توجه قرار نگرفته اند. همان طور که قبلاً بیان شده هدف اصلی زمان بندی وظایف افزایش بازدهی منابع با حفظ کیفیت سرویس می باشد. از آنجایی که پارامترهای مختلف با میزان تاثیرگذاری متفاوت بر کیفیت سرویس اثرگذار هستند برای انجام بهینه زمان بندی وظایف همراه با حفظ کیفیت سرویس نیازمند در نظر گرفتن پارامترهای مختلف و در نظر گرفتن وزن های مختلف برای آنها می باشیم که در هیچ یک از کارهای پیشین در نظر گرفته نشده است.

روش پیشنهادی

همان طور که قبلاً نیز اشاره شد، در فضای ابری نیز ما با یک مسئله تصمیم گیری چند متغیره مواجه هستیم. علت این امر هم این است که هم وظایف و هم ماشین های مجازی سازنده فضای ابر دارای خصوصیات متفاوت هستند که عدم توجه به آن و تخصیص تصادفی هر وظیفه به یک ابر منجر به هدررفت منابع موجود خواهد شد. در این قسمت قصد داریم تا مطابق با آنچه که در بالا در مورد مدل تصمیم گیری چندمعیاره و نحوه به کارگیری آن در فضای تصمیم گیری چندمتغیره بیان شد، این مدل را در فضای ابری پیاده سازی کنیم. در ادامه به صورت گام به گام، مدل تصمیم گیری چندمعیاره را اعمال خواهیم کرد. ذکر این

2- Backfilling

3- Bacterial foraging (BF)

جدول ۲: استخراج معیارهای موثر در ارزیابی زمان‌بندی وظایف در تحقیقات پیشین

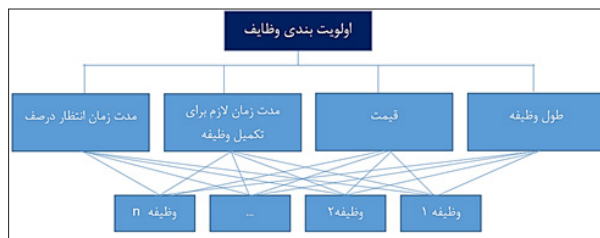
معیارها	۲۰۰۸-۲۰۰۵	۲۰۱۲-۲۰۰۹	۲۰۱۶-۲۰۱۳	۲۰۱۸-۲۰۱۷	۲۰۲۰-۲۰۱۹
کل زمان انجام یک وظیفه	[۲۱]	[۲۶-۲۲]	[۳۲-۲۷]	[۳۳, ۲۰]	[۱۸]
سود			[۳۶-۳۴]		
زمان اتمام	[۳۹-۳۷, ۲۱]	[۴۷-۴۰, ۳۷, ۲۶]	[۵۳-۴۸, ۳۴, ۳۲]	[۵۴]	
هزینه	[۵۵, ۳۷]	[۸, ۱۷, ۲۰, ۲۲, ۲۳, ۲۷]	[۵۷, ۵۶, ۵۲, ۵۱]	[۵۸, ۳۳]	
زمان انتظار	[۵۷]	[۶۰, ۵۹]		[۶۴]	
دیگر معیارها	[۶۲, ۶۱]	[۶۵-۶۳]	[۷۰-۶۶]	[۷۴-۷۱]	[۱۹]

نکته حائز اهمیت است که هدف از اعمال مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره در فضای ابری اولویت‌بندی وظایف و سپس دسته‌بندی آن‌ها به وظایفی است که دارای سه سطح متفاوت اولویتی هستند (وظایف با اولویت پایین، وظایف با اولویت متوسط و وظایف با اولویت بالا). از سوی دیگر ماشین‌های مجازی نیز بر اساس توان پردازشی و امکانات سیستمی به سه دسته ماشین‌های با توان پردازشی پایین، متوسط و بالا تقسیم می‌شوند. سپس به صورت نظیر به نظیر وظایف مطابق با اولویت خود به ابرها تخصیص پیدا می‌کنند. شکل ۲ این مسئله را به روشنی نشان می‌دهد.

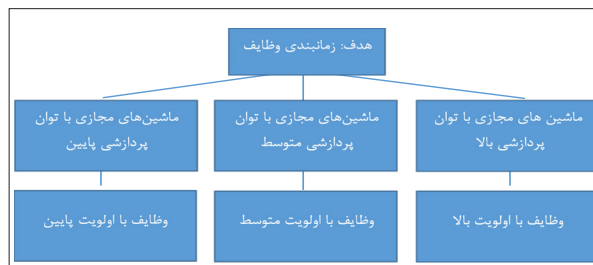
از طول وظیفه (به لحاظ تعداد دستورالعمل‌های سازنده آن)، قیمت (هزینه پرداختی بابت ارائه سرویس)، مدت زمان لازم برای تکمیل شدن وظیفه و مدت زمان انتظار در صف. همان‌طور که قبلاً نیز ذکر شد، هدف اولویت‌بندی وظایف است. لذا نامزدهای ما وظایفی هستند که قرار است به ماشین‌های مجازی موجود در فضای ابر تخصیص یابند.

طرح سلسله مراتبی (درخت تصمیم)

با توجه به آنچه در بالا آمد، ساختار درختی یا سلسله‌مراتبی مسئله تخصیص وظایف به ابرها به صورتی است که در شکل ۳ آمده است.



شکل ۳: طرح سلسله مراتبی مسئله اولویت‌بندی وظایف



شکل ۲: تخصیص اولویت دار وظایف به ماشین‌های مجازی در فضای ابری.

ماتریس مقایسه‌های زوجی

همان‌طور که در شکل ۳ نیز مشخص است، سطح اول سلسله مراتب را معیارهای اصلی تشکیل می‌دهد. نخست با مقایسه زوجی معیارهای اصلی بر اساس هدف به تعیین اولویت هر یک از معیارهای اصلی می‌پردازیم. بنابراین باید معیارها را براساس هدف دو به دو با هم مقایسه کنیم. جدول ۳ این مقایسه را نشان می‌دهد.

معیارها و گزینه‌های مسئله

همان‌طور که قبلاً نیز بیان شد، انتخاب معیارها، نخستین گام در فرآیند تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره است. سپس بر اساس معیارهای شناسائی شده، نامزدها، ارزیابی و امتیازدهی می‌شوند. با بررسی پیشینه تحقیقات معیارهایی که هر یک در زمان‌بندی وظایف مدنظر قرار داده‌اند، به صورتی که در جدول ۲ آمده است قابل استخراج است. در ارتباط با تحقیق جاری، معیارهای مدنظر عبارتند

مقایسه‌های زوجی می‌بایست میزان ناسازگار^۴ را محاسبه کرد. میزان ناسازگاری در این مسئله به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\begin{bmatrix} 1 & 3 & 2 & 5 \\ 0.33 & 1 & 3 & 3 \\ 0.5 & 0.33 & 1 & 5 \\ 0.2 & 0.33 & 0.2 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0.41 \\ 0.27 \\ 0.25 \\ 0.07 \end{bmatrix} = \lambda_{\max} * \begin{bmatrix} 0.41 \\ 0.27 \\ 0.25 \\ 0.07 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\lambda_{\max} = \frac{\begin{bmatrix} 1.72 \\ 1.33 \\ 0.69 \\ 0.13 \end{bmatrix}}{\begin{bmatrix} 0.41 \\ 0.27 \\ 0.25 \\ 0.07 \end{bmatrix}} = \begin{bmatrix} 4.19 \\ 4.92 \\ 4.77 \\ 2.17 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\lambda_{\max} = \text{mean}(4.19, 4.92, 4.77, 2.17) = 4.01 \quad (3)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{4.01 - 4}{3} = 0.003 \quad (5)$$

$$RI = \frac{1.38}{4} = 0.35 \quad (6)$$

$$CR = \frac{0.003}{0.35} < 0.1 \quad (7)$$

از آنجایی که این میزان کمتر از ۰/۱ است، قابل قبول می‌باشد.

حال در گام بعد باید گزینه‌ها (نامزدها) به صورت زوجی بر اساس هر معیار مقایسه شوند و در نهایت به کمک فرمول امتیازدهی وزن‌داری که در معادله ۸ ارائه شده است می‌توان اولویت نهایی هر نامزد به دست آورد.

(۸)

$$finalscore_{T_i} = 0.41 w_{i1} + 0.27 w_{i2} + 0.25 w_{i3} + 0.07 w_{i4}$$

در معادله فوق w_{i1} ، وزن نسبی T_i بر حسب معیار طول، w_{i2} ، وزن نسبی T_i بر حسب معیار قیمت، w_{i3} ، وزن نسبی T_i بر حسب معیار مدت زمان لازم برای تکمیل وظیفه و w_{i4} وزن نسبی T_i بر حسب معیار مدت زمان انتظار در صف می‌باشد. جزئیات محاسبه این وزن‌ها برای تمامی وظایف در بخش بعدی ارائه می‌شود.

جدول ۳: ماتریس مقایسه‌های زوجی معیارها نسبت به هم

ماتریس مقایسه‌های	طول وظیفه	قیمت	مدت زمان لازم برای تکمیل وظیفه	مدت زمان انتظار در صف
طول وظیفه	۱	۳	۲	۲
قیمت	۰/۳۳	۱	۳	۳
مدت زمان لازم برای تکمیل وظیفه	۰/۵	۰/۳۳	۱	۵
مدت زمان انتظار در صف	۰/۵	۰/۳۳	۰/۲	۱

محاسبه وزن‌های نسبی

در این مرحله، وزن نسبی معیارها نسبت به یکدیگر محاسبه می‌گردد. بر اساس جدول ۴ معیار طول وظیفه از بیشترین اولویت برخوردار است. قیمت و مدت زمان لازم برای تکمیل وظیفه به ترتیب در اولویت‌های دوم و سوم قرار دارد. مدت زمان انتظار در صف نیز کمترین اولویت برخوردار است. جدول نهایی مقایسه‌های معیارها در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۴: محاسبه وزن نسبی معیارها

ماتریس مقایسه‌های	طول وظیفه	قیمت	مدت زمان لازم برای تکمیل وظیفه	مدت زمان انتظار در صف	میانگین هندسی	وزن‌های نرمال شده
طول وظیفه	۱	۳	۲	۵	۲.۷۵	۰.۴۱
قیمت	۰.۳۳	۱	۳	۳	۱.۸۳	۰.۲۷
مدت زمان لازم برای تکمیل وظیفه	۰.۵	۰.۳۳	۱	۵	۱.۷۰	۰.۲۵
مدت زمان انتظار در صف	۰.۲	۰.۳۳	۰.۲	۱	۰.۴۳	۰.۰۷

جدول ۵: رتبه‌بندی معیارها بر اساس وزن نسبی

ردیف	نام معیار	ارزش وزنی	رتبه
۱	طول وظیفه	۰.۴۱	۱
۲	قیمت	۰.۲۷	۲
۳	مدت زمان لازم برای تکمیل وظیفه	۰.۲۵	۳
۴	مدت زمان انتظار در صف	۰.۰۷	۴

محاسبه میزان ناسازگاری

همان‌طور که قبلاً نیز بیان شد برای هر جدول

ماشین‌ها در نظر گرفته شده است. سه کلاس در نظر گرفته شده بر اساس معیار طول به شرح ذیل می‌باشند:

کلاس ۱: این کلاس صرفاً وظایف با طول‌های کوچک را دریافت می‌کند.

کلاس ۲: این کلاس صرفاً وظایفی با طول متوسط را دریافت می‌کند.

کلاس ۳: این کلاس صرفاً وظایفی با طول زیاد را دریافت می‌کند.

سپس وظایفی که در هر دسته قرار می‌گیرند بر اساس درجه اهمیت‌شان به صورتی که در ادامه شرح داده می‌شود، دسته‌بندی می‌شوند:

- به وظایف با درجه اهمیت بالا، اولویت بالا داده می‌شود.
- به وظایف با درجه اهمیت متوسط، اولویت متوسط داده می‌شود.

- به وظایف با درجه اهمیت پایین، اولویت پایین داده می‌شود.

فرآیند دسته‌بندی وظایف در شکل ۴ نشان داده شده است.

مرحله دوم:

در این گام، ماشین‌های مجازی هم در قالب سه دسته گروه‌بندی می‌شوند. هر گروه مسئول رسیدگی به نوع خاصی از وظایف می‌باشد (وظایف با اهمیت بالا، وظایف با اهمیت متوسط و وظایف با درجه اهمیت پایین). در این راستا فرض می‌کنیم که:

ماشین‌های مجازی دسته اول: گروهی از ماشین‌ها هستند که توان محاسباتی بالایی دارند و مسئول رسیدگی به وظایف با درجه اهمیت بالا می‌باشند.

ماشین‌های مجازی دسته دوم: گروهی از ماشین‌ها هستند که توان محاسباتی متوسطی دارند و مسئول رسیدگی به وظایف با درجه اهمیت متوسط می‌باشند.

ماشین‌های مجازی دسته سوم: گروهی از ماشین‌ها هستند که توان محاسباتی پایینی دارند و مسئول رسیدگی به وظایف با درجه اهمیت پایین می‌باشند.

تخصیص وظایف بر اساس راهبرد دسته‌بندی وظایف^۵ و دسته‌بندی ماشین‌ها^۶ با الهام از تصمیم‌گیری چندمعیاره در این بخش که هسته اصلی روش پیشنهادی در این پژوهش را دربردارد، قصد داریم تا به صورت گام به گام به چگونگی دسته‌بندی وظایف و ماشین‌ها بر اساس مدل چندمعیاره پیشنهادی بپردازیم.

گام اول: تعریف مسئله

در این مسئله می‌خواهیم با استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره فرآیند تصمیم‌گیری در خصوص نحوه تخصیص وظایف در فضای ابری را به صورت چندمعیاره و با در نظر گرفتن درجه اهمیت وظایف انجام دهیم.

گام دوم: تجزیه مسئله در قالب ساختار سلسله‌مراتبی (هدف، ویژگی‌ها و گزینه‌های جایگزین) با استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیاره و با در نظر گرفتن دسته‌بندی وظایف و دسته‌بندی ماشین‌ها

تصمیم‌گیری چندمعیاره به همراه مدل دسته‌بندی وظایف و دسته‌بندی ماشین‌ها در سه مرحله انجام می‌شود:

مرحله اول:

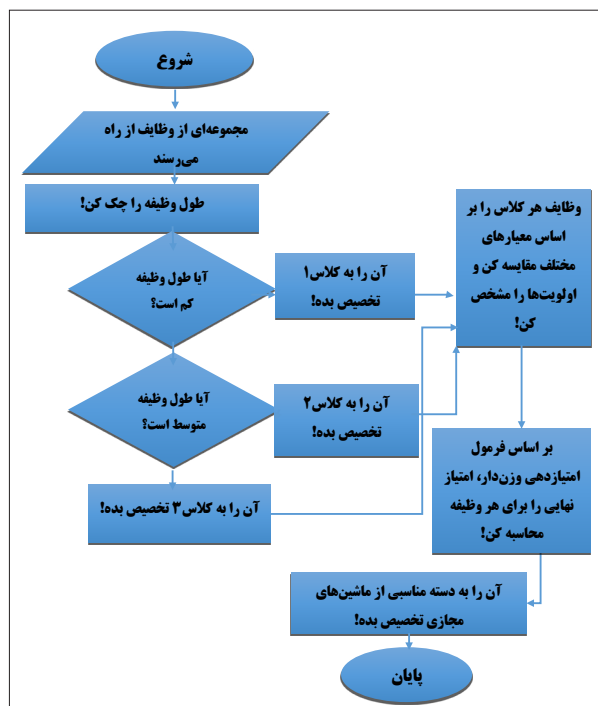
در ابتدا یکی از چند معیار مدنظر در پژوهش را هدف قرار می‌دهیم. سپس وظایف بر اساس آن معیار به سه دسته تقسیم می‌شوند. به عنوان مثال ابتدا معیار طول را ملاک قرار می‌دهیم و وظایف را بر اساس معیار طول به سه دسته کلی وظایف با طول کوچک، وظایف با طول متوسط و وظایف با طول بلند تقسیم‌بندی می‌کنیم. ذکر این نکته حائز اهمیت است که می‌توان بیش از سه دسته‌بندی هم در نظر گرفت اما این امر می‌تواند منجر به افزایش پیچیدگی زمان‌بندی شود. از طرفی اگر قرار باشد فقط دو دسته را در نظر بگیریم تقسیم به دو دسته نسبت به حالتی که دسته‌بندی وجود ندارد، مزایای قابل توجهی در بر ندارد. لذا در این پژوهش معیار سه دسته برای تفکیک وظایف و

5- TC

6- VC

مرحله سوم:

زوجی کمتر خواهد شد. فرآیند کلی بر اساس معیار طول در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵: روندنمای مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره به همراه دسته‌بندی وظایف و دسته‌بندی ماشین‌ها.

گام سوم: تشکیل ماتریس مقایسه‌های زوجی

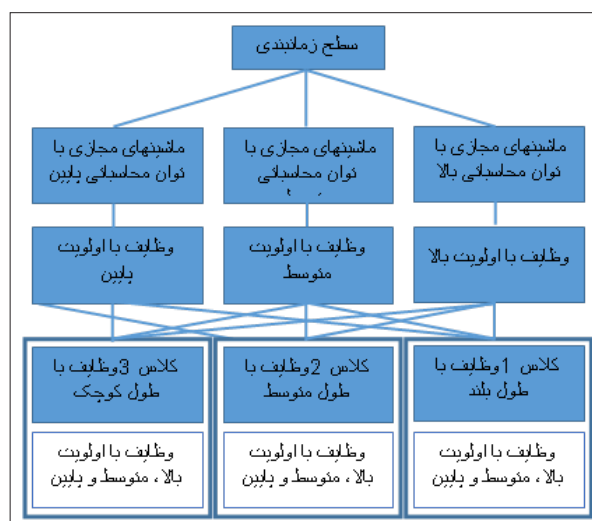
حال ماتریس مقایسه‌های زوجی را برای هر معیار و به ازای هر کلاس تشکیل می‌دهیم. حال همین روال را برای معیارهای بعدی تکرار می‌کنیم. از آنجا که می‌خواهیم مقایسه‌های برای تمامی معیارها مابین وظایف یکسان صورت گیرد لذا دسته‌بندی انجام شده بر اساس معیار طول را ملاک مقایسه‌های بعدی قرار می‌دهیم با این تفاوت که این بار معیار دیگری ملاک مقایسه قرار می‌گیرد.

گام چهارم: محاسبه وزن نسبی

گام پنجم: محاسبه میزان ناسازگاری

زمانی که که میزان ناسازگاری به دست آمده برای تمامی معیارها و وظایف ۰,۱ و یا کمتر است و در محدوده قابل قبولی قرار دارد، می‌توانیم اولویت‌های به دست آمده را معیار محاسبه امتیازهای نهایی قرار

با توجه به شرط چندمعیاره بودن تخصیص وظایف، دسته‌بندی وظایف ابتدا بر اساس طول انجام می‌شود و اولویت‌ها بر اساس درجه اهمیت وظایف در ماتریس مقایسه‌های زوجی به دست می‌آید. سپس این فرآیند، بر اساس معیارهای بعدی به همین شیوه تکرار می‌شود. به عنوان مثال در مرحله بعدی وظایف بر اساس هزینه یا همان قیمت به سه دسته (وظایف با هزینه پایین، متوسط و بالا) تقسیم می‌شوند. سپس همین روال بر اساس معیارهای مدت زمان تکمیل وظایف و مدت زمان انتظار در صف هم تکرار می‌شود تا در نهایت براساس وزن معیارهایی که قبلاً به دست آوردیم اولویت نهایی هر وظیفه را مشخص و هر وظیفه را به ماشین مجازی مناسب آن تخصیص دهیم. بدین نحو توانسته‌ایم تمامی معیارها را در اولویت‌بندی وظایف مدنظر قرار دهیم و از طرفی صرفاً به طول وظایف جهت اولویت‌بندی توجه نکرده‌ایم و به نحوی عادلانه‌تر برخورد کرده‌ایم.



شکل ۴: پیاده‌سازی تصمیم‌گیری چندمعیاره به همراه دسته‌بندی وظایف و دسته‌بندی ماشین‌ها در فضای ابری

از سوی دیگر با کوچک‌تر شدن فضای مقایسه‌ها و تقسیم وظایف در سه دسته نسبت به مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره معمولی به طرز چشمگیری کارایی الگوریتم زمان‌بندی افزایش پیدا خواهد کرد و تعداد مقایسه‌های

مقایسه روش پیشنهادی با سایر الگوریتم‌های زمان‌بندی بر اساس معیار میانگین زمان اجرا

با توجه به داده‌های مربوط به خروجی الگوریتم‌ها و جهت مقایسه بهتر عملکرد آن‌ها، میانگین زمان اجرای وظایف بر روی ماشین‌های مجازی بر اساس معادله ۹ محاسبه شده است. شکل ۶ میانگین زمان اجرای وظایف را برای هر الگوریتم نمایش می‌دهد [۸۱].

$$avgExecutionTime = \frac{\sum_{i=1}^{num_cloudlets} exe_time_i}{num_cloudlets} \quad (9)$$

در معادله فوق exe_time_i زمان اجرای وظیفه i ام و $num_cloudlets$ تعداد وظایف یا کلودلت‌های تعریف شده در فضای ابری است.

جدول ۷ نتیجه تجزیه واریانس اثر الگوریتم‌های مختلف بر زمان کل اجرا را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج جدول ۷ مشخص است که اختلاف معنی‌داری بین الگوریتم‌های مختلف بر اساس زمان اجرای کل وجود دارد. مقایسه میانگین اثر الگوریتم‌های مختلف مورد ارزیابی بر زمان کل اجرا در شکل ۶ نشان داده شده است.

جدول ۷: نتیجه تجزیه واریانس اثر الگوریتم‌های مختلف بر زمان کل اجرا

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
الگوریتم	۶	۶۰۲/۴۲۹**

** نشان دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۹۹٪

همان‌طور که در شکل ۶ مشخص است، الگوریتم پیشنهادی میانگین زمان اجرای کمتری در مقایسه با سایر الگوریتم‌ها داشته است. این بدان معنی است که با تخصیص اولویت‌دار وظایف به ماشین‌های مجازی توانسته‌ایم به نحو بهتری از منابع استفاده کنیم به طوری که اجرای وظایف در زمان کمتری به اتمام رسیده است.

دهیم. با توجه به نتایج به دست آمده در ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی، حال امتیاز نهایی هر وظیفه با استفاده از معادله شماره (۱) محاسبه می‌شود. با توجه به امتیازات به دست آمده، وظایف در قالب کلاس‌های ۱، ۲ و ۳، دسته‌بندی می‌شوند.

ارزیابی و تحلیل عملکرد روش پیشنهادی

برای ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی از محیط شبیه‌سازی کلودسیم استفاده شده است. کلودسیم به صورت یک بسته فشرده بر روی وبگاه www.cloudbus.org قرار دارد که می‌توان به آخرین نسخه موجود از آن دسترسی داشت. در این بخش عملکرد الگوریتم پیشنهادی (AHP-based) از نظر دو پارامتر اساسی میانگین زمان اجرای وظایف بر روی ماشین‌های مجازی و میانگین زمان بیکاری ماشین‌های مجازی با الگوریتم‌های روش نوبتی^۷ [۷۵]، اولویت با کارهای کوتاه^۸ [۷۶]، اولویت با اولین ورودی^۹ [۷۷]، روش مینی‌م-مینی‌م^{۱۰} [۷۸]، بهینه‌سازی ازدحام ذرات^{۱۱} [۷۹] و بهینه‌سازی ازدحام ذرات چند هدفه^{۱۲} [۸۰] مورد مقایسه و ارزیابی قرار می‌گیرد. در این شبیه‌سازی از سه ماشین مجازی با مشخصات نشان داده شده در جدول ۶ استفاده شده است (سایر تنظیماتی که از آن‌ها نام برده نشده است به طور پیش فرض در نظر گرفته شدند). در ادامه خروجی‌های مربوط به اجرای هر کدام از الگوریتم‌ها ارائه می‌گردد.

جدول ۶: مشخصات ماشین‌های مجازی

شناسه ماشین‌های مجازی	تعداد CPU	پهنای باند (BW)	MIPS	RAM(MB)	VMM
۰	۱	۱۰۰۰	۵۰۰	۵۱۲	"Xen"
۱	۱	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۵۱۲	"Xen"
۲	۱	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۱۰۲۴	"Xen"

7- RR

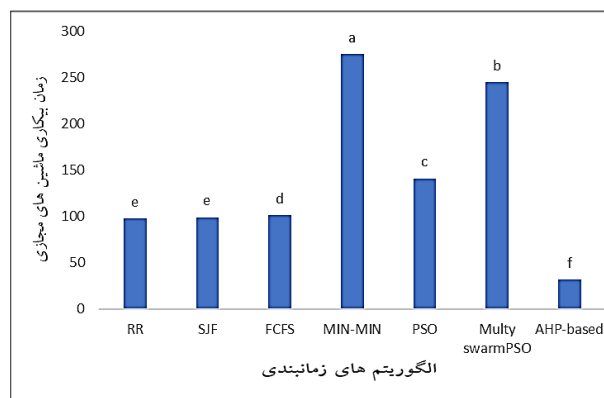
8- SJF

9- FCFS

10- Min-Min

11- PSO

12- MultiSwarmPSO



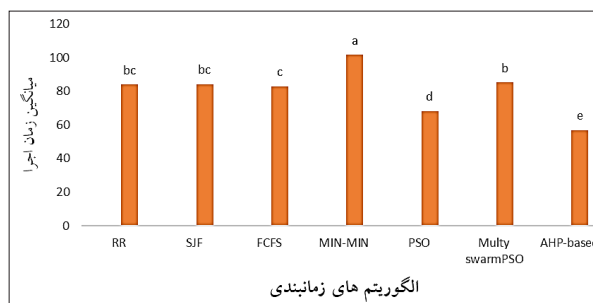
شکل ۷: مقایسه الگوریتم‌های زمان‌بندی بر اساس میانگین زمان بیکاری ماشین‌های مجازی

همان‌طور که در نمودار شکل ۶ مشخص است، در روشی مانند مینیم-مینیم که از نقص عدم توازن در توزیع بار برخوردار است شاهد افزایش میانگین زمان بیکاری آن هستیم. اما در سایر روش‌ها شاهد توزیع متوازن‌تر بار هستیم که خود باعث بهبود زمان بیکاری در مقایسه با الگوریتم مینیم-مینیم شده است.

نتیجه

یکی از اهداف زمان‌بندی استفاده از منابع به طور موثر و به دست آوردن حداکثر بهره‌وری است. در محیط رایانش ابری هر کاربر ممکن است برای اجرای هر وظیفه، با صدها منبع مجازی روبرو شود. الگوریتم زمان‌بندی وظیفه، یک رویه تصمیم‌گیری در مورد واگذاری و دستیابی به بهترین هماهنگی بین وظایف و منابع است. وظایف خود ابعاد گوناگون و اولویت‌های متفاوتی بر حسب میزان انتظار در صف، طول وظیفه، مدت زمان لازم جهت اتمام وظیفه و همچنین قیمت تمام شده برای انجام وظیفه دارند.

در این پژوهش، با در نظر گرفتن این معیارها و توان پردازشی متفاوت ماشین‌های مجازی و با ایده گرفتن از روش تصمیم‌گیری چندمتغیره، مسئله زمان‌بندی وظایف در فضای ابری تبدیل به یک مسئله تصمیم‌گیری چندمتغیره شده است. در این روش برای هر کدام از معیارها وزنی در نظر گرفته می‌شود و سپس وظایف به سه دسته وظایف



شکل ۶: مقایسه الگوریتم‌های زمان‌بندی بر اساس میانگین زمان اجرای وظایف بر روی ماشین‌های مجازی

مقایسه روش پیشنهادی با سایر الگوریتم‌های زمان‌بندی بر اساس معیار میانگین زمان اجرا

با توجه به این که در روش پیشنهادی معیار توان پردازشی ماشین‌های مجازی ملاک تخصیص اولویت‌دار وظایف است لذا انتظار می‌رود ماشین‌های مجازی میانگین زمان بیکاری کمتری نیز داشته باشند. چرا که با دسته‌بندی وظایف و ماشین‌های مجازی براساس معیارهای تعیین شده می‌توان گفت به طرز مناسبی وظایف تخصیص پیدا می‌کنند. در صورتی که در روش‌های دیگر توان پردازشی ماشین‌ها مورد توجه قرار نگرفته است.

جدول ۸ نتیجه تجزیه واریانس اثر الگوریتم‌های مختلف بر زمان بیکاری را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج جدول ۸ مشخص است که اختلاف معنی‌داری بین الگوریتم‌های مختلف بر اساس زمان بیکاری وجود دارد. مقایسه میانگین اثر الگوریتم‌های مختلف مورد ارزیابی بر زمان بیکاری در شکل ۷ نشان داده شده است.

جدول ۸: نتیجه تجزیه واریانس اثر الگوریتم‌های مختلف بر زمان بیکاری

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
الگوریتم	۶	۲۲۹۳۱/۸۵۷**

** نشان‌دهنده معنی داری در سطح احتمال ۹۹٪

- tional Journal of Advanced Networking and Applications, vol. 14, no. 6, pp. 5686-5695, 2023.
6. X. Liu, J. Wu, L. Chen, and L. Zhang, "Energy-aware virtual machine consolidation based on evolutionary game theory," *Concurrency and computation: practice and experience*, vol. 34, no. 10, p. e6830, 2022.
 ۷. سیدحسین قدسی پور، مباحثی در تصمیم‌گیری چند معیاره. انتشارات دانشگاه امیرکبیر، ۱۳۸۱.
 8. A. Y. Aldailamy, J. Maipan-uku, and A. Muhammed, "HEURISTIC TASK SCHEDULING ALGORITHMS FOR OPTIMAL RESOURCE UTILISATION IN GRID COMPUTING," *Technology*, vol. 11, no. 12, pp. 1099-1107, 2020.
 9. S. Sharma and R. Jain, "EACO: an enhanced ant colony optimization algorithm for task scheduling in cloud computing," *International Journal of Security and Its Applications*, vol. 13, no. 4, pp. 91-100, 2019.
 10. S. Nabi and M. Ahmed, "PSO-RDAL: Particle swarm optimization-based resource-and deadline-aware dynamic load balancer for deadline constrained cloud tasks," *The Journal of Supercomputing*, vol. 78, no. 4, pp. 4624-4654, 2022.
 11. B. Kruekaew and W. Kimpan, "Multi-objective task scheduling optimization for load balancing in cloud computing environment using hybrid artificial bee colony algorithm with reinforcement learning," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 17803-17818, 2022.
 12. K. Shao, Y. Song, and B. Wang, "PGA: A New Hybrid PSO and GA Method for Task Scheduling with Deadline Constraints in Distributed Computing," *Mathematics*, vol. 11, no. 6, p. 1548, 2023.
 13. G. Agarwal, S. Gupta, R. Ahuja, and A. K. Rai, "Multiprocessor task scheduling using multi-objective hybrid genetic Algorithm in Fog-cloud computing," *Knowledge-Based Systems*, vol. 272, p. 110563, 2023.
 14. Y.-m. Chen, S.-l. Liu, Y.-j. Chen, and X. Ling, "A scheduling algorithm for heterogeneous computing systems by edge cover queue," *Knowledge-Based Systems*, vol. 265, p. 110369, 2023.
 15. J. Elcock and N. Edward, "An efficient ACO-based algorithm for task scheduling in heterogeneous multiprocessing environments," *Array*, vol. 17, p. 100280, 2023.
 16. Z. Sun, B. Zhang, C. Gu, R. Xie, B. Qian, and H. Huang, "ET2FA: A hybrid heuristic algorithm for deadline-constrained workflow scheduling in cloud," *IEEE Transactions on Services Computing*, 2022.
 17. R. Ghafouri and A. Movaghar, "An adaptive and deadline-constrained workflow scheduling algorithm in infrastructure as a service clouds," *Iran Journal of Computer Science*, vol. 5, no. 1, pp. 17-39, 2022.
 18. N. Mansouri and R. Ghafari, "Cost-Efficient Task Scheduling Algorithm for Reducing Energy Consumption and Makespan of Cloud Computing," *Computer and Knowledge Engineering*, vol. 5, no. 1, pp. 1-12, 2022.
 19. N. Mansouri, B. M. H. Zade, and M. M. Javidi, "Hybrid با اولویت بالا، متوسط و پایین تقسیم می‌شوند. از طرفی ماشین‌های مجازی نیز کلاس‌بندی شده و در سه دسته ماشین‌های مجازی با توان پردازشی بالا، متوسط و پایین دسته‌بندی قرار می‌گیرند. حال با نگاشت وظایف با اولویت بالا به ماشین‌های مجازی با توان پردازشی بالا، وظایف با اولویت متوسط به ماشین‌های مجازی با توان پردازشی متوسط، وظایف با اولویت پایین به ماشین‌های مجازی با اولویت پایین سعی می‌شود توازن مناسبی بین توان پردازشی مورد نیاز وظایف و منابع موجود برقرار شود. نتایج ارزیابی نشان داد که در مقایسه با روش‌هایی چون روش نوبتی، اولویت با کارهای کوتاه، اولویت با اولین ورودی و روش مینیم-مینیم، بهینه‌سازی ازدحام ذرات و بهینه‌سازی ازدحام ذرات چند هدفه، روش پیشنهادی هم از نظر میانگین زمان اجرا و هم از نظر میانگین زمان بیکاری ماشین‌ها بهره‌وری بهتری داشته است. در ادامه، دریافت اولویت برخی از معیارها از کاربر را می‌توان به عنوان خط سیر آتی پژوهش در نظر گرفت. به عنوان مثال کاربری ترجیح می‌دهد پول بیشتری پرداخت کند تا وظایف او بر روی ماشین مجازی پر قدرت‌تری اجرا شود. لذا اولویت‌بندی وظایف بر اساس خواسته‌های کاربر می‌تواند در نظر گرفته شود.

منابع

1. G. U. Srikanth and R. Geetha, "Effectiveness review of the machine learning algorithms for scheduling in cloud environment," *Archives of Computational Methods in Engineering*, vol. 30, no. 6, pp. 3769-3789, 2023.
2. B. Xu and M. Lu, "Agent-Based Virtual Machine Migration for Load Balancing and Co-Resident Attack in Cloud Computing," *Applied Sciences*, vol. 13, no. 6, p. 3703, 2023.
3. B. B. Dash, R. Satapathy, and S. S. Patra, "Energy Efficient SDN-assisted Routing Scheme in Cloud Data Center," in *2023 2nd International Conference on Vision Towards Emerging Trends in Communication and Networking Technologies (VITECoN)*, 2023: IEEE, pp. 1-5.
4. A. Y. Hamed, M. K. Elnahary, and H. H. El-Sayed, "Task Scheduling Optimization in Cloud Computing by Coronavirus Herd Immunity Optimizer Algorithm," *Interna-*

- 2011.
33. V. Priya and C. N. K. Babu, "Moving average fuzzy resource scheduling for virtualized cloud data services," *Computer Standards & Interfaces*, vol. 50, pp. 251-257, 2017.
34. D. Yokoyama, B. Schulze, H. Kloh, M. Bandini, and V. Rebello, "Affinity aware scheduling model of cluster nodes in private clouds," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 95, pp. 94-104, 2017.
35. E. S. Alkayal, N. R. Jennings, and M. F. Abulkhair, "Efficient task scheduling multi-objective particle swarm optimization in cloud computing," in *2016 IEEE 41st conference on local computer networks workshops (LCN workshops)*, 2016: IEEE, pp. 17-24.
36. K. Dasgupta, B. Mandal, P. Dutta, J. K. Mandal, and S. Dam, "A genetic algorithm (ga) based load balancing strategy for cloud computing," *Procedia Technology*, vol. 10, pp. 340-347, 2013.
37. A. Mehrzadeh and S. M. Hashemi, "A novel-scheduling algorithm for cloud computing based on fuzzy logic," *International Journal of Applied Information Systems (IJ AIS)*, vol. 5, no. 7, pp. 28-31, 2013.
38. G. Lovász, F. Niedermeier, and H. De Meer, "Performance tradeoffs of energy-aware virtual machine consolidation," *Cluster Computing*, vol. 16, pp. 481-496, 2013.
39. X. He, X. Sun, and G. Von Laszewski, "QoS guided min-min heuristic for grid task scheduling," *Journal of computer science and technology*, vol. 18, no. 4, pp. 442-451, 2003.
40. S. Patel and M. Bhavsar, "QoS based user driven scheduler for grid environment," *arXiv preprint arXiv:1102.0516*, 2011.
41. S. Dubey and S. Agrawal, "QoS driven task scheduling in cloud computing," *Int. J. Comput. Appl. Technol. Res*, vol. 2, no. 5, pp. 595-600, 2013.
42. X. Wu, M. Deng, R. Zhang, B. Zeng, and S. Zhou, "A task scheduling algorithm based on QoS-driven in cloud computing," *Procedia Computer Science*, vol. 17, pp. 1162-1169, 2013.
43. M. Faruk and D. Sivakumar, "Multi-layer QOS based task scheduling algorithm for cloud environments," *International Journal of Advanced Computer Technology*, 2014.
44. P. Mathiyalagan, U. Dhephthie, and S. Sivanandam, "Grid scheduling using enhanced ant colony algorithm," *IC-TACT journal on soft computing*, vol. 2, pp. 85-87, 2010.
45. D. Maruthanayagam and D. R. U. Rani, "Enhanced ant colony system based on RASA algorithm in grid scheduling," *IJCSIT International Journal of Computer Science and Information Technologies*, vol. 2, no. 4, pp. 1659-1674, 2011.
46. A. T. Medhat, E.-S. Ashraf, E. Keshk Arabi, and A. T. Fawzy, "An Ant Algorithm for cloud task scheduling," in *1st International Workshop on Cloud Computing and Information Security*, 2013: Atlantis Press, pp. 169-172.
- task scheduling strategy for cloud computing by modified particle swarm optimization and fuzzy theory," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 130, pp. 597-633, 2019.
20. D. Rupanetti and H. Salamy, "Task allocation, migration and scheduling for energy-efficient real-time multiprocessor architectures," *Journal of Systems Architecture*, vol. 98, pp. 17-26, 2019.
21. S. Srichandan, T. A. Kumar, and S. Bibhudatta, "Task scheduling for cloud computing using multi-objective hybrid bacteria foraging algorithm," *Future Computing and Informatics Journal*, vol. 3, no. 2, pp. 210-230, 2018.
22. K. Wu, P. Lu, and Z. Zhu, "Distributed online scheduling and routing of multicast-oriented tasks for profit-driven cloud computing," *IEEE Communications Letters*, vol. 20, no. 4, pp. 684-687, 2016.
23. V. Hayyolalam and A. A. P. Kazem, "A systematic literature review on QoS-aware service composition and selection in cloud environment," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 110, pp. 52-74, 2018.
24. P. Mathiyalagan, S. Suriya, and S. Sivanandam, "Modified ant colony algorithm for grid scheduling," *International Journal on computer science and Engineering*, vol. 2, no. 02, pp. 132-139, 2010.
25. N. Pughazendi and J. Elayaraja, "Workflow Scheduling Using Heuristics Based Ant Colony Optimization," *Networking and Communication Engineering*, pp. 471-475, 2011.
26. M. Feng, X. Wang, Y. Zhang, and J. Li, "Multi-objective particle swarm optimization for resource allocation in cloud computing," in *2012 IEEE 2nd international conference on cloud computing and intelligence systems*, 2012, vol. 3: IEEE, pp. 1161-1165.
27. J. Umale and P. Chaudhari, "Survey on Job Scheduling Algorithms of Cloud Computing," *International Journal Computer Science and Management*, vol. 3, no. 2, pp. 2278-6856, 2013.
28. A. Verma and S. Kaushal, "A hybrid multi-objective particle swarm optimization for scientific workflow scheduling," *Parallel Computing*, vol. 62, pp. 1-19, 2017.
29. P. Kumar and A. Verma, "Independent task scheduling in cloud computing by improved genetic algorithm," *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, vol. 2, no. 5, 2012.
30. S. H. Jang, T. Y. Kim, J. K. Kim, and J. S. Lee, "The study of genetic algorithm-based task scheduling for cloud computing," *International Journal of Control and Automation*, vol. 5, no. 4, pp. 157-162, 2012.
31. H. Y. Shishido, J. C. Estrella, C. F. M. Toledo, and M. S. Arantes, "Genetic-based algorithms applied to a workflow scheduling algorithm with security and deadline constraints in clouds," *Computers & Electrical Engineering*, vol. 69, pp. 378-394, 2018.
32. M. R. Mohamed and M. H. Awadalla, "Hybrid algorithm for multiprocessor task scheduling," *International Journal of Computer Science Issues (IJCSI)*, vol. 8, no. 3, p. 79,

60. H. G. E. D. H. Ali, I. A. Saroit, and A. M. Kotb, "Grouped tasks scheduling algorithm based on QoS in cloud computing network," *Egyptian informatics journal*, vol. 18, no. 1, pp. 11-19, 2017.
61. A. G. Delavar, J. Bayrampoor, A. R. K. Boroujeni, and A. Broumandnia, "Task scheduling in grid environment with ant colony method for cost and time," *International Journal of Computer Science, Engineering and Applications*, vol. 2, no. 5, p. 1, 2012.
62. X. Zhu, C. Chen, L. T. Yang, and Y. Xiang, "ANGEL: Agent-based scheduling for real-time tasks in virtualized clouds," *IEEE Transactions on Computers*, vol. 64, no. 12, pp. 3389-3403, 2015.
63. K. KRISHNASAMY, "Task scheduling algorithm based on Hybrid Particle Swarm Optimization in cloud computing environment," *Journal of Theoretical & Applied Information Technology*, vol. 55, no. 1, 2013.
64. M. Khenwar, A. Sisodia, S. Vishnoi, and R. Kumar, "Exploration: Cloud Computing Scheduling Techniques," *Scandinavian Journal of Information Systems*, vol. 35, no. 1, pp. 673-679, 2023.
65. W. Juan, L. Fei, and C. Aidong, "An improved PSO based task scheduling algorithm for cloud storage system," *Advances in Information Sciences and Service Sciences*, vol. 4, no. 18, pp. 465-471, 2012.
66. K. Wu, "A tunable workflow scheduling algorithm based on particle swarm optimization for cloud computing," 2014.
67. R. Albodour, A. James, and N. Yaacob, "QoS within business grid quality of service (BGQoS)," *Future Generation Computer Systems*, vol. 50, pp. 22-37, 2015.
68. G. Kaur and S. Sharma, "Research paper on optimized utilization of resources using PSO and improved particle swarm optimization (IPSO) algorithms in cloud computing," *International Journal of Advanced Research in Computer Science & Technology (IJARCST 2014)*, vol. 2, no. 3, 2014.
69. A. Kaleeswaran, V. Ramasamy, and P. Vivekanandan, "Dynamic scheduling of data using genetic algorithm in cloud computing," *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, vol. 5, no. 2, p. 327, 2013.
70. [X. Qin and H. Jiang, "A dynamic and reliability-driven scheduling algorithm for parallel real-time jobs executing on heterogeneous clusters," *Journal of Parallel and Distributed Computing*, vol. 65, no. 8, pp. 885-900, 2005.
71. [G. T. Abraham, A. James, and N. Yaacob, "Group-based parallel multi-scheduler for grid computing," *Future Generation Computer Systems*, vol. 50, pp. 140-153, 2015.
72. Q. Zhang, H. Liang, and Y. Xing, "A parallel task scheduling algorithm based on fuzzy clustering in cloud computing environment," *Int. J. Mach. Learn. Comput*, vol. 4, no. 5, pp. 437-444, 2014.
73. S. Abrishami and M. Naghibzadeh, "Deadline-constrained workflow scheduling in software as a service cloud," *Scientia Iranica*, vol. 19, no. 3, pp. 680-689, 2012.
47. E. Niazmand, A. G. Delavar, J. Bayrampoor, and A. R. K. Boroujeni, "JSWA: An improved algorithm for grid workflow scheduling using ant colony optimization," *J. Math. Comput. Sci*, vol. 6, no. 4, pp. 315-331, 2013.
48. S. Pandey, L. Wu, S. M. Guru, and R. Buyya, "A particle swarm optimization-based heuristic for scheduling workflow applications in cloud computing environments," in *2010 24th IEEE international conference on advanced information networking and applications*, 2010: IEEE, pp. 400-407.
49. Y. Xu, K. Li, J. Hu, and K. Li, "A genetic algorithm for task scheduling on heterogeneous computing systems using multiple priority queues," *Information Sciences*, vol. 270, pp. 255-287, 2014.
50. S. Dhingra, S. B. Gupta, and R. Biswas, "Genetic algorithm parameters optimization for bi-criteria multiprocessor task scheduling using design of experiments," *International Journal of Computer, Control, Quantum and Information Engineering*, vol. 8, no. 4, pp. 661-667, 2014.
51. G. A. Süer, A. Sarkar, A. Arinsoy, P. A. Kubi, K. Plis, and M. Altun, "Evaluation of feedback among multiple scheduler profiles in fuzzy genetic scheduling," *Procedia Computer Science*, vol. 12, pp. 129-134, 2012.
52. M. Fahmy, "A fuzzy algorithm for scheduling non-periodic jobs on soft real-time single processor system," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 1, no. 1, pp. 31-38, 2010.
53. X. Kong, C. Lin, Y. Jiang, W. Yan, and X. Chu, "Efficient dynamic task scheduling in virtualized data centers with fuzzy prediction," *Journal of network and Computer Applications*, vol. 34, no. 4, pp. 1068-1077, 2011.
54. K. Abd, K. Abhary, and R. Marian, "Efficient scheduling rule for robotic flexible assembly cells based on fuzzy approach," *Procedia CIRP*, vol. 3, pp. 483-488, 2012.
55. S. Su, J. Li, Q. Huang, X. Huang, K. Shuang, and J. Wang, "Cost-efficient task scheduling for executing large programs in the cloud," *Parallel Computing*, vol. 39, no. 4-5, pp. 177-188, 2013.
56. C. Cheng, J. Li, and Y. Wang, "An energy-saving task scheduling strategy based on vacation queuing theory in cloud computing," *Tsinghua Science and Technology*, vol. 20, no. 1, pp. 28-39, 2015.
57. [J. Gao, M. Gen, L. Sun, and X. Zhao, "A hybrid of genetic algorithm and bottleneck shifting for multiobjective flexible job shop scheduling problems," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 53, no. 1, pp. 149-162, 2007.
58. B. Keshanchi, A. Souri, and N. J. Navimipour, "An improved genetic algorithm for task scheduling in the cloud environments using the priority queues: formal verification, simulation, and statistical testing," *Journal of Systems and Software*, vol. 124, pp. 1-21, 2017.
59. V. Dandhwani and V. Vekariya, "Multi-Objective task scheduling using K-mean algorithm in cloud computing," *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, vol. 4, no. 11, pp. 19521-19524, 2016.

74. S. C. Nayak, S. Parida, C. Tripathy, and P. K. Pattnaik, "An enhanced deadline constraint based task scheduling mechanism for cloud environment," *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, vol. 34, no. 2, pp. 282-294, 2022.
75. S. Mousavi, A. Mosavi, and A. R. Varkonyi-Koczy, "A load balancing algorithm for resource allocation in cloud computing," in *Recent Advances in Technology Research and Education: Proceedings of the 16th International Conference on Global Research and Education Inter-Academia 2017 16*, 2018: Springer, pp. 289-296.
76. F. Alhaidari and T. Z. Balharith, "Enhanced round-robin algorithm in the cloud computing environment for optimal task scheduling," *Computers*, vol. 10, no. 5, p. 63, 2021.
77. N. K. Gupta, A. Walia, and A. Sharma, "GP-MSJF: An improved load balancing generalized priority-based modified SJF scheduling in cloud computing," in *Advances in Information Communication Technology and Computing: Proceedings of AICTC 2021*: Springer, 2022, pp. 589-597.
78. T. Aladwani, "Types of task scheduling algorithms in cloud computing environment," *Scheduling Problems-New Applications and Trends*, pp. 1-12, 2020.
79. [S. S. Murad et al., "Optimized Min-Min task scheduling algorithm for scientific workflows in a cloud environment," *J. Theor. Appl. Inf. Technol*, vol. 100, no. 2, pp. 480-506, 2022.
80. S. Nabi, M. Ahmad, M. Ibrahim, and H. Hamam, "AdP-SO: adaptive PSO-based task scheduling approach for cloud computing," *Sensors*, vol. 22, no. 3, p. 920, 2022.
81. T. Prem Jacob and K. Pradeep, "A multi-objective optimal task scheduling in cloud environment using cuckoo particle swarm optimization," *Wireless Personal Communications*, vol. 109, no. 1, pp. 315-331, 2019.
82. A. C. Tamhane, *Statistical analysis of designed experiments: theory and applications*. John Wiley & Sons, 2009.