

زمان بندی گردش کار در محیط ابر ترکیبی با در نظر گرفتن امنیت کارها و

ارتباطات با الگوریتم ازدحام ذرات بهبودیافته

مائه مهرآوران^۱، محمدرضا پژوهان^{۲*}، فضل الله ادیب نیا^۳

۱- دانشجوی دکتری مهندسی کامپیوتر، دانشگاه یزد، ۲ و ۳- استادیار، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه یزد

(دریافت: ۹۷/۰۶/۱۳، پذیرش: ۹۷/۱۲/۱۴)

چکیده

در حالی که منابع ابر خصوصی برای اجرای درخواستها، کاهش هزینه و امنیت بیشتر اطلاعات را به دنبال دارد، استفاده از ابر عمومی علاوه بر هزینه، مخاطرات احتمالی در حفاظت از اطلاعات سازمان را نیز به همراه دارد. اما نیاز سازمانها به منابع با کارایی و ظرفیت ذخیره سازی بالا، آن‌ها را ناگزیر به استفاده از ابر عمومی می‌کند. بنابراین زمان بندی درخواستها به منابع، یکی از مسائل مهم در محاسبات ابری است. در این مقاله روش جدیدی پیشنهاد می‌شود که به زمان بندی کارها با در نظر گرفتن ملاحظات امنیتی می‌پردازد. ملاحظات امنیتی شامل حساسیت برای کارها که در پژوهش‌های اخیر در نظر گرفته شده، حساسیت برای داده‌های انتقالی بین کارها و همچنین ایده اصلی در نظر گرفتن قدرت امنیتی برای منابع و مسیرهای ارتباطی بین آن‌ها می‌باشد. سناریوی پیشنهادی توسط الگوریتم PSO بهبودیافته (PSO-WSCS) پیاده سازی می‌شود. تابع هدف، حداقل کردن فاصله امنیتی کارها و داده‌ها از قدرت امنیتی منابع و ارتباطات است؛ به طوری که دو محدودیت زمان و هزینه نیز برآورده شود. الگوریتم پیشنهادی PSO-WSCS که تغییراتی روی الگوریتم PSO اصلی می‌دهد، با سه الگوریتم دیگر زمان بندی مطرح و مشابه VNPSO، MPSO و MPSO-SA با در نظر گرفتن امنیت در محیط ابر ترکیبی مقایسه می‌گردد. نتایج ارزیابی حاکی از مؤثر بودن الگوریتم پیشنهادی در یافتن منابع با شباهت امنیتی نزدیک به نیازهای امنیتی می‌باشد. به طور متوسط، بهبود ۴۰ درصدی در نمونه‌های در نظر گرفته شده این مهم را نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: ابر ترکیبی، زمان بندی جریان کارها، نیاز امنیتی کار، نیاز امنیتی داده، قدرت امنیتی منابع، قدرت امنیتی مسیر ارتباطی

۱. مقدمه

ابر خصوصی: ابر خصوصی که به ابر داخلی هم مشهور است، جهت استفاده اختصاصی سازمان در نظر گرفته شده و سازمان مالک منابع آن است. منابع ابر خصوصی محدود می‌باشد.

ابر عمومی: در محیط ابر عمومی منابع نامحدود موجود می‌باشد اما در آن، بر اساس میزان استفاده کاربر، هزینه محاسبه می‌شود.

ابر ترکیبی: ابر ترکیبی، ترکیب ابر عمومی و خصوصی است. در صورتی که منابع موجود در ابر خصوصی کافی نباشد از منابع ابر عمومی استفاده می‌شود. از لحاظ دسترسی به منابع، ابر ترکیبی از همه بهتر است چون علاوه بر مزایای ابر خصوصی (عدم پرداخت هزینه و امنیت در صورت موجود بودن منابع)، ویژگی نامحدود بودن منابع ابر عمومی را نیز دارد.

مسئله زمان بندی در ابر ترکیبی با چالش‌هایی روبرو است. در واقع استفاده از منابع خارج از سازمان چالش‌هایی چون ملاحظات امنیتی، حفظ حریم خصوصی و نحوه تخصیص دهی منابع به کارها [۴] را به وجود می‌آورد [۵]. یکی از چالش‌های

در محیط محاسبات ابری کاربران می‌توانند از منابع موجود بر اساس تقاضا استفاده کنند. مسئله زمان بندی کارها^۱، راهبرد مناسب در نحوه پاسخ‌دهی به درخواستها و توزیع صحیح کارها میان منابع موجود با توجه به ویژگی‌ها و توانایی منابع و معیارهای کارایی است. مجموعه کارها با یک گراف جهت‌دار مشخص می‌شود که گره‌های آن مجموعه کارها و یال‌ها، نشان دهنده وابستگی بین کارها است. معمولاً میزان داده برای انتقال بین دو کار به وسیله وزن یال مشخص می‌شود [۲-۱].

محیط ابری را به سه دسته ابر خصوصی^۲، عمومی^۳ و ترکیبی^۴ دسته بندی می‌کنند که هر کدام از دسته‌ها به شرح زیر بیان می‌شود [۳].

*ایانامه نویسنده مسئول: pajooohan@yazd.ac.ir

^۱ Task Scheduling
^۲ Private Cloud
^۳ Public Cloud
^۴ Hybrid Cloud

مدنظر دارد که از الگوریتم فرا مکاشفه‌ای بهبودیافته PSO برای حل مسئله استفاده شده است.

ادامه این مقاله به صورت زیر ساخت یافته است: در بخش دوم کارهای مرتبط که بحث امنیت را در نظر گرفته‌اند مرور می‌شود. روش پیشنهادی در بخش سوم تشریح می‌گردد. در بخش چهارم روش پیشنهادی و روش‌های مشابه مورد ارزیابی و مقایسه قرار می‌گیرد.

۲. کارهای پیشین

لیو و همکاران [۱۴] مدل محدودیت امنیتی^۲ تعریف کردند که سه حالت امنیتی برای زمان‌بندی کارها روی منابع در نظر می‌گیرد. بر اساس این مدل برای کارها و منابع سطح امنیتی تعریف می‌شود. اگر کار فقط روی منابع با سطح امنیتی بالاتر زمان‌بندی شود، آنگاه حالت امنیتی، امن گفته می‌شود. اگر کارها برای زمان‌بندی محدودیتی نداشته باشند، حالت امنیتی ریسکی گفته می‌شود و اگر کارها روی منابعی با احتمال ریسک $Y < 1$ زمان‌بندی شود، حالت امنیتی با ریسک Y گویند. این مدل با روش فرا مکاشفه‌ای ازدحام ذرات حل می‌شود.

لیو و همکاران [۱۵] در ادامه سرویس‌های امنیتی جهت محافظت از داده‌های حساس در جریان کار تعریف می‌کنند. موارد تهدید برای داده‌ها عبارت از تغییر^۳، شنود^۴ و جاسوسی^۵ داده‌ها هستند که برای مقابله با این تهدیدها از سرویس احراز هویت^۶، سرویس محرمانگی^۷ و سرویس جامعیت^۸ استفاده شده است. مدلی نیز جهت سرویس‌های امنیتی مراکز داده و سرویس‌های امنیتی مورد نیاز کارها ارائه می‌کند که کارها روی مراکز داده‌ای متناسب با نیازهای امنیتی زمان‌بندی می‌شود.

چن و همکاران [۱۰] روشی ارائه کردند که با اجرای تکراری کارها روی منابع از انتقال داده‌های حساس بین منابع جلوگیری می‌شود و همچنین با اجرای کارها روی منبع واحد نیازی به رمزنگاری داده‌های میانی نیست. بدین ترتیب زمان مورد نیاز برای رمزنگاری از زمان کل اجرای کارها کسر و زمان کل کاهش می‌یابد.

در ادامه لی و همکاران [۱۶] مدلی دیگر جهت سربار امنیتی کارها و مبحث مربوط به تهدیدات امنیتی که ممکن است

اصلی که سازمان‌ها در مواجهه شدن با محیط ابر دارند، مسئله امنیت است. در IDC^۱ بحث امنیت و محرمانگی یکی از مهم‌ترین چالش‌هایی است که محیط ابر را تهدید می‌کند. همچنین یکی از مسائل قابل توجه و پیچیده، مسئله زمان‌بندی کارها در محیط ابر ترکیبی است [۶].

مسئله زمان‌بندی کارها راهبرد تخصیص کارها به منابع است که در این مقاله با در نظر گرفتن ملاحظات امنیتی که در ادامه توضیح داده می‌شود، در محیط ابر ترکیبی انجام خواهد شد.

در پژوهش‌های شریف، ابریشمی و رضاییان [۷-۹] مبحث امنیت در کارها لحاظ شده است و بر این اساس، کارها به دودسته حساس و غیر حساس تقسیم می‌شوند. کارهای حساس ترجیحاً باید در داخل سازمان و ابر خصوصی انجام شود و کارهای غیر حساس می‌تواند در ابر خصوصی یا در ابر عمومی انجام شود. با توجه به اینکه حساسیت کارها وابسته به داده‌هایی است که با آن کار می‌کنند، در اینجا علاوه بر تعریف حساسیت برای کارها، برای داده‌ها نیز حساسیت تعریف می‌شود. در واقع داده‌های ورودی و خروجی هر کار می‌تواند درجه حساسیت مختلفی داشته باشد. همچنین با توجه به حملات امنیتی متفاوتی که در دنیای شبکه وجود دارد، مثل حملات شنود و افشا، تخریب و حملات جعل هویت، می‌توان قدرت امنیتی برای منابع و مسیرهای ارتباطی بین آن‌ها تعریف کرد. قدرت امنیتی، بر اساس خدمات مختلف امنیتی که ارائه می‌کنند (محرمانگی، صحت و احراز هویت) مشخص می‌شود [۱۰]. برای ارائه سرویس‌های امنیتی، الگوریتم‌های گوناگونی به وجود آمده است که این الگوریتم‌ها از نظر قدرت امنیتی و میزان سرباری که ایجاد می‌کند، متفاوت هستند. به طور مسلم هرچه الگوریتم قدرت امنیتی بالاتری داشته باشد، سربار بیشتری برای اجرای آن الگوریتم به وجود می‌آید و در نتیجه زمان افزایش پیدا می‌کند.

با توجه به اینکه جهت مسئله زمان‌بندی راه‌حل چندجمله‌ای وجود ندارد [۱۱]، الگوریتم‌های مختلفی برای مسئله زمان‌بندی پیشنهاد شده است [۱۲]. این الگوریتم‌ها به سه دسته تقسیم می‌شوند [۱۳]. الف- الگوریتم‌های مکاشفه‌ای ب- الگوریتم‌های فرا مکاشفه‌ای ج- الگوریتم‌های ترکیبی.

آنچه این مقاله را از کارهای پیشین متمایز می‌کند، در نظر گرفتن نیاز امنیتی برای کارها و داده‌های انتقالی بین آن‌ها و همچنین قدرت امنیتی برای منابع و مسیرهای ارتباطی بین منابع است. همچنین تابع هدف مسئله میزان تشابه امنیتی را

² Security constraint

³ Alteration

⁴ spoofing

⁵ snooping

⁶ Authentication

⁷ Confidentiality

⁸ Integrity Service

¹ International Data Corporation

جدول (۲): الگوریتم احراز هویت [۱۰]

سرعت (Mb/s)	قدرت امنیتی	الگوریتم احراز هویت
۱۶۳	۰/۹	CBC-MAC-AES
۱۴۸	۰/۶	HMAC-SHA-1
۹۰	۰/۳	HMAC-MD5

جدول (۳): توابع درهم سازی [۱۰]

سرعت (Mb/s)	قدرت امنیتی	نام تابع
۴۸/۳	۱/۰	TIGER
۷۱/۲۷	۰/۷۷	RIFDMD-160
۸۰/۶	۰/۶۳	SHA-1
۸۶/۹۷	۰/۳۶	RIFDMD-128
۱۳۸/۱۲	۰/۲۶	MD5

لی در سال ۲۰۱۶ [۱۶] مسئله زمان بندی را با محدودیت های زمان تعریف شده توسط کاربر و مخاطره امنیتی بیان می کند. هدف در این مسئله، حداقل کردن هزینه ها است. در این مقاله از الگوریتم مورچگان که از دسته الگوریتم های فرا مکاشفه ای است، استفاده شده است.

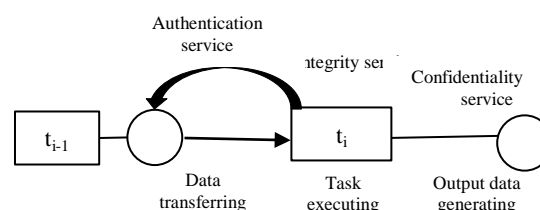
در مقاله ابریشمی و همکاران [۱۷] زمان بندی کارها در محیط ابر ترکیبی شامل منابع ابر عمومی و ابر خصوصی انجام می شود. آقای ابریشمی با در نظر گرفتن حساسیت برای کارها، مسئله زمان بندی را مطرح می کند. کارهای حساس باید در محیط ابر خصوصی انجام شود و کارهای غیر حساس می تواند در محیط ابر عمومی یا خصوصی زمان بندی شود. مدل پیشنهادی به وسیله روش مکاشفه ای حل می شود.

یکی از روش های موفق در زمان بندی سامانه های ابر ترکیبی که برای پردازشگرهای چند هسته ای طراحی شده است، الگوریتم زمان بندی "بهینه شده هزینه برای ابرهای ترکیبی" (HCOC) است که توسط بیتکورت و همکاران [۱۸] ارائه گردیده است. این روش مهلت زمانی دریافت کرده و سعی می کند که با حداقل هزینه زمان بندی، گردش کاری را قبل از مهلت تعیین شده، انجام دهد.

شریف و همکاران [۷] مبحث محافظت از محرمانگی داده ها

مجموعه کارها را در محیط ابر مورد تهدید قرار دهد، مطرح می کنند. در این سیستم از سه سرویس امنیتی شامل سرویس احراز هویت، محرمانگی و جامعیت استفاده شده است.

در شکل (۱) سرویس های مختلف ارائه شده در فرآیند اجرای کار نشان داده شده است.



شکل (۱): سرویس های امنیتی [۱۶]

همان طور که در شکل (۱) می بینیم، هر کار به سه نوع سرویس شامل سرویس احراز هویت، جامعیت و محرمانگی نیاز دارد. این سرویس ها با سطوح امنیتی مختلفی که باید توسط کاربر مشخص شود، تعیین می شوند. مجموعه نشان می دهد که q برابر ۳ است. (سه سطح را نشان می دهد). با در نظر گرفتن سرویس های امنیتی گفته شده سیستم دارای سربار می شود که برای اعمال این سرویس ها زمان و هزینه افزایش پیدا می کند. جداول ۱، ۲ و ۳ الگوریتم های سرویس امنیتی را نشان می دهد. در جدول (۱) نمونه ای از الگوریتم های رمزنگاری را که برای سرویس محرمانگی استفاده می شود، نشان داده است. جدول (۲) توابع درهم سازی^۱ را برای بررسی سرویس جامعیت نشان می دهد و جدول (۳) الگوریتم های احراز هویت را برای سرویس احراز هویت مشخص می کند. ضرایب بیان شده در جداول بین صفر و یک قرار دارد که صفر کمترین و یک بیشترین قدرت الگوریتم را نشان می دهد. هرچه قدرت الگوریتم بیشتر باشد، نیاز به محاسبات پیچیده تری دارد و هزینه اجرای آن بیشتر و سرعت اجرا کمتر می شود.

جدول (۱): الگوریتم رمزنگاری [۱۶]

سربار (KB/ms)	سرعت (Mb/s)	قدرت امنیتی	الگوریتم رمزنگاری
۱۳/۵	۱۷/۳۴	۱/۰	IDEA
۱۵	۱۸/۲۱	۰/۹	DES
۲۱/۰۹	۳۹/۸۸	۰/۶۴	Rijndael
۹۶/۴۳	۳۲/۹۸	۰/۳۶	RC4

^۱ Hash

میزان تبادل داده‌ها بین مسیرهای بحرانی زیاد نباشد. در نهایت مسیرهای به دست آمده به ابر مناسب اختصاص داده می‌شوند. هدف این مسئله کاهش هزینه اجرای کارها در محدودیت زمانی تعریف شده توسط کاربر است.

فرناندز و همکاران [۲۱] با استفاده از الگوریتم فرا مکاشفه‌ای ژنتیک سعی در حداقل کردن انرژی مصرفی زمان بندی کارها روی منابع و همچنین مقدار زمان اجرای کل کارها را دارد. در این مقاله محدودیت امنیتی برای کارها و منابع در نظر گرفته شده است.

ون و همکاران [۲۲] سعی در حداقل کردن دو هدف مهم الگوریتم‌های زمان بندی یعنی زمان اجرای کارها و هزینه اجرای کارها روی منابع را دارد. جهت دستیابی به این اهداف از الگوریتم ژنتیک چندهدفه استفاده می‌کند که محدودیت تابع احتمال خطر امنیتی برای کار و منبع در نظر گرفته شده است.

الگوریتم زمان بندی ارائه شده در مقاله ابراهام و همکاران [۲۳] که با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات همسایگی متغییر پیاده سازی شده است، هدف را حداقل کردن زمان اجرای کل کارها در نظر می‌گیرد. این الگوریتم سال ۲۰۱۶ با الگوریتم بهبود یافته ازدحام ذرات ارائه شده توسط نایدو و همکاران [۲۴] مقایسه می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم جدید اهداف مسئله را با در نظر گرفتن محدودیت امنیتی بهبود قابل توجهی داده است.

در پژوهش‌های قبلی روی مبحث امنیت و محرمانگی گردش کارها تمرکز شده و اغلب مقالات امنیت را به عنوان محدودیت برای مسئله تعریف کرده‌اند. با توجه به این که مبحث امنیت برای منابع و مسیرهای ارتباطی نیز بسیار با اهمیت است، در این مقاله قصد داریم با در نظر گرفتن حساسیت برای کارها و داده‌هایی که به عنوان ورودی و خروجی دارند (حساسیت همان نیاز امنیتی است)، همچنین در نظر گرفتن قدرت امنیتی برای منابع و مسیرهای ارتباطی، منابعی را جهت زمان بندی در نظر بگیریم که سطح امنیتی مناسبی داشته باشند. روش پیشنهادی در این مقاله روی این موضوع تمرکز می‌کند و مسئله را با الگوریتم PSO بهبود یافته پیاده سازی می‌کند. در ادامه روش پیشنهادی و ملاحظات امنیتی بیان می‌شود.

۳. روش پیشنهادی

با توجه به آنچه در کارهای پیشین مطرح شده، مبحث امنیت در زمان بندی کارها در ابر بسیار با اهمیت است، در برخی تحقیقات پیشین [۱۰، ۱۴، ۱۵] با در نظر گرفتن امنیت برای کارها و مراکز داده، به این موضوع پرداخته شده است. در این مقاله

را در مسئله زمان بندی مطرح می‌کند. در این مسئله علاوه بر در نظر گرفتن محدودیت زمان و هزینه، سه سطح محرمانگی برای کارها و منابع تعریف می‌شود. سطح اول محرمانگی شامل کارهایی است که قابلیت اجرا در هر دو محیط ابر را دارد. سطح دوم محرمانگی مربوط به کارهایی می‌شود که روی منابع خصوصی یا بعضی منابع عمومی قابل انجام هستند. سطح سوم، کارهایی هستند که فقط قابلیت زمان بندی روی منابع خصوصی را دارند. مجموعه سطوح محرمانگی به وسیله مجموعه $\Gamma_t = \{\tau_{t1}, \tau_{t2}, \tau_{t3}\}$ نشان داده شده است. همچنین سه دسته محرمانگی $\Gamma_s = \{\tau_{s1}, \tau_{s2}, \tau_{s3}\}$ برای منابع در نظر گرفته می‌شود. دسته اول منابع عمومی، دسته دوم و سوم منابع خصوصی و بعضی منابع عمومی را شامل می‌شود.

در شکل (۴) مشاهده می‌کنیم که منابع دسته اول فقط می‌تواند کارهای سطح اول محرمانگی را اجرا کند. منابع دسته دوم می‌تواند کارهای موجود در سطح دو و سه محرمانگی را اجرا کنند. منابع دسته سوم قابلیت اجرای همه کارها را دارد. در ادامه از الگوریتم‌های مسیر بحرانی [۱۹] استفاده می‌شود تا زمان بندی انجام شود.

جدول (۴): نحوه تخصیص کارها به منابع [۷]

	τ_{t1}	τ_{t2}	τ_{t3}
τ_{s1}	۱	۰	۱
τ_{s2}	۱	۱	۰
τ_{s3}	۱	۱	۱

ابریشمی و همکاران روش جدیدی پیشنهاد کردند [۸] که با استفاده از معماری ابر ترکیبی، محرمانگی کارهای خصوصی و حساس را بر آورده می‌کند. در این روش، کارهای حساس روی ابر خصوصی که تحت کنترل سازمان است انجام می‌شود و کارهایی که حساسیت خاصی ندارند، مختار به انتخاب بین منابع ابر خصوصی و ابر عمومی هستند. در این مسئله هدف مینیمم کردن پارامترهای زمان کل کارها و هزینه است.

در مقاله سوزی و همکاران [۲۰] الگوریتم زمان بندی در محیط ابر چندگانه مطرح شده است. ابر چندگانه که با ابر ترکیبی متفاوت است، شامل چند ابر مختلف است که در هر ابر منابع مختلفی قرار دارد. منابع موجود در یک ابر خاص، دارای پهنای باند بیشتری برای تبادل داده‌ها هستند. بنابراین سعی می‌شود کارهایی که تبادل داده‌های بیشتری دارند ترجیحاً در یک محیط ابر اجرا شوند. این الگوریتم ابتدا مسیرهایی که تبادل داده‌های زیادی دارند را به عنوان مسیر بحرانی انتخاب و سعی می‌کند تا

با توجه به تعاریف گفته شده و همچنین در ادامه این مقاله از نشانه‌ها و نمادهایی که در جدول (۵) ارائه شده استفاده می‌شود. در بخش بعدی ملاحظات امنیتی در مسئله زمانبندی مورد نظر در این مقاله توضیح داده می‌شود.

جدول (۵): نشانه‌گذاری مسئله

نشانه	تعریف
t_i	کار i در جریان کارها
t_{entry}	کار ورودی در جریان کارها
t_{exit}	کار نهایی در جریان کارها
$d_{i,j}$	حجم داده انتقالی بین دو کار i و j
$bw_{i,j}$	پهنای باند بین دو منبع i و j
$Parent(t_i)$	گره‌های پدر گره i
$Child(t_i)$	گره‌های فرزند گره i
vm_j	منبع مجازی i
$Cost(vm_j)$	هزینه محاسباتی به ساعت روی منبع i
$W(t_i, vm_j)$	زمان محاسباتی کار i روی منبع j
$W(t_i)$	زمان اجرای کار i ام روی سریع‌ترین منبع
$EFT(t_i)$	سریع‌ترین زمان تمام شدن کار i
$EST(t_i)$	سریع‌ترین زمان شروع شدن کار i
$TaskCost(t_i, vm_j)$	هزینه اجرای کار i روی منبع j
$SS_{le\{c,i,a\}}(vm_i)$	قدرت امنیتی منبع i ام بر اساس سرویس‌های امنیتی
$SS_{le\{c,i,a\}}(vm_i, vm_j)$	قدرت امنیتی مسیر ارتباطی بین دو منبع i, j
$OS_{le\{c,i,a\}}(vm_i)$	سربار قدرت امنیتی روی منبع i
$SR_{le\{c,i,a\}}(t_i, t_j)$	نیاز امنیتی داده‌های انتقالی بین دو کار i و j
$SR_{le\{c,i,a\}}(t_i)$	نیاز امنیتی کار i ام بر اساس سرویس‌های امنیتی
∂_{i,vm_j}	فاصله امنیتی کار i از منبع j
a	سرویس احراز هویت
I	سرویس جامعیت
C	سرویس محرمانگی
α	حداکثر فاصله امنیتی
W	ضریب اتلاف منبع

علاوه بر در نظر گرفتن امنیت برای کارها و داده‌ها، برای منابع و مسیر ارتباطی بین آن‌ها، قدرت امنیتی تعریف می‌شود. همچنین سعی می‌شود در محیط ابر ترکیبی، کارها روی منابع با امنیت سازگار زمان بندی شود. جهت پیاده‌سازی روش پیشنهادی از الگوریتم فرا مکاشفه‌ای (PSO (Particle Swarm Optimization) استفاده شده که در ادامه به بیان فضای مسئله و ملاحظات امنیتی پرداخته می‌شود.

۱-۳. فضای مسئله

برای بیان مسئله زمان بندی کارها در محیط ابر ترکیبی نیاز به تعریف یکسری مفاهیم در فضای مسئله داریم.

محیط ابر: همان‌طور که قبلاً بیان شد، در محاسبات ابری، محیطی فراهم آمده است تا کاربران بتوانند از منابع موجود، بر اساس تقاضا استفاده کنند. ابر ترکیبی شامل ابر خصوصی و ابر عمومی، علاوه بر مزایای ابر خصوصی (عدم پرداخت هزینه و امنیت بالا)، نامحدود بودن منابع ابر عمومی را نیز دارد. در این مقاله محیط مسئله زمان بندی روی ابر ترکیبی بیان شده است.

منابع (ماشین‌های مجازی (VM): ماشین‌های مجازی محاسباتی موجود در فضای ابر جزء منابع ابر به حساب می‌آید. ویژگی‌های منابع شامل قدرت پردازشی $W(t_i, vm_j)$ ، قیمت واحد ساعت $Cost(vm_j)$ ، سطح امنیتی $SS_{le\{c,i,a\}}(vm_j)$ و حافظه - که می‌تواند برای سرویس‌های محرمانگی، جامعیت و احراز هویت فراهم کند - است. قابل ذکر است منابع ابر خصوصی، به علت آنکه در اختیار سازمان هستند از بالاترین سطح امنیتی برخوردار هستند و در ضمن به غیر از هزینه‌های پشتیبانی، هزینه دیگری ندارند. اما به علت محدود بودن، ناگزیر بایستی از منابع ابر عمومی نیز استفاده شود.

مجموعه کارها: مجموعه درخواست‌های کاربران است که به وسیله یک گراف جهت دار نشان داده می‌شود. گره‌های گراف که نشان دهنده کارها است، را به وسیله $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ و یال‌های گراف که نشانه داده‌های انتقالی بین کارها است را به وسیله $d_{i,j}$ نمایش داده می‌شود. اگر از کار 1 به 2 یالی وجود داشته باشد، کار 1 پیش‌نیاز کار 2 است و کار 2 تا تمام شدن کار 1 باید منتظر بماند. در گراف کارها، برای یال‌ها علاوه بر حجم داده، نیاز امنیتی داده‌های انتقالی نیز باید مشخص شود.

مسئله زمان بندی: در مسئله زمان بندی، نگاشت کارها روی منابع صورت می‌گیرد، به گونه‌ای که اهداف و محدودیت‌های تعریف شده توسط کاربر، برآورده شود. در این مقاله مسئله زمان بندی، با در نظر گرفتن ملاحظات امنیتی بررسی می‌شود.

۲-۳. ملاحظات امنیتی

برای مسئله زمان بندی کارها در محیط ابر ترکیبی نیاز به تعریف مفاهیمی است که ملاحظات امنیتی را به عنوان اهداف مسئله مشخص کند.

تعریف ۱: قدرت امنیتی منابع

قدرت امنیتی برای منابع با سه مؤلفه امنیتی برای هر منبع تعریف می شود. این مؤلفه ها حداکثر قدرت امنیتی منبع در برآورده شدن سه سرویس محرمانگی، جامعیت و احراز هویت را مشخص می کند. در این مقاله برای منابع سرویس های مختلف امنیتی تعریف می شود. برای ایجاد سطوح مختلف برای

سرویس های مشخص امنیتی محرمانگی، جامعیت و احراز هویت از الگوریتم های جداول (۳-۱) استفاده می شود. جدول (۶) نمونه ای از منابع را که در روش پیشنهادی استفاده می شود، نشان می دهد. در واقع برای منابع علاوه بر ظرفیت پردازش و قیمت، قدرت سرویس های امنیتی نیز در نظر گرفته می شود. مثلاً منبع ۲ و ۳ دارای سرعت پردازشی یکسانی هستند اما قدرت امنیتی متفاوتی ارائه می کنند، بنابراین قیمت متفاوتی دارند. منبع ۱ نیز به علت سرعت پردازشی کمتر، دارای قیمت کمتری است. قیمت ها بر اساس ساعت محاسبه می شود، به طوری که اگر میزان استفاده از منبع یک ساعت و نیم باشد، به اندازه ۲ ساعت، محاسبه می شود.

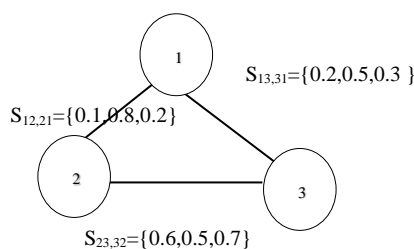
جدول (۶): نمونه منابع با ویژگی قدرت سرویس های امنیتی

منبع	ظرفیت پردازش (MIPS)	قیمت واحد ساعت \$	قدرت سرویس محرمانگی	قدرت سرویس تشخیص هویت	قدرت سرویس جامعیت
1. m4.2xlarge	۸۸۰۰	۰/۳۵	۰/۲	۰/۲	۰/۵
2. m4.xlarge	۱۷۶۰۰	۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۳
3. m4.large	۱۷۶۰۰	۰/۲	۰/۵	۰/۳	۰/۵

می شود.

تعریف ۲: قدرت امنیتی برای مسیر ارتباطی بین منابع

برای نشان دادن قدرت امنیتی مسیر ارتباطی بین منابع از سه مؤلفه استفاده می شود که هر کدام قدرت امنیتی مسیر را در برآورده کردن سرویس های امنیتی محرمانگی، جامعیت و احراز هویت را نشان می دهد.



شکل (۲): قدرت امنیتی مسیر ارتباطی منابع

در کارهای قبلی انجام شده [۱۰، ۱۴ و ۱۵]، برای کارها حساسیت تعریف می شود. در حالی که علاوه بر حساسیت کار، حساسیت داده های انتقالی بین کارها نیز باید در نظر گرفته شود. در واقع منظور از حساسیت کار، در نظر گرفتن نفوذ حمله کننده به اجرای کار است و منظور از حساسیت داده، حساسیت داده هایی است که کار به عنوان ورودی دریافت یا به عنوان خروجی تولید می کند. بنابراین در این مقاله حساسیت برای کار و داده آن ورودی-خروجی در نظر گرفته می شود.

تعریف ۳: نیاز امنیتی کارها

نیاز امنیتی برای کارها، به صورت نیاز امنیتی کار به سه سرویس امنیتی محرمانگی، جامعیت و احراز هویت بیان می شود.

نیاز امنیتی به صورت ضرایبی مشخص می شده که هر ضریب میزان نیاز امنیتی کار به سرویس امنیتی خاص است. شکل (۳)

در کارهای انجام شده پیشین برای مسیر ارتباطی بین منابع، امنیت در نظر گرفته نشده است. این در حالی است که در مسیر ارتباطی بین منابع امکان حملات وجود دارد. بنابراین، در این مقاله برای مسیر ارتباطی بین منابع، قدرت امنیتی تعریف می شود. عوامل تأثیرگذار روی این پارامتر امنیتی می تواند شامل مکان قرار گرفتن منابع از نظر جغرافیایی، فاصله منابع از یکدیگر و تعداد سویچ های مابین منابع باشد. قابل ذکر است مسیر ارتباطی لزوماً کانال ارتباطی مستقیم نخواهد بود و ممکن است از چندین سویچ عبور کند. بنابراین قدرت امنیتی را به طور کلی برای مسیر ارتباطی تعریف می کنیم. با توجه به الگوریتم های مختلفی که در مسیر ارتباطی استفاده می شود، پارامترهای قدرت امنیتی تعریف می شود. برای مثال ممکن است الگوریتم رمزنگاری RC4 و RC5 در یک مسیر استفاده شود. شکل (۲) قدرت امنیتی مسیر ارتباطی بین سه منبع را نشان می دهد. واضح است که امنیت مسیر ارتباطی بین منبع ۱ و ۲ و بالعکس می تواند ضرایب متفاوتی داشته باشد. این، به این دلیل است که مسیر ارتباطی رفت و برگشت بین دو منبع می تواند، متفاوت باشد. در این مقاله ضرایب مسیر ارتباطی بین منابع، در رفت و برگشت یکسان فرض

امنیتی^۱ استفاده کرده‌اند. مخاطره امنیتی را از تابع پواسن، رابطه (۱)، محاسبه می‌کنند که یک تابع تصادفی است. اشکال استفاده از تابع پواسن علاوه بر محاسبات پیچیده، این است که برای بعضی موارد درست جواب نمی‌دهد. این ایراد را در قالب مثال ۱ بیان می‌شود. در رابطه (۱)، p مخاطره امنیتی، sr نیاز امنیتی کار و sl قدرت امنیتی منبع را نشان می‌دهد. مجموعه $\{a, q, c\}$ به ترتیب سرویس‌های محرمانگی، جامعیت و احراز هویت را مشخص می‌کند.

$$p(t_i, sl_i^l) = 1 - \exp(-\gamma(sr_i^l - sl_i^l)), l \in \{a, g, c\}$$

$$p(t_i) = 1 - \prod_{l \in \{a, g, c\}} p(t_i, sl_i^l) \quad (1)$$

مثال ۱: ایراد تابع پواسن در بیان مخاطره امنیتی فرض کنید دو منبع با قدرت امنیتی $SS_1 = \{0.14, 0.36, 0.52\}$ و $SS_2 = \{0.3, 0.36, 0.36\}$ باشند. اگر داده‌های با نیاز امنیتی $SR = \{0.14, 0.36, 0.52\}$ وجود داشته باشد، بر اساس رابطه (۱) تابع پواسن مخاطره امنیتی را برای هر دو منبع مقدار یک، محاسبه می‌کند. از آنجا که تفاضل دو مقدار یکسان در توان رابطه (۱) مقدار صفر را مشخص می‌کند، بنابراین تابع احتمال خطر امنیتی یک به دست می‌آید. در صورتی که کاملاً واضح است که منبع شماره یک، به طور کامل نیاز امنیتی داده را برآورده می‌کند، در حالی که منبع شماره ۲ با نیاز امنیتی داده فاصله دارد.

با توجه به ایراد مطرح شده، در روش پیشنهادی برای محاسبه فاصله امنیتی از فاصله منهن^۲ استفاده می‌کنیم که در ادامه توضیح داده می‌شود.

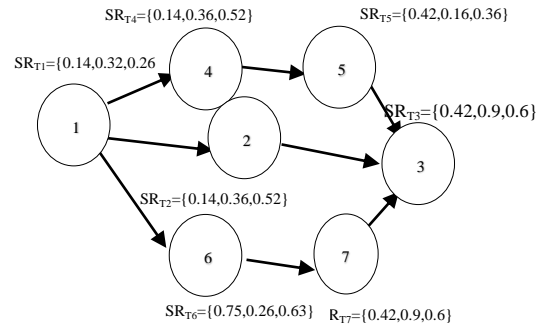
تعریف ۵: محاسبه فاصله امنیتی

فاصله امنیتی عبارت از میزان انطباق نیاز امنیتی با قدرت امنیتی است. برای محاسبه فاصله امنیتی در این مقاله از فاصله منهن استفاده می‌شود. فاصله منهن، تفاضل دوجه‌دو ابعاد را نشان می‌دهد. رابطه (۲)، فاصله امنیتی کار i ام را از منبع z محاسبه می‌کند. هدف از به دست آوردن فاصله امنیتی، یافتن منبعی است که بیشترین انطباق را از لحاظ امنیتی با کار داشته باشد. پس هر چه پارامتر θ کمتر باشد از لحاظ امنیتی بیشتر منطبق هستند.

$$\theta = \sum \beta * |SS_l - SR_l| \quad l \in \{a, c, i\} \quad (2)$$

همان طور که در رابطه (۲) مشخص می‌شود، برای محاسبه فاصله امنیتی کار از منبع، باید فاصله امنیتی داده‌های ورودی (خروجی) کار را از منبع محاسبه کنیم. دلیل در نظر گرفتن

نمونه گرافی را نشان می‌دهد که نیازهای امنیتی کارها به سه سرویس امنیتی محرمانگی، جامعیت و احراز هویت، با ضریب‌هایی مشخص شده است. برای مثال کار شماره ۴ نیاز امنیتی $SR_{T4} = \{0.14, 0.36, 0.52\}$ به سرویس‌های مختلف دارد.

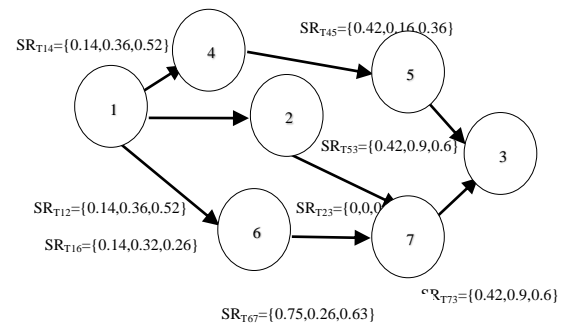


شکل (۳): نیازهای امنیتی کارها [۱۵]

تعریف ۴: نیازهای امنیتی برای داده

نیاز امنیتی برای داده، به صورت نیاز داده به سه سرویس امنیتی محرمانگی، جامعیت و احراز هویت بیان می‌شود. داده‌ها علاوه بر بررسی صحت و محرمانگی باید مشخص باشد که از چه کاربری آمده است.

نیاز امنیتی، به صورت ضرایبی مشخص می‌شود که هر ضریب میزان نیاز امنیتی داده به سرویس امنیتی خاص است. شکل (۴) نمونه گرافی را نشان می‌دهد که نیازهای امنیتی داده به سه سرویس امنیتی محرمانگی، جامعیت و احراز هویت، با ضریب‌هایی مشخص شده است.



شکل (۴): نیاز داده انتقالی بین کارها به سرویس‌های امنیتی

با توجه به تعاریفی که بیان شد، برای کار و منبع سطح امنیتی تعریف می‌شود و هدف زمان‌بندی کارها روی منابع به گونه‌ای است که سطح امنیتی داده انتقالی، منطبق بر قدرت امنیتی منابع باشد و مخاطره امنیتی حداقل شود. آقای Li و همکاران [۱۶] برای زمان‌بندی کارها از پارامتر محاسبه مخاطره

^۱ ریسک امنیتی عبارت است از میزان خطر امنیتی در زمانبندی کار روی منبع
^۲ Manhattan Distance

کاهش ترجیح داده می‌شود.

$$\beta = \begin{cases} w \text{ if } (SS_c(vm_i) - SR_c(t_p, t_i)) < \alpha \\ 1 \text{ else} \end{cases} \quad (3)$$

بر اساس تعاریف بیان شده الگوریتم پیشنهادی در ادامه می‌آید.

۳-۳. الگوریتم پیشنهادی

با توجه به اینکه راه‌حل چندجمله‌ای برای مسئله زمان‌بندی وجود ندارد [۱۱]، یکی از الگوریتم‌های مناسب برای حل مسئله، الگوریتم فرا مکاشفه‌ای PSO (ازدحام ذرات) است [۲۵]. دلیل انتخاب این الگوریتم، پارامترهای کم و سرعت بالای اجرای آن است.

الگوریتم PSO یکسری ذرات برای جمعیت اولیه در فضای جستجوی جواب در نظر می‌گیرد و برای هر ذره سه پارامتر موقعیت فعلی ذره، سرعت ذره و بهترین موقعیت ذره لحاظ می‌شود. این الگوریتم مشابه الگوریتم‌های فرا مکاشفه‌ای با چندین تکرار همراه است که در هر تکرار طبق رابطه (۴) موقعیت جدید هر ذره به دست می‌آید. سرعت هر ذره بر اساس رابطه (۵)، به‌وسیله بهترین موقعیت هر ذره و بهترین موقعیت کل ذرات محاسبه می‌شود.

$$\text{population}[i] = \text{velocity}[i] + \text{population}[i] \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{velocity}[i] &= a * \text{velocity}[i] + c1 * r1 * (\text{pbest}[i] - \\ &\text{population}[i]) + c2 * r2 * (\text{gbest} - \text{population}[i]) \end{aligned} \quad (5)$$

که در این رابطه‌ها:

$\text{velocity}[i]$: سرعت ذره i ام

$\text{pbest}[i]$: بهترین موقعیت ذره i ام

gbest : بهترین موقعیت بین تمام ذرات

$\text{population}[i]$: ذره i ام

$c1$ و $c2$: اعداد ثابتی هستند که شتاب حرکت را کنترل می‌کنند و

a : پارامتری که مقادیر $0/9$ تا 0 را دارد و

$r1$ و $r2$: دو عدد تصادفی بین صفر و یک است.

الگوریتم پیشنهادی و بهبودیافته PSO در ادامه شرح داده می‌شود. این الگوریتم در ابتدا و در مرحله ایجاد جمعیت اولیه با بررسی محدودیت‌های مسئله سعی در تولید جواب‌های قابل قبول می‌کند. در واقع با بررسی قابلیت امکان‌پذیری ذره‌ها تا رسیدن به

فاصله امنیتی داده‌های ورودی (خروجی) این است که منبع برای انجام کار، نیاز به داده‌های ورودی دارد که نیاز امنیتی داده‌های ورودی باید در سطح امنیتی منبع باشد. همچنین بعد از اجرای کار روی منبع، داده‌های خروجی تولید می‌شود که در اختیار منبع است بنابراین باید نیاز امنیتی داده‌های خروجی نیز در سطح امنیتی منبع باشد. در رابطه (۲) از پارامتر β استفاده شده است. برای توضیح این پارامتر به دو تعریف نیاز داریم که در ادامه می‌آید.

تعریف ۶: حداکثر فاکتور امنیتی α

در صورتی که قدرت امنیتی منبع از نیاز امنیتی داده کمتر باشد، حداکثر فاکتور امنیتی به صورت حداکثر میزان مجاز تفاضل این دو مقدار تعریف می‌شود. این میزان با پارامتر α در رابطه (۳) مشخص شده است.

به عبارت دیگر اگر بخواهیم زمان‌بندی امنی داشته باشیم، باید داده‌ها را روی منابع با قدرت امنیتی بیشتر زمان‌بندی کنیم اما این همواره امکان‌پذیر نیست. بنابراین جهت ساده‌تر شدن مسئله، امکان انتخاب منابع با قدرت امنیتی کمتر داده می‌شود به شرط آنکه تفاضل قدرت امنیتی منبع با نیاز امنیتی داده از حداکثر ضریب امنیتی تعریف شده، تجاوز نکند. برای مثال اگر نیاز امنیتی داده روی سرویس محرمانگی $0/5$ باشد و حداکثر ضریب امنیتی $0/1$ باشد، منابعی می‌تواند انتخاب شود که قدرت امنیتی سرویس محرمانگی آن از $0/4$ کمتر نباشد.

تعریف ۷: ضریب اتلاف منبع (w)

ضریب اتلاف منبع عبارت از میزان اتلاف در انتخاب منبع با قدرت امنیتی بیشتر از نیاز امنیتی داده در مقابل منبعی با قدرت امنیتی کمتر از نیاز امنیتی داده، است.

در رابطه (۲)، β در محاسبه فاصله امنیتی استفاده می‌شود. زمانی که قدرت امنیتی منبع از نیاز امنیتی داده بیشتر باشد ضریب β یک در نظر گرفته می‌شود و زمانی که قدرت امنیتی منبع از نیاز امنیتی داده کمتر باشد، مقدار β برابر با ضریب اتلاف منبع w در نظر گرفته می‌شود. تفاضل بین نیاز امنیتی داده و قدرت امنیتی منبع نباید از α (حداکثر ضریب امنیتی) کمتر باشد.

فرض کنید داده‌ای با نیاز امنیتی $SR = \{0.4, 0.3, 0.3\}$ و دو منبع با قدرت امنیتی $SS_1 = \{0.6, 0.3, 0.3\}$ و $SS_2 = \{0.3, 0.3, 0.3\}$ داشته باشیم. همان‌طور که مشاهده می‌شود نیاز امنیتی سرویس جامعیت و تشخیص هویت با قدرت امنیتی منابع در همین سرویس‌ها برابر است. با در نظر گرفتن $2/5$ برای ضریب اتلاف، بر اساس رابطه (۲) منبع با قدرت امنیتی سرویس محرمانگی $0/6$ انتخاب می‌شود و $0/2$ افزایش نسبت به $0/1$

خروجی کار و قدرت امنیتی منبع و فاصله نیاز امنیتی داده‌ها و مسیر ارتباطی منابع است. هر چه میزان این تابع کمتر باشد به معنای شباهت بیشتر کارها به منابع از لحاظ امنیتی است. رابطه (۷) تابع هدف را نشان می‌دهد.

∂_i : فاصله امنیتی کار i ام را از منبع زمان‌بندی شده vm_j نشان می‌دهد.

$$\text{Min } \partial = \text{Min} (\sum_{t_i \in \text{all Tasks}} \partial_i) \quad (۷)$$

$$\partial_i = \sum_{t_k \in \text{all childs of } t_i} \beta * |SS(vm_j) - SR(t_i, t_k)| + \sum_{t_p \in \text{all parents of } t_i} \beta * |SS(vm_j) - SR(t_p, t_i)| + \beta * |SS(vm_j) - SR(t_i)| + \text{Relations_Security}$$

$$\text{Relation_Security} = \sum_{t_k \in \text{all childs of } t_i} \beta * |SS(vm_j, vm_i) - SR(t_i, t_k)| + \sum_{t_p \in \text{all parents of } t_i} \beta * |SS(vm_i, vm_j) - SR(t_p, t_i)|$$

Relation_Security: میزان فاصله نیاز امنیتی داده‌های ورودی (خروجی) کار را با قدرت امنیت مسیر ارتباطی بین منابع زمان‌بندی شده را محاسبه می‌کند. فرض شده کار i روی منبع vm_j و کارهای پدر و فرزند روی منبع vm_i زمان‌بندی شده است.

۳-۲. محدودیت‌های مسئله

در این الگوریتم برای زمان و هزینه محدودیت در نظر گرفته شده است. بدین معنی که زمان اجرای کل کارها نباید از حداکثر زمان مشخص شده توسط کاربر بیشتر شود و همچنین هزینه اجرای کل کارها روی منابع نیز از حداکثر هزینه مشخص شده توسط کاربر نپایستی بیشتر باشد. محدودیت‌های مسئله به صورت زیر مشخص می‌شود.

$$\text{Subject to: Makespan} < \text{Deadline}$$

$$\text{TotalCost} < \text{MaxCost}$$

Makespan زمان انجام کل کارها را نشان می‌دهد که باید از Deadline حداکثر زمان تعریف شده توسط کاربر کمتر باشد. همچنین TotalCost هزینه انجام کارها توسط منابع است که باید از MaxCost (حداکثر هزینه تعریف شده توسط کاربر) کمتر باشد. محاسبه هزینه بر اساس رابطه (۸) برابر با زمان اجرای کار ضرب در میزان هزینه منبع به ساعت است.

$$\text{TaskCost}(t_i, vm_j) = W(t_i, vm_j) * \text{Cost}(vm_j)$$

$$\text{TotalCost} = \sum_{t_i \in \text{workflow}} \text{TaskCost}(t_i, vm_j) \quad (۸)$$

برای محاسبه زمان اجرای کل کارها (Makespan) باید زمان اجرای هر کار را محاسبه نمود و بیشترین زمان اتمام، زمان کل اجرا است.

یک مقدار ممکن با مقدار تصادفی، ذره‌ها را جایگزین می‌کند. همچنین تفاوت الگوریتم پیشنهادی در تعیین مقدار متغیر a وزن اینرسی (باقی ماندن در سرعت قبلی) است که به وسیله رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود. در مرحله ایجاد جمعیت جدید اگر بهبود نسبت به بهترین حالت ذره در تعدادی از ذره‌ها (درصدی از تعداد کل ذره‌ها) صورت نگرفته باشد، به اندازه تعداد حالات بهبود نیافته، ذره‌های تصادفی با مقدار تصادفی جایگزین می‌شوند.

برای مدل‌سازی مسئله نیاز به ایجاد یک جمعیت اولیه است. از آنجاکه قصد داریم زمان‌بندی کارها را روی منابع انجام دهیم، جهت ایجاد جمعیت اولیه، برای هر ذره، فهرستی به اندازه تعداد کارها در نظر می‌گیریم. برای هر عنصر لیست، عدد تصادفی که شماره منبع را مشخص می‌کند، قرار می‌دهیم. سپس کارها را بر اساس رابطه (۶)، اولویت‌بندی و به ترتیب به اعضای لیست اختصاص می‌دهیم. بنابراین فهرستی داریم که شماره کار را به شماره منبع نگاشت می‌کند. مثال ۲ نمونه‌ای از ایجاد یک جمعیت اولیه را نشان می‌دهد.

$$\text{rank}(t_i) = \begin{cases} w_{i,r} t_i = t_{\text{exit}} \\ w_{i,r} + \max_{t_p \in \text{childs of } (t_i)} (\text{rank}(t_i) + c_{i,p}) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (۶)$$

مثال ۲: ایجاد جمعیت اولیه

فرض کنید مجموعه‌ای از کارها شامل ۹ کار و ۴ منبع داشته باشیم. برای ایجاد جمعیت اولیه هر پاسخ به صورت یک مجموعه ۹ تایی مشخص می‌شود به طوری که هر عضو مجموعه یکی از اعداد ۱ الی ۴ - نشان‌دهنده شماره منبع - است. در شکل (۵) لیست کارها که اولویت‌بندی شده‌اند بر روی لیست پاسخ - شامل شماره منابع - نشان داده شده است. Vm نشان‌دهنده ماشین مجازی (منبع) است.

1	3	4	2	8	7	5	6	9
Vm1	Vm3	Vm2	Vm1	Vm4	Vm2	Vm1	Vm3	Vm4

شکل (۵): نمونه ذره برای ایجاد جمعیت اولیه

همان‌طور که در رابطه (۴) مشاهده شد، جهت به دست آوردن سرعت هر ذره باید بهترین موقعیت هر ذره و بهترین موقعیت همه ذرات محاسبه شود. برای محاسبه بهترین ذره تابع هدف را بیان می‌کنیم.

۳-۳-۱. تابع هدف

برای تخصیص کارها روی منابع با در نظر گرفتن ملاحظات امنیتی، هدف را حداقل کردن فاصله امنیتی کارها و منابع در نظر گرفته می‌شود. فاصله امنیتی کار و منبع شامل فاصله نیاز امنیتی کار و قدرت امنیتی منبع، فاصله نیاز امنیتی داده‌های ورودی و

```

PSO-WSCS Algorithm for Security Task Scheduling
BEGIN
1. Set the number of particles to p and dimension of the particle to n://
p=20
2. Set the gbest and pbest to zero.
3. for each particle i=1 to p
4. Randomly create particle population[i] and velocity[i]
5 pbest[i]= population[i];
6. gbest= the best solution on current population
7. end for
10. t=0;
11. while (t<number of iteration)
12. for each particle i=1 to p
13. Cycle=0;
Update the velocity and position of particle on Eq. (4,5)
14. Check Bound of position of particle
while Bound of position is violated,
the position must be updated by random values
15. Calculate fitness function for each particle on Eq.6;
16. If (fitness function(current particle i) is better than fitness
function(pbest[i]))
17. { pbest[i]= current particle;
}
Else
Cycle++;
18. end for
19. If Cycle > t/10
20. for(int q=1;q<=cycle;q++)
do{
int z=create random number (0,p)
population[z]= CreatePopulation();
}while(CheckBound of position [z])!=true;

21. calculate the gbest;// the best between all pbest;
22. t=t+1;
23. end while
END

```

شکل (۶): الگوریتم زمان‌بندی گردشکارهای پیشنهادی PSO-WSCS

الگوریتم زمان‌بندی گردشکارها بر اساس الگوریتم ازدحام ذرات در شکل (۶) نوشته شده است. در خط ۱ الگوریتم، تعداد ذرات ۲۰ فرض شده و طبق شکل (۵)، اندازه هر ذره برابر تعداد کارها در نظر گرفته شده است. خط ۳ تا ۷ مقداردهی جمعیت اولیه الگوریتم را نشان می‌دهد. این جمعیت بر اساس یکسری مقادیر تصادفی و همچنین استفاده از جواب الگوریتم‌های HEFT^۳ و DHEFT^۴ ایجاد می‌شود. استفاده از الگوریتم‌های ذکر شده در ایجاد جمعیت اولیه، باعث بهبود عملکرد الگوریتم و همچنین سریع‌تر همگرا شدن آن می‌شود. خطوط ۱۱ تا ۲۲ تعداد تکرار الگوریتم را به وسیله حلقه کنترل می‌کند. در این مقاله تعداد تکرار برابر ۱۰۰۰ در نظر گرفته شده است. در هر مرحله از تکرار حلقه

زمان اتمام اجرای هر کار برابر است با زمان شروع اجرا (EST) به‌اضافه‌ی زمان اجرای کار روی منبع $W(t_i, vm_j)$ و همچنین زمان مورد نیاز برای محاسبات امنیتی^۱ (SC). رابطه (۹) زمان اتمام کار i ام را روی منبع j نشان می‌دهد.

$$EFT(t_i, vm_j) = EST(t_i) + W(t_i, vm_j) + SC(t_i, vm_j) \quad (9)$$

زمان شروع هر کار برابر است با ماکزیمم زمان اتمام کارهای پیش‌نیاز (پدر)، به‌اضافه‌ی زمان انتقال داده‌های مورد نیاز (DT) که طبق رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود. در این عبارت زمان انتقال داده‌ها، برابر است با نسبت حجم داده به پهنای باند منابعی که کارها را زمان‌بندی می‌کنند. در صورتی که کارها روی منابع یکسان زمان‌بندی شوند، زمان انتقال صفر در نظر گرفته می‌شود.

$$EST(t_i) = \max_{t_p \in \text{parents of } (t_i)} (EFT(t_p) + DT_{p,i}) \quad (10)$$

$$DT_{p,i} = \begin{cases} \frac{d_{p,i}}{bw_{n,m}} & \text{if } t_p \text{ on } v_{n,m} \text{ and } t_i \text{ on } v_{m,m} \\ 0 & \text{if the resource is the same} \end{cases}$$

زمان موردنیاز برای محاسبات امنیتی (SC) از رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود. در این عبارت برای هر سرویس (محرمانگی، جامعیت و احراز هویت) میزان سربار زمانی که الگوریتم ایجاد می‌کند، برای داده‌های ورودی (خروجی) به دست می‌آید.

$d_{p,i}$: حجم داده‌هایی است که باید بین دو کار p و i منتقل شود.

قابلیت اجرا روی منبع i ، برای داده‌ها ایجاد می‌کند. $OS_I(vm_i)$ سربار امنیتی که الگوریتم‌های سرویس امنیتی قابل اجرا روی منبع i ، برای داده‌ها ایجاد می‌کند. $OS_I(vm_i)$ می‌تواند هر کدام از سرویس‌های امنیتی باشد.

$$SC(t_i, vm_j) = \sum_{i \in \{c,i,a\}} SC_I(t_i, vm_j) \quad (11)$$

$$SC_I(t_i, vm_j) = \sum_{t_p \in \text{parents of } (t_i)} d_{p,i} * OS_I(vm_i) + \sum_{t_p \in \text{childs of } (t_i)} d_{i,p} * OS_I(vm_i)$$

۳-۳-۳. الگوریتم پیشنهادی PSO-WSCS

الگوریتم ۱، الگوریتم ازدحام ذرات بهبودیافته را برای n کار و m ماشین مجازی نشان می‌دهد. روش پیشنهادی PSO-WSCS^۲ که در چندین مرحله با الگوریتم PSO معمولی متفاوت است در ادامه توضیح داده می‌شود.

^۱ Security Computing

^۲ PSO Workflow Scheduling Considering Security

^۳ Heterogeneous Earliest Finish Time

^۴ Deadline Earliest Finish Time

۴. ارزیابی روش پیشنهادی

الگوریتم پیشنهادی زمان بندی کارها در محیط ابر ترکیبی با ملاحظات امنیتی، در محیط شبیه سازی WorkflowSim [۲۶] پیاده سازی شده است. از نظر مرتبه زمانی اگر اندازه جمعیت را M و تعداد کارها را N در نظر بگیریم، آن گاه برای محاسبه تابع هدف، پیچیدگی $O(N^2)$ است. این مقدار بر اساس بعد هر ذره که در اینجا به اندازه تعداد کارها است، محاسبه شده است. همچنین به اندازه تعداد جمعیت، این زمان تکرار می شود که مرتبه زمانی کل برابر با $O(M*N^2)$ است.

با توجه به این که فرضیات مسئله دقیقاً در کارهای قبلی استفاده نشده است، سعی می شود تا در مقایسه از الگوریتم هایی استفاده شود که در کارهای تقریباً مشابه روش پیشنهادی استفاده شده اند.

الگوریتم VNPSO [۲۳] الگوریتم بر پایه الگوریتم PSO اصلی است با این تفاوت که اگر در تعدادی حالات بهبود تابع هدف رخ ندهد، سرعت را بر اساس رابطه (۱۳) تغییر می دهد.

$$V = \begin{cases} v_{ij} & \text{if } |v_{ij}| > v_c \\ u(-1,1)v_{max} & \text{if } |v_{ij}| < v_c \end{cases} \quad (13)$$

الگوریتم MPSO-SA [۲۴] مجموعه ذراتی در نظر می گیرد و در هر مرحله که موقعیت ذرات بهبود پیدا نکند، بر اساس پارامتری افزایشی، موقعیت تعدادی از ذرات را به صورت تصادفی تغییر می دهد. بدین ترتیب سرعت همگرایی الگوریتم را بالا می برد. البته در مقاله Li تابع هدف حداقل کردن زمان اجرای کارها است و احتمال خطر امنیتی به عنوان محدودیت در نظر گرفته شده است.

ابتدا روش پیشنهادی و الگوریتم های PSO، VNPSO و MPSO-SA در محیط شبیه سازی پیاده سازی شد. سپس پارامترهای الگوریتم به شرح بعدی تعیین گردید.

برای انتخاب یک حداکثر زمان برای اجرای کارها، می توان الگوریتم سریع ترین زمان اجرا (HEFT) را محاسبه کرد و مقدار آن را برای Deadline در نظر گرفت. همان طور که می دانیم هرچه این مقدار بیشتر باشد، زمان انجام کارها نیز می تواند بیشتر باشد و این، امکان انتخاب منابع با ویژگی های بهتر را فراهم می کند. به عبارت دیگر اگر Deadline نقض نشود، می توان منابع با سرعت پایین تر، امنیت منطبق تر و در نتیجه هزینه کمتر، انتخاب نمود.

بقیه پارامترهای مورد نیاز در الگوریتم PSO به شرح بعدی است.

مقادیر $c1$ و $c2$ را به ترتیب $1/49$ و $1/49$ قرار داده شده و

ابتدا سرعت و موقعیت جدید هر ذره بر اساس رابطه (۴) و (۵) محاسبه می شود. همان طور که بیان شد موقعیت جدید هر ذره بر اساس بهترین موقعیت همه ذرات و بهترین موقعیت همان ذره محاسبه می شود. جهت وزن دهی به سرعت قبلی ذره از پارامتر a استفاده شده که مقادیر 0.9 تا صفر را در تکرارهای مختلف به خود اختصاص می دهد. این مقدار بر اساس تعداد تکرار الگوریتم تعیین می شود. رابطه (۱۲) تعداد کل تکرار را iteration در نظر گرفته و در اجرای تکرار k ام، مقدار a را تعیین می کند.

$$a = (a * (\text{iteration} - k)) / \text{iteration} \quad (12)$$

خط ۱۴ تابع بررسی محدودیت ها را مشخص می کند تا موقعیت جدید ذرات، شرایط مسئله را نقض نکنند و در صورت نقض، دوباره ذره ایجاد می شود. این عمل باعث می شود در هر مرحله جواب های حاصله قابل قبول باشند. در خط ۱۵ تابع هدف، برای همه ذرات محاسبه می شود و بهترین موقعیت هر ذره در صورت بهتر بودن مقدار تابع هدف، با مقدار این ذره جایگزین می شود. در این الگوریتم در صورتی که درصدی از ذرات موقعیتشان بهبود پیدا نکند موقعیت ذره را با بهترین موقعیت همان ذره جایگزین می کند. در نهایت بهترین موقعیت ذرات gbest از بین ذراتی که تابع هدف بهتری دارند، انتخاب می شود. در انتهای اجرای حلقه تکرار الگوریتم، مقدار بهترین موقعیت ذرات، بهترین پاسخ مسئله خواهد بود.

همان طور که بیان شد در تابع هدف شکل (۷)، انطباق امنیتی بین کارها و منابع در نظر گرفته شده است. استفاده از منابعی که از لحاظ امنیتی بسیار نزدیک کارها باشند برای زمان بندی کارها، باعث می شود تا خطر حمله های امنیتی کمتر شود و در ضمن سطح امنیتی کار و منبع نزدیک به هم باشد. این باعث می شود تا تابع هدف، زمانی که قدرت امنیتی منبع از نیاز امنیتی کار بیشتر باشد ضریب یک و زمانی که قدرت امنیتی منبع از نیاز امنیتی کار کمتر باشد در ضریب ۲ ضرب شود و در نتیجه تابع هدف مقدار بیشتری می گیرد. بنابراین حداقل کردن تابع هدف، سطح امنیتی منطقی را ایجاد می کند.

Calculate Security function (Task t, Resource r)

- 1- Begin
- 2- Calculate sum of the S1, S2, S3
 - S1= Security distance between task t and resource r
 - S2= Security distance between input (output) data of task t and resource r.
 - S3= Security distance between data and resource channel
- 3- End

شکل (۷): پیاده سازی تابع هدف

مقاله جوو [۲۷] بیان شده است. برای ارزیابی بهتر الگوریتم، نیازهای امنیتی به گردش‌های کاری که به فرمت XML است، اضافه شده است.

همان‌طور که ذکر شد برای ارزیابی الگوریتم‌ها از سه نمونه گراف استفاده شده است. نمونه اول گراف HEFT با ده کار، روی سه منبع در نظر گرفته شد که منبع اول در ابر خصوصی بدون هزینه اجرایی و در بالاترین سطح امنیتی قرار دارد و دو منبع دیگر با سرعت پردازشی یکسان و قدرت امنیتی متفاوت که منبع با قدرت امنیتی بیشتر دارای هزینه اجرایی بالاتری بود. نمونه دوم گراف Montage با ۲۵ کار است که روی ۵ منبع که در جدول (۶) نشان داده شده است زمان‌بندی شدند. نمونه سوم Inspiral با ۵۰ کار که از همان منابع جدول (۷) برای زمان‌بندی استفاده شد. قابل‌ذکر است که منابع به‌صورت کاملاً متصل هستند و قابلیت ارتباط بین هر دو منبع وجود دارد.

نتایج الگوریتم پیشنهادی PSO-WSCS و بقیه الگوریتم‌ها در شکل (۱۰-۸) آمده است.

تعداد ذرات و تعداد تکرار الگوریتم را ۲۰ و ۱۰۰۰ گرفته شد (مشابه مقاله Liu [۱۴]).

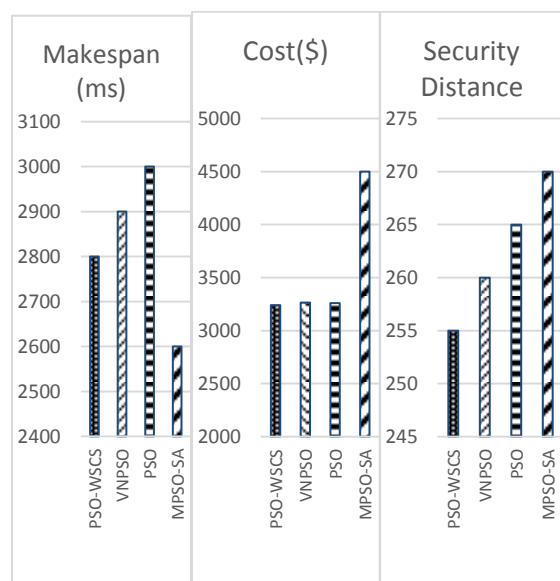
مقدار حداکثر فاصله امنیتی (α) توسط کاربر مشخص می‌شود. لازم به ذکر است که این مقدار نباید از حداقل تفاضل نیاز امنیتی و قدرت امنیتی در هر سرویس کمتر باشد. در صورت بیشتر بودن، مسئله قابل حل نیست.

مقادیر مجاز برای ضریب اتلاف منبع (w) عبارت از مقادیر بین ۱ تا ۳ است. با توجه به توضیحاتی که در قسمت تعریف ضریب اتلاف آمده است، در این مقاله مقدار w ، ۲ فرض شده است. در پاراگراف بعدی ارزیابی و شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهادی آمده است.

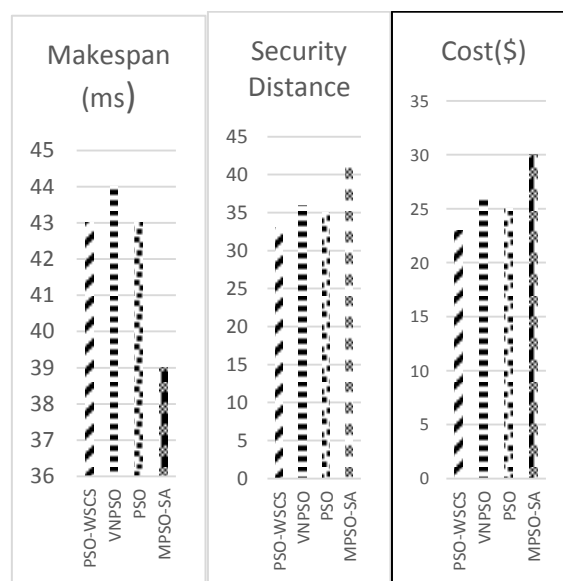
در محیط شبیه‌سازی برای ارزیابی، الگوریتم پیشنهادی PSO-WSCS^۱ و الگوریتم‌های PSO، VNPSO و MPSO-SA را روی گردشکارهای دنیای واقعی شامل HEFT، Inspiral و Montage^۲ اجرا می‌شود [۲۷]. هرکدام از این گردش‌ها ساختار خاصی دارد و اطلاعات کامل در رابطه با این گردش‌های کاری در

جدول (۷): ویژگی‌های منابع در ارزیابی روش پیشنهادی

	Processing capacity (MIPS)	Cost per hour \$	Security strength for confidentiality	Security strength for integrity	Security strength for authentication
VM1	۱۰۰۰	۰/۳	۰/۲	۰/۳	۰/۵
VM2	۲۰۰۰	۰/۶	۰/۱	۰/۲	۰/۳
VM3	۱۰۰۰	۰/۴	۰/۳	۰/۴	۰/۶
VM4	۱۰۰۰	.	۱	۱	۱
VM5	۱۵۰۰	.	۱	۱	۱



شکل (۹): تابع هدف، زمان اجرا و هزینه روی گراف Inspiral



شکل (۸): تابع هدف، زمان اجرا و هزینه روی گراف HEFT

^۱ PSO Workflow Scheduling considering Security

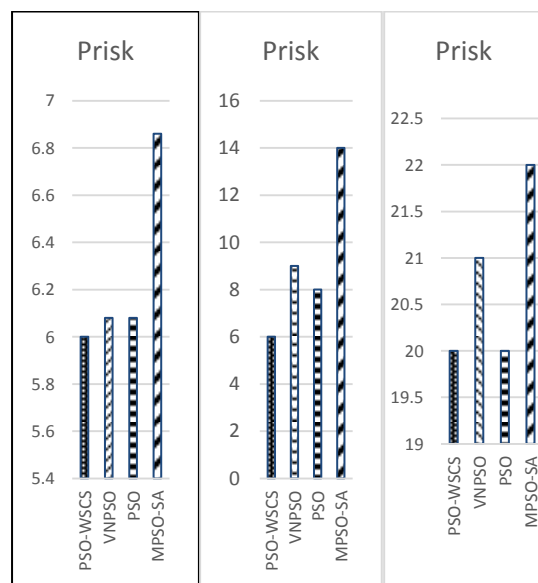
^۲ <http://pegasus.isi.edu/schema/DAX>

برای مقایسه بیشتر الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم‌های بیان شده از معیار احتمال خطر امنیتی [۲۴] نیز استفاده می‌کنیم. این معیار از رابطه (۱۴) محاسبه می‌شود.

$$Prob_{risk} \begin{cases} 0 & \text{if } S_T - S_C \leq 0 \\ 1 - e^{-0.5(S_T - S_C)} & \text{if } 0 < S_T - S_C \leq 1 \\ 1 - e^{-0.5(S_T - S_C)} & \text{if } 1 < S_T - S_C \leq 2 \\ 1 & \text{if } 2 < S_T - S_C \leq 5. \end{cases} \quad (14)$$

در رابطه (۱۴)، S_T میزان سطح امنیتی کار و S_C میزان سطح امنیتی منبع را نشان می‌دهد.

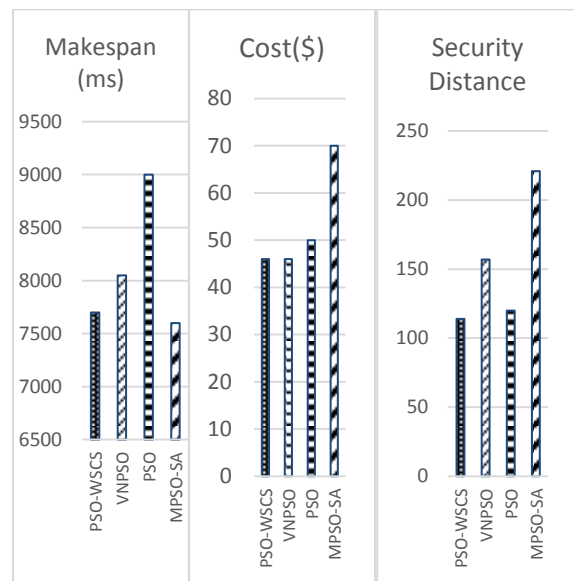
در روش پیشنهادی و الگوریتم‌های ارائه شده روی نمونه گراف‌های بیان شده، نتایج شکل (۱۱) حاصل شد که نشان می‌دهد روش پیشنهادی احتمال خطر امنیتی را بیشتر کاهش می‌دهد و این به معنای دستیابی به امنیت بالاتر در زمان بندی است. برای مثال در شکل (۱۱) احتمال خطر امنیتی روی نمونه اول، گراف HEFT با ده کار، در الگوریتم پیشنهادی نسبت به الگوریتم‌های دیگر کاهش چشم‌گیری داشته است.



شکل (۱۱): مقایسه احتمال خطر امنیتی در روش‌ها

۵. نتیجه گیری

با توجه به بالا بودن حجم کارها در محیط‌های سازمانی و استفاده از ابر عمومی علاوه بر ابر خصوصی، مبحث زمان بندی با در نظر گرفتن پارامترهای امنیتی مورد توجه است. در واقع خروج کارها از محیط‌های سازمانی، مستلزم رعایت یکسری نکات امنیتی است تا داده‌هایی که از حساسیت خاصی برخوردار هستند ترجیحاً در داخل سازمان استفاده شوند و یا اگر به محیط ابر عمومی می‌روند، حفظ محرمانگی و صحت را داشته باشند. بنابراین، در



شکل (۱۰): تابع هدف، زمان اجرا و هزینه روی گراف Montage

معیارهای مورد بررسی در الگوریتم‌ها شامل زمان و هزینه اجرای کل کارها - محدودیت‌های مسئله در مقاله - و همچنین تابع هدف فاصله امنیتی است. معیارها روی سه نمونه توسط الگوریتم‌های مختلف بررسی شده است.

با توجه به نتایج به دست آمده در شکل (۸) روی گراف HEFT، تابع هدف در الگوریتم پیشنهادی PSO-WSCS کاهش ۳۰ درصدی نسبت به الگوریتم PSO داشته است. همین‌طور در شکل (۹) روی گراف Inspiral، تابع هدف در الگوریتم پیشنهادی PSO-WSCS کاهش ۵۳ درصدی نسبت به الگوریتم‌های دیگر داشته است. شکل (۱۰) روی گراف Montage، تابع هدف را نشان می‌دهد که در الگوریتم پیشنهادی PSO-WSCS کاهش ۴۵ درصدی نسبت به الگوریتم‌های دیگر داشته است. کاهش تابع هدف (فاصله امنیتی) به معنای این است که برای کارها، منابعی با قدرت امنیتی مشابه انتخاب شده است. در واقع الگوریتم PSO با قابلیت کنترل روی حداکثر زمان اجرا و حداکثر هزینه، کمترین فاصله امنیتی را پیدا می‌نماید. یکی دیگر از محاسن الگوریتم پیشنهادی، در نظر گرفتن حساسیت کارها است. به طوری که کارهایی که درجه حساسیت بالایی دارند یا با داده‌های حساس کار می‌کنند، روی منابع خصوصی و تحت کنترل سازمان زمان بندی می‌شوند.

معمولاً با افزایش سرعت اجرای منبع، هزینه اجرا نیز افزایش پیدا می‌کند. اما در رابطه با قدرت امنیتی منبع نمی‌توان به طور قطع اظهار نظر نمود. بنابراین الگوریتم پیشنهادی تا زمانی که حداکثر زمان مشخص شده توسط کاربر اجازه بدهد، منبعی را انتخاب می‌کند که علاوه بر کاهش هزینه‌ها از لحاظ امنیتی منطبق به کار باشد.

- [9] A. Rezaeian, H. Abrishami, S. Abrishami, and M. Naghibzadeh, "A Budget Constrained Scheduling Algorithm for Hybrid Cloud Computing Systems Under Data Privacy," in *Cloud Engineering (IC2E)*, 2016 IEEE International Conference on, pp. 230-231, 2016.
- [10] H. Chen, X. Zhu, D. Qiu, L. Liu, and Z. Du, "Scheduling for workflows with security-sensitive intermediate data by selective tasks duplication in clouds," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 2017.
- [11] M. L. Pinedo, "Scheduling: theory, algorithms, and systems," Springer, 2016.
- [12] F. Wu, Q. Wu, and Y. Tan, "Workflow scheduling in cloud: a survey," *The Journal of Supercomputing*, vol. 71, pp. 3373-3418, 2015.
- [13] M. Masdari, S. ValiKardan, Z. Shahi, and S. I. Azar, "Towards workflow scheduling in cloud computing: a comprehensive analysis," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 66, pp. 64-82, 2016.
- [14] H. Liu, A. Abraham, V. Snášel, and S. McLoone, "Swarm scheduling approaches for work-flow applications with security constraints in distributed data-intensive computing environments," *Information Sciences*, vol. 192, pp. 228-243, 2012.
- [15] W. Liu, S. Peng, W. Du, W. Wang, and G. S. Zeng, "Security-aware intermediate data placement strategy in scientific cloud workflows," *Knowledge and information systems*, vol. 41, pp. 423-447, 2014.
- [16] Z. Li, J. Ge, H. Yang, L. Huang, H. Hu, H. Hu, et al., "A security and cost aware scheduling algorithm for heterogeneous tasks of scientific workflow in clouds," *Future Generation Computer Systems*, 2016.
- [17] H. Abrishami, A. Rezaeian, and M. Naghibzadeh, "Workflow Scheduling on the Hybrid Cloud to Maintain Data Privacy under Deadline Constraint," *Journal of Intelligent Computing Volume*, vol. 6, p. 93, 2015.
- [18] L. F. Bittencourt and E. R. M. Madeira, "HCOC: a cost optimization algorithm for workflow scheduling in hybrid clouds," *Journal of Internet Services and Applications*, vol. 2, pp. 207-227, 2011.
- [19] S. Abrishami, M. Naghibzadeh, and D. H. Epema, "Deadline-constrained workflow scheduling algorithms for Infrastructure as a Service Clouds," *Future Generation Computer Systems*, vol. 29, pp. 158-169, 2013.
- [20] N. Sooezi, S. Abrishami, and M. Lotfian, "Scheduling Data-Driven Workflows in Multi-cloud Environment," in *Cloud Computing Technology and Science (CloudCom)*, 2015 IEEE 7th International Conference on, 2015, pp. 163-167.
- [21] D. Fernández-Cerero, A. Jakóbič, D. Grzonka, J. Kołodziej, and A. Fernández-Montes, "Security supportive energy-aware scheduling and energy policies for cloud environments," *Journal of Parallel and Distributed Computing*, vol. 119, pp. 191-202, 2018.
- [22] Y. Wen, J. Liu, W. Dou, X. Xu, B. Cao, and J. Chen, "Scheduling workflows with privacy protection constraints for big data applications on cloud," *Future Generation Computer Systems*, 2018.
- [23] A. Abraham, H. Liu, and T.-G. Chang, "Variable neighborhood particle swarm optimization algorithm," in *Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO-2006)*, Seattle, USA, 2006.
- [24] P. S. Naidu and B. Bhagat, "Secure workflow scheduling in cloud environment using modified particle swarm optimization with scout adaptation," *International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing*, vol. 9, p. 1750064, 2018.
- این مقاله سعی شد که زمان بندی کارها روی منابع به گونه ای انجام شود که با در نظر گرفتن نیاز امنیتی برای کارها و داده های انتقالی، قدرت امنیتی منابع و مسیرهای ارتباطی، حداکثر تشابه امنیتی بین کارها و داده ها با منابع و مسیرهای ارتباطی وجود داشته باشد. همان طور که در قسمت ارزیابی مشاهده کردیم، با لحاظ کردن محدودیت زمان و هزینه، نیاز امنیتی کارها نزدیک به قدرت امنیتی منابع است. در واقع منابعی برای زمان بندی کارها انتخاب می شوند که از لحاظ امنیتی حداکثر تشابه را داشته باشند و در عین حال زمان و هزینه را مدنظر بگیرند. مزیت دیگر این الگوریتم علاوه بر موارد ذکر شده، در نظر گرفتن منابع ابر خصوصی است که با تعریف هزینه منبع برابر با صفر و قدرت امنیتی برابر با (1, 1, 1) - نشان دهنده حداکثر قدرت امنیتی - در نظر گرفته می شود.
- برای ادامه کار می توان از زمان بندی امن بین کارها [۲۸] روی انواع دیگر ابر، ابرهای چندگانه [۲۰] استفاده کرد. همچنین می توان برای چند گردشکاری (چند مجموعه گراف کارها)، مثل گردشکاری که امکان تبادل داده داشته باشد [۲۹]، نیز زمان بندی امن انجام داد. بهبود بر روی روش PSO و همچنین استفاده از روش های تابع چندهدفه [۲۳] نیز از جمله کارهای آتی خواهد بود.

۶. مراجع

- [1] M. Naghibzadeh, "Modeling Workflow of Tasks and Task Interaction Graphs to Schedule on the Cloud," *Cloud Computing* 2016, p. 81, 2016.
- [2] C. Jianfang, C. Junjie, and Z. Qingshan, "An optimized scheduling algorithm on a cloud workflow using a discrete particle swarm," *Cybernetics and Information Technologies*, vol. 14, pp. 25-39, 2014.
- [3] S. Singh and I. Chana, "A survey on resource scheduling in cloud computing: Issues and challenges," *Journal of Grid Computing*, vol. 14, pp. 217-264, 2016.
- [4] Sh. Jamali and S. Hourali, "Decentralized load balancer in cloud environment by using multi attribute decision making policy," *Tabriz Journal of Electrical Engineering*, pp. 95-106, 2016. (In Persian)
- [5] R. Gupta, "Above the Clouds: A View of Cloud Computing," *Asian Journal of Research in Social Sciences and Humanities*, vol. 2, pp. 84-110, 2012.
- [6] H. Abrishami, A. Rezaeian, and M. Naghibzadeh, "Scheduling in hybrid cloud to maintain data privacy," 20th National CSI Computer Conference, 2015. (In Persian)
- [7] S. Sharif, J. Taheri, A. Y. Zomaya, and S. Nepal, "Mphc: Preserving privacy for workflow execution in hybrid clouds," in *2013 International Conference on Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies*, pp. 272-280, 2013.
- [8] H. Abrishami, A. Rezaeian, and M. Naghibzadeh, "A novel deadline-constrained scheduling to preserve data privacy in hybrid Cloud," in *Computer and Knowledge Engineering (ICCCKE)*, 2015 5th International Conference on, pp. 234-239, 2015.

- [28] A. Mohsenzadeh, H. Motameni, J. Vahidi, "A fuzzy trust evaluation mode to enhance security of cloud system entities with petri net," *Journal of Electronic and Cyber Defence*, vol. 4, 2016. (In Persian)
- [29] M. Naghibzadeh, "Modeling and scheduling hybrid workflows of tasks and task interaction graphs on the cloud," *Future Generation Computer Systems*, vol. 65, pp. 33-45, 2016.
- [25] K. Pradeep and T. P. Jacob, "CGSA scheduler: A multi-objective-based hybrid approach for task scheduling in cloud environment," *Information Security Journal: A Global Perspective*, vol. 27, pp. 77-91, 2018.
- [26] "Work flow Simulator code," <https://github.com/WorkflowSim>.
- [27] G. Juve, A. Chervenak, E. Deelman, S. Bharathi, G. Mehta, and K. Vahi, "Characterizing and profiling scientific workflows," *Future Generation Computer Systems*, vol. 29, pp. 682-692, 2013.

