

ایجاد تعادل بار کاری و کاهش چرخه زمانی با استفاده از اجرای همزمان وظایف وابسته در سیستم‌های مدیریت فرآیندهای کسب‌وکار

مهدی یعقوبی^۱، دانشجوی دکتری؛ مرتضی زاهدی^۲، استادیار

۱- دانشکده مهندسی کامپیوتر و فن‌آوری اطلاعات - دانشگاه صنعتی شاهرود - شاهرود - ایران - m.yaghoubi@shahroudut.ac.ir

۲- دانشکده مهندسی کامپیوتر و فن‌آوری اطلاعات - دانشگاه صنعتی شاهرود - شاهرود - ایران - zahedi@shahroudut.ac.ir

چکیده: ظهور سیستم‌های مدیریت فرآیندهای کسب‌وکار (BPMS)، یک دستاورد ارزشمند در سیستم‌های اطلاعاتی محسوب می‌شود. BPMS امکان طراحی، نظارت، مدیریت و بهبود فرآیندهای کسب‌وکار را فراهم می‌کند. شرکت‌ها و سازمان‌ها سیاست‌های مختلفی مانند کاهش چرخه زمانی، کاهش هزینه تولید و افزایش کیفیت محصولات را در پیش می‌گیرند. تعادل بار کاری توزیع عادلانه وظایف را میان منابع تضمین می‌کند. در شرایطی که بار کاری زیاد است یا مواقعی که تعداد منابع انسانی محدود است، ایجاد تعادل بار کاری منابع انسانی می‌تواند باعث افزایش پایداری سیستم گردد. از طرف دیگر، کاهش چرخه زمانی، باعث کاهش زمان انتظار درخواست‌دهنده‌ها و افزایش رضایت‌مندی آن‌ها می‌شود. در این مقاله، یک رویکرد نوین جهت کاهش چرخه زمانی با توزیع وظایف وابسته در حین برقراری تعادل بار کاری ارائه می‌شود. وظایف وابسته، وظایفی هستند که اجرای همزمان آن‌ها منجر به کاهش چرخه زمانی می‌شود. وابستگی وظایف از تحلیل آماری سابقه رویدادها استخراج می‌شود. برای ارزیابی روش پیشنهادی از پایگاه داده BPI Challenge 2012 استفاده شده است و جهت تثبیت نتایج حاصل، سه آزمایش متفاوت انجام می‌شود. آزمایش‌های انجام شده نشان می‌دهد، روش پیشنهادی (WB_FIFO+CPDT) عملکرد بهتری نسبت به روش‌های WB_FIFO+DR و DSWB دارد مخصوصاً در شرایطی که تعداد درخواست‌های ورودی افزایش می‌یابد، کاهش بیش‌تری در چرخه زمانی دیده می‌شود. آزمایش‌ها نشان دادند به‌صورت متوسط ۱۶/۶ درصد نسبت به الگوریتم DSWB و ۳۱/۱ درصد نسبت به الگوریتم WB_FIFO+DR کاهش بیش‌تر در چرخه زمانی حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: سیستم‌های مدیریت فرآیندهای کسب‌وکار، تعادل بار کاری، چرخه زمانی، وظایف وابسته، همزمان‌سازی.

Workload Balancing and Cycle Time Reduction by Using Concurrent Performing of Dependent Tasks in BPMS

M. Yaghoubi¹, PhD Student; M. Zahedi², Associate Professor

1- Faculty of Computer & IT Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran, Email: m.yaghoubi@shahroudut.ac.ir

2- Faculty of Computer & IT Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran, Email: zahedi@shahroudut.ac.ir

Abstract: The emergence of business process management systems (BPMS) is a valuable achievement in information systems and is an outstanding meeting point of intelligent systems and information systems. BPMS provides the possibility to design, monitor, manage and improve the business processes. Organizations may adopt policies like cycle time reduction, production increase, production cost decrease, and so on. workload balancing may also be considered as an objective. Workload balancing guarantees fair work distribution among resources. In heavy load conditions or when the number of human resources is limited, workload balancing can increase the stability of the system. On the other hand, cycle time reduction would lead to waiting time reduction and customer satisfaction. In this paper, a novel approach is proposed to reduce cycle time of business processes by dispatching "dependent" tasks while maintaining workloads balanced. Dependent tasks are the tasks in a business process for which concurrent processing would help reduce cycle time. The concept of dependency is extracted by statistical analysis of event logs. To evaluate the proposed approach, BPI Challenge 2012 dataset is chosen to benchmark the three conducted experiments. The experiments shows that the proposed method (WB_FIFO+CPDT) outperforms WB_FIFO+DR and DSWB methods in cycle time reduction, especially in circumstances where arrival rate increases. The superiority of the proposed method in cycle time reduction is 16.6% in contrast to DSWB and 31.1% in contrast to WB_FIFO+DR.

Keywords: Business process management systems, workload balancing, cycle time, dependent tasks.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۵/۰۸/۰۲

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۵/۰۹/۱۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۰/۰۷

نام نویسنده مسئول: مرتضی زاهدی

نشانی نویسنده مسئول: ایران - شاهرود - بلوار دانشگاه - دانشگاه صنعتی شاهرود - دانشکده مهندسی کامپیوتر و فن‌آوری اطلاعات.

۱- مقدمه

فرآیندهای مختلف انجام می‌شود. در بخش پایانی نتایج و مزایای روش پیشنهاد شده بیان می‌گردد.

۲- تحقیقات مرتبط

یکی از تکنیک‌های افزایش پایداری سیستم، ایجاد تعادل بار کاری منابع است؛ مخصوصاً در مواقعی که تعداد منابع (سرویس‌دهنده‌ها) محدود است. این تکنیک در زمینه‌های مختلف در صنعت و علوم کامپیوتر مورد استفاده قرار گرفته است. به عنوان مثال، می‌توان به سیستم‌های توزیع شده و محاسبات موازی [۹]، محاسبات گریدی [۱۰]، سیستم‌های مدیریت پایگاه داده [۱۱] و مهندسی پزشکی [۱۲] اشاره کرد. از این تکنیک در سیستم‌های مدیریت جریان کاری نیز بارها استفاده شده است [۵، ۱۹-۱۳].

سالانه تحقیقات پرهزینه‌ای برای کاهش چرخه زمانی در کارخانه‌های تولیدی انجام می‌شود. مسئله زمان‌بندی کار کارگاهی^۵ یکی از مهم‌ترین مسائل حل نشده‌ای است که تحقیقات زیادی روی آن انجام می‌شود. هدف این مسئله، ایجاد یک زمان‌بندی بهینه است؛ تا زمان جریان کاری به حداقل خود برسد [۲۲-۲۰]. نتیجه این تحقیقات در BPMS قابل استفاده است؛ اما از آنجایی که مسائل تعریف شده در BPMS به دلیل ماهیت احتمالاتی و تعامل آن با فعالیت‌های انسان، پیچیده‌تر است، استفاده از نتایج تحقیقات پیشین را در حل این مسائل مشکل می‌کند.

به طور کلی چگونگی تخصیص وظایف به منابع را می‌توان عامل اصلی موفقیت در اجرای فرآیندهای کسب و کار دانست. از ساده‌ترین روش‌های ارائه شده می‌توان FIFO^۶، SPT^۷، EDD^۸ و MST^۹ را نام برد [۲۳]. استفاده از توانایی و تخصص منابع در زمان تخصیص وظایف یکی دیگر از عوامل مهم در اجرای فرآیندهای کسب و کار است [۴، ۲۴]. این رویکرد به طور غیرمستقیم و با توجه به نقش منابع، تخصیص وظایف را اولویت‌بندی می‌کند و در مجموع باعث بهتر شدن عملکرد الگوریتم تخصیص در انتخاب منبع مناسب می‌شود، اما باعث کاهش انعطاف‌پذیری در انتخاب آزادانه منابع می‌گردد.

برخی از تحقیقات، تعادل بار کاری منابع را به عنوان هدف اصلی خود قرار داده‌اند. تحقیق Byung-Hyun Ha و همکاران [۱۶] نشان داد ایجاد تعادل در بار کاری منابع باعث افزایش پایداری سیستم می‌شود و حجم بیش‌تری از درخواست‌های ورودی، در سیستم قابل پذیرش است. Byung-Hyun Ha و همکاران در تحقیق دیگری [۱۷]، برای ایجاد تعادل بار کاری منابع در BPMS الگوریتمی ارائه کردند. آن‌ها بر اساس تحلیل آماری داده‌های ذخیره شده در سابقه رویداد یک مدل تحلیلی معرفی کردند. سپس با استفاده از مدل تحلیلی خود و ترکیب آن با مدل شبکه صف توانستند یک روش رسمی (فرمال) برای ایجاد تعادل بار کاری منابع ارائه دهند. آن‌ها مدل تحلیلی خود را با شبیه‌سازی فرآیندهای کسب و کار آزمایش کردند و نتایج آن‌ها، کاهش قابل توجهی در چرخه زمانی درخواست‌ها را نشان داد. برای حل مسئله زمان‌بندی روی ماشین‌های

امروزه بسیاری از شرکت‌ها و سازمان‌ها به سرعت در حال توسعه هستند و افزایش بهره‌وری یکی از چالش‌های اصلی آن‌ها است. اگرچه این توسعه به واسطه استفاده از تکنولوژی نوین و مهارت‌های پیشرفته در مدیریت حاصل می‌شود، نمی‌توان از رقابت شدید موجود در بازار جهانی اجتناب کرد. شرکت‌ها و سازمان‌هایی که در تجارت جهانی در حوزه خاصی مشغول فعالیت هستند برای تداوم صنعت خود و حفظ و افزایش مشتریان باید از روش‌های نوین مشتری‌مداری و مدیریت فرآیندهای کسب و کار بهره ببرند. BPMS امکان مدیریت بهتر فرآیندهای کسب و کار را به وجود می‌آورد [۳-۱]. BPMS برای کاربران خود این امکان را فراهم می‌آورد تا بر روی فرآیندهای کسب و کار، مدیریت هوشمندانه‌ای داشته باشند. از آنجایی که ابزارهایی مانند سیستم‌های مدیریت جریان کاری^۲ توسعه، اجرا و مدیریت فرآیندها را فراهم می‌کنند، BPMS‌ها به گونه‌ای گسترش یافته‌اند تا علاوه بر قابلیت‌های ذکر شده فوق، امکان مدیریت و تعامل بین فرآیندها را فراهم آورند و سازگاری بیش‌تری با فرآیندهای درون سازمانی داشته باشند [۳، ۴].

چرخه زمانی درخواست‌ها، از مهم‌ترین معیارهای ارزیابی کارایی در اجرای فرآیندهای کسب و کار است. در محیط‌های تولیدی به مدت زمان بین درخواست مشتری و زمان تحویل محصول، چرخه زمانی گفته می‌شود. با زمان‌بندی و برنامه‌ریزی مناسب، کاهش چرخه زمانی در فرآیندهای کسب و کار، یکی از مهم‌ترین دستاوردهایی است که می‌تواند در BPMS حاصل شود [۸-۵].

در این مقاله، پایگاه داده BPI Challenge 2012^۳ مورد بررسی قرار گرفت و نوعی وابستگی بین وظایف مشاهده شد. این وابستگی مربوط به وظایفی بود که همزمان توسط یک منبع مشخص اجرا می‌شدند. روش استخراج و محاسبه وابستگی بین وظایف از روی سابقه رویدادهای ثبت شده شرح داده می‌شود. در این مقاله، بعد از تخصیص وظایف توسط یک الگوریتم پایه، از الگوریتم تکمیلی پیشنهاد شده جهت متعادل سازی مجدد بار کاری منابع استفاده می‌شود. این الگوریتم با در نظر گرفتن وابستگی تعریف شده بین وظایف، وظیفه‌های وابسته را بین لیست کاری منابع جابجا می‌کند تا توزیع مناسب‌تری از وظیفه‌ها حاصل شود. در توزیع حاصل شده امکان اجرای همزمان وظایف برای منبع مربوطه به وجود می‌آید. به عبارت دیگر، تکنیک اجرای همزمان وظایف وابسته^۴ (CPDT) ایده اصلی این مقاله است. این تکنیک بر اساس تحلیل آماری سابقه رویدادها بنا شده است تا بتواند از اطلاعات سابقه رویدادهای ثبت شده، استفاده کند و وظایف را به شکل بهتری بین منابع توزیع کند و باعث کاهش چرخه زمانی درخواست‌ها شود.

بخش دوم این مقاله، مروری بر تحقیقات مرتبط انجام شده خواهد داشت. در بخش سوم، ابتدا برخی مفاهیم و تعاریف بیان می‌شود. سپس روش تخمین زمان‌های اجرای وظایف مستقل و وابسته شرح داده خواهد شد و در انتهای بخش سوم ایده اصلی و الگوریتم پیشنهادی ارائه می‌شود. در بخش چهارم برای ارزیابی روش پیشنهادی سه آزمایش روی

محققان مورد استفاده قرار گرفته است. این مدل بر اساس مبانی نظری خوبی تعریف شده است [۳۲-۳۴]. SWN هم‌ارز یک شبکه پتری تصادفی نامحدود است که برای مدل‌سازی جریان کاری مورد استفاده قرار می‌گیرد و نتایج تجزیه و تحلیل آن در فرآیندهای کسب و کار قابل استناد است.

در بسیاری از تحقیقات انجام شده از مدل‌های تصادفی به عنوان مدلی جهت تحلیل فرآیندهای کسب و کار استفاده می‌شود. این تحقیقات نشان داده است که مدل‌های تصادفی به خوبی برای مقاصد مختلف قابل استفاده هستند. گراف زمانی احتمالاتی^{۱۶} که بر پایه رویدادهای محتمل در فرآیندهای کسب و کار بنا شده است، نشان داد که می‌تواند تحلیل بهتری از عملکرد منابع داشته باشد، در نتیجه مدیریت بهتری از زمان بندی منابع ارائه می‌دهد [۳۵]. Xie و همکاران [۳۶] در تکمیل تحقیق Byung-Hyun Ha و همکاران [۱۷] روش آن‌ها را گسترش دادند و توانستند با ترکیب نظریه صف و مدل‌های تصادفی، روش بهتری به عنوان «تخصیص تصادفی پویا با هدف کاهش چرخه زمانی^{۱۷}» (DSWB) جهت تخصیص وظایف ارائه دهند. ایشان با اضافه کردن یک پارامتر جدید به شبکه صف، تخمین بهتری از چرخه زمانی ارائه دادند و با جابجایی واحدهای کاری در صف اختصاصی (لیست کاری) منابع تعادل بار کاری منابع را افزایش دادند و همزمان چرخه زمانی درخواست‌ها را بهبود بخشیدند. ایده اصلی آن‌ها در کاهش بار کاری منابع با جابجایی واحدهای کاری، از منابع با بار کاری بالا به منابع غیرفعال است.

در این مقاله، الگوریتم ارائه شده Byung-Hyun Ha و همکاران [۱۷] توسعه داده می‌شود و با توسعه‌های دیگر آن مانند DSWB مقایسه می‌شود. تفاوت کلیدی الگوریتم ارائه شده در این مقاله با روش‌های قبلی [۱۷، ۳۶] در استفاده آماری از سابقه رویدادها است که در این مقاله به صورت استخراج فاصله وابستگی وظایف تعریف شده است و این فاصله وابستگی در الگوریتم ارائه شده نقش اصلی را دارد. در تحقیقی که به وسیله Xingmei و همکاران [۲۷] انجام شد نوعی ارتباط اجتماعی بین منابع وظیفه جاری یک درخواست با منابعی که روی همان درخواست کار انجام داده بودند تعریف شد و آن‌ها ارتباط اجتماعی بین منابع را بر اساس اطلاعات ثبت شده در سابقه رویدادها به دست آوردند بنابراین الگوریتم ارائه شده در این مقاله را می‌توان مشابه با تحقیق Xingmei و همکاران دانست با این تفاوت که آن‌ها از تحلیل آماری سابقه رویدادها ارتباط اجتماعی بین منابع را به دست آوردند و در این مقاله فاصله وابستگی بین وظایف از سابقه رویدادها به دست آمد و اطلاعات استخراج شده از سابقه رویدادها مانند نتایج Xingmei و همکاران باعث کاهش چرخه زمانی شد.

موازی همسان، Larbi و همکاران [۲۵] تحقیق مشابهی انجام دادند، آن‌ها نشان دادند که ایجاد تعادل بار کاری روی ماشین‌های موازی عملکرد خوبی دارد و برای ارزیابی روش پیشنهادی خود، از یک نگاشت بر روی شبکه پتری استفاده کردند. شبکه پتری یک از ابزارهای مدل‌سازی و کنترل است که در علوم کامپیوتر استفاده‌های متعددی از آن شده است [۲۶].

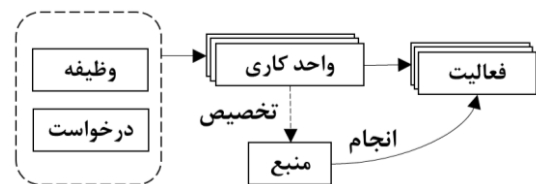
یکی دیگر از اهدافی که رد پای آن در بسیاری از تحقیقات دیده شده است، کاهش چرخه زمانی درخواست‌ها در فرآیندهای کسب و کار است [۵، ۱۹-۲۷]. Xingmei و همکاران [۲۷] با تحلیلی که روی پایگاه داده واقعی BPI Challenge 2012 انجام دادند، توانستند بین منابع نوعی ارتباط اجتماعی تعریف کنند. این ارتباط اجتماعی بر اساس یک تحلیل آماری بین منبع کار جاری یک درخواست و منابع کارهای قبلی همان درخواست، تعریف شد که در نهایت باعث بهبود چرخه زمانی درخواست‌ها شد. Xu و همکاران [۵] با ارائه الگوریتم تخصیص منابع هزینه اجرای فرآیند کسب و کار را با در نظر گرفتن محدودیت زمانی کاهش دادند. به طور مشابه در مطالعات Nisafani و همکاران [۱۸] برای انتخاب منبع قاعده‌ای ارائه دادند، آن‌ها پارامترهای بار کاری منابع، اندازه صف، ساعت کاری منابع در طول روز و میزان حجم درخواست در ساعات مختلف روز را در تعریف قاعده انتخاب منبع مورد توجه قرار دادند. سپس این پارامترها را در یک شبکه بیز^{۱۸} ترکیب کردند و یک مدل واحد، به عنوان «قاعده انتخاب بیز^{۱۱}» برای انتخاب منابع در فرآیندهای کسب و کار ارائه دادند. آزمایش‌های آن‌ها نشان داد، این مدل به طور قابل توجهی عملکرد سیستم را بهبود بخشیده است. در ادامه مطالعات Nisafani، Wibisono و همکاران [۱۹] ایده مشابهی را مورد آزمایش قرار دادند و الگوریتم تخصیص منبع دیگری برای مدیریت منابع در BPMS ارائه دادند. آن‌ها همان ایده قبلی Nisafani را گسترش دادند و با استفاده از مدل بیز خام^{۱۲} قاعده انتخاب منبع NBSR^{۱۳} را ارائه کردند. در تحقیق انجام شده توسط Kumar و همکاران [۲۸] یک روش جدید و پیچیده برای توزیع وظایف ارائه شد که در حال حاضر در بسیاری از سیستم‌های مدیریت جریان کاری^{۱۴} مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مقایسه با سیستم‌های قدیمی‌تر که از تکنیک‌های ضعیف‌تر استفاده می‌کنند روش ارائه شده ایشان به عنوان انقلابی در دستیابی به کیفیت و کارایی به حساب می‌آید.

Narahari و همکاران [۲۹] با استفاده از مدل‌سازی صف در BPMS و بهره‌گیری از تکنیک‌های شبیه‌سازی توانستند برای کاهش چرخه زمانی با استفاده از تجزیه و تحلیل مدل صف روش‌های مختلفی به دست آورند. Son و Kim [۳۰] با مدل‌سازی هر وظیفه در فرآیند کسب و کار به عنوان یک سرویس دهنده صف، با توجه به زمان اتمام اجرای فرآیند توانستند روشی برای محاسبه ظرفیت هر منبع ارائه دهند. Chang و همکاران [۳۱] روش‌های شناسایی مسیر بحرانی در فرآیندهای کسب و کار را مورد مطالعه قرار دادند. شبکه جریان کاری تصادفی^{۱۵} (SWN) یکی دیگر از مدل‌هایی است که به صورت گسترده توسط

۳- روش پیشنهادی

۳-۱- مفاهیم و تعاریف

سه مفهوم وظیفه، واحد کاری^{۱۸} و فعالیت از مفاهیم اصلی در BPMS هستند. شکل ۱ ارتباط بین مفاهیم ذکر شده را نشان می‌دهد. وقتی یک وظیفه در یک نمونه فرآیند به یک درخواست منتسب می‌شود یک واحد کاری ایجاد می‌شود. به عبارت دیگر یک واحد کاری، وظیفه‌ای است که روی پرونده (درخواست) مشخص تعریف می‌شود. وقتی یک واحد کاری به یک منبع جهت انجام وظیفه روی پرونده منتسب می‌شود، واحد کاری مفهوم «فعالیت» به خود می‌گیرد.



شکل ۱: ارتباط مفهومی بین وظیفه، واحد کاری و فعالیت

در ادامه این تحقیق از عبارتهای «فعالیت» و «وظیفه» که دارای مفاهیم نزدیک به هم هستند، به تکرار استفاده خواهد شد. برای روشن‌تر شدن نحوه استفاده از این مفاهیم در ادامه تحقیق باید به این نکته اشاره کرد: در مواقعی که منبع انجام‌دهنده مشخص باشد از عبارت «فعالیت» استفاده می‌شود و زمانی که منبع مشخص نباشد از عبارت «وظیفه» استفاده خواهد شد. به عنوان مثال عبارت «تخمین زمان انجام فعالیت» غلط نیست ولی صحیح‌تر است به صورت «تخمین زمان انجام وظیفه» بیان شود؛ زیرا در این تحقیق، منظور از عبارت «تخمین» برای زمانی است که هنوز منبع مشخص نشده است.

تعریف ۱: مدل تحلیلی فرآیند

برای معرفی روش پیشنهادی و آشنایی با فضای مسئله تخصیص وظایف، لازم است ابتدا مدل تحلیلی فرآیند ارائه شود. مدل تحلیلی فرآیند به صورت چندتایی $p = \langle \varphi, T, F, R, U, \mu, \delta \rangle$ بیان می‌شود که اجزای آن عبارتند از:

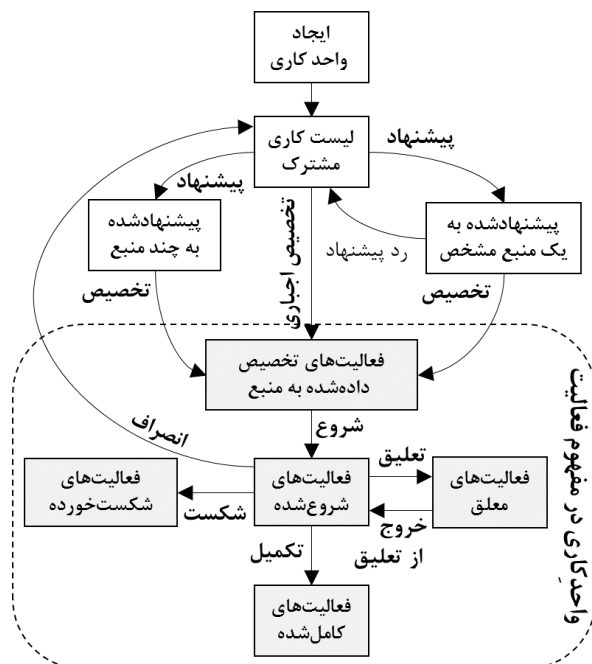
- φ نرخ ورود مشتریان است.
- مجموعه T وظیفه‌های تعریف شده در فرآیند کسب و کار است.
- مجموعه $F \subseteq T \times T$ شامل اتصالات جهت‌دار بین وظیفه‌ها است که بیانگر جریان کاری وظایف تعریف شده در فرآیند کسب و کار است.
- مجموعه R منابع انسانی موجود در سازمان است که وظیفه‌های تعریف شده در فرآیند کسب و کار به وسیله آن‌ها انجام می‌شود.
- مجموعه $U \subseteq T \times R$ منابع مسئول هر وظیفه را مشخص می‌کند. به عنوان مثال $(t, r) \in U$ نشان می‌دهد در فرآیند p منبع r مسئول انجام دادن وظیفه t است.

و. $\mu: U \rightarrow \mathbb{R}^+$ یک نگاشت از مجموعه U به اعداد حقیقی مثبت است. مقدار $\mu((t, r))$ بیانگر «متوسط زمان مستقل» انجام وظیفه t توسط منبع r است که به اختصار با $\mu^r(t)$ نشان داده می‌شود.

ز. $\delta: U \times T \rightarrow \mathbb{R}^+$ یک نگاشت از مجموعه $U \times T$ به اعداد حقیقی مثبت است. مقدار $\delta((t, r, t'))$ بیانگر «متوسط زمان وابسته» است که به انجام وظیفه t به صورت همزمان با وظیفه t' توسط منبع r اشاره دارد که به اختصار با $\delta^r(t, t')$ نشان داده می‌شود.

در ادامه این تحقیق، روش محاسبه δ و μ شرح داده می‌شود و الگوریتم پیشنهادی بر پایه مقادیر δ و μ بیان می‌گردد.

وقتی درخواست مشتری به یک فرآیند می‌رسد، یک نمونه فرآیند ایجاد می‌شود. همزمان با ایجاد نمونه فرآیند، یک واحد کاری در اولین وظیفه تعریف شده در فرآیند، ایجاد می‌گردد. این واحد کاری در چرخه حیات خود به رویدادهای زیادی برخورد خواهد کرد. مهم‌ترین این رویدادها، وقتی است که یک منبع به واحد کاری تخصیص داده می‌شود. بعد از این تخصیص، واحد کاری مفهوم «فعالیت» را به خود می‌گیرد. شکل ۲ چرخه حیات یک واحد کاری را نشان می‌دهد، همان‌طور که در شکل مشخص است یک واحد کاری دارای وضعیت‌های مختلفی است که با رخ دادن هر رویداد (یال) وضعیت آن عوض می‌شود. در شکل ۲ وضعیت‌هایی که واحد کاری دارای مفهوم فعالیت است مشخص شده است.



شکل ۲: چرخه حیات یک واحد کاری

بعد از رویداد تخصیص، یکی از رویدادهای شروع، تکمیل، انصراف، شکست و تعلیق روی واحد کاری (فعالیت) رخ می‌دهد. در BPMS هنگام رخ دادن هر یک از این رویدادها، اطلاعات مربوط به آن در سابقه رویداد ذخیره می‌شود.

تعریف ۲: رویداد ذخیره شده

پنج تایی $e = \langle Type, Case, Task, Time, ResourceId \rangle$ یک رویداد ذخیره شده در سابقه رویداد است. این رویداد هنگام ایجاد، انتساب، شروع، پایان هر فعالیت در پایگاه داده ثبت می شود. اجزای یک رویداد ذخیره شده عبارتند از:

- ا. Type: نوع رویداد را مشخص می کند که می تواند شامل یکی از مقادیر Start, Allocation, Complete, Fail, Cancel, Suspend و Resume باشد.
- ب. Case: شناسه درخواست (مورد) است که به ازای هر درخواست ورودی یک عدد یکتا است و مشخص می کند رویداد ثبت شده مربوط به کدام درخواست است.
- ج. Task: وظیفه متناظر با فعالیتی است که رویداد e هنگام انجام آن فعالیت ثبت شده است.
- د. Time: زمان ثبت رویداد است.
- ه. ResourceId: شناسه منبعی است که فعالیت مربوط به رویداد e را انجام داده است.

در این تحقیق، یک رویداد با نماد e نشان داده خواهد شد و برای دسترسی به نوع و درخواستی (موردی) که رویداد روی آن اتفاق افتاده به ترتیب از توابع $e.Type$ و $e.Case$ استفاده خواهد شد.

تعریف ۳: فعالیت

به ازای هر درخواستی که به فرآیند کسب و کار وارد می شود، یک نمونه فرآیند ایجاد می شود. هر فعالیت در نمونه فرآیند با یک وظیفه در مدل تحلیلی فرآیند متناظر می شود. اگر مجموعه فعالیت های موجود در نمونه فرآیند با A نشان داده شود آنگاه مجموعه A با مجموعه T در مدل تحلیلی فرآیند متناظر می شود. عملیاتی که روی فعالیت $a \in A$ در BPMS انجام می شود باعث ثبت مجموعه ای از رویدادها در سابقه رویداد می گردد. هر رویداد ثبت شده e شامل اطلاعات درخواست (مورد)، منبع و وظیفه است که به ترتیب به کمک سه تابع $e.ResourceId$ ، $e.Case$ و $e.Task$ قابل دسترسی است. این سه مقدار برای کلیه رویدادهای یک فعالیت یکسان هستند. در ادامه برای دسترسی راحت تر به این اطلاعات برای هر فعالیت a از توابع $a.Case$ ، $a.ResourceId$ و $a.Task$ استفاده خواهد شد. در هر فعالیت کامل شده حداقل یک رویداد با نوع Start و یک رویداد با نوع Complete وجود دارد. ؛ که به ترتیب مقادیر $a.Start$ و $a.Complete$ را مشخص می کنند. رابطه (۱) نحوه مقداردهی $a.Start$ و $a.Complete$ را نشان می دهد.

$$\begin{aligned} \forall a \in A \\ \exists e \in EventLog, \left(\begin{array}{l} e.Type = "Start" \\ e \text{ occurs on performing } a \end{array} \right) \\ \Rightarrow a.Start = e.Time \\ \exists e \in EventLog, \left(\begin{array}{l} e.Type = "Complete" \\ e \text{ occurs on performing } a \end{array} \right) \\ \Rightarrow a.Complete = e.Time \end{aligned} \quad (1)$$

۳-۲- تخمین زمان اجرای وظایف

با تحلیل آماری رویدادهای ثبت شده در سابقه رویداد، امکان محاسبه میانگین مدت زمان اجرای هر وظیفه وجود دارد و این میانگین می تواند تخمینی مناسب از مدت زمان اجرای وظیفه جاری باشد. رابطه (۲) روش محاسبه تخمینی مدت اجرای وظیفه t را توسط منبع r نشان می دهد.

$$\mu^r(t) = \frac{\sum_{a \in AC^{t,r}} (a.Complete - a.Start)}{|AC^{t,r}|} \quad (2)$$

$$AC^{t,r} = \{a | a \in EventLog, a.Task = t, a.ResourceId = r\}$$

۳-۲-۱- تخمین زمان اجرای وظایف مستقل

در رابطه (۲) اگر همزمان با انجام فعالیت $a \in EventLog$ که توسط منبع r انجام شده است؛ هیچ فعالیت دیگری توسط همین منبع انجام نشده باشد آنگاه رابطه (۲) مقدار «تخمین زمان مستقل» برای وظیفه t را محاسبه می کند که توسط منبع r انجام شده است.

۳-۲-۲- تخمین زمان اجرای وظایف وابسته

بررسی پایگاه داده BPI Challenge 2012 نشان داد، ممکن است دو فعالیت a و b توسط یک منبع مشخص r به طور همزمان انجام شود. اگر فعالیت $A_t^r = \{a | a \in EventLog, a.Task = t, a.ResourceId = r\}$ مجموعه تمام فعالیت های متناظر با وظیفه t که توسط منبع r انجام شده است، باشد آنگاه برای دو وظیفه مفروض t_1 و t_2 ، مجموعه $(a, b) \in A_{t_1}^r \times A_{t_2}^r$ جفت فعالیت هایی است که توسط منبع r انجام شده است. حال اگر یکی از دو شرط ذیل برقرار باشد آنگاه فعالیت های a و b توسط منبع r همزمان انجام شده اند و وظیفه های t_1 و t_2 وابسته هستند.

الف) اگر زمان شروع و زمان تکمیل انجام یک فعالیت کاملاً بین زمان شروع و زمان تکمیل فعالیت دیگر باشد. به عبارت دیگر

$$b.Start \leq a.Start \leq a.Complete \leq b.Complete$$

یا

$$a.Start \leq b.Start \leq b.Complete \leq a.Complete$$

ب) اگر بخشی از ابتدا یا انتهای یک فعالیت در زمان انجام فعالیت دیگری باشد. به عبارت دیگر

$$a.Start \leq b.Start \leq a.Complete \leq b.Complete$$

یا

$$a.Start \leq b.Start \leq a.Complete \leq b.Complete$$

طبق شرط های فوق، مجموعه $A_{t_1}^r \cap A_{t_2}^r$ به عنوان یک زیرمجموعه از $A_{t_1}^r \times A_{t_2}^r$ تعریف می شود، اگر شامل همه فعالیت های همزمان دو وظیفه وابسته t_1 و t_2 باشد و مطابق با رابطه (۳) تعریف می گردد.

$$\begin{aligned} A_{t_1}^r \cap A_{t_2}^r = \\ \left\{ (a, b) \mid \begin{array}{l} a \in A_{t_1}^r, b \in A_{t_2}^r, \\ a.Start \leq b.Start \leq b.Complete \leq a.Complete \text{ or } \\ b.Start \leq a.Start \leq a.Complete \leq b.Complete \text{ or } \\ a.Start \leq b.Start \leq a.Complete \leq b.Complete \text{ or } \\ b.Start \leq a.Start \leq b.Complete \leq a.Complete \end{array} \right\} \quad (3) \end{aligned}$$

برای هر وظیفه مستقل t عبارت $A_t^r \cap A_{t_k}^r = \emptyset, \forall t_k \in T$ برقرار است. برای یک وظیفه غیرمستقل t' می بایست ابتدا مجموعه فعالیت های

مستقل $\mu^r(t) + \mu^r(t')$ باشد؛ آنگاه بهتر است وظیفه وابسته t' به صورت مستقل اجرا شود تا باعث بهبود در چرخه زمانی شود. نکته قابل توجه دیگر این است که ممکن است یک وظیفه برای یک منبع مستقل و برای منبعی دیگر غیرمستقل باشد و مقادیر $\delta^r(t', t)$ و $\mu^r(t) + \mu^r(t')$ با توجه به منبع r متفاوت باشند. بنابراین نسبت $\frac{\delta^r(t', t)}{\mu^r(t') + \mu^r(t)}$ به عنوان یک معیار مناسب، تعیین می‌کند که وظیفه وابسته t' به صورت جداگانه انجام شود یا به صورت همزمان با وظیفه دیگر t انجام شود.

از آنجایی که نسبت $\frac{\delta^r(t', t)}{\mu^r(t') + \mu^r(t)}$ یک عدد حقیقی در بازه $(0, +\infty)$ است و مقدار یک به عنوان مرز تشخیص، بازه $(0, +\infty)$ را به دو بازه $(0, 1)$ و $(1, +\infty)$ با طول غیر برابر تقسیم می‌کند، لازم است نسبت $\frac{\delta^r(t', t)}{\mu^r(t') + \mu^r(t)}$ با استفاده از رابطه (۱۱) روی بازه $(0, 1)$ نگاشت شود تا مرز تشخیص به مقدار 0.5 منتقل گردد و بازه‌های $(0, 1)$ و $(1, +\infty)$ به ترتیب روی بازه‌های $(0, 0.5)$ و $(0.5, +\infty)$ نگاشت شود.

$$DF_r(t', t) = \frac{1}{1 + \frac{\delta^r(t', t)}{\mu^r(t') + \mu^r(t)}} \quad (11)$$

در رابطه (۱۱) تابع $DF_r(t', t)$ را «فاصله وابستگی» می‌نامیم اگر فاصله وابستگی کمتر از 0.5 باشد آنگاه مقدار $\frac{\delta^r(t', t)}{\mu^r(t') + \mu^r(t)}$ بیش‌تر از یک می‌شود و بهتر است وظیفه وابسته t' به صورت جداگانه انجام شود. اگر فاصله وابستگی بیش‌تر از 0.5 باشد بهتر است وظیفه وابسته t' همزمان با وظیفه t انجام شود و برای فاصله وابستگی 0.5 فرقی نمی‌کند وظیفه وابسته t' به صورت جداگانه انجام شود یا با وظیفه دیگر t به صورت همزمان انجام شود.

۳-۴- تعادل بار کاری و همزمان‌سازی وظایف وابسته

ایجاد تعادل در بار کاری منابع و کاهش چرخه زمانی درخواست‌ها از مهم‌ترین اهداف هر سیستم مدیریت فرآیندهای کسب‌وکار است. اگر یک سیستم به دنبال برقراری تعادل بار کاری باشد آنگاه بهینه‌سازی چرخه زمانی به‌خوبی میسر نمی‌شود. از طرف دیگر، ایجاد چرخه زمانی کمینه باعث غیرمتعادل شدن بار کاری می‌شود [۲۸]. وقتی برقراری تعادل بار کاری در سیستم هدف اصلی باشد، به چند دلیل ممکن است بهینه‌سازی چرخه زمانی با مشکل مواجه شود. این دلایل از این قرارند:

الف) کاهش چرخه زمانی به صورت تئوری در معادلات تعادل بار کاری پیش‌بینی نشده است.

ب) ایجاد تعادل بار کاری بر اساس مقادیر تخمین‌زده‌شده در زمان تخصیص منابع انجام می‌شود و کارها بر اساس این مقادیر در لیست کاری منابع قرار می‌گیرند. ولی در زمان اجرا، ممکن است یک لیست کاری زودتر از زمان تخمین‌زده‌شده، تمام شود و منبع یا منابعی برای مدتی غیرفعال باشند. به عبارت دیگر از توان حداکثری منابع استفاده نمی‌شود.

Byung-Hyun Ha و همکاران [۱۷] با تخمین بار کاری منابع بر اساس مدل شبکه صف و ارائه الگوریتم تعادل بار کاری جدید

مستقل $(inA_{t'}^r)$ و مجموعه فعالیت‌های غیرمستقل $(deA_{t'}^r)$ به دست بیاید، سپس زمان اجرای وابسته و مستقل آن قابل محاسبه است. در رابطه‌های (۴) و (۵) روش محاسبه آن‌ها آمده است.

$$deA_{t'}^r = \left\{ a \mid a \in A_{t'}^r, \exists t, r \in U, \exists b \in A_{t'}^r \right. \\ \left. (a, b) \in A_{t'}^r \phi A_{t'}^r \right\} \quad (4)$$

$$inA_{t'}^r = A_{t'}^r - deA_{t'}^r \quad (5)$$

برای تخمین زمان مستقل یک وظیفه غیرمستقل t' کافی است در رابطه (۲) به جای عبارت $a \in EventLog$ از عبارت $a \in inA_{t'}^r$ استفاده شود. در نتیجه تخمین زمان مستقل یک وظیفه غیرمستقل t' از رابطه (۶) حاصل می‌شود.

$$\mu^r(t') = \frac{\sum_{a \in AC^{t', r}} (a.Complete - a.Start)}{|AC^{t', r}|} \quad (6)$$

$$AC^{t', r} = \{ a \mid a \in inA_{t'}^r, a.Task = t, a.resourceId = r \}$$

برای یک وظیفه غیرمستقل (وابسته) t' می‌توان «زمان اجرای وابسته» تعریف کرد و برای تخمین آن لازم است توابع T_+ و T_- برای دو فعالیت a و b تعریف شود.

$$T_+(a, b) = (a.Complete - a.Start) + (b.Complete - b.Start) \quad (7)$$

$$T_-(a, b) = \min(a.Complete, b.Complete) - \max(a.Start, b.Start) \quad (8)$$

$$T_U(a, b) = T_+(a, b) - T_-(a, b) \quad (9)$$

$$\delta^r(t', t) = \frac{\sum_{\substack{(a, b) \in A_{t'}^r \phi A_{t'}^r \\ a.resourceId = b.sourceId = r}} (T_U(a, b))}{\text{Number of element in } \sum} \quad (10)$$

در رابطه (۱۰) تابع $\delta^r(t', t)$ تخمین زمان اجرای وظیفه وابسته t' همزمان با وظیفه t است، برای محاسبه $\delta^r(t', t)$ ، میانگین زمان اجراهای همزمان جفت فعالیت‌های $\langle a, b \rangle$ متناظر با $\langle t', t \rangle$ محاسبه شده است. برای محاسبه زمان اجرای جفت فعالیت‌های $\langle a, b \rangle$ ابتدا زمان مجموع آن‌ها با تابع $T_+(a, b)$ محاسبه می‌شود، سپس بخشی از دو فعالیت که به صورت همزمان در حال اجرا بودند $(T_-(a, b))$ از آن کسر می‌شود تا مقدار اجرای همزمان دو فعالیت در رابطه (۹) محاسبه شود. در رابطه (۱۰) میانگین مقادیر $T_U(a, b)$ برای تمام جفت فعالیت‌های همزمان که توسط منبع r انجام شده است، محاسبه می‌گردد. مقدار $\delta^r(t', t)$ به عنوان تخمین زمان وابسته وظیفه‌های t' و t که توسط منبع r انجام شده است، در نظر گرفته می‌شود.

۳-۳- ایده اصلی

وقتی وظیفه وابسته t' به طور همزمان با وظیفه t توسط منبع r انجام می‌شود، اگر مقدار $\delta^r(t', t)$ کوچک‌تر از مقدار $\mu^r(t) + \mu^r(t')$ باشد آنگاه بهتر است منبع r وظیفه t' را همزمان با وظیفه t انجام دهد و منبع r مدت $\mu^r(t) + \mu^r(t') - \delta^r(t', t)$ در زمان انجام وظایف t و t' صرفه‌جویی کرده است. از طرف دیگر اگر $\delta^r(t', t)$ بزرگ‌تر از مقدار

الگوریتم‌های جدول ۱، ۱۰ مرتبه در شبیه‌ساز «نما» ارزیابی می‌شوند. در هر مرتبه ۲۰۰ درخواست با نرخ‌های ورود متفاوت (به ازای هر نرخ ورود ۴ بار) وارد فرآیندهای تعریف‌شده می‌شوند. در بخش‌های ۴-۱ الی ۴-۳ سه آزمایش روی سه فرآیند متفاوت با پایگاه‌داده‌های متفاوت، گزارش شده است. در آزمایش اول هفت الگوریتم مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و در آزمایش دوم و سوم، سه الگوریتم برتر از آزمایش اول مورد ارزیابی مجدد قرار می‌گیرند.

جدول ۱: الگوریتم‌های مقایسه‌شده

توضیحات	پایگاه‌داده	الگوریتم تخصیص		
		تکمیلی	اصلی	
تخصیص تصادفی وظایف به منبع	BPI Challenge 2012 [27]	×	Random	آزمایش اول (فرآیند مالی)
تخصیص ترتیبی وظایف به منبع		×	Ordered	
تخصیص بر اساس شبکه صف با هدف تعادل بار کاری [۱۷]		×	WB_FIFO	
تخصیص با یادگیری تقویتی بر پایه ارتباط اجتماعی منابع [۲۷]		×	QSR ^{۲۰}	
تخصیص تصادفی پویا با هدف تعادل بار کاری [۳۶]		×	DSWB	
تخصیص بر اساس شبکه صف و روش تکمیلی تعادل مجدد در زمان اجرا [۱۷]		DR	WB_FIFO	
تخصیص بر اساس شبکه صف با روش تکمیلی پیشنهادشده	داده‌های شبیه‌سازی [۱۷]	CPDT	WB_FIFO	آزمایش دوم (فرآیند تعیین اعتبار)
تخصیص تصادفی پویا با هدف تعادل بار کاری [۳۶]		×	DSWB	
تخصیص بر اساس شبکه صف با روش تکمیلی تعادل مجدد در زمان اجرا [۱۷]		DR	WB_FIFO	
تخصیص بر اساس شبکه صف با روش تکمیلی پیشنهادشده	داده‌های شبیه‌سازی [۳۶]	CPDT	WB_FIFO	آزمایش سوم (فرآیند تولید)
تخصیص تصادفی پویا با هدف تعادل بار کاری [۳۶]		×	DSWB	
تخصیص بر اساس شبکه صف با روش تکمیلی تعادل مجدد در زمان اجرا [۱۷]		DR	WB_FIFO	

۴-۱- آزمایش اول: فرآیند مالی

در این آزمایش از فرآیند واقعی «مالی» شکل ۳ استفاده کرده‌ایم. این فرآیند شامل پایگاه‌داده BPI Challenge 2012 است. این پایگاه‌داده

(متعادل‌سازی مجدد در زمان اجرا) توانستند چرخه زمانی درخواست‌ها را به میزان قابل‌توجهی کاهش دهند. در تحقیق حاضر، هدف مشابهی دنبال می‌شود و اثر نامطلوب (دو دلیل ذکرشده) ایجاد تعادل بار کاری با تخصیص همزمان وظایف وابسته جبران می‌شود و چرخه زمانی درخواست‌ها کاهش می‌یابد.

در این تحقیق، الگوریتم ارائه‌شده Byung-Hyun Ha و همکاران [۱۷] توسعه داده می‌شود. به‌طوری که جابجایی هوشمندانه‌ای از وظایف بین لیست‌های کاری منابع بعد از تخصیص اولیه آن‌ها انجام می‌شود که علاوه بر ایجاد تعادل در بار کاری با تخصیص همزمان وظایف وابسته، باعث کاهش چرخه زمانی می‌گردد. الگوریتم ارائه‌شده شامل مراحل ذیل است:

۱. انتخاب تصادفی یک منبع غیرفعال $r \in R$ از مجموعه منابع تعریف‌شده در فرآیند.
۲. محاسبه مجموعه T_r به‌عنوان وظایفی که منبع انتخاب‌شده مجاز به انجام آن‌ها است. $(T_r = \{t | \langle t, r \rangle \in U\})$
۳. اگر حداقل دو فعالیت متناظر با دو وظیفه وابسته t, t' در مجموعه T_r وجود داشته باشد آنگاه دو فعالیت وابسته در صورتی که $DF_r(t', t) / 5$ بیش‌تر باشد، انتخاب می‌شوند و رفتن به مرحله ۵.
۴. انتخاب یک فعالیت متناظر با یک وظیفه دلخواه t از مجموعه T_r
۵. قرار دادن فعالیت‌های انتخاب‌شده در لیست کاری منبع r
۶. رفتن به مرحله ۱ در صورتی که حداقل یک منبع غیرفعال وجود داشته باشد.

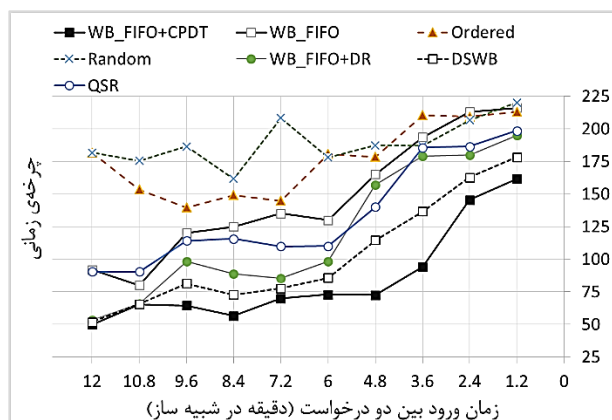
الگوریتم ارائه‌شده مشابه الگوریتمی است که Byung-Hyun Ha و همکاران [۱۷] ارائه دادند با این تفاوت که مرحله ۳ به آن اضافه شده است. در این مرحله، الگوریتم سعی می‌کند یک جفت فعالیت را انتخاب کند به‌طوری که اجرای همزمان آن‌ها توسط منبع r باعث می‌شود زمان اجرای هر دو فعالیت کم‌تر شود و در مجموع باعث کاهش چرخه زمانی می‌گردد.

نکته: از آنجایی که الگوریتم ارائه‌شده یک روش تکمیلی بعد از تخصیص اولیه وظایف به منابع است، امکان ترکیب آن با هر روش دیگری (در مرحله اولیه وظایف را به منابع تخصیص می‌دهد) وجود دارد. در بخش ۴، روش پیشنهادی به‌صورت الگوریتم تکمیلی با عنوان مختصر CPDT استفاده خواهد شد.

۴-۲- آزمایش‌ها و نتایج

در این بخش برای ارزیابی روش پیشنهادی سه آزمایش متفاوت روی سه فرآیند «مالی»، «تعیین اعتبار» و «تولید» انجام می‌شود و نتایج به‌صورت جداگانه گزارش خواهد شد. جدول ۱ فهرست الگوریتم‌هایی را نشان می‌دهد که قرار است در این آزمایش‌ها مورد مقایسه قرار بگیرند. کلیه آزمایش‌های گزارش‌شده در این تحقیق به‌کمک شبیه‌ساز «نما» انجام شده است. این شبیه‌ساز بخشی از یک BPMS با عنوان «نما» است که در آزمایشگاه داده‌کاوی دانشکده کامپیوتر و فن‌آوری اطلاعات دانشگاه صنعتی شاهرود طراحی شده است. در هر آزمایش، هر یک از

در این تحقیق، فعالیت‌هایی که به‌صورت همزمان به‌وسیله هر یک از منابع در پایگاه‌داده BPI Challenge 2012 انجام شده بودند، مورد بررسی قرار گرفت. ۴۸۲۳ جفت فعالیت (۱۵/۴ درصد) از مجموع ۶۲۵۶۱ فعالیت به‌صورت همزمان توسط یک منبع یکسان انجام شده بودند. از این تعداد فعالیت همزمان، ۱۰/۴ درصد از کل فعالیت‌ها به‌صورت میانگین، دارای فاصله وابستگی ۰/۶۲۲ بودند و ۵/۱ درصد از کل فعالیت‌ها به‌صورت میانگین، دارای فاصله وابستگی ۰/۴۷۱ بودند.

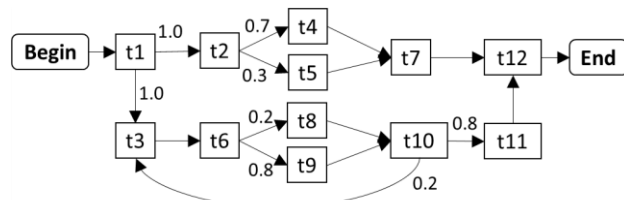


شکل ۴: نتایج آزمایش اول روی فرآیند واقعی موسسه مالی هلند

در این آزمایش الگوریتم‌های Ordered، Random، WB_FIFO، [۱۷] WB_FIFO+DR، [۲۷] QSR، [۲۶] DSWB و الگوریتم پیشنهادی WB_FIFO+CPDT مورد مقایسه قرار گرفتند. همان‌طور که در شکل ۴ مشخص است انتخاب فعالیت‌های وابسته باعث شد روش پیشنهادی WB_FIFO+CPDT نتایج بهتری را نسبت به سایر الگوریتم‌ها به‌خصوص در شرایط بار سنگین (مقادیر کمتر زمان ورود بین دو درخواست) داشته باشد. در این مقایسه، بعد از الگوریتم پیشنهادی به ترتیب الگوریتم‌های DSWB و WB_FIFO+DR نتایج بهتری داشتند.

۴-۲- آزمایش دوم: فرآیند تعیین اعتبار

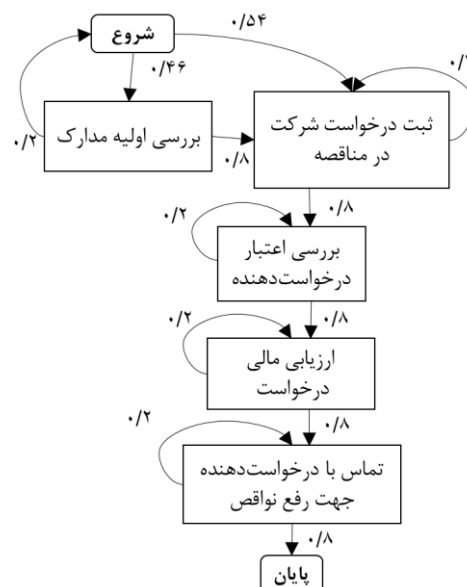
از آنجایی که الگوریتم ارائه‌شده در تحقیق حاضر، روش پیشنهادی تحقیق Byung-Hyun Ha و همکاران [۱۷] را توسعه می‌دهد، لذا در آزمایش دوم، الگوریتم ارائه‌شده روی فرآیند معرفی‌شده توسط Byung-Hyun Ha و همکاران [۱۷] مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و روش پیشنهادی WB_FIFO+CPDT با روش‌های WB_FIFO+DR [۱۷] و DSWB [۳۶] که در آزمایش اول نتایج خوبی داشتند، مجدداً مقایسه می‌شود.



شکل ۵: فرآیند تعیین اعتبار [۱۷]

شکل ۵ فرآیند «تعیین اعتبار» [۱۷] را نشان می‌دهد که شامل ۱۲ وظیفه و ۵ منبع است. این فرآیند به‌عنوان معیار ارزیابی روش

توسط یک موسسه مالی در کشور هلند ایجاد شده است که شامل ۵ وظیفه، ۵۵ منبع و ۶۰۷۸ درخواست است که در مجموع شامل ۲۶۲۲۰ رویداد ذخیره شده است.



شکل ۳: فرآیند موسسه مالی هلند [۲۷]

جدول ۲ مقادیر فاصله وابستگی برای یکی از منابع (منبع با شناسه ۱۱۱۲۱) در پایگاه‌داده BPI Challenge 2012 را نشان می‌دهد. در این جدول برخی از وظایف در پایگاه‌داده به‌صورت همزمان توسط منبع ۱۱۱۲۱ انجام نشده‌اند لذا فاصله وابستگی برای آن‌ها قابل محاسبه نیست و با علامت × مشخص شده است. در مواردی که وظایف توسط منبع مربوطه به‌صورت همزمان انجام شده باشد و مقادیر بزرگ‌تر از ۰/۵ باشد، به این معنی است که اجرای همزمان آن‌ها زمان کم‌تری را نسبت به اجرای جداگانه آن‌ها خواهد داشت لذا در تخصیص وظایف به‌صورت همزمان به منبع ۱۱۱۲۱، مقادیر جدول ۲ نقش تعیین‌کننده‌ای را ایفا می‌کنند.

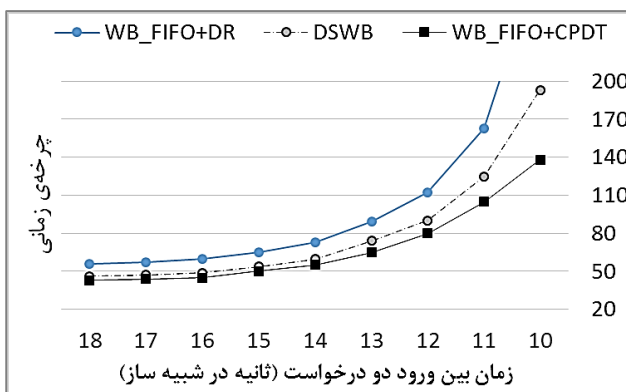
جدول ۲: مقادیر فاصله وابستگی محاسبه‌شده برای منبع با شناسه

۱۱۱۲۱ در پایگاه‌داده BPI Challenge 2012

$DF_r(t', t)$	فرایند تعیین اعتبار	ارزیابی مالی اعتبار	بررسی اعتبار درخواست‌دهنده	ثبت درخواست شرکت در مناقصه	بررسی اولیه مدارک
۰/۷۹۶	×	×	۰/۴۱۶	۰/۷۰۲	۰/۳۵۵
×	×	×	۰/۶۴۷	×	۰/۷۰۲
۰/۶۹۶	×	×	۰/۱۹۳	۰/۶۴۷	۰/۴۱۶
×	×	×	×	×	×
۰/۶۰۲	×	×	۰/۶۹۶	×	۰/۷۹۶

مانند آزمایش اول انتخاب جفت فعالیت‌های وابسته و اجرای همزمان آن‌ها باعث شد چرخه زمانی نسبت به الگوریتم‌های WB_FIFO+DR و DSWD کمتر شود. در مقادیر کم‌تر زمان بین دو ورود، طول صف لیست کاری منابع بیش‌تر می‌شود، در نتیجه احتمال انتخاب جفت فعالیت‌های وابسته افزایش می‌یابد و باعث کاهش بیش‌تر چرخه زمانی می‌گردد.

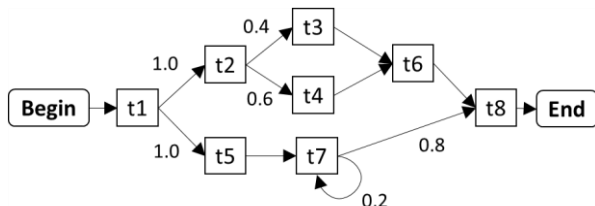
نتیجه آزمایش دوم کمی با نتایج آزمایش اول نسبت به تغییرات زمان بین دو ورود متفاوت است، این تفاوت در روند افزایش منظم چرخه زمانی نسبت به کاهش زمان بین دو ورود است. افزایش چرخه زمانی در شکل ۴ نسبت به شکل ۶ الگوی نامنظم‌تری دارد. دلیل آن به ساختار فرآیند «مالی» در آزمایش اول برمی‌گردد که دارای حلقه‌های بیش‌تری نسبت به فرآیند «تعیین اعتبار» است.



شکل ۶: نتایج آزمایش دوم روی فرآیند تعیین اعتبار

۳-۴- آزمایش سوم: فرآیند تولید

در این آزمایش از فرآیند «تولید» شکل ۷ جهت ارزیابی روش پیشنهادی استفاده می‌شود. این فرآیند شامل ۸ وظیفه و ۴ منبع است و توسط Xie و همکاران [۳۶] جهت ارزیابی الگوریتم DSWB استفاده شده است. داده‌های مورد استفاده در این آزمایش همان داده‌های Xie و همکاران است که بخشی از این داده‌ها در جدول‌های ۵ و ۶ آمده است.



شکل ۷: فرآیند تولید [۳۶]

جدول ۵: میانگین زمان سرویس‌دهی هر منبع مسئول برای هر وظیفه

مشخص در فرآیند تولید [۱۷]

$\mu^r(t)$	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8
r1	۱۴		۸			۱۰	۱۲	
r2				۱۲	۸		۴	۲
r3	۸	۶	۵		۱۲		۸	۴
r4	۸	۱۴		۶		۱۸		۳

WB_FIFO+DR توسط Byung-Hyun Ha و همکاران [۱۷] استفاده شده است. آن‌ها برای ارزیابی روش خود (WB_FIFO+DR) از داده‌های شبیه‌سازی استفاده کرده‌اند. در جدول‌های ۳ و ۴ بخشی از این داده‌های شبیه‌سازی آمده است. در جدول ۳ میانگین زمان اجرای هر وظیفه توسط منابع مسئول آمده است و جدول ۴ احتمال تخصیص وظیفه به منابع جهت ایجاد تعادل بار کاری با نرخ ورود $\rho = 1/12$ را نشان می‌دهد، این مقادیر بر اساس روابط موجود در شبکه صف با هدف ایجاد تعادل بار کاری محاسبه شده است [۱۷].

جدول ۳: میانگین زمان سرویس‌دهی هر منبع مسئول برای هر وظیفه

مشخص در فرآیند تعیین اعتبار [۱۷]

$\mu^r(t)$	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12
r1	۷				۵	۸		۲	۴	۵		۶
r2	۶	۳	۵	۲			۸	۱				۳
r3		۲	۷	۲			۸	۱				۲
r4			۶	۲		۶	۷	۱		۳	۲	
r5			۷	۳	۵		۸	۱	۲		۲	۸

جدول ۴: احتمال تخصیص وظیفه به منابع برای ایجاد تعادل بار کاری

با نرخ ورود $1/12$ در فرآیند تعیین اعتبار [۱۷]

	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12
r1	۰/۲۸				۰/۱۰		۰	۰	۰			۰
r2	۰/۲۲	۰	۰/۱۰	۰			۰	۰				۰
r3		۰	۰/۱۱	۰		۰/۹۵	۰					۰
r4			۰	۰	۰/۱۰	۰	۰		۰			۰
r5			۰	۰	۰	۰/۲۵	۰	۰				۰

در این آزمایش از داده‌های شبیه‌سازی Byung-Hyun Ha و همکاران [۱۷] استفاده می‌شود ولی متأسفانه محاسبه مقادیر تخمین زمان وابسته وظایف برای منابع، روی داده‌های معرفی‌شده توسط Byung-Hyun Ha و همکاران وجود نداشت لذا مقادیر تخمین زمان وابسته وظایف، مانند پایگاه داده BPI Challenge 2012 فرض می‌شود. همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، در BPI Challenge 2012، ۱۵/۴ درصد از فعالیت‌ها به‌صورت همزمان انجام شده‌اند. ۱۰/۳ درصد از کل فعالیت‌ها، دارای فاصله وابستگی ۰/۶۲۲ بودند و ۵/۱ درصد از کل فعالیت‌ها، دارای فاصله وابستگی ۰/۴۷۱ بودند بنابراین در این آزمایش، مقادیر فاصله وابستگی به‌صورت تصادفی با توزیعی که در رابطه (۱۲) آمده است، فرض می‌شود.

$$DF_r(t, t') = \begin{cases} \times & 84.6\% \\ 0.471 & 5.1\% \\ 0.622 & 10.3\% \end{cases}, \forall r \in R, \forall t, t' \in T \quad (12)$$

شکل ۶ نتایج مقایسه روش پیشنهادی WB_FIFO+CPDT را با روش‌های WB_FIFO+DR و DSWB نشان می‌دهد. در این آزمایش

۵- نتیجه‌گیری

ایجاد تعادل بار کاری و کاهش چرخه زمانی درخواست‌ها در فرآیند کسب‌وکار دو هدف اصلی این تحقیق بودند. بررسی و تحلیل آماری پایگاه داده واقعی BPI Challenge 2012 نشان داد، نوعی وابستگی در اجرای همزمان فعالیت‌ها وجود دارد که باعث می‌شود اجرای همزمان آن‌ها زمان کمتری نسبت به اجرای جداگانه آن‌ها داشته باشد. در ارائه روش پیشنهادی، از وابستگی موجود بین وظایف که به صورت مستتر در سابقه رویدادها وجود داشت، استفاده گردید. روش پیشنهادی در تخصیص وظایف به منابع، از این وابستگی استفاده می‌کند و علاوه بر ایجاد تعادل در بار کاری منابع، چرخه زمانی درخواست‌ها را کاهش می‌دهد. جهت ارزیابی روش پیشنهادی، سه آزمایش روی فرآیندهای متفاوت انجام شد و روش پیشنهادی با الگوریتم‌های موجود [۱۷، ۳۶] مقایسه گردید و کاهش ۱۶/۶ درصدی در چرخه زمانی درخواست‌ها دیده شد.

روش پیشنهادی در این تحقیق دارای مزیت‌های قابل توجهی است. اولاً، اثر نامطلوبی در تعادل بار کاری منابع ایجاد نمی‌کند. ثانیاً، پایداری بیش‌تری نسبت به افزایش نرخ ورود مشتریان دارد، زیرا با افزایش نرخ ورود احتمال اجرای همزمان وظایف وابسته افزایش می‌یابد و چرخه زمانی درخواست‌ها کاهش بیش‌تری خواهد داشت. در پایان، مهم‌ترین مزیتی که می‌توان به آن اشاره کرد، این است که روش پیشنهادی در این تحقیق، یک روش تکمیلی است که بعد از تخصیص اولیه وظایف، جهت ایجاد تعادل مجدد بار کاری از اجرای همزمان وظایف وابسته بهره می‌برد و به سادگی می‌توان آن را به عنوان یک الگوریتم تکمیلی با سایر الگوریتم‌ها تخصیص وظیفه، ترکیب کرد.

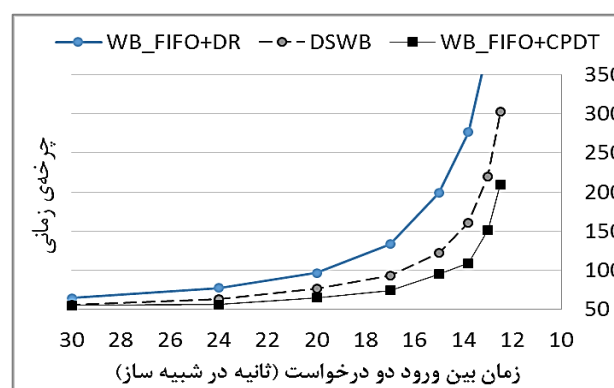
مراجع

- [1] M. Hammer, *The agenda: What every business must do to dominate the decade*, Crown Pub, 2003.
- [2] M. Hammer and J. Champy, *Reengineering the Corporation: Manifesto for Business Revolution*, A, Zondervan, 2009.
- [3] H. Smith and P. Fingar, *Business process management: the third wave*, Meghan-Kiffer Press Tampa, 2003.
- [4] W. M. Van Der Aalst, A. H. Ter Hofstede and M. Weske, "Business process management: A survey," International conference on business process management, Springer Berlin Heidelberg, pp. 1-12, 2003.
- [5] J. Xu, C. Liu and X. Zhao. "Resource allocation vs. business process improvement: How they impact on each other," International Conference on Business Process Management, Springer Berlin Heidelberg, pp. 228-243, 2008.
- [6] Z. Huang, X. Lu and H. Duan, "A task operation model for resource allocation optimization in business process management," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans, vol. 42, no. 5, pp. 1256-1270, 2012.
- [7] Z. Huang, W. M. van der Aalst, X. Lu and H. Duan, "Reinforcement learning based resource allocation in business process management," Data & Knowledge Engineering, vol. 70, no. 1, pp. 127-145, 2011.

جدول ۶: احتمال تخصیص وظیفه به منابع برای ایجاد تعادل بار کاری با نرخ ورود ۱/۱۳ در فرآیند تولید [۱۷]

	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8
r1	۰		۰/۴۴۲			۱	۰	
r2				۰	۰/۶۱۷۷		۱	۰/۹۸۰۸
r3	۰	۱	۰/۵۵۸		۰/۳۸۲۳		۰	۰
r4	۱	۰		۱		۰		۰/۰۱۹۲

در این آزمایش مانند آزمایش دوم روش پیشنهادی با دو الگوریتم WB_FIFO+DR و DSWB مقایسه می‌شود و مقادیر فاصله وابستگی، مطابق با رابطه (۱۲) فرض می‌شود. شکل ۸ نتایج مقایسه روش پیشنهادی WB_FIFO+CPDT را با روش‌های WB_FIFO+DR و DSWB نشان می‌دهد. در این آزمایش مانند دو آزمایش قبل، انتخاب جفت فعالیت‌های وابسته و اجرای همزمان آن‌ها باعث شد میانگین چرخه زمانی نسبت به دو روش دیگر کم‌تر شود و مانند آزمایش‌های قبل، چرخه زمانی در الگوریتم پیشنهادی برای مقادیر کم‌تر زمان بین دو ورود، کاهش بیش‌تری داشت.



شکل ۸: نتایج آزمایش سوم روی فرآیند تولید

جهت محاسبه میزان کاهش چرخه زمانی الگوریتم پیشنهادی (WB_FIFO+CPDT) نسبت به چرخه زمانی دو الگوریتم WB_FIFO+DR و DSWB میانگین چرخه زمانی را برای همه نرخ‌های ورود محاسبه می‌کنیم و میزان کاهش چرخه زمانی الگوریتم پیشنهادی را نسبت به دو الگوریتم دیگر به دست می‌آوریم. در جدول ۷ میزان کاهش الگوریتم پیشنهادی برای سه آزمایش انجام شده گزارش شده است.

جدول ۷: میزان کاهش الگوریتم پیشنهادی

آزمایش	میانگین چرخه زمانی				میزان کاهش الگوریتم پیشنهادی نسبت به (درصد)
	الگوریتم پیشنهادی	WB_FIFO+DR	DSWB	WB_FIFO+DR	DSWB
اول	۸۵/۲۳	۱۲۰/۰۸	۱۰۲/۶۶	۲۹/۰	۱۶/۹
دوم	۶۰/۸۷	۸۴/۳۷	۶۸/۰۶	۲۷/۸	۱۰/۵
سوم	۸۲/۲۶	۱۲۹/۶۶	۱۰۶/۳۵	۳۶/۵	۲۲/۶
		میانگین		۳۱/۱	۱۶/۶

- [23] S. Rhee, H. Bae, D. Ahn and Y. Seo, "Efficient workflow management through the introduction of TOC concepts," Proceedings of the 8th annual international conference on industrial engineering theory, applications and practice, 2003.
- [24] M. Shen, G. H. Tzeng and D. R. Liu, "Multi-criteria task assignment in workflow management systems," System Sciences, Proceedings of the 36th Annual Hawaii International Conference on. IEEE, 2003.
- [25] S. Larbi and S. Mohamed, "Modeling the Scheduling Problem of Identical Parallel Machines with Load Balancing by Time Petri Nets," International Journal of Intelligent Systems and Applications, vol. 7, no. 1, pp. 42-48, 2014.
- [26] S. Pashazadeh, "Automatic analysis of copmputer game using colored petri net," Tabriz Journal of Electrical Engineering, vol. 46, no. 2, pp. 37-48, 2016.
- [27] X. Liu, J. Chen, Y. Ji and Y. Yu, "Q-learning Algorithm for Task Allocation Based on Social Relation," International Workshop on Process-Aware Systems. Springer Berlin Heidelberg, pp. 49-58, 2015.
- [28] A. Kumar, W. M. van der Aalst and E. M. Verbeek, "Dynamic work distribution in workflow management systems: How to balance quality and performance," Journal of Management Information Systems, vol. 18, no. 3, pp. 157-193, 2002.
- [29] Y. Narahari, N. Viswanadham and V. K. Kumar, "Lead time modeling and acceleration of product design and development," IEEE Transactions on robotics and automation, vol. 15, no. 5, pp. 882-896, 1999.
- [30] J. H. Son and M. H. Kim, "Improving the performance of time-constrained workflow processing," Journal of Systems and Software, vol. 58, no. 3, pp. 211-219, 2001.
- [31] D. H. Chang, J. H. Son and M. H. Kim, "Critical path identification in the context of a workflow," Information and software Technology, vol. 44, no. 7, pp. 405-417, 2002.
- [32] W. M. Van Der Aalst, K. M. Van Hee and H. A. Reijers, "Analysis of discrete-time stochastic petri nets," Statistica Neerlandica, vol. 54, no. 2, pp. 237-255, 2000.
- [33] K. van Hee and H. Reijers, "An analytical method for computing throughput times in stochastic workflow nets," Simulation in industry, vol. 10, no. 3, 1999.
- [34] L. Zerguini and K. M. van Hee, "A new reduction method for the analysis of large workflow models," Book chapter in *Promise*, Citeseer, pp. 188-201, 2002.
- [35] J. Eder, H. Pichler, W. Gruber and M. Ninaus, "Personal schedules for workflow systems," International Conference on Business Process Management, Springer Berlin Heidelberg, 2003.
- [36] Y. Xie, C. F. Chien and R. Z. Tang, "A dynamic task assignment approach based on individual worklists for minimizing the cycle time of business processes," Computers & Industrial Engineering, vol. 99, no. 1, pp. 401-414, 2015.
- [8] J. Wang and A. Kumar, "A framework for document-driven workflow systems," International Conference on Business Process Management, Springer Berlin Heidelberg, pp. 285-301, 2005.
- [9] D. E. Culler, J. P. Singh and A. Gupta, *Parallel computer architecture: a hardware/software approach*, Gulf Professional Publishing, 1999.
- [10] D. Grosu and A. T. Chronopoulos, "Algorithmic mechanism design for load balancing in distributed systems," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol. 34, no. 1, pp. 77-84, 2004.
- [11] E. Rahm, "Dynamic load balancing in parallel database systems," European Conference on Parallel Processing. Springer Berlin Heidelberg, 1996.
- [12] S. Moradi, A. Ghasemi and R. Lotfi, "A New Method to Design Safe Neural Microstimulators," Tabriz Journal of Electrical Engineering, vol. 45, no. 4, pp. 179-190, 2015.
- [13] L. j. Jin, F. Casati, M. Sayal and M. C. Shan, "Load balancing in distributed workflow management system," Proceedings of the 2001 ACM symposium on Applied computing. ACM, 2001.
- [14] W. Zhao, L. Yang, H. Liu and R. Wu, "The Optimization of Resource Allocation Based on Process Mining," Advanced Intelligent Computing Theories and Applications, Springer, pp. 341-353, 2015.
- [15] M. Zur Muehlen, "Organizational management in workflow applications—issues and perspectives," Information Technology and Management, vol. 5, no. 3-4, pp. 271-291, 2004.
- [16] B. H. Ha, J. Bae and S.-H. Kang, "Workload balancing on agents for business process efficiency based on stochastic model," International Conference on Business Process Management, Springer Berlin Heidelberg, pp. 195-210, 2004.
- [17] B. H. Ha, J. Bae, Y. T. Park and S.-H. Kang, "Development of process execution rules for workload balancing on agents," Data & Knowledge Engineering, vol. 56, no. 1, pp. 64-84, 2006.
- [18] A. S. Nisafani, A. Wibisono, S. Kim and H. Bae, "Bayesian Selection Rule for Human-Resource Selection in Business Process Management Systems," Journal of Society for e-Business Studies, vol. 17, no. 1, 2014.
- [19] A. Wibisono, A. S. Nisafani, H. Bae and Y. J. Park, "On-the-Fly Performance-Aware Human Resource Allocation in the Business Process Management Systems Environment Using Naïve Bayes," Asia-Pacific Conference on Business Process Management. Springer International Publishing, pp. 70-80, 2015.
- [20] E. G. Coffman and J. L. Bruno, *Computer and job-shop scheduling theory*, John Wiley & Sons, 1976.
- [21] K. R. Baker, *Introduction to sequencing and scheduling*, John Wiley & Sons, 1974.
- [22] M. Pinedo, *Scheduling: theory, algorithms and systems*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1995.

زیر نویس ها

⁷ Shortest Processing Time

⁸ Earliest Due Date

⁹ Minimum Slack Time

¹⁰ Bayesian Network

¹¹ Bayesian Selection Rule

¹² Naïve Bayes Model

¹³ Naïve Bayes Selection Rule

¹ Business process management system

² Workflow Management Systems

³ <http://data.4tu.nl/repository/uuid:3926db30-f712-4394-aebc-75976070e91f>

⁴ Concurrent Performing of Dependent Tasks

⁵ Job shop scheduling

⁶ First In First Out

¹⁴ Workflow management systems

¹⁵ Stochastic Workflow Net

¹⁶ Probabilistic Timed Graph

¹⁷ Dynamic Stochastic task allocation approach for Workload

Balancing

¹⁸ Work item

¹⁹ Dependency factor

²⁰ Q-learning for task allocation based on Social Relation