

ارائه روشی برای پشتیبانی از تطبیق پذیری در توسعه برنامه‌های کاربردی مبتنی بر سرویس

کاوان صدیقیانی^۱، دانشجوی دکتری؛ سعید شکراللهی^۲، استادیار؛ فریدون شمس^۳، دانشیار

۱- دانشکده علوم و مهندسی کامپیوتر- دانشگاه شهید بهشتی- تهران- ایران- k_sedighiani@sbu.ac.ir

۲- پژوهشکده فضای مجازی- دانشگاه شهید بهشتی- تهران- ایران- s_shokrollahi@sbu.ac.ir

۳- دانشکده علوم و مهندسی کامپیوتر- دانشگاه شهید بهشتی- تهران- ایران- f_shams@sbu.ac.ir

چکیده: امروزه به دلیل پویایی محیط اجرای کاربردهای مبتنی بر سرویس، قابلیت تطبیق با تغییرات زمینه و محیط به یکی از مهم‌ترین خصوصیات کیفی این کاربردها تبدیل شده است. ایجاد قابلیت تطبیق پذیری در زمان اجرا به گونه‌ای که خصوصیات توسعه کاربردهای سرویس‌گرا را پشتیبانی کند و قابلیت اجرا و استقرار بر بستر یکپارچه‌سازی مبتنی بر سرویس را داشته باشد مسئله پیچیده‌ای است. در این مقاله، روشی برای پشتیبانی از تحقق نیازمندی‌های تطبیق پذیری در توسعه و تکامل کاربردهای سرویس‌گرا ارائه می‌گردد. برای رسیدن به این هدف، فرامدل توصیف فرآیندهای کسب‌وکار برای در نظر گرفتن دغدغه‌های پایش و تطبیق توسعه داده شده است. به علاوه، مجموعه‌ای از سازوکارها جهت تبدیل نیازمندی‌های تطبیق به نقاط واری و روندهای تطبیق به گونه‌ای که قابلیت اجرا بر روی گذرگاه سرویس سازمانی را داشته باشد ارائه شده است. روش ارائه شده بر اساس سناریوهای مختلف در یک نمونه موردی و بر اساس آزمون‌های کمی و کیفی مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج حاصل از این ارزیابی نشان می‌دهد که روش ارائه شده می‌تواند امکان توسعه رفتارهای تطبیق پذیر را به شکل مؤثر از منظر توسعه نرم‌افزار و تحقق نیازمندی‌های تطبیق پذیری فراهم آورد.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌های کاربردی مبتنی بر سرویس، تطبیق پذیری، خصوصیات کیفی فرآیند، راهبرد تطبیق، یکپارچه‌سازی.

A Method to Support Adaptability in Development of Service-based Applications

Kavan Sedighiani¹, PhD Candidate; Saeed Shokrollahi², Assistant professor; Fereidoon Shams², Associate professor

1- Department of Computer Engineering and Science, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, Email: sedighiani@parsimap.com

2- Cyberspace Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, Email: s_shokrollahi@sbu.ac.ir

3- Department of Computer Engineering and Science, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, Email: f_shams@sbu.ac.ir

Abstract: Nowadays, due to the dynamic environment of service-based applications, the ability to adapt to environmental and contextual changes has become a crucial quality of such applications. However, providing these applications with adaptability capability at runtime so as to supports service-oriented development characteristics and to be able to run on a service integration infrastructure is a complex and difficult task. This paper presents a method to support realizing adaptability requirements in the development and evolution of service-based applications. To this end, the business process meta-model has been extended to monitoring and adaptation concerns. In addition, a set of mechanisms to transform these requirements to monitoring checkpoints and adaptation actions are presented in such a way that they can be deployed on enterprise service bus. The proposed method is evaluated on the basis of the several scenarios in a case study based on quantitative and qualitative experiments. The results of the evaluation demonstrate that the proposed method can effectively provide the possibility of developing adaptive behaviors.

Keywords: adaptability, adaptation strategy, integration, process quality attributes, service-based applications.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۷/۰۲/۲۱

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۷/۰۹/۰۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱۲/۱۳

نام نویسنده مسئول: سعید شکراللهی

نشانی نویسنده مسئول: ایران - تهران - اوین - دانشگاه شهید بهشتی - پژوهشکده فضای مجازی.

۱- مقدمه

ساختار ادامه مطالب این مقاله به شکل زیر است. در بخش دوم کارهای مرتبط با حوزه پشتیبانی از تطبیق پذیری در توسعه کاربردهای سرویس‌گرا را مورد بررسی قرار می‌دهیم. در بخش سوم روشی برای پشتیبانی از تطبیق پذیری در توسعه برنامه‌های کاربردی مبتنی بر سرویس ارائه می‌کنیم. در بخش چهارم یک نمونه موردی معرفی کرده و نتایج ارزیابی‌های صورت گرفته بر اساس سناریوهای مختلف این نمونه موردی را ارائه می‌کنیم. در نهایت و در بخش پنجم، به نتیجه‌گیری کلی کار و ارائه پیشنهاد برای مطالعات آینده می‌پردازیم.

۲- کارهای مرتبط

رفتار تطبیق‌پذیر در سرویس‌ها رفتاری است که در آن برنامه کاربردی قادر به واکنش نسبت به تغییرات نیازمندی‌ها، تغییرات محیطی و تغییرات در سطح نیازمندی‌های کیفی خویش است و قادر است سطح کیفیت سرویس خود را علیرغم ظهور این تغییرات ناخواسته همچنان در سطح مطلوب حفظ کند یا ارتقا دهد [۷]. تطبیق‌پذیری در سرویس‌گرایی معمولاً با استفاده از مشاهده حوادث رخ داده در محیط، شناسایی نیازمندی‌های تطبیق‌پذیری، انتخاب راهبرد مناسب تطبیق، انتخاب سازوکار مناسب و نظارت بر انجام سازوکار انتخابی انجام می‌گردد [۸]. در برخی از روش‌ها سعی شده که نیازمندی تطبیق از خصوصیات پایه‌ای سرویس در امکان ترکیب و جایگزینی سرویس‌ها استفاده کند [۹، ۱۰]. راهبردهای مختلفی برای تطبیق یک کاربرد مبتنی بر سرویس ارائه شده است. از مهم‌ترین راهبردهای تطبیق می‌توان به راهبردهای جایگزینی سرویس، ترکیب مجدد، اجرای مجدد، مذاکره مجدد، جبران و شکست اشاره کرد [۱۱]. در یک برنامه کاربردی سرویس‌گرا، فرآیند تطبیق را می‌توان به‌عنوان فرآیند تغییر برنامه بر مبنای راهبردهای تطبیق و باهدف پاسخگویی به نیازمندی‌های جدید و مطابقت با وضعیت جدید القاء شده توسط محیط تعریف نمود [۱۱]. هنگامی که یک برنامه کاربردی در حال اجرا است تغییرات مختلفی می‌تواند موجب ناکارایی برنامه شود. جهت جلوگیری از کاهش میزان کارایی برنامه کاربردی نیاز است راهبرد تطبیق مناسب برای تعدیل رفتار برنامه در راستای الزامات سامانه و زمینه شناسایی و اعمال شود [۱۲]. فرآیند تطبیق معمولاً از طریق یک چرخه کنترلی که امکان پایش و تغییر را فراهم می‌کند حاصل می‌شود. چرخه تطبیق به‌وسیله رخدادهای پایش یا دیگر محرک‌های خارجی مانند تغییر در زمینه اجرایی راه‌اندازی می‌گردد و بر اساس راهبردهای تطبیق، تغییراتی را بر روی برنامه‌های کاربردی اعمال می‌کند [۱۱].

مدل‌های مختلفی برای پشتیبانی از توسعه کاربردهای سرویس‌گرا ارائه شده است. در این میان چرخه حیات S-Cube به‌طور خاص ویژگی‌های تطبیق‌پذیری در سامانه‌های سرویس‌گرا را هدف قرار داده است. این چرخه حیات نه تنها به چرخه تکرار مرسوم در زمان طراحی می‌پردازد بلکه به معرفی یک چرخه تکرار جدید در زمان اجرا برای

امروزه به دلیل پویایی محیط کسب‌وکار سازمان‌ها، حفظ تعاملات مؤثر و ایجاد کارکردهای یکپارچه بین سامانه‌های اطلاعاتی به یک امر ضروری برای دستیابی به موفقیت تبدیل شده است. در این زمینه ایجاد برنامه‌های کاربردی مبتنی بر سرویس در یک فرآیند یکپارچه‌سازی به یکی از مهم‌ترین رویکردها در این حوزه تبدیل شده است، که در آن عملکردهای انعطاف‌پذیر و پیچیده از طریق ترکیب انواع سرویس‌ها مهیا می‌شود [۱]. برنامه‌های کاربردی مبتنی بر سرویس معمولاً در محیط‌های پویا و متغیر اجرا می‌شوند و تکامل می‌یابند. محیط‌هایی که از مجموعه‌ای از سرویس‌ها، فناوری‌ها، پروتکل‌های ارتباطی، سکوها، سخت‌افزارها و نرم‌افزارهای گوناگون تشکیل شده است و وقوع رخدادهای پیش‌بینی‌نشده در آن امری معمول است. این رخدادهای می‌تواند اثرات نامطلوبی را در اجرای سامانه‌ها به‌همراه داشته باشد. در همین راستا مفهوم تطبیق‌پذیری باهدف بی‌نیاز کردن و یا به حداقل رساندن نیاز سامانه‌های نرم‌افزاری به دخالت نیروی انسانی در مواجهه با تغییرات به حوزه برنامه‌های کاربردی مبتنی بر سرویس وارد شده است [۲].

در یک برنامه کاربردی مبتنی بر سرویس تطبیق‌پذیر، سازوکارهایی جهت تقلیل اثرات جانبی تغییرات و رخدادهای محیطی فراهم می‌شود تا این سامانه‌ها بتوانند در محیط‌های پویا و پیچیده خصوصیات کیفی و عملکرد مناسب خود را حفظ نمایند. پژوهش‌های گوناگونی برای توسعه تطبیق‌پذیری در کاربردهای سرویس‌گرا صورت گرفته است. از تلاش‌های مطرح در این زمینه می‌توان به تغییر پیکربندی سرویس‌ها بر اساس سازوکارهای پایش و تطبیق، نظیر ره‌گیری و تغییر جدول مسیریابی پیام‌ها [۳]، به‌روز کردن جدول سرویس‌های فعال در زمان اجرا [۴] و ایجاد مدل تغییرپذیری فرآیند [۵] اشاره کرد. اما در این روش‌ها عموماً از تطبیق‌پذیری بر اساس یک چرخه استاندارد در فرآیند یکپارچه‌سازی سرویس‌ها پشتیبانی نمی‌شود. هم‌چنین امکان تعریف و به‌کارگیری راهبردهای تطبیق در فرآیند یکپارچه‌سازی در نظر گرفته نمی‌شود. به‌علاوه اکثر این روش‌ها امکان اجرا بر روی بسترهای یکپارچه‌سازی سرویس‌گرا نظیر گذرگاه سرویس سازمانی را فراهم نمی‌سازند [۶].

هدف این مقاله ارائه روشی برای پشتیبانی از تطبیق‌پذیری در فرآیند توسعه کاربردهای مبتنی بر سرویس است. در این روش سعی می‌شود تا بتوان با مبنا قرار دادن یک چرخه استاندارد و راهبردهای تطبیق‌پذیری، امکان پشتیبانی از تطبیق‌پذیری را در فرآیند یکپارچه‌سازی سرویس‌ها فراهم نمود. برای رسیدن به این هدف فرامدل فرآیندهای کسب‌وکار برای در نظر گرفتن دغدغه‌های پایش و تطبیق توسعه داده شده است. این فرامدل کاملاً سازگار با فرآیند توسعه کاربردهای سرویس‌گرا است و امکان تعریف دغدغه‌های تطبیق‌پذیری را در فرآیند یکپارچه‌سازی کاربردهای مبتنی بر سرویس بر مبنای یک چرخه استاندارد فراهم می‌نماید. علاوه بر این دغدغه‌های پایش و تطبیق تعریف‌شده بر اساس این فرامدل، امکان تحقق بر روی گذرگاه سرویس سازمانی را بر اساس سازوکارهای استاندارد دارد.

تطبیق پذیری بر اساس یک چرخه حیات استاندارد تطبیق پذیری تعریف نشده است و نمی‌توان دغدغه‌های تطبیق پذیری را به شکل سیستماتیک اعمال نمود. پشتیبانی از تطبیق پذیری بر اساس تغییر فرآیندهای حرفه از جمله مهم‌ترین پژوهش‌های صورت گرفته در حوزه پشتیبانی از تطبیق پذیری در توسعه کاربردهای سرویس‌گرا است. از جمله کارهای مطرح در این زمینه می‌توان به مدیریت پویای فرآیندهای حرفه بر اساس ارائه یک چرخه حیات اشاره کرد [۱۹].

در روشی دیگر به تطبیق پذیری جریان‌های کاری با استفاده از یک روش استدلال مبتنی بر مورد با تمرکز بر قابلیت استفاده مجدد موردها پرداخته شده است [۲۰]. در [۲۱] نیز سعی شده است بر اساس الگوهای خط تولید امکان پشتیبانی از تطبیق پذیری فراهم شود. توجه بر چرخه حیات مدیریت پویای فرآیندها که و بر به آن اشاره کرده و هم‌چنین به‌کارگیری سناریوهای تطبیق قابل استفاده مجدد در مطالعه مینور نوآوری‌های مهمی در جهت پشتیبانی از تطبیق پذیری هستند، اما این روش‌ها امکان به‌کارگیری راهبردهای مختلف تطبیق را در حوزه سرویس‌گرایی به شکل مناسب فراهم نمی‌نمایند و تنها از تطبیق پذیری بر اساس گزینه‌های از پیش تعریف شده فرآیندها پشتیبانی می‌کنند.

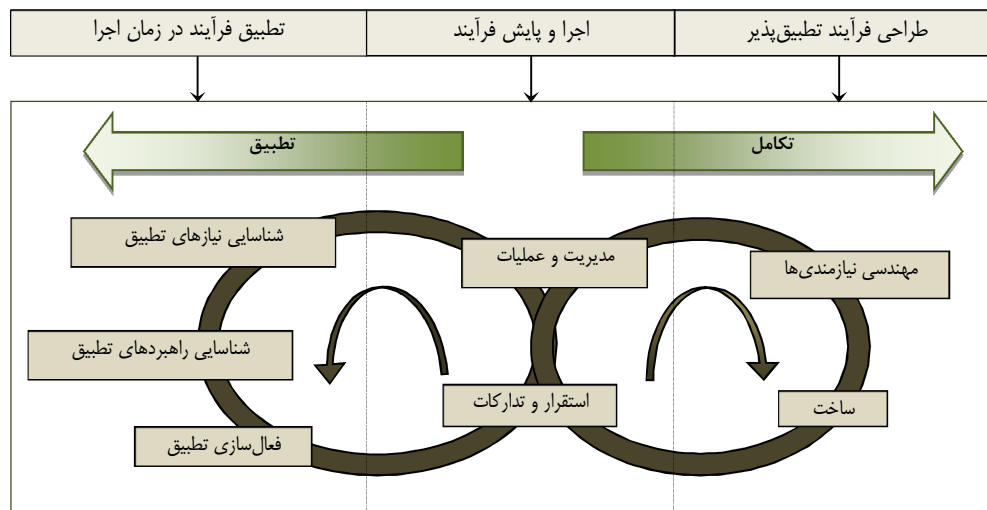
در برخی پژوهش‌های صورت گرفته به بررسی کاربرد مدل‌های زمان اجرا در ارائه راهکار تطبیق پذیری پرداخته شده است. از جمله این کارها می‌توان به مدیریت مدل‌های زمان اجرا و مهندسی نیازمندی‌های زمان اجرا برای اطمینان از صحت تغییرات ناشی از تطبیق پذیری [۲۲]، مدل تغییرپذیری معنایی زمان اجرا برای تطبیق پذیری در ترکیب سرویس‌ها [۵] و مدل‌سازی خصوصیات تغییرپذیری برای انتخاب سرویس‌های تراکنشی [۲۳] اشاره کرد. علاوه بر این در چارچوب MOSES به‌منظور انتخاب مناسب‌ترین فعالیت تطبیق پذیری از مدل رفتاری و برنامه‌ریزی خطی استفاده می‌کند و امکان تحقق نیازمندی‌های کیفیت سرویس در محیط‌های عملیاتی متغیر و رفع تناقض نیازمندی‌های کاربران را فراهم می‌سازد [۲۴]. به‌کارگیری مدل‌های زمان اجرا می‌تواند قابلیت‌های مناسبی را جهت پشتیبانی از تطبیق پذیری فراهم آورد [۲۵]. اما مسئله مهم در به‌کارگیری این روش در توسعه تطبیق پذیری در توسعه کاربردهای سرویس‌گرا نحوه به‌کارگیری این مدل‌ها جهت مدل‌سازی راهبردهای تطبیق و انعکاس خصوصیات کیفی سیستم، و به‌کارگیری آن‌ها در چرخه استاندارد توسعه است.

در این مقاله، با بازبینی کارهای مرتبط و با استفاده از روش فرا ترکیب منابع، نیازمندی‌های تطبیق پذیری در کاربردهای مبتنی بر سرویس و معیارهای ارزیابی آن استخراج شده است، که پایه‌ای را برای ایجاد مدل مفهومی اولیه توسعه تطبیق پذیری در کاربردهای مبتنی بر سرویس و مدل ارزیابی فراهم کرده است.

تطبیق نیز می‌پردازد. در واقع این چرخه حیات شامل سازوکارهایی برای فعال‌سازی تطبیق پذیری در هر دو فاز طراحی و اجرا بر اساس دو چرخه تکامل و تطبیق است. چرخه تکامل مربوط به فاز طراحی است و فعالیت‌های زمان طراحی جهت اعمال تغییرات مهم و دائمی را در برمی‌گیرد. چرخه تطبیق مربوط به فاز اجرا است و به فعالیت‌های زمان اجرا برای تطبیق سامانه با تغییرات پیش‌بینی نشده می‌پردازد. این فعالیت‌ها شامل شناسایی نیاز به تطبیق، شناسایی راهبردهای تطبیق و اجرای راهبردهای تطبیق است [۱۱]. در ادامه این بخش، رویکردهای مرتبط در زمینه پشتیبانی از تطبیق پذیری در فرآیند یکپارچه‌سازی کاربردهای سرویس‌گرا معرفی می‌شود. این رویکردها شامل رویکرد پایه تطبیق پذیری، رویکرد متمرکز بر حوزه‌های توسعه کاربردهای سرویس‌گرا، رویکرد متمرکز بر فرآیندهای حرفه و مدل‌های زمان اجرا است.

یکی از شاخص‌ترین و پرکاربردترین راهکارهای توسعه تطبیق پذیری به‌کارگیری راهبردها و تاکتیک‌های تطبیق پذیری است. در این ارتباط می‌توان به انتخاب بهترین راهبرد و بهترین فرم تطبیق پذیری در سناریوهای مختلف بر اساس درخت تصمیم اشاره کرد [۱۳]. در [۱۴] نیز روش مناسبی برای پشتیبانی از تطبیق پذیری بر اساس الگوهای تغییر ارائه شده است. در روشی دیگر امکان تطبیق پذیری پویا در سامانه‌های مبتنی بر مؤلفه بر اساس یک معماری دولایه و افزودن لایه تاکتیک‌های تطبیق پذیری فراهم شده است [۱۵]. هرچند این راهکارها امکان توسعه تطبیق پذیری را به شکل مناسب فراهم می‌سازند اما لازم است بر اساس دغدغه‌های سرویس‌گرایی تعمیم داده شوند. در برخی روش‌ها سعی شده است که امکان تطبیق پذیری برای موارد مشخص و معین ارائه شود. در دسته‌ای دیگر از مطالعات بر فضای ارائه راه‌حل تطبیق پذیری در معماری سرویس‌گرا و بستر یکپارچه‌سازی تمرکز شده است. ترکیب پویای سرویس‌ها در گذرگاه سرویس سازمانی از طریق به‌روزرسانی جدول مسیریابی در زمان اجرا از روش‌های مطرح در این زمینه است [۳].

در چند مطالعه مشابه نیز سعی شده است تا از رهگیری تمامی پیام‌ها در گذرگاه سرویس سازمانی و ایجاد یک جریان جدید تطبیق‌پذیر از فرآیندها استفاده شود [۱۶]. در [۱۷] سعی شده است امکان تطبیق پذیری در هم‌آرایی سرویس‌ها فراهم شود. در روشی دیگر نیز بر تعریف یک مدل آماری از سامانه سرویس‌گرا در بستر یکپارچه‌سازی و به‌روز کردن این مدل در زمان اجرا بر اساس سیاست‌های تطبیق تمرکز شده است [۱۸]. در تمام این رویکردها بر تطبیق پذیری بر بستر یکپارچه‌سازی و برنامه‌های کاربردی مبتنی بر سرویس توجه شده است، اما در اغلب آن‌ها فقط به‌طور محدود از راهبردهای تطبیق پذیری سرویس‌گرا استفاده شده است. هم‌چنین در هیچ‌کدام از آن‌ها



شکل ۱: ارتباط روش پیشنهادی و چرخه حیات S-Cube

۳- ارائه روشی برای پشتیبانی از تطبیق پذیری در توسعه برنامه‌های کاربردی مبتنی بر سرویس

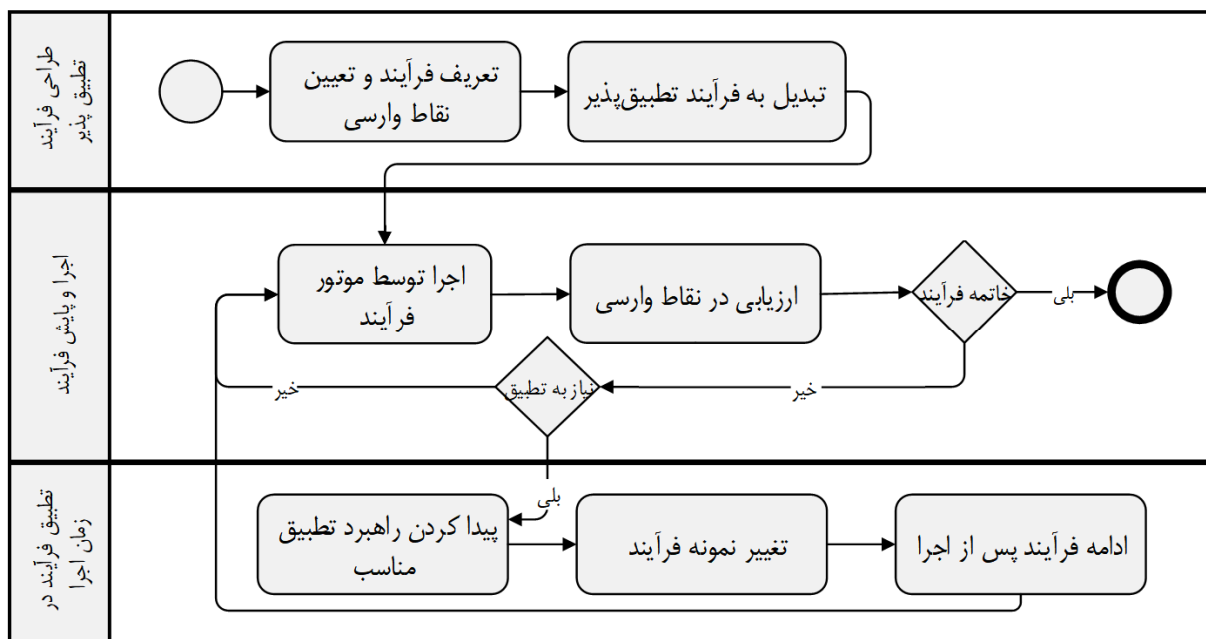
در این بخش به ارائه روشی برای توسعه رفتارهای تطبیق پذیر در چرخه حیات توسعه برنامه‌های کاربردی سرویس‌گرا می‌پردازیم. در این روش، چرخه حیات S-Cube [۱۱] به عنوان مدل مرجع توسعه کاربردهای سرویس‌گرا در نظر گرفته شده و بر اساس آن سازوکارهایی برای پشتیبانی از تطبیق پذیری ارائه شده است. در قسمت پایین شکل ۱ ساختار کلی چرخه S-Cube نمایش داده شده است. در این چرخه توسعه کاربردهای سرویس‌گرای تطبیق پذیر به صورت دو چرخه درهم تنیده تکامل و تطبیق تعریف می‌شود. در چرخه تکامل این مدل از طریق فازهای «مهندسی نیازمندی‌ها»، «ساخت» و «استقرار و تدارکات» سازوکارهای لازم جهت شناسایی نیاز تطبیق و امکان تطبیق در زمان اجرا فراهم می‌گردد. در چرخه تطبیق، سامانه بر اساس سازوکارهای تعبیه شده به شناسایی نیازمندی‌های تطبیق می‌پردازد. در صورت شناسایی نیازمندی تطبیق، راهبرد تطبیق مناسب فعال می‌شود و سامانه جهت بهبود خصوصیات کیفی تطبیق پیدا می‌کند. ترکیب این دو چرخه فرآیند استاندارد توسعه کاربردهای سرویس‌گرا را جهت در نظر گرفتن جنبه‌های تطبیق در زمان اجرا بسط می‌دهد. در ادامه، مراحل روش پیشنهادی و مدل ارائه شده برای فراهم آوردن امکان پشتیبانی از تطبیق پذیری را بر اساس این دو چرخه شرح می‌دهیم.

مدل ارائه شده برای پشتیبانی از تطبیق پذیری شامل سه فاز طراحی فرآیند تطبیق پذیر، اجرا و پایش فرآیند تطبیق پذیر و تطبیق فرآیند در زمان اجرا است. کلیات سه فاز معرفی شده و نحوه ارتباط آن با فازهای چرخه حیات S-Cube در شکل ۱ نشان داده شده است. در اولین فاز بر اساس یک مدل فرآیند توسعه یافته، طراحی فرآیند تطبیق پذیر صورت می‌گیرد، که در دو مرحله «مهندسی نیازمندی‌ها» و «ساخت» انجام می‌گیرد. در فاز دوم طی مراحل «استقرار و تدارکات» و «مدیریت و

عملیات» اجرای فرآیند و پایش زمان اجرا انجام می‌شود. فاز آخر به اجرای راهبردهای تطبیق در حین اجرای فرآیند تطبیق پذیر می‌پردازد، که بر اساس مراحل «شناسایی نیازهای تطبیق»، «شناسایی راهبردهای تطبیق» و «فعال‌سازی تطبیق» انجام می‌پذیرد.

هدف از مدل ارائه شده ایجاد یک سازوکار ساخت یافته جهت توسعه نیازمندی‌های تطبیق پذیری در فرآیند توسعه کاربردهای مبتنی بر سرویس است. در این مدل سعی شده است تا توالی تبدیل یک نیازمندی تطبیق در چرخه تولید به یک سازوکار تطبیق پذیری زمان اجرا به گونه‌ای مدل شود تا جداسازی دغدغه‌های زمان توسعه با دغدغه‌های زمان اجرا به شکل مناسبی صورت گیرد. همچنین در این روش با مبنا قرار دادن چرخه استاندارد S-Cube و راهبردهای تطبیق پذیری، امکان پشتیبانی از تطبیق پذیری در فرآیند یکپارچه‌سازی سرویس‌ها فراهم می‌گردد. همان‌طور که شرح داده شد این مدل بر اساس سه فاز «طراحی فرآیند تطبیق پذیر»، «اجرا و پایش فرآیند» و «تطبیق فرآیند در زمان اجرا» طراحی شده است. هدف از فاز اول ایجاد سازوکارهای لازم برای تعریف نیازمندی‌های تطبیق بر اساس تعریف نقاط واری و تبدیل آن به نقاط واری زمان اجرا است. هدف از فاز دوم فراهم‌سازی سازوکار لازم برای پایش فرآیند در زمان اجرا است تا بتوان نیاز به تطبیق را شناسایی کرد. هنگامی که یک نیاز به تطبیق شناسایی می‌شود در فاز سوم بر اساس راهبردهای تطبیق امکان تطبیق فرآیند در زمان اجرا فراهم می‌شود.

در شکل ۲ مراحل هر کدام از این فازها نشان داده شده است. در فاز طراحی فرآیند تطبیق پذیر، ابتدا مجموعه‌ای از نقاط واری مربوط به وظایف فرآیند و خصوصیات مرتبط با آن تعریف می‌گردد. سپس در مرحله تبدیل به فرآیند تطبیق پذیر، نقاط واری، تحت یک وظیفه جدید به فرآیند اولیه افزوده می‌شوند. در نقاط واری، سازوکارهای پایش و تطبیق مرتبط وظیفه تعبیه می‌شود. در فاز اجرا و پایش فرآیند تطبیق پذیر، اجرای فرآیند و ارزیابی در نقاط واری تعریف شده انجام می‌شود.



شکل ۲: مراحل روش پیشنهادی

وارسی و تعبیه سازوکارهای تطبیق را فراهم می‌سازند تا بتوان یک فرآیند تطبیق پذیر مبتنی بر سرویس را توصیف کرد.

شکل ۳ عناصر افزوده شده مدل توصیف فرآیند را که شامل دو دسته عناصر پایش و تطبیق هستند نمایش می‌دهد. عناصر پایش قابلیت پایش در نمونه‌های اجرایی را از طریق نقاط واریسی فراهم می‌کنند. در این ساختار هر فعالیت از تجمیع یک یا چند نقطه واریسی، شامل سه نوع نقطه واریسی قبل از شروع فعالیت، نقطه واریسی حین فعالیت و نقطه واریسی بعد از اجرای فعالیت تشکیل شده است. این نقاط امکان تحقق نیازمندی‌های پایش، برای ارزیابی جنبه‌های کیفی فرآیند را بر اساس خصوصیات تعریف شده فراهم می‌سازند. عناصر تطبیق با اجرای راهبردهای تطبیق، امکان تغییر در فرآیند را برای تحقق راهبردهای تطبیق فراهم می‌سازند. این عناصر، شامل سه عنصر رخداد پایش، قاعده تطبیق و راهبرد تطبیق هستند. عنصر رخداد پایش شامل گزارش اطلاعات رخداد پایش شناسایی شده در بخش پایش است. هر رخداد پایش به یک قاعده تطبیق مرتبط است. قاعده تطبیق به اجرای راهبرد تطبیق مناسب می‌پردازد. هر راهبرد تطبیق، از تجمیع تاکتیک‌های تطبیق پذیری تشکیل شده است. تاکتیک‌های تطبیق پذیری، دربرگیرنده دنباله‌ای از عملیات است که بر فرآیند در حال اجرا اعمال می‌شود. دنباله عملیات موجب تغییراتی در ترتیب اولیه ترکیب فعالیت‌ها می‌شود.

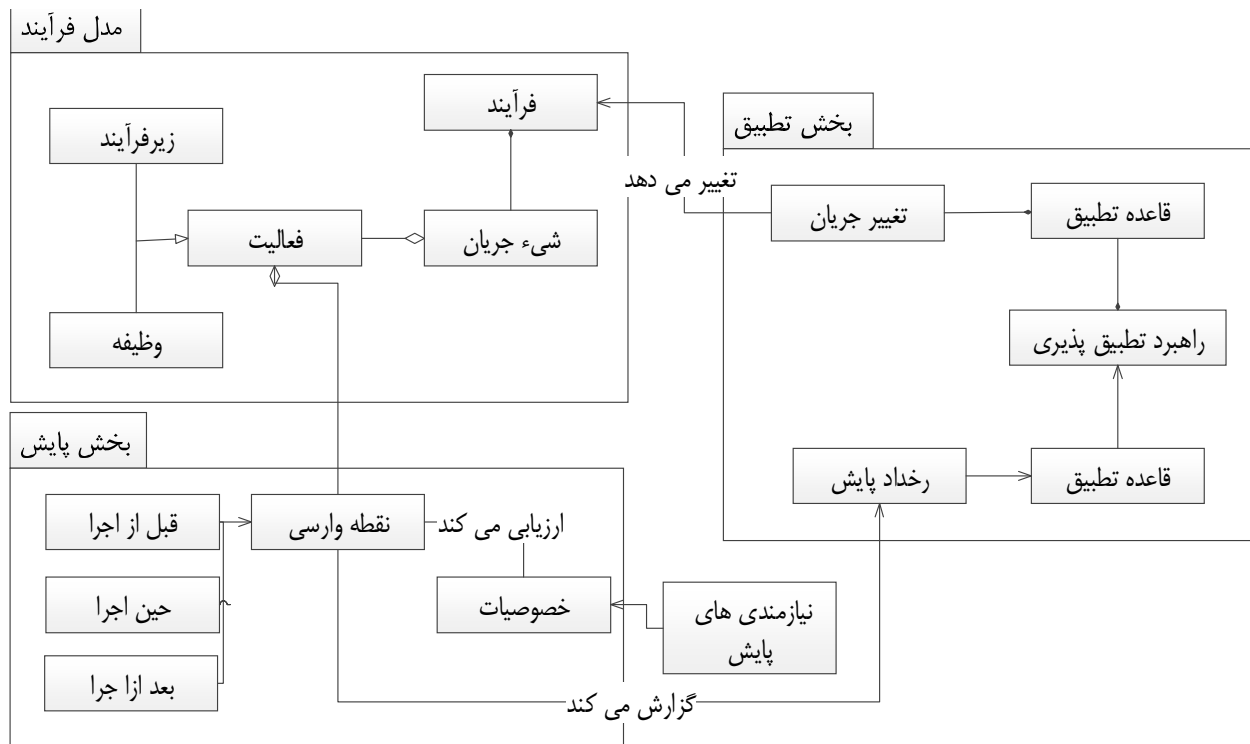
یک فرآیند تطبیق پذیر که با خصوصیات پایش و تطبیق غنی شده است در مرحله بعد وارد فاز اجرا می‌شود. در حین اجرای یک فرآیند تطبیق پذیر با رسیدن به نقاط واریسی، سازوکارهای پایش اجرا می‌شوند تا نیازمندی‌های تطبیق شناسایی شود. در این نقاط خصوصیات مرتبط با نیازمندی‌های پایش متناسب با نوع جریان ساختاری فرآیند اندازه‌گیری می‌شود.

به این ترتیب پس از شروع اجرای فرآیند تطبیق پذیر و رسیدن به این نقاط واریسی، نیازمندی‌های پایش هر وظیفه، اندازه‌گیری می‌شود و برای ورود به مرحله تطبیق تصمیم‌گیری می‌شود. در صورت شناسایی نیاز ورود به مرحله تطبیق، فاز تطبیق در زمان اجرا فعال می‌شود. در این فاز، ابتدا در مرحله پیدا کردن راهبرد تطبیق بر اساس قواعد تطبیق تعریف شده یک راهبرد تطبیق مناسب انتخاب می‌شود. سپس در مرحله تغییر نمونه فرآیند، راهبرد مناسب اجرا می‌شود و فرآیند در حال اجرا مجدداً پیکربندی می‌شود. در نهایت اجرای فرآیند با توجه به تغییرات انجام شده ادامه می‌یابد. در ادامه جزئیات هر کدام از این هفت مرحله را در چارچوب سه فاز تعریف شده به شکل دقیق‌تر معرفی می‌کنیم.

۳-۱- نحوه پشتیبانی از تطبیق پذیری در فرآیند توسعه

کاربردهای مبتنی بر سرویس

برای توسعه یک برنامه کاربردی مبتنی بر سرویس تطبیق پذیر لازم است که بتوان فرآیند و نیازمندی‌های تطبیق و پایش را در آن طراحی کرد. استاندارد BPMN یک روش مرسوم برای توصیف فرآیندها است، اما فراداده این استاندارد فاقد عناصر لازم برای پشتیبانی از تطبیق پذیری است [۲۶]. یکی از خصوصیات BPMN امکان توسعه پذیری این مدل است [۲۷]. این خصوصیت این امکان را فراهم می‌آورد تا بتوان آن را برای پشتیبانی از تطبیق پذیری در فرآیندها توسعه داد. بدین منظور در این پژوهش مدل فرآیند توصیف BPMN، با مجموعه‌ای از عناصر تکمیلی جهت پشتیبانی از تطبیق پذیری گسترش داده شده است. حاصل مدل گسترش یافته، یک مدل فرآیند غنی شده به خصوصیات تطبیق پذیری است که در این مقاله از آن تحت عنوان «مدل فرآیند تطبیق پذیر» نام می‌بریم. این عناصر امکان گسترش فرآیند توسط نقاط



شکل ۳: مدل فرآیند تطبیق پذیر

جدول ۱: محاسبه ویژگی‌های کیفی با توجه به جریان ساختاری فرآیند [۲۸]

شرطی	موازی	ترتیبی	ساختار خصوصیت
$T(A_{1n}) = \sum_{i=1}^n P_i * T(A_i)$	$T(A_{1n}) = \text{Max}\{T(A_{1n})\}$	$T(A_{ij}) = \sum_{i=1}^j T(A_i)$	زمان
$R(A_{1n}) = \sum_{i=1}^n P_i * R(A_i)$	$R(A_{1n}) = \sum_{i=1}^n P_i * R(A_i)$	$R(A_{ij}) = \prod_{i=1}^j R(A_i)$	قابلیت اطمینان
$C(A_{1n}) = \sum_{i=1}^n P_i * C(A_i)$	$C(A_{1n}) = \sum_{i=1}^n P_i * C(A_i)$	$C(A_{ij}) = \sum_{i=1}^j C(A_i)$	هزینه

معمولاً این خصوصیات کیفی بر اساس سه نوع جریان ساختاری متداول فرآیند شامل جریان‌های ترتیبی، موازی و شرطی محاسبه می‌شوند.

در جدول ۱ نحوه اندازه‌گیری هر کدام از نیازمندی‌ها با توجه به نوع جریان ساختار فرآیند مشخص شده است. در این جدول، متغیر T مربوط به خصوصیات پایش مربوط به زمان، متغیر R مربوط به خصوصیات پایش مربوط به قابلیت اطمینان و متغیر C مربوط به خصوصیات پایش مربوط به هزینه است. متغیر P به احتمال انتخاب شرط یا احتمال اجرای موازی اشاره دارد [۲۸]. پس از اندازه‌گیری خصوصیات پایش در نقاط واریسی، در صورتی که بین مقادیر اندازه‌گیری شده در حین اجرا و مقادیر مورد انتظار تناقض وجود داشته باشد یک رخداد پایش به وقوع می‌پیوندد. سپس متناسب با رخداد به وقوع پیوسته در مورد نیاز به تطبیق تصمیم‌گیری می‌شود.

۳-۲- نحوه محاسبه ویژگی‌های کیفی

هدف از اجرای راهبردهای تطبیق ایجاد یک مصالحه بین ویژگی‌های کیفی در اجرای فرآیند است. معمولاً اجرای راهبردهای تطبیق جهت بهبود خصوصیات کیفی همچون زمان اجرا یا قابلیت اطمینان است که خود باعث افزایش سربار سیستم می‌شود. در این تحقیق بر روی بهبود سه ویژگی کیفی زمان اجرا، قابلیت اطمینان و هزینه (سربار) تمرکز شده است. منظور از زمان اجرا، متوسط زمان اجرای فرآیند از ابتدا تا انتهای آن است. منظور از قابلیت اطمینان درصد اجراهای بدون شکست فرآیند است. هزینه به معنی میزان منابع مورد نیاز جهت اجرای فرآیند است، که در این محاسبات سربار به معنی میزان افزایش نیاز به منابع جهت اجرای فرآیند است. جهت ارزیابی اعمال سازوکارهای تطبیق لازم است که نحوه محاسبه این خصوصیات کیفی مشخص شود. در کاربردهای سرویس‌گرا

راهبرد، اتصالات ورودی و خروجی یک سرویس حذف شده و سرویس غیرفعال می‌شود. پس از آن اتصالات جدید به سرویس جدید برقرار و سرویس جایگزین فعال می‌شود.

۴- نمونه موردی

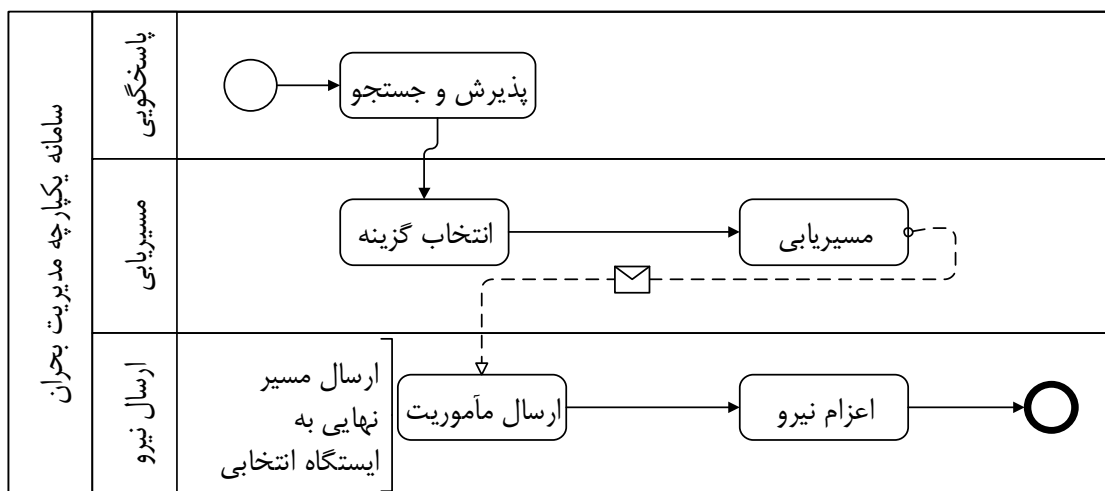
در این بخش به معرفی یک نمونه موردی از فرآیند یکپارچه‌سازی بین سرویس‌های سامانه اعزام نیرو در مرکز آتش‌نشانی می‌پردازیم. شکل ۵ فرآیند حاصل از یکپارچه‌سازی این سرویس‌ها را تحت استاندارد BPMN نشان می‌دهد. در این سامانه هنگام وقوع بحران، تماس تلفنی با سامانه پاسخگویی برقرار می‌شود. سپس موقعیت مکانی حادثه دیده با جستجو بر روی نقشه مشخص می‌شود. در ادامه نزدیک‌ترین گزینه ایستگاه آتش‌نشانی بدون ترافیک و آزاد به موقعیت شناسایی شده و موقعیت مکانی در اختیار سامانه مسیریابی قرار می‌گیرد. پس از آن، موقعیت مسیر شناسایی شده برای ارسال مأموریت در اختیار سامانه ارسال نیرو قرار گرفته و نیرو اعزام می‌شود.

در صورت تشخیص نیاز به تطبیق فرآیند وارد فاز تطبیق می‌شود. در این فاز متناسب با رخداد به وقوع پیوسته راهبردها و سازوکارهای لازم بر اساس مجموعه‌ای از قواعد تعریف شده اعمال می‌شود. در این ساختار قواعد تطبیق، امکان نگاشت بین رخداد‌های پایش و راهبردهای تطبیق را فراهم می‌سازد تا بر اساس آن تغییرات لازم بر نمونه فرآیند در حال اجرا اعمال شود.

هر راهبرد تطبیق، شامل دنباله‌ای از عملیات است. اجرای این دنباله از عملیات در نقاط واریسی، تغییراتی را در روند منطقی اجرای فرآیند به وجود می‌آورد. از جمله این تغییرات می‌توان به حذف، اضافه یا جایگزینی یک وظیفه با وظیفه دیگر، جایگزینی یک وظیفه با مجموعه‌ای از وظایف دیگر (یک زیرفرآیند) و ترکیب جدیدی از وظیفه‌ها در محدوده وسیعی از فرآیند اشاره کرد. در شکل ۴ یک مثال از نحوه اعمال راهبردهای تطبیق آورده شده است. در این مثال دنباله عملیات موردی راهبرد جایگزینی آورده شده است. در راهبرد جایگزینی محدوده تغییر مربوط به یک سرویس و اتصالات ورودی و خروجی آن است. برای اعمال این

راهبرد تطبیق	دنباله عملیات	نحوه تغییر فرآیند
جایگزینی	۱- حذف اتصال ۱ ۲- توقف سرویس ۱ ۳- حذف اتصال ۲	اتصال ۱ → سرویس ۱ → اتصال ۲
	۱- برقراری اتصال ۳ ۲- فعال شدن سرویس ۲ ۳- برقراری اتصال ۴	اتصال ۳ → سرویس ۲ → اتصال ۴

شکل ۴: عملیات راهبرد جایگزینی



شکل ۵: فرآیند یکپارچه سامانه مدیریت بحران

حفظ قابلیت اطمینان تغییر می‌دهد. در حین اجرای فرآیند ممکن است بیش از یک نقطه وارسی فعال شود و سناریوهایی در دامنه گسترده‌تر به‌وقوع بپیوندد.

۴-۱- نتایج کمی

هدف از ارزیابی کمی، بررسی تأثیر سازوکارهای تطبیق‌پذیری بر روی دو ویژگی کیفی زمان اجرا و قابلیت اطمینان در اجرای سناریوهایی مربوط به نمونه موردی است. نحوه محاسبه این ویژگی‌ها بر اساس محاسبات ارائه شده در جدول ۱ صورت گرفته است. در این ارزیابی تأثیر سازوکارهای تطبیق‌پذیری مربوط به زمان اجرا و قابلیت اطمینان به‌صورت جداگانه و ترکیبی بررسی شده است. جهت انجام این ارزیابی، ابتدا فرآیند اولیه بدون پشتیبانی از تطبیق‌پذیری اجرا شد و نتایج آن ثبت گردید. بعد از اجرای عادی فرآیند سناریوهایی تطبیق در سه مرحله فعال شدند. در مرحله اول بر کاهش زمان پاسخ تمرکز شد و تنها سازوکارهای تطبیق مربوط به بهبود زمان تطبیق به‌کار گرفته شد. در مرحله دوم، با تمرکز بر ویژگی کیفی قابلیت اطمینان راهبردهایی فعال شدند که منجر به بهبود قابلیت اطمینان می‌شدند. در آخرین مرحله راهبردهای مربوط به هر دو ویژگی کیفی به‌طور هم‌زمان فعال شدند. نتایج اجرای فرآیند بدون اعمال سازوکارهای تطبیق و با در نظر گرفتن سازوکارهای مختلف تطبیق در جدول ۳ نشان داده شده است. میانگین زمان پاسخ در چهار حالت مختلف اجرا نشان می‌دهد که کمترین زمان پاسخ با ۸۲۱۳ میلی‌ثانیه، مربوط به حالتی است که تطبیق‌پذیری فقط بر کاهش زمان پاسخ کل فرآیند تمرکز دارد. در این حالت زمان اجرای فرآیند ۱۸/۶ درصد نسبت به اجرای اولیه بهبود داشته است. بیشترین میزان قابلیت اطمینان با ۸۸/۵۸ درصد نیز مربوط به حالتی است که بر افزایش قابلیت اطمینان تمرکز شده است. در این حالت حدود ۱۱/۴ درصد بهبود حاصل شده است. در حالتی که سازوکارهای تطبیق مربوط به هر دو ویژگی کیفی فعال شده است، زمان اجرا به میزان ۸ درصد و قابلیت اطمینان به میزان ۵/۷۱ درصد بهبود داشته است.

در هنگام اجرای این سامانه ممکن است رخدادهای مختلفی اتفاق بیفتد که عملکرد سامانه را از منظر زمان اجرا و قابلیت اطمینان تحت تأثیر قرار دهد. در این شرایط استفاده از راهبردهای تطبیق می‌تواند اثر این رخدادها را کاهش دهد. برای مقابله با این رخدادها مبتنی بر مدل ارائه شده سناریوهایی برای تطبیق توسعه داده شده است. در جدول ۲ سه سناریو از سناریوهایی تطبیق نمایش داده شده است. در سناریوی اول، ممکن است سرویس جستجو برای مدت طولانی قادر به پاسخگویی نباشد. برای مقابله با این مشکل در سرویس جستجو یک نقطه وارسی حین اجرا تعبیه شده است. در این نقطه وارسی در صورتی که اجرای سرویس جستجو برای زمان قابل ملاحظه‌ای طولانی شود رخداد انقضای زمان مجاز به‌وقوع می‌پیوندد. وقوع این رخداد راهبرد جایگزینی سرویس را فعال کرده تا تاکتیک جایگزینی اجرا شود. این تاکتیک، سرویس جاری را خاتمه داده و سرویس دیگری را برای جستجو موقعیت فراخوانی می‌کند. هدف از این جایگزینی جلوگیری از طولانی شدن اجرای سرویس جستجو و بهبود زمان اجرای کل فرآیند است. در سناریوی دوم، ممکن است اجرای سرویس مسیریابی با شکست روبرو شود. که در این حالت قابلیت اطمینان سیستم را تحت تأثیر قرار می‌دهد. برای حفظ قابلیت اطمینان لازم است که سرویس بتواند در شرایط مختلف شکست را تحمل کرده و پاسخ مناسب و صحیح را برگرداند. برای این منظور در مسیریابی یک نقطه وارسی بعد از اجرا تعبیه شده است. در این نقطه وارسی در صورتی که در اجرای سرویس مسیریابی شکست تشخیص داده شود، رخداد عدم اتمام فرآیند به‌وقوع می‌پیوندد. وقوع این رخداد راهبرد جایگزینی سرویس را فعال کرده تا تاکتیک جایگزینی اجرا شود. این تاکتیک، یک سرویس جایگزین را اجرا می‌کند. هدف از این جایگزینی جلوگیری از شکست اجرای فرآیند و بهبود قابلیت اطمینان است. در سناریوی سوم، برای حفظ قابلیت اطمینان یک نقطه وارسی بعد از اجرا جهت ارسال رخداد عدم پذیرش ایستگاه تعبیه شده است. وقوع رخداد مذکور راهبرد پیکربندی مجدد سرویس را فعال می‌کند تا تاکتیک پیکربندی مجدد اجرا شود. این تاکتیک، پیکربندی سرویس را جهت

جدول ۲: سناریوها و پارامترهای آن

سرویس	نقطه وارسی	خصوصیت پایش	رخداد پایش	قاعده تطبیق	تاکتیک تطبیق	راهبرد تطبیق
جستجو	در حین اجرا	زمان اجرای فرآیند	انقضای زمان	انقضای زمان جستجو: اجرای سرویس جستجوی جایگزین	جایگزینی	جایگزینی
مسیریابی	پس از اجرا	شکست وظیفه	عدم اتمام فرآیند	عدم اتمام فرآیند: اجرای سرویس مسیریابی جایگزین	جایگزینی	جایگزینی
ارسال مأموریت	پس از اجرا	شکست سامانه	عدم پذیرش ایستگاه	عدم پذیرش ایستگاه: اجرای جریان ارسال همگانی مأموریت	پیکربندی مجدد	پیکربندی مجدد

جدول ۳: نتایج کمی

روش اجرای سناریو	میانگین زمان	بهبود زمان	قابلیت اطمینان	بهبود قابلیت اطمینان
بدون پشتیبانی از تطبیق پذیری	۹۸۸۶ میلی ثانیه	-	٪۷۷/۱۴	-
با تمرکز بر افزایش قابلیت اطمینان	۱۱۴۳ میلی ثانیه	-٪۱۵	٪۸۸/۵۸	٪۱۱/۴
با تمرکز بر کاهش زمان	۸۳۱۳ میلی ثانیه	٪۱۸/۶	٪۷۲/۴	-٪۲/۹
با تمرکز بر کاهش زمان و افزایش قابلیت اطمینان	۹۱۸۴ میلی ثانیه	٪۸	٪۸۲/۸۵	٪۵/۷۱

۴-۲- سربار ناشی از تطبیق

در سطح نمونه فرآیند، و منطبق بودن بر چرخه حیات تطبیق، پشتیبانی نماید (جدول ۵).

مقایسه بر اساس مجموعه معیارهای تکمیلی (جدول ۶) نشان می دهد که روش پیشنهادی به شکل مناسبی نسبت به سایر روش ها از نظر معیارهایی مانند مهندسی نیازمندی ها، ارزیابی بر مبنای تحقق نیازمندی ها، خصوصی سازی و سهولت یکپارچه سازی، در سطح مطلوب تری قرار دارد. در این جدول معیارها بر اساس روش ارائه شده توسط کامل و کسلمن درجه بندی شده است. سه سطح درجه بندی برای معیارها مطرح شده است، که در آن درجه «الف» به معنای بالاترین سطح پشتیبانی، درجه «ب» نشان دهنده سطح میانی پشتیبانی از معیار و درجه «ج» عدم پشتیبانی از معیار مورد نظر را نشان می دهد. در این مطالعه مجموعه ای از معیارها به همراه نحوه تشخیص درجه هر کدام به تفصیل ذکر شده است [۳۰].

۴-۴- تهدیدهای اعتبار روش پیشنهادی

ممکن است ارزیابی ارائه شده با برخی تهدیدهای داخلی و خارجی در ارتباط با اعتبار نتایج روبرو باشد. برای مقابله با تهدیدهای داخلی سعی شده است که نمونه موردی انتخاب شده با سناریوهای مختلف مورد ارزیابی قرار گیرد. همچنین سناریوهای ارزیابی و نتایج آن توسط چند گروه متخصص مورد بازبینی قرار گرفته است. در ارتباط با تهدیدهای خارجی، دغدغه اصلی این است که تنها از یک نمونه موردی در ارزیابی روش پیشنهادی استفاده شده است. این دغدغه موجب تردید در امکان تعمیم روش ارائه شده به نمونه های دیگر در شرایط متفاوت می شود. برای کاهش این تهدید، یک نمونه موردی پیچیده با سناریوهای متنوع مورد ارزیابی قرار گرفته است. همچنین، نتایج ارزیابی نمونه موردی توسط چند توسعه دهنده مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج بررسی ها نشان می دهد که روش پیشنهادی در نمونه های مشابه قابل به کارگیری است. هر چند ما نمی توانیم ادعا بکنیم که برای هر سیستم در هر شرایطی نتایج مشابه به دست خواهد آمد.

فعال کردن نقاط واری و اعمال تغییر در نمونه فرآیندها در سناریوهای مختلف موجب بهبود جنبه های کیفی مورد نظر می شود، اما ناگزیر یک سربار حاصل از فعال شدن پایش و تطبیق در نقاط واری به فرآیند اعمال می شود. سربار زمانی ناشی از فعال شدن نقاط واری برای پشتیبانی از تطبیق پذیری، در سناریوهای اجرایی و با توجه به راهبرد تطبیق مورد استفاده در جدول ۴ نشان داده شده است. نحوه محاسبه سربار بر اساس محاسبات ارائه شده در جدول ۱ صورت گرفته است. نتایج آزمایش ها نشان می دهد که اجرای راهبرد جایگزینی سربار زمانی بسیار کمی را به همراه داشته است. اجرای راهبردهایی نظیر پیکربندی مجدد به دلیل دامنه تغییرات گسترده تر نسبت به راهبرد جایگزینی سربار زمانی قابل توجهی را به همراه دارد. اما مقایسه نتایج با بهبود خصوصیات کیفی (جدول ۳) نشان می دهد که با وجود این سربار، باز هم خصوصیات کیفی بهبود محسوس را به همراه داشته اند.

۴-۳- مقایسه با کارهای مرتبط

روش ارائه شده در این مقاله، بر اساس مجموعه ای از معیارهای تطبیق پذیری با روش های مشابه معرفی شده مقایسه شده است. این معیارها در دو گروه دسته بندی شده اند. دسته اول این معیارها به بررسی معیارهای سازوکار تطبیق پذیری در فرآیند یکپارچه سازی می پردازند و بر مبنای طرح رده بندی S-Cube [۲۹] استخراج شده اند. دسته دوم معیارها موسوم به معیارهای تکمیلی از معیارهای توسعه نرم افزار [۳۰] استخراج شده اند.

مقایسه روش ارائه شده بر اساس این دو دسته معیار در جداول ۵ و ۶ نشان داده شده است. مقایسه روش ارائه شده بر اساس معیارهای سازوکار تطبیق پذیری نشان می دهد که روش ارائه شده می تواند جنبه های مهمی از تطبیق پذیری را، از جمله مبتنی بر انتزاع بودن، امکان پشتیبانی از راهبردهای مختلف تطبیق، امکان پشتیبانی از تطبیق پذیری

جدول ۴: سربار زمان

روش اجرای سناریو	راهبرد تطبیق	ویژگی کیفی بهبود یافته	سربار زمانی
تمرکز بر کاهش زمان	جایگزینی	زمان	۰/۰۵٪
تمرکز بر افزایش قابلیت اطمینان	پیکربندی مجدد/ ترکیب مجدد	قابلیت اطمینان	۱۱٪
تمرکز بر کاهش زمان و افزایش قابلیت اطمینان	جایگزینی	زمان و قابلیت اطمینان	۰/۰۶٪
تمرکز بر کاهش زمان و افزایش قابلیت اطمینان	پیکربندی مجدد / ترکیب مجدد	زمان و قابلیت اطمینان	۱۴٪

جدول ۵: معیارهای تطبیق پذیری

معیارهای پشتیبانی از سازوکار تطبیق	روش مرجع [۱۹]	روش مرجع [۱۸]	روش مرجع [۲۵]	روش مرجع [۱۲]	روش پیشنهادی
رویکرد تطبیق پذیری	مبتنی بر انتزاع	نهادینه شده	نهادینه شده	نهادینه شده	مبتنی بر انتزاع
پشتیبانی از راهبردهای تطبیق پذیری	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی
راهبرد تطبیق	جایگزینی	جایگزینی	انتخاب سرویس	انتخاب سرویس، ترکیب مجدد	جایگزینی
دامنه تطبیق پذیری	نمونه فرآیند	فرآیند	فرآیند	نمونه فرآیند	نمونه فرآیند
سازوکار تصمیم گیری	مبتنی بر ارزیابی	مبتنی بر قاعده	مبتنی بر ارزیابی	مبتنی بر ارزیابی	مبتنی بر قاعده
سطح خودکار سازی تطبیق پذیری	خودکار	خودکار	خودکار	خودکار	خودکار
زمان پشتیبانی از تطبیق پذیری	اجرا	اجرا	اجرا	اجرا	اجرا
راهکار مبتنی بر چرخه حیات تطبیق	خیر	خیر	خیر	خیر	بلی

جدول ۶. معیارهای تکمیلی

معیارهای تکمیلی	روش مرجع [۱۹]	روش مرجع [۱۸]	روش مرجع [۲۵]	روش مرجع [۱۲]	روش پیشنهادی
مهندسی نیازمندی‌ها	سطح الف	سطح الف	سطح ب	سطح ب	سطح الف
پوشش جنبه‌های کیفی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی
درجه خصوصی سازی روش	سطح ج	سطح ج	سطح الف	سطح ج	سطح الف
سهولت یکپارچه سازی با روش‌های موجود	سطح ج	سطح الف	سطح الف	سطح ج	سطح الف
ارزیابی بر مبنای تحقق نیازمندی‌ها	بلی	خیر	بلی	بلی	بلی
سهولت آموزش	سطح ب	سطح الف	سطح ج	سطح ب	سطح الف
درجه بلوغ	سطح ب	سطح ج	سطح الف	سطح ج	سطح ج

۵- نتیجه گیری و کارهای آتی

دهد که به کارگیری این روش در مواجهه با رخدادهای محیطی می‌تواند امکان ارتقای خصوصیات کیفی مانند زمان پاسخ و قابلیت اطمینان را به شکل مناسب فراهم آورد. بررسی تهدیدهای روش پیشنهادی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی در نمونه‌های مشابه قابل به کارگیری است، هرچند که نمی‌توان ادعا کرد که برای هر سیستم در هر شرایطی نتایج مشابه به دست خواهد آمد. در روش پیشنهادی، اثر خصوصیت کیفی تطبیق پذیری در مصالحه با سایر خصوصیات کیفی در فرآیند توسعه کاربردهای سرویس‌گرا در نظر گرفته نشده است. همچنین، برای انتخاب بهینه سرویس‌ها بر اساس ارزیابی کارایی کل فرآیند در سناریوهای ترکیب پویای زمان اجرا تمهیداتی اندیشیده نشده است. علاوه بر این، در این روش جنبه‌های کارکردی و کسب‌وکار در پایش فرآیندها در نظر گرفته نشده است. موارد ذکر شده را می‌توان به عنوان کارهای آینده روش پیشنهادی در نظر گرفت.

در این مقاله روشی برای پشتیبانی از تطبیق پذیری در فرآیند یکپارچه سازی سرویس‌گرا ارائه شده است. روش ارائه شده با مبنا قراردادن چرخه حیات S-Cube و راهبردها و تاکتیک‌های تطبیق پذیری، امکان پشتیبانی از تطبیق پذیری در فرآیند توسعه کاربردهای سرویس‌گرا را فراهم می‌کند. این روش از منظر توسعه نرم‌افزار، از نظر معیارهایی مانند مهندسی نیازمندی‌ها، ارزیابی بر مبنای تحقق نیازمندی‌ها، خصوصی سازی و سهولت یکپارچه سازی نسبت به سایر روش‌ها در سطح مطلوب تری قرار دارد. همچنین از منظر تطبیق پذیری از نظر معیارهایی مانند مبتنی بر انتزاع بودن، پشتیبانی از راهبردهای تطبیق، پشتیبانی از چرخه حیات تطبیق برنامه‌های کاربردی مبتنی بر سرویس و قابلیت استقرار بر بستر یکپارچه سازی سرویس‌گرا نسبت به روش‌های مشابه دارای برتری است. به کارگیری این روش در یک نمونه موردی نشان می

مراجع

- [16] L. Gonzalez, J. Luis Laborde, M. Galnares, M. Fenoglio and R. Ruggia, "An Adaptive Enterprise Service Bus Infrastructure for Service Based Systems," *Service-Oriented Computing – ICSSOC 2013 Workshops*, Springer International Publishing, pp. 480-491, 2014.
- [17] یوسف رستگاری و فریدون شمس، «ارائه چارچوبی آگاه-از-زمینه به منظور تطبیق پذیری هم آرایی سرویس‌ها»، بیستمین کنفرانس ملی سالانه انجمن کامپیوتر ایران، صفحه ۷۹۰-۷۹۵، دانشگاه فردوسی مشهد، اسفند ۱۳۹۳.
- [18] T. Szydio and K. Zielinski, "Adaptive Enterprise Service Bus," *New Generation Computing*, vol. 30, no. 2-3, pp. 189-214, 2012.
- [19] B. Weber, S. Sadiq and M. Reichert, "Beyond rigidity - Dynamic process lifecycle support: Survey on dynamic changes in process-aware information systems," *Computer Science - Research and Development*, vol. 23, no. 2, pp. 47-56, 2009.
- [20] M. Minor, R. Bergmann, R. and S. Görg, "Case-based adaptation of workflows," *Information Systems*, vol. 40, pp. 142-152, 2014.
- [21] L. Pessoa, P. Fernandes, T. Castro, V. Alves, G. N. Rodrigues and H. Carvalho, "Building reliable and maintainable Dynamic Software Product Lines: An investigation in the Body Sensor Network domain," *Information and Software Technology*, vol. 86, pp. 54-70, 2017.
- [22] B. H. C. Cheng, K. I. Eder, M. Gogolla, L. Grunke and M. Litoiu, "Using Models at Runtime to Address Assurance for Self-Adaptive Systems," *Springer International Publishing*, pp. 101-136, 2014.
- [23] N. Gamez, J. El Haddad and L. Fuentes, "Managing the Variability in the Transactional Services Selection," *Ninth International Workshop on Variability Modelling of Software-intensive Systems - VaMoS '15*, pp. 88-95, 2015.
- [24] V. Cardellini, E. Casalicchio, V. Grassi, S. Iannucci, F. L. Presti and R. Mirandola, "MOSES: A framework for qos driven runtime adaptation of service-oriented systems," *IEEE Transactions on Software Engineering*, vol. 38, no. 5, pp. 1138-1159, 2012.
- [25] کاوان صدیقیانی و فریدون شمس، «به کارگیری مدل‌های معماری زمان اجرا برای پشتیبانی از خودتطبیقی در برنامه‌های کاربردی مبتنی بر سرویس»، بیستمین کنفرانس ملی سالانه انجمن کامپیوتر ایران، صفحه ۷۹۰-۷۹۵، دانشگاه فردوسی مشهد، اسفند ۱۳۹۳.
- [26] B. List and B. Korherr, "An Evaluation of Conceptual Business Process Modelling Languages," In *2006 ACM symposium on Applied computing*, pp. 1532-1539, 2006.
- [27] M. Dohring, H. A. Reijers and S. Smirnov, "Configuration vs. adaptation for business process variant maintenance: An empirical study," *Information Systems*, vol. 39, no. 1, pp. 108-133, 2014.
- [28] K. Saeedi, L. Zhao and P.R. Falcone Sampaio, "Extending BPMN for supporting customer-facing service quality requirements," In *ICWS 2010 - 2010 IEEE 8th International Conference on Web Services*, Miami, Florida, USA, pp. 616-623, 2010.
- [29] F. City, I. polimi and S. Tiburg, "Taxonomy of Adaptation Principles and Mechanisms. S-Cube Software Services and System Network, 215483 (Contractual Deliverable), pp. 8-42, 2009.
- [30] G. M. Karam and R. S. Casselman, "A Cataloging Framework for Software Development Methods," *Computer*, vol. 26, no.2, pp. 34-46, 1993.
- [1] V. Andrikopoulos, A. Bucchiarone, E. Nitto, R. Kazhamiakina, S. Lane and V. Mazza, "Service Engineering," *Service Research Challenges and Solutions for the Future Internet*. Lecture Notes in Computer Science, Springer, vol. 6500, 2010.
- [2] P. A. S. Neto, Plácido A. Souza, G. Vargas-Solar, U. Souza da Costa, and M. A. Musicante, "Designing service-based applications in the presence of non-functional properties: A mapping study," *Information and Software Technology*, vol. 69, pp. 84-105, 2016.
- [3] X. Bai, J. Xie, B. Chen and S. Xiao, "Dres: Dynamic routing in enterprise service bus," *International Conference on E-Business Engineering (ICEBE'07)*, IEEE, pp. 528-531, 2007.
- [4] I. Y. Chen, G. K. Ni and C. Y. Lin, "A runtime-adaptable service bus design for telecom operations support systems," *IBM Systems Journal*, vol. 47, no. 3, pp. 445-56, 2008.
- [5] C. Ayora, V. Torres, B. Weber, M. Reichert and V. Pelechano, "VIVACE: A framework for the systematic evaluation of variability support in process-aware information systems," *Information and Software Technology*, vol. 57, pp. 248-76, 2015.
- [6] R. Aschoff and A. Zisman, "QoS-driven proactive adaptation of service composition," *International Conference on Service-Oriented Computing*, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 421-435, 2011.
- [7] S. Ambroszkiewicz, J. Brzezinski, W. Cellary, A. Grzech and K. Zielinski, *Advanced SOA Tools and Applications*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014.
- [8] R. Bruni, A. Corradini, F. Gadducci, A. Lluch Lafuente and A. Vandin, A conceptual framework for adaptation. In *Lecture Notes in Computer Science*, 2012.
- [9] سپیده شیوندی و سیما عمادی، «ترکیب خودکار سرویس‌ها مبتنی بر گراف رنگ‌آمیزی»، *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*، جلد ۴۸، شماره ۲، صفحه ۷۳۶-۷۲۵، تابستان ۱۳۹۷.
- [10] E. Fki, S. Tazi, and K. Drira, "Automated and flexible composition based on abstract services for a better adaptation to user intentions," *Future Generation Computer Systems*, vol. 68, pp. 376-390, 2017.
- [11] S. Lane, Q. Gu, P. Lago and I. Richardson, "Towards a framework for the development of adaptable service-based applications," *Service Oriented Computing and Applications*, vol. 8, no. 3, pp. 239-257, 2014.
- [12] Z. Zheng and M. R. Lyu, "Selecting an optimal fault tolerance strategy for reliable service-oriented systems with local and global constraints," *IEEE Transactions on Computers*, vol. 64, no. 1, pp. 219-232, 2015.
- [13] C. Ayora, V. Torres, J. Luis de la Vara and V. Pelechano, "Variability management in process families through change patterns," *Information and Software Technology*, vol. 74, pp. 86-104, 2016.
- [14] S. Cheng and D. Garlan, "Stitch: A language for architecture-based self-adaptation," *Journal of Systems and Software*, vol. 85, no. 12, pp. 2860-2875, 2012.
- [15] L. Shen, X. Peng and W. Zhao, "Quality-driven self-adaptation: Bridging the gap between requirements and runtime architecture by design decision," *International Computer Software and Applications Conference*, pp. 185-194, 2012.